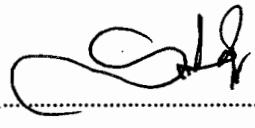
ต้นแบบชุดการทดลองแบบหมุนเหวี่ยง เพื่อพัฒนาการเรียนการสอน วิชา วิศวกรรมฐานราก

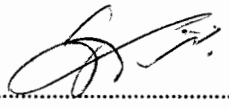
นางสาวอินทร์ธิรา คำภีระ ค.อ.บ. (วิศวกรรมโยธา)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2550

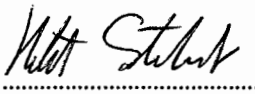
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(ผศ.ดร.สนิท วงษา)



..... กรรมการ
(ผศ.ดร.ธนาคล คงสมบูรณ์)



..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผศ.ดร.กิติเดช สันติชัยอนันต์)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ต้นแบบชุดการทดลองแบบหมุนเหวี่ยง เพื่อพัฒนาการเรียนการสอนวิชา วิศวกรรมฐานราก
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นางสาวอินทร์ธิรา คำภีระ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.กิติเดช สันติชัยอนันต์
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	ครุศาสตร์โยธา
คณะ	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
พ.ศ.	2550

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการสร้างและศึกษาใบงานทดลอง จากการประยุกต์เทคนิคการจำลองโครงสร้างใต้ดินด้วยวิธีหมุนเหวี่ยงซึ่งถือว่าเป็นเทคนิคขั้นสูงที่มีประโยชน์อย่างมากสำหรับงานวิศวกรรมฐานรากในประเทศไทย โดยมีสมมติฐานว่าการเรียนการสอนด้วยเทคนิคดังกล่าวจะทำให้ผู้เรียนได้เห็นรูปแบบการพังทลายของโครงสร้างใต้ดินได้อย่างเป็นรูปธรรมและเข้าใจง่าย ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความสามารถในเนื้อหาวิชาระดับการนำไปใช้ได้ดีกว่าการเรียนทฤษฎีเท่านั้น เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย (1) ชุดการทดลองโครงสร้างใต้ดินด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงขนาดเล็ก (2) ใบงานประกอบการทดลอง (3) แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (4) แบบสังเกตพฤติกรรมการเรียน และ (5) แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน ผู้วิจัยเชื่อว่าใบงานจะมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด 80/80

เนื้อหาในใบงานทดลองประกอบไปด้วยชุดทดลอง 3 ชุด ได้แก่ (1) ชุดเนื้อหากำแพงกันดินรับแรงดันด้านข้าง (2) ชุดเนื้อหาเสาเข็มสั้นรับแรงด้านข้าง และ (3) ชุดเนื้อหาการรับแรงดึงของสมอ จากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 4 ท่าน มีความเห็นว่า ในด้านรายละเอียดของเนื้อหาใบงานทดลองทั้ง 3 ชุดที่สร้างขึ้นมีรายละเอียดของเนื้อหาที่ครอบคลุมและเหมาะสม และในด้านความสมบูรณ์ของใบงานทดลององค์ประกอบของข้อมูลภายในเหมาะสมตามเกณฑ์แต่ละข้อ อยู่ในระดับมาก

การหาประสิทธิภาพของใบงานทดลองที่สร้างขึ้น ได้ใช้กลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักศึกษาภาควิชาครุศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จำนวน 18 คน ในขั้นแรกนั้นได้มีการปรับพื้นฐานความรู้ด้านหลักการการหมุนเหวี่ยง และการใช้เครื่องหมุนหวี่ยงขนาดเล็กที่พัฒนาขึ้นของภาควิชาครุศาสตร์โยธา เพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้นจากการขาดทักษะด้านหลักการ และอาจจะเป็นตัวแปรแทรกซ้อนได้

จากนั้นผู้เรียนจึงปฏิบัติงานด้วยการทดลองตามใบงานที่สร้างขึ้น โดยมีการวัดความรู้ระหว่างเรียนหลังจากการเรียนจบแต่ละใบงาน และสุดท้ายเป็นการวัดความรู้หลังเรียนครบทุกใบงาน เพื่อวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ครอบคลุมเนื้อหาทั้ง 3 ใบงาน เป็นข้อสอบแบบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ และในขณะเรียนนั้นพฤติกรรมการปฏิบัติงานของผู้เรียนถูกสังเกตการ ด้วยแบบสังเกตที่สร้างขึ้นโดยเฉพาะทั้ง 3 ใบงาน

ผลการวิจัยพบว่า ใบงานชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีคะแนนระหว่างเรียนเฉลี่ยร้อยละ81.30 และคะแนนหลังเรียนเฉลี่ยร้อยละ 79.72 ประสิทธิภาพของใบงานมีค่า 81.30/79.72 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเกณฑ์ 80/80 และจากการสังเกตพบว่า นักศึกษาร้อยละ 90 สามารถปฏิบัติการทดลองด้วยตนเองได้เป็นอย่างดี ความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อชุดทดลอง อยู่ในระดับ มาก แสดงว่าชุดใบงานทดลองโดยใช้เทคนิคการจำลองโครงสร้างใต้ดินด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงขนาดเล็ก ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพเหมาะสมกับการนำไปใช้ในการเรียนการสอน วิชาวิศวกรรมฐานรากได้

คำสำคัญ : ใบงานการทดลอง / เครื่องหมุนเหวี่ยงขนาดเล็ก / ประสิทธิภาพชุดทดลอง / วิธีหมุนเหวี่ยง / การจำลองโครงสร้างใต้ดิน

Thesis Title	Instructional Centrifuge Modeling Packages for Foundations Engineering Course
Thesis Credits	12
Candidate	Miss Inthira Kampeera
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Kitidech Santichaianant.
Program	Master of Science in Industrial Education
Field of Study	Civil Engineering
Department	Civil Technology Education
Faculty	Industrial Education and Technology
B.E.	2550

Abstract

The purpose of this research aims to create and study an instructional package for undergraduate students by applying centrifuge modeling technique to model underground structures. The technique is regarded as an advanced technique for foundation engineering in Thailand. By this technique, author believed that students can comprehensively perceive the failures patterns on different foundation models and thus enable them to obtain more knowledge than lecture based study. The instruments used in this study consist of: (1) an instructional geotechnical centrifuge, (2) instructional packages including 3 laboratory sheets, (3) achievement test, (4) in-class observation form and (5) the questionnaire of satisfaction. It was expected that the efficiency of the package would be 80/80.

The packages consist of three contents i.e., (1) retaining wall with active earth pressure, (2) short pile under lateral load and (3) uplift capacity of anchor. Evaluation in content from four experts showed that the contents are suitable and cover all purposes of learning. Components in the packages also were evaluated to be suitable at high level.

The sample was the 18 senior undergraduate students in Civil Technology Education , KMUTT. At the beginning, they were taught to understand the principle of centrifuge modeling. Consequently, a hidden variable due to lacking of the modeling fundamental was expected to be eliminated. Secondly, students were allowed to carry out the experimental work from the developed laboratory sheet. The achievement test

were used to test them after each learning session. Finally, after all learning sessions, students were tested by post achievement test again. Each achievement test is twenty multiple-choice test covering different groups of content. Furthermore, Students' behaviors were observed and recorded by in-class observation form during their learning.

The result showed that the package yielded the achievement test scores were 81.30 % after each learning session and 79.72 % after all learning sessions . The efficiency of the developed package was 81.30 /79.72 which was nearly the standard criteria of 80/80. The observation also indicated that the package was able to facilitate 90% of students for self-learning laboratory. The satisfaction on the package was evaluated at a high level. This instructional package for undergraduate students by applying centrifuge modeling technique, therefore, can be well implemented to enable students to gain the higher knowledge level of underground structure behaviors in foundation engineering course.

Keywords: Laboratory Sheet / Instructional Centrifuge / Effectiveness Experimental Instruction/ Centrifuge Modeling Technique / Underground Structure Modeling

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.กิติเดช สันติชัยอนันต์ ที่ให้ความกรุณา แนะนำ แนวคิด และแนวทางการแก้ปัญหา ที่เป็นประโยชน์ยิ่งต่อผู้วิจัยและงานวิจัยครั้งนี้ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ธนาดล คงสมบูรณ์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ รศ.ดร.วีรยา ฉิมอ้อย อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และ ผศ.ดร. พงศกร พรรณรัตนศิลป์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ตรวจสอบพร้อมให้คำแนะนำแก้ไขสำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและข้อมูลภายในใบงาน ขอขอบคุณบุคลากรภาควิชาครุศาสตร์โยธาทุกท่านที่กรุณาสนับสนุนและเอื้อเฟื้อสถานที่ วัสดุ อุปกรณ์ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ. เพราพรรณ เปลี่ยนภู่ และ ดวงวิญญาณของ ดร.ชูศักดิ์ เปลี่ยนภู่ ซึ่งเปรียบดังญาติผู้ใหญ่ที่ให้การสนับสนุนการศึกษา กรุณา แนะนำ แนวคิด และแนวทางการแก้ปัญหา ที่เป็นประโยชน์ยิ่งต่อผู้วิจัยและงานวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณ ภาควิชาครุศาสตร์โยธาที่ให้ความอนุเคราะห์ด้วยดี สำหรับการดำเนินการทดลองกลุ่มตัวอย่าง และกลุ่มนักศึกษา ภาควิชาครุศาสตร์โยธา ที่ให้ความร่วมมืออย่างเต็มที่ในการทดลอง และท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวที่ให้ทุกอย่างแก่ผู้วิจัยมาตลอดชีวิตจึงขอน้อมรำลึกถึงพระคุณท่านตลอดไป

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
รายการตาราง	ฌ
รายการรูปประกอบ	ฎ
บทที่	
1. บทนำ	**1**
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.6 นิยามศัพท์	5
2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	**7**
2.1 ความหมายและวัตถุประสงค์ของการสอนทดลอง	7
2.2 ประเภทและหลักการที่ในการจัดการเรียนการสอนแบบทดลอง	10
2.3 องค์ประกอบของระบบการสอนทดลอง และกิจกรรมที่ใช้ในการสอนทดลอง	16
2.4 การสร้างใบงานการทดลอง	19
2.5 เนื้อหาที่ใช้ในการพัฒนาชุดทดลอง	25
2.6 การสร้างเครื่องมือในการวัดและประเมินผล	38
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	46
3. วิธีดำเนินงานวิจัย	**51**
3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	51

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	51
3.3 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	52
3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล	72
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล	74
4. ผลการวิจัย	**78**
4.1 ผลการพัฒนาเครื่องมือสำหรับดำเนินงานวิจัย	78
4.2 ผลการศึกษาผลการเรียน	87
5. สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	**92**
5.1 สรุปผลการวิจัย	92
5.2 อภิปรายผลการวิจัย	93
5.3 ข้อเสนอแนะ	95
เอกสารอ้างอิง	**97**
ภาคผนวก	
ก. รายนามผู้เชี่ยวชาญที่ใช้ในการตรวจสอบเครื่องมือ	102
ข. ตารางผลการวิเคราะห์งาน	104
ค. ใบงาน Centrifuge modeling test (ใบงานที่ 1-3)	108
ง. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	162
จ. คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	168
ประวัติผู้วิจัย	**171**

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ตัวอย่างตารางการวิเคราะห์งาน (Task Analysis)	23
3.1	ตัวอย่างการวิเคราะห์กลุ่มงาน	55
3.2	ตารางแสดงความรู้และทักษะที่ได้ตามกลุ่มงาน	56
3.3	วัตถุประสงค์การเรียนรู้	63
3.4	แสดงค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบ	66
3.5	แสดงแบบแผนการวิจัยแบบ One-Group t- test one Sample	72
4.1	แสดงผลการสำรวจความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับความสมบูรณ์ของข้อมูล ภายในใบงานที่ 1 มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การทดลองที่กำหนด	79
4.2	แสดงผลการสำรวจความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับความสมบูรณ์ของข้อมูล ภายในใบงานที่ 2 มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การทดลองที่กำหนด	81
4.3	แสดงผลการสำรวจความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับความสมบูรณ์ของข้อมูล ภายในใบงานที่ 3 มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การทดลองที่กำหนด	84
4.4	ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดทดลอง	86
4.5	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความคิดเห็นในด้านความพึงพอใจในการเรียนด้วยชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยง	87
4.6	ผลการวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มตัวอย่างที่เรียนด้วยชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยง	88
4.7	ผลการปฏิบัติการทดลองของผู้เรียนที่เรียนด้วยชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยง	88
ข 1	การวิเคราะห์กลุ่มงาน ที่ 1เรื่อง กำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย	105
ข 2	การวิเคราะห์กลุ่มงานที่ 2 เรื่องเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย	106
ข 3	การวิเคราะห์กลุ่มงาน ที่ 3 เรื่องการรับแรงดึงของสมอหน้าตัดสี่เหลี่ยมในทราย	107
จ 1	แสดงผลการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	169
จ 2	แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสถิติทดสอบที	169
จ 3	แสดงผลการทดสอบวัดความรู้ผู้เรียนเพื่อหาประสิทธิภาพของชุดทดลอง	170

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	เครื่องหมุนเหวี่ยง หรือที่เรียกว่า Centrifuge (From NUS Centrifuge Lab)	26
2.2	แสดงการเปรียบเทียบหน่วยความเค้นของต้นแบบกับแบบจำลองหมุนเหวี่ยง	27
2.3	หลักการพื้นฐานของการจำลองแบบหมุนเหวี่ยง	29
2.4	ต้นแบบเครื่องทดสอบแบบหมุนเหวี่ยงขนาดเล็กทางวิศวกรรมเทคนิคธรณี CTEd-1 ภาควิชาครุศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	29
2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและระดับแรงโน้มถ่วง	30
2.6	ชุดทดสอบแบบหมุนเหวี่ยงกำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย	31
2.7	ชุดทดสอบแบบหมุนเหวี่ยงเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย	34
2.8	ชุดการทดสอบแบบจำลองหมุนเหวี่ยงการรับแรงดึงของสมอ	37
2.9	การทดสอบสมอสี่เหลี่ยมจัตุรัส ของ Ovensen	48
3.1	ชุดอุปกรณ์ของแบบจำลองการพังทลายของดินหลังกำแพง	58
3.2	ชุดอุปกรณ์ของแบบจำลองเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้าง	59
3.3	ชุดอุปกรณ์ของแบบจำลองการรับแรงดึงของสมอ	60
3.4	เครื่องมือตรวจจับค่าแรงกระทำและระยะเคลื่อนที่	61
3.5	การ Calibrate beam load cell โดยใช้น้ำหนักแขวน	62
3.6	รูปแบบใบงานการทดลอง	65
3.7	ขั้นตอนการสร้างแบบสอบถาม	71
3.8	แสดงลำดับขั้นการดำเนินการวิจัย	73

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เทคนิคการจำลองแบบหมุนเหวี่ยงทางวิศวกรรมเทคนิคธรณี ถือได้ว่าเป็นเครื่องมือที่สำคัญและมีบทบาทอย่างยิ่งต่อการสร้างองค์ความรู้ใหม่ๆ ทางวิศวกรรมฐานราก ผลการทดสอบจากแบบจำลองในห้องทดลองสามารถช่วยแก้ปัญหาทั่วๆไปจนถึงปัญหาที่สำคัญๆและช่วยให้วิศวกรทราบถึงพฤติกรรมของฐานรากกับมวลดินได้อย่างละเอียด สภาวะแรงโน้มถ่วงที่สูงจะช่วยลดขนาดของต้นแบบลงมาเป็นขนาดของแบบจำลอง และสามารถทดสอบซ้ำๆได้ในห้องทดลองโดยอาศัยเครื่องหมุนเหวี่ยงขนาดใหญ่ การจำลองเช่นนี้สามารถเข้ามาทดแทนการทดสอบในสนามได้ในหลายๆกรณี ประโยชน์และผลกระทบเชิงบวกได้เกิดขึ้นมาแล้วหลายทศวรรษในประเทศที่พัฒนาแล้ว ในภูมิภาคอาเซียน ประเทศสิงค์โปถือได้ว่าเป็นประเทศแรกที่มีการใช้เทคนิคนี้สำหรับการพัฒนาประเทศของตนเอง อย่างจริงจัง ปัจจุบันประเทศไทยได้เริ่มเห็นความสำคัญของเทคนิคนี้เช่นกัน และ เริ่มทำการศึกษาและส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาเทคนิคนี้ขึ้นเองภายในประเทศ เช่น การพัฒนาเครื่องหมุนเหวี่ยง การจัดตั้งคณะทำงานด้านนี้ และ การประชาสัมพันธ์ให้เห็นประโยชน์ของเทคนิคนี้สู่ภาครัฐและเอกชน

เนื่องจากแนวโน้มการศึกษาพฤติกรรมต่างๆทางวิศวกรรมมีแนวโน้มที่จะมีความซับซ้อนมากขึ้นเรื่อยๆ ถึงแม้ว่าการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง finite element จะได้รับการพัฒนาอยู่ในขั้นสูงแล้วก็ตาม แต่ผลการวิเคราะห์อาจจะไม่ถูกต้องแม่นยำเสมอไปด้วยข้อจำกัดของพารามิเตอร์และสภาวะแวดล้อมภายใต้สมมติฐานที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมา ซึ่งในกรณีนี้การเปรียบเทียบวัดจากการสร้างแบบทดสอบเท่าขนาดจริงในสนามจะเป็นวิธีที่ดีที่สุดที่จะตรวจสอบพฤติกรรมและความถูกต้องของสมมติฐานบนแบบจำลอง finite element เพื่อให้เกิดความถูกต้องและองค์ความรู้ใหม่ๆ อย่างไรก็ตามการทดสอบเท่าขนาดจริงด้วยวัสดุจริงในสนามจำเป็นต้องมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ใช้เวลานาน ส่วนมากไม่สามารถทดสอบจนถึงจุดพิบัติด้วยข้อจำกัดทางด้านการใช้งานและความปลอดภัย ด้วยเหตุนี้เกือบจะเป็นไปไม่ได้ที่จะใช้การทดสอบเท่าขนาดจริงนี้ซ้ำๆกัน เพื่อทำการศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆที่น่าจะมีผลกับการทดสอบ (Parametric Studies) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้การทดสอบด้วยแบบจำลอง centrifuge ที่มีความน่าเชื่อถือและค่อนข้างแม่นยำเข้ามาเสริมแทนการทดสอบเท่าขนาดจริงในสนาม

การทดสอบแบบหมุนเหวี่ยงเข้ามามีบทบาทมากขึ้นในปัจจุบัน [1] เพราะสามารถศึกษาสภาพระดับแรงเค้น (Stress Level) ที่ควบคุมพฤติกรรมของดินได้โดยการจำลองด้วยดินปริมาณน้อยๆ ในห้องทดลอง เช่น ในการศึกษา พฤติกรรมการเลื่อนไถลตัวของคันดินถมสูง 10 เมตร ก็จะสามารถสร้างระดับ stress level หรือแรงกดทับเนื่องจากน้ำหนักตัวเองโดยการนำดินสูงแค่ 10 เซนติเมตรมาสร้างแบบจำลองขนาดเล็ก

และนำมาทดสอบในห้องทดลองได้ ทำให้ผลการทดสอบเกิดความคลาดเคลื่อนในระดับที่พอรับได้ นอกจากนี้ยังได้มีการพิสูจน์กันมาแล้วว่าผลของพฤติกรรมการรับน้ำหนักและรูปแบบการพังทลายยังสอดคล้องกับพฤติกรรมจริงที่จะเกิดขึ้นในสนาม รวมถึงสอดคล้องกับทฤษฎีทางปฐพีกลศาสตร์ที่ซึ่งมีการเรียนการสอนกันมา

การทดสอบดั้งเดิมในห้องทดลองทางเทคนิคธรณีทั่วไปจะทำการทดสอบคุณสมบัติดินเป็นชิ้นๆ ขนาดเล็กโดยไม่คำนึงถึงทั้งระบบปัญหา แต่การทดสอบด้วยเครื่อง centrifuge เป็นเทคนิคที่ใช้หลักการการจำลองแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifuge Modeling) เข้ามาช่วยในการจำลองโครงสร้างดิน ซึ่งเทคนิคนี้เป็นการทดสอบทั้งระบบปัญหา และเป็นการศึกษาที่ทันสมัยกว่าเดิม

การสร้างและพัฒนาเทคนิคการทดสอบโดยแบบจำลองโครงสร้างใต้ดินด้วยเครื่องทดสอบแบบหมุนเหวี่ยง เพื่อใช้ในการถ่ายทอดหลักการและทฤษฎีทางวิศวกรรมธรณีให้แก่นักศึกษาสำหรับการเรียนการสอนวิชาวิศวกรรมฐานรากทั้งระดับปริญญาตรีและระดับที่สูงกว่า จะช่วยให้สามารถเข้าใจถึงพฤติกรรมอย่างชัดเจนและน่าสนใจ ซึ่งเป็นการจำลองสภาพปัญหาในภาพรวมทั้งขั้นตอนการก่อสร้างและความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งก่อสร้างกับดิน อีกทั้งยังมีการจำลองพฤติกรรมของโครงสร้างใต้ดินพื้นฐานแบบต่างๆได้ เช่น การพังทลายของกำแพงกันดิน ฐานรากแบบตื้นและแบบเสาเข็ม ลาดดิน และอุโมงค์ใต้ดิน เป็นต้น

ในปัจจุบันการการเรียนการสอนในเนื้อหาวิชาทางวิศวกรรมปฐพีและวิศวกรรมฐานรากยังใช้รูปแบบการสอนด้วยการบรรยายในชั้นเรียนควบคู่กับสื่อการสอนที่แล้วแต่ผู้สอนจะเห็นว่าเหมาะสม ซึ่งบางครั้งนักเรียนก็ไม่สามารถเข้าใจในพฤติกรรมหรือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้อย่างถ่องแท้เนื่องจากไม่ได้เห็นจริง เช่น การพังทลายของเขื่อนดิน และการพังทลายขณะขุดดิน เป็นต้น ซึ่งสาเหตุดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดความเสียหายอย่างร้ายแรงเมื่อนักศึกษาต้องนำวิชาความรู้ที่ไม่ชัดเจนและลึกซึ้งออกไปประกอบอาชีพทางวิศวกรรมโยธา

ดังนั้นการที่นักศึกษาได้เห็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากพฤติกรรมของแบบจำลองย่อส่วน และพฤติกรรมของโครงสร้างใต้ดินดังกล่าวแล้วนั้น นักศึกษายังสามารถลงมือปฏิบัติการเพื่อสร้างสถานการณ์จำลองให้เกิดขึ้นกับโครงสร้างใต้ดินด้วยตัวเอง และสามารถแปลงค่าหรือพฤติกรรมเป็นค่าของโครงสร้างจริงได้อย่างถูกต้อง โดยหวังว่าผู้เรียนจะได้มองเห็นภาพรวมและความคิดรวบยอดของทฤษฎีจนเกิดความเข้าใจในหลักการและความเกี่ยวพันของกฎ สูตร ต่างๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดวัตถุประสงค์ของการวิจัยไว้ดังนี้

1.2.1 เพื่อพัฒนาชุดการทดลองพร้อมใบงาน ด้วยเทคนิคการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้วิธีหมุนเหวี่ยง (Centrifuge Modeling) สำหรับเรียนการสอนวิชาวิศวกรรมฐานราก ระดับปริญญาตรี

1.2.2 เพื่อศึกษาคุณภาพของใบงานชุดการทดลอง ด้วยเทคนิคการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้วิธีหมุนเหวี่ยง (Centrifuge Modeling)

1.2.3 เพื่อศึกษาผลการเรียนของผู้เรียนที่ได้เรียนจากชุดการทดลอง ด้วยเทคนิคการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้วิธีหมุนเหวี่ยง (Centrifuge Modeling)

1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย

ชุดการทดสอบด้วยเทคนิคการทดสอบแบบจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้วิธีหมุนเหวี่ยง มีประสิทธิภาพในเกณฑ์มาตรฐาน 80/80

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผู้วิจัยคาดว่าชุดการทดลองที่สร้างขึ้นนี้จะสามารถใช้เป็นต้นแบบในการนำเอาวิทยาการด้านเทคโนโลยีและเครื่องมือทดสอบแบบหมุนเหวี่ยงมาประยุกต์ใช้ในทางการศึกษาแก้ปัญหาทางการเรียนการสอนและวงการวิศวกรรมฐานรากได้เป็นอย่างดี รวมทั้งจะเกิดประโยชน์สำหรับผู้เรียนดังต่อไปนี้

1.4.1 ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาได้ลึกซึ้งขึ้น เป็นพื้นฐานที่ดีในการศึกษาเนื้อหาที่เกี่ยวข้องรวมถึงเนื้อหาในระดับที่สูงขึ้นทางด้านวิศวกรรมเทคนิคธรณี และวิศวกรรมฐานราก

1.4.2 ผู้เรียนเกิดความคงทนของความรู้ เนื่องจากได้ผ่านกระบวนการทดลองจากประสบการณ์ตรง สามารถประยุกต์หลักการเพื่อแก้ปัญหาและถ่ายโยงความรู้ไปสู่กระบวนการที่สูงขึ้นได้

1.4.3 ผู้เรียนเห็นภาพพจน์ของการเรียนการสอนได้เป็นรูปธรรมที่ชัดเจนขึ้นซึ่งในอดีตผู้สอนไม่สามารถแสดงให้เห็นได้

1.4.4 ชุดการทดสอบด้วยแบบจำลองดังกล่าวสามารถใช้เป็นต้นแบบของการจำลองพฤติกรรมโครงสร้างใต้ดินทางด้านการพัฒนาการเรียนการสอน ในระดับที่สูงขึ้นและสอดคล้องกับทฤษฎีของงานทางวิศวกรรมฐานรากได้

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

เพื่อให้ชุดทดลองของงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพ และให้ผลสัมฤทธิ์ที่แน่ชัดจึงได้กำหนดขอบเขตการวิจัยไว้ดังนี้

1.5.1 กลุ่มประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.5.1.1 ประชากร คือ นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา ที่ได้ผ่านการเรียนวิชา กลศาสตร์ของดิน และลงทะเบียนเรียนรายวิชาวิศวกรรมฐานราก ซึ่งเป็นวิชาในหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต ภาควิชาครุศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

1.5.1.2 กลุ่มตัวอย่าง คือ งานวิจัยนี้ใช้แบบเจาะจง เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านตารางการเรียนการสอนของภาควิชา และ เวลาในการเก็บข้อมูล จึงเจาะจงเลือกนักศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาครุศาสตร์โยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ชั้นปีที่ 4 จำนวน 18 คน มาดำเนินการทดลอง

1.5.2 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย

1.5.2.1 ตัวแปรต้น ได้แก่ ชุดการทดลอง ด้วยเทคนิคการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้วิธีหมุนเหวี่ยง (Centrifuge Modeling)

1.5.2.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ประสิทธิภาพของชุดการทดลอง ด้วยเทคนิคการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้วิธีหมุนเหวี่ยง (Centrifuge Modeling)

1.5.3 เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยนี้ เป็นการสร้างใบงานชุดทดลอง ด้วยเทคนิคการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้วิธีหมุนเหวี่ยง (Centrifuge Modeling) ซึ่งได้นำ เนื้อหาที่สอดคล้องกับวิชาวิศวกรรมฐานรากของนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี มาสร้างเป็นชุดทดลอง

พร้อมใบงาน โดยเนื้อหาที่นำ มาได้แบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ (1) กลุ่มเนื้อหากำแพงกันดินรับแรงดันด้านข้าง (2) กลุ่มเนื้อหาเสาเข็มสั้นรับแรงด้านข้าง และ (3) กลุ่มเนื้อหาการรับแรงดึงของสมอ

1.6 นิยามศัพท์

1.6.1 Geotechnical centrifuge เป็นเครื่องมือทดสอบแบบหมุนเหวี่ยง โดยการใช้หลักการเหวี่ยงตัวออกจากจุดศูนย์กลาง เพื่อเพิ่มแรงโน้มถ่วงและสามารถศึกษาพฤติกรรมของปัญหาแบบต่างๆได้จากแบบจำลอง

1.6.2 ชุดทดลองด้วยเทคนิคการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้วิธีหมุนเหวี่ยง (Centrifuge Modeling) หมายถึง รูปแบบการทดลองและใบงานการทดลองเพื่อเรียนรู้เนื้อหาวิชาวิศวกรรมฐานรากโดยใช้เทคนิคการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้วิธีหมุนเหวี่ยง ในการจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ ให้กับผู้เรียนได้แสดงพฤติกรรมการเรียนรู้แก้ปัญหา เพื่อพัฒนาความรู้ ความสามารถในเนื้อหาวิชา ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

1.6.3 ประสิทธิภาพของชุดทดลอง หมายถึง คุณภาพของชุดทดลองด้วยเทคนิคการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้วิธีหมุนเหวี่ยง (Centrifuge Modeling) อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 หรือมากกว่า

80 ตัวแรก หมายถึง ผลรวมของคะแนนนักศึกษาที่ได้จากแบบทดสอบระหว่างเรียน (Formative test) ทุกใบงาน นำมาหาค่าเฉลี่ยแล้วคิดเป็นอัตราร้อยละของคะแนนเต็มทั้งหมด

80 ตัวหลัง หมายถึง ผลรวมของคะแนนนักศึกษาจากแบบทดสอบหลังเรียน (Post test) นำมาหาค่าเฉลี่ยแล้วคิดเป็นอัตราร้อยละของ คะแนนเต็มแบบทดสอบหลังเรียน

1.6.4 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง การเปรียบเทียบผลคะแนนที่ได้จากการสอบของผู้เรียนหลังจาก (Post test) ที่เรียนด้วยชุดทดลองว่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือ ร้อยละ 80

1.6.5 การจำลองการทำงาน (Simulation) หมายถึง การจำลองปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นของโครงสร้างใต้ดินพื้นฐานแบบต่างๆ เพื่อศึกษาองค์ประกอบของ หลักการ กฎ และสูตร โดยใช้ใบงานชุดทดลองที่สร้างขึ้นเป็นเครื่องมือสำหรับให้ผู้เรียนดำเนินกิจกรรมการทดลองกับ เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge Modeling)

1.6.6 มิติที่สอดคล้องกันของแบบจำลอง (Similitude) หมายถึง การเปรียบเทียบปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นของการจำลองโครงสร้างใต้ดินที่ขนาดต่างกันแต่สภาพของการรับแรงเค้น (Stress Level) ที่ถูกควบคุมให้แสดงพฤติกรรมที่เท่ากัน

1.6.7 พฤติกรรมการเรียนรู้ด้วยตนเอง หมายถึง ความสามารถ ของผู้เรียนที่แสดง พฤติกรรมขณะปฏิบัติการทดลอง ตามขั้นตอนที่ได้กำหนดไว้ในใบงาน เพื่อเรียนรู้เนื้อหา ได้ตามวัตถุประสงค์หรือไม่ โดยพฤติกรรมปฏิบัติการทดลองนี้สามารถสังเกตได้จาก แบบสังเกตที่ได้สร้างขึ้นเฉพาะการวิจัยครั้งนี้

1.6.8 พัฒนาการเรียนรู้ หมายถึง ความสามารถของผู้เรียนที่พัฒนาขึ้นจากความรู้ที่มีอยู่ในเนื้อหาวิชาวิศวกรรมฐานราก อาทิ การพัฒนาความเข้าใจในการเห็นภาพรวมของปรากฏการณ์เกิดขึ้นในโครงสร้างใต้ดินของเสาเข็มที่ประกอบด้วย กฎ สูตร หลักการ การพัฒนาความสามารถในการจำแนกความแตกต่าง เมื่อปรากฏการณ์ได้รับผลกระทบจากพฤติกรรมการรับแรงดันที่มีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นต้น

1.6.9 แบบทดสอบระหว่างเรียน หมายถึง แบบทดสอบที่วัดความเข้าใจในเนื้อหาที่เรียนในแต่ละบทเรียน หรือ ใช้ทดสอบระหว่างเรียนของแต่ละใบงาน

1.6.10 แบบทดสอบหลังเรียน หมายถึง แบบทดสอบที่ใช้ทดสอบความสามารถตามวัตถุประสงค์ของการเรียนเมื่อเรียนครบทุกใบงาน

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องการศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และการศึกษาคุณภาพของชุดทดลอง ภายใต้เนื้อหาวิชาวิศวกรรมฐานรากโดยใช้ชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยงเข้ามาช่วยในการเรียนการสอนเพื่อพัฒนาความสามารถให้แก่ผู้เรียนโดยมีรายละเอียดการนำเสนอและลำดับหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 ความหมายและวัตถุประสงค์การสอนทดลอง

2.2 ประเภทและหลักการที่ใช้ในการเรียนการสอนแบบทดลอง

2.3 องค์ประกอบของระบบการสอนทดลองและกิจกรรมที่ใช้ในการทดลอง

2.4 การสร้างใบงานทดลอง

2.5 เนื้อหาที่ใช้ในการพัฒนาชุดทดลอง

2.6 การสร้างเครื่องมือในการวัดและประเมินผล

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายและวัตถุประสงค์ของการสอนทดลอง

จากความเจริญก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยี ที่มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงได้มีนักการศึกษาได้พยายามคิดวิธีการสอน และนำ เครื่องมือช่วยสอนประเภทต่าง ๆ ขึ้นมา เพื่อใช้ใน การเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพ จากการศึกษาพบว่า มีวิธีสอนแบบหนึ่ง คือวิธีการสอนทดลอง (Laboratory Method) เป็นวิธีหนึ่งในหลายวิธีที่นักการศึกษาพัฒนาขึ้น โดยสามารถนำ มาใช้ในการเรียนการสอนให้เกิดประโยชน์และพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถ ในเรื่อง ความรู้ความเข้าใจ การแก้ปัญหา การจำแนกความแตกต่าง และ การสรุปผลลัพธ์ ได้เป็นอย่างดี ซึ่งวิธีการสอนทดลองนี้มีนักการศึกษาได้ให้ความหมายไว้หลายท่าน ดังนี้

บุญชุม ศรีสะอาด [2] ได้ให้ความหมายของการสอนทดลองคือการสอนที่ผู้กระทำกิจกรรมการเรียนภายใต้การแนะนำช่วยเหลืออย่างใกล้ชิดโดยการทำการทดลองปฏิบัติโดยผ่านการสังเกตการณ์ทดลองสภาพที่ควบคุมไว้ ผู้เรียนมีความฉลาดในการใช้เครื่องมือในการทำงานรู้จักสังเกตหาข้อมูลจากสถานการณ์จริงและสามารถสรุปผลจากการศึกษาค้นพบได้ถูกต้อง

สุวัฒน์ นิยมค้า [3] ได้ให้ความหมายของการสอนการทดลองไว้ว่า เป็นการสำรวจค้นหาสิ่งที่เราไม่รู้มาก่อน ด้วยการใช้ทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์ที่สุด การสำรวจค้นหาข้อมูลนั้นอาจจะเป็นการสำรวจหามโนมติของสิ่งต่าง ๆ หลักการ กฎ สูตร ทฤษฎี วิธีการค้นหาอาจจะมีการตั้งสมมติฐาน หรือ

อาจจะไม่มีการตั้งสมมติฐานก็ได้ การค้นหานั้นอาจมีการทดลองแบบแบ่งเป็นกลุ่ม ควบคุมเปรียบเทียบ หรืออาจไม่มีกลุ่มควบคุมเปรียบเทียบก็ได้ แต่การทดลองทุกประเภทจะประกอบด้วยกิจกรรม 2 ขั้นตอน คือ กิจกรรมขั้นการออกแบบวงจร กับกิจกรรมขั้นปฏิบัติทดลอง

ชูศักดิ์ เปลี่ยนภู่ [4]. ได้ให้ความหมายของการสอนทดลอง (Laboratory Instruction) ไว้ว่า การทดลอง (Laboratory) เป็นการศึกษาโดยให้ผู้เรียน ได้มีโอกาสสัมผัส และได้รับประสบการณ์เกี่ยวกับการใช้เครื่องมือและวัสดุด้วยการลงมือปฏิบัติ เป็นงานที่ฝึกประสานงานระหว่างข้อมูลทางวิชาการในศาสตร์ความสามารถทางสมอง หรือความคิดกับประสาทสัมผัสต่างๆ (Co-ordination Between Mental and Perceptions) เป็นการให้ประสบการณ์หลายมิติที่พัฒนาความสามารถของมนุษย์หลายประการ สามารถกำหนดวัตถุประสงค์ของการสอนทดลองได้ดังต่อไปนี้

1. พัฒนาทางด้านทฤษฎี (Cognitive Abilities) ที่ได้จากการทดลอง มีดังต่อไปนี้

1.1 ขยายความรู้ที่ได้จากการเรียนในชั้นเรียน (ความรู้ในกฎ สูตร และการทำงานของเครื่องมือและอุปกรณ์)

1.2 เห็นความแตกต่างระหว่างทฤษฎีและปฏิบัติ (Theory Verification)

1.3 พัฒนาความสามารถในการพยากรณ์ผลลัพธ์

1.4 พัฒนาความสามารถในการประยุกต์หลักการต่าง ๆ

1.5 พัฒนาความสามารถในการอ้างอิง (Inference)

1.6 พัฒนาความสามารถในการสรุปผล (Generalization)

2. พัฒนาความสามารถเฉพาะตัวทางช่าง ประกอบด้วย

2.1 ความสามารถในการวัดและสังเกตปรากฏการณ์

2.2 ความสามารถในการสรุปผลจากการสังเกต จากการวัด และจากการทดลองได้อย่างถูกต้อง

2.3 ความสามารถในการสร้างระบบการแก้ไขปัญหาด้วยตัวเองและพัฒนาความมั่นใจในการแก้ปัญหา

2.4 พัฒนาความสามารถในการจัดระบบการเก็บและบันทึกข้อมูลที่เหมาะสม

2.5 พัฒนาทักษะการปฏิบัติ เช่นการติดตั้ง และดำเนินงานเกี่ยวกับเครื่องมือเครื่องจักร (Setting and Handing Equipment)

2.6 ความสามารถพัฒนาระบบวิธีการทดสอบ วิธีการวางแผนรวมทั้งความสามารถในการปรับ หรือแก้ไขแผนการทดลองให้เหมาะสมกับสถานการณ์

2.7 ความสามารถในการประมาณขนาดหรือปริมาณต่างๆ โดยไม่ต้องใช้เครื่องมือวัด (Judging Magnitude Without Actual Measurements)

2.8 สร้างพลังอำนาจในการตัดสินใจ

3. ความสามารถเกี่ยวกับเครื่องมือ และระบบการประสานงานอุตสาหกรรม ประกอบด้วย

3.1 สร้างความคุ้นเคยเกี่ยวกับ โครงสร้างการทำงานภายในเครื่องมือวัด วัสดุ และเทคนิคการปฏิบัติงานที่ใช้เครื่องมือในวิชาชีพ

3.2 สร้างความเข้าใจ (Realize) ในข้อจำกัดของเครื่องมือ และวัสดุ รวมทั้งพัฒนาความสามารถในการดัดแปลงแก้ไขงาน หรือวิธีการทำงานการใช้เครื่องมือในสถานการอื่นได้อย่างปลอดภัย

3.3 พัฒนาความสามารถในการเลือก เครื่องมือ อุปกรณ์ และวิธีการทดลองที่เหมาะสม

3.4 พัฒนาความสามรถในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ ในการค้นหาแหล่งผิดพลาดที่เกิดขึ้น และสามารถกำจัดข้อผิดพลาดเหล่านั้นได้ (Recognize Source of Error)

3.5 สร้างจิตสำนึกและความตระหนักในมาตรการของความปลอดภัยในการทำงานกลไกและเทคนิควิธีการสังเกต ตลอดจนสร้าง schemata ของระบบการทำงานตลอดจนวิธีการแก้ไขให้ผู้ปฏิบัติงาน อุปกรณ์เครื่องมือ และสิ่งแวดล้อมมีความปลอดภัย

4. พัฒนาความสามารถทางสังคม โดยเฉพาะการเรียนทางภาคปฏิบัติในห้องทดลอง ความสามารถดังกล่าวประกอบด้วย

4.1. พัฒนาความสามารถในการเขียนรายงาน เละความสามารถในการเผยแพร่ข้อมูลสู่สาธารณะได้

4.2. พัฒนาความสามารถในการแสดงออกของความต้องการ ความตั้งใจ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น และแสดงออกซึ่งความรู้ความสามารถที่มีอยู่

4.3. พัฒนาความสามารถในการทำงานเป็นทีมได้ ทั้งในลักษณะของผู้นำและสมาชิกของกลุ่มปฏิบัติการ

4.4. พัฒนาความสามารถในการติดต่อประสานงานกับบุคคลและองค์กรต่างๆ ได้

สรุปการสอนทดลองเป็นวิธีการสอนที่จัดรูปแบบประสบการณ์ให้ผู้เรียนได้รับโอกาสฝึกทักษะให้เกิดความสามารถทั้งทางสมองและทางร่างกายจากการนำความรู้ในทางภาคทฤษฎีไปสู่ภาคปฏิบัติเพื่อเป็นการพิสูจน์ข้อเท็จจริงสร้างความเข้าใจที่ถูกต้องและชัดเจนหรืออาจทำให้เกิดความรู้ใหม่จากปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในการทดลองที่แตกต่างไปจากทฤษฎีที่กล่าวไว้พร้อมทั้งเป็นการสร้างกิจนิสัยและทัศนคติที่ดีต่อวิชาชีพช่างอุตสาหกรรม

2.2 ประเภทและหลักการที่ในการจัดการเรียนการสอนแบบทดลอง

การศึกษาเรื่องการสอนทดลองที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย ซึ่งมีระบบงานแตกต่างไปจากการสอนทฤษฎีในชั้นเรียน ดังนั้นเพื่อให้เกิดผลดีต่องาน ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาถึงรูปแบบการสอนแบบทดลองโดยพบว่ามีหลักปรัชญาที่ใช้ในการจัดการเรียนการสอนแบบทดลองอยู่ 2 ปรัชญา [5] คือ

1. ปรัชญาที่ให้ความสำคัญของเนื้อหาเป็นหลัก (Subject Based Approach)
2. ปรัชญาที่ให้ความสำคัญของประสบการณ์เป็นหลัก (Unified Approach)

ทั้ง 2 ปรัชญานี้มีแนวทางปฏิบัติที่ต่างกัน ตรงกันข้าม ปรัชญาแรกเน้นในเรื่องความรู้ในเนื้อหาวิชาเป็นสำคัญ การทดลองเป็นส่วนประกอบที่ขยายความรู้ ส่วนปรัชญาหลัง มีความเชื่อว่าสาระสำคัญของเนื้อหานั้น มีแหล่งกำเนิดมาจากการปฏิบัติ การเรียนรู้ในชั้นเรียนเป็นเพียงส่วนขยายข้อมูลที่ได้จาการปฏิบัติให้กว้างขึ้น แนวคิดทั้งสองแบบนี้ จึงเป็นต้นกำเนิดวิธีการสอนทดลอง 2 แนวทาง

1. Traditional laboratory หรือ classroom centre เป็นการสอนแบบทดลองหลังการเรียนทฤษฎีเพื่อให้กิจกรรมของการสอนทดลองสนับสนุนหรือขยายการเรียนรู้ทฤษฎีในห้องเรียน
2. Laboratory centre เป็นการสอนทดลองก่อนการเรียนทฤษฎีทั้งนี้ก็เพื่อให้กิจกรรมในชั้นเรียนเป็นการขยายความรู้ที่ได้จาการทดลอง

รูปแบบของการสอนทดลอง [6] มีการแบ่งประเภทต่างกันตามวิธีการทดลองและวิธีการสอนแต่ละประเภทนั้นมีเอกลักษณ์ของตัวเอง มีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันพอที่จะจำแนกออกเป็น 5 รูปแบบคือ

1. การทดลองแบบค้นพบ (Discovery Type) เป็นการทดลองที่ออกแบบให้ผู้เรียนค้นหาข้อมูลบางอย่างด้วยตนเอง โดยมีข้อมูลเหล่านั้นจะเป็นคำตอบ เป็นวิธีการดำเนินงานเพื่อหาผลลัพธ์บางอย่างมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1 คุณลักษณะของการทดลองแบบค้นพบ การทดลองแบบค้นพบนี้มุ่งที่จะให้ผู้เรียนได้ศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่ได้จาการทดลองเพื่อหากฎเกณฑ์ เกี่ยวกับหลักการของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นหรือศึกษาการทำงานของอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ โดยอาศัยเครื่องมืออุปกรณ์และวัสดุทำการทดลองตามขั้นตอนที่เหมาะสม การจัดการทดลองประเภทนี้อาศัยหลักการของ discovery learning ตั้งแต่ full discovery โดยผู้เรียนอาศัยความสามารถของตนเองอย่างเต็มที่ในการค้นคว้าจนถึง guided discovery ซึ่งผู้เรียนจะต้องค้นคว้าภายใต้การควบคุมของครูอย่างใกล้ชิด structured discovery จึงเป็นการทดลองประเภทกลางๆที่อาศัยการแนะนำของผู้สอนประกอบกับข้อแนะนำในงานการทดลองนำทางสำหรับกรปฏิบัติข้อมูลที่ใช้สำหรับการทดลองประเภทนี้แบ่งออกเป็นส่วนต่างๆได้คือ ข้อมูลสำหรับการเริ่มต้นและข้อมูลที่ทำให้นักศึกษาคิดหาคำตอบเองในระหว่างการทดลองศึกษาปฏิบัติในขั้นสูงขึ้นไปอีก

1.2 ลักษณะเนื้อหาที่เหมาะสมในการทำกรทดลอง โดยเหตุที่วัตถุประสงค์ของการทดลองประเภทนี้ต้องส่งเสริมความรู้ทางทฤษฎีในเรื่องเกี่ยวกับ facts concept principle เพราะฉะนั้น เนื้อหาที่ใช้ในกรทดลองประเภทนี้จึงควรมีลักษณะต่อไปนี้คือ

1.2.1 เป็นเรื่องเกี่ยวกับกฎเกณฑ์ที่สำคัญแต่ไม่ควรเป็นเรื่องที่ซับซ้อนมากเกินไป

1.2.2 เป็นเรื่องที่ต้องอาศัยการประยุกต์ กฎเกณฑ์ค่อนข้างมาก

1.2.3 เป็นเรื่องที่มีความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์ทางปฏิบัติและผลลัพธ์ทางทฤษฎี

1.2.4 เป็นเรื่องที่สามารถพัฒนาความคิดได้

1.3 ข้อดีของการสอนทดลองแบบค้นพบ

1.3.1 ช่วยพัฒนาความสามารถในการค้นคว้าของผู้เรียน (Attitude of Enquiry) ในขอบเขตที่กำหนด

1.3.2 ช่วยให้เรียนมีความเข้าใจในหลัก การทฤษฎีได้ลึกซึ้งขึ้น

1.3.3 เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้นำความรู้เดิมออกมาใช้ในการค้นคว้าหาข้อเท็จจริง

1.3.4 เป็นการสร้างแรงจูงใจ (Reinforcement) สำหรับผู้ที่มีความรู้ดี

1.3.5 พัฒนาความสามารถในการทำงานตามระบบที่กำหนด

1.4 ข้อจำกัดของการสอนทดลองแบบค้นพบ

1.4.1 ในการควบคุมการทำงานของนักเรียนโดยเฉพาะบทบาทของครูในด้านการให้คำแนะนำ (Guidance Role)

1.4.2 ค่อนข้างมีปัญหาในการออกแบบที่เหมาะสมกับความรู้ของผู้เรียน

1.4.3 อาจมีปัญหาในการจำกัดของเขตความคิดของผู้เรียนโดยเฉพะนักเรียนที่เก่งซึ่งต้องถูกบังคับให้ทำตามรูปแบบ

1.4.4 อาจมีปัญหาในการจัดกลุ่มผู้เรียนให้เหมาะสมโดยเฉพาะกลุ่มนักเรียนที่มีความสามารถต่างกัน

2. การทดลองแบบสืบสวนสอบสวน (Investigation Type) เป็นการทดลองที่ออกแบบพัฒนาความสามารถสอบสวนเรื่องราวต่าง ๆ ความสามารถนี้เป็นความสามารถที่จำเป็นในงานอุตสาหกรรมต้องมีการสอบสวนการเกิดปัญหาต่าง ๆที่ทำให้เกิดความชำรุดหรือการ break down ของอุปกรณ์ การทดลองดังกล่าวมีรายละเอียดดังนี้

2.1 คุณลักษณะของการทดลองแบบสอบสืบสวนสอบสวน การทดลองประเภทนี้มุ่งที่จะพัฒนาความสามารถของการใช้เครื่องมือวัสดุและอุปกรณ์ในการทดลองเพื่อหาข้อมูลพิสูจน์ข้อสงสัยหรือพิสูจน์สมมุติฐานที่ตั้งไว้โดยปกติการทดลองประเภทนี้จะไม่ให้มูลเกี่ยวการดำเนินงานอย่างสมบูรณ์จะละทิ้งข้อมูลบางอย่างเพื่อเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้คิดและวางแผนดำเนินการทดลองเองในกรณีที่การสืบสวนนั้นลึกลับมากเกินที่ผู้เรียนจะค้นหาข้อมูลที่ได้ใบงานการทดลองก็จะได้ข้อมูล

บางอย่างซึ่งอาจเป็นส่วนประกอบของปัญหาและคำแนะนำในการดำเนินงานต่อไป ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการสืบสวนข้อเท็จจริงต่อไป

2.2 ลักษณะเนื้อหาที่เหมาะสมในการทำการทดลอง การทดลองประเภทนี้ไม่ได้เน้นเนื้อหาใดเนื้อหาหนึ่งโดยเฉพาะแต่อาจมุ่งพัฒนากระบวนการและความสามารถในการสอบสวนข้อมูลโดยอาศัยความรู้ในเนื้อหาต่างๆ มาพิจารณาประกอบการทดลองหาข้อมูลเพื่อแก้ปัญหาเนื้อหาที่น่าจะนำมาใช้สร้างการทดลอง ควรมีดังนี้คือ

2.2.1 เป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการหาคุณสมบัติของอุปกรณ์ เครื่องมือ ที่เกิดภายใต้ภาวการณ์ต่าง ๆ

2.2.2 เป็นเครื่องมือที่ต้องการศึกษาเหตุผลของการเกิดสภาวะปกติ (Fault) หรือเกิด break down ของเครื่องมือและอุปกรณ์

2.2.3 เป็นเรื่องของการตรวจค้นหาสิ่งที่ไม่ทราบค่าหรือไม่ทราบว่าเป็นอะไร (Identify Unknown Element) ทั้งนี้โดยการอาศัยพื้นฐานความรู้ที่มีอยู่วินิจฉัยผลที่ได้จากการทดลอง

2.3 ข้อดีของการทดลอง แบบสืบสวนสอบสวน

2.3.1 เป็นวิธีที่ช่วยกระตุ้นความสนใจและพัฒนาความคิดริเริ่มให้กับผู้เรียน

2.3.2 พัฒนาความสามารถในการเลือกใช้เครื่องมือได้อย่างถูกต้อง

2.3.3 พัฒนาความสามารถในการเซ็ตเครื่องมือและวงจรเพื่อการทดลองตลอดจนความสามารถในการใช้เครื่องมืออย่างมีประสิทธิภาพ

2.3.4 พัฒนาความสามารถในการหาข้อมูล ความสามารถในการแปลความหมายและสรุปผลจากข้อมูลที่ได้ในการทดลอง

2.3.5 พัฒนาความสามรถในการค้นหาสาเหตุ ของความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการทดลองตลอดจนแสวงหาวิธีการที่จะลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากขึ้นได้น้อยที่สุด

2.4 ข้อจำกัดของการทดลองแบบสืบสวนสอบสวน

2.4.1 ยากที่จะออกแบบการทดลองโดยเฉพาะยากต่อการจัดเนื้อหาให้เหมาะสมกับการทดลองประเภทนี้

2.4.2 ยากที่จะควบคุมให้ผู้เรียนที่ไม่สนใจหรือผู้ที่มีความรู้ไม่ดีพอทำการทดลองประเภทนี้ตามวัตถุประสงค์

2.4.3 ใช้เวลาในการทดลองมากอาจมีปัญหาในการจัดเครื่องมือและอุปกรณ์ให้กับผู้เรียน

2.4.4 มีความยุ่งยากในการประเมินผล

3. การทดลองแบบแก้ปัญหา (Problem-solving Type) การทดลองประเภทนี้เป็นการฝึกให้ผู้เรียนพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาด้วยวิธีทางวิทยาศาสตร์โดยอาศัยกิจกรรมการทดลองเป็น

เครื่องมือในการพัฒนา ปัญหาที่เกิดขึ้นสำหับการทดลองประเภทนี้ มักจะเกิดขึ้นในกระบวนการทำงาน (Working Operation) ของอุปกรณ์

3.1 คุณลักษณะการทดลองแบบการแก้ปัญหา การทดลองประเภทนี้มีจุดมุ่งหมายให้ผู้เรียนเกิดความสามารถในการพัฒนาระบบการแก้ปัญหาให้กับตัวเองตามวิธีทางวิทยาศาสตร์(Scientific Method) ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ คือ

3.1.1 กระบวนการของการวิเคราะห์หา

3.1.2 กรรมวิธีการตั้งสมมุติฐานสำหรับปัญหาที่พบ

3.1.3 การค้นหาวิธีการแก้ปัญหาในรูปแบบต่างๆ

3.1.4 ขบวนการหาข้อมูลสำหรับการแก้ปัญหา

3.1.5 การสรุปปัญหาวิธีการแก้ปัญหาและผลลัพธ์ของการแก้ปัญหา

ข้อมูลสำหรับการทดลองประเภทนี้จะมีการกำหนดชื่อปัญหาให้มีรายละเอียดของปัญหาที่พอเหมาะ คือ ไม่ยากจนเกินจนปิดโอกาสที่ผู้เรียนจะหาแนวทางแก้ปัญหาด้วยตนเอง และไม่น้อยจนเกินไปจนผู้เรียนขาดแนวทางที่จะปฏิบัติได้ต่อจากปัญหาและองค์ประกอบของปัญหาก็ควรที่จะเป็นข้อมูลที่ช่วยในการวางแผนแก้ปัญหา โดยผู้เรียนพยายามสร้างระบบการแก้ปัญหาหลายวิธีและพยายามคัดเลือกวิธีที่เหมาะสมอย่างมีระบบ

3.2 ลักษณะเนื้อหาที่เหมาะสมในการทำการทดลองแบบแก้ปัญหา

3.2.1 เป็นเรื่องที่เกี่ยวกับการหาจุกพกพร่องของวงจรหรืออุปกรณ์

3.2.2 เป็นเรื่องที่เกี่ยวกับการค้นหาวิธีการวัดหรือหรือตรวจสอบคุณภาพของวงจรอุปกรณ์และเครื่องมือที่มีความซับซ้อน

3.2.3 เป็นเรื่องของการหาคำตอบของปัญหาที่กำลังเผชิญอยู่

3.2.4 เป็นเรื่องที่เกี่ยวกับการค้นหาวิธีการที่ดีที่สุดสำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพของงานหรือของอุปกรณ์

3.2.5 เป็นปัญหาที่มีวิธีแก้ได้หลายวิธี

3.3 ข้อดีของการทดลองประเภทของการแก้ปัญหา

3.3.1 พัฒนาความสามารถในการออกแบบ การวางแผน และการดำเนินงานแก้ปัญหาตามที่ผู้เรียนได้กำหนดขึ้นเอง การทดลองเป็นการพัฒนาความสามารถขอผู้เรียนในระดับสูง

3.3.2 พัฒนาในการดำเนินการแก้ปัญหา

3.3.3 ส่งเสริมการทำงานร่วมกันในด้านความคิดและแรงงานเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น

3.3.4 เป็นการสร้างแรงจูงใจให้กับผู้เรียนเมื่อแก้ปัญหาที่สำเร็จ

3.3.5 พัฒนาความสามารถในการเขียนรายงาน

3.3.6 สามารถในการหาข้อผิดพลาด ขีดจำกัดของการดำเนินงานได้

3.4 ข้อจำกัดของการทดลองประเภทของการแก้ปัญหา

3.4.1 ผู้เรียนที่ไม่สนใจจะประสบปัญหาในการทำการทดลองประเภทนี้

3.4.2 ผู้สอนจะมีความสามารถแก้ปัญหาของผู้เรียนได้เมื่อพบผู้เรียนประสบปัญหาหรือเดินผิดทาง

3.4.3 จะต้องมีอุปกรณ์เครื่องมือและแหล่งข้อมูลที่เพียงพอ

3.4.4 ยากต่อความควบคุมให้ผู้เรียนทำตามวัตถุประสงค์และยากในการควบคุมระเบียบวินัย

4. การทดสอบแบบโครงงาน (Project Type) การทดลองประเภทนี้เป็นการพัฒนาความสามารถเบ็ดเสร็จในการทำงานตั้งแต่การวางแผนเริ่มงานครั้งแรก การจัดหาอุปกรณ์การวางแผนเริ่มงานครั้งแรก การจัดหาอุปกรการร่างแผนดำเนินงาน การร่วมมือในการทำงาน การปฏิบัติตามเงื่อนไขและวัตถุประสงค์ การตรวจสอบการเขียนรายงาน เป็นการทดลองที่ออกแบบยากที่จะให้ครอบคลุมจุดมุงหมายที่สามรถตรวจสอบผลลัพธ์ได้ทั้งหมด การทดลองมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ลักษณะการทดลองแบบโครงงาน งานทดลองประเภทนี้ มีลักษณะเปิดกว้างในรูปแบบของสถานการณ์จำลอง ที่ให้ผู้เรียนสร้างองค์ประกอบของความกว้างของเนื้อหาและขอบเขตของเวลาที่จำกัดภายใต้การควบคุมดูแลของผู้สอนแต่ละองค์ประกอบภายในยังเป็นงานที่มีขั้นตอนย่อยที่อยู่ในรูปแบบต่างๆ หลายรูปแบบ ตั้งแต่การทดลองแบบค้นพบจนถึงการทดลองแบบปัญหา การทดลองชนิดนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะให้ประสบการณ์หลายด้านกับผู้เรียน ตั้งแต่การเสาะแสวงหาข้อมูล ในลักษณะของการศึกษาและสำรวจภาวะงานที่ทำการออกแบบวงจรและทดลองเบื้องต้นในรูปแบบต่างๆ แล้วนำผลลัพธ์ของการทดลองนั้นมาประยุกต์ร่วมกันเป็นผลงานรวมที่มีความหมายในตัวเอง การทำการทดลองแบบโครงงานลักษณะนี้มีการดำเนินงานหลายรูปแบบตั้งแต่การสร้างดัดแปลงแก้ไขอาศัยเครื่องมือและเครื่องอำนวยความสะดวกที่มีอยู่จากการสอนทักษะและการสอนทดลองจนถึงปัญหาระดับสูง การทดลองแบบโครงงานนี้ต่างกับการเรียนภาคประยุกต์ (Application) หรือ (Research Project) ตรงที่ว่าการทดลองแบบโครงงานนั้นมีขอบเขตขนาดของงานที่เล็กและครอบคลุมเนื้อหาวิชาต่าง ๆที่แคบกว่า การทำรายงานของโครงงานใหญ่ การทดลองในรูปแบบของโครงงานลักษณะนี้ไม่ต้องใช้วิธีการเต็มรูปแบบเหมือนโครงงานใหญ่ อย่างไรก็ตามการทดลองโครงงานนี้ก็เป็นพื้นฐานนำไปสู่โครงงานที่ใหญ่ขึ้น

4.2 เนื้อหาวิชาที่เหมาะสมในการทำการทดลอง เนื่องจากการทำการทดลองประเภทนี้เป็นการทดลองที่กว้าง จึงอยากที่จะจำกัดลักษณะของเนื้อหาได้อย่างชัดเจนเท่าที่สำรวจพบพอมีหลักเกณฑ์พอสรุปได้คือ

4.2.1 เป็นเนื้อหาที่ประกอบด้วยหลักการมโนทัศหลายรูปแบบรวมกัน

4.2.2 หลักการและมโนทัศน์ มีความสัมพันธ์กันใกล้ชิดพอที่จะมีผลลัพธ์ในงานได้

4.2.3 ลักษณะของการทำงานต้องอาศัยทักษะหลายด้าน ทั้งทักษะทางด้านร่างกายและทักษะสมอง

4.2.4 เป็นเนื้อหาที่เกี่ยวกับศาสตร์หลายศาสตร์ด้วยแต่ไม่ควรเกินไปนัก

4.3 ข้อดีของการทดลองแบบโครงงาน

4.3.1 เป็นการพัฒนาทักษะของการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอน

4.3.2 เปิดโอกาสให้ผู้เรียนทำงานโดยเสรี และพัฒนาความสามารถในการเขียนรายงานจากขั้นตอนการทำงาน

4.3.3 ผู้เรียนจะทราบปัญหาและแก้ปัญหาต่างๆในการทำงานด้วยตนเองทำให้เกิดความเข้าใจเนื้อหาลึกซึ้ง

4.3.4 เป็นการพัฒนาความสามารถในการสร้างสรรค์และความมั่นใจในตนเอง

4.3.5 เป็นการพัฒนาความสามารถได้หลายระดับตั้งแต่ระดับต่ำสุดจนถึงสูงสุด

4.4 ข้อจำกัดของการทดลองแบบโครงงาน

4.4.1 ผู้เรียนจะต้องมีความรู้ความสามารถในเรื่องที่ทำเป็นอย่างดีมิฉะนั้นจะเกิดปัญหามาก

4.4.2 ผู้สอนจะต้องให้ความช่วยเหลือผู้เรียนที่อ่อนค้อนข้างมาก

4.4.3 การประเมินผลทำได้ยากผู้สอนจะต้องมีความใกล้ชิดกับผู้เรียนเพียงพอ

4.4.4 ต้องการแหล่งข้อมูลมากซึ่งยากต่อการจัดหา

4.4.5 ใช้เวลามาก ซึ่งยากต่อการจัดระบบการเรียนการสอน

4.4.6 ยากต่อการออกแบบการทดลองให้ทำโดยไม่ซ้ำกัน

5. การทดลองแบบปกติทั่วไป (Conventional Type) เป็นการทดลองที่ใช้กันโดยส่วนมาก มีขั้นตอนการทดลองเป็นไปตามขั้นตอนการนำเสนอเนื้อหา (Linear Sequence) มีวัตถุประสงค์ให้ผู้เรียนมีความรู้ในเนื้อหาทฤษฎีที่ลึกซึ้งขึ้น มีรายละเอียดดังนี้

5.1 คุณลักษณะของการทดลอง เป็นการทดลองที่ให้ข้อมูลในการปฏิบัติงานของนักศึกษาอย่างสมบูรณ์ ตั้งแต่การบอกให้ทราบวัตถุประสงค์ ขั้นตอนการปฏิบัติงาน การติดตั้งอุปกรณ์กรรมวิธีในการใช้เครื่องมือ ขั้นตอนการวัด และการสังเกต วิธีแสดงผลการวัด และการบันทึกข้อมูล ตลอดจนการสรุปผลที่ได้ การทดลองประเภทนี้มีจุดมุ่งหมายให้ผู้เรียน ได้รู้จักวิธีการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่เกิดขึ้น (Theory Verification) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรื่องที่เกี่ยวข้องกับกฎเกณฑ์และหลักการ หรือทฤษฎีบทต่างๆ ตลอดจนการสร้างความคุ้นเคยกับวิธีการทดลองต่างๆ

5.2 ลักษณะเนื้อหาที่เหมาะสมในการสร้างการทดลอง ในรูปแบบของ(Conventional Type) ได้แก่

5.2.1 เนื้อหาที่เป็นนามธรรม ต้องการการสมมติเหตุการณ์หรือการสร้างจินตนาการที่ซับซ้อน ยากต่อความเข้าใจ

5.2.2 เป็นเรื่องที่ต้องการแนะนำให้รู้จัก ระบบแผนกระบวนการทำงานอุตสาหกรรม มาตรฐานของอุปกรณ์ และมาตรฐานของผลผลิตงานอุตสาหกรรม

5.2.3 เป็นการศึกษาที่เกี่ยวกับพิกัดมาตรฐาน อัตราเสี่ยงต่อการเสียหายของอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ

5.3 ข้อดีของการทดลองแบบปกติ

5.3.1 การทดลองแบบการทดลองปกติที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการดำเนินงานที่ชัดเจน จะช่วยผู้ที่เรียนอ่อนในการทดลอง ประเภทนี้ได้มาก

5.3.2 สามารถใช้การทดลองประเภทนี้ แทนการสอนในชั้นเรียนได้ค่อนข้างมาก

5.3.3 ช่วยพัฒนาความสามารถในการทำงานตามแผนหรือตามระบบได้ดี

5.3.4 ง่ายต่อการวัดและประเมินผลการเรียน

5.3.5 ง่ายต่อการควบคุมการปฏิบัติ และการใช้วัสดุอุปกรณ์ของผู้เรียน

5.4 ข้อจำกัดของการทดลองแบบปกติ

5.4.1 ผู้เรียนขาดอิสระในการทำงานตามความนึกคิดของตัวเอง

5.4.2 มีขีดจำกัดสำหรับผู้เรียนในการสรุปผลลัพธ์ของการทดลอง

5.4.3 อาจขาดข้อมูลที่เป็นปัญหาท้าทายสำหรับนักเรียนที่เก่ง

จากการศึกษาการเรียนการสอนทดลองทั้ง 5 รูปแบบมีความแตกต่างกันในด้านของจุดมุ่งหมายทางการศึกษา วัตถุประสงค์ของการพัฒนาผู้เรียน กระบวนการปฏิบัติงานของผู้เรียนและลักษณะการควบคุมดูแลของผู้สอน สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกการทดลองแบบปกติ เนื่องจากรูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการทดลองมีการให้รายละเอียดที่ช่วยในการปฏิบัติการทดลองให้กับผู้เรียนได้มากช่วยลดปัญหาที่เป็นอุปสรรคในการดำเนินงานทำให้ผู้เรียนสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและเป็นระบบ รวมทั้งเนื้อหาในเรื่องของดิจิตอลประยุกต์มีระดับของความยากอยู่แล้วถ้านำไปสร้างเป็นการทดลองในรูปแบบอื่น จะทำให้ผู้เรียนอ่อนเกิดความลำบากในการเรียนไม่มีความเข้าใจในเนื้อหาเกิดความเบื่อหน่ายและไม่สามารถที่จะช่วยพัฒนาความสามารถได้

2.3 องค์ประกอบของระบบการสอนทดลอง และกิจกรรมที่ใช้ในการสอนทดลอง

การกำหนดกิจกรรมที่ช่วยพัฒนาความสามารถของผู้เรียนอันเกิดได้จากการเรียนในระบบการสอนทดลองเป็นสิ่งที่มีความสำคัญและเป็นวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ด้วยความตระหนักถึงสิ่งนี้ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษา

ในเรื่องดังกล่าว ซึ่ง สุวัฒน์ นิคมค้า [3] ได้กล่าวสรุปไว้ว่าการสอนเชิงทดลองวิธีใดก็ตามจะต้องประกอบด้วยประกอบ 4 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน ขั้นนี้เป็นการสร้างความสนใจในการทดลองใหม่ ขั้นตอนนี้จบลงที่ผู้เรียนทราบว่าจะทำการทดลองเรื่องอะไร เพื่อค้นหาอะไร

2. ขั้นสอนหรือขั้นสร้างความรู้ แบ่งย่อยออกเป็น

2.1 ขั้นอภิปรายก่อนการทดลอง เป็นขั้นวางแผนการทดลอง หรือออกแบบการทดลอง ซึ่งต้องมีการอภิปรายระหว่างครูกับนักเรียน เพื่อหาแนวทางแก้ปัญหาว่าจะทำอะไร และอย่างไร

2.2 ขั้นปฏิบัติการทดลอง เป็นขั้นที่นักเรียนทำการทดลองจริง ขณะที่นักเรียนทำการทดลองครูจะเข้าไปสังเกตการณ์ทำงานของกลุ่มต่างๆ เพื่อให้กำลังใจสอบถามในสิ่งที่เห็นว่าผิดปกติตอบคำถามที่นักเรียนสงสัยอยู่ ดูการติดตั้งเครื่องมือมีการบันทึกข้อบกพร่องระหว่างทำการทดลองของกลุ่มต่างๆ ขั้นตอนนี้จบลงที่นักเรียนได้มีการรวมข้อมูลและบันทึกผลข้อมูล

2.3 ขั้นอภิปรายหลังการทดลอง เป็นการเสนอข้อมูลมาพิจารณาหาความหมายเพื่อตอบคำถามของปัญหา ทักษะกระบวนการวิทยาสาสตร์ที่นำมาใช้ในขั้นนี้คือ ทักษะการจัดทำข้อมูล การสื่อความหมาย การตีความ และสรุป การอภิปรายผลผู้สอนจะต้องระมัดระวังในการตีความหมายและข้อสรุปเสียเอง ผลที่ได้ความมาจากนักเรียนกับนักเรียนหรือนักเรียนกับครู

3. ขั้นเสริมความรู้ความเข้าใจและการนำไปใช้ และการนำไปใช้เมื่อนักเรียนค้นพบความรู้ใหม่จากขั้นตอนอภิปลายผลแล้วครูไม่ควรหยุด แค่นี้ ควรจัดกิจกรรมที่ขยายความเข้าใจในความรู้ที่ได้มาให้กว้าลึกซึ่งยิ่งขึ้น เช่นครูให้ความรู้เพิ่มเติมที่เกี่ยวข้อง อภิปรายซักถามการนำความรู้ไปใช้และยกตัวอย่างประกอบหรือให้เอกสารเพิ่มเติม

4. ขั้นวัดและประเมินผลการเรียนรู้ เมื่อทำการทดลองเสร็จแล้วมีการสร้างความรู้ความเข้าใจแล้วต่อไปมีการวัดผลและประเมินผลซึ่งอาจทำได้หลายวิธีตั้งแต่การตั้งคำถามข้อเขียนสั้น การทำแบบฝึกหัดเป็นต้น

การสอนทดลอง [4] มีธรรมชาติของงานที่แตกต่างจากการสอนในชั้นเรียนโดยเฉพาะอย่างยิ่งบทบาทของผู้เรียน ในการสอนทดลองนั้นผู้เรียนเป็นผู้หาข้อมูลผู้สอนเพียงดูแลให้คำปรึกษา ข้อมูลใดๆ ที่ผู้สอนต้องการจะให้ผู้เรียนรับรู้นั้น ผู้สอนไม่ควรที่จะใช้การบอกเล่าโดยตรงเหมือนเช่นการสอนในชั้นเรียน แต่ควรให้ผู้เรียนได้ค้นคว้าหาข้อมูลดังกล่าวด้วยตัวเองทั้งนี้ด้วยการเตรียมการล่วงหน้า ในลักษณะที่เอื้ออำนวยให้นักศึกษาเรียนรู้จากคำแนะนำที่แฝงไว้ในใบงานทดลองหรือเอกสารอย่างอื่น

การเรียนการสอนระบบการทดลองเป็นการประกอบกิจกรรมที่สร้างปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมองกันสิ่งเร้าประสบการณ์หลายด้านสำหรับผู้เรียน ผู้สอนต้องควบคุมดูแลให้ผู้เรียนได้รับประโยชน์อย่างเต็มที่ จากกิจกรรมที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด การสอนทดลองทั่วไปมีกิจกรรมหลักพอสรุปได้ดังนี้

1. การวางแผนการทดลอง (Experimental Planning) การวางแผนเป็นกระบวนการทางความคิดที่ผู้ดำเนินการกิจกรรมล่วงหน้าเกี่ยวกับงานที่กระทำในอนาคต ตลอดจนกระบวนการที่เป็นกิจกรรมต่อเนื่องที่มีขั้นตอนการปฏิบัติงานในเวลาที่ต่างกันเพื่อให้บรรลุเป้าหมายซึ่งขั้นตอนหลักของการวางแผน ประกอบด้วยขั้นตอนต่อไปนี้

1.1 การตั้งสมมุติฐานในอนาคต

1.2 การกำหนดวัตถุประสงค์

1.3 การกำหนดวิธีการโดยสังเขปเพื่อให้ได้ผลตามวัตถุประสงค์

1.4 การกำหนดเป้าหมายในการทำงานในแต่ละระยะ

1.5 การกำหนดแผนปฏิบัติ

1.6 การหาวิธีการ และการดำเนินงานตามแผน

1.7 การกำหนดวิธีตรวจสอบ และประเมินผล

2. การวัด และสังเกตข้อมูล (Data Observe and Collection) การวัดและการสังเกตเป็นกิจกรรมที่ผู้ปฏิบัติต้องใช้สายตา หรือประสาทสัมผัสในการรับข้อมูลที่เกิดขึ้นในขณะทำการทดลอง การสร้างความไวในการรับรู้ให้สูงขึ้น เป็นความสามารถที่ฝึกฝนได้ในขณะศึกษาปรากฏการณ์ของศาสตร์ จากการที่ได้มีโอกาสสัมผัสเครื่องมือ อุปกรณ์ วัสดุ ที่เกี่ยวข้องกับงาน และได้สัมผัสขบวนการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ในงานทดลอง นอกจากนั้นยังเป็นการพัฒนาความสามารถในการสังเกต จดจำ และการเลือกรับรู้ในสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่องาน

3. การใช้เครื่องมือ (Instrument Handing) การใช้เครื่องมือเป็นกิจกรรมที่ให้โอกาสผู้เรียนในการทำความรู้จักเครื่องมือ อุปกรณ์ และวัสดุอย่างใกล้ชิด ในลักษณะของรูปร่าง การทำงาน และคุณสมบัติที่สำคัญ ทำให้ผู้เรียนเห็นคุณค่าของงาน คุณค่าของอุปกรณ์เครื่องมือ ซึ่งจะเป็นการช่วยพัฒนาให้ผู้เรียนมีความสามารถในการติดตั้งเครื่องมือ รู้จักคุณสมบัติที่สำคัญ รู้ขีดจำกัด รู้ข้อดีข้อเสียต่างๆของเครื่องมือ สามารถใช้เครื่องมือทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพรวมทั้งพัฒนาความสามารถในการเลือกใช้เครื่องมือให้เหมาะสมกับงาน นอกจากนั้นยังเป็นการสร้างกิจนิสัยที่ดีในการทำงาน ความสามารถในการประมาณค่าของสิ่งต่างๆที่อยู่รอบตัวอันจะนำไปสู่พัฒนาการความสามรถในการแก้ไขดัดแปลงสิ่งต่างๆให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. การบันทึกข้อมูล ในการทดลองมีปรากฏการณ์ต่างๆ เกิดขึ้นมากมาย ทั้งที่ปรากฏการณ์คาดหวังและปรากฏการณ์ที่ไม่ได้คาดหวังมาก่อน ผู้เรียนที่ได้รับปรากฏการณ์เหล่านี้เพียงพอ จะพัฒนาความสามารถในการเลือกรับรู้ในสิ่งที่เป็นประโยชน์สามารถเก็บข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็น เพื่อนำไปวิเคราะห์ และสรุปผลลัพธ์ตามกระบวนการวิทยาศาสตร์ได้

5. การวิเคราะห์ข้อผิดพลาด ข้อผิดพลาดมักจะเกิดขึ้นได้เสมอในงานปฏิบัติเกือบทุกประเภท โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานทดลองความผิดพลาดเกิดได้ทั้งในลักษณะที่คาดว่าจะเกิด หรือลักษณะที่คิดไม่ถึง ผู้เรียนจะต้องฝึกความสามารถไวในการเรียนรู้ความผิดปกติของสิ่งที่เกิดขึ้น พัฒนา

ความสามารถในการรับรู้ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น และพัฒนาความสามารถในการแก้ไขสถานการณ์ โดยอาศัยหลักการทางทฤษฎีต่างๆ ที่นำมาแก้ไขสถานการณ์ เพื่อให้การทดลองดำเนินต่อไป

6. การจัดระบบการทำงาน การสอนทดลองเป็นวิธีการที่ช่วยให้ผู้เรียนขบวนการของงานอุตสาหกรรม ในเรื่องของระบบจัดการเกี่ยวกับเครื่องมือ และวัสดุ และขบวนการบริหารจัดการเกี่ยวกับบุคคล และสิ่งแวดล้อมในงานอุตสาหกรรม การฝึกให้ผู้เรียนรู้จักการทำงานตามกฎเกณฑ์หรือตามขั้นตอนที่กำหนดเป็นเรื่องสำคัญมากที่สามารถฝึกฝนได้กระบานการสอนภาคปฏิบัติ

7. การทำงานเป็นกลุ่ม ธรรมชาติของงานศึกษาทดลองนั้นไม่อยู่ที่การให้ได้มาซึ่งผลลัพธ์ของการทดลองอย่างเดียวแต่อยู่ที่การฝึกให้ผู้เรียนรู้จักหน้าที่ตามบทบาทของการร่วมมือกันทั้งในลักษณะผู้นำ และผู้ตาม การได้ทำงานกันเป็นกลุ่มร่วมกันแสดงความคิดเห็นในการพิจารณาผลลัพธ์ที่ปรากฏจากการทดลองได้ถูกต้องซึ่งเป็นเป้าหมายสำคัญของกิจกรรมนี้

8. การเสนอรายงาน เป็นการฝึกให้ผู้เรียนพัฒนาความสามารถในการติดต่อสื่อสารในสังคมได้ด้วยการแสดงให้ผู้อื่นทราบผลของการดำเนินงานของตนให้เป็นที่เข้าใจของผู้อื่นอย่างมีระบบ และมีลักษณะเป็นวิชาการ ทั้งในรูปบแบบของวาจา และลายลักอักษร

9. การประเมินผลการทดลอง เป็นกิจกรรมที่ผู้เรียน และผู้สอนต้องสำรวจด้วยตัวเอง ภายใต้หัวข้อที่กำหนดให้มีความรู้สึกในเรื่องประโยชน์ที่ควรได้รับจากการเรียน และการสอนด้วยการเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้รับกับการลงทุน โดยสามารถจำแนกการประเมินดังนี้

9.1 การประเมินสำหรับผู้เรียน

9.1.1 ความรู้ในเนื้อหาวิชา เป็นการสำรวจข้อมูล หรือความรู้ที่ได้รับเพิ่มเติม

9.1.2 ทักษะในการทดลอง สำรวจจำนวนขั้นตอนของการทดลอง และผลที่ได้

9.1.3 เวลาที่ใช้ในการทำงานแต่ละขั้นตอน

9.2 การประเมินสำหรับผู้สอน

9.2.1 ความรู้ที่ผู้เรียนที่ได้รับจากการรายงานการทดลอง จากการควบคุมการทดลอง การเปรียบเทียบ เนื้อหาวิชา วัตถุประสงค์ และใบงานทดลอง

9.2.2 เวลาที่ใช้กับผลที่ได้รับ การลงทุนค่าใช้จ่ายในการทดลองแต่ละครั้ง

2.4 การสร้างใบงานการทดลอง

2.4.1 ความหมายของใบงานการทดลอง

ใบงานที่ใช้สำหรับการเรียนทดลองร่วมกับชุดทดลองการการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคหมุนเหวี่ยง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาหลักการพัฒนาและการสร้างใบงาน เพื่อทำการสร้างใบงานมาใช้เป็นเอกสารให้ผู้เรียนเป็นผู้ปฏิบัติงานตามลำดับขั้นตอนที่กำหนดตามการอธิบายความหมายของชุศักดิ์ เปลี่ยนภู่ [7]

ที่กล่าวว่าใบงานการทดลอง (Laboratory Sheet) หมายถึงเอกสารที่ใช้เป็นคำสั่งให้ปฏิบัติงาน หรือเป็นคำแนะนำให้ผู้เรียนให้สามารถดำเนินการทดลองให้เป็นไปตามจุดมุ่งหมายที่กำหนดไว้ใบงานที่ใช้กันอยู่ในสถาบันการศึกษา จะมีทั้งใบงานที่ผู้สอนสร้างขึ้นมาใช้เอง และประเภทใบงานที่ผลิตโดยบริษัทผู้สร้างอุปกรณ์สำหรับการทดลองโดยเฉพาะ หรือจากผู้ผลิตตำราเอกสารการสอนเป็นอาชีพ

2.4.2 การใช้ใบงานการทดลองในการศึกษา

ใบงานที่ใช้ในการฝึกทดลองนั้น เป็นเอกสารที่ผู้เรียนเป็นผู้ที่ปฏิบัติตามขั้นตอนที่กำหนด อย่างไรก็ตามใบงานทดลองนั้นนอกจากมีใบงานแล้ว ยังต้องอาศัยตัวครูเป็นผู้ดูแลทั่วถึง เพราะฉะนั้นการปฏิบัติสัมพันธ์ที่ใกล้ชิดระหว่างผู้เรียนและผู้สอนจึงเป็นกระบวนการสำคัญที่จะทำให้การทดลองนั้นสำเร็จหรือล้มเหลวได้

2.4.3 องค์ประกอบภายในของใบงานทดลอง

ใบงานทดลองมีรูปแบบแตกต่างกัน ไปตามแผนของสถาบันแต่ละแห่ง โดยทั่วไปแล้วลักษณะรูปแบบของใบงานนั้นจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ ของการพัฒนาพฤติกรรมของผู้เรียน ประสบการณ์เดิมของผู้เรียนและธรรมชาติการทดลองแต่ละชนิด วัตถุประสงค์ของการสร้างใบงานทดลองนั้นอาจจะสร้างขึ้นเพื่อสอนให้ผู้เรียนรู้จักวิธีการทำงานของเครื่องมืออุปกรณ์ หรือการบวนการทำงานของงานอุตสาหกรรม อย่างใดอย่างหนึ่งโดยเฉพาะ ในบางครั้งผู้สอนอาจใช้ใบงานเพื่อการขยายความรู้ในลักษณะของการพัฒนาความคิดรวบยอด และหลักการ (Concept and Principle Formation) ตามกระบวนการของ (Knowledge Constructed) ผู้สอนบางคนต้องพัฒนาความสามารถของการแก้ปัญหาโดยอาศัยผู้สอนทดลองร่วมกับการสอนทฤษฎีก็ได้

รูปแบบของใบงานทดลองนี้มีอยู่ 3 แบบ คือ

1. แบบให้ข้อมูลในการดำเนินงานทดลองด้วย (Experimental Format)
2. แบบมอบหมายให้ทดลองตามคำสั่ง (Assignment Format)
3. แบบโครงการอิสระ (Project Format)

ข้อมูลที่ใช้ในใบงานทดลองนั้นมีหลายลักษณะ ตั้งแต่ข้อมูลที่อยู่ในลักษณะที่เป็นคำสั่งให้ปฏิบัติงานโดยตรง ข้อมูลในลักษณะที่เป็นคำถามให้คิดเพื่อหาคำตอบเอง จนถึงข้อมูลในลักษณะการบอกเล่าที่ให้เห็นแง่คิดบางประการ การนำเสนอลักษณะต่างเหล่านี้มาใช้ในใบงานขึ้นอยู่กับชนิดของการทดลองตามธรรมชาติของเนื้อหาวิชา และตามจุดประสงค์ของการวางแผนสร้างใบงานทดลองโดยทั่วไปแล้วข้อมูลดังกล่าวจะมีรายละเอียดดังนี้คือ

2.4.3.1 ข้อมูลนำการทดลอง (Introduction Information)

ข้อมูลที่แจ้งให้ผู้เรียนทราบเรื่องๆทั่วไป ในการปฏิบัติงานของการทดลองแต่ละเรื่องข้อมูลเหล่านั้นได้แก่

1. วัตถุประสงค์ของการทดลองควรจะควบคุมความสามารถตามพิสัย (Domains) ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ประกอบด้วยวัตถุประสงค์ทั่วไป และวัตถุประสงค์เฉพาะที่จะสนับสนุนกัน

2. ความจำเป็น และขอบเขตของการทดลอง (Need and Scope of The Experiment) เป็นข้อมูลที่แสดงเหตุผลและประโยชน์ของการฝึกทดลอง ซึ่งทำให้ผู้เรียนมองเห็นความสำคัญของงานที่กำลังทำการปฏิบัติและเกิดแรงจูงใจในการทำงาน

3. การวางแผนงาน (Planning and Organizing) คือข้อมูลที่ช่วยให้ผู้เรียนได้อาศัยหลักการวางแผนดำเนินงานในข้อมูลเหล่านี้ ซึ่งอาจจะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการทดลองเกี่ยวกับเครื่องมือและอุปกรณ์รวมทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลอง ความรู้ที่ควรมีก่อนเรียน (Entry Behavior) ควรระบุให้ชัดเจนว่า ผู้ที่จะปฏิบัติงานที่กำหนดได้นั้น จะต้องมีความรู้ความสามารถหรือประสบการณ์อย่างใดมาก่อน และความรู้ในเนื้อหาวิชา เป็นข้อมูลที่อ้างถึงหลักการหรือทฤษฎีที่ผู้เรียนได้ผ่านการเรียนมาแล้วในลักษณะของการสรุปประเด็นสำคัญและการชี้ประเด็นของปัญหาทางทฤษฎีในเชิงวิเคราะห์ ให้เห็นจุดสำคัญที่ทำการทดลอง

2.4.3.2 ข้อมูลสำหรับการดำเนินงาน (Procedural Information)

ข้อมูลที่ช่วยให้ผู้เรียนสามารถดำเนินงานตามขั้นตอนที่เหมาะสม หรือตามที่กำหนดให้ในงานแต่ละเรื่องได้ง่ายขึ้น และมีประสิทธิภาพ ข้อมูลดังกล่าวสามารถแยกออกได้เป็นดังนี้คือ

1. คำแนะนำเกี่ยวกับการปฏิบัติงาน (Manipulative Process) เป็นคำสั่งหรือคำแนะนำในการลงมือปฏิบัติจริง ประกอบด้วยข้อมูลเกี่ยวกับการวางแผนการทดลอง (Experimental Planning) การเลือกใช้เครื่องมือ ข้อมูลในขั้นนี้อาจเป็นรูปของคำสั่งให้ปฏิบัติ หรือให้แนวคิดในการทดลอง

2. คำแนะนำในการเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collection Process) ช่วยให้ผู้เรียนพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้จาการทดลอง เป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการรวบรวมผลลัพธ์ที่ได้ collection process ด้วยวิธีการสังเกต (Observation) การปรับแต่งเครื่องมืออุปกรณ์ หรือเครื่องมือตั้งค่าการวัด เพื่อหาผลลัพธ์ของการทดลองที่เหมาะสม และบันทึกข้อมูลที่ได้อย่างมีระบบ

2.4.3.3 ข้อมูลในการสรุปผลลัพธ์และรายงานผล (Conclusion and Report Guiding Information)

ข้อมูลในลักษณะเป็นคำสั่ง หรือคำแนะนำให้ผู้เรียนแสดงผลลัพธ์ได้อย่างมีระบบ และสามารถสรุปผลของการทดลองได้ตามรูปแบบที่เหมาะสม ข้อมูลดังกล่าวควรประกอบด้วย

1. ข้อมูลที่ช่วยในการเสนอข้อมูล (Presentation of Data) เป็นขั้นเสนอผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองในรูปลักษณะของเอกสารการรายงาน โดยการจัดทำข้อมูลเป็นกลุ่มของข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันอาจจะทำในลักษณะตัวเลข หรือในรูปแบบของกราฟต่าง ๆ

2. ข้อมูลที่ช่วยในการแปรความหมายข้อมูล (Interpretation of Data) ใบงานควรให้ข้อมูลนำสำหรับผู้ปฏิบัติในการจับประเด็นสำคัญของข้อมูล วิธีการสรุปผลจากกลุ่มของข้อมูลที่มีอยู่ การเลือกตัวแปรและการคำนวณผลลัพธ์จากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

3. ข้อมูลที่ได้จากการอ้างอิงหลักการ (Reference of Data) เป็นขั้นตอนการเขียนรายงานโดยอาศัยทฤษฎี และหลักการต่าง ๆ อ้างอิงในลักษณะของการสรุปผลของการค้นพบ (Generalization of Finding) การเอาผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้งาน (Implication of Finding) การพยากรณ์ผลที่อาจเกิดขึ้นจากสิ่งอื่น (Prediction Behavior of Other Material) การประเมินผลการทดลอง (Critical Appraisal of Experimental Procedure and Finding) ใบงานที่ดีควรจะมีข้อมูลจะให้ข้อมูลด้วยการเสนอแนะ หรือการตั้งคำถามเพื่อนำทางให้ผู้ปฏิบัติสามารถหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องมาสนับสนุนผลลัพธ์ในการเขียนรายงานที่ถูกต้อง

2.4.3.4 ข้อมูลสำหรับการประเมินผล (Evaluation Information)
ข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบความรู้ ความสามารถและความเข้าใจในเรื่องที่ผู้เรียนได้ปฏิบัติงานเป็นลักษณะของคำถามที่แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. คำถามในเนื้อหาการทดลอง (Assessment Question) คือข้อมูลที่เป็นคำถามในเรื่องที่เกี่ยวกับงานที่ได้ปฏิบัติ โดยเฉพาะเรื่องของเหตุผลในการทำงานแต่ละขั้นตอน

2. คำถามสรุป (Critical Question) เป็นคำถามที่ถามในเรื่องที่ไกลออกไปจากงานที่ได้ปฏิบัติเป็นการประเมินความสามารถในการมองเห็นภาพรวมของเครื่องมือ (Generalize) ที่ทำทั้งหมดและสามารถนำความรู้ ความสามารถที่ได้จากการทดลองนั้นไปใช้งานอื่นได้

2.4.4 ขั้นตอนในการสร้างใบงานทดลอง

การสร้างใบงานทดลองมีขั้นตอนใหญ่ ๆ 2 ตอน คือ ขั้นตอนการศึกษาสำรวจข้อมูล และขั้นตอนการสร้างใบงานการทดลองซึ่งแต่ละขั้นมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ [8]

2.4.3.1 การกำหนดชื่อเรื่องของการทดลอง ชื่อของการทดลองควรจะสื่อความหมายเร้าความสนใจสามารถบอกขอบเขตความกว้างและความลึกของเนื้อหา ที่เกี่ยวข้องกับงานทดลองได้ และมีความรัดกุมพอสมควร

2.4.3.2 การศึกษารายละเอียดของเนื้อหาในการทดลองซึ่งเกี่ยวกับเรื่องใดก็ตามผู้สร้างใบงานทดลองควรทราบรายละเอียดเกี่ยวกับเนื้อหาเป็นอย่างดี การศึกษารายละเอียดของเนื้อหาในเชิงวิเคราะห์ และเขียนออกมาเป็นภาษาเขียนจะทำให้ผู้สร้างมองเห็นความสัมพันธ์ของความคิดรวบยอด (Concept) ภายในเนื้อหา

เหล่านั้นเป็นอย่างดี และมองเห็นขั้นตอนของการทดลองที่ควรจะเป็นได้อย่างชัดเจนจนสามารถกำหนดจุดสำคัญของการสอน (Teaching Point)ที่เหมาะสมได้

2.4.3.3 การกำหนดวัตถุประสงค์ จากการศึกษาวิเคราะห์เนื้อหาการทดลองจะช่วยในการสร้างใบงานการทดลองและสามารถกำหนดวัตถุประสงค์ของการทดลองได้อย่างเหมาะสม

2.4.3.4 การกำหนดขั้นตอนของการทดลอง ผู้สร้างใบงานทดลองจะต้องพิจารณาวิธีการทดลองที่เหมาะสมกับเนื้อหาโดยพิจารณาจากประสบการณ์ของผู้สร้างใบงานเอง การทดลองในใบงานหนึ่ง ๆ นั้นอาจจะมีวิธีการเป็นขั้นตอนได้หลายวิธี ผู้สร้างจะต้องเลือกวิธีการที่เหมาะสมที่สุดที่คิดว่าผู้เรียนจะได้รับการเรียนรู้ และพัฒนาความสามารถได้ดีและเร็วที่สุดและกำหนดขั้นตอนของวิธีนั้นให้ชัดลงในใบงานทดลอง

2.4.3.5 การวิเคราะห์งาน (Task Analysis) หมายถึงการเอารายละเอียดของงานมาพิจารณาเพื่อหาองค์ประกอบด้านคุณสมบัติผู้เรียน ชนิดของการเรียน เงื่อนไขหรืออุปสรรคของการทำงานเพื่อช่วยให้การทำงานได้ผล ในการนำเอาขั้นตอนของการดำเนินงานมาพิจารณาองค์ประกอบของความสามารถ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้สามารถจัดตารางในการวิเคราะห์ได้ดังในตารางในการวิเคราะห์ได้ ดังในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างตารางการวิเคราะห์งาน (Task Analysis)

ชื่อเรื่อง (Topic).....

ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	วัตถุประสงค์	เครื่องมือและอุปกรณ์	ลักษณะงาน	ความรู้	ทักษะ
Operation ที่ 1					
1.	1.....	1.....	1.....	1.....	1.....
2.	2.....	2.....	2.....	2.....	2.....
3.	3.....	3.....	3.....	3.....	3.....
Operation ที่ 2					
1.....	1.....	1.....	1……..	1…….	1.....
2.....	2.....	2.....	2……..	2……...	2.....
3.....	3.....	3.....	3……..	3……...	3.....

จากตารางการวิเคราะห์งานที่จะสามารถพิจารณาวิเคราะห์รายละเอียดภายในได้ดังนี้

1. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน เป็นการพิจารณาขั้นตอนที่มีความสำคัญ และจำเป็นจะต้องมีในใบงานทดลองควรมีขั้นตอนอย่างไรบ้าง โดยในใบงานหนึ่งอาจจำแนกขั้นตอนออกไปตามกลุ่มงาน (Operation) ซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับเนื้อหาสาระของเรื่องที่ทำใบงานนั้นๆ

2. วัตถุประสงค์ เป็นการพิจารณากำหนดวัตถุประสงค์ในการปฏิบัติงานแต่ละกลุ่มงาน (Operation) ว่าในการปฏิบัติงานกลุ่มนี้เพื่อวัตถุประสงค์อะไร

3. เครื่องมือและอุปกรณ์ เป็นการพิจารณารายการของเครื่องมือ และอุปกรณ์ตลอดจนวัสดุที่จำเป็นที่ต้องใช้กลุ่มงาน (Operation)

4. ลักษณะงาน เป็นการจำแนกลักษณะของงาน ว่าเป็นลักษณะงานที่ต้องใช้ความสามารถทางสมอง (Cognitive Task) หรือความสามารถทางกาย (Action Task) ซึ่งจะใช้ในการพิจารณาความรู้และทักษะที่เกี่ยวข้องต่อไป

5. ความรู้และทักษะเป็นการพิจารณาหาความรู้ และทักษะที่เกี่ยวข้องการปฏิบัติงานทดลองทุกขั้นตอน โดยพิจารณาจากลักษณะของงานที่จำแนกไว้ว่าส่วนใดเป็นความรู้และส่วนใดเป็นทักษะ

2.4.3.6 ขั้นสร้างใบงานทดลอง การสร้างใบงานทดลอง คือ การนำเอาข้อมูลที่ได้ศึกษาวิเคราะห์มาแล้วจัดรวมกันตามหมวดหมู่ ภายใต้หัวเรื่องที่เหมาะสมทั้งนี้เพื่อเป็นข้อมูลแนะนำผู้ปฏิบัติงานให้สามารถดำเนินการทดลองได้ตามวิถีทางที่กำหนด สามารถที่จะดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. การตั้งชื่อใบงาน (Lab - Sheet)
   - ก. การศึกษารายละเอียดของเนื้อหา
   - ข. การกำหนดชื่อการทดลอง
   - ค. การจำกัดขอบเขตของชื่อการทดลอง
2. การออกแบบชุดการทดลอง
   - ก. List parameter ที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง
   - ข. กำหนดอุปกรณ์, เครื่องมือ, และวัสดุที่ใช้
   - ค. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของชุดการทดลอง
3. การตั้งวัตถุประสงค์ของการทดลอง (Primary Objective)
   - ก. การพิจารณา Parameter
   - ข. การกำหนดสมมติฐาน
   - ค. การพิจารณาพฤติกรรม
4. การกำหนดกลุ่มงาน (Operation)
   - ก. การเขียนคำอธิบายลักษณะของกลุ่มงาน (Operation Description)
   - ข. การกำหนดลักษณะของงาน (Task)

ค. การเขียนคำอธิบายลักษณะของงาน (Task Description)

5. การกำหนดเครื่องมืออุปกรณ์
6. การกำหนดวัตถุประสงค์ของกลุ่มงาน (Operation)
7. การวิเคราะห์วัตถุประสงค์
8. การกำหนดความรู้
9. การกำหนดทักษะ
10. การพิจารณาขั้นตอนของการทดลอง
11. การพิจารณาเครื่องมือ, อุปกรณ์ที่ใช้
12. การพิจารณารวบรวมวัตถุประสงค์ของกลุ่มงาน (Operation)
13. การพิจารณาความรู้ (Knowledge) ที่เกี่ยวข้อง
14. การพิจารณาทักษะ (Skill) ที่เกี่ยวข้อง
15. การพิจารณาวัตถุประสงค์ของใบงาน
16. การเขียนข้อมูลสำหรับดำเนินการ (Procedural Information)
17. การเขียนข้อมูลสำหรับสรุปผลลัพธ์ (Conclusion Information)
18. การเขียนข้อมูลสำหรับการประเมินผล (Assessment Information)
19. การเขียนข้อมูลพื้นฐานสำหรับการทดลอง (Background Information)
20. การเขียนข้อมูลทั่วไป (Introductory Information)

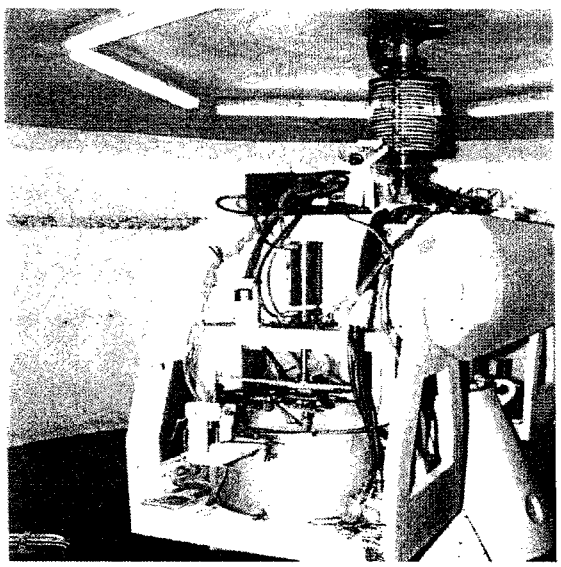
ขั้นตอนที่ 3 ถึง ขั้นตอนที่ 9 เป็นขั้นตอนของการวิเคราะห์งาน
ขั้นตอนที่ 10 ถึง ขั้นตอนที่ 15 เป็นขั้นตอนของการสรุปผลการวิเคราะห์งาน
ขั้นตอนที่ 16 ถึง ขั้นตอนที่ 20 เป็นขั้นตอนของการพัฒนาข้อมูลในใบงาน (Lab - sheet)

2.5 เนื้อหาที่ใช้ในการพัฒนาชุดทดลอง

2.5.1 หลักการพื้นฐานของการจำลองแบบหมุนเหวี่ยง

ธนาดล คงสมบูรณ์ [9] ได้กล่าวไว้ว่าเทคนิคการทดสอบด้วยแบบจำลอง centrifugeได้ถูกนำมาใช้ในงานวิจัย ศึกษาค้นคว้ากันแพร่หลายในสถาบันต่างๆทั่วโลก ซึ่งถึงเวลาแล้วที่เทคโนโลยีการทดสอบด้วยแบบจำลอง centrifuge นี้ ควรเป็นสิ่งที่วิศวกรไทยควรต้องศึกษาและส่งผ่านประสบการณ์ เพื่อตอบรับการพัฒนาทั้งด้านงานศึกษาวิจัยและช่วยเสริมความแม่นยำในการทำแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่มีอยู่แล้ว และตรวจสอบกับผลการตรวจวัดที่ได้จากการก่อสร้างจริงได้อีกด้วย

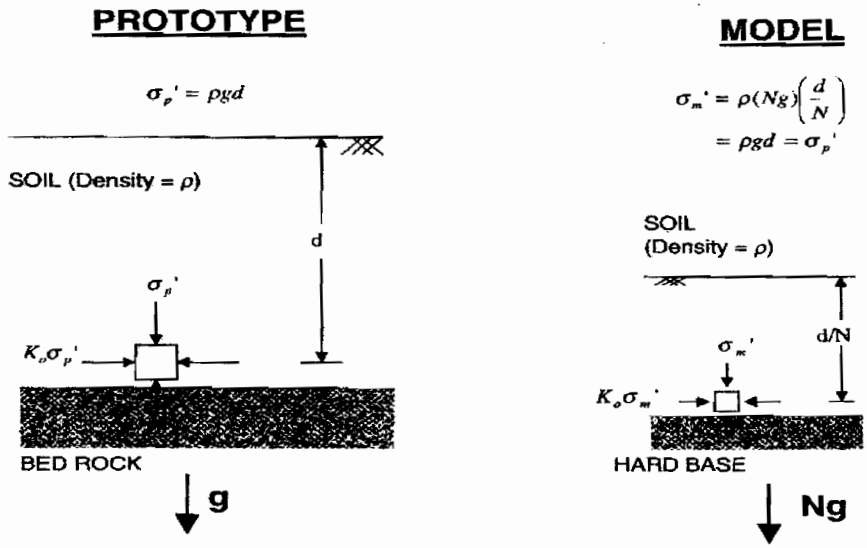
เนื่องจากแนวโน้มการศึกษาพฤติกรรมต่างๆทางวิศวกรรมมีแนวโน้มที่จะมีความซับซ้อนมากขึ้นเรื่อยๆ ถึงแม้ว่าการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง finite element จะได้รับการพัฒนาอยู่ในขั้นสูงแล้วก็ตาม แต่ผลการวิเคราะห์อาจจะไม่ถูกต้องแม่นยำเสมอไปด้วยข้อจำกัดของพารามิเตอร์และสภาวะแวดล้อมภายใต้สมมติฐานที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมา ซึ่งในกรณีนี้การเปรียบเทียบวัดจากการสร้างแบบทดสอบเท่าขนาดจริงในสนามจะเป็นวิธีที่ดีที่สุดที่จะตรวจสอบพฤติกรรมและความถูกต้องของสมมติฐานบนแบบจำลอง finite element เพื่อให้ได้ทฤษฎีและองค์ความรู้ใหม่ๆ อย่างไรก็ตาม การทดสอบเท่าขนาดจริงด้วยวัสดุจริงในสนาม จำเป็นต้องมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ใช้เวลานาน ส่วนมากไม่สามารถทดสอบได้จนถึงจุดพิบัติด้วยข้อจำกัดทางด้านการใช้งานและความปลอดภัย ด้วยเหตุนี้จึงเกือบจะเป็นไปไม่ได้ที่จะใช้การทดสอบเท่าขนาดจริงนี้ซ้ำๆกัน เพื่อทำการศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆที่น่าจะมีผลกับการทดสอบ (Parametric Studies) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้การทดสอบด้วยแบบจำลอง centrifuge ที่มีความน่าเชื่อถือและค่อนข้างแม่นยำเข้ามาเสริมแทนการทดสอบเท่าขนาดจริงในสนาม



รูปที่ 2.1 เครื่องหมุนเหวี่ยง หรือที่เรียกว่า Centrifuge (From NUS Centrifuge Lab)

อย่างไรก็ตามแบบจำลองย่อขนาดทางกายภาพโดยทั่วไป จะไม่สามารถจำลองพฤติกรรมต่างๆได้ ภายใต้สนามแรงโน้มถ่วงของโลกปกติ ซึ่งค่า g (Gravity) นี้เป็นอิทธิพลสำคัญที่ก่อให้เกิดความเค้นในมวลดิน ซึ่งจะเป็นปัจจัยหลักในการจำลองพฤติกรรมของชั้นดิน ถ้าจะทำการจำลองความเค้นในมวลดินบนพื้นโลกด้วยแบบจำลองขนาดเล็กนั้น จำเป็นจะต้องทดสอบภายใต้แรงโน้มถ่วงจำลองที่สูงกว่าแรงโน้มถ่วงปกติบนโลก ที่ได้สัดส่วนกับขนาดแบบจำลองที่ถูกลดลง ซึ่งเราสามารถจำลองแรงโน้มถ่วงสูงนี้ได้ด้วยเครื่องหมุนบนแกนเหวี่ยง หรือที่เรียกว่า centrifuge ด้วยการจำลองแรงโน้มถ่วงที่สูงขึ้นเป็นสัดส่วนที่ลดลงของแบบจำลอง จึงทำให้สามารถจำลองค่าความเค้นของแบบจำลองขนาดเล็กนี้ได้เท่ากับการ

ทดสอบจริงในสนาม หลักการนี้จะทำให้ความเค้นแต่ละจุดในแบบจำลองเท่ากับขนาดจริงได้ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.2 และเนื่องจากแบบจำลองที่มีขนาดเล็กลง ทำให้ช่วยลดระยะเวลาในการเตรียมการทดสอบลงได้อย่างมาก หรืออาจกล่าวได้ว่า การทดสอบด้วยแบบจำลอง centrifuge ช่วยลดค่าใช้จ่ายลงอย่างมากโดยแทบไม่ต้องกังวลกับการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเลย เนื่องจากใช้ตัวอย่างชั้นดินจริงๆในการทดสอบ แต่ทั้งนี้จะต้องมีการควบคุมอย่างละเอียดในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างของชั้นดิน



รูปที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบหน่วยความเค้นของต้นแบบกับแบบจำลองหมุนเหวี่ยง (เอกสารเผยแพร่ของ National University of Singapore)

กิติเดช สันติชัยอนันต์ [1] ได้อธิบายหลักการพื้นฐานของการทดสอบเครื่องมือหมุนเหวี่ยงไว้ว่า การใช้แบบจำลองขนาดเล็กในการศึกษาพฤติกรรมทางวิศวกรรมได้ถูกนำมาใช้นานแล้วในงานทางวิศวกรรม อย่างไรก็ตามในสาขาวิศวกรรมเทคนิคธรณีนั้น น้ำหนักมวลดินเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อปัญหาทุกปัญหาเพราะคุณสมบัติดิน เช่น กำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength) และค่าความยืดหยุ่น (Stiffness) จะขึ้นตรงต่อระดับความเค้น (Stress Level) ที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับน้ำหนักดินตัวอย่าง เช่น ถ้าต้องการศึกษาพฤติกรรมของงานก่อสร้างกันดินแห่งหนึ่ง (Earth Structure) โดยใช้แบบจำลองขนาดเล็ก ซึ่งพบว่ามีความเป็นไปได้ยากมากที่จะเพิ่มน้ำหนักมวลดินในแบบจำลองขนาดเล็กนี้ ภายใต้สภาวะแรงโน้มถ่วงปกติ (1g) ดังนั้นพฤติกรรมหลายอย่างที่กำลังสนใจในทางวิศวกรรมเทคนิคธรณีไม่สามารถถูกจำลองขึ้นมาใหม่ได้ อีกทางเลือกหนึ่งที่เป็นไปได้ คือ การใช้ประโยชน์ของเทคนิคการหมุนเหวี่ยง (Centrifuge Modeling Technique) ซึ่งจะจำลองสภาวะแรงโน้มถ่วงเสมือนที่สูงกว่าสภาวะปกติหลายเท่าและจะทำให้แบบจำลองขนาดเล็กนี้มีสภาวะน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และสามารถแสดงพฤติกรรมเหมือนกับต้นแบบ (Prototype) ซึ่งมีขนาดเทียบเท่ากับขนาดการก่อสร้างจริง

เทคนิคนี้จะใช้เครื่องมือเพื่อเพิ่มแรงโน้มถ่วงผ่านหลักการหมุนเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Acceleration) ซึ่งรูปแบบการทำงานของเครื่องนี้จะมีภาชนะที่ใส่ตัวอย่างถูกแขวนในแนวตั้งตรงหรือห้อยลงเมื่อเครื่องหมุนเหวี่ยงหยุดนิ่ง แต่หลังจากที่เครื่องเริ่มหมุน ภาชนะจะถูกหมุนขึ้นสู่แนวระนาบเนื่องจากแรงเหวี่ยง ณ ความเร็วในการหมุนระดับหนึ่ง ภาชนะที่ใช่ตัวอย่างจะถูกหมุนเหวี่ยงในแนวระดับที่รัศมี (R) ด้วยความเร็วเชิงมุม ω (rad./sec.) และความเร่งเชิงมุม $R\omega^2$ ดังนั้นน้ำหนักของดินจะเพิ่มขึ้นในอัตราส่วน $N = R\omega^2 / g$ โดยที่ g คือแรงโน้มถ่วงของโลก ณ สภาวะปกติ

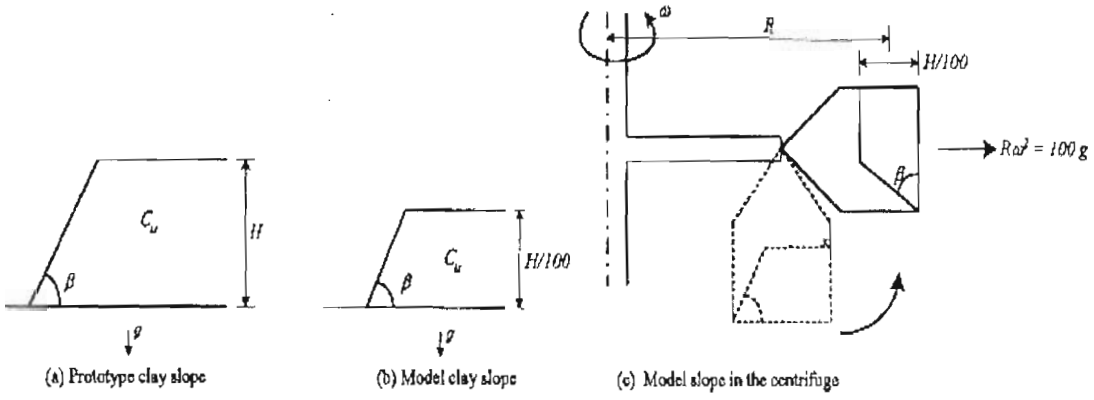
หลักการพื้นฐานที่อยู่เบื้องหลังแบบจำลองเครื่องมือหมุนเหวี่ยงนี้ คือ การสร้างสนามความเค้น (Stress Field) ภายในแบบจำลองที่มีสภาวะเหมือนกับสิ่งก่อสร้างจริงในสนามแต่มีขนาดลดส่วนลงโดยยังมีความคล้ายคลึงในด้านมิติอยู่ เนื่องจากความเครียด (Strain) เป็นค่าที่ไม่มีหน่วย (Dimensionless) ดังนั้นค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด (Stress-Strain Relationship) ณ จุดต่างๆ ทั้งในแบบจำลองและสิ่งก่อสร้างจริงจะมีค่าเท่ากัน ถ้าแบบจำลองใช้ดินชนิดเดียวกันกับที่ก่อสร้างจริง ตัวอย่างที่น่าสนใจตัวอย่างหนึ่ง คือ การพิจารณาลาดดินที่เป็นดินเหนียวอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Clay) ซึ่งมีมุมลาด β ความสูง H ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength) C_U เป็นค่ากำหนดเสถียรภาพของลาดดิน โดยมีหน่วยน้ำหนัก $\gamma = \rho g$ โดยที่ ρ คือค่าความหนาแน่นเชิงมวล (Mass Density) ค่าดังกล่าวนี้สามารถถูกจัดเป็นค่าที่ไม่มีมิติ (Dimensionless Term) นั่นคือค่าสัมประสิทธิ์ความลาด (Stability Coefficient) N_S

$$N_s = \frac{C_u}{\rho N_g H}$$

ดังนั้นถ้าต้องการศึกษาเสถียรภาพของลาดดินนี้ โดยลดขนาดการก่อสร้างจริงลงเป็นอัตราส่วนที่ $N = 100$ และต้องการได้ค่า N_s เท่าเดิม แบบจำลองจำเป็นต้องใช้ดินที่มีคุณสมบัติทางด้านค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่การระบายน้ำเท่ากับ $C_U / 100$ ซึ่งเกือบจะเป็นไปไม่ได้ในทางปฏิบัติที่จะหาดินชนิดนี้มาทดสอบ อย่างไรก็ตามเนื่องจากข้อได้เปรียบของการใช้เครื่องมือหมุนเหวี่ยงดินที่มีคุณสมบัติเดียวกับการก่อสร้างจริง สามารถนำมาทดสอบที่ระดับแรงโน้มถ่วง (g-level) ที่ $N = 100$ ค่า N_S ยังมีค่าเท่าเดิมคือ

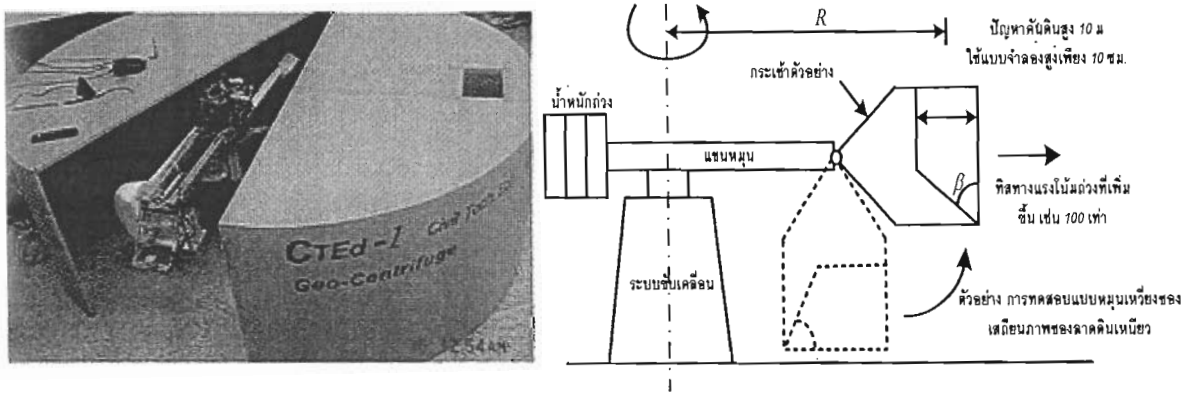
$$N_s = \frac{C_u}{\rho(100g)(\frac{H}{100})}$$

สมการทั้งสองจะให้ค่า N_S ที่เท่ากัน เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ถูกจำลองอย่างถูกต้องสอดคล้องกับหน่วยน้ำหนักของแบบจำลองคุณสมบัติอื่นๆ เช่น กำลังรับแรงเฉือนและค่าความยืดหยุ่นของดินจะก่อให้เกิด ค่าการทรุดตัวที่ได้สัดส่วนที่ถูกต้อง

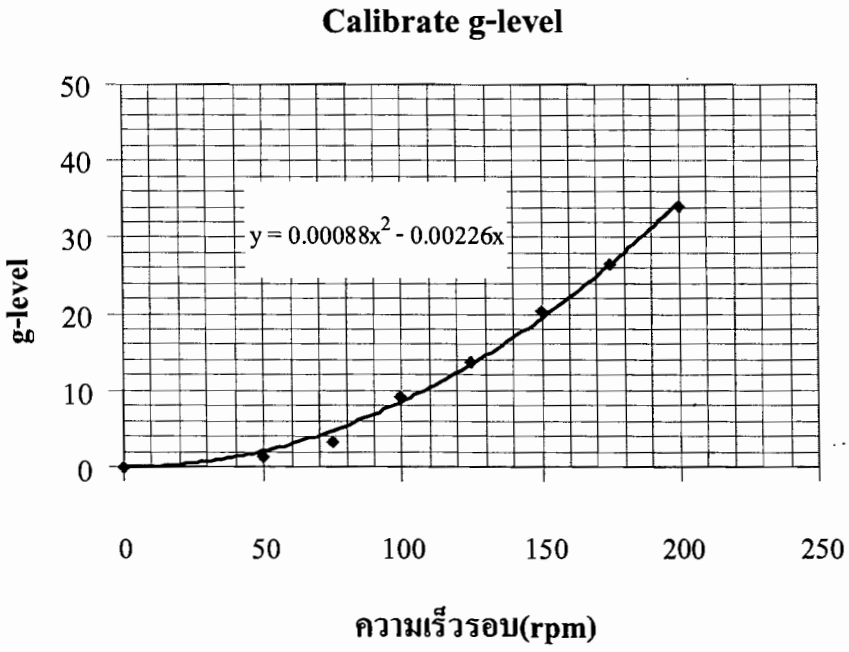


รูปที่ 2.3 หลักการพื้นฐานของการจำลองแบบหมุนเหวี่ยง [1]

เทคนิคนี้ถึงแม้ว่าจะมีการคิดค้นมานานแล้วในต่างประเทศ แต่ประเทศไทยพึ่งริเริ่มและตระหนักในการนำเทคนิคนี้มาใช้ประโยชน์ภายในประเทศ เพื่อเป็นการกระตุ้นการเผยแพร่เทคนิคนี้ภายในประเทศให้ได้เร็วที่สุด ภาควิชาครุศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจธ.) นำโดย ดร. กิติเดช สันติชัยอนันต์ จึงได้ทดลองออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องทดสอบแบบหมุนเหวี่ยงทางวิศวกรรมเทคนิคธรณีแบบคานหมุนขึ้นมา โดยมีการพัฒนาเครื่องหมุนเหวี่ยงขนาดเล็กเพื่อการเรียนการสอน (CTEd-1) ขึ้นมาโดยถือว่าเครื่องดังกล่าวเป็นเครื่องต้นแบบขนาดเล็กเครื่องแรกของประเทศที่ใช้ในจุดประสงค์นี้ ในปี พ.ศ. 2546 โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เมตร และสามารถรับน้ำหนักตัวอย่างดินได้ 10 กิโลกรัม สามารถศึกษาแบบจำลองที่ไม่ซับซ้อนมากได้ในระดับหนึ่งและมีต้นทุนการสร้างค่อนข้างต่ำ แต่ก็ถือได้ว่าเป็นแนวทางที่ดีในการประชาสัมพันธ์ความสำคัญของเทคนิคดังกล่าว



รูปที่ 2.4 ต้นแบบเครื่องทดสอบแบบหมุนเหวี่ยงขนาดเล็กทางวิศวกรรมเทคนิคธรณี (CTEd-1) ภาควิชาครุศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี[1]



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและระดับแรงโน้มถ่วง [10]

หลักการต่างๆในการทำงานของเครื่องจะใช้เทคนิคการหมุนแบบจำลองด้วยความเร็วสูง [1] แต่ส่วนประกอบหลักที่มีราคาแพงและใช้กันมานานในต่างประเทศได้ถูกแทนที่ด้วยอุปกรณ์ในประเทศทั้งหมด เช่น ระบบการรับส่งสัญญาณข้อมูลและภาพ ซึ่งเคยใช้ ข้อต่อวงแหวนเลื่อน (Slip Ring) ถูกแทนที่ด้วยการประยุกต์ใช้ระบบส่งสัญญาณคลื่นวิทยุและแสงอินฟาเรด (Infrared) แทนเกือบทั้งหมด ซึ่งสามารถประหยัดงบประมาณได้อย่างมาก โดยที่ประสิทธิภาพและเสถียรภาพของเครื่องยังคงเดิม เครื่องหมุนเหวี่ยงที่พัฒนาอยู่นี้ สามารถศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างใต้ดินพื้นฐานแบบต่างๆได้ เช่น การพังทลายของกำแพงกันดิน พฤติกรรมของฐานรากแบบตื้นและแบบเสาเข็ม การพังทลายของลาดดิน และอุโมงค์ใต้ดิน เป็นต้น ประสิทธิภาพของเครื่องสามารถเพิ่มแรงโน้มถ่วง หรือเพิ่มน้ำหนักดินได้ถึง 70 เท่า โดยที่ปลายแขนหมุนมีรัศมี 1 เมตร สามารถบรรทุกน้ำหนักสูงสุดได้ 10 กิโลกรัม หรือสามารถจำลองความสูงของดินในสนามได้ถึง 10 เมตร

นอกจากนี้ เครื่องต้นแบบนี้ ยังสามารถแสดงรูปแบบการพังทลายต่างๆ ของโครงสร้างใต้ดินผ่านกล้องวงจรปิดไร้สายและ สามารถบันทึกเป็นภาพวีดีโอเพื่อใช้ในการถ่ายทอดให้แก่นักศึกษาในการเรียนการสอน ให้ได้เข้าใจถึงพฤติกรรมอย่างชัดเจนน่าสนใจ ซึ่งถือว่ายังไม่สามารถจำลองได้ที่ใดมาก่อนในประเทศ นอกจากจะรอให้เกิดการพังทลายจริงในการก่อสร้าง หรือ ทำการทดสอบจริงในสนามซึ่งมีต้นทุนสูง

การพังทลายที่ได้จากการทดสอบ มีมุมการพังทลายเท่ากับ 25 องศา (กระทำกับแนวดิ่ง) ซึ่งมีความสอดคล้องกับทฤษฎีแรงดันดินด้านข้าง Rankine's โดยการคำนวณทางทฤษฎีสามารถคำนวณได้จากสมการ $45-(\phi/2)$ โดยที่มุม ϕ ได้จากการทำการทดสอบ direct shear test มีค่าเท่ากับ 36 องศา ดังนั้นมุมที่พังทลายควรจะมีค่าเท่ากับ $45-(\phi/2)=27$ องศา เมื่อเปรียบเทียบกับมุมที่ได้จากการทดสอบแบบไม่หมุนเหวี่ยง ซึ่งมีมุมการพังทลายอยู่ที่ 16 องศา ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าจากการทดสอบในเครื่องหมุนเหวี่ยงมุมการพังทลายจึงมีความน่าเชื่อถือได้มากกว่า สาเหตุที่มุมการพังทลายในเครื่อง centrifuge มีมุมมากกว่ามุมที่พังทลายแบบไม่หมุนเหวี่ยง สาเหตุเนื่องมาจากการทดสอบในเครื่อง centrifuge จะมีการเพิ่มสนามแรงเค้น (Stress Field) ทำให้เม็ดดินทุกเม็ดมีน้ำหนักตนเองเพิ่มขึ้น เนื่องจากเม็ดดินมีน้ำหนักของตนเอง เม็ดดินก็จะพังลงมาในลักษณะพร้อมกันตามทิศทางที่กำแพงเริ่มสร้างช่องว่างหลังกำแพง และในปริมาณที่มากกว่าเมื่อเทียบกับเม็ดดินที่พังลงมาในการทดสอบแบบไม่หมุนเหวี่ยง ซึ่งเมื่อขณะที่ค่อยๆ เปิดกำแพงออกด้วยมือ เม็ดดินที่อยู่บริเวณผิวด้านบนจะเคลื่อนตัวลงมามากกว่าและเร็วกว่าดินบริเวณด้านล่างจนมีสภาพการพังทลายที่มีปริมาตรน้อยกว่าและส่งผลให้มุมการพังทลายที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยตามไปด้วย

ในการทดสอบ ปรากฏว่ามีค่าความผิดพลาดสูงมากเมื่อนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับทฤษฎี อาจเนื่องมาจากการเตรียมตัวอย่างต้องกระทำอย่างระมัดระวังเพราะต้องมีการกำหนดระยะตกของทรายให้สม่ำเสมอที่ประมาณ 15 เซนติเมตร และสลับสีกัน การเตรียมตัวอย่างต้องไม่ให้เกิดการกระทบกระเทือนเพราะจะมีผลต่อโครงสร้างและความหนาแน่นของทราย และ ไม่ได้ระมัดระวังและคำนึงถึงแรงเสียดทานที่เกิดจากผิวสัมผัสระหว่างทรายกับผนังกล่องทดสอบและทรายที่มีโอกาสหลุดเข้าไปอุดตามรอยเลื่อนของผนังกำแพงกับกล่องทดสอบ ดังนั้นตัวอย่างต่อมาจึงได้คำนึงถึงปัญหาดังกล่าวและมีการนำแผ่นพลาสติก (แผ่นใสเขียนในงานสอน) ประกบกับกำแพงและทาน้ำมันหล่อลื่นบริเวณกำแพง ทำให้สามารถป้องกันเม็ดทรายตกลงในช่องว่างได้ระดับหนึ่ง แต่ยังมีค่าความผิดพลาดสูงอยู่ ดังนั้นจึงมีการแก้ปัญหาโดยการผ่าขนาดของกำแพงให้เล็กลงโดยแบ่งกำแพงจำลองออกเป็น 3 ส่วน โดยมีการวัดแรงดึงจากส่วนกลางเท่านั้น และส่วนด้านข้างทั้ง 2 ไม่มีการวัดแรงดึงเนื่องจากจะมีผลกระทบจากแรงเสียดทานระหว่างทรายกับผนังกล่อง แต่อย่างไรก็ตามทั้ง 3 ส่วน ถูกควบคุมให้มีการเคลื่อนที่ในปริมาณเท่ากัน โดยอาศัยการควบคุมลูกสูบแรงดันลม ซึ่งสามารถลดแรงเสียดทานลงได้มาก คือ เหลือค่าความผิดพลาดเพียง 18.82 % ซึ่งเป็นผลที่น่าพอใจ เนื่องจากแรงดันดินด้านข้างค่อนข้างตรวจวัดได้ถูกต้องยาก และความคลาดเคลื่อนสูงทั้งในสนามและห้องทดสอบ

ตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อความคาดเคลื่อนในการทดสอบทรายในแบบจำลอง Retaining wall คือ

1. แรงเสียดทานระหว่างทรายกับผนังกล่องแบบจำลอง
2. แรงเสียดทานระหว่างทรายกับกำแพง
3. เม็ดทรายที่ตกอยู่ในช่องระหว่างกำแพงกับผนังแบบจำลอง

4. การกระทบกระเทือนกำแพงก่อนการทดสอบ

5. ความคาดเคลื่อนจากการกำหนดคุณสมบัติของทราย เช่น มุมแรงเสียดทานภายในและความหนาแน่น เป็นต้น

การทดสอบทรายในแบบจำลอง Retaining wall จะได้ทั้งค่าน้ำหนักสูงสุดที่ทรายกระทำต่อกำแพงและรูปแบบการพังทลายของทราย

สรุปการใช้เทคนิคต่างๆในการเตรียมตัวอย่างทรายในแบบจำลอง Retaining wall

การทดสอบครั้งที่ 1 และ 2 ทดสอบโดยการใช้ถุงพลาสติกเพื่อลดการเสียดทานระหว่างกล่องตัวอย่างกับทราย ค่าผิดพลาดจากการทดสอบทรายในแบบจำลอง Retaining Wall กับทฤษฎี เท่ากับ 51.8- 65.4%

การทดสอบครั้งที่ 3 และ 4 เหมือนครั้งที่ 1 แต่ใช้ผูกเส้นลวดที่รูบนของ beam load cell ใช้แผ่นพลาสติกบางและแผ่นใสติดที่กำแพง ค่าผิดพลาดจากการทดสอบทรายในแบบจำลอง Retaining wall กับทฤษฎี เท่ากับ 42.1- 43.1 %

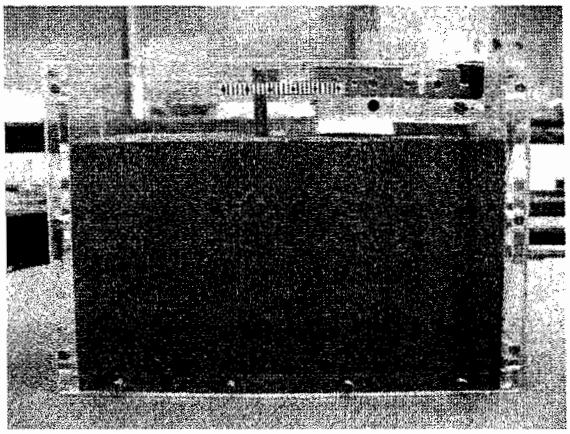
การทดสอบครั้งที่ 5 และ 6 เหมือนครั้งที่ 1 ทดสอบโดยการใช้ถุงพลาสติกเพื่อลดการเสียดทานระหว่างกล่องตัวอย่างกับทราย และมีความระมัดระวังมากขึ้น ค่าผิดพลาดจากการทดสอบทรายในแบบจำลอง Retaining wall กับทฤษฎี เท่ากับ 31.9- 37.5 %

การทดสอบครั้งที่ 7 และ 8 เหมือนครั้งที่ 5 แต่ใช้กำแพงแบบใหม่โดยมีการแบ่งกำแพงเป็น 3 ส่วน ตามแนวยาว วัดแรงดึงที่ส่วนกลางเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบของแรงเสียดทานระหว่าง ทรายกับกล่องตัวอย่าง ค่าผิดพลาดจากการทดสอบทรายในแบบจำลอง Retaining wall กับทฤษฎี เท่ากับ 18.8- 24.7 %

2.5.3 ชุดแบบจำลองเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย [11]

ชุดแบบจำลองเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างบนเครื่องจำลองภายใต้แรงหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) เป็นการจำลองสภาพการทดสอบภายใต้ความเร่ง เพื่อให้โครงสร้างของดินใกล้เคียงกับสภาพจริง ซึ่งใช้หลักการเช่นเดียวกันกับการทดสอบเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในสนาม ในการทดสอบนี้ทำการจำลองเสาเข็มสั้น 4 ขนาด คือ หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1 x 1 cm. และ 0.63 x 0.63 cm. กับหน้าตัดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.97 cm. และ 0.63 cm. โดยใช้แรงดันจากลูกสูบดันเสาเข็มสั้นทางด้านข้าง ขณะที่ดินมีสภาพน้ำหนักกระทำด้านข้างใกล้เคียงกับสภาพที่เกิดขึ้นจริงในสนาม โดยใช้เครื่องจำลองภายใต้แรงหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ค่าน้ำหนักกระทำด้านข้างของเสาเข็มสั้นที่อ่านได้จาก load cell จะนำมาแปลงเป็นน้ำหนักกระทำด้านข้างจริงภายใต้ความเร่ง และค่าที่อ่านได้จาก potentiometer จะนำมาแปลงเป็นการเคลื่อนที่ของเสาเข็มภายใต้ความเร่ง เมื่อต้องการทราบค่าน้ำหนักกระทำด้านข้างกับการเคลื่อนที่ของเสาเข็มที่เกิดขึ้นจริงในสนาม นำค่าที่ได้ไปคูณกับค่า g – level ที่ทำการหมุนเครื่องจำลองภายใต้แรงหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การทดสอบเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างบน

เครื่องจำลองภายใต้แรงหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) มีผลการทดสอบใกล้เคียงกับการทดสอบเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างจริงในสนาม



รูปที่ 2.7 ชุดทดสอบแบบหมุนเหวี่ยงเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย [11]

จากการทดสอบโดยใช้แบบจำลองเสาเข็มสั้นทั้ง 4 ขนาด คือ หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสและวงกลมขนาด 10 มิลลิเมตร และ 6.3 มิลลิเมตร พบว่าเมื่อเพิ่มน้ำหนักกระทำด้านข้างกับเสาเข็มสั้น จะเกิดการเคลื่อนที่ไปทางด้านข้างของปลายเสาเข็มโดยมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักกระทำด้านข้างทำให้เกิดเป็นเส้นกราฟที่มีความชันเป็นเส้นโค้ง (Non-linear) และเมื่อเพิ่มน้ำหนักกระทำด้านข้างกับเสาเข็มสั้นในทรายที่มีค่า ϕ เท่ากับ 30 องศา จะเกิดการเคลื่อนที่ไปทางด้านข้างของเสาเข็มมาก โดยที่เพิ่มน้ำหนักกระทำด้านข้างน้อย ทำให้ความสัมพันธ์ของเส้นกราฟมีความชันน้อย ซึ่งต่างจากเมื่อเพิ่มน้ำหนักกระทำด้านข้างกับเสาเข็มในทรายที่มีค่า ϕ เท่ากับ 38 องศา จะเกิดการเคลื่อนที่ไปทางด้านข้างของเสาเข็มน้อย โดยที่เพิ่มน้ำหนักกระทำด้านข้างมาก ทำให้ความสัมพันธ์ของเส้นกราฟมีความชันมากกว่า ความสัมพันธ์ดังกล่าวบอกถึงอิทธิพลของความหนาแน่นของทราย เมื่อทรายมีความหนาแน่นมาก จะทำให้ช่องว่างในการเคลื่อนตัวของเม็ดทรายมีน้อย ดังนั้นเมื่อเสาเข็มรับน้ำหนักกระทำด้านข้าง ดินทรายจะถูกบดอัดแน่นทำให้ทรายบริเวณเสาเข็มเกิดการอัดตัว ทำให้ทรายมีความต้านทานต่อน้ำหนักกระทำด้านข้างได้มากหรือที่เรียกว่า มี sub grade reaction มาก ซึ่งเป็นผลทำให้เสาเข็มสามารถรับน้ำหนักกระทำด้านข้างได้สูงและมีความชันของกราฟมากกว่า

และเมื่อทำการทดสอบเสาเข็ม 2 ชนิด คือ เสาเข็มหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสและหน้าตัดวงกลม โดยการเพิ่มน้ำหนักกระทำด้านข้างกับเสาเข็มทำให้เกิดการเคลื่อนตัวไปทางด้านข้าง ถึงแม้ว่าเสาเข็มที่ใช้ทดสอบทั้ง 2 ชนิดจะมีความกว้างเท่ากัน แต่เสาเข็มหน้าตัดวงกลมจะมีลักษณะที่สามารถแหวกเม็ดทรายหรือมีลักษณะที่ลู่มากกว่าเสาเข็มหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ดังนั้น เสาเข็มหน้าตัดวงกลมจึงค่อยๆ เบียดเม็ดทรายทีละน้อยๆ

ขณะเคลื่อนเข้าสู่เม็ดทรายคล้ายกับการผ่อนแรงจากปลายตะปูขณะถูกตอกทำให้ความสัมพันธ์ดังกล่าวบอกถึงอิทธิพลของชนิดหน้าตัดของเสาเข็มได้เป็นอย่างดี

ในการทดสอบเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างโดยทำการทดสอบเสาเข็มทั้ง 4 ขนาด โดยที่แต่ละขนาดติดตั้งในทรายที่มีความหนาแน่นต่างกันและค่า g – level เท่ากับ 50 g การทดสอบเป็นการเปรียบเทียบน้ำหนักกระทำด้านข้างกับการเคลื่อนที่ของปลายเสาเข็มของแต่ละขนาด โดยกำหนดขนาดของหน้าตัดของเสาเข็มเท่ากัน แต่มีความหนาแน่นของทรายต่างกัน จากผลการทดสอบจะสังเกตได้ว่า การทดสอบที่มีความหนาแน่นของทรายมากเสาเข็มสั้นจะรับน้ำหนักกระทำด้านข้างได้มากกว่าการทดสอบในทรายที่มีความหนาแน่นน้อย เนื่องจากทรายที่มีความหนาแน่นมากจะมีความต้านทานการเคลื่อนที่ของเสาเข็มได้มากกว่า

การทดสอบเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างโดยทำการทดสอบเสาเข็มทั้ง 4 ขนาด ค่า g – level เท่ากับ 50 g ส่วนค่า ϕ เท่ากับ 30 องศา และ 38 องศา ตามลำดับ การทดสอบเป็นการเปรียบเทียบน้ำหนักกระทำด้านข้างกับการเคลื่อนที่ของปลายเสาเข็มของแต่ละขนาดที่ความหนาแน่นของทรายเท่ากัน แต่ขนาดหน้าตัดและชนิดของเสาเข็มต่างกัน จากผลการทดสอบจะสังเกตได้ว่า ผลทดสอบที่มีขนาดหน้าตัดของเสาเข็มใหญ่จะรับน้ำหนักกระทำด้านข้างได้มากกว่าการทดสอบที่มีขนาดหน้าตัดของเสาเข็มเล็ก และการทดสอบเสาเข็มแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะรับน้ำหนักกระทำด้านข้างได้มากกว่าการทดสอบเสาเข็มแบบหน้าตัดวงกลม เนื่องจากเป็นไปตามสมมุติฐานที่ว่าพื้นที่ในการสัมผัสกับทรายของเสาเข็มหน้าตัดขนาดใหญ่มีมากกว่าเสาเข็มหน้าตัดขนาดเล็กจึงทำให้แรงต้านทานในการเคลื่อนที่ของเสาเข็มขนาดใหญ่มีมาก จึงทำให้เสาเข็มหน้าตัดขนาดใหญ่รับน้ำหนักกระทำด้านข้างได้มากกว่าเสาเข็มหน้าตัดขนาดเล็ก และลักษณะพื้นที่ในการสัมผัสกับทรายของเสาเข็มหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสดีกว่าเสาเข็มหน้าตัดวงกลมเพราะเสาเข็มหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีพื้นที่สัมผัสตั้งฉากกับทรายเต็มความกว้างของเสาเข็ม แต่เสาเข็มหน้าตัดวงกลมจะมีพื้นที่ดังกล่าวความโค้งของหน้าตัดเสาเข็ม และเมื่อมีน้ำหนักกระทำด้านข้างของเสาเข็มทำให้เสาเข็มหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสรับน้ำหนักกระทำด้านข้างได้มากกว่าเสาเข็มหน้าตัดวงกลมที่ระยะการเคลื่อนที่เท่ากัน

การทดสอบการเปรียบเทียบน้ำหนักกระทำด้านข้างกับการเคลื่อนที่ของปลายเสาเข็มของแต่ละขนาด ที่กำหนดความหนาแน่นเท่ากัน เพื่อเปรียบเทียบความเสมือนของแบบจำลองเสาเข็ม จากผลการทดสอบได้ทำการปรับสเกลโดยให้ผลการทดสอบที่ค่า g – level เท่ากับ 35 g คงที่แล้วปรับสเกลที่ผลการทดสอบที่ค่า g – level เท่ากับ 70 g โดยใช้ทฤษฎีกฎของสเกล (Scaling Law) และทฤษฎีของ Broms's [18]สูตรที่ใช้ คือ

$$\frac{P_B}{P_b} = \frac{\gamma_B}{\gamma_b} \times \frac{B}{b} \times \frac{L^3}{l^3} \times \left(\frac{e+l}{E+L} \right)$$

เมื่อทำการแทนค่าตามสูตรจะได้ค่าแฟคเตอร์ที่จะนำไปคูณปรับผลการทดสอบที่ค่า g – level เท่ากับ 70 g ให้เป็นผลการทดสอบที่สเกลเดียวกันกับผลการทดสอบที่ค่า g – level เท่ากับ 35 g

เมื่อนำผลการทดสอบที่ค่า g – level = 70 มาเข้าสเกลที่ได้จากการคำนวณที่ถูกต้องแล้วจะเห็นได้ว่าผลการทดสอบที่ค่า g – level = 70 มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบที่ค่า g – level = 35 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบมีความถูกต้องแม่นยำและสามารถให้ผลการทดสอบที่ตรงกันได้จากการทดสอบหลายๆ ครั้ง ซึ่งจากผลการทดสอบ เสาเข็มหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะมีน้ำหนักกระทำด้านข้างสูงสุดประมาณ 20 kg และ 15 kg ซึ่งเสาเข็มหน้าตัดวงกลมมีสัดส่วนประมาณ 75 % ของเสาเข็มหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยผลการทดสอบความเสมือนของแบบจำลอง (Modeling of Model, MOM) ที่ได้สามารถสรุปได้ดังนี้คือ

1. ผลการทดสอบเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างสามารถเชื่อถือได้เพราะ ผลการทดสอบความ เสมือนของแบบจำลอง (Modeling of Model, MOM) มีค่าใกล้เคียงกัน

2. เส้น โค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเคลื่อนที่ (Load Displacement Curve) จะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่มีความชันมากในช่วงแรกและลดลงเรื่อยๆจนมีค่าเป็นศูนย์ที่จุดประลัย (Ultimate)

3. ผลการทดสอบที่สอดคล้องกันของกำลังในการรับแรงกระทำด้านข้างต่อความกว้าง 1 เมตร ของเสาเข็มต้นแบบที่มีขนาดความกว้างของหน้าตัดเท่ากับ 0.35 เมตร

4. จากผลการทดสอบมีค่าการรับแรงประลัย (Ultimate Load) ที่ประมาณ 22.75 ตัน สำหรับหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส และประมาณ 17.5 ตัน สำหรับหน้าตัดวงกลม

5. จากการประมาณค่า (Ultimate) จากสมการ Broms's ซึ่งได้ค่าประมาณเท่ากับ 8 ตัน สำหรับเข็มทั้ง 2 แบบ (สมการไม่สามารถแยกชนิดของเสาเข็มได้) แสดงให้เห็นว่าสมการของ Broms's ให้ค่าน้อยกว่าผลการทดสอบ centrifuge modeling มากซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยต่อไปนี้

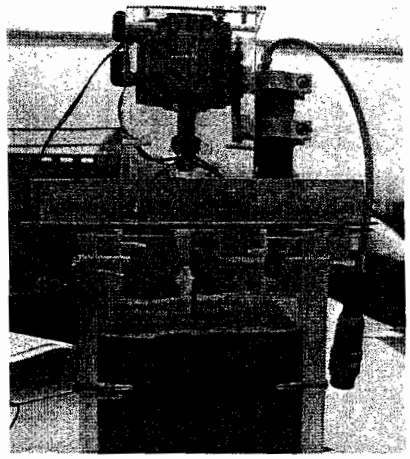
1. ทรายอาจจะมีความหนาแน่นมากขึ้นระหว่างเกิดการเคลื่อนที่ของเสาเข็ม นั้นคือ ทรายด้านหน้าเสาเข็มมีแนวโน้มของค่า ϕ มากขึ้นจากค่า ϕ เริ่มแรก ดังนั้นการแทนค่า Kp ในสมการของ Broms อาจจะน้อยเกินไป

2. แรงเสียดทานด้านข้างระหว่างเสาเข็มกับทรายอาจจะมีส่วนช่วยรับแรงดันด้านข้าง

3. วิธีการกำหนด ultimate load ของ Broms's อาจจะแตกต่างจาก การกำหนดค่าดังกล่าวจากผลการทดสอบในโครงงานนี้ซึ่งใช้ค่าสูงสุดเป็นค่า ultimate load

2.5.4 ชุดการทดสอบแบบจำลองหมุนเหวี่ยงการรับแรงดึงของสมอหน้าตัดสี่เหลี่ยม (Uplift capacity)ในทราย [12]

ชุดการทดสอบแบบจำลองหมุนเหวี่ยงของสมอบนเครื่องจำลองภายใต้แรงหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) เป็นการจำลองสภาพการทดสอบภายใต้ความเร่ง เพื่อให้โครงสร้างของดินใกล้เคียงกับสภาพจริง ซึ่งใช้หลักการเช่นเดียวกันกับการทดสอบในสนาม ในการทดสอบนี้ทำการจำลองสมอ 2 ขนาด คือ หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1.50 x 1.50 cm. และ 0.75 x 0.75 cm. โดยใช้แรงดึงจากมอเตอร์ และลูกสูบ ดึงสมอขึ้น ขณะที่ดินมีสภาพน้ำหนักกระทำใกล้เคียงกับสภาพที่เกิดขึ้นจริงในสนาม โดยใช้เครื่องจำลองภายใต้แรงหมุนเหวี่ยง โดยค่าน้ำหนักที่กระทำต่อสมอที่อ่านได้จาก load cell จะนำมาแปลงเป็นน้ำหนักกระทำจริงภายใต้ความเร่ง และค่าที่อ่านได้จาก potentiometer จะนำมาแปลงเป็นการเคลื่อนที่ของสมอภายใต้ความเร่ง



รูปที่ 2.8 ชุดการทดสอบแบบจำลองหมุนเหวี่ยงการรับแรงดึงของสมอ [12]

จากการทดสอบโดยใช้แบบจำลองสมอทั้ง 2 ขนาด คือ หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส 15 cm. และ 7.5 cm. พบว่าเมื่อเพิ่มน้ำหนักกระทำบนสมอขึ้นเรื่อยๆจะเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นตามแนวแกนสมอโดยมีความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับระยะการเคลื่อนที่

ในการเปรียบเทียบอิทธิพลจากขนาดหน้าตัดของแบบจำลองสมอของทรายที่มีความลึกแตกต่างกันโดยค่าของ $N_{u\,max}$ นั้นมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่ามุมเสียดทานของทราย (ϕ) และอัตราส่วนความลึกต่อความกว้าง D/B โดยค่าของมุม ϕ มาก ความชันของกราฟก็ยิ่งมากขึ้นด้วย และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของค่า $N_{u\,max}$ กับค่า D/B สามารถวาดกราฟเป็นลักษณะเชิงเส้นตรงได้ ซึ่งแตกต่างจากผลการทดสอบของ Ovensen [25] ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง ความแตกต่างที่เกิดขึ้นน่าจะเกี่ยวข้องกับ ความละเอียดของเครื่องมือ และระบบลูกสูบลม ที่มีความแน่นอนน้อย ถ้าพิจารณา ณ ความลึก D/B = 2 และ D/B = 3 นั้นจะเห็นได้ว่า ค่า

ของ $N_{u\ max}$ ใกล้เคียงกันในแต่ละค่าของมุม ϕ เพราะค่าแรงดึงสูงสุดของการทดสอบนั้นยังมีค่าน้อยกว่าความฝืดของลูกสูบ จึงส่งผลให้วัดค่าแรงดึงผิดพลาดโดยไม่เห็นความแตกต่างชัดเจน ดังนั้น จึงส่งผลให้ $N_{u\ max}$ มีความใกล้เคียงกันด้วย ขณะที่ค่าของ $N_{u\ max}$ สำหรับ D/B = 4 และ D/B = 5 นั้นมีค่าแตกต่างกันชัดเจน เพราะ ความลึกของการฝังสมอส่งผลโดยตรงให้เกิดแรงดึงที่สูง (สูงจนสามารถเอาชนะความฝืดของลูกสูบได้) จึงเกิดความแตกต่างของ N_u ที่ชัดเจนด้วย ทั้งนี้อิทธิพลของมุม ϕ นั้นก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ค่าของ $N_{u\ max}$ มีค่าสูงด้วย

ในการทดสอบเกิดความผิดพลาดหลายประการ โดยเฉพาะ จากเครื่องมือทดสอบ เช่น ความฝืดของ ลูกสูบ และจุดยึดต่างๆของระหว่าง load cell กับตัววัดการเคลื่อนที่ของสมอ ดังนั้นจึงส่งผลให้กราฟค่าแรงดึงมีความผิดพลาดด้วย แต่อย่างไรก็ดี ผลการทดสอบแสดงค่าแรงดึงสูงสุดเป็นที่น่าพอใจในระดับหนึ่ง โดยทำการทดสอบเพิ่มเติมโดยการใช้มอเตอร์อีก 2 ตัวอย่างซึ่งมีความแน่นนอนในการให้แรงดึงมากกว่าการใช้ลูกสูบลม ซึ่งผลการทดสอบเป็นที่น่าพอใจเนื่องจากผลการตรวจวัดแรงดึงมีความสม่ำเสมอตามที่พฤติกรรมทั่วไปของหลักการกลศาสตร์ของวัสดุ จากการทดสอบที่ต่างขนาดของสมอ และ การใช้ระบบให้แรงดึง ที่ค่าแรงดึงสูงสุดมีความน่าเชื่อถือ ซึ่งแสดงความน่าเชื่อถือของเครื่องทดสอบได้ระดับหนึ่ง

จากความสำเร็จของโครงงานแบบจำลองหมุนเหวี่ยงสมอในทราย คณะผู้จัดทำ [12] ได้มีโอกาสในการเข้าแข่งขันการประกวดโครงงานด้านปฐพีกลศาสตร์ที่จัดขึ้น โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย โดยได้รับเกียรติเป็นตัวแทนภาคกลาง ในการนำโครงงานที่ทำการทดสอบไปเผยแพร่ให้ นิสิตนักศึกษา และคณาอาจารย์ จาก มหาวิทยาลัยต่างๆ ที่เข้าร่วมรับฟังการบรรยาย และได้รับรางวัลรองชนะเลิศอันดับหนึ่ง

2.6 การสร้างเครื่องมือในการวัดและประเมินผล

การตรวจสอบความรู้ของผู้เรียนที่ได้รับจากการเรียนการสอนแบบทดลอง เพื่อให้เป็นข้อมูลในการประเมินผลโดยภาพรวมของการวิจัย ซึ่งมีความต้องการแบทดสอบหรือเครื่องมือวัดผลที่ดีมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากที่สุด โดยจากการอธิบายของ สุมาลี จันทร์ชลอ [30] ที่ว่า การวัดและประเมินผล (Measurement and Evaluation) เป็นกระบวนการต่อเนื่องจากการเรียนการสอน ต้องมีความสัมพันธ์ และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ และกับการเรียนการสอน กล่าวคือ การวัดผลต้องวัดจากวัตถุประสงค์ของการเรียน และวัดในสิ่งที่ผู้สอนได้จัดกิจกรรมการเรียนการสอนเพื่อให้ทราบว่าผู้เรียนบรรลุวัตถุประสงค์เพียงใดในขณะเดียวกันวัตถุประสงค์และกิจกรรมการเรียนการสอนก็เป็นสิ่งกำหนดรูปแบบของการวัดให้เหมาะสมด้วย

สุมาลี ยังได้กล่าวถึงการสร้างแบบทดสอบ ให้มีคุณภาพว่า ผู้สอนต้องเข้าใจวัตถุประสงค์และเนื้อหาที่จะวัดต้องรู้ถึงกระบวนการคิดในการปฏิบัติ รู้ระดับความสามารถของผู้เรียน ความสามารถในการอ่านและ

การใช้ศัพท์ของผู้สอบ รู้จักลักษณะเด่นและข้อบกพร่องของข้อสอบแต่ละชนิดเพื่อนำไปใช้ให้เหมาะสม ซึ่งมีข้อพิจารณาดังต่อไปนี้

1. ข้อสอบควรใช้ประเมินจุดประสงค์ที่สำคัญของการสอน ที่สามารถวัดได้โดยใช้แบบทดสอบข้อเขียน

2. ข้อสอบควรสะท้อนให้เห็นทั้งวัตถุประสงค์ที่เป็นเนื้อหา เละจุดประสงค์ที่เป็นกระบวนการสำคัญที่เน้นในหลักสูตร

3. ข้อสอบควรสะท้อนให้เห็นถึงจุดประสงค์ในการวัด เช่นการวัดประเมินความแตกต่างระหว่างบุคคลหรือวัดเพื่อแยกแยะผู้ที่ได้เรียนรู้

4. ข้อสอบควรมีความเหมาะสมกับระดับความสามารถของผู้อ่าน เละมีความยาวพอเหมาะจาการสำคัญของการวัด เและการประเมินผลดังกล่าว

ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาหลักการที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบสอบถามวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ดังนี้ ระดับของจุดประสงค์ของการศึกษาตามหลัก Taxonomy ของบลูม (Bloom's Taxonomy) จุดประสงค์ของการสอนแบ่งเป็น 3 โดเมนหลัก ได้แก่

1. ด้านความรู้ความคิด (Cognitive Domain) เป็นจุดประสงค์ที่เกี่ยวกับการระลึก หรือนึกถึงสิ่งที่เรียนไปแล้ว และพัฒนาความสามรถทางเชาว์ ปัญญาและทักษะต่างๆ

2. ด้านความรู้สึก (Affective Domain) เป็นจุดประสงค์ที่เกี่ยวกับความสนใจ ทัศนคติ ค่านิยม และพัฒนาการของความซาบซึ้ง

3. ด้านทักษะของการปฏิบัติ (Psychomotor Domain) เป็นจุดประสงค์ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวร่างกาย หรือการปฏิบัติทักษะต่างๆ

งานวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้ชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยง เป็นสื่อประกอบการสอนแบบทดลองซึ่งเชื่อถือว่าจะมีส่วนช่วยในการเสริมความรู้การเรียนทฤษฎีในชั้นเรียน ทำให้ผู้เรียนมีระดับความสามารถทางด้านความรู้ความคิดดียิ่งขึ้น จึงให้ได้ความสำคัญสำหรับหรับวัตถุประสงค์ทางด้านนี้เป็นหลัก โดยการศึกษาพฤติกรรมแต่ละขั้นเพื่อสร้างแบบทดสอบดังนี้

1. ระดับความรู้ความจำเป็นการวัดความสามารถขั้นต่ำสุด การถามเพื่อวัดเกี่ยวกับการให้ระลึกถึง (Recall) ทั้งในสิ่งที่เฉพาะเจาะจง และทั่วไประลึกถึงวิธีการและกระบวนการ รูปแบบโครงสร้าง เป็นต้น เป็นการจำประสบการณ์ต่างๆ ที่นักเรียนได้เรียนรู้จาการสอนของครู จากการบอกเล่า จากตำราหรือสิ่งแวดล้อม จุดประสงค์ในระดับความรู้ ความจำเป็นนี้ เมื่อพิจารณาในแง่ของกระบวนการจิตวิทยาจัดเป็นการจำประเภทต่างๆ เช่นความคุ้นเคยกับคำที่มีความหมายต่างๆ ความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีและโครงสร้าง

2. ระดับความรู้ความเข้าใจ เป็นการวัดความสามารถที่สูงกว่าความรู้ความจำ แต่ผู้ตอบยังคงมีความรู้ความจำเป็นพื้นฐานมาก่อนจึงมีความเข้าใจ คำถามจะไม่ถามจากตำรา หรือสิ่งที่สอนได้ แต่โยง

ความรู้ที่เรียนมาสัมพันธ์กับคำถามแล้วเปลี่ยนเป็นคำตอบใหม่ ภาษาและสำนวนใหม่ รูปแบบใหม่ ความสามารถในระดับนี้แบ่งเป็น 3 ด้าน ได้แก่ ความสามารถในการแปลความ ตีความ และขยายความ

3. ระดับการนำไปใช้เป็นการวัดความสมารถในการนำเอาความรู้ ความเข้าใจมาประยุกต์ใช้หรือแก้ปัญหาในเหตุการณ์หรือสถานการณ์ใหม่ได้เหมาะสม การเขียนคำถามในระดับนี้อาจเขียนถามความสอดคล้องระหว่างวิชาหลักและการปฏิบัติ ถามข้อยกเว้นของหลักวิชาและปฏิบัติ ถามให้อธิบายหลักวิชา ถามให้แก้ปัญหา ถามเหตุผลของการปฏิบัติ

4. ระดับการวิเคราะห์ เป็นการวัดความสามารถในการแยกแยะ หรือแจกแจงรายละเอียดของเรื่องราว การคิด การปฏิบัติออกเป็นย่อยๆ โดยอาศัยหลักการหรือกฎเกณฑ์ต่างๆ เพื่อค้นพบข้อเท็จจริงและคุณสมบัติบางประการ คำถามระดับการวิเคราะห์ แบ่งเป็น 3 ประเภท คือการวิเคราะห์ ความสำคัญ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์และการวิเคราะห์หลักการ

4.1 การวิเคราะห์ความสำคัญเป็นการสามารถในการหาส่วนประกอบที่สำคัญของเรื่องราว เหตุการณ์ ว่าส่วนใดสำคัญหรือไม่สำคัญ

4.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ เป็นความสมารถในการค้นหาความเกี่ยวข้องระหว่างคุณลักษณะย่อย 2 คุณลักษณะขึ้นไป

4.3 การวิเคราะห์หลักการ เป็นการค้นหาโครงสร้าง หลักการของเรื่อง วัตถุประสงค์ และการกระทำ เพื่อศึกษาว่าสิ่งเหล่านั้นสัมพันธ์กันโดยใช้หลักการใดเป็นสิ่งเชื่อมโยง

5. ระดับสังเคราะห์ เป็นการวัดความสามารถในการรวมและการผสมผสานรายละเอียดปลีกย่อยของข้อมูล สร้างเป็นสิ่งใหม่ๆ ที่แตกต่างจากเดิม ความสามารถดังกล่าวเป็นพื้นฐานความคิดริเริ่มสร้างสรรค์คำถามระดับนี้แบ่ง 3 ประเภทได้แก่

5.1 การสังเคราะห์ข้อความ เป็นความสามารถในการแสดงออกเพื่อการสื่อสาร โดยนำความรู้ประสบการณ์มาประสบประสานเพื่อสื่อสารกับบุคคลอื่น ในรูปแบบการพูดการเขียนหรือการแสดงออก

5.2 การสังเคราะห์แผนงาน เป็นความสารถในการกำหนดแนวทางและขั้นตอนของการปฏิบัติงาน สร้างแผนเค้าโครงของงานหรือโครงการเพื่อให้ใช้งานนั้นดำเนินอย่างมีประสิทธิภาพ บรรลุจุดประสงค์หรือมาตรฐานที่กำหนด

5.3 การสังเคราะห์ความสัมพันธ์เป็นการวัดความสามารถในการค้นหาความสำคัญและหลักการต่างๆ มาผสมผสานให้เกิดสิ่งใหม่ที่มีความสำคัญสมเหตุสมผลแต่แปลกไปจากเดิมเป็นการปรับปรุงแก้ไขหรือสร้างสรรค์งาน

6. ระดับการประเมินค่า เป็นการวัดความสามารถในการสรุปค่าหรือตีราคาเกี่ยวกับ เรื่องราว ความคิด พฤติกรรม ว่าดี หรือเลว เหมาะสม หรือไม่เหมาะสม เพื่อจุดประสงค์บางประการอ้างอิง มีหลักเกณฑ์ เป็น 2 ลักษณะคือ

6.1 การประเมินกฎเกณฑ์ภายใน เป็นการประเมินข้อเท็จจริงต่างๆ ที่ปรากฏในเรื่องเป็นหลักในการพิจารณา อย่างสมเหตุสมผลโดยการให้การประเมินภาพรวมหรือประเมินเป็นส่วนๆ ก็ได้ แนวการ

ประเมินอาจถูกต้องหรือสอดคล้องของเรื่อง ความสมบูรณ์ของข้อมูลความเหมาะสมของวิธีการปฏิบัติและความสมเหตุสมผลของผลสรุป

6.2 การประเมินกฎเกณฑ์ภายนอก เป็นการตีคุณค่า ราคา ของสิ่งต่างๆ โดยใช้กฎเกณฑ์อื่นๆ ที่อยู่นอกเรื่องที่กำหนดแต่มีความสัมพันธ์กับเรื่องมาเป็นหลักในการวินิจฉัยในการกำหนดเกณฑ์ภายนอกต้องพิจารณาใช้เกณฑ์ที่เหมาะสมกับสิ่งที่ประเมินและต้องพิจารณาถึงมาตรฐานของสังคม การประเมินชนิดนี้ ได้แก่การประเมินโดยสรุปตามกฎเกณฑ์ ภายนอกที่กำหนดให้การประเมินโดยการเปรียบเทียบของ 2 สิ่งในประเภทเดียวกัน การประเมินมาตรฐานและประเมินความเด่นด้อย

2.6.1 การสร้างแบบทดสอบในการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

การวัดและประเมินผลของการศึกษาเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดเพราะนอกจากการวัดและการประเมินผลช่วยให้ครูและนักเรียน รวมทั้งผู้บริหารการศึกษาทราบว่า การเรียนการสอนได้มีผลตามความคาดหวังหรือไม่แล้ว การวัดและการประเมินผลเป็นสิ่งที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อชีวิตของนักเรียนทั้งปัจจุบันและอนาคต ผลจากการประเมินจะบอกให้นักเรียนทราบว่าตนเอง เก่ง ปานกลาง หรืออ่อนเมื่อเปรียบเทียบกับนักเรียนคนอื่นๆในห้อง [31]

แบบทดสอบ คือเครื่องมือวัดผลทางการศึกษาที่สำคัญและใช้มากที่สุดในด้านการศึกษา ซึ่งเป็นชุดคำถามหรือกลุ่มงานใดๆ ที่สร้างขึ้นแล้วนำไปเร้าเด็กให้แสดงพฤติกรรมออกมา โดยผู้สอนสามารถสังเกตและวัดได้หลังจากการเรียนการสอนสิ้นสุดลงแล้วจำเป็นต้องมีการวัดและประเมินผลว่า ผู้เรียนบรรลุวัตถุประสงค์ของการเรียนที่วางไว้หรือไม่เพียงใด [32]

2.6.1.1 ข้อสอบแบบตัวเลือก เป็นข้อสอบแบบปรนัยแบบอื่น ข้อสอบแบบประเภทนี้มีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ส่วนคือ

1. ตอนนำหรือ ตัวคำถาม (Stem)
2. ตัวเลือก (Choice) แบ่งได้ 2 แบบคือ
   - ตัวถูก (Correct Choice)
   - ตัวลวง (Decoys Choice)

ข้อสอบแบบตัวเลือกที่ดีนั้น ตัวเลือกทุกตัวจะต้องมีน้ำหนักพอๆกัน ถ้าดูเผินๆ หรือไม่มีความรู้ในข้อนั้นๆจะเห็นได้ว่าถูกทั้งหมดทุกข้อ และในการสอบแต่ละครั้ง ตัวเลือกแต่ละตัวจะมีโอกาสถูกเลือกพอกัน สำหรับข้อสอบเลือกตอบที่มีลักษณะถูกหรือผิดอย่างเด่นชัดทำให้ข้อสอบขาดคุณค่าและ ขาดลักษณะความเป็นปรนัยอันเป็นคุณสมบัติของข้อสอบประเภทนี้

2.6.1.2 หลักในการเขียนข้อสอบประเภทเลือกตอบ

1. เขียนตัวคำถาม หรือตอนนำให้อยู่ในรูปประโยคคำถามที่สมบูรณ์จะช่วยให้คำถามมีความหมายเฉพาะเจาะจงยิ่งขึ้น ผู้สอบอ่านแล้วเข้าใจทันทีว่าผู้ถามให้ตอบในแง่ใดจะต้องพุ่งความคิดไปในทิศทางใด การเขียนตอนนำทิ้งท้ายไว้คล้ายให้เติมความ มักทำให้คำถามไม่กระชับ เกิดปัญหาในการที่จะมีคำตอบหลายแง่มุม บางทีผู้ตอบต้องกลับไปอ่านข้อความซ้ำเพราะข้อความไม่ต่อเนื่องเพื่อจะเลือกตัวเลือกที่รับคำถาม ในกรณีที่ตัวเลือกใช้คำที่ไปรับกับคำถามพอดี จะเป็นการเสนอแนะคำตอบด้วย หากจำเป็นจริงๆ ที่จะต้องเขียนตอนนำแบบต่อความก็เขียนเป็นข้อความที่อ่านได้

2. เน้นในเรื่องที่ถามให้ชัดเจนและตรงจุด คำถามประเภทที่คลุมเครือทำให้ผู้สอบเกิดความลังเลในการตอบไม่ทราบว่าครูถามในแง่ใดแน่ คำถามที่มีลักษณะต่อความมีโอกาสทำให้คลุมเครือได้ง่าย การเขียนตอนนำให้เป็นคำถามจะช่วยให้ชัดเจนขึ้น

3. ใช้ภาษาที่ใช้ให้เหมาะสมกับระดับผู้สอน ข้อสอบที่ดีควรให้ยากที่เนื้อหาของมันเองไม่ใช่ยากที่ภาษา สำนวนที่ใช้หรือการใช้คำพูดพลิกแพลง เพราะเราไม่ได้มุ่งวัดความสมารถด้านภาษา ยกเว้นข้อสอบที่มีจุดหมาย เช่นนั้น โดยเฉพาะ การใช้คำยากในข้อคำถามหรือตัวเลือกจะทำให้ข้อสอบยากขึ้นโดยไม่จำเป็น เพราะอาจทำให้ข้อสอบขาดความเที่ยงตรง และความเชื่อมั่นต่ำได้

4. คำถามควรสั้น และชัดเจน การเขียนคำถามยาวๆ วกวนไปอาจทำให้ข้อสอบขาดความเที่ยงตรงตามสภาพ เพราะจะกลายเป็นการทดสอบการอ่านหนังสือเร็วแล้วจับใจความแทนที่จะทดสอบความรู้ความเข้าใจหรือความสามารถทางวิชาการ

5. พยายามหลีกลี่ยงการใช้คำถามปฏิเสธหรือการปฏิเสธซ้อน การใช้คำถามปฏิเสธทำให้ผู้สอบต้องคิดยอกย้อนโดยไม่จำเป็น อาจทำให้เกิดความเข้าใจผิดได้ง่าย แต่ถ้ามีความจำเป็นจะต้องใช้จริงๆ ก็ต้องขีดเส้นใต้คำปฏิเสธ หรือพิมพ์ด้วยอักษรเอน หรือตัวหนา ให้ต่างจากข้อความทั่วไปเพื่อให้ชัดเจนขึ้น หรือใช้คำที่มีความหมายที่ปฏิเสธแทน

6. ใช้ตัวเลือกปลายเปิดให้เหมาะสม ตัวเลือกปรายเปิดได้แก่ คำประเภท “ถูกทุกข้อ” “ไม่มีข้อใดถูก” “ยังสรุปไม่ได้” การใช้ตัวเลือกแบบนี้ อาจเนื่องมาจากผู้ออกข้อสอบไม่สามารถหาตัวลวงที่เหมาะสมได้ หรือคิดว่าอาจเป็นตัวถูก หรือตัวลวงที่ดี การใช้ตัวเลือกแบบปลายเปิดด้วยเหตุผลนี้ที่ผู้ออกข้อสอบไม่สามารถหาตัวลวงหรือตัวถูกได้นั้นมักทำให้คำถามนั้นด้อยคุณภาพด้วยการแนะ คำตอบด้วยตัวเลือกนั้น ข้อสอบที่เหมาะจะใช้แบบปลายเปิดควรเป็นคำถามที่เกี่ยวข้องกับเรื่องราวหรือเหตุการณ์ที่ยังหาข้อสรุปไม่ได้ หรือที่ยังเป็นปัญหาโต้แยงกันอยู่ ตัวเลือกแบบปลายเปิดนอกจากจะใช้ได้ดีกับเรื่องราวที่ไม่มีข้อยุติแล้ว ยังเหมาะกับวิชาประเภทคำนวณ อีกด้วย ตัวเลือก “ถูกทุกข้อ” จะใช้ได้ดีกับข้อที่มีคำตอบเป็นเป็นไปได้หลายข้อ เช่นการคำนวณหาตัวแปร ที่ไม่ทราบค่าของสมการหลายชั้น ตัวเลือก “ไม่มีข้อใดถูก” สามารถใช้ลวงตัวที่ไม่แม่นยำในการคำนวณหาคำตอบข้อนั้นๆ เพื่อหาคำตอบที่ถูกต้องไม่ได้จะเอนเอียงมาหาคำตอบ ตัวเลือก “ไม่มีข้อใดถูก” ถ้าหากจำเป็นใช้ตัวเลือกปลายเปิดแล้วก็ควรใช้หลายๆข้อ จะได้เป็นไม่การแนะนำคำตอบและจะต้องจัดให้ตัวเลือกปลายเปิดนั้นเป็นทั้งตัวถูก และตัวผิดพอๆกัน กับตัวเลือกอื่น

7. ใช้คำถามให้คุ้มงานสอบ ข้อสอบที่ดีไม่ควรถามด้านความจำเป็นมากนัก แต่จะพยายามถามให้ลึกซึ้งลงไป และไม่ใช้ข้อความที่พลิกแพลงจนกลายเป็นข้อสอบวัดความสามารถด้านภาษาไป ข้อสอบที่ถามไม่คุ้มงานสอบจะไม่ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์แก่การวัดเท่าที่ควร เช่น ข้อคำถามที่ง่ายมากทุกคนหรือเกือบทุกคนตอบถูกหมด หรือข้อสอบที่ยากไม่มีใครตอบถูกเลยทำให้ไม่ทราบเลยว่าใครเก่งกว่าใคร การถามเนื้อหาที่ไม่จำเป็นถือว่าเป็นการถามที่ไม่คุ้มงานสอบเช่นกัน

8. ข้อสอบมีคำตอบเดียว ในการเขียนคำถามมีบ่อยๆ ที่ผู้ออกข้อสอบไม่ได้พิจารณาตัวลวงให้ดี เมื่อผู้สอบทำข้อสอบมักมีปัญหามีข้อถูกมากกว่า 1 ตัวอยู่บ่อยๆ

9. เขียนตัวถูกผิด ให้ถูกหรือผิดตามหลักวิชาการ การเขียนตัวถูกหรือตัวลวงควรคำนึงถึงความจริงและความเป็นไปได้ตามเนื้อหานั้นๆ ด้วยการใช้ตัวลวงโดยไม่คำนึงถึงความถูกต้องตามหลักวิชาการอาจเป็นการแนะนำคำตอบให้เด่นชัดขึ้น ข้อควรคำนึงในการเขียนตัวลวงมีดังต่อไปนี้

9.1 หลีกเลี่ยงการใช้คำศัพท์เทคนิคที่ไม่มีอยู่ในสาขานั้น

9.2 ตัวลวงผิดตามหลักการข้อเท็จจริงของเนื้อหานั้น ตัวลวงที่ดีควรมีผู้เลือกตอบและผู้ที่เลือกตอบควรเป็นผู้ที่ไม่แม่นยำในเนื้อหานั้นจริงอาจเข้าใจผิด หรือเกิดความผิดพลาดในการคิดโดยไม่เจตนาได้ โดยเฉพาะวิชาคณิตศาสตร์ ตัวลวงควรได้มาจากการคำนวณโดยวิธีผิด ที่มักเกิดขึ้นกับนักเรียน ซึ่งครูอาจสังเกตได้ในขณะการเรียนการสอน ใช้ตัวเลือกคำตอบของนักเรียนทั้งที่เป็นตัวถูกและตัวผิดและตัวผิดจะทำให้ข้อสอบมีคุณภาพสูงกว่าข้อสอบที่ใช้ตัวเลือกจากที่ครูสร้างขึ้นทั้งค่าความเที่ยงตรง ความเชื่อมั่นและอำนาจจำแนก นอกจากนี้ข้อสอบที่ใช้ตัวเลือกที่ได้จากคำตอบของนักเรียนยังยากกว่าข้อสอบที่ได้จากการเลือกจากครูสร้างเองอีกด้วย

9.3 คำตอบควรถูกต้องตาหลักวิชาการ บางครั้งตัวเลือกนั้นอาจเป็นคำตอบ ถูกแต่เมื่อพิจารณาโดยเฉพาะสาขาวิชาแล้วอาจไม่เกี่ยวข้องกันเลย

10. เขียนตัวเลือกให้เป็นอิสระขาดจากกัน พยายามอย่าให้ตัวเลือกทั้งที่เป็นตัวถูกและตัวผิดก้าวก่ายกัน หรือมีความหมายสืบเนื่องสัมพันธ์กัน หรือครอบคลุมตัวเลือกอื่นๆ ซึ่งเหมือนกับมีตัวเลือกน้อยลง และมีคำตอบที่ถูกหลายข้อ

11. เรียงลำดับตัวเลือกที่เป็นตัวเลข ข้อสอบที่มีคำตอบเป็นตัวเลข เช่นวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เกี่ยวกับวันเดือนปี หรือจำนวนต่างๆ ควรจัดเรียงลำดับกัน อาจเรียงลำดับจากมากไปน้อยหรือน้อยไปมากก็ได้เพื่อช่วยให้ผู้สอบได้หาคำตอบได้ง่ายขึ้นไม่เกิดการสับสน

12. พยายามใช้รูปภาพช่วย การใช้รูปภาพเป็นตัวสถานการณ์ หรือคำถามตัวเลือกจะช่วยคลายความเครียดให้ผู้สอบได้มาก โดยเฉพาะในเด็กชั้นตอนต้น การใช้รูปภาพนอกการคลายความเครียดได้แล้วยังช่วยให้เข้าใจคำถามได้ง่ายขึ้น และยังช่วยให้ข้อสอบน่าสนใจยิ่งขึ้น ข้อสำคัญรูปภาพที่ใช้ควรเขียนให้ชัดเจน สวยงามน่าดู และถูกต้องไม่ทำให้ผู้สอบมองแล้วเข้าใจผิดได้

13. หลีกเลี่ยงคำถามที่แนะนำคำตอบ คำถามที่ใช้แล้วที่มีแง่ให้ผู้สอบสามารถตัดตัวลวงออกได้โดยไม่ต้องใช้ความคิด หรือชี้นำให้ผู้สอบเลือกตอบ ได้ง่ายขึ้น ถือว่าเป็นคำถามที่ชี้แนะคำตอบ คำถามที่มีลักษณะแนะนำคำตอบมีดังนี้

13.1 ตัวคำตอบใช้คำที่ซ้ำกับคำถาม หรือใช้คำที่เกี่ยวเนื่องกัน

13.2 ออกคำถามซ้ำกัน ได้แก่การถามในสิ่งเดียวกันแต่ใช้ถ้อยคำต่างกัน ซึ่งผู้สอบอาจค้นคำตอบจากข้ออื่นๆ ในข้อสอบฉบับเดียวกันได้ [32]

2.6.2 การสร้างแบบสอบถามทัศนคติ

แบบสอบถามที่ใช้ถามเพื่อนำมาวิเคราะห์ หาผลสรุปของงานวิจัยจะต้องมีความสมบูรณ์และเชื่อถือได้ซึ่งในการสร้างแบบสอบถามทัศนคติของบุคคลของ สุมาลี จันชะลอ [30] ได้กล่าวว่า ทัศนคติเป็นท่าทีของความรู้สึกของบุคคลต่อสิ่งใดสิ่งหนึ่งซึ่งไม่สามารถวัดได้โดยตรงแต่อาจวัดได้ด้วยความคิดเห็นของบุคคล สำหรับการใช้มาตรวัดทัศนคติของลิเคิรท์ (Likert Scale) มาตราชนิดนี้ประกอบด้วยข้อความทัศนะคติซึ่งเป็นความรู้สึกที่มีต่อสิ่งที่จะวัด ข้อความดังกล่าวจะมีทั้งในทางบวกและทางลบ
การสร้างมาตรวัดทัศนคติมีวิธีการดังนี้

1. กำหนดคุณลักษณะที่ต้องการประเมิน โดยระบุจะวัดคุณลักษณะของใครต่อสิ่งใด

2. นิยามความหมายของทัศนคติให้ชัดเจนว่าประกอบด้วยลักษณะประเภทใดบ้างซึ่งจะใช้เป็นกรอบสำหรับการวัด

3. รวบรวมข้อความที่แสดงทัศนะติในระดับต่างๆของบุคคล ข้อความนี้ควรครอบคลุมลักษณะทั้งหมดที่ต้องการวัดโดยการเขียนข้อคำถามมากกว่าข้อที่ต้องการใช้ข้อความเสดงทัศนคติทั้งทางที่ดี (บวก) และในทางที่ไม่ดี (ลบ) จำนวนที่ใกล้เคียงกัน

4. ตรวจสอบข้อความที่สร้างขึ้น โดยพิจารณาเกี่ยวกับข้อความครอบคลุมครบถ้วยตามคุณลักษณะทั้งหมดที่ต้องการวัด ตรวจสอบความเหมาะสม ความสอดคล้องของภาษาแต่ละข้อความกับระดับความคิดเห็น โดยปกติมาตราวัดทัศนคติของลอเคิรท์แบ่งออกเป็น 5 ระดับ ได้อย่างไม่สอดคล้องกับระดับของความเห็นหรือมีความกำกวมควรปรับปรุงแก้ไข ข้อความการตรวจสอบเบื้องต้นอาจทำได้โดยผู้เชี่ยวชาญ

5. ทดลองใช้ ข้อความที่ผ่านการตรวจสอบเบื้องต้นอาจมีบางข้อความที่ยังไม่ชัดเจนหรือกำกวมจึงควรนำไปทดสอบใช้กับกลุ่มตัวอย่างจำนวนหนึ่งเพื่อตรวจสอบความเป็นปรนัยของคำถาม ตรวจสอบว่ามีข้อความใดต้องแก้ไข การทดลองนี้อาจนำมาเพื่อการตรวจสอบคุณภาพด้านอื่นๆ ได้แก่ความเที่ยงความตรง และอำนาจจำแนกของเครื่องมือวัด

6. กำหนดน้ำหนักคะแนนแต่ละตัวเลือก วิธีที่ทำได้ง่ายได้แก่กำหนดน้ำหนักสมมติ (Arbitrary Weighting Method) เช่นกำหนดให้แต่ละตัวเลือก มีน้ำหนักเป็น 5, 4 ,3 ,2 และ 1สำหรับข้อความในทางบวก ส่วนข้อความในทางลบให้น้ำหนักกลับกัน คะแนนที่กำหนดจะใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดให้

คะแนนโดยการตรวจข้อความที่เป็นบวกก่อนปิดข้อคำถาม เมื่อตรวจครบทุกข้อแล้วจึงเริ่มตรวจข้อความที่เป็นลบจากนั้นจึงนำคะแนนมารวมกันเป็นทัศนคติของบุคคลนั้นซึ่งการกำหนดน้ำหนักคะแนนให้แต่ละตัวเลือก แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การกำหนดน้ำหนักคะแนนให้กับตัวเลือกข้อความในทางบวกและข้อความทางลบ

ข้อความที่เป็นบวก	น้ำหนักคะแนน	ข้อความที่เป็นลบ	น้ำหนักคะแนน
เห็นด้วยอย่างยิ่ง	5	เห็นด้วยอย่างยิ่ง	1
เห็นด้วย	4	เห็นด้วย	2
เฉยๆ ไม่แน่ใจ	3	เฉยๆ ไม่แน่ใจ	3
ไม่เห็นด้วย	2	ไม่เห็นด้วย	4
ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง	1	ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง	5

7. ตรวจสอบคุณภาพของแบบวัด การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือสามารถทำได้โดยการวิเคราะห์คำถาม

2.6.3 การสร้างแบบวัดภาคปฏิบัติ

การวัดด้านการปฏิบัติ เหมาะสำหรับใช้วินิจฉัยพฤติกรรมการปฏิบัติของผู้เรียน [30] ทำให้เห็นจุดเด่นจุดด้อยในการปฏิบัติตนของผู้เรียน การวัดด้านนี้มีความหมายเกี่ยวข้องกับการวัด 2 ส่วน คือ (1) ส่วนกระบวนการ (Process) และ (2) ส่วนของผลงาน (Product) ดังนั้นในการวัดทั้ง 2 ส่วนดังกล่าวใกล้เคียงกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของงาน จุดประสงค์ที่จะสอบวัด กระบวนการและผลงานมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกัน แม้ว่าจะมีขั้นตอนต่อเนื่องในการทำงานตามลำดับ แต่ก็สามารถแยกแยะการสังเกต และประเมินแยกออกจากกันได้ เช่น การพิมพ์ดีด อาจสังเกตท่าทาง การวางมือที่แป้นพิมพ์ การมองข้อความที่พิมพ์ มากกว่าการการมองที่แป้นพิมพ์ การเคาะแป้นพิมพ์ การวางมือที่แป้นพิมพ์ ผลการผลิต หมายถึง ผลสุดท้ายหรือผลงานที่เนื่องจากการกระทำการวัดผลงานต้องกำหนดประเด็นที่ประเมิน และเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับในการผ่านเกณฑ์นั้นๆ การกำหนดเกณฑ์ควรคำนึงถึงอายุ วุฒิภาวะของผู้เรียน การตัดสินใจผลงาน หรือผลผลิตจะต้องเลือกเกณฑ์ที่เหมาะสม

ไพศาล หวังวานิช [34] ให้ความหมาย การวัดผลภาคปฏิบัติ คือความสามารถในการปฏิบัติงานเป็นการวัดที่ให้ผู้เรียนได้แสดงถึงพฤติกรรมด้วยการกระทำ โดยถือว่าการปฏิบัติเป็นความสมารถในการผสานหลักการ วิธีการต่างๆ ที่ได้รับการฝึกฝนมาให้ปรากฏออกมาเป็นทักษะของผู้เรียน

2.6.3.1 ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือวัด และการประเมินผลภาคปฏิบัติ

1. กำหนดวัตถุประสงค์การประเมินผลภาคปฏิบัติ
2. กำหนดเกณฑ์การปฏิบัติโดยแยกแยะประเด็นที่สังเกต
3. ตัดสินหรือให้คะแนนการปฏิบัติ

2.6.3.2 วิธีที่ใช้ในการประเมินผลภาคปฏิบัติ

การประเมินโดยใช้เทคนิคการสังเกต (Observation Technique) การประเมินกระบวนการ ผลงานหรือพฤติกรรมอื่นๆ นอกวิชาการ เช่น การประเมินทัศนะคติต่องาน ความร่วมมือ เป็นต้น สามารถกระทำได้โดยการสังเกต การสังเกตเป็นเทคนิคหลักในการรวบรวมข้อมูล เป็นการวัดผลภาคปฏิบัติอย่างหนึ่ง การสังเกตผู้เรียนอย่างเป็นระบบในสถานการณ์ธรรมชาติ หรือสถานการณ์จำลองที่กำหนดขึ้นเป็นเทคนิคที่เป็นประโยชน์ การเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการปฏิบัติ และข้อมูลเกี่ยวกับจริยธรรมของผู้เรียน การสังเกตอย่างเป็นระบบเป็นวิธีที่มีการนำมาใช้มากที่สุด ผู้ที่ใช้เทคนิคนี้ควรจะเตรียมการไว้ดังนี้

1. สุ่มพฤติกรรมที่จะสังเกต
2. กำหนดขอบเขตของพฤติกรรมที่จะศึกษา
3. วางแผนการสังเกตว่าจะสังเกตใคร สังเกตเมื่อไร ใครเป็นผู้สังเกต
4. เลือกและฝึกผู้สังเกต
5. ผลของการสังเกตเป็นตัวอย่างพฤติกรรมของบุคคลที่สังเกตได้ซึ่งควรบอกได้ว่าผลดั่งกล่าวสามารถสรุปข้ออ้างอิงไปยังพฤติกรรมอะไรบ้าง

ผลของการสังเกตจะมีความเที่ยง (Reliability) และความตรง (Validity) เพียงใดผู้สังเกตเป็นผู้มีบทสำคัญผลดังกล่าวยังขึ้นอยู่กับเครื่องมือและเทคนิคการใช้ในการสังเกต การสังเกตภาคปฏิบัติจะต้องระบุประเด็นสำคัญที่ต้องประเมิน และกำหนดน้ำหนักสำคัญให้กับประเด็นแต่ละประเด็นของกระบวนการหรือผลงานเป็นการเพิ่มความตรง และความเป็นปรนัยในการให้คะแนนมากขึ้น

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาดูงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างและพัฒนาสื่อการทดลองและใบงานประกอบการทดลองต่างๆ เพื่อใช้ในการเรียนการสอนในวิชาทางด้าน เทคนิคธรณี ผู้วิจัยสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

ชาตรี ชงกุล และคณะ [12] ได้ทำการศึกษาแบบจำลองหมุนเหวี่ยงของสมอทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสรับแรงดึงที่เกิดขึ้นในทราย การทดสอบได้ทำการเปรียบเทียบพฤติกรรมในการรับแรงดึงโดยจำลองสมอสี่เหลี่ยมจัตุรัส 2 ขนาดคือ 0.75 ซม x 0.75 ซม ที่แรงโน้มถ่วง 66 เท่า และ 1.5 ซม x 1.5 ซม ที่แรงโน้มถ่วง 33 เท่า โดยใช้ค่ามุมเสียดทานของทราย 29, 31 และ 37 องศา และความลึกอยู่ในช่วง 2-5 เท่าของสมอ จากการ

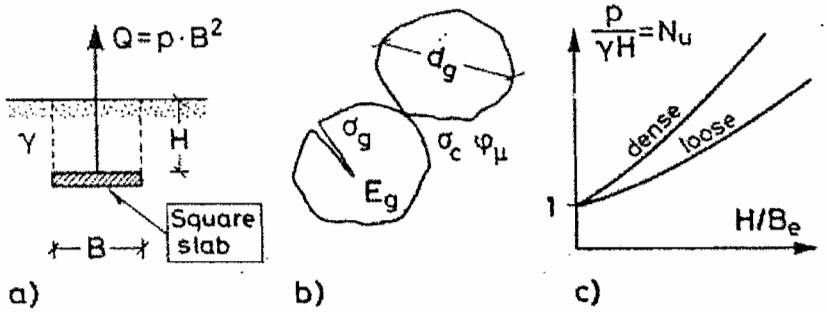
ทดสอบ พบว่าเมื่อเพิ่มแรงดึงในแนวดิ่งให้กับสมอ จะเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นตามแนวแกนสมอโดยมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักทำให้เกิดเป็นเส้นกราฟที่มีความชันเป็นเส้นโค้ง (Non-Linear) แต่เส้นกราฟได้รับอิทธิพลจากระยะหลวมที่จุดเชื่อมต่อรับแรงดึงระหว่างสมอกับลูกสูบลมจึงส่งผลให้ค่าที่ที่ออกมามีความคลาดเคลื่อนบ้างในช่วงของระยะดังกล่าว ค่าความชันของเส้นกราฟดังกล่าวในช่วงที่รับน้ำหนักจะขึ้นอยู่กับอิทธิพลของความหนาแน่นของทราย เมื่อทรายมีความหนาแน่นมาก (หรือค่ามุมเสียดทานภายในมาก) จะทำให้เส้นกราฟมีความชันมากด้วย อย่างไรก็ดีค่าแรงดึงสูงสุดที่ตรวจวัดได้เป็นที่น่าพอใจ โดยค่าดังกล่าวถูกใช้ในการคำนวณหาค่า bearing capacity factor (N_γ) ซึ่งค่านี้จะแปรผันตามมุมเสียดทานของทรายและอัตราส่วนระหว่างความลึกต่อความกว้าง (D/B) โดยความสัมพันธ์ของค่าทั้งสองอยู่ในลักษณะเชิงเส้น นอกจากนี้ จากการเปรียบเทียบการใช้ ระบบลูกสูบลมและระบบมอเตอร์ เพื่อให้แรงดึงกับสมอ แสดงให้เห็นว่า ระบบที่ให้แรงดึงโดยใช้มอเตอร์ ให้ผลของแรงดึงที่สม่ำเสมอกว่า และส่งผลให้การตรวจสอบความเสมือนของแบบจำลอง (Modeling of Model, MOM) เป็นที่น่าพอใจ

ปิยะ ม่วงเส็ง และคณะ [11] ได้ทำการการสร้างแบบจำลองและศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างภายใต้แรงหมุนเหวี่ยง การทดสอบได้ทำการจำลองเสาเข็มสั้น 4 ขนาด คือ เสาเข็มหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1 และ 0.63 ซม. กับเสาเข็มหน้าตัดวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.97 ซม. และ 0.63 ซม. จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า เสาเข็มแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะรับน้ำหนักกระทำด้านข้างได้มากกว่าเสาเข็มแบบหน้าตัดวงกลมเพราะเสาเข็มหน้าตัดวงกลมมีลักษณะที่สามารถแหวกเม็ดทรายหรือมีลักษณะที่ลู่มากกว่าเสาเข็มหน้าตัดสี่เหลี่ยมดังนั้น เสาเข็มหน้าตัดวงกลมจึงค่อยๆ เบียดเม็ดทรายทีละน้อยๆ ขณะเคลื่อนเข้าสู่เม็ดทราย เส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเคลื่อนที่ (Load Displacement Curve) มีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่มีความชันมากในช่วงแรกและลดลงเรื่อยๆจนมีค่าเป็นศูนย์ที่จุดประลัย (Ultimate) นอกจากนี้ยังทำการศึกษาความเสมือนของแบบจำลอง (Modeling of Model) โดยเปรียบเทียบแรงกระทำด้านข้าง ระหว่างเสาเข็ม 2 ขนาด ที่ระดับ g – level ต่างกันแต่ยังมีความเสมือนของแบบจำลองอยู่หลังจากการปรับเสกลซึ่งอยู่บนพื้นฐานของสมการของ Brooms's ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ขนาดของเสาเข็มไม่มีผลต่อแรงกระทำด้านข้างและแสดงให้เห็นว่าเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบมีความถูกต้องแม่นยำเหมาะสมสำหรับการทดสอบแบบจำลองหมุนเหวี่ยงใหม่ๆ ที่จะถูกสร้างขึ้นในอนาคต

พัฒนศักดิ์ อบเชย และคณะ [36] ได้ทำการทดสอบเกี่ยวกับพฤติกรรมของแบบจำลองของเสาเข็มในชั้นดินทรายที่รับแรงกระทำทางด้านข้าง แบบจำลองของเสาเข็มที่ใช้ในการศึกษาเป็นแท่งอะลูมิเนียมกลมกลวงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 15 มิลลิเมตร หนา 0.6 มิลลิเมตร ยาว 650 มิลลิเมตร ได้ผลการทดสอบดังนี้ ความสามารถในการรับแรงกระทำด้านข้างสูงสุดและการเคลื่อนตัวของแบบจำลองของเสาเข็ม ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกระทำกับระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของเสาเข็ม โดยมีระยะฝัง L = 450 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง D = 15 มิลลิเมตร มีอัตราส่วน L/D เท่ากับ 30 ที่ค่า e/D

เท่ากับ 0 โดยพบว่าเมื่อเริ่มต้นเพิ่มแรงกระทำทางด้านข้างเสาเข็มจะเกิดการเคลื่อนตัวไปทางด้านข้างน้อย ซึ่งทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกระทำกับระยะการเคลื่อนตัวไปทางด้านข้างของเสาเข็มมีความชันเพิ่มขึ้นทีละน้อย และเมื่อเพิ่มแรงกระทำต่อไปเสาเข็มในชั้นดินทรายหลวมจะเกิดการเคลื่อนตัวไปทางด้านข้างมาก โดยแรงที่กระทำมีค่าน้อย ทำให้ความชันของเส้นกราฟความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นจนมีความชันคงที่เกือบเป็นแนวดิ่ง แตกต่างกับเสาเข็มในชั้นดินทรายแน่น พบว่าเมื่อเพิ่มแรงกระทำต่อไปโดยแรงที่กระทำมีค่ามาก เสาเข็มเกิดการเคลื่อนตัวไปทางด้านข้างน้อย ทำให้ความชันของเส้นกราฟความสัมพันธ์ยังเพิ่มขึ้นต่อไป ซึ่งความแตกต่างของความสัมพันธ์ดังกล่าวในกรณีของดินทรายหลวมกับกรณีของดินทรายแน่น เป็นผลมาจากความหนาแน่นของดินทราย โดยดินทรายเมื่อถูกบดอัดจนแน่นจะมีช่องว่างในการเคลื่อนตัวของเม็ดดินทรายได้น้อย ดังนั้น เมื่อเสาเข็มรับแรงทางด้านข้างดินทรายที่ถูกอัดแน่นที่บริเวณด้านหน้าของเสาเข็ม จะมีความสามารถในการต้านทานแรงด้านข้างสูงและทำให้เสาเข็มมีความสามารถในการรับแรงทางด้านข้างมากขึ้น

Ovensen [25] ได้คำนึงถึงปัญหาของสมอสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ฝังอยู่ในชั้นดินทรายที่มีลักษณะหลวม (Loose Sand) และทรายที่มีลักษณะแน่น (Dense Sand) โดยพิจารณาอัตราส่วนความลึกของสมอต่อความกว้างของสมอแล้วทำการดึงสมอในแนวดิ่งดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การทดสอบสมอสี่เหลี่ยมจัตุรัส ของ Ovensen [25]
a) สมอสี่เหลี่ยมจัตุรัสฝังอยู่ในทราย b) ขนาดของเม็ดดิน (d_g) c) กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการทดสอบสมอบนตัวอย่างดินทรายที่มีลักษณะหลวม (Loose) และ ทรายที่มีลักษณะแน่น (Dense)

ผลการทดสอบมีทั้งทดสอบโดยเครื่อง Centrifuge และทำการเทียบผลการทดลอบแบบลดขนาดของสมอแบบไม่ใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงสำหรับชั้นดินทรายที่มีลักษณะหลวม และทรายที่มีลักษณะแน่น โดยต้นแบบสมอนั้นเป็นสมอวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 291 mm ซึ่งสรุปได้ว่าผลการทดสอบด้วยเครื่อง Centrifuge มีความถูกต้องมากกว่า โดยเฉพาะการทดสอบในทรายอัดแน่น Ovensen ยังได้กล่าวต่ออีกว่าใน

การออกแบบจำลองแบบสมอนั้นจำเป็นต้องออกแบบให้มีความกว้างของสมอไม่น้อยกว่า 30 เท่าของขนาดเม็ดดิน (d_g) ซึ่งส่งผลต่อการทดสอบให้มีค่าผิดพลาดน้อย

ปิยะ แซ่จั่น และคณะ [1] ได้ทำการสร้างและปรับเทียบต้นแบบเครื่องมือทดสอบแบบหมุนเหวี่ยงเพื่อการเรียนการสอนวิศวกรรมเทคนิคธรณี การทำการทดสอบโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงจะทำการทดสอบโดยแบ่งเป็น 2 การทดสอบคือ การทดสอบกำแพงกันดิน (Retaining Wall) และการทดสอบเสถียรภาพของลาดดิน (Slope Stability) ผลการทดสอบนำไปเปรียบเทียบกับทฤษฎี เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องต้นแบบและแบบจำลอง การทดสอบกำแพงกันดิน (Retaining Wall) แบ่งเป็น 2 การทดสอบคือ การทดสอบน้ำ และการทดสอบทรายในแบบจำลอง retaining wall ผลการทดสอบทั้ง 2 แบบจะเปรียบเทียบกับทฤษฎีแรงดันดินด้านข้างแบบ active โดยวัดค่าแรงดึงของเส้นลวดที่ยึดระหว่าง beam load cell และกำแพงจำลอง โดยมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด 18% นอกจากนี้ในการทดสอบเสถียรภาพของลาดดิน (Slope Stability) รูปแบบการพังทลายและค่าเสถียรภาพของลาดดินที่ได้จากการทดลองจะถูกเปรียบเทียบกับทฤษฎีของ Taylor และค่าดังกล่าวยังมีความคลาดเคลื่อนระดับหนึ่ง

โสตถิพนธ์ โอภาส และคณะ [35] ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการรับแรงถอนของเสาเข็มในชั้นดินทรายของแบบจำลอง อันเนื่องมาจากอิทธิพลของค่าความหนาแน่นและพื้นผิวของเสาเข็ม โดยทดสอบค่าความสามารถในการรับแรงถอน (Uplift Capacity) ของแบบจำลองเสาเข็มเหล็กผิวเรียบและผิวขรุขระในชั้นดินทรายแห้งแบบแน่น (Dr = 80%) และแบบหลวม (Dr = 25%) ที่ค่าอัตราส่วนของความลึกการฝังต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม (L/d) เท่ากับ 8, 16, 24 และ 28 ซึ่งใช้แรงถอนจากน้ำหนักถ่วงโดยตรงผ่านลวดสลิงที่มีรอกช่วยในการเคลื่อนที่จากผลการทดสอบพบว่าค่าความสามารถในการรับแรงถอนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าอัตราส่วนของความลึกการฝังต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม (L/d) มีค่าเพิ่มขึ้น ในกรณีที่ค่า L/d มีค่าน้อยๆ พบว่าลักษณะพื้นผิวของเสาเข็มที่ต่างกันมีค่าความสามารถในการรับแรงถอนต่างกันน้อยมาก แต่เมื่อค่า L/d มีค่าเพิ่มขึ้นความแตกต่างของค่าความสามารถในการรับแรงถอนก็มากขึ้น ความสามารถในการรับแรงถอนของเสาเข็มขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของดินทรายและแรงเสียดทานระหว่างผิวเสาเข็มกับดิน

จิระวัฒน์ ใจอ่อนน้อม [42] ได้สร้างชุดแบบวงจรดิจิตอล ซึ่งประกอบด้วยเนื้อหาสำหรับการทดลอง 15 การทดลอง โดยการทำการทดลองหาประสิทธิภาพและเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ ทางการเรียนกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ชุดทดลองนี้มีเนื้อหาการทดลองตามเนื้อหาหลักสูตร คือเรื่องพีชคณิตบูลีนและออกแบบวงจรลอจิก แผนผังคาโนห์การเข้ารหัสและออกรหัสและฟลิปฟลอป กลุ่มตัวอย่างคือ นักศึกษาแผนกช่างไฟฟ้า ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงปีที่ 4 (หลักสูตร4 ปี)ของสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตนนทบุรี รวม 27 คน แบ่งเป็นกลุ่มทดลอง 12 คน และกลุ่มควบคุม 15 คน กลุ่มทดลองสอนโดยใช้ชุด

ทดลองดิจิตอล กลุ่มควบคุมการสอนสอนโดยวิธีปกติ การหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาทั้งสองกลุ่ม ได้จากบททดสอบพุทธิพิสัยและทักษะพิสัยที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ผลปรากฏว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษากลุ่มทดลอง และกลุ่มควบคุมไม่แตกต่างกันสูงเกณฑ์ผ่านของหลักสูตร และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มทดลองสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัย

อรอนงค์ วิริยานุรักษ์นคร [43] ได้ทำการวิจัยเรื่องการสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดการสอนวิชาการวิเคราะห์และออกแบบวงจรดิจิตอล ตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล พุทธศักราช 2543 และเพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาก่อนและหลังเรียน โดยใช้ชุดการสอนวิชา การวิเคราะห์และออกแบบวงจรดิจิตอลเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือชุดการสอนและแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และการวิเคราะห์ออกแบบดิจิตอล (Digital Circuit Analysis and Design) ภาควิชาครุศาสตร์คอมพิวเตอร์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2544 จำนวน 40 คน วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาประสิทธิภาพของชุดการสอนด้วยค่า E1/E2 และวิเคราะห์เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังการใช้ชุดการสอนด้วยวิธีการทดสอบค่าที (t-test) ผลการวิจัยพบว่า ชุดการสอนที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 83.60/80.71 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด อีกทั้งชุดการสอนที่สร้างขึ้นนี้ทำให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนวิชาการวิเคราะห์และออกแบบวงจรดิจิตอลได้

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนการสอนทดลอง จะเห็นได้ว่ามีที่ทำการสร้างและพัฒนาบทเรียนหรือชุดทดลองและใบงานทดลองเกี่ยวกับเนื้อหาทางวิศวกรรมในรูปแบบต่างๆ ซึ่งผลของการวิจัยพบว่าการสอนทดลองด้วยบทเรียนหรือชุดทดลองและใบงานทดลองที่สร้าง และพัฒนาขึ้นมาใหม่ดังกล่าวนั้น จะทำให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าผู้ที่รับการสอนทดลองแบบปกติทั่วไป ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะสร้างและพัฒนาชุดทดลองเรื่อง การจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยเทคนิคการหมุนเหวี่ยงเพื่อใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยงโดยมีวิธีการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.3 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.1.1 ประชากรในการวิจัยเป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโยธา ของภาควิชาครุศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ผ่านการเรียนทฤษฎีในวิชาวิศวกรรมฐานราก (CTE 443 Foundation Engineering) มาแล้ว ในปีการศึกษา 2549 จำนวน 2 ห้องเรียน

3.1.2 กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยเป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโยธา ของภาควิชาครุศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ผ่านการเรียนทฤษฎีในวิชาวิศวกรรมฐานราก (CTE 443 Foundation Engineering) มาแล้ว ในปีการศึกษา 2549 ได้มาโดยวิธีการสุ่มตัวอย่างง่าย (Simple Random Sampling) จำนวน 18 คน

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยนี้ประกอบด้วยเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 4 ชนิด คือ

3.2.1 ชุดการทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยง พร้อมใบงานประอบการทดลอง 3 ใบงาน

3.2.2 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ครอบคลุมเนื้อในใบงานการทดลอง 3 กลุ่มเนื้อหา โดยใช้แบบทดสอบชนิด เลือกตอบแบบ 4 ตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ

3.2.3 แบบสังเกต ที่ใช้ในการสังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติของผู้เรียนที่ทำการเรียนร่วมกับชุดทดลอง

3.2.4 แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียนเกี่ยวกับการเรียนด้วยชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยง

3.3 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.3.1 การเลือกหัวข้อเนื้อหาสำหรับงานทดลอง

ผู้วิจัยเริ่มงานด้วยการศึกษาคำอธิบายรายวิชา CTE 443 Foundation Engineering ของภาควิชาครุศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และศึกษาโครงงานวิจัยที่ได้นำเทคนิคการจำลองที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับการทดลองด้วยโมเดลย่อส่วนโดยใช้เครื่องทดสอบแบบหมุนเหวี่ยงขนาดเล็กทางวิศวกรรมเทคนิคธรณี (CTEd-1) ที่สร้างขึ้นเป็นเครื่องต้นแบบเครื่องหมุนเหวี่ยงขนาดเล็กเครื่องแรกของประเทศ โดย ดร. กิติเดช สันติชัยอนันต์ ภาควิชาครุศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยพบว่าในเรื่องของงานทางวิศวกรรมฐานราก มีโครงงานวิจัยที่เกิดขึ้นแล้วและอาศัยหลักการและเทคนิคการจำลองพฤติกรรมจาก เครื่องทดสอบแบบหมุนเหวี่ยงขนาดเล็กทางวิศวกรรมเทคนิคธรณี (CTEd-1) ได้แก่ แบบจำลองหมุนเหวี่ยงของกำแพงกันดินทรายในสภาพแอคทีฟ, การทดสอบเสถียรภาพของลาดดินในแบบจำลอง, การทดสอบแบบหยั่งกรวยสำหรับเครื่องหมุนเหวี่ยงทางวิศวกรรมเทคนิคธรณี, แบบจำลองหมุนเหวี่ยงของเสาเข็มสั้นในทรายที่รับแรงกระทำด้านข้าง, แบบจำลองหมุนเหวี่ยงของสมอในทราย ซึ่งผลการทดสอบทั้งหมดสร้างความพึงพอใจได้ระดับที่ดี

ต่อมาได้รับคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษาในการเลือกการทดสอบสำหรับการจำลองพฤติกรรม ตามเงื่อนไขที่สอดคล้องกับเนื้อหาสำหรับงานวิจัย และลดขั้นตอนในการพัฒนาชุดทดลองขึ้นมาใหม่ รวมทั้งเหมาะสมกับกลุ่มผู้เรียนในระดับปริญญาตรี เมื่อทำการเรียนทดลองเสร็จแล้วผลจากการทดลองสามารถวิเคราะห์และศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างใต้ดินได้จริง โดยไม่ต้องกังวลกับการเลือกใช้พารามิเตอร์ที่ซับซ้อน และไม่มีความแปรปรวนของชั้นดินและสภาพแวดล้อมเนื่องจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ในธรรมชาติมาเกี่ยวข้อง ผู้วิจัยจึงได้เลือกการทดสอบโดยมีการจำลองพฤติกรรม จำนวน 3 เรื่องดังนี้

1. แบบจำลองหมุนเหวี่ยงของกำแพงกันดินทรายในสภาพแอคทีฟ
2. แบบจำลองหมุนเหวี่ยงของเสาเข็มสั้นในทรายที่รับแรงกระทำด้านข้าง
3. แบบจำลองหมุนเหวี่ยงของสมอในทราย

จากแบบจำลองที่ได้กำหนดไว้ทั้ง 3 เรื่อง ผู้วิจัยได้ค้นคว้ารายละเอียด จากตำราหลายเล่ม เพื่อกระจายเนื้อหา และขยายแนวคิดในการใช้เทคนิคการจำลองพฤติกรรมจากเครื่องทดสอบแบบหมุนเหวี่ยงขนาดเล็กทางวิศวกรรมเทคนิคธรณี (CTEd-1) ทำการทดลองให้เป็นประโยชน์มากที่สุด ผลของการศึกษาค้นคว้า ทำให้เกิดขั้นตอนดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

3.3.1.1 การกำหนดเกณฑ์การคัดเลือกเนื้อหาที่ใช้ในการทดลอง

ประเด็นเนื้อหามีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะประเด็นที่เหมาะสมจะช่วยในการกำหนดขั้นตอนการทดลองในใบงาน และช่วยในการกำหนดเนื้อหาให้เหมาะสมกับ ความสามารถของชุดแบบจำลองได้ง่ายขึ้น เพราะการทดลองครั้งนี้ เป็นการทดลองที่อยู่ภายใต้เงื่อนไข ความสามารถของเทคนิคการจำลองพฤติกรรมจาก เครื่องทดสอบแบบหมุนเหวี่ยงขนาดเล็กทางวิศวกรรมเทคนิคธรณี (CTEd-1) ความสัมพันธ์ ระหว่างเนื้อหากับความสามารถของแบบจำลองจะช่วยให้ผู้วิจัยสามารถจัดรูปแบบ กิจกรรม การทดลองไว้ในใบงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยจึงได้กำหนดเกณฑ์ในการคัดเลือกเนื้อหาไว้ ดังนี้

1. เกณฑ์การพิจารณาเนื้อหาตามธรรมชาติของเนื้อหาสำหรับใช้ในการทดลอง

1.1 เนื้อหาที่เลือกจะต้องประกอบด้วย หลักการ และกฎ สูตร

1.2 หลักการจะต้องประกอบด้วยตัวแปรหลายตัว และตัวแปรแต่ละตัวต้องมีความสัมพันธ์ต่อกันเมื่อมีตัวใดเปลี่ยนแปลง จะส่งผลกระทบตัวแปรอื่น

1.3 เนื้อหาที่เลือกจะต้องเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในการจำลองพฤติกรรมโครงสร้างใต้ดิน

1.4 เนื้อหาที่เลือกจะต้องเป็นส่วนเนื้อหานามธรรม ที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้

1.5 เนื้อหาที่เลือกจะต้องเป็นพื้นฐาน จำเป็นต่อการเรียนรู้เนื้อหาวิศวกรรมฐานรากที่สูงขึ้น และจำเป็นต่อการนำไปใช้ในงานทั่วไป

2. เกณฑ์ในการพิจารณาเนื้อหาตามความสามารถของเทคนิคการจำลองพฤติกรรมจาก เครื่องทดสอบแบบหมุนเหวี่ยงขนาดเล็กทางวิศวกรรมเทคนิคธรณี (CTEd-1)

2.1 สามารถใช้อุปกรณ์อีเล็กทรอนิกส์วัดค่า และจำลองปรากฏการณ์ของโครงสร้างใต้ดินได้

2.2 สามารถจำลองปรากฏการณ์การที่เกิดขึ้น ได้อย่างรวดเร็ว ถูกต้อง และ แม่นยำ

2.3 สามารถจำลองปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้ ขณะที่มีตัวแปรตัวหนึ่งเปลี่ยนแปลงไป

2.4 สามารถวัดและบันทึกค่าหลายค่า เพื่อเปรียบเทียบกราฟ (Graph) ในแกน X, Y เดียวกันได้

3.3.1.2 จากนั้นจึงใช้หลักการวิเคราะห์งาน (Job Analysis) หารายละเอียดของพฤติกรรมการทำงาน พิจารณาความรู้และทักษะที่เป็นองค์ประกอบของงาน โดยจำแนกออกเป็นกลุ่มงานต่างๆ และเขียนบรรยายลักษณะของงานเพื่อแสดงให้เห็นวัตถุประสงค์ของงานและกำหนดความชัดเจนของภาพลักษณ์ในการปฏิบัติงานแต่ละขั้นตอน

1. กำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย

ลักษณะของงานเป็นการ ศึกษาหลักการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของกำแพงกันดินซึ่งนอกจากได้มาจากทฤษฎีของ Rankine การทดสอบจะทำการจำลองกำแพงกันดินที่มีขนาดเล็กในกล่องสี่เหลี่ยมใสที่ผู้เรียนสามารถมองเห็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงหรือการพังทลาย และยังสามารถบันทึกข้อมูลมุมในการเอียงตัวของกำแพงที่สัมพันธ์กับสภาวะการรับน้ำหนักจากเทคนิคการหมุนเหวี่ยง ทั้งนี้เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจในการพังทลายของดินหลังกำแพง จากแรงดันดินเชิงรุก (Active Earth Pressure) และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ออกแบบกำแพงกันดินในกรณีดังกล่าว

2. เสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย

ลักษณะของงานเป็นการแสดงพฤติกรรมของการรับแรงกระทำด้านข้างของเสาเข็มสั้นกับระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างในดินทราย ซึ่งเสาเข็มจะอยู่ในลักษณะ free head โดยผู้เรียนจะต้องศึกษาทั้งเสาเข็มหน้าตัดวงกลมและสี่เหลี่ยมจัตุรัส รวมทั้งค่าตัวแปรต่างๆ ด้วยการสร้างสภาวะการรับน้ำหนักของดินจากเทคนิคการหมุนเหวี่ยง ซึ่งผู้เรียนจะได้เห็นลักษณะการเกิดเหตุการณ์จริงจากแบบจำลอง และมิติเทียบเท่ากับต้นแบบจริงได้อย่างน่าสนใจโดยมีเป้าหมายเพื่อให้เสาเข็มเกิดการเคลื่อนที่สูงสุด ซึ่งผู้เรียนจะสังเกตเห็นการเคลื่อนที่ของปลายด้านบนของเสาเข็ม ที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ จากการบันทึกภาพไว้

3. การรับแรงดึงของสมอหน้าตัดสี่เหลี่ยม (Uplift Capacity) ในทราย

ลักษณะของงานเป็นการแสดงให้เห็นพฤติกรรมของการรับแรงดึง และอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ซึ่งผู้เรียนจะทำการศึกษาสมอในรูปแบบของแผ่นสมอเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Plate Anchor) ที่เกิดจากการฝังแผ่นเหล็กลงไปในทรายด้วยการสร้างสภาวะรับแรงดึงภายใต้หลักการแบบจำลองหมุนเหวี่ยง (Centrifuge Model) และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ออกแบบสมอในกรณีดังกล่าวได้

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์งานจะนำไปใช้ในการวางแผนการสอนและกำหนดวัตถุประสงค์ของการเรียนและใช้ในการสร้างข้อมูลต่างๆทางด้านการกำหนดเนื้อหาในใบงานการทดลองและรูปแบบของวิธีการทดลอง รวมทั้งนำ วางแผนสำหรับสอนร่วมกับชุดทดลอง โดยจำแนกเป็นความรู้และทักษะที่ต้องใช้ในการปฏิบัติงานซึ่ง นความสามารถที่ผู้เรียนจะได้รับ ดังแสดงตัวอย่างตารางการวิเคราะห์งานไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างการวิเคราะห์กลุ่มงาน ที่ 1 เรื่อง กำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย

Operation	Objective	Tool & Material	Knowledge	Skill
1. พฤติกรรมของกำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย 2. ลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างที่เกิดขึ้นจากดินทรายหลังกำแพงจากตัวแปร 2.1 ค่า Friction angle (ϕ) ของดินทราย 2.2 ค่าหน่วยน้ำหนักกดทับของดินทราย	1. อธิบายลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างที่เกิดขึ้นจากดินทรายหลังกำแพงในสภาพแรงดันดินเชิงรุก (Active Earth Pressure) ได้ 2. อธิบายความแตกต่างของลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างที่เกิดขึ้นจากดินทรายหลังกำแพงจากตัวแปร 2.1 ค่า Friction angle (ϕ)ของดินทราย 2.2 ค่าหน่วยน้ำหนักกดทับของดินทราย	1. เครื่องทดสอบแบบหมุนเหวี่ยงขนาดเล็กทางวิศวกรรมเทคนิคธรณี (CTEd-1) 2. กล่องบรรจุทรายทดสอบ 3. ชุดกำแพงกันดิน 4. Beam load cell 5. ลูกสูบแรงดันลมและระบบควบคุม 6. คอมพิวเตอร์และกล้องวงจรปิดสำหรับบันทึกภาพชุดทดสอบขณะหมุนเหวี่ยง	1. วิธีการและหลักการ ควบคุมการเกิดแรงดันดินที่สภาวะแรงดันเชิงรุก (Active earth pressure) 2. การเปลี่ยนแปลงมุมของกำแพง ที่เกิดจากแรงดันด้านข้างของดิน 3. ปริมาณการเคลื่อนที่ของดินลักษณะต่างๆ กรณีแรงดันดินเชิงรุก (Active lateral earth pressure) 4. หลักการและรูปแบบของแรงดันดินด้านข้างตามทฤษฎีของ Rankine	1.การควบคุมการทำงานของแรงดันต่อกำแพงกันดิน 2.การติดตั้งอุปกรณ์การจำลองกำแพงกันดิน 3. การอ่านค่าและการใช้งานเครื่องทดสอบ แบบหมุนเหวี่ยงขนาดเล็กทางวิศวกรรมเทคนิคธรณี (CTEd-1) 4. การสังเกตสภาวะการเคลื่อนที่ของดินหลังกำแพง 5. การเขียนกราฟการเคลื่อนที่และแรงดันบนกำแพง

จากตารางการวิเคราะห์งานผู้วิจัยพบว่าในการทดสอบทั้ง 3 การทดลองต้องใช้ความรู้และทักษะดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงความรู้และทักษะที่ได้ตามกลุ่มงาน

เรื่องที่ 1 กำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย	
ความรู้ที่ใช้	ทักษะที่ใช้
1. วิธีการและหลักการ ควบคุมการเกิดแรงดันดินที่สภาวะแรงดันเชิงรุก (Active earth pressure) 2. การเปลี่ยนแปลงมุมของกำแพง ที่เกิดจากแรงดันด้านข้างของดิน 3. ปริมาณการเคลื่อนที่ของดินลักษณะต่างๆ กรณีแรงดันดินเชิงรุก (Active lateral earth pressure) 4. หลักการและรูปแบบของแรงดันดินด้านข้างตามตามทฤษฎีของ Rankine	1. การควบคุมการทำงานของแรงดันต่อกำแพงกันดิน 2. การติดตั้งอุปกรณ์การจำลองกำแพงกันดิน 3. การอ่านค่าและการใช้งานเครื่องทดสอบ แบบหมุนเหวี่ยงขนาดเล็กทางวิศวกรรมเทคนิคธรณี (CTEd-1) 4. การสังเกตสภาวะการเคลื่อนที่ของดินหลังกำแพง 5. การเขียนกราฟการเคลื่อนที่และแรงดันบนกำแพง
เรื่องที่ 2 เสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย	
ความรู้ที่ใช้	ทักษะที่ใช้
1. วิธีการและหลักการ ควบคุมการรับแรงดันด้านข้างสูงสุดของเสาเข็มสั้น (Ultimate lateral load ,Q_u) 2. การเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงต้านสูงสุด (p_u) ที่อัตราส่วน L/D ต่างๆ 3. ปริมาณการเคลื่อนที่และพฤติกรรมของเสาเข็มที่ฝังในทรายโดยมีหัวของเสาเข็มเป็นแบบ ไม่มีการยึดรั้ง (Free Head Pile) 4. หลักการและรูปแบบของการวิเคราะห์เสาเข็มที่มีการรับแรงกระทำทางด้านข้างตามทฤษฎีของ Broms และ Zhang et al. 5. การปรับมิติให้สอดคล้องกันของแบบจำลองที่มีขนาดต่างกัน (Similitude) โดยอาศัยกฎของสเกล (Scaling law)	1. การควบคุมการทำงานของแรงดันต่อเสาเข็ม 2. การติดตั้งอุปกรณ์การจำลองเสาเข็มและชุดควบคุมแรงดัน 3. การอ่านค่าและการใช้งานเครื่องทดสอบ แบบหมุนเหวี่ยงขนาดเล็กทางวิศวกรรมเทคนิคธรณี (CTEd-1) 4. การสังเกตลักษณะการเคลื่อนที่ของเสาเข็ม 5. การเขียนกราฟการเคลื่อนที่และแรงดันด้านข้างต่อเสาเข็ม 6. การเทียบสัดส่วนกันระหว่าง น้ำหนักกระทำด้านข้าง ของ เสาเข็มต้นแบบ (P_p) และของเสาเข็มจำลอง (P_m)

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

เรื่องที่ 3 การรับแรงดึงของสมอหน้าตัดสี่เหลี่ยม (Uplift Capacity) ในทราย	
ความรู้ที่ใช้	ทักษะที่ใช้
1. วิธีการและหลักการ ควบคุมการรับแรงดึงของสมอหน้าตัดสี่เหลี่ยม (Uplift Capacity) ในทราย 2. ปริมาณการเคลื่อนที่และพฤติกรรมของสมอที่ฝังในทราย 4. หลักการและรูปแบบของการรับแรงดึงของสมอหน้าตัดสี่เหลี่ยม (Uplift Capacity) และค่า bearing capacity factor (N_γ) ที่เกิดขึ้นในทราย 5. การปรับมิติให้สอดคล้องกันของแบบจำลองที่มีขนาดต่างกัน (Similitude) โดยอาศัยกฎของสเกล (Scaling law)	1. การควบคุมการทำงานของแรงดึงต่อสมอ 2. การติดตั้งอุปกรณ์การจำลองสมอและชุดมอเตอร์สำหรับดึงสมอ 3. การอ่านค่าและการใช้งานเครื่องทดสอบ แบบหมุนเหวี่ยงขนาดเล็กทางวิศวกรรมเทคนิคธรณี (CTEd-1) 4. การสังเกตลักษณะการถอนตัวของสมอ 5. การเขียนกราฟการเคลื่อนที่และแรงดึงสมอ 6. การเทียบสัดส่วนกันระหว่าง bearing capacity factor (N_γ) ของสมอจำลองขนาดใหญ่ (P_p) และ ของสมอจำลองขนาดเล็ก (P_m)

3.3.2 การศึกษารายละเอียดของชุดแบบจำลองที่มีการใช้งานอยู่แล้ว

3.3.2.1 ลักษณะและความสามารถโดยทั่วไปของ Centrifuge modeling machine (CTEd-1)

จากการศึกษาชุดจำลองแบบหมุนเหวี่ยงขนาดเล็กทางวิศวกรรมเทคนิคธรณี (CTEd-1) ขนาดเล็กเพื่อการเรียนการสอนสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ประสิทธิภาพของเครื่องสามารถเพิ่มแรงโน้มถ่วง หรือเพิ่มน้ำหนักดินได้ถึง 70 เท่า โดยที่ปลายแขนหมุนมีรัศมี 1 เมตร สามารถบรรทุกน้ำหนักสูงสุดได้ 10 กิโลกรัม หรือสามารถจำลองความสูงของดินในสนามได้ถึง 10 เมตร

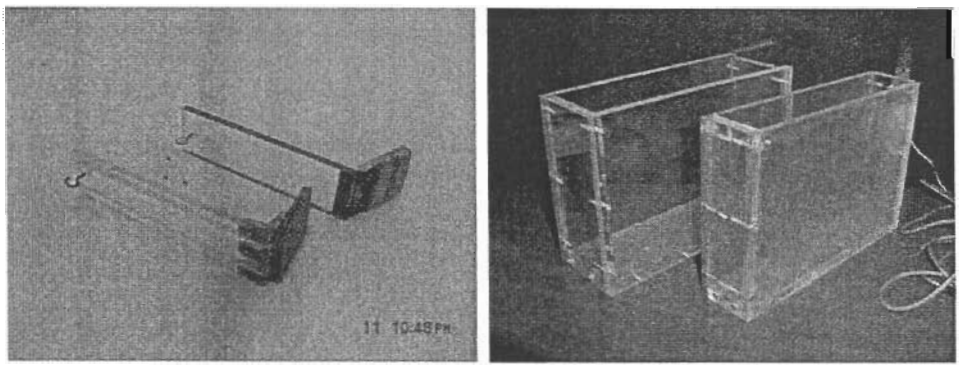
2. สามารถกำหนดชั้นดินที่แตกต่างกันได้หลายชั้น (Multi-Layered Soil)

3. แสดงรูปแบบการพังทลายต่างๆ ของโครงสร้างใต้ดินผ่านกล้องวงจรปิดไร้สายและ สามารถบันทึกเป็นภาพวีดีโอเพื่อใช้ในการถ่ายทอดให้แก่นักศึกษาในการเรียนการสอน

4. ระบบการรับส่งสัญญาณข้อมูลและภาพ ใช้ระบบส่งสัญญาณคลื่นวิทยุและ interface ที่ง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน

3.3.2.2 ชุดทดสอบแบบหมุนเหวี่ยงกำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย

ชุดแบบจำลองการพังทลายของดินหลังกำแพง การทดลองนี้จะเป็นการศึกษารูปแบบการพังทลายของทรายด้านหลังกำแพงในสภาพแห้ง โดยในการทดสอบสามารถสังเกตได้จากสีของทรายที่ได้โรยไว้เป็นชั้นๆ สูง 10 เซนติเมตร หรือเทียบกับทรายถมขนาดเท่าของจริงประมาณ 10 เมตร (เมื่อทดสอบแบบจำลองดังกล่าวด้วยการหมุนเหวี่ยงที่ระดับแรงโน้มถ่วง 100 เท่าของแรงโน้มถ่วงปกติบนโลก) เครื่องจำลองภายใต้แรงหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) เป็นการจำลองสภาพการทดสอบภายใต้ความเร่ง เพื่อให้โครงสร้างของดินใกล้เคียงกับสภาพจริง โดยมีการตรวจจับแรงรวมที่กระทำกับกำแพงในสภาพ แรงดันดินเชิงรุก (Active Earth Pressure) ตลอดจนรูปแบบการพังทลายที่เกิดขึ้นทั้งใช้และไม่ใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง ผลการทดสอบที่ได้จะนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎีแรงดันดินด้านข้างของ Rankine's ตลอดจนการเปรียบเทียบค่าการพังทลายระหว่างแบบจำลองที่ใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงโดยใช้แรงดันจากลูกสูบค้ำกำแพงไว้ก่อนจะค่อยปล่อยขณะที่ดินมีสภาพน้ำหนักใกล้เคียงกับสภาพที่เกิดขึ้นจริงในสนาม โดยใช้เครื่องจำลองภายใต้แรงหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ค่าน้ำหนักกระทำด้านข้างต่อกำแพงที่อ่านได้จาก beam load cell จะนำมาแปลงเป็นน้ำหนักกระทำด้านข้างจริงภายใต้ความเร่ง เมื่อต้องการทราบค่าการรับน้ำหนักด้านข้างของกำแพงที่เกิดขึ้นจริงในสนาม นำค่าที่ได้ไปคูณกับค่า g – level ที่ทำการหมุนเครื่องจำลองภายใต้แรงหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การทดสอบกำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างบนเครื่องจำลองภายใต้แรงหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) มีผลการทดสอบใกล้เคียงกับการทดสอบกำแพงที่รับแรงกระทำด้านข้างจริงในสนาม



ก) ข)

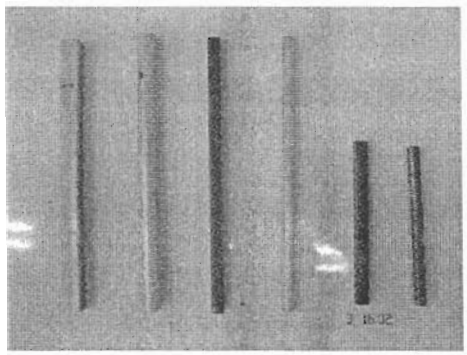
รูปที่ 3.1 ชุดอุปกรณ์ของแบบจำลองการพังทลายของดินหลังกำแพง

ก) กำแพงกันดินที่ใช้ทดสอบ ข) กล่องที่ใช้ใส่ตัวอย่างทราย

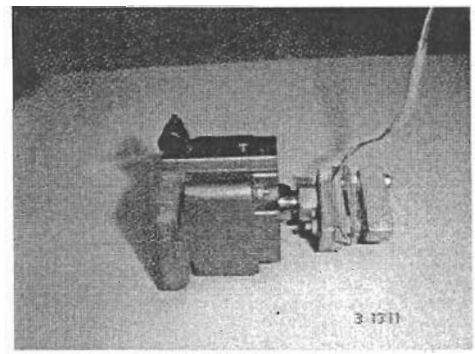
3.3.2.3 ชุดแบบจำลองเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย

ชุดแบบจำลองเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างบนเครื่องจำลองภายใต้แรงหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) เป็นการจำลองสภาพการทดสอบภายใต้ความเร่ง เพื่อให้โครงสร้างของดินใกล้เคียงกับสภาพจริง ซึ่งใช้

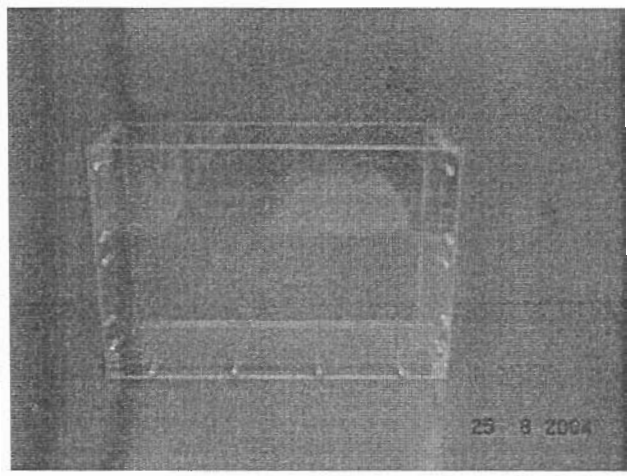
หลักการเช่นเดียวกันกับการทดสอบเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในสนาม ในการทดสอบนี้ทำการจำลองเสาเข็มสั้น 4 ขนาด คือ หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1 x 1 cm. และ 0.63 x 0.63 cm. กับหน้าตัดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.97 cm. และ 0.63 cm. โดยใช้แรงดันจากลูกสูบดันเสาเข็มสั้นทางด้านข้าง ขณะที่ดินมีสภาพน้ำหนักกระทำด้านข้างใกล้เคียงกับสภาพที่เกิดขึ้นจริงในสนาม โดยใช้เครื่องจำลองภายใต้แรงหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ค่าน้ำหนักกระทำด้านข้างของเสาเข็มสั้นที่อ่านได้จาก load cell จะนำมาแปลงเป็นน้ำหนักกระทำด้านข้างจริงภายใต้ความเร่ง และค่าที่อ่านได้จาก potentiometer จะนำมาแปลงเป็นการเคลื่อนที่ของเสาเข็มภายใต้ความเร่ง เมื่อต้องการทราบค่าน้ำหนักกระทำด้านข้างกับการเคลื่อนที่ของเสาเข็มที่เกิดขึ้นจริงในสนาม นำค่าที่ได้ไปคูณกับค่า g – level ที่ทำการหมุนเครื่องจำลองภายใต้แรงหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การทดสอบเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างบนเครื่องจำลองภายใต้แรงหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) มีผลการทดสอบใกล้เคียงกับการทดสอบเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างจริงในสนาม



ก)



ข)



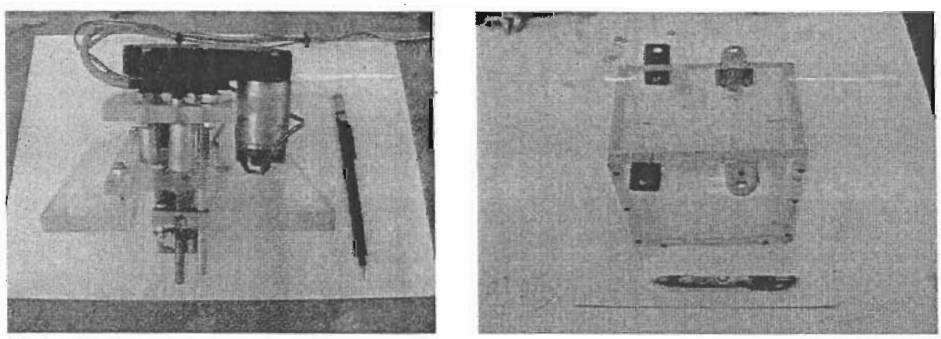
ค)

รูปที่ 3.2 ชุดอุปกรณ์ของแบบจำลองเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้าง

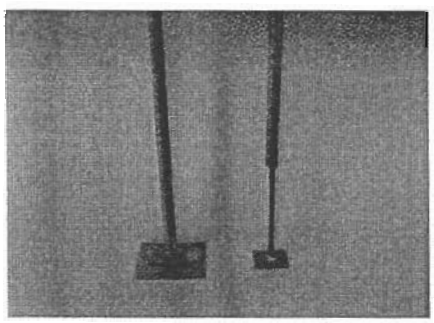
ก) เสาเข็มที่ใช้ทดสอบ ข) กระบอกลูกสูบแรงดันลม ค) กล่องที่ใช้ใส่ตัวอย่างทราย

3.3.2.4 ชุดการทดสอบแบบจำลองหมุนเหวี่ยงการรับแรงดึงของสมอหน้าตัดสี่เหลี่ยม (Uplift Capacity) ในทราย

ชุดการทดสอบแบบจำลองหมุนเหวี่ยงของสมอบนเครื่องจำลองภายใต้แรงหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) เป็นการจำลองสภาพการทดสอบภายใต้ความเร่ง เพื่อให้โครงสร้างของดินใกล้เคียงกับสภาพจริง ซึ่งใช้หลักการเช่นเดียวกันกับการทดสอบในสนาม ในการทดสอบนี้ทำการจำลองสมอ 2 ขนาด คือ หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1.50 x 1.50 cm. และ 0.75 x 0.75 cm. โดยใช้แรงดึงจากมอเตอร์ดึงสมอขึ้น ขณะที่ดินมีสภาพน้ำหนักกระทำใกล้เคียงกับสภาพที่เกิดขึ้นจริงในสนาม โดยใช้เครื่องจำลองภายใต้แรงหมุนเหวี่ยง โดยค่าน้ำหนักที่กระทำต่อสมอที่อ่านได้จาก load cell จะนำมาแปลงเป็นน้ำหนักกระทำจริงภายใต้ความเร่ง และค่าที่อ่านได้จาก potentiometer จะนำมาแปลงเป็นการเคลื่อนที่ของสมอภายใต้ความเร่ง



ก) ข)



ค)

รูปที่ 3.3 ชุดอุปกรณ์ของแบบจำลองการรับแรงดึงของสมอ

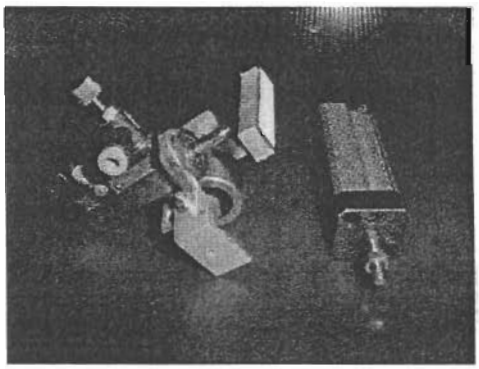
ก) ระบบแรงดึงด้วยมอเตอร์ ข) กล่องที่ใช้ใส่ตัวอย่างทราย ค) สมอหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส

3.3.2.5 เครื่องมือตรวจจับค่าแรงกระทำและระยะเคลื่อนที่

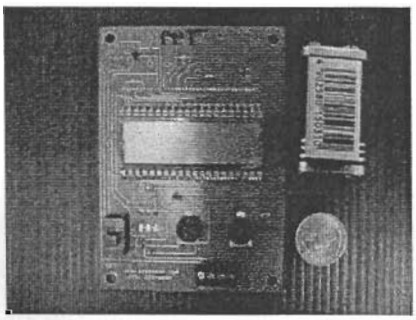
เป็นแผงวงจรขนาดเล็กสามารถยึดติดได้ที่แขนหมุน แผงวงจรดังกล่าวสามารถอ่านค่าความเปลี่ยนแปลงของวงจร strain gauge ได้ Transducer หรือ Sensor ที่นำมาใช้เป็น sensor วัดน้ำหนักแบบ load cell วัดแรงดันแบบ pressure transducer ขนาดเล็ก และลูกสูบลม เพื่อควบคุมการพังทลายหรือการดัน ให้เกิดขึ้นในเวลาที่ต้องการขณะเครื่องหมุนกำลังหมุน ใช้ชุดควบคุมระยะไกลคอยควบคุมลูกสูบ 4 ลูกพร้อมกันจาก

แหล่งจ่ายแรงดันลมที่เข้าเครื่องเพียงแหล่งเดียวการออกแบบการควบคุมแต่ละลูกสูบสามารถทำได้โดยการใช้ remote control แบบ infrareds ควบคุมโดยใช้เทคนิคการใช้กระจกสะท้อนสัญญาณและติดตั้งตัวรับสัญญาณที่ กึ่งกลางแขนหมุน ส่วนการควบคุมแรงดันลมใช้ regulator ควบคุมแรงดันที่จ่ายเข้าในเครื่องหมุนเหวี่ยง

ก)



ข)



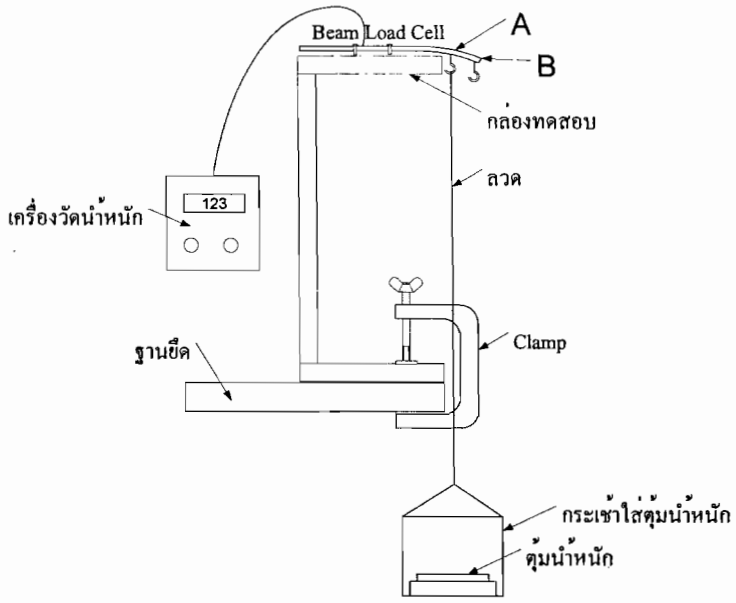
ค)

รูปที่ 3.4 เครื่องมือตรวจจับค่าแรงกระทำและระยะเคลื่อนที่

ก) Sensor แบบต่างๆ ที่ใช้ ข) ลูกสูบลม และอุปกรณ์ควบคุม ค) แผงวงจรอ่านค่าจาก Sensor

3.3.2.6 การสอบเทียบ (Calibration) Sensors ต่างๆ

การสอบเทียบกระทำโดยการเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้ากับค่ามาตรฐานต่างๆ เช่น การสอบเทียบ (Calibration) beam load cell โดยใช้น้ำหนักแขวน หรือการปรับเทียบค่า pressure transducer ด้วย pressure gauge เป็นต้น



รูปที่ 3.5 การสอบเทียบ (Calibration) beam load cell โดยใช้น้ำหนักแขวน [1]

3.3.3 การสร้างใบงานทดลอง

ข้อมูลที่นำมาสร้างใบงานจะเป็นการนำเนื้อหาที่คัดเลือก มาจัดทำให้เป็นใบงานให้ผู้เรียนได้ปฏิบัติตามขั้นตอนที่ผู้วิจัยต้องการ เพื่อความสะดวกในการเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับพิสูจน์สมมติฐานงานวิจัย กรรมวิธีและการสร้างใบงานนั้นจะอาศัยหลักการของการสอนทดลองแบบปกติ มาเป็นพื้นฐานในการดำเนินงานซึ่งประกอบด้วยข้อมูลทั่วไป ข้อมูลพื้นฐานในการทดลอง ข้อมูลการดำเนินงาน ข้อมูลสำหรับการจัดการข้อมูล และข้อมูลสำหรับการประเมินผล การจัดหาข้อมูลที่จะเขียนคำสั่งในใบงานมีขั้นตอนดำเนินการดังนี้

3.3.3.1 การกำหนดวัตถุประสงค์การทดลอง

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ขอบเขตของเนื้อหาที่ได้คัดเลือกเพื่อสร้างชุดทดลอง โดยพิจารณาผลของการเรียนรู้ที่ได้จากการเรียนทดลองแล้ว มากำหนดเป็นวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม ระบุเป็นสิ่งที่ต้องการให้พฤติกรรมของผู้เรียนเปลี่ยนแปลงหลังจากจบการเรียนด้วยชุดทดลอง ดังแสดงในตาราง ที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 วัตถุประสงค์การเรียนรู้

เนื้อหาการทดลอง	วัตถุประสงค์
การรับแรงกระทำทางด้านข้างกับกำแพงกันดิน	1.1 ให้ผู้เรียนอธิบายลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างที่เกิดขึ้นจากดินทรายหลังกำแพงในสภาพแรงดันดินเชิงรุก (Active earth Pressure) 1.2 ให้ผู้เรียนอธิบายความแตกต่างของลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างและแรงดันที่เกิดขึ้นจากดินทรายหลังกำแพงเนื่องจากตัวแปร 1.2.1 ค่า Friction angle (ϕ) ของดินทราย 1.2.2 ค่าหน่วยน้ำหนักกดทับของดินทราย
การรับแรงกระทำด้านข้างของเสาเข็มสั้น	1.1 ให้ผู้เรียนอธิบายความสามารถในการรับแรงทางด้านข้างสูงสุดของเสาเข็มสั้นที่เกิดขึ้นในดินทรายได้ (Ultimate Lateral Load) 1.2 ให้ผู้เรียนอธิบายความแตกต่างของลักษณะและระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างของเสาเข็มที่เกิดขึ้นในดินทราย ในลักษณะ free head จากตัวแปร 1.2.1 ค่า Friction angle (ϕ) ของดิน 1.2.2 ขนาดหน้าตัดของเสาเข็ม 1.2.3 มิติที่สอดคล้องกันของแบบจำลองที่มีขนาดต่างกัน (Similitude)
การรับแรงดึงของสมอหน้าตัดสี่เหลี่ยมในทราย	1.1 ให้ผู้เรียนอธิบายความสามารถในการรับแรงดึงของสมอหน้าตัดสี่เหลี่ยม (Uplift Capacity) และค่า Bearing capacity factor (N_γ) ที่เกิดขึ้นในดินทราย 1.2 ให้ผู้เรียนอธิบายความแตกต่างของลักษณะและระยะการถอนตัวของสมอจากแรงดึงที่เกิดขึ้นในดินทราย เนื่องจากตัวแปร 1.2.1 ค่า Friction angle (ϕ) ของทราย 1.2.2 ขนาดหน้าตัดของสมอ 1.2.3 มิติที่สอดคล้องกันของแบบจำลองที่มีขนาดต่างกัน (Similitude)

3.3.3.2 การพัฒนาใบงานการทดลอง

หลังจากได้วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมแล้วผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาใบงานการทดลองที่จะให้กลุ่มตัวอย่างใช้เรียนทดลองร่วมกับชุดทดลอง เรื่อง การจำลองพฤติกรรมโครงสร้างใต้ดิน โดยมีขั้นตอนการพัฒนาดังนี้

1. ศึกษาเนื้อหาทฤษฎีที่ใช้ในการสร้างใบงานการทดลองที่ได้คัดเลือกทั้งหมด 3 เรื่อง โดยพิจารณาความครอบคลุมของเนื้อหาในการเรียนรู้ของผู้เรียนให้เป็นไปตามหลักสูตร

2. ตั้งชื่อใบงานให้มีความสัมพันธ์กับการกำหนดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมซึ่งเป็นความสามารถที่เกิดขึ้นกับผู้เรียนเมื่อได้รับ ความรู้ และทักษะ หลังจากการเรียนทดลอง

3. สรุปสาระสำคัญของเนื้อหาเป็นข้อมูลและความรู้ในเนื้อหาวิชา (Theoretical Information) เป็นข้อมูลที่อ้างถึงหลักการ หรือทฤษฎีที่ผู้เรียนได้ผ่านการเรียนมาแล้ว ในลักษณะของการสรุปประเด็นที่ผู้เรียนต้องรู้และมีความเข้าใจและนำไปใช้ในการดำเนินการทดลอง

4. กำหนดอุปกรณ์เครื่องมือ และกระบวนการทดลองในแต่ละใบงาน โดยเขียนขั้นตอนการทดลองเป็นลำดับขั้นให้ผู้เรียนได้ปฏิบัติตามเพื่อบันทึกผลที่ได้จากการทดลอง จากนั้นสร้างคำถามท้ายการทดลอง และให้ผู้เรียนวิเคราะห์สรุปรายงานผลการทดลอง

5. เมื่อสร้างใบงานการทดลองครบแล้วผู้วิจัยได้ตรวจสอบความสมบูรณ์ของใบงานโดยให้อาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบ และนำมาทำการปรับปรุง หลังจากนั้นให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านเนื้อหาทำการประเมิน แล้วทำการปรับปรุงแก้ไขอีกครั้ง

จากขั้นตอนการพัฒนาสร้างใบงานการทดลอง ทำให้ผู้วิจัยได้รูปแบบของใบงานดังรูปที่ 3.6

	ใบงานการทดลองที่ **เรื่อง**	**หน้า** **เวลา ..... ชั่วโมง**

1. วัตถุประสงค์ของการทดลอง
2. ความจำเป็นในการเรียนรู้
3. ความรู้ที่ควรมีก่อนเรียน
4. เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง
5. การเตรียมวัสดุและแบบจำลอง
6. การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดลอง
7. ลำดับขั้นการทดลอง
8. การบันทึกผลการทดลอง
9. บันทึกการคำนวณ
10. สรุปผลการทดลอง
11. คำถามท้ายการทดลอง
12. รายงานการทดลอง

รูปที่ 3.6 รูปแบบใบงานการทดลอง

3.3.4 การสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

3.3.4.1 ศึกษาหลักการสร้างข้อสอบและการเขียนข้อสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากตำราและเอกสารต่างๆ ที่เกี่ยวกับการวัดและประเมินผล

3.3.4.2 ดำเนินการสร้างแบบทดสอบ โดยวิเคราะห์จากเนื้อหาและวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมของเนื้อหาทั้ง 3 เรื่องที่คัดเลือกมาสร้างเป็นบทเรียน จากนั้นสร้างเป็นแบบทดสอบแบบปรนัย มี 4 ตัวเลือกแต่ละข้อมีคำตอบที่ถูกที่สุดเพียงข้อเดียว

3.3.4.3 นำแบบทดสอบที่ได้ทำการปรับปรุงแก้ไขจากคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษาและผู้เชี่ยวชาญไปทดลองสอบวัดความรู้กับนักศึกษาภาควิชาครุศาสตร์โยธา จำนวน 30 คน ซึ่งได้ผ่านการเรียนในวิชาวิศวกรรมฐานราก เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อสอบเป็นรายข้อ

3.3.4.4 จากนั้นนำคะแนนสอบที่ได้จากการทดสอบมาทำการวิเคราะห์ข้อสอบรายข้อเพื่อหาระดับค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) เพื่อคัดเลือดเฉพาะข้อสอบที่มีค่าระดับความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.20 ถึง 0.80 และมีค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไปตามจำนวนที่ต้องการ ดังค่าแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 แสดงค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบ

ข้อ	p	r	หมายเหตุ
1	0.83	0.17	ปรับปรุง
2	0.77	0.30	ใช้ได้
3	0.47	0.27	ใช้ได้
4	0.27	0.20	ใช้ได้
5	0.50	0.30	ใช้ได้
6	0.77	0.23	ใช้ได้
7	0.40	0.27	ใช้ได้
8	0.70	0.43	ใช้ได้
9	0.83	0.17	ปรับปรุง
10	0.53	0.20	ใช้ได้
11	0.57	0.23	ใช้ได้

ตารางที่ 3.4 (ต่อ)

ข้อ	p	r	หมายเหตุ
12	0.70	0.30	ใช้ได้
13	0.23	0.17	ปรับปรุง
14	0.77	0.23	ใช้ได้
15	0.43	0.17	ปรับปรุง
16	0.77	0.17	ปรับปรุง
17	0.30	0.23	ใช้ได้
18	0.57	0.30	ใช้ได้
19	0.73	0.27	ใช้ได้
20	0.23	0.17	ปรับปรุง

จากตารางที่ 3.4 ข้อสอบที่ค่อนข้างง่าย อำนาจจำแนกดี มี 7 ข้อ ได้แก่ ข้อ 2, 6, 8, 12, 13, 14 และ 19 ข้อสอบที่ความยากง่ายพอเหมาะ อำนาจจำแนกดี มี 6 ข้อ ได้แก่ ข้อ 3, 5, 7, 10, 11 และ 18 ข้อสอบที่ค่อนข้างยาก อำนาจจำแนกดี มี 4 ข้อ ได้แก่ ข้อ 4 และ 17 ข้อสอบที่ต้องปรับปรุงมี 6 ข้อ คือข้อสอบที่ง่ายมาก อำนาจจำแนกไม่ดี มี 2 ข้อได้แก่ ข้อ 1 และ 9 ข้อสอบที่ค่อนข้างง่าย อำนาจจำแนกไม่ดี มี 1 ข้อได้แก่ ข้อ 16 ข้อสอบที่ความยากง่ายพอเหมาะอำนาจจำแนกไม่ดี มี 1 ข้อได้แก่ ข้อ 15 ข้อสอบที่ค่อนข้างยาก อำนาจจำแนกไม่ดี มี 2 ข้อ ได้แก่ ข้อ 13 และ 20 ผู้วิจัยได้ปรับปรุงข้อสอบ ข้อที่ 1, 9, 13, 15, 16 และ 20 คัดเอาไว้ใช้เนื่องจากหากตัดทิ้ง อาจทำให้ขาดข้อสอบที่เป็นตัวแทนของเรื่องนั้นไป จึงได้ปรับปรุงแก้ไขให้ดีขึ้นก่อนนำไปใช้

3.3.4.5 นำแบบทดสอบไปใช้วัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนการเรียนทดลอง (Pre-test) และหลังการเรียนทดลอง (Post-test) ของกลุ่มตัวอย่างต่อไป

3.3.5 การตรวจสอบคุณภาพใบงานชุดทดลอง

การตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหา ความเหมาะสมของข้อมูลทั้ง 5 ประเภทที่ได้กำหนดไว้ในใบงานตลอดจนการใช้คำสั่งการทดลองโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง เพื่อให้ข้อมูลในใบงานมีความสมบูรณ์ จึงจำเป็นต้องให้ผู้ที่มีความเชี่ยวชาญที่มีความรู้ด้านเนื้อหาวิชาการ และประสบการณ์ในการสอนเข้ามาช่วยตรวจสอบความสมบูรณ์ และข้อเสนอแนะต่างๆ เพื่อใช้ในการปรับปรุงใบงานให้เหมาะสมกับงานมากขึ้น ซึ่งทำให้เกิดประโยชน์ต่อการเรียนการสอน เป็นอย่างมาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

3.3.5.1 สร้างแบบสำรวจความสมบูรณ์ของข้อมูลในใบงาน

สร้างแบบสำรวจความสมบูรณ์ของข้อมูลในใบงานนี้ เพื่อให้แบบสำรวจนี้ง่ายต่อการตรวจสอบ และให้คำแนะนำช่วยในการอธิบายหรือเป็นแนวทางในการตรวจสอบให้กับผู้เชี่ยวชาญได้ จึงกำหนดรายละเอียดให้ครอบคลุมกันเนื้อหาที่ต้องการที่ให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบมากที่สุดผู้วิจัยจึงได้สร้างแบบสำรวจจากเกณฑ์ประเมินใบงานการทดลอง (Laboratory Sheet) แบบปกติที่ สุนทร นพวิง ได้พัฒนาไว้ โดยได้ปรับปรุงข้อมูลบางส่วนที่ต้องการให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบใบงาน โดยอาศัยเกณฑ์ประเมินในรูปแบบเดิมซึ่งอยู่ในรูปแบบของลิเคอร์ท (Likert Scale) ที่ได้กำหนดระดับความคิดเห็นเป็นมาตราส่วน ประมาณค่าที่มีน้ำหนักของระดับคะแนนความคิดเห็นเป็น 5 ระดับ ดังนี้

เห็นว่าเหมาะสมมากที่สุดมีค่าระดับคะแนนเท่ากับ 5
เห็นว่าเหมาะสมมาก มีค่าระดับคะแนนเท่ากับ 4
เห็นว่าเหมาะสมปานกลางมีค่าระดับคะแนนเท่ากับ 3
เห็นว่าเหมาะสมน้อยมีค่าระดับคะแนนเท่ากับ 2
เห็นว่าไม่เหมาะสมมีค่าระดับคะแนนเท่ากับ 1

ตัวอย่างแบบประเมินใบงานที่ 1 ของผู้เชี่ยวชาญในเรื่องความสมบูรณ์ของใบงาน เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของกำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge Modeling of Retaining Wall in Sand)

ชื่อผู้เชี่ยวชาญ.....

<u>คำชี้แจง</u> ให้ท่านแสดงความคิดเห็นในใบงานชุดทดลอง (Lab-sheet) ซึ่งได้กำหนดวัตถุประสงค์การทดลองไว้ดังนี้

1.1 ให้ผู้เรียนอธิบายลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างที่เกิดขึ้นจากดินทรายหลังกำแพงในสภาพแรงดันดินเชิงรุก (Active earth Pressure)

1.2 ให้ผู้เรียนอธิบายความแตกต่างของลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างและแรงดันที่เกิดขึ้นจากดินทรายหลังกำแพงเนื่องจากตัวแปร

1.2.1 ค่า Friction angle (ϕ) ของดินทราย

1.2.2 ค่าหน่วยน้ำหนักกดทับของดินทราย

เพื่อให้ใบงานชุดทดลองมีความสมบูรณ์และเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ในแต่ละรายการหัวข้อในใบงานการทดลองซึ่งใช้เทคนิค Centrifuge modeling เพื่อประโยชน์ต่อการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขอให้ท่านพิจารณาหัวข้อในใบงานว่าแต่ละรายการมีความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์หรือไม่ โดยทำ

เครื่องหมาย√ ลงในช่องหมายเลขทางด้านขวามือตามความหมายของเกณฑ์ความคิดเห็น ซึ่งได้กำหนดไว้ดังนี้

1 = ไม่เหมาะสม 2 = เหมาะสมน้อย 3 = เหมาะสมปานกลาง

4 = เหมาะสมมาก 5 = เหมาะสมมากที่สุด

(หมายเหตุ : แต่ละรายการหัวข้อให้ลงคะแนนเพียงหนึ่งช่องเท่านั้น)

รายการหัวข้อ	รายละเอียดของเนื้อหา	ระดับความคิดเห็น				
		1	2	3	4	5
1 ความจำเป็นในการเรียนรู้	บทกล่าวนำด้านความจำเป็นในการเรียนรู้เพื่อสร้างแรงจูงใจให้กับผู้เรียน มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์หรือไม่					
2. ความรู้ที่ควรมีก่อนเรียน	รายละเอียดเนื้อหาหลักการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในแต่ละขั้น 2.1 มีความถูกต้องตามเนื้อหา 2.2 มีความครอบคลุมเพียงพอ เหมาะสมต่อการให้ผู้เรียนปฏิบัติการทดลองได้					
3. ลำดับขั้นการทดลอง	3.1 ลำดับขั้นทดลองมีความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์หรือไม่ 3.1.1 ลำดับขั้นการเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบ					
	3.1.2 ลำดับขั้นการขั้นตอนการการทดสอบด้วยเครื่อง Centrifuge					
	3.2 ภาพประกอบและค่าที่กำหนด ช่วยให้ผู้เรียนเกิดความรู้ความสามารถตามวัตถุประสงค์หรือไม่					
	3.3 การตั้งค่าความละเอียดและการกำหนดค่าพิสัย (Range) ในการจำลองการทำงาน(Simulate) ช่วยให้ผู้เรียนเกิดความสามารถตามวัตถุประสงค์หรือไม่					
	3.4 การกำหนดค่าเพื่อให้ผู้เรียนบันทึกลงตารางทำให้ผู้เรียนนำค่าเหล่านี้มาวิเคราะห์ ช่วยให้ผู้เรียนเกิดความสามารถได้ตามวัตถุประสงค์หรือไม่					
	3.5 ลักษณะการพังทลายที่ปรากฏ ช่วยให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ตามวัตถุประสงค์หรือไม่					
	3.6 ค่าของแรงหรือ มุมการวิบัติที่ปรากฏ มีความเหมาะสมที่ช่วยให้ผู้เรียนเกิดความสามารถในการเรียนรู้ได้ตามวัตถุประสงค์หรือไม่					

รายการหัวข้อ	รายละเอียดของเนื้อหา	ระดับความคิดเห็น				
		1	2	3	4	5
4 ถาม-ตอบ	คำถามท้ายการทดลองช่วยให้ผู้เรียนมีความรู้ ความสามารถในเนื้อหาได้ตามวัตถุประสงค์หรือไม่					
5 ชื่อเรื่อง	แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของกำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย มีความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์หรือไม่					

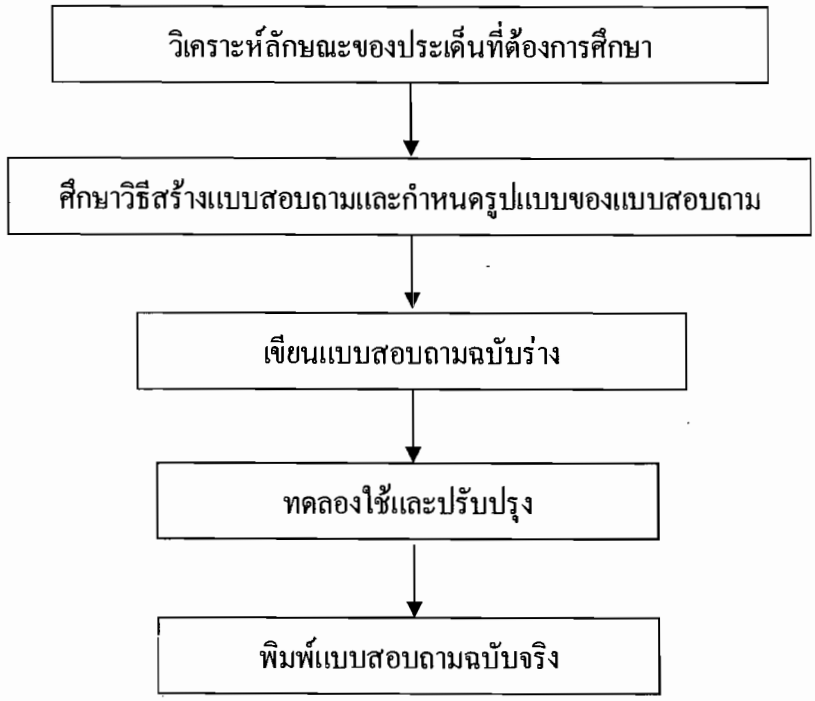
จากแบบสำรวจที่สร้างขึ้นผู้วิจัยได้ให้อาจารย์ที่ปรึกษา ตรวจสอบความเหมาะสมจากนั้นจึงได้นำแบบสำรวจพร้อมใบงาน ส่งให้ผู้เชี่ยวชาญลงความเห็นในแบบสำรวจ

3.3.5.2 การนำผลประเมินของผู้เชี่ยวชาญมาวิเคราะห์ผลเพื่อหาข้อสรุป

การวิเคราะห์ผลครั้งนี้เพื่อต้องการหาข้อสรุปจากแบบสำรวจข้อมูลในใบงานโดยการนำผลคะแนนที่ได้รับจากแบบสำรวจของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 4 ท่าน มาหาค่าฐานนิยม (Mode) ของแต่ละข้อในทุกใบงาน ซึ่งพบว่าข้อมูลในใบงานแต่ละข้อมีความเหมาะสมมากถึงมากที่สุดอีกทั้งยังมีการประเมินผลข้อมูลในใบงาน โดยการหาค่าเฉลี่ยของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 4 ท่านในแต่ละข้อของทุกใบงาน พบว่ามีค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 3.8 ถึง 5 ซึ่งแสดงว่าข้อมูลภายในใบงาน ผ่านเกณฑ์ ความเหมาะสม ตั้งแต่ปานกลางถึงเหมาะสมมากที่สุด ดังแสดงในบทที่ 4 ส่วนในหัวข้อที่มีค่าเฉลี่ย 3.08 นั้น ผู้วิจัยได้นำไปปรึกษาอาจารย์แล้วจึงได้ปรับปรุงแก้ไข

3.3.6 การสร้างแบบสอบถามความคิดเห็น

แบบสอบถามความคิดเห็นของนักศึกษาเกี่ยวกับการเรียนด้วยชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยง เป็นแบบสอบถามชนิดมาตราส่วนประมาณค่า (Ratting Scale) จัดเรียงความคิดเห็นจาก มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด โดยแทนด้วยคะแนน 5, 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ แบบสอบถาม ความคิดเห็นในด้านความพึงพอใจในการเรียนด้วยชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยง มีขั้นตอนการสร้างแบบสอบถาม ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการสร้างแบบสอบถาม

3.3.6.1 วิเคราะห์ลักษณะประเด็นที่ต้องการศึกษาสำหรับแบบสอบถามในครั้งนี้ต้องการศึกษาความพึงพอใจของผู้เรียนที่ได้เรียนโดยใช้ชุดทดลองโดยกำหนดโครงสร้างของแบบสอบถามในการแสดงความคิดเห็นของผู้เรียนเกี่ยวกับ ทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อชุดทดลอง

3.3.6.2 ทำการศึกษาวิธีสร้างแบบสอบถามจากตำราต่างๆ และศึกษาแบบสอบถามของคนอื่นๆ ที่วิจัยในเรื่องที่คล้ายๆ กันแล้วกำหนดรูปแบบของแบบสอบถาม

3.3.6.3 เขียนแบบสอบถามฉบับร่าง ตามโครงสร้างเนื้อหาแบบสอบถามในขั้นที่ 3.3.6.1 และตามหลักในการสร้างแบบสอบถามที่ได้ทำการศึกษาจากตำราและรูปแบบที่กำหนดไว้ในขั้นที่ 3.3.6.2

3.3.6.4 นำแบบสอบถามไปให้อาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบความถูกต้อง ของข้อคำถามแต่ละข้อก่อนที่จะนำไปใช้

3.3.6.5 นำแบบสอบถามไปทดลองใช้กับผู้ที่มีลักษณะคล้ายกับกลุ่มตัวอย่าง เพื่อให้ช่วยพิจารณาความชัดเจนของข้อคำถามต่างๆ ทำการสัมภาษณ์ผู้ตอบเกี่ยวกับความเข้าใจในข้อความต่างๆ ปัญหาที่พบในขณะตอบรวมทั้งให้วิจารณ์แบบสอบถามด้วย นำข้อมูลเหล่านั้นมาพิจารณาปรับปรุงแบบสอบถาม

3.3.6.6 ทำการพิมพ์แบบสอบถามฉบับที่จะใช้จริงหลังจากปรับปรุงในขั้นที่ 3.3.6.5

3.3.6.7 ในการพิมพ์จะคำนึงถึงความชัดเจนของข้อความการอธิบายจุดประสงค์และวิธีการตอบความถูกต้องเนื้อหาของข้อคำถามต่างๆ ในแบบสอบถาม

3.3.7 การสร้างแบบสังเกต

ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างแบบวัดด้านทักษะพิสัย ได้แก่การสร้างแบบสังเกต ซึ่งเป็นเครื่องมือในการวัดด้านการปฏิบัติการทดลอง ทำให้เห็นจุดเด่น และจุดด้อยของผู้เรียนในกระบวนการ (Process) ปฏิบัติงานขณะทำการทดลอง ผู้วิจัยมีการดำเนินการสร้างแบบสังเกตที่ใช้ในการวิจัยดังนี้

3.3.7.1 ศึกษากระบวนการทำงานในใบงานการทดลอง กับพฤติกรรมการปฏิบัติการทดลองบางอย่างที่สำคัญต้องการตรวจวัด เช่น พฤติกรรมการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ การอ่านค่า รวมทั้งพฤติกรรมด้านจริยธรรม เช่น ให้ความร่วมมือในการปฏิบัติงานกลุ่มในลักษณะทั้งเป็นผู้นำ และผู้ตาม และการยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น

3.3.7.2 นำข้อมูลจากการวิเคราะห์ไปสร้างแบบสังเกต เพื่อใช้สำหรับสังเกตการปฏิบัติการทดลอง

3.3.7.3 ตรวจสอบข้อความที่สร้างขึ้นและนำไปให้อาจารย์ที่ปรึกษา ตรวจพิจารณาในเรื่องของความครบถ้วนของกิจกรรมการทดลอง และความเหมาะสม

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

รูปแบบการทดลองการวิจัยครั้งนี้ทำการทดลองแบบ One-Group t-test One Sample โดยมีลักษณะการดำเนินการวิจัย ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 แสดงแบบแผนการวิจัยแบบ One-Group t-test One Sample

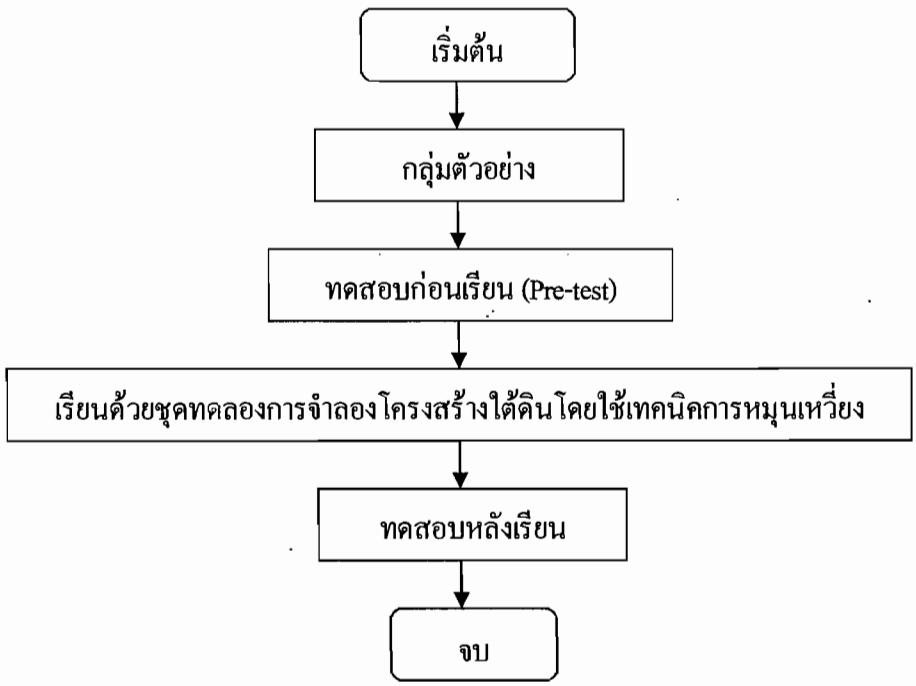
กลุ่ม	เกณฑ์	ทดลอง	สอบหลัง
กลุ่มตัวอย่าง	T_1	X	T_2

โดย T_1 คือ การกำหนดเกณฑ์ของผลการเรียนทดลอง

X คือ การเรียนด้วย ชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยง

T_2 คือ การวัดผลหลังการเรียนทดลอง

แบบแผนการวิจัย ผู้วิจัยทำการสุ่มกลุ่มตัวอย่างจากนักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาครุศาสตร์โยธา ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ผ่านการเรียนวิชาวิศวกรรมฐานราก (CTE 443 Foundation Engineering) มาแล้ว ในการศึกษา 2549 จำนวน 18 คน วิธีการดำเนินการวิจัยเริ่มจากทำการตั้งเกณฑ์ผลการเรียนด้วยชุดทดลอง และดำเนินการให้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับหลักการหมุนเหวี่ยง กับกลุ่มตัวอย่างก่อนที่จะทำการเรียนทดลอง (X) ซึ่งให้ผู้เรียน เรียนจากชุดทดลองในแต่ละใบงานพร้อมทำแบบทดสอบวัดผลการเรียนรู้หลังจบการเรียนทดลองในใบงานนั้น หลังจากผู้เรียนทำการเรียนทดลองครบทุกใบงานแล้ว ทำการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนภายหลังการเรียนทดลอง (T_2) อีกครั้งโดยใช้แบบทดสอบวัดผลชุดเดียวกับการวัดผลก่อน โดยให้ผู้เรียนทำการเรียนทดลองใน 1 เรื่องครั้งละ 3 ชั่วโมง จากนั้นศึกษาผลของการจัดกระทำตัวแปรทดลองที่มีต่อตัวแปรตาม (Treatment Effect) จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนผลการสอบครั้งหลังกับการสอบครั้งแรกนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติ ลำดับการดำเนินการวิจัย แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงลำดับขั้นการดำเนินการวิจัย

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้เลือกใช้สถิติในการวิเคราะห์ผลตามลักษณะที่มาของข้อมูลดังนี้

3.5.1 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล จากผู้เชี่ยวชาญที่ได้ประเมินความสมบูรณ์ของข้อมูลในใบงาน [45]

เพื่อตรวจสอบความเหมาะสม ของข้อมูลภายในใบงานจากผลของคะแนนที่ผู้เชี่ยวชาญได้ลงความเห็นระดับความเหมาะสมในใบประเมินความสมบูรณ์ของข้อมูลในใบงาน ทั้งหมด 4 ท่าน โดยใช้สถิติในการวิเคราะห์ผลดังนี้

1. สถิติที่ใช้หาค่านิยม (Mode) ในการประเมินความเหมาะสมของข้อมูลในใบงาน คือ ฐานนิยม หมายถึง ค่าคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีจำนวนมากที่สุดในหัวข้อที่พิจารณาความเหมาะสม

2. สถิติที่ใช้ในการหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean) คือ คะแนนผลรวมที่ได้จากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด หารด้วยผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด หารด้วยจำนวนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด ดังนี้

$$\text{ค่าเฉลี่ยเลขคณิต} = \frac{x_1 + x_2 + x_{3...} + x_N}{N}$$

เมื่อ

x_1 หมายถึง คะแนนความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญคนที่หนึ่ง

x_2 หมายถึง คะแนนความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญคนที่สอง

x_3 หมายถึง คะแนนความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญคนที่สาม

N หมายถึง จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

3.5.2 สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อประเมินคุณภาพของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน [45]

1. สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลอง ใช้แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับกลุ่มที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง เพื่อหาความยากง่ายและอำนาจจำแนกของข้อสอบโดยใช้สูตร

การหาค่าความยากง่าย (p) ของข้อสอบหาได้จาก

$$P = \frac{P_H + P_L}{2n}$$

การหาค่าอำนาจจำแนก (r) ของตัวถูกหาได้จาก

$$r = \frac{P_H - P_L}{n}$$

เมื่อ

P_H หมายถึง จำนวนผู้ตอบคำถามถูกต้องในกลุ่มสูง

P_L หมายถึง จำนวนผู้ตอบคำถามถูกต้องในกลุ่มสูง

n หมายถึง จำนวนคนตอบถูกในกลุ่มสูงหรือกลุ่มต่ำ

ระดับความยากง่าย (Difficulty) เขียนแทนด้วยสัญญาลักษณ์ p มีค่าตั้งแต่ 0.00 ถึง 1.00 โดยการแปลความหมายของ p ดังนี้

0.81 – 1.00	หรือ	81% - 100%	แปลว่า	ง่ายมาก
0.61 – 0.80	หรือ	61% - 80%	แปลว่า	ค่อนข้างง่าย
0.41 – 0.60	หรือ	41% - 60%	แปลว่า	ยากง่ายพอเหมาะ
0.21 – 0.40	หรือ	20% - 40%	แปลว่า	ค่อนข้างยาก
0.00 – 0.19	หรือ	0% - 19%	แปลว่า	ยากมาก

ในการเลือกข้อสอบเพื่อใช้วัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกแบบทดสอบค่าความยากง่าย (p) ที่อยู่ในเกณฑ์เหมาะสมระหว่าง 0.20 ถึง 0.80 แต่ข้อสอบที่มีค่าไม่เป็นไปตามเกณฑ์หากตัดออกอาจทำให้ขาดความครอบคลุมด้านเนื้อหา ผู้วิจัยได้ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อแก้ไขและปรับปรุงก่อนนำไปใช้จริง

ค่าอำนาจจำแนก (Discrimination) สามารถแปลความหมายได้ดังนี้

0.00 – 0.19	หมายความว่า	จำแนกกลุ่มสูง ต่ำไม่ได้ เป็นข้อสอบที่ไม่ควรนำมาใช้
0.20 – 0.49	หมายความว่า	จำแนกได้ เป็นข้อสอบที่มีอำนาจจำแนกเข้าเกณฑ์
0.50 – 0.99	หมายความว่า	จำแนกได้ค่อนข้างสูง เป็นข้อสอบที่มีคุณภาพดี
1.00	หมายความว่า	จำแนกกลุ่มสูง ต่ำได้อย่างสมบูรณ์ เป็นข้อสอบที่มีคุณภาพดี

ข้อสอบที่มีคุณภาพในด้านอำนาจจำแนกควรมีค่าเป็นบวก ข้อสอบที่จะได้คัดเลือกเข้าเป็นแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจะต้องมีอำนาจจำแนกไม่ต่ำกว่า 0.20 ผลการวิเคราะห์ครั้งนี้พบว่า มีค่าอำนาจจำแนกต่ำกว่าเกณฑ์เล็กน้อย เพื่อให้ข้อสอบครอบคลุมตามเนื้อหา ผู้วิจัยจึงได้ทำการแก้ไขและปรับปรุงก่อนนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างจริง

2. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

การวิเคราะห์ข้อมูลที่เป็นคะแนนจากการทำแบบทดสอบก่อนเรียน และหลังเรียนชุดทดลองด้วยตนเองตามใบงานทั้ง 3 ใบ โดยทำการวิเคราะห์ทีละกลุ่มของคะแนนก่อนเรียน และหลังเรียนในทางสถิติจึงถือว่าเป็นข้อมูลที่มาจากกลุ่มเกี่ยวข้องกัน ดังนั้นสถิติที่ใช้ในการวิจัยได้แก่

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{n\sum D^2 - \left(\sum D\right)^2}{n-1}}}$$

เมื่อ

t หมายถึง ค่าทดสอบเกี่ยวกับค่าเฉลี่ย (t-test)

n หมายถึง จำนวนนักศึกษาในกลุ่มนั้นๆที่ทำแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

D หมายถึง ผลต่างของคะแนนแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่กลุ่มนักศึกษานั้นๆ ทำได้หลังเรียนและก่อนเรียน

3.5.3 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาประสิทธิภาพของใบงาน

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของใบงานชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยงคำนวณได้จากสูตร E_1/E_2 ดังนี้

E_1/E_2 หมายถึง ประสิทธิภาพของใบงานชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยงได้กำหนดเกณฑ์ไว้ที่ 80/80 โดยที่

$$E_1 = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} X/n\right)}{A} \times 100$$

$$E_2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} F/n\right)}{A} \times 100$$

เมื่อ

E_1 หมายถึง ประสิทธิภาพของกระบวนการเรียนที่วัดได้ในใบงานชุดทดลองด้วยตนเองโดยการนำคะแนนที่ได้จากการทำแบบทดสอบระหว่างเรียนแต่ละใบงานมารวมกัน หาค่าเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของคะแนนเต็มของใบงานทั้งหมด

E_2 หมายถึง ประสิทธิภาพของกระบวนการเรียน ที่วัดได้ในใบงานชุดทดลองในการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงในตัวนักศึกษา คิดเป็นร้อยละจากคะแนนโดยเฉลี่ย จากการทำแบบทดสอบหลังเรียน เมื่อเรียนจบใบงานทุกใบแล้ว

n หมายถึง จำนวนผู้เรียน

A หมายถึง คะแนนเต็มของแบบทดสอบระหว่างเรียนทุกใบงาน

B หมายถึง คะแนนเต็มของแบบทดสอบหลังเรียนทุกใบงาน

$\sum_{i=1}^{n} X$ หมายถึง คะแนนของผู้เรียนจากการทำแบบทดสอบระหว่างเรียน และแต่ละใบงานมารวมกันทั้งหมดทุกใบ

$\sum_{i=1}^{n} F$ หมายถึง คะแนนรวมของผู้เรียนจากการทำแบบทดสอบหลังเรียนเมื่อเรียนครบทุกใบงาน

3.5.4 การประเมินผลแบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เรียนเกี่ยวกับการเรียนด้วยชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยง

การประเมินผลของแบบสอบถามที่มีจัดเรียงความคิดเห็นจาก มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด โดนแทนด้วยคะแนน 5, 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ และมีการนำเสนอน้ำหนัก ความคิดเห็น โดยค่าเฉลี่ย (x) และส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และประเมินความหมายของค่าเฉลี่ยดังนี้

4.6 – 5.0	หมายความว่า	มากที่สุด
3.6 – 4.5	หมายความว่า	มาก
2.6 – 3.5	หมายความว่า	ปานกลาง
1.6 – 2.5	หมายความว่า	น้อย
0 - 1.5	หมายความว่า	น้อยที่สุด

บทที่ 4 ผลการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการหาประสิทธิภาพและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของชุดการสอนเชิงทดลองโดยใช้ชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยงมีการวิเคราะห์ผลตามกระบวนการและหลักการวิจัยหลายส่วน ตั้งแต่การจัดสร้างพัฒนาเครื่องมือ ตลอดจนถึงการทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง จึงมีข้อมูลจำนวนมาก ผู้วิจัยจึงได้ลำดับการนำเสนอผลดังนี้

4.1 ผลการพัฒนาเครื่องมือสำหรับดำเนินงานวิจัย

4.1.1 ผลการพัฒนาใบงานการทดลอง

4.1.2 ผลการวิเคราะห์แบบสำรวจความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับความสมบูรณ์ของข้อมูลในใบงาน

4.1.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของชุดทดลอง

4.1.4 ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้เรียนที่ได้เรียนกับชุดทดลอง

4.2 ผลการศึกษาผลการเรียน

4.2.1 ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

4.2.2 ผลการศึกษาพฤติกรรมการปฏิบัติการทดลอง

4.1 ผลการพัฒนาเครื่องมือสำหรับดำเนินงานวิจัย

4.1.1 ผลการพัฒนาใบงานการทดลอง

การพัฒนาใบงานการทดลองชุดการทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยงที่ได้พัฒนาตามรูปแบบการทดลองปกติ (Conventional Type) ผลของการพัฒนาใบงานการทดลองได้ใบงาน 3 เรื่อง ประกอบด้วย

4.1.1.1 ใบงานที่ 1 เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของกำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge Modeling of Retaining Wall in Sand) เวลาในการปฏิบัติการทดลอง 3 ชั่วโมง

4.1.1.2 ใบงานที่ 2 เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge Modeling of Short Pile in Sand under Lateral Load) เวลาในการปฏิบัติการทดลอง 3 ชั่วโมง

4.1.1.3 ใบงานที่ 3 เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของสมอจากการรับแรงดึงในดินทราย (Centrifuge Modeling on Uplift Capacity of Anchor in Sand) เวลาในการปฏิบัติการทดลอง 3 ชั่วโมง

ผลการพัฒนาใบงานได้แสดงรายละเอียดใบงานทั้งหมดไว้ในภาคผนวก ค

4.1.2 ผลการวิเคราะห์แบบสำรวจความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับความสมบูรณ์ของข้อมูลในใบงาน

ผลการวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับความสมบูรณ์ของข้อมูลในใบงานชุดการสอนเชิงทดลองโดยใช้ ชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยง มีจำนวนใบงานทั้งหมด 3 ใบงาน โดยให้ผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ในสาขาวิศวกรรมฐานราก และการวิเคราะห์ทางเทคนิคธรณีด้วยเทคนิคการหมุนเหวี่ยง (Centrifuge Modeling) ทำการตรวจสอบ จำนวน 4 ท่าน พบว่าในงานทั้งหมดมีความเหมาะสมผ่านเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้ ดังแสดงในตารางที่ 4.1-4.3

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการสำรวจความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับความสมบูรณ์ของข้อมูลภายในใบงานที่ 1 มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การทดลองที่กำหนด

รายการหัวข้อประเมินความสมบูรณ์ในใบงาน	ระดับความคิดเห็น					ค่าเฉลี่ย	ฐานนิยม
	5	4	3	2	1		
1. ความจำเป็นในการเรียนรู้ บทกล่าวนำด้านความจำเป็นในการเรียนรู้เพื่อสร้างแรงจูงใจให้กับผู้เรียน มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์หรือไม่	1	2	1			4	4
2. ความรู้ที่ควรมีก่อนเรียน รายละเอียดเนื้อหาหลักการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในแต่ละขั้น							
2.1 มีความถูกต้องตามเนื้อหา	1	2	1			4	4
2.2 มีความครอบคลุมเพียงพอ เหมาะสมต่อการให้ผู้เรียนปฏิบัติการทดลองได้	1	3				4.25	4

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

รายการหัวข้อประเมินความสมบูรณ์ในใบงาน	ระดับความคิดเห็น					ค่าเฉลี่ย	ฐานนิยม
	5	4	3	2	1		
3. ลำดับขั้นการทดลอง 3.1 ลำดับขั้นทดลองมีความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์หรือไม่							
3.1.1 ลำดับขั้นการเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบ	2	2				4.5	4,5
3.1.2 ลำดับขั้นการขั้นตอนการการทดสอบด้วยเครื่อง Centrifuge	1	3				4.25	4
3.2 ภาพประกอบและค่าที่กำหนด ช่วยให้ผู้เรียนเกิดความรู้ความสามารถตามวัตถุประสงค์หรือไม่	1	1	2			3.75	3
3.3 การตั้งค่าความละเอียดและการกำหนดค่าพิสัย (Range) ในการจำลองการทำงาน (Simulate) ช่วยให้ผู้เรียนเกิดความสามารถตามวัตถุประสงค์หรือไม่	1	2	1			4	4
3.4 การกำหนดค่าเพื่อให้ผู้เรียนบันทึกลงตารางทำให้ผู้เรียนนำค่าเหล่านี้มาวิเคราะห์ ช่วยให้ผู้เรียนเกิดความสามารถได้ตามวัตถุประสงค์หรือไม่	3		1			4.5	5
3.5 ลักษณะการพังทลายที่ปรากฏ ช่วยให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ตามวัตถุประสงค์หรือไม่	2	1	1			4.25	5
3.6 ค่าของแรง หรือมุมการวิบัติที่ปรากฏ มีความเหมาะสมที่ช่วยให้ผู้เรียนเกิดความสามารถในการเรียนรู้ได้ตามวัตถุประสงค์หรือไม่	2	1	1			4.25	5
4. ถาม-ตอบ คำถามท้ายการทดลองช่วยให้ผู้เรียนมีความรู้ความสามารถในเนื้อหาได้ตามวัตถุประสงค์หรือไม่	1	2	1			4	4

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

รายการหัวข้อประเมินความสมบูรณ์ในใบงาน	ระดับความคิดเห็น					ค่าเฉลี่ย	ฐานนิยม
	5	4	3	2	1		
5. ชื่อเรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของกำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge Modeling of Retaining Wall in Sand) มีความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์หรือไม่	2	2				4.5	4,5

จากตารางที่ 4.1 ผลวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของข้อมูลในใบงาน จากค่าเฉลี่ย และค่าฐานนิยมของแบบสำรวจความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 4 ท่าน พบว่าใบงานการทดลองที่ 1 มีความสมบูรณ์ของข้อมูลภายในใบงานเหมาะสมกับเกณฑ์แต่ละข้อโดยมีค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 3.75 – 4.5 มีฐานนิยมเป็น 4 และ 5 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมมาก ยกเว้นข้อมูลในหัวข้อที่ 3.2 เรื่องภาพประกอบและค่าที่กำหนด ช่วยให้ผู้เรียนเกิดความรู้ความสามารถตามวัตถุประสงค์ที่อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมปานกลาง มีฐานนิยมเป็น 3 ดังนั้นตามความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ทั้ง 4 ท่าน ใบงานการทดลองที่ 1 เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของกำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge Modeling of Retaining Wall in Sand) มีประสิทธิภาพ และความเหมาะสมระดับหนึ่งที่จะนำมาใช้กับผู้เรียน

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการสำรวจความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับความสมบูรณ์ของข้อมูลภายในใบงานที่ 2 มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การทดลองที่กำหนด

รายการหัวข้อประเมินความสมบูรณ์ในใบงาน	ระดับความคิดเห็น					ค่าเฉลี่ย	ฐานนิยม
	5	4	3	2	1		
1. ความจำเป็นในการเรียนรู้ บทกล่าวนำด้านความจำเป็นในการเรียนรู้เพื่อสร้างแรงจูงใจให้กับผู้เรียนมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์หรือไม่	1	1	2			3.75	3

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

รายการหัวข้อประเมินความสมบูรณ์ในใบงาน	ระดับความคิดเห็น					ค่าเฉลี่ย	ฐานนิยม
	5	4	3	2	1		
2. ความรู้ที่ควรมีก่อนเรียน รายละเอียดเนื้อหาหลักการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในแต่ละขั้น							
2.1 มีความถูกต้องตามเนื้อหา	1	3				4.25	4
2.2 มีความครอบคลุมเพียงพอเหมาะสมต่อการให้ผู้เรียนปฏิบัติการทดลองได้	1	2	1			4	4
3. ลำดับขั้นการทดลอง							
3.1 ลำดับขั้นทดลองมีความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์หรือไม่							
3.1.1 ลำดับขั้นการเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบ	1	3				4.25	4
3.1.2 ลำดับขั้นการขั้นตอนการการทดสอบด้วยเครื่อง Centrifuge	3	1				4.75	5
3.2 ภาพประกอบและค่าที่กำหนด ช่วยให้ผู้เรียนเกิดความรู้ความสามารถตามวัตถุประสงค์หรือไม่	1	2		1		3.75	4
3.3 การตั้งค่าความละเอียดและการกำหนดค่าพิสัย (Range) ในการจำลองการทำงาน (Simulate) ช่วยให้ผู้เรียนเกิดความสามารถตามวัตถุประสงค์หรือไม่	2	1	1			4.25	5
3.4 การกำหนดค่าเพื่อให้ผู้เรียนบันทึกลงตารางทำให้ผู้เรียนนำค่าเหล่านี้มาวิเคราะห์ ช่วยให้ผู้เรียนเกิดความสามารถได้ตามวัตถุประสงค์หรือไม่	2	1	1			4.25	5
3.5 ลักษณะการพังทลายที่ปรากฏ ช่วยให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ตามวัตถุประสงค์หรือไม่	2	1	1			4.25	5

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

รายการหัวข้อประเมินความสมบูรณ์ในใบงาน	ระดับความคิดเห็น					ค่าเฉลี่ย	ฐานนิยม
	5	4	3	2	1		
3.6 ค่าของแรงหรือ มุมการวิบัติที่ปรากฏ มีความเหมาะสมที่ช่วยให้ผู้เรียนเกิดความสามารถในการเรียนรู้ได้ตามวัตถุประสงค์หรือไม่	2		2			4.5	3,5
4. ถาม-ตอบ คำถามท้ายการทดลองช่วยให้ผู้เรียนมีความรู้ความสามารถ ในเนื้อหาได้ตามวัตถุประสงค์หรือไม่	2	2				4.5	4,5
5. ชื่อเรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge Modeling of Short Pile in Sand under Lateral Load) มีความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์หรือไม่	2	2				4.5	4,5

จากตารางที่ 4.2 ผลวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของข้อมูลในใบงาน จากค่าเฉลี่ย และค่าฐานนิยมของแบบสำรวจความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 4 ท่าน พบว่าใบงานการทดลองที่ 2 มีความสมบูรณ์ของข้อมูลภายในใบงานเหมาะสมกับเกณฑ์แต่ละข้อโดยมีค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 3.75 – 4.75 มีฐานนิยมเป็น 4 และ 5 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมมาก ยกเว้นข้อมูลในหัวข้อที่ 1 เรื่องความจำเป็นในการเรียนรู้เพื่อสร้างแรงจูงใจให้กับผู้เรียน และหัวข้อ 3.2 ภาพประกอบและค่าที่กำหนดช่วยให้ผู้เรียนเกิดความรู้ความสามารถตามวัตถุประสงค์ที่อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมปานกลาง มีฐานนิยมเป็น 3 ดังนั้นตามความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ทั้ง 4 ท่าน ใบงานการทดลองที่ 2 เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge Modeling of Short Pile in Sand under Lateral Load) มีประสิทธิภาพ และความเหมาะสมในระดับหนึ่งที่จะนำมาใช้กับผู้เรียน

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการสำรวจความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับความสมบูรณ์ของข้อมูลภายในใบงานที่ 3 มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การทดลองที่กำหนด

รายการหัวข้อประเมินความสมบูรณ์ในใบงาน	ระดับความคิดเห็น					ค่าเฉลี่ย	ฐานนิยม
	5	4	3	2	1		
1. ความจำเป็นในการเรียนรู้ บทกล่าวนำด้านความจำเป็นในการเรียนรู้เพื่อสร้างแรงจูงใจให้กับผู้เรียน มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์หรือไม่	1	3				4.25	4
2. ความรู้ที่ควรมีก่อนเรียน รายละเอียดเนื้อหาหลักการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในแต่ละขั้น							
2.1 มีความถูกต้องตามเนื้อหา	2	2				4.5	4,5
2.2 มีความครอบคลุมเพียงพอ เหมาะสมต่อการให้ผู้เรียนปฏิบัติการทดลองได้	2	1	1			4.25	5
3. ลำดับขั้นการทดลอง							
3.1 ลำดับขั้นทดลองมีความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์หรือไม่							
3.1.1 ลำดับขั้นการเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบ	2	2				4.5	4,5
3.1.2 ลำดับขั้นการขั้นตอนการการทดสอบด้วยเครื่อง Centrifuge	1	2	1			4	4
3.2 ภาพประกอบและค่าที่กำหนด ช่วยให้ผู้เรียนเกิดความรู้ความสามารถตามวัตถุประสงค์หรือไม่	1	2	1			4	4
3.3 การตั้งค่าความละเอียดและการกำหนดค่าพิสัย (Range) ในการจำลองการทำงาน(Simulate) ช่วยให้ผู้เรียนเกิดความสามารถตามวัตถุประสงค์หรือไม่	2	2				4.5	4,5
3.4 การกำหนดค่าเพื่อให้ผู้เรียนบันทึกลงตารางทำให้ผู้เรียนนำค่าเหล่านี้มาวิเคราะห์ ช่วยให้ผู้เรียนเกิดความสามารถได้ตามวัตถุประสงค์	2	2				4.5	4,5

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

รายการหัวข้อประเมินความสมบูรณ์ในใบงาน	ระดับความคิดเห็น					ค่าเฉลี่ย	ฐานนิยม
	5	4	3	2	1		
3.5 ลักษณะการพังทลายที่ปรากฏ ช่วยให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ตามวัตถุประสงค์หรือไม่	1	2	1	0	0	4	4
3.6 ค่าของแรงหรือ มุมการวิบัติที่ปรากฏ มีความเหมาะสมที่ช่วยให้ผู้เรียนเกิดความสามารถในการเรียนรู้ได้ตามวัตถุประสงค์หรือไม่	1	2	1	0	0	4	4
4. ถาม-ตอบ คำถามท้ายการทดลองช่วยให้ผู้เรียนมีความรู้ความสามารถ ในเนื้อหาได้ตามวัตถุประสงค์หรือไม่	1	3	0	0	0	4.25	4
5. ชื่อเรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของสมอจากการรับแรงดึงในดินทราย (Centrifuge Modeling on Uplift Capacity of Anchor in Sand) มีความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์หรือไม่	1	3				4.25	4

จากตารางที่ 4.3 ผลวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของข้อมูลในใบงาน จากค่าเฉลี่ย และค่าฐานนิยมของแบบสำรวจความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 4 ท่าน พบว่าใบงานการทดลองที่ 3 มีความสมบูรณ์ของข้อมูลภายในใบงานเหมาะสมกับเกณฑ์แต่ละข้อโดยมีค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 4.0 – 4.5 มีฐานนิยมเป็น 4 และ 5 เกือบทุกข้อ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมมาก ดังนั้นตามความเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 4 ท่าน ใบงานการทดลองที่ 3 เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของสมอจากการรับแรงดึงในดินทราย (Centrifuge Modeling on Uplift Capacity of Anchor in Sand) มีประสิทธิภาพ และความเหมาะสมเพื่อนำมาใช้กับผู้เรียน

4.1.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของชุดทดลอง

จากการนำชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดิน โดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยงไปใช้กับนักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาครุศาสตร์โยธา ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม

เกล้าธนบุรี ที่ผ่านการเรียนวิชาวิศวกรรมฐานราก (CTE 443 Foundation Engineering) มาแล้วในการศึกษา 2549 จำนวน 18 คน เพื่อหาประสิทธิภาพของชุดทดลอง ตามเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 ที่กำหนดโดย เปรียบเทียบกับคะแนนสอบท้ายการเรียนทดลองในใบงานที่ 1 ถึงใบที่ 3 และคะแนนสอบหลังเรียน (Post-test) เมื่อเรียนครบทุกใบงานการทดลอง

ผลของคะแนนการทดสอบของกลุ่มตัวอย่างเพื่อหาประสิทธิภาพของชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดิน โดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยงโดยผู้วิจัยได้นำคะแนนที่ได้จากการทำแบบทดสอบท้ายการทดลองในแต่ละใบงานนำมาหาค่าเฉลี่ยรวมได้ 24.38 คะแนน จากคะแนนเต็ม 30 คิดเป็นร้อย 81.30 กับคะแนนที่ได้จากการทำแบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) เมื่อผู้เรียนได้เรียนครบทุกใบงานมาหาค่าเฉลี่ยรวมได้ 15.94 จากคะแนนเต็ม 20 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 79.72 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยท้ายการเรียนทดลองในใบงานที่ 1 ถึง 3 และคะแนนสอบหลังเรียน (Post-test) ว่าสอดคล้องกับสมมุติฐานที่ตั้งไว้ คือเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดทดลอง

รายการ	ค่าเฉลี่ยร้อยละ
คะแนนสอบท้ายการเรียนทดลอง (E_1)	81.30
คะแนนสอบหลังเรียน (E_2)	79.72
ประสิทธิภาพของบทเรียน (E_1/E_2)	81.30/79.72

จากตารางที่ 4.4 พบว่าประสิทธิภาพระหว่างเรียนในใบงานการทดลองมีค่าคะแนนเฉลี่ยรวมเป็นร้อยละ 81.30 และประสิทธิภาพหลังการเรียนมีค่าคะแนนรวมเฉลี่ยคิดเป็นร้อย 79.72 ดังนั้นประสิทธิภาพของชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยง มีค่าเท่ากับ 81.30/79.72 แสดงว่า บทเรียนมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐาน 80/80

4.1.4 ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้เรียนที่ได้เรียนกับชุดทดลอง

การศึกษาความพึงพอใจของผู้เรียนเกี่ยวการเรียนด้วยชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยงโดยใช้แบบสอบถามชนิดมาตราจัดอันดับ (Rating Scale) จัดเรียงความคิดเห็นจากมากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด โดยศึกษาประเด็นความคิดเห็นในด้านความพึงพอใจในการเรียนด้วยชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยง ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลนำมาหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานโดยแสดงผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความคิดเห็นในด้านความพึงพอใจในการเรียนด้วยชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยง

ประเด็น	$\bar{X}$	(S.D)	ความพอใจ
1. การสร้างแรงจูงใจทำให้เกิดความสนใจในการเรียน	4.10	0.548	มาก
2. การออกแบบที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการใช้งาน	4.17	0.531	มาก
3. วัสดุที่ใช้ในการสร้างเหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นชุดทดลอง	3.97	0.490	มาก
4. ขนาดของชุดทดลองมีความเหมาะสมต่อการเรียนทดลอง	4.20	0.551	มาก
5. ความชัดเจนของอุปกรณ์วัดค่า ตำแหน่ง ต่างๆ	4.13	0.629	มาก
6. ความสะดวกในการใช้งานปฏิบัติการเรียนทดลอง	4.17	0.592	มาก
7. ความคุ้มค่าและคุณค่าของชุดทดลอง	4.33	0.609	มาก
8. กิจกรรมในการเรียนทำให้เกิดความสามัคคีและมีส่วนร่วมในการปฏิบัติงานกลุ่ม	4.10	0.845	มาก
9. เปิดโอกาสให้แสดงความคิดเห็นและได้ลงมือปฏิบัติการทดลอง	4.27	0.583	มาก
10. การเรียนมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับเนื้อหาทฤษฎีเพิ่มความเข้าใจในการเรียนรู้วิชาวิศวกรรมฐานราก	4.03	0.615	มาก
11. เป็นสื่อการสอนทางเทคโนโลยีที่สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้งานได้	4.30	0.535	มาก
12. ความพึงพอใจโดยรวมในการเรียน	4.27	0.583	มาก

ความคิดเห็นในด้านความพึงพอใจในการเรียนด้วยชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยง ผลของการศึกษาพบว่า ผู้เรียนมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากและมีความคิดเห็นสอดคล้องกันในประเด็นเกี่ยวกับกิจกรรมการเรียนโดยลักษณะปฏิบัติงานเป็นกลุ่มโดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.10 ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.845

4.2 ผลการศึกษาผลการเรียน

4.2.1 ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มตัวอย่างที่เรียนด้วย ชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยง โดยเปรียบเทียบระหว่างเกณฑ์ร้อยละ 80 และคะแนนจากการทดสอบหลังเรียน (Post-test) มาทำการทดสอบหาค่าที (t-test) ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.6

ตาราง ที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มตัวอย่างที่เรียนด้วย ชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยง

การทดสอบ	n	คะแนนเต็ม	Mean	S.D.	% of Mean
หลังเรียน (Post-test)	18	20	15.94	0.87	79.72

จากตารางที่ 4.6 พบว่า การทดสอบหลังเรียนของผู้เรียนที่เรียนด้วยชุดทดลองมีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 15.94 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 79.72 และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเกณฑ์ ร้อยละ 80 กับคะแนนสอบหลังเรียนของนักเรียน พบว่าคะแนนสอบหลังเรียนของนักเรียนไม่สูงกว่าเกณฑ์

4.2.2 ผลการศึกษาพฤติกรรมการปฏิบัติการทดลอง

ผลการปฏิบัติเป็นวัตถุประสงค์สำคัญประการหนึ่งของการเรียนทดลอง จากการศึกษาการปฏิบัติการทดลองของผู้เรียนที่เรียนด้วยชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยงโดยใช้แบบสังเกตพฤติกรรมผู้เรียนในการปฏิบัติการทดลองโดยทำการศึกษาผลทางด้านกระบวนการและผลลัพธ์ รวมทั้งการทำงานเป็นกลุ่มและทางด้านการปฏิบัติงานโดยพิจารณาจากการปฏิบัติการทดลองทีละใบงานโดยแบ่งกลุ่มผู้เรียนในการปฏิบัติการทดลองเป็นกลุ่ม 3 กลุ่ม กลุ่มละ 6 คน ในการลงมือปฏิบัติการทดลองทั้งหมด 3 ใบงาน โดยใช้แบบสังเกตพฤติกรรมการทดลองแล้วนำผลจากการสังเกตมาวิเคราะห์หาค่าร้อยละเฉลี่ย ทำการศึกษาพฤติกรรมผู้เรียน 5 ประเด็น คือ (1) การทำงานเป็นกลุ่ม (2) ขั้นเริ่มดำเนินการทดลอง (3) ขั้นปฏิบัติการทดลอง (4) ขั้นรวบรวมข้อมูล และ(5) ขั้นการสรุปและการประเมินผล ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการปฏิบัติการทดลองของผู้เรียนที่เรียนด้วยชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยง

พฤติกรรมการปฏิบัติการทดลอง	ใบงาน(ร้อยละ)			เฉลี่ย
	1	2	3	(ร้อยละ)
1. การทำงานเป็นกลุ่ม				
1.1. มีบทบาทและหน้าที่ในการร่วมทำการทดลอง	70	100	100	90
1.2. ให้ความร่วมมือในการปฏิบัติงานกับกลุ่ม ทั้งผู้นำและผู้ตาม	80	100	100	93
1.3. มีส่วนร่วมแสดงความคิดเห็นในการพิจารณาผลลัพธ์จากการทดลอง	70	90	100	86

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

พฤติกรรมการปฏิบัติการทดลอง	ใบงาน(ร้อยละ)			เฉลี่ย
	1	2	3	(ร้อยละ)
1.1. มีการโต้เถียง แสดงข้อขัดแย้งเพื่อหาข้อสรุปผลการทดลอง	90	80	100	90
1.2. การยอมรับฟังข้อคิดเห็นของกลุ่มด้วยเหตุผล	100	100	100	100
2. ขั้นเริ่มดำเนินการทดลอง				
2.1. มีการแบ่งหน้าที่การทำงานอย่างชัดเจน	70	90	90	83
2.2. มีการจัดลำดับการทำงานและปฏิบัติการทดลองตามขั้นตอนที่กำหนด	80	80	90	83
2.3. มีการจดบันทึกจากการให้ข้อมูลสนับสนุนการทดลองจากผู้สอน	100	100	100	100
2.4. การอ่านข้อมูลที่ให้ในใบงานการทดลอง	100	100	100	100
2.5. การตั้งข้อสงสัยและซักถามเกี่ยวกับข้อมูลในใบงาน	70	80	100	83
3. ขั้นปฏิบัติการทดลอง				
3.1. การเลือกใช้เครื่องมืออย่างถูกต้องกับงาน	80	90	100	90
3.2. สามารถใช้เครื่องมือได้อย่างมีประสิทธิภาพ	100	90	90	93
3.3. มีโอกาสสัมผัสเครื่องมือ อุปกรณ์ วัสดุที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง	80	90	80	83
3.4. สามารถบอกปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทดลอง	90	80	80	83
3.5. สามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นและสามารถดำเนินการทดลองต่อไปได้	90	90	80	86
4. ขั้นรวบรวมข้อมูล				
มีการบันทึกข้อมูลจากปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในการทดลอง				
5. ขั้นสรุปและการประเมินผล	80	80	90	83
5.1. การเขียนรายงานการทดลอง	80	90	90	86
5.2. การรายงานด้วยวาจา	70	90	90	83
5.3. ปฏิบัติงานในแต่ละขั้นตอนภายในเวลาที่เหมาะสม	90	90	90	90
5.4. การตอบคำถามท้ายการทดลองได้ด้วยตนเอง	90	90	90	90

จากตารางที่ 4.7 พบการสังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานแยกเป็นประเด็นดังนี้

4.2.2.1 ผลการศึกษาพฤติกรรมผู้เรียนด้านการทำงานเป็นกลุ่ม

ผลการศึกษาพฤติกรรมผู้เรียนด้านการทำงานเป็นกลุ่มจากค่าเฉลี่ยโดยรวมพบว่ากลุ่มผู้เรียนในระดับดีมาก ได้แก่ ในด้านการมีบทบาทและหน้าที่ในการร่วมทำการทดลองกับการโต้เถียงและแสดงข้อขัดแย้งเพื่อหาผลสรุปของการทดลอง พบว่าผู้เรียนมีพฤติกรรมการปฏิบัติได้ดีคิดเป็นร้อยละ 90 ในด้านการให้ความร่วมมือในการปฏิบัติงานกับกลุ่ม ทั้งด้านผู้นำและผู้ตาม พบว่าผู้เรียนมีพฤติกรรมการปฏิบัติได้ดีคิดเป็นร้อยละ 93 ในด้านการมีส่วนร่วมแสดงความคิดเห็นในการพิจารณาผลลัพธ์จากการทดลอง พบว่ามีพฤติกรรมการปฏิบัติได้ดีคิดเป็นร้อยละ 86 และในด้านการยอมรับฟังข้อคิดเห็นของกลุ่มด้วยเหตุผล พบว่าพฤติกรรมของผู้เรียนปฏิบัติได้ดีทุกคน

4.2.2.2 ผลการศึกษาพฤติกรรมผู้เรียนขั้นเริ่มดำเนินการทดลอง

ผลการศึกษาพฤติกรรมในส่วนที่แสดงถึงการจัดระบบการทำงาน ได้แก่ มีการแบ่งหน้าที่ในการทำงานอย่างชัดเจนและการจัดลำดับการทำงานและการปฏิบัติการทดลองตามขั้นตอนที่กำหนด พบว่าผู้เรียนมีการปฏิบัติงานได้ในระดับดี คิดเป็นร้อยละ 83 ในส่วนที่แสดงถึงพฤติกรรมด้านการวางแผนการทดลอง ได้แก่ การจดบันทึกจากการให้ข้อมูลสนับสนุนการทดลองจากผู้สอน พบว่าผู้เรียนมีการปฏิบัติงานได้ในระดับ ดีมากทุกคน การอ่านข้อมูลที่ให้ในใบงานการทดลอง พบว่าผู้เรียนมีพฤติกรรมในระดับดีมากทุกคน การตั้งข้อสงสัยและซักถามเกี่ยวกับข้อมูลในใบงาน พบว่าผู้เรียนมีการปฏิบัติงานได้ในระดับ ดี คิดเป็นร้อยละ 83

4.2.2.3 ผลการศึกษาพฤติกรรมผู้เรียนขั้นปฏิบัติการทดลอง

ผลการศึกษาพฤติกรรมที่แสดงถึงการเลือกใช้เครื่องมือ ได้แก่การเลือกใช้เครื่องมืออย่างถูกต้องและเหมาะสมกับงาน พบว่าผู้เรียนปฏิบัติงานได้ในระดับดี คิดเป็นร้อยละ 90 ด้านความสามารถในการใช้เครื่องมือได้อย่างมีประสิทธิภาพ พบว่าผู้เรียนปฏิบัติงานได้ในระดับดีมาก คิดเป็นร้อยละ 93 ด้านการมีโอกาสสัมผัสเครื่องมือ อุปกรณ์ วัสดุที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง พบว่าผู้เรียนปฏิบัติงานได้ในระดับดี คิดเป็นร้อยละ 83

ผลการศึกษาพฤติกรรมที่แสดงถึงการวิเคราะห์ข้อผิดพลาดจากการทดลอง ได้แก่ ความสามารถบอกปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทดลอง พบว่าผู้เรียนปฏิบัติงานได้ในระดับดี คิดเป็นร้อยละ 83 และความสามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นและสามารถดำเนินการทดลองต่อไปได้พบว่าผู้เรียนปฏิบัติงานได้ในระดับดี คิดเป็นร้อยละ 86

4.2.2.4 ผลการศึกษาพฤติกรรมผู้เรียนขั้นรวบรวมข้อมูล

ผลการศึกษาพฤติกรรมผู้เรียนด้านการบันทึกข้อมูลจากปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในการทดลองพบว่าผู้เรียนปฏิบัติงานได้ในระดับดี คิดเป็นร้อยละ 83

4.2.2.5 ผลการศึกษาพฤติกรรมผู้เรียนขั้นการสรุปและการประเมินผล

ผลการศึกษาพฤติกรรมที่แสดงถึงความสามรถในการเสนอรายงาน ได้แก่ การเขียนรายงานการทดลองพบว่าผู้เรียนปฏิบัติงานได้ในระดับดี คิดเป็นร้อยละ 86 และการรายงานด้วยวาจาพบว่าผู้เรียนปฏิบัติงานได้ในระดับดี คิดเป็นร้อยละ 83

ผลการศึกษาพฤติกรรมที่แสดงถึงความสามรถในการประเมินจากการทดลอง ได้แก่ การปฏิบัติงานในแต่ละขั้นตอนภายในเวลาที่เหมาะสมพบว่าผู้เรียนปฏิบัติงานได้ในระดับดี คิดเป็นร้อยละ 90 และการตอบคำถามท้ายการทดลองได้ด้วยตนเองพบว่าผู้เรียนปฏิบัติงานได้ในระดับดี คิดเป็นร้อยละ 90

บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการหาประสิทธิภาพและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของชุดการสอนเชิงทดลองโดยใช้ชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยง สามารถใช้เป็นสื่อการสอนในการเรียนทดลองในรายวิชาวิศวกรรมฐานราก (CTE 443 Foundation Engineering) ของ ระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโยธา ของภาควิชาครุศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในรูปแบบของการสอนทดลองหลังการเรียนทฤษฎี (Traditional Laboratory) เพื่อพิสูจน์สมมุติฐานที่ว่าชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทำให้ผู้เรียนที่เรียนด้วยชุดทดลองนี้มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้น โดยเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย 1) ชุดการทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยง พร้อมใบงานประกอบการทดลอง 3 ใบงาน 2) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ครอบคลุมเนื้อในใบงานการทดลอง 3 กลุ่มเนื้อหา โดยใช้แบบทดสอบชนิดเลือกตอบแบบ 4 ตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ 3) แบบสังเกต ที่ใช้ในการสังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติของผู้เรียนที่ทำการเรียนร่วมกับชุดทดลอง 4) แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียนเกี่ยวกับการเรียนด้วยชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโยธา ของภาควิชาครุศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ผ่านการเรียนทฤษฎีในวิชาวิศวกรรมฐานราก (CTE 443 Foundation Engineering) มาแล้ว ในปีการศึกษา 2549 ซึ่งได้มาโดยวิธีการสุ่มตัวอย่างง่าย (Simple Random Sampling) จำนวน 18 คนโดยมีการดำเนินการดังต่อไปนี้

เริ่มต้นจากการดำเนินสอนกลุ่มตัวอย่างที่จัดกลุ่มแล้ว โดยมีจำนวนผู้เรียนกลุ่มละ 6 คน ด้วยชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยงโดยจะมีการทำแบบคำถามท้ายการทดลอง หลังจากเรียนทดลองจบแต่ละใบงาน และมีการบันทึกพฤติกรรมผู้เรียนในขณะปฏิบัติการทดลองด้วยแบบสังเกตพฤติกรรม จากนั้นเมื่อเรียนครบทุกใบงานแล้ว ให้ผู้เรียนทำการทดสอบหลังเรียน (Post-test) ด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนซึ่งเป็นแบบทดสอบชนิด เลือกตอบแบบ 4 ตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ แล้วนำผลคะแนนสอบเฉลี่ยมาหาค่าความแตกต่างของความรู้ด้วยค่าสถิติ (t-test One Sample)

สรุปผลการวิจัย

ผลการพัฒนาใบงานการทดลองที่ใช้ประกอบการเรียนทดลอง ด้วยชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยง โดยทำการวิเคราะห์งานในเรื่อง โครงสร้างใต้ดินให้สอดคล้องกับเนื้อหาวิชาวิศวกรรมฐานราก (CTE 443 Foundation Engineering) จำนวน 3 เรื่อง 1) กำแพงกันดินที่รับแรง

กระทำด้านข้างในทราย 2) เสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย และ3) การรับแรงดึงของสมอหน้าตัดสี่เหลี่ยม (Uplift capacity) ในทราย เมื่อนำใบงานการทดลองที่ได้พัฒนาไปให้ผู้เชี่ยวชาญผลประเมินความสมบูรณ์ของข้อมูลในใบงานที่ได้ จากดุลยพินิจของผู้เชี่ยวชาญพบว่าใบงานชุดทดลองดังกล่าวมีองค์ประกอบของข้อมูลภายในเหมาะสมตามเกณฑ์แต่ละข้อ อยู่ในระดับมากโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.75 ถึง 4.5 และเห็นว่าใบงานทดลองที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเป็นใบงานทดลองที่มีความสมบูรณ์ และสามารถเอื้อต่อการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากและมากที่สุด จากผลพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญอาจกล่าวได้ว่าใบงานทดลองที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นใหม่นั้นเป็นใบงานทดลองที่มีคุณภาพ และสามารถไปใช้ประกอบการเรียนการสอนเพื่อให้ผู้เรียนเกิดการพัฒนาพฤติกรรมได้ตามวัตถุประสงค์ของการเรียนได้มากขึ้น แสดงว่าใบงานที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ประกอบการเรียนทดลองในวิชาวิศวกรรมฐานราก (CTE 443 Foundation Engineering) ได้ โดยมีความครอบคลุมในเนื้อหาเพียงพอตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้ที่กำหนด

ผลการหาประสิทธิภาพของชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยง ได้ค่าคะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบทดสอบระหว่างเรียน (E1) ได้เท่ากับ 81.30% และคะแนนของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (E2) ได้เท่ากับ 79.72% ดังนั้นประสิทธิภาพของชุดทดลอง (E1/E2) มี ค่าเท่ากับ 81.30/79.72 ไม่เป็นไปตามสมมุติฐานแต่ก็ใกล้เคียงกับสมมุติฐานที่ตั้งไว้ คือ 80/80

ผลการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน พบว่าแบบทดสอบมีความยากง่าย (p) อยู่ระหว่าง 0.23-0.83 ซึ่งแสดงว่าแบบทดสอบ มีค่าความยากง่ายพอเหมาะ ส่วนค่าอำนาจจำแนก (r) อยู่ระหว่าง 0.17-0.47 แสดงว่างแบบทดสอบมีค่าอำนาจจำแนกระดับพอใช้สามารถแยกผู้เรียนที่มีความรู้แตกต่างกันออกจากกันได้พอสมควร ดังนั้นแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชุดนี้จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้วัดผลการเรียนรู้กับกลุ่มตัวอย่างได้

ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยการให้กลุ่มตัวอย่างทำแบบทดสอบวัดความรู้หลังการเรียนทดลอง ผลของคะแนนที่ได้จากการทดสอบมาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยเปรียบเทียบระหว่างเกณฑ์ร้อยละ 80 และคะแนนจากการทดสอบหลังเรียน (Post-test) มาทำการทดสอบหาค่าที (t-test) พบว่าการทดสอบหลังเรียนของผู้เรียนที่เรียนด้วยชุดทดลองมีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 15.94 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 79.72 และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเกณฑ์ ร้อยละ 80 กับคะแนนสอบหลังเรียนของนักเรียน พบว่าคะแนนสอบหลังเรียนของนักเรียนไม่สูงกว่าเกณฑ์ แต่ผลคะแนนก็ใกล้เคียงกับเกณฑ์มาก

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการสร้างใบงานของ ชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยง ทำให้ผู้เรียนที่เรียนด้วยชุดทดลองมีความรู้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากการเรียนด้วยชุดทดลองเป็นสื่อการ

สอนที่สร้างแรงจูงใจในการเรียนรู้ และกระตุ้นให้ผู้เรียนมีความสนใจเนื้อหาทฤษฎีที่ได้เรียน จากการเปิดโอกาสและจัดประสบการณ์ให้ผู้เรียนได้สัมผัสรูปแบบการจำลองที่เป็นรูปธรรม โดยการถ่ายทอดด้วยสื่อที่เป็นนวัตกรรมทางเทคโนโลยี เป็นการเชื่อมโยงความรู้จากภาคทฤษฎีสู่ภาคปฏิบัติ ช่วยสร้างความชัดเจนในการทำความเข้าใจในเนื้อหา และเป็นการสร้างความคิดริเริ่มในการนำความรู้จากศาสตร์ที่ได้เรียนไปใช้พัฒนาสิ่งใหม่ๆ พัฒนาให้ผู้เรียนมีความรู้ที่หลากหลาย จากการเรียนด้วยระบบการสอนทดลอง (Laboratory) ซึ่งสอดคล้องกับ ชูศักดิ์ เปลี่ยนภู่ [4] ที่ได้กล่าวไว้ว่าการสอนทดลองเป็นการให้การศึกษาโดยให้ผู้เรียนได้มีโอกาสสัมผัส และได้รับประสบการณ์เกี่ยวกับการใช้เครื่องมือและวัสดุด้วยการลงมือปฏิบัติ เป็นงานที่ฝึกการประสานงานระหว่างข้อมูลทางวิชาการในศาสตร์ ความสามารถทางสมองกับประสาทสัมผัสต่างๆ (Co-ordination Between Metal and Perception) เป็นการฝึกทักษะทางสมอง เพื่อการวิเคราะห์และวินิจฉัยสิ่งที่เกิดขึ้น แปลความหมายของสิ่งที่เห็นด้วยการอ้างอิง กฎ สูตร และหลักการเพื่อสรุปผลและหาข้อมูลที่เป็นผลลัพธ์ที่ต้องการ การทดลองเป็นการให้ประสบการณ์หลายมิติที่พัฒนาความสามารถของผู้เรียนหลายประการ ด้วยเหตุผลดังกล่าวการเพิ่มทางผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยการเรียนจากชุดทดลองที่สร้างขึ้นเป็นสื่อในการสอนภาคปฏิบัติหลังจากจบกระบวนการการเรียนทดลอง การประเมินผลการเรียนของผู้เรียนพบว่าผู้เรียนมีผลการเรียนดีขึ้น ด้วยการจัดรูปแบบการสอนตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา คือการฝึกให้ผู้เรียนได้ใช้ความคิด หรือให้มีความสามารถสร้างความรู้ความคิดเป็น เพื่อการกระทำหรือผลลัพธ์อย่างใดอย่างหนึ่ง

ผลการศึกษาประสิทธิภาพของชุดทดลอง ด้วยเทคนิคการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้วิธีหมุนเหวี่ยง (Centrifuge Modeling) ได้ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน E1/E2 เท่ากับ 81.30/79.72 ซึ่งไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 พบว่ามีสาเหตุมาจากระหว่างการดำเนินการวิจัยนั้นผู้เรียนมีเวลาเตรียมตัวในการเรียนน้อย และเนื้อหาที่ใช้มีระดับความยากค่อนข้างมาก รูปแบบของการนำเสนอในแนวทางใหม่ที่ผู้เรียน ไม่คุ้นเคยกับวิธีการเรียน ซึ่งส่วนใหญ่ผู้เรียนต้องดำเนินการด้วยตนเองแตกต่างจากการเรียนปกติ และเมื่อเกิดปัญหาหรือข้อสงสัยผู้เรียนบางคนจะไม่กล้าถาม จากข้อมูลดังกล่าวเป็นสาเหตุทำให้ผลคะแนนการทดสอบของผู้เรียนบางคนไม่ดีเท่าที่ควร ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพที่คำนวณได้มีผลใกล้เคียงค่ามาตรฐานเท่านั้น

ผลพฤติกรรมการปฏิบัติงานของผู้เรียนที่เรียนด้วยชุดทดลอง ด้วยเทคนิคการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้วิธีหมุนเหวี่ยง (Centrifuge Modeling) โดยสังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติการทดลองซึ่งผลปรากฏว่าผู้เรียนสามารถปฏิบัติการทดลองได้ดีมาก ทั้งนี้เป็นเพราะว่าแรงจูงใจในการเรียนจากสื่อชุดทดลองนี้ทำให้เกิดแรงผลักดันภายในของผู้เรียน เกิดความอยากในการเรียนรู้และการนำเสนอข้อมูลในใบงานที่ใช้ประกอบการทดลองได้ให้รายละเอียดของข้อมูลในการปฏิบัติงานอย่างสมบูรณ์ และพฤติกรรมการปฏิบัติงานกลุ่มของผู้เรียนช่วยพัฒนาคุณภาพในตัวผู้เรียนด้านต่างๆ อันได้แก่ ทัศนคติที่ดีต่อวิชาการ

ความรับผิดชอบ ความสนใจ และการเอาใจใส่ในงาน ความสามัคคีในการปฏิบัติงาน การพัฒนาความสามารถทางสังคม ซึ่งเกิดจากสถานการณ์ความใกล้ชิดระหว่างผู้เรียนกันเอง และผู้สอนกับผู้เรียนในขณะทำการทดลอง

ความพึงพอใจของผู้เรียนที่ได้เรียนโดยใช้ชุดทดลอง ด้วยเทคนิคการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้วิธีหมุนเหวี่ยง (Centrifuge Modeling) เป็นสื่อในการเรียนการสอนภาคปฏิบัติพบว่า ผู้เรียนมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ซึ่งเป็นผลมาจากชุดการทดลองที่สร้างขึ้นมีการจูงใจ สามารถทำให้ผู้เรียนเกิดแรงผลักดันในความอยากรู้อยากเห็น ที่ทำให้ผู้เรียนเกิดพฤติกรรมที่อยากจะค้นคว้าเพื่อหาความรู้ ด้วยรูปแบบของชุดทดลองนั้นสามารถช่วยการถ่ายโยงความรู้ (Transfer of Learning) คือการนำสิ่งที่เรียนรู้แล้วไปใช้ในสถานการณ์ใหม่ ที่ช่วยให้ผู้เรียนสร้างความคิดรวบยอดโดยได้เห็นภาพจากรูปแบบการทดลองที่นำเสนออย่างเป็นรูปธรรมชัดเจน หลังจากให้ผู้เรียนได้รับหลักการและทฤษฎีในเรื่องต่างๆ ไปแล้วนำไปสู่การประยุกต์ใช้ การจัดสภาพให้ผู้เรียนได้ฝึกการทำงานในเรื่องดังกล่าวอย่างเป็นระบบ ขั้นตอนทำให้เกิดความเข้าใจในเรื่องที่ศึกษาอยู่ง่ายขึ้น โดยเกิดการเรียนรู้จากการปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนกับชุดทดลองด้วยการสังเกตและเรียนแบบจากตัวเอง (Observation Learning and Modeling) เมื่อจบกระบวนการเรียนผู้เรียนจะมีผลงานของตนเองออกมาซึ่งเป็นส่วนในการเสริมแรง ทำให้ผู้เรียนเกิดความมั่นใจและค้นพบคุณค่าของความสามารถในการใช้ทักษะต่างๆ ของตนเองในการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและผู้เรียนสามารถนำหลักการที่ได้เรียนไปเชื่อมโยงสร้างเสริมระบบการคิดและการวางแผนในการทำงานเรื่องอื่นๆ ได้อีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการวิจัยเชิงทดลองทำให้ผู้วิจัยได้รับประสบการณ์จากการดำเนินงานที่เกิดขึ้นในช่วงของการสร้างและพัฒนาชุดทดลอง การสร้างใบงาน การหาประสิทธิภาพของชุดทดลองที่สร้างขึ้น รวมทั้งการศึกษาผลสัมฤทธิ์จากการเรียนด้วยชุดทดลองของนักศึกษาได้พบข้อเสนอแนะหลายประการที่ผู้วิจัยคาดว่าถ้าได้มีการปรับปรุงและพัฒนาขึ้น จะทำให้การวิจัยในครั้งต่อไปมีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยมีรายละเอียดของข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

5.3.1 การสร้างชุดทดลองโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยงสำหรับจำลองพฤติกรรมโครงสร้างใต้ดิน ควรพิจารณาเสมอว่า การพัฒนาใบงานการทดลองที่ใช้ประกอบการทดลองเพื่อขยายความรู้ในเนื้อหาทฤษฎี ควรเน้นให้ผู้เรียนได้เห็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในหลักการทางวิศวกรรมฐานรากหรือเทคนิคธรณีที่หลากหลาย เพื่อให้ผู้เรียนได้เห็นความสัมพันธ์และความแตกต่างของปรากฏการณ์ที่เกิดจากการทดลองมีความสอดคล้องเชื่อมโยงกับงานในภาคสนามจริงทั่วไปได้

5.3.2 ควรนำชุดทดลองและใบงานที่สร้างขึ้นไปเผยแพร่และทดลองใช้กับนักศึกษาสาขาวิศวกรรมโยธา ของสถานศึกษาระดับอุดมศึกษาต่างๆ เพื่อเป็นการส่งให้มีการพัฒนาเทคนิคการจำลองด้วยวิธีหมุนเหวี่ยงเพื่อการเรียนการสอนในประเทศไทย และเป็นการพิสูจน์ประสิทธิภาพของชุดทดลองว่าสามารถใช้กับนักศึกษาที่ศึกษาในด้านวิศวกรรมโยธา ระดับปริญญาตรี และมีพื้นฐานทางด้านวิศวกรรมฐานราก ได้จริงตามที่กำหนดไว้

5.3.3 การวิจัยในครั้งต่อไปควรใช้แบบแผนการทดลองที่มีกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมแบบสุ่มและมีการวัดความรู้ก่อนเรียนหลังเรียน (Randomized Control Group Pretest Posttest Design) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบผลการเรียนทดลองแบบปกติกับการเรียนทดลองด้วยชุดสื่อทดลองที่สร้างขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. กิติเดช สันติชัยอนันต์, 2548, "เทคนิคการจำลองแบบหมุนเหวี่ยง ประโยชน์ ผลกระทบ และการพัฒนาต่อประเทศไทย", **การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ,** ครั้งที่10, 2-4 พฤษภาคม 2548, พัทยา, ประเทศไทย, หน้า GTE 201-206.

2. บุญชม ศรีสะอาด, 2537, **การพัฒนาการสอน**, สุวริยาสาส์น, หน้า 68.

3. สุวัฒน์ นิยมค้า, 2531, **ทฤษฎีและทางปฏิบัติในการสอนวิทยาศาสตร์แบบสืบเสาะหาความรู้เล่ม 2**, เจเนอรัลบุ๊คส์, หน้า 500-591.

4. ชูศักดิ์ เปลี่ยนภู่, "การสอนทดลอง (Laboratory Instruction)", **เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชา ETE 523 Workshop and Laboratory Instructional System,** ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

5. ชูศักดิ์ เปลี่ยนภู่, "หลักการที่ใช้ในการจัดการเรียนการสอนแบบทดลอง", **เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชา ETE 523 Workshop and Laboratory Instructional System,** ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

6. ชูศักดิ์ เปลี่ยนภู่, "ประเภทของการสอนแบบทดลอง", **เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชา ETE 523 Workshop and Laboratory Instructional System,** ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

7. ชูศักดิ์ เปลี่ยนภู่, "การพัฒนาใบงานทดลอง", **เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชา ETE 523 Workshop and Laboratory Instructional System,** ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

8. ชูศักดิ์ เปลี่ยนภู่, "การวิเคราะห์งาน", **เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชา ETE 523 Workshop and Laboratory Instructional System,** ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

9. Thanadol Kongsomboon, Dr. Tan Thiam Soon; Dr. Warakorn Mairaing; and Dr. Yong Kwet Yew, 2543, "แบบจำลอง Centrifuge ในวิศวกรรมธรณี", **การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ,** ครั้งที่ 6, 10-12 พฤษภาคม 2543, เพชรบุรี, ประเทศไทย, หน้า 205-210.

10. ปียะ แซ่จั่น และคณะ, 2546, **การตรวจสอบและการปรับเทียบต้นแบบเครื่องมือทดสอบแบบหมุนเหวี่ยง เพื่อการเรียนการสอนวิศวกรรมเทคนิคธรณี**, โครงงานวิจัย ปริญญาครุศาสตรอุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

11. ปียะ ม่วงเส็ง และ วุฒิพงศ์ ฝ่ายสงค์, 2547, **แบบจำลองหมุนเหวี่ยงของเสาเข็มสั้นในทรายที่รับแรงกระทำด้านข้าง**, โครงงานวิจัยปริญญาครุศาสตรอุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

12. ชรายุทธ หอมสุวรรณ และคณะ, 2548, **แบบจำลองหมุนเหวี่ยงของสมอในทราย**, โครงงานวิจัยปริญญาครุศาสตรอุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

13. วิทธวัช คำมุกชิก และ วัชระ เสนาใน, 2547, **การทดสอบแบบหยั่งกรวยสำหรับเครื่องหมุนเหวี่ยงทางวิศวกรรมเทคนิคธรณี**, โครงงานวิจัย ปริญญาครุศาสตรอุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

14. กิติเดช สันติชัยอนันต์, 2548, "แบบจำลองหมุนเหวี่ยงเพื่อการเรียนการสอนของกำแพงกันดินทรายในสภาพแอคทีฟ", **การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ** ครั้งที่10, 2-4 พฤษภาคม 2548, พัทยา, ประเทศไทย, หน้า GTE 201-206.

15. วีรยา แซ่เตีย, 2543, "แนวความคิดพื้นฐานของแบบจำลองภายใต้ความเร่งใน Centrifuge", **การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ,** ครั้งที่ 6, 10-12 พฤษภาคม 2543, เพชรบุรี, ประเทศไทย, หน้า 169 – 174.

16. Briaud, J.-L., and Smith, T. D., 1983, "Using the pressure meter curve to design laterally loaded piles", **Proc., 15th Offshore Technology Conf.**, Houston, paper 4501: 495-502.

17. Brinch Hansen, J., 1961, **The ultimate resistance of rigid piles against transversal forces**, Bulletin No. 12, Danish Geotechnical Institute, Copenhagen, Denmark: 5-9.

18. Broms, B.B., 1965, **Design of laterally loaded piles, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division**, ASCE 91(SM3): 77-99.

19. Kulhawy, F. H., 1991, **Drilled shaft foundations, Foundation Engineering**, Handbook., 2nd Ed., Chap. 14, H.-Y. Fang ed., Van Nostrand Reinholdm, New York.

20. Zhang, L., Silva, F., and Grismala, R., 2005, **Ultimate lateral resistance to piles in cohesionless soils,** J. of Geotech. And Geoenvironment, ASCE, Vol. 131, No. 1: 78-83.

21. Ovesen , N.K., 1981, "Centrifuge tests of determine the uplift capacity of anchor Slob in sand", **Proc , 10th Int . Conf . Soil Mech. And Foud. Engrg.** Vol. 1, Lyngby, Denmark, 717 – 722.

22. Teng, W.C. , 1962, **Foundation Design**, New Jersery , Prentice – Hell , pp. 137 – 139.

23. Ball, A., 1961, "The resistance to breaking out of mushroom foundation", **Proc .5th Int. Conf. Soil Mech. And Fourd . Engrg.**, Vol I., Paris, 569 – 576.

24. Hunt , R.E., 1986, **Geotechnical Engineering Analysis and Evaluation**, London, Mugrawtu Hill , pp. 430 – 438.

25. สุมาลี จันทร์ชลอ, 2542, **การวัดและประเมินผล**, ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ,หน้า 50-67.

26. สุรางค์ โค้วตะกูล, 2536, **จิตวิทยาการศึกษา**, พิมพ์ครั้งที่ 2, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

27. บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์, 2535, **การ**[illegible]**ผลการเรียนการสอน**, B&B Publishing.

28. เพราพรรณ เปลี่ยนภู่, "การวางแผนการ[illegible]**กสารประกอบการเรียนการสอนวิชา การวัดและประเมินผลการศึกษา**, ภาควิชาครุ[illegible] คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

29. ไพศาล หวังพานิช, 2526, **การวัดและป**[illegible]ทยวัฒนาพานิช,หน้า 30-49.

30. โสตถิพนธ์ โอภาส และ วีรยา ฉิมอ้อย, 2549, "อิทธิพลของความหนาแน่นต่อความสามารถในการรับแรงถอนของแบบจำลองเสาเข็มเหล็กในชั้นดินทราย", **วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ.**, ปีที่ 29, ฉบับที่ 2, เมษายน-มิถุนายน, หน้า 421-435.

31. พัฒนศักดิ์ อบเชย, 2546, **พฤติกรรมของแบบจำลองเสาเข็มในดินทรายที่รับแรงกระทำด้านข้าง**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

32. คณะอนุกรรมการสาขาวิศวกรรมปฐพี คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา, 2542, **การหากำลังบรรทุกน้ำหนักเสาเข็มจากการทดสอบ**, สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมมราชูปถัมภ์, กรุงเทพมหานคร.

33. ชัย มุกตพันธ์ และคาซูโตะ นาคาซาวา, 2537, **ปฐพีกลศาสตร์และวิศวกรรมฐานราก**, พิมพ์ครั้งที่2, สำนักพิมพ์ดวงกมล, หน้า 267-273.

34. บรรหาร เอกโรจนกุล, พลเดช บุญเสริม ศักดิ์กุล และเศกชะรัฐ น้อยคง, 2545, **การศึกษาพฤติกรรมของสมอยึดดินในทราย**, โครงงานวิจัย ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.

35. กิติเดช สันติชัยอนันต์, 2549, "แบบจำลองหมุนเหวี่ยงของเสาเข็มสั้นในทรายที่รับแรงกระทำด้านข้าง", **การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ,** ครั้งที่11, 20-22 เมษายน 2549, โรงแรมเมอร์ลิน บีช รีสอร์ท ป่าตอง, จ.ภูเก็ต, ประเทศไทย, GTE 90-98.

36. ประสพศิริ แสงภู่, 2546, **การศึกษาพฤติกรรมการโค้งของแนวแรงในดินทรายระหว่างเสาเข็มเมื่อรับแรงส่งผ่านในแนวราบ**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

37. จิระวัฒน์ ใจอ่อนน้อม, 2539, **การสร้างและทดลองหาประสิทธิภาพของชุดทดลองวงจรดิจิตอล**, วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรอุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมพระนครเหนือ, หน้า 41-46.

38. อรอนงค์ วิริยานุรักษ์นคร, 2545, **การสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดการสอนวิชาการวิเคราะห์และออกแบบวงจรดิจิตอล**, วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรอุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาครุศาสตร์ไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

39. เพราพรรณ เปลี่ยนภู่, "หลักการออกข้อสอบเพื่อวัดความสามารถด้านพุทธิพิสัย", **เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชาการวัดและประเมินผลการศึกษา**, ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

40. ชูศรี วงศ์รัตนะ,2537, **เทคนิคการใช้สถิติเพื่อการวิจัย,** ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

41. ประดับ เรืองมาลัย, 2524, **หลักการสอนและการเตรียมประสบการณ์ภาคปฏิบัติ**, วัฒนาพานิช, หน้า 290-320.

ภาคผนวก ก.

รายนามผู้เชี่ยวชาญที่ใช้ในการตรวจสอบเครื่องมือ

รายนามผู้เชี่ยวชาญที่ใช้ในการตรวจสอบเครื่องมือ

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ ตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูลในใบงานชุดทดลองที่สร้างขึ้นเพื่อเรียนรู้เนื้อหา

1. ผศ.ดร.ธนาดล คงสมบูรณ์	อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ
2. รศ.ดร.วีรยา ฉิมอ้อย	อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
3. ผศ.ดร. พงศกร พรรณรัตนศิลป์	อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น
4. ผศ.ดร.กิติเดช สันติชัยอนันต์	อาจารย์ ภาควิชาครุศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ภาคผนวก ข.

ตารางผลการวิเคราะห์งาน

ตารางที่ ข 1 การวิเคราะห์กลุ่มงาน ที่ 1 เรื่อง กำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย

Operation	Objective	Tool & Material	Knowledge	Skill
1. พฤติกรรมของกำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย 2. ลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างและแรงดันที่เกิดขึ้นจากดินทรายหลังกำแพง เนื่องจากตัวแปร 2.1 ค่า Friction angle (ϕ) ของดินทราย 2.2 ค่าหน่วยน้ำหนักกดทับของดินทราย	1.1 ให้ผู้เรียนอธิบายลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างที่เกิดขึ้นจากดินทรายหลังกำแพงในสภาพแรงดันดินเชิงรุก (Active earth Pressure) 1.2 ให้ผู้เรียนอธิบายความแตกต่างของลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างและแรงดันที่เกิดขึ้นจากดินทรายหลังกำแพงเนื่องจากตัวแปร 1.2.1 ค่า Friction angle (ϕ) ของดินทราย 1.2.2 ค่าหน่วยน้ำหนักกดทับของดินทราย	1. เครื่องทดสอบแบบหมุนเหวี่ยงขนาดเล็กทางวิศวกรรมเทคนิคธรณี (CTEd-1) 2. กล่องบรรจุทรายทดสอบ 3. ชุดกำแพงกันดิน 4. Beam load cell 5. ลูกสูบแรงดันลมและระบบควบคุม 6. คอมพิวเตอร์และกล้องวงจรปิดสำหรับบันทึกภาพชุดทดสอบขณะหมุนเหวี่ยง	1. วิธีการและหลักการควบคุมการเกิดแรงดันดินที่สภาวะแรงดันเชิงรุก (Active earth pressure) 2. การเปลี่ยนแปลงมุมของกำแพง ที่เกิดจากแรงดันด้านข้างของดิน 3. ปริมาณการเคลื่อนที่ของดินลักษณะต่างๆกรณีแรงดันดินเชิงรุก (Active lateral earth pressure) 4. หลักการและรูปแบบของแรงดันดินด้านข้างตามตามทฤษฎีของ Rankine	1.การควบคุมการทำงานของแรงดันต่อกำแพงกันดิน 2.การติดตั้งอุปกรณ์การจำลองกำแพงกันดิน 3. การอ่านค่าและการใช้งานเครื่องทดสอบแบบหมุนเหวี่ยงขนาดเล็กทางวิศวกรรมเทคนิคธรณี (CTEd-1) 4. การสังเกตสภาวะการเคลื่อนที่ของดินหลังกำแพง 5. การเขียนกราฟการเคลื่อนที่และแรงดันบนกำแพง

ตารางที่ ข 2 การวิเคราะห์กลุ่มงานที่ 2 เรื่องเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย

Operation	Objective	Tool & Material	Knowledge	Skill
1. การรับแรงทางด้านข้างสูงสุดของเสาเข็มสั้นที่เกิดขึ้นในดินทรายได้ (Ultimate Lateral Load) 2. ลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างของเสาเข็มที่เกิดขึ้นในดินทราย ในลักษณะ free head จากตัวแปร 2.1 ค่า Friction angle (ϕ) ของดิน 2.2 ขนาดหน้าตัดของเสาเข็ม 2.3 มิติที่สอดคล้องกันของแบบจำลองที่มีขนาดต่างกัน (Similitude)	1.1 ให้ผู้เรียนอธิบายความสามารถในการรับแรงทางด้านข้างสูงสุดของเสาเข็มสั้นที่เกิดขึ้นในดินทรายได้ (Ultimate Lateral Load) 1.2 ให้ผู้เรียนอธิบายความแตกต่างของลักษณะและระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างของเสาเข็มที่เกิดขึ้นในดินทรายในลักษณะ free head จากตัวแปร 1.2.1 ค่า Friction angle (ϕ) ของดิน 1.2.2 ขนาดหน้าตัดของเสาเข็ม 1.2.3 มิติที่สอดคล้องกันของแบบจำลองที่มีขนาดต่างกัน (Similitude)	1.เครื่องทดสอบแบบหมุนเหวี่ยงขนาดเล็กทางวิศวกรรมเทคนิคธรณี (CTEd-1) 2.กล่องบรรจุทรายทดสอบ 3.ชุดเสาเข็มสั้น 4. Load cell , dispresment transducers 5. ลูกสูบแรงดันลมและระบบควบคุม 6.คอมพิวเตอร์และกล้องบันทึกภาพ	1. วิธีการและหลักการควบคุมการรับแรงดันด้านข้างสูงสุดของเสาเข็มสั้น (Ultimate lateral load ,Q_u) 2. การเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงด้านสูงสุด (p_u) ที่อัตราส่วน L/D ต่างๆ 3. ปริมาณการเคลื่อนที่และพฤติกรรมของเสาเข็มที่ฝังในทรายโดยมีหัวของเสาเข็มเป็นแบบ ไม่มีการยึดรั้ง (Free Head Pile) 4. หลักการและรูปแบบของการวิเคราะห์เสาเข็มที่มีการรับแรงกระทำทางด้านข้างตามทฤษฎีของ Broms's และ Zhang et al. 5. การปรับมิติให้สอดคล้องกันของแบบจำลองที่มีขนาดต่างกัน (Similitude) โดยอาศัยกฎของสเกล (Scaling law)	1. การควบคุมการทำงานของแรงดันต่อเสาเข็ม 2. การติดตั้งอุปกรณ์การจำลองเสาเข็มและชุดควบคุมแรงดัน 3. การอ่านค่าและการใช้งานเครื่องทดสอบ แบบหมุนเหวี่ยงขนาดเล็กทางวิศวกรรมเทคนิคธรณี (CTEd-1) 4. การสังเกตลักษณะการเคลื่อนที่ของเสาเข็ม 5. การเขียนกราฟการเคลื่อนที่และแรงดันด้านข้างต่อเสาเข็ม 6. การเทียบสัดส่วนกันระหว่างน้ำหนักกระทำด้านข้าง ของเสาเข็มต้นแบบ (P_p) และของเสาเข็มจำลอง (P_m)

ตารางที่ ข 3 การวิเคราะห์กลุ่มงาน ที่ 3 เรื่องการรับแรงดึงของสมอหน้าตัดสี่เหลี่ยม (Uplift capacity) ในทราย

Operation	Objective	Tool & Material	Knowledge	Skill
1. การรับแรงดึงของสมอหน้าตัดสี่เหลี่ยม (Uplift Capacity) และค่าBearing capacity factor (N_γ) ที่เกิดขึ้นในดินทราย 2. ระยะการถอนตัวของสมอจากแรงดึงที่เกิดขึ้นในดินทรายเนื่องจากตัวแปร 1.2.1 ค่า Friction angle (ϕ) ของทราย 1.2.2 ขนาดหน้าตัดของสมอ 1.2.3 มิติที่สอดคล้องกันของแบบจำลองที่มีขนาดต่างกัน (Similitude)	1.1 ให้ผู้เรียนอธิบายความสามารถในการรับแรงดึงของสมอหน้าตัดสี่เหลี่ยม (Uplift Capacity) และค่าBearing capacity factor (N_γ) ที่เกิดขึ้นในดินทราย 1.2 ให้ผู้เรียนอธิบายความแตกต่างของลักษณะและระยะการถอนตัวของสมอจากแรงดึงที่เกิดขึ้นในดินทรายเนื่องจากตัวแปร 1.2.1 ค่า Friction angle (ϕ) ของทราย 1.2.2 ขนาดหน้าตัดของสมอ 1.2.3 มิติที่สอดคล้องกันของแบบจำลองที่มีขนาดต่างกัน (Similitude)	1.เครื่องทดสอบแบบหมุนเหวี่ยงขนาดเล็กทางวิศวกรรมเทคนิคธรณี (CTEd-1) 2.กล่องบรรจุทรายทดสอบ 3.ชุดสมอหน้าตัดสี่เหลี่ยม 4. Load cell , dispresment transducers 5. มอเตอร์และระบบควบคุม 6.คอมพิวเตอร์และกล้องบันทึกภาพ	1. วิธีการและหลักการควบคุมการรับแรงดึงของสมอหน้าตัดสี่เหลี่ยม (Uplift Capacity) ในทราย 2. ปริมาณการเคลื่อนที่และพฤติกรรมของสมอที่ฝังในทราย 4. หลักการและรูปแบบของการรับแรงดึงของสมอหน้าตัดสี่เหลี่ยม (Uplift Capacity) และค่า bearing capacity factor (N_γ) ที่เกิดขึ้นในทราย 5. การปรับมิติให้สอดคล้องกันของแบบจำลองที่มีขนาดต่างกัน (Similitude) โดยอาศัยกฎของสเกล (Scaling law)	1. การควบคุมการทำงานของแรงดึงต่อสมอ 2. การติดตั้งอุปกรณ์การจำลองสมอและชุดมอเตอร์สำหรับดึงสมอ 3. การอ่านค่าและการใช้งานเครื่องทดสอบแบบหมุนเหวี่ยงขนาดเล็กทางวิศวกรรมเทคนิคธรณี (CTEd-1) 4. การสังเกตลักษณะการถอนตัวของสมอ 5. การเขียนกราฟการเคลื่อนที่และแรงดึงสมอ 6. การเทียบสัดส่วนกันระหว่าง bearing capacity factor (N_γ) ของสมอจำลองขนาดใหญ่ (P_p) และของสมอจำลองขนาดเล็ก (P_m)

ภาคผนวก ค.

ใบงาน Centrifuge modeling test (ใบงานที่ 1-3)

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของกำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge modeling of retaining wall in sand)	หน้า

1. **<u>วัตถุประสงค์ของการทดลอง</u>**

1.1 ให้ผู้เรียนอธิบายลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างที่เกิดขึ้นจากดินทรายหลังกำแพงในสภาพแรงดันดินเชิงรุก (Active earth Pressure)

1.2 ให้ผู้เรียนอธิบายความแตกต่างของลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างและแรงดันที่เกิดขึ้นจากดินทรายหลังกำแพงเนื่องจากตัวแปร

1.2.1 ค่า Friction angle (ϕ) ของดินทราย

1.2.2 ค่าหน่วยน้ำหนักกดทับของดินทราย

2. **<u>ความจำเป็นในการเรียนรู้</u>**

กำแพงกันดินเป็นโครงสร้างที่ป้องกันการพังทลายของดิน โดยปกติจะสร้างในที่ซึ่งดินนั้นไม่สามารถทรงตัวอยู่บนความลาดเอียงได้ เนื่องจากสภาพลักษณะภูมิประเทศ เมื่อมีการถมดิน หรือตัดดินขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อตัดถนนติดแม่น้ำ จะต้องมีการสร้างกำแพงกันดินเพื่อป้องกันความพิบัติจากความลาดเอียงของดินด้วยความลึกของหลุมที่ขุดได้ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของดิน ถ้าชั้นเป็นดินทรายเม็ดทรายจะไม่มีแรงยึดเหนี่ยว ดังนั้นจึงมีแต่แรงดันให้ผนังพังลงมาจะไม่มีแรงต้านเลย

ดังนั้นเมื่อผู้เรียนได้ศึกษาใบงานนี้แล้วจะทราบว่าลักษณะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของกำแพงกันดินนอกจากได้มาจากทฤษฎีของ Rankine แล้วยังสามารถทดสอบได้จากการจำลองกำแพงกันดินที่มีขนาดเล็กที่ในกล่องสี่เหลี่ยมใสที่เราสามารถมองเห็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงหรือการพังทลายและสามารถบันทึกข้อมูลการเคลื่อนตัวที่สัมพันธ์กับแรงที่เราให้ไป ทั้งนี้เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจในการพังทลายของดินหลังกำแพง จากแรงดันดินเชิงรุก (Active earth pressure) และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ออกแบบกำแพงกันดินในกรณีดังกล่าว

3. **<u>ความรู้ที่ควรมีก่อนเรียน</u>**

เมื่อต้องตัดลาดดินในแนวดิ่งจำเป็นต้องใช้กำแพงกันดินหรือเข็มพืดสำหรับป้องกันการพังทลายของดิน ในการออกแบบโครงสร้างดังกล่าวนั้นต้องทราบค่าแรงดันด้านข้างของดิน ซึ่งแรงดันดินด้านข้างที่เกิดขึ้นจะมีค่าไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการดังนี้

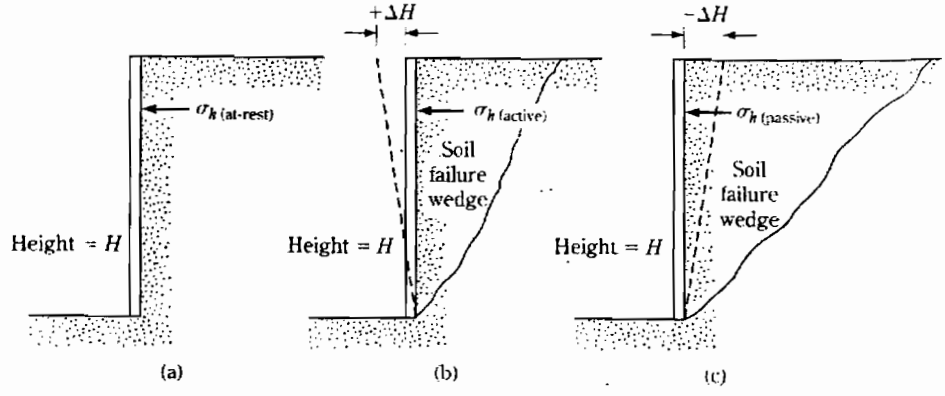
1) ชนิดของกำแพงกันดินและลักษณะการเคลื่อนตัว

2) ค่า Shear strength parameters ของดิน

3) ค่าหน่วยน้ำหนักของดิน

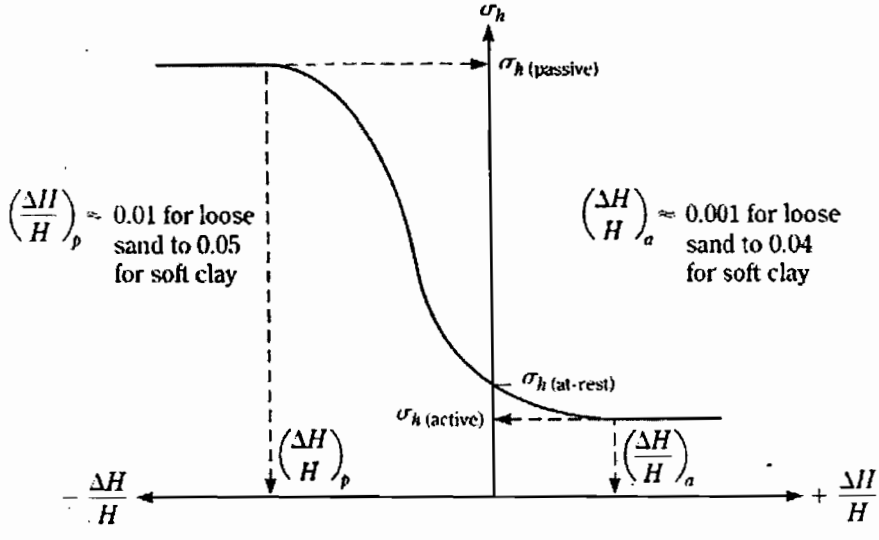
4) การระบายน้ำของดินหลังกำแพง

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของกำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge modeling of retaining wall in sand)	หน้า



ภาพที่ 1 แรงดันด้านข้างที่กระทำบนกำแพงกันดินที่สภาวะต่างๆ

ภาพที่ 1 แสดงให้เห็นกำแพงกันดิน ความสูง H ในภาพ 1(a) กำแพงกันดินไม่มีการเคลื่อนที่แรงดันด้านข้างของดินที่สภาวะนี้ เรียกว่าแรงดันดินในสภาวะสมดุล (At rest) จากภาพ 1(b) กำแพงมีการเคลื่อนที่เอียงออกจากดินหลังกำแพงเมื่อกำแพงเอียงออกห่างจากดินหลังกำแพงเพียงพอ จะทำให้ดินหลังกำแพงเกิดการวิบัติ แรงดันดินที่สภาวะนี้เรียกว่าแรงดันเชิงรุก(Active earth pressure)และในภาพที่ 1(c) เมื่อกำแพงถูกดันเคลื่อนเข้าหามวลดินหลังกำแพงเพียงพอ จะทำให้ดินหลังกำแพงเกิดการวิบัติ แรงดันดินที่สภาวะนี้เรียกว่าแรงดันเชิงรับ (Passive earth pressure)



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของแรงดันด้านข้างของดินที่ ΔH/H ต่างๆ

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของกำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge modeling of retaining wall in sand)	หน้า

แรงดันของดินธรรมชาติ (Bowles,1988) เมื่อกำแพงกันดินอยู่ในสภาวะสมดุล (State of Elastic Equilibrium) คือ ดินไม่มีการเคลื่อนที่ หน่วยแรงในแนวดิ่งที่ความลึกใด ๆ จะมีค่าเท่ากับความหนาแน่นของดิน คูณด้วย ความลึกของดินที่ตำแหน่งนั้น ส่วนหน่วยแรงในแนวราบมีความสัมพันธ์กับหน่วยแรงในแนวดิ่ง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ ซึ่งเรียกว่า สัมประสิทธิ์แรงดันทางด้านข้างเมื่อดินอยู่ในสภาวะสมดุล (Coefficient of Lateral Earth Pressure at Rest,K_o) ดังนั้น แรงที่กระทำต่อกำแพงกันดิน ณ ความลึก H และ ดินมีความหนาแน่น γ จะมีค่าเท่ากับ

$$\sigma_h = K_o \gamma H$$

แรงดันดินเชิงรับ ในกรณีที่กำแพงกันดินเคลื่อนที่เข้าหามวลดินทำให้มวลดินหดตัว จะเกิดแรงด้านข้างต้านทานการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน แรงกระทำของดินในลักษณะนี้ เรียกว่า แรงดันดินเชิงรับ(Passive lateral earth pressure) การเคลื่อนที่ของส่วนบนของกำแพงกันดินที่จะทำให้เกิดแรงต้านทานสูงสุดของมวลดินมีค่าโดยประมาณ ดังนี้ (Lambe, 1979)

ตารางที่ 1 ตารางแสดงปริมาณการเคลื่อนที่กับชนิดของดินกรณี แรงดันดินเชิงรับ(Passive lateral earth pressure)

ชนิดและสภาพของดิน	ปริมาณการเคลื่อนที่
ดินที่ไม่มีแรงยึดเหนี่ยวในสภาพแน่น	0.02 H
ดินที่ไม่มีแรงยึดเหนี่ยวในสภาพหลวม	0.15 H

แรงดันดินเชิงรุก (Tschebotarioff, 1951) ถ้ามีการเปลี่ยนแปลง ระดับของดินธรรมชาติ จะเป็นโดยการขุด หรือการถม จะทำให้ ดินพยายามเคลื่อนตัว ไปยังส่วนที่ต่ำกว่าการเปลี่ยนแปลงระดับของดินนี้ จะมีความสูงจำกัด H_{cr} (Critical Height) ที่ดินยังสามารถอยู่ในสภาพสมดุล เนื่องจาก มีแรงต้านทานอันเกิดจาก แรงยึดเหนี่ยว และ แรงเสียดทาน ซึ่งสามารถหาได้ว่า

$$H_{cr} = \frac{4c}{\gamma} \tan(45 + \frac{\phi}{2})$$

เมื่อเลยระดับของความสูงจำกัดนี้แล้ว ดินก็จะเกิดการวิบัติ จึงจำเป็นต้องสร้างกำแพงกันดินขึ้นเพื่อป้องกันการวิบัติของดินเมื่อสร้างกำแพงกันดินแล้วมวลดินจะส่งแรงกระทำด้านข้างต่อกำแพงกันดิน ทำให้ตัวกำแพงกันดินเคลื่อนที่ออกจากมวลดิน และ ดินจะเกิดการขยายตัวแรงกระทำในลักษณะนี้ เรียกว่าแรงดันดินเชิงรุก(Active lateral earth pressure) ของดิน

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของกำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge modeling of retaining wall in sand)	หน้า

การเคลื่อนที่ของส่วนบนของกำแพงกันดินจะต้องมากพอที่จะทำให้เกิดแรงกระทำของดินมีค่าโดยประมาณดังนี้ (Bowles, 1988)

ตารางที่ 2 ตารางแสดงปริมาณการเคลื่อนที่กับชนิดของดินกรณีแรงดันดินเชิงรุก(Active lateral earth pressure)

ชนิดและสภาพของดิน	ปริมาณการเคลื่อนที่
ดินที่ไม่มีแรงยึดเหนี่ยวในสภาพแน่น	0.001 H ถึง 0.002 H
ดินที่ไม่มีแรงยึดเหนี่ยวในสภาพหลวม	0.002 H ถึง 0.004 H
ดินที่มีแรงยึดเหนี่ยวในสภาพแข็ง	0.01 H ถึง 0.02 H
ดินที่มีแรงยึดเหนี่ยวในสภาพอ่อน	0.02 H ถึง 0.05 H

<u>แรงดันด้านข้างของ Rankine</u>

แรงคีน (Rankine)ในปี ค.ศ.1857 ได้ศึกษาแรงดันด้านข้างของทรายแห้งในสภาวะต่างๆ โดยใช้หลักการของวงกลม Mohr เข้ามาเกี่ยวข้อง กล่าวคือ ถ้าทำการพิจารณา ตัวอย่างทรายรูปทรงกระบอกชนิดหนึ่ง (ไม่มีความเหนียวหรือ Cohesion)ดังภาพที่ 3 และมีแรงกระทำในแนวดิ่ง (σ_1) จึงทำให้ตัวอย่างหดตัวในแนวดิ่งและพังทลายจนเกิดแรงผลักด้านข้าง (σ_3) ดังนั้นสภาวะเช่นนี้ถือว่าเป็น สภาวะแบบ Active และสามารถวาดวงกลมของ Mohr ได้ดังภาพที่ 3 โดยที่ทรายนี้มีมุมเสียดทานภายใน (Internal friction angle) เท่ากับ ϕ

จากมิติต่างๆ ของวงกลม สามารถได้ความสัมพันธ์ดังนี้

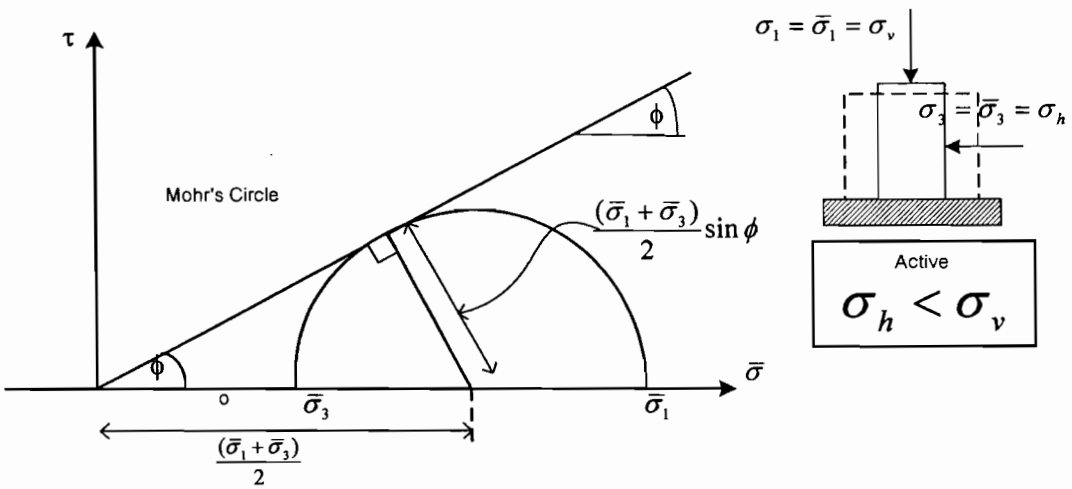
$$\frac{(\bar{\sigma}_1-\bar{\sigma}_3)}{2}=\frac{(\bar{\sigma}_1+\bar{\sigma}_3)}{2}\sin\phi$$

จากการจัดสมการใหม่จะได้ $\bar{\sigma}_3=\bar{\sigma}_1\cdot\tan^2(45-\frac{\phi}{2})=\bar{\sigma}_1\cdot\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}$

หรือ $\bar{\sigma}_3=\bar{\sigma}_1\cdot K_a$

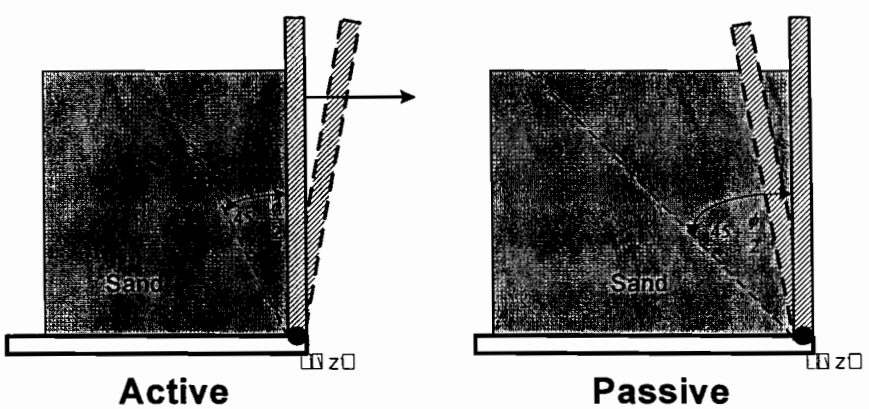
โดยที่ $K_a=\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}=\tan^2(45^\circ-\frac{\phi}{2})$

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของกำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge modeling of retaining wall in sand)	หน้า



ภาพที่ 3 แรงดันดินเชิงรุกของ Rankine

รูปแบบทั่วไปของแรงดันดินด้านข้างของ Rankine ให้คำตอบพื้นฐานเช่นเดียวกับทฤษฎีแรงดันดินด้านข้างของ Coulomb ซึ่งเป็นทฤษฎีที่ใช้หลักการของลิ่ม (Wedge) หลังกำแพง คำตอบของ Coulomb แสดงให้เห็นว่า ลิ่มดินหลังกำแพงมีการพังทลายดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ระนาบการพังทลายของทรายหลังกำแพง

4. <u>เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบพฤติกรรมของกำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย</u>

4.1 เครื่องทดสอบ Centrifuge modeling CTEd-1

4.2 Beam load cell ที่ใช้ในการอ่านค่าแรงกระทำด้านข้างที่เกิดขึ้น

4.3 กล่องใส่ตัวอย่างทรายในการทดสอบขนาด 20ซม.x24ซม.x6.5ซม.

4.4 คอมพิวเตอร์และกล้องสำหรับบันทึกภาพขณะทำการทดลอง

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของกำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge modeling of retaining wall in sand)	หน้า

4.5 แผ่นพลาสติกสำหรับวัดระยะและค่ามุม ของดินตัวอย่าง

4.6 ลูกสูบแรงดันลมสำหรับค้ำกำแพงและระบบความคุมลูกสูบ

4.7 ไม้บรรทัดวัดมุมและระยะ

4.8 กรวยโรยทราย

4.9 แผ่นพลาสติกสำหรับลดความฝืดของกำแพง

4.10 คลิปหนีบกำแพงสำหรับยึดกำแพงให้ได้ฉากและติดอยู่กับที่

5. <u>การเตรียมวัสดุและแบบจำลอง</u>

5.1 การเตรียมวัสดุดินทราย

ดินทรายที่ใช้ในแบบจำลองเป็นดินทรายแห้งที่ได้ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ค้างตะแกรงเบอร์ 50 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.65 โดยให้มีค่าความหนาแน่นหลวม ($D_r \approx 30\%$) อยู่ประมาณ 1.4 (g/cm^3) และ ค่าความหนาแน่นสูง ($D_r \approx 70\%$) อยู่ประมาณ 1.6 (g/cm^3)เพื่อให้เห็นความแตกต่างของพฤติกรรมดินทรายที่มีความหนาแน่นต่างกันหรือที่มีค่า Friction angle(ϕ)ของดินที่ต่างกัน

5.2 การเตรียมแบบจำลอง

แบบจำลองกำแพงสำหรับการศึกษาพฤติกรรมของกำแพงกันดินเป็นแผ่นอะคริลิกใสขนาด 20ซม.x3.8 ซม. หนา 0.7 ซม. ถูกติดตั้งในกล่องอะคริลิกใสขนาด 20ซม.x24ซม.x6.5ซม. โดยกำแพงจะถูกติดตั้งยึดให้อยู่กับที่ก่อนการโรยทราย และที่แบบจำลองจะมีการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับวัดค่าน้ำหนักกระทำ โดยใช้ลูกสูบลมในการค้ำกำแพงขณะเพิ่มแรงโน้มถ่วงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง

6. <u>การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบ</u>

วิธีการเตรียมตัวอย่างทรายลงในแบบจำลองจะมีวิธีที่แตกต่างกัน โดยที่กรณีต้องการให้ได้ค่าความหนาแน่นของทรายหลวม ($D_r \approx 30\%$)ให้ใช้วิธีการโรยดินทรายผ่านกรวยโดยให้ปลายกรวยยกสูงจากผิวทรายตัวอย่างประมาณ 15 ซม.และให้ทรายตกอย่างสม่ำเสมอ ส่วนกรณีที่ความหนาแน่นสูง($D_r \approx 70\%$)ใช้วิธีการเททรายลงในกล่องเตรียมตัวอย่างแล้วเขย่าจนเต็มพอดีตามปริมาตรที่กำหนดในแต่ละชั้น

6.1 ทำความสะอาดกล่องบรรจุทรายและชุดทดสอบให้เรียบร้อย

6.2 เตรียมตัวอย่างทราย แบ่งเป็น 2 ส่วน เท่ากัน โดยนำส่วนหนึ่งมาผสมสีแดงเพื่อแสดงเส้นแบ่งชั้นดิน

6.3 ประกอบกล่องบรรจุทรายกับกำแพงกันดินแล้วล็อกตำแหน่งของกำแพงให้ได้ฉากด้วยครีบและยึดฐานใต้กำแพงให้แน่นเพื่อป้องกันไม่ให้จุดหมุนมีการเคลื่อนไหวได้

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของกำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge modeling of retaining wall in sand)	หน้า

6.4 นำแผ่นพลาสติก ที่เตรียมไว้มาขั้นระหว่างชิ้นกำแพงกับผนังกล่องบรรจุทรายเพื่อป้องกันไม่ให้ทรายข้าไปในช่องว่าง

6.5 แผ่นพลาสติกสำหรับแบ่งชั้นในการโรยทรายที่ด้านข้างของกล่องบรรจุทราย นำกล่องทดสอบไปชั่งน้ำหนัก

6.6 เริ่มทำการโรยทรายโดยโรยสลับชั้นกันระหว่างทรายสีแดงและทรายสีธรรมชาติเพื่อให้จะเห็นภาพได้ชัดเจนในการทดสอบ

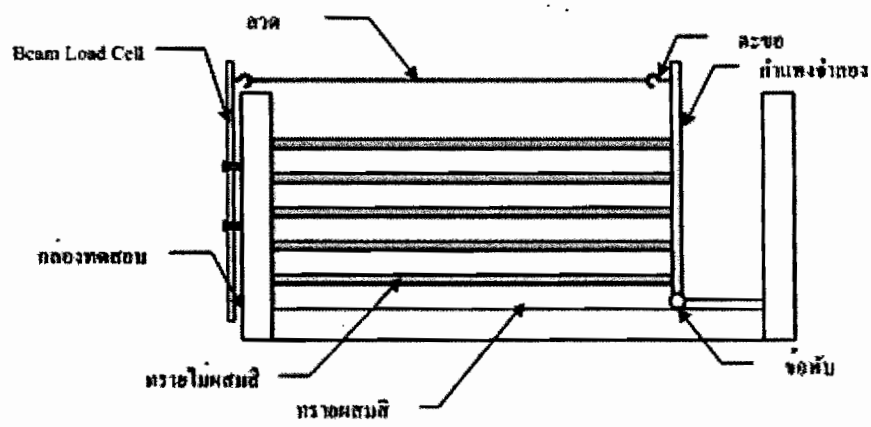
6.7 โดยโรยทรายที่ความสูงคงที่ 15 ซม. จากผิวทรายใช้กรวยเป็นภาชนะในการโรย และที่ปลายกรวยด้านข้างมีการติดเชือกเพื่อให้ได้ระดับความสูงที่สม่ำเสมอ โดยให้โรยทรายสีแดงหนาชั้นละ 2 มม. และโรยทรายธรรมชาติหนาประมาณ 1 ซม. สลับกัน

6.8 ปรับระดับของทรายให้สม่ำเสมอ ในการปรับระดับควรที่จะทำด้วยความประณีตเพราะถ้าหากมีการปรับระดับของหน้าทรายที่รุนแรงจะทำให้ทรายจำลองยุบและเกิดการแทนที่ของเม็ดทรายส่วนเกิน จะทำให้ค่าความหนาแน่นคลาดเคลื่อนไป

6.9 เมื่อโรยทรายได้ระดับความสูงถึงขีดที่กำหนดแล้ว นำกล่องทดสอบไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าความหนาแน่นสุดท้าย

6.10 นำเส้นลวดมาผูกที่ตะขอของ Beam Load Cell เพื่อดึงกำแพงไว้ขณะให้แรงโน้มถ่วงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง

หมายเหตุ : ความหนาแน่นสุดท้าย จากข้อ 9 สามารถนำไปเทียบหาค่ามุม Friction angle(ϕ) จาก ภาพที่ 7 ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการทดสอบ Direct shear test



ภาพที่ 5 ลักษณะตัวอย่างกล่องทดสอบหลังการโรยทราย

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของกำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge modeling of retaining wall in sand)	หน้า

ตารางที่ 3 ตารางบันทึกผลการเตรียมตัวอย่างกล่องทดสอบ

กรณีที่	นน.กล่องตัวอย่าง (g)	นน.กล่องตัวอย่าง+ทราย (g)	นน.ทราย (g)	ความสูงของทรายที่โรย (cm)	ปริมาตรทรายในกล่อง (cm^3)	ความหนาแน่นทราย (g/cm^3)
(Dr≈30%)						
(Dr≈70%)						

7. **ขั้นตอนการการทดสอบ**

7.1 นำกล่องทดสอบทรายประกอบเข้าที่แขนของเครื่อง Centrifuge โดยยึดกล่องทดสอบให้แน่น และทำการต่อสายสัญญาณจาก Beam load cell เข้ากับเครื่องวัดค่าแรง

7.2 เปิดโปรแกรมที่คอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการบันทึกค่าจาก Beam load cell และภาพจากการพังทลายของทราย

7.3 เปิดเครื่องวัดน้ำหนักแล้วจดค่าเริ่มต้น ผลต่างระหว่างค่าเริ่มต้นกับค่าที่อ่านได้ขณะหมุนจะเป็นน้ำหนักจริงที่ทรายกระทำกับกำแพงจำลอง

7.4 ถอดคลิปที่ยึดกำแพงออก ทำการหมุนเครื่อง Centrifuge โดยเพิ่มความเร็วขึ้นครั้งละ 50 รอบต่อนาที และจดบันทึกค่าจาก Beam load cell จนถึง 200 รอบต่อนาที ในช่วงการทดสอบนี้จะไม่สามารถเห็นภาพการพังทลายได้ เนื่องจากมีลวดดึงกำแพงอยู่

7.5 หยุดเครื่องทดสอบ นำคลิปมายึดกำแพงชั่วคราว ถอดลวดดึงกำแพงออก ติดตั้งลูกสูบลมขนาดเล็กเพื่อค้ำกำแพงเอาไว้ นำกล่องทดสอบใส่ตัวอย่างประกอบเข้าที่แขนของเครื่องอีกครั้งหนึ่ง ถอดคลิปยึดกำแพงออก เพื่อให้กำแพงเคลื่อนที่โดยอิสระ ต่อสายลมเข้าที่ลูกสูบแล้วเปิดแรงลมเข้าระบบ ประมาณ 100 kPa ซึ่งเพียงพอที่ลูกสูบจะค้ำกำแพงให้อยู่คงที่จนกว่าจะถึงความเร็ว 200 รอบต่อนาที

7.6 เพิ่มความเร็วจนถึง 200 รอบต่อนาที เริ่มโปรแกรมบันทึกภาพ ลดแรงดันลมลงทันที กำแพงจะเอียงและเห็นภาพการพังทลายของทรายหลังกำแพง

7.7 นำกล่องตัวอย่างออกจากเครื่องทดสอบ ทำการวัดมุมและถ่ายภาพของลิ่มที่พังทลายมากับกำแพง จดบันทึก

7.8 ทำการทดสอบอีกครั้งกับตัวอย่างทรายที่มีค่าความหนาแน่นที่ต่างกันเพื่อศึกษาพฤติกรรมการพังทลายและแรงที่กระทำต่อกำแพงกันดิน

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของกำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge modeling of retaining wall in sand)	หน้า

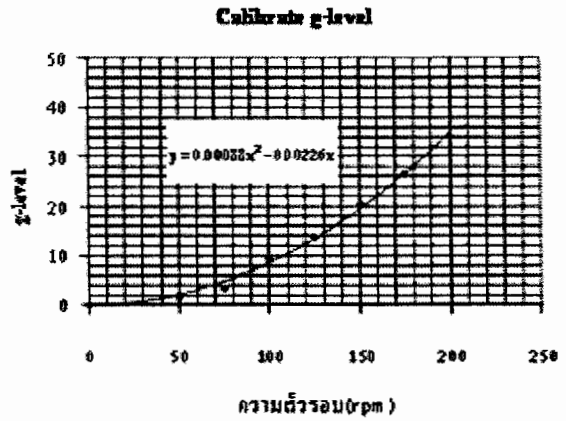
8. <u>การบันทึกผลการทดลอง</u>

ช่องที่ (1) ความเร็วรอบในการหมุน(rpm)เครื่อง centrifuge ด้วยความเร็วคงที่ ดังนี้ 50, 100, 150, 200

ช่องที่ (2) ค่าที่อ่านได้จาก Beam load cell ขณะทำการหมุนเครื่อง Centrifuge ที่ความเร็วรอบ คงที่

ช่องที่ (3) ระยะของช่วงที่อ่านได้จาก Beam load cell

ช่องที่ (4) ค่า g-level หาได้จากภาพที่ 6



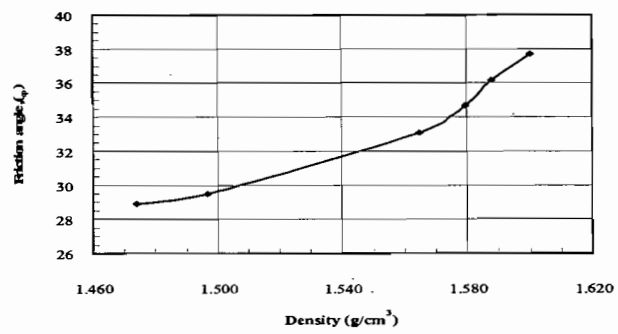
ภาพที่ 6 ค่าแรงโน้มถ่วงที่กระเช้า ณ ความเร็วรอบต่างๆ

ช่องที่(5)แรงกระทำที่ได้จาก Beam load cell หาได้จากการ นำค่า Calibration factor (K) ของ Beam Load Cell (ขอได้จากอาจารย์ผู้ควบคุม) โดยคำนวณจาก ช่องที่(3)คูณกับค่าคงที่นี้

ช่องที่(6)แรงที่กระทำกับกำแพงโดยการคำนวณตามทฤษฎี Rankine หาได้จาก ผลรวมของโมเมนต์รอบจุดหมุน A แรงดันของทรายที่กระทำกับแบบจำลองกำแพงจะมีลักษณะ ดังภาพที่ 8

ช่องที่(7)ค่าความผิดพลาดระหว่าง แรงดันที่วัดจริงกับที่ได้กับการคำนวณตามทฤษฎี Rankine หาได้จาก

$$Error(\%) = \frac{(6)-(5)}{(6)} \times 100$$



ภาพที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมเสียดทานภายในกับความหนาแน่น

อันพึงเกิดขึ้นจากส่วนใดส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดของวิทยานิพนธ์ในอนาคต โดยให้เป็นไปตามระเบียบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ว่าด้วยการบริหารผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญา พ.ศ. 2538

6. ในกรณีที่มีผลประโยชน์เกิดขึ้นจากวิทยานิพนธ์หรืองานทรัพย์สินทางปัญญาอื่นที่ข้าพเจ้าทำขึ้นโดยมีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีเป็นเจ้าของ ข้าพเจ้าจะมีสิทธิได้รับการจัดสรรผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญาดังกล่าวตามอัตราที่กำหนดไว้ในระเบียบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ว่าด้วยการบริหารผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญา พ.ศ. 2538

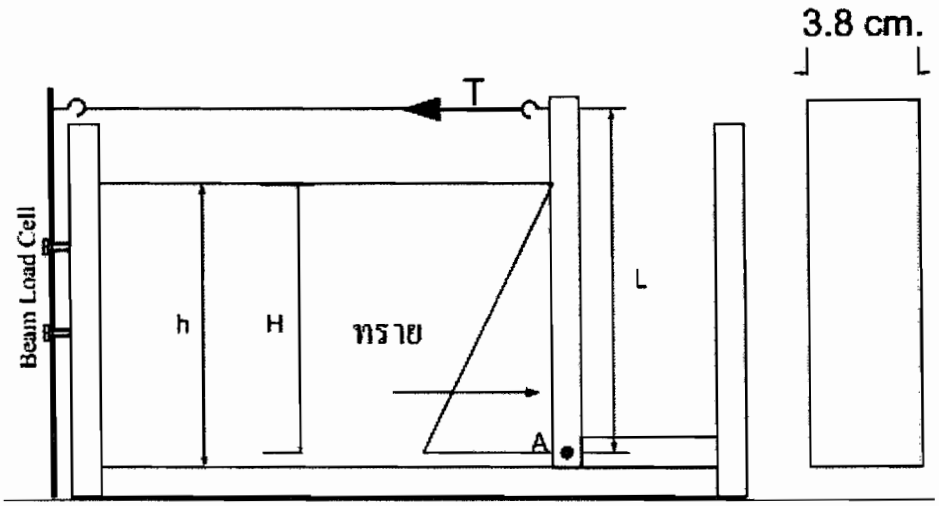
ลงชื่อ.....ผู้โอนลิขสิทธิ์
(นางสาวอินทร์ธิรา คำภีระ)

ลงชื่อ.....ผู้รับโอนลิขสิทธิ์
(รศ.ดร.ศักดิ์ กองสุวรรณ)

ลงชื่อ.....พยาน
(ผศ.ดร.กิติเดช สันติชัยอนันต์)

ลงชื่อ.....พยาน
(ผศ.ดร.สนิท วงษา)

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของกำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge modeling of retaining wall in sand)	หน้า



ภาพที่ 8 แสดงการหาค่า T_{Cal} จากแรงดันของทรายที่กระทำต่อแบบกำแพงจำลอง

<u>การคำนวณแรงที่กระทำกับกำแพงโดยการคำนวณตามทฤษฎี Rankine</u>

คำนวณโมเมนต์รอบจุดหมุน A = 0

$$\left(\frac{1}{2}\gamma\ \mathrm{H}^{2}K_{a}\mathrm{N}_{g}\times 3.8\times\frac{\mathrm{H}}{3}\right)-\left(\mathrm{T}_{cal}\times L\right)=0$$

$$\mathrm{T}_{cal}=\left(\frac{1}{2}\gamma\ \mathrm{H}^{2}K_{a}\mathrm{N}_{g}\times 3.8\times\frac{\mathrm{H}}{3}\right)\times\frac{1}{L}$$

เมื่อ γ = หน่วยน้ำหนักของทราย (g/cm^3)

H = ความสูงของทรายจากจุดหมุน (cm)

N_g = ระดับของแรงโน้มถ่วงในเครื่อง Centrifuge

L = ความยาวจากจุดหมุนถึงเส้นลวด (cm)

K_a = $K_a=\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}=\tan^2(45°-\frac{\phi}{2})$

ϕ = มุมเสียดทานภายในของทราย (หาได้จาก ภาพที่ 7)

ใบงาน Centrifuge modeling test
เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของกำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย
(Centrifuge modeling of retaining wall in sand)

หน้า

ตารางที่ 5 ตารางบันทึกผลการทดสอบ ($D_r \approx 30\%$)

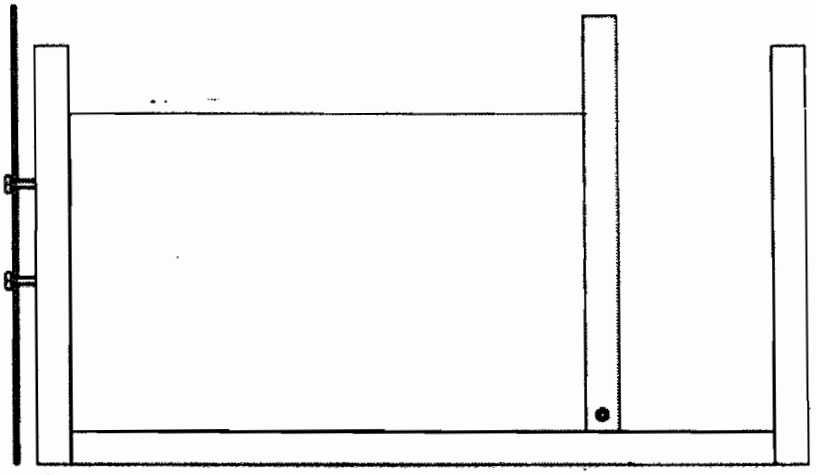
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
ความเร็วการหมุน (rpm)	ค่าที่อ่านได้จาก Beam load cell	ระยะห่างของช่วง Beam Load Cell	g-level	แรงกระทำที่จาก Beam Load Cell (T_{Mea})	แรงที่กระทำกับกำแพงโดยทฤษฎี (T_{Cal})	Error (%)
0						
50						
100						
150						
200						

ตารางที่ 6 ตารางบันทึกผลการทดสอบ ($D_r \approx 70\%$)

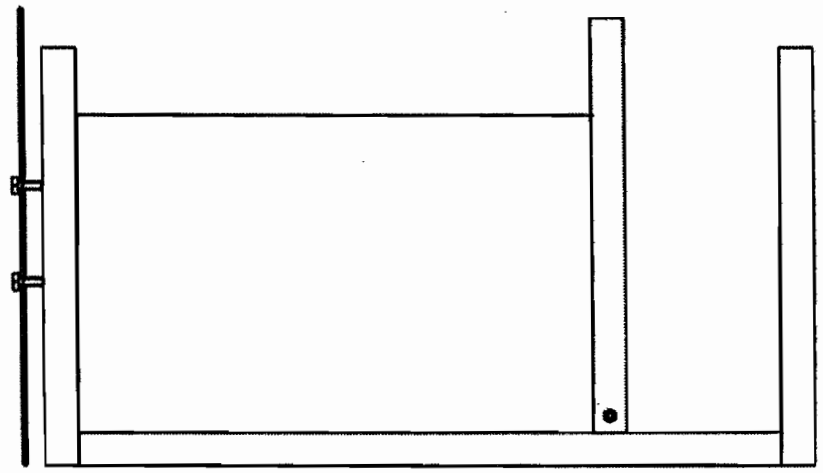
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
ความเร็วการหมุน (rpm)	ค่าที่อ่านได้จาก Beam load cell	ระยะห่างของช่วง Beam Load Cell	g-level	แรงกระทำที่จาก Beam Load Cell (T_{Mea})	แรงที่กระทำกับกำแพงโดยทฤษฎี (T_{Cal})	Error (%)
0						
50						
100						
150						
200						

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของกำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge modeling of retaining wall in sand)	หน้า

ลักษณะการพังทลายของกำแพงหลังการทดสอบ ($D_r \approx 30\%$)



ลักษณะการพังทลายของกำแพงหลังการทดสอบ ($D_r \approx 70\%$)



	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของกำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge modeling of retaining wall in sand)	หน้า

9. **สรุปผลการทดลอง**

9.1 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของดินทรายหลัง[illegible]งที่มีค่าความหนาแน่นของทรายต่างกัน

Case	ρ (g/cm^3)	ϕ (°)	สปส.แร[illegible]น (K_a)	มุมการพังทลายจากการทฤษฎี (°)	มุมการพังทลายจากการทดลอง (°)	Error (%)
($D_r \approx 30\%$)						
($D_r \approx 70\%$)						

9.2 การเปรียบเทียบค่าผิดพลาดจากการทดสอบทรายในแบบจำลอง Centrifuge modeling test กับทฤษฎี Rankine

Case	ความเร็วรอบ (rpm)	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดน้ำหนัก	จำนวนเท่าของแรงโน้มถ่วง	T_{Mea} (g)	T_{Cal} (g)	Error (%)
($D_r \approx 30\%$)						
($D_r \approx 70\%$)						

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของกำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge modeling of retaining wall in sand)	หน้า

10.**คำถามท้ายการทดลอง**

1. ลักษณะการเคลื่อนตัวของกำแพงที่ได้จากการทดสอบมีผลจากตัวแปรใดบ้าง

.....

.....

.....

2. การทดสอบกำแพงกันดินทรายที่ความหนาแน่นต่างกัน มีลักษณะการเคลื่อนตัวของกำแพงและการกำแพงมีรับน้ำหนักที่ต่างกันอย่างไร

.....

.....

.....

3. ท่านคิดว่าการทดสอบนี้ถ้าหากมีความสูงของทรายมากขึ้น แบบจำลองจะต้องรับแรงมากขึ้นหรือไม่ เพราะเหตุใด

.....

.....

.....

4. จากการทดลองจะพบว่า การหมุนเหวี่ยงที่ทำให้มีค่าแรงโน้มถ่วงเพิ่มขึ้นเป็นตัวแปรสำคัญในการทดลอง จงอธิบายความสำคัญของตัวแปรดังกล่าว

.....

.....

.....

5. ท่านคิดว่า T_{Mea} และ T_{Cal} มีค่าแตกต่างกัน น่าจะมาจากสาเหตุใด

.....

.....

.....

6. การศึกษาลักษณะการเคลื่อนตัวของแบบจำลองกำแพงกันดินด้วยเทคนิค Centrifuge modeling ท่านคิดว่ามีลักษณะใกล้เคียงกับธรรมชาติ (ของจริง) มากหรือน้อย อย่างไร

.....

.....

.....

.....

	ใบงาน Centrifuge modeling test **เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของกำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย** (Centrifuge modeling of retaining wall in sand)	**หน้า**

11.**<u>รายงานการทดลอง</u>**

การทดลองเรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของกำแพงกันดินที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย

เป็นการทดลองเพื่อศึกษา.....

ด้วยหลักการที่เกี่ยวข้องกับเรื่องนี้คือ .....

.....

เนื่องจากมีความสำคัญในเรื่องของ.....

.....

จากผลการทดลองพบว่า.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ข้อสังเกตในการทดลองมีอยู่.....ประการคือ

.....

.....

.....

.....

.....

ผลลัพธ์ที่ได้จากการดำเนินการทดลอง ผู้ทดลองได้รับประสบการณ์ในเรื่องต่อไปนี้

ความรู้และทักษะที่ได้รับ คือ.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge modeling of short pile in sand under lateral load)	หน้า

1. **วัตถุประสงค์ของการทดลอง**

1.1 ให้ผู้เรียนอธิบายความสามารถในการรับแรงทางด้านข้างสูงสุดของเสาเข็มสั้นที่เกิดขึ้นในดินทรายได้ (Ultimate Lateral Load)

1.2 ให้ผู้เรียนอธิบายความแตกต่างของลักษณะและระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างของเสาเข็มที่เกิดขึ้นในดินทราย ในลักษณะ free head จากตัวแปร

1.2.1 ค่า Friction angle (ϕ) ของดิน

1.2.2 ขนาดหน้าตัดของเสาเข็ม

1.2.3 มิติที่สอดคล้องกันของแบบจำลองที่มีขนาดต่างกัน (Similitude)

2. **ความจำเป็นในการเรียนรู้**

เสาเข็มถือว่าเป็นฐานรากชนิดหนึ่งที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย สิ่งปลูกสร้างปัจจุบันนิยมใช้ฐานรากชนิดมีเสาเข็มเพิ่มมากขึ้น อันเนื่องมาจากเมื่อสภาพดินชั้นบนเป็นดินที่มีการยุบตัวสูงมีความแข็งแรงน้อยไม่สามารถรับน้ำหนักจากโครงสร้างได้ จึงต้องใช้เสาเข็มส่งถ่ายแรงจากโครงสร้างลงไปสู่ชั้นหินหรือชั้นดินแข็งที่อยู่ลึกลงไปด้านล่าง แต่เมื่อโครงสร้างต้องรับแรงในแนวราบเสาเข็มจะรับแรงในแนวราบโดยใช้แรงดัดในเสาเข็ม ซึ่งตามสภาพความเป็นจริงน้ำหนักหรือแรงที่กระทำต่อเสาเข็มนั้นอาจจะไม่มีแต่แรงในแนวดิ่งเพียงเท่านั้น แต่ยังมีแรงกระทำทางด้านข้างด้วยซึ่งในโครงสร้างบางประเภทจะมีแรงชนิดนี้อยู่ โครงสร้างที่รับแรงประเภทนี้ได้แก่ โครงสร้างของอาคารสูงที่ต้องรับแรงลม และโครงสร้างของกำแพงกันดิน โครงสร้างค้ำยันสะพาน โครงสร้างตามชายฝั่งทะเล เป็นต้น ดังนั้นในการวิเคราะห์เพื่อออกแบบเสาเข็มจึงต้องคำนึงถึงแรงกระทำทางด้านข้างนี้ด้วย

ดังนั้นในการเรียนใบงานนี้จะทำให้ผู้เรียนเห็นพฤติกรรมของการรับแรงกระทำด้านข้างของเสาเข็มสั้นกับระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างในดินทราย ซึ่งเสาเข็มจะอยู่ในลักษณะ free head โดยศึกษาทั้งเสาเข็มหน้าตัดวงกลมและสี่เหลี่ยมจัตุรัสและค่าตัวแปรต่างๆ ซึ่งผู้เรียนจะได้เห็นลักษณะการเกิดเหตุการณ์จริงจากแบบจำลองสามารถมีมิติเทียบเท่ากับต้นแบบจริงได้อย่างน่าสนใจโดยมีเป้าหมายเพื่อให้เสาเข็มเกิดการเคลื่อนที่สูงสุด ซึ่งจะสังเกตเห็นการเคลื่อนที่ของปลายด้านบนของเสาเข็ม ที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ

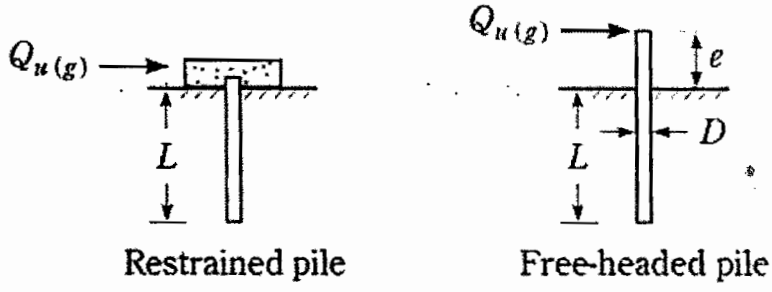
3. **ความรู้ที่ควรมีก่อนเรียน**

โดยทั่วไปลักษณะของเสาเข็มสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ เสาเข็มสั้น และ เสาเข็มยาว เมื่อเสาเข็มรับแรงกระทำด้านข้างเสาเข็มจะมีการเคลื่อนที่ ซึ่งโมเมนต์และแรงเฉือนจะเปลี่ยนแปลงไปตามความยาวของเสาเข็ม

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge modeling of short pile in sand under lateral load)	หน้า

ในการวิเคราะห์เสาเข็มที่มีการรับแรงกระทำทางด้านข้างเพื่อนำไปออกแบบเสาเข็มที่ใช้กับงานธรณีวิศวกรรม เช่น ท่าเทียบเรือ สะพาน เป็นต้น ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์ทั้งน้ำหนักบรรทุกประลัย และระยะแอ่นตัวด้านข้างมีอยู่หลายทฤษฎีด้วยกัน ในแต่ละทฤษฎีมีสมมติฐานและความเหมาะสมในการนำไปใช้งานแตกต่างกันออกไป สำหรับในการศึกษาครั้งนี้ได้พิจารณาเอาทฤษฎีของ Broms และ Zhang et al. มาใช้ในการวิเคราะห์ เพราะว่าเป็นที่รู้กันโดยทั่วไปและมีวิธีการวิเคราะห์ที่ง่าย โดยเฉพาะทฤษฎีของ Broms ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

ในปี 1964 Broms ได้เสนองานวิจัยที่สำคัญในการวิเคราะห์พฤติกรรมของเสาเข็มรับแรงด้านข้าง Broms Method โดยงานวิจัยของ Broms ได้เสนอแนะสมการสำหรับการคาดคะเนการเคลื่อนที่ด้านข้าง โมเมนต์สูงสุด และความต้านทานด้านข้างประลัย ทั้งเสาเข็มอิสระ (Free head pile)ทั้งเสาเข็มสั้นและเสาเข็มยาว และเสาเข็มหัวยึดรั้ง (Restrained pile) ทั้งเสาเข็มสั้น เสาเข็มยาวปานกลาง และเสาเข็มยาว โดยพิจารณา ทั้งในกรณีเสาเข็มฝังในทราย และเสาเข็มฝังในดินเหนียว แต่เนื่องจากการทดลองนี้ ได้ศึกษาเกี่ยวกับ เสาเข็มสั้นที่ฝังในดินทราย ดังนั้น จึงพิจารณาเฉพาะพฤติกรรมของเสาเข็มที่ฝังในทรายโดยมีหัวข้อของเสาเข็มเป็นแบบ เสาหัวอิสระโดยจะไม่มีการยึดรั้งที่หัวเสาเข็ม

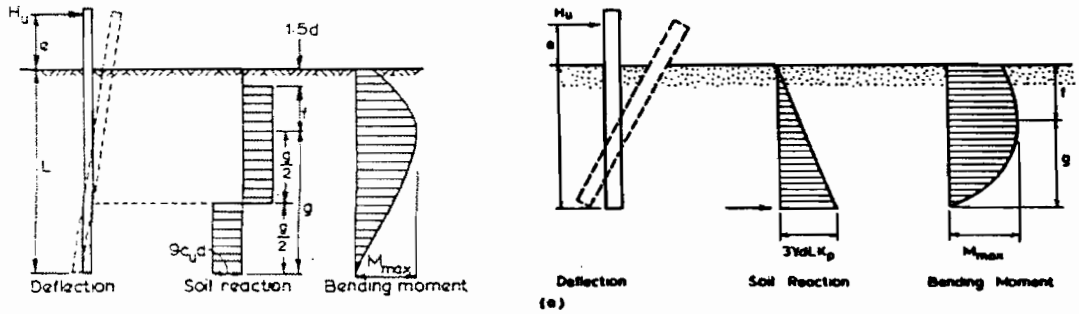


ภาพที่ 1 แสดงแรงกระทำด้านข้างของเสาเข็มสั้นทั้ง 2 แบบ

ความต้านทานด้านข้างประลัย และระยะแอ่นตัวภายใต้น้ำหนักใช้งานเสาเข็มเดี่ยว และเสาเข็มกลุ่ม ขึ้นอยู่กับขนาด กำลังต้านทาน และการอ่อนตัวของเสาเข็ม รวมทั้งลักษณะการยุบตัวของดินรอบๆ เสาเข็ม วิธีการพิจารณาความต้านทานด้านข้างประลัยจะถูกควบคุมด้วยระยะจมลึกของเสาเข็ม หากเสาเข็มฝังลงในดินไม่ลึกความต้านทานด้านข้างประลัยจะถูกควบคุมด้วยความต้านทานด้านข้างของดินรอบๆเสาเข็ม แต่ถ้าเสาเข็มฝังลงในดินลึกความต้านทานด้านข้างประลัยจะถูกควบคุมด้วยกำลังประลัย หรือกำลังคลากของหน้าตัดเสาเข็ม โดยที่การพังทลายของเสาเข็มรับแรงด้านข้างเกิดขึ้นกับแรงด้านข้างที่มากระทำกับเสาเข็มที่มีค่ามากกว่าที่ออกแบบไว้ซึ่งอาจเกิดจากการประเมินกำลังของดินและวัสดุเสาเข็มที่มีมากกว่าความเป็นจริง และวิธีที่ใช้ในการออกแบบให้ค่าความต้านทานด้านข้างประลัยมากเกินไป

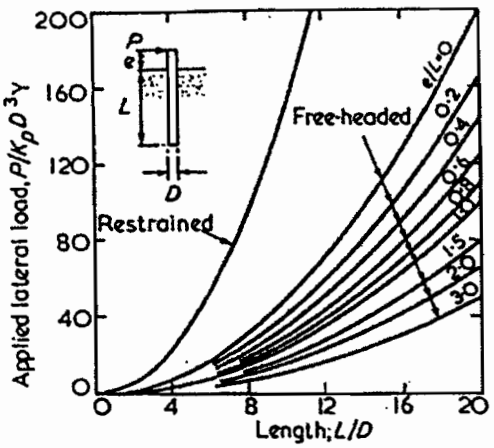
	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge modeling of short pile in sand under lateral load)	หน้า

ในการพิจารณาความด้านทานด้านข้างประลัยของเสาเข็ม จากลักษณะการเคลื่อนตัวของดินขณะพังทลายในช่วงผิวดินถึงความลึก 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม ดินจะเคลื่อนตัวปูดขึ้นที่ผิวดินด้านหน้าของเสาเข็ม ขณะที่ดินช่วงต่ำจาก 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม จะเคลื่อนตัวไปหลังเสาเข็ม ซึ่งเสาเข็มสั้นจะพังเนื่องจากแรงดันดินด้านข้าง โดยดินรอบๆ เข็มไม่สามารถต้านแรงได้ ส่วนเสาเข็มยาวจะพังเนื่องจากตัวเข็มเองไม่สามารถรับโมเมนต์ได้โดยที่ดินโดยรอบมีส่วนเกี่ยวข้องด้วยน้อยมาก



ภาพที่ 2 เสาเข็มที่รับแรงกระทำด้านข้าง (a) เสาเข็มยาว (b) เสาเข็มสั้น

วิธีการคำนวณประเมินแรงดันด้านข้างสูงสุดของเสาเข็มสั้น(Ultimate lateral load ,Q_u) โดยคำนวณจากการรวมหน่วยแรงต้านจากดิน(p_u) ที่ระดับต่างๆเข้าด้วยกันโดยสมมุติฐานของลักษณะการกระจายp_u ตามความลึกมีลักษณะแตกต่างกัน Broms ได้พัฒนาการคาดคะเนแรงต้านทานสูงสุดให้ง่ายต่อการเข้าใจ โดยวิธีการอ่านค่าจากกราฟความสัมพันธ์ของแรงต้านทานสูงสุดกับอัตราส่วน L/D



ภาพที่ 3 แสดงแรงกระทำด้านข้างสูงสุด(Q_u)สำหรับเสาเข็มสั้นในดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น (L/D < 20)

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge modeling of short pile in sand under lateral load)	หน้า

วิธีการคำนวณของ Broms สามารถคาดคะเนแรงต้านทานสูงสุดให้ง่ายขึ้นบนสมมุติฐานของการพังทลายของแรงเฉือนในดินทราย ซึ่งเป็นของเสาเข็มสั้น ได้ดังนี้

$$Q_u = \frac{\gamma D L^3 K_p}{2(e+L)} \qquad \text{(1)}$$

เมื่อ Q_u = ความสามารถในการต้านทานแรงกระทำด้านข้างสูงสุด

γ = ความหนาแน่นของทราย

D = ความกว้างของเสาเข็มหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม

L = ระยะฝังของเสาเข็ม

e = ระยะเยื้องศูนย์

ϕ = Internal Friction Angle

K_p = Coefficient of Passive Earth Pressure $= \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$

ในปี 2005 Zhang,Silva and Grismala ได้เสนอวิธีการวิเคราะห์พฤติกรรมของเสาเข็มรับแรงด้านข้างสูงสุด (Q_u) ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของการปรับปรุงหลักการของ Prasad & Chari และของ Briaud & Smith นั่นคือการแบ่งหน่วยแรงต้านทานเสาเข็มจากดินเป็น 2 ส่วน โดยการแบ่งเป็นหน่วยแรงปฏิกิริยาด้านข้างและด้านหน้าเสาเข็ม ซึ่งสมการที่ใช้ในการประเมินค่า Q_u มีดังนี้

$$Q_u = 0.3\left(\eta K_p^2 + \xi K \tan\delta\right)\gamma a D(2.7a - 1.7L) \qquad \text{(2)}$$

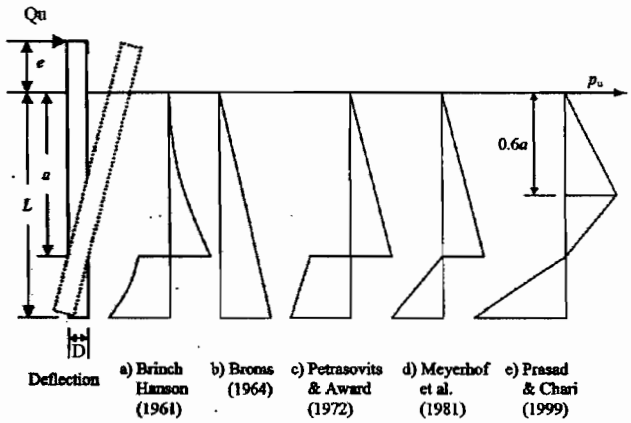
เมื่อ η และ ξ = Shape factor ของการกระจายแรงดันดินที่ไม่สม่ำเสมอด้านหน้าของเสาเข็ม (ตารางที่ 1)

K = Lateral earth pressure coefficient (ตารางที่ 2)

δ = Interface friction angle ระหว่างเสาเข็มกับดิน (ตารางที่ 3)

$$a = \left[\frac{-(0.567L + 2.7e) + \left(5.307L^2 + 7.29e^2 + 10.541eL\right)^{0.5}}{2.1996}\right]$$

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge modeling of short pile in sand under lateral load)	หน้า



ภาพที่ 4 สมมุติฐานของการกระจาย p_u จากดินภายใต้แรงกระทำด้านข้างที่ปลายเสาเข็มของนักวิจัยในอดีต

ตารางที่ 1 แสดงค่า η และ ξ (Briaud & Smith)

Pile shape	η	ξ
Circular	0.8	1.0
Square	1.0	2.0

ตารางที่ 2 แสดงค่า K (Kulhaway)

Pile type and method of construction	K
Pile jetted	(0.5-0.7) K_o
Pile small displacement, driven	(0.7-1.2) K_o
Pile large displacement, driven	(1.0-2.0) K_o
Drilled shaft build using dry method with minimal sidewall disturbance and prompt concreting	(0.9-1.0) K_o
Drilled shaft slurry construction with good workmanship	(0.9-1.0) K_o
Drilled shaft slurry construction with poor workmanship	(0.6-0.7) K_o
Drilled shaft casing method below water table	(0.7-0.9) K_o
Note :K_o=coefficient of lateral earth pressure at rest	

ตารางที่ 3 แสดงค่า δ (Kulhaway)

Pile type	δ
Rough concrete	(1.0) ϕ
Smooth concrete (precast pile)	(0.8-1.0) ϕ
Rough steel(step-taper pile)	(0.7-0.9) ϕ
Smooth steel (pipe pile or H pile)	(0.5-0.7) ϕ
Wood (timber pile)	(0.8-0.9) ϕ
Drilled shaft built using dry method	(1.0) ϕ
Drilled shaft built using slurry method	(0.8-1.0) ϕ

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge modeling of short pile in sand under lateral load)	หน้า

4. <u>เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบพฤติกรรมของเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย</u>

4.1 เครื่องทดสอบ Geotechnical Centrifuge (CTEd-1)

4.2 เสาเข็มจำลองทำจากทองเหลืองที่มีหน้าตัดรูปทรงเรขาคณิต 2 ชนิดคือ

4.2.1 หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1×1 ซม.

4.2.2 หน้าตัดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.63 และ 0.97 ซม.

4.3 กล่องใส่ตัวอย่างทรายในการทดสอบขนาด 22×15×7 ซม.

4.4 Load cell และ Displacement transducer ที่ใช้ในการอ่านค่าแรงกระทำและระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างที่เกิดขึ้นที่ปลายเสาเข็ม

4.5 คอมพิวเตอร์และกล้องสำหรับบันทึกภาพขณะทำการทดลอง

4.6 ลูกสูบแรงดันลมสำหรับดันเสาเข็มและระบบความคุมลูกสูบ

4.7 อุปกรณ์วัดมุมและระยะการเคลื่อนที่ของเสาเข็ม

4.8 กรวยโรยทราย

4.9 ขาหนีบสำหรับยึดเสาเข็มขณะโรยทราย

5. <u>การเตรียมวัสดุและแบบจำลอง</u>

5.1 การเตรียมวัสดุดินทราย

ดินทรายที่ใช้ในแบบจำลองเป็นดินทรายแห้งที่ได้ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ค้างตะแกรงเบอร์ 50 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.71 โดยให้มีค่าความหนาแน่นหลวมอยู่ประมาณ 1.5 (g/cm^3) และ ค่าความหนาแน่นสูงอยู่ประมาณ 1.6 (g/cm^3)เพื่อให้เห็นความแตกต่างของพฤติกรรมทรายที่มีความหนาแน่นต่างกันหรือที่มีค่า Friction angle(Ø)ของทรายที่ต่างกัน

5.2 การเตรียมแบบจำลอง

แบบจำลองเสาเข็มสั้นรับแรงกระทำด้านข้างเป็นกล่องอะคริลิกใสขนาด 22×15×7 ซม. หนา 0.7 ซม. และเสาเข็มจำลองมีลักษณะเป็นเสาเข็มสั้นทำด้วยทองเหลืองทั้งหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสและหน้าตัดวงกลม โดยมีค่า L/D = 10 และระยะในการฝังเข็มในช่วงเหนือผิวดินต่อ ความยาวเสาเข็ม e/L = 1:5 ซึ่งเสาเข็มจะถูกติดตั้งเยื้องมาด้านใดด้านหนึ่งของกล่องและยึดให้อยู่กับที่ก่อนการโรยทราย หลังจากนั้น จะติดตั้งอุปกรณ์สำหรับวัดค่าน้ำหนักกระทำ (Load cell)อุปกรณ์วัดระยะการเคลื่อนที่ของเสาเข็ม (Displacement transducer)และ ลูกสูบแรงดันลมสำหรับดันเสาเข็ม

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge modeling of short pile in sand under lateral load)	หน้า

6. <u>การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบ</u>

วิธีการเตรียมตัวอย่างทรายลงในแบบจำลองจะมีวิธีที่แตกต่างกัน โดยที่กรณีต้องการให้ได้ค่าความหนาแน่นของทรายหลวมประมาณ 1.5 g/cm^3 ให้ใช้วิธีการโรยดินทรายผ่านกรวยโดยให้ปลายกรวยยกสูงจากผิวทรายตัวอย่างประมาณ 15 ซม.และให้ทรายตกอย่างสม่ำเสมอ ส่วนกรณีที่ความหนาแน่นสูงประมาณ 1.6 g/cm^3 ให้ใช้วิธีการเททรายลงในกล่องเตรียมตัวอย่างแล้วเขย่าจนเต็มพอดีตามปริมาตรที่กำหนดในแต่ละช่วง

6.1 ทำความสะอาดกล่องบรรจุทรายและชุดทดสอบให้เรียบร้อย

6.2 นำตัวอย่างทรายที่เตรียมไว้มาโรยลงในกล่องทดสอบก่อน จนถึงระดับที่ต้องการวางปลายเสาเข็ม ซึ่งระยะในการฝังเสาเข็มในช่วง e/L = 1:5 จะได้ระยะในการฝังเสาเข็มในระดับสเกลย่อส่วนของเสาเข็มทั้งสองขนาด ที่ L/D = 10 ดังนี้

6.2.1 เสาเข็มหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1×1 cm. ; L = 10 cm. ; e = 2 cm.

6.2.2 เสาเข็มหน้าตัดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.63cm. ; L = 6.3 cm. ; e = 1.26 cm.

6.2.3 เสาเข็มหน้าตัดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.97 cm. ; L = 9.7 cm. ; e = 1.94 cm.

6.3 เมื่อโรยทรายได้ระดับการฝังเสาเข็มแล้ว ประกอบชุดเสาเข็มเข้ากับกล่องทดสอบโดยติดตั้งเสาเข็มเยื้องมาด้านขวาของกล่องและยึดให้อยู่กับที่ด้วยขาหนีบเพื่อล็อกตำแหน่งของเสาเข็มให้ได้จากและได้ระยะการฝังตามที่กำหนดไว้

6.4 โรยทรายที่เหลือต่อไปจนถึงระดับความสูงที่กำหนดไว้ โดยรักษาความสูงในการโรยให้คงที่เพื่อไม่ให้ค่าความหนาแน่นคลาดเคลื่อนได้

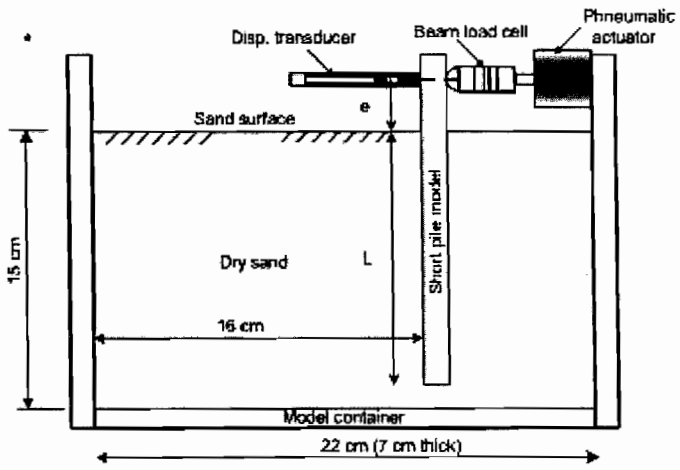
6.5 เมื่อโรยทรายได้ระดับความสูงถึงขีดที่กำหนด แล้วปรับระดับของทรายให้สม่ำเสมอ ในการปรับระดับควรที่จะทำด้วยความประณีตเพราะถ้าหากมีการปรับระดับของหน้าทรายที่รุนแรงจะทำให้ทรายยุบและเกิดการแทนที่ของเม็ดทรายส่วนเกิน จะทำให้ค่าความหนาแน่นคลาดเคลื่อนไป

6.6 นำกล่องทดสอบไปชั่งน้ำหนักแล้วหักปริมาตรและน้ำหนักของเสาเข็มออกก่อนในการหาค่าความหนาแน่นสุดท้าย

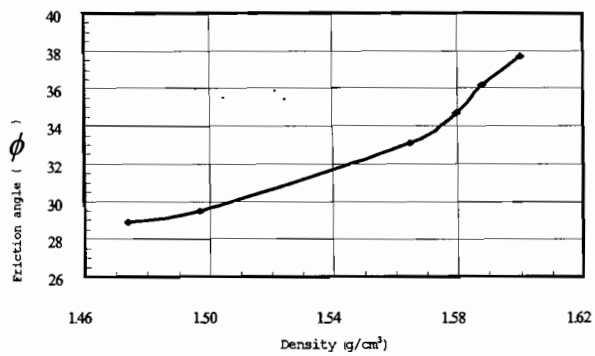
6.7 ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับวัดค่าน้ำหนักกระทำ (Load cell) อุปกรณ์วัดค่าระยะการเคลื่อนที่ของเสาเข็ม (Displacement transducer)และ ลูกสูบแรงดันลมสำหรับดันเสาเข็ม

หมายเหตุ : ความหนาแน่นสุดท้าย จากข้อ 6.6 สามารถนำไปเทียบหาค่ามุม Friction angle(Ø) จากภาพที่ 6 ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการทดสอบ Direct shear test

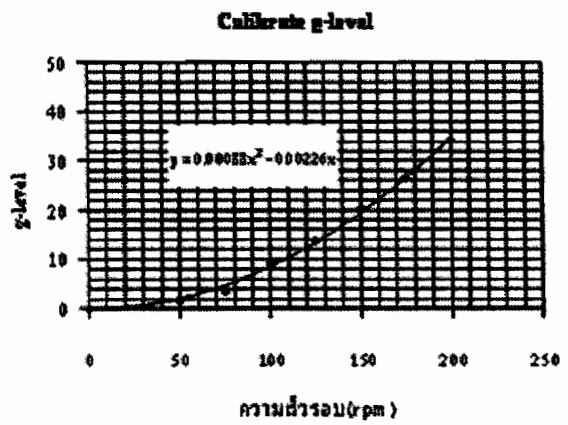
	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge modeling of short pile in sand under lateral load)	หน้า



ภาพที่ 5 ลักษณะของแบบจำลองเสาเข็มสั้นรับแรงด้านข้าง



ภาพที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมเสียดทานภายในกับความหนาแน่น



ภาพที่ 7 ค่าแรงโน้มถ่วงที่กระเช้า ณ ความเร็วรอบต่างๆ

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge modeling of short pile in sand under lateral load)	หน้า

ตารางที่ 5 ตารางบันทึกผลการเตรียมตัวอย่างกล่องทดสอบสำหรับการทดสอบ *เสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส*

กรณีทดสอบ (35 g)	1.0×1.0 cm. (ทรายหลวม)	1.0×1.0 cm. (ทรายแน่น)
นน.กล่องตัวอย่าง (g)		
นน.กล่องตัวอย่าง+ทราย (g)		
นน.ทราย (g)		
ขนาดกล่องตัวอย่าง (cm^2)		
ความสูงของทรายที่โรย(cm)		
ปริมาตรทรายในกล่อง (cm^3)		
น้ำหนักของเสาเข็ม (g)		
ความลึกในการฝังเสาเข็ม (cm)		
ปริมาตรของเสาเข็ม (cm^3)		
ความหนาแน่นทราย(g/cm^3)		
ค่า Friction angle(ϕ)		

ตารางที่ 6 ตารางบันทึกผลการเตรียมตัวอย่างกล่องทดสอบสำหรับการทดสอบ *เสาหน้าตัดวงกลม* (ทรายหลวม)

กรณีทดสอบ	0.63 cm. (35 g)	0.97 cm. (54 g)
นน.กล่องตัวอย่าง (g)		
นน.กล่องตัวอย่าง+ทราย (g)		
นน.ทราย (g)		
ขนาดกล่องตัวอย่าง (cm^2)		
ความสูงของทรายที่โรย(cm)		
ปริมาตรทรายในกล่อง (cm^3)		
น้ำหนักของเสาเข็ม (g)		
ความลึกในการฝังเสาเข็ม (cm)		
ปริมาตรของเสาเข็ม (cm^3)		
ความหนาแน่นทราย(g/cm^3)		
ค่า Friction angle(ϕ)		

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge modeling of short pile in sand under lateral load)	หน้า

7. <u>ขั้นตอนการการทดสอบ</u>

วิธีการทดสอบจะแบ่งเป็น 2 ชุดการทดสอบ ชุดแรกจะเป็นการทดสอบเพื่อหาลักษณะเส้นโค้งของแรงกระทำทางด้านข้าง โดยใช้เสาเข็มหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1×1 cm.อัตราส่วน L/D และ e/L คงที่และมีระดับ g-level ที่ 35 g จะทำการทดสอบ 2 ครั้งเปรียบเทียบกันระหว่างกรณีที่เสาเข็มฝังอยู่ในทรายหลวมและทรายแน่น ส่วนชุดที่สอง ทดสอบเพื่อตรวจสอบมิติที่สอดคล้องกันของแบบจำลองโดยจะใช้เสาเข็มหน้าตัดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.63 cm.และ 0.97 cm. มีอัตราส่วน L/D และ e/L คงที่และ ระดับ g-level ที่ 54 g กับ 35 g ตามลำดับ ขั้นตอนการทดสอบมีดังนี้

7.1 นำกล่องทดสอบทรายประกอบเข้าที่แขนของเครื่อง Centrifuge โดยยึดกล่องทดสอบให้แน่น และ ทำการต่อสายสัญญาณวัดค่าน้ำหนักจาก Load cell และ Displacement transducer สำหรับวัดระยะการเคลื่อนตัวของเสาเข็มเข้ากับเครื่อง

7.2 เปิดโปรแกรมที่คอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการบันทึกค่าจาก Load cell และ Displacement transducer รวมทั้งภาพการเคลื่อนที่ของเสาเข็ม

7.3 เปิดเครื่องวัดน้ำหนักแล้วจดค่าเริ่มต้น ผลต่างระหว่างค่าเริ่มต้นกับค่าที่อ่านได้ขณะหมุนจะเป็นน้ำหนักจริงที่กระทำกับเสาเข็มจำลอง

7.4 ทำการหมุนเครื่อง Centrifuge โดยเพิ่มความเร็วขึ้นช้าๆประมาณ 50 รอบต่อนาที จนถึง ระดับ g-level ที่ตรงกับการทดสอบที่กำหนดไว้ จากนั้นปล่อยลมเข้าสู่กระบอกลูกสูบเพื่อให้แรงกระทำด้านข้างแก่เสาเข็ม

7.5 ทำการเพิ่มแรงดันลมเข้าไปเรื่อย ๆโดยสังเกตค่าแรงดันด้านข้างจาก Load cell และระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างจาก Displacement transducer จนเห็นว่าเสาเข็มมีการเคลื่อนที่ไปพอสมควรแล้ว7.6 ลดแรงดันลมลงช้าๆ เสาเข็มจะเอียงและเห็นภาพการเคลื่อนตัวของเสาเข็มในกล่องทดสอบ

7.7 นำภาพที่บันทึกไว้จากคอมพิวเตอร์มาเปิดดูเพื่อบันทึกค่าของแรงกระทำด้านข้างที่อ่านได้จาก Load cell และการเคลื่อนที่ทางด้านข้างจาก Displacement transducer ลงในตารางบันทึกค่า แล้วทำการพล็อตกราฟค่าของแรงกระทำด้านข้างกับการเคลื่อนที่ของเสาเข็ม

7.8 ทำการทดสอบอีกครั้งกับเสาเข็มจำลอง ที่มีขนาดและรูปร่างที่ต่างกันรวมทั้งค่าความหนาแน่นต่างกันด้วยเพื่อศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนตัวและแรงที่กระทำต่อเสาเข็ม

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge modeling of short pile in sand under lateral load)	หน้า

8.การบันทึกผลการทดลอง

8.1 ตารางที่ 7-10 เป็นตารางสำหรับบันทึกค่าที่อ่านได้จาก Load cell และ Displacement transducer ขณะทำการดันเสาเข็มบนเครื่อง Centrifuge จากนั้นใช้ค่า Calibration factor (K) ปรับเทียบให้เป็นค่าแรงกระทำและระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างจริงต่อไป

8.2 นำค่าแรงกระทำและระยะการเคลื่อนตัวด้านข้าง มาเขียนกราฟ เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำด้านข้างกับการระยะการเคลื่อนที่ของเสาเข็ม ทั้ง 4 ต้น

8.3 คำนวณหาค่า Q_u โดยใช้จุดมาตรฐาน h = 0.1D เป็นจุดกำหนดค่า Q_u เพื่อเปรียบเทียบกับทฤษฎีของ Zhang et. al. และ Broms

8.4 ทำการเปรียบเทียบน้ำหนักกระทำด้านข้างกับการเคลื่อนที่ของปลายเสาเข็มปรับสเกลให้เทียบเท่ากับขนาดต้นแบบ (Prototype)

หมายเหตุ : ค่า Calibration factor (K) ของ Load cell และ Displacement transducer สามารถทราบได้จากอาจารย์ผู้ควบคุมการทดสอบ

การปรับสเกลที่สอดคล้องกันของแบบจำลอง (Similitude)

การปรับมิติให้สอดคล้องกันของแบบจำลองที่มีขนาดต่างกัน (Similitude) โดยอาศัยกฎของสเกล (Scaling law) และ ภาพแบบการจัดตัวแปรจากทฤษฎีของ Broms โดยการนำสมการที่(1) มาหาสัดส่วนเทียบกันระหว่าง น้ำหนักกระทำด้านข้างของ ต้นแบบ (P_p) และ ของแบบจำลอง (P_m) ผลลัพธ์แสดงดังสมการ

$$\frac{P_p}{P_m}=\frac{\gamma_p}{\gamma_m}\times\frac{D_p}{D_m}\times\frac{L_p^3}{L_m^3}\times\left(\frac{e_m+L_m}{e_p+L_p}\right)$$

จากการจัดสมการใหม่จะได้ $\frac{P_p}{D_p}=\left[\frac{\gamma_p}{\gamma_m}\times\frac{L_p^3}{L_m^3}\times\left(\frac{e_m+L_m}{e_p+L_p}\right)\right]\times\frac{P_m}{D_m}$

ดังนั้น จากการหมุนเหวี่ยงเพิ่มน้ำหนักดิน

แทนค่า $\gamma_m=N\gamma_p$ ในสมการข้างต้นจะได้ผลลัพธ์ดังสมการ $\frac{P_p}{D_p}=k\times\frac{P_m}{D_m}$

โดยที่ k เป็นค่าปรับสเกลจากผลทดสอบของแบบจำลองหมุนเหวี่ยงไปสู่ต้นแบบ

$$k=\frac{1}{N}\times\frac{L_p^3}{L_m^3}\times\left(\frac{e_m+L_m}{e_p+L_p}\right)$$

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge modeling of short pile in sand under lateral load)	หน้า

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบแบบจำลองเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างของเสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 1x1 ซม. ; ค่าของมุม ϕ ของทราย (ทรายแน่น) = ... N = 35 g

(1) Displacement (unit)	(2) Lateral Load (unit)	(3) Displacement (mm)	(4) Lateral Load (kg)

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge modeling of short pile in sand under lateral load)	หน้า

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบแบบจำลองเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างของเสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 1.0 x 1.0 ซม. ; ค่าของมุม ϕ ของทราย (ทรายหลวม) = ... N = 35 g

(1) Displacement (unit)	(2) Lateral Load (unit)	(3) Displacement (mm)	(4) Lateral Load (kg)

ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge modeling of short pile in sand under lateral load)	หน้า

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบแบบจำลองเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างของเสาหน้าตัดวงกลม

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.63 ซม. ; ค่าของมุม ϕ ของทราย (ทรายหลวม) = ... N = 54 g

(1) Displacement (unit)	(2) Lateral Load (unit)	(3) Displacement (mm)	(4) Lateral Load (kg)

ใบงาน Centrifuge modeling test **เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย** (Centrifuge modeling of short pile in sand under lateral load)	**หน้า**

ตารางที่ 10 ผลการทดสอบแบบจำลองเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างของเสาหน้าตัดวงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.97 ซม. ; ค่าของมุม ϕ ของทราย (ทรายหลวม) = ... N = 35 g

(1) Displacement (unit)	(2) Lateral Load (unit)	(3) Displacement (mm)	(4) Lateral Load (kg)

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge modeling of short pile in sand under lateral load)	หน้า

9.<u>บันทึกการคำนวณ</u>

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

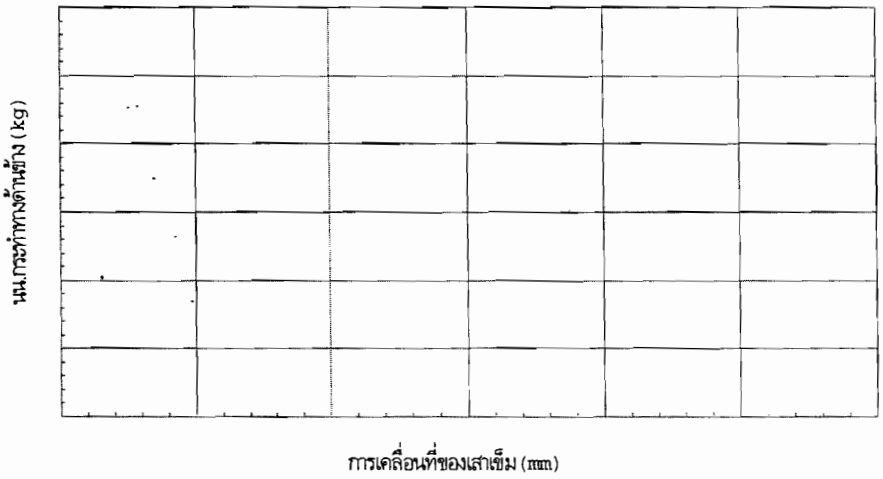
.....

.....

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge modeling of short pile in sand under lateral load)	หน้า

10.**สรุปผลการทดลอง**

กราฟที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำด้านข้างกับการระยะการเคลื่อนที่ของเสาเข็ม



รายละเอียดของแบบจำลองเสาเข็ม(Model)เทียบกับเสาเข็มต้นแบบ(Prototype scale)

Pile Section	Square 1.0 cm. ทรายแน่น		Square 1.0 cm. ทรายหลวม		Circular 0.63 cm. ทรายหลวม		Circular 0.97 cm. ทรายหลวม	
	Model	Prototype	Model	Prototype	Model	Prototype	Model	Prototype
g-level								
D								
L								
e								

Note: D = ขนาดเสาเข็ม(cm) L = ระยะฝังเข็ม (cm) e = ระยะเยื้องศูนย์ (cm)

ค่า Q_u ที่ h = 0.1D จากการคำนวณและจากกผลการทดสอบ ณ ขนาดต้นแบบ (Prototype scale)

Pile Section	Broms Method (1994) (ton/m)	Zhang's Method (2005) (ton/m)	Centrifuge models (ton/m)
Square 1.0 cm.			
Square 1.0 cm.			
Circular 0.63 cm.			
Circular 0.97 cm.			

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge modeling of short pile in sand under lateral load)	หน้า

11. <u>คำถามท้ายการทดลอง</u>

1.ความสามารถในการรับน้ำหนักกระทำทางด้านข้างของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบมีผลจากตัวแปรใดบ้าง

.....

.....

2.รูปแบบหน้าตัดของเสาเข็มแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสกับแบบวงกลมมีลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างและความสามารถในการรับน้ำหนักแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

.....

.....

.....

3.การทดสอบแบบจำลองเสาเข็มในทรายที่ความหนาแน่นต่างกัน มีลักษณะการเคลื่อนตัวและการรับน้ำหนักของเสาเข็มแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

.....

.....

.....

4.เมื่อเพิ่มน้ำหนักกระทำด้านข้างกับเสาเข็ม เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่ไปทางด้านข้างของปลายเสาเข็มกับน้ำหนักกระทำด้านข้างจากการทดสอบมีลักษณะเป็นอย่างไร

.....

.....

.....

5.ท่านคิดว่า Q_u ที่ h = 0.1D จากทฤษฎีของ Zhang et. al. และ Broms มีความแตกต่างกับ ผลการทดสอบด้วยเทคนิค Centrifuge modeling หรือไม่และถ้าแตกต่างน่าจะมาจากสาเหตุใด ท่านคิดว่าข้อมูลใดมีความน่าเชื่อถือมากกว่ากัน

.....

.....

.....

6.ในการเปรียบเทียบแบบจำลองเสาเข็มหน้าตัดวงกลม(Model)ทั้ง 2 ขนาด กับเสาเข็มต้นแบบได้ค่าน้ำหนักกระทำด้านข้าง (P_u)แตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

.....

.....

.....

.....

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย (Centrifuge modeling of short pile in sand under lateral load)	หน้า

12.<u>รายงานการทดลอง</u>

การทดลองเรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มสั้นที่รับแรงกระทำด้านข้างในทราย

เป็นการทดลองเพื่อศึกษา.....

.....

ด้วยหลักการที่เกี่ยวข้องกับเรื่องนี้คือ .....

.....

เนื่องจากมีความสำคัญในเรื่องของ.....

.....

จากผลการทดลองพบว่า.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ข้อสังเกตในการทดลองมีอยู่.....ประการคือ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ผลลัพธ์ที่ได้จากการดำเนินการทดลอง ผู้ทดลองได้รับประสบการณ์ในเรื่องต่อไปนี้

ความรู้และทักษะที่ได้รับ คือ.....

.....

.....

.....

.....

.....

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของสมอจากการรับแรงดึงในดินทราย (Centrifuge Modeling on Uplift Capacity of Anchor in Sand)	หน้า

1. <u>วัตถุประสงค์ของการทดลอง</u>

1.1 ให้ผู้เรียนอธิบายความสามารถในการรับแรงดึงของสมอหน้าตัดสี่เหลี่ยม (Uplift Capacity) และค่าBearing capacity factor (N_γ) ที่เกิดขึ้นในดินทราย

1.2 ให้ผู้เรียนอธิบายความแตกต่างของลักษณะและระยะการถอนตัวของสมอจากแรงดึงที่เกิดขึ้นในดินทราย เนื่องจากตัวแปร

1.2.1 ค่า Friction angle (ϕ) ของทราย

1.2.2 ขนาดหน้าตัดของสมอ

1.2.3 มิติที่สอดคล้องกันของแบบจำลองที่มีขนาดต่างกัน (Similitude)

2. <u>ความจำเป็นในการเรียนรู้</u>

ในปัจจุบันมีการพัฒนาการเลือกใช้งานสมอในงานทางวิศวกรรมต่างๆกันไปทั้งในงานโครงสร้างชั่วคราวและโครงสร้างถาวรโดยพิจารณาถึงความเหมาะสมในการใช้งานและสภาพดิน Hunt(1986) สมอที่นิยมใช้กันในปัจจุบันสามารถแบ่งออกตามวัตถุประสงค์ในทางการใช้งานทางวิศวกรรมได้เป็นสองประเภท อันดับแรกเป็นงานที่เกี่ยวข้องกับ แรงที่กระทำกับสมอจะเกิดจากแรงดันของดิน (Lateral Earth Pressure) โดยมากจะใช้ในงาน Retaining Structure , Stabilizing Slope และ Tunnel Lining ส่วนอับดับที่สองเป็นงานที่เกี่ยวข้องกับ Uplift ใช้เพื่อวัตถุประสงค์รับแรงดึงที่จะเกิดขึ้นของโครงสร้างเนื่องจาก Hydraulic Pressure ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากระดับน้ำ เช่นกำแพงกันดิน ท่าเทียบเรือ อุโมงค์ใต้ดิน ถังน้ำ หรือสระว่ายน้ำที่ฝังในดิน และเพื่อเสถียรภาพของโครงสร้างเนื่องจากแรงดึงที่เกิดจากลมหรือพายุ เช่น เสาไฟฟ้า เสาอากาศ และแผ่นป้ายโฆษณา ในการก่อสร้างฐานรากของโครงสร้างดังกล่าว จึงมีการเลือกใช้งานสมอ ในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้โครงสร้าง เกิดเสถียรภาพที่ดี การใช้แผ่นสมอเหล็ก (Plate Anchor) รูปสี่เหลี่ยม หรือ วงกลม ก็เป็นทางเลือกหนึ่งในการสร้างเสถียรภาพแก่โครงสร้าง จึงมีการศึกษาการใช้งานของแผ่นสมอเหล็ก ที่เกิดจากการฝังแผ่นเหล็กลงไปในทรายและสร้างสภาวะรับแรงดึง เพื่อศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการรับแรงดึง และอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ

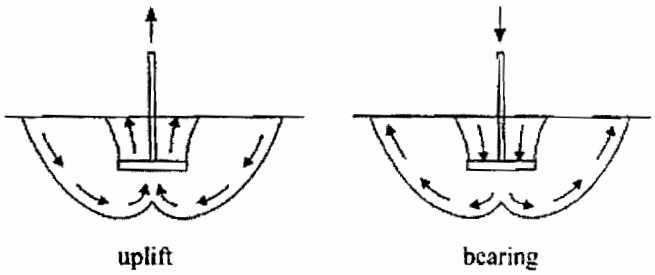
ดังนั้นในการเรียนใบงานนี้จะทำให้ผู้เรียนเห็นพฤติกรรมของการรับแรงดึง และอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ซึ่งจะทำการศึกษาการใช้งานของสมอในรูปแบบของแผ่นสมอเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส(Plate Anchor) ที่เกิดจากการฝังแผ่นเหล็กลงไปในทรายและสร้างสภาวะรับแรงดึงภายใต้หลักการแบบจำลองหมุนเหวี่ยง (Centrifuge Model) และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ออกแบบสมอในกรณีดังกล่าวได้

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของสมอจากการรับแรงดึงในดินทราย (Centrifuge Modeling on Uplift Capacity of Anchor in Sand)	หน้า

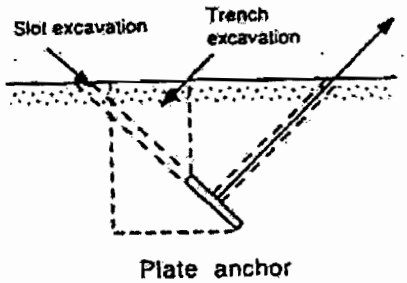
3. <u>ความรู้ที่ควรมีก่อนเรียน</u>

<u>การต้านทานการรับน้ำหนักประลัยของสมอ</u>

พฤติกรรมการรับกำลังโดยทั่วไปของสมอจะคล้ายกันกับเสาเข็มเนื่องจากการรับน้ำหนักจะเกิดขึ้นตามแนวแกนของโครงสร้าง ดังนั้นสมมุติฐานเบื้องต้นที่เกี่ยวกับการรับแรงของสมอจะคล้ายคลึงกับเสาเข็ม



รูปที่ 1 ภาพแสดงพฤติกรรมการพังทลายของสมอ



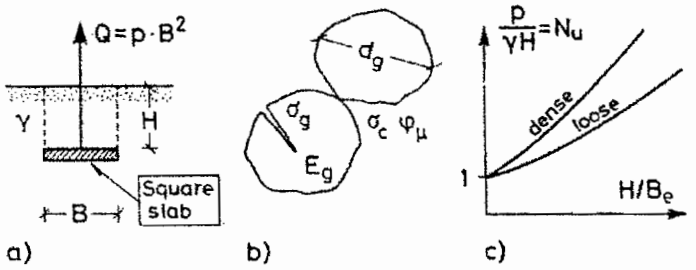
รูปที่ 2 ภาพแสดงพฤติกรรมการรับแรงดึงของสมอแผ่นเหล็ก

ในการคำนวณหาแรงดึงในสมอนั้นมีหลายทฤษฎีซึ่งแต่ละทฤษฎีมีการคำนวณแตกต่างกัน เพราะผู้วิจัยที่ทำการคิดสูตรการคำนวณมีหลักการที่ไม่เหมือนกัน แต่ผลการคำนวณมีลักษณะคล้ายกัน ดังนี้

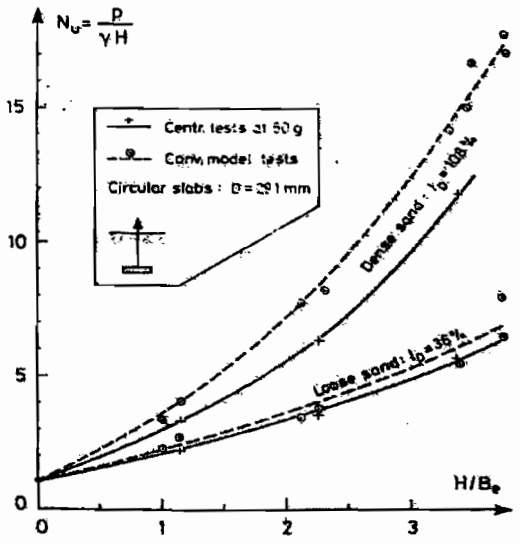
(1) Ovensen (1981) ได้คำนึงถึงปัญหาของสมอสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ฝังอยู่ในชั้นดินทรายที่มีลักษณะหลวม (Loose Sand) และ ทรายที่มีลักษณะแน่น (Dense Sand)โดยพิจารณาอัตราส่วนความลึกของสมอต่อความกว้างของสมอแล้วทำการดึงสมอในแนวดิ่งดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งผลการทดสอบมีทั้งทดสอบโดยเครื่อง Centrifuge

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของสมอจากการรับแรงดึงในดินทราย (Centrifuge Modeling on Uplift Capacity of Anchor in Sand)	หน้า

และได้ทำการเทียบผลการทดลอบแบบลดขนาดของสมอแบบไม่ใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงสำหรับชั้นดินทรายที่มีลักษณะหลวม และ ทรายที่มีลักษณะแน่น โดยต้นแบบสมอนั้นเป็นสมอวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 291 mm ดังรูปที่ 4 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าผลการทดสอบแบบ Centrifuge มีความถูกต้องมากกว่า โดยเฉพาะ การทดสอบในทรายอัดแน่น



รูปที่ 3 a) สมอสี่เหลี่ยมจัตุรัสฝังอยู่ในทราย b) ขนาดของเม็ดดิน (d_g) c) กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการทดสอบสมอบนตัวอย่างดินทรายที่มีลักษณะหลวม (Loose) และ ทรายที่มีลักษณะแน่น (Dense)



รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลการทดสอบบนเครื่อง Centrifuge และทำการทดลองแบบลดขนาด สำหรับชั้นดินทรายที่มีลักษณะหลวม (Loose) และ ดินทรายที่มีลักษณะแน่น(Dense)

Ovensen ยังได้กล่าวต่ออีกว่าในการออกแบบจำลองแบบสมอนั้นจำเป็นต้องออกแบบให้มีความกว้างของสมอไม่น้อยกว่า 30 เท่าของขนาดเม็ดดิน (d_g) ซึ่งส่งผลต่อการทดสอบให้มีค่าผิดพลาดน้อย Ovensen ได้ทำการวิเคราะห์รูปร่างของสมอเพื่อทำการเปรียบเทียบค่า N_u จากแบบจำลอง Centrifuge พบว่าอัตราส่วนระหว่างความลึกของสมอต่อความกว้างของสมอมีผลต่อค่าของ N_u ดังสมการ

$$N_u^{\theta=0} = \frac{P}{\gamma H}$$

เมื่อ P = ค่าแรงดึงสูงสุด

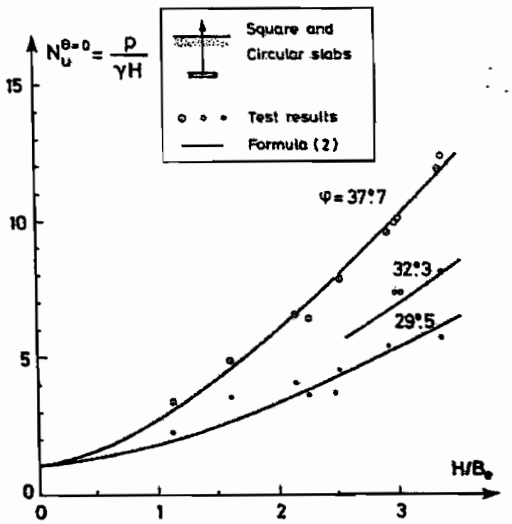
γ = ค่าความหนาแน่นแห้งของทราย

ซึ่งจากผลการทดสอบสามารถหาแนวโน้มของค่า N_u โดยใช้ Curve Fitting ได้ดังสมการ

$$N_u^{\theta=0} = 1 + (4.32\tan\phi - 1.58)\left(\frac{H}{B_e}\right)^{\frac{3}{2}}$$

โดยที่ ϕ คือ ค่ามุมเสียดทานของทรายที่ใช้ทดสอบ(Friction angle)

จากผลการทดสอบของ Ovensen สามารถหาแนวโน้มของค่า N_u โดยใช้ Curve Fitting ซึ่งสมการที่ได้มานั้น Ovensen ได้ทำการทดสอบที่ Friction Angle ต่างๆ พร้อมกับอัตราส่วนระหว่างความลึกต่อความกว้างของสมอจนได้กราฟดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า N_u และค่าอัตราส่วนระหว่างความลึกของสมอต่อความกว้างของสมอเมื่อมุม Friction Angle เปลี่ยนไป

(2) Kulhawy และคณะ (1979) เสนอรูปแบบการพิบัติของแบบจำลองเสาเข็มเจาะที่ฝังอยู่ในทราย ในขณะรับแรงดึงจนถึงค่าการรับน้ำหนักประลัย ที่ค่าอัตราส่วนความชะลูดคงที่ (L/D=10) พบว่ามีลักษณะเป็นแบบกรวยตรง (Truncated Cone) ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกับการพิบัติของสมอแบบ Plate ส่วนการพิบัติอีกแบบคือแบบกรวยโค้ง (Curve Cone) โดยคล้ายกับรูปแบบที่เสนอโดย Balla (1961),Meyerhof และ Adam(1968) ส่วนในแบบสุดท้ายที่ลักษณะการพิบัติวิกฤตที่สุดคือแบบทรงกระบอก(Cylindrical Shear) ทั้งนี้เนื่องจากดินโดยรอบไม่ได้มีส่วนในการต้านทานแรงดึงที่เกิดขึ้น และเป็นรูปแบบที่ใช้เป็นแบบจำลองในการศึกษา

(3)Balla ได้พัฒนาระบบการวิเคราะห์ บนพื้นฐานของการทดสอบจากแบบจำลองที่ทำขึ้น พบว่าการพิบัติที่เกิดขึ้นเป็นรูปเส้นโค้งของวงกลม ซึ่งมีรัศมีดังสมการ

$$r = \frac{(H-h)}{\sin(45^o - \frac{\phi}{2})}$$

ซึ่งค่า H คือ ความลึกของการฝังสมอ

h คือ ความหนาของสมอ

มุมของการเกิด พิบัติที่ผิวหน้าของสมอทำมุมเท่ากับ 90^o กับแนวราบที่ฐาน และทำมุม $\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right)$ ที่ผิวบนของทราย ต่อมา Baker and Kondner (1996) ได้สรุปผลการพิบัติที่ผิวหน้าของสมอว่ามีลักษณะเหมือนกับรูปร่างในสมมติฐานของ Balla และพบว่าการพิบัติจะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ การฝังสมอที่ระยะตื้น (H/B < 6)และการฝังสมอที่ระยะฝังลึก (H/B > 6)

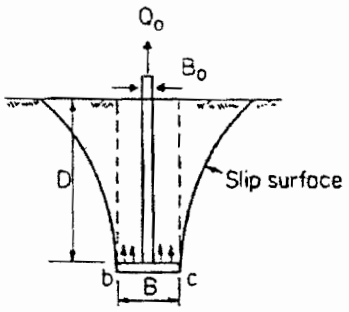
(4)Su และคณะ (1988) ทดสอบแบบจำลองสมอยึดเสาเข็มที่ฝังอยู่ในทราย แสดงผลการศึกษาลักษณะการพิบัติของสมอตื้น (Shallow Anchor) ซึ่งมีค่าความลึกฝังอยู่ระหว่าง 0-9 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสมอ พบว่าที่ส่วนบนของสมอมีลักษณะการพิบัติแบบทรงกรวย และส่วนล่างพิบัติแบบ Cylindical Shear Surface (Kulhawy, 1985)

(5)Mariupol'skii ได้ทำการศึกษาลักษณะของ Slip Surface และสภาวะของ Stress ที่เกิดขึ้น ณ บริเวณของแผ่นสมอที่ถูกฝังในระดับตื้นเมื่อมีแรงดึงมากระทำ โดยมีสมมุติฐาน 2 ข้อ ดังนี้ คือ

1. ค่า Maximum Shear Stress จะเกิดขึ้นในแนวดิ่งของสมอ

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของสมอจากการรับแรงดึงในดินทราย (Centrifuge Modeling on Uplift Capacity of Anchor in Sand)	หน้า

2. Failure Surface ที่เกิดขึ้นเนื่องจากค่า Tension จะเกิดขึ้นโดยมีการขยายจากขอบผิวสมอออกไปดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงรูปของดินตามสมมุติฐานของ Mariupol'skii

ผลจากการพิจารณาตามสมมุติฐานของ Mariupol'skii ทำให้ได้ สมการดังนี้

$$F = W + \frac{\pi}{4}\left(B^2 - B_0{}^2\right)\left[\frac{1-\left(\frac{B_0}{B}\right)^2 + 2\mathrm{K}\tan\phi\frac{D}{\mathrm{B}} + 4c\frac{D}{B}}{1-\left(\frac{B_0}{B}\right) - 2n\frac{D}{B}}\right]\gamma_d$$

โดยที่

F = Breakout Force

W = Effective Weight

D = Depth

B = Diameter of Circular Plate

B_0 = Diameter of Anchor Shaft

ϕ = Internal Friction Angle

K = Coefficient of Lateral Earth Pressure

n = $0.025\phi^o$ Empirical Function of Angle of Shearing Resistance

ϕ^o = ϕ in degree

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของสมอจากการรับแรงดึงในดินทราย (Centrifuge Modeling on Uplift Capacity of Anchor in Sand)	หน้า

4. **เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบพฤติกรรมของสมอที่รับแรงดึงในทราย**

4.1 เครื่องทดสอบ Geotechnical Centrifuge (CTEd-1)

4.2 สมอจำลองทำจากทองเหลืองที่มีหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส 2 ขนาดคือ

4.2.1 หน้าตัดขนาด 0.75×0.75 ซม.

4.2.2 หน้าตัดขนาด 1.50×1.50 ซม.

4.3 กล่องใส่ตัวอย่างทรายในการทดสอบขนาด 11.4×15.5×15.1 ซม.

4.4 Load cell และ Displacement transducer ที่ใช้ในการอ่านค่าแรงดึงและระยะการถอนตัวของสมอที่เกิดขึ้น

4.5 คอมพิวเตอร์และกล้องสำหรับบันทึกภาพขณะทำการทดลอง

4.6 ชุดมอเตอร์สำหรับดึงสมอ

4.7 อุปกรณ์วัดระยะการเคลื่อนที่ของสมอ

4.8 กรวยโรยทราย

4.9 ขาหนีบสำหรับยึดสมอขณะโรยทราย

5. **การเตรียมวัสดุและแบบจำลอง**

5.1 การเตรียมวัสดุดินทราย ดินทรายที่ใช้ในแบบจำลองเป็นดินทรายแห้งที่ได้ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ค้างตะแกรงเบอร์ 50 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.71 โดยให้มีค่าความหนาแน่นหลวมอยู่ประมาณ 1.5(g/cm^3) และ ค่าความหนาแน่นสูงอยู่ประมาณ 1.6 (g/cm^3)เพื่อให้เห็นความแตกต่างของพฤติกรรมทรายที่มีความหนาแน่นต่างกันหรือที่มีค่า Friction angle(Ø)ของทรายที่ต่างกัน

5.2 การเตรียมแบบจำลอง แบบจำลองสมอที่รับแรงดึงในแนวดิ่งมีลักษณะเป็นกล่องอะคริลิกใสขนาด 11.4×15.5×15.1 ซม. หนา 0.7 ซม. และสมอจำลองมีลักษณะเป็นสมอหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 0.75 ซม. และขนาด 1.5 ซม. โดยระยะในการฝังสมออยู่ในช่วง 5 เท่าของขนาดความกว้างของสมอ ซึ่งสมอจะถูกติดตั้งและยึดให้อยู่กับที่ก่อนการโรยทราย หลังจากนั้น จะติดตั้งอุปกรณ์สำหรับวัดค่าแรงดึง (Load cell)และอุปกรณ์วัดค่าระยะการเคลื่อนที่ของสมอ (Displacement transducer)และ ชุดมอเตอร์สำหรับดึงสมอ

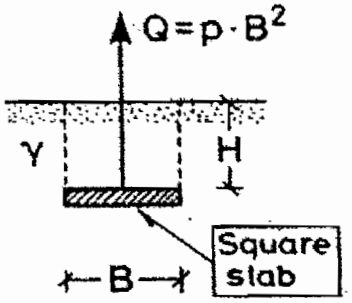
	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของสมอจากการรับแรงดึงในดินทราย (Centrifuge Modeling on Uplift Capacity of Anchor in Sand)	หน้า

6. <u>การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบ</u>

วิธีการเตรียมตัวอย่างทรายลงในแบบจำลองจะมีวิธีที่แตกต่างกัน โดยกรณีที่ต้องการให้ได้ค่าความหนาแน่นของทรายหลวมประมาณ 1.5 g/cm^3 ให้ใช้วิธีการโรยดินทรายผ่านกรวยโดยให้ปลายกรวยยกสูงจากผิวทรายตัวอย่างประมาณ 15 ซม.และให้ทรายตกอย่างสม่ำเสมอ ส่วนกรณีที่ความหนาแน่นสูงประมาณ 1.6 g/cm^3 ให้ใช้วิธีการเททรายลงในกล่องเตรียมตัวอย่างแล้วเขย่าจนเต็มพอดีตามปริมาตรที่กำหนดในแต่ละช่วง

6.1 ทำความสะอาดกล่องบรรจุทรายและชุดทดสอบให้เรียบร้อย

6.2 นำตัวอย่างทรายที่เตรียมไว้มาโรยลงในกล่องทดสอบก่อน จนถึงระดับที่ต้องการวางสมอบนทรายซึ่งโรยไว้บางแล้วหนาประมาณ 1 ซม.



รูปที่ 8 มิติต่างๆที่ใช้ในการศึกษาของแบบจำลองสมอทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส

6.3 เมื่อโรยทรายให้ได้ระดับการฝังสมอแล้ว วางสมอที่ตำแหน่งกลางของกล่องบรรจุทรายและยึดให้อยู่กับที่ด้วยขาหนีบเพื่อล็อกตำแหน่งของสมอให้ได้ฉากและได้ระยะการฝังสมอที่กำหนดไว้ (B/H = 5)

6.3.1 สมอหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 0.75×0.75 cm. ; H = 3.75 cm.

6.3.2 สมอหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1.5×1.5 cm.; H = 7.5 cm.

6.4 โรยทรายที่เหลือต่อไปจนถึงระดับความสูงที่กำหนดไว้ โดยรักษาความสูงในการโรยให้คงที่เพื่อไม่ให้ค่าความหนาแน่นคลาดเคลื่อนได้

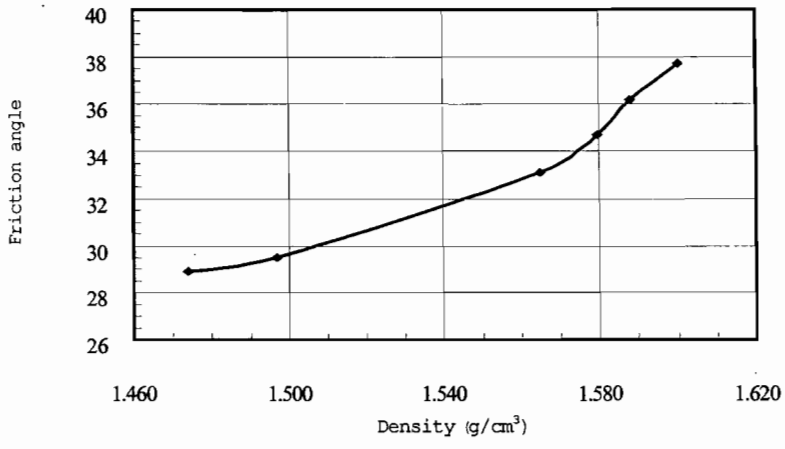
6.5 เมื่อโรยทรายได้ระดับความสูงถึงขีดที่กำหนด แล้วปรับระดับของทรายให้สม่ำเสมอ ในการปรับระดับควรที่จะทำด้วยความประณีตเพราะถ้าหากมีการปรับระดับของหน้าทรายที่รุนแรงจะทำให้ทรายยุบและเกิดการแทนที่ของเม็ดทรายส่วนเกิน จะทำให้ค่าความหนาแน่นคลาดเคลื่อนไป

6.6 นำกล่องทดสอบไปชั่งน้ำหนักทราย เพื่อหาค่าความหนาแน่น ในกรณีนี้ไม่ต้องหักลบน้ำหนักของสมอออกเนื่องจากสมอมีน้ำหนักน้อยมากเมื่อเทียบกับน้ำหนักของทราย

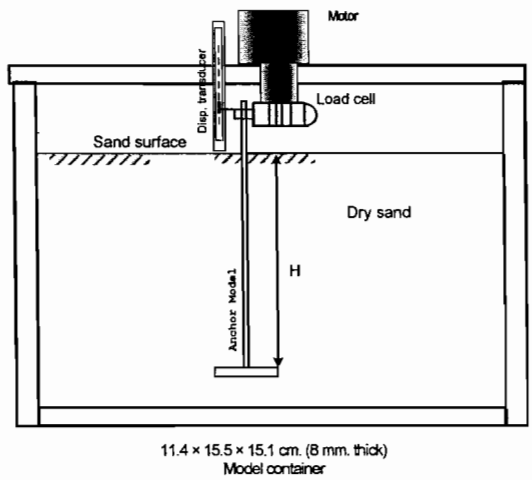
	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของสมอจากการรับแรงดึงในดินทราย (Centrifuge Modeling on Uplift Capacity of Anchor in Sand)	หน้า

6.7 ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับวัดค่าแรงดึง(Load cell)และอุปกรณ์วัดค่าระยะการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งของสมอ(Displacement transducer) ชุดมอเตอร์สำหรับดึงสมอ

หมายเหตุ : ความหนาแน่นสุดท้าย จากข้อ 6.6 สามารถนำไปเทียบหาค่ามุม Friction angle(Ø) จากภาพที่ 10 ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการทดสอบ Direct shear test



รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมเสียดทานภายในกับความหนาแน่น



รูปที่ 10 ลักษณะของแบบจำลองสมอรับแรงดึงในดินทราย

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของสมอจากการรับแรงดึงในดินทราย (Centrifuge Modeling on Uplift Capacity of Anchor in Sand)	หน้า

ตารางที่ 4 ตารางบันทึกผลการเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบ ที่ความหนาแน่นของทรายต่างกัน N = 40 g

กรณีทดสอบ	0.75×0.75 cm. ทรายหลวม	0.75×0.75 cm. ทรายแน่น
นน.กล่องตัวอย่าง (g)		
นน.กล่องตัวอย่าง+ทราย (g)		
นน.ทราย (g)		
ขนาดกล่องตัวอย่าง (cm^2)		
ความสูงของทรายที่โรย(cm)		
ปริมาตรทรายในกล่อง (cm^3)		
น้ำหนักของสมอ (g)	มีค่าน้อยมาก≈0	มีค่าน้อยมาก≈0
ปริมาตรของสมอ (cm^3)	มีค่าน้อยมาก≈0	มีค่าน้อยมาก≈0
ความลึกในการฝังสมอ (cm)		
ความหนาแน่นทราย(g/ cm^3)		
ค่า Friction angle(Ø)		

ตารางที่ 5 ตารางบันทึกผลการเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบ ที่ขนาดของสมอต่างกัน N = 20 g

กรณีทดสอบ	1.5×1.5 cm. ทรายหลวม
นน.กล่องตัวอย่าง (g)	
นน.กล่องตัวอย่าง+ทราย (g)	
นน.ทราย (g)	
ขนาดกล่องตัวอย่าง (cm^2)	
ความสูงของทรายที่โรย(cm)	
ปริมาตรทรายในกล่อง (cm^3)	
น้ำหนักของสมอ (g)	มีค่าน้อยมาก≈0
ปริมาตรของสมอ (cm^3)	มีค่าน้อยมาก≈0
ความลึกในการฝังสมอ (cm)	
ความหนาแน่นทราย(g/ cm^3)	
ค่า Friction angle(Ø)	

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของสมอจากการรับแรงดึงในดินทราย (Centrifuge Modeling on Uplift Capacity of Anchor in Sand)	หน้า

7. **ขั้นตอนการการทดสอบ**

วิธีการทดสอบจะแบ่งเป็น 2 ชุดการทดสอบ ชุดแรกจะเป็นการทดสอบเพื่อหาลักษณะเส้นโค้งของแรงดึงในแนวดิ่ง โดยใช้สมอหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 0.75×0.75 cm.ระยะในการฝังเสาเข็มคงที่ และมีระดับ g-level ที่ 40 g จะทำการทดสอบ 2 ครั้งเปรียบเทียบกันระหว่างกรณีที่เสาเข็มฝังอยู่ในทรายหลวมและทรายแน่น ส่วนชุดที่สอง ทดสอบเพื่อตรวจสอบความเสมือนของแบบจำลอง โดยจะใช้สมอหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 0.75×0.75 cm.และ 1.5×1.5 cm.และระดับ g-level ที่ 40 g กับ 20 g ตามลำดับขั้นตอนการทดสอบมีดังนี้

7.1 นำกล่องทดสอบทรายประกอบเข้าที่แขนของเครื่อง Centrifuge โดยยึดกล่องทดสอบให้แน่น และทำการต่อสายสัญญาณวัดค่าน้ำหนักจาก Load cell และ Displacement transducer สำหรับวัดระยะการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งของสมอเข้ากับเครื่อง

7.2 เปิดโปรแกรมที่คอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการบันทึกค่าจาก Load cell และ Displacement transducer รวมทั้งภาพการเคลื่อนที่ของสมอ

7.3 เปิดเครื่องวัดน้ำหนักแล้วจดค่าเริ่มต้น ผลต่างระหว่างค่าเริ่มต้นกับค่าที่อ่านได้ขณะหมุนจะเป็นน้ำหนักจริงที่กระทำกับสมอจำลอง

7.4 ทำการหมุนเครื่อง Centrifuge โดยเพิ่มความเร็วขึ้นช้าๆประมาณ 50 รอบต่อนาที จนถึง ระดับ g-level ที่ตรงกับการทดสอบที่กำหนดไว้ จากจุดนี้จะเริ่มบันทึกภาพค่าที่แสดงจาก Load cell และ Displacement transducer รวมทั้งภาพการเคลื่อนที่ของสมอ

7.5 เปิดระบบขับมอเตอร์เพื่อดึงสมออย่างช้า สังเกตค่าแรงดึงจาก Load cellหากมีค่าลดลงหรือสมอมีการเคลื่อนที่ไปพอสมควรแล้ว ให้หยุดระบบมอเตอร์ และค่อยๆลดรอบการหมุนเครื่องหมุนเหวี่ยงลงได้เลย

7.6 นำภาพที่บันทึกไว้จากคอมพิวเตอร์มาเปิดดู ทำการบันทึกค่าของแรงดึงในแนวดิ่งที่อ่านได้จาก Load cell และการเคลื่อนที่จาก Displacement transducer ลงในตารางบันทึกค่า แล้วทำการพล็อตกราฟ

7.7 ทำการทดสอบอีกครั้ง ตามชุดการทดสอบกำหนดไว้ เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนตัว และความเสมือนของแบบจำลอง

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของสมอจากการรับแรงดึงในดินทราย (Centrifuge Modeling on Uplift Capacity of Anchor in Sand)	หน้า

8.<u>การบันทึกผลการทดลอง</u>

8.1 ตารางที่ 6-8 เป็นตารางสำหรับบันทึกค่าที่อ่านได้จาก Load cell และ Displacement transducer ขณะทำการดึงสมอบนเครื่อง Centrifuge จากนั้นนำค่า Calibration factor (K) มาปรับเทียบเพื่อหาค่าแรงดึงและระยะการถอนตัวในแนวดิ่งที่แท้จริงต่อไป

8.2 นำค่าแรงดึงและระยะการถอนตัวในแนวดิ่ง มาเขียนกราฟ เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำด้านข้างกับการระยะการเคลื่อนที่ของสมอ

8.3 คำนวณหาค่า N_u และค่าการเคลื่อนตัวต่อความกว้างของสมอ(%)

8.4 ทำการเปรียบเทียบอิทธิพลของหน้าตัด ความหนาแน่นของทราย ทำการเขียนกราฟแรงดึงกับระยะการถอนตัวในแนวดิ่งของสมอ และการปรับสเกลให้เทียบเท่ากับขนาดต้นแบบ (Prototype)

หมายเหตุ : ค่า Calibration factor (K) ของ Load cell และ Displacement transducer สามารถทราบได้จากอาจารย์ผู้ควบคุมการทดสอบ

การหาอัตราส่วนระหว่าง $P_{(Model)}$ กับ $P_{(Prototype)}$

Ovensen ได้ทำการวิเคราะห์รูปร่างของสมอเพื่อทำการเปรียบเทียบค่า *Nu* จากแบบจำลอง Centrifuge พบว่าอัตราส่วนระหว่างความลึกของสมอต่อความกว้างของสมอมีผลต่อค่าของ N_u ดังสมการ

$$N_u^{\theta=0} = \frac{P}{\gamma H}$$

เมื่อ P คือ ค่าแรงดึงสูงสุด

γ คือ ค่าความหนาแน่นแห้งของทราย

ตัวอย่างเช่น การทดสอบสมอ ขนาด 0.50 x 0.50 (m) , ความลึก 3 (m) γ = 9.81 t/m3

$$\therefore P_{max} = N_u \times \gamma H \times B^2$$

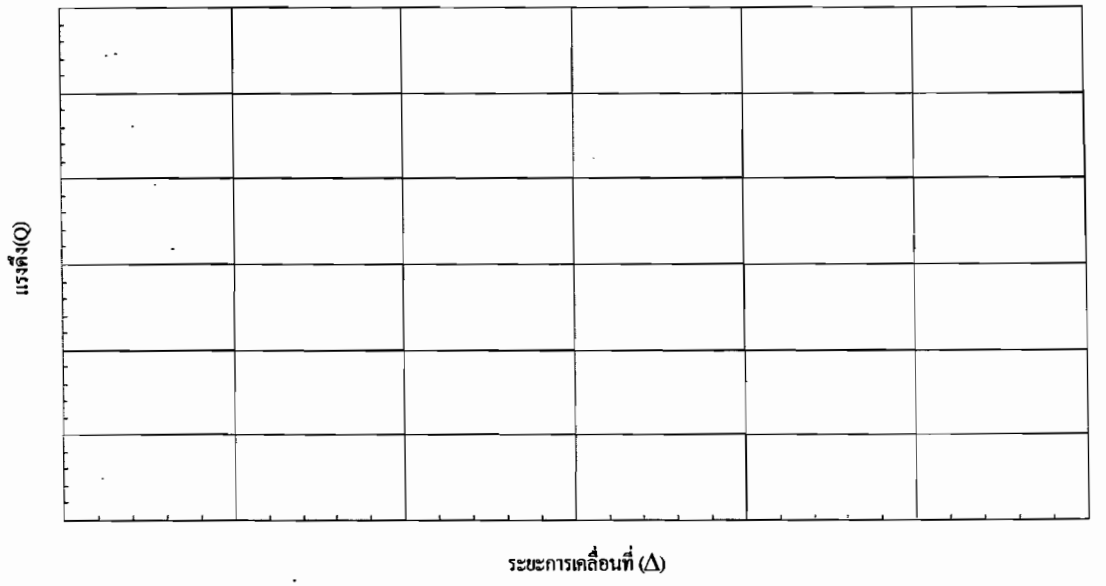
$$P_{max} = 12.5 \times 9.81 \times 3 \times (0.50 \times 0.50)$$

$$P_{max} = 91.9 \text{ (t)}$$

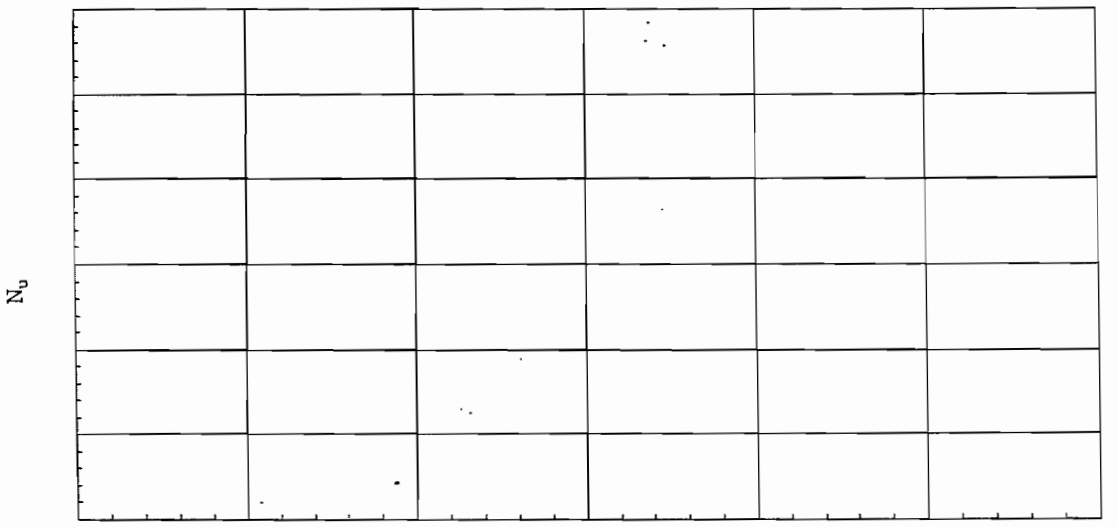
	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของสมอจากการรับแรงดึงในดินทราย (Centrifuge Modeling on Uplift Capacity of Anchor in Sand)	หน้า

9.**สรุปผลการทดลอง**

กราฟที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับการระยะการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งของสมอ



กราฟที่ 2 ผลการเปรียบเทียบระหว่าง N_u และ % Δ/B



ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของสมอจากการรับแรงดึงในดินทราย (Centrifuge Modeling on Uplift Capacity of Anchor in Sand)	หน้า

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบการรับแรงดึงของสมอหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส 0.75×0.75 cm.

ค่ามุม ϕ ของทราย (ทรายหลวม) = ... N = 40 g

(1) Displacement (unit)	(2) Load (unit)	(3) Displacement Δ(mm)	(4) Load Q(kg)

ใบงาน Centrifuge modeling test **เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของสมอจากการรับแรงดึงในดินทราย** (Centrifuge Modeling on Uplift Capacity of Anchor in Sand)	**หน้า**

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบการรับแรงดึงของสมอหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส 0.75×0.75 cm.

ค่ามุม ϕ ของทราย (ทรายแน่น) = ... N = 40 g

(1) Displacement (unit)	(2) Load (unit)	(3) Displacement Δ(mm)	(4) Load Q(kg)

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของสมอจากการรับแรงดึงในดินทราย (Centrifuge Modeling on Uplift Capacity of Anchor in Sand)	หน้า

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบการรับแรงดึงของสมอหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส 1.5×1.5 cm.

ค่ามุม ϕ ของทราย (ทรายหลวม) = ... N = 20 g

(1) Displacement (unit)	(2) Load (unit)	(3) Displacement Δ(mm)	(4) Load Q(kg)	Δ/B(%)	N_u

ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของสมอจากการรับแรงดึงในดินทราย (Centrifuge Modeling on Uplift Capacity of Anchor in Sand)	หน้า

Anchor Section	Square 0.75 cm. ทรายแน่น	Square 0.75 cm. ทรายหลวม	Square 1.5 cm. ทรายหลวม
g-level			
B(cm)			
H(cm)			
$N_{u\,max}$			

Note: B = ขนาดสมอ H = ระยะฝัง

10.<u>บันทึกการคำนวณ</u>

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของสมอจากการรับแรงดึงในดินทราย (Centrifuge Modeling on Uplift Capacity of Anchor in Sand)	หน้า

11. **คำถามท้ายการทดลอง**

1. ความหนาแน่นของทรายมีผลต่อความสามารถในการออกแรงดึงสมอ หรือไม่ อย่างไร

.....

.....

.....

2. ขนาดหน้าตัดของสมอ มีผลต่อความสามารถในการรับแรงดึงแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

.....

.....

.....

3. ท่านคิดว่าความลึกในการฝังสมอมีผลต่อการรับแรงดึงหรือไม่ อย่างไร

.....

.....

.....

4. ปัจจัยอะไรบ้างที่ส่งผลให้ค่าของ N_u มีค่ามากขึ้น

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. ท่านคิดว่า N_u ของสมอหน้าตัด 0.75 cm. กับ 1.5 cm. มีความแตกต่างกันหรือไม่ และมีเหตุผลใดสนับสนุน

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

	ใบงาน Centrifuge modeling test เรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของสมอจากการรับแรงดึงในดินทราย (Centrifuge Modeling on Uplift Capacity of Anchor in Sand)	หน้า

12.<u>รายงานการทดลอง</u>

การทดลองเรื่อง แบบจำลองการศึกษาพฤติกรรมของสมอจากการรับแรงดึงในดินทราย

เป็นการทดลองเพื่อศึกษา.....

.....

ด้วยหลักการที่เกี่ยวข้องกับเรื่องนี้คือ .....

.....

เนื่องจากมีความสำคัญในเรื่องของ.....

.....

จากผลการทดลองพบว่า.....

.....

.....

.....

.....

.....

ข้อสังเกตในการทดลองมีอยู่.....ประการคือ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ผลลัพธ์ที่ได้จากการดำเนินการทดลอง ผู้ทดลองได้รับประสบการณ์ในเรื่องต่อไปนี้

ความรู้และทักษะที่ได้รับ คือ.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ภาคผนวก ง.

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

โดยใช้ชุดทดลองการจำลองโครงสร้างใต้ดินโดยใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยง วิชาวิศวกรรมฐานราก

จำนวน 20 ข้อ เวลา 30 นาที

คำสั่ง

ให้เลือกกากบาท (X) ลงในช่องข้อตัวเลือกที่ถูกต้องเพียงข้อเดียวลงในกระดาษคำตอบ

ข้อ 1. การทดสอบโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง ที่เรียกว่า "Centrifuge modeling" เป็นการสร้างแบบจำลองโดยอาศัยหลักการเพิ่มแรงโน้มถ่วง ข้อใดไม่สอดคล้องกับความสามารถในการทดสอบด้วยเทคนิคการหมุนเหวี่ยง

ก. แบบจำลองจะมีพฤติกรรมเหมือนต้นแบบเพียงแต่ลดขนาดลง

ข. ใช้ดินจากสนามเข้ามาทดสอบ โดยมีขนาดเม็ดดินที่ไม่ใหญ่เกินกว่าข้อกำหนด

ค. สามารถออกแบบน้ำหนักให้กับตัวอย่างดินได้ไม่จำกัด

ง. สามารถกำหนดชั้นดินที่แตกต่างกันได้หลายชั้น (Multi-layered soil)

ข้อ 2. การทดสอบด้วยเทคนิคการหมุนเหวี่ยง เหมาะสมกับปัญหาที่มีน้ำหนักมวลดินกดทับ ข้อใดเป็นอิทธิพลของหน่วยแรงกดทับ (Overburden pressure) มากที่สุด

ก. งานฐานรากอาคาร

ข. งานเปิดหน้าดิน

ค. งานอุโมงค์

ง. งานเสาเข็ม

ข้อ 3. ข้อใดไม่เป็นที่นิยมในการนำเทคนิคการหมุนเหวี่ยงไปใช้ในการแก้ปัญหาทางเทคนิคธรณี

ก. ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์(Parametric studies) ที่จะนำไปใช้ในการออกแบบ

ข. ตรวจสอบทฤษฎี หรือปรากฏการณ์ใหม่ๆ ที่การศึกษาในรูปแบบอื่นๆมีข้อจำกัด

ค. ใช้ตรวจสอบเพิ่มความเชื่อมั่นของการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ง. ไม่มีข้อใดถูก

ข้อ 4. ข้อใดเป็นตัวแปรที่สำคัญที่สุดในการพิจารณาหน่วยแรงด้านทานด้านข้างเสาเข็มเมื่อเสาถูกฝังอยู่ในดินทราย

ก. ระยะจมลึกของเสาเข็ม

ข. วัสดุที่ใช้ทำเสาเข็ม

ค. ขนาดของเสาเข็ม

ง. ระดับน้ำใต้ดิน

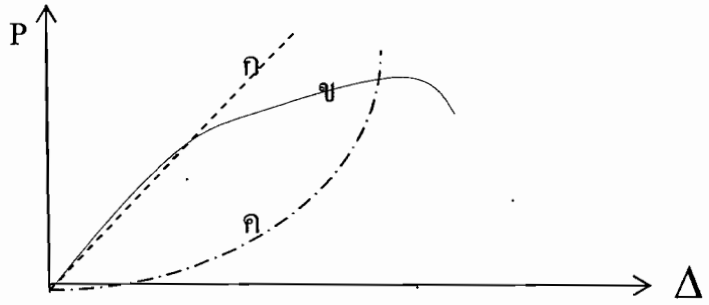
ข้อ 5. หากเสาเข็มถูกฝังลงในดินที่ไม่ลึกมากหน่วยแรงต้านทานด้านข้างประลัยของเสาเข็มจะถูกควบคุมด้วยตัวแปรใด

ก. ชนิดของดินรอบๆเสาเข็ม
ข. วัสดุที่ใช้ทำเสาเข็ม
ค. ขนาดของเสาเข็ม
ง. ถูกทุกข้อ

ข้อ 6. เมื่อมีแรงด้านข้างที่มากระทำกับเสาเข็มจนเกิดการพิบัติท่านคิดว่ามีสาเหตุมาจากข้อใด

ก. เกิดจากการประเมินกำลังของดินและวัสดุเสาเข็มที่มีมากกว่าความเป็นจริง
ข. วิธีที่ใช้ ในการออกแบบให้ค่าความต้านทานด้านข้างประลัยน้อยเกินไป
ค. เกิดจากการประเมินกำลังของดินและวัสดุเสาเข็มที่มีน้อยกว่าความเป็นจริง
ง. ถูกทุกข้อ

ข้อ 7. ในการทดสอบการรับแรงดันทางด้านข้างของเสาเข็ม เมื่อเราเพิ่มน้ำหนักกระทำกับเสาเข็ม สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่ไปทางด้านข้างของเสาเข็มกับน้ำหนักกระทำด้านข้าง ด้วยการเขียนกราฟ ซึ่งเส้นกราฟที่ถูกต้องนั้นควรลักษณะเป็นอย่างไร



ก. มีความชันคงที่
ข. มีความชันลดลง
ค. มีความชันเพิ่มขึ้น
ง. ไม่แน่นอน

ข้อ 8. จากการทดสอบการรับแรงดันทางด้านข้างของเสาเข็ม การพิจารณา Q_u ที่ h = 0.1D จากทฤษฎีของ Zhang et. al. หรือ Broms เมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบด้วยเทคนิค Centrifuge modeling ท่านคิดว่าค่า Q_u จากทฤษฎีของใครมีความน่าเชื่อถือมากกว่ากัน

ก. ทฤษฎีของ Broms
ข. ทฤษฎีของ Zhang et. al.
ค. เชื่อถือได้ทั้ง 2 ทฤษฎี
ง. เชื่อถือไม่ได้ทั้ง 2 ทฤษฎี

ข้อ 9. ในการศึกษาความเสมือนของการจำลองเสาเข็ม (Modeling of model, MOM) เป็นการเปรียบเทียบแรงกระทำด้านข้าง ระหว่างเสาเข็ม 2 ขนาด ที่ระดับ g – level แตกต่างกัน ค่าน้ำหนักกระทำด้านข้างที่ได้จะนำไปใช้ประโยชน์อย่างไร

ก. เพิ่มความถูกต้องของกำลังของดินในเสาเข็มที่ต่างชนิดกัน

ข. ทำนายพฤติกรรมของเสาเข็มในดินชนิดต่างกัน

ค. ประเมินกำลังของดินที่มีขนาดของเสาเข็มเปลี่ยนไป

ง. ควบคุมระยะการเคลื่อนตัวของเสาเข็ม

ข้อ 10. เมื่อสร้างกำแพงกันดินแล้ว เกิดภาวะ แรงดันดินเชิงรุก (Active Lateral Earth Pressure) ต่อกำแพงกันดินแรงดันนี้ มีลักษณะตามข้อใด

ก. ดินจะเกิดการขยายตัวทำให้เกิดแรงกระจายขึ้นบนผิวดิน

ข. การทำให้ตัวกำแพงกันดินเคลื่อนที่ออกจากมวลดิน

ค. มวลดินจะส่งแรงกระทำด้านข้างต่อกำแพงกันดินลงด้านล่าง

ง. ถูกทุกข้อ

ข้อ11. ตัวแปรใดที่ไม่มีผลต่อความฝืดของผิวกำแพงกันดิน

ก. ปริมาณ และ ทิศทางการเคลื่อนที่ของกำแพง

ข. สภาพพื้นผิวของกำแพงด้านที่ติดกับดิน

ค. ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำกำแพง

ง. ไม่มีข้อถูก

ข้อ12. ในกรณีแรงดันดินเชิงรุก (Active lateral earth pressure) ดินในลักษณะใดทำให้เกิดปริมาณการเคลื่อนที่มากที่สุด

ก. ดินเหนียวแข็ง

ข. ดินเหนียวอ่อน

ค. ดินทรายหลวมปานกลาง

ง. ดินทรายแน่น

ข้อ 13. การเปลี่ยนแปลง ระดับของดินธรรมชาติ ไม่ว่าจะเป็นโดยการขุด หรือ การถม จะทำให้ ดินพยายามเคลื่อนตัว ไปยังส่วนที่ต่ำกว่าการเปลี่ยนแปลงระดับของดินนี้ จะมีความสูงจำกัด H_{cr} (Critical Height) ข้อใดกล่าวถึง ความสูงจำกัด H_{cr} ไม่ถูกต้อง

ก. ระดับของดินที่ไม่เคลื่อนตัวไปทิศทางใด

ข. ระดับที่ดินยังสามารถอยู่ในสภาพสมดุล เนื่องจากยัง มี แรงยึดเหนี่ยว และ แรงเสียดทาน ต้านอยู่

ค. ก่อนถึงระดับของความสูงจำกัดนี้ ดินก็จะเกิดการวิบัติ

ง. เป็นระดับที่เป็นต้องสร้างกำแพงกันดินขึ้นเพื่อป้องกันการวิบัติของดิน

ข้อ 14. ข้อใดไม่ใช่องค์ประกอบที่ต้องพิจารณาในการคำนวณหาแรงดันที่กระทำต่อกำแพงกันดิน

ก. การทำร่องซับน้ำ ไว้ในดินถมหลังกำแพง

ข. การทดสอบคุณสมบัติการยุบอัดของดินทราย

ค. สภาพพื้นผิวของกำแพงด้านที่ติดกับดิน

ง. น้ำหนักบรรทุกบนผิวดินด้านเหนือกำแพงกันดิน

ข้อ15. การใช้งานทางวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับ Uplift ใช้เพื่อวัตถุประสงค์รับแรงดึงที่จะเกิดขึ้นของโครงสร้างเนื่องจากข้อใด

ก. Hydraulic Pressure

ข. Retaining Structure

ค. Tunnel Lining

ง. Stabilizing Slope

ข้อ16. เมื่อมีแรงดึงมากระทำกับสมอที่ถูกฝังในทรายระดับตื้นๆ ที่แผ่นสมอจะมี Maximum Stress เกิดขึ้น หน่วยแรงนี้จะเกิดขึ้นตำแหน่งใดอย่างไร

ก. เกิดขึ้นที่ผิวใต้แผ่นสมอ

ข. เกิดขึ้นผิวบนแผ่นสมอ

ค. เกิดขึ้นตรงรอยต่อของก้านสมอ

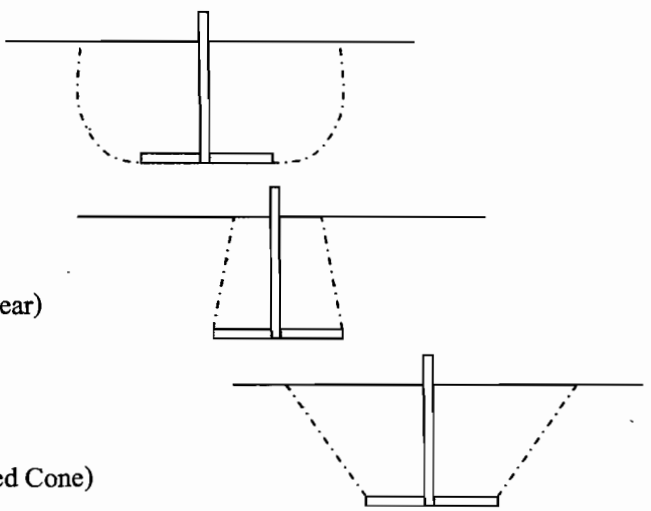
ง. เกิดขึ้นทุกทิศทางรอบๆแผ่นสมอ

ข้อ17. รูปแบบการพิบัติของสมอที่ฝังอยู่ในดินทราย ในขณะรับแรงดึงจนถึงระดับการรับน้ำหนักประลัยมีจะลักษณะอย่างไร

ก. แบบกรวยโค้ง (Curve Cone)

ข. ทรงกระบอก(Cylindrical Shear)

ค. เป็นแบบกรวยตรง (Truncated Cone)



ง. ข้อ ก และ ข ถูก

ข้อ18. ข้อใดไม่เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อแนวโน้มของค่า Bearing Capacity Factor (N_γ)

ก. อัตราส่วนระหว่างความกว้างของสมอกับมุม Friction Angle

ข. อัตราส่วนระหว่างความลึกของสมอต่อความกว้างของสมอ

ค. อัตราส่วนระหว่างความกว้างของสมอกับความแน่นของดิน

ง. อัตราส่วนระหว่างความลึกของสมอกับความแน่นของดิน

ข้อ19. เมื่อเราทำการทดสอบด้วยการหมุนเหวี่ยง "Centrifuge modeling" ของสมอสี่เหลี่ยมหน้าตัด 0.75 cm. กับ 1.5 cm. เพื่อให้ได้ค่า N_γ ของสมอที่มีผลสอดคล้อง ท่านต้องควบคุมค่า g-level ให้มีลักษณะเป็นแบบข้อใด

ก. สมอหน้าตัด 0.75 cm. g-level เท่ากับ 7.5 : สมอหน้าตัด 1.5 cm. g-level เท่ากับ 1.5

ข. สมอหน้าตัด 0.75 cm. g-level เท่ากับ 1.5 : สมอหน้าตัด 1.5 cm. g-level เท่ากับ 7.5

ค. สมอหน้าตัด 0.75 cm. g-level เท่ากับ 20 : สมอหน้าตัด 1.5 cm. g-level เท่ากับ 40

ง. สมอหน้าตัด 0.75 cm. g-level เท่ากับ 40 : สมอหน้าตัด 1.5 cm. g-level เท่ากับ 20

ข้อที่ 20. การทดสอบสมอที่ฝังอยู่ในทรายอัดแน่น โดยใช้เครื่อง Centrifuge ตามวิธีการของ Ovensen's ในการออกแบบจำลองแบบสมอนั้นจำเป็นต้องออกแบบให้มีความกว้างของสมอไม่น้อยกว่ากี่เท่าของขนาดเม็ดดิน (d_g) ที่จะทำให้ผลการทดสอบให้มีค่าผิดพลาดน้อยที่สุด

ก. 10 เท่า
ข. 20 เท่า
ค. 30 เท่า
ง. 40 เท่า

<u>คำตอบ</u>

ข้อที่ 1.	ค	ข้อที่ 11.	ง
ข้อที่ 2.	ค	ข้อที่ 12.	ข
ข้อที่ 3.	ง	ข้อที่ 13.	ค
ข้อที่ 4.	ก	ข้อที่ 14.	ข
ข้อที่ 5.	ก	ข้อที่ 15.	ก
ข้อที่ 6.	ก	ข้อที่ 16.	ค
ข้อที่ 7.	ข	ข้อที่ 17.	ข
ข้อที่ 8.	ข	ข้อที่ 18.	ค
ข้อที่ 9.	ค	ข้อที่ 19.	ง
ข้อที่ 10.	ข	ข้อที่ 20.	ค

ภาคผนวก จ.

คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ตารางที่ จ 1 แสดงผลการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังจากการเรียนด้วยชุดทดลอง

คะแนนเต็มของการทดสอบ 20 คะแนน

ร้อยละของคะแนนเกณฑ์ที่ต้องการทดสอบ 80 %

ผู้เรียนคนที่	คะแนนสอบหลังเรียน (Post-test)	ผู้เรียนคนที่	คะแนนสอบหลังเรียน (Post-test)
1	17	10	16
2	15	11	17
3	17	12	16
4	16	13	14
5	16	14	15
6	16	15	16
7	16	16	16
8	15	17	15
9	17	18	17

ตารางที่ จ 2 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสถิติทดสอบที และระดับนัยสำคัญทางสถิติ t- test one Sampleของการทดสอบเปรียบเทียบเกณฑ์ร้อยละ80กับคะแนนสอบหลังเรียนของนักเรียน

การทดสอบ	n	คะแนนเต็ม	Mean	S.D.	% of Mean	t	Sig
หลังเรียน	18	20	15.94	0.87	79.72	-0.27	1.000

จากตาราง พบว่า การทดสอบหลังเรียนของผู้เรียนที่เรียนด้วยชุดทดลองมีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 15.94 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 79.72 และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเกณฑ์ ร้อยละ 80 กับคะแนนสอบหลังเรียนของนักเรียน พบว่า คะแนนสอบหลังเรียนของนักเรียนไม่สูงกว่าเกณฑ์

ตารางที่ จ 3 แสดงผลการทดสอบวัดความรู้ผู้เรียนเพื่อหาประสิทธิภาพของชุดทดลอง

ผู้เรียนคนที่	คะแนนท้ายการเรียนทดลอง				คะแนนสอบหลังเรียน
	ใบงานที่ 1 (10)	ใบงานที่ 2 (10)	ใบงานที่ 3 (10)	คะแนนรวม (30)	Post-test (20)
1	6	9	7	22	17
2	7	8	8	23	15
3	8	8	8	24	17
4	8	9	7	24	16
5	8	9	8	25	16
6	9	7	9	25	16
7	8	8	9	25	16
8	8	9	9	26	15
9	8	9	10	27	17
10	9	8	7	24	16
11	7	9	8	24	17
12	9	8	8	25	16
13	7	7	7	21	14
14	8	10	8	26	15
15	9	7	9	25	16
16	7	8	8	23	16
17	8	9	9	26	15
18	8	8	8	24	17
รวม	142	150	147	439	287
เฉลี่ยคะแนนท้ายการเรียนทดลองและคะแนนสอบหลังเรียน				24.38	15.94
เฉลี่ยร้อยละ(E_1) และ (E_2)				81.30	79.72
				สูงกว่าเกณฑ์	ต่ำกว่าเกณฑ์

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวอินทร์ธิรา คำภีระ
วัน เดือน ปีเกิด	27 มกราคม 2520
ประวัติการศึกษา	
ระดับประกาศนียบัตร	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างก่อสร้าง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตตาก พ.ศ.2539
ระดับปริญญาตรี	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ.2541
ระดับปริญญาโท	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ.2550
ทุนการศึกษาหรือทุนวิจัย	ทุนพัฒนาบุคลากรคณะครุศาสตร์อุสาหกรรมและเทคโนโลยี งบประมาณโครงการความร่วมมือ – สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวะศึกษา 2546-2548
ประวัติการทำงาน	ตำแหน่งอาจารย์ อัตราจ้าง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตตาก พ.ศ.2542-2543
	ตำแหน่ง อาจารย์ประจำ จ้างรายปี ภาควิชาครุศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2544 - ปัจจุบัน
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์	อินทร์ธิรา คำภีระ,กิติเดช สันติชัยอนันต์, **ชุดการทดลองการจำลองแบบหมุนเหวี่ยง เพื่อการเรียนการสอนวิชาวิศวกรรมฐานราก,** การประชุมวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรมแห่งชาติ ครั้งที่ 1 เรื่อง นวัตกรรมการเรียนรู้ทางด้านอาชีวศึกษา ในทศวรรษหน้า, 7-8 ธันวาคม 2549, หน้า 18-30.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ข้อตกลงว่าด้วยการโอนสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาของนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

วันที่ 14 กรกฎาคม พ.ศ. 2551

ข้าพเจ้า นางสาว อินทร์ธิรา คำภีระ รหัสประจำตัว 46420328 เป็นนักศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี อยู่บ้านเลขที่ 561 ถนนมหาดไทย บำรุง ตำบลระแหง อำเภอเมือง จังหวัดตาก 63000 ขอโอนลิขสิทธิ์วิทยานิพนธ์ให้ไว้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยมี รศ.ดร. ศักดิ์ กองสุวรรณ ตำแหน่ง คณบดี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี เป็นผู้รับโอนลิขสิทธิ์และมีข้อตกลงดังนี้

1. ข้าพเจ้าได้จัดทำวิทยานิพนธ์เรื่อง ต้นแบบชุดการทดลองแบบหมุนเหวี่ยง เพื่อพัฒนาการเรียนการสอน วิชาวิศวกรรมฐานราก ซึ่งอยู่ในความควบคุมของ ผศ.ดร. กิติเดช สันติชัยอนันต์ ตามมาตรา 14 แห่ง พ.ร.บ.ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 และถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

2. ข้าพเจ้าตกลงโอนลิขสิทธิ์จากผลงานทั้งหมดที่เกิดขึ้น จากการสร้างสรรค์ของข้าพเจ้าในวิทยานิพนธ์ให้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ตลอดอายุแห่งการคุ้มครองลิขสิทธิ์ตามมาตรา 23 แห่งพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 ตั้งแต่วันที่ได้รับอนุมัติโครงร่างวิทยานิพนธ์จากมหาวิทยาลัย

3. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปใช้ในการเผยแพร่ในสื่อใดๆ ก็ตามข้าพเจ้าจะต้องระบุวิทยานิพนธ์เป็นผลงานของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีทุกๆ ครั้งที่มีการเผยแพร่

4. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปเผยแพร่ หรืออนุญาตให้ผู้อื่นทำซ้ำหรือดัดแปลงหรือเผยแพร่ต่อสาธารณชนหรือกระทำการอื่นใด ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 โดยมีค่าตอบแทนในเชิงธุรกิจ ข้าพเจ้าจะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีก่อน

5. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำข้อมูลจากวิทยานิพนธ์ไปประดิษฐ์หรือพัฒนาต่อยอดเป็นสิ่งประดิษฐ์หรืองานทรัพย์สินทางปัญญา ภายในระยะเวลาสิบ (10) ปีนับจากวันลงนามในข้อตกลงฉบับนี้ ข้าพเจ้าจะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีมีสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญานั้น พร้อมกับได้รับชำระค่าตอบแทนการอนุญาตให้ใช้สิทธิดังกล่าว รวมถึงการจัดสรรผลประโยชน์อันพึงเกิดขึ้นจากส่วนใด