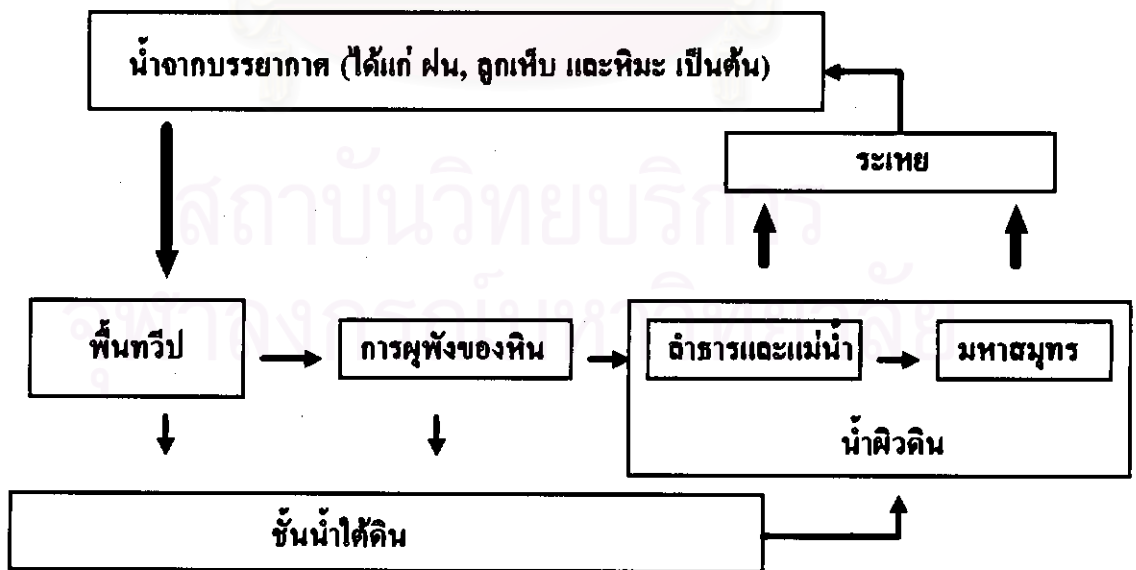




1.1 คำนำ

น้ำที่พบบนโลกเป็นส่วนหนึ่งของอุทกวัฏจักร (รูป 1) ซึ่งเป็นวัฏจักรที่เกิดจากการหมุนเวียนเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำที่อยู่ในอุทกภาค โดยเมื่อหยาดน้ำฟ้า (precipitation) ได้แก่ ฝน ลูกเห็บ และหิมะ ที่ตกจากบรรยากาศลงสู่พื้นทวีปก็จะไหลต่อไปสู่มหาสมุทร ผ่านทางลำธาร แม่น้ำ และธารน้ำแข็ง แต่สำหรับในประเทศเขตร้อน น้ำบนผิวทวีปส่วนใหญ่ถูกนำลงสู่มหาสมุทร โดยผ่านทางลำธารและแม่น้ำเป็นหลัก น้ำบางส่วนอาจถูกเก็บกักอยู่ในทวีปช่วงระยะเวลาหนึ่งก่อนที่จะถูกนำลงสู่ทะเล ในขณะที่เดียวกันน้ำผิวดินในลำธาร แม่น้ำ และมหาสมุทรก็มีการระเหยกลายเป็นไอกลับสู่บรรยากาศจนครบวัฏจักร

น้ำจากบรรยากาศเมื่อตกลงสู่พื้นทวีปซึ่งประกอบด้วยหินชนิดต่างๆ น้ำบางส่วนจะทำให้เกิดการกร่อนของหิน หรือช่วยทำให้กระบวนการผุพังของหินเกิดได้ดีขึ้น และเป็นตัวกลางในการพัดพาเอาผลที่ได้จากกระบวนการเหล่านี้จากพื้นทวีปลงสู่มหาสมุทรผ่านทางลำธารและแม่น้ำปีละหลายพันล้านตัน ลักษณะทางธรณีวิทยาและสภาพการผุพังที่เกิดขึ้นจึงมีส่วนอย่างมากในการควบคุมองค์ประกอบทางเคมีของน้ำผิวดิน



รูป 1 อุทกวัฏจักร (Gilluly และคณะ, 1968)

เพื่อช่วยให้เข้าใจได้ดียิ่งขึ้นว่าการผุพังของหินจะมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของน้ำผิวดินอย่างไร จึงเริ่มพิจารณาจากแร่ (Minerals) ที่ประกอบขึ้นเป็นหินที่พบบนผิวโลกซึ่งมักมีกำเนิดมาจากสถานะที่แตกต่างกัน แร่แต่ละชนิดจึงเสถียรที่อุณหภูมิ ความดัน และภาวะช่วงใดช่วงหนึ่ง หรืออีกนัยหนึ่งคือ ในสภาพแวดล้อมเฉพาะที่หินกำเนิดขึ้นมาเท่านั้น เช่น โอลิวีน เป็นแร่ที่ตกผลึกจากหินหนืดในที่ลึกซึ่งมีอุณหภูมิและความดันสูง หากแร่นี้ไหลต่ออยู่ตามผิวโลกซึ่งมีสถานะแตกต่างไปจากสถานะที่เกิด แร่โอลิวีนจะไม่เสถียรและจะเกิดการผุพังเปลี่ยนสภาพไปเป็นแร่ทุติยภูมิ เช่น เซอร์เพนทีน และทัลก์ ที่เสถียรต่อสถานะบนพื้นผิวโลกได้ดีกว่า ด้วยเหตุนี้ หินซึ่งประกอบด้วยแร่ตั้งแต่หนึ่งชนิดขึ้นไปจึงมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเสถียรภาพของชนิดแร่ที่เป็นองค์ประกอบ

หินที่อยู่บนผิวโลกส่วนใหญ่ไม่ว่าจะมีกำเนิดจากสภาพแวดล้อมใดก็ตาม มีแนวโน้มที่จะเกิดการผุพังหรือมีการเปลี่ยนแปลงไปทั้งสิ้น เพื่อให้ส่วนประกอบต่างๆ มีเสถียรภาพต่อสภาพแวดล้อมบนผิวโลก การผุพัง (Weathering) สลายตัวของหิน สามารถจำแนกได้เป็น 2 แบบ คือ

### 1.1.1 การผุพังทางกายภาพ (Physical หรือ Mechanical weathering)

การผุพังทางกายภาพ หมายถึง กระบวนการผุพังที่ทำให้หินแตกหัก มีขนาดเล็กลง และทำให้แร่หลุดออกจากหิน ซึ่งโดยทั่วไปหรือเมื่อกล่าวรวมๆ แล้ว การผุพังแบบนี้ไม่ทำให้ส่วนประกอบของหินหรือแร่เปลี่ยนแปลง ดังนั้น ผลที่ได้จึงมีองค์ประกอบทางเคมีเหมือนวัสดุต้นกำเนิด

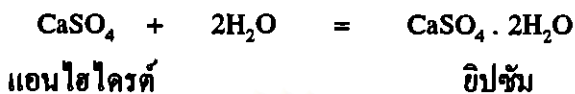
การผุพังทางกายภาพสามารถเกิดขึ้นได้หลายทาง คือ

- จากกิจกรรมของสิ่งมีชีวิต
- การแข็งตัวของน้ำในบริเวณที่เย็นจัด เช่น ขอดภูเขาสูง
- การเกิดแร่ใหม่จากการผุพังอยู่กับที่ซึ่งมีผลทำให้เกิดแรงดันกระทำต่อกัน ทำให้เม็ดแร่หลุดหรือหลวม และหินแตกออก
- การผ่อนคลายความดัน (pressure release on unloading) โดยเมื่อหินนั้นเกิดอยู่ที่ระดับความดันสูง เช่น หินอัคนี และหินแปร ครั้นเมื่อไหลพื้นผิวโลกความดันลดระดับลงทำให้หินแตก
- ผลของอุณหภูมิที่แตกต่างกันมากระหว่างกลางวันและกลางคืน ทำให้เกิดการหดและขยายตัวของหินจนเกิดการแตกหักในที่สุด



● ไฮเดรชัน (hydration)

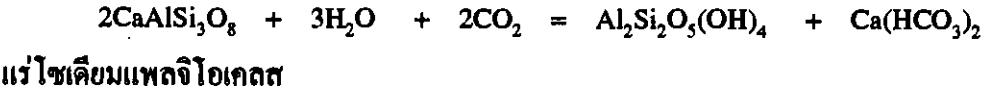
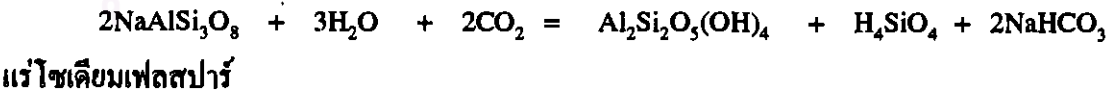
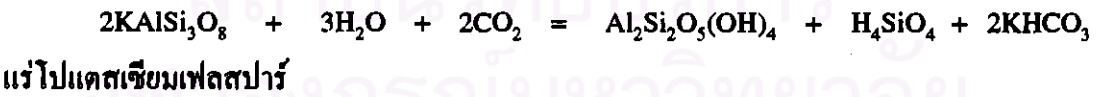
ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่เติมน้ำเข้าไปในแร่แล้วทำให้ได้แร่ใหม่ ส่วนปฏิกิริยาที่ย้อนกลับ คือ ดีไฮเดรชัน (dehydration) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้น้ำถูกขับออกมาจากแร่ ในโซนของการผุพัง น้ำที่มีมากพอจึงมักทำปฏิกิริยากับแร่ที่ไม่มีน้ำในโครงสร้าง ดังในปฏิกิริยา



● ไฮโดรไลซิส (hydrolysis)

ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างแร่กับน้ำ โดยเฉพาะแร่ซิลิเกต นั้นนอกจากจะยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไฮโดรเจนแล้ว น้ำยังสามารถแตกตัวออกเป็นไฮโดรเจนไอออน (H<sup>+</sup>) และไฮดรอกซิลไอออน (OH<sup>-</sup>) ซึ่งมีความเป็นอิสระที่จะจับกับสารอื่นด้วย น้ำในธรรมชาติจึงมีไอออน เช่น ไบคาร์บอเนตไอออน (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), ซัลเฟตไอออน (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), คลอไรด์ไอออน (Cl<sup>-</sup>), แคลเซียมไอออน (Ca<sup>2+</sup>), แมกนีเซียมไอออน (Mg<sup>2+</sup>), โซเดียมไอออน (Na<sup>+</sup>), และ โพแทสเซียมไอออน (K<sup>+</sup>) ละลายอยู่ ไอออนเหล่านี้ อาจมาจากการแทนที่ หรือทำปฏิกิริยาของไฮโดรเจนไอออน และไฮดรอกซิลไอออนกับอะตอมที่มีประจุในผลึกของแร่ชนิดต่างๆที่เป็นองค์ประกอบหิน ด้วยเหตุนี้ จึงเป็นการทำลายโครงสร้างเดิมของผลึก ทำให้ไอออนดังกล่าวที่มีอยู่ในโครงสร้างผลึกสามารถละลายออกมาในสารละลายไบคาร์บอเนต ส่วนแร่ที่เป็นสารประกอบของอลูมิเนียมและเหล็กมักเกิดปฏิกิริยากับน้ำ เกิดเป็นสารประกอบไฮดรอกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำ และซิลิกาจะถูกปล่อยจากซิลิเกตในสภาพสารแขวนลอยคล้ายฝุ่นในน้ำหรือในรูปของกรดซิลิซิก (H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>)

เนื่องจากแร่เฟลตสปาร์เป็นแร่ที่พบมากในชั้นเปลือกโลก ดังนั้นการผุพังทางเคมีโดยวิธีไฮโดรไลซิสจึงมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังนี้



ในปฏิกิริยาเหล่านี้ทำให้ได้แร่ดินเหนียว เช่น คาโอลินต์ สารละลายโบคาร์บอเนตของธาตุโปแตสเซียม โซเดียม และแคลเซียม ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ดี และกรดซิลิกที่มาจากซิลิกาในแร่อร์โทเคลส (หรือ แร่โปแตสเซียมเฟลสปาร์) และแอลไบต์ (หรือแร่โซเดียมเฟลสปาร์) สามารถละลายน้ำได้ หรือเป็นสารฐานในสารละลายโบคาร์บอเนตของโปแตสเซียม โซเดียม หรือ แคลเซียม

● **คาร์บอเนชัน (carbonation)**

แร่ที่ประกอบด้วยธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโปแตสเซียม สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำฝนที่ละลายเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเกิดเป็นสารประกอบคาร์บอเนตและโบคาร์บอเนตของธาตุเหล่านี้

● **สารละลาย (solution)**

แร่ที่ละลายในน้ำได้โดยตรง เช่น เฮไลต์และยิปซัม หรือเกิดปฏิกิริยาเคมีกับกรดในธรรมชาติแล้วละลายน้ำ เช่น ลิโมนิต์ละลายในกรดกำมะถัน กรดในธรรมชาติที่เกิดขึ้นจากการผุพังสามารถช่วยเพิ่มกระบวนการผุพังให้เกิดได้ดียิ่งขึ้น เช่น กรดกำมะถันที่เกิดจากแร่ไพไรต์ และแร่ซัลไฟด์อื่นๆ สามารถทำปฏิกิริยากับแร่ต่างๆ ในหิน นอกจากนี้ กรดอินทรีย์ที่เกิดจากกระบวนการนี้มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อน ก็สามารถทำปฏิกิริยากับแร่ได้ด้วย

**ความทนทานของแร่ต่อการผุพังทางเคมี**

เมื่อแร่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ทำให้ตัวเองไม่เสถียร แร่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงด้วยการผุพังทางเคมี โดยที่แร่บางชนิดอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย แต่บางชนิดอาจจะเปลี่ยนแปลงได้ยาก โดยทั่วไป แร่ในหินอัคนีซึ่งเกิดที่อุณหภูมิสูงมักไม่ทนทานต่อการผุพังทางเคมีที่ผิวโลก ในขณะที่แร่ซึ่งเกิดที่อุณหภูมิต่ำมักเป็นแร่ที่ทนทานในสภาพแวดล้อมบนผิวโลก นอกจากนี้ลักษณะของโครงสร้างผลึกและส่วนประกอบทางแร่ก็มีผลต่ออัตราการผุพังเช่นกัน ด้วยเหตุนี้ Goldich (1938) จึงได้จัดเรียงลำดับอัตราความทนทานของแร่สามัญที่พบมาก ดังแสดงในตาราง 1 และอัตราความทนทานของแร่เหล่านี้จะกลับกับชุดปฏิกิริยาโบริน โดยแร่ที่ทนทานที่สุดในสภาพแวดล้อมบนผิวโลก ได้แก่ ควอตซ์

ในหินแปรและหินตะกอนการผุพังของแร่ก็มีลักษณะที่เกิดขึ้นคล้ายคลึงกับในหินอัคนี โดยที่เมื่อแร่ต่างๆ ในหินเกิดการผุพังทางเคมี ผลก็คือ แคตไอออน (cations) ที่อยู่ในโครงสร้างของผลึกหลุดออกมา เช่น เหล็กในสภาพเฟอร์ริสที่หลุดออกมามักถูกออกซิไดซ์ไปเป็นเหล็กสภาพเฟอร์ริก ส่วนแมกนีเซียมและอะลูมิเนียมถูกชะไปกับสารละลาย เมื่อเป็นเช่นนี้จะทำให้

โครงสร้างในแร่เกิดการยุบตัว อย่างไรก็ตาม แร่บางชนิดที่เกิด ณ อุณหภูมิและความดันสูง แต่มีความคงทนสามารถอยู่ได้ในสภาวะที่ผิวโลก เช่น ควอร์ตซ์ ทองคำ แพลทินัม อิลเมนไนต์ แร่ดีบุก รัตนชาติ และเพชร เป็นต้น

ตาราง 1 ความทนทานของแร่ในหินอัคนีต่อการผุพังทางเคมี (Goldich, 1938)

ความเสถียร	แร่เฟอร์โรแมกนีเซียม	แร่เฟลสปาร์	การเกิด
น้อยที่สุด (least stable)	โอลิวีน (olivine)	แคลเซียม-แพลจิโอเคลส (Ca-plagioclase)	อุณหภูมิสูง (high-temperature formation)
	ไพโรซีน (pyroxene)	แคลเซียม-โซเดียม แพลจิโอเคลส (Ca-Na plagioclase)	
	แอมฟิโบล (amphibole)	โซเดียม-แคลเซียม แพลจิโอเคลส (Na-Ca plagioclase)	
	ไบโอไทต์ (biotite)	โซเดียม-แพลจิโอเคลส (Na- plagioclase)	
		โปแตสเซียมเฟลสปาร์ (K-feldspar)	
		มัสโคไวต์ (muscovite)	
มากที่สุด (most stable)		ควอร์ตซ์ (quartz)	อุณหภูมิต่ำ (low-temperature formation)

## การสุพ้งของหินบางชนิด

### หินแกรนิต

เมื่อหินแกรนิตเกิดการสุพ้งทางกายภาพเต็มที่แล้ว แร่ที่หลุดออกมามักประกอบด้วย เฟลสปาร์ ควอร์ตซ์ ฮอร์นเบลน และ ไมกา ซึ่งส่วนใหญ่มีขนาดเท่าเม็ดทรายหรือโตกว่าบ้าง เมื่อเกิดการสุพ้งทางเคมี เฟลสปาร์มักเปลี่ยนเป็นแร่ดินและสารละลาย ฮอร์นเบลนและไบโอไทต์ เปลี่ยนเป็นฮิมาไทต์, ลิโมนิต, แร่ดินบ้างเล็กน้อยและสารละลาย ส่วนควอร์ตซ์ มัสโคไวต์ และแร่รองอื่นมักไม่เปลี่ยนแปลง สารละลายจะพาไปแคลเซียมไอออน, โซเดียมไอออน, แคลเซียมไอออน, แมกนีเซียมไอออน, และซิลิเกตไอออนไป เหลือแต่แร่ดินปนไมกา และ บางส่วนถูกเคลือบด้วยฮิมาไทต์ หรือ ลิโมนิตเกิดอยู่กับที่ได้

### หินบะซอลต์

หินบะซอลต์ประกอบด้วยแร่ แพลจิโอเคลสเฟลสปาร์ที่มีปริมาณแคลเซียมสูง ไพรอกซีน และโอลิวีน ดังนั้น เมื่อเกิดการสุพ้งทางเคมีจึงให้แร่ดิน ฮิมาไทต์หรือลิโมนิต และสารละลายของ โซเดียมไอออน, แคลเซียมไอออน, แมกนีเซียมไอออน, และซิลิเกตไอออน ส่วนแร่ดิน ที่ตกค้างอยู่บนหินบะซอลต์มักมีสีค่อนข้างเข้มถึงแดงจัด และเกิดอยู่ตลอดที่พบหินบะซอลต์นั้น

### หินทราย

การสุพ้งของหินทรายขึ้นกับแร่ที่เป็นองค์ประกอบ เช่น หินทรายที่ประกอบด้วยควอร์ตซ์ เมื่อเกิดการสุพ้งจะได้เม็ดทรายร่วมของควอร์ตซ์ เนื่องจากควอร์ตซ์ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี หรือการสุพ้งของหินทรายที่มีเฟลสปาร์เป็นส่วนประกอบจะคล้ายกับการสุพ้งของหินแกรนิต ส่วนหินทรายแวกเป็นหินทรายอีกชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยควอร์ตซ์, เฟลสปาร์, เฟอร์โรแมกนีเซียม, เศษหิน, ทรายแป้ง, และแร่ดินเหนียว เมื่อสุพ้งแล้วมักได้ของผสมจากการสุพ้งอยู่ปนกัน

### หินปูน

โดยทั่วไปการสุพ้งของหินปูนขึ้นอยู่กับสภาพทางภูมิอากาศ บริเวณที่อุณหภูมิปานกลาง ถึงสูง และมีฝนตกชุกมีส่วนช่วยทำให้การสุพ้งเกิดได้ดี และสิ่งที่ได้จากการสุพ้งนี้ส่วนใหญ่ อยู่ในรูปของสารละลายหรือบางส่วนที่ละลายไม่หมดก็ถูกนำไปในรูปของเศษหิน สารประกอบ จำพวกเหล็กและซิลิกาจับตัวเป็นของแข็งทำให้ได้ดินตะกอนสีแดงๆ ที่เรียกว่า เทอร์ราโรซา (terra rosa)

## ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผุพังทางเคมี

- ชนิดของหินที่พบเป็นองค์ประกอบของเปลือกโลกในบริเวณนั้น (rock lithology)

หินต่างชนิดกันสามารถทนทานต่อการผุพังทางเคมีได้ไม่เท่ากัน เพราะแร่ที่ประกอบขึ้นเป็นหินเกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน ควอร์ตซ์เป็นแร่ที่ทนทานที่สุดในสภาพแวดล้อมบนผิวโลก ดังนั้นหินที่ประกอบด้วยควอร์ตซ์มากจึงทนทานต่อการผุพังทางเคมี ดังจะเห็นได้จากเทือกเขาที่เป็นหินแกรนิตซึ่งมีควอร์ตซ์เป็นแร่ประกอบหลัก มักมีลักษณะสูงชันกว่าเทือกเขาที่เป็นหินดินดานซึ่งทนต่อการผุพังทางเคมีได้น้อยกว่า เป็นต้น ความแตกต่างนี้เป็นผลจากอัตราการผุพังของแร่ที่ประกอบหินต่างกัน จึงทำให้เกิดลักษณะภูมิประเทศที่ต่างกันได้นอกจากคุณสมบัติในเชิงแร่แล้ว ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของหินก็มีอิทธิพลต่ออัตราการผุพังเช่นเดียวกัน เช่น หินทราย (หินตะกอน) และหินควอร์ตไซต์ (หินแปร) ประกอบด้วยแร่ควอร์ตซ์เกือบทั้งหมด แต่ภายในโครงสร้างของหินทรายมีรูพรุนมากกว่าหินควอร์ตไซต์ทำให้การผุพังทางกายภาพเกิดขึ้นได้ดี โดยเฉพาะในกรณีที่เกิดจากน้ำแข็งที่แข็งตัวในช่องว่าง หรือรอยแตกของหินในเขตภูมิอากาศหนาว

- สภาพภูมิอากาศ (climate)

สภาพภูมิอากาศมีผลต่ออัตราการผุพังที่เกิดขึ้นในแต่ละบริเวณแตกต่างกันไป เช่น ในเขตร้อนชื้น ปริมาณความชื้นและอุณหภูมิช่วยกระตุ้นปฏิกิริยาเคมีให้เกิดได้ดียิ่งขึ้น การผุพังทางเคมีจึงเกิดได้ดีขึ้นตามไปด้วย เมื่อเป็นเช่นนี้การผุพังในบริเวณที่มีอากาศชื้นและอบอุ่นมักเกิดได้ดีกว่าในบริเวณที่แห้งแล้งและหนาว เช่น หินปูนและหินอ่อนซึ่งต่างก็ประกอบด้วยแร่แคลไซต์เหมือนกัน สามารถเกิดการผุพังทางเคมีได้ดีในบริเวณที่มีอากาศชื้น แต่หินเหล่านี้อยู่ในแถบภูเขาสูงและบริเวณเขตหนาวในช่วงละติจูดสูงเป็นสภาพที่เหมาะสมกับการผุพังทางกายภาพ โดยเฉพาะที่เกิดจากการแข็งตัวของน้ำ

- ความลาดชัน (slope)

ในบริเวณที่มีลักษณะภูมิประเทศสูงชัน กระบวนการพัดพาที่เกิดขึ้นโดยมีน้ำเป็นตัวกลางสามารถนำเอาผลที่ได้จากกระบวนการผุพังออกจากแหล่งกำเนิดด้วยอัตราที่เร็วมาก (weathering-limited denudation regimes) เมื่อเป็นเช่นนี้ปฏิกิริยาเคมีระหว่างน้ำกับหินจึงมีโอกาสดำเนินไปน้อยมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการผุพังทางเคมีสามารถเกิดขึ้นได้น้อยกว่าการผุพังทางกายภาพ ดังนั้น สิ่งที่เหลือจากการผุพังในบริเวณนี้น่าจะมีองค์ประกอบคล้ายคลึงกับหินต้นกำเนิด ในขณะที่บางบริเวณที่ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบหรือมีความลาดชันน้อย กระบวนการพัดพาดังกล่าวเกิดขึ้นได้ช้า เมื่อเป็นเช่นนี้ช่วงเวลาที่มีน้ำสัมผัสกับหินจึงนานขึ้น โอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาเคมี



จึงมีมากขึ้นด้วย และอาจกล่าวได้ว่าบริเวณนี้การผุพังทางเคมีสามารถเกิดขึ้นได้มากกว่า  
กระบวนการผุพังทางกายภาพ (transport-limited denudation regimes) ด้วยเหตุผลดังกล่าว  
สิ่งที่ได้จากการผุพังในบริเวณนี้น่าจะเป็นผลจากกระบวนการผุพังทางเคมี

- การปกคลุมของพืช (vegetative cover)

ในบริเวณที่มีพืชปกคลุมจะมีผลต่อการผุพังทั้งทางกายภาพและทางเคมี โดยพืชจะยับยั้ง  
การผุพังทางกายภาพ (ยกเว้นในกรณีที่รากพืชขนานไปตามรอยแยกของหิน) พืชมีส่วนช่วย  
ทำให้เกิดการผุพังทางเคมีได้ดี โดยการดูดเอาความชื้นและสารเคมีจากดินมาใช้ เมื่อพืชตายลง  
จึงเน่าเปื่อยกลายเป็นดินและเป็นการเพิ่มกรดอินทรีย์ให้กับดินทำให้การผุพังทางเคมีเกิดได้ดีขึ้น

ผลจากกระบวนการผุพังทางเคมีแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิดหลักๆ คือ (1) สสารภายในหิน  
ที่เปลี่ยนรูปจากของแข็งไปเป็นสารละลาย หรือคอลอยด์ (สารวุ้น) (2) สสารภายในหินที่ทนทาน  
ต่อการผุพังทางเคมี ซึ่งผลที่ได้อยู่ในรูปของแข็ง (3) สสารภายในหินที่อยู่ในรูปของแข็งและ  
ถูกนำออกจากแหล่งกำเนิดก่อนที่จะเกิดการผุพังทางเคมีขึ้น และ (4) สสารภายในหินที่เมื่อผ่าน  
ปฏิกิริยาของการผุพังทางเคมีแล้วกลายเป็นผลผลิตในรูปของแข็ง

กล่าวโดยสรุป ผลที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผุพังนั้นมีทั้งในรูปของของแข็งและสารละลาย  
ซึ่งเมื่อถูกนำออกจากแหล่งกำเนิดในที่สุดก็ถูกพัดพาลงสู่ทะเลโดยตัวกลางในการพัดพาหลายชนิด  
เช่น ทางลม ทางน้ำ ชARN้ำแข็งและสิ่งมีชีวิต เป็นต้น สำหรับในประเทศไทย เช่น  
ในประเทศไทย ผลที่ได้จากการผุพังเหล่านี้เดินทางลงสู่ทะเลโดยผ่านทางแม่น้ำเป็นหลัก (Riley  
และ Chester, 1971)

เนื่องจากผลที่ได้จากกระบวนการผุพังเหล่านี้จะถูกนำลงสู่ทะเลโดยมีแม่น้ำเป็นตัวกลาง  
ที่สำคัญ ดังนั้นองค์ประกอบทางเคมีที่พบในน้ำผิวดิน (surface waters) จึงน่าจะสะท้อนให้เห็น  
ลักษณะทางธรณีวิทยาและสภาพการผุพังที่เกิดขึ้นได้ และช่วยให้เราทำนายแนวโน้มของ  
การนำธาตุปริมาณมากในรูปของสารละลายผ่านทางแม่น้ำลงสู่ทะเลที่เกิดตามธรรมชาติได้

Maybeck (1981) ได้รวบรวมข้อมูล และสามารถอธิบายลำดับความแปรผันของ  
ธาตุปริมาณมากในน้ำท่าซึ่งไหลผ่านบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำที่ประกอบด้วยชนิดของหินที่แตกต่างกันได้  
เช่น หินตะกอนเมื่อเกิดการผุพังมักให้แคลเซียมไอออน แมกนีเซียมไอออน ซัลเฟตไอออน และ  
ไบคาร์บอเนตไอออนออกมาในปริมาณมากกว่าหินที่เกิดจากการตกผลึก (crystalline rocks)  
นอกจากนี้ Maybeck(1981) ได้ประเมินอัตราการผุพังของหินบนเปลือกโลกและสรุปว่า ผลที่ได้  
จากการผุพังทางเคมีส่วนใหญ่มาจากหินตะกอน (ประมาณร้อยละ 90 ของผลที่ได้จากการผุพัง  
ทั้งหมด) โดยประมาณร้อยละ 66 มาจากการตกตะกอนของสารประกอบคาร์บอเนต (carbonate

deposit) Maybeck (1983) ได้จัดเรียงอัตราการผุพังสัมพัทธ์ของหินตะกอนแต่ละชนิดมีลำดับดังนี้ คือ หินเกลือระเหย (evaporites rocks) > หินที่ประกอบด้วยคาร์บอเนต (carbonate rocks) > หินที่เกิดจากการตกผลึก (crystalline rocks), หินดินดาน (shale) และหินทราย (sandstone) นอกจากนี้ลักษณะภูมิประเทศและสภาพภูมิอากาศยังเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการผุพังที่เกิดขึ้นด้วย

## 1.2 ธรรมิเคมีของน้ำผิวดิน

น้ำผิวดินที่พบบนผิวโลกในแต่ละบริเวณมักมีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันขึ้นกับปัจจัยของสภาพแวดล้อมในบริเวณนั้น องค์ประกอบทางเคมีของน้ำผิวดินโดยส่วนใหญ่มาจากกระบวนการผุพัง (weathering processes) ของหินบนทวีป, การย่อยสลายสารอินทรีย์ (decomposition), จากบรรยากาศ และบางบริเวณอาจมาจากสารมลพิษต่างๆ ที่เป็นผลจากการกระทำของมนุษย์ด้วย

จากการที่องค์ประกอบทางเคมีของน้ำผิวดินในแต่ละบริเวณมีความแตกต่างกัน จึงทำให้เกิดแนวคิดในการจำแนกชนิดของน้ำผิวดินที่พบบนผิวโลกโดยใช้เกณฑ์ต่างๆ กัน คือ

- องค์ประกอบทางเคมีที่ละลายอยู่ในน้ำ
- ปริมาณเกลือในน้ำ หรือ สัดส่วนของไอออน (ionic ratio) (Gibbs, 1970)
- ปริมาณแคตไอออนรวม (Total cation charge หรือ TZ<sup>+</sup>) (Stallard และ Edmond, 1983)

ชนิดของน้ำผิวดินที่จำแนกโดยใช้องค์ประกอบทางเคมีที่ละลายอยู่ในน้ำ

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของสิ่งที่ละลายอยู่ในน้ำ สามารถแบ่งน้ำผิวดินที่พบบนผิวโลกออกได้ 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ น้ำท่า (river water) และ น้ำทะเล (seawater) โดยน้ำท่ามีแคลเซียมไอออนและโบคาร์บอเนตไอออนเป็นส่วนสำคัญ (Martin และ Whitfield, 1983) ในขณะที่น้ำทะเลจะมีโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนเป็นส่วนสำคัญ (Riley และ Chester, 1971) ไอออนทั้งสองนี้เป็นองค์ประกอบในรูปสารละลายพื้นฐานที่ช่วยเพิ่มปริมาณเกลือ (total ionic content) ในน้ำทะเล อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบในรูปสารละลายทั้งแคตไอออน และ แอนไอออนปริมาณมากที่พบในน้ำท่ามีความแปรผันสูงกว่าในน้ำทะเล (ตาราง 2) ซึ่ง Maybeck (1981) ได้จัดเรียงลำดับความแปรผันขององค์ประกอบในรูปสารละลายที่พบในน้ำท่าไว้ดังนี้ คือ  $Cl^- > SO_4^{2-} > Ca^{2+} = Na^+ > Mg^{2+} > HCO_3^- > SiO_2 > K^+$

ตาราง 2 องค์ประกอบของธาตุปริมาณมากในแม่น้ำที่ไหลลงสู่มหาสมุทร (มิลลิกรัมต่อลิตร)  
(จาก Martin และ Whitfield, 1983 และ Riley และ Chester, 1971)

ธาตุ	แอตแลนติก (Atlantic)	อินเดีย (Indian)	อาร์กติก (Arctic)	แปซิฟิก (Pacific)	ค่าเฉลี่ยของ แม่น้ำทั่วโลก	น้ำทะเล
Na <sup>+</sup>	4.2	8.5	8.8	5.2	5.3	10,733
K <sup>+</sup>	1.4	2.5	1.2	1.2	1.5	399
Ca <sup>2+</sup>	10.5	21.6	16.1	13.9	13.3	412
Mg <sup>2+</sup>	2.5	5.4	1.3	3.6	3.1	1,294
Cl <sup>-</sup>	5.7	6.8	11.8	5.1	6.0	19,344
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	7.7	7.9	15.9	9.2	8.7	2,712
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	37.0	94.9	63.5	55.4	51.7	142
SiO <sub>2</sub> <sup>3-</sup>	9.9	14.7	5.1	11.7	10.7	-

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชนิดของน้ำผิวดินที่จำแนกโดยใช้ปริมาณเกลือในน้ำ หรือ สัดส่วนของไอออน (ionic ratio)

Gibbs (1970) ได้ใช้ปริมาณเกลือในน้ำหรือสัดส่วนของไอออน (ionic ratio) จำแนกชนิดของน้ำผิวดิน และสรุปว่าน้ำผิวดินนั้นตกอยู่ใต้อิทธิพลที่สำคัญ 3 ชนิด คือ

- (1) น้ำผิวดินที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของน้ำฟ้า (Precipitation- or rain-dominated end-member)  
น้ำผิวดินกลุ่มนี้มีปริมาณเกลือละลายอยู่ในน้ำน้อยมาก โดยอัตราส่วนสัมพัทธ์ของ  $\text{Na}^+(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$  และ  $\text{Cl}/(\text{Cl} + \text{HCO}_3^-)$  มีค่าสูง และพบในบริเวณที่กระบวนการผุพังของหินเกิดขึ้นน้อยและมีอัตราการระเหยต่ำ
- (2) น้ำผิวดินที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของหิน (Rock-dominated end-member)  
น้ำผิวดินกลุ่มนี้มีปริมาณเกลือละลายอยู่ในน้ำปานกลาง โดยอัตราส่วนสัมพัทธ์ของ  $\text{Na}^+(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$  และ  $\text{Cl}/(\text{Cl} + \text{HCO}_3^-)$  มีค่าต่ำ และพบในบริเวณที่กระบวนการผุพังของหินเกิดขึ้นรุนแรงและมีอัตราการระเหยต่ำ
- (3) น้ำผิวดินที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของการระเหยและการตกผลึก (Evaporation-crystallization end-member)  
น้ำผิวดินกลุ่มนี้มีปริมาณเกลือละลายอยู่ในน้ำสูงมาก โดยอัตราส่วนสัมพัทธ์ของ  $\text{Na}^+(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$  และ  $\text{Cl}/(\text{Cl} + \text{HCO}_3^-)$  มีค่าสูง พบในบริเวณที่กระบวนการผุพังของหินเกิดขึ้นรุนแรงและมีอัตราการระเหยสูง

ในการจำแนกน้ำผิวดินโดยใช้ปริมาณเกลือในน้ำหรือสัดส่วนของไอออนข้างต้น Maybeck (1981) เชื่อว่าน้ำผิวดินถึงร้อยละ 98 เป็นพวกที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของหิน (โดยอีกเพียงร้อยละ 2 อยู่ภายใต้อิทธิพลน้ำฟ้า และอิทธิพลของการระเหยและการตกผลึก) โดยให้เหตุผลว่า แม่น้ำส่วนใหญ่ไหลผ่านหินที่เกิดกระบวนการผุพังแตกต่างกัน ดังนั้น อิทธิพลขององค์ประกอบทางเคมีของหินต้นกำเนิดจึงเป็นปัจจัยหลักที่ควบคุมความเข้มข้นของธาตุปริมาณมาก (major elements) ที่ละลายอยู่ในน้ำ

อย่างไรก็ตาม การจำแนกน้ำผิวดินของ Gibbs (1970) ยังไม่สามารถอธิบายการเกิดของน้ำผิวดินที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของกระบวนการระเหยและการตกผลึก ที่พบในบางบริเวณได้ ต่อมา Feeth (1971) ได้พบว่าน้ำผิวดินที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของการระเหยและการตกผลึกไม่ค่อยพบในแหล่งน้ำที่มีน้ำไหลตลอดปี น้ำผิวดินชนิดนี้จึงเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของน้ำที่มีแคลเซียม ไอออนและไบคาร์บอเนตไอออน โดยมีอัตราการระเหยเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับปริมาณเกลือที่เพิ่มขึ้น การระเหยมีส่วนทำให้แคลเซียมไบคาร์บอเนตเกิดการตกตะกอน หรือบางครั้งอาจมีแคลเซียมซัลเฟตตกตะกอนร่วมด้วย แต่ผลจากการศึกษาก็ยังไม่สามารถบอกถึงอิทธิพลระหว่างกระบวนการระเหยกับปริมาณเกลือที่ได้รับจากน้ำใต้ดินที่พบในบริเวณนั้น ได้อย่างชัดเจน

ชนิดของน้ำผิวดินที่จำแนกโดยใช้ปริมาณแคตไอออนรวม (Total cation charge หรือ  $TZ^+$ )

จากแนวความคิดในการจำแนกน้ำผิวดินข้างต้น พบว่า กระบวนการผุพังทางเคมีของหิน เป็นปัจจัยหลักที่ควบคุมองค์ประกอบทางเคมีของน้ำผิวดิน เพื่อเป็นการแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์อย่างชัดเจนระหว่างลักษณะทางธรณีวิทยากับองค์ประกอบทางเคมีของน้ำที่พบในพื้นที่ลุ่มน้ำ Stallard และ Edmond (1981, 1983 และ 1987) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของสภาพการผุพังและสภาพทางธรณีวิทยาที่มีผลต่อปริมาณของธาตุปริมาณมากในรูปสารละลายในบริเวณลุ่มน้ำอะเมซอนของทวีปอเมริกาใต้ ซึ่งมีสภาพทางธรณีวิทยาดังรูป 2 จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคตไอออนรวม (ปริมาณแคตไอออนรวมเป็นตัวแทนของความเข้มข้นของแคตไอออนปริมาณมาก 4 ชนิด คือ โซเดียมไอออน โปแตสเซียมไอออน แมกนีเซียมไอออน และแคลเซียมไอออน) กับลักษณะทางธรณีวิทยาและสัณฐานวิทยาที่พบบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำทำให้ Stallard และ Edmond (1983) สามารถจำแนกชนิดของน้ำตัวอย่างที่พบเป็น 4 กลุ่ม คือ

(1) แม่น้ำที่มีความเข้มข้นของแคตไอออนรวมอยู่ในช่วง  $0 < TZ^+ < 200 \mu\text{eq/L}$  ที่ไหลผ่านวัตถุที่ผ่านการผุพังที่รุนแรงมากที่สุด โดยเกิดขึ้นในบริเวณที่การพัดพาถูกจำกัด (เช่น บริเวณที่อัตราการผุพังสูงกว่าอัตราการพัดพา) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีชั้นดินถูกพัฒนาจนเกิดเป็นชั้นหนามาก แม่น้ำเหล่านี้มีปริมาณซิลิเกตสูงเมื่อเทียบกับธาตุปริมาณมากชนิดอื่น และมีอัตราส่วนของแคตไอออนคล้ายคลึงกับหินต้นกำเนิด

(2) แม่น้ำที่มีความเข้มข้นของแคตไอออนรวมอยู่ในช่วง  $200 < TZ^+ < 450 \mu\text{eq/L}$  ที่ไหลผ่านลักษณะภูมิประเทศที่ประกอบด้วยหินซิลิเกตเป็นส่วนใหญ่ และมีปริมาณซิลิกาสูงเมื่อเทียบกับธาตุปริมาณมากในรูปสารละลายชนิดอื่นๆ ดังนั้น ปริมาณแคตไอออนรวมที่มีสูงสุดในน้ำผิวดินที่พบในกลุ่มนี้ มักพบในแม่น้ำที่ไหลผ่านหินที่ประกอบด้วยซิลิเกตที่เกิดการผุพังแบบจำกัด เช่น บริเวณที่มีอัตราการพัดพาวัตถุที่เกิดจากการผุพังสูงกว่าอัตราการเกิด เมื่อทำการเปรียบเทียบกับองค์ประกอบของหินที่พบในบริเวณลุ่มน้ำอะเมซอน พบว่า แม่น้ำเหล่านี้มีแนวโน้มที่แคตไอออนในกลุ่มโซเดียมไอออนสูงกว่าโปแตสเซียมไอออน และแคลเซียมไอออนสูงกว่าแมกนีเซียมไอออน

(3) แม่น้ำที่มีความเข้มข้นของแคตไอออนรวมอยู่ในช่วง  $450 < TZ^+ < 3,000 \mu\text{eq/L}$  ที่ไหลผ่านบริเวณที่เป็นตะกอนทะเล (marine sediment) หรือ ชั้นตะกอนสีแดง (red bed) ความเข้มข้นของแคตไอออนรวมในแม่น้ำมีปริมาณสูงขึ้น เพราะแม่น้ำเหล่านี้ไหลผ่านบริเวณที่ประกอบด้วยหินในกลุ่มคาร์บอนเนต, หินดินดานที่ขาดออกซิเจน (reduced shale) และ หินเกลือระเหยเล็กน้อย น้ำในแม่น้ำเหล่านี้จึงมีความเข้มข้นสัมพัทธ์ของแคลเซียมไอออน

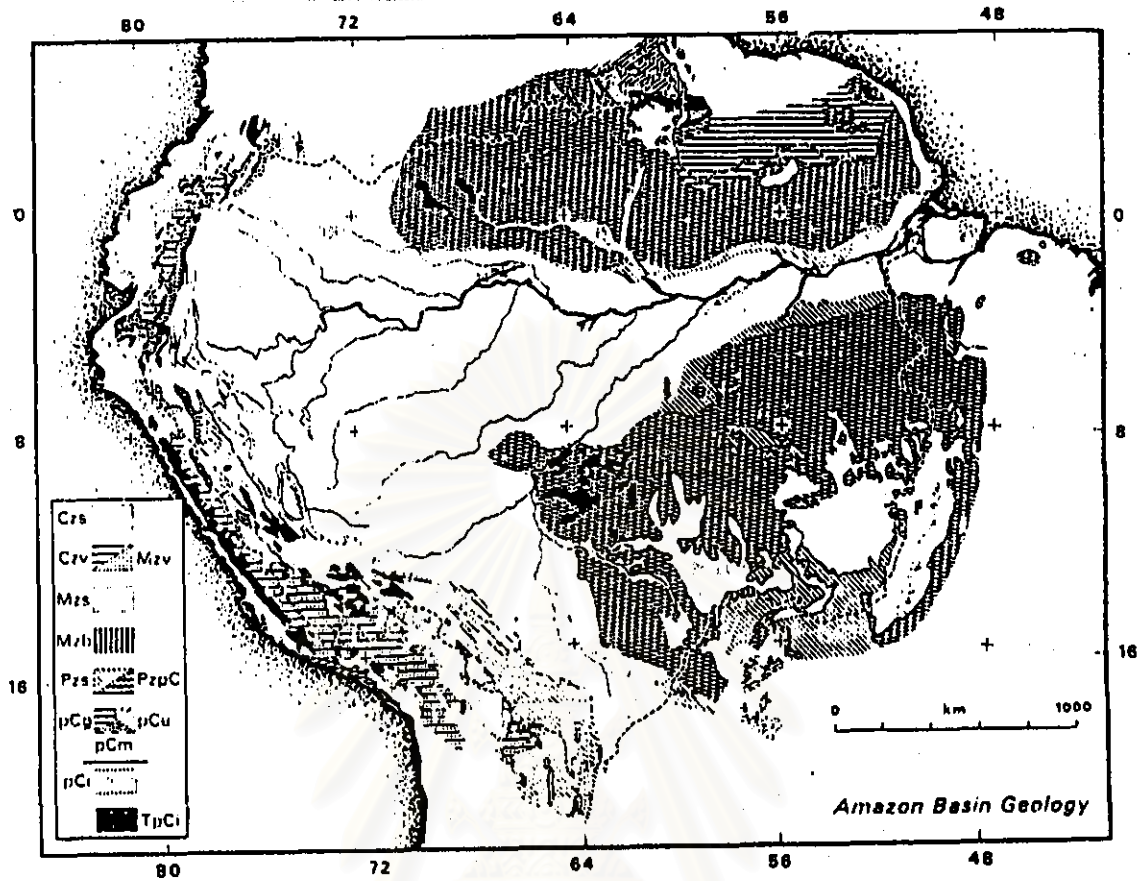
แมกนีเซียมไอออน และ โบคาร์บอเนตไอออนสูง และสำหรับในแม่น้ำที่ไหลผ่านบริเวณที่เป็น หินดินดานดังกล่าวนี้ (หินเกลือระเหยแทรกอยู่เพียงเล็กน้อย) มักพบปริมาณซัลเฟตไอออนสูงด้วย

(4) แม่น้ำที่มีความเข้มข้นของแคดไอออนรวมอยู่ในช่วง  $TZ^+ > 3,000 \mu\text{eq/L}$  ที่ไหลผ่าน บริเวณที่เป็นแหล่งสะสมของหินเกลือระเหย จึงมีปริมาณโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนสูง

การศึกษาของ Stallard และ Edmond (1981, 1983 และ 1987) ทำให้ได้ข้อมูลพื้นฐาน ขององค์ประกอบทางเคมีในรูปสารละลายในน้ำผิวดินบริเวณลุ่มน้ำอะเมซอน ซึ่งแสดงให้เห็นถึง ความสัมพันธ์ของธาตุปริมาณมากที่พบในพื้นที่ลุ่มน้ำในแต่ละบริเวณ อย่างไรก็ตาม การศึกษา ในลุ่มน้ำอะเมซอนนี้ยังไม่มีผู้ยืนยันว่าสามารถนำมาใช้กับพื้นที่ลุ่มน้ำอื่นได้ ด้วยเหตุนี้ จึงได้นำ แนวความคิดดังกล่าวมาทำการศึกษาในพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกง



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 2 สภาพทางธรณีวิทยาของกลุ่มน้ำอะเมซอน ทวีปอเมริกาใต้

สัญลักษณ์ที่ใช้

- |      |   |
|------|---|
| Czs  | Cenozoic sedimentary rock                 |
| Czv  | Cenozoic volcanic rock                    |
| Mzv  | Mesozoic volcanic rock                    |
| Mzs  | Mesozoic sediments                        |
| Mzb  | Mesozoic basalt                           |
| Pzs  | Paleozoic sediments                       |
| PzpC | Paleozoic and/or Precambrian metamorphics |
| pCg  | Precambrian granitic rock                 |
| pCu  | Precambrian unmetamorphic rock            |
| pCm  | Precambrian metamorphic rock              |
| pCi  | Intrusive rock                            |

### 1.9 วัตถุประสงค์และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

#### วัตถุประสงค์

1. จำแนกชนิดของน้ำผิวดินที่พบในกลุ่มน้ำบางปะกงตามปริมาณแคดไอออนรวม
2. บอกถึงอิทธิพลของสภาพทางธรณีวิทยาและสภาพการศุพังของกลุ่มน้ำบางปะกงที่มีผลต่อปริมาณแคดไอออนรวมในแม่น้ำ

#### สมมุติฐาน

ธาตุปริมาณมากในรูปสารละลายที่แม่น้ำบางปะกงนำลงสู่ทะเลนั้น น่าจะถูกควบคุมโดยกระบวนการศุพังทางเคมีที่เกิดขึ้นภายในกลุ่มน้ำบางปะกง

#### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบแนวโน้มของการพัฒนาธาตุปริมาณมากในรูปสารละลายผ่านทางแม่น้ำบางปะกงลงสู่อ่าวไทย
2. สามารถบอกถึงอิทธิพลที่ควบคุมการพัฒนาธาตุปริมาณมากในรูปสารละลายที่แม่น้ำบางปะกงไหลลงสู่อ่าวไทย