บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 ทฤษฎี

การทดสอบ California Bearing Ratio (CBR) เป็นการทดสอบค่าแรงเฉือนด้วยอัตราคงที่ของระยะยุบตัว ด้วยแท่งเหล็กมาตรฐานที่กดลงในเนื้อดินด้วยอัตราคงที่ และค่าแรงที่ทำให้เกิดอัตราคงที่ในช่วงที่เหมาะสมนั้น กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรง และ ระยะยุบตัว (Load – Penetration Relationship) อ่านค่ายุบตัวแล้วนำค่าแรงที่อ่านได้ ไปเปรียบเทียบกับแรงมาตรฐาน (Standard Load) เป็นเปอร์เซ็นต์ ซึ่งเปอร์เซ็นต์ที่ได้คือค่า CBR ในสภาพที่ทำการทดสอบ

$$CBR = \frac{\text{Measure Force} \times 100}{\text{Standard Force}}$$

ค่าแรงมาตรฐาน จะอยู่ในช่วง 2-12 มิลลิเมตร ของระยะยุบตัว ซึ่งกำหนดโดย BS. แต่ในการคำนวณทั่ว ๆ ไปจะใช้ค่าแรงในช่วง 2.54 และ 5.08 มิลลิเมตร ซึ่งค่าแรงมาตรฐานนี้ ได้จากการทดสอบตัวอย่างหินคัดขนาดที่บดอัดแล้ว (Compacted Crushed Rock) กำหนดให้เป็นค่า CBR. ที่ 100 % ซึ่งค่า CBR ที่เกิดขึ้นจะอยู่ในช่วง 20% - 200%

2.2 จุดประสงค์ของการทดสอบ CBR.

การทดสอบ CBR. เป็นการทดสอบค่าการยุบตัวของดินในห้องปฏิบัติการ ซึ่งอาจจะสามารถแยกประเภทของดินได้ตั้งแต่ประเภทดินเหนียวไปจนถึงกรวดขนาดกลาง การทดสอบ CBR.ในระยะแรก ๆ คิดค้นเพื่อใช้เป็นสัดส่วนในการออกแบบชั้นทางแบบลาดยาง (Flexible Pavement) แต่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการออกแบบชั้นทางแบบคอนกรีต (Rigid Pavement) ได้

ผลการทดสอบ สามารถนำไปออกแบบ Runway และ Taxi Way ของสนามบินได้เหมือนกับออกแบบถนน ค่า CBR. ทำให้สามารถเลือกความหนาที่เหมาะสมของชั้นทางได้ โดยออกแบบเพื่อรองรับกำหนดจากเงื่อนไขการจราจร ในรูปแบบของแรงจากล้อรถหรือเครื่องบิน (Axle Loading) และปริมาณความหนาแน่นการจราจร (Traffic Frequency)

2.3 ประโยชน์ของการทดสอบ CBR.

1. สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการออกแบบกับชั้นทางได้หลายลักษณะ
2. สามารถอ่านค่าความสัมพันธ์ได้ค่าที่ต้องการทันที ใช้งานได้ทั้งในห้องปฏิบัติการและงานสนาม
3. สามารถนำไปใช้ประโยชน์สูงสุดในการเลือกใช้วัสดุราคาถูกแต่ได้คุณภาพดี

2.4 ข้อกำหนด

ค่า CBR. เป็นค่าไม่มีหน่วยและไม่มีความสัมพันธ์เกี่ยวกับคุณสมบัติพื้นฐานของดิน ไม่ครอบคลุมค่าแรงเฉือน หรือ ค่าการยุบตัว การทดสอบค่า CBR. ไม่ควรจะนำมาใช้ประมาณค่า Bearing Capacity ของดินชั้นทางหรือดินฐานราก ผลการทดสอบจะนำไปใช้ในการเป็นค่า Index Properties ซึ่งเป็นข้อกำหนดในการออกแบบชั้นทาง

2.5 ผลกระทบจากการเตรียมอุปกรณ์

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ไม่ว่าการบดอัดแบบ Static หรือ Dynamics มีผลต่อค่า CBR. ทำให้ได้ค่าที่ไม่เท่ากันกับที่ทำในงานสนาม หรือแม้กระทั่ง ดินตัวอย่างแบบ undisturbed ที่มีค่า ความหนาแน่น และ ค่าความชื้น เท่ากัน มีหลายสาเหตุ

1. การกระจายความหนาแน่นของดินในแต่ละชั้นในงานสนามไม่เท่ากันกับการทดลองในห้องทดลอง
2. การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นสามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในงานสนาม ขอบเขตของแม่แบบ Mold เป็นตัวกำหนด Boundary Condition ซึ่งไม่มีอยู่จริงในงานสนาม ซึ่งจะขึ้นอยู่กับดิน เช่น ดิน Granular Soil จะให้ค่าที่สูงกว่า ดินเหนียวจะให้ค่าที่ต่ำกว่า
3. กระบวนการทดลองแบบ Static Dynamics หรือ Vibration ในการทดสอบค่า CBR.จะให้ค่า CBR.ที่ต่างกัน

2.6 การออกแบบความหนาของถนนลาดยางโดยวิธีของ Road Research Laboratory

วิธีการออกแบบความหนาของชั้นต่างๆ ของถนนซึ่ง Road Research Lab. แห่งประเทศอังกฤษ ได้แนะนำแก่ประเทศโซนร้อน โดยพิจารณาว่าการออกแบบวิธีนี้บางทีอาจจะเป็นวิธีประหยัดค่าก่อสร้างลงได้ เพราะเป็นการออกแบบให้ใช้วิธี Stage Construction ซึ่งเหมาะอย่างยิ่งแก่ทางหลวงที่มีการจราจรน้อย และรถไม่หนักเกินไปในระยะแรก ดังเช่นทางหลวงจังหวัด หรือทางหลวงชนบท ซึ่งกำลังดำเนินการก่อสร้างอยู่ในขณะนี้

ความชื้นที่คาดหมายในวรรคนี้ อาจทำการทดลองโดยมีวิธี Suction Test หรือการทดลอง เพื่อหาความดูดซึมโดยนำตัวอย่างดินตามวรรคแรกมาใช้อากาศดูด โดยต่อท่อที่เล็กมากไปยังอ่างน้ำ อากาศที่ใช้ดูดนี้จัดให้มีกำลังดูดมากน้อยขึ้นอยู่กับความลึกของน้ำใต้ดิน พูดง่ายๆ ก็คือ ความชื้นที่เราต้องการทราบในดินที่อยู่ในสภาวะตามวรรคแรกต้องเป็นจริงตามสถานะการของ Capillary Action ของระดับน้ำใต้ดินนั่นเอง

เราสามารถจะทราบความชื้นได้อีกวิธีหนึ่ง ถ้าหากภายในระยะเวลาใกล้เคียงที่จะทำการก่อสร้าง มีถนนลาดยางอยู่แล้ว โดยเก็บตัวอย่างดินจริงๆ ภายใต้ถนนลาดยางที่มีอยู่แล้วนำมาหาความชื้นได้โดยพิจารณาความชื้นที่มีมากที่สุดระยะเวลาหนึ่ง เช่นในฤดูฝน เป็นต้น

ในกรณีของสถานะการของพื้นที่ระดับน้ำใต้ดินลึกมาก จำนวนความชื้นที่จะมาออกแบบสามารถหาได้โดยสูตรดังนี้

$$K = \frac{\text{Field Moisture Content (Estimate)}}{(P \times X) + (S \times Y)} \quad \ldots\ldots (1)$$

There
- K = Constant
- P = Plastic Limit
- X = Percent of Soil Passing # 40
- S = Saturated Surface Dry Moisture Content of Material Retained # 40
- Y = Percent of Soil Retained # 40

โดยการตรวจสอบความชื้นที่เป็นจริงภายในดินค่า K อาจจะหาจากสูตรได้ดังต่อไปนี้

$$K = \frac{\text{Existing Moisture Under Seal Surface}}{\text{Plastic Limit}} \quad \ldots\ldots (2)$$

ดังนั้นเราจะสามารถจะประมาณความชื้นใต้ดิน โดยใช้สูตร (1)

1. คำอธิบาย

1.1 ค่า CBR ที่ได้จากการทดลองของดินเดิมรองพื้นทาง หรือพื้นทางเป็นค่า CBR ที่ไม่แช่น้ำวิธีเตรียมตัวอย่างเพื่อทำ CBR นั้นใช้จำนวนน้ำที่หาได้ตามข้อ 3 โดยการเปลี่ยนแปลงความแน่นต่างๆ กัน และใช้จำนวนความชื้นต่างๆ กันเมื่อได้ตัวอย่างแล้วเก็บตัวอย่างไว้ในห้องความชื้น 24 ชั่วโมง จึงนำมาทดลอง CBR (ไม่แช่น้ำ 4 วัน เช่นวิธีที่กำลังทำอยู่ขณะนี้)

1.2 อธิบายรูปของ Design Chart 1 (รูปในภาคผนวก ค.) เมื่อรถบรรทุกน้อยกว่า 150 คันต่อ 1 วัน เป็นค่าของความหนาของชั้นทางกับค่า CBR ของดินเดิม สมมติว่า CBR ของดินเดิมที่มีความชื้นที่เป็นจริงภายใต้ผิวลาดยางเท่ากับ 4

∴ ความหนาของชั้นรองพื้นทางวัสดุ Soil Aggregate ที่มีค่า CBR ไม่น้อยกว่า 25 % ที่ความชื้นที่เป็นจริงภายใต้ผิวลาดยางจะเท่ากับ 3 นิ้ว ความหนาของชั้นพื้นทางเท่ากับ 6 นิ้วปิดผิวจราจรด้วย Surface Treatment

1.3 อธิบายรูปที่ 1 (ภาคผนวก ค.) เป็นการหาความหนาของชั้นทางเมื่อมีรถบรรทุกถึง
1500 คันต่อวัน ตามรูปจะเห็นว่าดินเดิมต้องบดทับไม่น้อยกว่า 95% B.S. Normal Max Density หรือไม่น้อยกว่า 95% Standard AASHTO

แกนนอน เป็นความลึกของระดับน้ำใต้ดิน

แกนตั้ง เป็นค่าความหนาของชั้นทางมีค่าเป็นนิ้ว เมื่อมีรถบรรทุกไม่เกิน 150 คันต่อวัน ตัวอย่างดินเดิม Heavy Clay ระดับน้ำใต้ดินลึก 5 ฟุต

ก. มีรถบรรทุกไม่ถึง 150 คันต่อวัน

∴ ความหนาของชั้นทางเหนือดินเดิม = 18 นิ้ว

ข. มีรถบรรทุกไม่เกิน 450 คันต่อวัน ดูที่ Foot Note ให้ใช้ 1.1 คูณ

∴ ได้ความหนา 18 x 1.1 = 20 นิ้ว

ค. มีรถบรรทุกไม่เกิน 1500 คันต่อวัน ให้ใช้ 1.2 คูณ

∴ ได้ความหนา 18 x 1.2 = 22 นิ้ว

อนึ่ง ในรูปยังมีข้อแนะนำถึงความสามารถในการไหลซึมของน้ำใต้ดิน (Drainage Condition) ซึ่งนำมาพิจารณาในการหาความหนาของชั้นทางด้วยการใช้รูปที่กล่าวถึงนี้ออกแบบจะใช้กรณีที่ไม่สามารถจะทดลองค่า CBR ได้หรือใช้เพื่อตรวจสอบกับผลที่ออกแบบตาม Design Chart 1 หรือ Design Chart 2 (ภาคผนวก ค.)

1.4 อธิบาย Design Chart 2 (รูปในภาคผนวก ค.) เมื่อรถบรรทุกที่ใช้ถนนเกิน 150 คัน แต่ไม่มากกว่า 1500 คันต่อวัน

เช่นเดียวกับข้อ 2. ในการออกแบบความหนาของชั้นทาง แต่มีพิเศษอยู่คือได้แนะนำเป็น stage construction ดูที่ chart จะเห็นว่าได้ใช้ Surface dressing หรือ surface treatment ในขณะที่จำนวนรถบรรทุกยังไม่ถึง 450 คันต่อวัน เมื่อถึงเวลาที่รถบรรทุกเกิน 450 คันต่อวัน ให้เพิ่ม Bituminous surface อีก 2" อาจจะเป็น Asphaltic Concrete ก็ได้ ซึ่งเป็นวิธีการของ stage construction

1.5 อธิบายรูปที่ (Fig Example) เป็นรูปของผลของการทำการทดลอง เพื่อหาค่า CBR โดยมีสิ่งที่เกี่ยวข้องอยู่ 4 สิ่ง คือ

ความแน่นของการบดทับ ซึ่งแสดงในแกนตั้งทางด้านซ้าย มีค่าเป็นหน่วยน้ำหนักปอนด์ ต่อ 1 ลูกบาศก์ฟุต

เปอร์เซ็นต์ของการบดทับ ซึ่งแสดงในแกนตั้งทางด้านขวาเป็นเปอร์เซ็นต์บดทับเทียบกับมาตรฐานบดทับ B.S. Normal หรือ Std, AASHO

จำนวนน้ำที่ใส่ (หรือความชื้น) ที่ใช้ในการบดทับและที่ทำการทดลองค่า CBR ซึ่งแสดงในแกนนอน

ค่า CBR คือตัวแปรตัวที่ 3 ในขณะที่ค่าของความแน่นหรือค่าเปอร์เซ็นต์ของการบดทับเป็นตัวแปรตัวที่ 1 ค่าความชื้นเป็นตัวแปรที่ 2

ค่า CBR จะกำหนดเป็นจุด ๆ ไปแต่ละตัวอย่างที่ทดลองได้ในเส้นแสดงความแน่นและความชื้น เส้นประคือเส้นที่ลากระหว่างความเท่ากันของ CBR (เช่นเดียวกับเส้น ConTour ของความสูงต่ำของพื้นดินเมื่อเราทำการสำรวจแบบที่เรียกว่า Topography)

2. ตัวอย่างในการใช้วิธีการของ Road Research Lab. เพื่อออกแบบความหนาของชั้นทาง

ตัวอย่างที่จะแสดง 2 ตัวอย่างตามที่กล่าวถึงนี้ จะยกตัวอย่างของสถานะการกรณีที่ 1 ระดับน้ำใต้ดินอยู่ใกล้ผิวจราจร และในกรณีที่ 2 ระดับน้ำใต้ดินลึกมาก โดยกำหนดยวดยานที่ใช้ถนนและลักษณะของดินเป็นอย่างเดียวกัน คือ

ยวดยานมี 300 คันต่อวัน มีรถบรรทุกจำนวน 40% นั่นคือมีรถบรรทุกเท่ากับ 300 x 40 = 120 คันต่อวัน สมมติอัตราเพิ่มของรถเพิ่ม 12% ทุก ๆ ปีภายหลัง 10 ปี รถบรรทุกจะมีถึง 375 คันต่อวัน

ในการออกแบบใช้ Design Chart 2 (ภาคผนวก ค.) ความต้องการของผิวจราจรเป็น Surface Treatment (จำนวนรถบรรทุกภายใน 10 ปี ยังไม่ถึง 450 คัน)

ลักษณะของดิน ดินเดิมเป็นดินเหนียวปนทราย (Sand Clay) มีคุณสมบัติดังนี้ คือ

Liquid Limit = 49

Plastic Limit = 22

Natural Density = 88 Pcf.

รูปที่ 2 แสดงผลการทดลอง Compaction Moisture Content และ CBR (แสดงไว้ในภาคผนวก ค.) ตามที่ได้อธิบายแล้วในข้อ 1.5

2.1 กรณีที่ 1 ระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึก 5 ฟุต จากระดับดินถมของดินคันทาง ซึ่งเป็นลักษณะของภูมิภาคในสถานะการที่ระดับน้ำใต้ดินอยู่ใกล้ผิวจราจร การหาความชื้นในดินคันทางหรือดินเดิมใช้วิธี Suction Test หรืออาจได้จากการตรวจสอบถนนลาดยางที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงดังที่ได้อธิบายให้แล้ว

ก. ดินเดิมหรือดินคันทางตัวอย่าง Undisturbed ของดินเมื่อทำ Suction Test เมื่อระดับน้ำใต้ดินลึก 5 ฟุต ได้ Equilibrium ของความชื้นในดินเท่ากับ 23% เมื่อบดทับดินให้มีความแน่นถึง 100 % B.S. Normal Compaction เมื่อทำ Suction เมื่อระดับน้ำใต้ดินลึก 5 ฟุต ได้ Equilibrium ของความชื้นเท่ากับ 22%จาก Design Chart 2 (ภาคผนวก ค.) ต้องการชั้นรองพื้นทางหนา 12 นิ้ว

แต่อย่างไรก็ตามถ้าหากเมื่อการบดทับให้ถึง 100% B.S. Normal จะได้ค่า CBR เท่ากับ 10 เมื่อใช้ Equilibrium ของความชื้นเท่ากับ 22% ซึ่งต้องการความหนาของชั้นรองพื้นทางเพียง 4 นิ้ว เท่านั้น

ข. ชั้นของพื้นทาง (Sub – Base) จากการออกแบบที่แสดงในข้อ 2.1(ก) ต้องการความหนาของชั้นตองพื้นทางเมื่อบดทันที 100% B.S. Normal เท่ากับ 4 ตามความต้องการของ Design Chart ค่า CBR ของชั้นรองพื้นทางต้องไม่น้อยกว่า 25 เมื่อบดทับในสนามที่ความชื้นอันหนึ่ง ให้มีช่องว่างของอากาศที่ 5% ส่วนคุณภาพอย่างอื่นเช่นเดียวกับความต้องการในข้อกำหนดของ AASHTO ทุกประการ

ค. ชั้นพื้นทางจาก Design Chart 2 (ภาคผนวก ค.)ต้องการพื้นทาง 6 นิ้ว วัสดุพื้นทางต้องมี

ค่า CBR ไม่น้อยกว่า 80% เมื่อบดทับในสนามที่ความชื้นอันหนึ่งให้มีช่องว่างของอากาศที่ 5% ส่วน**คุณภาพอื่นเช่นเดียวกับความต้องการในข้อกำหนดของ AASHTO ทุกประการ**

ง. ผิวจราจรเป็นผิวจราจรแบบ Double Surface Treatment จนกระทั่งเมื่อจำนวนรถบรรทุกเกิน 450 คันต่อวัน ให้เพิ่มเป็นผิว Premix Asphaltic Concrete หนา 2 นิ้ว ภายหลังจากทำระดับให้เรียบร้อยด้วย Premix เช่นกัน

2.2.1 กรณี 2 ไม่มีน้ำใต้ดินใน 20 ฟุต ภายใต้ระดับของดินถมหรือดินเดิมฝนตกมีปริมาณ 35 นิ้ว ใน 1 ปี ซึ่งมีลักษณะของภูมิภาคในสถานะการที่ 2 ระดับน้ำใต้ดินลึกมาก

ก. ดินเดิมหรือดินคันทาง ภายในพื้นที่ใกล้เคียงแห่งนี้พบว่าจำนวนความชื้นของดินคันทาง (ซึ่งไม่จำเป็นต้องเป็นดินชนิดเดียวกัน) ภายใต้ผิวจราจรลาดยาง (Seal Surfacc) ซึ่งมีค่า Plastic Limit เท่ากับ 43 หาค่าได้ 37% ดินเดิมเป็นดินเหนียวผ่านตะแกรง B.S. #36 หรือ U.S.A เบอร์ 40 เท่ากับ 100%

จากสูตรที่ 2

$$K = \frac{\text{Field Moisture Content}}{\text{Plastic Limit}} = \frac{37}{43}$$

$$\therefore \quad K = 0.86$$

ดังนั้นจำนวนความชื้นกะประมาณของดินเดิมที่จะก่อสร้าง ซึ่งดินเดิม Sandy Clay ภายในถนนที่ลาดยางเรียบร้อย (Seal Surface) จึงมีค่าตามสูตรที่ 1

$$\text{Field Moisture Content (Estimate)} = K\,(P \times X) + (S \times Y)$$

$$= 0.86\left\{\frac{(22 \times 80)}{100} + \frac{(1 \times 20)}{100}\right\}$$

$$= 15.4\%$$

จาก Design Chart 2 (ภาคผนวก ค.)ค่า CBR เมื่อทำการบดทับดินเดิมหรือดินคันทาง (Sandy Clay) ณ ความชื้น 15.4% มีค่ามากกว่า 25 ซึ่งเป็นค่า CBR ที่ต้องการของชั้นรองพื้นทาง ดังนั้นในการก่อสร้างถนน ณ ภูมิภาคในกรณีนี้จึงไม่จำเป็นต้องมีชั้นรองพื้นทาง

2.2.2 ชั้นพื้นทางและผิวทาง เช่นเดียวกับข้อ 2.1

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบของการออกแบบทั้ง 2 กรณีจะเห็นว่าจำนวนน้ำที่มีจริงในดินภายใต้ผิวลาดยางจาก 22 % เหลือ 14.5 % ความต้องการชั้นรองพื้นทางจาก 4" ในกรณีแรกเป็นไม่ต้องมีรองพื้นทางในกรณีหลัง ทำให้ประหยัดค่าวัสดุ ค่าก่อสร้างได้อย่างมาก ดังนั้น ถนนในภูมิภาคต่างๆ กัน มีสภาพของสภาวะอากาศผิดกัน ไม่จำเป็นที่จะต้องออกแบบให้มีความหนาของชั้นทางต่างๆ เท่ากัน ในกรณีที่วัสดุเหมือนกันตามตัวอย่างที่ได้แสดงข้างต้น

บทความนี้เป็นบทความทางวิชาการ กองวิเคราะห์และวิจัย เล่ม4 "การออกแบบชั้นทางและเทคนิคธรณี " พ.ศ. 2508-2528 เรื่อง "การออกแบบความหนาของถนนลาดยางโดยวิธีของ Road Research Laboratory " โดยนายศักดา ปุณยานันต์ นายช่างเอก กองวิเคราะห์และวิจัยกรมทางหลวง นอกจากนี้ยังมีบทความทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยนี้ซึ่งแสดงในภาคผนวก