บทที่ 2
องค์ประกอบที่ก่อให้เกิดชายฝั่งสมดุลย์

ในบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะองค์ประกอบสำคัญที่ก่อให้เกิดชายฝั่งสมดุลย์ สำหรับใช้พิจารณาป้องกันชายฝั่งทะเล ซึ่งประกอบด้วย การหักเหของคลื่น การกระจายของคลื่น การแตกตัวของคลื่น กระแสน้ำและตะกอนชายฝั่ง และหัวหาด

2.1 การหักเหของคลื่น (Wave Refraction)

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่ง ความเร็วคลื่น (wave celerity) และความยาวคลื่น (wave length) จะลดลงตามความลึกของท้องน้ำที่ตื้นขึ้น คลื่นในน้ำลึกสามารถเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าคลื่นในน้ำตื้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้แนวยอดคลื่น (wave crest) เคลื่อนที่โค้งเข้าหาเส้นชั้นความลึก (underwater contour) ผลของการโค้งนี้เรียกว่า "การหักเห" ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความลึกท้องน้ำและความยาวคลื่น ปรากฏการณ์นี้คล้ายกับการหักเหของแสง ซึ่งสามารถอธิบายด้วยกฎของสเนลล์ (Snell's law) ดังสมการข้างล่าง (ดูรูป 2-1 ประกอบ)

$$\sin\alpha_2 = \left(\frac{C_2}{C_1}\right) \sin\alpha_1$$

ความสำคัญของการหักเหของคลื่น มีดังนี้

1) การหักเหของคลื่นและอิทธิพลของความตื้นของท้องน้ำ (shoaling effect) จะบ่งบอกถึงขนาดความสูงของคลื่น ณ ความลึกใด ๆ สำหรับความสูงคลื่น คาบเวลาคลื่นและทิศทางคลื่นที่เกิดขึ้นในน้ำลึก และการหักเหของคลื่นยังมีอิทธิพลต่อการกระจายพลังงานคลื่นตามแนวชายฝั่ง ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงและการคงรูปของชายฝั่ง
2) การหักเหของคลื่นในลักษณะที่แตกต่างกัน มีผลทำให้เกิดการรวมกัน (convergence) หรือการกระจาย (divergence) ของพลังงานคลื่น ซึ่งมีผลต่อแรงกระทำต่อโครงสร้างชายฝั่ง

3) การหักเหของคลื่นมีส่วนในการเปลี่ยนแปลงลักษณะท้องน้ำ จากผลของการกัดเซาะและทับถมของตะกอนชายฝั่ง

4) ลักษณะท้องน้ำบริเวณใกล้ชายฝั่ง สามารถวิเคราะห์จากรูปแบบการหักเหของคลื่นที่ได้จากภาพถ่ายทางอากาศ

การหักเหของคลื่นอาจมีสาเหตุมาจากกระแสน้ำที่ไหลออกจากทางระบายน้ำลงสู่ทะเล กระแสน้ำดังกล่าวจะวิ่งปะทะแนวยอดคลื่น ทำให้เกิดการหักเหของคลื่นได้

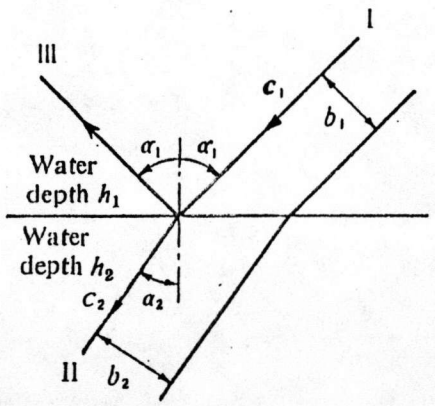
2.2 การกระจายของคลื่น (Wave Diffraction)

การกระจายของคลื่น เป็นปรากฏการณ์ที่คลื่นส่งผ่าน/กระจายพลังงานไปตามแนวยอดคลื่น ซึ่งเกิดจากคลื่นเคลื่อนที่เข้าปะทะเครื่องกีดขวาง เช่น เขื่อนกันคลื่น (breakwater) หรือเกาะ คลื่นจะส่งผ่านพลังงานเข้าสู่บริเวณร่มเงาเขื่อน ทำให้พลังงานคลื่นบริเวณนี้ลดลง สัมประสิทธิ์การกระจายของคลื่น (K_d) หาได้จากอัตราส่วนของคลื่นบริเวณหลังแนวเขื่อนต่อคลื่นกระทบ (incident wave) ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปรดังสมการข้างล่าง (ดูรูป 2-2 ประกอบ)

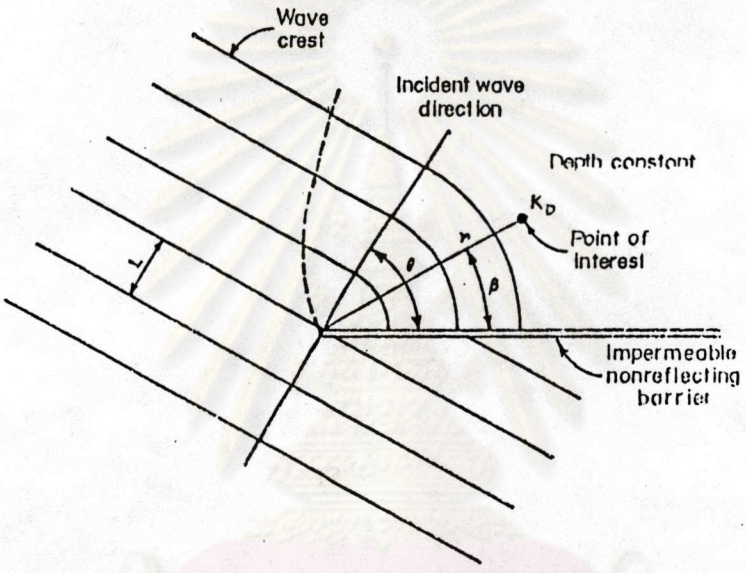
$$K_d = f(\theta, \beta, r/L)$$

โดยทั่วไปเมื่อคลื่นเกิดการกระจายมักจะเกิดการหักเหขึ้นพร้อมกันด้วย เนื่องจากความลาดของท้องน้ำ

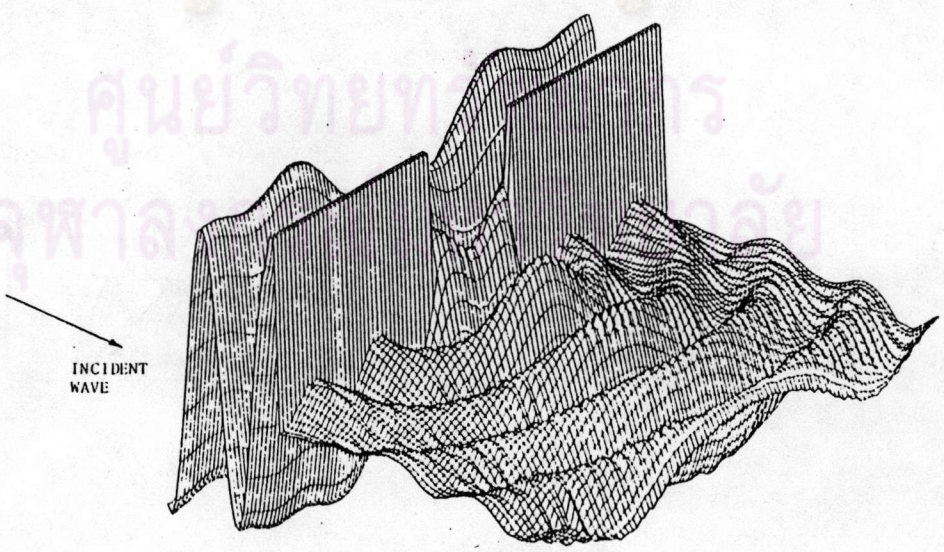
อิทธิพลของการกระจายของคลื่น มีความสำคัญต่อการป้องกันชายฝั่งและโครงสร้างทางวิศวกรรม เช่น การพิจารณากำหนดและออกแบบทางเข้าออกท่าเรือ เพื่อลดปัญหาการทับถมของตะกอน ซึ่งทำให้เกิดการตื้นเขินของท้องน้ำ และเพื่อลดการสะท้อนกลับไปกลับมา (resonance) ของคลื่นในบริเวณท่าเรือ สำหรับการป้องกันชายฝั่งที่ถูกกัดเซาะนั้น เมื่อคลื่นเกิดการกระจาย พลังงานคลื่นที่กระทำต่อชายฝั่งจะลดลงทำให้ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งลดลงด้วย ลักษณะการกระจายของคลื่นหลังเขื่อนได้แสดงไว้ในรูป 2-3



รูป 2-1 การหักเหของคลื่นตามกฎของ Snell [1]



รูป 2-2 ตัวแปรของการกระจายของคลื่น [2]



รูป 2-3 ลักษณะการกระจายของคลื่นที่เคลื่อนผ่านช่องว่างระหว่างหัวหาด [3]

2.3 การแตกตัวของคลื่น (Wave Breaking)

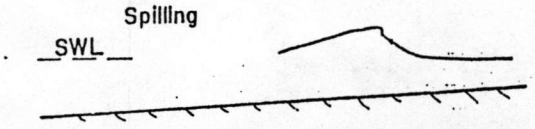
การแตกตัวของคลื่นบริเวณใกล้ฝั่ง มีสาเหตุจากคลื่นเคลื่อนที่จากน้ำลึกสู่น้ำตื้น การเปลี่ยนแปลงความลึกท้องน้ำทำให้ความเร็วคลื่นเปลี่ยนแปลงไป ความยาวคลื่นจะลดลงความสูงคลื่นจะเพิ่มขึ้น ความชันคลื่น (wave steepness, H/L) จึงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งไม่สามารถคงรูปลักษณะไว้ได้ และความเร็วอนุภาคของน้ำบริเวณหน้าคลื่น (wave crest) มากกว่าความเร็วคลื่น จึงทำให้เกิดการแตกตัวของคลื่นขึ้น บริเวณที่คลื่นแตกตัวจะเกิดการปั่นป่วน (turbulence) ของท้องน้ำมาก เนื่องจากการถ่ายทอดพลังงานคลื่นทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของตะกอนทรายท้องน้ำ ตะกอนขนาดเล็กจะถูกยกตัวขึ้นและถูกคลื่นพัดพาในสภาพแขวนลอย (suspension) ดัชนีการแตกตัวของคลื่น (breaking index, H_b/d_b) โดยทั่วไปที่ใช้กันในทางปฏิบัตินิยมใช้ค่า 0.78 ส่วนการแตกตัวของคลื่นบริเวณน้ำลึกขึ้นอยู่กับความชันของคลื่น โดยทั่วไปคลื่นจะเริ่มแตกตัวเมื่อมีความชัน $(H_o/L_o)=0.142$ จากนั้นคลื่นจะเริ่มก่อรูปร่างขึ้นมาใหม่เป็นคลื่นชุดใหม่ที่มีพลังงานน้อยลง

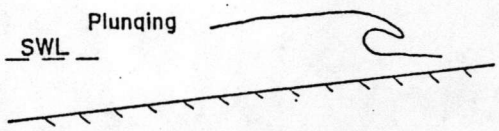
คลื่นแตกตัวจะมีลักษณะที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับ ความสูงคลื่น คาบเวลาคลื่นและความลาดชันของท้องน้ำชายฝั่ง ลักษณะการแตกตัวของคลื่นจำแนกออกได้เป็น 4 ชนิด คือ Spilling, Plunging, Collapsing และ Surging ซึ่งได้แสดงในรูป 2-4

2.4 กระแสน้ำและตะกอนชายฝั่ง (Littoral Transport)

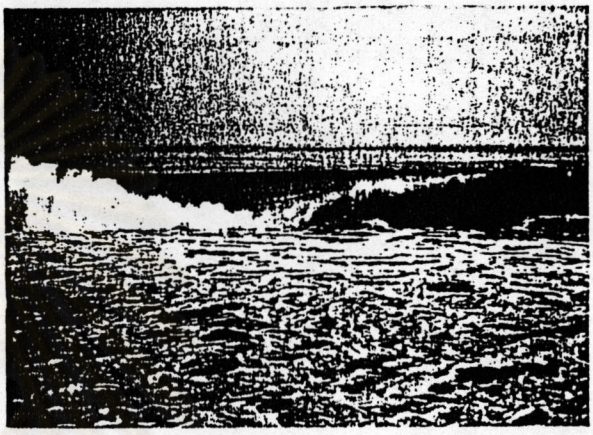
กระแสน้ำบริเวณใกล้ฝั่ง มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของตะกอนบริเวณชายฝั่ง ชายฝั่งจะเกิดการกัดเซาะหรือทับถมหรือคงสภาพเดิมขึ้นอยู่กับการเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่ง แต่โดยทั่วไปชายฝั่งมักมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อโครงสร้างและทำลายประโยชน์การใช้สอยบริเวณชายฝั่ง กระแสน้ำและตะกอนชายฝั่งสามารถแบ่งออกได้ 2 ชนิด ได้แก่

1) กระแสน้ำและตะกอนชายฝั่งที่เคลื่อนในแนวตั้งฉากกับชายฝั่ง (onshore-off shore transport) ขึ้นอยู่กับตัวแปรสำคัญได้แก่ ความสูงคลื่น และความชันคลื่น ในช่วงความสูงคลื่นมากและความชันมากจะมีพลังงานคลื่นมาก ซึ่งคลื่นที่ซัดเข้าปะทะชายฝั่งมีความรุนแรง ทำให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่ง และใน

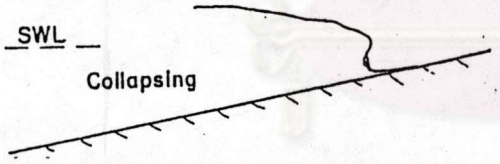


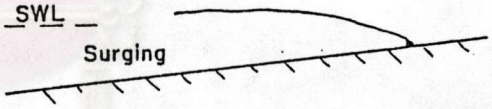


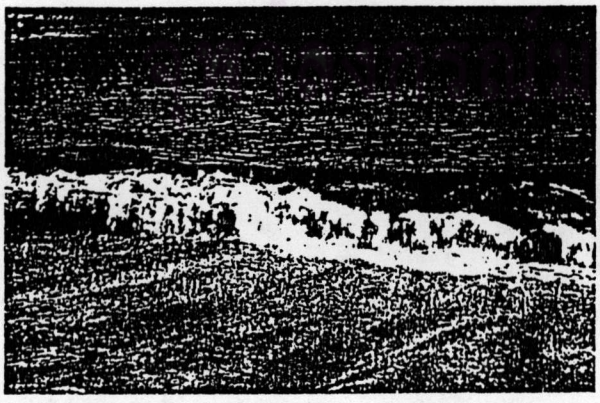
Spilling



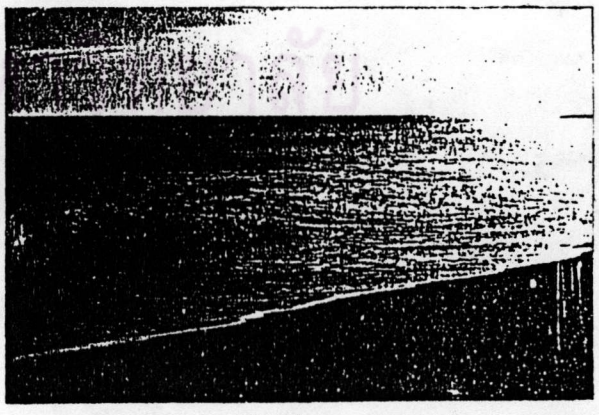
Plunging







Collapsing



Surging

รูป 2-4 ลักษณะการแตกตัวของคลื่นแบบต่าง ๆ [4]

จังหวะย้อนกลับจะนำเอาตะกอนทรายเคลื่อนออกสู่ทะเล ส่วนในช่วงความสูงคลื่นต่ำและความชันคลื่นมีค่าน้อย คลื่นที่เคลื่อนเข้าหาฝั่งจะอ่อนกำลังลง ตะกอนที่เคลื่อนเข้ามาตามคลื่นหลังคลื่นแตกตัว จะเกิดการตกจมบริเวณชายฝั่ง จะเห็นได้ว่า การเคลื่อนที่ของตะกอนในแนวตั้งฉากชายฝั่งจะมีลักษณะกลับไปกลับมา ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในระยะสั้น และตะกอนเหล่านี้ไม่สูญหายไปไหน

2) กระแสน้ำและตะกอนชายฝั่งที่เคลื่อนตามแนวชายฝั่ง (longshore transport) เกิดจากคลื่นเคลื่อนที่เข้าทำมุมกับชายฝั่ง ตะกอนบริเวณชายฝั่งใด ๆ จะเริ่มมีการสูญหาย หรือพอกพูนขึ้นตามปริมาณของการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่งที่จุดต่าง ๆ ดังแสดงในรูป 2-5 ซึ่งเป็นผลให้เกิดการกัดเซาะและทับถมของชายฝั่งในระยะยาว

ในปี 1950 Saville [1] ได้ทำการศึกษาอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่ง (longshore sediment transport rate) พบว่าจะมีค่าสูงสุดเมื่อความชันคลื่น (H_o/L_o) มีค่าประมาณ 0.025 และมีค่าลดลงเมื่อค่าความชันคลื่นมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่า 0.025

ในปี 1969 Komar[5] ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของคลื่น กระแสน้ำ และการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่ง สรุปได้ว่า

$$\bar{V}_l = 2.7\, U_m \sin\alpha_b \cos\alpha_b$$

$$I_l = 0.77\, P_{ls}$$

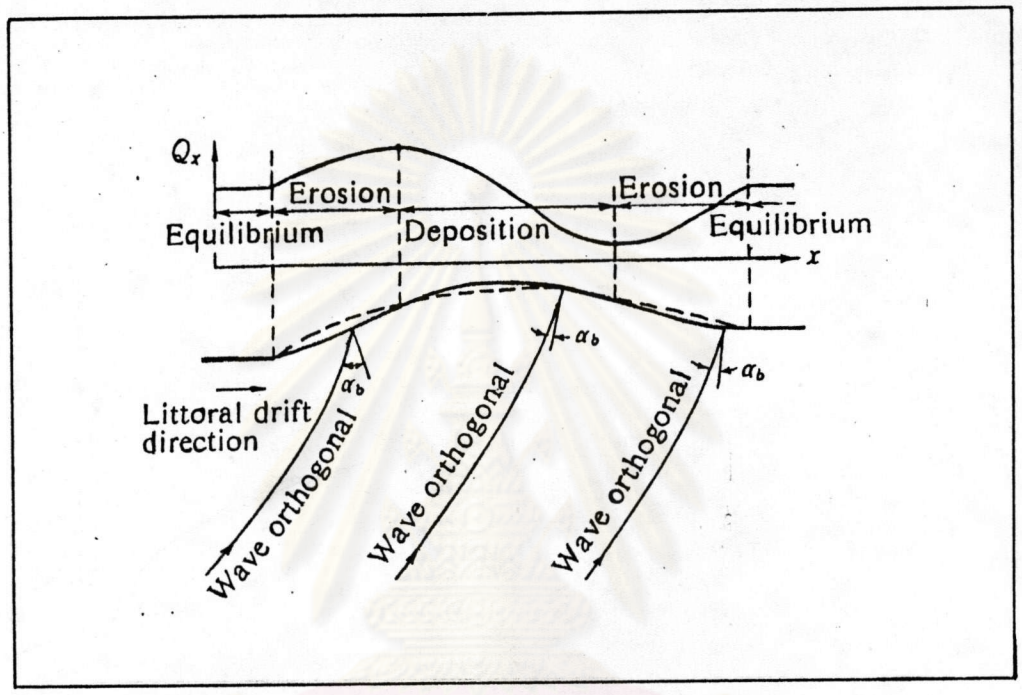
โดยที่ $\bar{V}_l$ คือ ความเร็วกระแสน้ำตามแนวชายฝั่งเฉลี่ย, ม/วินาที

U_m คือ ความเร็วกระแสน้ำท้องทะเลสูงสุดบริเวณชายฝั่ง, ม/วินาที

I_l คือ อัตราแรงของตะกอนตามแนวชายฝั่ง, นิวตัน/วินาที

P_{ls} คือ พลังงานคลื่นในแนวขนานชายฝั่งต่อหน่วยความยาวชายฝั่ง, นิวตัน-ม/วินาที

α_b คือ มุมที่สันคลื่นทำกับชายฝั่ง ณ จุดคลื่นแตกตัว



รูป 2-5 กลไกของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในระยะยาว [1]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5 หัวหาด (Headland)

หัวหาดเป็นโครงสร้างกำบังคลื่นให้แก่ชายฝั่ง หัวหาดอาจเกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น เกาะ แนวปะการังหรือโขดหิน หรือเกิดจากมนุษย์สร้างขึ้น เช่น เขื่อนกันคลื่น จากการศึกษาขบวนการชายฝั่ง พบว่า เมื่อแนวคลื่นเคลื่อนเข้าปะทะหัวหาด พลังงานคลื่นในส่วนที่ปะทะหัวหาดจะถูกทำลายลง พลังงานบางส่วนจะถูกหัวหาดดูดซับไว้ (absorb) และบางส่วนจะสะท้อน (reflect) เคลื่อนกลับสู่ทะเล ส่วนคลื่นที่เคลื่อนผ่านด้านข้างหัวหาดจะเกิดการกระจายและหักเหของคลื่นสู่บริเวณร่มเงาของหัวหาด ทำให้พลังงานคลื่นที่เคลื่อนเข้าสู่ชายฝั่งลดลง ในกรณีที่หัวหาดตั้งอยู่นอกฝั่ง อาจเกิดการทับถมของตะกอนทรายเกิดขึ้นบริเวณชายฝั่งภายใต้ร่มเงาของหัวหาด ซึ่งเรียกว่า "Tombolo" ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปรสำคัญได้แก่ คลื่น อัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่ง ขนาดและตำแหน่งของหัวหาด ลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นผ่านช่องว่างระหว่างหัวหาด ได้แสดงในรูป 2-3

โดยทั่วไปในสภาพธรรมชาติ จะเห็นชายฝั่งมีลักษณะเว้าเป็นอ่าวเกิดขึ้นระหว่างหัวหาด 2 จุด ซึ่งมีความมั่นคงแข็งแรงเพียงพอที่จะต้านทานแรงกระทำของคลื่น ชายฝั่งระหว่างหัวหาดจะถูกกัดเซาะและถดถอยจนกระทั่งเข้าสู่สภาพสมดุลย์ ในยุคแรกของงานป้องกันชายฝั่งด้วยหัวหาดโดยเขื่อนกันคลื่นนั้น เป็นการสร้างเขื่อนที่มีลักษณะเป็นเกาะเล็ก ๆ เพื่อใช้กำบังคลื่นและลดแรงกระทำของคลื่นบริเวณชายฝั่งและท่าเรือซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลัก แต่ต่อมาได้สังเกตพบว่า มีการทับถมของตะกอนทรายเกิดขึ้นบริเวณชายฝั่งภายในร่มเงาของเขื่อนกันคลื่น จากปรากฏการณ์ของอ่าวสมดุลย์ระหว่างหัวหาด (equilibrium bay) และการเกิด tombolo นี้ได้พยายามนำหลักการดังกล่าว มาใช้กับงานป้องกันชายฝั่งที่ประสบปัญหาการกัดเซาะและถดถอยของแผ่นดิน