10th ANNIVERSARY
OF NARESUAN UNIVERSITY
PUBLISHING HOUSE

Introduction
GEOLOGY
for Civil Engineering
ธรณีวิทยาเบื้องต้น
สำหรับวิศวกรรมโยธา

ทิพย์วิมล แตะกระโทก

สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร
Naresuan University Publishing House
www.nupress.grad.nu.ac.th

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ
National Library of Thailand Cataloging in Publication Data

ทิพย์วิมล แตะกระโทก.
ธรณีวิทยาเบื้องต้นสำหรับวิศวกรรมโยธา = Geology for civil engineering.--พิษณุโลก : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2564.
362 หน้า.
1. ธรณีวิทยา. 2. ธรณีวิศวกรรม. I.ชื่อเรื่อง.

551
ISBN 978-616-426-238-6
ISBN (e-book) 978-616-426-239-3
สพน. 99
ราคา **450** บาท

พิมพ์ครั้งที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2564

สงวนลิขสิทธิ์ ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 โดยสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร ห้ามการลอกเลียนไม่ว่าส่วนใดส่วนหนึ่งของหนังสือเล่มนี้ ไม่ว่าในรูปแบบใด ๆ นอกจากจะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร เท่านั้น

ผู้จัดพิมพ์ สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร

มีวางจำหน่ายที่ **1. ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**
สาขา ศาลาพระเกี้ยว กรุงเทพฯ โทร. 0 2218 7000-3
สยามสแควร์ อาคารวิทยกิตติ์ กรุงเทพฯ โทร. 0 2218 9881, 0 2255 4433
มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก โทร. 0 5526 0162-5
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา โทร. 0 4421 6131-2
มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี โทร. 0 3839 4855-9
โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า (รร.จปร.) จังหวัดนครนายก โทร. 0 3739 3023, 0 3739 3036
จัตุรัสจามจุรี กรุงเทพฯ โทร. 0 2160 5301
มหาวิทยาลัยพะเยา โทร. 0 5446 6799, 0 5446 6800
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน โทร. 0 4492 2662-3
สาขาย่อยคณะครุศาสตร์จุฬาฯ โทร. 0 2218 3979
สาขาหัวหมาก โทร. 0 2374 1378
2. ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อาคารวิทยบริการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทร. 0 2579 0113
3. ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ อาคารอเนกประสงค์ ชั้น 1 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ถนนพระจันทร์ แขวงพระบรมมหาราชวัง เขตพระนคร กรุงเทพฯ 10200 โทร. 0 2613 3899, 0 2623 6493
สาขา ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ โทร. 0 5394 4990-1
ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา โทร. 0 7428 2980, 0 7428 2981
ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา จังหวัดยะลา โทร. 0 7329 9980
4. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร อาคารมหาธรรมราชา จังหวัดพิษณุโลก 65000 โทร. 0 5596 8833 ถึง 8836

กองบรรณาธิการ กองบรรณาธิการจัดทำเอกสารสิ่งพิมพ์ทางวิชาการของสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร
ออกแบบปก สรญา แสงแย็นพันธ์ ภาพโดย สัญญา จันทา
จัดรูปเล่ม สัญญา จันทา
พิมพ์ที่ บริษัท กู๊ดเฮด พริ้นท์ติ้ง แอนด์ แพคเกจจิ้ง กรุ๊ป จำกัด 6/1 นิคมอุตสาหกรรมบางชัน ซอยเสรีไทย 58 แขวงมีนบุรี เขตมีนบุรี กรุงเทพฯ 10510

สำนักพิมพ์นี้เป็นสมาชิกสมาคมผู้จัดพิมพ์และผู้จำหน่ายหนังสือแห่งประเทศไทย
http://www.thaibooksociety.com

พิมพ์บน
กระดาษถนอมสายตา ห่วงใยสายตาคุณ
กระดาษคุณภาพ เพื่อผลงานคุณภาพ

กรณีต้องการสั่งซื้อหนังสือปริมาณมาก หรือเข้าชั้นเรียนติดต่อได้ที่ฝ่ายจัดจำหน่ายสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร

nuph@nu.ac.th สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร
0 5596 8833-8836 nu_publishing

คำนำ

ความรู้ด้านธรณีวิทยาเป็นศาสตร์ที่มีความสำคัญต่อวิศวกรโยธาเป็นอย่างมาก สภาวิศวกรจึงได้บรรจุวิชานี้เป็นส่วนหนึ่งในหลักสูตรระดับปริญญาตรีในสาขาวิศวกรรมโยธาของมหาวิทยาลัยในประเทศไทยรวมทั้งหลักสูตรของมหาวิทยาลัยนเรศวรธรณีวิทยาสำหรับวิศวกรของคณะวิศวกรรมศาสตร์มีเนื้อหาวิชาประกอบไปด้วยการศึกษาวัสดุในธรรมชาติและวัสดุสำหรับก่อสร้างที่ธรรมชาติสร้างขึ้นโดยเน้นวัสดุประเภทหิน ซึ่งมีเนื้อหาโดยสรุปเป็นการศึกษาลักษณะโครงสร้างของหินในธรรมชาติปรากฏการณ์ทางธรรมชาติต่าง ๆ เช่น การเกิดดินถล่ม เกิดคลื่นสึนามิ การกัดเซาะ รวมทั้งการประยุกต์ใช้สำหรับงานวิศวกรรมโยธา เช่น การวิเคราะห์เสถียรภาพของหินเมื่อมีฐานรากถนน ฐานรากเขื่อน จนกระทั่งถึงการหาแหล่งวัสดุก่อสร้าง การแก้ไขปรับปรุงวัสดุก่อสร้างให้ได้ตามข้อกำหนดทางวิศวกรรมโยธาประเภทต่าง ๆ ธรณีวิทยาสำหรับแหล่งน้ำใต้ดินและธรณีวิทยาสำหรับแม่น้ำ

สำหรับหนังสือเล่มนี้มีวัตถุประสงค์หลักคือให้นักศึกษารู้จักวัสดุและแหล่งกำเนิดทางธรรมชาติและลักษณะทางกายภาพโดยทั่วไป รวมถึงการนำความรู้ในรายละเอียดดังกล่าวไปใช้งานในงานวิศวกรรมโยธา หนังสือเล่มนี้จะเป็นสื่อเพื่อให้นักศึกษาสามารถเข้าใจในเนื้อหาต่าง ๆ ที่ครอบคลุมรายวิชาธรณีวิทยาสำหรับวิศวกรโยธา

ทิพย์วิมล แตะกระโทก

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ 1

ธรณีวิทยาสำหรับวิศวกร 2

ความรู้พื้นฐานด้านธรณีวิทยา 4

สรุป 19

แบบฝึกหัด 20

บทที่ 2 แร่ 21

แร่ประกอบหินในกลุ่มสีเข้ม 33

แร่ในกลุ่มสีอ่อน 34

สรุป 49

แบบฝึกหัด 49

บทที่ 3 หินอัคนี 51

วัฏจักรของหิน 52

หลักการทำปฏิกิริยาของ Bowen 52

หินอัคนี 55

หินอัคนีที่เกิดและพบอยู่ภายใต้เปลือกโลก 56

เนื้อหินอัคนี 57

การจัดแบ่งหินอัคนี 57

การพิจารณาทางธรณีวิทยาในการวิเคราะห์ความสามารถในการรับแรง 61

ความสำคัญของลักษณะทางกายภาพ หรือชนิดของหิน 61

การจำแนกประเภทของหินเชิงวิศวกรรม 62

ลักษณะการใช้หินอัคนีในงานก่อสร้าง 67

สรุป 69

แบบฝึกหัด 69

บทที่ 4 หินตะกอน 71
หินชั้นหรือหินตะกอน 72
การรวมตัวกลายเป็นหิน 73
การแบ่งประเภทของหินตะกอน 74
ลักษณะสำคัญของตะกอน 76
การวางชั้นหรือชั้นหิน 80
สรุป 84
แบบฝึกหัด 84

บทที่ 5 หินแปร 87
หินแปร 88
หินแปรชนิดที่มีการเรียงตัว 90
ชนิดของหินแปร 91
การแปรสภาพมักเกิดตามขอบของแผ่นเปลือกโลก 93
สรุป 101
แบบฝึกหัด 101

บทที่ 6 การประเมินคุณภาพของหินในงานวิศวกรรมโยธา 103
คำจำกัดความของหินประเภทต่าง ๆ 104
การประเมินความเหมาะสมของมวลหิน และหินอินแทค 105
การจัดจำแนกประเภทมวลหินทางวิศวกรรม 105
การประยุกต์ใช้ RMR ในการทำเหมืองแร่ 121
สรุป 130
แบบฝึกหัด 130

บทที่ 7 การประเมินเสถียรภาพทางลาดชันของดินและหิน 133
การวิเคราะห์เสถียรภาพของทางลาดชันในชั้นหิน 146
ชั้นหินคดโค้ง 146
แนวแตก 147
รอยเลื่อน 148

บริเวณการเกิดแรงเฉือน 150
โครงสร้างของรอยเลื่อน 151
การจำแนกประเภทของรอยเลื่อน 151
ลักษณะทางกายภาพของรอยเลื่อน 152
การเคลื่อนที่แบบ Slip 153
ลักษณะโดยทั่วไปของ Stereonet 155
การแทนลูกบอลชายหาดในการแทนกลศาสตร์ของแผ่นดินไหว 157
การแทนความไม่ต่อเนื่อง (รอยแยก รอยแตก รอยเลื่อน) ลงใน Stereonet 159
การใช้ Pole แทนระบบของรอยเลื่อน 166
การใช้ Stereonet ในการคำนวณเสถียรภาพในหิน 169
การพิบัติแบบวงกลม 169
การพิบัติแบบระนาบ 170
การพิบัติแบบ Toppling 171
การพิบัติแบบรูปลิ่ม 172
สรุป 179
แบบฝึกหัด 179

บทที่ 8 ธรณีวิทยาสำหรับแหล่งวัสดุก่อสร้าง 181
แหล่งทราย 182
การจำแนกประเภทของทรายตามต้นกำเนิด 183
แหล่งหิน 184
การคำนวณปริมาณของวัสดุก่อสร้าง 187
การประมาณปริมาณวัสดุของแหล่งก่อสร้าง 201
การแก้ไขปัญหาแหล่งวัสดุสำหรับงานโยธา 206
สรุป 213
แบบฝึกหัด 214

บทที่ 9 ขบวนการแม่น้ำ 215
วัฏจักรของน้ำและสมการปริมาณน้ำฝน 216
ปัจจัยที่สัมพันธ์กับน้ำท่า 217
ชนิดของน้ำท่า 218

คำนิยามของการไหลของกระแสน้ำ 218
การกระทำของน้ำ 223
ลักษณะทางกายภาพของแม่น้ำ 228
พื้นที่รับน้ำและเส้นแบ่งเขตลุ่มน้ำ 229
ลักษณะทางกายภาพบริเวณหุบเขาที่มีน้ำเป็นตัวนำพา 229
การพิจารณาผลกระทบต่องานด้านวิศวกรรม 234
ปัญหาการไหลของน้ำในพื้นที่สูง 236
สรุป 236
แบบฝึกหัด 237

บทที่ 10 ธรณีวิทยาสำหรับฐานรากถนน 239
ตัวอย่างการคำนวณปริมาตรดินตัดดินถม 241
ส่วนประกอบของถนน 243
สรุป 264
แบบฝึกหัด 264

บทที่ 11 ธรณีวิทยาสำหรับงานเขื่อน 265
ธรณีวิทยาสำหรับโครงสร้างเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ 266
การสำรวจสภาพทางธรณีวิทยา 266
การสร้างเขื่อนในบริเวณหินอัคนีและหินแปร 266
การสร้างเขื่อนในบริเวณหินตะกอน 268
ธรณีวิทยาบริเวณอ่างเก็บน้ำ 274
ฐานรากเขื่อน 275
การออกแบบเขื่อนคอนกรีต 276
การพิจารณาโครงสร้างทางธรณีวิทยาของหินฐานรากเขื่อน 277
สรุป 285
แบบฝึกหัด 286

บทที่ 12 ธรณีวิทยาสำหรับแหล่งน้ำใต้ดิน 287
การพิจารณาด้านวิศวกรรม 289
การกำเนิดแหล่งน้ำใต้ดิน 289

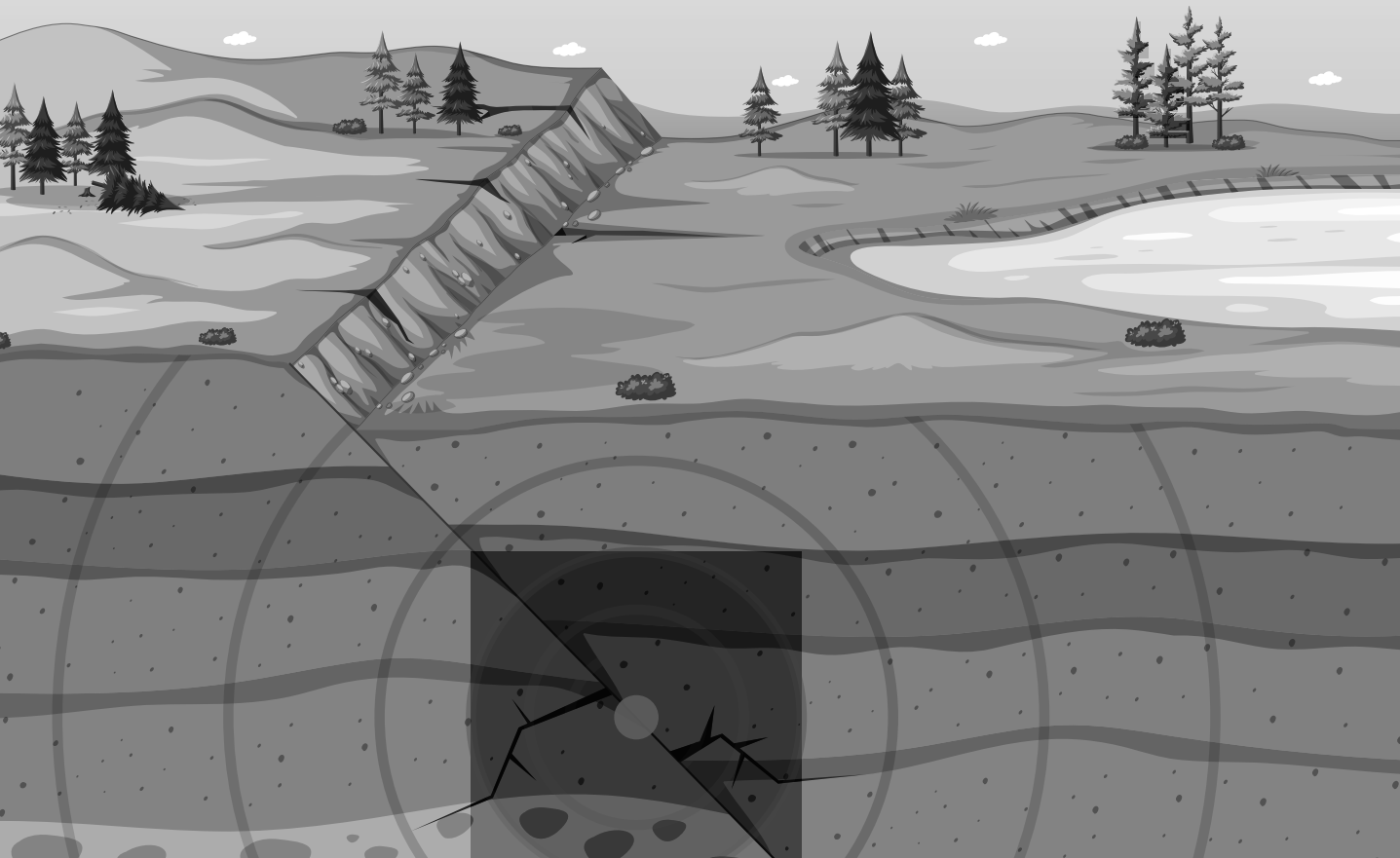
การกระจายของน้ำใต้ดิน 292
ความพรุนและสมบัติที่เกี่ยวข้อง 300
ความสามารถในการซึมผ่าน 304
ผลกระทบของน้ำบาดาลต่อปัญหาทางด้านวิศวกรรม 315
สรุป 316
แบบฝึกหัด 316

บทที่ 13 ขบวนการบนชายฝั่งทะเล 319
การเคลื่อนที่ของคลื่นในทะเล 320
คลื่นเคลื่อนที่แบบวนลูป 321
การลดทอนตามความลึก 322
การเทียบความเร็วลมและความเร็วคลื่น 323
สึนามิ 323
คลื่นในน้ำทะเลตื้น 323
ทางเดินคลื่นและแรงกัดเซาะ 325
การเคลื่อนที่ของตะกอนเลียบชายฝั่ง 326
การเคลื่อนที่ของคลื่นตามแนวชายฝั่ง 327
ปรากฏการณ์น้ำขึ้นน้ำลง 328
อิทธิพลของพายุ 329
การกัดเซาะบริเวณชายฝั่ง 330
ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการกัดเซาะโดยคลื่น 330
ลักษณะกายภาพของภูเขาหินบริเวณชายฝั่ง 330
สภาวะสมดุลใหม่ 332
การตกตะกอนของพื้นที่ชายฝั่งทะเล 333
ปากแม่น้ำ 335
การจัดประเภทของชายฝั่ง 336
โครงสร้างป้องกันชายฝั่ง 337
สรุป 346
แบบฝึกหัด 346

บรรณานุกรม 347
ดัชนี 349

01

บทนำ



ธรณีวิทยาที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมโยธามักเกี่ยวข้องกับการสำรวจประเภทของหิน สภาพชั้นหิน โครงสร้างของชั้นหิน หลักการหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับธรณีวิทยาที่สำคัญคือ ทฤษฎี Uniformitarianism ซึ่งก่อตั้งโดย James Hutton

James Hutton (3 มิถุนายน ค.ศ. 1726 ถึง 26 มีนาคม ค.ศ. 1797) เป็นนักฟิสิกส์ นักธรณีวิทยา และนักเคมีชาวสก๊อตแลนด์เป็นผู้ก่อตั้งทฤษฎี Uniformitarianism ซึ่งเป็นทฤษฎีหลักในวิชาธรณีวิทยาที่อธิบายถึงขบวนการทางธรรมชาติที่เกิดบนพื้นผิวโลกตามระยะเวลาซึ่ง Hutton ได้ชื่อว่าเป็นบิดาของวิชาธรณีวิทยาสมัยใหม่ (Father of Modern Geology) ทฤษฎี Uniformitarianism กล่าวถึงการไม่เปลี่ยนแปลงของหลักพื้นฐานของวิทยาศาสตร์ซึ่ง Uniformitarianism มีหลักการว่าเหตุการณ์หรือวัสดุบนพื้นผิวของโลกที่ถูกเปลี่ยนแปลงเนื่องมาจากขบวนการต่าง ๆ อย่างค่อยเป็นค่อยไป โดยมีคำกล่าวถึง “The present is the key to the past” สามารถสรุปแบบง่าย ๆ คือ เหตุการณ์ใด ๆ ที่เกิดขึ้นในปัจจุบันจะเหมือนกับเหตุการณ์นั้น ๆ ที่ได้เคยเกิดขึ้นมาแล้วในอดีตด้วยอัตราการเปลี่ยนแปลงที่เท่า ๆ กัน

ธรณีวิทยาสำหรับวิศวกร

ลักษณะงานของวิศวกรรมโยธา เช่น โครงสร้างอาคาร โครงสร้างเหล็ก งานเขื่อน งานกำแพงกันดิน งานอุโมงค์ และอื่น ๆ ล้วนเกี่ยวข้องกับวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง เช่น คอนกรีต หิน ดิน ทราย โดยวัสดุในการก่อสร้างเหล่านั้นเป็นวัสดุที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติถึงแม้ว่าคอนกรีตซึ่งประกอบด้วย ซีเมนต์ ทราย หิน ซึ่งซีเมนต์ก็ทำมาจากหินปูน ดังนั้นวิศวกรโยธาจึงไม่สามารถหลีกเลี่ยงความรู้หรือศาสตร์ทางด้านธรณีวิทยาได้เลย การประยุกต์ใช้ศาสตร์ทางด้านธรณีวิทยาใช้ร่วมกับงานวิศวกรรมโยธาบางครั้งถูกเรียกว่า ธรณีวิศวกรรม ถ้าวิศวกรสามารถประยุกต์ความรู้ทางด้านธรณีวิทยาเข้ากับงานด้านวิศวกรรมได้จะทำให้โครงสร้างมีความมั่นคงและไม่ก่อให้เกิดปัญหาที่ไม่พึงประสงค์ตามมา โดยทั่วไปธรณีวิทยายังสามารถนำไปใช้กับวิศวกรรมด้านต่าง ๆ อีกด้วย เช่น วิศวกรรมปิโตรเลียม วิศวกรรมเหมืองแร่ วิศวกรรมก่อสร้างที่เป็นพื้นฐานความรู้ในวิศวกรรมด้านต่าง ๆ ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน

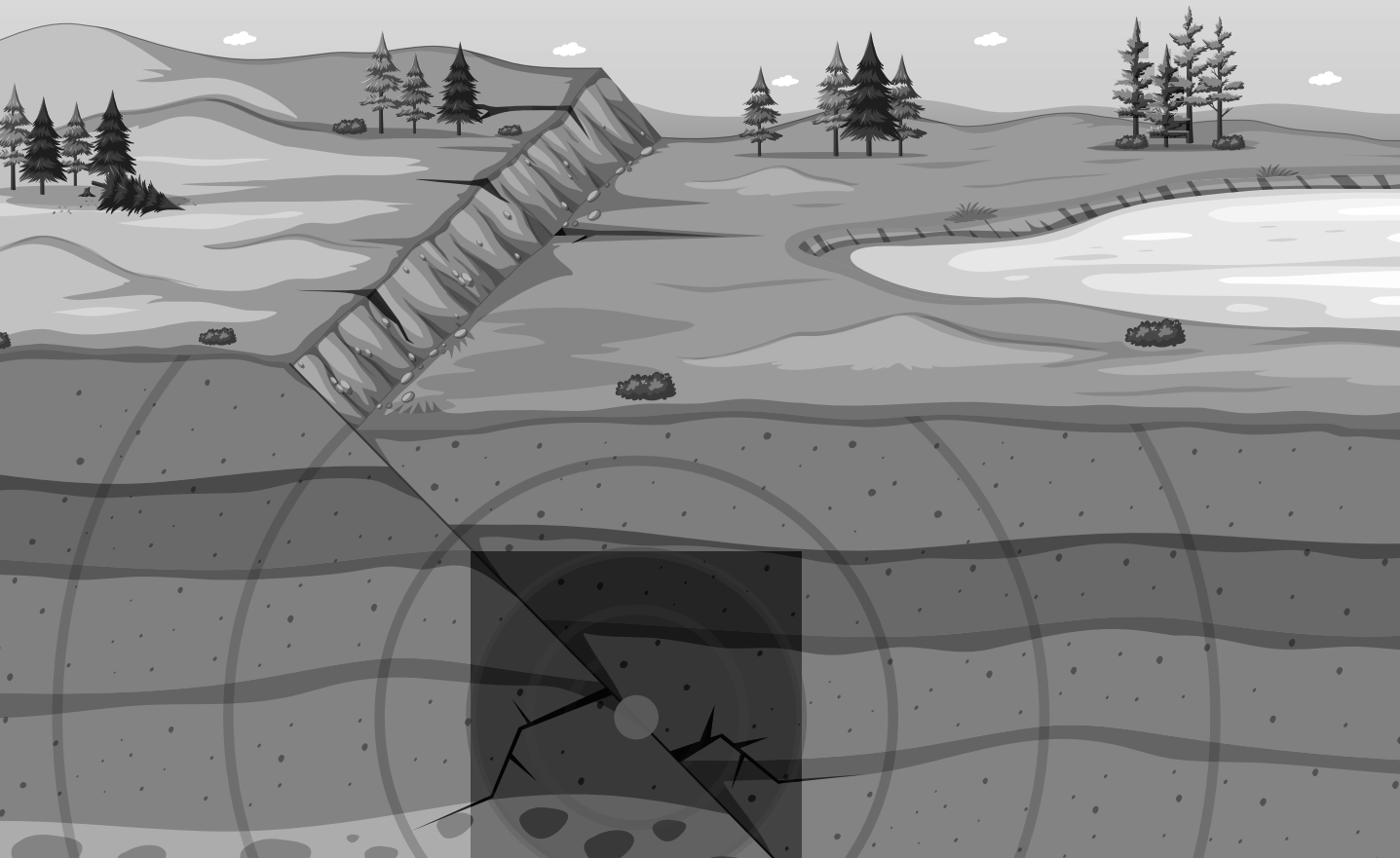
ธรณีวิศวกรรมมีเนื้อหาประกอบไปด้วย พื้นฐานความรู้ในด้านวัสดุ การก่อสร้าง พฤติกรรมของชั้นหิน ในการวางฐานรากจำเป็นต้องมีความรู้ด้านการกำเนิดของหินและดินซึ่งในที่นี้จะเป็นการปูพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ความรู้พื้นฐานด้านธรณีวิทยาสำหรับวิศวกรโยธา

หัวข้อ	เนื้อหา
1	ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นในโลก ประกอบด้วย การเกิดของโลก องค์ประกอบของโลก และอื่น ๆ

02

แร่



นักธรณีวิทยาได้สำรวจแร่และหินที่ปรากฏบนเปลือกโลกรวมทั้งสารประเภทอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ปรากฏอยู่บนโลก สารอินทรีย์เป็นสารที่มาจากสิ่งมีชีวิต เช่น พืชและสัตว์ ส่วนสารอนินทรีย์เป็นสารประกอบที่ไม่มีธาตุคาร์บอนเป็นส่วนประกอบ นักธรณีวิทยาได้ให้คำจำกัดความของแร่ คือ ธาตุหรือสารประกอบอนินทรีย์เนื้อเดียวที่เกิดขึ้นในธรรมชาติมีโครงสร้างที่ค่อนข้างแน่นอนหรือมีการเปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อยซึ่งมีสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีที่ค่อนข้างคงที่ตายตัวทำให้สามารถบ่งบอกชนิดของแร่แต่ละชนิดได้ส่วนแร่เกิดจากหินหนืด (Magma) มีส่วนประกอบของหินหนืดประกอบไปด้วยแร่ชนิดต่าง ๆ แร่บางชนิดที่อยู่ในรูปของของเหลวเนื่องมาจากอิทธิพลของอุณหภูมิสูงใต้เปลือกโลก จนกระทั่งเมื่อหินหนืดลดอุณหภูมิเมื่ออยู่ใกล้ผิวโลกทำให้ธาตุต่าง ๆ ตกผลึกออกมาเนื่องมาจากแร่ชนิดต่าง ๆ นั้นมีจุดหลอมละลายแตกต่างกันไปเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมละลายแร่ย่อมเปลี่ยนสภาวะของตัวเองเป็นรูปผลึกแข็งตัวขึ้น (ยกตัวอย่างเช่นน้ำเปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นของแข็งเมื่ออุณหภูมิลดลง) ปัจจุบันพบว่าชนิดของแร่มีมากกว่า 2000 กว่าชนิดซึ่งสามารถแบ่งชนิดของแร่ได้จากลักษณะเฉพาะตัวและเป็นเอกลักษณ์ของแร่นั้น ๆ แตกต่างจากแร่ประเภทอื่น ๆ แร่เป็นสารอนินทรีย์ที่มีส่วนประกอบทางเคมีแตกต่างกันไป ธรรมชาติการจัดเรียงตัวของอะตอมในแต่ละประเภทของแร่ทำให้แร่แต่ละประเภทแตกต่างกัน

ดังนั้น แร่แต่ละประเภทจึงมีสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีแตกต่างกัน สมบัติทางเคมีเหล่านั้นทำให้สามารถบ่งบอกชนิดของแร่ได้และสามารถใช้จำแนกประเภทของแร่ด้วย สี รูปผลึกความวาว และสีผง เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งประเภทของแร่โดยใช้การจัดเรียงตัวของผลึก การจัดเรียงตัวของอะตอมจะทำให้ลักษณะทางกายภาพแตกต่างกันถ้าแบ่งแร่ตามองค์ประกอบทางเคมีสามารถแบ่งแร่ได้เป็นหลาย ๆ กลุ่มแต่กลุ่มที่มีมากที่สุดคือกลุ่มที่มีซิลิเกต

การจำแนกแร่

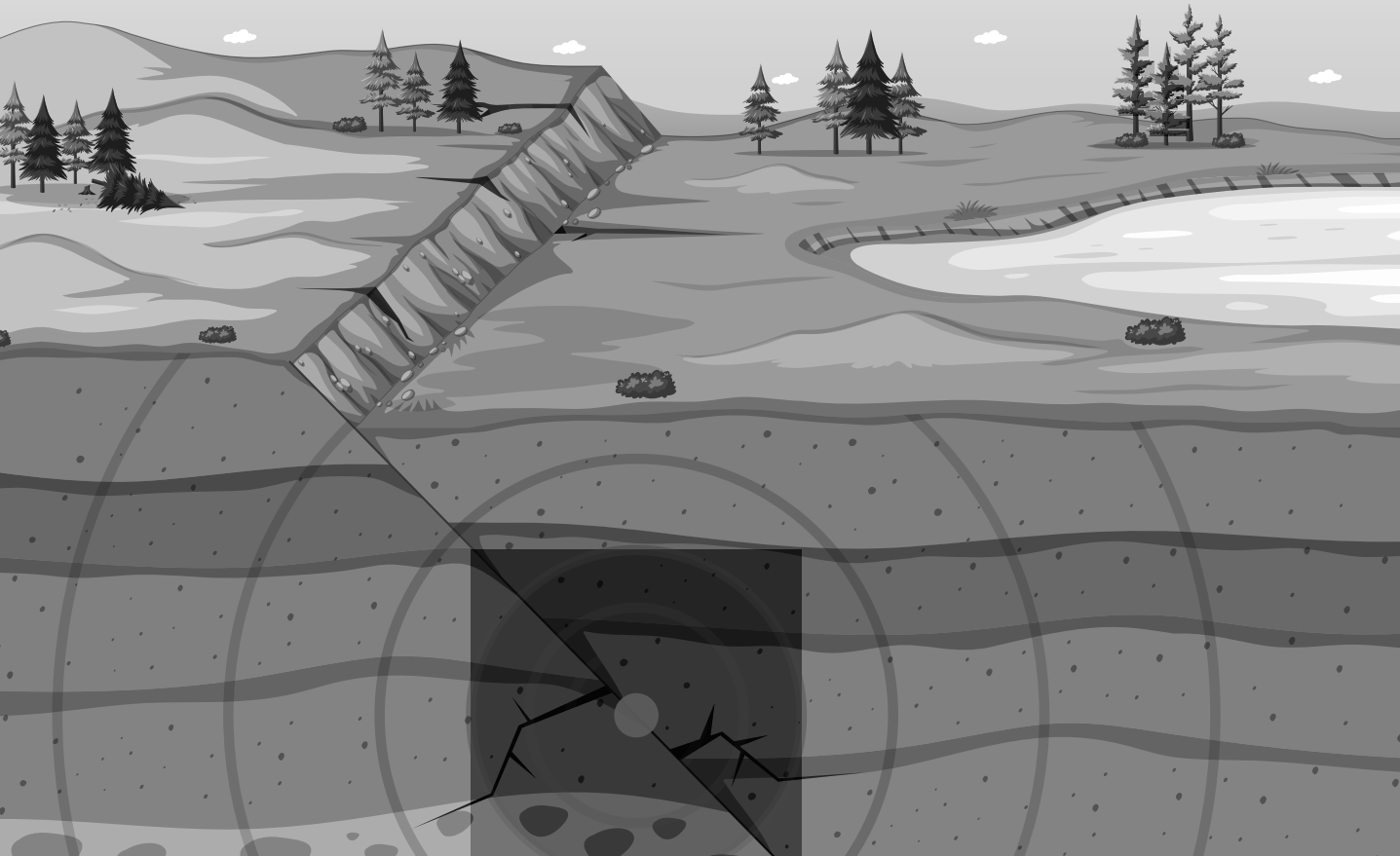
การจำแนกแร่สามารถใช้เกณฑ์ต่าง ๆ กันในที่นี้จะกล่าวรายละเอียดเฉพาะเกณฑ์ด้านลักษณะทางกายภาพ สมบัติทางเคมีและสมบัติของสารประกอบในแร่ แร่เหล็ก แร่แมกนีเซียม แร่ประกอบด้วยอะตอมที่มีโครงข่ายของการเรียงตัวทำให้เกิดโครงสร้างเฉพาะตัวซึ่งการจำแนกประเภทของแร่อาจแบ่งตามเกณฑ์ต่าง ๆ เช่น การแบ่งเป็นแร่พวกโลหะและแร่อโลหะ

1. พวกโลหะจะแสดงลักษณะของโลหะ เช่น ประกายแววววาวเป็นตัวนำความร้อนและไฟฟ้าที่ดีทึบแสงสามารถหลอมหรือดึงเป็นเส้นลวดได้
2. พวกอโลหะไม่สามารถนำไฟฟ้าได้
3. ส่วนพวกกึ่งโลหะจะแสดงสมบัติบางอย่างของโลหะและอโลหะ ส่วนธาตุที่พบในธรรมชาติที่เบาที่สุด คือ ธาตุไฮโดรเจนและธาตุยูเรเนียมซึ่งเป็นธาตุหนักที่สุด

จากการศึกษาเชื่อกันว่าร้อยละ 90 โดยน้ำหนักของโลก มีเหล็ก 35 - 40% ออกซิเจน 25-30% ซิลิคอน 13-15% แมกนีเซียม 10% ธาตุที่พบในธรรมชาติที่เบาที่สุด คือ ไฮโดรเจน ส่วนธาตุที่หนักที่สุด คือ ยูเรเนียม

03

หินอัคนี

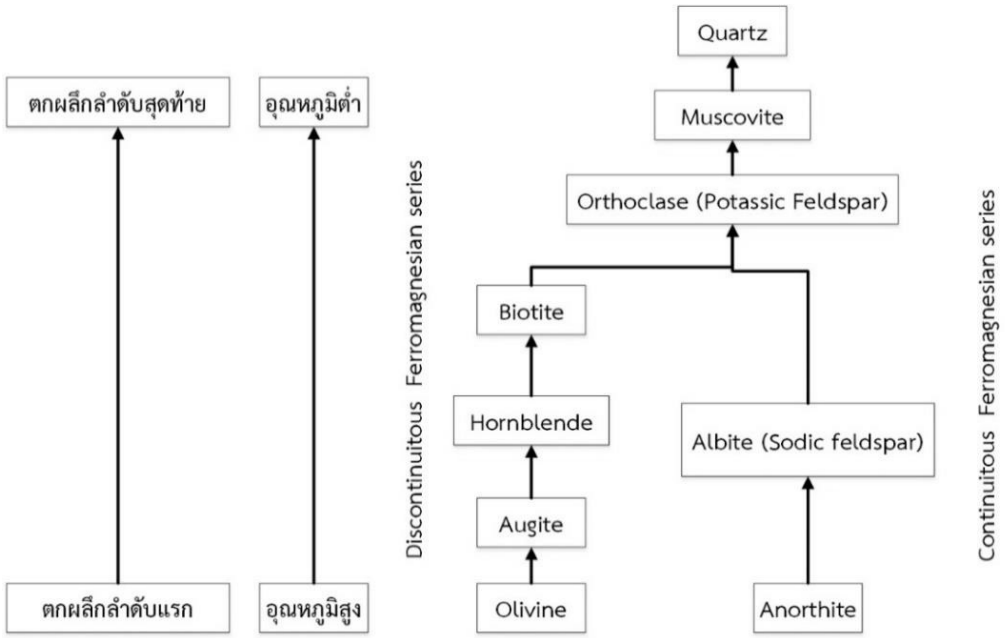


วัฏจักรของหิน

Bowen เป็นบุคคลที่พยายามอธิบายวัฏจักรของหินบนพื้นโลกโดยการนำหินชนิดต่าง ๆ บนเปลือกโลกมาหลอมเหลวใหม่และอธิบายลำดับการกำเนิดของแร่ในหินดังกล่าวในรูปของ Bowen's series ดังมีรายละเอียดดังนี้

หลักการทำปฏิกิริยาของ Bowen

ในปี ค.ศ. 1992 N.L. Bowen ได้สรุปการทดลองหลอมหินโดยใช้อุณหภูมิสูง พบว่า ในขณะที่หินหนืดเย็นตัวลงจะมีแร่ตกผลึกแยกตัวออกมาและยังมีบางส่วนที่ไม่แยกตัวและยังทำปฏิกิริยาต่อไปกับหินหนืดทำให้เกิดแร่ชนิดใหม่ขึ้นโดย Bowen ได้จัดจำแนกหินที่ประกอบจากแร่ซิลิเกตซึ่งเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ในหินอัคนีแบ่งออกเป็น 2 พวก คือ ชุดการทำปฏิกิริยาแบบต่อเนื่องหรือ Continuous reaction series และ ชุดการทำปฏิกิริยาแบบไม่ต่อเนื่องหรือ Discontinuous reaction series

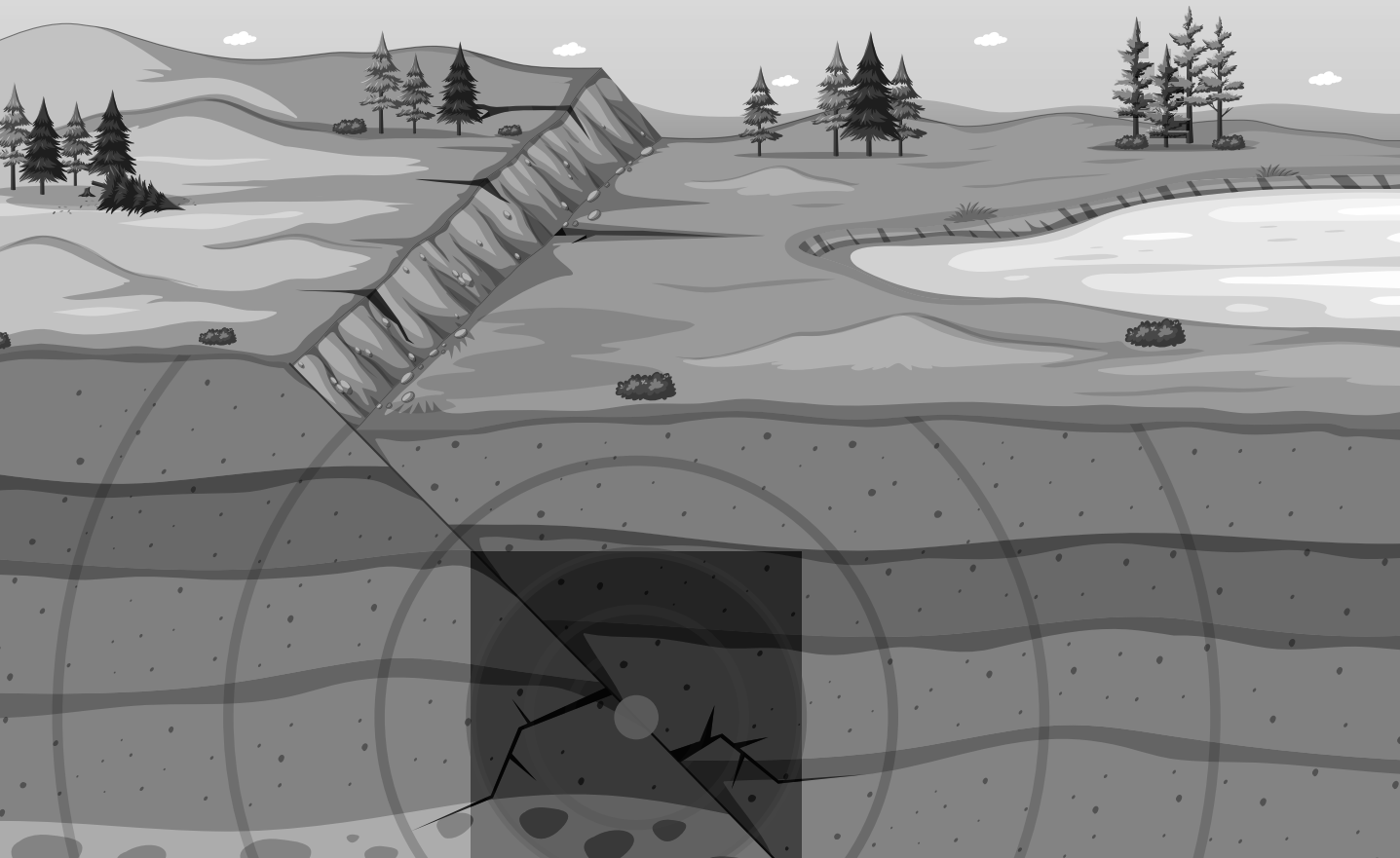


ภาพที่ 3.1 Bowen's series

ชุดปฏิกิริยาแบบไม่ต่อเนื่องหมายถึงแร่ที่ตกผลึกออกมาเมื่ออุณหภูมิต่ำจะไม่กลับมาทำปฏิกิริยากับพวกแร่ที่ยังไม่ตกผลึกและจะแยกตัวออก ในขณะที่ชุดปฏิกิริยาต่อเนื่องนั้นแร่ที่ตกผลึกออกมาแล้วยังคงทำปฏิกิริยาเช่น โดยหลอมใหม่กับพวกที่ยังไม่ตกผลึก

04

หินตะกอน



หินตะกอนเกิดมาจากตะกอน (Sediments) ซึ่งตะกอนได้มาจากผลลัพธ์ของขบวนการผุกร่อนของหินทำให้ส่วนของหินหลุดออกมาเรียกว่าตะกอนและจะถูกเคลื่อนตัวด้วยตัวกลางซึ่งส่วนมากแล้วจะเป็นน้ำหรือแม่น้ำทำให้ตะกอนวางตัวในที่ต่ำกว่าเมื่อการวางตัวของตะกอนหนาอาจต้องใช้เวลานานหลายร้อยล้านปี ส่วนล่างสุดของชั้นตะกอนจะอยู่ภายใต้ความดันและถูกอัดตัว น้ำถูกบังคับให้ไหลออกทำให้ตะกอนนั้นแข็งขึ้น ทำให้เกิดการผลึกใหม่ของแร่ซึ่งอาจส่งผลให้มีขนาดใหญ่ขึ้นรวมทั้งเกิดการเปลี่ยนแปลงของสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบ แร่ที่ละลายในน้ำฝนทำให้ส่วนผสมนั้นกลายเป็นสารเชื่อมแน่น (Cement) ซึ่งจะเป็นตัวเชื่อมตะกอนเหล่านั้นเข้าด้วยกันก่อให้ตะกอนเหล่านั้นแน่นขึ้นสารเป็นหินตะกอนที่ผ่านกระบวนการนี้เราเรียกว่า “Clastic rocks”

การผุกร่อนผุพังยังรวมไปถึงการละลายในน้ำ เช่น การละลายของแร่บางชนิดในน้ำแร่ประเภทนี้จะถูกน้ำไปรวมกับน้ำบาดาลซึ่งมีแร่ธาตุที่ละลายอยู่หรือรวมกับน้ำทะเล เมื่อแร่เหล่านั้นเข้มข้นขึ้นจนตกตะกอนกลายเป็นของแข็ง เช่น แร่ Calcite ที่ประกอบไปด้วย Calcium carbonates ที่ตกตะกอนกลายเป็นหินที่เรียกว่า หินปูน ซึ่งหินที่เกิดขึ้นในกลุ่มนี้เป็นหินที่เกิดมาจากปฏิกิริยาทางเคมี

นอกจากนี้ตะกอนยังเกิดมาจากพืชและสัตว์ใช้แร่ที่ละลายอยู่ในน้ำในการสร้างโครงสร้างของพืชและสัตว์นั้น ๆ เช่น เปลือกหอย เป็นต้น พืชและสัตว์จะแยกแร่ในน้ำและทำให้เกิดการตกผลึกเมื่อสิ่งมีชีวิตเหล่านั้นตายส่วนที่แข็ง เช่น เปลือกจะวางตัวอยู่ที่ก้นของทะเลหรือแม่น้ำเกิดการวางตัวและกลายเป็นหินในที่สุด หินที่เกิดมาจากในกลุ่มมีต้นกำเนิดมาจากสิ่งมีชีวิตพืชและสัตว์

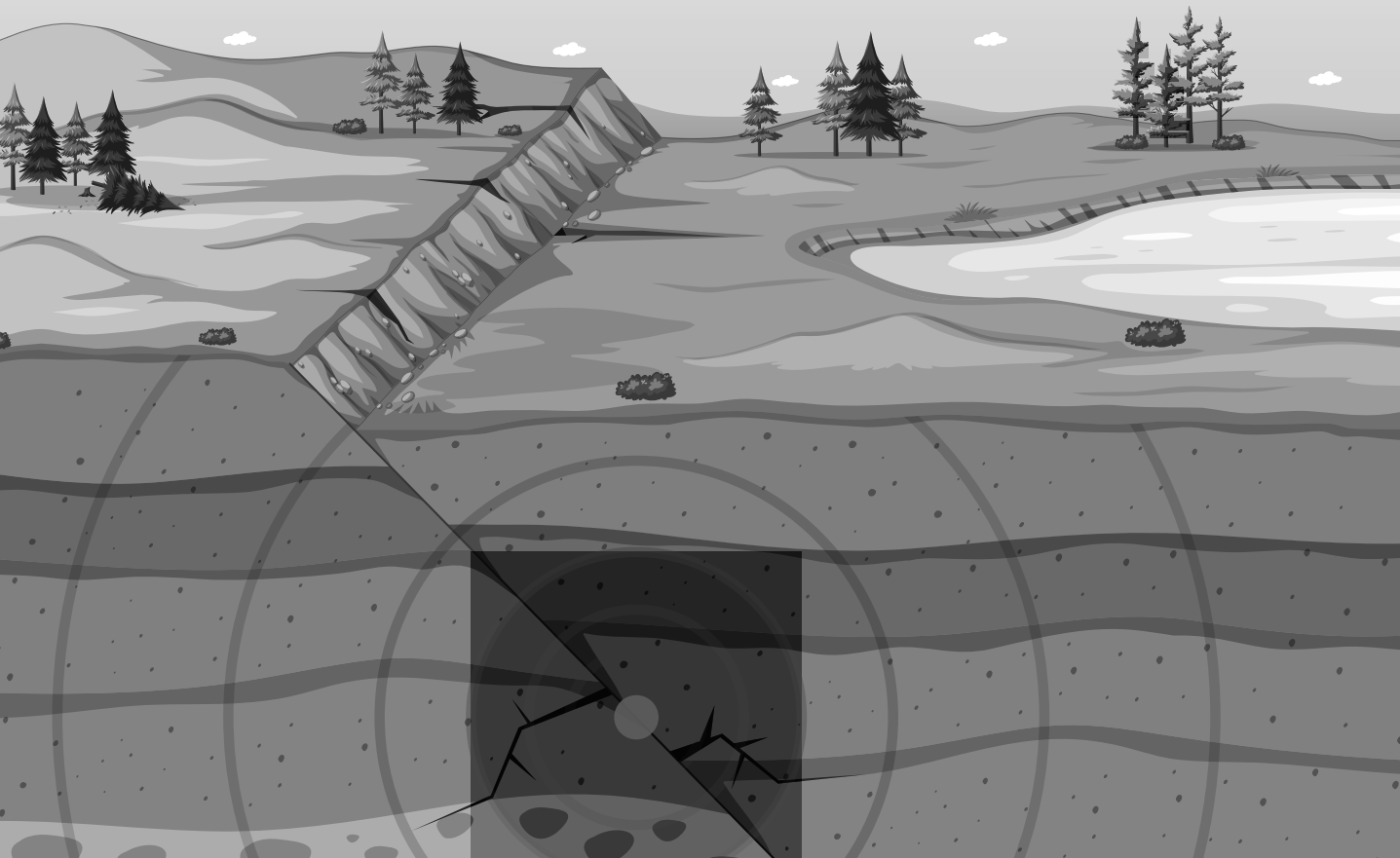
ลักษณะการวางตัวดังกล่าวถูกเรียกว่า การวางตัวเป็นชั้น ๆ (Bedding) ซึ่งแต่ละชั้นของตะกอนนั้นเป็นดรรชนีบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของธรรมชาติหรือสภาวะแวดล้อมที่เกิดขึ้นในขณะนั้น หินประเภท Clastic มีตะกอนที่มีขนาดแตกต่างกันซึ่งใช้ในการแบ่งประเภทของหินตะกอนประเภทนี้ ส่วนหินที่เริ่มต้นมาจากสารเคมีสามารถแบ่งประเภทตามสารเคมีที่มีอยู่ในหินนั้น หินตะกอนยังเป็นแหล่งที่อยู่ของแร่ที่มีประโยชน์ เช่น Uranium ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง เงิน ปรอท นอกจากนี้ยังมีแร่ที่มาจากการที่หินอัคนีที่โดนสารละลายที่มีความร้อนทำให้แร่จำพวกนี้จึงสามารถไหลแทรกเข้าไปในหินตะกอนได้ แร่ดังกล่าวนี้คือ ทองแดง เงิน และ Mercury นอกจากนี้ยังมีวัสดุที่มีค่าเช่น ทอง เพชร แพลตินัม ที่สามารถหาได้จากหินตะกอน

หินชั้นหรือหินตะกอน

จากการศึกษาหินบริเวณเปลือกโลกในรัศมี 16 กิโลเมตรนั้น 95 เปอร์เซ็นต์เป็นหินอัคนีและหินตะกอน หินที่โผล่พ้นเปลือกโลกขึ้นมาประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์เป็นหินตะกอนจึงนับเป็นหินที่วิศวกรมักพบและต้องใช้ความรู้ทางธรณีวิทยาในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับหินประเภทนี้ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าหินตะกอนประกอบไปด้วยตะกอนโดยตะกอน คือ ผลลัพธ์ของขบวนการกร่อนทางกลหรือทางเคมี ซึ่งยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นหิน (Lithified) ตะกอนมักพบในใต้ท้องแม่น้ำ Deltas, Alluvial fans ถ้าหินตะกอนเป็นหินที่มีเม็ดแร่ (รูปผลึก)

05

หินแปร



หินแปรหรือรู้จักอีกชื่อหนึ่งว่า Metamorphic rocks หมายถึงหินที่ถูกเปลี่ยนแปลงมาจากผลลัพธ์ของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและความดันที่เกิดขึ้นกับหินพวกนี้ ขบวนการต่าง ๆ เหล่านี้รวมเรียกว่า “Metamorphism” ขบวนการนี้เป็นขบวนการเกิดขึ้นทีละเล็กน้อยซึ่งเริ่มต้นจากความดันที่ทับชั้นหิน หรือการเปลี่ยนแปลงอย่างมากเมื่อหินต้นแบบอยู่ภายใต้แรงกระทำของแผ่นเปลือกโลกหรือแมกมาไหลผ่านหินต้นแบบเหล่านั้น ซึ่งขบวนการ Metamorphism เกิดขึ้นใต้ผิวโลกในระดับลึก ๆ หลายกิโลเมตรหรือบางกรณีอาจเกิดบริเวณเปลือกโลกเช่นลาวาไหลผ่านหินต้นแบบบนผิวโลก

เมื่อมีขบวนการ Metamorphism ทำให้เกิดการตกผลึกใหม่ของแร่นั่นคือการปรับโครงสร้างของอะตอม ผลึกขนาดเล็กอาจจะจับตัวกับผลึกขนาดใหญ่กว่าหรือเกิดแร่ชนิดใหม่ที่มีเสถียรภาพในอุณหภูมิสูงภายใต้ความดันสูงรวมทั้งมีสารละลายอื่น ๆ ที่ร้อนและเกิดก๊าซขึ้นแทรกอยู่ภายในหินแปร บางครั้งก๊าซเหล่านี้มาจากแมกมาที่อยู่ใต้ผิวโลกหรืออาจกล่าวได้ว่าส่วนประกอบทางเคมีของหินถูกเปลี่ยนอย่างมากจึงทำให้แร่ที่ประกอบในหินแปรค่อนข้างเฉพาะเจาะจงในหินแปรชนิดต่าง ๆ

หินแปรมักเกิดอยู่ภายใต้การเพิ่มความดันทำให้แร่บางประเภทมีการตกผลึกใหม่และมักจะวางแนวการตกผลึกไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ผลึกที่มีลักษณะยาวจะทำให้การวางตัวตามแนวใดแนวหนึ่งเท่านั้น เพราะอยู่ใต้การเพิ่มความดันสูงจึงทำให้เกิดลักษณะเหมือนแนวยาว ๆ ที่มีความหนาขนาดต่าง ๆ ด้วยคุณสมบัตินี้ หินแปรสามารถแบ่งประเภทตามลักษณะของแนวเหล่านี้ซึ่งเรียกว่า “Foliated” หินแปรบางประเภทไม่มีแนว Foliated ดังนั้นหินแปรจึงสามารถแบ่งประเภทเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ หินแปรแบบ “Foliated” และ “Non-foliated” หินแปรแบบ Foliated ยังแบ่งออกเป็นประเภทย่อย ๆ ตามลักษณะของแนว Foliated เช่น Slaty cleavage, Schistosity และ Gneissaic banding

สรุปได้ว่าการแบ่งประเภทของหินแปรสามารถกระทำได้โดยใช้หลักเกณฑ์ 4 ประเภทคือ 1. หินต้นกำเนิด 2. ระดับ Metamorphism 3. การเปลี่ยนแลงของสารประกอบเคมี 4. การปรากฏของแนว “foliated” และชนิดของแนวนั้น หินแปรยังเป็นแหล่งกำเนิดของแร่ที่มีประโยชน์ที่มักเกิดขึ้นรอบ ๆ บริเวณหินอัคนีประเภท Intrusive ซึ่งเกิดจากส่วนผสมของแมกมาที่ร้อนมักจะนำแร่โลหะที่มีความเข้มข้นสูงทำให้เกิดแร่โลหะอยู่ในหินแปร เช่นเกิดแร่ Corundum, Garnet, Graphite, talc เป็นต้น

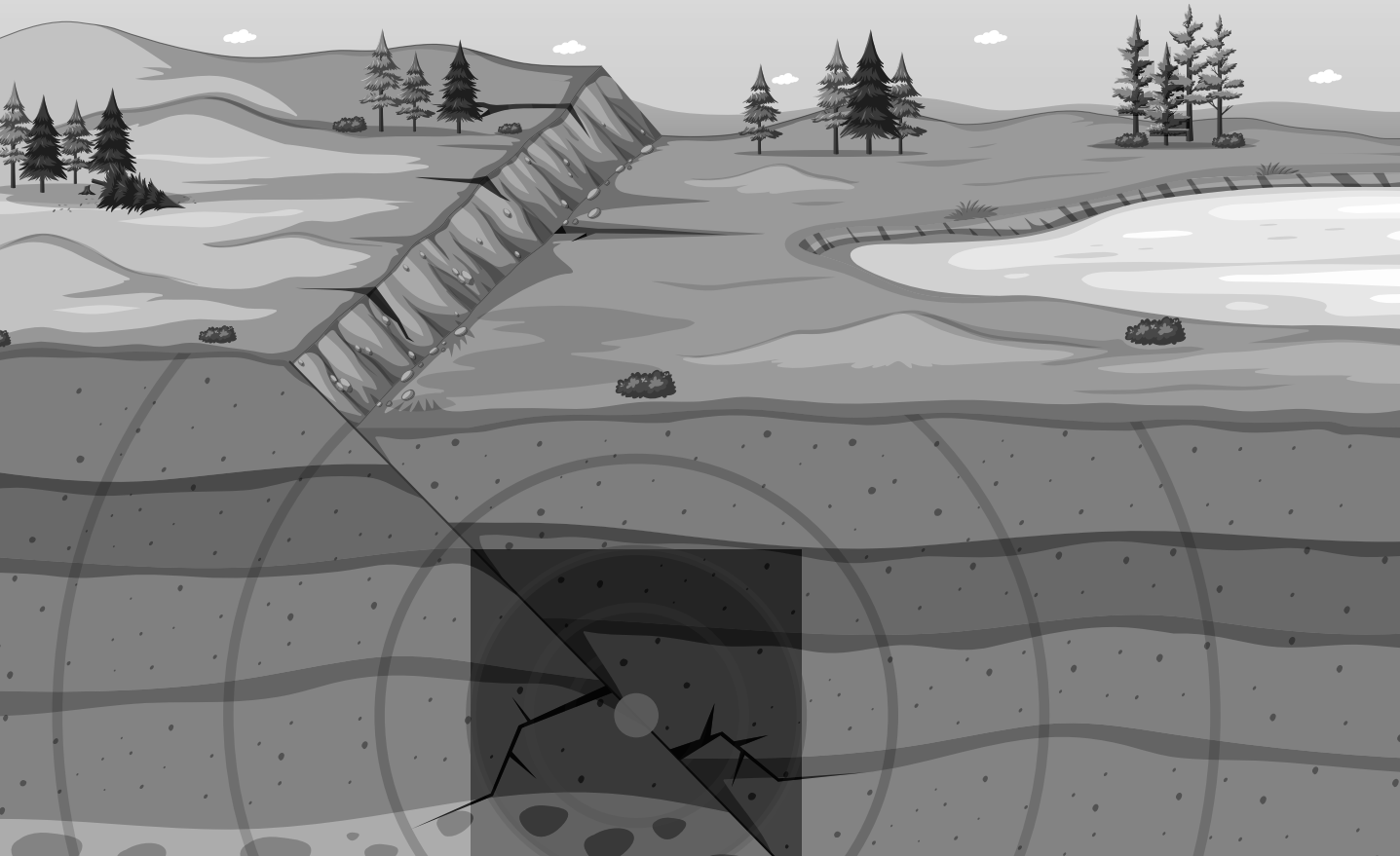
หินแปร

กระบวนการที่ทำให้หินเดิมเปลี่ยนแปลงไปในสภาวะที่ยังเป็นของแข็ง โดยไม่มีการหลอมเหลวใหม่เรียกกระบวนการนี้ว่า การแปรสภาพ (Metamorphism) นั่นหมายความว่าความร้อนที่ทำให้หินเดิมแปรสภาพไปยังไม่สูงพอที่จะทำให้องค์ประกอบในหินหลอมเหลวกลายเป็นของเหลว

การแปรสภาพเกิดภายในโลกในระดับที่ลึกและไม่อยู่ในบริเวณที่มีการหลอมเหลวใหม่ของหิน การแปรสภาพทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและโครงสร้างของหินทำให้หินที่เกิดใหม่เปลี่ยนแปลงในเนื้อหินและส่วนประกอบแตกต่างไปจากหินเดิม

06

การประเมินคุณภาพของหินในงานวิศวกรรมโยธา



คำจำกัดความของหินประเภทต่าง ๆ

การจัดจำแนกประเภทของหินเป็นขั้นตอนพื้นฐานในการนำหินมาใช้ประโยชน์ในงานวิศวกรรมโยธา วิศวกรโยธามักนำหินมาเป็นวัสดุในการก่อสร้างเขื่อนหินทิ้งแกนดินเหนียวซึ่งจะมีความสามารถในการสร้างเขื่อนขนาดกลางถึงขนาดใหญ่มีความแข็งแรงสูง และเขื่อนหินทิ้งแกนดินเหนียวยังเป็นเขื่อนที่มีความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหวได้สูงกว่าเขื่อนชนิดอื่น ๆ นอกจากนี้วิศวกรยังนำหินมาใช้ในงานต่าง ๆ เช่น วัสดุรองพื้นทาง ส่วนประกอบของคอนกรีต ฐานรากอาคาร ฐานรากถนน การขุดเจาะอุโมงค์ในหิน เป็นต้น

การจัดจำแนกประเภทของหินสามารถจัดจำแนกได้หลายรูปแบบซึ่งก่อนจะศึกษารูปแบบการจำแนกประเภท Prof. Terzaghi ได้ให้คำนิยามของของหินก่อนที่จะจัดจำแนกซึ่งในอดีตได้เริ่มใช้ในงานวิศวกรรมอุโมงค์ ซึ่งใช้การบรรยายแบบพรรณนาในการจำแนกประเภทโดย Prof. Terzaghi ได้นำพฤติกรรมของหินประกอบกับประสบการณ์ทำงานมาใช้ในการจำแนกแบบบรรยายพรรณนา ดังนี้

1. หินอินแทค (Intact rock) เป็นหินที่ไม่มีแนวแตกรอยแตกขนาดเล็กในหินถ้าเกิดการแตกมักจะแตกจากเนื้อหินที่ยึดเกาะกันอย่างแข็งแรง ถ้ามีการระเบิดหินในการอุโมงค์จะมีความสามารถในการคงรูปหลังการระเบิดหลายชั่วโมงซึ่งความสามารถในการคงรูปหลังการระเบิดเรียกว่า Stand-up time ในงานอุโมงค์หินที่หลุดจากเพดานอุโมงค์หลังการระเบิดถูกเรียกว่าสภาวะ Spalling และหินแข็งที่หลุดจากผนังอย่างรวดเร็วเรียกว่าสภาวะ Popping

2. หินที่มีการแยกชั้น (Stratified rock) หมายถึงหินที่มีลักษณะแยกเป็นชั้น ๆ โดยรอยต่อของแต่ละชั้นจะมีความสามารถในการต้านทานต่ำซึ่งหินประเภทนี้มักเกิดสภาวะ Spalling

3. หินที่มีรอยต่อ (Moderately joint rock) หมายถึงหินที่มีรอยต่อและมีรอยแตกเล็ก ๆ คล้ายเส้นผม แต่หินที่มีขนาดใหญ่เป็นก้อนสี่เหลี่ยมมักเกิดขึ้นในหินประเภทนี้ในผนังของอุโมงค์อาจไม่ต้องการระบบค้ำยันเนื่องมาจากการขัดกันของบล็อกก้อนหินใหญ่เหล่านั้น และการทำงานในหินจำพวกนี้อาจพบกับสภาวะ Spalling และ Popping

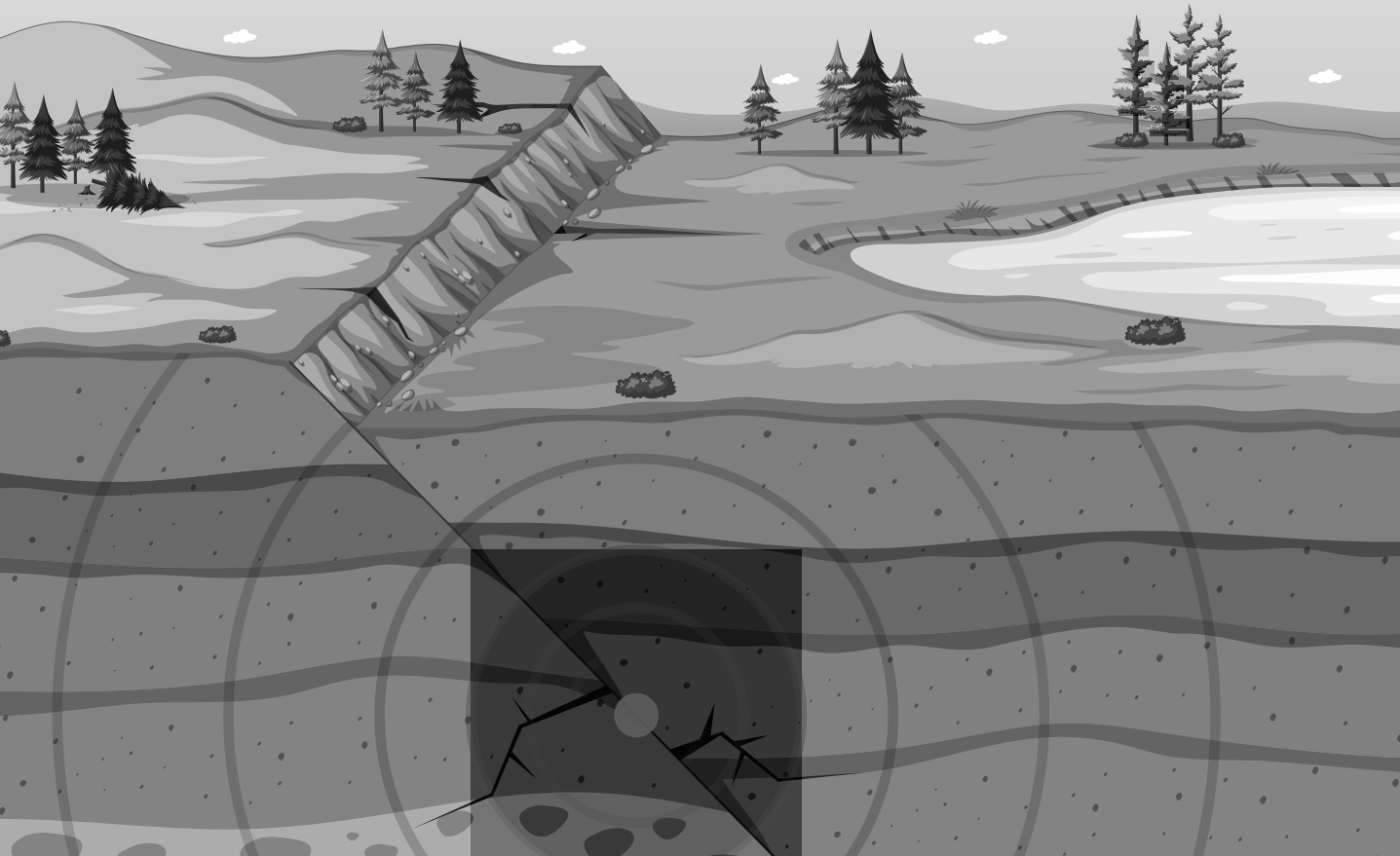
4. หินแบบบล็อก (Blocky and seamy rock) หมายถึงหินที่มีเนื้อหินเชื่อมกันด้วยสารเคมีหรือโดยแต่ละบล็อกของหินจะไม่เกิดการขัดกันโดยทั่วไปผนังด้านข้างต้องอาศัยโครงสร้างค้ำยัน

5. หินที่ถูกบดอัด (Crushed) เป็นหินที่ถูกบดอัดแต่ในเนื้อหินยังมีสารเชื่อมประสานที่ดีโดยถ้าถูกบดอัดจนมีขนาดเล็กเท่าขนาดของเม็ดทรายและไม่มีการเกิดการเชื่อมประสานใหม่ เมื่ออยู่ใต้น้ำหินเหล่านี้มีคุณสมบัติอุ้มน้ำคล้ายกับทราย

6. หินที่ถูกบีบ (Squeezing) ซึ่งจะดันเข้าไปในช่องว่าง เช่น อุโมงค์โดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร การตรวจสอบหินประเภทนี้จะพิจารณาจากอนุภาคขนาดเล็กที่ประกอบเป็นหินโดยอนุภาคเหล่านั้นเป็นแร่จำพวกไมกา (Micaceous) หรือแร่ดินที่มีความสามารถในการขยายตัวต่ำ (Low swelling capacity)

07

การประเมินเสถียรภาพทางลาดชันของดินและหิน



โดยคำว่าดินถล่มมักถูกกล่าวถึงเหตุการณ์ที่วัสดุที่ประกอบเป็นทางลาดชันได้เคลื่อนตัวแยกออกมา รวมถึงการหล่นของหินและดิน หรือดินถมที่มนุษย์สร้างขึ้นแต่ในประเทศไทยมักใช้คำว่าดินถล่มเมื่อมีการเคลื่อนที่ของมวลดินประเภทโคลนซึ่งบางกรณีเรียกว่า “โคลนถล่ม” ด้วยอนึ่งสำหรับโคลนถล่มยังไม่มีทฤษฎีของโคลนถล่ม โดยเฉพาะบุคคลทั่วไปยังเข้าใจว่าการวิเคราะห์โคลนถล่มต้องใช้หลักการสมดุลของแรงและโมเมนต์ตามวิธีที่วิเคราะห์เสถียรภาพของทางลาดชันซึ่งเป็นการเข้าใจผิด สำหรับการสูญเสียเสถียรภาพของวัสดุในทางลาดชันสามารถแบ่งออกเป็นลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

การแยกประเภทขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุที่เกี่ยวข้องและโหมดการเคลื่อนที่ในบางระบบสามารถใช้พารามิเตอร์ตัวอื่นในการแยกประเภท เช่น อัตราการเคลื่อนที่ปริมาณน้ำแต่ในที่นี้จะใช้พารามิเตอร์สองตัวดังกล่าว

1. Slides เป็นการเคลื่อนตัวของมวลแยกออกมาจากมวลที่มั่นคง (มวลไม่เคลื่อนที่) การเคลื่อนที่อาจเคลื่อนตัวแบบหมุนตามระนาบที่พิบัติ (Rotational slides) หรือการเคลื่อนที่ในแนวราบ (Translational slides) ซึ่งเคลื่อนที่ในแนวระนาบขนานไปกับพื้นผิว

2. Falls เป็นการเคลื่อนที่แบบปัจจุบันทันด่วน เช่น หินก้อนใหญ่ ๆ แยกตัวออกมาจากจากหน้าผา โดยการแยกตัวนี้เกิดมาจากรอยแตกหรือความไม่ต่อเนื่องที่มีอยู่ในหินซึ่งการเคลื่อนที่แบบนี้มีปัจจัยหลักคือแรงโน้มถ่วงถ่วงของโลก การผุพัง และความดันน้ำ

3. Topples เป็นการพิบัติแบบล้มลงไปข้างหน้าภายใต้แรงกระทำของวัสดุข้าง ๆ ผลักให้ล้มลงไปข้างหน้าโดยได้แรงโน้มถ่วงถ่วงของโลกเป็นตัวช่วย

4. Flows สามารถแบ่งลักษณะออกเป็น 5 ประเภท คือ

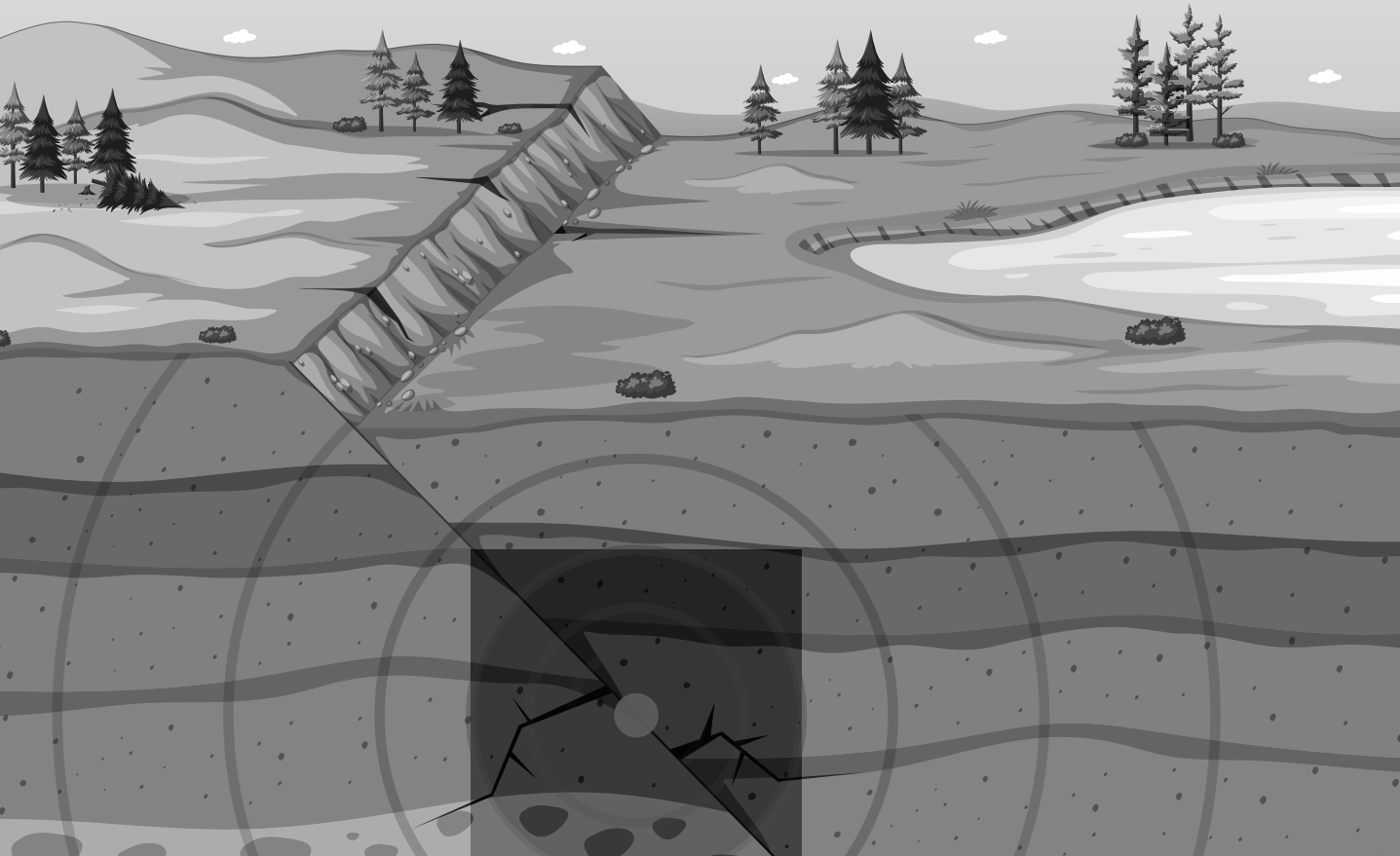
4.1 Debris flow เป็นการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วของวัสดุผสมที่ประกอบไปด้วย ดิน หิน ซากต้นไม้ อากาศ รวมทั้งน้ำที่ไหลไปยังที่ต่ำ โดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยวัสดุเม็ดละเอียดน้อยว่า 50% ซึ่งการเคลื่อนที่แบบนี้เกิดบริเวณการไหลของน้ำที่ผิวดินมีความรุนแรงเนื่องมาจากฝนตกหนักจนสามารถยกวัสดุ เช่น หิน ซากต้นไม้ไหลไปตามน้ำ ซึ่งในบางครั้ง Debris flow เกิดมาจาก Landslide ที่เกิดในพื้นที่ที่มีความชันสูง ดินอิ่มตัวด้วยน้ำและบริเวณนั้นมีดินหินหลาย ๆ ขนาดปนกันอยู่ มักเป็นดินที่มีขนาดเม็ดเท่ากับทรายหรือตะกอนทราย

4.2 Debris avalanche ลักษณะของวัสดุเหมือนกับ Debris flow แต่มีขนาดวัสดุที่หลากหลายกว่า Debris flow และมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงกว่าอย่างมาก

4.3 Earthflow ลักษณะการเคลื่อนตัวคล้ายกับรูปนาฬิกาทราย โดยวัสดุที่เคลื่อนที่กลายเป็นมวลที่เต็มไปด้วยน้ำจนน้ำสามารถยกเม็ดดินไหลออกมาตามการเคลื่อนที่ของน้ำ (Liquefies) คล้ายเป็นรูปชามหรือคล้าย ๆ กับลูกโป่งที่ถูกบีบตรงกลาง การไหลทำให้เกิดการเคลื่อนตัวเป็นทางยาวมักเกิดกับวัสดุที่เป็นเม็ดละเอียด เช่น ดินเหนียวหรือหินที่มีดินเหนียวผสมอยู่ ในพื้นที่ที่มีความลาดชันปานกลางและมีความอิ่มตัวด้วยน้ำ แต่อย่างไรก็ตามวัสดุที่ประกอบไปด้วยเม็ดกรวดขนาดใหญ่ก็สามารถเกิดการเคลื่อนที่แบบนี้ได้

08

ธรณีวิทยาสำหรับแหล่งวัสดุก่อสร้าง



ในงานวิศวกรรมโยธา เช่น งานเขื่อนและงานถนนจำเป็นต้องใช้วัสดุในการก่อสร้างเป็นจำนวนมาก และวัสดุในการก่อสร้างจำเป็นต้องไปตามข้อกำหนดทางกฎหมายและข้อกำหนดทางวิศวกรรม โดยข้อกำหนดทางวิศวกรรมมักจะพิจารณาจากลักษณะการพิบัติของโครงสร้างที่มีผลกระทบต่อการใช้งานหรือการทำหน้าที่ของโครงสร้างนั้น ส่วนข้อกำหนดทางกฎหมายได้คำนึงการพิบัติของโครงสร้างเป็นสำคัญต้องผนวกกับประสบการณ์การก่อสร้างในพื้นที่นั้น ๆ โดยข้อกำหนดทางกฎหมายเป็นเพียงแค่ข้อกำหนดขั้นพื้นฐานเท่านั้นโดยข้อกำหนดนั้นได้บ่งบอกถึงคุณสมบัติขั้นพื้นฐานของวัสดุในการก่อสร้างที่เหมาะสมกับงานนั้น ๆ วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง ได้แก่ หิน กรวด ทราย และดิน โดยมีรายละเอียด ดังนี้

แหล่งทราย

ทรายจัดเป็นตะกอนที่เป็นผลของการผุพังสลายตัวของหินโดยปฏิกิริยาเคมีและทางกลซึ่งหินต้นกำเนิด เช่น หินชั้น หินอัคนี และหินแปร โดยน้ำฝนความร้อนน้ำใต้ดินที่มีคุณสมบัติเป็นกรดและเป็นด่างจากการกระทำของคลื่นและกระแสน้ำ ทรายที่พบมักมีแร่ควอตซ์เป็นส่วนประกอบทั้งนี้เพราะแร่ควอตซ์เป็นแร่ประกอบหินที่มีความคงทนต่อการกัดกร่อนและมีขนาดเม็ดใหญ่ ส่วนแร่ประกอบอื่น ๆ มีความคงทนน้อยกว่าย่อมสลายไปหรือแตกหักเป็นชิ้นเล็กในที่สุด ถ้าถูกตัวนำกระแสน้ำ ลม คลื่น พัดพาและนำมาสู่บริเวณที่สะสมใหม่โดยตะกอนจะถูกขัดสี ชะล้าง และคัดขนาด

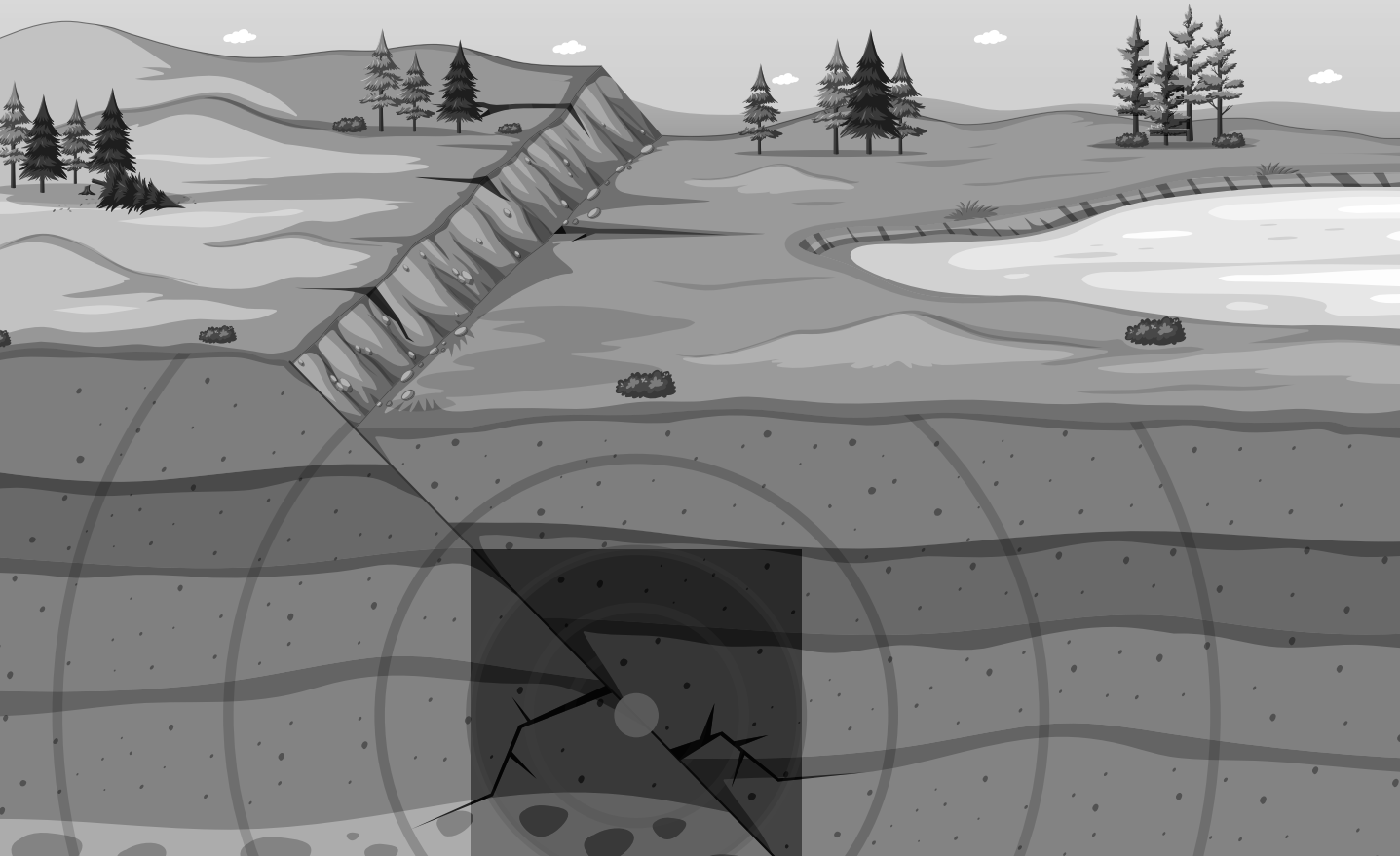
ทรายที่เกิดมาจากการผุกร่อนของหินแกรนิตเป็นทรายที่แข็งแกร่งและมีขนาดเม็ดโตว่าทรายที่เกิดจากการผุกร่อนของหินทราย แร่ควอตซ์ในหินทรายมีขนาดเล็กกว่าและอัดตัวกันไม่แน่นจึงผุพังได้ง่าย ปัจจัยอีกประเภทหนึ่งที่มีผลต่อขนาดเม็ดทรายคือระยะทางที่ทรายเคลื่อนที่ ดังนั้นปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีของทรายคือ ประเภทและส่วนประกอบของหินต้นกำเนิด กระบวนการทางธรณีวิทยาที่ทำให้หินเกิดการแปรสภาพ สำหรับทรายแก้วจะมีต้นกำเนิดมาจากหินออร์โทควอร์ตไซต์ (Ortho quartzite) หรือหินทรายที่มีแร่ควอตซ์มากเป็นพิเศษมีการคัดขนาดที่ดีและแร่ควอร์ตที่ทำให้เกิดทรายแก้วหรือทรายซิลิกาประกอบด้วยแร่ 6 ชนิดคือ ควอตซ์ (Quartz), Chalcedony, Opal, Tridymite, Cristobaliteและ Lechatelierite ซึ่งล้วนมีส่วนประกอบคือ SiO_2

ทรายที่มีขนาคคละที่ไม่ดี (Uniform Grade หรือ Gap Grade) เนื่องมาจากสภาพทางธรณีวิทยาของหินต้นกำเนิดมีลักษณะการเคลื่อนที่ของเม็ดทรายทำให้เกิดทรายที่มีลักษณะต่าง ๆ เช่น เหลี่ยมหรือกลมมนและขึ้นอยู่กับระยะทางและลักษณะการเคลื่อนที่ของเม็ดทราย เม็ดทรายมนนับว่าเม็ดทรายมีลักษณะที่ดีมักเกิดจากเม็ดทรายมีการเคลื่อนที่ในระยะทางไกลการขัดสีกันเอง หรือถูกกระทำโดยคลื่น ลม เป็นต้น

ทรายแก้วมีรูปผลึกเป็นรูปพีระมิดทั้งหัวและท้ายหากมีการตกผลึกอย่างสมบูรณ์มีความแข็ง 7 ความถ่วงจำเพาะ 2.6 มีผงสีขาว มีความวาวแบบแก้ว

09

ขบวนการแม่น้ำ



วัฏจักรของน้ำและสมการปริมาณน้ำฝน

วัฏจักรของน้ำเริ่มพิจารณาการไหลของน้ำจากบริเวณที่มีความชันสูงพลังงานศักย์สูงไปสู่บริเวณพื้นที่ราบหรือบริเวณที่น้ำจะไปสะสมในลำธารสายเล็ก ๆ ห้วย ลำธาร และจากแม่น้ำไปรวมกันที่จุดสุดท้ายคือมหาสมุทร น้ำจากทะเลได้วนกลับไปสู่บรรยากาศโดยการระเหยเพื่อเริ่มต้นวัฏจักรอีกครั้ง กระบวนการนี้รู้จักกันในนามวัฏจักรของน้ำ (Hydrologic cycle) ดังแสดงให้เห็นในภาพที่ 9.1 วัฏจักรน้ำ (Hydrologic cycle) จะเกี่ยวข้องกับการไหลของน้ำไปใต้ผิวดินและการเปลี่ยนกลับมาเป็นน้ำพื้นผิวของลำธารหรือมหาสมุทร สมการปริมาณน้ำฝนสัมพันธ์กับปัจจัยดังต่อไปนี้

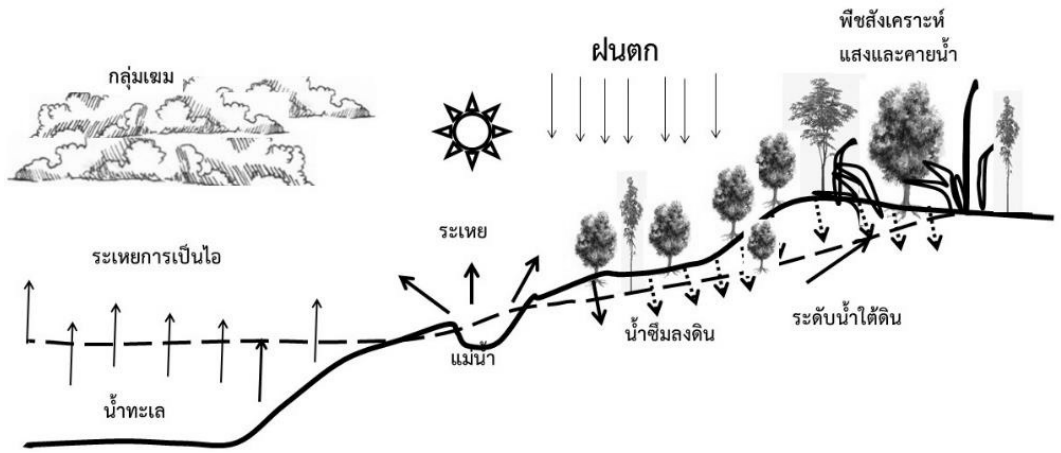
$$\text{ฟังก์ชั่นของปริมาณน้ำฝน} = \int (E, T, I, R) \cong E + T + I + R$$

เมื่อ E คือ ปริมาณการระเหย (Evaporation)

T คือ ปริมาณน้ำจากการคายน้ำของพืช (Transpiration)

I คือ ปริมาณน้ำไหลแทรกซึมใต้น้ำ (Infiltration)

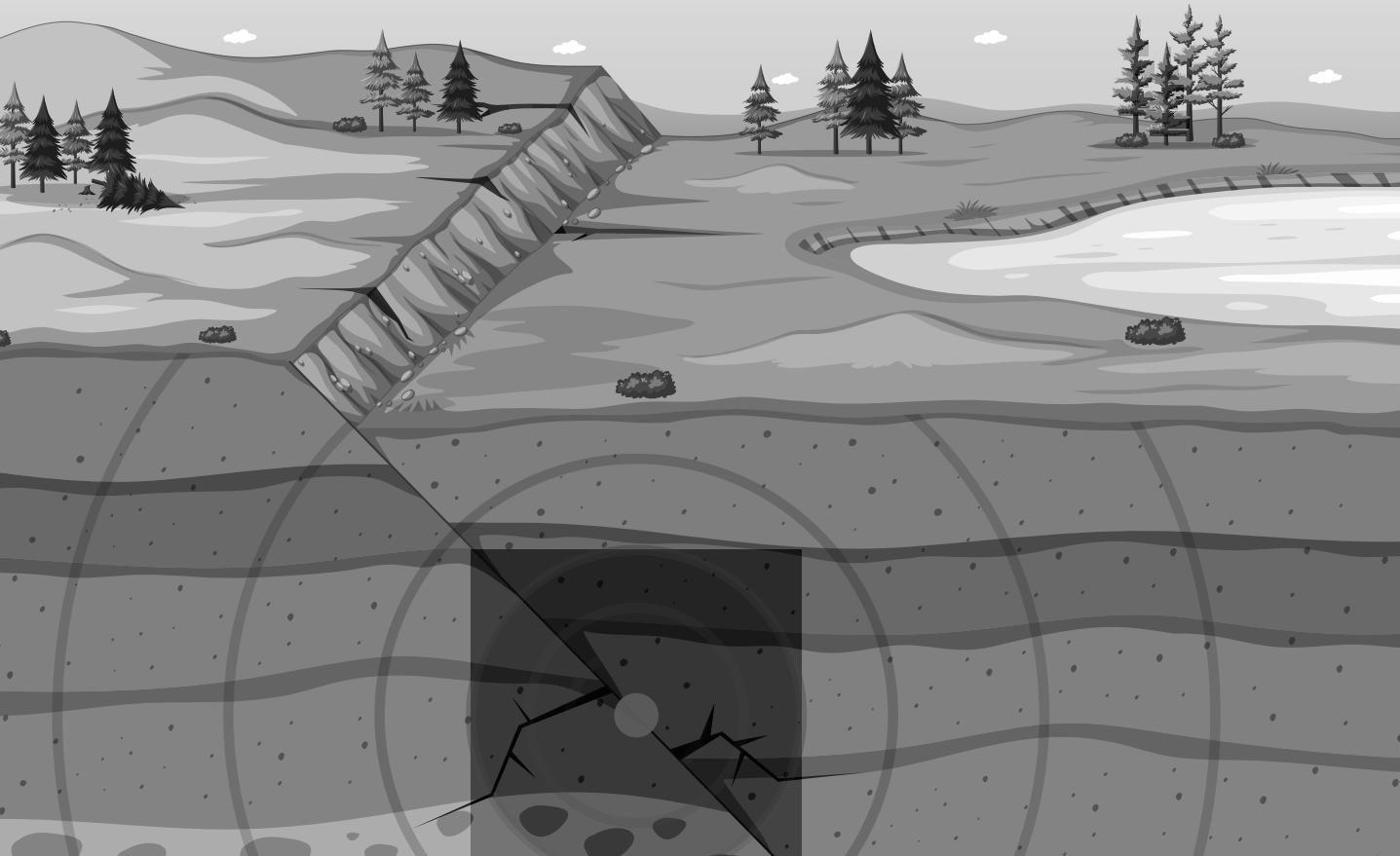
R คือ ปริมาณน้ำท่า (Runoff) ปริมาณน้ำที่มากที่สุดคือปริมาณน้ำฝนที่กลับไปสู่ชั้นบรรยากาศบวกกับปริมาณน้ำที่พืชใช้ในการหายใจ ปริมาณน้ำในลำดับรองลงมาคือปริมาณน้ำท่า (Runoff) ส่วนที่เหลือที่เล็กที่สุด คือปริมาณน้ำที่ไหลซึมเข้าสู่ดินโดยไปสะสมอยู่ใต้ดิน



ภาพที่ 9.1 วัฏจักรน้ำ

10

ธรณีวิทยาสำหรับฐานรากถนน



ธรณีวิทยาเกี่ยวข้องกับวิศวกรรมถนน ได้แก่ การวางแนวถนน ตำแหน่งแนวสิทธิการใช้ทาง (Right-of-way) สำหรับโครงสร้างถนน การสำรวจสภาพชั้นดินและชั้นหินตามแนวเส้นผ่าศูนย์กลางของถนนและใต้ฐานรากสะพาน การจัดจำแนกประเภทของวัสดุ การลดปริมาณดินตัดดินถม (Cut and Fill) เพื่อลดพื้นที่ในการเก็บรักษากองวัสดุก่อสร้าง ลดปริมาณวัสดุเหลือใช้ การขุดลอกหินในปริมาณมากกว่าความจำเป็นสามารถกระทำได้โดยการ Presplitting หน้าหินก่อน เป็นการทดสอบเพื่อสังเกตลักษณะการแตกหักโดยวางจุดระเบิดตามแนวใดแนวหนึ่งเพื่อให้เกิดการพังเป็นระนาบหลังจากการระเบิด การนำหินมาใช้งานครอบคลุมไปถึงลักษณะการควบคุมการแตกหักของหิน ความรู้ด้านธรณีวิทยาสามารถนำมาประมาณมุมของการตัดถนนผ่านหินประเภทต่าง ๆ ความรู้ด้านน้ำใต้ดินทำให้ทราบขั้นตอนการก่อสร้าง การประเมินโอกาสการเกิด Landslide การประเมินบริเวณดินที่มีความสามารถในการยุบตัวสูง Compressible soil การประเมินปริมาณของวัสดุก่อสร้างและการประเมินกิจกรรมของมนุษย์ในการเพิ่มปัญหาให้กับโครงสร้างถนน เป็นต้น

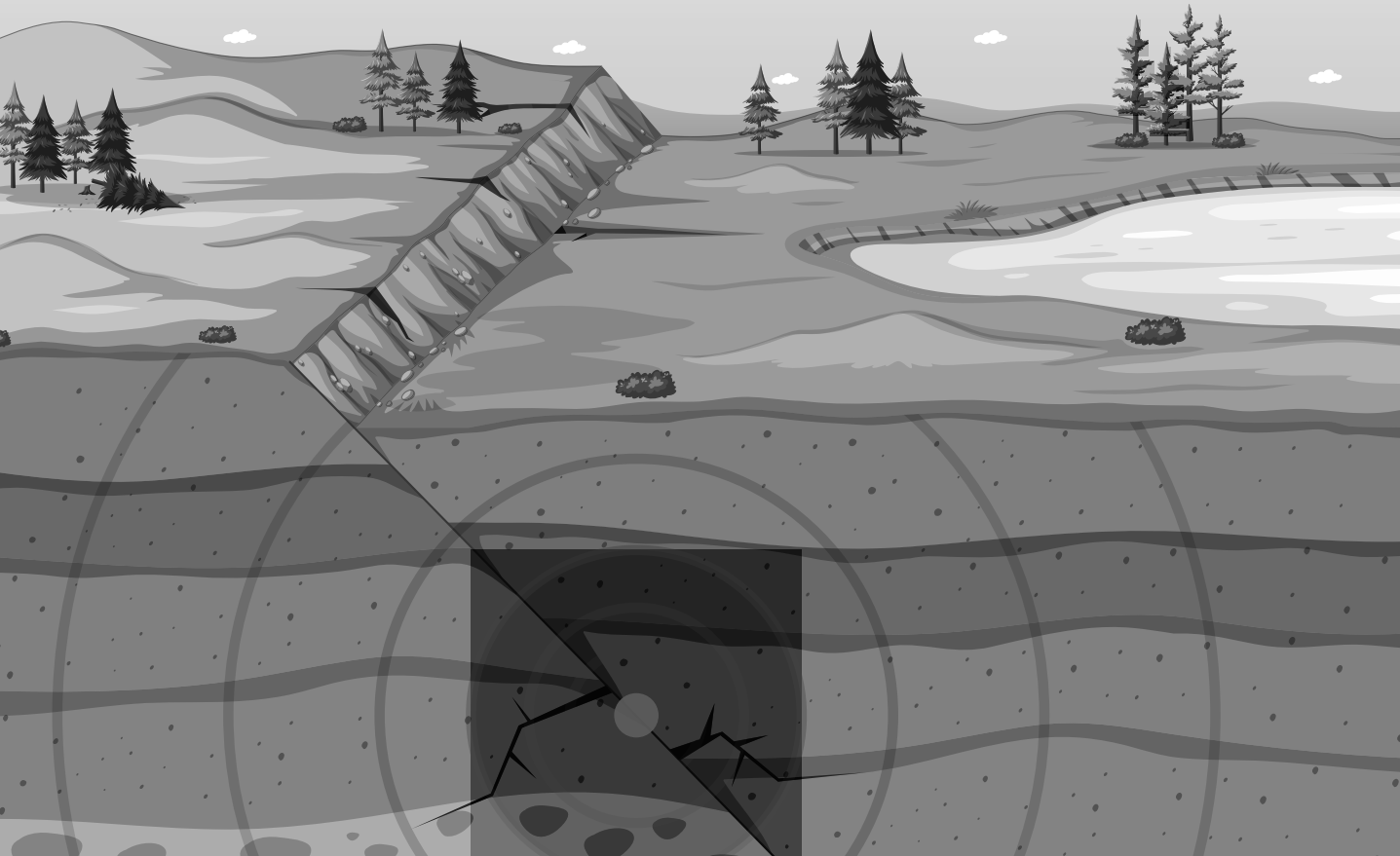
ตัวอย่างหลักการประยุกต์ความรู้ด้านธรณีวิทยาต่องานถนน เช่น หลักการวางแนวถนนผ่านบริเวณพื้นที่ที่มีลักษณะทางธรณีวิทยาแตกต่างกันย่อมต้องหลีกเลี่ยงลักษณะเฉพาะทางธรณีวิทยาที่อาจจะก่อให้เกิดการพิบัติของถนนในลักษณะต่าง ๆ ดังกล่าว ลักษณะการพิบัติของถนนในหัวข้อถัดไป ได้แก่ หลีกเลี่ยงการวางแนวถนนบนดินหรือหินที่มีความสามารถในการยุบตัวสูง (Compressible soil, Soft soil) การเลือกตำแหน่งจุดข้ามแม่น้ำต้องได้รับการพิจารณาอย่างรอบครอบ ระยะทางระหว่างต้นทางและปลายทางควรรักษาให้น้อยที่สุด สำหรับการวางแนวถนนผ่านชั้นหินควรพยายามลดปริมาณวัสดุที่ต้องขุดลอกหรือลดปริมาณหินที่ต้องนำมาถมเพื่อลดปริมาณการเคลื่อนย้ายวัสดุ ถ้าพบชั้นหินที่คาดว่าจะเป็นผลเสียก่อให้เกิดการพิบัติของโครงสร้างถนนควรมีการออกแบบระดับความชันของโครงสร้างถนนให้น้อยที่สุด เป็นต้น

การสำรวจสภาพชั้นดินหรือชั้นหินเพื่อการก่อสร้างถนนมักจะขุดเจาะสำรวจบริเวณกึ่งกลางของแนวถนนและแนวสะพาน การทดสอบในสนามที่นิยมกระทำร่วมกับการขุดเจาะสำรวจสภาพชั้นดินคือ การทดสอบ (Standard penetration test) โดยความลึกในการสำรวจควรลึกอย่างน้อยประมาณ 6 ฟุต วัดจากระดับต่ำสุดของโครงสร้างถนน สำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการที่มักใช้ในการถนน คือ การทดสอบ (Atterberg limit) การทดสอบหาขนาดคละของมวลดิน การทดสอบหาความหนาแน่นของดินแบบ (Proctor Test) ซึ่งต้องมีการทดสอบในดินหรือหินที่ได้มาจากบ่อยืมดิน

ในระหว่างขั้นตอนการออกแบบวิศวกรต้องพยายามให้ปริมาณดินตัดและดินถมอยู่ในปริมาณที่ใกล้เคียงเพื่อที่จะไม่เปลืองพื้นที่ในการกองวัสดุก่อสร้าง แต่โดยทั่วไปโครงสร้างถนนต้องการยกระดับให้สูงกว่าดินเดิมเพื่อไม่ให้น้ำท่วมถึงหรือออกแบบถนนให้น้ำไหลไปสู่บริเวณอื่น ๆ ที่ไม่ใช่โครงสร้างถนนหลักการคำนวณปริมาณดินตัดและดินถมให้ถูกต้องจึงเป็นขั้นตอนที่ต้องอาศัยความเข้าใจพื้นฐานว่าหินจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านขบวนการขุดลอกไปสู่ขบวนการนำหินไปถมเกิดช่องว่างเพิ่มมากขึ้นกว่าสภาพเดิมในธรรมชาติ มวลหินแข็งประเภทหินทรายที่มีสารเชื่อมแน่นอย่างดี หินปูนประเภท Limestone และหินอัคนีที่แข็งแรงหรือหินแปรมักจะ

๑๓

ธรณีวิทยาสำหรับงานเขื่อน



ธรณีวิทยาสำหรับโครงสร้างเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ

เขื่อนที่สร้างขึ้นในประเทศไทยมีจุดประสงค์หลักคือ แหล่งผลิตกระแสไฟฟ้า แหล่งน้ำเพื่อการเกษตร และแหล่งท่องเที่ยวสภาพทางธรณีวิทยาบริเวณสันเขื่อนเป็นปัจจัยสำคัญต่อความปลอดภัยของตัวเขื่อน อายุการใช้งานของเขื่อนและบริเวณอ่างเก็บน้ำยังส่งผลต่อการเลือกชนิดของเขื่อนด้วย ในบริเวณสภาพธรณีวิทยาเหมาะสมและหินฐานรากเป็นหินแข็งนั้นสามารถสร้างเขื่อนดินหรือเขื่อนคอนกรีตก็ได้ ในทางตรงกันข้ามถ้าหินฐานรากเป็นหินค่อนข้างอ่อนหรือหินแข็งอยู่ในระดับลึกมาก เขื่อนดินย่อมมีความเหมาะสมมากกว่าเขื่อนคอนกรีต ในขณะเดียวกันสภาพทางธรณีวิทยาบริเวณอ่างเก็บน้ำก็มีความสำคัญต่อการทำหน้าที่ของเขื่อนไม่น้อยไปกว่าสภาพธรณีวิทยาบริเวณของสันเขื่อนเลย

การสำรวจสภาพทางธรณีวิทยา

ประกอบไปด้วยการหาข้อมูลของรายละเอียดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. สภาพทางธรณีวิทยาของสันเขื่อน การเรียงตัวของชั้นหินบริเวณนั้น รูปแบบและลักษณะของความไม่ต่อเนื่อง รอยเลื่อน ลักษณะการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกในบริเวณนั้น

2. ความลึกของหินฐานราก (Bed rocks) จากผิวดินตลอดจนอุทกวิทยา การยอมให้น้ำซึมผ่าน การรั่วซึมรอบ ๆ บริเวณเขื่อนและ Hydraulic uplift ใต้ฐานรากเขื่อน

3. เสถียรภาพความมั่นคงของความลาดชันในบริเวณสันเขื่อน

4. คุณภาพของน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินและควรตรวจสอบการทำปฏิกิริยาเคมีกับตัวเขื่อน

5. แหล่งและปริมาณของหินวัสดุก่อสร้าง เช่น กรวด ทราย สำหรับผสมคอนกรีตหรือวัสดุที่จะนำมาทำแกนกลางเขื่อน (Impermeable core) เป็นต้น

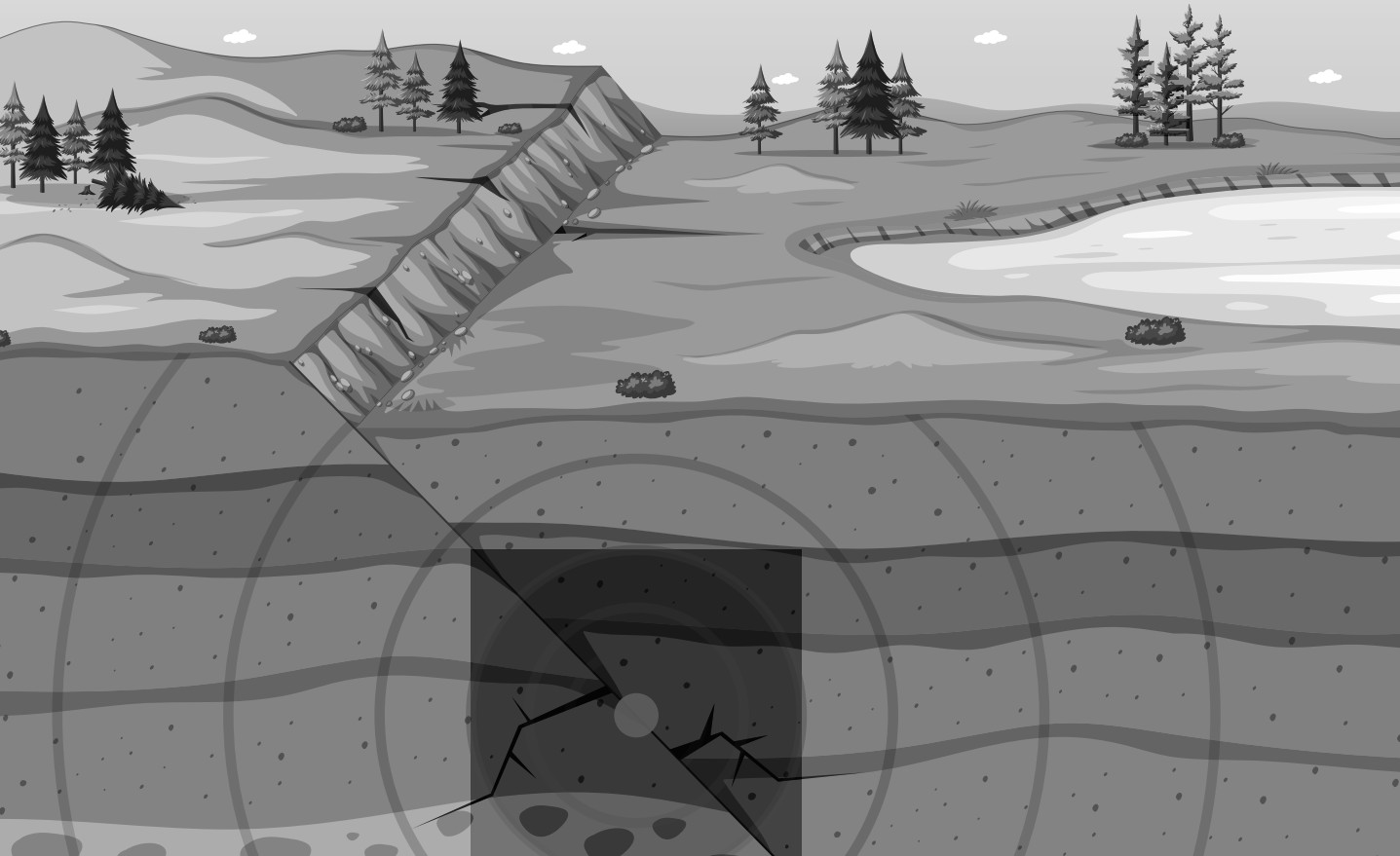
รายละเอียดดังกล่าวเป็นเพียงแค่รายละเอียดเบื้องต้นในการสร้างเขื่อนบนพื้นที่แต่ละประเภทมักจะมีข้อมูลทางธรณีวิทยาปลีกย่อยลงไปอีกจากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

การสร้างเขื่อนในบริเวณหินอัคนีและหินแปร

สำหรับหินอัคนีถ้าเป็นหินสดที่ไม่อยู่ภายใต้การผุกร่อนกัดกร่อนจะเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงสูงมาก โดยเฉลี่ยมักสูงกว่าคอนกรีต ถ้าหินเหล่านี้อยู่ภายใต้อิทธิพลของการผุพังแล้วความแข็งแรงจะลดลง ส่งผลออกมาในรูปของ Joints รอยแยก รอยแตก และอื่น ๆ จำนวนมาก การเลือกหินอัคนีเป็นฐานรากของเขื่อนควรเลือกหินสดเนื้อแน่นและมีโครงสร้างที่กว้างและใหญ่ไม่มีรอยแตกซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการซึมน้ำ แต่บริเวณที่หินอัคนีอยู่ภายใต้อิทธิพลของความร้อนก็ควรหลีกเลี่ยงทั้งนี้เนื่องมาจาก Feldspars ซึ่งประกอบในหินอัคนีจะกลายเป็นแร่ดินเหนียวซึ่งทำให้ความแข็งแรงลดลงและควรลอกบริเวณที่เกิดการผุพังออกให้มากที่สุด

12

ธรณีวิทยาสำหรับแหล่งน้ำใต้ดิน



การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดทั่วโลกทำให้ประเทศไทยมีสภาวะอากาศแปรปรวน และประเทศตกอยู่ในภาวะความเสี่ยงด้านการขาดแคลนน้ำในการอุปโภคบริโภค การเกษตร แหล่งน้ำใต้ดินถือว่าเป็นแหล่งทรัพยากรน้ำที่มีความสำคัญประเภทหนึ่งทั้งนี้เนื่องมาจากเป็นแหล่งน้ำที่มีคุณภาพและสามารถนำมาใช้ในการอุปโภคบริโภคของมนุษย์จึงทำให้การพัฒนาแหล่งน้ำใต้ดินเป็นแหล่งน้ำหลักของประเทศมีความสำคัญมากขึ้น สำหรับความสำคัญต่องานด้านวิศวกรรมธรณีนั้นแหล่งน้ำใต้ดินได้เข้ามาเกี่ยวข้องในด้านการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดชัน (Slope stability) การขุดเจาะพื้นผิวและใต้ผิวดิน โครงสร้างค้ำยัน และรากฐานของสิ่งก่อสร้าง เป็นต้น

แหล่งน้ำที่นำมาใช้ในการอุปโภคบริโภคของมนุษย์มาจากสองแหล่งคือแหล่งน้ำพื้นผิวดิน เช่น ลำธาร ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ และแหล่งน้ำใต้พื้นดิน ซึ่งเป็นแหล่งกักเก็บน้ำจืดขนาดใหญ่มีเพียงแค่ 5% ของน้ำจืดทั้งหมดที่อยู่ในบรรยากาศหรือบนพื้นผิวของโลก ส่วนที่เหลืออีก 95% อยู่ภายใต้ชั้นพื้นผิวโลกซึ่งเป็นแหล่งน้ำขนาดใหญ่ที่ไม่เคยถูกขุดเจาะน้ำใต้ดินได้ถูกนำไปใช้ในจุดประสงค์หลักคือ ด้านการเกษตรทั้งภายในบ้านเรือนและการทำฟาร์มใช้เป็นแหล่งน้ำสำหรับสาธารณูปโภค อุตสาหกรรม และการชลประทานในประเทศไทย กรมทรัพยากรน้ำบาดาลซึ่งกำกับดูแลและควบคุมการใช้น้ำบาดาลในประเทศตามกฎกระทรวงที่กำหนดให้ผู้ใช้น้ำบาดาลที่ระดับความลึกตั้งแต่ 30 เมตรลงไปต้องขึ้นทะเบียนผู้ใช้น้ำบาดาลซึ่งพบว่าตัวเลขการใช้น้ำบาดาลทั่วประเทศเฉลี่ยปีละ 18,000 ล้านลูกบาศก์เมตร จากศักยภาพน้ำบาดาลที่ใช้ได้ราว 1 แสนล้านล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี

การใช้น้ำใต้ดินมีข้อเด่นและข้อด้อยเมื่อเทียบกับการใช้น้ำผิวดิน ดังนี้

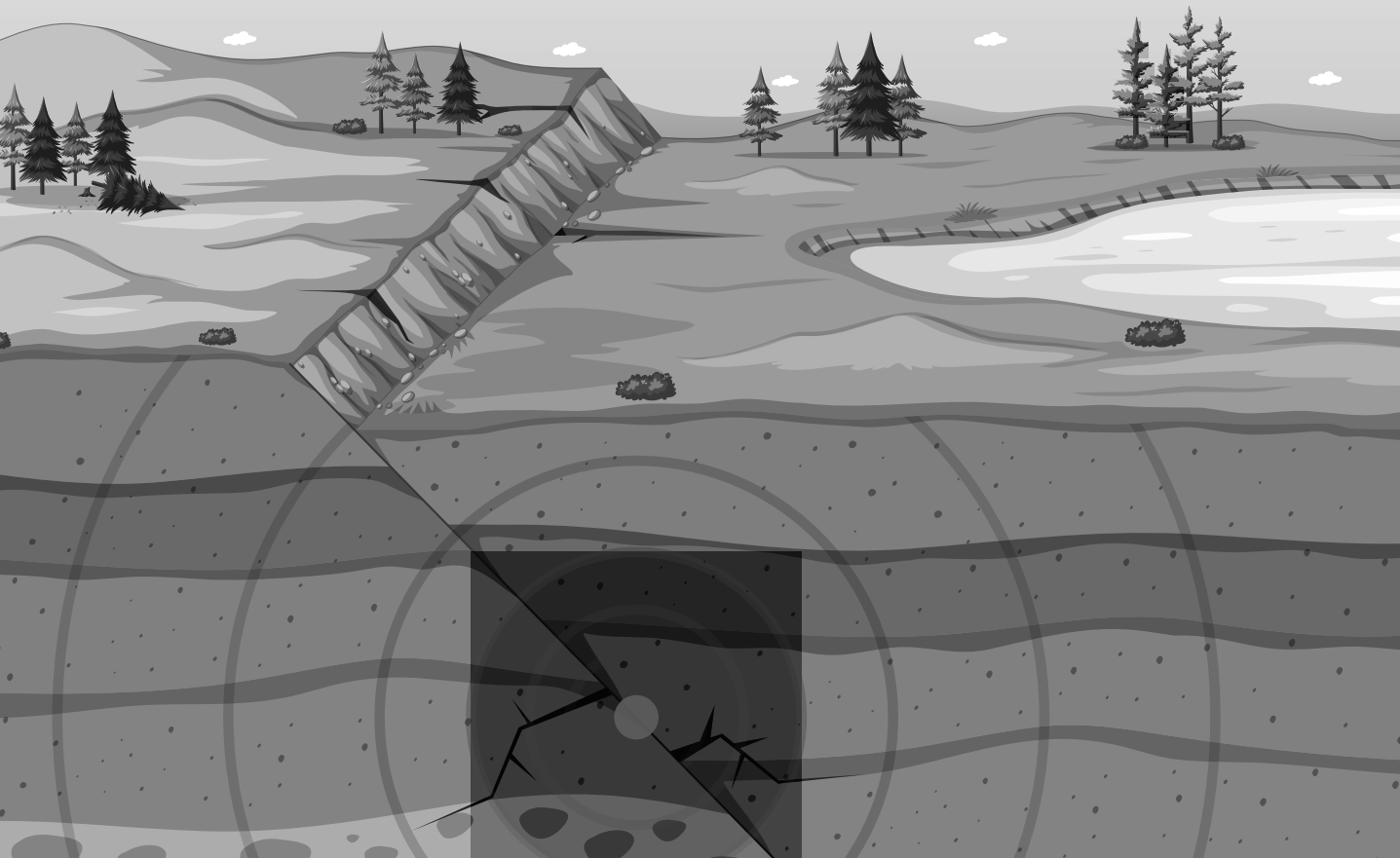
1. โดยทั่วไปน้ำใต้ดินจะปราศจากสิ่งมีชีวิตที่ทำให้เกิดโรคในมนุษย์
2. น้ำใต้ดินมีอุณหภูมิค่อนข้างคงที่
3. น้ำใต้ดินมีสีและความขุ่นมีน้อยมาก
4. ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำใต้ดินจากแหล่งเดียวค่อนข้างมีความแน่นอน
5. น้ำใต้ดินเป็นแหล่งน้ำที่มีขนาดใหญ่กว่าแหล่งน้ำพื้นผิวจึงไม่ค่อยได้รับผลกระทบจากฤดูแล้งระยะสั้น
6. การปนเปื้อนทางชีวภาพโลหะหนักและกัมมันตภาพรังสีในน้ำใต้ดินเกิดขึ้นได้น้อยและเกิดขึ้นได้ยาก
7. เนื่องจากน้ำใต้ดินได้ถูกสะสมใต้พื้นผิวโลกเป็นช่วงเวลานานหลายปี ในบางครั้งอาจจะค้นพบแหล่งน้ำใต้ดินในพื้นที่ที่ไม่มีแหล่งน้ำพื้นผิวอยู่

ข้อเสียของการพัฒนาแหล่งน้ำใต้ดินในบางพื้นที่และไม่สามารถนำน้ำใต้ดินไปใช้คือ

1. ปริมาณน้ำใต้ดินไม่เพียงพอเนื่องจากหินและดินบางชนิดกั้นการไหลของน้ำทำให้น้ำจำนวนมากไม่สามารถซึมผ่านไปยังแหล่งเก็บกักใต้ดินได้ส่งผลให้ปริมาณน้ำที่มีอยู่ไม่เพียงพอต่อความต้องการ

13

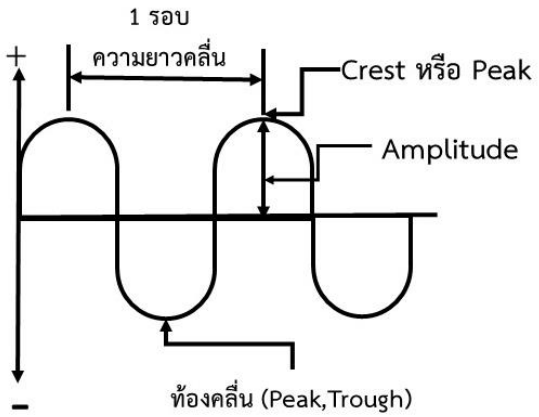
ขบวนการบนชายฝั่งทะเล



ชายฝั่งทะเลของประเทศไทยมีความยาวประมาณ 2,615 กิโลเมตร ประกอบด้วยชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยซึ่งติดต่อกับทะเลจีนใต้ในมหาสมุทรแปซิฟิคมีความยาวประมาณ 1,875 กิโลเมตร และชายฝั่งทะเลอันดามันซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของมหาสมุทรอินเดียมีความยาวประมาณ 740 กิโลเมตร ซึ่งชายฝั่งทะเลของประเทศไทยมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เนื่องมาจากแนวชายฝั่งได้พบกับปัญหาการกัดเซาะ โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝนในบริเวณตอนใต้ของประเทศไทยทำให้ราษฎรสูญเสียพื้นที่อยู่อาศัยพื้นที่พักผ่อน ส่งผลให้เกิดปัญหาการพัฒนาด้านต่าง ๆ เช่น ด้านสังคม การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินซึ่งปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง คือ คลื่น พายุ กระแสน้ำ ระดับน้ำทะเลและอื่น ๆ

การเคลื่อนที่ของคลื่นในทะเล (Wave motion)

การเคลื่อนที่ของคลื่นในทะเลสามารถอธิบายในรูปของพฤติกรรมของคลื่นด้วยพารามิเตอร์ต่าง ๆ แสดงในภาพที่ 13.1 ดังนี้



ภาพที่ 13.1 คำนิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับลูกคลื่น

1. ความยาวคลื่น (Wavelength, L) คือระยะทางในแนวราบระหว่างตำแหน่งสองตำแหน่งที่เหมือนกันเกิดซ้ำที่ติดกัน เช่น ระยะทางระหว่างสันคลื่นที่ติดกัน หรือ ระยะทางระหว่างท้องคลื่นที่ติดกัน

2. ความสูงคลื่น (Wave height, H) คือ ระยะทางในแนวดิ่งระหว่างสัน (Crest) และท้องคลื่น (Trough)

3. คาบ (Period, T) คือเวลาที่นับตั้งแต่การเกิดสันคลื่น (Crest) ซ้ำกันหรือการเกิดท้องคลื่น (Trough) ซ้ำกัน

4. ความถี่ (Frequency, N) คือจำนวนลูกคลื่น หรือจำนวนรอบในหนึ่งหน่วยเวลาซึ่งความถี่เป็นส่วนกลับของคาบ $N = \frac{1}{T}$

ดัชนี

ก

การกระจายของน้ำใต้ดิน 292
การกระจายตัวของแรงดันน้ำ 280
การกระทำของน้ำ 223
การกัดเซาะ 223
การกัดเซาะบริเวณชายฝั่ง 330
การกำเนิดแหล่งน้ำใต้ดิน 289
การเก็บตัวอย่าง 199
การเกิดแผ่นดินไหว 5
การแก้ไขปัญหาแหล่งวัสดุสำหรับงานโยธา 206
การคัดแยกด้วยโรงบดเคลื่อนที่ 210
การคำนวณปริมาณของวัสดุก่อสร้าง 187
การเคลื่อนที่ของคลื่นในทะเล 320
การเคลื่อนที่ของตะกอน 225
การเคลื่อนที่ของน้ำบาดาล 310
การเคลื่อนที่แบบ Slip 153
การจัดจำแนกประเภทมวลหินทางวิศวกรรม 105
การจัดแบ่งหินอัคนี 57
การจำแนกประเภทของรอยเลื่อน 151
การจำแนกแร่ 22
การจำแนกแร่ตามคุณสมบัติทางเคมี 35
การใช้ pole แทนระบบของรอยเลื่อน 166
การตกตะกอนของพื้นที่ชายฝั่งทะเล 333
การแทนความไม่ต่อเนื่อง 159
การบด 212
การแบ่งประเภทของหินตะกอน 74
การประมาณปริมาณวัสดุของแหล่งก่อสร้าง 201
การประเมินความเหมาะสมของมวลหิน 105
การประเมินคุณภาพของหิน 103
การประเมินวิธีการขุดลอกหิน 196
การประเมินเสถียรภาพของทางลาดชันของดินและหิน 133
การปรับปรุงโดยใช้ล้อลากตีนกริด 210
การปรับปรุงวัสดุก่อสร้างกรณีปริมาณมวลละเอียดไม่เหมาะสม 212
การเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์เสถียรภาพความลา 145
การแปรสภาพชนิดต่าง ๆ 89
การพิจารณาการใช้หินตะกอนในงานด้านวิศวกรรมโยธา 83
การพิจารณาทางธรณีวิทยาในการวิเคราะห์ความสามารถในการรับแรง 61
การพิจารณาผลกระทบต่องานด้านวิศวกรรม 234
การพิบัติแบบ Toppling 171
การพิบัติแบบระนาบ 170
การพิบัติแบบรูปลิ่ม 172
การพิบัติแบบวงกลม 169
การรวมตัวกลายเป็นหิน 73
การลดทอนตามความลึก 322
การวัดการซึมผ่าน 306
การวัดความรุนแรงของแผ่นดินไหว 18
การวางตัวทับถม 227
การวางแนวฐานรากถนนบนหินแข็ง 252
การวิเคราะห์เสถียรภาพของทางลาดชันในชั้นหิน 146
การสร้างเขื่อนในบริเวณหินตะกอน 268

การสำรวจสภาพทางธรณีวิทยา....266
การสูญเสียปริมาตรวัสดุ....203
การเสริมกำลังดินฐานราก....257
การหาเส้นที่แทนการตัดกันของระนาบ....162
การไหลของกระแสน้ำ....218
การออกแบบเขื่อนคอนกรีต....276

ข

ขบวนการบนชายฝั่งทะเล....319

ค

คลื่นตามแนวชายฝั่ง....327
คลื่นในน้ำทะเลตื้น....323
ความพรุน....300
ความมั่นคงต่อการเคลื่อนที่....281
ความเร็วคลื่น....323
ความเร็วลม....323
คุณสมบัติทางกายภาพของแร่....23
โครงสร้างของรอยเลื่อน....151
โครงสร้างป้องกันชายฝั่ง....337

ช

ชนิดของหินแปร....91

ฐ

ฐานรากเขื่อน....275

ถ

ถนนบนดินอ่อน....256
ถนนบนหินกำลังต่ำ....254

ท

ทรายบก....183
ทรายปากแม่น้ำ....183
ทรายผุกร่อนจากหิน....184
ทฤษฎีในการกำเนิดโลก....4
ทางเดินคลื่น....325

ธ

ธรณีวิทยาของหินฐานรากเขื่อน....277
ธรณีวิทยาบริเวณอ่างเก็บน้ำ....274
ธรณีวิทยาสำหรับวิศวกร....2

น

น้ำในมหาสมุทร....292
น้ำบาดาลไม่มีแรงดัน....295
น้ำหนักกดทับโดยไม่เสริมการระบายน้ำในฐานราก....257
เนื้อหินแปร....89
เนื้อหินอัคนี....57
แนวชั้นหิน....80

บ

บริเวณการเกิดแรงเฉือน....150
บ่อยืมดิน....202

ป

ปรากฏการณ์น้ำขึ้นน้ำลง....328
ปัจจัยที่ทำให้เกิดการแปรสภาพ....89
ปัจจัยที่สัมพันธ์กับน้ำท่า....217
ปัญหาการใช้หินแปรในงานวิศวกรรมโยธา....100
ปัญหาการไหลของน้ำในพื้นที่สูง....236

ผ

ผลกระทบของน้ำบาดาล....315

พ

พื้นที่รับน้ำ....229

ภ

ภูเขาหินบริเวณชายฝั่ง....330

ร

ร่องน้ำที่มีพื้นท้องน้ำเป็นหิน....225
รอยพับ....146
รอยเลื่อนแบบ Normal....149
รูปแบบทางน้ำ....228
แร่ในกลุ่มสีเข้ม....33
แร่ในกลุ่มสีอ่อน....34

ล

ลักษณะการใช้หินอัคนีในงานก่อสร้าง....67
ลักษณะทางกายภาพของแม่น้ำ....228
ลักษณะทางกายภาพบริเวณหุบเขาที่มีน้ำเป็นตัวพัดพา....229

ว

วัฏจักรของน้ำ....216
วัฏจักรของหิน....52
วิธีชะลอการเพิ่มน้ำหนัก....256
วิธีใช้น้ำหนักบรรทุก....257

ส

สภาพธรณีวิทยาที่ก่อให้เกิดดินถล่ม....137
สภาพแวดล้อมการสะสมตะกอนในทะเล....77
ส่วนประกอบของถนน....243
สันพื้นทะเล....345
เสถียรภาพของการเคลื่อนที่แบบ Sliding....276
เส้นระดับน้ำใต้ดิน....294

ห

หลักการทำปฏิกิริยาของ Bowen....52
หินคาร์บอเนต....307
หินดินดาน....186
หินตะกอน....71
หินปูน....186
หินอัคนี....55
แหล่งทราย....182
แหล่งหิน....184

อ

อิทธิพลของพายุ....329

C

Connate water....292

D

Debris avalanche....134
Debris flow....134
Dune Ridges....335

E

Earthflow....134
Estuaries....335

F

Falls 134

Flows 134

Fracture 146

G

great circle 160

Grizzly 207

Groin 342

I

Intrusive igneous rock 56

J

James Hutton 2

Jetty 341

Juvenile water 292

L

Lateral Spreads 136

Longshore 326

M

magmatic water 292

Mudflow 135

N

Neap tides 329

O

Overturning 284

P

phreatic water 295

Pole 160

R

Reverse Fault 149

Rock Quality Designation Index 106

Rock Structure Rating 108

Rock Tunneling 121

S

Screening 207

seawalls 338

Seismic Cross Hole Test 191

Seismic Down-hole (Up-hole) Test 193

Slides 134

Spring Tides 329

Stand-up Time 106

Stereonet 155

Strike-slip 150

T

Topples 134

V

vadose zone 293

หนังสือแนะนำ

การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า 1 Electrical Circuit Analysis I

ผู้แต่ง : รศ. ดร.นิพัทธ์ จันทรมินทร์

ตำราเล่มนี้อธิบายกฎและทฤษฎีต่าง ๆ ที่ใช้วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าโดยเรียบเรียงเนื้อหาอย่างเป็นลำดับและเป็นเหตุเป็นผล ในแต่ละบทมีตัวอย่างโจทย์ที่แสดงวิธีทำเป็นขั้นตอนซึ่งอธิบายอย่างละเอียดเพื่อให้ผู้อ่านสามารถทำความเข้าใจได้ง่าย รวมทั้งมีแบบฝึกหัดท้ายบทพร้อมคำตอบให้ผู้อ่านได้ฝึกฝนเพื่อเพิ่มทักษะในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าตำราเล่มนี้มีเนื้อหาครบถ้วนตามที่ระบุโดยสภาวิศวกรสำหรับวิชา Electric Circuits ซึ่งเป็นหนึ่งในกลุ่มวิชาพื้นฐานทางวิศวกรรมในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าของคณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกสถาบันการศึกษา เพื่อให้นิสิต นักศึกษามีคุณสมบัติครบถ้วนในการขอรับใบประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมในแขนงวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง และในแขนงวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร นอกจากนี้ยังสามารถใช้กับรายวิชาในหลักสูตรอื่นที่เรียนพื้นฐานทางวิศวกรรมไฟฟ้าเช่น วิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมเคมี และยังเหมาะกับผู้ที่ต้องการศึกษาด้วยตนเอง

ระบบควบคุม Control Systems

ผู้แต่ง : ผศ. ดร.มุทิตา สงฆ์จันทร์

หนังสือ “ระบบควบคุม” เหมาะสำหรับนิสิต นักศึกษาหรือบุคคลทั่วไปที่สนใจเกี่ยวกับระบบควบคุมเบื้องต้น ภายในเล่มประกอบไปด้วยเนื้อหาสำคัญที่ใช้สำหรับการเรียน การสอนในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า อาทิ การหาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบ แผนผังบล็อก กราฟการไหลของสัญญาณการควบคุมแบบป้อนกลับ ผลตอบสนองของระบบอันดับหนึ่งและอันดับสอง วิธีทดสอบความมีเสถียรภาพของระบบ ทางเดินรากแผนภาพโบเด แต่ละบทมีตัวอย่างการวิเคราะห์โจทย์และแบบฝึกหัดท้ายบทมากกว่าร้อยข้อ รวมทั้งการใช้คำสั่งโปรแกรม MATLAB ในการวิเคราะห์ระบบควบคุมในทุกบทอีกด้วย

ทฤษฎีการคำนวณ : รูปแบบการคำนวณและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ผู้แต่ง : รศ. ดร.พงศ์พันธ์ กิจสนาโยธิน

ทฤษฎี มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการปฏิบัติ การศึกษาทฤษฎีการคำนวณจึงมีส่วนสำคัญในการเข้าใจการทำงานของคอมพิวเตอร์โดยทั่วไป เราจะคิดว่าคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องจักรที่มีความซับซ้อนและมีการทำงานยุ่งยาก ดังนั้นเมื่อต้องการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนด้วยเครื่องมือที่ซับซ้อนจึงเป็นเรื่องไม่ง่ายหนังสือเล่มนี้นำเสนอรูปแบบที่เข้าใจง่าย ไม่ซับซ้อนสำหรับการอธิบายการทำงานของคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการกำหนดวิธีการในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนรวบรวมเนื้อหาเรื่องรูปแบบการคำนวณและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วยเครื่องสถานะจำกัด นิพจน์พื้นฐานไวยากรณ์ที่ไม่มีบริบท เครื่องสถานะจำกัดแบบดันลง และเครื่องจักรทัวร์ริ่ง แต่ละเนื้อหาจะอธิบายทฤษฎีที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งการพิสูจน์ทฤษฎี ตัวอย่างของปัญหา และแนวคิดวิธีการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ

0 5596 8833-8836 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร nuph@nu.ac.th

NUPH online store
www.nupress.grad.nu.ac.th

สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

สั่งซื้อหนังสือออนไลน์

จัดส่งถึงบ้านสะดวกรวดเร็ว

สั่งซื้อทันที

กรณีต้องการสั่งซื้อหนังสือปริมาณมาก หรือเข้าชั้นเรียนติดต่อได้ที่
ฝ่ายจัดจำหน่ายสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร

nuph@nu.ac.th
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร
0 5596 8833-8836
nu_publishing

NUPH
online store
www.nupress.grad.nu.ac.th