บทนำรวม

การศึกษาพฤติกรรมการเกิดน้ำท่วม-ดินถล่ม ในพื้นที่ต้นแบบเพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับกำหนดเกณฑ์และวิธีการในการเตือนภัย (ระยะที่ 2)

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

พิบัติภัยน้ำท่วม-ดินถล่ม เกิดจากปัจจัยกระตุ้นปัจจัยเดียวกัน คือ น้ำฝน ในอดีตการศึกษาวิจัยในเรื่องดังกล่าวในประเทศไทย ได้แยกการศึกษาอย่างชัดเจน เนื่องจากทั้งสองภัยพิบัติต้องการพื้นฐานทางทฤษฎีที่แตกต่างกัน กล่าวคือการศึกษาเรื่องน้ำท่วม จำเป็นต้องใช้ทฤษฎีทางวิศวกรรมชลศาสตร์ ในขณะที่การศึกษาเรื่องดินถล่มจำเป็นต้องใช้ทฤษฎีด้านปฐพีกลศาสตร์ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของสุทธิศักดิ์และคณะ (2551) พบว่าทั้งสองงานวิจัยดังกล่าวได้ใช้ปัจจัยดัชนีความชุ่มชื้นในมวลดิน (Antecedent Precipitation Index: API) มาใช้ในการเตือนภัยน้ำท่วมและดินถล่ม ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่เราจะสามารถเตือนภัยน้ำท่วม, ดินถล่ม และน้ำท่วม-ดินถล่ม ได้โดยใช้ตัวแปร API เป็นตัวแปรร่วมกัน ทั้งนี้การเตือนภัยโดยใช้ตัวแปรเดียวกันจะส่งผลดีในทางปฏิบัติที่จะไม่ทำให้หน่วยงานเฝ้าระวังภัยสับสน

จากทุนสนับสนุนงานวิจัยโดย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2550 สุทธิศักดิ์และคณะ ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการเกิดน้ำท่วม-ดินถล่ม ในพื้นที่ต้นแบบเพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับกำหนดเกณฑ์และวิธีการในการเตือนภัย โดยเลือกพื้นที่ใน จังหวัดอุตรดิตถ์ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เคยเกิดเหตุการณ์น้ำท่วมและดินถล่มในอดีตเมื่อวันที่ 23 พฤษภาคม พ.ศ. 2549 เป็นพื้นที่ต้นแบบการศึกษาดังกล่าวได้เสร็จสิ้นสมบูรณ์ในระดับหนึ่ง ซึ่งได้แบบจำลองค่า API วิกฤติ สำหรับพื้นที่ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ เพื่อใช้สำหรับการเตือนภัย แบบจำลองดังกล่าวมีศักยภาพในการนำไปใช้ในทางปฏิบัติ เนื่องจากได้ผ่านการพิสูจน์ความถูกต้องในบางพื้นที่มาแล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบบจำลอง API วิกฤติ สำหรับดินถล่ม

อย่างไรก็ตามเพื่อให้แบบจำลองสามารถนำไปใช้ในพื้นที่ต่างๆ ทั่วประเทศได้ จำเป็นต้องทำการพิสูจน์หาความถูกต้องและน่าเชื่อถือของแบบจำลอง เนื่องจากการเตือนภัยน้ำท่วม-ดินถล่มที่มีประสิทธิภาพต้องได้รับความเชื่อมั่นจากผู้เกี่ยวข้อง ทั้งเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติ และประชาชนในพื้นที่เสี่ยงภัย ดังนั้นการกำหนดเกณฑ์สำหรับการเตือนภัยจำเป็นต้องมีความถูกต้องและความน่าเชื่อถืออย่างมาก

นอกจากนี้ถึงแม้ว่าเราจะมีเกณฑ์ของตัวแปรในการเตือนภัยดังที่กล่าวมา แต่การเตือนภัยที่แม่นยำในปัจจุบันจะต้องรอให้ฝนตกลงมาเพื่อเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์ ทำให้การเตือนภัยหรือการอพยพมีช่วงเวลาที่สั้นเกินไป วีรศักดิ์และคณะ (2551) ได้ศึกษาแนวทางการแปลภาพถ่ายก้อนเมฆ จากภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อคาดการณ์ปริมาณน้ำฝน ดังนั้นหากสามารถนำแบบจำลองการคาดการณ์ดังกล่าวมาร่วมกับแบบจำลองการเกิดน้ำท่วม, ดินถล่ม และน้ำท่วม-ดินถล่ม จะทำให้การเตือนภัยล่วงหน้ามีประสิทธิภาพสูงขึ้น

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อพิสูจน์ความถูกต้องของแบบจำลอง API ในการนำไปใช้ในพื้นที่ทั่วประเทศ (ที่มีข้อมูลตัวแปรนำเข้าเพียงพอ) พร้อมทั้งพัฒนาวิธีการในการเตือนภัยที่เหมาะสมกับการปฏิบัติจริงในพื้นที่เป้าหมาย ซึ่งจะได้ต่อยอดจากระบบเก็บข้อมูลอัตโนมัติทางไกลที่ใช้ในการเก็บข้อมูลน้ำฝนในปัจจุบัน จึงได้จัดทำโครงการวิจัย "การศึกษาพฤติกรรมการเกิดน้ำท่วม-ดินถล่ม ในพื้นที่ต้นแบบเพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับกำหนดเกณฑ์และวิธีการในการเตือนภัย (ระยะที่ 2)" **โดยมีวัตถุประสงค์หลักดังนี้**

1. ปรับปรุงแบบจำลองค่า API วิกฤติจากวิธีทางวิศวกรรมสำหรับเตือนภัยดินถล่ม โดยการปรับปรุงแบบจำลองการไหลซึมและศึกษาค่า API เริ่มต้นในแบบจำลอง

2. พัฒนาแบบจำลองเพื่อสร้างเกณฑ์การเตือนภัยน้ำท่วมฉับพลันจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝน ค่า API และปริมาณน้ำท่วมฉับพลัน

3. เพื่อศึกษาแนวทางในการเตือนภัยน้ำท่วม, ดินถล่ม และน้ำท่วม-ดินถล่ม โดยใช้ค่า API หรือค่าตัวแปรความชุ่มชื้นที่เหมาะสม

4. เพื่อศึกษาแนวทางในการเตือนภัยน้ำท่วม, ดินถล่ม และน้ำท่วม-ดินถล่ม โดยอาศัยการแปลผลภาพถ่ายเมฆจากภาพถ่ายดาวเทียม

5. ศึกษารูปแบบการป้องกันภัยน้ำท่วม, ดินถล่ม และน้ำท่วม-ดินถล่ม โดยวิธีทางวิศวกรรมในพื้นที่ศึกษา ต.แม่พูล จ.อุตรดิตถ์

สำหรับการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ ได้แบ่งออกเป็นโครงการย่อย 3 โครงการ ได้แก่

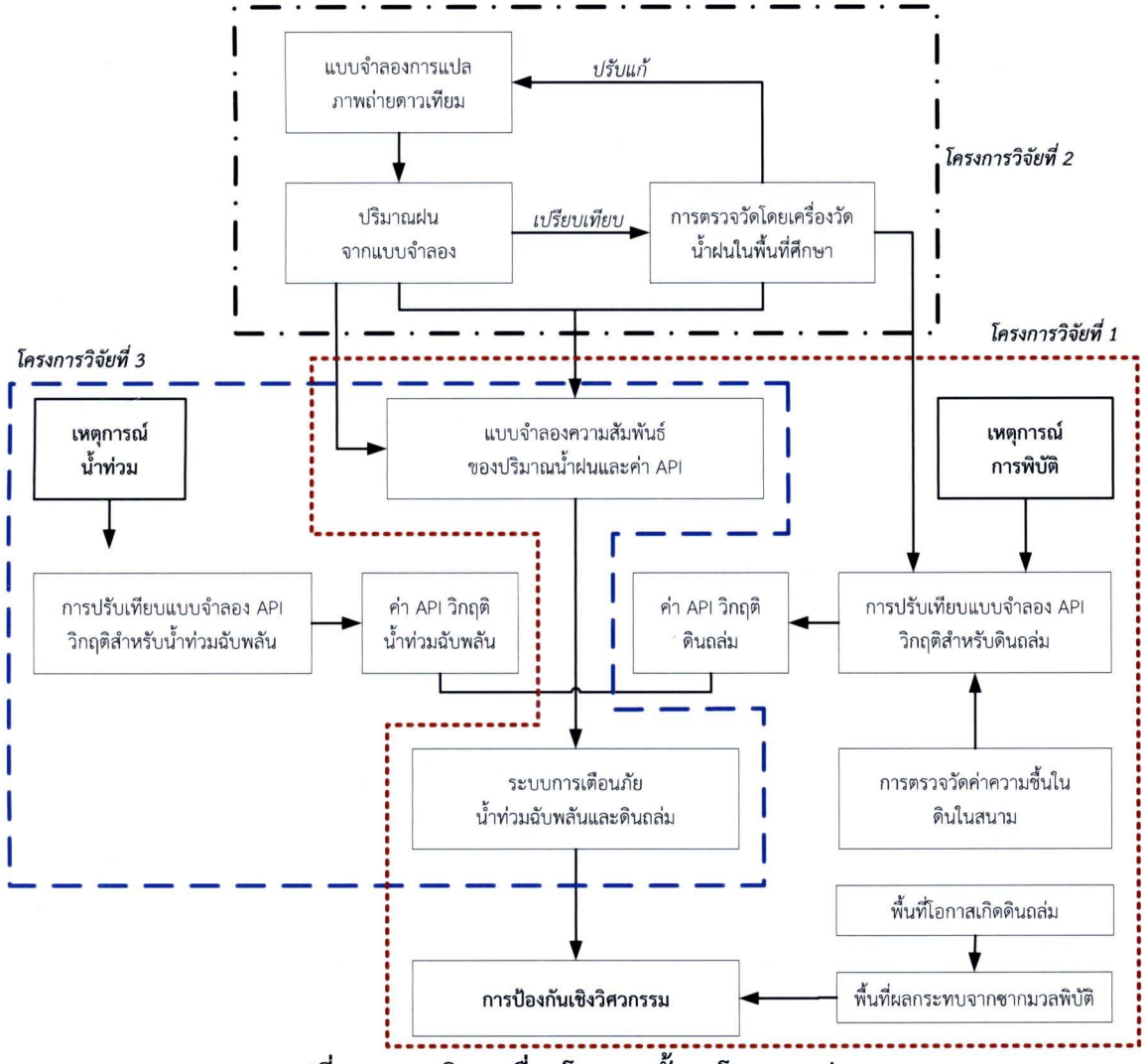
โครงการวิจัยย่อยที่ 1 "การศึกษาเพื่อปรับปรุงแบบจำลองดัชนีความชุ่มชื้นของดินวิกฤติสำหรับการเตือนภัยดินถล่มและลดผลกระทบจากดินถล่มเชิงวิศวกรรม (Study of Developing Critical API Model for Landslide Warning and Reduce Effect of Landslide by Engineering Method)" ดำเนินการศึกษาพฤติกรรมการไหลซึมของน้ำในมวลดินบนลาดเอียงเนื่องจากฝนตก พัฒนาแบบจำลองในการพยากรณ์การเกิดดินถล่ม และพัฒนาระบบการเตือนภัยดินถล่มจากดัชนีน้ำฝน

โครงการวิจัยย่อยที่ 2 "การคาดการณ์ปริมาณฝนมากเกินปกติเพื่อเตือนพิบัติภัยจากแผ่นดินถล่มบริเวณตำบลป่าตอง จังหวัดภูเก็ต และตำบลแม่พูล จังหวัดอุตรดิตถ์ (Heavy Rainfall Prediction for Warning Landslide Disaster at Pa-Tong, Phuket Province and Mea-Phoon, Uttaradit Province)" ดำเนินการสร้างแบบจำลองในการคาดคะเนปริมาณน้ำฝนจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ศึกษาพฤติกรรมการตกของฝนในแต่ละฤดูกาลในพื้นที่ศึกษา และพัฒนาต้นแบบเพื่อส่งข้อมูลทางโทรมาตร เพื่อแจ้งข่าวสาร

โครงการวิจัยย่อยที่ 3 "การพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำเพื่อการพัฒนาระบบการเฝ้าระวังและการเตือนภัยจากน้ำท่วมฉับพลัน (Watershed Runoff Forecasting Extension for Developing a Flash Flood Watch and Warning System)" ดำเนินการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดน้ำท่วมฉับพลันในพื้นที่ต้นแบบ และสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝน ดัชนีความชุ่มชื้นในดิน (API) และปริมาณน้ำท่วมฉับพลัน

3. รายละเอียดความเชื่อมโยงระหว่างโครงการวิจัยย่อย

การดำเนินงานในโครงการวิจัยย่อยทั้ง 3 โครงการ โดยส่วนใหญ่มีลักษณะที่เป็นอิสระต่อกัน แต่ผลที่ได้จากการศึกษาจะมีการนำมาใช้ร่วมกันในการป้องกันภัยพิบัติจากน้ำท่วมและดินถล่มเนื่องจากฝนตกหนัก ดังแสดงในรูปที่ 1 กล่าวคือในโครงการที่ 1 และ 3 จะสร้างแบบจำลองเพื่อพยากรณ์การเกิดดินถล่มและน้ำท่วม โดยใช้ค่าดัชนีความชุ่มชื้นในดิน (API) และสร้างระบบการเตือนภัย จากการคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนล่วงหน้าภาพถ่ายดาวเทียมในโครงการที่ 2



รูปที่ 1 แผนภูมิการเชื่อมโยงของทั้ง 3 โครงการย่อย

สำหรับพื้นที่ศึกษา การดำเนินงานในครั้งนี้เลือกใช้พื้นที่ศึกษา 2 แห่ง คือ พื้นที่ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ และ พื้นที่ตำบลป่าตอง อำเภอกระทู้ จังหวัดภูเก็ต พื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่ซึ่งเคยเกิดดินถล่มมาก่อนในอดีต ส่วนภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษาได้จากดาวเทียม FY-2C ซึ่งส่งข้อมูลโดยตรงมาที่ศูนย์บริการวิชาการและเผยแพร่ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาด้วยระบบ DVB-S ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ทุกๆ 30 นาที โดยมีข้อมูลสัญญาณที่มากพอที่จะใช้ในเชิงการวิจัย ซึ่งในปัจจุบันผู้วิจัยได้มีข้อมูลน้ำฝนย้อนหลังในพื้นที่เป้าหมายและภาพถ่ายย้อนหลังที่เพียงพอในการพิสูจน์ความถูกต้องของการคาดการณ์ปริมาณน้ำฝน

4. สรุปผลการวิจัยและประโยชน์ที่ได้รับ

ผลจากการดำเนินงานทั้ง 3 โครงการย่อยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. สภาพภูมิอากาศที่เอื้อต่อการเกิดพิบัติภัยน้ำท่วมดินถล่ม ในพื้นที่ศึกษาทั้ง 2 พื้นที่ ได้แก่พื้นที่ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ และ พื้นที่ตำบลป่าตอง อำเภอกระทู้ จังหวัดภูเก็ต มีลักษณะสำคัญสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 1

2. จากการศึกษาตรวจสอบค่าดัชนีความชุ่มชื้นวิกฤติ (API_{cr}) สำหรับน้ำท่วมและดินถล่มสามารถสรุปได้ดังนี้

2.1 ดัชนีความชุ่มชื้นวิกฤติ (API_{cr}) ที่ใช้ในการพยากรณ์ดินถล่ม จากการตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของค่าดัชนีความชุ่มชื้น (API) สำหรับการเตือนภัยดินถล่มเมื่อพิจารณาโดยหลักแล้วค่า API_t กับ API_{cr} ไม่เกี่ยวข้องกันเพราะ API_t พิจารณาจากความหนาดิน 10 ซม. ในลักษณะการคิดแบบน้ำท่าแต่สำหรับ API_{cr} พิจารณาจากความหนาการพิบัติจาก Slope Failure ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงแบบจำลองโดย พิจารณาพฤติกรรมการไหลซึมของน้ำผ่านมวลดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated Soil) ร่วมด้วย และได้พัฒนาแบบจำลองการวิเคราะห์การไหลซึม โดยปรับปรุงจากแบบจำลองของ Green and Ampt (1911) ให้สามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินเนื่องจากปริมาณน้ำฝนที่ไม่คงที่บนพื้นที่ลาดเอียงในลักษณะเชิงพื้นที่โดยแสดงผลในรูปแบบ GIS

จากการทดสอบแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในช่วงวันที่ 19-22 พฤษภาคม พ.ศ. 2549 ซึ่งเป็นเวลาที่เกิดดินถล่มในบริเวณพื้นที่ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ พบว่าตำแหน่งที่เกิดดินถล่มจากการวิเคราะห์ใกล้เคียงกับตำแหน่งที่เกิดดินถล่มจริง ทางคณะผู้วิจัยจึงจะนำแบบจำลองดังกล่าวไปทดสอบและประยุกต์ใช้ในพื้นที่อื่นๆ ของประเทศต่อไป

2.2 ค่าดัชนีความชุ่มชื้นวิกฤติ (API_{cr}) สำหรับน้ำท่วม จากการศึกษาพบว่าแบบจำลองเดิมยังมีความน่าเชื่อถือต่ำ (Modelling Efficiency of Nash-Sutcliff effectiency, Z น้อยกว่า 1 มาก) ดังนั้นได้มีการปรับปรุงแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝน ค่าดัชนีความชุ่มชื้นในดิน (API) และปริมาณน้ำท่วมฉับพลัน โดยแยกแบบจำลองความสัมพันธ์ออกเป็น 2 กรณี คือแบบจำลองกรณีที่

API < API_{cr} และกรณีที่ AP > API_{cr} เมื่อทดสอบแบบจำลองที่ปรับปรุงใหม่พบว่ามีค่าความน่าเชื่อเพิ่มมากขึ้น (Z มีค่าใกล้เคียง 1) สามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์น้ำท่วมในพื้นที่ศึกษาได้

ตารางที่ 1 สภาพภูมิอากาศที่มีผลต่อการเกิดพิบัติภัยน้ำท่วม และดินถล่ม

ผลการศึกษา	ตำบลแม่พูล	ตำบลป่าตอง	หมายเหตุ
สภาพภูมิอากาศ			
- ช่วงแล้ง - ช่วงน้ำมาก - ช่วงที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยสูงสุด	พฤศจิกายน-มีนาคมของปีถัดไป (5 เดือน) พฤษภาคม สิงหาคมและกันยายน	มกราคม-กุมภาพันธ์ (2 เดือน) มีนาคม-ธันวาคม กันยายน	ข้อมูลสภาพอากาศรายคาบเฉลี่ย 30 ปี (พ.ศ. 2522-2551)
ปริมาณน้ำฝนรายปี			
- ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี - ปริมาณฝนรายปีสูงสุด	1,377.1 มม. 2,280.6 มม. เมื่อปี พ.ศ. 2549	2,206.6 มม. 3,022.5 มม. เมื่อปี พ.ศ. 2529	ในช่วงปี พ.ศ. 2524-2552 (ยกเว้นปี พ.ศ. 2531 ข้อมูลไม่ครบ)
การกระจายปริมาณน้ำฝน			
- จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยในรอบปี - จำนวนวันที่ฝนตกรายวันสูงกว่า 60 มม.	114 วัน (ร้อยละ 31.23 ของปี) 82 วัน	172 วัน (ร้อยละ 47.12 ของปี) 144 วัน	ข้อมูลสภาพอากาศรายคาบเฉลี่ย 30 ปี (พ.ศ. 2522-2551) ช่วงปริมาณน้ำฝนรายวันที่สามารถทำให้เกิดภัยพิบัติได้
การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ			
เปรียบเทียบระหว่าง ช่วงปี พ.ศ. 2523-2540 และช่วงปี 2541-2552	- ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีเพิ่มขึ้นจาก 1,348.9 มม. เป็น 1,418.1 มม.	- ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีเพิ่มขึ้นจาก 2,193.6 มม. เป็น 2,223.9 มม.	
	- จำนวนวันเฉลี่ยที่มีฝนลดลงจาก 253 วัน เป็น 248 วัน	- จำนวนที่เกิดฝนตกมีมากขึ้นเล็กน้อย (5 วัน)	
	- ปริมาณฝนลดลงในช่วงเปลี่ยนฤดูฝนเป็นฤดูหนาว (ตุลาคม) และช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน-กุมภาพันธ์) และปริมาณฝนเพิ่มขึ้นมากในช่วงต้นฤดูฝน	- ปริมาณฝนเพิ่มมากขึ้นในทุกช่วงฤดู ยกเว้นช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีปริมาณฝนลดลง	

3. การคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนล่วงหน้าโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม FY-2C โดยทำการประเมินปริมาณน้ำฝนจากก้อนเมฆ และการเคลื่อนตัวของเมฆ สำหรับแบบจำลองการประเมินปริมาณน้ำฝน พิจารณาจากอุณหภูมิยอดเมฆซึ่งได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม เปรียบเทียบกับปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ศึกษาในช่วงเดือนเมษายน-กรกฎาคม พ.ศ. 2551 และปี พ.ศ. 2552 ในช่วงเดือนเดียวกัน จากผลการวิเคราะห์พบว่าแบบจำลองมีความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับหนึ่งซึ่งต้องมีการปรับปรุงเพิ่มเติมจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่เกิดขึ้นในอนาคต

ส่วนแบบจำลองการคาดคะเนการเคลื่อนตัวของเมฆใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมย้อนหลังถึงปัจจุบัน (ข้อมูลล่าสุด) พบว่า สามารถดำเนินการซ้อนภาพ เพื่อแสดงความแตกต่างของกลุ่มเมฆ และคำนวณความเร็วของการเคลื่อนที่ของกลุ่มเมฆที่สนใจ (กลุ่มเมฆที่คาดว่าจะให้ฝน) เพื่อนำมาคาดการณ์การเคลื่อนตัวของเมฆในระยะเวลา 1 ชั่วโมงข้างหน้า โดยใช้แบบจำลองเพื่อการคาดการณ์ พบว่า มีความแม่นยำในระดับหนึ่งซึ่งต้องมีการพัฒนาต่อไป อย่างไรก็ตามแบบจำลองการเคลื่อนตัวเมฆดังกล่าว ยังไม่สามารถให้คำนวณแบบอัตโนมัติหรือใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวตัดสินใจได้ ต้องใช้การพิจารณาจากผู้ใช้กำหนดเงื่อนไข

4. แบบจำลองการวิเคราะห์พื้นที่ดินถล่ม สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้เป็นแบบพลวัติ กล่าวคือพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณน้ำฝนที่ไหลซึมผ่านลงในดิน ในการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มใช้วิธีทางธรณีเทคนิค ส่วนการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินวิเคราะห์จากแบบจำลองการไหลซึมที่พัฒนาขึ้นจากแบบจำลองของ Green and Ampt (1911) โดยวิเคราะห์จากปริมาณน้ำฝนซึ่งได้จากการวิเคราะห์จากภาพถ่ายดาวเทียม

5. ระบบการเตือนภัยน้ำท่วม และดินถล่ม สำหรับการเตือนภัยน้ำท่วมได้ทำการทดสอบการรับ-ส่งข้อมูลการตรวจวัดที่เชื่อมต่อเครื่องมือวัดน้ำฝนและเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย โดยติดตั้งเครื่องมือวัดน้ำฝน ในพื้นที่ศึกษา ตำบลแม่พูล จังหวัดอุตรดิตถ์ และส่งข้อมูลตรวจวัดมายังเครื่องแม่ข่ายที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยใช้โครงข่ายระบบโทรศัพท์มือถือดีแทค ใช้เวลาในการรับ-ส่งข้อมูลไม่เกิน 2 นาที ส่วนระบบการส่งข้อความสั้น (SMS) ไปยังหมายเลขโทรศัพท์มือถือ ใช้ระยะเวลาส่งข้อมูลถึงผู้รับจะใช้เวลาไม่เกิน 7 นาที ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของผู้รับและความแรงของสัญญาณโทรศัพท์

การเตือนภัยดินถล่ม เนื่องจากตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือวัดน้ำฝนที่มีประสิทธิภาพมักอยู่ในบริเวณที่ไม่มีสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ หรือมีสัญญาณต่ำ ดังนั้นคณะผู้วิจัยได้พัฒนาระบบการเตือนภัยโดยใช้เครื่องมือสื่อสารผ่านดาวตก ซึ่งเป็นการสื่อสารที่รับส่งสัญญาณระหว่างกันโดยอาศัยการสะท้อนคลื่นวิทยุจากรอยทางเดินของดาวตก (Meteor trail) โดยที่รอยทางเดินของดาวตก คือ กลุ่มประจุที่เกิดจากการแตกตัวเนื่องจากความร้อนจากการเสียดสีระหว่างอนุภาคดาวตกกับโมเลกุลของอากาศ กลุ่มประจุที่เกิดขึ้นนี้เรียงตัวเป็นแนวยาวตามเส้นทางที่อนุภาคดาวตกเคลื่อนที่ไป ซึ่งจากการทดสอบการรับ-ส่งสัญญาณในสภาวะอากาศปกติพบว่าสามารถส่ง-รับสัญญาณได้ ซึ่งจำเป็นต้องมีการทดสอบในสภาวะจริง (ฝนตกหนัก) ต่อไป

5. หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

5.1 แบบจำลองการเตือนภัยน้ำท่วมและดินถล่มในพื้นที่ศึกษา: กรมทรัพยากรน้ำ, กรมทรัพยากรธรณี, เทศบาลเมืองป่าตอง, อบต.แม่พูล

5.2 ระบบการตรวจวัดและคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนด้วยดาวเทียม: กรมทรัพยากรน้ำ, กรมชลประทาน, กรมอุตุนิยมวิทยา

5.3 ระบบการส่งสัญญาณผ่านดาวตก: กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพรรณพืช

6. ข้อเสนอแนะในการดำเนินงานขั้นต่อไป

6.1 พัฒนาระบบสื่อสารผ่านสัญญาณดาวตก เพื่อการนำไปใช้เตือนภัยให้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

6.2 วิจัยแบบจำลองการพัดพาของมวลดินถล่ม เพื่อนำไปใช้ในการจัด Zoning เพื่อป้องกันภัยพิบัติ

6.3 ศึกษารูปแบบการป้องกันการพัดพาของมวลดินถล่มให้สอดคล้องกับชนิดหินต้นกำเนิด