

การตรวจเอกสาร

1. นิยามและความหมาย

1.1 คำจำกัดความทั่วไป

มลพิษ หรือ มลภาวะ (pollution) หมายถึง ของเสีย วัตถุอันตรายและมลสารอื่นๆ รวมทั้งกากตะกอนหรือสิ่งตกค้างจากสิ่งเหล่านั้นที่ถูกปล่อยทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษหรือที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ ซึ่งก่อให้เกิดหรืออาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมหรือภาวะที่เป็นพิษภัยอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนได้และให้หมายความรวมถึง รังสี ความร้อน แสง กลิ่น เสียงและความสั่นสะเทือน หรือเหตุรำคาญอื่นๆ ที่เกิดหรือถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดมลพิษ (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

ภาวะมลพิษ (pollution situation) หมายถึง สภาวะที่สิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงหรือปนเปื้อนโดยมลพิษ ซึ่งทำให้คุณภาพของสิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรมลง เช่น มลพิษทางน้ำ มลพิษทางอากาศ และมลพิษดิน (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

มลพิษของน้ำหรือน้ำเสีย (waste water) คือ น้ำที่มีสิ่งแปลกปลอมเจือปนอยู่ซึ่งมีผลทำให้น้ำนั้นเสื่อมคุณภาพ หรือมีคุณสมบัติเปลี่ยนจากเดิมตามธรรมชาติ โดยเปลี่ยนแปลงไปในทางที่เลวลงจนทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากแหล่งนั้นได้ลดลง หรือใช้ไม่ได้เลย (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2545)

ภาระมลพิษ (pollutants loading) หมายถึง ปริมาณการปนเปื้อนของมลสารที่ระบายออกมาจากแหล่งกำเนิดมลพิษที่ต่างกัน ซึ่งมีผลหรืออาจมีผลก่อให้เกิดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมได้ (สิทธิชัย, 2541)

คุณภาพน้ำ หมายถึง ความเหมาะสมของน้ำเพื่อใช้ในกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นแม่น้ำ ลำธาร ทะเล ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ ตลอดจนแหล่งน้ำใต้ดิน โดยมีคุณสมบัติทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ (เกษม, 2536) ทั้งนี้ดัชนีคุณภาพน้ำต่างๆ ต้องสามารถตรวจวัดได้

ในเชิงปริมาณด้วยกระบวนการวิทยาศาสตร์ซึ่งเป็นที่ยอมรับและน่าเชื่อถือ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถแสดงค่าเป็นตัวเลขตามหลักวิทยาศาสตร์ และใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน ในการศึกษาแหล่งกำเนิดมลพิษและปัญหาเกี่ยวกับมลพิษทางน้ำ

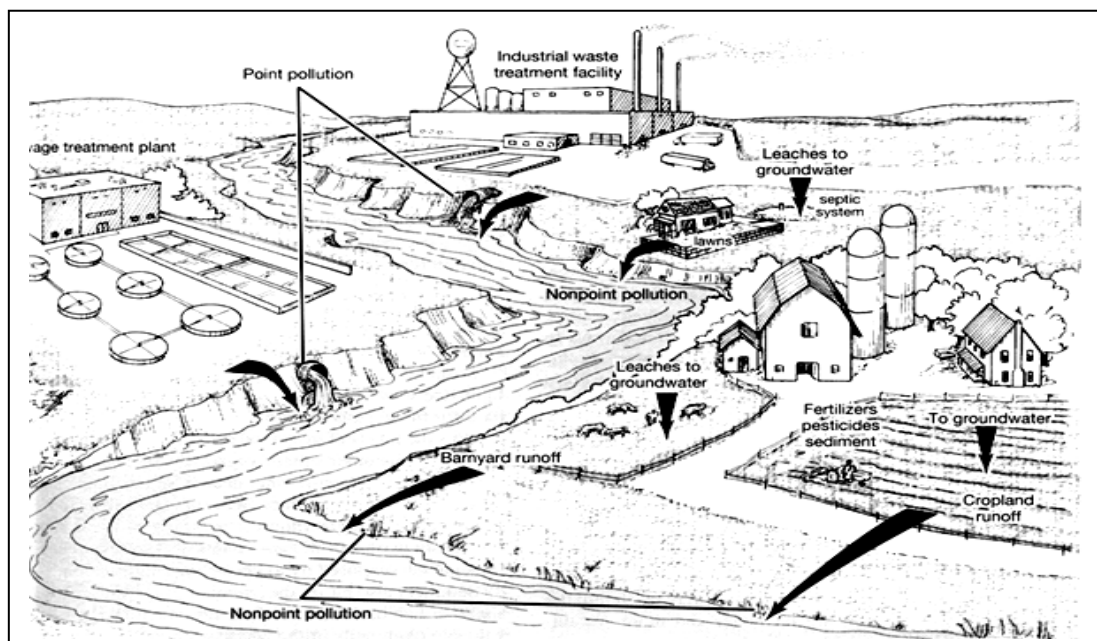
ลุ่มน้ำ หมายถึง หน่วยพื้นที่หนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการจัดการน้ำโดยเฉพาะมีขนาดความต้องการของแต่ละบุคคล และประเภทของการศึกษา

นันทนา (2528) กล่าวว่า แหล่งกำเนิดมลพิษ หมายถึง ชุมชน โรงงาน อุตสาหกรรม อาคาร สิ่งก่อสร้าง ยานพาหนะ สถานที่ประกอบการ หรือสิ่งอื่นใด ซึ่งเป็นแหล่งที่มาของมลพิษ โดย จำแนกประเภทของแหล่งที่มาของมลพิษตามลักษณะของการใช้น้ำ โดยแบ่งเป็น แหล่งชุมชน การเกษตร การทำแร่ การคมนาคม และอื่นๆ ที่ทำให้คุณภาพของน้ำลดลง ทั้งนี้ กัณธีร์ (2541) จำแนกแหล่งกำเนิดมลพิษออกเป็น 2 ประเภท (ภาพที่ 1) คือ

1.2 แหล่งกำเนิดมลพิษที่มีจุดกำเนิดแน่นอน (point source)

แหล่งกำเนิดมลพิษที่มีจุดกำเนิดแน่นอน (point source) เป็นแหล่งกำเนิดที่มีการปล่อยสารมลพิษลงไปสู่แหล่งน้ำที่รองรับ ณ ตำแหน่งที่เฉพาะเจาะจง แบ่งเป็นประเภทต่างๆ ดังนี้

1.2.1 น้ำทิ้งจากชุมชน (sewage) น้ำเสียจากบ้านพักอาศัย อาคาร ร้านค้า ตลาด โรงมหรสพ โรงแรม โรงอาหาร สำนักงานต่างๆ เป็นต้น ซึ่งเกิดจากกิจกรรมต่างๆ ในการดำรงชีวิตของมนุษย์ เช่น การชำระร่างกาย การซักเสื้อผ้า การประกอบอาหาร การขับถ่าย ฯลฯ โดยสิ่งปนเปื้อนที่อยู่ในน้ำทิ้งประเภทนี้ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร สบู่ ผงซักฟอก อุจจาระ ปัสสาวะ เป็นต้น (เสริมพล และ ไชยฤทธิ์, 2524)



ภาพที่ 1 ประเภทของแหล่งกำเนิดมลพิษ

ที่มา: Palmer (1970)

1.2.2 น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม (industrial wastewater) ได้แก่ น้ำทิ้งที่เกิดจากขบวนการต่างๆ ในขบวนการอุตสาหกรรม เช่น การล้างวัตถุดิบ การล้างเครื่องจักร การระบายความร้อน เป็นต้น สิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียประเภทนี้ประกอบด้วยสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ โดยขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้น้ำ และชนิดของโรงงานอุตสาหกรรม (เสริมพล และ ไชยยุทธ์, 2524)

1.3 แหล่งกำเนิดมลพิษที่มีจุดกำเนิดไม่แน่นอน (non-point source)

แหล่งกำเนิดมลพิษที่มีจุดกำเนิดไม่แน่นอน (non-point source) เป็นแหล่งกำเนิดที่สารมลพิษมีการแพร่กระจายโดยไม่ทราบตำแหน่งที่ปล่อยออกมาแน่นอน เช่น น้ำไหลบ่าหน้าดิน ซึ่งไหลผ่านพื้นที่ต่างๆ ทำให้เกิดการปนเปื้อนของดิน ตะกอน หรือสารเคมีอื่นๆ น้ำทิ้งที่เกิดจากกิจกรรมทางการเกษตร ได้แก่ การเพาะปลูกพืช การเลี้ยงสัตว์ การประมง ล้วนมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่เกิดจากมูลสัตว์ การใช้ปุ๋ย การใช้ยาปราบศัตรูพืช การปล่อยน้ำเสียออกจากบ่อเลี้ยงกุ้ง เป็นต้น (เกษม, 2543)

2. โลหะหนัก

2.1 คุณสมบัติทั่วไป

ธาตุต่างๆ ในโลกเท่าที่ค้นพบในปัจจุบัน ซึ่งมีทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และที่มนุษย์ สังเคราะห์ขึ้นรวมกันแล้ว มีประมาณ 105 ธาตุ และในจำนวนนี้มีส่วนที่เป็นโลหะหนัก (heavy metal) อยู่ 68 ธาตุ มีเลขอะตอม อยู่ระหว่าง 23-92 ภายในคาบที่ 4-7 ของตารางธาตุ (Encyclopedia Britannica, 1981)

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำ 5 เท่าขึ้นไป มีลักษณะเป็นของแข็ง (ยกเว้นปรอท ที่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ) คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะหนัก คือ นำไฟฟ้า และความร้อนได้ดี มีความมันวาว เหนียว สามารถนำมาตีแผ่เป็นแผ่นบางๆ ได้ และสะท้อนแสงได้ดี ส่วนคุณสมบัติทางด้านเคมีที่สำคัญของ โลหะหนัก คือมีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า (VanNostrand's Scientific Encyclopedia, 1976) ดังนั้นโลหะหนักจึงสามารถที่จะรวมตัวกับสารอื่นๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อน (complex compound) ได้หลายรูปที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ (organometallic compound) ซึ่งสามารถที่จะถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตได้โดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร (food chain) ทำให้เกิดพิษต่อร่างกาย (Logan and Feltz, 1985) โลหะหนักหลายชนิด มีคุณสมบัติเป็นอันตรายร้ายแรงเมื่อเข้าไปสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตซึ่งอาจมีผลทำให้สิ่งมีชีวิตพิการหรือตายได้ และจากการศึกษาของ นันทนา (2528) พบว่า การสะสมความเป็นพิษของโลหะหนักจะเพิ่มขึ้นตามลำดับชั้นของระบบห่วงโซ่อาหาร (biological magnification) และจะแพร่กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อมโดยปนเปื้อนในดิน น้ำ ดินตะกอน อากาศ ผักและผลไม้ จากนั้นจะเข้าสู่มนุษย์

2.2 แหล่งกำเนิดของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม แหล่งกำเนิดของโลหะหนักที่พบในสิ่งแวดล้อมมาจาก แหล่งต่างๆ ดังนี้ (การดี, 2541)

2.2.1 การชะล้างจากแผ่นดิน โลหะหนักที่ได้จากแหล่งๆ นี้ ถือว่าเป็นค่า background level ของบริเวณนั้นๆ ซึ่งพบว่าปริมาณใดเป็นแหล่งแร่ของโลหะหนักใด ก็จะพบว่าน้ำในบริเวณนั้นมีโลหะหนักชนิดนั้นๆ สูงด้วย

2.2.2 บรรยากาศ โลหะหนักที่แพร่กระจายอยู่ในบรรยากาศ หรือที่ถูกดูดซับอยู่บนอนุภาคของแข็งที่แขวนลอยในบรรยากาศรอบๆ ผิวโลก จะสามารถเคลื่อนย้ายลงสู่แหล่งน้ำบนผิวโลกได้เมื่อเกิดฝนตก หรือ หิมะ โดยจะถูกชะล้างลงมาพร้อมๆ กับฝน หรือหิมะ (ปรางทิพย์, 2543) พบว่า 1 ใน 5 อนุภาคของสารที่ลอยอยู่ในอากาศ เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ และส่วนมากแล้วจะมีโลหะหนักรวมอยู่ด้วย เพราะโลหะหนักเหล่านี้เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง และโรงงานที่เกี่ยวข้องกับเหล็กหรือโลหะอย่างอื่นๆ

2.2.3 อุตสาหกรรมการถลุงแร่ และโลหะ ในระหว่างการถลุงแร่ จะมีโลหะหนักปนออกมากับน้ำทิ้งด้วย

2.2.4 การใช้โลหะ สารประกอบโลหะ การโลหะในอุตสาหกรรม เช่น ใช้เกลื่อของโครเมียมในการฟอกหนัง ใช้สังกะสีทำท่อเป็นต้น ก็เป็นแหล่งที่มาของโลหะหนักสู่แหล่งนั้น

2.2.5 การเผาไหม้เชื้อเพลิง การผลิตซีเมนต์ และอิฐบล็อก เชื้อเพลิงประเภทถ่านหิน น้ำมัน จะมีโลหะหนักบางตัวสูง เช่น อาร์เซนิก สังกะสี ทองแดง นิเกิล ในการผลิตซีเมนต์ พบว่ามีการปล่อยโลหะหนัก สังกะสี ตะกั่ว และอาร์เซนิกด้วย นอกจากนั้นยังพบว่าบริเวณรอบๆ ที่มีสิ่งก่อสร้างประเภทอิฐ จะมีโลหะหนักสะสมอยู่ค่อนข้างมาก

2.2.6 โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น พบอูมิเนียม จากโรงงานทำภาชนะพวกอูมิเนียม และโรงงานอัลลอยด์ สารหนูจากโรงงานผลิตสารฆ่าแมลง แคดเมียมจากโรงงานชุบโลหะ โรงงานผลิตเม็ดพลาสติก ตะกั่วจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่ โรงงานสี และโรงงานกลั่นน้ำมัน เงินจากโรงงานชุบโลหะ และและ โรงงานอัลลอยด์ เป็นต้น

2.2.7 ขวดยานพาหนะ ซึ่งเป็นแหล่งใหญ่ ในการเกิดการกระจายตัวของตะกั่วในบรรยากาศในแหล่งชุมชน

2.2.8 การรั่วออกจากขยะต่างๆ การรั่วของโลหะหนักจากขยะจะมีผลมากต่อแหล่งน้ำบนบก หรือบริเวณชายฝั่งทะเล

จะเห็นว่าของเสียที่เป็นแหล่งปนเปื้อนของโลหะหนักไม่ว่าจะเกิดขึ้นมาจากกิจกรรมใดๆ ในที่สุดก็จะถูกถ่ายเทลงสู่แหล่งน้ำทำให้ปริมาณโลหะหนักในน้ำเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ และโดยที่โลหะหนักรวมทั้ง สารประกอบของโลหะหนักล้วนมีความคงทน สามารถตกค้างอยู่ในสภาวะแวดล้อมต่างๆ ได้เป็นเวลานาน อีกทั้งยังสามารถรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ได้ดี และมีความเสถียรยิ่งขึ้นด้วย ดังนั้นอันตรายที่น่าวิตก คือ การถ่ายเทของสารพิษโลหะหนัก ที่สะสมอยู่ในห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิต โดยพบว่า ความเข้มข้นของโลหะหนักในเนื้อเยื่อ จะเพิ่มขึ้นตามลำดับของห่วงโซ่อาหาร ซึ่งมนุษย์ เป็นผู้บริโภคขั้นสูงสุด จึงต้องเสี่ยงต่อพิษภัยของโลหะหนักมากขึ้น

2.3 สมบัติทั่วไป และความเป็นพิษของโลหะหนักที่ทำการศึกษา

2.3.1 พรอท

1) การบ่งลักษณะและคุณสมบัติ พรอทเป็นโลหะสีขาวคล้ายเงินมีชื่อภาษาอังกฤษว่า mercury มีสัญลักษณ์ทางเคมี Hg เป็นธาตุในหมู่ 4B มีเลขอะตอม 80 เลขมวล 200.59 วาเลนซ์อิเล็กตรอน 1,2 และมี 4 ไอโซโทป มีจุดหลอมเหลว -38.9 องศาเซลเซียส จุดเดือด 356.6 องศาเซลเซียส มีความถ่วงจำเพาะ 13.59 ที่ 20 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 13.596 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 0 องศาเซลเซียส (Hawley, 1977) เป็นโลหะชนิดเดียวเท่านั้นที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องของพรอทที่บริสุทธิ์ พรอทโดยทั่วไปจะไม่เกาะติดวัตถุที่สามารถที่จะกลิ้งไปกลิ้งมาได้อย่างสะดวก ละสามารถที่จะแตกกระจายออกเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยได้อย่างง่ายดาย ยกแก่การที่จะรวมให้เป็นเม็ดใหญ่อีกครั้งหนึ่ง มีคุณสมบัติในการสะท้อนแสงได้ดี และเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี พรอทแบ่งออกได้เป็นหลายรูปแบบ คือ พรอทที่อยู่ในรูปของโลหะโดยมากเป็นพวกที่บริสุทธิ์ไม่ผสมกับสารอื่น ส่วนพรอทที่อยู่ในรูปของสารประกอบ อนินทรีย์ ได้แก่ เมอร์คิวรัสคลอไรด์ (mercurous chloride) และเมอร์คิวริกคลอไรด์ (mercuric chloride) พรอทที่อยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ คือ สารประกอบอัลคิลของพรอท (alkyl mercurial) สารประกอบอัลคอกซีของพรอท (alkoxy mercurial) และสารประกอบอะโรมาติกของพรอท (aryl mercurials) เป็นต้น

2) แหล่งกำเนิด แหล่งกำเนิดเกิดจากการพังทลายการสลายตัวของหินและแร่ เนื่องจากการระเบิดของภูเขาไฟ การชะล้างของน้ำฝน การไหลบ่าของน้ำหน้าดินต่อวัตถุที่มีพรอทเป็นองค์ประกอบ โดยรูปที่พบมากที่สุดคือ พรอทซัลไฟด์ (HgS) ที่เรียกว่าสินแร่จินนาบาร์

โคโรราคอยท์ คาร์โบเนต เป็นต้น สารประกอบของปรอทแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ สารประกอบอินทรีย์ และสารประกอบอนินทรีย์ ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังแสดงใน (ภาพที่ 2) สารประกอบอนินทรีย์มักอยู่ในรูปของธาตุปรอท (elemental mercury) สารประกอบของเมอร์คิวรัสไอออน (mercurus ion : Hg^+) หรือเมอร์คิวริกไอออน (mercuric ion : Hg^{2+}) ส่วนสารปรอทอินทรีย์สามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อยคือ กลุ่มของเอริล (aryl) และอัลคิล (alkyl) โดยกลุ่มของเอริลเมอร์คิวรี (arylmercury) จะมีความคงทนอยู่ในธรรมชาติมากกว่า ส่วนกลุ่มของอัลคิลเมอร์คิวรี (alkylmercury) มักมีความเป็นพิษสูงต่อสิ่งมีชีวิต และมีพิษมากกว่ากลุ่มเอริลเมอร์คิวรี หรือ สารประกอบอินทรีย์อื่นๆ ของสารปรอท แหล่งแร่ปรอทในธรรมชาติพบทั่วไป ยกเว้นทวีปแอนตาร์กติกาพบปริมาณมาก เช่น almaden ประเทศสเปน idrija ประเทศยูโกสลาเวีย และ monte amiata ประเทศอิตาลี นอกจากนี้พบอีกเล็กน้อยในประเทศเปรู สหรัฐอเมริกา เม็กซิโก จีน และญี่ปุ่น ในธรรมชาติพบปรอทในหินภายใต้เปลือกโลกประมาณ 0.01-20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณปรอทโดยเฉลี่ยมีประมาณ 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ยังตรวจพบปรอทในดิน ในหินอัคนีพบปริมาณปรอทโดยเฉลี่ย 0.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในหินปูนเท่ากับ 0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในหินตะกอนจะพบปริมาณปรอทสูงกว่าที่พบในหินอัคนีหินจำพวก fossil deposition มีปรอทประมาณ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในถ่านหิน bituminous coals พบปริมาณปรอทเท่ากับ 1.25×10^{-4} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ใน anthracite coals เท่ากับ 1.2-2.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ใน tar พบปรอทประมาณ 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยปริมาณปรอทแตกต่างกันตามชนิดของ coal, peat และ shale การแตกสลายตัวของหินเนื่องจากการหลอมละลาย การแตกสลายของหินเนื่องจากการระเบิดของภูเขาไฟ การชะล้างปรอทในบรรยากาศโดยหยาดน้ำฟ้า (precipitation) เป็นต้น ทำให้ปรอทปะปนอยู่ในสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นไปตามวัฏจักรธรรมชาติและปริมาณน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณปรอทที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์

3) การนำมาใช้ประโยชน์ กิจกรรมของมนุษย์ที่เกี่ยวข้องกับปรอทได้แก่ การทำเหมืองแร่ การเผาไหม้เชื้อเพลิง การนำถ่านหินมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมัน การหลอมแยกทองแดงออกจากสินแร่ต่างๆ เป็นต้น ปริมาณปรอทที่มีในบรรยากาศเกิดจากกิจกรรมเหล่านี้ประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์ โรงงานอุตสาหกรรมเป็นแหล่งที่ทำให้เกิดแพร่กระจายของปรอทไปสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณค่อนข้างสูง ซึ่งมากกว่ากิจกรรมอื่นๆ ของมนุษย์ได้แก่

(1) อุตสาหกรรมเหมืองแร่ แร่ปรอท แร่ทองคำ แร่ทองแดง แร่ตะกั่ว และแร่สังกะสี ซึ่งสินแร่ของโลหะเหล่านี้มีปริมาณปรอทปะปนโดยเฉลี่ยประมาณ 3-20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีรายงานว่าบริเวณเหมืองแร่ชินนabar จะมีไอปรอทกระจายอยู่ทั่วไป ซึ่งไอปรอทเหล่านี้จะถูกชะล้างจากบรรยากาศโดยหยาดน้ำฟ้า คาดว่ามีถึง 100,000 ตัน

(2) อุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์ ด้านเกษตรกรรม ปรอทได้ถูกนำมาใช้เป็นยาฆ่าเชื้อรา โดยใช้เคลือบเมล็ดพันธุ์พืชปราบศัตรูพืช เนื่องจากสารประกอบของปรอททั้งสาร อนินทรีย์ และอินทรีย์เป็นพิษอย่างแรง

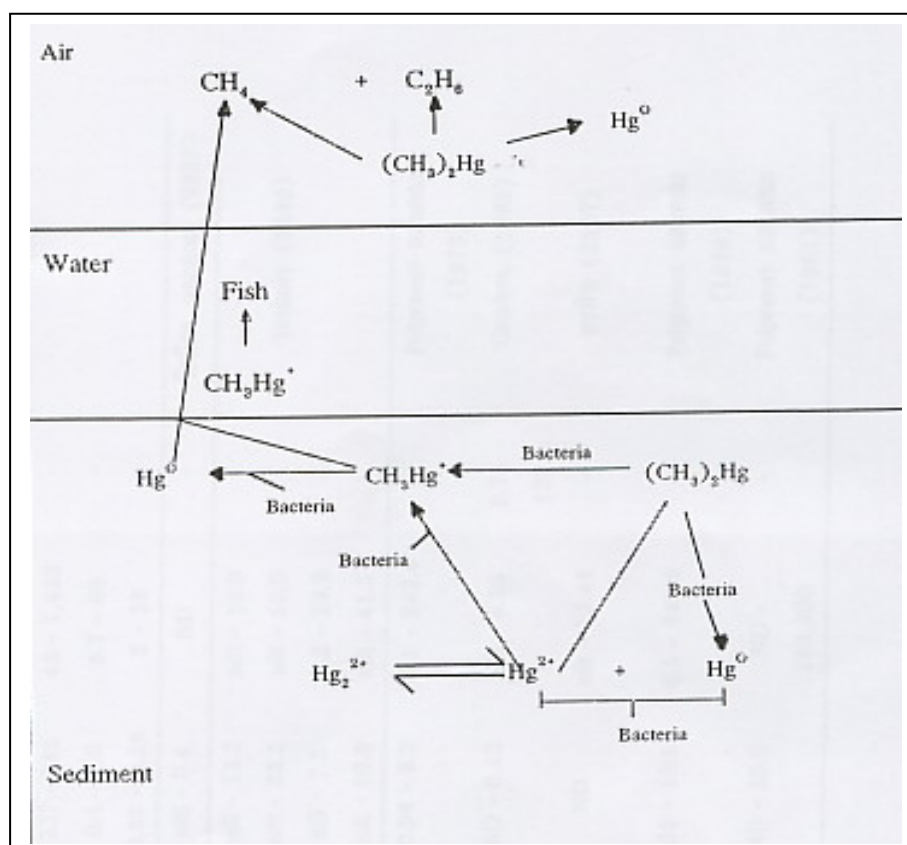
(3) อุตสาหกรรมโซดาไฟโดยมีโรงงาน chlor-alkali ใช้ปรอทมากที่สุด มีรายงานว่าโรงงานที่ผลิตคลอรีนวันละ 100 ตันจะทิ้งปรอทกระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้ถึง 18 พันปอนด์

(4) เชื้อเพลิง มีรายงานว่าในแต่ละปีได้มีการทิ้งปรอททั่วทั้งโลกมากกว่า 6 ล้านปอนด์ จากการใช้เชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว เนื่องจากในน้ำมันดิบมีปริมาณปรอทประมาณ 1.9-21 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ถ้ามีการใช้ถ่านหินจากกระบวนการเผาไหม้ก็จะมี free mercury และ mercuric sulfide ออกมากับ coal tars นั่นคือ ยังมีการใช้ถ่านหินมากเท่าใดย่อมส่งผลทำให้ปริมาณปรอทออกสู่สิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น

(5) อุตสาหกรรมอื่นๆ ใช้ทำเทอร์โมมิเตอร์ และบาโรมิเตอร์ปรอท และได้ถูกนำมาใช้ในรูปแบบผสมกับโลหะอื่นๆ เรียกว่า (amalgam) ใช้ในการอุดฟัน และใช้เป็นตัวเร่ง (catalyst) ในอุตสาหกรรม เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมผลิตพลาสติก PVC อุตสาหกรรมทำสี อุตสาหกรรมไฟฟ้า ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ เพื่อป้องกันไม่ให้กระดาษเกิดการยุ่ยง่าย อุตสาหกรรมถ่านไฟฉายแบบอัลคาไล เป็นต้น ทั้งหมดรวมกันได้ใช้ปริมาณปรอทมากกว่าในอุตสาหกรรมอื่นๆ

4) การแพร่กระจายและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม การแพร่กระจายของปรอทในสิ่งแวดล้อม เกิดจากการสลายตัวของสินแร่ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ และกิจกรรมของมนุษย์มีลักษณะของการเกิด การแพร่กระจาย และได้มีการทิ้งสารปรอทประมาณ 4,000-5,000 ตัน ผ่านทางน้ำ และในที่สุดลงสู่มหาสมุทรทุกปีในน้ำฝนปริมาณ 1 ลบ.ม.จะมีปริมาณปรอทเจือปน 0.50-48 ไมโครกรัม ค่าเฉลี่ย 0.2 ไมโครกรัม แหล่งน้ำธรรมชาติทั่วไป มีปริมาณปรอทต่ำกว่า 0.1 ไมโครกรัมต่อลิตร ส่วนเขตอุตสาหกรรมมีค่าสูงกว่า 5 ไมโครกรัมต่อลิตร แหล่งน้ำใต้ดินมักมีปริมาณปรอทสูงกว่าแหล่งน้ำผิวดิน

การแพร่กระจายและการเปลี่ยนแปลงในน้ำ รูปแบบของสารปรอทที่ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำมีอยู่ทั้งหมด 5 รูปดังนี้ divalent mercury (Hg^{2+}), metallic mercury (Hg^0) phenyl mercury ($\text{C}_6\text{H}_5\text{Hg}^+$), methylmercury (CH_3Hg^+) และ alkoxyalkylmercury ($\text{CH}_3\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2\text{Hg}^+$) ในสถานะที่มีการลดออกซิเจน (reducing condition) ปรอทในน้ำจะถูกเปลี่ยนให้เป็นปรอทซัลไฟด์ (HgS) ซึ่งเป็นปรอทในรูปที่ละลายน้ำได้น้อยมากหรือไม่ละลายเลย



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ของสารประกอบอินทรีย์ และสารประกอบอนินทรีย์ของสารปรอท
ที่มา: USGS (1970)

อย่างไรก็ดี ปรอทซัลไฟด์อาจถูกออกซิไดส์ ได้โดยเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) และมีโอกาสละลายน้ำออกมาได้อีก ในแหล่งน้ำที่มีการขาดออกซิเจนนั้น บริเวณก้นแหล่งน้ำจะมีไฮโดรเจนซัลไฟด์มาก ดังนั้นปฏิกิริยาการเปลี่ยนปรอทให้เป็นซัลไฟด์ จึงมีโอกาสเกิดขึ้นได้มากกว่าแหล่งน้ำที่มีออกซิเจนอยู่ในระดับปกติ

การแพร่กระจายและการเปลี่ยนแปลงในดินตะกอน Warren *et al.* (1981) ได้อธิบายไว้ดังนี้ สารปรอทเมื่อถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ส่วนใหญ่จะถูกดูดซึมเข้าไปอยู่ในอนุภาคของตะกอนที่แขวนลอยทั้งที่เป็นพวกสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ เช่น humate และ fulvate ละลายอยู่ สารละลายของสารอินทรีย์ดังกล่าวสามารถรวมตัวกับปรอทได้เป็น สารปรอทเชิงซ้อน ทั้งที่ละลายน้ำได้ และละลายน้ำไม่ได้ ปรอทเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำจะตกตะกอนสู่ท้องน้ำทันที ส่วนสารปรอทเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้ก็จะถูกดูดซึม โดยอนุภาคของตะกอนแขวนลอย และจะมีการตกตะกอนเกิดขึ้นเช่นกัน

ความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนขึ้นอยู่กับ ลักษณะโครงสร้างของดินตะกอน โดยดินตะกอนที่มีลักษณะเป็นดินเหนียว (clay) และมีสารอินทรีย์อยู่มากจะมีปริมาณปรอทสูงเนื่องจากสารอินทรีย์ทุกรูปแบบสามารถดูดซึมปรอทอนินทรีย์ได้ โดยเฉพาะสารอินทรีย์ที่มีซัลเฟอร์ (sulfur) จะสามารถดูดซับได้มากที่สุด ส่วนในดินตะกอนที่มีลักษณะเป็นทรายมีปริมาณปรอทน้อยกว่า

การเกิดเมทิลเลชัน (methylation) ของปรอท คือ กระบวนการที่เปลี่ยนปรอทในรูปของอนินทรีย์ ไปเป็นปรอทอินทรีย์ ในรูปของเมทิลเมอร์คิวรี (methylmercury) การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นโดยที่ ปรอทในรูปโลหะ (metallic mercury) ถูกออกซิไดส์ ส่วนฟีนิลเมอร์คิวรี (phenyl mercury) และอัลคิลเมอร์คิวรี (alkylmercury) จะถูกสลายพันธะ จากนั้นด้วยกระบวนการทางชีววิทยา เมอร์คิวรีคิออนจะถูก methylate ได้เป็น โมโนเมทิลเมอร์คิวรี (monomethylmercury) หรือไดเมทิลเมอร์คิวรี (dimethylmercury) ซึ่งแบคทีเรียที่มีความสามารถเปลี่ยนรูปปรอทอนินทรีย์ให้เป็นปรอทอินทรีย์ ได้แก่ methanogenic bacteria ซึ่งปรอทโมโนเมทิลจะถูกสะสมในสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ส่วนปรอทไดเมทิลมีความสามารถในการระเหยสูง ส่วนใหญ่จึงระเหยออกสู่บรรยากาศ แต่ถ้าในบรรยากาศมีสภาพเป็นกรด หรือได้รับแสงอุลตราไวโอเลตก็จะเปลี่ยนรูปเป็นปรอทโมโนเมทิลตกลงมาพร้อมกับฝนอีก การเกิดเมทิลเลชันของปรอทในน้ำ และดินตะกอน จะเกิดในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนแต่ในน้ำและดินตะกอนในธรรมชาติในสภาวะที่ขาดออกซิเจนจะมีไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่ และจะเกิดการรวมตัวกับปรอทเป็นปรอทซัลไฟด์ ซึ่งจะทำให้การเมทิลเลชันได้น้อยมาก โดยโอกาสที่จะเกิดการออกซิเดชันเปลี่ยนซัลไฟด์เป็นซัลเฟต เพื่อให้ได้ (Hg^{2+}) ในการเมทิลเลชันน้อยมาก หมายความว่าในระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำเมื่ออยู่ในสภาวะขาดออกซิเจน จะมีไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งจะมีผลในการยับยั้งการเกิดเมทิลเลชันของปรอท

เปี่ยมศักดิ์ (2525) รายงานว่า แหล่งน้ำของประเทศไทยมีปริมาณปรอทโดยเฉลี่ย 0.00047 มิลลิกรัมต่อลิตร D'Itri (1972) ได้ประเมินว่าโรงงาน chlor-alkali ในประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ทิ้งสารปรอทลงสู่แหล่งน้ำไปแล้วถึง 450,000 กิโลกรัม สำหรับประเทศไทย บริเวณ โรงงานอุตสาหกรรมจะมีปริมาณปรอทสูงเกินกว่ามาตรฐานสูงสุดที่กำหนดไว้ (สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม, 2520) แต่น้ำที่ทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมลดลงได้ โดย D'Itri (1972) กล่าวว่าปรอทที่มากับน้ำที่ทิ้งปริมาณจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความสามารถในการดูดซับของ activated sludge ซึ่งทำให้ปริมาณปรอทในน้ำที่ลดลงได้ สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2525) รายงานว่า การสะสมปรอทบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยาจะมีปริมาณสูง ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา การผลักดันของน้ำทะเลทำให้ปรอทตกค้างในบริเวณดังกล่าว ซึ่งพอสรุปได้ว่า ปริมาณการสะสมของปรอทในดินตะกอนของแม่น้ำจะมีมากกว่าทะเลเปิด และปริมาณปรอทในดินตะกอนจะมีมากกว่าที่มีในน้ำ ปริมาณปรอทบริเวณปากแม่น้ำจะมีปรอทมากกว่าแหล่งน้ำธรรมชาติ สารอินทรีย์ของปรอทพบโดยทั่วไปในสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้สารอินทรีย์ของปรอทที่โรงงานอุตสาหกรรมทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ สามารถเปลี่ยนรูปเป็นสารอินทรีย์ของปรอทได้จากขบวนการชีวภาพให้เป็น methyl mercury ซึ่งเป็นรูปที่อันตรายที่สุด ของสารปรอท

5) ความเป็นพิษของปรอท ความเป็นพิษของปรอทแต่ละรูปแบบจะไม่เท่ากัน ปรอทอินทรีย์ จะมีพิษร้ายแรงกว่าปรอทอนินทรีย์ อาการที่เกิดจากพิษของปรอทมีทั้งอาการเฉียบพลันและพิษเรื้อรัง อาการที่เป็นพิษเฉียบพลัน (acute effect) เป็นพิษต่อระบบทางเดินหายใจ ชีพจรเต้นเร็ว แต่ไม่สม่ำเสมอ ท้องเสีย อูจาระเป็นเลือด อาเจียน หมดสติ และถึงตาย (Schroeder, 1982) สำหรับพิษเรื้อรัง (chronic effect) ระยะแรกจะไม่แสดงอาการ ต่อมาจะรู้สึกปวดศีรษะ ตามัว มือสั่น น้ำลายไหลตลอดเวลา มีอาการทางประสาท กังวลนอนไม่หลับ Goldwater and Stopford, (1977) และ Berman (1980) บรรยายไว้ว่า การสูดไอปรอททำให้เกิดพิษเฉียบพลันเนื่องจากได้รับสารอินทรีย์สารอนินทรีย์ของปรอท มีผลต่อระบบทางเดินหายใจชีพจรเต้นเร็ว อาเจียน หมดสติตายได้โดยความเข้มข้นของปรอทระหว่าง 25-50 มิลลิกรัมต่อลิตร alkyl mercury สามารถผ่านลำไส้หรือผิวหนังได้ทำอันตรายต่อร่างกายได้

2.3.2 ตะกั่ว

1) การบ่งลักษณะและคุณสมบัติ เป็นโลหะที่มีในธรรมชาติที่จัดอยู่ในหมู่ที่ 4A ของตารางธาตุ มีเลขอะตอม 82 น้ำหนักอะตอม 207.19 ค่าความถ่วงจำเพาะ 11.37 มีจุดหลอมเหลว ที่ 327.5 องศาเซลเซียส จุดเดือด 1,740 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เป็นโลหะสีน้ำเงินปนเทา ละลายได้ในกรดไนตริกเจือจาง ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายอย่างช้าๆ ในน้ำที่เป็นกรดอย่างอ่อน (Hawley, 1977) ตะกั่วเป็นโลหะที่มีจุดหลอมเหลวได้ง่าย จึงสามารถนำไปทุบ รีด ดึง ดังนั้นตะกั่วจึงถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นสารที่นำมาทำให้บริสุทธิ์ได้ง่าย และมีสมบัติที่อ่อน และดัดแปลงให้มีรูปร่างลักษณะต่างๆได้ตามต้องการ กลายเป็นไอได้ดีในที่มีอุณหภูมิสูงๆ ตะกั่วมีเลขออกซิเดชันได้หลายค่า ได้แก่ +1 +2 และ +4 แต่ตะกั่วส่วนมากจะอยู่ในสภาวะ +2 ซึ่งจัดว่าเสถียรที่สุด ดังนั้นตะกั่วจึงทนต่อการผุกร่อนได้ดี

2) แหล่งกำเนิด ในธรรมชาติตะกั่วมีแหล่งกำเนิดจากหินอัคนีและหินแปร มีประมาณ 10-20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Hawley, 1977) บริเวณใดมีตะกั่วมาก ปริมาณที่พบในน้ำ และดินตะกอนมากด้วยส่วน (Browne *et al.*, 1982) ในดินตะกอนจะมีตะกั่วมากกว่าในน้ำ เนื่องจากดินตะกอนมีอิทธิพลที่ดึงโลหะตะกั่วจากสารประกอบประเภทเกลือที่ไม่ละลายน้ำของตะกั่วได้ เช่น โลหะซัลไฟด์ โลหะคาร์บอเนต เป็นต้น (Rashid and Leonard, 1973) นอกจากนั้น ปริมาณตะกั่วในน้ำและดินตะกอน ยังขึ้นกับปริมาณน้ำฝนและฤดูกาลบริเวณใกล้แหล่งน้ำนั้น และเหมืองเก่าจะพบตะกั่วในปริมาณมากเช่นกัน (Morgan, 1988) ตะกั่วมีกระจายอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ ที่เปลือกโลกมีตะกั่วโดยเฉลี่ยประมาณ 10-15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (พิมล และ ชัยวัฒน์, 2525) ตะกั่วที่ปรากฏเป็นธาตุอิสระในธรรมชาติมีน้อยมาก ตะกั่วที่พบในเปลือกโลกทั้งหมดจะอยู่ในรูปของแร่ที่สำคัญ ได้แก่ galena (PbS) ซึ่งมีส่วนประกอบ Pb ร้อยละ 86.6 และมี S ร้อยละ 13.4 cerussite (PbCO₃) ซึ่งมี PbO ร้อยละ 83.5 และมี CO₂ ร้อยละ 16.5 และ anglesite (PbSO₄) มีส่วนประกอบ PbO ร้อยละ 73.6 และมี SO₃ ร้อยละ 26.4 แหล่งแร่ตะกั่วมักพบบริเวณเดียวกันกับแหล่งแร่ทองแดง เงิน สังกะสี พลวง และบิสไมต์

3) การนำมาใช้ประโยชน์ ปัจจุบันตะกั่วถูกนำมาใช้ประโยชน์มีอยู่ 2 รูป คือ (1) ในรูปของโลหะตะกั่ว (metallic foam) เช่น ทำขั้วไฟฟ้าในแบตเตอรี่ ทำสายเคเบิล เชื่อมโลหะบัดกรี (2) ในรูปประกอบทางสารเคมี เช่น เป็นสารผสมเพื่อเพิ่มค่าออกเทนในน้ำมันเบนซิน (ปัจจุบันใช้

สารชนิดอื่นแล้ว) ทำเม็ดสี ทำพลาสติก ฯลฯ ซึ่งในรูปนี้ ตะกั่วจะถูกปล่อยออกมาเจือปนในสิ่งแวดล้อมได้มาก ตัวอย่างเช่น ในน้ำมันเบนซินซึ่งเคยมีการเติมสาร tetramethyl lead เพื่อป้องกันการน็อกของเครื่องยนต์ (พิมล และ ชัยวัฒน์, 2525) ในทางเกษตรกรรม ตะกั่วจะปะปนอยู่ในปุ๋ยและสารเคมีที่ใช้ในการเพิ่มผลผลิตและปราบศัตรูพืชที่สำคัญ ได้แก่ ปุ๋ยฟอสเฟต และเลดอะซีเนต (lead arsenate) ซึ่งจะมีตะกั่วปะปนอยู่ในปริมาณที่สูง เมื่อถูกนำมาใช้จะทำให้มีตะกั่วตกค้างอยู่ในพื้นที่เกษตรกรรมเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ตะกั่วยังถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมต่างๆ ไป เช่น ทำโลหะผสม ทองเหลือง ทองบรอน ฟิวส์ ลูกปืน หมึกพิมพ์ พลาสติก เครื่องเคลือบสีทาบ้าน และของเล่นเด็ก จึงเป็นเหตุให้มีตะกั่วตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อม

4) การแพร่กระจายและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม กิจกรรมที่มีการนำตะกั่วมาใช้ประโยชน์ ในชีวิตประจำวันเป็นสาเหตุสำคัญยิ่งที่ทำให้การแพร่กระจายของตะกั่วสู่สิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ไม่ว่าจะเป็นการแพร่กระจายไปตาม บรรยากาศ แหล่งน้ำ พื้นดิน หรือ ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตก็ตาม จึงได้มีการศึกษาสำรวจกันอยู่เสมอ ถึงปริมาณของตะกั่วที่สะสมอยู่ตามสิ่งแวดล้อมต่างๆ ดังรายงานของ Robert (1980) กล่าวว่า ในสถานการณ์ปัจจุบัน ตะกั่วได้เข้ามามีบทบาทต่อกิจกรรมของมนุษย์เป็นอย่างมาก ช่วงปี ค.ศ. 1920-1974 เฉพาะประเทศสหรัฐอเมริกา มีการใช้ตะกั่วถึง 50,794,544 ตัน โดยปี ค.ศ. 1974 เพียงปีเดียว มีการนำเข้าตะกั่วถึง 580,000 ตัน สิทธิชัย (2525) กล่าวว่า มีการประมาณว่า ในปีหนึ่งๆ มนุษย์นำตะกั่วมาใช้ประมาณ 3,000,000 ตัน โดยใช้ในรูปของโลหะอิสระร้อยละ 40 สารประกอบร้อยละ 35 และ โลหะผสม ร้อยละ 5 รูปแบบการนำตะกั่วมาใช้ประโยชน์ ได้แก่ การบัดกรีเชื่อมโลหะ ทำขั้วไฟฟ้าแบตเตอรี่ สายเคเบิล เซรามิก สารกำจัดศัตรูพืช หลอดตัวพิมพ์ เป็นฉนวนป้องกันอันตราย จากการทะลุทะลวงของกัมมันตรังสี และใช้สำหรับเป็นตัวควบคุมระดับความดังของเสียงจากเครื่องจักรกล และเครื่องบินเจ็ทได้ เนื่องจากตะกั่วมีความหนาแน่นสูงมาก นอกจากนี้ยังใช้เป็นส่วนผสมในสีทาบ้าน และเติมลงในน้ำมันเบนซิน เพื่อเพิ่มค่าออกเทน ช่วยลดการกระตุกของเครื่องยนต์ กิจกรรมที่มีการนำตะกั่วมาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันนับว่าเป็นสาเหตุสำคัญยิ่ง ที่ทำให้การแพร่กระจายของ ตะกั่วสู่สิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ไม่ว่าจะเป็นการแพร่ไปตามบรรยากาศ แหล่งน้ำ พื้นดิน หรือในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตก็ตาม ได้มีการสำรวจกันอยู่เสมอ ถึงปริมาณของตะกั่วที่สะสมอยู่ตามสิ่งแวดล้อมต่างๆ ดังรายงานของ เปี่ยมศักดิ์ (2525) กล่าวว่าที่หมู่บ้านบางครุ อำเภอบางบาล จังหวัดสมุทรปราการ มีปัญหาเนื่องจาก มีการนำเอากากหม้อแบตเตอรี่มาถมที่และถนน เด็กๆหลายคนเกิดอาการแพ้พิษตะกั่ว และบางรายถึงกับเสียชีวิต พบว่า ดินในบริเวณนั้นมีตะกั่วสะสมสูงถึง 3,900

มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม Chow (1978) กล่าวว่า ตะกั่วสามารถรวมตัวกับดินตะกอนได้ ทั้งชนิด sand silt และ clay แต่จะอยู่ในรูป clay มากที่สุด แหล่งน้ำโดยทั่วไปจะมีปริมาณตะกั่วปะปนอยู่ในดินตะกอนเสมอ เนื่องจากพื้นที่รองรับแหล่งน้ำนั้นมักประกอบไปด้วย หินดิน และ แร่ธาตุที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบโดยธรรมชาติอยู่แล้วและเมื่อมีการชะล้างพังทลายของดินและหินเหล่านั้น ตะกั่วจะถูกพัดลงสู่แม่น้ำและเกิดการตกตะกอนสะสมรวมตัวในแหล่งน้ำนั้นปริมาณตะกั่วในดินตะกอนจะมีค่ามากกว่าตะกั่วในดินและปริมาณตะกั่วในน้ำเสมอ ชูจิตต์ (2523) ศึกษาพบว่าในแหล่งน้ำจากป่าดิบแล้งธรรมชาติ บริเวณสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา มีปริมาณตะกั่ว 2.75 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณตะกั่วในผิวดินที่อยู่ติดถนนใหญ่จะสูงกว่าในผิวดินที่อยู่ห่างจากเขตจราจรหลายเท่าตัว นอกจากนี้ยังพบว่า พืชที่อยู่ใกล้ถนนมีปริมาณตะกั่วจับอยู่ตามผิวใบ สูงกว่าพืชที่ขึ้นอยู่ห่างไกลจากเขตถนนหลายสิบเท่า ซึ่งเป็นหลักฐานชี้ชัดว่า ตะกั่วในน้ำมีนัยยะเป็นแหล่งสำคัญ ทำให้ตะกั่วในบรรยากาศเพิ่มมากขึ้น โดยภายหลังก็จะเกาะกับอนุภาคในบรรยากาศมาเป็นผงฝุ่น หรือรวมกับความชื้นในบรรยากาศ ตกลงมาเป็นน้ำฝน สะสมอยู่ตามพื้นดิน และแหล่งน้ำ และเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารต่อไปเป็นลำดับ Onodera (1985) และ Swartjes *et al.*, (1988) กล่าวว่า ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำขึ้นกับค่าพีเอช (pH) ของน้ำ ถ้าค่าพีเอชต่ำจะพบตะกั่วในปริมาณมาก ปริมาณตะกั่วในน้ำในมหาสมุทร ชายฝั่งที่ไม่มีการปนเปื้อนของมลสาร แม่น้ำที่ไม่มีการปนเปื้อนของสาร น้ำฝน และแม่น้ำ มีการปนเปื้อนของสารตะกั่ว 0.09, 1.7, 334 และ 120 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ วิกันดา (2541) ได้ศึกษาปริมาณโลหะหนักในน้ำ ดินตะกอน และในปลาบางชนิด บริเวณแม่น้ำแม่กลอง พบว่ามีปริมาณตะกั่วเฉลี่ยเท่ากับ 8.66, 29.83 และ 0.26 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

5) ความเป็นพิษของตะกั่ว โรคพิษตะกั่วในมนุษย์สามารถจำแนกได้ 2 ชนิด ใหญ่ๆ คือ โรคพิษตะกั่วอินทรีย์ และโรคพิษตะกั่วอนินทรีย์ พิษตะกั่วอินทรีย์จะเป็นโรคของระบบประสาทส่วนกลาง มีอาการได้แก่ ปวดศีรษะ ความคิดสับสนการนอนไม่หลับ ภาวะกรวยไตอ่อนเพลียสัน เป็นต้น ถ้าเป็นตะกั่วอนินทรีย์จะมีอาการท้องผูก ความรู้สึกทางเพศลดลง โลหิตจาง ประจำเดือนขาด ปวดท้องรุนแรงเป็นต้น (วิกันดา, 2541) สารประกอบอินทรีย์ของตะกั่ว ที่ระบาดแพร่หลายไปในสิ่งแวดล้อมมากที่สุด และค่อนข้างจะเป็นพิษมากกว่าอนินทรีย์ทั่วไป ส่วนใหญ่แล้วตะกั่วมักจะเข้าสู่ร่างกายทางอาหาร และการหายใจเป็นที่สุด และถ้าหากสามารถเดินทางเข้าไปยังปอดได้ ตะกั่วจะเข้าไปสู่กระแสเลือด วนเวียนไปทั่วร่างกาย ในกรณีที่ปะปนไปกับอาหาร หรือเครื่องดื่ม เมื่อถูกดูดซึมจากลำไส้เล็กแล้วจะไปสู่ตับ บางส่วนจะถูกขับออกทางน้ำดี และอุจจาระ

ตับ และไต นับว่าเป็นอวัยวะที่เก็บตะกั่วไว้ได้มากที่สุด นอกจากนี้ตะกั่วบางส่วนอาจสะสมอยู่ในกระดูก โดยปกติแล้วร่างกายของ คนเราสามารถทนต่อตะกั่วในปริมาณที่สูงพอสมควร มีการวิจัยพบว่า ในคนทั่วไปจะมีตะกั่ว ในเลือดโดยเฉลี่ยประมาณ 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยไม่เกิดอาการเป็นพิษแต่อย่างใด (พิมล และ ชัยวัฒน์, 2525) ร่างกายสามารถกำจัดตะกั่วออกได้หลายทางกล่าวคือ ขับออกทางปัสสาวะร้อยละ 76 ทางอุจจาระร้อยละ 16 และทางผิวหนัง เส้นผม ขน อีกร้อยละ 2 มิลลิกรัม เท่านั้น ดังนั้นถ้าหากร่างกายได้รับสารตะกั่วเข้าไปมากจะเกิดการสะสมขึ้น เนื่องจากขับออกไม่ทันหากปริมาณตะกั่วสูงถึง 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร อาการเป็นพิษจะเริ่มปรากฏได้ชัดเจน เช่น ปวดท้องอย่างรุนแรง อุจจาระมีสีดำ ซีด ผอม ตับ และไต พิกการ (ไมตรี, 2531)

2.3.3 แคดเมียม

1) การบ่งลักษณะและคุณสมบัติ เป็นธาตุอยู่ในหมู่ 2B ของตาราง พีริออดิก (periodic table of elements) เป็นโลหะหนักที่มีสีเงินแกมขาว เลขอะตอมเท่ากับ 48 น้ำหนักอะตอม 112.40 มีจุดหลอมเหลวที่ 321 องศาเซลเซียส และมีจุดเดือดที่ 765 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่นเท่ากับ 8.65 แคดเมียม มีเลขออกซิเดชัน เพียงค่าเดียวคือ +2 ละลายในกรดไนตริก (Hawley, 1977) ทำให้แคดเมียมเป็นธาตุที่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ดีในกรดไนตริกละลายในกรดไฮโดรคลอริกอย่างช้าๆ เนื่องจากแคดเมียมละลายได้ในกรดอ่อน แคดเมียมเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติเบา อ่อน ดัดง่าย และทนต่อการกัดกร่อน ที่มีธาตุร่วมกับสังกะสีและปรอท แต่มีสมบัติทางฟิสิกส์และเคมี คล้ายสังกะสีคือ ทนทานต่อการผุกร่อน เป็นสารประกอบที่ไม่มีสี และละลายได้ดีในน้ำนอกจากนี้ แคดเมียมสามารถรวมกับสารอื่นๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อน ที่ละลายน้ำได้โดยเฉพาะ เมื่อรวมกับไซยาไนด์ (cyanides) และละลายได้ดีในน้ำเมื่อรวมกับไซยาไนด์และ เอมีน

2) แหล่งกำเนิด แคดเมียมเป็นโลหะหนักที่มีอยู่ในธรรมชาติน้อย และหาค่อนข้างยากในสิ่งแวดล้อม เมื่อเทียบกับโลหะหนักอื่นๆ มักจะอยู่ในรูปของสารประกอบซัลไฟด์ เป็น แคดเมียมซัลไฟด์ในรูปของแร่ greenockite (CdS) หรืออีกลักษณะหนึ่งคือปะปนในปริมาณน้อยอยู่กับแร่สังกะสีทุกชนิด ดังนั้นโลหะแคดเมียมส่วนใหญ่จึงเป็นผลผลิตพลอยได้จากการถลุงแร่สังกะสี แร่โลหะอื่นๆประมาณ 0.3-1.0 เปอร์เซ็นต์ ในเปลือกโลกมีแคดเมียมโดยเฉลี่ย 0.15-0.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในหินแกรนิตและหินแปรมี แคดเมียมน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ในหินชั้นอาจมีแคดเมียมสูงถึง 11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือสูงกว่านี้ โดยมีมากในหินดินดาน (shale)

ที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูง ในดินตะกอนของทะเลสาบ ในก้อนเมงกานีสออกไซด์ ในมหาสมุทร และฟอสฟอไรต์ (phosphorite) ในดินที่ยังไม่ถูกปนเปื้อนด้วยแคลเซียมจะมีปริมาณเฉลี่ยน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ปริมาณแคลเซียมในดินจะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะและการกำเนิดของดิน ดินที่กำเนิดจากหินชั้นจะมีปริมาณแคลเซียมสูงกว่าดินที่กำเนิดจากหินอัคนีหรือหินแปร ดินเหนียวและดินที่เป็นเบสจะดูดซับแคลเซียมได้น้อยกว่า Reilly (1980) และ Bidwell (1987) รายงานว่าเคยพบปริมาณแคลเซียมสูงกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทั้งในน้ำธรรมชาติและน้ำปะปา แคลเซียมในสิ่งแวดล้อมดังกล่าว จะเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิตในที่สุด แต่แคลเซียมที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติยังมีปริมาณไม่สูงถึงขั้นเป็นพิษเป็นภัยต่อสิ่งมีชีวิต

3) การนำมาใช้ประโยชน์ ใช้ผสมกับโลหะอื่นเป็นโลหะผสม (alloy) เพื่อเพิ่มความเหนียวและทนต่อการสึกกร่อน เช่น โลหะผสมของทองแดงที่ใช้ในการผลิตเส้นลวด โทรเลข และโทรศัพท์ ผลิตแบบพิมพ์ โลหะผสมของ ทองแดง แคลเซียม และเซอร์โคเนียม ใช้ในอุปกรณ์การสื่อสารต่างๆ ที่มีความต่างศักย์สูงๆ ทั้งนี้เพราะโลหะผสมประเภทนี้จะมีความแข็ง และมีแรงดึงดูดได้สูงกว่าโลหะผสมของทองแดงกับแคลเซียม ใช้ผสมกับโลหะผสมอื่นในกิจการเพชรพลอย เช่นผสมกับโลหะอื่นชนิดเดียว (ผสมทอง) ผสมกับโลหะอื่นสองชนิด (ทองและเงิน) ผสมกับโลหะอื่น 3 ชนิด (ทองแดง ทอง และเงิน) ใช้ในการชุบโลหะ โลหะที่ได้จากการชุบนำไปใช้เป็น ส่วนประกอบของเครื่องบิน รถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวิทยุ เป็นต้น สารประกอบของแคลเซียมที่ใช้ในการให้สีอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น สี เซรามิก ยาง แก้ว ผ้า เส้นใย หนังสือพิมพ์ และพลาสติก เป็นต้น ใช้ผลิตแบตเตอรี่ โดยใช้ร่วมกับโลหะนิกเกิล ซึ่งนำมาใช้ในแบตเตอรี่เครื่องคิดเลข เครื่องโกนหนวด รวมทั้งในการใช้ในเซลล์สุริยะชุบโลหะด้วยไฟฟ้า เพื่อป้องกันสนิม อุตสาหกรรมรถยนต์ ผสมสียาง อุตสาหกรรมพลาสติก ใช้กำจัดเชื้อรา ใช้ในเซลล์สุริยะ ใช้ในทางการแพทย์ ทำโลหะผสม และทำปุ๋ย โดยเฉพาะปุ๋ยฟอสเฟตจะมีแคลเซียมเจือปนอยู่มากกว่าปุ๋ยชนิดอื่นๆ (Elinder, 1982)

4) การแพร่กระจายและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม แคลเซียมแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมโดยการ ระเบิดของภูเขาไฟ ภัยค่น้ำฟ้า และการพังทลายของหินต้นกำเนิด แต่สาเหตุที่สำคัญที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายของแคลเซียมในสิ่งแวดล้อม คือ จากกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งมีผลต่อการแพร่กระจายของแคลเซียมในบรรยากาศ บนพื้นน้ำ ในแหล่งน้ำ ทะเลสาบ และมหาสมุทร (Forstner, 1988) เนื่องจากการนำแคลเซียมมาใช้ประโยชน์ในโลกมากมายในศตวรรษที่ 20 โดย

ตอนต้นศตวรรษมีการผลิตในปริมาณหลายสิบตันต่อปี แต่ในปี ค.ศ. 1973 มีการผลิตสูงถึง 15,000 ตัน ประกอบการนำแคดเมียมกลับมาใช้ใหม่ (recycle) ในปริมาณน้อย แคดเมียมจึงมีโอกาที่จะเข้าเจือปนในสิ่งแวดล้อม ซึ่งอาจมาได้ทั้งแหล่งธรรมชาติและจากอุตสาหกรรม หรือการเกษตรกรรม มีการพบแคดเมียมเจือปนอยู่ในเหมืองสังกะสี ส่วนอุตสาหกรรมจะพบแคดเมียมในสีทาพลาสติก แบตเตอรี่ ชุบโลหะ ฯลฯ แคดเมียมเหล่านี้กระจายไปสู่สิ่งแวดล้อมต่างๆ ได้แก่ อากาศ น้ำ ดิน พืช หรือแคดเมียมจะเคลื่อนย้ายสู่อากาศ ดิน และลงแหล่งน้ำ เมื่อคนและสัตว์บริโภคพืชจะได้รับแคดเมียมเข้าไปสะสมไว้ และสามารถถ่ายทอด สะสม ตลอดจนการถ่ายทอดแคดเมียมในห่วงโซ่อาหาร (Van der Zee *et al.*, 1988) Bram and Anthony (1983) กล่าวว่า กิจกรรมของมนุษย์ได้เพิ่มทั้งปริมาณและการแพร่กระจายของแคดเมียมในบรรยากาศ บนพื้นดิน ในแม่น้ำ ทะเลสาบ และทะเล โดยเพิ่มกำลังขึ้นตามความต้องการของประชากรโลก และตามการใช้พลังงานและวัตถุต่อคนที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นในเมืองอุตสาหกรรมหนักที่มีการถลุงแร่จึงมีปริมาณแคดเมียมในอากาศสูงในรูปของอนุภาคที่เป็นออกไซด์ซึ่งเล็กมาก นอกจากนั้นการหลอมเศษโลหะและพลาสติก การเผาพลาสติกและสิ่งอื่นเป็นแหล่งของแคดเมียมในอากาศที่สำคัญ และในที่สุดจะตกลงสู่พื้นดินและแหล่งน้ำ แคดเมียมจะถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจากโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับแคดเมียม และยังถูกปล่อยจากการเผาไหม้ของถ่านหิน (ในถ่านหินมีแคดเมียมประมาณ 0.2-2.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (Nobbs and Pearce, 1976) ในประเทศไทยแคดเมียมที่ปะปนในแหล่งน้ำ ส่วนมากมาจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งเป็นไปตามแผนพัฒนาการอุตสาหกรรมบริเวณชายฝั่ง ดังนั้นจึงมีการสำรวจชนิดและปริมาณสารพิษในแหล่งน้ำที่มีอยู่เดิมก่อนที่จะยอมให้โรงงานปล่อยสารพิษเพิ่มลงไป น้ำทะเลในตอนบนของอ่าวไทยอยู่ในช่วง 0.02-0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร และในตอนล่างอยู่ในช่วง 0.02-0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อมาได้ทำการสำรวจบริเวณอ่าวไทยตอนบนอีกครั้งหนึ่งใน พ.ศ. 2517-2519 พบความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียม 0.354 และ 0.022 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนในน้ำจืดได้มีการสำรวจความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมในแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างสูงกว่าแหล่งน้ำโลก (เปี่ยมศักดิ์ และ พิชาน, 2520) และจากการสำรวจปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งของ AIT ในปี พ.ศ. 2522 ในโรงงานกระดาษบางปะอิน โรงงานไทยอาซิ จำกัด โรงงานเรลม แบตเตอรี่ จำกัด โรงงานชานินทร์อุตสาหกรรมจำกัด และโรงงานสังกะสีไทยจำกัด มีปริมาณแคดเมียมปล่อยออกมา 0.0112, 0.0113, 0.0002 และ 0.016 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้มีการแปดเปื้อน แคดเมียมในแหล่งน้ำต่างๆได้ และอาจพบแคดเมียมปนเปื้อนในน้ำประปาได้ เนื่องจากมีการทำเหมืองแร่ มีโรงงานอุตสาหกรรม และอาจมาจากน้ำชะขยะที่ฝังกลบอยู่ จากนั้นแคดเมียมจะเข้าไปในระบบแจกจ่ายน้ำประปา เพราะท่อประปาที่เคลือบสังกะสีเกิดการผุกร่อน แคดเมียมในน้ำอาจ

อยู่ในรูปของอนุภาคคอลลอยด์ หรือละลายน้ำ อนุภาคดินเหนียวจะทำให้ปริมาณแคดเมียมในลำธารสูงขึ้น เนื่องจากการแลกเปลี่ยนอออนบนผิวอนุภาค ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแคดเมียมในสิ่งแวดล้อม คือ สภาพทางกายภาพและเคมี สิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ตลอดจนการถ่ายทอดแคดเมียมไปตามห่วงโซ่อาหาร (Bram and Anthony, 1983)

การแพร่กระจายของแคดเมียมในสิ่งแวดล้อมเนื่องจากแคดเมียมในธรรมชาติเองมีน้อยดังนั้นแคดเมียมที่เจือปนอยู่ในสิ่งแวดล้อมจึงมักเป็นผลมาจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นส่วนใหญ่ เช่น การทำเหมืองสังกะสี ตะกั่ว และทองแดง การเผาไหม้ของเสียที่เป็นพลาสติกและยางของเสียที่ออกมาจากโรงงานหุบลโลหะเจือปน อีกแห่งหนึ่งของที่มาของแคดเมียม ได้แก่ กวนบูห์ มีการประมาณกันว่า บูห์ 1 มวน จะให้แคดเมียม 1.3 ไมโครกรัม ซึ่งส่วนใหญ่จะปะปนอยู่ในกวนบูห์ และบางส่วนเข้าสู่ร่างกายผู้สูบ (ปรังทิพย์, 2543)

5) ความเป็นพิษของแคดเมียม มนุษย์ได้รับแคดเมียมอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้จากอาหาร แม้ว่าการดูดซึมแคดเมียมผ่านทางเดินอาหารในภาวะปกติต่ำมาก คืออยู่ระหว่าง 2-6 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณที่รับเข้าไปในทางเดินอาหาร ปริมาณแคดเมียมที่มนุษย์แต่ละแห่งได้รับจากอาหารในแต่ละวันจะแตกต่างกัน เช่น ในเมืองสต็อกโฮล์มประเทศสวีเดนได้รับประมาณ 18 ไมโครกรัมต่อวัน ในเมืองฮุสตันประเทศสหรัฐอเมริกาได้รับประมาณ 20 ไมโครกรัมต่อวัน ในเมืองโตเกียวในประเทศญี่ปุ่นได้รับประมาณ 45 ไมโครกรัมต่อวัน เมื่อร่างกายสะสมแคดเมียมเพิ่มขึ้น แคดเมียมจะไปรบกวนเมตาโบลิซึมของเหล็ก สังกะสี ทองแดง และฟอสฟอรัส ขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ ทำให้เกิดความดันโลหิตสูง และโลหิตจาง ถ้าตับและไตสะสมแคดเมียมในปริมาณสูงจะมีโครงสร้างและการทำงานผิดปกติ ทำให้เกิดมีโปรตีนปะปนออกมาในน้ำปัสสาวะ แคดเมียมทำให้เกิดความผิดปกติที่กระดูก ปวดที่กระดูกอย่างรุนแรงหรือที่เรียกว่า โรคอิไต-อิไต (พิมล และ ชัยวัฒน์, 2525)

2.4 การปนเปื้อนของโลหะหนัก

สารพิษโลหะหนักชนิดต่าง ๆ เมื่ออยู่ในแหล่งน้ำสามารถสะสมตัวอยู่กับตัวกลาง เช่น ดินตะกอน พืชน้ำ สัตว์น้ำ หรือของแข็งแขวนลอยอยู่ในน้ำอย่างอิสระได้ในปริมาณต่างๆ กัน ซึ่งปริมาณโลหะหนักที่ปะปนหรือสะสมอยู่ในตัวกลางเหล่านี้ สามารถที่จะเปลี่ยนรูปหรือเคลื่อนย้าย

ไปตามห่วงโซ่อาหารได้ลักษณะการสะสมหรือการเคลื่อนย้ายในตัวกลาง แต่ละชนิดในแหล่งน้ำสามารถแยกกล่าวรายละเอียดได้ดังนี้

2.4.1 การสะสมของโลหะหนักในแหล่งน้ำ

โลหะหนักที่สะสมในแหล่งน้ำมีทั้งในรูปที่ละลายน้ำ (dissolved) และอยู่ในรูปของแข็งแขวนลอย (suspended solid) ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำมีโอกาสเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา เนื่องจากความสามารถในการผสมผสานของ สารที่อยู่ในรูปสารแขวนลอย และในรูปที่ละลายน้ำ แตกต่างกัน โดยเฉพาะในรูปสารแขวนลอยจะมี residence time ยาวนานกว่ารูปที่ละลายน้ำ และจากการที่น้ำมีการเคลื่อนไหวตลอดเวลาจึงทำให้เกิดตะกอนได้น้ำลอยตัวขึ้น (resuspension) จึงมีทั้งกระบวนการดูดซับ (adsorption) และการคาย (desorption) ของโลหะหนักระหว่างน้ำและตะกอน (วิกิตำนา, 2541)

จากผลการศึกษา การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของโลหะหนักพวกแคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสีในน้ำ (เฉพาะส่วนที่ละลายน้ำ) บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา-ศรีราชา โดยอรพินท์ (2526) ทำการศึกษา ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2525 ถึงกันยายน 2526 ซึ่งพบว่าบริเวณปากแม่น้ำจะมีปริมาณโลหะหนักอยู่สูงนั่นคือ แคดเมียมในน้ำ (ผิวน้ำ) มีค่าตั้งแต่ 0.00003-0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร ตะกั่ว 0.00006-0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร ทองแดง 0.0008-0.011 มิลลิกรัมต่อลิตร และสังกะสีมีค่าอยู่ระหว่าง 0.005-0.038 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนบริเวณชายฝั่งตะวันออกเรื่อยไปจนกระทั่งถึงศรีราชา จะมีปริมาณโลหะหนักดังกล่าวน้อยกว่า และพบว่าโลหะหนักทุกตัวมีปริมาณที่พบมากในฤดูฝน ดังนั้น น้ำฝนที่ตกลงมาจะเป็นตัวการชะล้างเอาสิ่งต่าง ๆ บนพื้นดินรวมทั้งโลหะหนักให้ไหลไปตามน้ำแล้วลงสู่แม่น้ำและทะเลในที่สุด โดยเฉพาะบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา มีโรงงานอุตสาหกรรมมากมาย ตั้งอยู่สองฝั่งแม่น้ำนี้ เช่น โรงงานสังกะสี อู่ซ่อมรถและเรือ สถานีบริการน้ำมันต่าง ๆ นอกจากนี้แล้วปริมาณโลหะหนักจากบรรยากาศก็มีค่ามากพอที่จะมีผลต่อการเพิ่มปริมาณโลหะหนักในน้ำทะเลระดับผิวน้ำได้ จากรายงานการสำรวจปริมาณสารพิษประเภทโลหะหนักในแม่น้ำแม่กลอง โดยสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เมื่อปี 2532-2533 ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำ โดยเฉพาะโลหะหนักที่มีความเป็นพิษมาก เช่น ปรอท ในบางสถานี จะมีค่าเกินกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวน้ำคือ 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร บริเวณปากแม่น้ำ

รายงานของอรพินท์ (2526) ยังได้กล่าวต่อไปอีกว่า ในช่วงเดือนมกราคมถึง กุมภาพันธ์ซึ่งเป็นฤดูร้อน พบว่า มีปริมาณทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี น้อยกว่าในฤดูกาลอื่น อาจเป็นเพราะว่าช่วงเวลานี้โลหะหนักส่วนใหญ่จะไม่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำ แต่จะถูกดูดซับอยู่บนสารแขวนลอย หรือในดินตะกอน ส่วนแคดเมียม นอกจากพบว่ามีปริมาณเพิ่มมากในเดือนพฤษภาคมแล้ว เดือนกุมภาพันธ์พบว่ามีปริมาณเพิ่มมากขึ้น การที่โลหะแคดเมียมมีปริมาณเพิ่มมากในช่วงนี้ซึ่งเป็นฤดูแล้ง เข้าใจว่าอาจเกิดจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้น จึงเป็นสาเหตุให้โลหะแคดเมียมซึ่งจับตัวอยู่กับสารอินทรีย์ดังกล่าวละลายกลับเข้ามาในน้ำ ส่วนในเดือนกันยายนถึงตุลาคม ซึ่งเป็นช่วงฝนตกหนัก และมีปริมาณน้ำไหลเซาะหน้าดินสูง แต่กลับพบปริมาณแคดเมียมที่ละลายในน้ำมีค่าต่ำกว่าช่วงเวลาอื่น ๆ เข้าใจว่าในช่วงเวลานี้แคดเมียมส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ในรูปของสารแขวนลอยหรือในดินตะกอน สอดคล้องกับรายงานของวิกัندا (2541) พบว่าปริมาณโลหะหนักทั้ง 5 ชนิด ได้แก่สังกะสี ตะกั่ว ทองแดง แคดเมียม และแมงกานีสในน้ำทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยสูงสุดในช่วงแล้ง

ในน้ำผิวดินโดยปกติจะมีปริมาณของโลหะหนักตะกั่วประมาณ 0.013 มิลลิกรัมต่อลิตร (Reilly, 1980) แหล่งน้ำธรรมชาติมีปริมาณแคดเมียมน้อยเนื่องจาก แคดเมียมในรูปซัลไฟด์และคาร์บอเนตมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ นอกจากนั้นแคดเมียมยังถูกดูดซับไว้ด้วยอนุภาคของดินเหนียว ในแหล่งน้ำธรรมชาติมีแคดเมียมอยู่ระหว่าง 0.000–0.500 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่อาจสูงกว่านี้ได้ถ้าแหล่งน้ำนั้นถูกรบกวนจากมนุษย์ (McNeely *et al.*, 1979) รายงานของ วิกัندا (2541) ได้ศึกษาปริมาณของสังกะสี ตะกั่ว ทองแดง แคดเมียม และแมงกานีสในน้ำและดินตะกอนในแม่น้ำแม่กลอง พบว่ามีปริมาณแคดเมียมในน้ำและดินตะกอนน้อยที่สุด ในโลหะหนักทั้ง 5 ชนิด เท่ากับ 0.0004 มิลลิกรัมต่อลิตร เช่นเดียวกับการศึกษาของ สูดชาย (2540) รายงานว่าในแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างมีปริมาณโลหะหนัก แคดเมียมในน้ำและดินตะกอนน้อยที่สุด ในโลหะหนักทั้ง 7 ชนิดที่พบ

จากการศึกษาถึงปริมาณโลหะหนักในน้ำ แม่น้ำแม่กลอง โสภภาพรรณ (2534) รายงานว่ามีปริมาณโลหะหนัก ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี มีค่า 0.059, 0.0003, 0.00050 และ 0.037 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และจากการศึกษาของสงัด (2534) รายงานว่าในแม่น้ำป่าสักมีความเข้มข้นของตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี มีค่า 0.017, 0.0008, 0.023 และ 0.088 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ รายงานของโสภภาพรรณ (2534) ถึงการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของ

โลหะหนักพวกตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสีในน้ำบริเวณแม่น้ำแม่กลองพบว่า โลหะหนักทุกตัวมีปริมาณ โดยเฉลี่ยพบมากในช่วงฤดูฝน เช่น ตะกั่วมีค่าเฉลี่ย 0.005, 0.004 และ 0.011 มิลลิกรัมต่อลิตร แคดเมียมมีค่าเฉลี่ย 0.0006, 0.0004 และ 0.0008 มิลลิกรัมต่อลิตร เรียงตามฤดูหนาวฤดูร้อน และฤดูฝนตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากว่า เมื่อมีฝนตกจะมีน้ำไหลผ่านหน้าดินชะล้างเอาโลหะหนักที่ปะปนอยู่ในดินและหินลงสู่ลำธาร ประกอบกับในช่วงฤดูฝนจะมีปริมาณตะกอนแขวนลอยและสารอินทรีย์ที่ถูกชะมากับน้ำฝนซึ่งเป็นตัวดูดซับได้ดี แต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในรอบปีดังกล่าว ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน จากการปนเปื้อนของสารโลหะหนักในน้ำบริเวณปากแม่น้ำสายต่างๆ โดยสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2534) สำหรับตะกั่วยังพบว่ามีความเข้มข้นแตกต่างกันในระหว่างฤดูกาลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$)

นอกจากนั้น โสภพรณ (2534) ได้มีการสำรวจแม่น้ำแควใหญ่ จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งเป็นแม่น้ำที่ไหลมารวมกับแม่น้ำแควน้อย รวมตัวกันเกิดแม่น้ำแม่กลอง หาปริมาณเฉลี่ยของปริมาณตะกั่ว และทองแดง 0.068–0.158 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.001–0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ นอกจากนี้โลหะหนักเหล่านี้ที่ปนเปื้อนลงสู่แม่น้ำและไม่ได้ตกตะกอนสะสมในดินตะกอน จะไหลลงสู่บริเวณปากแม่น้ำและไหลออกแพร่กระจายไปสู่อ่าวไทยด้วย ดังนั้นปริมาณของสารโลหะหนักเหล่านี้จึงมีความเข้มข้นแตกต่างกันตามสภาพแหล่งน้ำ นันทนา (2528) ได้ทำการศึกษาสารโลหะหนักในน้ำบริเวณแหล่งน้ำจืด (แม่น้ำ) แหล่งน้ำกร่อย (ปากแม่น้ำ) และอ่าวไทยตอนบน พบว่าตะกั่วในแหล่งน้ำทั้งสามมีค่าเท่ากับ 0.049, 0.011 และ 0.016 มิลลิกรัมต่อลิตร และสังกะสีมีค่าเท่ากับ 0.136, 0.004 และ 0.045 มิลลิกรัมต่อลิตร เรียงตามลำดับ ปรากฏว่าในแหล่งน้ำกร่อยปริมาณสารโลหะหนักทั้งสองชนิดนี้มีค่าลดลง แต่เมื่อไหลลงสู่ น้ำทะเลกลับมีปริมาณความเข้มข้นมากขึ้น แคดเมียมในแหล่งน้ำทั้งสามมีค่าเท่ากับ 0.003, 0.002 และ 0.0004 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปรากฏว่าเมื่อน้ำไหลจากแม่น้ำออกสู่อ่าวไทย จะมีปริมาณของแคดเมียมลดน้อยลง

2.4.2 การสะสมของโลหะหนักในดินตะกอน

ในปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่า โลหะหนักสามารถเกิดการสะสมอยู่ในดินตะกอน โดยมีความเข้มข้นสูงกว่าที่มีอยู่ในน้ำมาก ทั้งนี้เนื่องจากมีกระบวนการต่างๆทั้งทางเคมี ฟิสิกส์ และชีวภาพมาเกี่ยวข้อง โลหะหนักต่างๆ ที่มีอยู่ในดินตะกอนจะมาจากแหล่งกำเนิดของ

ตะกอนนั้นก็คือ หิน และดิน ซึ่งขบวนการเกิดตะกอนจะมีทั้งที่เกิดขึ้นเองในธรรมชาติ และเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ขบวนการที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจะเกิดขึ้นตลอดเวลา ปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนนั้นส่วนหนึ่งเป็นโลหะหนักที่เกิดขึ้นจากการสะสมตัวตามธรรมชาติได้แก่ การชะล้างพวกเกลือแร่ที่อยู่บนพื้นดินลงสู่แหล่งน้ำ หรือ เป็นโลหะหนักที่เป็นส่วนประกอบของแร่ธาตุที่อยู่ในบริเวณนั้นตามสภาพทางธรณีวิทยา แล้วละลายออกมาปะปนอยู่ในน้ำได้และอีกส่วนหนึ่งที่สำคัญมากกว่า คือผลโดยตรงจากการใช้และปล่อยโลหะหนักลงสู่แหล่งน้ำเนื่องจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ที่ได้กล่าวมาแล้ว ในแหล่งน้ำธรรมชาติจะมีขบวนการต่างๆ มากมายที่จะมีผลทำให้ปริมาณของโลหะหนักในดินตะกอนเปลี่ยนแปลง เช่น ขบวนการตกตะกอน (precipitation) และการเกิด การดูดซับ (adsorption) หรือการแลกเปลี่ยนโลหะหนักที่มีอยู่ในน้ำกับอนุภาคของตะกอน และโลหะหนักที่ตกค้างอยู่ในแหล่งน้ำส่วนที่ไม่สามารถสลายตัวได้โดยกระบวนการทางธรรมชาติ จะตกตะกอนสะสมอยู่ในตะกอนดิน (อู่แก้ว, 2531)

การตกตะกอนของโลหะหนัก (heavy metal precipitation) อีออนของโลหะหนักที่มีอยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติ จะสามารถเกิดปฏิกิริยากับอีออนลบ (anion) ในน้ำเกิดเป็นสารประกอบ หากสารประกอบที่เกิดขึ้นไม่ละลายน้ำก็จะทำให้จมลงได้ท้องน้ำ

การแลกเปลี่ยนและการดูดซับอีออนบวก (cation exchange and adsorption) โลหะหนักส่วนมากที่ละลายอยู่ในน้ำภายใต้ภาวะปกติอาจถูกดูดซับ (adsorption) จากอนุภาคต่างๆ ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ โดยพื้นที่ผิวของอนุภาคของแข็งเหล่านี้จะเป็นตัวสำคัญที่ทำให้ โลหะจมลงได้ท้องน้ำ เพราะอนุภาคของแข็งเหล่านี้จะสามารถแย่งจับโลหะหนักก่อให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายอยู่ในน้ำ อัตราการแลกเปลี่ยนโลหะหนักระหว่างผิวของอนุภาคของแข็ง กับน้ำนั้นจะเกิดขึ้นตลอดเวลา

กระบวนการทางชีวภาพ (biogenous formation) โลหะหนักที่อยู่ในตะกอนท้องน้ำส่วนหนึ่งจะมาจากขบวนการย่อยสลายของอินทรีย์สาร เช่น การย่อยสลายของซากพืชซากสัตว์ ในพืชแต่ละชนิดก็จะมีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบ และหากพืชเหล่านี้ถูกระบายสู่แหล่งน้ำ หรือถูกทับถมในแหล่งน้ำ เมื่อมีการย่อยสลาย หรือถูกทับถมเป็นตะกอน โลหะหนักซึ่งอยู่ในพืชเหล่านี้ก็จะถูกย่อยสลายออกมาอยู่ในตะกอนท้องน้ำเช่นกัน

นอกจากนี้แล้วพบว่า pH ของน้ำมีอิทธิพลต่อชนิดทางเคมีของโลหะหนักด้วย พบว่าในแม่น้ำ มีสภาพเป็นด่างมี pH 8.2 จึงทำให้โลหะส่วนใหญ่ตกตะกอนลงอย่างรวดเร็ว โดยรวมกับซากเน่าเปื่อยของสิ่งมีชีวิตในดินตะกอน

อู่แก้ว (2531) ได้กล่าวว่าโลหะหนักที่ตกค้างในแหล่งน้ำเกิดจากส่วนที่ไม่สามารถสลายตัวได้โดยกระบวนการทางธรรมชาติ โดยจะตกตะกอนสะสมอยู่ในดินตะกอน และจากบุญเดิม (2536) รายงานว่าปริมาณแคดเมียมในดินตะกอนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณสารอินทรีย์ที่สูญหายไปเป็นดินตะกอน โคลนสามารถดูดซับแคดเมียมในแหล่งน้ำได้ดี ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับขึ้นอยู่กับชนิดของโคลน ปริมาณแคดเมียมในน้ำ อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และความกระด้างของน้ำ โคลนที่มี humic materials ประกอบอยู่เป็นส่วนประกอบสำคัญในการดูดซับแคดเมียม ด้วยขบวนการดูดซับ (adsorption process) ซึ่งเป็นขบวนการสำคัญที่ลดปริมาณแคดเมียมในแหล่งน้ำ โดยการเคลื่อนย้ายไปสะสมในดินตะกอน แต่ก็สามารถออกมาสู่แหล่งน้ำได้อีกเมื่อความเค็มของน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการคาย (desorption)

โลหะหนักที่สะสมอยู่ในดินตะกอนหลังจากถูกพัดพาลงสู่แหล่งน้ำแล้วปริมาณของโลหะในดินตะกอนจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมี และแร่ธาตุต่างๆ ของดินตะกอนนั้น ฉะนั้นดินตะกอนที่มาจากบริเวณเดียวกัน แต่มีขนาดของตะกอนต่างกัน มีปริมาณอินทรีย์สารต่างกัน ปริมาณของโลหะหนักที่สะสมอยู่ก็จะต่างกัน และจากการศึกษาปริมาณสารโลหะหนักในดินตะกอนแม่น้ำแม่กลอง ไสยาพรหม (2534) พบว่าตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี มีค่าเท่ากับ 160, 0.43, 16.40 และ 62.14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าโลหะหนักเพิ่มขึ้นจากการสำรวจของกองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2533) เมื่อปี 2532-2533

นอกจากนี้พบว่าปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนมีความสัมพันธ์กับฤดูกาล จากการศึกษปริมาณสารโลหะหนักในดินตะกอนแม่น้ำแม่กลอง ไสยาพรหม (2534) พบว่าค่าเฉลี่ยในแต่ละฤดูกาลมีค่าแตกต่างกัน โดยมีปริมาณเฉลี่ยสูงสุดในช่วงฤดูร้อน ยกเว้นทองแดงและแคดเมียมที่มีปริมาณสูงสุดในช่วงฤดูหนาวและฤดูฝน ส่วนค่าเฉลี่ยของโลหะหนักในดินตะกอนในแต่ละฤดูในแม่น้ำเมย โดยบุญเดิม (2536) พบว่ามีปริมาณเฉลี่ยสูงสุดทุกค่าในช่วงฤดูร้อน ปริมาณของสารโลหะหนักในดินตะกอนส่วนใหญ่จะอยู่ในระดับสูงมากขึ้น ในบริเวณปากแม่น้ำ ดังเคยมีรายงานพบปริมาณของโลหะโครเมียม ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี สูงถึง 1.0, 0.3, 0.9 และ 3.0 มิลลิกรัมต่อ

กิโลกรัม ตามลำดับ และปริมาณของโลหะหนักเหล่านี้จะลดลงเช่นเดียวกับปริมาณสารอินทรีย์ เมื่อระยะทางออกสู่ทะเลเพิ่มขึ้น ซึ่งคาดว่า การลดลงของปริมาณโลหะหนักดังกล่าว ส่วนหนึ่งเกิดจากย่อยสลายของสารอินทรีย์ อันมีต้นกำเนิดมาจากแผ่นดิน ทำให้เกิดการปลดปล่อยโลหะหนักที่ติดมากับสารอินทรีย์ออกสู่น้ำ และโลหะหนักที่มีต้นกำเนิดมาจากแผ่นดินและถูกนำพามาโดยแม่น้ำ จะมีการเปลี่ยนแปลงภาวะทางเคมีบางประการ เช่น เปลี่ยนแปลงภาวะการันจาก oxidizing environment ไปสู่ภาวะ reducing environment ทำให้สามารถอยู่ภายใต้ภาวะ reducing environment เช่น เกิดเป็นโลหะซัลไฟด์ขึ้น และโลหะหนักบางชนิดที่เกิดพันธะทางเคมีกับดินตะกอน อาจถูกปล่อยออกสู่ชั้นน้ำ ที่อยู่เหนือดินตะกอน และน้ำที่อยู่ระหว่างดินตะกอน (interstitial water) ได้

พื้นที่ศึกษา

1. ลุ่มน้ำบางปะกง

1.1 สภาพลุ่มน้ำและลำน้ำ

ลุ่มน้ำบางปะกงอยู่ทางภาคตะวันออกของประเทศ เกิดจากต้นน้ำของแม่น้ำนครนายก บริเวณตอนเหนือของจังหวัดนครนายก ซึ่งไหลมาบรรจบแม่น้ำปราจีนบุรี ที่ไหลมาจากพื้นที่ลุ่มน้ำปราจีนบุรีตรงบริเวณอำเภอบางน้ำเปรี้ยวจังหวัดฉะเชิงเทรา ให้การระบายน้ำจากทิศเหนือผ่านที่ราบต่ำตอนกลางและตอนล่างไหลลงทางทิศใต้ และไหลลงสู่อ่าวไทยตรงเขตอำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา ลุ่มน้ำนี้มีต้นน้ำจากเขาเขียว ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 19,603.65 ตารางกิโลเมตร มีความยาวของลำน้ำสายหลักประมาณ 385 กิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ในเขตจังหวัดฉะเชิงเทรา ชลบุรี นครนายก ปราจีนบุรี สระบุรี กรุงเทพมหานคร จันทบุรี นครราชสีมาบุรีรัมย์ ปทุมธานี สมุทรปราการ และสระแก้ว ดังแสดงในภาพที่ 3

พื้นที่ของลุ่มน้ำบางปะกงส่วนใหญ่เป็นที่ราบ มีพื้นที่สูงเป็นเขาชันซ้อนบริเวณตอนบนของพื้นที่ลุ่มน้ำ ในเขตอำเภอนครนายก และเป็นภูเขาลูกโดดสลับเนินสูงบริเวณฝั่งตะวันออกของลุ่มน้ำในเขตกิ่งอำเภอนาทะเกียบ จังหวัดฉะเชิงเทรา อำเภอบ้านบึง อำเภอหนองใหญ่ อำเภอบ่อทอง และกิ่งอำเภอเกาะจันทร์ จังหวัดชลบุรี ในบริเวณตอนกลางของพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นที่ราบถึงที่ราบต่ำ ลำน้ำสาขาที่สำคัญ คือ แม่น้ำนครนายก คลองท่าลาด คลองหลวง และแม่น้ำบาง

หนาว โดยจะนำความแห้งแล้งและความหนาวเย็นมาให้ภาคตะวันออก แต่อุณหภูมิของอากาศจะลดลงไม่มากนักเมื่อเทียบกับภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในช่วงเปลี่ยนฤดูลมมรสุมคือช่วงปลายเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนเมษายนหรือเรียกว่าช่วงฤดูร้อนอากาศจะร้อนอบอ้าวและมีฝนตกบ้างเป็นครั้งคราวแต่ไม่มากนัก ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกง ประกอบด้วยอุณหภูมิเฉลี่ยรายปี ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายปี และปริมาณการระเหยจากผิวน้ำเฉลี่ยรายปี ทั้งนี้ นำมาเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้อง และจำเป็น ซึ่งรวบรวมไว้ในรายงานสถิติภูมิอากาศของประเทศไทยในคาบ 10 ปี พ.ศ. 2535-2544 จากข้อมูลที่รวบรวมได้เหล่านี้ พอสรุปช่วงพิสัยของค่าเฉลี่ยรายปีของตัวแปรภูมิอากาศที่สำคัญ ดังแสดงใน (ตารางที่ 1) ได้ดังนี้

1.3 ปริมาณน้ำฝน

พื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกงอยู่ภายใต้อิทธิพลจากพายุดีเปรสชันจากทะเลจีนใต้ซึ่งเข้ามาทางด้านอ่าวไทย สภาพปริมาณน้ำฝนของลุ่มน้ำบางปะกง ศึกษาจากข้อมูลซึ่งรวบรวมไว้ในรายงานสถิติภูมิอากาศของประเทศไทยในคาบ 10 ปี พ.ศ. 2535-2544 ของสถานีตรวจอากาศของ กรมอุตุนิยมวิทยาที่อยู่ในบริเวณลุ่มน้ำบางปะกง และใกล้เคียงที่รวบรวมได้มี 15 สถานี ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีมีค่าระหว่าง 1,039.7-4,890.7 มิลลิเมตร

1.4 ปริมาณน้ำท่า

จากรายงานโครงการศึกษาข้อมูล ของสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (2537) พบว่า ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่รับน้ำฝนมีค่าผันแปรระหว่างสถานี ตั้งแต่ 6.71 ถึง 78.78 ลิตรต่อวินาทีต่อตารางกิโลเมตร ในการประเมินน้ำท่าแบบ natural flows ซึ่งเป็นปริมาณน้ำท่าที่ยังไม่ได้พิจารณาหักการใช้น้ำในโครงการพัฒนาแหล่งน้ำในปัจจุบันออกนั้น ได้ศึกษาในช่วงปีข้อมูล 27 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2509 – 2535 และพอสรุปปริมาณน้ำท่าดังกล่าวในช่วงฤดูแล้ง ฤดูฝน และคิดเป็นปริมาณน้ำท่ารวมทั้งปีได้ 3,712 ล้านลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 1 สภาพภูมิอากาศในเขตลุ่มน้ำบางปะกง พ.ศ. 2535-2544

รายการ	ค่ารายเดือน												ค่ารายปี
	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เฉลี่ย
อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	31.6	29.2	28.1	27.9	27.5	27.3	26.4	24.5	22.1	22.9	25.7	28.8	27.8
ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	56.0	69.8	76.0	75.6	78.4	80.6	81.8	78.4	73.2	67.6	56.8	52.2	80.8
ความเร็วลมเฉลี่ย (นอต)	3.1	2.8	2.7	2.8	2.6	1.8	1.3	1.1	1.2	1.4	2.1	2.6	2.0
เมฆปกคลุมเฉลี่ย (0-10)	4.1	6.8	8.2	8.6	8.7	7.9	6.6	5.0	3.4	3.0	2.7	4.1	5.4
ปริมาณการระเหย จากผาด (มิลลิเมตร)	214.2	186.4	141.6	138.6	130.1	126.6	110.9	98.4	98.4	111.6	144.1	194.1	1,701.9

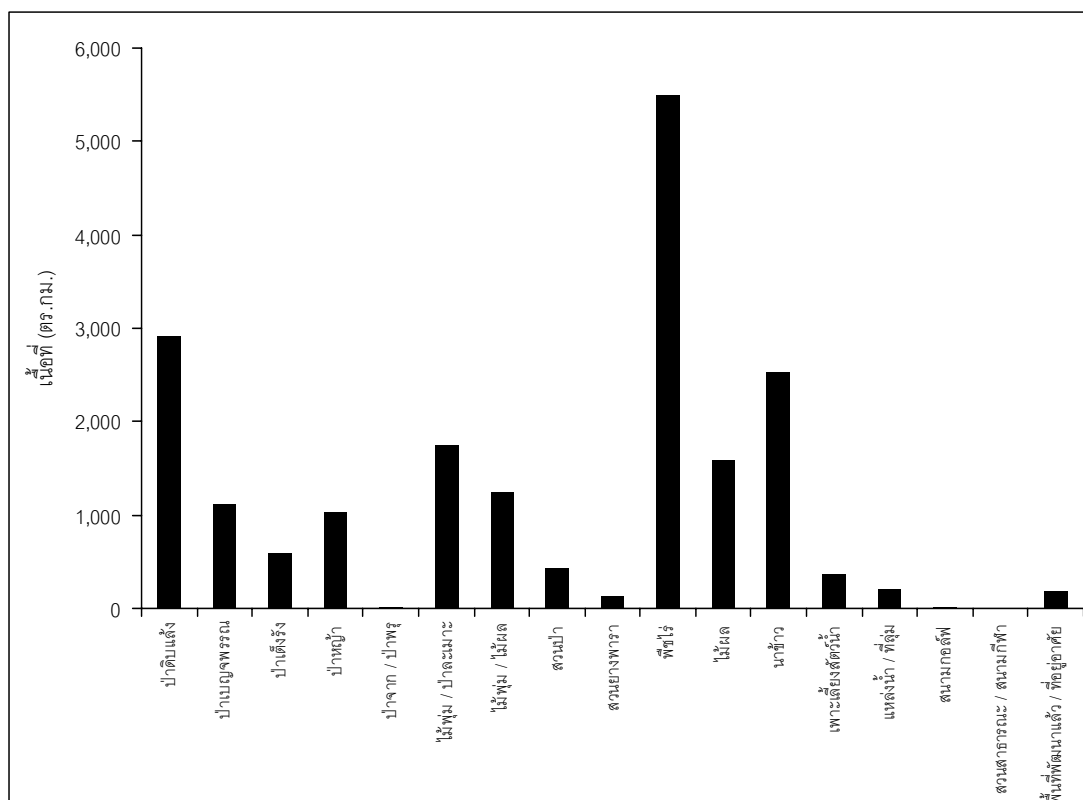
ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2544)

1.5 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2546 ในพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกง-ปราจีนบุรี โดยรวมแล้วเป็นไปตามลักษณะภูมิประเทศและตามทิศทางการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ พื้นที่ป่าไม้ส่วนใหญ่อยู่บนพื้นที่ที่เป็นภูเขาสูงชันที่เป็นพื้นที่ป่าอนุรักษ์ ยกเว้นผืนป่าดิบแล้งในเขตรักษาพันธุ์สัตว์เขาอ่างฤๅไนซึ่งเป็นป่าบนที่ราบ พื้นที่เกษตรกรรมซึ่งส่วนใหญ่อยู่บนที่ราบนั้นมีความหลากหลายของชนิดพืชเกษตรและรูปแบบการปลูกมาก เช่น การทำนา การปลูกมันสำปะหลัง การทำไร่อ้อย การทำสวนผลไม้ การปลูกยางพารา การปลูกไม้ยูคาลิปตัส การปลูกพืชเกษตรแบบ ไร่ นา สวนผสมอันได้แก่ การปลูกมันสำปะหลังในสวนยางพารา สวนมะพร้าว เป็นต้น พื้นที่สวนป่าซึ่งส่วนใหญ่เป็นสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส พบมากแถบตอนกลางและตะวันตกของ ลุ่มน้ำ ในเขตจังหวัดฉะเชิงเทรา ปราจีนบุรีและสระแก้ว สวนป่าไม้ยูคาลิปตัสในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกงนี้มีปริมาณมากเพราะมีโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ไม้ยูคาลิปตัส เป็นวัตถุดิบขนาดใหญ่ตั้งอยู่ในเขตจังหวัดฉะเชิงเทราและปราจีนบุรี ทำให้มีการส่งเสริมการปลูกอย่างแพร่หลาย ส่วนพื้นที่สวนยางพาราพบมากทางตอนกลางและตอนใต้ในเขตจังหวัดฉะเชิงเทราและรอยต่อจังหวัดสระแก้วกับ จันทบุรีมีการทดลองและส่งเสริม ให้ปลูกยางพาราจากหน่วยงานราชการ สำหรับพื้นที่สวนผลไม้พบมากทางตะวันตกในเขตจังหวัดนครนายก ปราจีนบุรี ปทุมธานี และฉะเชิงเทรา ส่วนการปลูกพืชไร่ และทำนานั้นพบกระจายทั่วไปยกเว้นทางทิศตะวันตกและตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งเป็นที่ราบลุ่มต่ำ และได้รับอิทธิพลความเค็มของน้ำทะเลทำให้มีการประกอบอาชีพเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำกันมาก เช่น เลี้ยงกุ้ง เลี้ยงปลา เป็นต้น (ตารางที่ 2 และ ภาพที่ 4) แสดงเนื้อที่ของการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทที่ทำการจำแนก ซึ่งพบว่าประมาณร้อยละ 48.8 ของพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นพืชไร่ นาข้าว และไม้ผล ในขณะที่พื้นที่ป่าไม้ที่เป็นป่าธรรมชาติประกอบด้วยป่าดิบแล้ง ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง รวมทั้งป่าจากหรือป่าพรุมีเนื้อที่รวมกันประมาณร้อยละ 21.5 หรือ 1 ใน 5 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ และมีพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นป่าละเมาะ ไม้พุ่ม ป่าหญ้ารวมกันอีกประมาณร้อยละ 14 ส่วนพื้นที่ที่เป็นสวนป่าซึ่งส่วนมากเป็นสวนยูคาลิปตัสและสวนยางพารานั้นมีรวมกันประมาณร้อยละ 3 ของพื้นที่ หรือประมาณ 300,000 ไร่ซึ่งถือว่าค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับภูมิภาคอื่น ทั้งนี้เนื่องจากมีโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ไม้เป็นวัตถุดิบขนาดใหญ่อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำนี้ สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่นๆ ที่พบมากได้แก่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในส่วนที่เป็นที่ลุ่ม โดยเฉพาะทางทิศตะวันตกและตะวันตกเฉียงใต้ของลุ่มน้ำ

ตารางที่ 2 สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินในกลุ่มบางปะกง-ปราจีนบุรี พ.ศ.2546

ประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดิน	เนื้อที่		
	ตาราง กิโลเมตร	ไร่	ร้อยละ
ป่าดิบแล้ง	2910.14	1,818,837.50	14.84
ป่าเบญจพรรณ	1118.53	699,081.25	5.71
ป่าเต็งรัง	597.27	373,293.75	3.05
ป่าหญ้า	1028.30	642,687.50	5.25
ป่าจาก / ป่าพรุ	17.08	10,675.00	0.09
ไม้พุ่ม / ป่าละเมาะ	1749.41	1,093,381.25	8.92
ไม้พุ่ม / ไม้ผล	1239.90	774,937.50	6.32
สวนป่า	432.37	270,231.25	2.21
สวนยางพารา	134.30	83,937.50	0.69
พืชไร่	5486.72	3,429,200.00	27.98
ไม้ผล	1578.95	986,843.75	8.05
นาข้าว	2534	1,583,750.00	12.93
เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	363.35	227,093.75	1.85
แหล่งน้ำ / ที่ลุ่ม	208.68	130,425.00	1.06
สนามกอล์ฟ	22.92	14,325.00	0.12
สวนสาธารณะ / สนามกีฬา	1.58	987.50	0.01
พื้นที่พัฒนาแล้ว / ที่อยู่อาศัย	180.15	112,593.75	0.92
รวม	19,603.65	12,252,281.25	100.00



ภาพที่ 4 สัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินในกลุ่มน้ำบางปะกง-ปราจีนบุรี พ.ศ. 2546

ที่มา: สถิติชัย (2548)

1.6 เกษตรกรรม

ในพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกงยังมีการประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก พืชเศรษฐกิจที่สำคัญ ได้แก่ ข้าว รองลงมาจะเป็นผลไม้และพืชไร่ นอกจากการทำนา ทำสวน และพืชไร่แล้ว การเลี้ยงสัตว์ก็นับได้ว่าเป็นอาชีพอย่างหนึ่งที่เสริมรายได้ให้แก่เกษตรกร โดยมีการเลี้ยงสัตว์เพื่อใช้ในด้านแรงงาน บริโภค และส่งจำหน่าย พื้นที่เกษตรกรรมที่ว่าง การใช้ที่ดินเพื่อเกษตรกรรมนี้ ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่นอกเขตเทศบาล พื้นที่ทั่วไปเป็นที่ราบลุ่มส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ใช้ในการทำนา ทำสวน และเลี้ยงสัตว์ อาชีพทำการเกษตร คราวเรือนที่ประกอบอาชีพทำการเกษตรมีทั้งครัวเรือนที่ทำการเกษตรประเภทเดียว เช่น ทำนาอย่างเดียว ทำไร่อย่างเดียว เป็นต้น และครัวเรือนที่ทำการเกษตรหลายประเภท รวมทั้งทำการเกษตรร่วมกับอาชีพอื่น ๆ ด้วย

1.7 ป่าไม้

พื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกงประกอบไปด้วยลักษณะภูมิประเทศที่เป็นภูเขา ที่ราบลอนคลื่นที่ราบลุ่ม และชายฝั่งทะเลบริเวณปากน้ำ ดังนั้นในความแตกต่างของภูมิประเทศจึงส่งผลให้มีลักษณะภูมิอากาศที่แตกต่างกัน อันเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่ทำให้เกิดความหลากหลายของลักษณะพืชพันธุ์ป่าไม้ที่ปรากฏขึ้นในลุ่มน้ำ ซึ่งปัจจุบันคงเหลืออยู่เพียงร้อยละ 19 ของพื้นที่ลุ่มน้ำอันเป็นบริเวณที่เป็นอุทยานแห่งชาติเท่านั้น สามารถแบ่งชนิดของป่าไม้ได้ตามลักษณะพืชพันธุ์ที่ขึ้นอยู่เป็น 6 ชนิดคือ ป่าดิบเขา ป่าดิบชื้น ป่าดิบแล้ง ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง และป่าชายเลน ซึ่งในแต่ละชนิดป่าจะมีลักษณะและรายละเอียดแตกต่างกันออกไป ดังนี้

1.7.1 ป่าดิบเขา (hill evergreen forest) ป่าชนิดนี้จะถูกปกคลุมอยู่ในบริเวณพื้นที่ตอนบนของลุ่มน้ำอันเป็นส่วนหนึ่งของเทือกเขาสันกำแพง ซึ่งจะพบในพื้นที่ที่มีระดับความสูงเกินกว่า 1,000 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง สำหรับในลุ่มน้ำบางปะกง ป่าชนิดนี้จะมีขนาดพื้นที่ไม่มากนักก็มีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างสูง จะพบได้ในบริเวณเขาเขียวอันเป็นเขตอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ลักษณะของป่าที่ปรากฏจะมีเรือนยอดปกคลุมกันอย่างหนาแน่น แสงสว่างจากดวงอาทิตย์ที่ส่องผ่านมายังพื้นดินจึงมีน้อย บริเวณหุบเขาสภาพป่ามีความอุดมสมบูรณ์มากและประกอบด้วยพืชพันธุ์ไม้นานาชนิด ส่วนบริเวณยอดเขาและสันเขาซึ่งมีลักษณะโล่งแจ้งจะมีพันธุ์ไม้ขึ้นอยู่ห่างกัน ชนิดพันธุ์ไม้เด่นที่พบอยู่ค่อนข้างหนาแน่น ได้แก่ ขุนไม้ (*Podocarpus wallichianus*) พญาไม้ (*Podocarpus neriifolia*) ขางปอย (*Alchornea rugosa*) ฤๅษณา (*Aquilaria ceassna*) ก่อค้าง (*Quercus mysinoefolia*) ก่อน้ำ (*Lithocarpus annamensis*) ก่อเดือย (*Castanopsis acuminatissima*) และก่อใบเลื่อม (*Castanopsis tribuloides*) เป็นต้น

1.7.2 ป่าดิบชื้น (moist evergreen forest) ป่าดิบชื้นในลุ่มน้ำบางปะกงพบมากบริเวณที่มีความชื้นค่อนข้างสูง ซึ่งอยู่ตอนบนของลุ่มน้ำเช่นเดียวกับป่าดิบเขา แต่จะปรากฏในความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางอยู่ระหว่าง 400-1,000 เมตร เป็นผืนใหญ่ที่ต่อเนื่องกันจนกระทั่งถึงพื้นที่ที่เป็นป่าดิบเขาแล้ง ซึ่งอยู่โดยรอบเป็นสังคมของพืชตระกูลไม้ยาง (*Dipterocarpaceae*) เป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ ยางกล่อง (*Dipterocarpus dyeri*) ยางขน (*Dipterocarpus baudii*) ยางเสี้ยน (*Dipterocarpus gracilis*) และยางปาย (*Dipterocarpus costatus*) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีพืชตระกูลไม้ก่อ (*Fagaceae*) อันได้แก่ ก่อน้ำ (*Lithocarpus annamensis*) ก่อรัก (*Quercus semiserrata*) ก่อค้าง (*Quercus*

myrsinacefolia) ก่อเคียว (*Castanopsis acuminatissima*) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีพันธุ์ไม้อื่นๆ อยู่อีกหลายชนิด อันได้แก่ สมพงษ์ (*Tetramles nudiflora*) จำปีป่า (*Paramicheia baillonii*) พะอง (*Calophyllum polyanthum*) และปออีเก้ง (*Pterocymbium javanicum*) เป็นต้น ส่วนไม้พื้นล่างนอกจากจะเป็นกล้าไม้ที่กล้ามาแล้ว ยังมีไม้จำพวกปาล์ม (*Palm*) หวาย (*Calamus*) และไม้ไผ่ (*Bamboo*) อีกหลายชนิดขึ้นปกคลุมอยู่อย่างหนาแน่น และเป็นส่วนประกอบที่เด่นชัดของพีชป่าชนิดนี้ในพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกง

1.7.3 ป่าเบญจพรรณ (mixed deciduous forest) ป่าชนิดนี้พบขึ้นอยู่กระจัดกระจายทั่วไปในพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกง และบริเวณตอนบนของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองสียัด ซึ่งจะอยู่ในระดับความสูงช่วง 300–600 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง และในบางส่วนที่เป็นภูเขาสูงเดี่ยวที่กระจัดกระจายทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะปะปนผสมผสานกันอยู่กับป่าดิบแล้งและป่าเต็งรัง ชนิดพันธุ์ไม้ต่างๆ ที่ขึ้นเห็นอย่างเด่นชัดในป่าชนิดนี้ ได้แก่ มะค่าโมง (*Azelia xylocarpa*) ประดู่ (*Pterocarpus marcocarpus*) ตะแบกใหญ่ (*Lagerstroemia calyculata*) กว้าว (*Adina cordifolia*) ตีนนก (*Vitex pinnata*) แดง (*Xylocarpus xylocarpa*) สมอพิเภก (*Terminalia bellerica*) ตะคร้อ (*Garuga pinnata*) พะยอม (*Shorea floribunda*) และกระบก (*Lrvingia malayana*) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีไม้ไผ่หลายชนิด อันได้แก่ ไผ่รวก (*Thysostachys albociliata*) เป็นต้น ส่วนไม้พื้นล่างที่พบนอกจากจะเป็นลูกไม้และกล้าไม้ของพืชใหญ่ที่กล้ามาแล้วยังพบพวกเฟิร์นบางชนิด หญ้าต่างๆ ขึ้นปกคลุมอยู่ไม่หนาแน่นนัก ทั้งนี้เนื่องจากป่าชนิดนี้จะถูกไฟป่าเผาผลาญ

1.7.4 ป่าเต็งรัง (dry dipterocarp forest) ป่าชนิดนี้ขึ้นปะปนอยู่กับป่าเบญจพรรณที่กระจัดกระจาย แต่จะปรากฏให้เห็นได้เด่นชัดในบริเวณที่มีดินค่อนข้างดี ปัจจุบันป่าชนิดนี้ขนาดพื้นที่เล็กมาก กระจายอยู่เป็นหย่อม ๆ และบางส่วนจะปรากฏให้เห็นเต็มตามพื้นที่เกษตรกรรม แสดงให้เห็นว่าได้มีการบุกรุกพื้นที่ป่าชนิดนี้เป็นอย่างมาก ในส่วนที่คงเหลือจะพบชนิดพันธุ์ไม้อันได้แก่ เต็ง (*Shorea obtusa*) มะขามป้อม (*Phyllanthus emblica*) จีวป่า (*Bombax anceps*) แคทราย (*Stereospermum neuranehum*) ตีวขาว (*Cratoxylum formosum*) มะค่าแต้ (*Sindora siamensis*) และเก็ด (*Dalbergia sp.*) ส่วนไม้พื้นล่างที่ปรากฏให้เห็นนอกจากเป็นกล้าไม้ลูกไม้ของพืชใหญ่ก็มีพวกปรัง และ หญ้าเป็ก ให้เห็นอยู่บางแห่งเท่านั้น

1.7.5 ป่าชายเลน (mangrove forest) เป็นป่าชนิดหนึ่งที่ปรากฏในพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกง โดยพื้นที่ปกคลุมอยู่บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง และบริเวณชายฝั่งทะเลทั้งสองด้านที่ติดต่อกับปากน้ำเท่านั้น พบว่า สภาพของป่าชายเลนที่เหลืออยู่ทั่วไปค่อนข้างเสื่อมโทรมมาก โดยปกติแล้วจะสามารถแบ่งเขตการขึ้นอยู่ของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนได้อย่างชัดเจน เนื่องจากความแตกต่างในเรื่องของการปรับตัว และปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความเค็มของดินและน้ำ การท่วมถึงของน้ำทะเล ลักษณะดินและความรุนแรงของลม แต่เนื่องจากการพัฒนาพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำเพื่อทำการก่อสร้างเป็นที่พักผ่อนริมทะเล ตลอดจนนาุ้งบริเวณชายฝั่งทะเล ทำให้พื้นที่ป่าชายเลนที่เคยขึ้นอยู่แถบลึกกว่า 200 เมตร เหลือเป็นแนวแคบๆ ประมาณ 10-50 เมตรเท่านั้น สาเหตุที่เหลืออยู่ก็เพียงเพื่อเป็นแนวป้องกันการกัดเซาะดินชายฝั่ง ทะเลเท่านั้น ชนิดพันธุ์ไม้ที่บริเวณชายเลนที่เหลืออยู่น้อยชนิด และที่พบว่าขึ้นอย่างหนาแน่น ได้แก่ ไม้แสมขาว (*Avicennia alba*) และแสมดำ (*Avicennia officinalis*) ชนิดที่ขึ้นปะปนอยู่บ้างบางบริเวณ ได้แก่ ไม้โกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata*) และลำพู (*Sonneratia caseolaris*) นอกจากนี้ยังมีไม้ตะบูนดำ (*Xylocarpus mofuccensis*) และโพธิ์ทะเล (*Theapesia populnea*) อีกด้วย และพบว่าพื้นที่ริมฝั่งที่เป็นดินเลนหนาและมีไม้โกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata*) ขึ้นอยู่ส่วนพื้นที่ที่เป็นดินเลนค่อนข้างเล็กน้อยจะเป็นพวกไม้แสม (*Avicennia sp.*) ส่วนพวกไม้ลำพู (*Sonneratia caseolaris*) จะขึ้นอยู่บริเวณริมฝั่งทะเลที่มีดินแข็ง ซึ่งต่างจากกับไม้ตะบูน (*Xylocarpus sp.*) และโพธิ์ทะเล (*Theapesia populnea*) ที่พบว่า ขึ้นอยู่บริเวณริมฝั่งเช่นกัน แต่เป็นพื้นที่ค่อนข้างสูงดินแข็ง เนื่องจากน้ำทะเลท่วมถึงเป็นบางครั้งเท่านั้น