



องค์ความรู้

การควบคุมงานบดอัดในสนาม

สำนักวิจัยและพัฒนา

นายสตุติ วิถีพานิช

กลุ่มงานดินด้านวิศวกรรม กลุ่มวิจัยและพัฒนาด้านวิศวกรรม

สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

พฤษภาคม 2552



การควบคุมงานบดอัดในสนาม



ศุคติ วิถีพานิช

สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

15 พฤษภาคม 2552

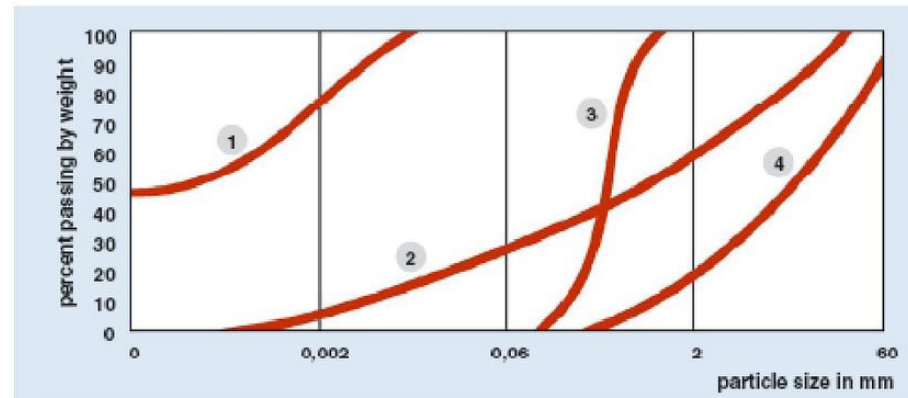
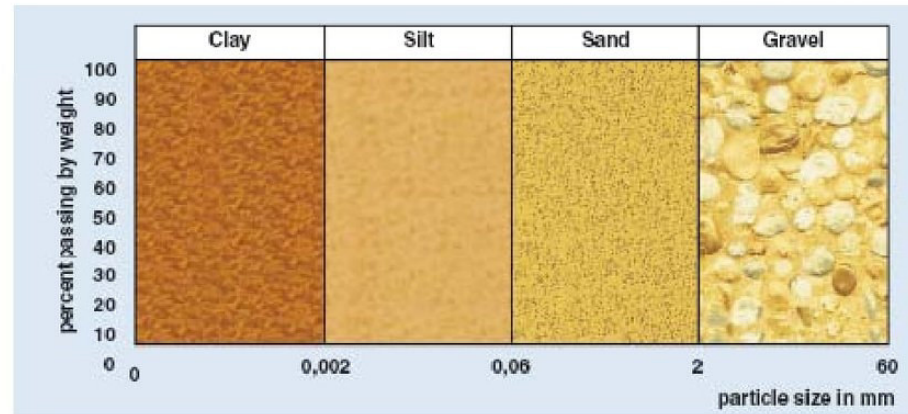
ชนิดและขนาดเม็ดดินในธรรมชาติ



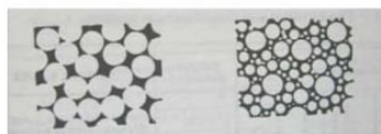
- 1 silty clay
- 2 Gravel - silt
- 3 uniform sand
- 4 Gravel - sand

Sieving and particle size distribution

ภาพจาก BOMAG



ขนาดเดียว

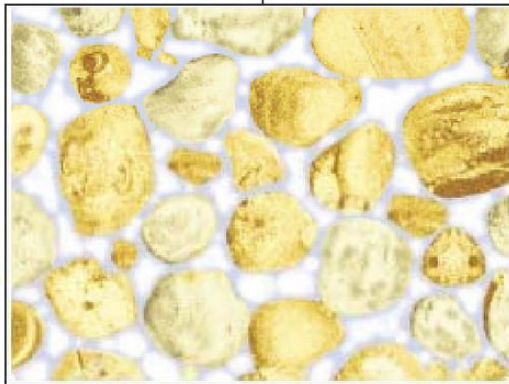
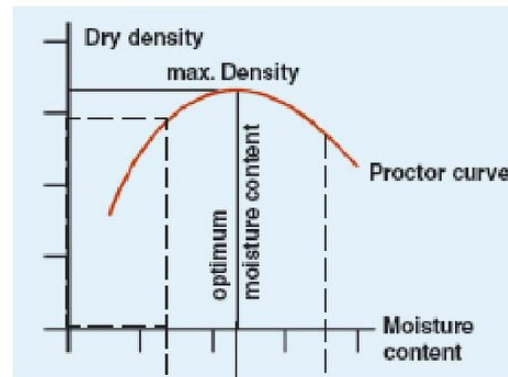


หลายขนาดคละกัน

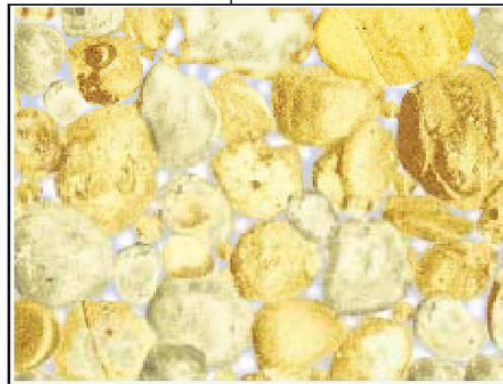
อิทธิพลของน้ำที่มีต่อการบดอัด

Soil compaction Influence of water content on compactability

ภาพจาก BOMAG



- low moisture content**
- high internal friction
 - low density



- optimum moisture content**
- best compactability
 - max. density



- high moisture content**
- high water pressure
 - low density

การจัดเรียงตัวของดินก่อนและหลังการบดอัด

ดินเม็ดหยาบ

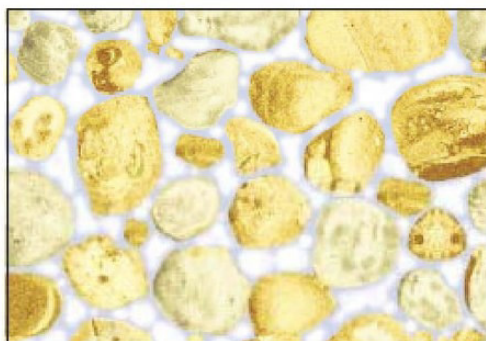
ดินเม็ดละเอียด

Granular

Cohesive

สภาพหลวม

Loose



before compaction

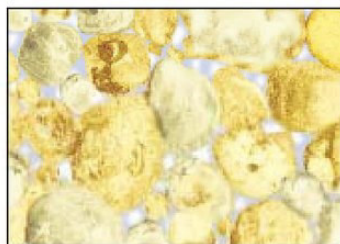
ก่อนการบดอัด



ระเกะระกะ

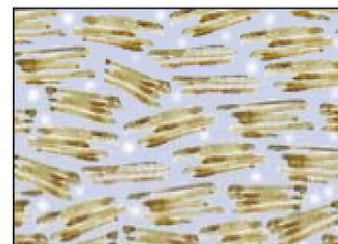
สภาพแน่น

Dense



after compaction

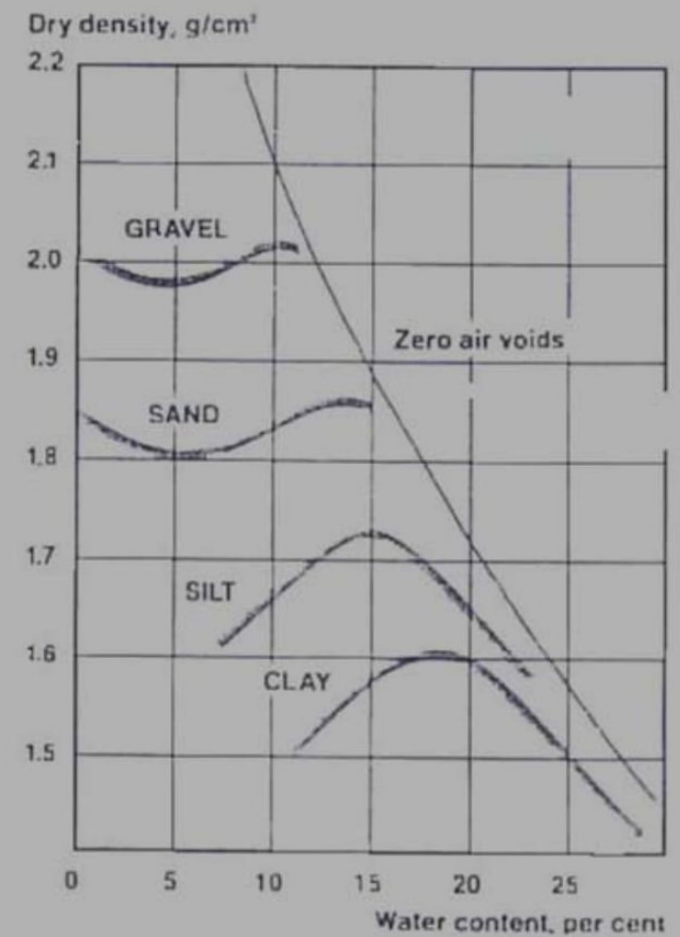
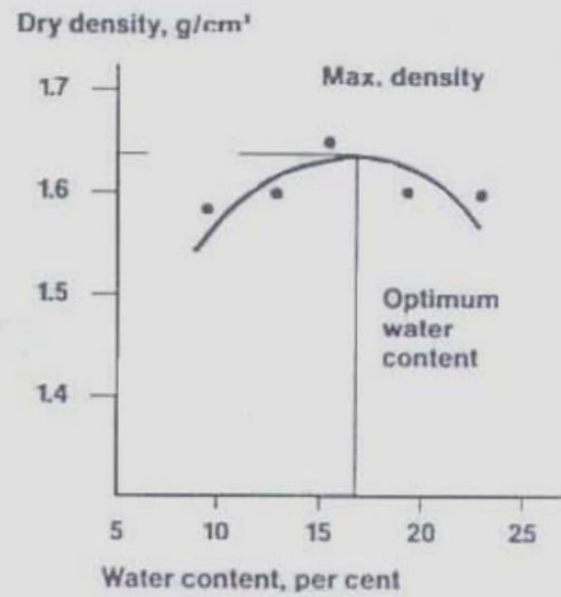
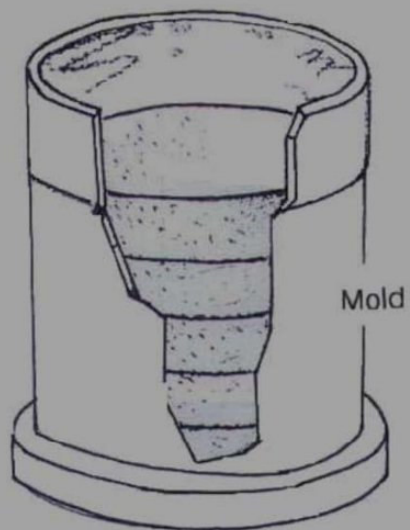
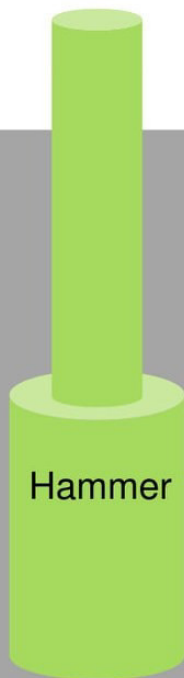
หลังการบดอัด



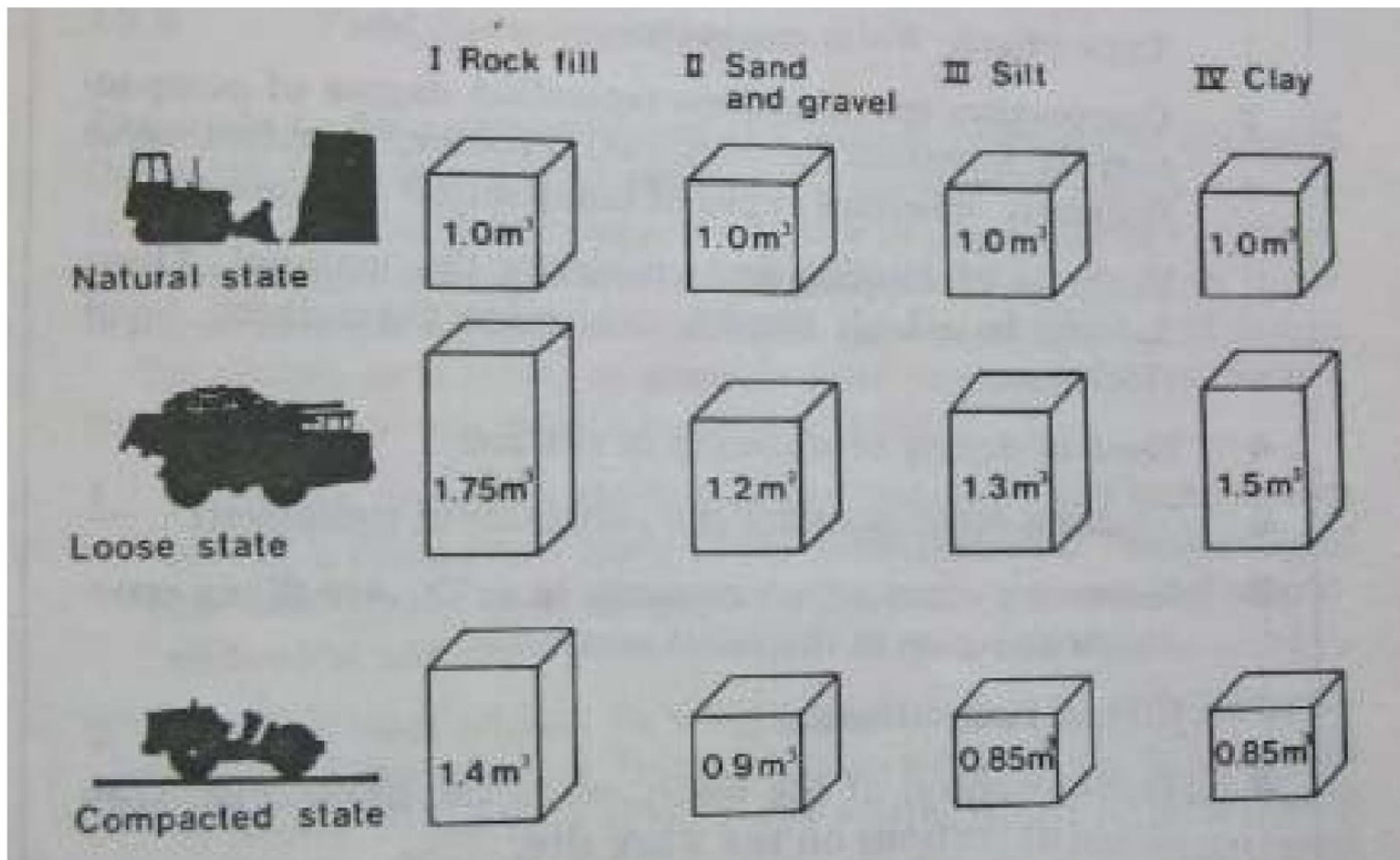
เป็นระเบียบ

ภาพจาก Bomag

ลักษณะการบดอัดดิน



ปริมาตรวัสดุในสภาพธรรมชาติ, สภาพหลวม และสภาพบดอัดแล้ว



หิน

ทรายและกรวด

ตะกอนทราย

ดินเหนียว

ตัวอย่างกรณี **ดินเหนียว** ควรเผื่อปริมาณดินสำหรับการบดอัดอย่างน้อยเท่ากับ $1/0.85 = 1.17$ เท่า

หรือประมาณ **ร้อยละ 20** เป็นอย่างน้อย

หลักสำคัญของการบดอัดวัสดุ

- คือ ต้องการทำให้วัสดุบดอัด มีความสามารถในการรับน้ำหนักแบกทานที่สม่ำเสมอ (Uniform bearing strength) ในแต่ละชั้นของการบดอัด และมีพฤติกรรมการทรุดตัวที่ใกล้เคียงกัน



ธรรมชาติการบดอัดวัสดุ

- วัสดุเม็ดละเอียด (Fine aggregate) ประกอบด้วยดินจำพวก ตะกอนทราย (Silt) และดินเหนียว (Clay) สภาพการบดอัดมีลักษณะดังนี้

1 บดอัดได้ยาก เนื่องจากคุณสมบัติด้านความเหนียว หรือความเชื่อมแน่นของดิน

2 การบดอัดขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในมวลดินเป็นสำคัญ

3 ใช้พลังงานสูงในการบดอัด เพื่อทำลายแรงเชื่อมระหว่างเม็ดดิน และจัดเรียงโครงสร้างใหม่



ดินเหนียว



ตะกอนทราย

ภาพจาก Bomag

ธรรมชาติการบดอัดวัสดุ

- วัสดุเม็ดหยาบ (Coarse aggregate) ประกอบด้วยดินจําพวกทราย (Sand) และกรวด (Gravel) สภาพการบดอัดมีลักษณะดังนี้

1 การบดอัด ขึ้นอยู่กับขนาดผลของวัสดุ กล่าวคือ ถ้าวัสดุมีขนาดเม็ดเล็ก การบดอัดต้องใช้พลังงานในการบดอัดสูงกว่าวัสดุที่มีขนาดเม็ดใหญ่

2 การบดอัดที่มากเกินไปจนความพอดี (Over compaction) อาจทำให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างของดิน และสิ้นเปลืองพลังงาน หรืองบประมาณโดยไม่เกิดประโยชน์



ทราย



กรวด

ภาพจาก Bomag

ธรรมชาติการบดอัดวัสดุ

- วัสดุประเภทหิน (Rock fill) ประกอบด้วยหินจำพวก Cobbles ที่มีขนาดใหญ่กว่า 3 นิ้ว และ Boulders ที่มีขนาดใหญ่กว่า 4 นิ้ว สภาพการบดอัดมีลักษณะดังนี้

1 ความหนาของชั้นหินบดอัด ควรมีค่ามากกว่า 3 เท่าของขนาดโตสุดของหิน

2 ใช้พลังงานสูงในการบดอัด



Cobbles



Boulders

เครื่องมือสำหรับการบดอัด

- วัสดุเม็ดละเอียด ใช้รถบดประเภทล้อเรียบ (Smooth Single Drum) หรือ รถบดตีนแกะ (Pad foot Single Drum) ที่มีขนาดน้ำหนักมาก และปานกลาง (Heavy and Medium Size)



Smooth Single Drum



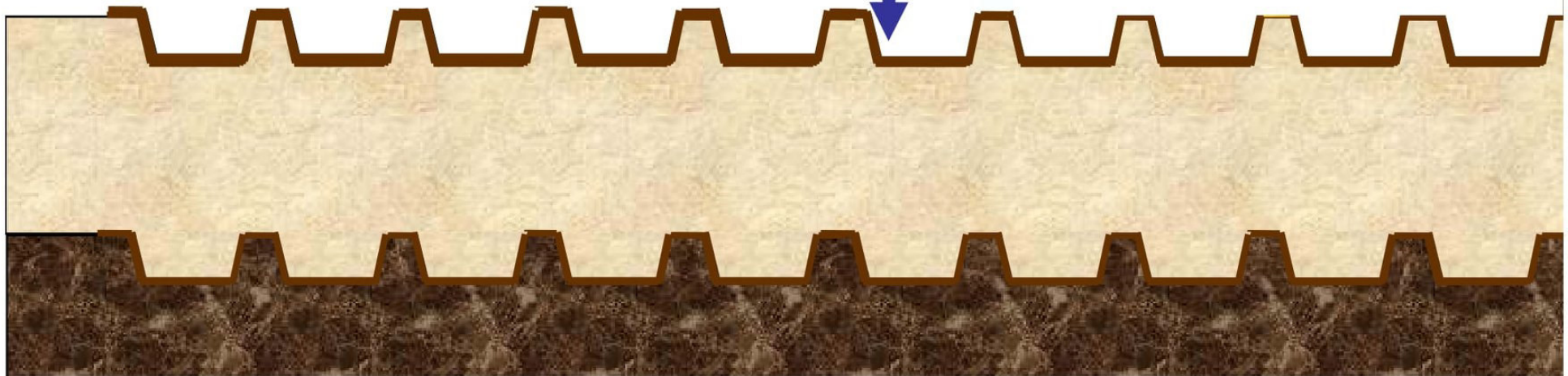
Pad foot Single Drum



PADFOOT

● สลักรับแรงเฉือน (Shear Key)

คือ ร่อง หรือ หลุมที่ทำให้เกิดการ
ยึดเกาะกันระหว่างชั้นดิน ป้องกัน
การเลื่อนไถลหรือต้านทานแรง
เฉือนที่เกิดขึ้นระหว่างชั้นดินทั้งสอง



เครื่องมือสำหรับการบดอัด

- วัสดุเม็ดหยาบ ใช้รถบดประเภทล้อเรียบ ที่มีระบบสั่นสะเทือน (Vibratory Tandem Roller และ Smooth Single Drum)



Vibratory Tandem Roller



Smooth Single Drum

เครื่องมือสำหรับการบดอัด

- วัสดุประเภทหิน ใช้รถบดประเภทล้อเรียบ (Smooth Single Drum) ที่มีขนาดน้ำหนักมาก



หมายเหตุ โดยปกติดินมีองค์ประกอบของวัสดุเม็ดละเอียดและเม็ดหยาบ ผสมปนกันอยู่ตามธรรมชาติ การเลือกใช้เครื่องมือเพื่อทำการบดอัดวัสดุดังกล่าว ควรพิจารณาจากปริมาณของวัสดุเม็ดหยาบกับเม็ดละเอียด กล่าวคือ ถ้าปริมาณส่วนใหญ่เป็นดินเม็ดหยาบ ก็ควรเลือกใช้เครื่องมือที่เหมาะสมกับดินเม็ดหยาบ ในทางกลับกันถ้าปริมาณส่วนใหญ่เป็นดินเม็ดละเอียด ก็พิจารณาเลือกใช้เครื่องมือที่มีความเหมาะสมกับดินดังกล่าวเช่นเดียวกัน

เครื่องมือสำหรับการบดอัด

- วัสดุแอสฟัลต์ คอนกรีต หรือวัสดุทำถนนราดยางใช้รถบดประเภทล้อเรียบ ที่มีระบบสั่นสะเทือน (Vibratory Tandem Roller) และรถบดล้อยาง (Pneumatic Tire Roller)



Vibratory Tandem Roller

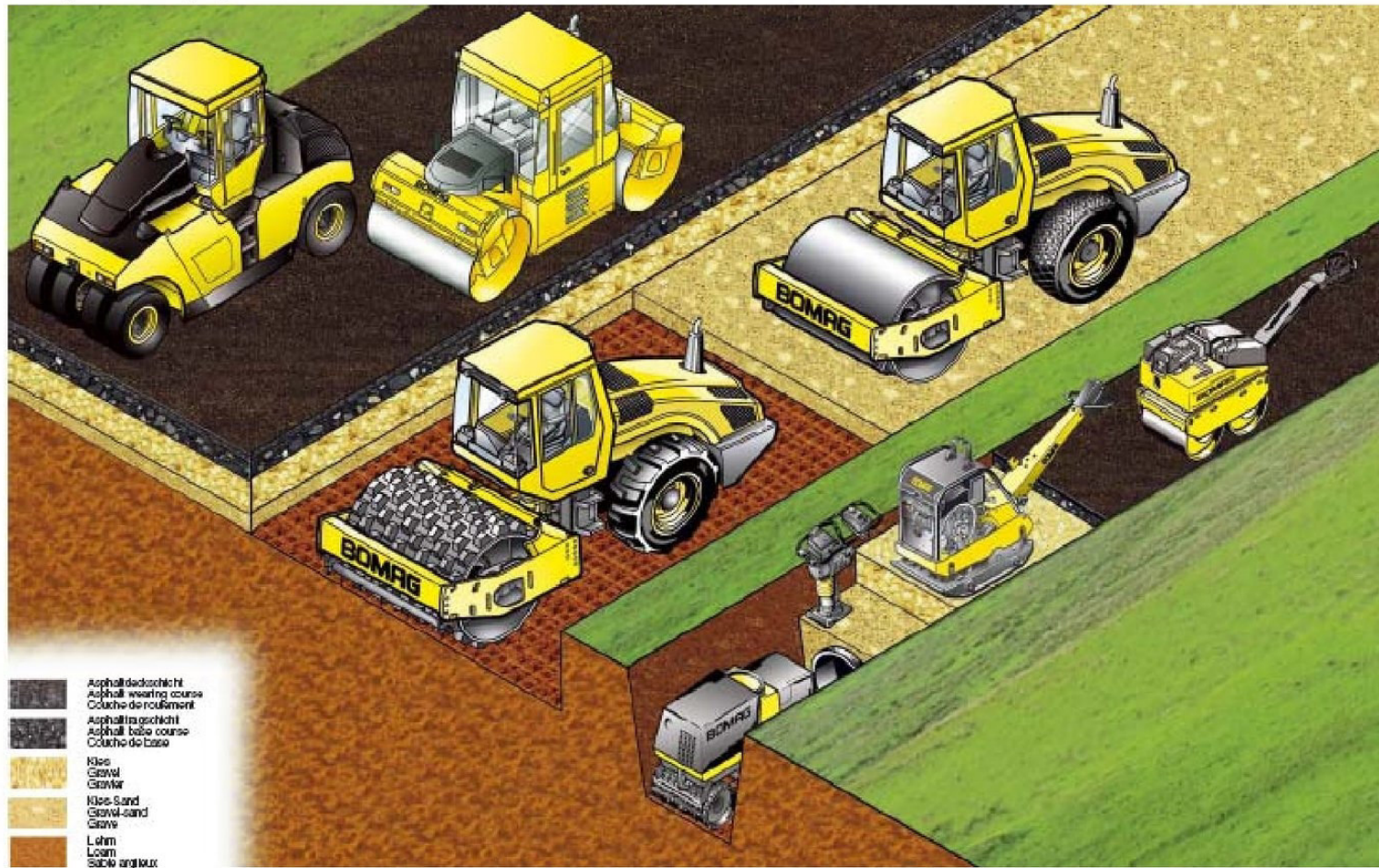


Pneumatic Tire Roller

การใช้รถบดอัดในงานด้านต่างๆ

Soil and Asphalt
compaction equipment

ภาพจาก BOMAG



การกระดอนของลูกบอลบนดินที่มีสภาพต่างกัน

- 
- ▶ การปล่อยลูกบอลลงบนดินที่มีสภาพต่างกัน เช่น ดินแข็ง กับ ดินอ่อน จะทำให้ลูกบอลกระดอนขึ้นสูงได้ไม่เท่ากัน กล่าวคือ เมื่อปล่อยลูกบอลจากระดับความสูงเดียวกัน บอลที่กระทบดินแข็งจะลอยตัวได้สูงกว่า บอลที่กระทบดินอ่อน
 - ▶ ในทำนองเดียวกัน การกระดอนของลูกบอลบนดินที่ค่อยๆ เปลี่ยนสภาพจากอ่อนไปแข็ง ก็พบว่า บอลจะกระดอนได้สูงขึ้นเรื่อยๆ

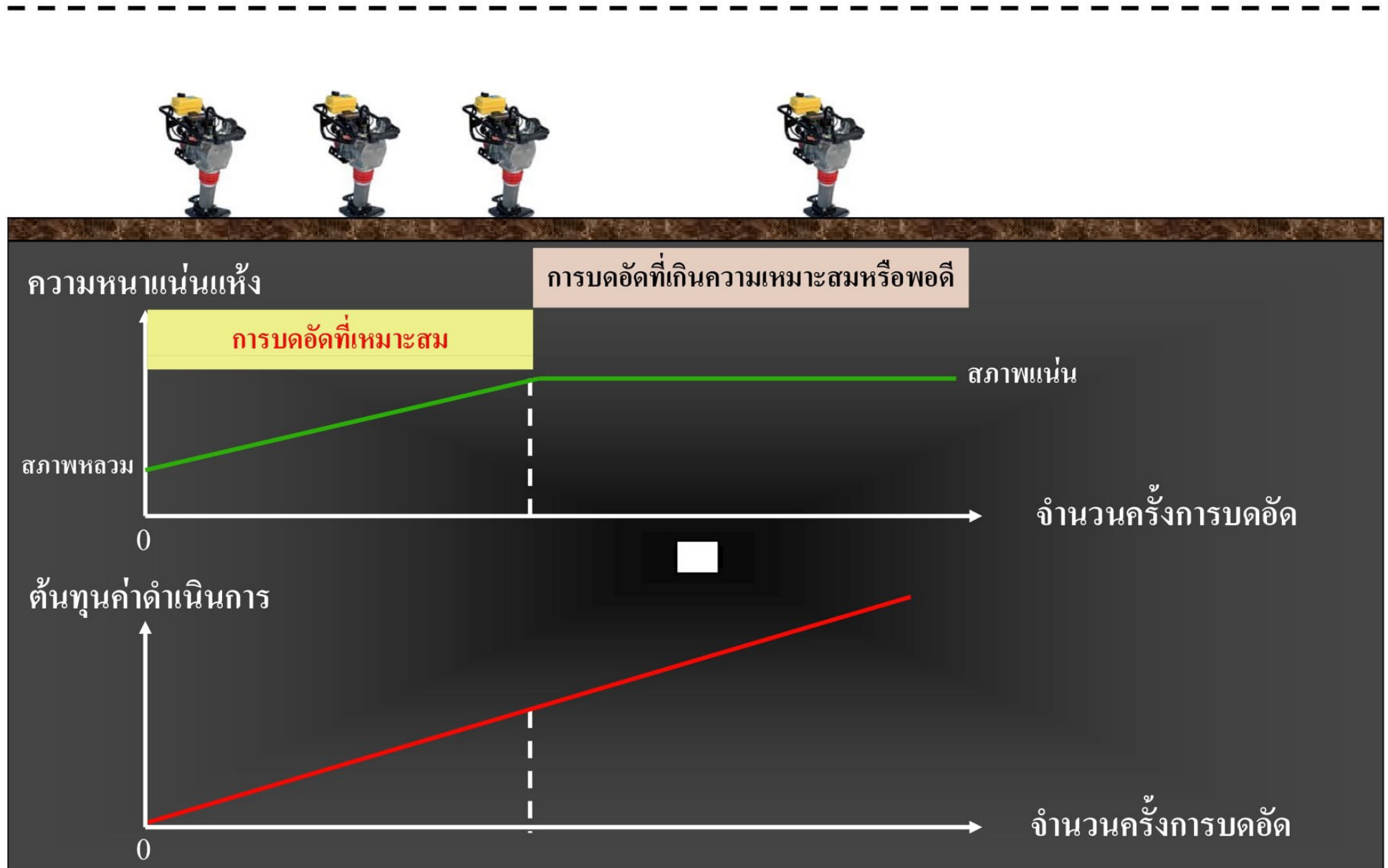
ดินแข็ง

ดินอ่อน

ดินเริ่มแข็ง

ดินแข็ง

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและต้นทุนกับจำนวนครั้งการบดอัด





แอมพลิจูด (Amplitude) และ ความถี่ (Frequency) ของการสั่นสะเทือน ส่งผลอย่างไร ต่อ การบดอัด



ความถี่การสั่นสะเทือน คือความเร็วของการสั่นสะเทือน มีหน่วยเป็น รอบการสั่นสะเทือน ต่อนาที (vibration per minute) หรือ Hz โดยปกติจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 1200 ถึง 4000 รอบ ต่อนาที หรือ 20 ถึง 66 Hz

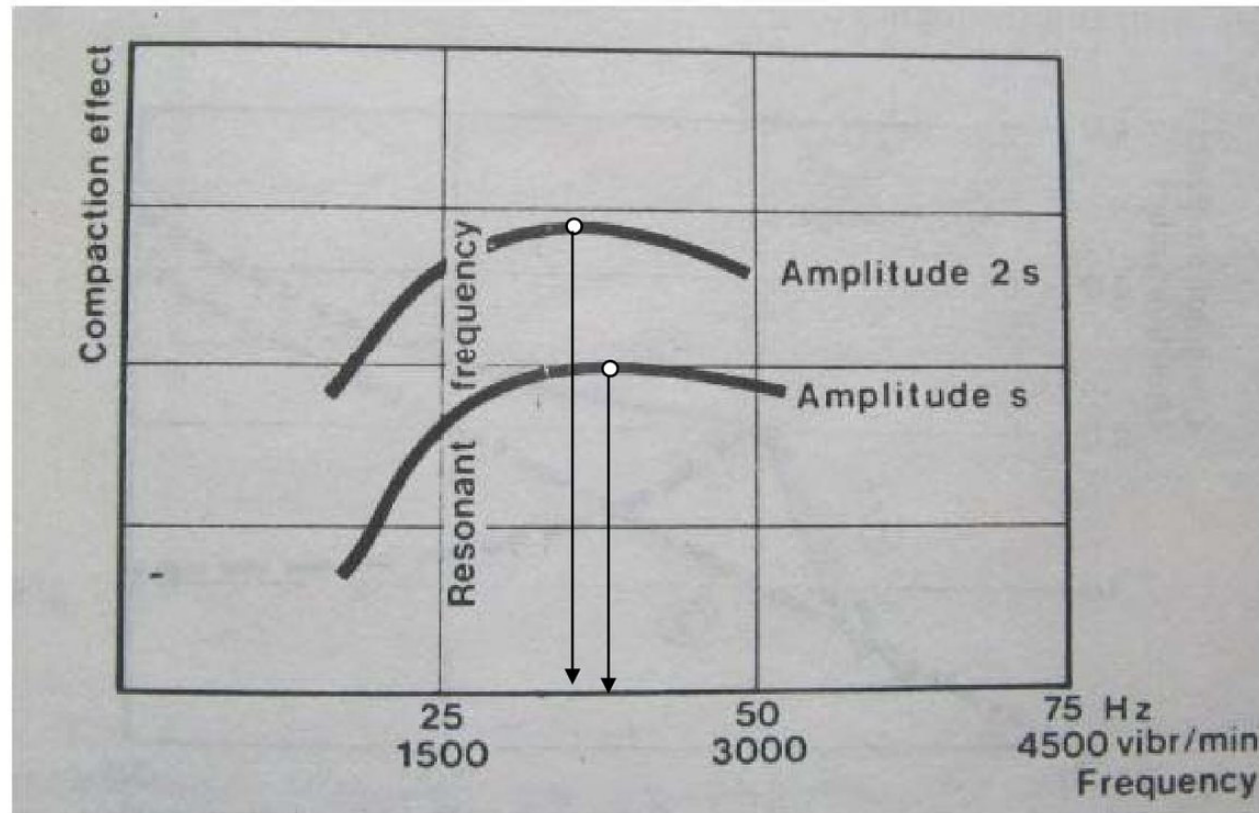
แอมพลิจูดการสั่นสะเทือน คือระยะการเคลื่อนที่ของตัวสั่นสะเทือน มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร โดยปกติจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 0 ถึง 2 มิลลิเมตร

บริษัทผู้ผลิตรถบดอัดแนะนำให้ควรเลือกใช้แอมพลิจูด และ ความถี่การสั่นสะเทือน ให้
เหมาะสมกับสภาพของดิน กล่าวคือ

ดินในสภาพ หลวม ควรใช้ค่า แอมพลิจูดสูง และ ความถี่การสั่นสะเทือนต่ำ
ดินในสภาพ แน่น ควรใช้ค่า แอมพลิจูดต่ำ และ ความถี่การสั่นสะเทือนสูง

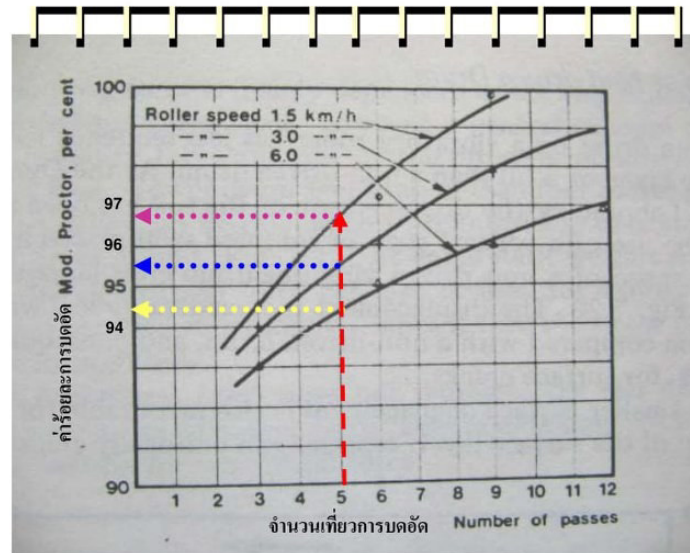


แอมพลิจูด และ ความถี่ การสั่นสะเทือน ส่งผลต่อการบดอัดมากน้อยอย่างไร



- แอมพลิจูดสูง ส่งผลต่อการบดอัดมากกว่า แอมพลิจูดต่ำ
 - ความถี่สูง ไม่ส่งผลต่อการบดอัดมากกว่า ความถี่ต่ำ เสมอไป
- ดังนั้น จึงใช้แอมพลิจูดเป็นตัวกำหนดหลักในการบดอัด และความถี่ที่ส่งผลต่อการบดอัดมากที่สุดเป็นตัวกำหนดรองลงไป

ความเร็ว ของรถบดอัด มีผลต่อการบดอัดอย่างไร

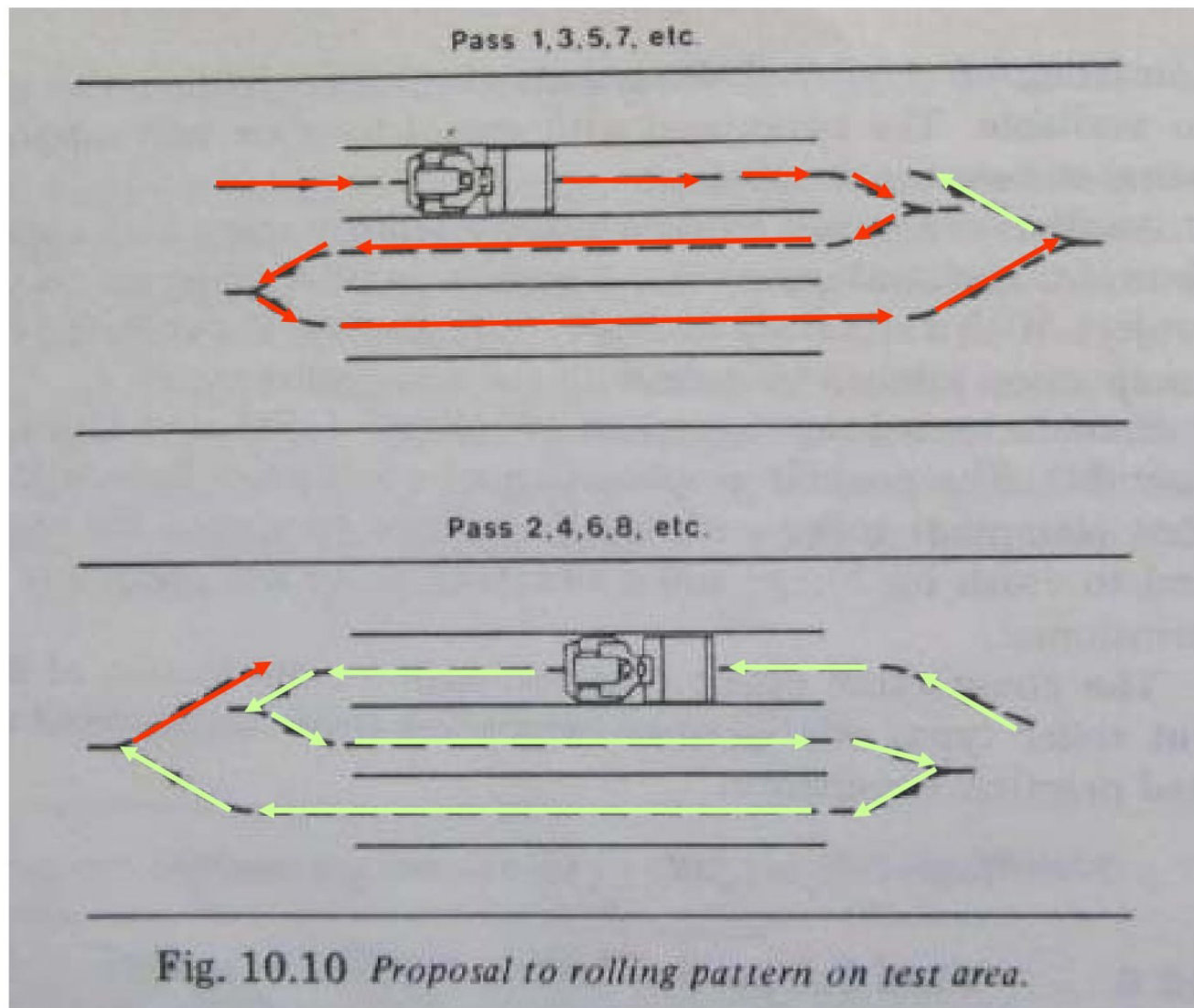


ความเร็วของรถบดอัด มีความสัมพันธ์กับ ความหนาแน่นของดิน แบบแปรผกผัน กล่าวคือ รถบดอัดที่เคลื่อนที่ช้า หรือมีความเร็วต่ำ จะบดอัดดินและทำให้มีสภาพความหนาแน่นสูงกว่ารถบดอัดที่เคลื่อนที่เร็ว

ความเร็วที่เหมาะสมของการบดอัดดิน คือ 2 ถึง 4 กิโลเมตร/ชั่วโมง



รูปแบบการบดอัดในพื้นที่ทดสอบ



การใช้รถบดกับสภาพการบดอัด

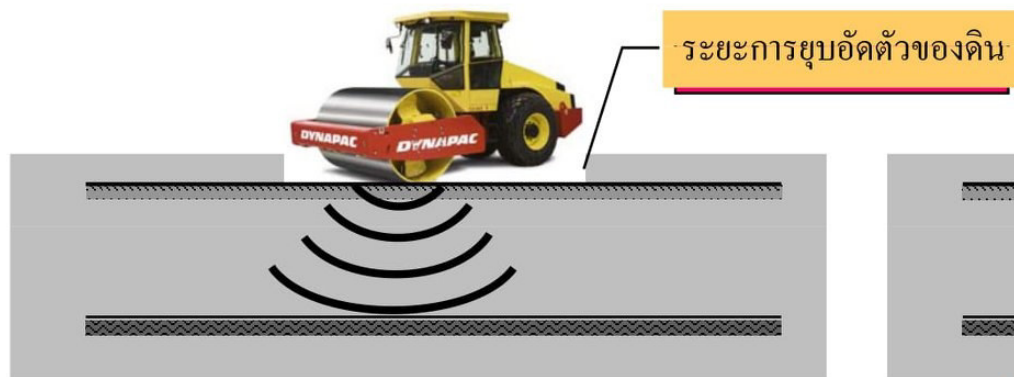
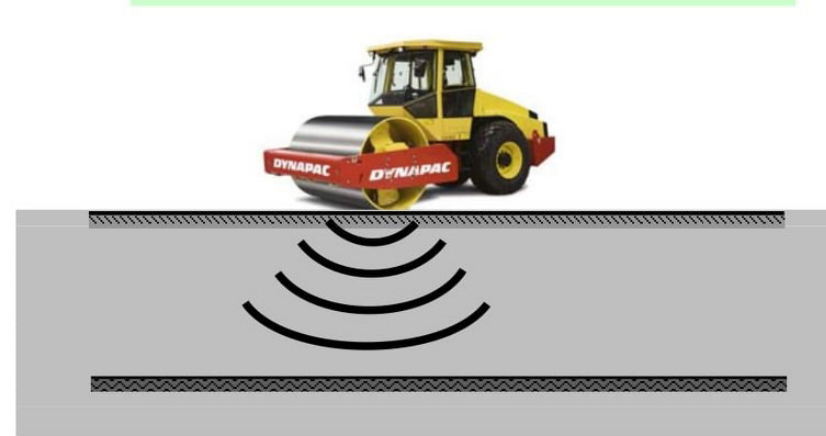
รถบดขนาดเล็ก (Light weight)

1 ➤ ส่งกระจายแรงลงไปได้ในระดับตื้น

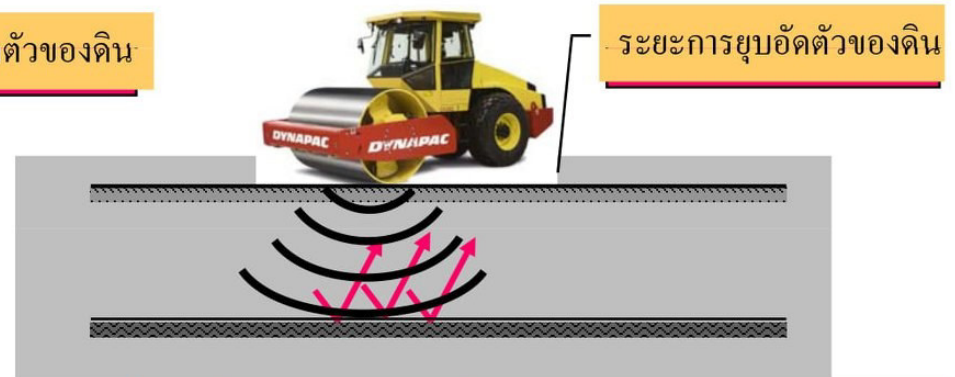


รถบดขนาดใหญ่ (Heavy weight)

2 ➤ ส่งกระจายแรงลงไปได้ในระดับลึก



3 ➤ แรงทำให้ดินเคลื่อนที่เข้าใกล้กัน ปริมาตรลดลง ความหนาแน่นก็สูงขึ้น

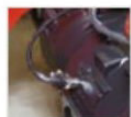


4 ➤ แรงที่กระทำอย่างต่อเนื่อง แต่ไม่ทำให้ความหนาแน่นของดินเพิ่มขึ้น หรือดินอยู่ในสภาพการบดอัดที่เกินความพอดี (Over-compaction)



① **TI Sensor (accelerometer)**

A sensor (1) sits on the vibrating part, which continuously registers the movement of the drum. The signals from the sensor are sent to a processor unit (2), where they are processed.



② **The Rear axle sensor registers the longitudinal position.**



③ **The Processor processes the signals from the accelerometer.**



④ **The compaction meter measures the bearing strength of the surface in CMV, where CMV stands for Compaction Meter Value.**



⑤ **The results of the compaction are shown directly on the screen of the portable DCA unit. The measurement values can easily be transferred to a desktop computer by means of a memory card.**

อุปกรณ์ในรถบดอัด



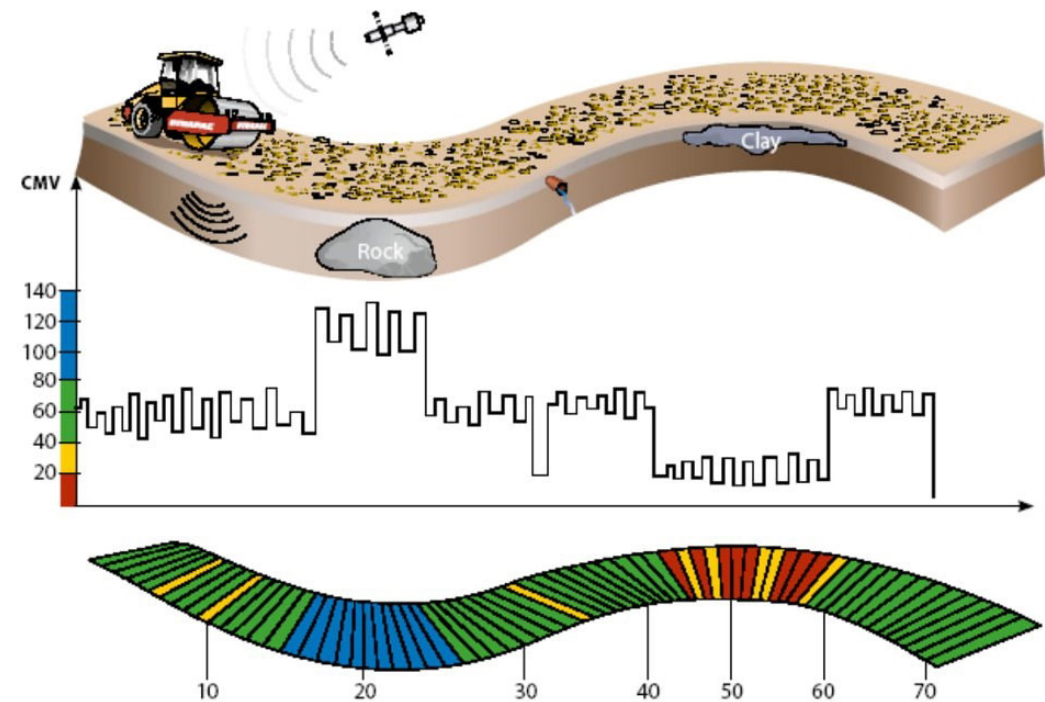
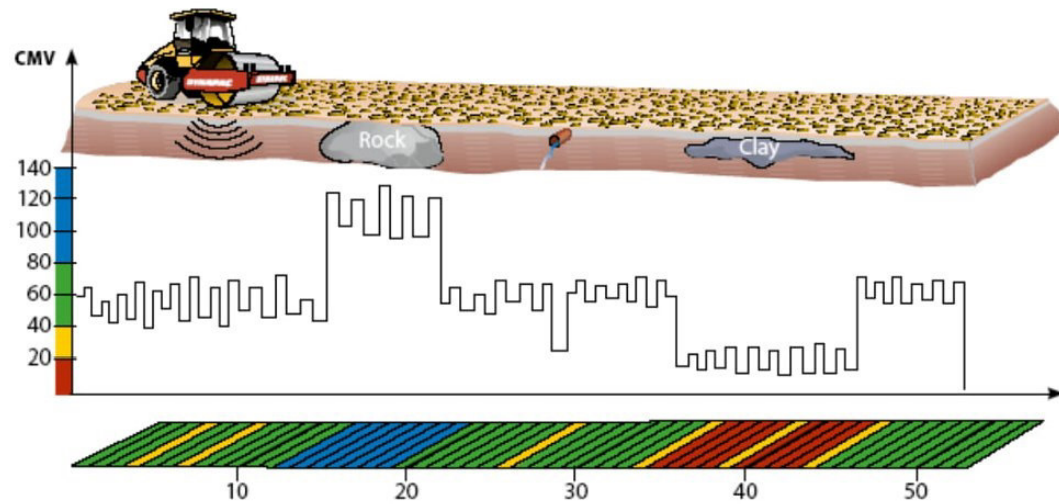
ข้อมูลเพิ่มเติม

1 sensor เป็นตัววัดการเคลื่อนที่ของล้อ ขณะสั่นสะเทือน (vibratory movement of the roller)

3 หน่วยประมวลผล (processor unit) เป็นตัวตรวจสอบการบดอัด จากสัญญาณที่ส่งไปจาก sensor และประมวลผลออกมาเป็นค่า compaction meter value (**cmv**)

4 หน้าปัดแสดงผลค่า**cmv** เป็นตัวแสดงความแข็ง (rigidity) ของวัสดุบดอัด ถ้า **cmv** มีค่าสูง หมายความว่า วัสดุที่บดอัดนั้น มีความแข็งหรือแน่นมาก และถ้าค่า **cmv** ไม่เพิ่มขึ้นในขณะที่ทำการบดอัด นั้นหมายความว่า การบดอัดนั้นทำได้แน่นที่สุดตามความสามารถของเครื่องจักรดังกล่าวแล้ว และไม่มีประโยชน์ที่จะทำการบดอัดต่อ เพราะจะเป็นการสิ้นเปลืองงบประมาณ และเวลา

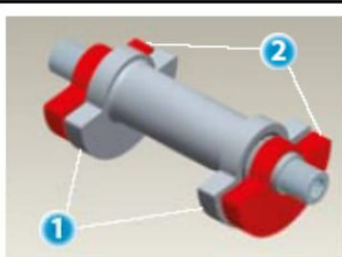
ลักษณะข้อมูลการบดอัดแสดงด้วยค่า CMV



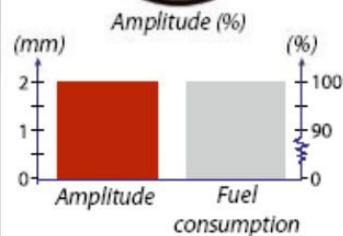
ภาพจาก Dynapac

การปรับเปลี่ยนแอมพลิจูดตามสภาพของดินบดอัด

Soft ground

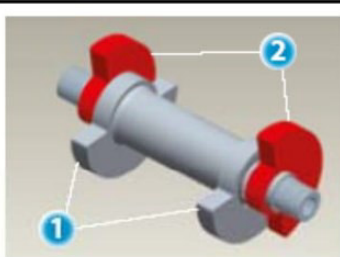


When the adjustable weight (2) is rotated so that it goes to the position shown in the picture above there is an amplitude of 100%.

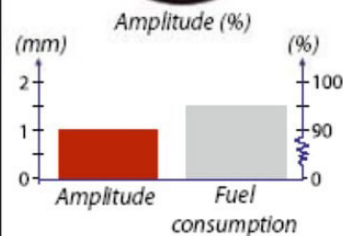


All the dynamic energy from the drum can be absorbed by the ground.

Hard ground

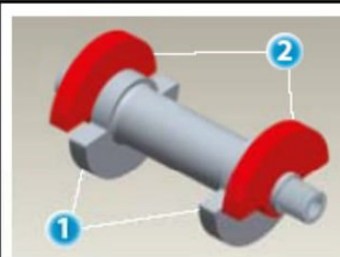


When the adjustable weight (2) is rotated so that it is in the position shown in the picture above there is an amplitude of 50%.

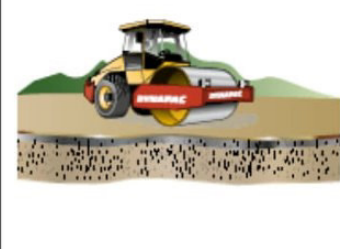
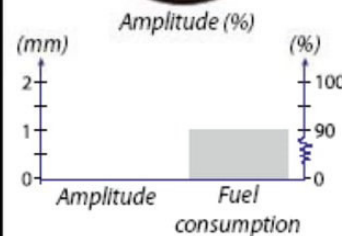


The drum readjusts so that less dynamic energy is supplied to the ground from the drum.

Ready compacted ground



When the adjustable weight (2) is rotated so that it is in the position shown in the picture above there is an amplitude of 0%, so that the forces balance each other out.



The drum is reset so that there is only static compaction.

การปรับเปลี่ยน แอมพลิจูด พิจารณา
จากค่า cmv

- ถ้า cmv ต่ำ แสดงว่าเป็นดินอ่อน
ควรใช้ แอมพลิจูดสูง
- ถ้า cmv สูง แสดงว่าเป็นดินแข็ง
ควรใช้ แอมพลิจูดต่ำ

เรื่องสำคัญปิดท้าย

การทำความสะอาดบริเวณผิวหน้าหินเพื่อลงดินบดอัด

ก่อนปรับปรุง



หลังปรับปรุง



ภาพจากเอกสารมาตรฐานอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น กระทรวงมหาดไทย

ความหนาของชั้นดินบดอัด

การกำหนดความหนาของชั้นดินบดอัด ก็เพื่อให้ดินมีคุณสมบัติสม่ำเสมอ ไม่เกิดพฤติกรรมที่แตกต่างกันมาก ซึ่งจะเป็นผลดีต่อโครงสร้างโดยรวม

เครื่องมือบดอัด	ความหนาชั้นดินบดอัด (ซม.)
เครื่องกระทุนดิน (Tamper)	5 - 10
รถบดตีนแกะ (Sheepsfoot roller)	15 - 20
รถบดสั่นสะเทือน (Vibrating roller)	25 - 30
เครื่องบดอัดขนาดใหญ่ (Heavy compactor)	30 - 35

