ทำไมน้ำท่วมภาคใต้ครั้งนี้จึงรุนแรงและทำความเสียหายมาก และแนวทางการแก้ไขบรรเทา

สมเจตน์ จันทวัฒน์ *

ท่านผู้อ่านส่วนมากคงได้เห็นภาพข่าวทางโทรทัศน์ทุกช่องได้รายงานความรุนแรงของน้ำท่วมและก่อให้เกิดความเสียหายมากมหาศาล ซึ่งเกิดขึ้นช่วงกลางเดือนธันวาคม 2559 และมกราคม 2560 ประชาชนได้รับผลกระทบ 1.8 ล้านคน บ้านเรือนเสียหาย 580,000 หลัง สถานที่ราชการเสียหาย 20 แห่ง ถนนเสียหาย 592 สาย และสะพานเสียหาย 1,135 สะพาน มีผู้เสียชีวิต 91 คน และสูญหาย 4 คน และธนาคารทหารไทยได้ประเมินความเสียหายด้านธุรกิจเป็นมูลค่า 27,400 ล้านบาท ซึ่งเกิดขึ้นใน 12 จังหวัดภาคใต้ 119 อำเภอ และ 5,244 หมู่บ้าน นอกจากนี้ โรงเรียน วัด มัสยิด พื้นที่เพาะปลูก ปศุสัตว์ ประมง เสียหายเป็นจำนวนมาก เมื่อเปรียบเทียบกับ พ.ศ. 2531 มีความเสียหายมากกว่ามาก ท่านผู้อ่านคงสงสัยว่าทำไมน้ำท่วมครั้งนี้จึงได้รุนแรงมากและเกิดขึ้นได้อย่างไร ผู้เขียนจึงใคร่ขออธิบายคำถามนี้ในฐานะผู้มีความรู้และประสบการณ์ด้านทรัพยากรที่ดิน และใคร่ขอตอบว่าการที่น้ำท่วมภาคใต้ครั้งนี้รุนแรงและก่อให้เกิดความเสียหายมากมหาศาลนี้เป็นผลตามมา (consequence) ของ “การพัฒนาและการจัดการที่ดินเลว” (poor land development and management) ซึ่งเกิดจากการพัฒนาที่ไม่มีการวางแผน (unplanned development) ทำให้ผลที่เกิดตามมาจากการพัฒนาและการจัดการที่ดินเลว ก่อให้เกิดปัญหาทางด้านกายภาพ เศรษฐกิจสังคม ระบบนิเวศ และทรัพยากรธรรมชาติ รวมทั้งระบบนิเวศต่างๆ ที่อยู่ติดกับที่ดิน และทำให้ประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ลุ่มแม่น้ำได้รับความเดือดร้อนมากมาย ทั้งนี้ เพราะการพัฒนาที่ดินทุกประเภทเป็นการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมที่ดิน (land cover) มีผลกระทบต่อภูมิอากาศของภูมิภาค (regional climate) ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมดุลพลังงานที่ผิวพื้นโลก (surface energy balance) และสมดุลน้ำ (water balance) ท่านที่อยากทราบรายละเอียดโปรดอ่านได้จากการรายงานของ foley และคณะ (2005) นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของผิวที่ดิน (land surface) เช่น การปลูกพืชเกษตร การปลูกป่า การพัฒนาเป็นเมือง และการพัฒนาที่ดินอื่นๆ ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงวงจรต่างๆ ทางชีวธรณีเคมี (biogeochemical cycles) และการเปลี่ยนแปลงธรรมชาติของผิวดินทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหน้าที่ของระบบโลก (earth system) ท่านที่อยากทราบรายละเอียดโปรดอ่านได้จากการรายงานของ Vitousek *et al*., 1997 ดังนั้นการพัฒนาที่ดินและการจัดการดินที่ดี ต้องทำให้กระบวนการต่างๆ ของธรรมชาติเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด ซึ่งผู้ทำการพัฒนาที่ดินต้อง

* ศาสตราจารย์พิเศษ ดร., ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มีความเข้าใจอย่างลึกซึ้งถึงกระบวนการสมดุลพลังงานที่ผิวดินและสมดุลน้ำ สิ่งสำคัญที่สุดท่านผู้อ่านต้องจำไว้เสมอว่า พื้นที่ทุกตารางเมตรในพื้นที่ลุ่มน้ำ ไม่สามารถทำการพัฒนาที่ดินได้ เพราะว่าถ้าหากทำการพัฒนาแล้วทำให้เกิดปัญหาต่างๆ ตามมาและแก้ไขได้ยาก หรือไม่อาจแก้ไขได้เลย โดยเฉพาะพื้นที่ซึ่งว่องไวต่อสิ่งแวดล้อม (environmental sensitive area) เช่น พื้นที่ชุ่มน้ำ (wet land) พื้นที่ริมชายฝั่งน้ำของแม่น้ำ ลำธาร หนอง บึง ทะเลสาบ (riparian area) เพราะว่าพื้นที่ดังกล่าวนี้มีความสำคัญมากต่อระบบนิเวศอื่นๆ ในพื้นที่ลุ่มน้ำนั้น เนื่องจากมีข้อจำกัดของเนื้อที่กระดาษ จึงไม่สามารถอธิบายความสำคัญของพื้นที่ดังกล่าวทางด้านนิเวศวิทยาได้

ผู้เขียนใคร่ขออธิบายสภาพน้ำท่วมภาคใต้ครั้งนี้ทำไมมีความรุนแรงมาก จึงเรียนท่านผู้อ่านว่าน้ำทุกหยดที่เกิดบนที่ดิน (land) มาจากน้ำฝน ดังนั้นน้ำที่ทำให้เกิดน้ำท่วมครั้งนี้มาจากน้ำฝนซึ่งเกิดจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (northeast monsoon) และหย่อมความกดอากาศต่ำ (low pressure area) จึงทำให้มีปริมาณฝนมากกว่าปกติ ซึ่งสภาพการณ์เช่นนี้ไม่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง มีแหล่งข้อมูลกล่าวว่าพายุฝนที่ก่อให้เกิดฝนตกครั้งนี้เป็นฝนที่เกิดทุกช่วง 30 ปี (30-year storm) ซึ่งทางอุทุกวิทยาหมายถึงปริมาณฝนตกนาน 24 ชั่วโมง เกิดขึ้นทุก 30 ปี ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนที่ตก ระยะเวลาที่ฝนตก และความถี่การเกิดของฝน (depth-duration-frequency) และมีวิธีการคาดคะเน (estimation) จากข้อมูลน้ำฝนในพื้นที่นั้นๆ ปริมาณฝนที่ตกในครั้งนี้ ผู้เขียนเชื่อว่าเคยเกิดขึ้นในภาคใต้หลายครั้งแล้วในอดีต เหมือนกับฝนที่เคยตกในภาคใต้เมื่อ พ.ศ. 2531 ซึ่งก็เคยมีฝนตกในภาคใต้มากกว่าในปี 2531 เกิดขึ้นในอดีตก่อน พ.ศ. 2531 แต่ทว่าไม่เกิดน้ำท่วมอย่างรุนแรง เพราะว่าในอดีตพื้นที่ในภาคใต้มีป่าไม้ขึ้นปกคลุมอย่างดี แม้ว่ามีฝนตกปริมาณมากเพียงใดก็ไม่เกิดความรุนแรงและก่อให้เกิดความเสียหาย ต่อมาพื้นที่ป่าไม้ลดเนื่องจากการพัฒนาที่ดินและนโยบายการเกษตรที่เลว (poor agricultural policy) ทำให้สิ่งปกคลุมที่ดินเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะการทำลายพืชพรรณตามธรรมชาติที่ปกคลุมผิวที่ดิน ทำให้การเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางอุทกวิทยา (hydrological processes) เกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นผลทำให้ปริมาณ (quantity) หรือปริมาตร (volume) และอัตราการเกิดน้ำท่วม (runoff rate) เปลี่ยนแปลงไปมาก เนื่องจากว่าส่วนประกอบของวงจรน้ำ (components of water cycle) เกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะอธิบายพอสังเขปดังต่อไปนี้

เมื่อน้ำฝนตกลงมาจากบรรยากาศลงสู่ผิวโลก ซึ่งมีพืชพรรณชนิดต่างๆ ปกคลุมผิวดินตามธรรมชาติ เช่น พื้นที่ป่าไม้ เมื่อน้ำฝนตกลงมากระทบพืชต่างๆ ที่ปกคลุมผิวดิน พืชเหล่านี้จะทำหน้าที่แบ่งน้ำฝน (partition) ออกเป็นส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้ ส่วนหนึ่งของน้ำฝนที่ตกลงมาจะฉาบที่ใบพืชทำให้ใบพืชเปียก น้ำฝนส่วนนี้เรียกว่าการกักเก็บสกัดกั้น (interception storage) น้ำฝนซึ่งอยู่ในส่วนของการกักเก็บสกัดกั้นบางส่วนจะกลับระเหยสู่บรรยากาศ (reevaporation) ปริมาณของน้ำฝนที่ถูกเก็บโดยการกักเก็บสกัดกั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ประเภทและความหนาแน่นของพืช ความหนักเบาของฝน (intensity) ความหยาบของพื้นผิวใบพืช และฤดูกาลของปี หรือระยะการเจริญเติบโตของพืช ท่านที่อยากทราบรายละเอียดเรื่องนี้ โปรดอ่าน

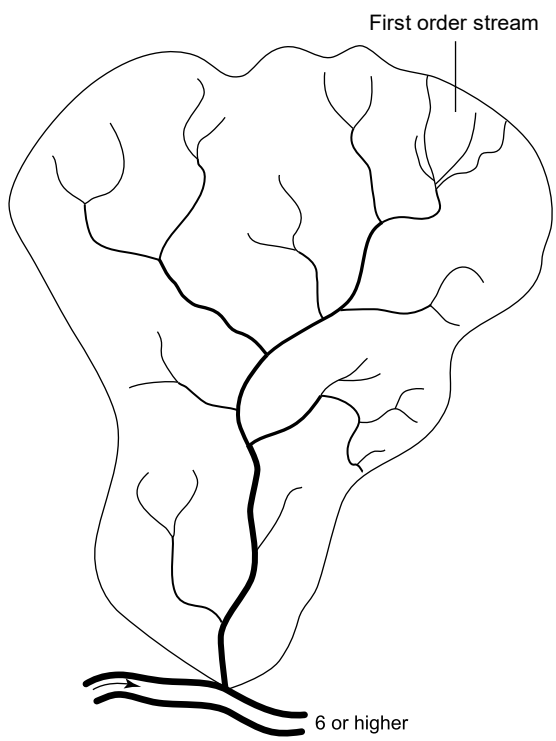
รายละเอียดจากหนังสือที่เขียนโดย Chin (2006) นอกจากนี้ ผิวดินตามธรรมชาติจะมีเศษซากพืชต่างๆ เช่น ใบที่ร่วงหล่น (litter) ปกคลุมอยู่ ส่วนของน้ำฝนที่ถูกกักเก็บโดยการกักเก็บสกัดกั้นนี้ถ้ามีปริมาณมากเกินที่ใบพืชจะดูดยึดได้ จะไหลไปตามกิ่ง ก้าน มาสู่ลำต้นของพืช และเรียกน้ำฝนส่วนนี้ว่า stem flow และน้ำฝนที่ไหลลงมาตามลำต้นพืชนี้จะไหลลงมาสู่โคนต้นและไหลซึมลงไปในดิน และบางส่วนของน้ำฝนที่ถูกกักเก็บโดยสกัดกั้นและมีปริมาณมากเกินใบพืชจะดูดยึดได้ น้ำฝนส่วนนี้จะตกสู่ผิวดินซึ่งมีพืชปกคลุม สำหรับส่วนของน้ำฝนที่ตกลงมาจากบรรยากาศและไม่ถูกกักเก็บโดยการกักเก็บสกัดกั้นหรือไม่ปะทะกับร่มใบพืช (canopy) น้ำฝนส่วนนี้จะตกลงสู่ผิวดินและเรียกน้ำฝนส่วนนี้ว่า through fall และน้ำฝนส่วนนี้จะตกลงมาที่เศษซากพืชที่ปกคลุมผิวดิน น้ำฝนส่วนนี้เรียกว่า litter interception storage ซึ่งจะมีปริมาณมากน้อยแตกต่างกันตามระบบนิเวศ และหากว่าปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาเกิน litter interception storage ก็จะไหลแทรกซึม (infiltration) ลงไปในดิน และบางส่วนของน้ำฝนที่ถูกกักเก็บโดย litter interception storage จะระเหยกลับสู่บรรยากาศเช่นเดียวกับน้ำฝนที่เป็น stem flow ก็จะมีบางส่วนระเหยกลับสู่บรรยากาศ ส่วนประกอบของวงจรของน้ำที่ได้กล่าวมาแล้วนี้ สามารถตรวจวัด (measure) และคำนวณ (estimate) ได้ ท่านที่สนใจรายละเอียดเกี่ยวกับเรื่องนี้สามารถอ่านได้จากหนังสือที่เขียนโดย Novotny และ Olem (1994) ใบพืชนอกจากทำให้เกิดการกักเก็บสกัดกั้นแล้ว ใบพืชยังทำหน้าที่คายน้ำที่ปากใบพืช (transpiration) ทำให้พืชดูดน้ำจากดิน ทำให้น้ำในดินแห้งและดินมีช่องว่างเพื่อกักเก็บน้ำในดินซึ่งน้ำฝนไหลแทรกซึม (infiltration) ลงไปในดิน และเมื่ออัตราของฝนที่ตกลงมาเกินอัตราการซึมน้ำของดิน (infiltration rate) ก็ทำให้เกิดน้ำท่าไหลไปตามผิวดิน (runoff) และไปรวมกันอยู่ในที่ลุ่มผิวดิน ซึ่งเรียกส่วนนี้ของน้ำฝนว่า depression storage และบางส่วนก็มีการระเหยกลับสู่บรรยากาศ น้ำที่ระเหยจากผิวดินและจากการคายน้ำของพืช รวมเรียกว่าการคายระเหย (evapotranspiration) ปริมาณของน้ำฝนที่ถูกกักเก็บสกัดกั้นโดยร่มใบพืชและการกักเก็บโดยเศษซากพืชที่ผิวดิน รวมทั้งการกักเก็บในที่ลุ่มผิวดิน รวมเรียกว่า surface storage และเมื่อปริมาณของฝนที่ตกลงมามากเกินกว่า surface storage ก็ทำให้เกิดน้ำท่าขึ้น ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ น้ำท่าที่ไหลไปตามผิวดิน (surface runoff) ชนิดที่สอง คือ น้ำท่าที่ไหลไปตามใต้ผิวดินและขนานไปกับผิวดิน ซึ่งเรียกว่า interflow และชนิดที่สาม คือ ปริมาณน้ำท่าซึ่งไม่ไหลไปตามผิวดินและใต้ผิวดินและขนานกับผิวดิน แต่จะไหลลงไปรวมกับน้ำบาดาล (groundwater) และน้ำบาดาลนี้จะไหลกลับสู่ผิวดินอีกในสภาพของน้ำพุ (spring) หรือพื้นที่ชุ่มน้ำ (wet land) และน้ำบาดาลนี้อาจเกิดการสูญเสียไปโดยกระบวนการธรณีวิทยา (geological water loss) และในที่สุดของน้ำท่าทั้งสามชนิดนี้ที่กล่าวแล้ว (surface runoff interflow และ groundwater flow) จะไหลไปรวมกันและถูกกักเก็บและทำให้น้ำไหลในแม่น้ำลำธาร เนื่องจากมีเนื้อที่กระดาษจำกัดจึงไม่ได้อธิบาย bank storage ซึ่งกระบวนการต่างๆ และการกักเก็บต่างๆ ที่ได้พรรณนาไว้ข้างบนนี้รวมเรียกว่ากระบวนการอุทกวิทยาและการกักเก็บของพื้นที่ลุ่มน้ำ (watershed hydrological processes and storage)

น้ำท่า (runoff) ที่ทำให้เกิดน้ำท่วม (flood) นั้น เป็นส่วนหนึ่งของน้ำท่าซึ่งเรียกว่า น้ำท่าที่ไหลไปตามผิวดิน (surface runoff) หรือเรียกว่า direct runoff ซึ่งเป็นน้ำท่าที่ทำให้ระดับของน้ำในแม่น้ำลำธารมีระดับสูงขึ้นเมื่อมีฝนตกลงมาและเป็นส่วนของน้ำฝนที่มีปริมาณเกิน interception storage และ depression storage และน้ำฝนส่วนนี้ทำให้เกิดน้ำท่วมขึ้น การที่น้ำท่วมภาคใต้ครั้งนี้มีความรุนแรงมาก เป็นเพราะว่าปริมาณน้ำท่ามีมากและมีการไหลอย่างรวดเร็วทำให้เกิดพลังงานมากจึงได้ทำลายทุกสิ่งทุกอย่างที่กีดขวางการไหลของน้ำท่า และการเกิดน้ำท่าดังกล่าวนี้เกิดมาจากบริเวณหย่อมความกดอากาศต่ำ (low pressure area) และเกิดจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (northeast monsoon) สภาพการเกิดของฝนจาก 2 ลักษณะดังกล่าวนี้เคยเกิดขึ้นมาแล้วในอดีตและสามารถตรวจสอบได้จากแผนที่ดินฟ้าอากาศ (weather map) ประจำวันในอดีต แต่ความเสียหายรุนแรงต่างๆ อย่างน้ำท่วมครั้งนี้ไม่มีหรือมีน้อยมาก เป็นเพราะว่าในอดีตภาคใต้มีพืชพรรณขึ้นปกคลุมดินอย่างหนาแน่น ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าดงดิบและมีพื้นที่ชุ่มน้ำ (wet land) ทำให้ปริมาณน้ำท่าบนผิวดินมีน้อย เนื่องจากส่วนใหญ่ของน้ำฝนที่ตกลงมาจะถูกกักเก็บโดย surface storage (interception storage + depression storage) และ soil storage เพราะว่าดินป่ามีโครงสร้างดีมากในการอุ้มน้ำ แต่ในเวลาต่อมาได้เกิดมีการพัฒนาที่ดินและมีการจัดการดินประเภทต่างๆ ทำให้การกักเก็บทั้ง 3 ประเภทนี้ลดลงมาก หรือถูกทำลายเนื่องจากการพัฒนาที่ดิน สภาพการดังกล่าวแล้วนี้เกิดขึ้นในลุ่มน้ำต่างๆ ของภาคใต้ รวมทั้งพื้นที่ชายริมฝั่งแม่น้ำลำธาร (riparian area) จึงเป็นสาเหตุทำให้ปริมาณน้ำฝนส่วนใหญ่ที่ตกลงมากลายเป็นน้ำที่ไหลบ่าไปตามผิวดิน มีปริมาณมากและอัตราสูง (high runoff rate) จากที่ได้กล่าวมาแล้วนี้ผู้อ่านจะเห็นว่า แม้ว่าจะมีฝนตกปริมาณเท่าเดิม แต่การเกิดน้ำท่าที่ไหลตามผิวดินจะมีปริมาณมากขึ้นและอัตราสูงขึ้น เป็นเพราะว่าการพัฒนาที่ดินเกิดขึ้นทุกวันในภาคใต้ นอกจากนี้ยังได้ทำลายระบบนิเวศอื่นๆ เช่น พื้นที่ชุ่มน้ำ (wet land) และพื้นที่ชายฝั่งแม่น้ำ ลำธาร (riparian area) และหลังจากมีการพัฒนาที่ดินแล้วยังไม่มีการจัดการที่ดิน (land management) ที่ดี เช่น การใช้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ (soil and water conservation measures) การจัดการน้ำท่าที่ผิวดินของเมือง (urban surface water management) หรือ การจัดการน้ำท่าจากพายุฝน (storm-water runoff management) หรือการพัฒนาที่เกิดผลกระทบน้อย (low impact development: LID) ดังนั้นหลังจากการพัฒนาที่ดินแล้วยังมีการจัดการที่ดินที่เลว (poor land management) ผลที่เกิดขึ้นคือทำให้ปริมาณและอัตราการเกิดน้ำท่ามีมากขึ้นมาก และทำให้ปริมาณหรือปริมาตรของน้ำท่วม (flood volume) และระดับของน้ำท่วม (flood peak) เพิ่มขึ้นมาก และเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วมาก และทำความเสียหายอย่างรุนแรงเพราะพลังงานของน้ำไหลบ่าบนผิวดินมีมาก

การเกิดน้ำป่าไหลหลากและดินถล่ม ถ้าท่านผู้อ่านชมและฟังข่าวโทรทัศน์ซึ่งประกาศข่าวอุตุนิยมวิทยาในช่วงเวลาที่เกิดน้ำท่วมในภาคใต้ครั้งนี้ หรือเมื่อเกิดพายุโซนร้อนหรือดีเพรสชั่นในบริเวณที่มีฝนตกให้เฝ้าระวัง “น้ำป่าไหลหลากและดินถล่ม” เมื่อ 20-30 ปีมาแล้ว ท่านผู้อ่านคงไม่ได้ยินคำว่า “น้ำป่าไหลหลากและดินถล่ม”

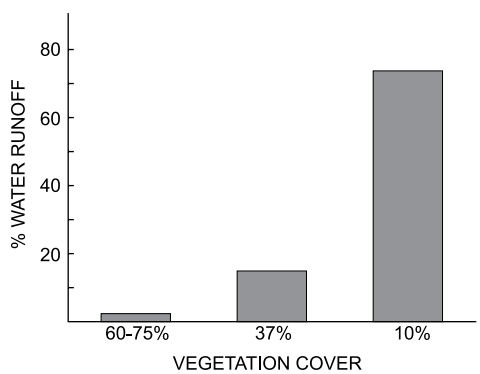
ทางสถานีโทรทัศน์หรือสถานีวิทยุ เพราะว่าในสมัยนั้นสภาพการณ์ดังกล่าวนี้ไม่เกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นน้อยมากและไม่เป็นข่าว แต่เมื่อเวลาผ่านมาประเทศไทยมีการพัฒนาที่ดินเพิ่มขึ้นทุกปี จึงมีการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมที่ดิน (land cover) ซึ่งเดิมเป็นพืชพรรณที่ขึ้นปกคลุมตามธรรมชาติ และมีการเปลี่ยนแปลงภูมิทัศน์ (landscape) ท่านผู้อ่านจึงได้ยินผู้ประกาศทางโทรทัศน์และวิทยุให้ประชาชนเฝ้าระวังการเกิดน้ำป่าไหลหลากและดินถล่มในเวลาช่วงฤดูฝนของประเทศ ผู้เขียนจึงได้ขออธิบายสาเหตุของการเกิดสภาพการณ์ดังกล่าวแล้วดังต่อไปนี้

ตามสภาพธรรมชาติที่ผิวโลกทุกแห่งที่เป็นแผ่นดิน (land) จะมีทางระบายน้ำธรรมชาติซึ่งเชื่อมติดต่อกันเป็นเครือข่ายการระบายน้ำ (natural drainage network) ซึ่งเป็นเครือข่ายลำธารในพื้นที่ป่าไม้หรือบริเวณที่เรียกว่าพื้นที่ตอนบนของลุ่มน้ำ (head watershed or upstream watershed) ซึ่งบนพื้นที่สูงสุดจะมีลำธารเพียงสายเดียว ซึ่งทางธรณีสัณฐานวิทยาเรียกว่า “first order stream” และเมื่อที่สูงดังกล่าวนี้มีระดับต่ำลงมาก็จะมีลำธารอีกสายหนึ่งไหลมาจากพื้นที่สูงสุดซึ่งมีพื้นที่ลุ่มน้ำติดต่อกันและเป็น first order stream เหมือนกัน เมื่อลำธารสองลำธารนี้ไหลมารวมกัน ทำให้ขนาดของลำธารมีขนาดใหญ่ขึ้นและลำธารนี้เรียกว่า second order stream และถ้ามีพื้นที่ลุ่มน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้นก็จะมีลำธารย่อย (tributary) มารวมกันอีกเรียกว่า third order stream เพื่อความเข้าใจขอให้ท่านผู้อ่านดูภาพที่ 1 แม่น้ำที่มี



ภาพที่ 1 STREAM ORDER (Hewlett และ Nutter, 1969)

พื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่มากอาจมีถึง sixth order stream และในที่สุด แม่น้ำก็ไหลลงสู่ทางออก (outlet) ของพื้นที่ลุ่มน้ำนั้นซึ่งอาจเป็นทะเลสาบ ทะเล มหาสมุทร ที่กล่าวมาทั้งหมดนี้เป็นระบบการระบายน้ำตามธรรมชาติของพื้นที่ลุ่มน้ำทุกแห่ง ตามสภาพธรรมชาติลำธารมีสภาพน้ำล้นฝั่งลำธาร (bank overflow) น้อยมาก ยกเว้นเมื่อมีพายุฝนขนาดใหญ่ เช่น พายุฝนที่เกิดขึ้นทุก 50 ปี (50-year storm) หรือพายุฝนที่เกิดขึ้นทุก 100 ปี (100-year storm) ตามสภาพของป่าทุกชนิดเมื่อมีการพัฒนาที่ดินขึ้น นั่นคือพืชพรรณชนิดต่างๆ ที่ขึ้นปกคลุมดินถูกทำลายหรือถูกขนย้ายไปที่อื่น รวมทั้งเศษซากพืชที่ผิวดินถูกทำลายด้วย เมื่อมีฝนตกลงมาก็ทำให้เกิดน้ำท่าบนผิวดิน (surface runoff) มากขึ้น เพราะว่าการกักเก็บน้ำที่ผิวดิน (surface storage) ถูกทำลายหมด และเมื่อพืชพรรณที่ขึ้นปกคลุมผิวดินถูกทำลาย รวมทั้งเศษซากพืชที่ปกคลุมผิวดิน เม็ดฝนที่ตกลงมาจะกระทบผิวดินโดยตรงทำให้ผิวดินแน่น เกิดจากการอัดตัวของดินจากแรงปะทะของเม็ดฝนและทำให้เม็ดดิน (soil aggregate) แตกกระจาย ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายซึ่งเรียกว่า splash erosion และทำให้น้ำบนผิวดินมีลักษณะขุ่น ดังนั้นจะเห็นว่า เมื่อพืชพรรณปกคลุมดินถูกทำลาย จะทำให้ปริมาณน้ำไหลบ่าบนผิวดินเพิ่มขึ้น ดังที่ได้แสดงไว้ในภาพที่ 2 ซึ่งได้รายงานโดย Pimentel (1986) และจะเห็นว่าเมื่อมีพืชปกคลุมดิน 60-75 เปอร์เซ็นต์ จะมีปริมาณน้ำไหลบ่าเกิดขึ้นน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณฝนที่ตกลงมา ตรงกันข้ามหากมีพืชคลุมดินเพียง 10 เปอร์เซ็นต์ก็จะทำให้น้ำไหลบ่ามีปริมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณฝนตกลงมา เช่น สมมติฝนตกลงมา 100 มิลลิเมตร ก็จะกลายเป็นน้ำไหลบ่าบนผิวดินถึง 75 มิลลิเมตร ตามสภาพธรรมชาติซึ่งพื้นที่ป่าไม้มีพืชพรรณขึ้นปกคลุมดินอย่างหนาแน่น ขนาดของลำธารและความสามารถในการระบายน้ำของลำธารคงที่ แต่เมื่อมีการพัฒนาที่ดินเกิดขึ้น พืชพรรณปกคลุมดินถูกทำลาย ทำให้เกิดมีปริมาณน้ำไหลบ่าบนผิวดินมากเกินความสามารถในการนำน้ำของลำธารหรือลำธารเหล่านี้มีการสร้างฝายกั้นขวางลำธารก็ทำให้เกิดน้ำล้นฝั่ง (bank over flow) ทำให้เกิดทางระบายน้ำใหม่ขึ้น ซึ่งไม่มีใครทราบว่าจะอยู่ในพื้นที่ใดหรือบริเวณใด อาจเป็นหมู่บ้าน ชุมชน วัด โรงเรียน หรือสิ่งก่อสร้างอื่นๆ นี่คือสาเหตุที่



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างพืชปกคลุมดินกับปริมาณน้ำไหลบ่าบนผิวดิน (Pimentel, 1986)

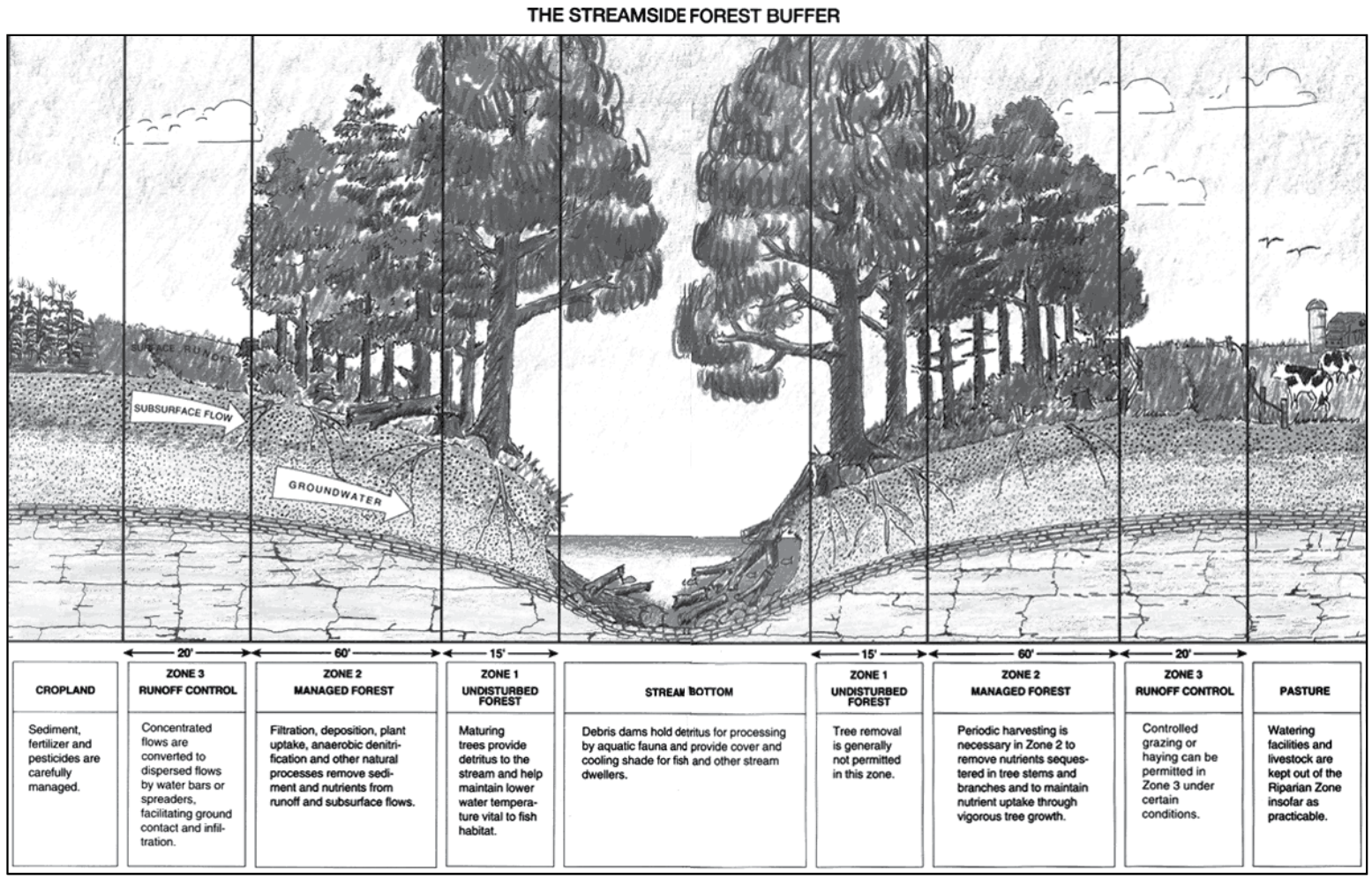
ทำให้เกิดน้ำป่าไหลหลากขึ้น ซึ่งจะทราบได้ว่าอยู่ในพื้นที่ใดเมื่อมีพายุฝนเกิดขึ้นแล้วเท่านั้น และทำให้เกิดความเสียหายขึ้นได้กับสาธารณะชนหรือชุมชน และมีความเดือดร้อนตามมา ที่อธิบายมาแล้วนี้เป็นการเกิด “น้ำป่าไหลหลาก” และสามารถแก้ไขได้โดยการทำคูเบนน้ำ (diversion ditch)

อนึ่งและอยากเรียนให้ท่านผู้อ่านทราบว่ามีบางส่วนของพื้นที่ลุ่มน้ำที่ทำให้เกิดน้ำไหลบ่าบนผิวดินซึ่งเรียกว่า hydrologically active area ส่วนพื้นที่นอกจากนี้ของพื้นที่ลุ่มน้ำทำให้เกิด interflow และ base flow ท่านที่สนใจเกี่ยวกับเรื่องนี้สามารถอ่านได้จากหนังสือที่เขียนโดย Novotny และ Olem (1994)

และอีกประการหนึ่งที่ประชาชนได้บอกกับผู้สื่อข่าวต่างๆ และเจ้าหน้าที่ของรัฐว่าระดับน้ำท่วมได้สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว สาเหตุเป็นเพราะว่าน้ำท่วมบนผิวดินมีปริมาณมากแล้วยังไหลลงสู่ที่ต่ำกว่าอย่างรวดเร็ว เพราะว่าทางไหลของน้ำ (flow path) นั้นไม่มีสิ่งกีดขวางหรือความขรุขระของผิวทางไหลหรือชลศาสตร์เรียกว่า hydraulic roughness มีน้อย ในที่นี้ก็คือพืชพรรณต่างๆ ที่ขึ้นปกคลุมผิวดินมีน้อยหรือไม่มี ซึ่งเกิดจากการพัฒนาที่ดินและการจัดการที่ดินที่เลว ทำให้ความลาดเทของพื้นที่หรือทางไหลของน้ำมีความลาดเทมากขึ้นหรือเพิ่ม hydraulic gradient และเป็นผลทำให้ความเร็วของการไหล (flow velocity) เพิ่มมากขึ้น ถ้าหากจะเปรียบเทียบความขรุขระทางชลศาสตร์ระหว่างสวนผลไม้ สวนยาง สวนปาล์มน้ำมัน และพื้นที่ทำการเกษตรอื่นๆ กับพื้นที่ป่าธรรมชาติซึ่งจะมีความขรุขระทางชลศาสตร์มากกว่ามาก เพราะฉะนั้นน้ำไหลบ่าบนผิวดินจะไหลผ่านพื้นที่ทำการเกษตรและการพัฒนาที่ดินอื่นๆ อย่างรวดเร็วและปริมาณน้ำไหลบนผิวดินดังกล่าวนี้จะรวมตัวกันในพื้นที่ลุ่มหรือพื้นแอ่ง (depression land or bottom land) จึงได้ทำให้พื้นลุ่มหรือแอ่งมีระดับสูงขึ้นอย่างรวดเร็วมากกว่าในสมัยก่อน

สิ่งที่สำคัญที่สุดอีกประการหนึ่ง การที่มีน้ำไหลบนผิวดินอย่างรวดเร็วทำให้การเติมน้ำบาดาล (groundwater recharge) เกิดขึ้นน้อยมาก จึงทำให้บริเวณนั้นมีน้ำบาดาลปริมาณน้อยหรือไม่มี เมื่อไม่มีฝนตกลงมาก็ทำให้เกิดความแห้งแล้ง ดังนั้นยิ่งมีการระบายน้ำบนผิวดินอย่างรวดเร็วก็ยิ่งทำให้เกิดความแห้งแล้งตามมาในเวลาต่อมา น้ำท่วมกับความแห้งแล้งจึงเป็นของคู่กันเพราะว่าน้ำท่วมเกิดจากการที่มีปริมาณน้ำท่าบนผิวดินมากซึ่งปริมาณของน้ำท่านี้ควรไหลซึมลงไปในดินเพื่อไปเติมน้ำบาดาลและทำให้น้ำบาดาลมีปริมาณมากขึ้น และเมื่อเวลาฝนไม่ตกหรือฤดูแล้งน้ำบาดาลดังกล่าวนี้จะไหลออกมาหล่อเลี้ยงบ่อ สระ หนองบึง ทะเลสาบ แม่น้ำ ลำธาร แต่ทว่าน้ำบาดาลมีน้อยหรือไม่มี ก็จะทำให้ในแหล่งน้ำดังกล่าวแล้วนี้ไม่มีน้ำในฤดูแล้งหรือเวลาที่ไม่มีฝนตก เพราะฉะนั้นท่านผู้อ่านคงพอเข้าใจว่าทำไมจึงเกิดน้ำท่วมและแห้งแล้งซ้ำซากและรุนแรงมากขึ้นและจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางอุทกวิทยาทำให้ทราบว่าปริมาณน้ำบาดาลของประเทศไทยมีปริมาณลดลงมากทุกปี

ส่วนการเกิดดินถล่มหรือการเลื่อนไหลของแผ่นดิน (land slide) ซึ่งมักจะเกิดขึ้นบนพื้นที่มีความลาดชันมากและมีพืชขึ้นปกคลุมน้อยหรือไม่มี รวมทั้งมีฝนตกมากหรือฝนตกในขณะที่ดินมีความชื้นมาก การเกิดดินถล่มนี้เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลก (gravitational force) ซึ่งกระทำต่อวัตถุที่อยู่บนผิวโลกให้เคลื่อนที่สู่ผิวที่



ภาพที่ 3 การจัดการพื้นที่ชายฝั่งแม่น้ำ ลำธาร ในพื้นที่ป่าไม้
ระยะทางมีหน่วยเป็นฟุต (Welsch, 1991)

ต่ำกว่าตลอดเวลา แต่ทว่าการที่วัตถุที่อยู่บนผิวดินและอยู่บนพื้นที่ลาดชันมากไม่เคลื่อนที่ลงสู่ที่ต่ำกว่าเป็นเพราะว่าแรงเกาะกัน (cohesive force) ของดิน และการเกาะกันของดินนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นของดิน สำหรับดินที่มีเนื้อละเอียดแรงเกาะกันของดินจะมีมากเมื่อดินแห้ง และจะลดน้อยลงเมื่อดินมีความชื้นมากขึ้น สำหรับดินเนื้อหยาบนั้นเมื่อดินแห้งจะไม่เกาะกันเลย แต่เมื่อมีความชื้นมากขึ้นก็จะเกาะกัน แต่ถ้ามีความชื้นมากขึ้นอีก ดินก็จะไม่เกาะกันเลย การเกิดดินถล่มหรือการเลื่อนไหลของแผ่นดินเกิดขึ้นเพราะว่าสภาพของดินเปลี่ยนจากสถานะของแข็ง (solid stage) ไปเป็นสภาพของเหลว (liquid stage) เนื่องจากดินมีความชื้นมากขึ้นจนถึงจุดหนึ่งดินจะกลายเป็นของเหลวและเริ่มไหลลงสู่ที่ต่ำตามแรงโน้มถ่วงของโลก ความชื้นของดินที่จุดนี้เรียกว่า liquid limit ซึ่งดินแต่ละชนิดมีค่าคงที่และค่าของ liquid limit แตกต่างกัน และเป็นสมบัติทางกลศาสตร์ของดิน (mechanical property) และเป็นค่าหนึ่งของ atterberge limits ซึ่งประกอบด้วย liquid limit, plastic limit และ shrink limit ดินแต่ละชนิดจะมีค่าทั้ง 3 ชนิดคงที่ ท่านที่สนใจเรื่องนี้สามารถอ่านได้จากตำราปฐพีกลศาสตร์เบื้องต้น (soil mechanics) ดังนั้นหลักการป้องกันดินถล่มหรือแผ่นดินเลื่อนไถลก็คือต้องป้องกันไม่ให้ดินมีความชื้นเกินจุด liquid limit นักปฐพีกลศาสตร์บางท่านได้แนะนำว่าต้องป้องกันความชื้นของดินไม่เกิน 0.8 ของ liquid limit การที่ดินมีความชื้นเกินจุด liquid limit จะทำให้เกิด water pressure ของน้ำซึ่งอยู่ในช่องว่างของดิน (soil pore) ทำให้อนุภาคของดิน (soil particle) หรือเม็ดดินขนาดเล็ก (small aggregate) แยกออกจากกัน หรือหลุดออกจากการเกาะกันและเกิดการเคลื่อนที่จากที่เดิมโดยแรงโน้มถ่วง โดยเฉพาะดินที่ไม่มีรากพืชปะปนอยู่ เพราะว่ารากพืชจะช่วยยึดดินกันและกัน (soil strength) ดังนั้น การที่มีต้นพืชขึ้นปกคลุมผิวดินและมีรากลงไปในดินทำให้ดินมี soil strength มากขึ้น การเคลื่อนที่ของดินจึงเกิดขึ้นได้ยาก นอกจากนี้รากพืชยังดูดน้ำในดินตามกระบวนการคายน้ำของพืช (transpiration) ทำให้ดินมีความชื้นไม่เกิน liquid limit และรากพืชแต่ละชนิดก็มีความสามารถยึดดินให้เกาะติดกันแตกต่างกัน ท่านที่สนใจสามารถอ่านรายละเอียดจากการรายงานของ Yen (1987) ทั้งหมดที่ได้กล่าวมาแล้วข้างบนนี้เป็นสาเหตุของการเกิดดินถล่มและการเลื่อนไหลของแผ่นดินซึ่งจะชี้แนะถึงการป้องกันและการแก้ไขสภาพการดังกล่าวนี้

นอกจากสาเหตุต่างๆ ดังกล่าวมาแล้วข้างบนนี้ ในภาคใต้ยังได้มีการทำลายระบบนิเวศที่สำคัญของพื้นที่ลุ่มน้ำซึ่งได้แก่ระบบนิเวศพื้นที่ชุ่มน้ำ (wetland ecosystem) ระบบนิเวศพื้นที่ริมชายฝั่งแม่น้ำ ลำธาร (riparian ecosystem) และระบบนิเวศป่าไม้ (forest ecosystem) ซึ่งระบบนิเวศทั้ง 3 ชนิดดังกล่าวได้ทำให้เกิดบริการเชิงนิเวศ (ecosystem service) ขึ้นมากมายหลายชนิดเพื่อป้องกันและบรรเทาน้ำท่วมและภัยแล้ง ซึ่งท่านผู้อ่านที่สนใจรายละเอียดสามารถอ่านได้จากการรายงานดังต่อไปนี้ โดย Ninan และ Inoue (2013), Turner และคณะ (2000) Natural Resources Conservation Service (1998) ในสภาพของภาคใต้ปัจจุบัน แม้ฝนตกลงมามีปริมาณเท่าเดิม ก็ต้องเกิดปริมาณน้ำท่าบนผิวดินมากขึ้นทุกครั้งที่มีฝนตก เพราะว่าพืชพรรณที่ขึ้นปกคลุมดินและการแทรกซึมน้ำของดินลดลงทุกวัน เนื่องจากมีการพัฒนาที่ดินเกิดขึ้นทุกวัน

โดยเฉพาะเป็นการพัฒนาที่ดินที่เลว (poor land development) ซึ่งเกิดจากการพัฒนาที่ไม่มีการวางแผน (unplanned development) และยังตามมาด้วยมีการจัดการที่ดินที่เลว (poor land management) ถ้าหากยังคงปล่อยให้มีสภาพการณ์เช่นปัจจุบันต่อไป ก็จะเกิดน้ำท่วมและความแห้งแล้งรุนแรงมากขึ้นทุกปีและไม่ใช้วิธีการพัฒนาที่ดินที่มีผลกระทบน้อย (low impact development: LID) ซึ่งรายงานโดย Hood และคณะ (2006)

สำหรับวิธีการบรรเทาความรุนแรงของน้ำท่วมในภาคใต้ ทำได้โดยต้องมีการจัดการลุ่มน้ำแบบผสมผสาน (integrated watershed management) ในทุกพื้นที่ลุ่มน้ำของภาคใต้ซึ่งทุกตารางเมตรในพื้นที่ลุ่มน้ำด้วย “ทำการอนุรักษ์ดินและน้ำ” การใช้ที่ดินทุกชนิดต้องทำมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ ไม่ใช่ทำกันเฉพาะพื้นที่การเกษตรเท่านั้น การอนุรักษ์ดินและน้ำเป็นการลดปริมาณและอัตราการเกิดน้ำไหลบ่าบนผิวดิน ส่วนวิธีการทางวิศวกรรมและวิธีอื่นไม่ได้ลดปริมาณและอัตราการเกิดน้ำบ่าบนผิวดิน ท่านที่สนใจสามารถอ่านรายละเอียดจากการรายงานของ ESCAP (1997) ซึ่งมีชื่อว่า guidelines and manual on land use planningand practices in watershed management and disaster reduction มี 133 หน้า และผลประโยชน์ของการจัดการลุ่มน้ำที่ดีมีมากมายดังการรายงานของ Postel และ Thompson (2005) และภัยพิบัติซึ่งเกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น ทำให้เกิดน้ำท่วมโดยเฉพาะการออกแบบการพัฒนาที่ดิน ดังการรายงานของ Watkins (2007) ซึ่งรายงานว่า “our problem is not water, but, rather, badly designed cities. good urban design simply integrates the beauty of the water cycle into the built environment and there is no problem” และท่านผู้นี้ยังได้กล่าวว่า “it is unreasonable to blame the storm” ซึ่งมีความหมายดังนี้ ปัญหาของเราไม่ใช่น้ำแต่ว่าเป็นการออกแบบเมืองที่เลว (เช่น กรุงเทพ เชียงใหม่ ขอนแก่น หาดใหญ่ และอีกหลายเมืองในประเทศไทยซึ่งเป็นความรับผิดชอบของผู้บริหารประเทศ) การออกแบบเมืองที่ดีและง่ายคือการผสมผสานความสวยงามของวงจรของน้ำกับสิ่งแวดล้อมที่ได้สร้างขึ้นมาและจะไม่มีปัญหา และได้กล่าวอีกว่า “ไม่สมควรอ้างเหตุผล เพราะว่ามีพายุฝน” การแก้ไขปัญหาน้ำท่วมภาคใต้ครั้งนี้ผู้บริหารประเทศได้คงใช้วิธีการเดิมๆ ได้แก่ การสร้างอ่างเก็บน้ำและทางระบายน้ำท่วม (flood way) ผนังกั้นน้ำท่วม (flood wall) และประตูน้ำ (sluice gate) ซึ่งใช้เงินจำนวน 9,500 ล้านบาท เป็นเงินจำนวนมหาศาลเฉพาะลุ่มน้ำในจังหวัดนครศรีธรรมราชเท่านั้น ผู้เขียนไม่เห็นด้วยกับการแก้ไขโดยวิธีนี้ เพราะนอกจากจะใช้เงินจำนวนมหาศาลแล้วจะก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ ตามมาอีก ซึ่งแก้ไขได้ยากหรือไม่สามารถแก้ไขได้ เพราะว่าเป็นวิธีการย้ายปัญหา ไม่ใช่วิธีการแก้ปัญหา ผู้เขียนอยากให้ท่านผู้อ่านทุกท่านอ่านรายงานของ Watkins (2007) ถ้าเป็นผู้เขียนการแก้ไขน้ำท่วมภาคใต้ครั้งนี้จะทำตามคำแนะนำของ ESCAP (1997) ซึ่งอาจจะใช้เงินเพียง 20-30% ของเงินจำนวนนี้และทำทุกพื้นที่ลุ่มน้ำของภาคใต้ โดยเลือกทำลุ่มน้ำที่มีความสำคัญมากที่สุดเป็นลำดับแรก การแก้ไขปัญหานี้โดยวิธีการเดิมๆ ไม่ได้ผล เพราะว่าถ้าหากได้ผลแล้ว ปัญหาน้ำท่วมและภัยแล้งควรลดทั้งขนาดและความถี่ลง แต่สภาพความจริงที่ปรากฏ

จะเห็นว่า ภัยน้ำท่วมและความแห้งแล้งกลับเพิ่มขึ้นทั้งขนาด (magnitude) และความถี่ (frequency) ผู้บริหารของประเทศควรศึกษาวิธีการต่างๆ เหล่านี้ซึ่งผู้เชี่ยวชาญได้รายงานไว้มากมายในรูปของรายงานทางวิทยาศาสตร์ ตำรา คำแนะนำ และคู่มือ ซึ่งทำขึ้นจากองค์การระหว่างประเทศ เช่น FAO, UNESCO, ESCAP และจากสมาคมวิชาชีพต่างๆ เช่น American Society of Civil Engineers, American Society of Agricultural–Bioengineers, Soil and Water Conservation Society และ International Erosion Control Association หรือรายงานขององค์กรของประเทศที่มีความชำนาญ เช่น รายงานของ land care program ของ land and water resources research and development corporation. ซึ่งสามารถติดต่อได้ที่ LWRRDC, GPOBOX 2182, Canberra act 2601 Australia และการรายงานของ Welsch (1991) เรื่อง riparian forest buffer เป็นเรื่องเกี่ยวกับการจัดการพื้นที่ริมชายฝั่งแม่น้ำ ลำธาร และต้องทำทั้งสองฝั่ง มีความยาวอย่างน้อย 20 กิโลเมตร ติดต่อกัน รวมทั้งการรายงานของ USDA Natural Resources Conservation Service (1998) (ภาพที่ 3)

อนึ่ง ผู้เขียนอยากขอร้องให้ผู้บริหารประเทศลองใช้วิธีการอื่นๆ นอกจากวิธีการทางด้านวิศวกรรมซึ่งได้ใช้แก้ไขมาแล้วตั้งแต่สงครามโลกครั้งที่ 2 และไม่ได้ผล ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ใช้วิธีการแก้ไขภัยน้ำท่วมและความแห้งแล้งโดยวิธีการทางวิศวกรรมมาแล้วเกือบ 100 ปี โดย US Army Corps of Engineers แต่ปัจจุบันรัฐสภาของสหรัฐ (congress) ได้ชะลอหรือไม่เน้นวิธีการดังกล่าวแล้ว เพราะว่าไม่สามารถแก้ไข บรรเทา และเสียค่าใช้จ่ายรวมทั้งค่าดูแลรักษามาก ท่านที่สนใจโปรดอ่านหนังสือที่เขียนโดย P.A. DeBarry (2004) แล้วท่านจะทราบว่าปัจจุบันสหรัฐอเมริกาแก้ไขปัญหาน้ำท่วมและภัยแล้งด้วยวิธีการใด และถ้าผู้บริหารประเทศทำการพัฒนาที่ดินแบบเดิม รวมทั้งไม่มีการจัดการที่ดินที่ดี การเกิดน้ำท่วมและภัยแล้งรวมทั้งวาตะภัยจะเกิดรุนแรงมากขึ้นและเกิดขึ้นบ่อยครั้งและครอบคลุมพื้นที่มากขึ้นทุกปี

เอกสารอ้างอิง

Charoenpo, A. 2017. Lethal flood a warning to quote Bangkok Post. 16 January 2017, page 8.

Wipatayotin, A. 2017. Dept. draws on late King's advice to stem flood. Bangkok Post. 30 January 2017, page 2.

Chin, D. 2006. Water Resources Engineering. Pearson Prentice Hall. Upper Sandle Rivers New Jersey.

DeBarry, P.A. 2004. Watersheds: Processes, Assessment and management. John Wiley & Sons Inc Hoboken, New Jersey.

Foley, J.A., R. DeFries, G.P. Asner, C. Barford, G. Bonan, S.R. Carpenter, F.S. Chapin, M.T. Coe, G.C. Daily, H.K. Gibbs, J.H. Helkowski, T. Holloway, E.A. Howard, C.J. Kucharik, C. Prentice, N. Ramankutty and P.K. Snyder. 2005. Global consequences of

land use. Science 309: 570-574.

Ghestem, M., R.C. Sidle and A. Stokes. 2011. The influence of plant root systems on subsurface flow: implications for slope stability. BioScience 61: 869-879

Hewlett, J.D. and W.L. Nutter. 1969. An outline of Forestry Hydrology. University of Georgia Press, Athens, Georgia.

Hood, M., J.C. Clausen and S. Warner. 2006. Low impact development work. Journal Soil and Water Conservation 61: 58A-68A.

Ninan, K.N. and M. Inoue. 2013. Valuing forest ecosystem services: what we know and we don't. Ecological Economics 93: 137-149.

Novotny, V. and H. Olem. 1994. Water Quality: Prevention, Identification and Management. Van Nostrand Reinhold, New York.

Pimentel, D. 1986. Water resources for food, fiber and forest production. Ambio 15: 335-340.

Post Reporters. 2017. TMB: Flood toll may ran to 27.4 in Bangkok Post. 17 January 2017, page B-1.

Postel, S.L. and B.H. Thompson. 2005. Watershed protection : capturing benefits of nature's water supply services. Natural Resources Forum 29: 98-108.

Turner, R.K., C.J.M. van den Bergh, T. soderqvist, A. Barendregt, J. van der Straaten, E. Matthy and E.C.van Ierland. 2000. Ecological Economic analysis of wetlands: scientific integration for management and policy. Ecological Economics 35: 7-23.

USDA Natural Resource Conservation Service. 1998. Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices. National Engineering Handbook Part 653. Washington, D.C. United State Department of Agriculture.

Vitousek, P.M., H.A. Mooney, J. Lubchenco and J.M. Melillo. 1997. Human domination of earth's ecosystems. Science 277: 494-499.

Watkins, T. 2007. Natural model for drawing the rain. Environmental Connection 1(1): 13-14.

Welsch, D.J. 1991. Riparian forest Buffer: Function and Design for Protection and Enhancement of Water Resources. Forest Resources Management Northeastern Area State and Private Forestry. USDA Forest Service, Radnor, Pennsylvania. NA-PR-07-91.

Yen, C.P. 1987. Tree root pattern and erosion control. pp. 92-111. In S. Jantawat (ed.) Proceedings of The International Workshop on Soil Erosion and Its Counter-Measures. November 11-19, 1984. Chiangmai Thailand. Soil and Water Conservation Society of Thailand. Chuan Printing Press Ltd Part. Bangkok, Thailand.