ระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน
EXPERT SYSTEM FOR SOIL SLOPE STABILITY ANALYSIS

ร.ต.หญิง วรรณี ศุขสาตร

นิสิตปริญญาเอก
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ
และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยรังสิต ปทุมธานี

บทคัดย่อ: การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเกี่ยวข้องกับปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอกไม่น้อยกว่า 15 ปัจจัย ซึ่งเป็นความรู้เฉพาะสาขาวิชาวิศวกรรมปฐพี ดังนั้น การที่จะทำให้วิศวกรโยธาทั่วไปสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยความสะดวกและทำให้ผลของการวิเคราะห์ถูกต้อง จึงควรมีตัวแทนของความเชี่ยวชาญที่ขาดไป นั่นคือ ระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน ซึ่งในการนี้เป็นระบบเพื่อวินิจฉัยรูปแบบการเคลื่อนพัง โดยพิจารณาจากปัจจัยภายในลาดดิน รวมถึงระดับไม่เสถียรภาพของลาดดิน ซึ่งพิจารณาจากการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินมากกว่า 800 หน้าตัด ตลอดจนยังตัดสินใจในการเลือกสภาพความแข็งแรงของดินตามระบบ USCS บอกลักษณะดินเหนียวกรุงเทพ และความเข้มของแผ่นดินไหวในประเทศไทย ระบบถูกพัฒนาบน Expert shell ชื่อ RAISON ซึ่งแสดงความรู้ในฐานความรู้แบบกฎ และต่อไปการทำงานของระบบจะมีความสะดวกต่อผู้ใช้มากขึ้นด้วยการเชื่อมโยงเข้ากับฐานข้อมูลการเคลื่อนพังของลาดดินในประเทศและโปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพของลาด ผลของการเกิดระบบผู้เชี่ยวชาญจะเป็นการยกระดับการวิเคราะห์สูงขึ้น และเมื่อมีการเผยแพร่ออกสู่สาธารณชนจะทำให้มาตรฐานการออกแบบงานดินสูงขึ้น และในที่สุดจะลดโอกาสการพิบัติที่เกี่ยวข้องให้ลดลง.

ABSTRACT: Soil slope stability analysis requires more than 15 internal and external factors that may affect slope failure. There is a need of the specialize in geotechnical engineering, so the expert system for soil slope stability analysis is required to assist civil engineers in analysis. In this paper, it is to build the expert system concerning the internal factors. The system is to give the guideline for slope failure type, including the stability status of homogeneous soil slope, the strength of soil as classified in the USCS, the Bangkok Clay characteristic, and the seismic intensity of area in Thailand. The stability status is determined from the analysis on the more than 800 sections of soil slope. The system is operated by the algorithm of the expert shell program named RAISON, which represents the knowledge in the production rule based type. Later development on the system will be done to improve the communication between the user and the system by linking the system to two parts: database for landslide in Thailand and program for slope stability analysis. The system is, therefore, to improve the slope stability analysis. In addition, the standard design for earth slope will be improved and the landslide case will be reduced after the work has been publicized.

KEYWORDS: Expert system, Soil slope stability analysis, Production rule based type

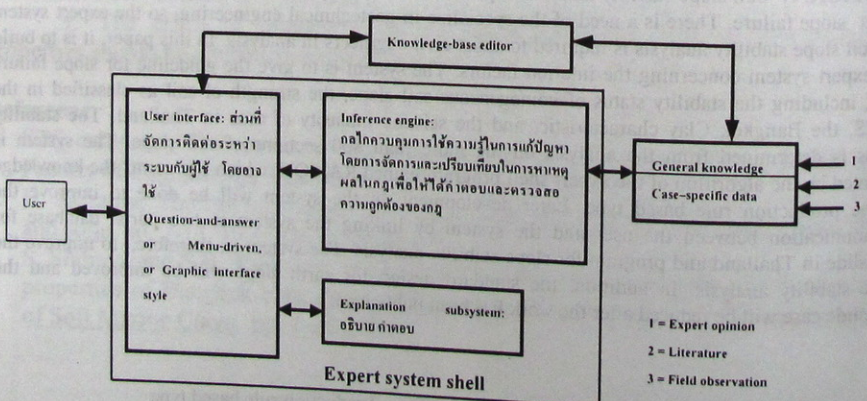
For further details, contact *Assist. Prof. Plt. Off. Vannee Sooksatra, Geotechnical Research and Development Center, Department of Civil Engineering, Kasetsart University, Bangkok, Thailand*

1. บทนำ

ในหลายกรณีของภัยพิบัติที่เกิดขึ้น ความเสียหายเนื่องจากการเคลื่อนพังของลาดดินมีค่าน้อยกว่าภัยพิบัติประเภทอื่น แต่ก็ยังสูญเสียทรัพย์สิน และชีวิตปีละมากมาย ดังที่พบในประเทศไทย อาทิเช่น การเคลื่อนพังของดลิ่งแม่น้ำโขง ที่ทำให้สูญเสียพื้นที่ในประเทศไทย และงบประมาณคิดเป็นมูลค่าไม่น้อยกว่าปีละ 1,000 ล้านบาทในการแก้ไข เป็นต้น และยังพบว่าการพิบัติของลาดสามารถถูกตรวจพบได้ก่อน หรือคาดการณ์ล่วงหน้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นหากมีการตรวจหาวิเคราะห์สาเหตุ ออกแบบแก้ไขได้ดีเพียงพอจะทำให้ลดความสูญเสียได้มาก ดังเช่นในรัฐแคลิฟอร์เนีย มีการเสนอข้อปรับปรุงแก้ไขในการออกแบบและก่อสร้าง ทำให้ลดความเสียหายได้ 90% ในต่างประเทศมีการจัดเก็บรวบรวมข้อมูลการเคลื่อนพังไว้อย่างเป็นระบบ แต่ในประเทศไทยยังพบปัญหาในงานวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดหลายประการ อาทิเช่นขาดการรวบรวมข้อมูลการพิบัติของลาดดินไว้อย่างเป็นระบบ วิศวกรและนักธรณีวิทยาผู้เชี่ยวชาญมีจำนวนน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณงาน เป็นต้น นอกจากนี้ การพิบัติที่เกิดขึ้นมักมีสาเหตุเบื้องต้นมาจากความผิดพลาดในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน ซึ่งเป็นผลมาจากการเลือกคุณสมบัติเฉพาะของดิน และวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ แม้ว่าจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ แต่ก็ยังขาดข้อแนะนำทางด้านวิศวกรรมปฐพีเพื่อช่วยเหลือในการวิเคราะห์ ด้วยเหตุนี้ จึงมีความสำคัญที่ควรจะมีระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนางานวิเคราะห์เสถียรภาพและออกแบบของลาดดินและลดการพิบัติเนื่องจากการเคลื่อนพังของลาดดินในประเทศไทย เพื่อให้เกิดเป็นระบบผู้เชี่ยวชาญในรูปแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ง่ายและสะดวกต่อการนำมาใช้สำหรับผู้ใช้ซึ่งเป็นวิศวกร โยธา และบุคคลที่เกี่ยวข้อง

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบผู้เชี่ยวชาญ เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้รับการออกแบบ และสร้างขึ้นมาให้สามารถทำงานด้วยความมีคุณภาพสูงในการแก้ไขปัญหาเฉพาะด้านที่ต้องอาศัยความรู้, ความจริง, และการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญเฉพาะสาขาวิชาความรู้ที่ผู้สร้างต้องการ ระบบผู้เชี่ยวชาญประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ ฐานความรู้ (Knowledge base) และระบบช่วยเขียนระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert system shell) ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งเป็นการแสดงส่วนประกอบของระบบผู้เชี่ยวชาญ และเส้นที่โยงถึงกันด้วยลูกศรแสดงถึงหน่วยที่ติดต่อกัน



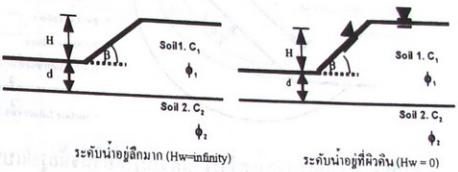
รูปที่ 1 โครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญ

การนำเอาระบบผู้เชี่ยวชาญมาประยุกต์ใช้ในการเสนอแนะเพื่อแก้ไขปัญหางานด้านการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดมีมาไม่น้อยกว่า 10 ปีแล้ว โดยที่ผลงานวิจัยอยู่ในรูปแบบของระบบผู้เชี่ยวชาญที่จัดสร้างขึ้นเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ อาทิเช่น โปรแกรม XPENT ในประเทศฝรั่งเศส จัดทำโดย Faure และคณะ [1] เป็นระบบผู้เชี่ยวชาญบนความรู้พื้นฐาน เพื่อให้ความช่วยเหลือในงานวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน โดยบ่งบอกรูปแบบของการพังทลายของลาดดิน และยังบอกถึงการปรับปรุงเสถียรภาพของลาดดิน, Knowledge-based approach to slope stability analysis ในประเทศมาเลเซีย จัดทำโดย Z'Aba [2] เป็นระบบผู้เชี่ยวชาญที่ใช้ในการพิจารณาวิธีปรับปรุงเสถียรภาพของลาดเป็นต้น

3. แนวคิดของการสร้างฐานความรู้ในระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน

ฐานความรู้ เป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญมากต่อระบบผู้เชี่ยวชาญ เนื่องจากระบบจะทำงานได้ต้องอาศัยความจริงที่ประกอบกันเป็นความรู้ และถูกรวมไว้ในฐานความรู้ ซึ่งในการนี้มีแนวความคิดในการสร้างความรู้ในฐานความรู้ของระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน มุ่งเน้นเพื่อให้คำแนะนำแก่ผู้ใช้ให้สามารถวิเคราะห์ให้มีความถูกต้องมากขึ้น ซึ่งประกอบด้วย 2 ฐานความรู้ คือ

ก. เพื่อวินิจฉัยรูปแบบการเคลื่อนพังที่น่าจะเกิดขึ้นตามองค์ประกอบภายในลาดได้แก่ คุณสมบัติของดิน ขนาดหน้าตัดของลาด และระดับน้ำใต้ดิน ซึ่งจะนำไปใช้ในการเลือกวิธีวิเคราะห์ที่เหมาะสม และระดับไม่เสถียรภาพของลาดดิน โดยมีรูปแบบของลาดดินที่ใช้ในระบบดังแสดงในรูปที่ 2 เมื่อรูปแบบการเคลื่อนพังถูกพิจารณาในแต่ละลักษณะของชั้นดิน 3 ลักษณะคือ Homogeneous soil, Nonhomogeneous soil - strength varies with depth, และ Stratified soil ดังแสดงในรูปที่ 3

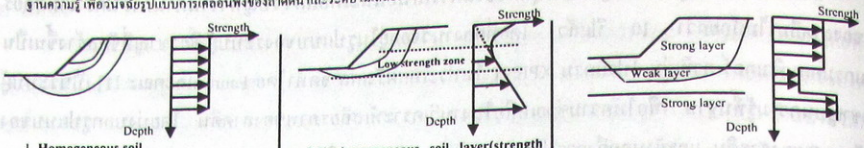


รูปที่ 2 รูปแบบของลาดดินที่ใช้ในระบบ

ข. เพื่อตัดสินใจในการเลือกช่วงความแข็งแรงของดิน ซึ่งถูกจำแนกตามระบบ USCS และบอกลักษณะของดินเหนียวกรุงเทพ (Bangkok clay) ซึ่งจะนำไปใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่าง โดยแบ่งพื้นที่ออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มพื้นที่ในที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่างมีลักษณะชั้นดินประกอบด้วยช่วงบนเป็นชั้นดินเหนียวกรุงเทพ ซึ่งมีค่า Undrained shear strength เป็นไปตามสมการของ SHANSEP ที่มีค่าความแข็งแรงไม่คงที่ตามความลึก, และกลุ่มพื้นที่ในส่วนอื่น ซึ่งแนะนำช่วงของค่าความแข็งแรงของดินแต่ละประเภท, และแนะนำสภาพความเข้มของแผ่นดินไหวเป็นค่า Coefficient of earthquake (A) เมื่อพิจารณาจากตำแหน่งของพื้นที่เป็นจังหวัดและอำเภอ

แหล่งของความรู้ได้มาจากเอกสารจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง รวมถึงบทความทางวิชาการ, ประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญจากการสัมภาษณ์, และข้อมูลสภาพการเคลื่อนพังจากการสำรวจในสนาม จำนวนมากกว่า 50 เรื่อง รวมถึงผลของการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินจำนวนมากกว่า 800 หน้าตัด ที่แต่ละหน้าตัดแตกต่างกันในค่าความแข็งแรงของดิน, ขนาดหน้าตัด และระดับน้ำใต้ดิน

ฐานความรู้ เพื่อวินิจฉัยรูปแบบการเคลื่อนพังของลาดดิน และระดับไม่เสถียรภาพของลาดดิน ซึ่งถูกจำแนกในสามลักษณะชั้นดิน



1. **Homogeneous soil**

Application to: Embankment, Uniform soil layer, Weathered granitic soil

Failure type: Rotational slide

Position of surface failure: base or toe slide for soft to medium stiff clay and plastic silt ($\phi \simeq 0$); surface slide for cohesionless soil ($c \simeq 0$); base or toe or slope slide for stiff clay, nonplastic silt, coarse grained soil

Stability status[1]: Guideline for stable to unstable slope

2.**Nonhomogeneous soil layer(strength varies with depth)**

Application to: Bangkok clay, Chao Phraya delta, Quaternary sediments

Failure type: Rotational slide

Position of surface failure: base or toe slide

Stability status[1]: Guideline for stable to unstable slope

3. **Stratified soil layer**

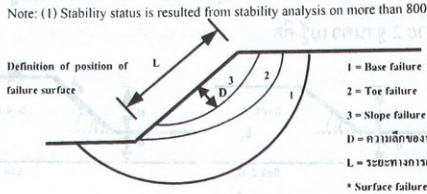
Application to: Nonuniform soil layer, Slope underlain by

thin layer of very soft clay, Old Alluvial deposit, Weathered sedimentary rock

Failure type: infinite slope or surface rotational slide for upper cohesionless soil layer ($c \simeq 0$); toe to base rotational slide for two or more than two soil layers with upper soft to medium stiff clay layer ($\phi \simeq 0$) on firm layer; rotational slide for two or more than two soil layers, with upper soft to

medium stiff clay layer ($\phi \simeq 0$) on weaker layer or stronger layer; rotational slide or translational slide for two soil layer, with upper $c - \phi$ soil layer, stability analysis must be done

Note: (1) Stability status is resulted from stability analysis on more than 800 sections.



1 = Base failure
2 = Toe failure
3 = Slope failure
D = ความลึกของพื้นผิว
L = ระยะทางการเคลื่อนที่
* Surface failure เมื่อ D/L น้อยกว่า 10%

รูปที่ 3 แนวคิดของการสร้างฐานความรู้เพื่อวินิจฉัยรูปแบบการเคลื่อนพังและระดับไม่เสถียรภาพของลาดดิน

4. การสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน

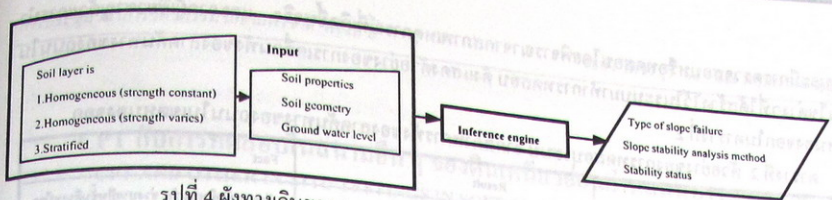
ระบบถูกพัฒนาขึ้นโดยมี Expert system shell ชื่อ RAISON ช่วยในการสร้าง เมื่อ RAISON ทำงานบน Windows และแสดงความรู้แบบ Production rule based type ในฐานความรู้ของระบบ ซึ่งมีด้วยกัน 2 ฐานความรู้คือ ฐานความรู้วินิจฉัยรูปแบบการเคลื่อนพังและระดับไม่เสถียรภาพของลาดดิน, และฐานความรู้เพื่อตัดสินใจในการเลือกค่าความแข็งแรงของดิน บอกลักษณะของดินเหนียวกรุงเทพ และแนะนำสภาพความเข้มของแผ่นดินไหว ตัวอย่างของกฎแสดงใน ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างของกฎในระบบ

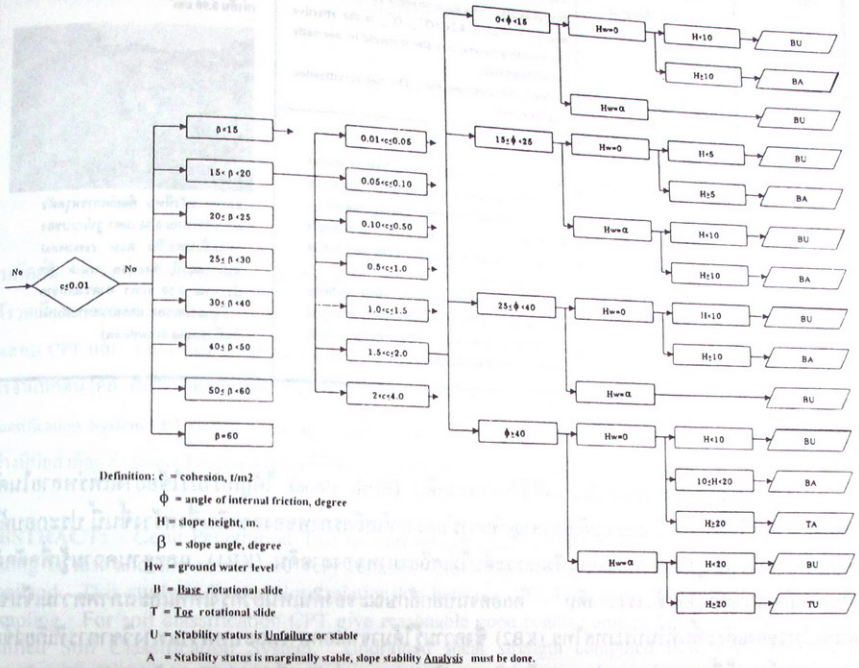
Knowledge base	Condition	Result
KB1	If the soil layer = homogeneous soil layer (strength varies with depth) and beta ≥ 20 and 2 < H ≥ 5,	Then Result = BFX When BFX = Base rotational slide in Bangkok Clay, Failure
KB2	If part = Central part and province = Bangkok,	Then Result = BKKC A = 0 010g to 0 025g When BKKC = Bangkok Clay, A = 0.01g to 0.025g

4.1 ฐานความรู้เพื่อวินิจฉัยรูปแบบการเคลื่อนพัง และระดับไม่เสถียรภาพของลาดดิน (KB1)

การพิจารณารูปแบบการเคลื่อนพัง และระดับไม่เสถียรภาพของลาดดิน แสดงอยู่ในรูปของกฎ จำนวนทั้งหมด 1,083 กฎ โดยมีลักษณะของคำตอบจำนวน 29 ลักษณะ ซึ่งมีผังทางเดินของการป้อนข้อมูล และคำตอบดังแสดงในรูปที่ 4 และตัวอย่างของ Chart แสดงเงื่อนไขที่ป้อน และคำตอบของ Homogeneous soil สำหรับดินที่มีค่า c และ ϕ มากกว่า ศูนย์ในรูปที่ 5



รูปที่ 4 ผังทางเดินของ Input และ Output ของฐานความรู้ KB1



รูปที่ 5 ตัวอย่างของ Chart สำหรับกฎของ Homogeneous soil เมื่อเป็นดินที่มีค่า c และ ϕ มากกว่าศูนย์

4.2 ฐานความรู้เพื่อตัดสินใจในการเลือกช่วงความแข็งแรงของดิน, บอกลักษณะของดินเหนียวกรุงเทพ, และแนะนำสภาพความเข้มของแผ่นดินไหว (KB2)

ระบบยังได้เพิ่มการแสดงค่าสัมประสิทธิ์ของแผ่นดินไหว (Coefficient of earthquake, A) ตาม Modified mercalli scale และคุณสมบัติของดินโดยประมาณ แสดงอยู่ในรูปของกฎจำนวนทั้งหมด 113 กฎ โดยมีลักษณะของคำตอบจำนวน 8 ลักษณะ

5. การทำงานของระบบและการทดสอบระบบ

กฎต่างๆในฐานความรู้จะถูกจัดการและเปรียบเทียบในการหาเหตุผล เพื่อให้ได้คำตอบ โดย RAISON ในลักษณะที่มีการต่อเชื่อมไปข้างหน้า (Forward chaining) นั่นคือค้นหาจากเหตุผลหรือเงื่อนไขในกฎ ไปหาคำตอบโดยเครื่องดำเนินการ หรือเครื่องอนุมาน (Inference engine) นอกจากนี้ยังมีส่วนติดต่อกับผู้ใช้ที่เรียกว่า User interface สำหรับให้ผู้ใช้ป้อนค่าต่างๆ และแสดงคำตอบให้ผู้ใช้ทราบทางหน้าจอ การพิจารณาความถูกต้องของ

ระบบจะมีการตรวจสอบหรือทดสอบโดยพิจารณาจากสภาพเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริง และจากผู้เชี่ยวชาญด้วยการนำเงื่อนไขต่างๆที่ได้สร้างไว้ในระบบมาทำการทดสอบ ดังแสดงตัวอย่างของการเคลื่อนพังของลาดคันทางของถนนในเขตหนองจอกในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างของการทดสอบระบบ จากสภาพการพังของลาดคันทางของถนนในเขตหนองจอก

Knowledge base	Input	Result	Fact
KB2	Part = Central Province = Bangkok	BKKC A = 0.010g to 0. 025g Explanation: The upper soil layer is soft clay (Bangkok clay), with shear strength varies with depth and Su = (0.22 to 0.26)*σ'_{vo}, σ'_{vo} is the effective overburden pressure, and also it should be normally consolidated clay. * This is for guideline only. The soil investigation must be done*	ลักษณะชั้นดินพบว่า ช่วงบนเป็นชั้นดินเหนียวอ่อน ที่เรียกว่า Bangkok clay หนาประมาณ 12 เมตร ซึ่งมีค่า ϕ เป็นศูนย์ และค่า Su โดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.90 ตัน/ตร.ม สภาพการพังที่พบ คือเกิดการทรุดตัวลงมาประมาณ 0.50 เมตร รูปแบบของการเคลื่อนพังเป็น Base rotational slide และมี Tension crack อีกประมาณ 0.50 เมตร คาดว่าเกิดจากการขุดลอกคลอง และการลดระดับน้ำทันที (Rapid drawdown)
KB1	Soil layer = Homogeneous soil (strength varies with depth) Beta = Slope angle = 35 degree H = Slope height = 2.50 m.	BFX Explanation: Type of movement; Base rotational slide in Bangkok clay using Simplified Bishop or Fellenius method. Stability status; Failure, it should be stabilized. Analysis method for strength test; Total strength analysis (ϕ = 0) for very soft to medium stiff clay. * This is for guideline only. Slope stability analysis should be done. Stability status is resulted from soil around Ruam Pattana road, Amphor Nongchok, Bangkok.*	

6. สรุปผล

การนำระบบผู้เชี่ยวชาญมาประยุกต์ใช้ในงานลาดดิน (Earth slope) ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในต่างประเทศ สำหรับในประเทศไทยระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินซึ่งสร้างขึ้นนี้ ประกอบด้วยฐานความรู้เพื่อวินิจฉัยรูปแบบการเคลื่อนพังและระดับไม่เสถียรภาพของลาดดิน (KB1), และฐานความรู้เพื่อตัดสินใจในการเลือกสภาพความแข็งแรงของดิน ตลอดจนบอกลักษณะของดินเหนียวกรุงเทพและสภาพความเข้มของแผ่นดินไหวของแต่ละพื้นที่ในประเทศไทย (KB2) ซึ่งความรู้ได้มาจากเอกสารและบทความทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง, ประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ, และสภาพการพังจากสนามจำนวนมากกว่า 50 เรื่อง ระบบถูกพัฒนาบน Expert shell ชื่อ RAISON ซึ่งแสดงความรู้แบบกฎ ที่มีการจัดการเพื่อให้ได้คำตอบในลักษณะ Forward chaining และมีทั้งหมด 1196 กฎ คือใน KB1 จำนวน 1083 กฎ และใน KB2 จำนวน 113 กฎ การทำงานของระบบจะมีความสะดวกต่อผู้ใช้มากขึ้น ต้องได้รับการพัฒนาต่อไปด้วยการเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลการเคลื่อนพังของลาดในประเทศและโปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพของลาด และฐานความรู้ควรได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น อาทิเช่นการพิจารณา Dynamic factors มาสร้างกฎ เป็นต้น.

เอกสารอ้างอิง

1. Toll, D.G., Artificial Intelligence applications in geotechnical engineering, Electronic J. of Geotechnical Engineering, http://geotech.civen.edu/ejge/ppr9608/index.htm., 1996.
2. Isamil, Z., Knowledge-based approach to slope stability analysis, Int. Con. On Engng. Geology in Tropical Terrains, 8 p., 1989.