บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 นิยามของดิน

คำว่าดิน(Soil)มีความหมายได้หลายอย่างแต่ในวิชาวิศวกรรมปฐพีกลศาสตร์(Soil Engineering) หมายถึง วัสดุทั่วไปบนพื้นโลกที่เป็นดิน หรือมีลักษณะคล้ายดินที่ไม่ใช่ชั้นหินดาน (Bed Rock) ดินจะเป็นส่วนผสมของ เม็ดดิน (Soil Grain)หินย่อยขนาดต่างๆ กัน วัสดุอินทรีย์ (Organic) น้ำ และอากาศ เมื่อรวมกันแล้ว เรียกว่า ดิน (Soil)ซึ่งอาจจะมีความเชื่อมแน่น (Cohesive) เช่น ดินเหนียว (Clay) หรือไม่เชื่อมแน่น (Cohesionless , Non Cohesive เช่น ทราย (Sand) กรวด (Gravel) ที่สะอาดไม่มีฝุ่น (ดินเม็ดละเอียด)ปน หรือถ้าดินเม็ดหยาบมีดินเม็ดละเอียด (Fines) ปนก็อาจจะมีความเหนียว (ส่วนของดินผ่านตะแกรงเบอร์ 40) ต่ำหรืออยู่สูงปานกลางขึ้นอยู่กับขนาดของดินส่วนที่เป็นมวลละเอียดการเกาะยึดกันระหว่างเม็ดดินจะไม่แน่นเป็นเนื้อเดียวกันเหมือนหิน ถ้านำดินมาแช่น้ำดินจะแตกสลาย และแยกเป็นเม็ดอิสระออกจากกันโดยง่ายในระยะเวลาอันสั้นซึ่งขนาดของเม็ดดินที่แยกออกจะมีขนาดต่างกัน ตั้งแต่ขนาดเล็กที่มองเห็นได้ด้วยตา (ขนาดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 200 = 75 ไมครอน , 75 ไมโครมิเตอร์ , 75 Um) จนถึงหินก้อน ขนาด 25 – 50 มม. สำหรับงานโยธาทั่วๆไป หรือมีขนาดใหญ่ 200 – 1000 มม. สำหรับหินทิ้งงานก่อสร้างเขื่อนหินทิ้ง(Rock Filled Dam)

2.1.1 การกำเนิดของดิน

เม็ดดินที่ประกอบเป็นดินรวมเป็นผลมาจากหินแม่ (Parent Rock) ที่ผุกร่อนย่อยสลายตามสภาพดินฟ้าอากาศ (Weathering) ทั้งการกระทำทางกายภาพ (Physical)หรือทางด้านกล (Mechanical) และทางเคมี (Chemical)

การผุกร่อนทางกล (MechanicalWeathering) คือ ขบวนการที่หินแตกเล็กลงและเล็กลงด้วยแรงกายภาพ (Physical) เช่น กระแสน้ำไหล ลมพัด คลื่นทะเล การไหลของก้อนน้ำแข็งในธารน้ำแข็ง การจับตัวเป็นน้ำแข็ง (Frost) การขยายตัวและหดตัวเกิดจากการที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิลดลง

การผุกร่อนทางเคมี (ChemicalWeathering) คือ ขบวนการย่อยสลายทางเคมีของหินเดิม ในการผุกร่อนทางกล หินแตกเม็ดเล็กลงโดยที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีของหิน แต่ในการผุกร่อนทางเคมี หลังการผุกร่อนหินอาจจะเปลี่ยนส่วนประกอบทางเคมีไปอย่างสิ้นเชิง เช่น การผุกร่อนทางเคมีของเฟลด์สปาร์ (Feldspar) ทำให้เกิดแร่ธาตุดินเหนียว (Clay Mineral)

การแยกชนิดของดินอาจแยกได้ตามสมมุติฐานของการเกิดของดินได้เป็น

2.1.1.1 ดินเกิดในที่ (Residual Soils) เป็นดินที่เกิดอยู่ในที่จากผลของการย่อยสลายของหินเดิม โดยมีน้ำเป็นสารละลายหลัก การชะล้างมีดีกรีสูงจากผิวดินลงสู้ความลึกด้านล่าง ซึ่งจะเห็นได้จากรูปตัดหน้าดิน เม็ดดินที่ผิดดินจะมีขนาดเล็กกว่าเม็ดดินชั้นล่างซึ่งอาจจะมีหินกรวดที่ยังผุสลายไม่สมบูรณ์รวมอยู่ด้วย ตัวอย่างดินที่มีธาตุเหล็ก(Ferrous) ผสมโดยมีลักษณะเป็นสีน้ำตาล-แดง เรียกว่า ลูกรัง (Laterite) พบในภูมิประเทศแถบร้อนชื้นมีฝนตกชุกแถบเอเชีย, แอฟริกา

2.1.1.2 ดินตกตะกอนจากการพัดพา (Sedimentd Soils , Transported Soils)เป็นดินที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของเม็ดดินจากแหล่งกำเนิดไปอีกที่หนึ่ง โดยอาศัยตัวกลางต่างๆ เช่น น้ำ ลม ธารน้ำแข็งและเมื่อกระแสการพัดพาของน้ำลดลงเม็ดดินจะตกตะกอนทับถมเป็นเวลานานเกิดเป็นชั้นดินซึ่งมักจะเรียกชื่อดินที่เกิดตามลักษณะการพัดพามา เช่น

ก. อลูเวี่ยม (Alluvium) คือ ดินที่เกิดจากการพัดพาของน้ำจืด ตามที่ราบปากแม่น้ำ ที่ราบลุ่ม ตกตะกอนในน้ำจืด

ข. มารีน (Marine) คือ ดินที่เกิดจากการพัดพาของน้ำจืดตกตะกอนในน้ำทะเล

ค. ลาคัสตรีน (Lacustrine) คือ ดินที่เกิดจากการพัดพาของน้ำจืดตกตะกอนในทะเลสาบ

ง. กราเซียล ดริพท์ (Glacial Drift) คือ ดินที่เกิดจากการบดโม่และเคลื่อนที่ของธารน้ำแข็งซึ่งส่วนใหญ่เป็นโมเรน (Moraine) ทิลล์ (Till) ซึ่งเป็นกรวดปนทรายปนดินตะกอน

จ. เอาโอเลน (Aeolian) คือ ดินที่เกิดจากการพัดพาของลม เช่น ทราย รวมดินตะกอนที่มีขนาดเม็ดไม่ใหญ่นักจะมีขนาดสม่ำเสมอ เช่น สันทราย (Sand dune) ในทะเลทราย

คุณสมบัติของดินตามขนาดของเม็ดดิน (Grain Size) และพลาสติกซิตี้ (Plasticity) ของดินเม็ดละเอียด ดินเป็นวัสดุที่ซับซ้อน และมีคุณสมบัติที่แปรเปลี่ยน ซึ่งส่วนมากไม่สามารถคาดการณ์คุณสมบัติได้เหมือนวัสดุก่อสร้างอื่นๆ ที่ได้จากการผลิต เช่น เหล็ก คอนกรีต เป็นต้น อย่างไรก็ตาม มีหลักการหนึ่งที่สามารถแยกประเภทของดินทั้งหมดได้เป็น 2 ชนิดหลัก คือ ดินเม็ดหยาบ (Coarse Grained Soil) และดินเม็ดละเอียด (Fine Grained Soil) หรือดินเชื่อมแน่น (Cohesive Soil) และดินไม่เชื่อมแน่น (Non Cohesive , Cohesionless Soil) ซึ่งดินแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมที่แตกต่างกันอีก ทั้งวิธีการเก็บตัวอย่าง และการทดสอบมีความแตกต่างกัน ซึ่งเป็นหลักการที่ช่วยทำให้การศึกษาดินทำได้ง่ายขึ้น

ดินเชื่อมแน่น (Cohesive Soil)คือ ดินที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่เมื่อมวลดินเปียก และหลังจากนั้นทำให้แห้งลงเม็ดดินจะยังคงติดกันอยู่ ซึ่งต้องใช้แรงจำนวนหนึ่งในการแยกเม็ดดินออกจากกันในสภาวะแห้ง ดินดังกล่าวจะสามารถตั้งตัวเป็นรูปทรงได้ทั้งในสภาวะที่ความชื้นตามธรรมชาติและในสภาวะแห้ง โดยเฉพาะในสภาวะแห้งจะแข็งบี้ให้แตกได้ยาก เรียกว่า ดินมีกำลังแห้งสูง (High Dry Shear Strength) เมื่อพิจารณาความเหนียว ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาณดินเม็ดหยาบปน และสภาวะความชื้นของดินในขณะนั้น

ดินไม่เชื่อมแน่น (Cohesionless , NonCohesive Soil)เป็นดินไม่เชื่อมแน่นจะไม่มีความเป็นพลาสติก (Non Plastic) ในทุกสภาวะของความชื้น สังเกตได้จากการที่มีคุณสมบัติร่วน (Friable) ไม่จับตัวกัน ยกเว้นในสภาวะที่ชื้น (Moist) จะจับตัวกันหลวมๆ เนื่องจากมีแรงตึงผิวของความดันคาพิวลารี่ (Capillary) เมื่อขุดลงไปหลุมผนังดินจะสามารถตั้งได้ แต่เมื่อทรายแห้งลงผนังทรายจะพังลง เมื่อพิจารณาตามขนาดของเม็ดดินและคุณสมบัติหลัก จะแยกดินออกเป็น 2 ชนิดหลัก คือ ดินเม็ดหยาบ (Coarse Grained Soil) และดินเม็ดละเอียด (Fine Grained Soils)

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติความแตกต่างระหว่างดินเม็ดหยาบและดินเม็ดละเอียด

ดินเม็ดหยาบ (ตัวอย่าง : ทราย)	ดินเม็ดละเอียด (ตัวอย่าง : ดินเหนียว)
- มีค่าอัตราส่วนช่องว่าง , e ต่ำ - มีความเชื่อมแน่นน้อย หรือไม่มีเลย - มีค่ามุมเสียดทาน , Ø สูง รับน้ำหนักได้ดี - ไม่มีความเป็นพลาสติกหรือมีค่าต่ำ - มีค่าการทรุดตัว (Settlement) ต่ำ - การทรุดตัวเกิดขึ้นในระยะเวลาอันสั้นหลังถูกน้ำหนักบรรทุกกดทับ - มีค่าซึมผ่าน (Permeability) ปานกลางถึงสูง - ไม่สามารถเก็บตัวอย่างแบบคงสภาพ (Undisturbed Sampling) ได้ ต้องหาคุณสมบัติของดินด้วยการทดสอบในสนาม เช่น ทดสอบตอกทะลวงแบบมาตรฐาน (Standard Penetration Test : SPT) - ถ้าไม่มีความเชื่อมแน่น (ไม่มีเม็ดดินละเอียดประสาน) จะอัดตัว (ทรุด) เมื่อถูกแรงสั่นสะเทือน เป็นวัสดุก่อสร้าง (ถม) ที่ดีที่สุด - การขุดใต้ระดับน้ำใต้ดินหลุมพังได้ง่ายต้องค้ำยันหรือลดระดับน้ำใต้ดิน (Dewatering) *หมายเหตุ* e = อัตราส่วนช่องว่าง (voil Ratio) Ø = มุมเสียดทาน (Frictional Angle)	- มีค่าอัตราส่วนช่องว่าง , e สูง - มีความเชื่อมแน่นสูง ขึ้นอยู่กับค่าความชื้น - มีค่ามุมเสียดทาน , Ø ต่ำ เป็นวัสดุรองรับได้ดี รับน้ำหนักได้น้อย - มีความเป็นพลาสติก (Plasticity) สูง - มีค่าการทรุดตัว (Settlement) สูง - การทรุดตัวเกิดขึ้นช้าและกินเวลานาน - ทึบน้ำ (Impervious) - ใช้วิธีเก็บตัวอย่างแบบคงสภาพ (Undisturbed Sampling) ด้วยกระบอกบางสำหรับดินเหนียวอ่อน ส่วนดินเหนียวที่แข็ง ใช้วิธีทดสอบในสนาม เช่น ทดสอบตอกทะลวงแบบมาตรฐาน (Standard Penetration Test : SPT) - ไม่มีผลต่อแรงสั่นสะเทือน - ไม่เหมาะที่จะใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง เนื่องจากรับน้ำหนักบรรทุกได้ต่ำ และทำงานยาก - เมื่อเปียกน้ำจะมีค่าแรงเฉือนลดลง ถูกรบกวน (Disturbed) ได้ง่าย - มีการคืบ (Creep) ภายใต้น้ำหนักกดทับคงที่ หดตัวเมื่อแห้ง บวมตัวเมื่อเปียก คันลาดวิบัติเอน (Slide) ได้ง่าย

ที่มา : (อุกฤษ อุกฤษฎ์ดุษฎี, 2004)

2.1.2 คำจำกัดความของศิลาแลง (Laterite) และดินลูกรัง (Latertic Soil)

ศิลาแลงและดินลูกรังเป็นผลผลิตของกระบวนการสลายตัวตามธรรมชาติในพื้นที่แถบร้อน (TropicalWeathering)นักวิทยาศาสตร์และนักวิจัยหลายท่านให้คำจำกัดความของเทอมต่างๆ เกี่ยวกับศิลาแลงและดินลูกรังที่สมควรจะกล่าวถึงมีดังต่อไปนี้

Buchananเป็นคนแรกที่ให้ความหมายศิลาแลงที่พบในมาลาบาร์ประเทศอินเดียว่า หมายถึงหินที่มีสีเหลืองเนื่องจากมีแร่เหล็กเป็นส่วนประกอบผสมอยู่ในปริมาณสูงมีลักษณะเป็นรูพรุนต่อเนื่องถึงกันทั่วทั้งก่อน(vesicular) และไม่แบ่งเป็นชั้นดิน ศิลาแลงในสภาพธรรมชาติที่ขุดขึ้นมาใหม่ๆ จะมีความอ่อนตัวพอที่จะตัดให้เป็นแผนหรือเป็นแท่งได้ แต่จะแข็งตัวอย่างรวดเร็วเมื่อกระทบกับอากาศ จึงมีการเอาศิลาแลงมาตัดต่อให้เป็นก้อนและใช้แทนอิฐในการก่อสร้างอาคาร " Interite" เป็นคำมาจากภาษาลาติน

Mallet ที่เป็นคนแรกที่ให้ความหมายของดินลูกรังโดยพิจารณาถึงส่วนประกอบทางเคมีเป็นหลักMallet ได้นิยามดินลูกรังว่าเป็นดินที่เกิดตามธรรมชาติมีสีแดงเนื่องจากมีออกไซด์และอลูมินัมเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ

Fermor พบว่าศิลาแลงจะประกอบไปด้วยแร่ธาตุพื้นฐานที่สำคัญอันได้แก่ เหล็ก อลูมินัม ไตตาเนียม และแมงกานีส ซึ่งจะอยู่ในปริมาณสูงเมื่อเทียบกับซิลิกา Fermor ได้พัฒนาการการเรียกชื่อศิลาแลงโดยใช้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแร่พื้นฐานกับปริมาณซิลิกาในศิลาแลง

Lacroixได้จำแนกศิลาแลงออกเป็น 3 ชนิด ตามปริมาณของไฮดรอกไซด์ที่เป็นส่วนประกอบ ได้แก่ True Laterite , Silicate Lateriteและ Lateritic Clay

ก) True Laterite มีไฮดรอกไซด์เป็นส่วนประกอบมากกว่าร้อยละ 90

ข) Silicate Laterite มีไฮดรอกไซด์เป็นส่วนประกอบมากกว่าร้อยละ 50-90

ค) Lateritic Clay มีไฮดรอกไซด์เป็นส่วนประกอบมากกว่าร้อยละ 10-50

Martin และ Doyneได้จำแนกศิลาแลงออกเป็น 3 ชนิด ตามอัตราส่วนของซิลิกา ต่ออลูมินัม (SiO_2 / Al_2O_3) ดังต่อไปนี้

ก) True Laterite มีอัตราส่วน SiO_2 / Al_2O_3 น้อยกว่า 1.33

ข) Lateritic Soil มีอัตราส่วน SiO_2 / Al_2O_3 ระหว่าง 1.33 – 2.00

ค) Non - Lateritic Soil มีอัตราส่วน SiO_2 / Al_2O_3 มากกว่า 2.00

Alexander และ Cady ได้ศึกษาผลงานวิจัยต่าง ๆที่ได้ทำมาก่อนและได้ให้ความหมายของเทอมต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับดินลูกรังดังต่อไปนี้

Laterite หรือศิลาแลง หมายถึง หินที่เกิดจากการสลายตัวตามธรรมชาติอย่างมากและเกิดมี Secondary oxidesของเหล็กและอลูมินัมเป็นส่วนประกอบที่สำคัญโดยที่ปริมาณของ base และ primary silicate มีน้อยมากแต่ในบางครั้งก็อาจมีควอร์ตซ์(quartz)และเคโอลินไนต์ (Kaolinite) เป็นส่วนประกอบในปริมาณที่สูง ลักษณะสำคัญของ Laterite คือมีคุณสมบัติที่แข็งตัวได้เมื่อสัมผัสกับอากาศ

Lateritic Soilหรือดินลูกรังหมายถึงดินสีแดงที่มีออกไซด์ของเหล็กและอลูมินัมในปริมาณที่สูง อันเป็นผลมาจากการเกิดกระบวนการLateriztion ดินดังกล่าวมีคุณสมบัติที่แข็งตัวได้เอง (self hardening) และมีเม็ดดินลูกรังและมีเม็ดกรวดประเภท laterite rock หรือ laterite gravel ผสมปนอยู่

TropicalRed Soils (Latosols) หมายถึงดินสีแดงที่ไม่มีคุณสมบัติในการแข็งตัวได้เองและไม่มี Laterite rock หรือ Laterite gravel ผสมปนอยู่

Laterite rockหมายถึง ดินลูกรังที่เกิดแข็งตัวเองอย่างสมบูรณ์จะแสดงคุณสมบัติเป็นหินมากกว่าดิน เช่น หินศิลาแลง เป็นต้น

Laterite gravel หมายถึงดินลูกรังที่มีลักษณะคล้าย laterite rock แต่เป็นเม็ดแข็ง ขนาดเม็ดหยาบ ไม่ได้มีการรวมตัวเป็นก้อนอย่าง laterite rock

Self – Hardening Propertyหมายถึงคุณสมบัติในการแข็งตัวได้เองเมื่อสูญเสียความชื้นในตัว และคุณสมบัตินี้ไม่คืนกลับสู่สภาพเดิมภายหลังที่ได้รับความชื้นเพิ่มเติมกลับเข้าไปใหม่

Sesguioxides หมายถึงAl_2O_3, Fe_2O_3, , SiO_2ซึ่งเป็นส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญของลูกรัง

ความหมายของเทอมต่าง ๆ ที่ Alexander และ Cady ได้กำหนดไว้ ได้รับความเห็นชอบ และการยอมรับจากนักวิจัยในรุ่นต่อมา ซึ่งมักจะยึดเอาความหมายตามที่ Alexander และ Cady ได้ให้ไว้เป็นส่วนใหญ่

2.1.3 กระบวนการสลายตัวตามธรรมชาติในเขตร้อน (Tropical Weathering) และกระบวนการก่อกำเนิดดินลูกรัง (Laterization)

กระบวนการสลายตัวตามธรรมชาติในเขตร้อนเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และเคมีฟิสิกส์ อันมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปของแร่ในหินต้นกำเนิด เกิดเป็นแร่ดินเหนียวประเภทสองชั้น (Two Layer Clay Minerals) และออกไซด์ที่เป็นองค์ประกอบหลักของดินลูกรัง (Fe_2O_3 , Al_2O_3, SiO_2, MnO_2)สะสมอยู่ในปริมาณที่สูง กระบวนการสลายตัวตามธรรมชาติในเขตร้อนอันเป็นกระบวนการเริ่มต้นของกระบวนการก่อกำเนิดดินลูกรัง สามารถแบ่งขั้นตอนการเกิดออกได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

2.1.3.1 กระบวนการสลายตัวทางเคมี (Decomposition) เป็นกระบวนการทางเคมีฟิสิกส์ที่ทำให้แร่เดิมในหินถูกทำลาย และทำให้เกิดสารใหม่ประเภทออกไซด์ ต่างๆ เช่น Fe_2O_3 , Al_2O_3, SiO_2, MnO_2ซึ่งปรากฏในรูปของอนินทรีย์สาร

2.1.3.2 กระบวนการก่อกำเนิดดินลูกรัง(Laterization) เป็นกระบวนการที่SiO_2ถูกชะล้างพัดพาออกไปภายใต้สภาวะการระบายน้ำที่เหมาะสม เหลือ Fe_2O_3 , Al_2O_3, SiO_2, MnO_2ไว้เป็นส่วนใหญ่

กระบวนการทั้งสองกระบวนการจะเกิดตามธรรมชาติ กระบวนการทางเคมีฟิสิกส์จะมีผลทำให้เกิดแร่ดินเหนียวในกลุ่มของ แร่เคโอลินไนต์ (Kaolinite Group) เป็นสำคัญ ภายใต้กระบวนการสลายตัวทางเคมีฟิสิกส์ที่ยาวนาน แร่ดินเหนียวและซิลิกาจะถูกชะล้างพัดพาออกไปจากมวลดินเหลือสารที่เป็นอลูมินัม เช่น Gibbsite หรือออกไซด์ของเหล็ก เช่น limonite หรือ goethite กระบวนการชะล้างพัดพาดังกล่าวนั้นรู้จักกันโดยทั่วไปว่า กระบวนการก่อกำเนิดลูกรัง

2.1.3.3 กระบวนการสูญเสียความชื้นธรรมชาติ (Dehydration and Desiccation) เป็นกระบวนการที่เกิดการสูญเสียความชื้นใน sesquioxide บางส่วนหรือทั้งหมด ทำให้เกิดการแข็งตัว นอกจากนี้การสูญเสียความชื้นในสารละลายที่มีเหล็กออกไซด์ปนอยู่ในสภาพของคอลลอยด์จะทำให้ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มสูงขึ้น และเกิดการตกผลึกของเหล็กออกไซด์ อันเป็นผลให้เกิดออกไซด์ของเหล็กในรูปของ limonite, goethite และ hematite

ความแข็งตัวที่เกิดขึ้นในลูกรังเนื่องมาจากการที่ออกไซด์ของเหล็กทั้งสามชนิดดังกล่าวเคลือบอยู่บนอนุภาคของดิน กระบวนการก่อกำเนิดลูกรังอันยาวนานจะทำให้ปริมาณของเหล็กออกไซด์รอบ ๆ อนุภาคของดินเพิ่มมากขึ้นจนกลายเป็นเม็ดดินลูกรังที่เรียกว่า laterite gravel

2.1.4 สภาพแวดล้อมของดินลูกรัง

สภาวะแวดล้อมต่างๆ ที่ทำให้เกิดดินลูกรังมีดังต่อไปนี้

2.1.4.1 หินต้นกำเนิด (Parent Rocks) จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดินลูกรังกับหินต้นกำเนิดพบว่า ดินลูกรังเกิดจากหินต้นกำเนิดหลายชนิด เช่นแกรนิต(granite) ไนส์ (gneiss) บะซอลต์ (basalt)และฟิลไลต์ (phyllite)นอกจากนี้ยังพบว่ามีดินลูกรังเกิดจากหินดินดานหินทราย และหินปูน ด้วยหินกำเนิดที่มีแร่เหล็กเป็นส่วนประกอบในปริมาณสูงเช่น หินบะซอลต์ และหินดินดานจะก่อให้เกิด laterite rock เป็นชั้นหนาโดยจะเกิด laterite gravel น้อยมาก ส่วนหินต้นกำเนิดที่มีแร่เหล็กเป็นส่วนประกอบในปริมาณต่ำ เช่น หินทรายและหินแกรนิตจะก่อให้เกิด laterite gravel ซึ่งเป็นวัสดุที่ต้องการสำหรับงานก่อสร้างถนนและสนามบินมากกว่า laterite rock หินที่เป็นหินต้นกำเนิดที่ดีของศิลาแลงและดินลูกรัง ได้แก่ หินแกรนิต หินบะซอลต์ หินไนส์หินอัคนีชนิดต่างๆ ที่มีสภาพเป็นกรด หินทรายและหินปูนที่ไม่บริสุทธิ์ ส่วนหินที่ไม่เป็นหินต้นกำเนิดที่ดีของศิลาแลงและดินลูกรัง ได้แก่ หินดินดาน และหินชีสต์ อย่างไรก็ตามกินลูกรังอาจเกิดจากหินทุกชนิดที่มีแร่ประเภท alumino – silicate เป็นส่วนประกอบในปริมาณสูง

2.1.4.2 ลักษณะสภาพภูมิอากาศ สภาพภูมิอากาศมีส่วนสำคัญในกระบวนการทางเคมีฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการกำเนิดของดินลูกรังสภาพอากาศที่จะทำให้ดินลูกรังก่อตัวขึ้นได้จะต้องเป็นภูมิอากาศแบบร้อนหรือ กึ่งร้อน(Subtropical) มีอุณหภูมิและความชื้นสูงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการก่อกำเนิดลูกรัง ประมาณ 16-27 องศาเซลเซียส ส่วนปริมาณฝนตกที่พอเหมาะประมาณ 500-2000 มม. ต่อปี

2.1.4.3 สภาพของพืชพันธ์ แร่เหล็กจะสะสมตัวกันในปริมาณสูงภายใต้ทุ่งหญ้าเขตร้อนมากกว่าบริเวณป่าทึบ ลูกรังที่ยังอ่อนตัวจะแข็งตัวภายใน 2-3 ปี ถ้าเกิดการเปลี่ยนสภาพจากป่าทึบ

เป็นทุ่งหญ้าที่แห้งแล้ง ซึ่งมีสภาวะเหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยา oxidation และ dehydration ฉะนั้นจึงอาจจะสรุปได้ว่า ดินลูกรังจะเกิดได้ในบริเวณพื้นที่ตั้งแต่เป็นป่าทึบมีฝนตกชุกไปจนกระทั่งบริเวณทุ่งหญ้าแห้งแล้ง ซึ่งสภาพพื้นที่ที่แตกต่างกันจะให้ดินลูกรังที่มีลักษณะแตกต่างกันไป

2.1.4.4 สภาพภูมิประเทศและการระบายน้ำ ดินลูกรังมักจะเกิดที่บริเวณเชิงลาดสูงสุดของเนินเขา และบริเวณรอบ ๆ เชิงลาดสูงสุดของที่ราบสูง ทั้งนี้เพราะบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่ที่มีการระบายน้ำได้ดี เช่น หินทราย และหินไนส์ จะสลายตัวกลายเป็นดินลูกรังได้ง่าย ส่วนหินที่มีการระบายน้ำไม่ดี เช่น หินชนวน หินควอร์ตไซต์ หินชีสต์ และหินฟิลไลต์ จะไม่เกิดการสลายตัวกลายเป็นดินลูกรัง หินแกรนิต หินบะซอลท์และหินดินดาน มีส่วนประกอบที่เป็นเหล็ก และอลูมินัมในปริมาณที่สูงและมีการระบายน้ำได้ดี เมื่ออุณหภูมิและปริมาณฝนตกมากพอเหมาะก็สามารถก่อให้เกิดดินลูกรังได้ง่าย โดยทั่วๆไปดินลูกรังจะไม่เกิดในบริเวณที่มีน้ำท่วม หรือ บริเวณพื้นที่ต่ำใกล้หนองบึงหรือทะเลสาบ สภาพภูมิประเทศและการระบายน้ำที่แตกต่างกันมีผลทำให้ดินลูกรังมีลักษณะ และคุณสมบัติต่างกันไปด้วย

2.1.5 ชั้นดินลูกรัง

ชั้นดินลูกรังตามลักษณะภูมิประเทศ (morphological , characteristics) แบ่งออกเป็น

A – topsoil ซึ่งโดยทั่วไปจะมีสีดำของซากพืชและซากสัตว์

B_2 -ชั้นดินลูกรังที่มีเหล็กและอลูมินัมเป็นแผ่นแข็ง

B_1 ชั้นซึ่งปรากฏเซสควิออกไซด์ (Al_2O_3 + Fe_2O_3) อย่างชัดเจน เรียกชั้นนี้ว่า zone of mottling

C – leached zone หรือ pallid zone

D – zone of parent rock

ชั้นดินลูกรังตามกระบวนการก่อกำเนิดของชั้นดิน (pedogenic process) แบ่งออกเป็น

A – Zone of leaching

B – Zone of accumulation

C – Zone of weathering and removal of soluble constituents

D – Zone of parent rock

ชั้น " A "เป็นชั้นที่บางที่สุดประกอบด้วยชั้นของ sitly หรือ sandy soils มีซากพืชซากสัตว์น้อยหรือไม่มีเลย

ชั้น " B " หรือชั้นดินลูกรัง มีความหนาตั้งแต่ 0.30 – 0.60 ประกอบด้วยชั้นของ sandy หรือ gravelly soils ในชั้นนี้จะเป็นชั้นที่มีการสะสมของเซสควิออกไซด์และอาจมีไมกาปรากฏอยู่บ้าง

ชั้น " C " หรือ " mottled "ชั้นนี้มีความหนามากกกว่าชั้น หลายเท่าและมีการชะล้างเอาเหล็กและซิลิกาออกไปบางส่วน โดยปกติมีหลากสีในชั้นนี้อาจมีเคโอลิไนต์และควอร์ตอยู่ใต้ชั้น " C " ลงไปอาจมีชั้นดินเหนียวสีขาวเรียกว่า " pallid zone " ซึ่งเป็นชั้นเหล็กถูกชะล้างออกไป

หมดแล้วแต่ยังคงมีซิลิกาอยู่ เนื่องจากถูกชะล้างไปเพียงบางส่วนเท่านั้น ชั้น " D " อาจปรากฏหรือไม่ปรากฏก็ได้ ชั้น เป็นชั้นหินต้นกำเนิดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

โดยทั่วๆไปจะพบชั้นดินลูกรังอยู่ลึกจากผิวดินไม่มากนักในประเทศศรีลังกาจะพบที่ความลึกประมาณ 0.6 เมตร ในรัฐควีนสแลนด์ประเทศออสเตรเลียพบที่ความลึก 0.6–1.8 เมตร ในแอฟริกาตะวันตกพบที่ความลึก 0.3–0.39 เมตรส่วนในประเทศไทยจะพบที่ความลึก 0.3–1.8 เมตร โดยทั่วๆไป จะพบชั้นดินลูกรังที่ความลึกไม่เกิน 3 เมตร

2.1.6 สีของดินลูกรัง

ดินลูกรังส่วนใหญ่มักจะมีสีแดง และจะมีสีแดงเข้มและสีแดงอ่อนขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่เป็นส่วนประกอบของออกไซด์ของเหล็ก อลูมินัม ติตาเนียม และแมงกานีส โดยทั่วๆไป สีของดินเกิดจากสารอินทรีย์และแร่ธาตุต่างๆ

ก. สารอินทรีย์ ดินจะมีสีดำ สีน้ำตาล และสีเทา

ข. แร่ธาตุต่างๆ ที่เป็นส่วนของดินลูกรัง

- แร่เหล็ก ดินจะมีสีแดง สีส้ม สีเหลือง สีน้ำเงิน และสีเขียว
- แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และ โพแทสเซียม ดินจะมีสีขาว
- อลูมิเนียม ดินจะมีสีขาว
- แมงกานีส ดินจะมีสีดำ และสีน้ำตาล

2.1.7 แร่รอง (secondary minerals) ในดินลูกรัง

แร่รองที่เป็นส่วนประกอบในดินลูกรัง จะมีส่วนสำคัญในการควบคุมคุณสมบัติของดินลูกรังที่ใช้ในงานก่อสร้างอย่างมาก ดินลูกรังที่มีแร่มอนต์มอริลโลไนต์ (montmonorillonite) และอิลไลต์ (illite) มากจะมีกำลังต่ำ มีค่าขีดจำกัดของอัตเตอร์เบอร์ก การบวมตัวและแรงดันน้ำสูงกว่าดินลูกรังที่มี เคโอลิไนต์ และคลอไรต์ (chlorite) แร่รองในดินลูกรังสามารถจะวิเคราะห์ได้จากการทดลอง X-ray diffraction (XRD) และ scanning electron microsccpe (SEM)

2.1.8 คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของดินลูกรัง

ก. จากการศึกษาพบว่าค่า pH ของดินลูกรังจะเปลี่ยนไปตามความลึกแต่จะมีค่าอยู่ระหว่าง 4 - 8 แสดงว่าดินลูกรังจะเกิดในบริเวณที่มีสภาวะเป็นกรด

ข. Newillได้แสดงให้เห็นว่าดินลูกรังที่มีเม็ดละเอียดจะมีปริมาณสารอินทรีย์มากกว่าดินลูกรังที่มีเม็ดหยาบโดยทั่วๆไปแล้วดินลูกรังจะมีสารอินทรีย์ต่ำ โดยจะมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 2 ที่ชั้นผิวดิน

ค. ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในดินลูกรังจะมีค่ามากน้อยแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศและพืชพันธุ์ จากการศึกษาพบว่าเมื่อเกิดการชะล้างและเกิดกระบวนการก่อกำเนิดดินลูกรังมากขึ้นปริมาณคาร์บอเนตในดินจะน้อยลง

ง. ดินลูกรังส่วนใหญ่จะมีการกระจายขนาดเล็ก คือ จัดเป็นพวกดินที่มีขนาดคละดี

จ. ดินลูกรังจะมีค่าความถ่วงจำเพาะระหว่าง 2.67 – 3.46 ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณออกไซด์ในดินลูกรัง ถ้าในดินลูกรังมีปริมาณเหล็กออกไซด์มากก็จะมีค่าความถ่วงจำเพาะมากด้วย

ฉ. กรรมวิธีการเตรียมตัวอย่างก่อนการทดลองจะทำให้ค่าขีดจำกัดอัตเตอร์เบอร์ก การกระจายขนาดเม็ด และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำและความหนาแน่นแห้งเปลี่ยนแปลงไป

2.1.9 ดินลูกรังในประเทศไทย

ประเทศไทยมีภูมิอากาศร้อนชื้น โดยมีฤดูร้อนและฤดูฝนสลับกันเป็นระยะเวลายาวนาน สภาพภูมิอากาศเช่นนี้เหมาะแก่การก่อกำเนิดดินลูกรังเป็นอย่างยิ่ง ในประเทศไทยจะพบดินลูกรังมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคเหนือ หินต้นกำเนิดดินลูกรังส่วนใหญ่เป็นหินทราย หินบะซอลต์ และหินดินดาน ในประเทศไทยมีการศึกษาวิจัยลักษณะการเกิดและคุณสมบัติของดินลูกรังมาบ้างพอสมควร ที่สำคัญควรจะกล่าวถึงมีดังนี้

Hongnoiได้กล่าวว่าประเทศไทยจะพบดินลูกรังมากกว่าศิลาแลง ซึ่งดินลูกรังนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะการเกิดคือ

Primary Lateritic Soil คือ ดินลูกรังที่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบในปริมาณสูงและเกิดอยู่กับที่เหนือหินต้นกำเนิด เหล็กที่เป็นองค์ประกอบได้มาจากแร่เฟอร์โรแมกนีเซียน(Ferromagnesian) ที่มีอยู่ในชั้นล่างๆลงไป เหล็กออกไซด์จะเกิดและเลื่อนเข้ามาสะสมมากขึ้นในชั้นดิน ตามการเปลี่ยนแปลงระดับสูงต่ำของน้ำใต้ดินในแต่ฤดูกาล ออกซิเจนและกรดอินทรีย์ต่างๆ ที่ละลายปนมากับน้ำฝนจะออกซิไดซ์(oxidize) แร่เฟอร์โรแมกนีเซียนในดินให้กลายเป็นเหล็กออกไซด์สีแดง

การเกิดดินลูกรังในประเทศไทยมักจะเกิดเป็นชั้นๆจากผิวดินจนไปถึงหินต้นกำเนิด โดยชั้นดินลูกรังจะมีลักษณะดังต่อไปนี้

ก. ชั้นผิวดิน

ข. ชั้นของดินลูกรังที่มีเม็ดกลมแห้งและแข็ง เกิดจากการเกาะของฮีมาไทต์เม็ดเล็กๆ (เหล็กออกไซด์) และมีดินเหนียวปนบ้างเล็กน้อย

ค. ชั้นดินเหนียวที่มีลูกรังเม็ดเล็กและแข็ง และมีดินลูกรังเม็ดเล็กที่เริ่มแข็งตัวซึ่งมีไลมอนไนต์(เหล็กออกไซด์) เป็นส่วนประกอบ

ง. ชั้นดินเหนียวที่อ่อน มีความชื้นสูง และมีเหล็กออกไซด์ขนาดเม็ดต่างๆปนกัน

จ. ชั้นดินเหนียวสีเทาที่มีไลมอไนต์ปนอยู่หรือแทรกอยู่ตามรอยแตกในเนื้อดิน

ฉ. ชั้นดินต้นกำเนิดที่ผุพังประกอบด้วยดินขนาดต่างๆ เช่น กรวด ทรายและดินเหนียว

ช. ชั้นหินต้นกำเนิด

โดยทั่วๆ ไปค่าขีดจำกัดอัตเตอร์เบอร์กจะต่ำสุดที่ชั้นดินลูกรัง และจะเพิ่มมากขึ้นตามความลึกจนถึงชั้นหินต้นกำเนิดที่ผุพัง โดยปกติส่วนในสุดของเม็ดลูกรังจะเป็นเหล็กไฮดรอกไซด์ที่อ่อน ส่วนผิวนอกจะเป็นเหล็กออกไซด์ที่แข็งกว่า ความหนาของเหล็กออกไซด์นี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของดินลูกรังว่าเป็นกรดหรือเป็นด่าง

Secondary Lateritic Soil เป็นดินลูกรังที่เกิดขึ้นโดยการเคลื่อนย้ายมาจากแหล่งหินต้นกำเนิดอื่น น้ำใต้ดินที่ไหลผ่านจะทำให้เหล็กออกไซด์ที่อยู่ในดินแข็งตัวขึ้นและยังออกซิไดซ์แร่เหล็กที่มีอยู่ในบริเวณนั้นด้วย โดยทั่วๆ ไปดินลูกรังประเภทนี้จะไม่แบ่งเป็นหลายๆชั้น เหล็กออกไซด์สีแดงที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณต่างๆ กันขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ลักษณะดิน และความสามารถในการยอมให้น้ำซึมผ่านชั้นดิน

ออกไซด์ของดินลูกรังประเภทนี้จะอยู่กระจัดกระจายมากกว่าดินลูกรังประเภทแรกและมักจะเกิดเกาะอยู่โดยรอบของเม็ดกรวด หรือชิ้นส่วนของหินที่แตกหัก จึงทำให้ดินลูกรังประเภทหลังนี้มีขนาดใหญ่กว่ามีความแข็งที่แตกต่างกันมากกว่าและเห็นชั้นของฮีมาไทต์ไลมอไนต์ และดินเหนียวเด่นชัดกว่าดินลูกรังประเภทแรก

นอกจากนี้จะปรากฏเห็น ชั้นระหว่างดินลูกรังกับหินต้นกำเนิดค่อนข้างชัดเจนและค่าขีดจำกัดอัตเตอร์เบอร์กของดินลูกรังประเภทหลังจะต่ำกว่าของดินลูกรังประเภทแรก จากการสำรวจแหล่งดินลูกรังในประเทศไทยสรุปได้ดังต่อไปนี้

ก. ในประเทศไทยจะพบดินลูกรังมากกว่าศิลาแลง ดินลูกรังที่พบมักจะพบในลักษณะของกรวด ทราย ดินตะกอน และดินเหนียว ที่มีออกไซด์ของเหล็กปนอยู่ในปริมาณสูง ลูกรังที่จับเกาะกันเป็นก้อนใหญ่ไม่ค่อยพบมากนัก

ข. ดินลูกรังที่ใช้ในการก่อสร้างทางหลวงมักจะได้จากการขุดและการดันผสมกองเป็น Stockpile อันประกอบไปด้วยดินตะกอน และดินเหนียวที่มีเหล็กออกไซด์ปริมาณสูงผสมรวมกันกับเม็ดดินลูกรังซึ่งมีความแข็งต่างกัน ดินลูกรังที่เกิดเป็นก้อนใหญ่ หรือเป็นพืดแข็งติดต่อกันจะไม่นำมาใช้ในการก่อสร้างทางหลวง

ค.สภาวะที่เหมาะสมที่ก่อให้เกิดดินลูกรังในประเทศไทยได้แก่ สภาวะที่มีแร่เหล็กหรืออลูมินัมเกิดสะสมอยู่ในปริมาณสูง อย่างน้อยที่สุดร้อยละ1-2 สภาวะที่ดินมีการระบายน้ำดี สภาวะที่มีออกซิเจนในน้ำใต้ดินสูง และสภาวะที่สิ่งแวดล้อมมีภาวะเป็นกรด รวมทั้งสภาวะที่ภูมิประเทศมีความเหมาะสมที่จะก่อให้เกิดการชะล้างในดินได้ดี

ง. ความแข็งแรงของเม็ดดินลูกรังอาจจะเพิ่มขึ้นได้ภายหลังการขุดและการแผ่ดินลูกรังปล่อยทิ้งไว้กลางแจ้งเพื่อให้ดินลูกรังเกิดปฏิกิริยาเคมีกับออกซิเจนในอากาศ วงจรการเปียกสลับกับแห้ง จะช่วยให้ออกซิเจนแทรกซึมลึกเข้าไปในเม็ดลูกรัง และเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องอันทำให้เม็ดลูกรังแข็งมากยิ่งขึ้น

จ. ดินลูกรังถือว่าเป็นวัสดุที่จะนำมาใช้สร้างทางได้ ถ้าหากมีการกำหนดมาตรฐานและขีดจำกัดอันจะทำให้สามารถใช้ดินลูกรังเป็นวัสดุก่อสร้างชั้นรองพื้นทาง พื้นทาง และผิวทางชั่วคราวได้เหมาสม

Pendleton และSharasudannaได้ทำการวิเคราะห์ทางเคมีต่อตัวอย่างลูกรังในประเทศไทย พบว่าลูกรังในประเทศไทยมีปริมาณออกไซด์ของเหล็ก และอลูมิเนียม ค่อนข้างสูง

Morrisonได้รายงานค่าคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังจากแหล่งต่างๆ 57 แหล่ง ในประเทศไทย ดังแสดงไว้ในตาราง

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังในประเทศไทย

คุณสมบัติ	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
ส่วนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (%)	0	66
ขีดพิกัดเหลว(%)	18	97
ดัชนีพลาสติก(%)	NP	51
กลุ่มดินตาม AASHTO	A-7-6	A-1-a
Group Index	0	10
ความถ่วงจำเพาะ	2.59	3.20
ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (ปอนด์/ลบ.ฟุต)	114.5	118.0
ความชื้นที่ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (%)	7.0	13.4
CBR (%)	7.0	60.0
การบวมตัว (%)	0.1	55.0
Percentage of wear (%)	20.0	60.0

ที่มา : (Morrison, 1965)

2.1.10 ข้อกำหนดของกรมทางหลวงแห่งประเทศไทย (2535)

ก. พื้นทาง กรมทางหลวงแห่งประเทศไทยได้กำหนดคุณสมบัติของวัสดุที่จะใช้เป็นพื้นทางของถนนไว้ดังต่อไปนี้

ค่า Liquid Limit (LL.) ไม่เกินร้อยละ 25 (หรือตามที่ระบุในแบบ)

ค่า Plasticity Index (PI.) ไม่เกินร้อยละ 6 (หรือตามที่ระบุในแบบ)

ค่า Los Angeles Abrasion (LAA.) ไม่เกินร้อยละ 40

ค่า Lab. Soaked CBR. ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 (หรือตามที่ระบุในแบบ)

ขนาดคละของเม็ดวัสดุให้เป็นไปตามตารางที่ 2.3

ข. รองพื้นทางกรมทางหลวงแห่งประเทศไทยได้กำหนดคุณสมบัติของวัสดุที่จะใช้เป็นรองพื้นทางของถนนไว้ดังต่อไปนี้

ค่า Liquid Limit (LL.) ไม่เกินร้อยละ 35 (หรือตามที่ระบุในแบบ)

ค่า Plasticity Index (PI.) ไม่เกินร้อยละ 11 (หรือตามที่ระบุในแบบ)

ค่า Los Angeles Abrasion (LAA.) ไม่เกินร้อยละ 60

ค่า Lab. Soaked CBR. ไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 (หรือตามที่ระบุในแบบ)

ขนาดคละของเม็ดวัสดุที่จะใช้เป็นชั้นรองพื้นทางให้เป็นไปตามตารางที่ 2-4

ค. มาตรฐานชั้นวัสดุคัดเลือก ก. กรมทางหลวงแห่งประเทศไทยได้กำหนดคุณสมบัติของชั้นวัสดุคัดเลือก ก. ไว้ดังต่อไปนี้

ค่า Liquid Limit (LL.) ไม่เกินร้อยละ 40

ค่า Plasticity Index (PI.) ไม่เกินร้อยละ 20

ค่า Lab. CBR. ไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 และมีค่าการขยายตัวไม่เกินร้อยละ 3 ที่ความหนาแน่นแห้งในการบดอัดร้อยละ 95 ของความหนาแน่นแห้งสูงสุด

ง. มาตรฐานชั้นวัสดุคัดเลือก ข. กรมทางหลวงแห่งประเทศไทยได้กำหนดคุณสมบัติของชั้นวัสดุคัดเลือก ข. ไว้ดังต่อไปนี้

ค่า Lab. CBR. ไม่น้อยกว่าร้อยละ 6 และมีค่าการขยายตัวไม่เกินร้อยละ 3 ที่ความหนาแน่นแห้งในการบดอัดร้อยละ 95 ของความหนาแน่นแห้งสูงสุด

จ. มาตรฐานไหล่ทางวัสดุมวลรวม กรมทางหลวงแห่งประเทศไทยได้กำหนดคุณสมบัติของวัสดุที่จะใช้เป็นไหล่ทางไว้ดังต่อไปนี้

ค่า Liquid Limit (LL.) ไม่เกินร้อยละ 35

ค่า Plasticity Index (PI.) ระหว่างร้อยละ 4 ถึงร้อยละ 15

ค่า Lab. CBR. ไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 ที่ความหนาแน่นแห้งในการบดอัดร้อยละ 95 ของความหนาแน่นแห้งสูงสุด

ฉ. มาตรฐานดินถมคันทาง กรมทางหลวงแห่งประเทศไทยได้กำหนดคุณสมบัติของวัสดุที่จะใช้เป็นดินถมคันทาง ไว้ดังต่อไปนี้

ค่า Lab. CBR. มีค่าการขยายตัวไม่เกินร้อยละ 4 ที่ความหนาแน่นแห้งในการบดอัดร้อยละ 95 ของความหนาแน่นแห้งสูงสุด

ตารางที่ 2.3ขนาดคละของวัสดุพื้นทางหินคลุก

ขนาดตะแกรง มม. (นิ้ว)	ปริมาณผ่านตะแกรง ร้อยละโดยมวล		
	A	B	C
50(2)	100	100	-
25.0(1)	-	75-95	100
9.5(3/8)	30-65	40-75	50-85
4.75(เบอร์ 4)	25-55	30-60	35-65
2.00 (เบอร์ 10)	15-40	20-45	25-50
0.425 (เบอร์ 40)	8-20	15-30	15-30
0.075(เบอร์ 200)	2-8	5-20	5-15

ที่มา : (กรมทางหลวงแห่งประเทศไทย, 1992)

ตารางที่ 2.4ขนาดคละของวัสดุรองพื้นทางวัสดุมวลรวม

ขนาดตะแกรง มม. (นิ้ว)	ปริมาณผ่านตะแกรง ร้อยละโดยมวล				
	A	B	C	D	E
50(2)	100	100	-	-	-
25.0(1)	-	75-95	100	100	100
9.5(3/8)	30-65	40-75	50-85	60-100	-
2.00 (เบอร์ 10)	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100
0.425 (เบอร์ 40)	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50
0.075(เบอร์ 200)	2-8	5-20	5-15	5-20	6-20

ที่มา : (กรมทางหลวงแห่งประเทศไทย, 1992)

ตารางที่ 2.5 ความสัมพันธ์ของ % CBR และการใช้งาน

CBR%	คุณสมบัติเหมาะสมทางวิศวกรรม	การใช้งาน
0 – 3	Very poor	Subgrade
3 – 7	Poor to fair	Subgrade
7 – 20	Fair	Subgrade
20 – 50	Good	Subbase, Base
50 – 80	Very good	Base
> 80	Excellent	Base

ที่มา : (กรมทางหลวงแห่งประเทศไทย, 1992)

2.1.11 ลักษณะทางธรณีวิทยาแหล่งดินลูกรัง

ดินลูกรังมีลักษณะการเกิดดังนี้

ก. ชั้นลูกรังที่เป็นดินลูกรังและมีชั้นหินอยู่ที่ระดับ 2.00-4.00 เมตร พบว่าจะอยู่บริเวณส่วนของขอบเนินราบมายังยอดเนินหรืออยู่ส่วนโค้งนูนของเนิน ต้นไม้ขึ้นกระจายทั่ว ความสูงปานกลางและแคระแกนไม่หนาแน่น

ข. ชั้นลูกรังที่เป็นดินลูกรังและมีชั้นหินอยู่ที่ระดับ 4.00 เมตรลงไป พบว่าพื้นที่บริเวณนี้จะอยู่บริเวณขอบเนินส่วนที่เป็น slope ลาดลงสู่ระดับราบต้นไม้ขึ้นปกคลุมดินจะมีความหนาและความสูง

ตารางที่ 2.6 แสดงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน

สัญลักษณ์กลุ่มดิน	คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน (ที่บดอัดแน่นที่ความชื้นเหมาะสม ทำให้เกิดความหนาแน่นแห่งสูงสุด)				
	ความสามารถในการซึมได้	ความสามารถในการรับแรงเฉือน	ความสามารถในการยุบตัว	ความสามารถในการบดอัดให้แน่นตัว	ค่า CBR %
GW	ง่าย	ดีมาก	ไม่ยุบตัว	ดีมาก	40-80
GP	ง่ายมาก	ดี	ไม่ยุบตัว	ดี	30-60
GM	ปานกลางถึงยาก	ดี	ไม่ยุบตัว	ดี	20-60
GC	ยาก	ดีถึงพอใช้	ยุบตัวน้อยมาก	ดี	20-40
SW	ง่าย	ดีมาก	ไม่ยุบตัว	ดีมาก	20-40
SP	ง่าย	ดี	ยุบตัวน้อยมาก	พอใช้	10-40
SM	ปานกลางถึงยาก	ดี	ยุบตัวน้อย	พอใช้	10-40
SC	ยาก	ดีถึงพอใช้	ยุบตัวน้อย	ดี	5-20
ML	ปานกลางถึงยาก	พอใช้	ยุบตัวปานกลาง	พอใช้	15 หรือน้อยกว่า
สัญลักษณ์กลุ่มดิน	คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน (ที่บดอัดแน่นที่ความชื้นเหมาะสม ทำให้เกิดความหนาแน่นแห่งสูงสุด)				
	ความสามารถในการซึมได้	ความสามารถในการรับแรงเฉือน	ความสามารถในการยุบตัว	ความสามารถในการบดอัดให้แน่นตัว	ค่า CBR %
MH	ปานกลางถึงยาก	พอใช้ถึงเลว	ยุบตัวมาก	เลว	10 หรือน้อยกว่า
CL	ยาก	พอใช้	ยุบตัวปานกลาง	ดีถึงพอใช้	15 หรือน้อยกว่า
CH	ยาก	เลว	ยุบตัวมาก	เลว	15 หรือน้อยกว่า
OL	ปานกลางถึงยาก	เลว	ยุบตัวปานกลาง	พอใช้	5 หรือน้อยกว่า
OH	ยาก	เลว	ยุบตัวมาก	เลว	5 หรือน้อยกว่า

ที่มา : (อุกฤษ อุกฤษฏ์ดุษฎี, 2004)

2.2 พลาสติก (Plastic)

2.2.1 พลาสติก (Plastic)หมายถึงวัสดุที่มนุษย์คิดค้นและประดิษฐ์ขึ้นเพื่อช่วยให้เรามีชีวิตที่สะดวกสบายยิ่งขึ้น ในอดีตเราไม่เคยรู้จักพลาสติกเลยจนกระทั่งกลางศตวรรษที่ 19 วัสดุดั้งเดิมที่มนุษย์คุ้นเคยและใช้อยู่ทั่วไปในชีวิตประจำวันในยุคก่อนหน้านี้ล้วนเป็นวัสดุจากธรรมชาติทั้งสิ้นไม่ว่าจะเป็น แก้ว ไม้ กระดาษ โลหะ ยาง หรือ ขนสัตว์ สิ่งเหล่านี้เคยเป็นวัสดุที่ตอบสนองความต้องการของมนุษย์ได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามมนุษย์ยังคงพยายามค้นหาวัสดุใหม่ๆ มาใช้งานอยู่เสมอ

พลาสติกจัดเป็นสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยโมเลกุลซ้ำๆ กันต่อกันเป็นโมเลกุลสายยาวๆ ประกอบด้วยธาตุสำคัญ คือ คาร์บอน, ไฮโดรเจน, และออกซิเจน นอกจากนี้อาจมีธาตุอื่นๆเป็นส่วนประกอบย่อย ซึ่งได้แก่ ไนโตรเจน, ฟลูออรีน, คลอรีน, และกำมะถัน เป็นต้นบางครั้งพบว่ามีการใช้คำว่า "พลาสติก" และ "โพลิเมอร์" ในความหมายเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน แต่คำว่า "โพลิเมอร์" มักหมายถึงวัสดุประเภทพลาสติก ยาง เส้นใย และกาว ส่วนคำว่า "พลาสติก" จะหมายถึงสารผสมระหว่างโพลิเมอร์และสารเติมแต่ง เช่น สี สารพลาสติกไซเซอร์ สารเพิ่มเสถียรภาพ และฟิลเลอร์ ที่ถูกนำมาใช้งานเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปโดยการขึ้นรูปให้มีรูปทรงต่างๆเช่นถัง จาน และช้อนเป็นต้น หากแปลตามรากศัพท์คำว่า โพลิเมอร์ หรือ polymerมาจากคำกรีก 2 คำ คือคำว่า poly แปลว่ามาก และคำว่าmerแปลว่าหน่วย โพลิเมอร์จึงแปลว่า สารที่มีโมเลกุลประกอบด้วยหน่วยซ้ำๆกันต่อกันเป็นสายยาวๆ

2.2.2 ประวัติการค้นพบพลาสติก

ในปี ค.ศ.1855 นักเคมีชาวอังกฤษชื่อ Alexander Parker ทดลองเอากรดเทลงไปบนฝ้ายแล้วเติมการบูร (Camphor) ลงไปปรากฏว่าเกิดสารชนิดหนึ่งมีลักษณะเหมือนเขาสัตว์ (Hornlike) เขาเรียกสารนี้ว่าพาร์เคซีน (Parkesine) ซึ่งเป็นเซลลูโลสไนเตรทนั่นเองใช้ทำหวีและกรอบแว่นตาParkerไม่ใช่นักธุรกิจจึงไม่ได้รับความสำเร็จในการค้าผลิตภัณฑ์ที่เขาได้ค้นพบเป็นคนแรก

ต่อมาในปี ค.ศ.1869 มีพี่น้องสองคนชาวอเมริกัน ชื่อ John and Isaiah Hyatt ได้เสนอผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติสูงกว่าในท้องตลาดและได้รับความสำเร็จ เขาเรียกสารนี้ว่า เซลลูลอยด์ (Celluloid) เซลลูลอยด์จึงเป็นพลาสติกชนิดแรกที่ได้สังเคราะห์ขึ้น

ค.ศ.1884 นักเคมีชาวฝรั่งเศส ชื่อ Hilaire Chardonnetได้ผลิตเรยองได้เป็นผลสำเร็จ เรยองจึงเป็นใยสังเคราะห์ชนิดแรกที่ได้ทำขึ้นจากเซลลูโลสในพืช 24 ปีต่อมา นักเคมีชาวสวิสได้ค้นพบเซลโลเฟน

ค.ศ.1909 นักเคมีชาวเบลเยียมได้ทำการทดลองหายางเรซินที่ใช้ทำน้ำมันชักเงาโดยบังเอิญ ท่านผู้นี้ชื่อ Leo Henrik Backeland ได้พบวิธีทำพลาสติกชื่อ Thermosetting plastic มีชื่อเรียกว่าเบเคไลต์ (Bakelite) เพื่อเป็นเกียรติแก่ผู้พบโดยใช้ phenol & formaldehyde ขณะเดียวกันนักเคมีชาวอังกฤษ ชื่อ Jame Swinburne ได้พบเรื่องเดียวกัน ทั้งๆที่ได้ทดลองกันอยู่

คนละประเทศ แต่ Backeland ได้จดทะเบียนลิขสิทธิ์ก่อนความสำเร็จในเรื่องนี้จึงเป็นของ Backeland แต่ผู้เดียว

ต่อมาใน ค.ศ.1935 นักเคมีในประเทศอังกฤษได้พบพลาสติกอีกชนิดหนึ่ง เรียกว่า Polymethyl Methacrylateทางการค้าเรียกว่า Perspex มีลักษณะใสคล้ายแก้ว แต่ดีกว่าแก้วคือ ตกไม่แตก และแสง Ultraviolet ก็ผ่านได้ใช้แทนกระจกในเครื่องบิน ในเวลาไล่เลี่ยกันก็มีผู้ค้นพบพลาสติกอีกหลายชนิด ได้แก่ พีวีซี โพลีสไตรีน และโพลีเอธิลีน

ในบรรดาผู้ที่ทำการค้นคว้าเรื่องพลาสติกทั้งหลายผู้ที่เด่นที่สุดคือ Wallace H.Carrothers เป็นนักเคมีชาวอเมริกัน ผู้ค้นพบไนลอน เมื่อปี ค.ศ.1935 ท่านผู้นี้ยังเป็นผู้นำในการสังเคราะห์ยางNeopreneซึ่งเป็นยางสังเคราะห์ชนิดแรกได้สำเร็จ

ค.ศ.1942 นักประดิษฐ์ชาวออสเตรียชื่อ Pollak ทำพลาสติกโดยใช้ยูเรีย (Urea) ผสมกับ Formaldehyde ได้สารที่มีลักษณะใสเหมือนแก้วแต่ไม่แตก เป็นพลาสติกจำพวกเทอร์โมเซตติ้ง

พลาสติกมีมากมายหลายชนิด บางชนิดแข็ง บางชนิดอ่อน บางชนิดโปร่งใส บางชนิดทึบ บางชนิดทนความร้อนได้ บางชนิดก็หลอมได้ง่ายเมื่อร้อน เป็นต้น อย่างไรก็ดีพลาสติกแต่ละชนิดก็มีสมบัติเฉพาะตัว และเหมาะที่จะใช้งานได้เฉพาะอย่างเท่านั้น

2.2.2.1 ประวัติย่อของ HDPE

PE ถูกค้นพบโดยมิได้ตั้งใจในปี ค.ศ.1933นักเคมีของบริษัทICI ได้ทดสอบเพื่อหาผลปฏิกิริยาทางเคมีจะเปลี่ยนไปอย่างไรเมื่อใช้แรงอัดสูงมากๆ ในการทดสอบครั้งหนึ่งได้พบวัสดุสีขาวคล้ายขี้ผึ้งเป็นผลิตผลที่ตกค้างอยู่ในระยะแรกเมื่อนำวัสดุนี้ไปเปรียบเทียบกับพลาสติกที่นิยมใช้อยู่ในขณะนั้นคือ PVC PS และ ACRYLIC ได้พบว่ามีความเปราะบางมากกว่า ไม่มีคุณภาพที่ดีกว่าพลาสติกเดิมจึงไม่น่าจะมีประโยชน์ที่นำไปพัฒนาต่อได้

แต่ Eric Fawcelt ได้วิเคราะห์วัสดุใหม่ (PE) และอนุมัติผ่านจนนำไปผลิตเพื่อการค้าได้ จนกระทั่งปี ค.ศ.1936 ได้มีการจดทะเบียนลิขสิทธิ์ที่ประเทศอังกฤษ โรงงานต้นแบบเพื่อการผลิต LD.PE (Low – Density Polyethylene) ได้ถูกสร้างขึ้นเมื่อปี ค.ศ.1939ที่ประเทศอังกฤษซึ่งเป็นระยะเวลาที่สงครามโลกครั้งที่ 1 ได้เริ่มขึ้น ICI ใช้ชื่อการค้าว่า “Alkathane”

ค.ศ.1942 ได้เริ่มผลิตเป็นระบบอุตสาหกรรม และได้พิสูจน์ว่าPEมีคุณสมบัติที่เหนียว อ่อนตัวดี จึงนำไปใช้ทำฉนวนหุ้มเรดาห์ และอุปกรณ์สายเคเบิล

ค.ศ.1943 เริ่มผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกา

ค.ศ.1952 ภายหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 ได้นำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ถ้วย ชาม ตะกร้า ฯลฯ อย่างกว้างขวาง

ค.ศ.1958 ได้ถูกนำไปผลิตเป็นดอกไม้พลาสติก ในชื่อการค้าว่า “PRESTIGE”

PE ได้ถูกพัฒนาให้มีคุณสมบัติพิเศษเพิ่มเติม โดยศาสตราจารย์ Karl Zieguer แห่ง Mulheim ได้เปลี่ยนแปลงเทคนิคการผลิตด้วยความดันต่ำ (เพราะหากใช้ความดันสูงมักเกิดอันตรายจากการระเบิดบ่อยๆ) โดยใช้แรงอัดมากกว่าบรรยากาศธรรมดาเล็กน้อย โดยใช้อลูมิเนียม

เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งกรรมวิธีการผลิตนี้ทำให้ได้ PE ชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติคงทนมากขึ้น คือ HD.PE (High Density Polyethylene)

2.2.2.2 คุณสมบัติ

โพลิเอทิลีนมีน้ำหนักเบามาก คือ มีความถ่วงจำเพาะ 0.92 เท่านั้น ในรูปแผ่นบางสามารถพับงอได้ดีมีความหนามากขึ้นจะคงรูปรับแรงดึงและแรงอัดได้น้อย มีความยืดตัวได้สูงถึง 5 เท่าตัว ฉีกขาดยาก มีลักษณะคล้ายขี้ผึ้ง ไม่เกาะติดน้ำ เป็นฉนวนไฟฟ้าได้มาก ทนความร้อนได้น้อย แต่ทนความเย็นได้ขนาด -100 องศาฟาเรนไฮต์ ได้โดยไม่ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลง ทนกรดและด่างอ่อน แต่จะเกิดปฏิกิริยาอย่างช้ากับOxidizing Acids ไม่ทนน้ำมันและไขมัน โดยเฉพาะน้ำมันก๊าด น้ำมันเบนซิน และในขณะที่มีอุณหภูมิสูง แม้ว่าจะไม่ดูดซึมความชื้นแต่ยอมให้ก๊าซผ่านได้ จึงเหมาะสำหรับใช้บรรจุอาหารสด เช่น ผัก ผลไม้และเนื้อได้ดี

โดยทั่วไปโพลิเอทิลีนมีลักษณะใสเมื่อเป็นแผ่นบางจะมีสีขุ่นเมื่อความหนาเพิ่มขึ้น สามารถทำเป็นสีต่างๆ ได้ตามความต้องการ ไม่แนะนำให้ใช้ภายนอก

ตารางที่ 2.7 ลักษณะทางกายภาพของ Polyethylene

Polyethylene	ความหนาแน่นต่ำ	ความหนาแน่นปานกลาง	ความหนาแน่นสูง
ความถ่วงจำเพาะ	0.91 – 0.925	0.925 – 0.941	0.941 – 0.965
ปริมาตร (ลบ.นิ้ว/ปอนด์)	30.25	29.8	29.2
ทนแรงดึง(ปอนด์/ตร.นิ้ว)	1000 - 2300	1200 - 3500	3100 - 5500
ทนแรงกระทบ	ไม่ฉีกขาด	0.5 – 16.0	0.8 – 2.0
ทนความร้อน	180 – 219 ฟ.	220 – 249 ฟ.	250 ฟ.
ความดูดซึมน้ำ (24 ชม.)	0.015	0.01	0.01
ความง่ายต่อการติดไฟ (นิ้ว/นาที)	1.04	1.02	1.02
ทนแสงแดด	ชนิดสีดำทนได้พอสมควรชนิดอื่นควรใช้แผงป้องกันแสงอุลตราไวโอเลทและตัว Antioxidants		
ทนกรดอ่อน	ไม่ได้	ได้	ได้
ทนกรดแก่	ไม่ทนและจะถูกทำลายอย่างช้าๆ จาก Oxidizing		
ทนด่างอ่อน - แก่	ได้	ได้	ได้
ทนสารละลาย (Organic Solvents)	ได้ ถ้าต่ำกว่า 140 ฟ.	ได้ ถ้าต่ำกว่า 170 ฟ.	

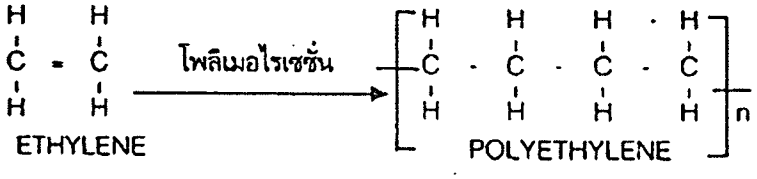
ที่มา : (อุกฤษ อุกฤษฏ์ดุษฎี, 2004)

2.2.3 พลาสติกประเภทโพลิเอทธิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE)

PE เป็นพลาสติกยอดนิยมที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย เช่น ถุง ขวดบรรจุของเหลว ฟิล์ม ฯลฯ และมีปริมาณการใช้สูงสุด

PE ถูกพัฒนาผลิตขึ้นเพื่อการค้าที่ประเทศอังกฤษในปี ค.ศ.1942 ประเทศสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ.1943

PE เป็นพลาสติกที่มีโครงสร้างโมเลกุลที่ยุ่งยากน้อยที่สุดประกอบด้วยธาตุ C และ H



ภาพที่2.1สูตรโครงสร้างของ PE

PE เป็นพลาสติกที่มีลักษณะคล้ายรังผึ้ง (WAXY FEEL) มีหลายชนิด คือ

LD.PE = Low – Density Polyethylene

LLD.PE = Linear – Low Density Polyethylene

HD.PE = High Density Polyethylene

UHMW.PE = Ultra High Molecular Weight Polyethylene

ผลิตภัณฑ์ที่นิยมใช้ PE ได้แก่ จานชาม ตะกร้า ของเด็กเล่น ฟิล์ม ถุง ท่อน้ำ ขวดบรรจุภัณฑ์ต่างๆ พลาสติกวิศวกรรม ฯลฯ เป็นต้น

2.2.4 กระบวนการผลิตพลาสติก

พลาสติกที่ใช้กันมากในปัจจุบันอยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ถุง กล่อง ท่อ แผ่นฟิล์ม ส่วนมากมีแหล่งกำเนิดจากปิโตรเลียม ซึ่งรวมถึงน้ำมันดิบ และก๊าซธรรมชาติซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติใต้ผิวดิน และมีความสำคัญต่อชีวิตมนุษย์เพราะเป็นทั้งแหล่งพลังงานและแหล่งวัตถุดิบสำหรับผลิตวัสดุสังเคราะห์ต่างๆ ปิโตรเลียมจะอยู่ในสถานะเป็นก๊าซ ของเหลว หรือของแข็ง ขึ้นกับอุณหภูมิ, ความดัน, และจำนวนหรือการจัดเรียงตัวของคาร์บอนในโมเลกุล โดยทั่วไปสารไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนไม่เกิน 4 อะตอม จะมีสถานะเป็นก๊าซ ถ้ามีคาร์บอนระหว่าง 5-19 อะตอมจะมีสถานะเป็นของเหลว และถ้ามีคาร์บอนตั้งแต่ 20 อะตอม จะมีสถานะเป็นของแข็ง

การกลั่นลำดับส่วนน้ำมันดิบ ทำให้เราสามารถแยกสารประกอบไฮโดรคาร์บอนออกเป็นส่วนต่างๆ ซึ่งพบว่ามีปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายยาวเกินกว่าความต้องการใช้งานอยู่ปริมาณมาก แต่กลับมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายสั้นที่มีการนำไปใช้ประโยชน์มากกว่าอยู่น้อย

จึงต้องนำสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เกินความต้องการมาผ่านกระบวนการแยกสลายเพื่อตัดความยาวให้สั้นลง ได้เป็นสารประกอบขนาดเล็ก เช่น ก๊าซเอทธิลีนและโพรพิลีน ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการผลิตพลาสติกบางชนิดโดยก๊าซเหล่านี้จะถูกส่งไปยังโรงงานผลิตเม็ดพลาสติก

กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกเริ่มต้นจากการนำสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กซึ่งได้จากกลั่นลำดับส่วนน้ำมันดิบมาทำปฏิกิริยากันจนได้เป็นสายโซ่ยาว เรียกว่าโพลิเมอร์ ซึ่งโพลิเมอร์แต่ละชนิดสังเคราะห์โดยใช้วัตถุดิบเริ่มต้นที่แตกต่างกันไป ทำให้โพลิเมอร์มีสมบัติที่แตกต่างกันออกไปด้วย โดยโพลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้นี้ จะถูกนำไปขึ้นรูปเป็นเม็ดพลาสติกและผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ต่อไป ตัวอย่างเช่น การผลิตเม็ดพลาสติกโพลิเอทธิลีน (PE) โดยเริ่มต้นจากก๊าซเอทธิลีนซึ่งถูกเก็บในถังปฏิกิริยา เมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม จะเกิดปฏิกิริยาขึ้น โมเลกุลขนาดเล็กๆ จำนวนมากจะเข้ามาต่อกันเป็นโมเลกุลที่ยาวมากๆ ได้โพลิเอธิลีนที่มีสมบัติเหมาะสมสำหรับนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ขวด ถุง และของเล่น เป็นต้น
ที่มา:(http://www2.mtec.or.th/th/biodegradable_plastic/process_plas.html)

2.2.5 การใช้งาน

HD.PEทนทานต่อสารเคมีและตัวทำละลายหลายชนิดมีความยืดหยุ่นต่อแรงกระทบกระแทก ไม่แตกร้าวง่าย สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในงานต่าง ๆ โดยเฉพาะการผลิตภาชนะบรรจุที่เตรียมจากการเป่าจากแม่พิมพ์ (blow molding) เนื่องจากหดตัวในแม่พิมพ์ได้ดีมาก ไม่ติดแม่พิมพ์ ทำให้ถอดออกจากแม่พิมพ์ได้ง่าย ภาชนะที่ผลิตจาก HDPE เช่น ขวดบรรจุนมสด ขวดบรรจุน้ำยาซักผ้า ถังบรรจุน้ำมันในยานยนต์ ท่อประปา โต๊ะ-เก้าอี้พับได้ ถุงพลาสติก ฯลฯ นอกจากนี้ HDPE ยังใช้ในการบุพื้นบ่อฝังกลบขยะเพื่อป้องกันการรั่วซึมของสารเคมีลงสู่พื้นดินและแหล่งน้ำธรรมชาติ

2.2.6 ความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม

HD.PEมีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพมากกว่าPVC(Polyvinyl chloride, สัญลักษณ์ 3) และ Polycarbonate (สัญลักษณ์ 7) ที่อาจปลดปล่อย Bisphenol A ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ และมีข้อดีเหนือภาชนะที่ทำจากแก้วโลหะและกระดาษแข็งเนื่องจากภาชนะที่ใช้ในการบรรจุอาหารต้องสัมผัสกับอาหารโดยตรงผู้บริโภคจึงควรคำนึงถึงความปลอดภัยของภาชนะเหล่านั้นว่ามีการทำปฏิกิริยากับอาหารที่บรรจุอยู่หรือไม่และมีการปลดปล่อยสารต่างๆ ออกมาสู่อาหารหรือไม่

2.3 การศึกษาเกี่ยวกับการเสริมวัสดุเสริมแรงในมวลดิน

Freitag, D.R.ซึ่งศึกษาผลกระทบของเส้นใยสังเคราะห์ที่มีผลกระทบต่อกำลังและการบดอัดเม็ดดินละเอียด วัสดุหลักที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วยดิน Lean Sandy Clay (CL) ซึ่งมีค่า LL=42%PI=22% สำหรับเส้นใยสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดสอบได้แก่Nylonและ Polypropylene โดยทำการบดอัดตัวอย่างดินที่ผสมเส้นใยสังเคราะห์และตัวอย่างดินที่ไม่ได้ผสมเส้นใยสังเคราะห์เพื่อทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียว แล้วทำการเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดที่ได้รับ โดยพบว่ากำลังของดินที่ได้รับการเสริมเส้นใยจะมีค่าสูงกว่าดินที่ไม่ได้เสริมเส้นใย

Lindh, E. and Eriksson, L.ได้ทำการทดสอบภาคสนามโดยการนำเอาเส้นใยพลาสติกชนิดสั้น (48 มม.) มาผสมกับทรายในการก่อสร้างถนน ในสัดส่วนร้อยละ 0.5 และ 0.25 ของน้ำหนักทราย แห้งพบว่าการเสริมเส้นใยสามารถช่วยเพิ่มเสถียรภาพของทรายภายหลังการบดอัดได้เป็นอย่างดี อีกทั้งผลการทดสอบ CBR พบว่าค่า CBR มีค่ามากกว่าดินที่ไม่ได้ผสมเส้นใย

Maher, M. H.,and Ho,Y.C.ได้ทำการทดลองเพื่อหาผลกระทบของเส้นใยที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียว และความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียด ของดินเหนียว Kaolinite จากรัฐจอร์เจีย(Georgia) ซึ่งมีค่า LL=45% PL=30%, และ PI=15% จากการศึกษาพบว่าผลการทดลองมีความเกี่ยวพันกับค่าปริมาณเส้นใย,ความยาวของเส้นใย และปริมาณความชื้น โดยมีการเปลี่ยนปริมาณความชื้นในตัวอย่างดินในช่วง 18%ถึง36% ในด้านแห้งและด้านเปียกของความชื้นเหมาะสม โดยเมื่อมีปริมาณความชื้นของมวลดินผสมเส้นใยที่ต่ำ พฤติกรรมของวัสดุจะมีพฤติกรรมที่แข็งเปราะ(rigid and brittle) และเมื่อผสมเส้นใยเข้าไปในมวลดินค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดจะเพิ่มขึ้นด้วยและการลดลงจะเพิ่มขึ้นด้วยและการลดลงของกำลังหลังจากผ่านจุดสูงสุดของกำลังรับแรงไปแล้วจะค่อยๆลดลงอย่างช้าๆ

Maher, M. H.,and Ho,Y.C.พบว่าความสัมพันธ์ของปริมาณเส้นใยและปริมาณความชื้นที่มีผลต่อค่ากำลังรับแรงดึง (Tension Strenght) ของดินเหนียว Kaolinite เมื่อความชื้นเดียวกันและหากเพิ่มปริมาณเส้นใยค่ากำลังรับแรงดึงจะสูงขึ้น

Stacy and Leshchinsky, D.กล่าวว่าค่ากำลังรับแรงดึงสูงสุดของดินเหนียวผสมเส้นใยเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของปริมาณเส้นใย สำหรับดินเหนียวที่ไม่ผสมเส้นใยเมื่อค่ากำลังรับแรงดึงถึงจุดสูงสุดแล้ว หลังจากวิบัติกำลังจะตกสู่ค่าศูนย์กลางอย่างรวดเร็ว ขณะที่ตัวอย่างดินเหนียวที่ผสมเส้นใยการเพิ่มขึ้นของค่ากำลังรับแรงดึงจะเป็นไปอย่างช้าๆจนกระทั่งถึงค่าสูงสุด หลังจากเกิดการวิบัติกำลังก็จะตกลงอย่างช้าๆ ซึ่งแตกต่างจากกรณีจากดินเหนียวที่ไม่ผสมเส้นใย

ภูรี สุขแสนศึกษาการผสมเส้นใยผ้าใบในดินเหนียว หินแกรนิตผุและดินลูกรังพบว่าปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้นช่วยลดการแตกร้าวในมวลดินในรอบการอบแห้งที่สูงขึ้น โดยปริมาณส่วนผสมของเส้นใยที่เหมาะสมในการควบคุมการแตกร้าวอยู่ที่ ประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับน้ำหนักดินแห้ง

มงคล อินทปัญญ์ศึกษาพบว่าการผสมเส้นใยโพลีพรอพีลีนในมวลดินจะทำให้การแตกร้าวในมวลดินลดลงเมื่อความยาวเส้นใยเพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวลดลงประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับดินเหนียวที่ไม่ได้ใส่เส้นใย

เอกรัตน์ รอดบำรุงรายงานว่าเมื่อนำเส้นใยโพลีเอสเตอร์ผสมในดินเหนียว เส้นใยมีส่วนช่วยลดรอยแตกร้าวในดินได้ โดยทำการทดลองกับดินเหนียวสุพรรณบุรีผสมเส้นใยที่อัตราส่วน 0%, 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4% และ 0.5% โดยน้ำหนักดินแห้งตามลำดับ จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการให้ความชื้นและอบแห้งเป็นรอบๆ ทั้งหมด 4รอบพบว่าการเพิ่มปริมาณเส้นใยส่งผลให้

เกิดรอยแตกในดินเหนียวมีปริมาณที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัด ปริมาณรอยแตกวัดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยเทียบพื้นที่รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นกับพื้นที่ตัวอย่างดินที่ทำการถ่ายภาพ

ศรนรินทร์ บัวแก้ว และ วิสิษฏ์ ติวานนท์ [19]นำขยะถุงพลาสติก มาตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 10x10 มม. ผสมกับดินลูกรังในอัตราส่วน 0.2%, 0.4% , 0.6% และ 0.8% ของน้ำหนักดินลูกรังแห้ง เพื่อศึกษาคุณสมบัติด้านความแข็งแรงของดินลูกรัง โดยได้ทำการทดสอบการบดอัดดินแบบมาตรฐานและสูงกว่ามาตรฐาน และการทดลองคุณสมบัติการรับแรงกดแบบ CBR เปรียบเทียบผลที่ได้กับดินลูกรังที่ไม่ได้ผสมถุงขยะพลาสติกจากผลการทดสอบการบดอัดดินแบบมาตรฐานและแบบสูงกว่ามาตรฐาน พบว่าเมื่ออัตราส่วนของถุงพลาสติกเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดจะมีแนวโน้มลดลงและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลของดินลูกรังที่ไม่ได้ผสมถุงพลาสติกและผลการทดสอบการรับแรงกดแบบ CBR ของกรณีไม่แช่น้ำที่บดอัดด้วยวิธีมาตรฐาน จะให้ค่า %CBR ที่มีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลของดินลูกรังที่ไม่ได้ผสมถุงพลาสติก แต่เมื่อบดอัดด้วยวิธีสูงกว่ามาตรฐานจะให้ค่า %CBR แบบไม่แช่น้ำมีลักษณะไม่แน่นอน คือมีทั้งค่าที่เพิ่มขึ้นและลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลของดินลูกรังที่ไม่ได้ผสมถุงพลาสติก โดย %CBR ของดินลูกรังที่ผสมถุงพลาสติกที่ปริมาณ 0.2% มากกว่าค่า %CBR ของดินลูกรังที่ไม่ได้ผสมถุงพลาสติกประมาณ 42% ส่วนในกรณีของค่า %CBR แบบแช่น้ำก็จะให้ผลในทำนองเดียวกันต่างกันที่ค่า %CBR ของดินลูกรังที่ผสมถุงพลาสติกที่ 0.8% ที่บดอัดด้วยวิธีสูงกว่ามาตรฐานจะมีค่ามากกว่าค่า %CBR ของดินลูกรังที่ไม่ได้ผสมถุงพลาสติกประมาณ 100%

2.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

2.4.1 ทดสอบการหาขีดจำกัดของอัตเตอร์เบอร์ก

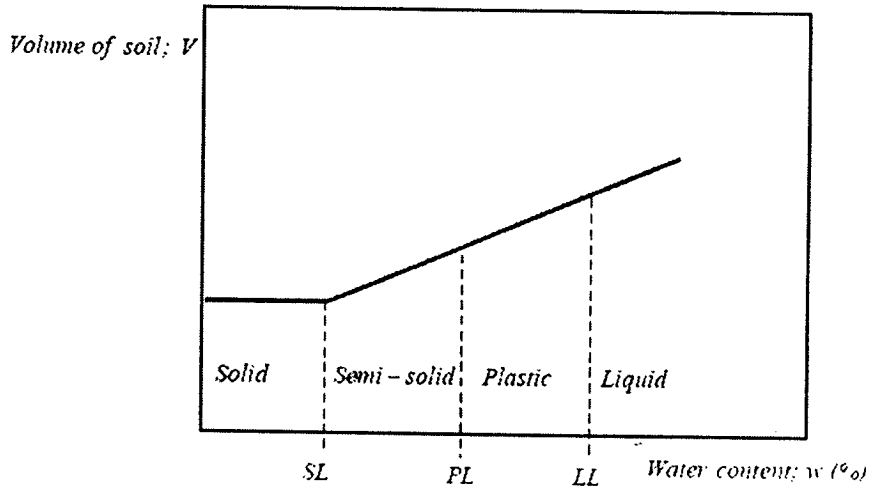
ความชื้นในมวลดิน ณ. จุดขณะเปลี่ยนสภาพ เรียกว่า “ขอบเขตสถานะภาพ” (Limit State) เช่น เป็นปริมาณความชื้นที่ดินจะเริ่มไหลเหมือนของเหลว ฯลฯ ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของมวลดินนั้นๆ นอกจากจะใช้เป็นตัวบ่งคุณสมบัติพื้นฐานแล้ว ยังใช้ในการจัดจำแนกหมวดหมู่ (Soil Classification) และคาดคะเนคุณสมบัติทางวิศวกรรรมบางอย่าง เช่น การทรุดตัวของชั้นดิน

สถานภาพของดินแบ่งได้ดังนี้

ก. ขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit, L.L.) หมายถึง ปริมาณน้ำในดินที่จุดเริ่มเปลี่ยนสถานภาพจากของเหลวเป็นพลาสติก หรือคือปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดที่ดินสามารถไหลไปได้ด้วยน้ำหนักของดินเอง

ข. ขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit, P.L.) หมายถึง ปริมาณน้ำในดินที่จุดซึ่งดิน เริ่มเปลี่ยนสถานภาพจากพลาสติกเป็นวัสดุกึ่งของแข็ง หรือคือปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดที่ดินสามารถถูกคลึงเป็นเส้นกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มม. ได้โดยไม่เกิดรอยแตกที่ผิว

ค. ขีดจำกัดการหดตัว (Shrinkage Limit, S.L.) หมายถึง ปริมาณน้ำในดินที่จุดซึ่งดินเริ่มเปลี่ยนสถานภาพจากวัสดุกึ่งของแข็งเป็นของแข็ง หรือก็คือปริมาณน้ำที่มากที่สุดซึ่งถึงแม้ว่าจะมีการสูญเสียน้ำอีกต่อไปก็ไม่ทำให้ดินหดตัวหรือลดปริมาตรลง



ภาพที่ 2.2 แสดงสถานภาพของมวลดิน

ที่มา: (http://www.sdhabhon.com/HighwayEngAtterberg'LimitswithoutSL.pdf)

2.4.2 การบดอัดดิน (Compaction Test)

เมื่อดินรับแรงอัดทางกล Mechanical Compaction หรือแรงกระแทกเพื่อไล่อากาศออกไปจากช่องว่างระหว่างเม็ดดินจึงทำให้เม็ดดินเคลื่อนตัวเข้าหากันลดช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ปริมาตรมวลดินจึงลดลง ฉะนั้นดินจึงยุบและอัดตัว ความหนาแน่นของเม็ดดินจะสูงขึ้น มีกำลังต้านทานแรงเฉือนและรับน้ำหนักได้มากขึ้นการไหลซึมผ่านของน้ำและการทรุดตัวของดินน้อยลง

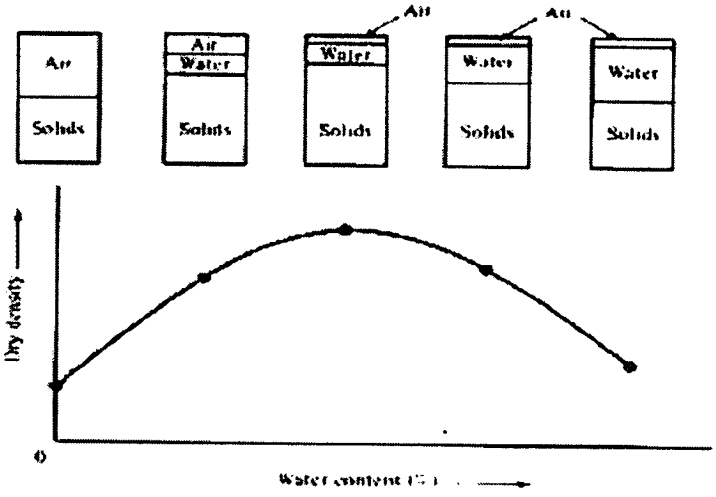
การศึกษาเกี่ยวกับการทดสอบการบดอัดของดินในห้องทดลองมีด้วยกัน 2 วิธีคือ

2.4.1.1 Standard Proctor Test

2.4.1.2 Modified Proctor Test

ซึ่งการที่จะใช้การทดลองโดยวิธีใดก็ตามก็ต้องขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการทดลอง ซึ่งผลที่ ได้จาการทดลองทั้งสองจะได้ค่าที่แตกต่างกันเนื่องจากการถ่ายพลังงานลงสู่ดินนั้นแตกต่างกันไปในแต่ละวิธี แต่อย่างไรก็ตามเราก็จะได้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการที่จะทำให้ดินนั้นมีค่าความหนาแน่นสูงสุดทั้งสองวิธี การบดอัดดินเป็นกระบวนการที่ใช้แรงหรือน้ำหนักจากเครื่องมือกล กระทำให้เม็ดดินเบียดตัวชิดกัน เพิ่มความแน่นและความสามารถในการรับน้ำหนัก ลดการทรุดตัว ลดการซึมผ่านของน้ำ เครื่องมือกลที่ใช้ในการบดอัด เช่น รถบดล้อเหล็ก รถบดล้อยาง รถบดตีนแกะ รถบดชนิดสั่นกระแทก เป็นต้น การเลือกใช้เครื่องมือชนิดใดขึ้นอยู่กับประเภทของดินหรือวัสดุที่จะบดอัด การบดอัดดิน เป็นกระบวนปรับปรุงคุณภาพดิน คือทำให้ดินแน่น (Dense)

สูงสุด เพื่อเหมาะสมแก่ งานประเภทต่าง ๆ ในเชิงวิศวกรรม การทำให้ดินแน่น หรือทำให้ดินมีความหนาแน่นสูงสุดนอกจากจะใช้พลังงาน เช่น บดอัด (Compact) แล้ว ยังต้องคำนึงถึงปริมาณความชื้น (หรือปริมาณน้ำ) และช่องว่าง (Void) ในดิน เพราะ ปกติดินประกอบด้วย มวลดิน ช่องว่าง และน้ำดังแสดงในรูปที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 สัดส่วนองค์ประกอบของดิน ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำ และความแน่นของดิน ณ ภาวะต่าง ๆ

ที่มา : (http://www.denichsoiltest.com/Compaction-Test.html)

หากปริมาณความชื้นน้อย แรงตึงผิวระหว่างอนุภาคดินสูง มีความฝืด หรือแรงเสียดทานมาก ดังนั้นจึงบดอัดยาก หากเพิ่มความชื้นอนุภาคดินจัดเรียงตัวดีขึ้น บดอัดง่ายขึ้น หากปริมาณน้ำเกินปริมาณที่เหมาะสม จะเกิดแรงผลักกันระหว่างน้ำกับอนุภาคดิน ทำให้อนุภาคดินไม่สามารถเรียงหรืออัดตัวกันได้ดีเท่าที่ควรและบวมตัว (Swell) หากปริมาณน้ำมากเกินไป จนเข้าไปแทนที่ช่องว่าง ระหว่างอนุภาคดินทำให้ดินใกล้อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation) การบดอัดดินจะทำให้ค่าความหนาแน่นแห้ง (Dry Density) ของดินสูงขึ้น ขณะที่ช่องว่าง หรือ โพรงอากาศระหว่างเม็ดดินลดลง ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมจะทำให้ได้ค่าความหนาแน่นของดินสูงสุด (Maximum Dry Density) เรียก "Optimum Moisture Content, OMC " วิธีการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับ ความแน่น Density ของดินที่ได้จากการบดอัดในห้องปฏิบัติการ ซึ่งต่อมาได้เป็นที่ยอมรับและนิยมใช้ในการทดสอบการบดอัดในงานก่อสร้างโดยทั่วไปว่าเป็นวิธีการทดสอบมาตรฐาน Standard Proctor Test โดยเฉพาะการทดสอบเพื่อควบคุมงานก่อสร้าง สนามบิน เขื่อนดิน พื้นโรงงาน เป็นต้น ในปัจจุบันยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งได้วิวัฒนาการมีขนาดใหญ่ขึ้น บรรทุกน้ำหนักได้มากหลายเท่าตัว พลังงานที่ใช้ในการบดอัดก็จำเป็นจะต้องเพิ่มขึ้นด้วย จึงได้มีการกำหนดวิธีการทดสอบการบดอัดดินด้วยการเพิ่มพลังงานให้สูงขึ้น เพื่อจะได้ฐานดินที่มีความแน่นสูงรับน้ำหนักได้มาก เรียกว่า วิธีการทดสอบแบบโมดิฟายด์ Modified Proctor Test

ตารางที่ 2.8 แสดงการเปรียบเทียบอุปกรณ์และพลังงานที่ใช้ในการทดสอบStandard Proctor และ Modified Proctor

Test	Mold size	Wt. of hammer (lb.)	No. of layer	Height of drop (in)	No. of blow per layer	Energy / vol. ft-lb/ft^3
Standard Proctor	Ø4.0"x4.6"	5.5	3	12	25	12,400
	Ø6.0"x5.0"	5.5	3	12	56	12,400
Modified Proctor	Ø6.0"x5.0"	10	5	18	56	56,000
	Ø4.0"x4.6"	10	5	18	25	56,300

ที่มา :(http://www.denichsoiltest.com/Compaction-Test.html)

สมการคำนวณพลังงานบดอัดแบบ Modified Proctor Test

$$56000 = \frac{Wh \times N \times h \times n}{V} \quad ft - lb/ft^3$$

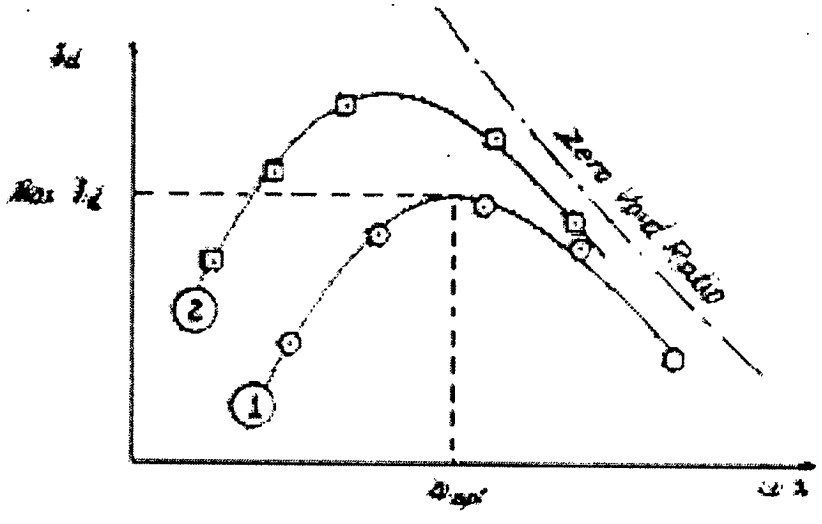
W_h = น้ำหนักค้อนบดอัด lb.

N = จำนวนชั้น Layer

H = ความสูงในการยก ft.

n = จำนวนครั้งในการบดอัดต่อชั้น blow/layer

V = ปริมาตรMold ft^3



ภาพที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density (γd) และเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Percent water content) ของ Standard Proctor (1) และ Modified Proctor (2)

ที่มา :(http://www.denichsoiltest.com/Compaction-Test.html)

ในการทำการบดอัดในห้องทดลอง ซึ่งปกติจะใช้เป็นมาตรฐานในการควบคุมการบดอัดในสนาม ต่อไป จะทำได้โดยการนำเอาวัสดุที่จะใช้ในการบดอัดในสนาม เข้ามาผึ่งให้แห้งแล้วค่อยๆเพิ่มน้ำไปในปริมาตรที่พอเหมาะ แล้วเริ่มทำการบดอัดใน Mold (แบบที่ใช้อัด) โดยวิธีการและรายละเอียดจะพูดถึงที่หลัง เมื่อชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาค่าความหนาแน่น ในครั้งต่อไปจะเพิ่มปริมาณน้ำขึ้นเรื่อย อย่างน้อย 4 – 6 ครั้ง เมื่อทราบความชื้นของการบดอัดในแต่ละครั้ง ก็จะหาค่าความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของดินแห้งกับความชื้น จะปรากฏเป็นเส้นกราฟโค้งขึ้นมีจุดยอด ซึ่งเรียกว่า "ความหนาแน่นสูงสุด" (Maximum Dry Density) ความชื้นที่จุดนั้นเรียกว่า "ความชื้นที่ความหนาแน่นสูงสุด" (Optimum Water Content) ดังแสดงในรูปที่หนึ่ง ถ้าเอาพลังงานในการบดอัดสูงขึ้นในดินชนิดเดียวกัน เส้นกราฟการบดอัดจะขยับสูงขึ้น ดังเช่นใน รูปที่ 2 (2) จะสามารถสังเกตลักษณะพิเศษ 2 ประการ คือ ค่า γd ของ Modified Proctor จะสูงกว่า γd ของ Standard Proctor และค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่จุด γd สูงสุด ซึ่งเรียกว่าความชื้นเหมาะสม (Optimum Moisture Content) ก็จะลดลงด้วย ขณะที่ γd เพิ่มขึ้น ซึ่งลักษณะพิเศษนี้เป็นคุณสมบัติของดินโดยทั่วไปเมื่อได้รับการบดอัด

2.4.3 การทดสอบ California Bearing Ratio (CBR)

ในงานทาง วัสดุที่ใช้ก่อสร้างคันดิน หรือทำ โครงสร้างทาง นอกจากจะต้องปรับปรุงคุณภาพด้วยการบดอัดให้แน่น เช่น บดอัด ณ ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม แล้ว ยังต้องคำนึงถึงกำลังต้านทานแรงหรือน้ำหนักกด และเสถียรภาพของดิน กล่าวคือ หากดินยุบตัวมาก แต่กำ ลังต้านทานน้อย อนุมานได้ว่า บดอัดไม่แน่น หรือกลับกัน นอกจากนั้น จะต้องคำนึงถึงเสถียรภาพของดิน เมื่อปริมาณความชื้นสูงมาก คืออิ่มตัว (Saturated) ซึ่งในทางธรรมชาติ อาจเกิดขึ้นได้เช่นโครงสร้างทาง หรือผิวทางในภาวะที่ถูกน้ำท่วมขัง

การทดสอบ California Bearing Ratio (CBR) คล้ายคลึงกับการทดสอบความแน่นของการบดอัด ดินในห้องปฏิบัติการ (ทั้งวิธี Standard หรือ Modified Proctor) ทั้งนี้เพราะกระบวนการเตรียมตัวอย่าง อุปกรณ์ทดสอบ และวิธีทดสอบ คล้ายคลึงกัน และกระบวนทดสอบ CBR ก็จะต้องทดสอบหาความหนาแน่นของดินด้วยเสมอ เพียงแต่มีรายละเอียดการทดสอบเพิ่มเติม เช่น ทดสอบการบวมตัว (Swell) ของตัวอย่าง ภายใต้สภาวะที่ถูกแช่ในน้ำ (Soaking) ซึ่งเป็นการจำลองสภาวะของดินที่บดอัดในสนาม เช่น โครงสร้างชั้นทางต่าง ๆ ซึ่งอาจถูกน้ำไหลบ่าหรือท่วมขัง เป็นเวลานานพอที่ทำ ให้ดินบวมตัว เสียรูป (Deform) หรือเสียเสถียรภาพในที่สุด ดังนั้น ในทางปฏิบัติ อาจแก้ไขด้วยการพยายามออกแบบให้ผิวทาง หรือโครงสร้างทางชั้นสำคัญ มีระยะปลอดพ้นน้ำ (Freeboard) อย่างเพียงพอ หรือออกแบบระบบระบายน้ำใต้ผิวดิน (Sub drain) เช่น มีชั้นทรายรองพื้น (Sand cushion) ใต้ผิวทางคอนกรีต ระบบระบายน้ำใต้ดินชนิดมีท่อกรุ(Perforated pipe) ตัวกรองหรือวัสดุคัดเลือกมวลค่อนข้างหยาบ ที่มีช่องว่างระหว่างมวล (Void) ค่อนข้างสูง นอกจากนั้น การทดสอบยังมีวัตถุประสงค์จะคำนวณค่า CBR ซึ่งเป็นค่าเปรียบเทียบ (ร้อยละ) ระหว่าง กำลังรับแรงต้านทาน (อาจเรียกว่า แรงธาร หรือ แรงแบกทาน -

Bearing capacity) ของดิน ภายใต้น้ำหนักกด เปรียบเทียบกับกำลังมาตรฐาน ณ ค่าระยะยุบตัว (Penetration) ที่เท่ากัน

ที่มา:(http://www.denichsoiltest.com/CALIFORNIA-BEARING-RATIO.html)

2.4.4 การทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด(Unconfined Compression Test)

ความแข็งแรงหรือกำลังของดินเหนียว (Cohesive soil) จะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

ก. Cohesion ซึ่งเกิดขึ้นจากแรงดึงดูดทางไฟฟ้า–เคมี (Electro chemical bonds) ระหว่างเม็ดดิน

ข. Friction ซึ่งเกิดขึ้นจากการขัดตัวของเม็ดดิน (Particle interlocking) และความฝืดระหว่างผิวของเม็ดดิน (Surface friction)

ในดินเหนียวอ่อนและดินเหนียวปานกลาง (Soft และ Medium Clay) กำลังของดินส่วนใหญ่มักจะเกิดจาก Cohesion การทดลอง Unconfined compression เป็นวิธีการหาค่าประมาณ Cohesion ของดิน โดยวิธีง่าย ๆ ซึ่งทำได้รวดเร็วความแข็งแรงของดินอาจแทนได้ด้วยสมการ Mohr–Coulumb

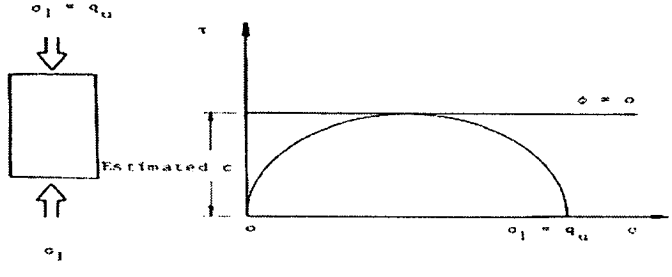
$$\tau = c + \sigma tan\emptyset$$

ถ้าเป็นดินเหนียวอ่อนอิ่มตัวและภายใต้แรงกดที่กระทำใน เวลาอันรวดเร็ว tan$\emptyset$, จะมีค่าน้อยและถ้าให้ tan $\emptyset$ = 0

$$\tau = c$$

ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ที่ใช้ใน Unconfined compressive strength ในการทดลอง Unconfined compression test ตัวอย่างดินรูปทรงกระบอกจะถูกกดทางแนวดิ่ง โดยไม่มีความดันหรือการอัดช่วยทางด้านข้าง ดังรูปที่ 1 คล้ายกับการกดตัวอย่างคอนกรีต ข้อมูลที่เราจะบันทึกไว้ก็คือแรงกดในแนวดิ่ง (Fv) และการหดตัวของตัวอย่าง (ΔV) ตัวอย่างดินจะรับแรงเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุด (Fvmac)ถ้าเราลองนำค่าหน่วยแรงโดยรอบ ตัวอย่างดินมาเขียนลงใน Mohr's Diagram ดังแสดงในรูปด้านล่าง ผลที่ได้ก็คือ ค่า cohesion โดยประมาณของดินนั้น

$$\text{Estimated c} = \frac{\sigma 1}{?} = \frac{Fv(max)}{?Ac}$$



ภาพที่ 2.5 แสดงStress และ Mohr's Diagram

ที่มา : (http://www.denichsoiltest.com/unconfined-compression-test.html)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีต

Hogentogler, 1938 อธิบายว่า การปรับปรุงคุณสมบัติของดินที่เป็นการทำให้ดินตามธรรมชาติมีความสามารถในการรับน้ำหนักได้ดีขึ้นและทนทานต่อการสึกหรอ วิธีการปรับปรุงอาจเป็นการบดอัดให้แน่นหรือการใช้สารเพิ่มลงในดิน

Winerkorn, 1955 อธิบายว่า การปรับปรุงคุณสมบัติของดินเป็นการนำเอาวิธีการทางด้านฟิสิกส์ และเคมีมาใช้ผสมกับดินเพื่อให้ดินมีคุณสมบัติที่ดีสำหรับงานทางด้านวิศวกรรม

Kennedy and Oleson, 1987 ได้ทำ Mixed In-Place Recycling โดยใช้ปูนซีเมนต์และวัสดุอื่นเป็นสารผสมเพิ่มซึ่งเริ่มนำมาใช้ในปี 1984 ในประเทศอังกฤษ

Kuuhlman, 1989 ได้สรุปว่า มีการใช้ดินซีเมนต์ที่นำวัสดุมาจากโครงสร้างทางเก่าซึ่งเป็น Bituminous surface มาผสมกับปูนซีเมนต์ใช้เป็นชั้นพื้นทาง วิธีดังกล่าวนี้ได้ใช้ในงานก่อสร้างถนนใน 12 รัฐ ในประเทศสหรัฐอเมริกาในช่วงเวลาปี 1970 การปรับปรุงวัสดุเก่านี้ได้เรียกว่า Pavement Recycling และการทำ Recycling ทั้งผิวทางแบบราดยางและผิวทางคอนกรีตเก่าด้วย

Tabensky, 1990 กล่าวว่า Recycling หมายถึงการนำวัสดุที่ใช้นำมาใช้ใหม่ไม่ใช้เรื่องใหม่ ในประเทศอเมริกา ได้มีการรายงานไว้ในปี 1915 Florida Department of Transportation ได้ทำนำวัสดุโครงสร้างทางเก่ากลับมาใช้ใหม่โดยใช้ปูนซีเมนต์เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของถนน

Rammanujam, 1995 บันทึกว่าอายุของผิวจราจรแบบยืดหยุ่นจะอยู่ที่ประมาณ 20 ปี ก็จะต้องมีการบำรุงรักษาและซ่อมแซม เพราะภายหลังจากอายุการใช้งาน 20 ปีตามที่ออกแบบไว้แล้วจะเกิดหลุมบ่อจากการผุพังและเป็นอันตรายต่อการขับขี่ การขาดแคลนเงินทุนที่จะซ่อมแซมหรือก่อสร้างใหม่ทำให้ต้องพิจารณาการทำ Recycling กับถนนเดิมเพราะจะประหยัดและได้ถนนที่มีคุณภาพดีสามารถรองรับการจราจรได้