บทที่ 2

ผลงานวิจัย และงานเขียนอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

โลหะหนัก

โลหะหนักหมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป เป็นธาตุที่มีเลขอะตอมตั้งแต่ 23 – 92 ในจำนวนธาตุทั้งหมด 105 ธาตุ ในตารางธาตุจะพบเป็นโลหะหนัก 68 ธาตุ จากธาตุโลหะทั้งหมด 83 ธาตุ โลหะหนักถือว่าเป็นโลหะปริมาณน้อย โดยเฉพาะที่สนใจกันมากคือกลุ่ม แมงกานีส แคดเมียม ตะกั่ว เหล็ก โคบอลต์ โครเมียม นิเกิล ทองแดง สังกะสี เงิน และปรอท (Hawley, 1977) โลหะหนักและสารประกอบโลหะหนักนับว่าเป็นอันตรายต่อมนุษย์หลายประการ หากได้รับในปริมาณที่มากเกินกว่าที่ร่างกายจะสามารถขจัดออกได้ และจากการค้นคว้าของนักวิทยาศาสตร์ ทำให้ทราบว่าโลหะหนักหลายชนิดเป็นอันตรายต่อพืชและสัตว์แตกต่างกันไปเช่นเป็นพิษต่อเนื้อเยื่อ หรืออวัยวะ ทำให้เกิดโรคมะเร็งชนิดต่างๆ สำหรับความเป็นพิษต่อมนุษย์ โลหะหนักบางตัวจะไปยับยั้ง การทำงานของเอนไซม์ โดยระดับความเป็นพิษของโลหะหนักอาจมีอาการแสดงเริ่มตั้งแต่ มีอาการ ไม่รุนแรงนัก จนถึงขั้นที่อาจทำให้ตายได้

แหล่งกำเนิดโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม

การปนเปื้อนโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม พบว่าสาเหตุส่วนใหญ่ เกิดจากองค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ ในธรรมชาติ ได้แก่ หิน ดิน ซากพืช ซากสัตว์ และจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การทำเหมืองแร่ การอุตสาหกรรม ประกอบด้วย กระบวนการผลิตโลหะ การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล (fossil) รวมถึงแหล่งเกษตรกรรม ที่มีการใช้สารกำจัดแมลง และเชื้อรา ที่มีองค์ประกอบเป็นซิลิเนียม หรือทองแดง และแหล่งชุมชน ที่มีการทิ้งขยะมูลฝอยที่มีถ่านไฟฉาย หรือแบตเตอรี่ที่มีแมงกานีส แคดเมียมและตะกั่วเป็นองค์ประกอบ รวมถึงการปล่อย น้ำเสีย ทั้งที่ได้รับการบำบัดและไม่ผ่านการบำบัด ลงสู่แหล่งน้ำ (สมปรารถนา มหาผล, 2544)

โลหะหนักในแหล่งน้ำ

โลหะหนักชนิดต่าง ๆ เมื่ออยู่ในแหล่งน้ำสามารถอาศัยอยู่ในตัวกลาง เช่น ดินตะกอน พืชน้ำ สัตว์น้ำและแขวนลอยอยู่ในน้ำอย่างอิสระได้ในปริมาณที่แตกต่าง ๆ กัน ซึ่งโลหะหนักที่อยู่ในตัวกลางเหล่านี้สามารถเปลี่ยนรูปหรือเคลื่อนย้ายเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารได้ สามารถแยกรายละเอียดดังนี้

1. การสะสมโลหะหนักในแหล่งน้ำ มีทั้งอยู่ในรูปละลายน้ำ และสารแขวนลอย ซึ่งความเข้มข้นของโลหะหนักในแหล่งน้ำนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาเนื่องจากความสามารถ ในการผสม ผสานของโลหะหนักในรูปสารแขวนลอย และรูปที่ละลายน้ำมีความต่างกัน โดยรูปของสารแขวนลอยคงตัวยาวนานกว่ารูปที่ละลายน้ำ และจากการที่น้ำมีการเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา ทำให้ตะกอนใต้น้ำมีการลอยตัวขึ้น (resuspendtion) จึงมีทั้งกระบวนการดูดซับ (adsorption) และ การคาย (desorption) ของโลหะหนักระหว่างน้ำและตะกอนดิน

2. การสะสมโลหะหนักในตะกอนดิน ส่วนหนึ่งเป็นโลหะหนักที่เกิดขึ้นจากการสะสมตัวตามธรรมชาติ ซึ่งเกิดจากการชะล้างเกลือแร่ หรือโลหะหนักที่เป็นส่วนประกอบของแร่ที่มีอยู่บนพื้นดินบริเวณนั้น ลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งตามสภาพทางธรณีวิทยาแล้วสามารถละลายออกมาปนกับน้ำได้ และอีกส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการใช้ และการปล่อยโลหะหนักที่สะสมอยู่ในตะกอนดิน โดยโลหะหนักที่สะสมอยู่ในตะกอนดิน มีความเข้มข้นสูงมากกว่าในน้ำเป็นจำนวนมาก แล้วมีกระบวนการทางเคมี ฟิสิกส์ และชีวภาพ เข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้มีการปลดปล่อยโลหะหนักลงสู่แหล่งน้ำ องค์ประกอบของตะกอนดินที่มีผลต่อการสะสมโลหะหนัก ได้แก่พวกคาร์บอเนต และออกไซด์ของแมงกานีส และเหล็กตลอดจนองค์ประกอบของสารอินทรีย์ต่าง ๆ

ผลการศึกษาชนิดและปริมาณของโลหะหนักที่ตกค้างในน้ำและดินตะกอน ในชั้นคุณภาพลุ่มน้ำต่าง ๆ ของลุ่มน้ำป่าสัก ปี 2533 ของ สงัด อัครวานิช (2534) พบว่า ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี มีความเข้มข้นแตกต่างกัน ตามชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ ฤดูกาล และสภาพการใช้ที่ดิน แต่รูปแบบของความเข้มข้นจะไม่แปรตามลำดับของชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ แต่จะแปรตามกิจกรรมของชุมชน และสภาพพื้นที่บริเวณลุ่มน้ำนั้น สอดคล้องกับ สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์ (2525) ที่ระบุว่า ในสภาพการใช้ที่ดินที่แตกต่างกัน จะมีความเข้มข้นโลหะหนักในน้ำและดินตะกอนแตกต่างกัน ในสภาพที่เป็นพื้นที่ป่าไม้จะมีความเข้มข้นต่ำสุด และจะมีความเข้มข้นสูงในพื้นที่ที่มีการตั้งถิ่นฐานของมนุษย์และพื้นที่เกษตรกรรม

โลหะหนักในดิน

โลหะหนักมีลักษณะโดยทั่วไป มีการเปลี่ยนแปลงวาเลนซีอยู่เสมอ สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนได้สูง และมักจะทำปฏิกิริยากับกลุ่มซัลไฟด์ โลหะหนักในดิน มักจะอยู่ในรูปของสารประกอบอนินทรีย์ของโลหะ เช่น โลหะออกไซด์ โลหะไฮดรอกไซด์ และโลหะคาร์บอเนต ซึ่งอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ ความเสถียรของสารประกอบอนินทรีย์ ของโลหะในดิน จะขึ้นกับค่าความเป็นกรด-เบส ของดิน โดยดินจะเสถียรเมื่อดินมีค่าความเป็นกรด-เบส เป็นกลางหรือเป็นด่างเล็กน้อย ถ้าดินเป็นกรด จะทำให้โลหะเหล่านี้ละลายออกมาอยู่ในสารละลายดิน ซึ่งความเป็นพิษของโลหะหนัก จะแพร่กระจายเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารได้ในความเข้มข้นน้อย ๆ อย่างต่อเนื่อง โดยเริ่มจากการสะสมในดิน และรากพืชดูดไปด้วยกระบวนการ ion absorbtion ซึ่งเป็นการดูดแบบวิธีการแลกเปลี่ยนประจุ (วรกาย อุสาห์, 2541) และเมื่อสิ่งมีชีวิตบริโภคพืชนั้นก็จะเกิดการสะสมในสิ่งมีชีวิตนั้นต่อไป

โลหะหนักในปัจจุบัน ได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นโรงถลุงแร่ อุตสาหกรรมโรงงานต่าง ๆ ไอเสียรถยนต์ สารเคมีทางการเกษตร การเผาไหม้น้ำมัน ของเหลือใช้จากโรงงาน และชุมชน ตลอดจนการทับถมของวัสดุเหลือใช้ต่าง ๆ เช่นการใช้แคดเมียมและตะกั่วทำแบตเตอรี่ใช้โครเมียมเคลือบอุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ รวมถึงการนำโลหะหนักมาเป็นส่วนประกอบในอุปกรณ์ เช่น แบตเตอรี่หรือถ่านไฟฉายเครื่องสำอาง สีทาบ้าน อุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์ต่าง ๆ ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้เมื่อใช้แล้ว ก็จะถูกนำไปทิ้งไปตามกองขยะ เกิดการสะสม และกลายเป็นแหล่งที่มาที่สำคัญของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม ซึ่งความเข้มข้นของโลหะหนัก ที่แพร่กระจายลงสู่ดินจะมีแนวโน้มที่สูงขึ้น เนื่องจากในดินจะมีความเข้มข้นแปรผันได้ตามวิธีการใช้นั้น จนถึงระดับหนึ่งที่จะเป็นพิษต่อพืช และมนุษย์ โดยที่ในพืชอาจไม่แสดงอาการเป็นพิษออกมา ทำให้พืชกลายเป็นตัวส่งถ่ายโลหะหนักเหล่านี้เข้าสู่ห่วงโซ่อาหารได้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Brady (1990) อ้างถึงใน ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา (2539) ที่พบว่า แคดเมียม ตะกั่ว และแมงกานีสในพืช มีความเข้มข้นระหว่าง 0.2 – 0.8, 0.1 -10 และ 15 – 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1

ความเข้มข้นโลหะหนักในดินและพืช

ธาตุ	ความเข้มข้นที่พบ		เปลือกโลก	แม่น้ำ(ppb)
	ดิน (ppm)	พืช (ppm)	(ppm)	
แคดเมียม (Cd)	0.1-7.0	0.2-0.8	0.2	0.1
ตะกั่ว (Pb)	2-200	0.1-10	12.5	3
แมงกานีส (Mn)	100-4000	15-100	900	n.a.

ที่มา: Brady (1990) อ้างถึงใน ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา พนิชศักดิ์พัฒนา (2539)

หมายเหตุ n.a. หมายถึงไม่มีข้อมูล

<u>ปัจจัยที่มีผลต่อโลหะหนักในดิน</u>

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อเปลี่ยนแปลงธาตุโลหะหนักในดิน มีดังต่อไปนี้ (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539)

1. การที่โลหะไอออนบวกอื่นที่มีอยู่ในดินอาจมีผลทำให้การดูดซับไอออนบวกชนิดหนึ่ง ๆ มากขึ้นหรือน้อยลงเนื่องจากเกิดการแย่งตำแหน่งการเกาะยึดบนอนุภาคดิน

2. การเกิดสารประกอบเชิงซ้อน คือ โลหะไอออนบวกสามารถทำปฏิกิริยากับลิแกนด์ ทั้งประเภทสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ทำให้ประจุบวกลดลงกลายเป็นโมเลกุลที่ไม่มีประจุ หรือ มีประจุลบได้ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของโลหะ ชนิด และปริมาณของลิแกนด์ คุณสมบัติของพื้นผิวอนุภาคดิน องค์ประกอบในสารละลายดิน ค่าความเป็นกรด-เบส และสภาพรีดอกซ์

3. ค่าความเป็นกรด-เบส ตำแหน่งการดูดซับหลายประเภทของในดิน ได้แก่ ออกไซด์ของเหล็ก และแมงกานีส อินทรียวัตถุ คาร์บอเนต และขอบของอนุภาคแร่ดินเหนียว จะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด–เบส ของดิน เมื่อ ค่าความเป็นกรด-เบส ลดลง จำนวนตำแหน่งการดูดซับไอออนบวกจะลดลง ในขณะที่ตำแหน่งการดูดซับไอออนลบจะเพิ่มขึ้น เช่น เมื่อค่าความเป็น กรด-เบส เป็นกรด Al^{3+} และ H^{+} อาจเข้ามาแทนที่ตำแหน่งไอออนบวกในดินได้ เป็นต้น

4. สภาพออกซิเดชัน - รีดักชันของดิน จะมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของโลหะหนักในดิน โดยที่การเกิดสภาวะออกซิเดชัน จะทำให้โลหะหนักสามารถถูกดูดซับไว้ในดินได้ดี และในขณะที่เกิดสภาวะรีดักชัน การเคลื่อนที่ของโลหะจะเพิ่มขึ้น

5. ของเสียที่ปะปนมากับไอออน เช่น อินทรียวัตถุ ของเสียประเภทโลหะจากโรงงานอุตสาหกรรม หรือแหล่งกำเนิดอื่น ๆ เป็นต้น

ประเภทของโลหะหนักที่ศึกษา

ตะกั่ว (Lead)

ตะกั่วที่พบตามธรรมชาติมักอยู่ในรูปของตะกั่วซัลไฟด์ ตะกั่วซัลเฟต แร่ที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบได้แก่ galena, cerusite, anglesite, pyromophite, crocite (Reilly,1982) และพบว่าตะกั่วอยู่รวมกับโลหะอื่น เช่น ทองแดง สังกะสี เงิน และแคดเมียม ตะกั่วในธรรมชาติเกิดจากหินประเภทต่าง ๆ เช่น หินอัคนี หินแปร และหินชั้น และพบมากในหินดินดานสีดำประมาณ 30 ไมโครกรัมต่อกรัม (Alloway, 1990) นอกจากนี้ยังพบตะกั่วอยู่ทั่วไปทั้งในดิน น้ำ อากาศ และ ตะกอนดิน จากการศึกษาพบตะกั่วโดยเฉลี่ยในดิน 10 ไมโครกรัมต่อกรัม ในน้ำ 13.1 ไมโครกรัมต่อลิตร (Reilly, 1982) ในอากาศ 36 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ ในตะกอนดินพบ 20 ไมโครกรัมต่อกรัม สำหรับในประเทศไทย ประนอม ภูวนัตตรัย (2532) สำรวจแม่น้ำในประเทศไทย 34 สาย ระหว่างปี 2521 – 2531 พบว่า ร้อยละ 30.6 มีความเข้มข้นเกินมาตรฐานแหล่งน้ำเพื่อผลิตน้ำประปาขององค์การอนามัยโลก (0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร) ความเข้มข้นสูงสุด 15.10 มิลลิกรัมต่อลิตร และกองมาตรฐานสิ่งแวดล้อม (2528) ได้รายงานความเข้มข้นของตะกั่วในแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างและแม่น้ำแม่กลอง มีความเข้มข้น 233.1 และ 1.0 – 46.2 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ตะกั่วในธรรมชาติ เมื่อสลายตัวจะถูกออกซิไดส์อย่างช้า ๆ ให้อยู่ในรูปคาร์บอเนต หรือถูกตึงโดยแร่ดินเหนียว ออกไซด์ของเหล็ก อะลูมินัม และอินทรียวัตถุ โดยทั่วไปตะกั่วอยู่ในรูป Pb^{2+} เนื่องจากมีความเสถียรมากที่สุด สามารถเข้าแทนที่โปตัสเซียม (K) แบเรียม (Ba) สตรอนเทียม (Sr) และแม้แต่แคลเซียม (Ca) ในแร่และในตำแหน่งที่ไอออนของธาตุเหล่านี้ถูกดูดซับ

Motto et al. (1970) อ้างถึงใน อำนวย อ่ำเมือง (2528) ระบุว่า ระดับปกติของตะกั่วในพืช ไม่ควรเกิน 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งตะกั่วที่พืชได้รับเหล่านี้มาจากดิน สารกำจัดศัตรูพืช หรือจากปุ๋ยเคมี

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา (2539) ได้สรุปการปนเปื้อนของตะกั่วในดินที่เกิดจากการใช้ดินเป็นแหล่งทิ้งกากตะกอนน้ำโสโครก และอินทรียวัตถุเหลือใช้ต่าง ๆ เช่น มูลสัตว์ สารประกอบทางเคมี เช่น ปุ๋ย สารกำจัดศัตรูพืช และวัสดุเหลือใช้จากครัวเรือนนั้น ในดินทั่วไปจะมีความเข้มข้นตะกั่วได้ตั้งแต่ 10 - 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในดินชั้นบนตะกั่วจะมีความเข้มข้นตั้งแต่ 1.5 - 189 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่ง ความเข้มข้นตะกั่วในดินที่มีอยู่ในธรรมชาติในบริเวณที่ไม่มียวดยานพาหนะใด ๆ เลย จะมีตะกั่วเพียง 10-15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ไมตรี (2522) อ้างถึงใน อำนวย อ่ำเมือง (2528)) ซึ่งค่าเฉลี่ยตะกั่วในดินเท่ากับ 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ไม่ควรเกิน 70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

การปนเปื้อนของตะกั่วในดิน ส่วนหนึ่งจะมาจากตะกั่วในภาพที่ละลายได้ที่ปฏิกิริยากับอนุภาคดินเหนียว ฟอสเฟต ซัลเฟต คาร์บอเนต ไฮดรอกไซด์ และอินทรียวัตถุในดิน ทำให้ความสามารถในการละลายได้ลดลง ในดินที่มีค่า ค่าความเป็นกรด-เบส มากกว่า 6 ตะกั่วอาจจะถูกดูดซับไว้ที่พื้นที่ผิวของอนุภาคดินเหนียว หรือเกิดเป็นสารประกอบเลดคาร์บอเนต และสามารถยึดเกาะกับลิแกนด์ประเภท อินทรียวัตถุ ได้ดี เกิดเป็นสารเชิงซ้อนที่จะสามารถลดการเคลื่อนที่ของตะกั่วได้เป็นอย่างมาก

ในธรรมชาติแร่ที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ เมื่อเกิดการสลายตัวจะถูกออกซิไดซ์อย่างช้า ๆ ให้อยู่ในรูปของคาร์บอเนต ซัลเฟต และออกไซด์หรือจะถูกตรึงโดยแร่ดินเหนียว และอินทรียวัตถุ โดยจะสามารถ แตกตัวให้ Pb^{2+} ได้เมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรด เช่นตัวอย่างสมการ (1) (2) (3) และ (4)

$$PbO\ (yellow) + 2H^{+} \rightleftharpoons Pb^{2+} + H_2O \quad (1)$$

$$PbCO_3\ (cerussite) + 2H^{+} \rightleftharpoons 2Pb^{2+} + CO_2\ (g) + H_2O \quad (2)$$

$$PbSO_4\ (anglesite) \rightleftharpoons Pb^{2+} + SO_4^{2-} \quad (3)$$

$$PbSiO_3© + 2H^{+} + H_2O \rightleftharpoons Pb^{2+} + H_2SiO_4^{0} \quad (4)$$

ซึ่งตะกั่วในดินที่พบจะอยู่ในรูปของ Pb^{2+} มากกว่า Pb^{4+}นอกจากนี้แล้ว Pb^{2+} ยังมีลักษณะที่คล้ายกับกลุ่มของโลหะแอลคาไลน์เอิร์ท จึงสามารถที่จะเข้าไปแทนที่ K Ba Sr และ Ca ในแร่ได้ตรงบริเวณตำแหน่งที่ไอออนของธาตุเหล่านี้ถูกดูดซับ ดังนั้นในการหาค่าแอคติวิตีของตะกั่วในดินในช่วง ค่าความเป็นกรด-เบส 5.5-7.5 จะสามารถหาได้จาก สมการ (5)

$$soil\text{-}Pb \rightleftharpoons Pb^{2+} \quad \log K^{0} = \sim -8.5 \quad (5)$$

ความสัมพันธ์ของตะกั่วในดินในเรื่องของกระบวนการดูดซับ จะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-เบส ในดิน ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนในดิน (cation exchange capacity: CEC) และค่าสารอินทรียวัตถุในดิน ซึ่งในดินที่มีค่าความเป็นกรดในดินสูง ค่า CEC ต่ำ และค่าสารอินทรียวัตถุในดินต่ำนั้น จะทำให้ตะกั่วสามารถละลายได้มากและอยู่ในรูปของไอออน (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539) เพราะในดินที่มี CEC และอินทรียวัตถุต่ำจะมีประจุลบที่สามารถดูดซับตะกั่วซึ่งเป็นแคตไอออนได้ต่ำด้วย ประกอบกับดินที่มีสภาพเป็นกรดสูงทำให้เพิ่มจำนวนไฮโดรเจนไอออนที่สามารถแทนที่ตะกั่วที่ดูดซับกับดินให้ละลายออกมาอยู่ในสารละลายดินได้มากขึ้น จึงทำให้สภาพเช่นนี้มีการละลายของตะกั่วได้มาก (นิยม บุญพิคำ, 2543) และเมื่อสภาพการละลายได้ของตะกั่วมีมากขึ้น ตะกั่วจะสามารถเกิด ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ ดังสมการ (6)

$$Pb^{2+} + H_2O \rightleftharpoons PbOH^+ + H^+ \qquad (6)$$

สภาพละลายได้นี้ตะกั่วจะลดลงได้อย่างมากโดยการใส่ปูน ซึ่งในดินที่มีค่าความเป็นกรด-เบสสูง หรือมีการเติมโซเดียมอิออนเข้าไป ตะกั่วจะตกตะกอนในรูป ไฮดรอกไซด์ ฟอสเฟตคาร์บอเนต หรือเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสารอินทรีย์และมีความเสถียรค่อนข้างมาก การเพิ่มความเป็นกรด แก่ดินทำให้สภาพละลายได้ของตะกั่วเพิ่มขึ้นได้บ้าง ซึ่งตะกั่วจะละลายไปอยู่ในรูปไอออน ส่วนอินทรียวัตถุในดินชั้นบน จะมีประจุลบของที่สามารถจับกับประจุบวกของตะกั่วไว้ได้จึงเป็นแหล่งสะสมตะกั่วที่สำคัญอีกแหล่ง ส่งผลให้การเคลื่อนย้ายของตะกั่วในชั้นดินบนลงสู่ชั้นล่างนั้นมีมากขึ้น อีกทั้งยังคงทนต่อการสลายตัวด้วยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ทำให้ตะกั่วสามารถคงอยู่ในดินได้นาน การปนเปื้อนของตะกั่วจึงเปรียบเสมือนการสะสมที่ไม่หวนกลับลดลงได้ แม้ว่าจะเป็นการสะสมในความเข้มข้นต่ำและสะสมทีละน้อยๆ (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539)

<u>ผลจากการปนเปื้อนของตะกั่วในสิ่งแวดล้อม</u>

ตะกั่วในดินแทบทั้งหมดอยู่ในรูปที่พืชดูดกินไม่ได้ มีปริมาณเพียงร้อยละ 0.003 - 0.005 ของปริมาณตะกั่วทั้งหมดเท่านั้น ที่อยู่ในรูปที่พืชดูดกินได้ สำหรับความสามารถในการดูดซึมตะกั่วของพืชนั้น จะขึ้นอยู่กับสภาพละลายได้ของตะกั่วในดิน เมื่อตะกั่วเข้าสู่พืชแล้วจะสามารถถ่ายทอด เข้าสู่ห่วงโซ่อาหารในลำดับถัดไปได้แก่ คนและสัตว์ ด้วยการกิน โดยในสภาพปกติจะมีตะกั่วละลายได้อยู่ประมาณ 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และระดับปกติของตะกั่วที่พบในพืชคือ 0.5 – 3.0 มิลลิกรัม

ต่อกิโลกรัม ข้อเสียของพืชที่สำคัญมากประการหนึ่งคือ พืชจะสามารถรับตะกั่วได้ในปริมาณที่สูงมากโดยไม่แสดงอาการเกิดพิษ แม้จะมีความเข้มข้นของตะกั่วในเนื้อเยื่อสูงถึง 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งโดยทั่วไปหากพืชมีตะกั่วสะสมในระดับปกติเพียง 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ก็นับเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์อย่างมาก และในกรณีที่มีการปนเปื้อนของตะกั่วในดินสูงมาก ส่วนใหญ่จะพบในบริเวณพื้นที่ที่มีการถมหรือฝังกากของเสียที่ปนเปื้อนตะกั่วเป็นประจำ (วาสิฏฐี อุดชาชน, 2545) ซึ่งสอดคล้องกับ อรวรรณ ศิริรัตนพิริยะ (2522) ที่พบว่า เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของตะกั่วลงไปในดิน ความเข้มข้นของตะกั่วในพืชจะยิ่งเพิ่มตามไปด้วย แต่ไม่ได้ทำให้การเจริญเติบโตของหญ้าขนผิดปกติ และระบุว่าหญ้าขนสามารถทนต่อความเป็นพิษของตะกั่วได้ถึง 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

Zimdahl (1975) อ้างถึงใน อำนวย อ่ำเมือง (2528) ได้รวบรวมผลการศึกษาพบว่า ตะกั่วจะเป็นพิษต่อข้าวโพด ถั่ว ผักกาดหอม และเรดบีช ซึ่งความเป็นพิษจะเพิ่มขึ้นเมื่อดินค่อนข้างเป็นกรด และสรุปว่าพืชจะดูดเอาโลหะหนักไปไว้ในลำต้นได้มากน้อยเพียงไรขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-เบสของดิน อุณหภูมิ แร่ธาตุ ปริมาณอินทรีย์ในดิน และชนิดของดิน ฯลฯ

<u>ความเป็นพิษของตะกั่ว</u>

ความเป็นพิษของตะกั่วซึ่งจัดว่าเป็นสารมลพิษที่มีปัญหาในระยะยาว มีความเป็นพิษต่อร่างกายถึง 4 ระบบ ได้แก่ ระบบประสาทส่วนกลาง ระบบประสาทส่วนรอบ ระบบเลือด และไต (มลิวรรณ บุญเสนอ, 2544) โดยเมื่อตะกั่วเริ่มเข้าสู่ร่างกายจะไปขัดขวางกระบวนการสร้างฮีโมโกลบินของเม็ดเลือดแดง ทำให้เกิดโรคโลหิตจาง เซลล์ประสาทสมองเสื่อม ปัญญาอ่อน และอีกทั้งยังเป็นสาเหตุในการเกิดเนื้องอกหรือมะเร็งได้ แต่ถ้าเมื่อใดร่างกายได้รับตะกั่วเข้าไปในปริมาณสูง ในทันทีทันใด จะทำให้เกิดพิษได้อย่างเฉียบพลัน ซึ่งความเข้มข้นของตะกั่วที่ได้รับแล้วจะทำให้เกิดพิษได้อย่างเฉียบพลัน คือ 0.5 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว (เตือนใจ ศรีจันทร์, 2536)

ผู้ได้รับสารตะกั่วในปริมาณมากในระยะเวลาอันสั้นมักมีอาการมักมีอาการคลื่นไส้อาเจียน และปวดท้องรุนแรง มีอาการทางระบบประสาทคือความคิดสับสน การทำงานของร่างกายไม่ประสานกัน สูญเสียทักษะที่เคยทำได้บางอย่าง ชักหมดสติและมีอาการทางสมอง (Acute lead encephalopathy) ส่วนผู้ที่ได้รับในความเข้มข้นต่ำ ๆ เป็นเวลานานมักมีอาการ

เซื่องซึม คิดช้า ปวดศีรษะ มึนศีรษะ การทรงตัวไม่ดี หงุดหงิด ถ้าอาการรุนแรง มักสั่นเวลาเคลื่อนไหว ตาฝ้อ กล้ามเนื้อมีอาการปวดตามกล้ามเนื้อและข้อต่างๆ กล้ามเนื้ออ่อนแรงบ่อย จะมีอาการทางการเคลื่อนไหว และปลายประสาทอักเสบ ทำให้ชาได้ เบื่ออาหาร คลื่นไส้อาเจียน ปวดท้อง อาจสับสนกับอาการไส้ติ่งเฉียบพลันได้ อาการท้องผูก หรือท้องเดิน มีน้ำหนักลดและซีด เช่นเดียวกับการ ขาดธาตุเหล็ก เม็ดเลือดแดงแตกเฉียบพลัน ผู้ป่วยที่ได้รับตะกั่ว นาน ๆ เกิดภาวะยูริกคั่งในร่างกาย ทำให้เกิดภาวะไตวายเรื้อรัง หรือ โรคเก๊าได้ (วิลาวัณย์ จึงประเสริฐ และสุรจิต สุนทรธรรม, 2542)

แคดเมียม (Cadmium)

ในธรรมชาติ พบแคดเมียม ในรูป greenockite (CdS) ประมาณ 0.5 ไมโครกรัมต่อกรัม และปะปนอยู่กับแร่อื่น ๆ เช่นสังกะสี ตะกั่ว และทองแดง แคดเมียมเป็นโลหะที่พบบนผิวโลกความเข้มข้นน้อย 0.15 ไมโครกรัมต่อกรัม พบในรูปสินแร่สังกะสี ร้อยละ 0.3 – 1 ในหินแกรนิตพบ แคดเมียมน้อยกว่า 1 ไมโครกรัมต่อกรัม หินชั้นพบสูงถึง 11 ไมโครกรัมต่อกรัม ความเข้มข้นแคดเมียมในน้ำ และในดินตะกอนจะเปลี่ยนแปลงไปตามวัตถุต้นกำเนิดดิน สภาพแวดล้อม และค่าปฏิกิริยาดิน โดยดินเหนียวและดินที่เป็นเบส สามารถดูดซับแคดเมียมในรูปคาร์บอเนตได้มาก ส่วนดินทรายและดินที่เป็นกรดจะดูดซับได้น้อยกว่า (Reilly, 1982)

ในแหล่งน้ำพบแคดเมียมได้ในความเข้มข้นต่ำ เนื่องจากแคดเมียมในรูปคาร์บอเนตและซัลไฟด์ มีความสามารถละลายน้ำต่ำ โดยในแหล่งน้ำพบแคดเมียมน้อยกว่า 1.0 ไมโครกรัมต่อลิตร (Fassett, 1980) ซึ่งการศึกษาของ บวร ไชยษา (2530) พบว่าความเข้มข้นการเพิ่มของแคดเมียม ขึ้นอยู่กับกิจกรรมของมนุษย์ ฤดูกาล ปริมาณน้ำฝน ความลาดชัน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน และกองมาตรฐานสิ่งแวดล้อม (2528) พบว่าความเข้มข้นการกระจายของแคดเมียมที่แพร่กระจายในสิ่งแวดล้อม มีการย้ายจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่ง และมีผลต่อการสะสมอยู่ ณ ที่ใดที่หนึ่ง เช่น ในดิน หรือในสิ่งมีชีวิต แคดเมียมจะไม่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ (alkyl compound หรือ organometallic compound) เช่นเดียวกับตะกั่ว แต่แคดเมียมจะอยู่ในรูปของเกลือต่างๆ ที่มีการละลายน้ำต่างกัน เกลือของแคดเมียมเช่น แคดเมียมไนเตรต แคดเมียมซัลเฟต จะละลายน้ำดี แต่แคดเมียมออกไซด์ แคดเมียมไฮดรอกไซด์ และแคดเมียมคาร์บอเนต จะไม่ละลายน้ำ แคดเมียมออกไซด์มีความดันไอสูง จึงระเหยได้ดีและเข้าสู่ร่างกายได้ง่าย (มลิวรรณ บุญเสนอ, 2544)

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา (2539) กล่าวว่า แคดเมียมเคลื่อนที่ได้ดีในดินที่มีค่าความเป็นกรด-เบส 4.5 ถึง 5.5 ซึ่งในดินสภาพเป็นกรด การละลายได้ของแคดเมียมจะขึ้นกับออกไซด์ของเหล็ก อลูมินัม และปริมาณอินทรียวัตถุในดิน แต่ในขณะที่ในสภาพดินเป็นเบส แคดเมียมไม่ค่อยเคลื่อนที่

<u>ความเป็นพิษของแคดเมียม</u>

แคดเมียมเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งการกินและการหายใจ หลังจากดูดซึมเข้าสู่ร่างกายแล้วจะถูกลำเลียงไปยังตับ และจับกับโปรตีน metallothionin และสะสมอยู่ในร่างกายที่ตับและไต มักสะสมตามอายุที่เพิ่มขึ้น พิษเรื้อรังที่เกิดมักเกิดเฉพาะที่เช่นทางเดินหายใจ และไตพบความผิดปกติของกระดูก เช่น กระดูกพรุน และกระดูกหักง่าย ทำให้ปวดกระดูกขา และเดินลำบาก กระดูกหัก การทำลายเม็ดเลือดแดง ทำให้เกิดธาตุเหล็ก และก่อให้เกิดมะเร็ง (วิลาวัณย์ จึงประเสริฐ และสุรจิต สุนทรธรรม, 2542) และสิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์ (2525) สรุปว่าความเป็นพิษของแคดเมียมโดยเฉพาะต่อคน จะมีผลทั้งแบบเฉียบพลันและผลแบบเรื้อรัง เมื่อร่างกายดูดซับแคดเมียมไว้แล้ว จะแพร่กระจายไปในพลาสมาและไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของร่างกายอย่างรวดเร็ว และ ถ้าได้รับสูงถึง 326 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากอาหาร จะมีอาการปวดหัว ปวดท้องอย่างรุนแรง มีเสมหะมาก ถ้าได้รับแคดเมียมจากบรรยากาศในการทำงาน 5 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในช่วงเวลาทำงาน 8 ชั่วโมง อาจทำให้เสียชีวิตภายใน 4 – 7 วัน (วิลาวัณย์ จึงประเสริฐ และ สุรจิต สุนทรธรรม, 2542)

<u>แมงกานีส (Manganese)</u>

แมงกานีสจะมีอยู่ในส่วนภาคพื้นผิวโลกโดยประมาณเท่ากับ 900 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และจะมีในดินทั่ว ๆ ไปประมาณ 20-3000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งโดยเฉลี่ยจะมี 600 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แมงกานีสพบอยู่ในธรรมชาติในรูปสินแร่ pyrolusite (MnO_2) bronite (MnO_3) manganite ($Mn_2O_3H_2O$) thomanite (Mn_3O_4) และ rodocrozite ($MnCO_3$) แมงกานีสในดินมีความเข้มข้นระหว่าง 200 – 3,000 ไมโครกรัมต่อกรัม แมงกานีสในดินจะอยู่ในรูปไอออนบวก ที่สามารถแลกเปลี่ยนได้อยู่ที่ผิวของสารคอลลอยด์ดิน และในรูปไอออนบวกในสารละลายดิน (Lindsay., 1979)

แร่แมงกานีส (manganese) มีอยู่หลายชนิด แต่ชนิดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากที่สุด ได้แก่ ชนิดที่อยู่ในรูปของออกไซด์ แร่แมงกานีสที่มีธาตุแมงกานีสอยู่ร้อยละ 35 ขึ้นไป ซึ่งพบกันมากและนำมาใช้ประโยชน์ภายในประเทศมีดังนี้

1. ไพโรลูไซต์ (pyrolusite: MnO_2) มี Mn ร้อยละ 60-63 มักพบเป็นรูปไต รูปกิ่งไม้ สีเทาอ่อนถึงดำ ความแข็ง 1 - 2.5 ความถ่วงจำเพาะ 4.73 - 4.86

2. ไซโลมิเลน (psilomelane: $Ba,H_2O2Mn_5O_{10}$) มี แมงกานีส ร้อยละ 45 - 60 มีเนื้อแน่น มักจะพบ เป็นรูปพวงองุ่น รูปไต สีดำและน้ำตาลดำ สีผงละเอียดสีดำ ความแข็ง 5 – 6 ความถ่วงจำเพาะ 3.7 - 4.7

แหล่งน้ำผิวดินในธรรมชาติ จะมีแมงกานีส 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และอาจมากถึง 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ในแหล่งน้ำบริเวณเหมืองแร่ ความเข้มข้นของแมงกานีสในแม่น้ำอยู่ระหว่าง 97 – 1,187 มิลลิกรัมต่อลิตร (Onodera, 1985) สอดคล้องกับทิพวัลย์ คำเหม็ง (2530) ศึกษาความเข้มข้นแมงกานีสในน้ำพอง จังหวัดขอนแก่นปี 2539 มีความเข้มข้นระหว่าง 0.0 – 5.18 ไมโครกรัมต่อลิตร วิกันดา ชัยบุตร (2541) ศึกษาโลหะหนักในน้ำ ตะกอนดินและเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของปลาบางชนิดในลุ่มน้ำแม่กลอง ปี 2538 พบแมงกานีสในน้ำและดินตะกอนเฉลี่ย 2.66 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 63.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และ สุดชาย กำเนิดมณี (2541) ศึกษาโลหะหนักในน้ำ และตะกอนดินในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ปี 2539 พบแมงกานีสในน้ำและตะกอนดินเฉลี่ย 30.00 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 543.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยมีการใช้ที่ดินส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เมือง พื้นที่อุตสาหกรรมที่มีการทิ้งขยะ และกากของเสียอุตสาหกรรม รวมถึงพื้นที่ชุมชน

<u>ความเป็นพิษของแมงกานีส</u>

แมงกานีสสามารถถูกดูดซับโดยพืช ในปริมาณที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ความเข้มข้นของแมงกานีส ความเป็นกรด-เบส ความเข้มข้นของ อิออนบวก อิออนลบ สัดส่วนของสารอินทรีย์ การระบายน้ำ อุณหภูมิ และการทำงานของแบคทีเรีย แมงกานีสเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช แต่หากได้รับในปริมาณที่มากเกินขีดจำกัด ความเป็นพิษก็สามารถเกิดขึ้นได้ เช่น การทำลายฮอร์โมน auxin ใน Japanese morning glory เป็นต้น

สำหรับมนุษย์ แมงกานีสเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง ส่วนที่กินเข้าไปถูกดูดซึมได้น้อย ประมาณร้อยละ 10 ยกเว้นผู้ที่ขาดธาตุเหล็ก แมงกานีสในร่างกายมี ค่าครึ่งชีวิตประมาณ 30 ชั่วโมง การเกิดพิษเฉียบพลัน เกิดขึ้นเนื่องจากการหายใจเอาฝุ่นแมงกานีสที่มีความเข้มข้นสูงเข้าไป ทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน คอแข็ง ไอ ปวดศีรษะ ปวดกล้ามเนื้อ และมีไข้ อาการที่เกิดขึ้นนี้จะปรากฏ หลังจากได้รับแมงกานีสเข้าไปแล้วหลายชั่วโมง และจะหายเป็นปกติภายใน 1 – 2 วัน ผู้รับแมงกานีสเรื้อรัง อาจมีผลต่อระบบสืบพันธุ์และระบบประสาท มักพบอาการตั้งแต่ 1 เดือน – 10 ปี มักค่อยเป็นค่อยไป ระยะแรกมักมีอาการทางจิตประสาท ปวดศีรษะ อ่อนเพลีย เบื่ออาหาร ง่วงเหงาผิดปกติ ฉุนเฉียว โกรธง่าย และหลงลืม และระยะที่ 2 จะมีอาการทางการเคลื่อนไหว ปวดกล้ามเนื้อโดยเฉพาะไหล่ และน่อง กล้ามเนื้อมือแข็งเกร็ง มือสั่น พูดช้าตะกุกตะกัก เคลื่อนไหวช้างุ่มง่าม มีอาการ Parkinsonism รักษาไม่หายเป็นปกติ เป็นอัมพาต และช่วยเหลือตนเองไม่ได้ (วิลาวัณย์ จึงประเสริฐ และสุรจิต สุนทรธรรม, 2542)

<u>มาตรฐานโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม</u>

ในมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินที่ไม่ใช่ทะเล ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) กำหนดให้ แมงกานีส และตะกั่ว ในแหล่งน้ำ ประเภท 2 – 4 มีความเข้มข้นไม่เกิน 1.0 และ0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนแคดเมียม มีความเข้มข้นไม่เกิน0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อน้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ ไม่เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และไม่เกิน 0.005 เมื่อน้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 2.2)

สำหรับมาตรฐานความเข้มข้นของโลหะหนักในดิน ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) ได้แบ่งตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็น 2 ประเภท ได้แก่ การใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการอยู่อาศัย และเกษตรกรรม โดยกำหนดให้ แมงกานีส แคดเมียม และตะกั่ว ความเข้มข้นไม่เกิน 1,800 37 และ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และการใช้ประโยชน์ที่ดินนอกเขตเพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมกำหนดให้ แมงกานีส แคดเมียม และตะกั่ว ความเข้มข้นไม่เกิน 32,000 810 และ 750 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 2.3)

ตารางที่ 2.2
มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน แบ่งประเภท
คุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย		เกณฑ์กำหนดสูงสุด ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์*				วิธีการตรวจวัด
			1	2	3	4	5	
แมงกานีส (Mn)	มิลลิกรัมต่อลิตร	ธ	1.0	1.0	1.0	-	Atomic Absorption Direct Aspiration
แคดเมียม (Cd)		ธ	0.05**	0.05**	0.05**	-	
			0.005***	0.005***	0.005***		
ตะกั่ว (Pb)		ธ	0.05	0.05	0.05	-	

ที่มา: ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

หมายเหตุ ธ เป็นไปตามธรรมชาติ

* ประเภทที่ 1 แหล่งน้ำที่มีคุณภาพน้ำตามสภาพธรรมชาติ โดยปราศจากน้ำทิ้งหรือกิจกรรมทุกประเภท
ประเภทที่ 2 แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทใช้เป็นประโยชน์เพื่อ อุปโภคและบริโภค โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรค และผ่านกระบวนการปรับคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน
ประเภทที่ 3 แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทใช้เป็นประโยชน์เพื่อ อุปโภคและบริโภค โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรค และผ่านกระบวนการปรับคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน
ประเภทที่ 4 ให้มีมาตรฐานตามคุณภาพของแหล่งน้ำประเภทที่ 2 ในข้อ 1 – 5 และ ข้อ 8 – 22 เว้นแต่ ออกซิเจนละลายมีค่าไม่น้อยกว่า 2.0 มิลลิกรัม/ลิตร และบีโอดีมีค่าไม่เกิน กว่า 4.0มิลลิกรัมต่อลิตร
ประเภทที่ 5 ได้แก่แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ การคมนาคม โดยต้องมีมาตรฐานน้อยกว่าประเภทที่ 4

** น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ ไม่เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

*** น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากการศึกษาความเข้มข้นโลหะหนักในดินของ Langer, Siebe, Shimada and Finerdel (1996) ได้รวบรวมการปนเปื้อนความเข้มข้นโลหะหนักในดิน และค่าวิกฤตการปนเปื้อนความเข้มข้นโลหะหนักในดิน ของหลายประเทศ พบว่าความเข้มข้นของ แมงกานีส แคดเมียม และตะกั่ว ในดินมีค่าระหว่าง 0 – 10,000 0.1 – 15.0 และ 0.1 – 5,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 2.4)

ตารางที่ 2.3

มาตรฐานคุณภาพดินในเขต และนอกเขตการใช้ประโยชน์เพื่ออยู่อาศัยและเกษตรกรรม

ดัชนีคุณภาพดิน	หน่วย	ค่ามาตรฐาน		วิธีการตรวจวัด
		ในเขตฯ	นอกเขตฯ	
แมงกานีสและสารประกอบแมงกานีส (Manganese and compounds)	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	ต้องไม่เกิน 1,800	ต้องไม่เกิน 32,000	ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Direct Aspiration หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique
แคดเมียมและสารประกอบแคดเมียม Cadmium and compounds)	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	ต้องไม่เกิน 37	ต้องไม่เกิน 810	
ตะกั่ว (Lead)	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	ต้องไม่เกิน 400	ต้องไม่เกิน 750	

ที่มา: ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน

ตารางที่ 2.4

ผลการศึกษาความเข้มข้นโลหะหนักในดิน

(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

แหล่งข้อมูล	แมงกานีส	แคดเมียม	ตะกั่ว
General Reference	20.0 -10,000	0.01-2.0	2.0 – 300
Critical	1,500-3,000	3.0-8.0	100.0
Austria Theshold	-	2.0	100.0
UK (DOE) Theshold	-	3.0 - 15.0	500-5,000
London (GLC) Reference	0 - 500	0 –1.0	0 - 500
Swiss Total	-	0.8	50.0
Germany Reference	-	0.1 -1.0	0.1 - 20.0
Baden Wurtburg Critical	-	1.0 - 1.5	100.0
Netherlands Reference	-	1.0	50.0
Bulgaria Critical	-	3.0	20.0 .-80.0

ที่มา: Langer, Siebe, Shimada and Finerdel. (1996)

สภาพทั่วไปของลุ่มน้ำป่าสัก

ที่ตั้งและลักษณะภูมิประเทศ

แม่น้ำป่าสักเป็นแหล่งน้ำธรรมชาติที่สำคัญของประเทศ ลักษณะลุ่มน้ำมีรูปร่างแคบเรียวยาวคล้ายขนนกมีภูเขาล้อมรอบทั้งสองด้าน ต้นกำเนิดอยู่บริเวณเทือกเขาเพชรบูรณ์ ในเขตอำเภอด่านซ้าย ทางตอนใต้ของจังหวัดเลย มีความสูงประมาณ +700 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ความกว้างและความยาวประมาณ 45 และ 513 กิโลเมตร ตามลำดับ มีพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมดประมาณ 15,402 ตารางกิโลเมตร ขนาดใหญ่เป็นลำดับที่ 13 ในจำนวน 25 ลุ่มน้ำของประเทศไทย ขอบเขตของลุ่มน้ำตั้งอยู่ระหว่างละติจูดที่ 14 องศา 15 ลิบดา ถึง 17 องศา 20 ลิบดาเหนือ ลองติจูดที่ 100 องศา 30 ลิบดา ถึง 101 องศา 30 ลิบดาตะวันออก ลุ่มน้ำป่าสักมีอาณาเขตครอบคลุมพื้นที่ 7 จังหวัด ประกอบด้วย จังหวัดเลย จังหวัดเพชรบูรณ์ จังหวัดชัยภูมิ จังหวัดนครราชสีมา

จังหวัดลพบุรี จังหวัดสระบุรี และจังหวัดพระนครศรีอยุธยา (มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, 2544)

วีระชัย ชูพิศาลยโรจน์ (2530) แบ่งลักษณะภูมิประเทศของลุ่มน้ำป่าสัก เป็น 2 ตอน ได้แก่ ลุ่มน้ำป่าสักตอนบน คือบริเวณจังหวัดเพชรบูรณ์ และทางตอนใต้ของจังหวัดเลย มีลักษณะเป็นลำน้ำที่อยู่ระหว่างหุบเขาสูงชัน โดยมีเทือกเขาดงพญาเย็น และเทือกเขาเพชรบูรณ์วางตัวขนานกับลำน้ำ มีพื้นที่ค่อนข้างราบ ส่วนลุ่มน้ำป่าสักตอนล่าง คือบริเวณตั้งแต่จังหวัดลพบุรี จังหวัดสระบุรี และจังหวัดพระนครศรีอยุธยา มีลักษณะเป็นพื้นที่ค่อนข้างลาดชัน ทางทิศตะวันออกเป็นเทือกเขาไม่สูง ทางทิศใต้เป็นเนินเตี้ย ๆ สลับกับป่าไม้ ความกว้างของพื้นที่รับน้ำประมาณ 50 - 70 กิโลเมตร สรวงระวี จันทร์หอม (2544) แบ่งลักษณะภูมิประเทศของลุ่มน้ำ ป่าสัก เป็น 3 ตอน ได้แก่ ลุ่มน้ำตอนบนตั้งแต่จังหวัดเลย จังหวัดเพชรบูรณ์ และจังหวัดชัยภูมิ พื้นที่โดยทั่วไป มีลักษณะเป็นเนินเขาและมีที่ราบเพียงเล็กน้อยสลับกันไป มีความสูง +114 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง พื้นที่มีลักษณะลาดชันจากเหนือลงใต้ มีเทือกเขาเพชรบูรณ์ล้อมรอบตลอดลงมาจนถึงอำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ พื้นที่ลุ่มน้ำตอนกลาง มีลักษณะพื้นที่เป็นที่ราบสลับกับเนินเขาเตี้ย ๆ ในบริเวณเขตจังหวัดลพบุรี และจังหวัดสระบุรี มีความสูงประมาณ +8 ถึง +10 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ส่วนพื้นที่ลุ่มน้ำทางตอนใต้ตั้งแต่ใต้เขื่อนทดน้ำพระรามหกลงไปจนถึงจุดบรรจบของแม่น้ำเจ้าพระยาเป็นที่ราบลุ่ม มีความสูงประมาณ +3.5 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง

<u>สภาพภูมิอากาศ</u>

สภาพภูมิอากาศของลุ่มน้ำป่าสักได้รับอิทธิพลจากมรสุมทั้งสองฤดู คือ ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคม-ตุลาคม ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และฤดูแล้ง เริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน-กุมภาพันธ์ ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคม จะเป็นฤดูร้อน ลมมรสุมมีอิทธิพลไม่รุนแรง

จากข้อมูลภูมิอากาศรายเดือนเฉลี่ยที่สถานีตรวจอากาศในลุ่มน้ำป่าสักและข้างเคียงในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514 – 2543) ของกรมอุตุนิยมวิทยา จำนวน 5 สถานี พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีมีค่าระหว่าง 25.70 ถึง 30.70 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิสูงสุดอยู่ในช่วงเดือนเมษายน และต่ำสุดอยู่ในเดือนธันวาคม ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ในบริเวณลุ่มน้ำป่าสักมีค่าเฉลี่ยทั้งปี อยู่ระหว่างร้อยละ 75 - 85 ส่วนฤดูแล้งจะมีความชื้นน้อย และจากข้อมูล

ในระหว่างปี พ.ศ. 2509 – 2538 พบว่า ปริมาณการระเหยเฉลี่ยทั้งปีอยู่ระหว่าง 1,617.40 – 1,951.20 มิลลิเมตร การระเหยมากที่สุดอยู่ระหว่างเดือนมีนาคม – เมษายน ประมาณเดือนละ 213.10 มิลลิเมตร ส่วนค่าต่ำสุดเกิดในเดือนกันยายน - ตุลาคม ประมาณเดือนละ 106.60 มิลลิเมตร โดยการระเหยจะมีอัตราค่อนข้างสูงในเขตจังหวัดลพบุรี (มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, 2544)

ปริมาณน้ำฝน

จากการรวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝน 20 สถานี ในช่วงปี พ.ศ. 2464 - 2542 พบว่า ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยของลุ่มน้ำป่าสัก มีปริมาณมากทางตอนล่างของลุ่มน้ำบริเวณจังหวัดสระบุรีและจังหวัดพระนครศรีอยุธยา และมีปริมาณลดลงทางตอนเหนือขึ้นไปบริเวณจังหวัดลพบุรี และเพิ่มขึ้นบริเวณจังหวัดเพชรบูรณ์ โดยทั้งปีมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,196.51 มิลลิเมตร ในฤดูฝนมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,042.75 มิลลิเมตร และในช่วงฤดูแล้ง มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 156.76 มิลลิเมตร ซึ่งปริมาณน้ำฝนสูงสุด เฉลี่ยทั้งปี 1,423.00 มิลลิเมตร และค่าต่ำสุดเฉลี่ยทั้งปี 998.00 มิลลิเมตร โดยบริเวณที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยที่สุดคือ อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี จากสถิติจำนวนวันฝนตกที่สถานีตรวจวัดต่าง ๆ พบว่า จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยทั้งปีอยู่ในช่วง 69 – 102 วันต่อปี จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายปี 83 วัน มีค่าสูงสุดเฉลี่ย 102 วัน และค่าต่ำสุดเฉลี่ย 73 วัน (มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, 2544)

ปริมาณน้ำท่า

จากการรวบรวมข้อมูลสถิติและวิเคราะห์ข้อมูลของสถานีตรวจวัดน้ำท่า ที่ดำเนินการโดยกรมชลประทาน พบว่า สภาพของน้ำท่าในลุ่มน้ำป่าสัก มีลักษณะการไหลขึ้น - ลงเร็ว มีปริมาณน้ำท่ามากในช่วงฤดูฝน ระหว่างเดือนสิงหาคม – ตุลาคม ส่วนในช่วงฤดูอื่น ๆ จะมีปริมาณน้ำท่าน้อยโดยเฉพาะในฤดูแล้ง ส่วนลุ่มน้ำสาขา บางแห่งไม่มีปริมาณน้ำไหลในลำน้ำ

เมื่อพิจารณาจากปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อศักยภาพการให้น้ำ คือ สภาพภูมิประเทศ ความลาดชันของพื้นที่ลุ่มน้ำ และปริมาณน้ำฝน นอกจากนี้ ลุ่มน้ำสาขาที่มีศักยภาพการให้น้ำในปริมาณสูงอยู่ทางตอนบนของลุ่มน้ำ ส่วนปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่จากหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในช่วง พ.ศ. 2457 - 2538 สรุปได้ว่า จังหวัดเพชรบูรณ์ มีค่าปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ที่ช่วงพิสัย

ระหว่างสถานี 2.08 – 14.94 ลิตรต่อวินาทีต่อตารางกิโลเมตร มีค่าเฉลี่ยทั้งหมดสูงสุด 8.49 ลิตรต่อวินาทีต่อตารางกิโลเมตร ส่วนที่จังหวัดลพบุรีและจังหวัดสระบุรี มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ที่ช่วงพิสัยระหว่างสถานี 3.33 – 7.72 และ 5.21 – 9.94 ลิตรต่อวินาทีต่อตารางกิโลเมตร มีค่าเฉลี่ยทั้งหมดสูงสุด 5.13 และ 6.82 ลิตรต่อวินาทีต่อตารางกิโลเมตร ตามลำดับ (มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, 2546)

<u>การใช้ประโยชน์ที่ดิน</u>

นครินทร์ บำรุงศรี (2544) ศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดินในลุ่มน้ำป่าสัก ปี พ.ศ. 2543 แบ่งพื้นที่เป็น 6 ประเภทคือ พื้นที่ชุมชน ปลูกพืชไร่ ทำนา ปลูกไม้ผลไม้ยืนต้น ป่าไม้ และพื้นที่อื่น ๆ โดยพื้นที่ปลูกพืชไร่มีจำนวนมากที่สุด คือ 5,114.57 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 33.21 รองลงมาคือ พื้นที่ป่าไม้ 5,112.76 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 33.19 พื้นที่ทำนา 2,877.65 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 18.68 (ตารางที่ 2.5)

ตารางที่ 2.5
การใช้ประโยชน์ที่ดินในภาพรวมของพื้นที่
ลุ่มน้ำป่าสัก ปี พ.ศ. 2543

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	เนื้อที่	
	ตารางกิโลเมตร	ร้อยละ
พื้นที่ชุมชน	739.51	4.80
พื้นที่ปลูกพืชไร่	5,114.57	33.21
พื้นที่ทำนา	2,877.65	18.68
พื้นที่ปลูกไม้ผลไม้ยืนต้น	724.60	4.70
พื้นที่ป่าไม้	5,112.76	33.19
พื้นที่อื่น ๆ	833.57	5.41
รวม	15,402.66	100.00

ที่มา: นครินทร์ บำรุงศรี (2544)

อัญชลี เพ็งหัวรอ (2546) แบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักออกเป็น 11 ส่วน โดยหาพื้นที่และร้อยละของพื้นที่ของการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท ทั้ง 7 ประเภท คือ พื้นที่ชุมชน พื้นที่ปลูกพืชไร่ พื้นที่นาข้าว พื้นที่ไม้ผลและไม้ยืนต้น พื้นที่ป่าไม้ แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่น ๆ ในแต่ละส่วนที่กำหนดไว้ โดยจะนำมาพิจารณาเฉพาะ 10 ส่วนเท่านั้น เนื่องจากพื้นที่ส่วนที่ 11 ช่วงตั้งแต่ตอนล่างของเขื่อนพระรามหก อำเภอเมือง จังหวัดพระนครศรีอยุธยาไปจนถึงช่วงปากแม่น้ำป่าสักที่ไหลรวมกับแม่น้ำเจ้าพระยาจะไม่นำมาใช้ในการศึกษา เพราะเป็นช่วงรอยต่อระหว่างแม่น้ำ 2 สาย ซึ่งอาจจะได้รับอิทธิพลอื่น ๆ อันเกิดจากการรวมกันของแม่น้ำได้

การใช้ประโยชน์ที่ดินมี 7 ประเภท คือ พื้นที่พืชไร่ พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่นาข้าว พื้นที่ไม้ผลและไม้ยืนต้น พื้นที่ชุมชน แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่น ๆ มีเนื้อที่ 5,958.63 4,669.58 2,912.44 970.50 432.41 188.59 และ 113.59 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ หรือคิดเป็นร้อยละ 38.68 30.32 18.91 6.30 2.81 1.22 และ 0.74 ตามลำดับ (ภาพที่ 2.1 และ 2.2)

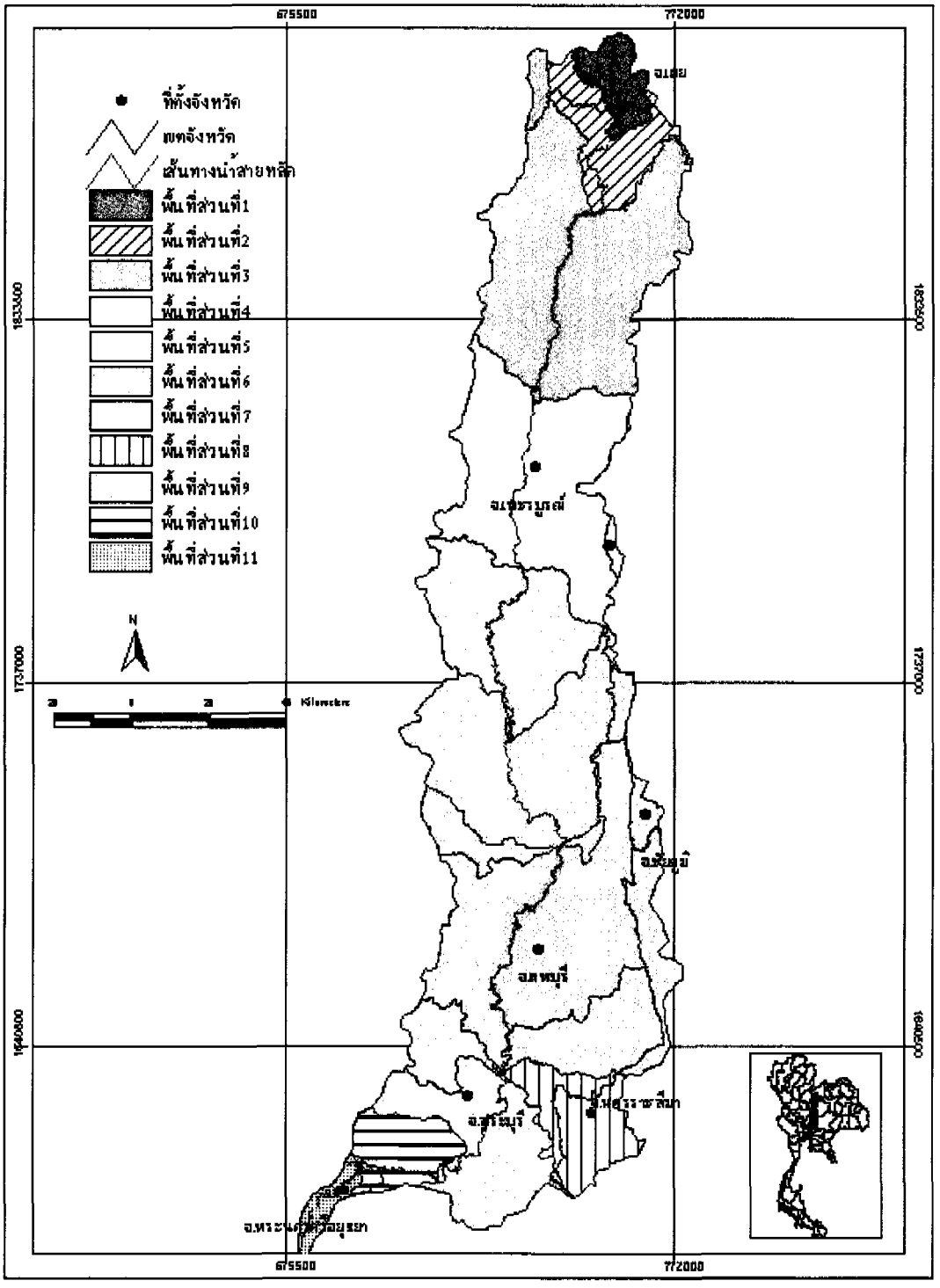
<u>การปกครองและประชากร</u>

จากงานวิจัยของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (2546) พบว่า พื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักมีการบริหารราชการส่วนภูมิภาคและ ส่วนท้องถิ่นรวม 7 จังหวัด แต่พื้นที่ที่แม่น้ำป่าสักไหลผ่านมีเพียง 4 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดเพชรบูรณ์ จังหวัดลพบุรี จังหวัดสระบุรี และจังหวัดพระนครศรีอยุธยา มีจำนวน 33 อำเภอ ประชากรทั้งหมด 2,231,901 คน โดยจังหวัดที่มีประชากรสูงสุด คือจังหวัดเพชรบูรณ์ จำนวน 958,137 คน ความหนาแน่นของประชากรต่อพื้นที่ลุ่มน้ำโดยเฉลี่ยประมาณ 159 คนต่อตารางกิโลเมตร พื้นที่ที่มีความหนาแน่นสูงสุดคือจังหวัดพระนครศรีอยุธยา จำนวน 1,327 คนต่อตารางกิโลเมตร (ตารางที่ 2.6)

<u>สภาพเศรษฐกิจและสังคม</u>

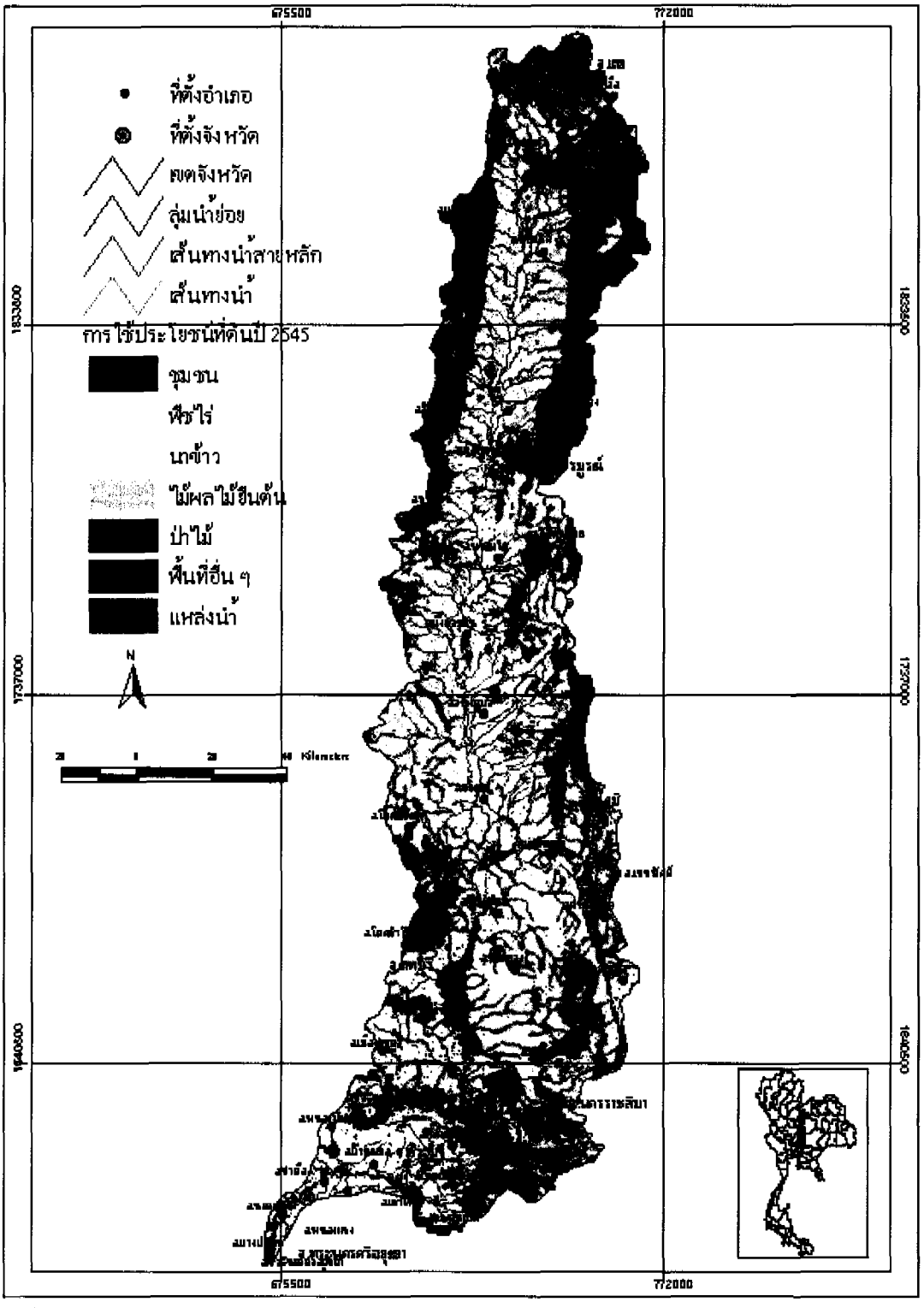
ลักษณะทางเศรษฐกิจของจังหวัดต่าง ๆ ที่อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก มีลักษณะโครงสร้างทางเศรษฐกิจหลักของพื้นที่ประกอบด้วย ภาคเกษตรกรรม ภาคอุตสาหกรรม และ ภาคบริการ โดยภาคอุตสาหกรรมมีความสำคัญต่อสภาพทางเศรษฐกิจในพื้นที่อย่างมาก โดยเฉพาะอุตสาหกรรมที่เกี่ยวเนื่องกับผลผลิตทางการเกษตร เช่น โรงสีข้าว โรงงานน้ำตาล โรงงานสกัดน้ำมันพืช โรงงานมันอัดเม็ด โรงงานผลไม้และผักกระป๋อง โรงงานทอผ้า และโรงงานเส้นหมี่ เป็นต้น

ภาพที่ 2.1
พื้นที่ส่วนต่าง ๆ ของลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำป่าสัก (พ.ศ. 2546)



ที่มา: อัญชลี เพ็งหัวรอ (2547)

ภาพที่ 2.2
พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในลุ่มน้ำป่าสัก (พ.ศ. 2546)



ที่มา: อัญชลี เพ็งหัวรอ (2547)

ตารางที่ 2.6
จำนวนประชากร พื้นที่ และความหนาแน่นของประชากร
ในพื้นที่ที่แม่น้ำป่าสักไหลผ่าน ปี พ.ศ. 2543

จังหวัด	จำนวนประชากร (คน)	พื้นที่ในเขตลุ่มน้ำ (ตารางกิโลเมตร)	ความหนาแน่น (คนต่อตารางกิโลเมตร)
เพชรบูรณ์	958,137	8,395.62	114
ลพบุรี	571,948	2,990.61	191
สระบุรี	450,282	2,428.48	151
พระนครศรีอยุธยา	251,534	189.48	1,327
รวม	2,231,901	14,004.19	159

ที่มา: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (2544)

ลักษณะทางธรณีวิทยา

การจำแนกลักษณะทางธรณีวิทยา-ของลุ่มน้ำป่าสัก (ธีรยุทธ จิตต์จำนงค์ และคณะ, 2540 และสุวรรณา ยุวนานนท์, 2539) มีดังต่อไปนี้

1. หินตะกอนยุคควอเทอร์นารี (Quaternary deposits) พบอยู่ในที่ราบลุ่มตลอดลำน้ำป่าสัก ตั้งแต่อำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์ ลงมาจนถึงอำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี ซึ่งแบ่ง การสะสมตะกอนออกเป็น 2 ลักษณะ คือการสะสมตัวตามที่ราบลุ่มเรียกว่า Alluvial deposits และการสะสมตัวของตะกอนที่ ยกตัวขึ้นมาสูง เรียกว่า ตะพัก (terrace)

2. กลุ่มหินชุดโคราช (Korat group) เป็นหน่วยหินยุคจูแรสสิค ประกอบด้วยหินทรายชุดต่าง ๆ และยังพบหินดินดาน หินทรายแป้งที่มีแร่ไมกา พบอยู่ในเขตอำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย ทางตะวันตกของจังหวัดเพชรบูรณ์ และทางตะวันออก ในเขตรอยต่อของจังหวัดเพชรบูรณ์กับจังหวัดลพบุรี หน่วยหินที่พบได้แก่หินเขาพระวิหาร หน่วยหินเสาขรัว หน่วยหินภูกระดึง และหน่วยหินห้วยหินลาด

3. กลุ่มหินชุดราชบุรี (Ratchaburi group) เป็นหน่วยหินที่จัดอยู่ในยุคเพอร์เมียน เป็นหินปูน ซึ่งจะพบหินทราย หินดินดาน และหินอัคนีปะปนอยู่ด้วย พบอยู่บริเวณทางล่างของ

ลุ่มน้ำและบางส่วนอยู่ทางตอนบน และตอนกลางของลุ่มน้ำ ประกอบด้วย หินผาเดื่อ หน่วยหินน้ำดุก หน่วยหินซับบอน หน่วยหินเขาขาด และหน่วยหินเขาขวาง

4. หน่วยหินอัคนี (Igneous rocks) เป็นหน่วยหินที่อยู่ในยุคเพอร์โม – ไทรแอสสิค ถึงเทอร์เทียรี่ ประกอบด้วยหินบะซอลท์ (Basal) ที่มีแร่โอลีวีนเป็นส่วนใหญ่ หินแอนดิไซท์ (Andesite) และหินถ้วยภูเขาไฟ (Tuff) ที่มีส่วนประกอบเป็น Rhyolitic, Andesitic และ Basalic ซึ่งอาจมี Anglomerate และ Volcanic Breccia รวมอยู่ด้วย

นอกจากนี้แหล่งแร่ที่พบในลุ่มน้ำป่าสัก ยังประกอบด้วยเหล็ก ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี โดยจะปรากฏอยู่อย่างมีความสัมพันธ์กับชนิดหินในพื้นที่ที่แตกต่างกันออกไป (กรมทรัพยากรธรณี, 2526 และ งามพิศ แย้มนิยม, 2534) ดังนี้

1. จังหวัดเพชรบูรณ์ พบแหล่งแร่ที่สำคัญ เช่น ตะกั่ว แหล่งแร่ทองแดง และแหล่งแร่ฟอสเฟต เป็นต้น

2. จังหวัดลพบุรี พบแหล่งแร่ เหล็ก แหล่งแร่ทองแดง และดินมาร์ล

3. จังหวัดสระบุรี พบแหล่งแร่หินปูนที่อำเภอแก่งคอย นอกจากนี้ยังพบ แหล่งหินดินดาน และดินมาร์ล