เครื่องจักรกลงานดิน

สำหรับงานก่อสร้างและเหมืองแร่

Earth Moving Equipment for Construction and Mining

พันธุ์ลพ หัตถโกศล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

คำนำ

งานดินเป็นกิจกรรมพื้นฐานสำหรับงานก่อสร้างเกือบทุกประเภท ได้แก่ งานฐานราก สร้างถนน เขื่อน เป็นต้น และงานเฉพาะด้านต่างๆ เช่น งานชลประทาน เหมืองแร่ เกษตรกรรม งานป้องกันภัยพิบัติ บรรเทาสาธารณภัย และงานฟื้นฟูพื้นที่ ที่จะต้องมีการแผ้วถาง ปรับสภาพพื้น ขุดและตักดิน ขุดคูหรือร่องระบายน้ำ ขุดลอกแหล่งน้ำ ขนลำเลียง ถมดินหรือเขื่อน พัฒนาเส้นทาง และงานบดอัด ซึ่งจะต้องเกี่ยวข้องกับการใช้เครื่องจักรกลงานดินหลายประเภท ตั้งแต่รถดันดิน รถขุดประเภทต่างๆ รถเกลี่ยดิน รถบรรทุก และรถบดอัด การขุดและขนดินนั้นถ้าพิจารณาเพียงผิวเผินก็อาจจะดูเหมือนทำได้ง่าย แต่การทำงานดินในปริมาณมากนั้นจะต้องคำนึงถึงต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ประหยัดและเวลาทำงานที่มีประสิทธิภาพ ผู้ใช้งานจะต้องเข้าใจลักษณะพื้นฐานรวมถึงข้อดีและข้อจำกัดของเครื่องจักรกลงานดินแต่ละชนิดเพื่อเลือกใช้งานได้อย่างถูกต้องเหมาะสม หนังสือเล่มนี้มีเนื้อหาครอบคลุมตั้งแต่ลักษณะของดิน ประเภทของงานดิน ลักษณะทั่วไปของเครื่องจักรกลงานดิน หลักการทำงานของระบบต่างๆ คุณลักษณะเฉพาะของเครื่องจักรแต่ละประเภท เทคนิคการใช้งาน วิธีการประเมินผลผลิต ความปลอดภัยในการใช้เครื่องจักร และแนวทางการประเมินค่าใช้จ่าย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เป็นแหล่งความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการพื้นฐาน องค์ประกอบต่างๆ และการประยุกต์ใช้งานเครื่องจักรกลงานดินสำหรับงานก่อสร้างและงานอื่นๆ โดยมีขอบเขตเนื้อหาครอบคลุมเฉพาะเครื่องจักรกลที่เคลื่อนที่ได้ในตัวเท่านั้น เพราะเป็นเครื่องจักรกลุ่มใหญ่ที่มีความสำคัญที่สุดในการทำงานดิน หนังสือเล่มนี้จึงเหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นคู่มือปฏิบัติงานของผู้ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรกลงานดินทุกระดับ และใช้เป็นตำราเรียนในสถาบันการศึกษาต่างๆ ได้อีกด้วย

พันธุ์ลพ หัตถโกศล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
มิถุนายน 2562

สารบัญ | content

คำนำ I
สารบัญ II
สารบัญภาพ XI
สารบัญตาราง XXII
ตารางเทียบคำศัพท์ XXIV

01 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญของเครื่องจักรกลงานดิน 2
1.2 ประเภทและลักษณะของดินและหิน 3
1.2.1 ขนาดของเม็ดดิน 5
1.2.2 ความชื้นในดิน 6
1.2.3 หน่วยน้ำหนักของวัสดุและค่าความฟู 8
1.2.4 ค่าการยุบตัวและการอัดแน่นของดิน 12
1.2.5 ความแข็งแกร่งของวัสดุและความยากง่ายในการขุด 13
1.3 ลักษณะของงานดิน 16
1.4 ประเภทของเครื่องจักรกลงานดิน 17
1.5 ประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลงานดิน 18

02 ประเภทของงานดิน 25

2.1 งานปรับสภาพพื้นที่ 27
2.2 งานไถคราดและไถพรวนดิน 28
2.3 งานขุดและดัน 29
2.4 งานขุดคลองและร่องคู 30

สารบัญ | content

2.5 งานขุดบ่อหรือขุดลดระดับ 32
2.6 งานตัก 35
2.7 งานขนส่งลำเลียง 36
2.8 งานกองดินและกองสต็อก 37
2.9 งานถมดิน 39
2.10 งานปรับเกลี่ยพื้นผิว 41
2.11 งานบดอัด 42
2.12 งานสร้างทาง 44
2.13 การเลือกใช้เครื่องจักรกลงานดิน 45

03 ลักษณะทั่วไปของเครื่องจักรกลงานดิน 51

3.1 โครงสร้างหลัก 52
3.2 ฐานตีนตะขาบ 55
3.2.1 ชนิดและองค์ประกอบของฐานตีนตะขาบ 55
3.2.2 การกระจายน้ำหนักของรถบนพื้น 60
3.2.3 ความสึกหรอของช่วงล่างตีนตะขาบ 61
3.3 ฐานล้อยาง 62
3.4 การเคลื่อนที่ไปบนพื้น 66
3.4.1 แรงฉุดสูงสุด 66
3.4.2 แรงต้านการเคลื่อนที่หรือการหมุนของล้อบนพื้นราบ 68
3.4.3 แรงต้านการเคลื่อนที่เนื่องจากความลาดชัน 70
3.4.4 แรงต้านการเคลื่อนที่รวม 71
3.5 เครื่องต้นกำลังและระบบส่งกำลัง 73
3.5.1 เครื่องต้นกำลัง 74

สารบัญ | content

3.5.2 ระบบส่งกำลัง 78
3.5.3 ระบบควบคุมการขับและเบรก 81
3.5.4 ระบบไฮดรอลิก 84
3.6 อุปกรณ์ติดตั้ง 85
3.6.1 ปุ้งกี๋ของเครื่องจักรกลงานดิน 86
3.6.2 อุปกรณ์ติดตั้งอื่น 91

04 รถแทรกเตอร์และรถดันดิน 95

4.1 ประเภทและลักษณะพื้นฐานของรถแทรกเตอร์และรถดัน 96
4.1.1 รถดันตีนตะขาบ 97
4.1.2 รถดันล้อยาง 97
4.1.3 รถแทรกเตอร์งานเกษตรกรรม 98
4.2 คุณลักษณะสำหรับเลือกใช้งานรถแทรกเตอร์ 100
4.3 การใช้งานรถแทรกเตอร์และรถดันดิน 111
4.4 การคำนวณผลผลิตของการขุดและดันดิน 124
4.5 การไถคราด 127
4.5.1 การทดสอบหินเพื่อวัดความสามารถในการไถคราด 128
4.5.2 ชนิดของอุปกรณ์ไถคราด 129
4.5.3 การไถคราด 131
4.5.4 การคำนวณผลผลิตของการไถคราด 137

สารบัญ | content

05 รถตัก 141

5.1 ประเภทและลักษณะพื้นฐานของรถตัก 142
5.1.1 รถตักตีนตะขาบ 142
5.1.2 รถตักล้อยาง 143
5.2 คุณลักษณะของรถตัก 145
5.3 การใช้งานรถตัก 151
5.4 การคำนวณรอบเวลาทำงานและผลผลิตของรถตัก 165

06 รถขุดแบคโฮและโชเวล 171

6.1 รถขุดแบคโฮ 172
6.1.1 ประเภทและลักษณะพื้นฐานของรถขุดแบคโฮ 172
6.1.2 คุณลักษณะสำหรับเลือกใช้งาน 175
6.1.3 การใช้งานรถขุดแบคโฮ 180
6.1.4 การคำนวณผลผลิตของรถขุดแบคโฮ 198
6.2 รถขุดโชเวลหรือรถขุดปุ้งกี๋เสย 200
6.2.1 รถขุดโชเวลไฮดรอลิก 200
6.2.2 รถขุดโชเวลเชิงกล 205
6.2.3 การใช้งานรถขุดโชเวล 213
6.2.4 การคำนวณรอบเวลาทำงานและผลผลิต 216

สารบัญ | content

07 รถบรรทุกงานดิน 223

7.1 ประเภทและลักษณะพื้นฐานของรถบรรทุกงานดิน 224
7.2 คุณลักษณะของรถบรรทุกงานดิน 227
7.3 การใช้งานรถบรรทุกงานดิน 233
7.4 การคำนวณรอบเวลาทำงานและผลผลิต 235
7.5 การออกแบบถนนสำหรับรถบรรทุกงานดิน 242

08 รถขุดสเครปเปอร์ 247

8.1 ประเภทและลักษณะพื้นฐาน 248
8.2 คุณลักษณะสำหรับเลือกใช้งาน 252
8.3 การใช้งานรถขุดสเครปเปอร์ 255
8.4 การคำนวณรอบเวลาทำงานของรถขุดสเครปเปอร์ 263
8.5 การคำนวณผลผลิตของรถขุดสเครปเปอร์ 264

สารบัญ | content

09 รถขุดปั้นจั่นและรถขุดสายลาก 269

9.1 รถขุดปั้นจั่นติดตั้งปุ่งกี๋ก้ามปู 270
9.1.1 ประเภทและลักษณะพื้นฐาน 271
9.1.2 คุณลักษณะสำหรับเลือกใช้งานรถขุดปั้นจั่น 276
9.1.3 การใช้งานรถขุดปั้นจั่นที่ใช้ปุ่งกี๋ก้ามปู 280
9.1.4 การคำนวณรอบเวลาทำงานและผลผลิต 283
9.2 รถขุดสายลาก 285
9.2.1 ประเภทและลักษณะพื้นฐานของรถขุดสายลาก 286
9.2.2 คุณลักษณะสำหรับเลือกใช้งานรถขุดสายลาก 292
9.2.3 การใช้งานรถขุดสายลาก 296
9.2.4 การคำนวณรอบเวลาทำงานและผลผลิตของรถขุดสายลาก 310

10 รถขุดปุ่งกี๋หมุน 317

10.1 ประเภทและลักษณะพื้นฐานของรถขุดปุ่งกี๋หมุน 318
10.2 คุณลักษณะสำหรับเลือกใช้งานรถขุดปุ่งกี๋หมุน 320
10.3 เครื่องจักรและอุปกรณ์ทำงานร่วม 326
10.4 การใช้งานรถขุดปุ่งกี๋หมุน 328
10.5 การคำนวณผลผลิตของรถขุดปุ่งกี๋หมุน 334

สารบัญ | content

11 รถขุดผิว 339

11.1 ประเภทและลักษณะพื้นฐานของรถขุดผิว 340
11.2 คุณลักษณะสำหรับเลือกใช้งานรถขุดผิว 344
11.3 การใช้งานรถขุดผิว 348
11.4 การคำนวณผลผลิตของรถขุดผิว 354

12 รถเกลี่ยดิน 357

12.1 ประเภทและลักษณะพื้นฐานของรถเกลี่ยดิน 358
12.2 คุณลักษณะสำหรับเลือกใช้งานรถเกลี่ยดิน 361
12.3 การใช้งานรถเกลี่ยดิน 364
12.4 การคำนวณผลผลิตของรถเกลี่ยดิน 376

13 รถบด 379

13.1 ประเภทและลักษณะพื้นฐานของรถบด 380
13.2 คุณลักษณะสำหรับเลือกใช้งานรถบด 392
13.3 การใช้งานรถบด 393
13.4 การคำนวณผลผลิตของรถบด 398

สารบัญ | content

14 รถเจาะดินและหิน 403

14.1 ประเภทและลักษณะพื้นฐานของระบบเจาะ 404
14.2 คุณลักษณะสำหรับเลือกใช้งานรถเจาะ 409
14.3 การประยุกต์ใช้งานรถเจาะ 424
14.4 การวัดผลผลิตของการเจาะ 432

15 ความปลอดภัยในการใช้เครื่องจักรกลงานดิน 437

15.1 ลักษณะและหน้าที่ของพนักงานควบคุมเครื่องจักร 438
15.2 การตรวจสภาพทั่วไปของเครื่องจักรก่อนทำงาน 440
15.3 การประเมินและเตรียมสภาพพื้นที่ก่อนทำงานดิน 442
15.4 การทำงานที่ปลอดภัย 443
15.4.1 พื้นที่จุดบอดในขณะขับเครื่องจักร 444
15.4.2 เสถียรภาพของเครื่องจักรขณะทำงาน 445
15.4.3 ความปลอดภัยในการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักร 451
15.4.4 การขนย้ายเครื่องจักรกลงานดินด้วยรถเทรลเลอร์ 452

สารบัญ | content

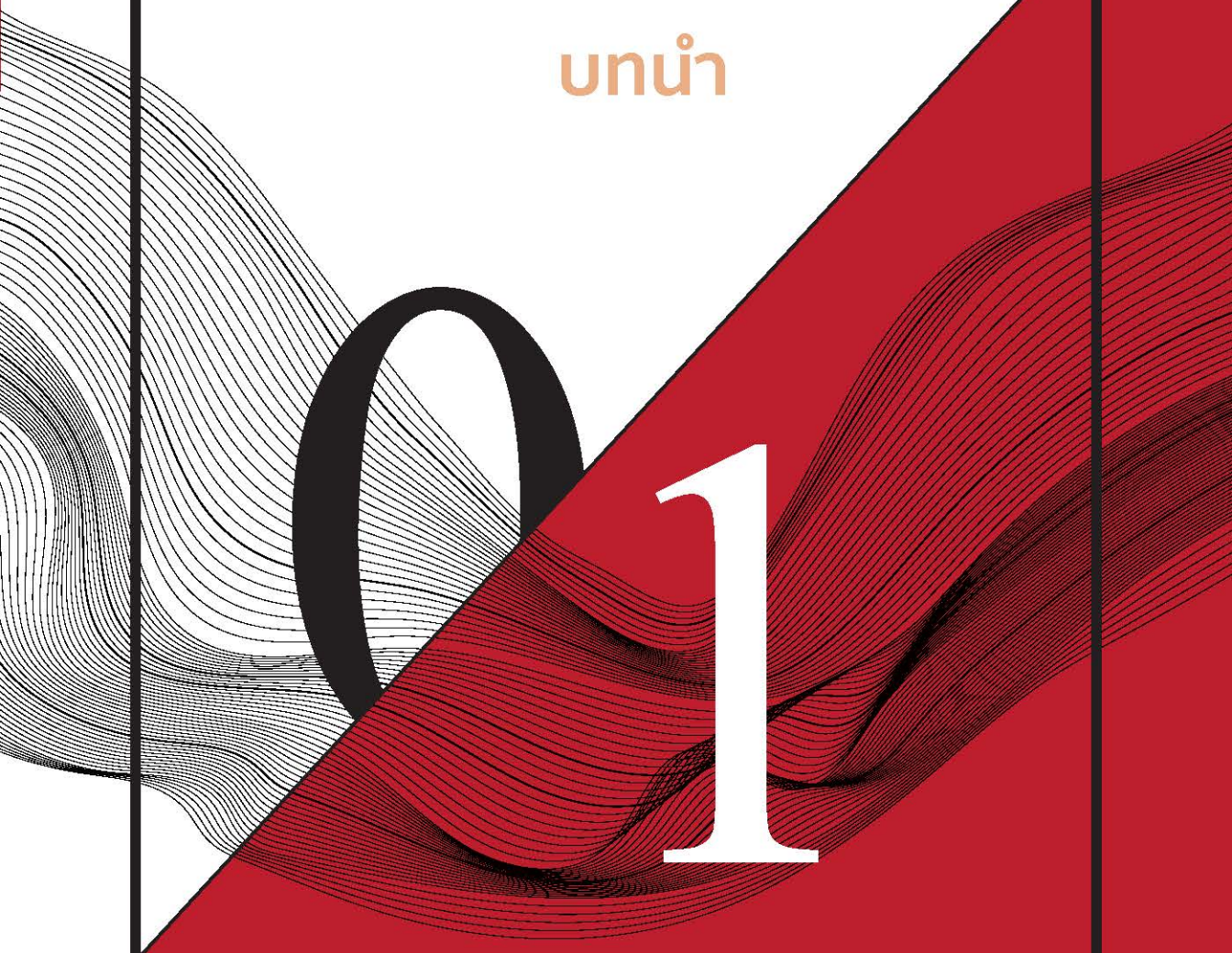
16 การประเมินค่าใช้จ่ายของเครื่องจักรกลงานดิน 453

16.1 ประเภทของค่าใช้จ่าย 454
16.2 การประเมินค่าใช้จ่ายด้วยวิธีของ CATERPILLAR 459
16.3 แนวทางการประเมินค่าใช้จ่ายเครื่องจักรกลงานดิน 461
16.4 การตัดสินใจเปลี่ยนเครื่องจักรกลงานดิน 471

บรรณานุกรม 475
ดัชนี (INDEX) 481

CHAPTER 1

บทนำ



INTRODUCTION

เครื่องจักรกลงานดินชนิดเคลื่อนที่ หมายถึง เครื่องทุ่นแรงที่ติดตั้งบนฐาน เช่น ล้อยาง หรือตีนตะขาบ ซึ่งเคลื่อนที่ได้ด้วยตัวเอง นำมาใช้ดัน เกลี่ย ขุดตัก ขน หรือบดอัดดิน การศึกษาเกี่ยวกับเครื่องจักรกลงานดินจำเป็นจะต้องมีความรู้และความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวข้องกับงานดินแต่ละประเภท ลักษณะทางวิศวกรรมของดินและหิน ประเภทและลักษณะพื้นฐานต่างๆ ของเครื่องจักรกลที่จะนำมาใช้ ตั้งแต่โครงสร้างช่วงล่างและส่วนบน อุปกรณ์ทำงานดิน ตลอดจนถึงลักษณะพิเศษเฉพาะและวิธีการใช้งาน ทั้งนี้เพื่อเลือกใช้งานได้อย่างถูกต้องเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ เนื้อหาในบทนี้ประกอบด้วย ความสำคัญของเครื่องจักรกลงานดิน ลักษณะของดินและหิน ชนิดของงานดิน ประเภทของเครื่องจักร และการวัดประสิทธิภาพของงาน

1.1 ความสำคัญของเครื่องจักรกลงานดิน

งานก่อสร้างทั่วไป เช่น การก่อสร้างอาคาร สนามบิน ท่าเรือ ถนน พื้นที่สันทนาการ เป็นต้น มักจะเกี่ยวข้องกับการพัฒนาและปรับสภาพพื้นที่ ทำฐานราก งานขุด ตัก ขนส่งลำเลียง งานถมดินให้ได้ระดับตามข้อกำหนด และบดอัดให้สามารถรับน้ำหนักได้ ซึ่งล้วนเป็นงานที่จำเป็นจะต้องใช้เครื่องจักรกลงานดิน

การทำเหมืองแร่ เป็นกระบวนการผลิตแร่จากเปลือกโลกที่เกี่ยวข้องกับการเจาะสำรวจขุดดินและหินที่ปิดคลุมชั้นแร่ เคลื่อนย้ายลำเลียงดิน-หินนำไปเทกอง หรือถ้าเป็นแร่จะนำไปเทลงยุ้งของโรงแต่งแร่ และจะต้องมีงานสนับสนุน เช่น การก่อสร้างถนน ร่องระบายน้ำ และสุดท้ายจะเกี่ยวข้องกับการฟื้นฟูพื้นที่

นอกจากนี้ยังมีงานสำคัญอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานดิน เช่น งานชลประทาน ที่ต้องถมดินสร้างเขื่อน ขุดสระน้ำ คลองส่งน้ำ ทางระบายน้ำ งานเกษตรกรรมที่ต้องใช้รถไถพรวนและปรับสภาพดิน งานป้องกันภัยพิบัติจากน้ำท่วมหรือไฟไหม้ป่า ดินโคลนถล่ม ที่ต้องสร้างเนินหรือขุดคูเป็นแนวกันน้ำท่วมและแนวกันไฟไหม้ และขนย้ายมวลดิน เป็นต้น

งานทั้งหมดนี้จะมีความสัมพันธ์กับชนิดของดินและหินในพื้นที่ทำงาน และลักษณะของงานดินที่จะต้องดำเนินการ เช่น การขุดลึกลงไปในพื้นดินเป็นบ่อกว้าง ขุดร่อง ขุดตัดชานพักหรือขั้นบันได หรืองานถมและกองดิน เป็นต้น เครื่องจักรกลงานดินจึงเป็นอุปกรณ์หลักที่จะต้องนำมาใช้ แต่เครื่องจักรกลเหล่านี้จะมีหลายประเภทและหลายขนาด ตามรูปแบบและขนาดของโครงการที่เกี่ยวข้อง ทำให้ต้องมีความรู้ในการเลือกใช้เครื่องจักรกลชนิดเคลื่อนที่ให้เหมาะสมกับประเภทของงานดินนั้นๆ

การทำงานดินมักจะต้องจัดหาเครื่องจักรกลหนักที่มีค่าลงทุนค่อนข้างสูง และงานดินจะก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายดำเนินงานตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสิ้นสุดโครงการ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ค่าซ่อมบำรุงรักษา ค่าอะไหล่ และวัสดุสิ้นเปลือง ทำให้ผู้ดำเนินการจะต้องตระหนักถึงความสำคัญตั้งแต่การออกแบบคำนวณปริมาณงานดิน การเลือกเครื่องจักร การใช้งาน รวมถึงความปลอดภัยและการบริหารงานเครื่องจักร เพื่อให้การทำงานดินเป็นไปอย่างประหยัดต้นทุนและทรัพยากรต่างๆ

ประเภทและขนาดของเครื่องจักรกลงานดินจะถูกเลือกจากข้อกำหนดและลักษณะของงานดิน ระยะเวลาที่ต้องใช้ในการทำงาน และงบประมาณที่มีอยู่ ดังนั้นในการตัดสินใจเลือกใช้เครื่องจักรให้ถูกต้องจำเป็นจะต้องมีรายละเอียดและปริมาณงานดินในแต่ละช่วงเวลาที่ชัดเจน และนำคุณลักษณะของเครื่องจักรกลแต่ละประเภทหรือแต่ละขนาดมาศึกษาขีดความสามารถในการทำงาน จากนั้นพิจารณาค่าลงทุนเครื่องจักร ซึ่งจะเปลี่ยนมาเป็นต้นทุนต่อหน่วย รวมค่าดอกเบี้ยในการจัดซื้อ หรือค่าเช่าเครื่องจักร และประเมินค่าใช้จ่ายดำเนินการ ซึ่งจะรวมกันเป็นตัวชี้ขาดในการเลือกเครื่องจักรกลที่เหมาะสม

เครื่องจักรกลแต่ละประเภทจะถูกออกแบบและสร้างมาเพื่อใช้ทำงานดินในลักษณะที่แตกต่างกัน วัสดุที่เครื่องจักรสามารถขุดและขนได้ก็จะมีหลายลักษณะ เช่น ดินเดิมที่สะสมตัวตามธรรมชาติ ดินแน่น ดินหลวม ดินแห้งหรือเปียกดินชื้น หินโม่ หินก้อนจากการระเบิด หรือกองวัสดุ เป็นต้น งานที่ปฏิบัติก็จะมีความแตกต่างกัน เช่น งานขุด ไถคราด ปรับเกลี่ย ตัก ขนถ่ายหรือลำเลียง หรือบดอัด เครื่องจักรบางชนิดอาจจะทำงานได้ลักษณะเดียว บางชนิดจะทำได้หลากหลาย ทั้งงานขุดและตัก หรือทั้งขุดและขน การเลือกใช้เครื่องจักรกลงานดินที่เหมาะสมจะช่วยให้ปฏิบัติงานได้สำเร็จตามวัตถุประสงค์อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 ประเภทและลักษณะของดินและหิน

ในการใช้เครื่องจักรทำงานดินจะพบวัสดุที่เป็นดิน-หิน 3 สถานะคือ

1. ดินหรือหินมวลเนื้อแน่น ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในเปลือกโลก (In situ/In-place materials)
2. ดินหรือหินที่มีลักษณะหลวม (Loose materials) หลังจากถูกระเบิด หรือถูกขุดให้แตกฟู ขยายตัวเป็นปริมาตรหลวม มีช่องว่างอากาศแทรกอยู่ระหว่างก้อน
3. ดินหรือหินที่ถูกบดอัดให้แน่น (Compacted materials) หลังจากนำมาถมหรือกอง

วัสดุงานดินตามธรรมชาติ (Earth materials) มีหลายชนิด ตั้งแต่ ดินเหนียว ทรายแป้ง ทราย กรวด หิน หินก้อนใหญ่ เศษไม้ เศษวัสดุ เป็นต้น ดินมักจะมีส่วนประกอบหลากหลาย และมีเม็ดดินหลายขนาดตั้งแต่ตะกอนแป้ง จนถึงกรวดทราย บางครั้งจะมีสารอินทรีย์ปะปนมาด้วย หินโดยทั่วไปจะเป็นแร่เนื้อมวลที่มีองค์ประกอบทางเคมีเด่นชัดกว่าดิน เช่น หินแกรนิต หินบะซอลต์ หินปูน หินทราย หินดินดาน เป็นต้น

ดินในทางกายภาพ หมายถึงส่วนผสมระหว่างเม็ดแร่ที่ผุพังและสารอินทรีย์ ชั้นดินที่อยู่ด้านบนสุดคือ***หน้าดิน (Top soil)*** เป็นชั้นที่มีสารอินทรีย์ค่อนข้างสมบูรณ์เหมาะสำหรับการเพาะปลูก ถ้าขุดออกมาควรจะนำมาเก็บกองสำรองไว้สำหรับใช้ฟื้นฟูพื้นที่ในภายหลัง ชั้นหน้าดินอาจจะมีความหนาเล็กน้อยจนถึงประมาณ 1 เมตร ชั้นดินที่อยู่ต่ำกว่าหน้าดินลงไปมักจะเป็นชั้นที่มีแร่ดินเหนียวมากขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ลึกจากผิวดินประมาณ 1-2 เมตร เป็นชั้นที่อาจจะมีลักษณะร่วนเพราะมีกรวดทรายปน และมีความชื้นไม่แน่นอน ดินในชั้นนี้มักจะขุดได้ง่าย โดยอาจจะนำไปใช้ในงานถมหรือฟื้นฟูพื้นที่ ต่อจากชั้นเหล่านี้ลงมาถึงระดับลึกประมาณ 5-10 เมตร จะเป็นชั้นดินที่ผุพังมาจากหิน หรืออาจจะเป็นชั้นที่เกิดจากการพัดพามาตกตะกอนสะสมตัว มีทั้งดินเหนียวและก้อนหินหลายขนาด เช่น ชั้นดินลูกรัง ซึ่งในบางพื้นที่อาจจะเป็นดินอ่อนขุดง่าย แต่บางพื้นที่จะขุดได้ยากถ้าเกิดการประสานของเม็ดแร่จนจับตัวแน่นแข็ง ชั้นที่อยู่ลึกลงไปและรองรับชั้นดินเหล่านี้มักจะเป็นหินผุและหินเนื้อมวลแน่นตามธรรมชาติที่ยังแสดงโครงสร้างของชั้นหิน ตารางที่ 1.1 แสดงการจำแนกประเภทและลักษณะของดินและหินทางวิศวกรรม

ตารางที่ 1.1 การจำแนกประเภทดินและหินทางวิศวกรรม

ประเภท	ชื่อ	ลักษณะ	วิธีขุด	การใช้รองรับน้ำหนัก
1	หินใหม่ (Fresh rock)	หินมวลเนื้อแน่น	ระเบิด (Blast)	แข็งแรง
2	หินผุเล็กน้อย (Slightly weathered)	มีรอยแตก และมีแร่ปนเปื้อนแทรก	ระเบิด (Blast)	ใช้ได้กับทุกโครงสร้าง ยกเว้นเขื่อน
3	หินผุปานกลาง (Moderately weathered)	เริ่มเปลี่ยนเป็นดิน บางส่วนมีเนื้อหินมากกว่าดิน	ไถคราด (Rip)	ใช้ได้กับโครงสร้างขนาดเล็ก
4	หินผุมาก (Highly weathered)	เริ่มเปลี่ยนเป็นดิน บางส่วนมีเนื้อดินมากกว่าหิน	ขูด (Scrape)	มีความผันแปรไม่แน่นอน ต้องทดสอบ

ตารางที่ 1.1 การจำแนกประเภทดินและหินทางวิศวกรรม (ต่อ)

ประเภท	ชื่อ	ลักษณะ	วิธีขุด	การใช้รองรับน้ำหนัก
5	หินผุทั้งหมด (Completely weathered)	ผุกลายเป็นดิน มีโครงสร้างชั้นดินปรากฏให้เห็นบ้าง	ขุด (Excavate)	ต้องทดสอบความแข็งแกร่งเหมือนดิน
6	ดิน (Soil)	มีสารอินทรีย์ปน ไม่มีโครงสร้างแบบชั้นหิน	เก็บไว้ใช้ทางเกษตรกรรม	ไม่เหมาะสม

ที่มา: เรียบเรียงจาก BS 5930 (Engineering Classification of Weathered Rock) และ Waltham (2002)

การจำแนกประเภทดินและหินสำหรับการทำงานดิน นอกจากชนิดของวัสดุหรือแร่องค์ประกอบแล้ว จะต้องใช้คุณลักษณะอื่นๆ ประกอบด้วย เช่น ขนาดของเม็ดดิน เม็ดกลมหรือเหลี่ยม ความชื้น ความแข็ง (Hardness) ความคม (Abrasiveness) ความหนาแน่น (Density) ค่าความฟู การยุบตัว ความแข็งแกร่งในการรับแรง และความยากง่ายในการขุด เป็นต้น ซึ่งมีรายละเอียดดังหัวข้อย่อยต่อไปนี้

1.2.1 ขนาดของเม็ดดิน

การวิเคราะห์ขนาดของเม็ดดินจะทำได้โดยการวัดและใช้ตะแกรงคัดขนาด (Sieve analysis) เพื่อนำผลที่ได้มาอธิบายลักษณะของดิน เพื่อจำแนกประเภทได้ดังนี้ (ISO 14688-1:2017)

- ตะกอนเคลย์ (Clay) หรือดินเหนียว มีเนื้อเนียนละเอียดมาก มีขนาดเล็กกว่า 0.002 มม.
- ดินทรายแป้ง (Silt) มีขนาด 0.002-0.063 มม.
- ทราย (Sand) มีขนาด 0.063-2.0 มม. ตั้งแต่เม็ดทรายละเอียดจนถึงทรายหยาบ
- กรวด (Gravel/Pebble) มีขนาด 2.0-63 มม.
- ก้อนหินขนาดเล็ก (Cobble) มีขนาด 63-200 มม.
- ก้อนหินขนาดใหญ่ (Boulder) มีขนาดใหญ่กว่า 200 มม.

ดินเหนียวมีลักษณะอ่อนตัว (Soft) หรือแน่น (Stiff) จะขึ้นอยู่กับความชื้นในดิน ทำให้มีแรงยึดเกาะระหว่างเม็ดดินมาก (Cohesive soil) รองลงมาคือดินทรายแป้ง ที่แต่ละเม็ดจับตัวกันน้อยลง มักเป็นดินที่มีความแข็งแกร่งในการรับแรงเฉือน (Shear strength) มากกว่าดินทรายที่แต่ละเม็ดเป็นอิสระไม่จับตัวกัน

ชั้นดินที่มีขนาดเม็ดดินโน้มเอียงไปในทางใกล้เคียงกันทั้งหมด เช่น กรวด หรือทรายชายหาด จะบดอัดให้แน่นได้ยาก เพราะจะไม่มีเม็ดขนาดเล็กกว่าที่เข้าไปแทรกระหว่างช่องว่าง จึงไม่สามารถรับน้ำหนักได้ดี ทำให้รถติดหล่มทราย เพราะเม็ดทรายจะเคลื่อนตัวไปทางด้านข้างได้ง่าย

ดินทรายที่มีดินเหนียวปนน้อยกว่าร้อยละ 5 จะมีแรงยึดเกาะระหว่างกันน้อย (Cohesionless) ทำให้มีลักษณะร่วน (Loose) ดินที่ร่วนจะขุดได้ง่าย แต่เมื่อนำมาเทกองจะต้องใช้พื้นที่มากเพราะไม่สามารถกองได้สูง และมีความลาดชันประมาณ 1.5H:1V แต่ทรายหรือกรวดที่ร่วนจะจัดเป็น “Granular soils” ที่มีลักษณะในการระบายน้ำได้ดี *ดินที่มีทรายซิลิกาปน (Silica content)* จะมีความคมทำให้อุปกรณ์ขุดสึกหรอได้ง่าย

ดินที่มีความเหมาะสมสำหรับใช้ถมทำชั้นฐานหรือรองพื้นเพื่อรับน้ำหนักควรจะมีเม็ดดินคละหลายขนาดผสมกัน และมีดินเหนียวปนประมาณ 5-15% จะเป็นชั้นดินที่ขุดได้ง่าย การบดอัดจะช่วยทำให้เม็ดดินต่างขนาดเข้าไปแทรกในช่องว่างระหว่างกันจนดินมีความแน่น ดินเหนียวในปริมาณที่ไม่มากจะช่วยดูดซับเก็บความชื้นไว้ในระดับที่เหมาะสม ทำให้มีแรงยึดเกาะระหว่างเม็ดดินได้ดี

ดินที่มี*ตะกอนเคลย์เป็นองค์ประกอบ (Clay content)* มากกว่าร้อยละ 25 จะไม่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นดินถมเพื่อรับสารระน้ำหนักโครงสร้าง แต่นิยมใช้ถมเขื่อนหรือรองพื้นบ่อเพื่อกันน้ำซึม ดินทรายที่มีดินเหนียวปนมากกว่าร้อยละ 30-40 จนดินเหนียวไปแทรกอยู่ระหว่างเม็ดกรวดทรายที่มีขนาดใหญ่ในปริมาณมาก ก็จะทำให้ไม่สามารถใช้รับน้ำหนักได้ เพราะจะดูดเก็บความชื้นเข้าไปมากจนกลายเป็นดินโคลน

ถ้าดินมีน้ำแร่มาเชื่อมประสานระหว่างเม็ดดิน จะทำให้มีลักษณะจับตัวแน่นแข็ง (Consolidated/Cemented soil) จนทำให้ขุดหรือไถคราดได้ยากถึงแม้จะมีน้ำหนักเบา และจะดูดซับพลังงานจากการระเบิดทำให้แตกเป็นก้อนที่มีขนาดไม่สม่ำเสมอกัน

1.2.2 ความชื้นในดิน

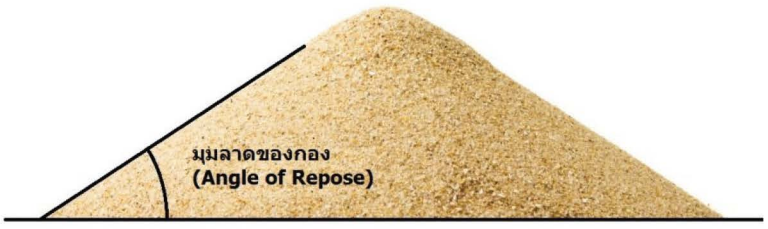
ดินตามธรรมชาติจะเก็บความชื้นไว้ได้มากน้อยจะขึ้นอยู่กับความพรุน (Porosity) หรืออัตราส่วนของช่องว่างระหว่างเม็ดดินกับปริมาตรทั้งหมด *ความชื้นในดิน (Water content)* ที่พอเหมาะ

จะช่วยเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างเม็ดดิน (Cohesion) และช่วยลดปริมาณฝุ่นจากดินในขณะทำงาน ความชื้นในดินที่เหมาะสมสำหรับการบดอัดดินให้แน่นจะมีค่าระหว่าง 8-15% โดยน้ำหนัก ในชั้นดินที่มีน้ำใต้ดินไหลผ่านอาจจะมีความชื้นมากกว่าร้อยละ 25 และดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำอาจจะมีความชื้นสูงถึงร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก

ดินแห้งมักจะมีความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และถ้าเป็นดินที่มีดินเหนียวหรือทรายแป้งเป็นส่วนประกอบมากกว่าร้อยละ 10 เมื่อแห้งจะก่อให้เกิดปัญหาด้านฝุ่นละอองในขณะทำงานขุดหรือขนดิน ซึ่งจะแก้ปัญหาได้ด้วยการฉีดพรมน้ำหรือเติมความชื้นให้ดินในระดับที่เหมาะสม เช่น ในการขุดและขนดินของเหมืองแม่เมาะ จะกำหนดให้ฉีดพรมน้ำไปบนหน้างานดินที่ผ่านการระเบิดประมาณ 2-3% โดยปริมาตรของดิน เป็นเวลา 1 วันก่อนขุดและขน เพื่อช่วยควบคุมปริมาณฝุ่น นอกจากนี้การเติมน้ำในปริมาณที่เหมาะสมให้ดินที่แห้งจะช่วยทำให้ขุดดินได้ง่ายขึ้น

ดินที่มีความชื้นมากกว่าร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก จะจัดเป็นดินเปียกชื้น มักจะก่อให้เกิดปัญหาในการทำงาน โดยเฉพาะถ้าเป็นดินเหนียวหรือทรายแป้ง ถนนจะลื่น พื้นดินอาจจะไม่สามารถรับน้ำหนักเครื่องจักรได้ดี ผนังหน้างานดินที่มีความชื้นมากจะไม่เสถียรพังทลายได้ง่าย ดินเหนียวจะเกาะที่ปุ้งกี๋ขุด กระบะรถ หรือล้อรถ ทำให้ประสิทธิภาพในการขุดและขนดินลดลง การขุดดินโคลนหรือดินเลนจะไม่ได้ปริมาณงานมาก และไม่สามารถนำมากองให้พูนสูงขึ้น ทำให้ต้องใช้พื้นที่เก็บกองมาก

ทรายหรือกรวดเปียกอาจจะไม่ก่อให้เกิดปัญหามากถ้าไม่ใช่จุดที่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน ทรายชายหาดที่ชื้นจะนำมาเทกองและก่อสร้างเป็นรูปทรงต่างๆ ได้ง่าย หรือสามารถรับน้ำหนักรถบางชนิดให้วิ่งไปบนชั้นทรายที่ชื้นได้ แต่เมื่อทรายแห้งจะทำให้รถติดหล่ม และเมื่อนำทรายแห้งมาเทกอง จะพูนขึ้นเป็นรูปกรวยคว่ำที่มีมุมลาดตามธรรมชาติ (Angle of repose) ของกองทราย ประมาณ 1.5H:1V ซึ่งเป็นมุมที่เกิดจากแรงเสียดทาน (Friction angle) ระหว่างเม็ดทรายที่ได้สมดุลกับน้ำหนักของเม็ดทราย



ภาพที่ 1.1 มุมลาดของกองวัสดุที่เกิดจากแรงเสียดทานที่สมดุลกับน้ำหนักของเม็ดวัสดุ

ดินจะมีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีความชื้นเพิ่มขึ้น เช่น ดินเหนียวจะพองตัวมากขึ้น หรือรับน้ำหนักได้น้อยลง การทดสอบสมบัติของดินที่เรียกว่า *"Atterberg Limits"* จะให้ค่า*ดัชนีพลาสติก (Plasticity index)* และ*ค่าขีดจำกัดความเหลว (Liquid limit)* ของดิน สำหรับใช้วิเคราะห์ลักษณะที่เหมาะสมของดินก่อนนำไปใช้ถมเพื่อรองรับภาระน้ำหนัก เช่น ดินเหนียวที่พองตัวมากเมื่ออุ้มน้ำจะมีค่าดัชนีพลาสติกและค่าขีดจำกัดความเหลวมากกว่า 50 ขึ้นไป มักจะก่อให้เกิดปัญหาในการยุบตัวเป็นหลุมหรือเกิดรอยแตกทำให้ไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ถมเพื่อรองรับน้ำหนักโครงสร้าง

1.2.3 หน่วยน้ำหนักของวัสดุและค่าความฟู

หน่วยน้ำหนัก หรือความหนาแน่นของดิน-หิน จะมีความสำคัญในการใช้คำนวณปริมาณงานดิน กำหนดค่าเป็นกิโลกรัมหรือตันต่อ ลบ.เมตร ถ้าเป็นวัสดุใต้ผิวดินที่เกิดสะสมตัวตามธรรมชาติจะเรียกว่า *วัสดุแน่น (Bank material)* มีปริมาตรเป็น *ลูกบาศก์เมตรแน่น (Bank cubic meter: BCM)* มีหน่วยน้ำหนักเป็น ตันต่อ ลบ.เมตรแน่น ดินหรือหินแน่นตามธรรมชาติเมื่อถูกทำให้แตกฟูออกและมีช่องว่างระหว่างก้อน จะมีปริมาตรขยายเพิ่มขึ้น และมีหน่วยน้ำหนักลดลง หินที่ถูกระเบิดให้แตกออกเป็นก้อน หรือเป็นดินที่ถูกทำให้แตกฟูออกโดยการขุดหรือไถพรวน จะเรียกว่า *วัสดุหลวม (Loose material)* มีปริมาตรเป็น *ลูกบาศก์เมตรหลวม (Loose cubic meter: LCM)* มีหน่วยน้ำหนักเป็น ตันต่อ ลบ.เมตรหลวม

ในที่นี้จะนิยาม *ค่าความฟู (Swell factor: SF)* คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาตรใหม่และปริมาตรเดิม หรือหน่วยน้ำหนักของวัสดุแน่น (D_B) ต่อหน่วยน้ำหนักของวัสดุหลวม (D_L) ที่มีค่ามากกว่า 1 และนิยามค่า % Swell คือร้อยละของปริมาตรที่ขยายตัวเพิ่มขึ้น ดังสมการต่อไปนี้

$$SF = \frac{D_B}{D_L} \tag{1.1}$$

$$\%Swell = \left(\frac{D_B}{D_L} - 1\right) \times 100 \tag{1.2}$$

เมื่อกำหนดให้

SF	ค่าความฟู (Swell factor) ของดินหรือวัสดุแน่นตามธรรมชาติที่แตกฟูออกเป็นก้อน
D_B	หน่วยน้ำหนัก เป็นกิโลกรัม หรือ ตัน ต่อ 1 ลบ.เมตร (BCM) ของวัสดุแน่นตามธรรมชาติ
D_L	หน่วยน้ำหนัก เป็นกิโลกรัม หรือ ตัน ต่อ 1 ลบ.เมตร (LCM) ของวัสดุหลวมที่แตกฟูออก

ภาพที่ 1.2 การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรวัสดุเนื่องจากงานดิน

และนิยามค่า *ส่วนผกผันของค่าความฟู (Load factor)* คือส่วนกลับของค่าความฟู ดังนี้

LF	ค่าภาระ (Load factor) หรือส่วนผกผันของค่าความฟู หรือ LF = 1 ÷ SF ที่มีค่าน้อยกว่า 1

ส่วนผกผันของค่าความฟู จะนำไปใช้หาค่าร้อยละของช่องว่างหรือช่องอากาศที่ทำให้ดินฟูขึ้น ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 1.1 หินปูนเนื้อมวลตามธรรมชาติ มีหน่วยน้ำหนัก (D_B) คือ 2.6 ตันต่อ ลบ.เมตรแน่น เมื่อถูกระเบิดให้แตกออกเป็นก้อนจะมีปริมาตรขยายตัวเพิ่มขึ้น 70% หมายถึงหินปูนเนื้อมวลเดิมมีปริมาตรแน่น 1 ลบ.เมตร (BCM) เมื่อแตกฟูออกเป็นก้อนจะมีปริมาตรหลวม คือ 1.70 ลบ.เมตร (LCM)

หน่วยน้ำหนักของหินปูนที่แตกเป็นก้อน (D_L)	=2.6 ÷ 1.7	=	1.53 ตันต่อ ลบ.เมตร (LCM)
ค่าความฟู (SF)	=2.6 ÷ 1.53	=	1.70
ส่วนผกผันของค่าความฟู (LF)	=1 ÷ 1.70	=	0.588
ร้อยละของช่องว่าง (%Void)	=1 - 0.588	=	0.412 หรือ 41.2%

เนื่องจากดินหรือหินที่อยู่ในปุ้งกี๋ของรถขุด หรือในกระบะรถบรรทุก เป็นวัสดุที่มีปริมาตรหลวม จึงต้องใช้หน่วยน้ำหนักเป็นตันต่อ ลบ.เมตรหลวม (LCM) แต่ในการคำนวณปริมาณงานดินที่ทำงานได้เพื่อจ่ายเป็นค่าจ้างขุดและขนดิน-หิน มักจะจ่ายตามปริมาณของวัสดุที่ได้จากการชั่งน้ำหนัก หรือตามปริมาตรดินแน่นที่ได้จากการรังวัด จึงต้องใช้หน่วยน้ำหนักเป็นตันต่อ ลบ.เมตรแน่น (BCM) โดยใช้ *ค่าความฟู* หรือ *ส่วนผกผันของค่าความฟู* เป็นตัวคูณเพื่อแปลงปริมาตรวัสดุหลวมให้กลายเป็นปริมาตรแน่น

ตัวอย่างที่ 1.2 หินปูนมีหน่วยน้ำหนัก 2.6 ตัน/ลบ.เมตรแน่น เมื่อถูกระเบิดจะฟูและมีปริมาตรขยายตัวเพิ่มขึ้น 70% หรือมีค่าความฟู 1.7 เท่า ถูกตักใส่รถบรรทุกที่มีความจุกระบะ 22.5 ลบ.เมตร ให้คำนวณปริมาณงานตามความจุของรถบรรทุก หน่วยเป็นตันและ ลบ.เมตรแน่น

$$LF = \frac{1}{SF} = \frac{1}{1.7} = 0.588 \text{ (BCM/LCM)}$$

ปริมาณงานของรถบรรทุก $= 22.5 \times 0.588 = 13.235$ ลบ.เมตรแน่น (BCM)

$= 13.235 \times 2.6 = 34.41$ เมตริกตัน

จากตัวอย่างที่ 1.2 สรุปได้ว่าเมื่อหินปูนถูกระเบิดให้แตกฟูออกจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้น 70% ทำให้มีค่าภาระสำหรับรถบรรทุกคือ 0.588 ซึ่งจะใช้เป็นตัวคูณเพื่อแปลงความจุบรรทุกที่เป็นปริมาตรหลวม (LCM) ให้เป็นปริมาตรแน่น (BCM) สำหรับใช้คำนวณปริมาณหินปูนที่จะถูกขุดและขนออกไปด้วยรถบรรทุก

ในการคำนวณปริมาณงานดินจะต้องคำนึงถึงหน่วยน้ำหนักและค่าความฟูที่ถูกต้องสำหรับวัสดุนั้นๆ ซึ่งจะขึ้นกับชนิดของดิน-หิน ขนาดของก้อนวัสดุ ช่องอากาศ และปริมาณความชื้น ดังนั้นค่าที่นำมาใช้งานจะต้องได้มาจากการทดสอบตัวอย่างที่เก็บมาจากภาคสนาม อย่างไรก็ตามค่าหน่วยน้ำหนักและค่าความฟูโดยทั่วไปของวัสดุต่างๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1.2 สำหรับใช้เป็นตัวเลขประมาณการในเบื้องต้น

เมื่อพิจารณาหน่วยน้ำหนักและค่าความฟูโดยทั่วไปของดินและหินในตารางที่ 1.2 จะพบว่าดินและหินที่แตกฟูจะมีปริมาตรของช่องว่างโดยประมาณ ดังนี้

ชนิดดินและหิน	ช่องว่าง (ร้อยละ)	ค่าความฟู
ทรายและกรวด	0-15	1.0-1.2
ดินที่แตกออกเป็นก้อน	10-22	1.1-1.3
หินที่แตกออกเป็นก้อน	35-45	1.5-1.8

การทำงานดินส่วนใหญ่จะต้องใช้เครื่องจักรกลหนักที่มีค่าลงทุนค่อนข้างสูง และมีการทำงานดินซ้ำๆ กัน จนก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายดำเนินงานที่สูงมาก ทั้งค่าพลังงาน ค่าซ่อมบำรุงรักษา และค่าอะไหล่ เป็นต้น เครื่องจักรบางชนิดอาจจะทำงานได้ลักษณะเดียว เช่น งานขุด ตัก เจาะ ไถคราด ปรับเกลี่ย ขนถ่ายลำเลียง หรือบดอัด แต่บางชนิดจะทำได้หลากหลาย ทั้งงานขุดและตัก หรือทั้งขุดและขน การเลือกประเภทและขนาดของเครื่องจักรกลงานดินที่เหมาะสมจะเริ่มจากรายละเอียดข้อกำหนดของงาน ปริมาณงาน งบประมาณ และระยะเวลาที่ต้องแล้วเสร็จ ทำให้จะต้องตระหนักถึงความสำคัญตั้งแต่ลักษณะพื้นฐาน และลักษณะเฉพาะของเครื่องจักรกลที่จะนำมาใช้ ขีดความสามารถในการทำงาน เทคนิคการใช้งานอย่างถูกต้องและมีความปลอดภัย เพื่อให้การทำงานสำเร็จตามเป้าหมายที่กำหนด ทำให้เครื่องจักรมีอายุใช้งานได้นาน ลดการซ่อมบำรุง และประหยัดทรัพยากรที่เป็นค่าใช้จ่ายต่างๆ

CHIANG MAI
UNIVERSITY PRESS

ISBN (e-Book): 978-616-398-424-1

9 786163 984241

ราคา 364 บาท