

## บทที่ 2

### การปนเปื้อนของสารตะกั่วในแหล่งน้ำ

#### ลักษณะของตะกั่ว

ตะกั่วเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่ง ในสภาวะปกติมีสถานะเป็นของแข็ง สีน้ำเงินปนเทา มีจุดหลอมเหลวต่ำและมีจุดเดือดสูงพอสมควร จัดเป็นโลหะที่มีความอ่อนตัวค่อนข้างสูง จึงไม่เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการรับน้ำหนักมากๆ แต่ความอ่อนของตะกั่ว ทำให้สามารถดัดแปลงให้มีรูปร่างลักษณะต่างๆ ได้ตามต้องการ มีความสามารถในการนำไฟฟ้าไม่ดี และสามารถผสมกับโลหะต่างๆ เป็นโลหะผสม (alloys) ได้หลายชนิด (Nriagu, 1978)

#### ก. ลักษณะสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของตะกั่ว

-สัญลักษณ์	Pb
-เลขอะตอม	82 เป็นธาตุที่ 5 ของหมู่ IV A ในตารางธาตุ
-น้ำหนักอะตอม	207.2
-จุดหลอมเหลว	$327.5^{\circ}\text{C}$
-จุดเดือด	$1740^{\circ}\text{C}$
-ความหนาแน่นที่ $25^{\circ}\text{C}$	$11.342\text{ g/cm}^3$
-เลขออกซิเดชันสามัญ	+2 , +4
-ไอโซโทปเสถียร	$^{208}\text{Pb}$ (52.30%) $^{206}\text{Pb}$ (23.60%) $^{207}\text{Pb}$ (22.6%) $^{204}\text{Pb}$ (1.48%)
-โครงสร้างผลึก	face-center cubic
-การละลาย	ไม่ละลายในน้ำ ละลายได้ในกรดไนตริกและกรดกำมะถันเข้มข้นที่ร้อน

## ข. การใช้ประโยชน์จากตะกั่ว

ตะกั่วถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างมาก ในทางอุตสาหกรรมสามารถแบ่งตามลักษณะการนำมาใช้ได้ 3 ประเภท คือ

### 1. โลหะตะกั่ว ผลิตจากสินแร่ตะกั่ว ได้แก่

- ก. แร่ปฐมภูมิ ได้แก่ galena ( $PbS$ ) ตะกั่วมีคุณสมบัติในการรวมตัวกับกำมะถันได้ง่ายเกิดเป็นตะกั่วซัลไฟด์
- ข. แร่ทุติยภูมิ ได้แก่ anglesite ( $PbSO_4$ ) ในสภาพที่เป็นกรด (pH ต่ำกว่า 6.4) ตะกั่วซัลไฟด์จะถูกออกซิไดส์ กลายเป็นตะกั่วซัลเฟต cerussite ( $PbCO_3$ ) ในสภาพที่ pH สูงกว่า 6.4 จะเกิดเป็นตะกั่วคาร์บอเนต

โดยคุณสมบัติที่ทนต่อการผุกร่อน (resist to corrosion) และอ่อนตัวหลอมเหลวได้ง่ายรวมทั้งสามารถป้องกันการแผ่รังสี ตะกั่วจึงถูกนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ทำแผ่น grid หัวขั้วสะพานไฟของหม้อแบตเตอรี่ หลอดตัวพิมพ์ ทำหัวกระสุนปืน หุ้มสายเคเบิล สายไฟฟ้า สายโทรศัพท์ เป็นอุปกรณ์ป้องกันรังสีจากเครื่องเอกซเรย์ เครื่องปฏิกรณ์พลังงานปรมาณู (สมพูล กฤตลักษณ์, 2532)

### 2. สารประกอบอนินทรีย์ของตะกั่ว (Inorganic Lead Compounds) ได้แก่

- ก. ตะกั่วออกไซด์ (Lead oxide) เช่น
  1. ตะกั่วโมนอกไซด์ (Lead monoxide,  $PbO$ ) ได้แก่ Litharge Mossicot ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสี อุตสาหกรรมผลิตหม้อแบตเตอรี่ อุตสาหกรรมผลิตยาง
  2. ตะกั่วไดออกไซด์ (Lead dioxide,  $PbO_2$ ) ใช้ทำเป็นขั้วอิเล็กโทรดของแบตเตอรี่รถยนต์และเครื่องจักร อุตสาหกรรมผลิตยาง
  3. ตะกั่วแดง (Red oxide of Lead,  $Pb_3O_4$ ) ใช้เป็นสีทาโลหะเพื่อป้องกันสนิมหรือเคลือบรถยนต์

ข. ตะกั่วคาร์บอเนต (Lead carbonate,  $PbCO_3$ ) ตะกั่วซัลเฟต (Lead sulfate,  $PbSO_4$ ) ตะกั่วโครเมต (Lead chromate,  $PbCrO_4$ ) ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสี

ค. ตะกั่วอะซิเตต (Lead Acetate,  $Pb(CH_3COO)_2$ ) เป็นเกลือของตะกั่วที่ละลายน้ำได้ดี ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเครื่องสำอาง ครีมนิ้วนุ่ม

ง. ตะกั่วไนเตรต (Lead Nitrate) ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตขางและพลาสติก

3. สารประกอบอินทรีย์ของตะกั่ว (Organic Lead Compounds) ได้แก่

ก. ตะกั่วสเตียเรต (Lead Stearate,  $Pb(C_{10}H_{35}O_2)$ ) ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตแลคเกอร์ น้ำมันหล่อลื่น จารบี และผลิตสี

ข. ตะกั่วเตตราเอทิล (Tetraethyl Lead, TEL,  $Pb(C_2H_5)_4$ ) ใช้ผสมในน้ำมันเบนซิน เพื่อเพิ่มค่าออกเทนของน้ำมันให้สูงขึ้น ป้องกันการกระตุกของเครื่องยนต์

ค. ตะกั่วเตตราเมทิล (Tetramethyl Lead, TML,  $Pb(CH_3)_4$ ) ใช้เติมร่วมกับตะกั่วเตตราเอทิลในน้ำมันเบนซิน เพิ่มค่าออกเทนของน้ำมันให้สูงขึ้น

#### ค. ความเป็นพิษของตะกั่ว

ตะกั่วเข้าสู่ร่างกายตามลักษณะหรือรูปแบบของสารตะกั่วได้ 3 ทางดังนี้

1. ทางเดินหายใจ ก๊าซหรือฝุ่นของตะกั่ว และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 0.75 ไมครอนสามารถผ่านสู่ถุงลมในปอด และผ่านสู่กระแสเลือด ฝุ่นขนาดใหญ่จะติดค้างบริเวณทางเดินหายใจตอนบน เช่น ในจมูก ช่วงคอระหว่างโพรงจมูกและคอ และหลอดลมใหญ่ซึ่งร่างกายจะขับออกในรูปของเสมหะ

2. ทางเดินอาหาร จากการปนเปื้อนในอาหาร น้ำ โดยวิธีใดวิธีหนึ่งเช่นปนเปื้อนมากับอาหาร มือที่หยิบอาหารหรือการสูบบุหรี่ขณะทำงาน ตะกั่วจะผ่านสู่กระเพาะอาหาร รวมทั้งการกลืนเสมหะ ทางเดินอาหาร จะดูดซึมตะกั่วสู่กระแสเลือดประมาณ 10% ส่วนที่เหลือถูกขับออกทางอุจจาระ (สมกุล กฤตลักษณ์, 2532)

3. ทางผิวหนัง เฉพาะตะกั่วอินทรีย์เท่านั้นที่สามารถซึมผ่านผิวหนังได้ เพราะตะกั่วพวกนี้จะละลายในไขมัน และถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบโลหิตของร่างกาย (ไมตรี สุทธิจิตต์, 2530)

เมื่อตะกั่วเข้าสู่กระแสเลือดแล้วจะถูกพาไปทั่วร่างกาย สามารถพบตะกั่วได้ในทุกส่วน ตะกั่วส่วนใหญ่จะสะสมในกระดูกถึง 95% ลิ้นหัวใจ และสมอง มีตะกั่ว 0.05-0.09 ไมโครกรัมต่อกรัม ไชรอยด์ กล้ามเนื้อ ปอด กระเพาะ ลำไส้ มีตะกั่ว 0.14-0.19 ไมโครกรัมต่อกรัม ไต ม้าม ตับและตับอ่อน มีตะกั่ว 0.65-0.80 ไมโครกรัมต่อกรัม กระดูก มีตะกั่ว 6.60-7.82 ไมโครกรัมต่อกรัม เส้นผม มีตะกั่ว 2-80 ไมโครกรัมต่อกรัม

ตะกั่วถูกขับจากร่างกายทางไต เหงื่อ และสามารถพบตะกั่วในน้ำนมมารดา คนปกติมีตะกั่วในปัสสาวะ ประมาณ 50-80 ไมโครกรัมต่อลิตร กรณีที่ได้รับตะกั่วมากขึ้นอาจพบตะกั่วในปัสสาวะสูงถึง 200-500 ไมโครกรัมต่อลิตร เว้นแต่ในรายที่มีความผิดปกติของไตเป็นต้นเหตุให้ขับตะกั่วออกได้น้อยซึ่งจะพบปริมาณในเลือดสูงขึ้น

ในเลือดของคนปกติ ผู้ใหญ่ไม่ควรเกินกว่า 40 ไมโครกรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากรายงานการตรวจเลือดของคนปกติ พบว่าคนในเขตเมืองได้ค่าเฉลี่ย 23.6 ไมโครกรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนคนในชนบท ได้ค่าเฉลี่ย 16.5 ไมโครกรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร เหลือพรและคณะรายงานปริมาณตะกั่วในทารกแรกเกิดในโรงพยาบาลศิริราช ได้ค่าเฉลี่ย 20.225 ไมโครกรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ตะกั่วมีผลกระทบต่อร่างกายในหลายๆ ระบบ และเมื่อได้รับเพิ่มขึ้นหรือสะสมจนถึงระดับสูงจะแสดงอาการพิษของตะกั่ว ดังต่อไปนี้ (สมพล กฤตลักษณ์, 2532)

ก. ระบบเลือด อาการโลหิตจางสามารถพบได้ทั้งในเด็กและผู้ใหญ่ เนื่องจากตะกั่วมีผลขัดขวางการสังเคราะห์ฮีโมโกลบิน และการสร้างเม็ดเลือดแดง ซึ่งพบว่าผลกระทบดังกล่าวเกิดเมื่อปริมาณตะกั่วในเลือดสูงเกินกว่า 10 ไมโครกรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ขึ้นไป

ข. ระบบประสาทและกล้ามเนื้อ การเปลี่ยนแปลงทางระบบประสาทอาจพบได้เมื่อระดับตะกั่วในเลือดเกินกว่า 16 ไมโครกรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะปรากฏอาการอาเจียนต่อเนื่อง อารมณ์แปรปรวน เชื่องซึม ชัก กล้ามเนื้ออ่อนแรงและอ่อนเปลี้ย มีอาการมือและเท้าตก สมองเชื่องช้า และเติบโตไม่สมอายุ ตามัว อาจรุนแรงถึงตาบอด ปวดท้องโดยไม่สัมพันธ์กับอาหาร

ค. ไต ปรากฏลักษณะของการอักเสบแบบ interstitial nephritis ร่วมด้วย โดยพบว่าเนื้อไตบวม และพบหลอดเลือดในไตมีลักษณะของ arteriosclerosis ซึ่งเป็นเหตุให้การขับถ่ายทางไตลดน้อยลง มีอาการบวมบริเวณขาเกิดขึ้นได้

ง. กระดูก มีการสะสมของตะกั่วในกระดูกสูง ในเด็กที่อยู่ในระยะที่กำลังเจริญเติบโตจะพบในภาพเอ็กซเรย์ว่าบริเวณ epiphyses ของกระดูกอ่อนยาว ได้แก่ กระดูกแขนและขา รวมทั้งอาจเห็นได้บริเวณกระดูกสันหลัง จะปรากฏเป็นแถบสีขาว (density) เห็นได้ชัดเจน เกิดจากการแทรกของตะกั่วบริเวณที่เจริญงอกงามของกระดูกเหล่านั้น ลักษณะดังกล่าวพบว่าจะจางหายไปได้โดยใช้เวลา 10-15 ปี

จ. ระบบสืบพันธุ์ ผู้ที่ได้รับตะกั่วติดต่อกันเป็นเวลานาน เช่นในคนงาน อาจพบอาการเป็นหมัน ซึ่งมีรายงานว่าเกิดได้ทั้งในชายและหญิง ในเพศชายพบว่าเกิดเนื่องจากการสลายของ epithelium ที่ germinal ของอัณฑะ ส่วนในเพศหญิงพบ atrophy ของเยื่อ chorionic หรือเกิดจากการหดเกร็งของกล้ามเนื้อในมดลูก

### แหล่งกำเนิดของตะกั่วในน้ำ

ตะกั่วสามารถสะสมลงสู่แหล่งน้ำได้ โดยการสะสมที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ มาจากกระบวนการที่ก่อให้เกิดการสะสมต่างๆ กัน

1. Lithogenous formations : กระบวนการผุพังของชั้นหินในแหล่งน้ำ ทำให้มีการปลดปล่อยตะกั่วออกมา เช่น เชื้ออน
2. Biogenous formations : กระบวนการที่เกิดจากกิจกรรมของสิ่งมีชีวิต เช่น การที่สิ่งมีชีวิตตายลงไปสะสมในแหล่งน้ำ หรือเกิดจากกระบวนการต่างๆ ของสิ่งมีชีวิต
3. Hydrogenous formations : การที่อนุภาคตะกั่วหรือถูกดูดซับ เนื่องจาก การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีในแหล่งน้ำ
4. Atmosgenous formations : การตกจากอากาศลงเป็นของแข็งโดยตรงเนื่องจากอากาศมีผิวสัมผัสกับแหล่งน้ำมาก โอกาสที่จะตกสู่พื้นน้ำย่อมมีได้มาก เช่น จากพืชหรือดินที่ถูกอากาศพาไป
5. Cosmogenous formations : การที่ของแข็งตกลงมาจากนอกโลก

แหล่งกำเนิดของตะกั่วที่สามารถแพร่กระจายลงสู่แหล่งน้ำได้ อาจมาจากธรรมชาติ หรือกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ แต่ส่วนมากแล้วจะมาจากกิจกรรมของมนุษย์ อาทิเช่น น้ำทิ้งจากชุมชน อุตสาหกรรม เกษตรกรรม เหมืองแร่ ฯลฯ

### วัฏจักรของตะกั่วในแหล่งน้ำ

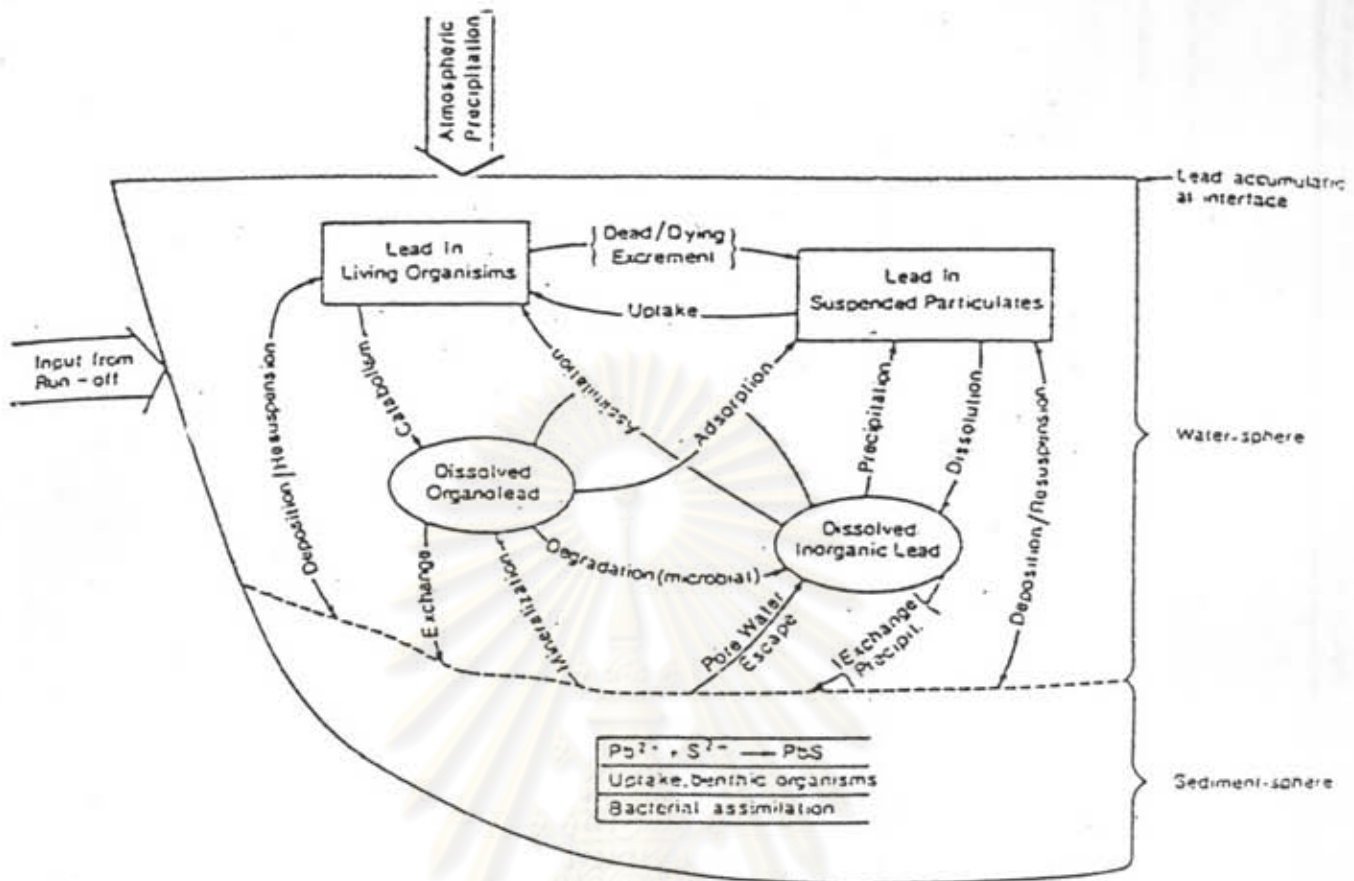
ตะกั่วเข้าสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยทาง Run-off ทั้งในรูป inorganic และ organolead complex หรือในรูปที่แขวนลอย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการใช้ประโยชน์ของพื้นที่นั้นๆ ซึ่งโดยทั่วไปความเข้มข้นของตะกั่วในแหล่งน้ำมีค่าต่ำ ( $\sim 5$  ppb)

แหล่งกำเนิดของตะกั่วที่สำคัญเช่น การตกสะสมจากบรรยากาศ (Atmospheric Precipitation) ทั้งในรูปการตกสะสมแบบแห้ง (dry deposition) และการชะโดยน้ำฝน (washout) ซึ่งตะกั่วจากแหล่งกำเนิดเหล่านี้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป organically bound องค์ประกอบของเครื่องยนต์ ทำให้ในบรรยากาศมี Soluble lead halides เมื่อลงสู่แหล่งน้ำ จะอยู่ในรูป insoluble lead oxyhydroxides หรือทำปฏิกิริยากับ ferromanganese oxyhydroxides ที่ผิวน้ำกลายเป็น surface complex รวมถึงน้ำทิ้งจากบ้านเรือนและอุตสาหกรรม ก็เป็นแหล่งกำเนิดของตะกั่วด้วย

ภายหลังจากตะกั่วเข้าสู่แหล่งน้ำจะอยู่ 3 ส่วน คือ ส่วนของสิ่งมีชีวิต ส่วนที่แขวนลอย ในรูปอนุภาค (ทั้งในรูปอินทรีย์ และอนินทรีย์) และ ส่วนของดินตะกอน อัตราและจำนวนการแลกเปลี่ยนตะกั่วระหว่างสิ่งมีชีวิตและส่วนที่เป็นอนุภาคแขวนลอย ขึ้นอยู่กับลักษณะทางฟิสิกส์-เคมี และกิจกรรมทางชีวภาพในระบบนิเวศน์ ตะกั่วทั้ง 2 ส่วนนี้จะเป็นส่วนน้อยของตะกั่วทั้งหมดที่อยู่ในแหล่งน้ำ (รูปที่ 2.1)

ตะกั่วเข้าสู่สิ่งมีชีวิตในรูปไอออนละลาย (soluble ions) โมเลกุลอินทรีย์ (organo lead molecule) หรืออนุภาค (particulate material) และมีการถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหาร จาก phytoplankton ไปสู่ zooplankton และไปสู่สิ่งมีชีวิตที่กินสัตว์เป็นอาหารที่มีขนาดใหญ่ขึ้นไป ปริมาณตะกั่วในสิ่งมีชีวิตจะมีการสะสมปริมาณตะกั่วที่สูงขึ้นตามลำดับตามห่วงโซ่อาหาร

ในส่วนของดินตะกอน ตะกั่วละลายส่วนใหญ่จะถูกยึดไว้ในรูปซัลไฟด์ (PbS) จากปฏิกิริยารีดักชันของ ferromanganese oxyhydroxide จะปลดปล่อย  $Pb^{2+}$  อีออนทำปฏิกิริยากับ  $S^{2-}$  (ซัลไฟด์ไอออน) ในสภาวะไร้ออกซิเจน



รูปที่ 2.1 วัฏจักรของตะกั่วในแหล่งน้ำ

ที่มา : Nriagu, 1978

รูปแบบทางเคมีและฟิสิกส์ของตะกั่วในน้ำและดินตะกอน

## 1. ตะกั่วในน้ำ

ตะกั่วที่พบโดยทั่วไปในแหล่งน้ำธรรมชาติอาจสะสมอยู่ในรูปของแข็ง ได้แก่ สารแขวนลอยและตะกอน หรืออาจอยู่ในรูปที่ละลายในน้ำ เช่น สารประกอบโมเลกุลชนิดต่างๆ หรือไอออนอิสระ จึงสามารถจำแนกรูปแบบของตะกั่วในน้ำ โดยใช้น้ำหนักเป็นเกณฑ์ในการแยกได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดของตะกั่วที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ และลักษณะของแหล่งน้ำที่รองรับด้วย แบ่งได้เป็น 3 รูปแบบ คือ (Harrison and Laxen, 1981) (รูปที่ 2.2)

ก. Soluble Lead

ข. Colloidal Lead

ค. Particulate Lead

Soluble Lead ที่ลงสู่แหล่งน้ำมาจากการถูกชะล้างโดยน้ำฝน จากบรรยากาศ ส่วน colloidal และ particulate lead มาจากน้ำไหลล้นในเขตเมืองและการทำเหมืองแร่ (Benes, Cejchanova and Havlik, 1985) ตะกั่วในรูปอออนอิสระ เป็นรูปที่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาการรวมตัวกับสารตัวอื่น ดังนั้นตะกั่วในรูปนี้ จึงเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต แต่ตะกั่วในรูปสารประกอบคอลลอยด์จะไม่เป็นพิษ ซึ่งคอลลอยด์อนินทรีย์ ได้แก่ ซิลิกา อะลูมินา แมงกานีส ไดออกไซด์ และของแข็งอื่นๆ สามารถดูดซับตะกั่วที่เป็นอออนอิสระได้ ความเป็นพิษจึงน้อยลง

สมรัตน์ ยินดีพิช (2527) ศึกษาความเป็นพิษของโลหะพบว่าขึ้นอยู่กับสภาวะหรือรูปแบบของโลหะชนิดนั้นๆ โดยทั่วไปโลหะที่อยู่ในสภาพอออนอิสระจะมีความเป็นพิษมากกว่าโลหะที่อยู่ในสภาพสารประกอบ และพบว่ารูปแบบของตะกั่วในน้ำจืด จะพบอยู่ในรูป  $PbCO_3$ ,  $Pb(OH)_2CO_3$

Heide et al. (1957) อ้างถึงใน Nriagu, 1978 ศึกษาในแม่น้ำ Elbe and Saale พบว่า 66-90% ของตะกั่วทั้งหมดจะอยู่ในรูป particulate และ 10-34% อยู่ในรูป dissolved lead

Eremenko (1964) อ้างถึงใน Nriagu, 1978 ศึกษาตะกั่วในแม่น้ำหลายสายในประเทศรัสเซีย พบอยู่ในรูปสารแขวนลอย (suspension) 75% และ 25% อยู่ในรูปละลาย (solution)

Lukashev et al. (1965) พบว่าตะกั่วในแม่น้ำ ประเทศรัสเซีย อยู่ในรูป particulate, Colloidal hydrate oxides, อออนที่เกิดสารเชิงซ้อนกับ ferric oxide hydrate, เกิดสารเชิงซ้อนกับ humic และ fuvic acid และดูดซับอยู่บน organic acid อื่นๆ ส่วนในน้ำใต้ดินตะกั่วอยู่ในรูปอออนบวก อออนเชิงซ้อน และดูดซับบน particulate matter ในรูป carbonate และการศึกษาน้ำใต้ดินจากบ่อขุดใน North Caucasus พบว่า 12% ของตะกั่วอยู่ในรูป colloids 84% อยู่ในรูป simple cation และ 4% อยู่ในรูปโมเลกุลเชิงซ้อนกับประจุบวก



ลักษณะทั่วไปของตะกั่วที่พบในแหล่งน้ำ (นัทธีรา ปรีชาหาญ, 2531) ในบริเวณปากแม่น้ำและในน้ำทะเล มีปริมาณตะกั่วรูปแบบต่างๆ ดังนี้

สารประกอบเชิงซ้อนกับคอลลอยด์อินทรีย์	40-80	%
สารประกอบเชิงซ้อนกับคอลลอยด์อินทรีย์	10-35	%
อออนอิสระ	0-20	%
สารประกอบเชิงซ้อนกับลิแกนด์อินทรีย์อื่นๆ	0-30	%

Size ←-----1nm-----10nm-----100nm-----1000nm-----

Soluble Colloidal Particulate

Metal Specie	Free metal ion	Inorganic ion pairs :organic chelates	Organic complex high molecular weight organic matter	Metal species bound to high molecular weight organic matter	Metal species adsorbed on colloids	Metals Incorporated organic particles and remains of living organism	Mineral solid: Metal adsorbed on solid : Precipitates and co-precipitates
Example	Pb <sup>2+</sup>	PbHCO <sub>3</sub> Pb-EDTA	Pb- fuvic acid	Pb-humic acid	Pb- Fe(OH) <sub>3</sub> PbMnO <sub>2</sub>	Pb-organic solids	Pb-clay PbCO <sub>3</sub>

รูปที่ 2.2 Lead species in water

ที่มา : Harrison and Laxen, 1981.

## 2. ตะกั่วในดินตะกอน

ตะกั่วในดินตะกอนอาจหาการศึกษาได้ทั้งในรูปตะกั่วทั้งหมดที่อยู่ในดินตะกอน (Total lead in sediment) และ Non-residual lead in sediment ซึ่งเป็นการศึกษาปริมาณตะกั่วที่มีการดูดซับ (adsorption) การเกิดสารเชิงซ้อน (complexation) และการตกตะกอน (precipitation) จากน้ำทิ้งที่มีการปนเปื้อนของตะกั่วและถูกสะสมไว้ในดินตะกอน

### ก. Total lead in sediment

การวิเคราะห์ตะกั่วทั้งหมดจำเป็นต้องย่อยสลายตัวอย่าง เพื่อที่จะปลดปล่อยทุกรูปแบบของตะกั่วให้สมบูรณ์ ซึ่งรวมทั้งตะกั่วในหิน ตะกั่วที่ดูดซับบนอนุภาคดินตะกอน และตะกั่วในรูปเกลือไม่ละลายน้ำ และสารอินทรีย์เชิงซ้อน

การแยกตัวอย่างออกเป็นส่วนๆ โดยใช้สารละลายกรดผสมระหว่าง HF (hydrofluoric)  $\text{HNO}_3$  (nitric) และ  $\text{HClO}_4$  (perchloric) ทั้งนี้ HF จะย่อยสลาย silicate โดยปฏิกิริยา  $\text{F} + \text{Si} \rightarrow \text{SiF}_4$  ปฏิกิริยานี้จะทำให้ส่วนของหิน แร่ กระจัดกระจาย และปลดปล่อยตะกั่วที่ถูกจับไว้ ส่วน  $\text{HNO}_3$ - $\text{HClO}_4$  จะทำลาย organic matter และ dehydration silicate หลังจากนั้น silicate จะง่ายต่อการละลายใน hydrofluoric acid (HF)

### ข. Non-residual lead in sediment

Non-residual lead in sediment หมายถึง ส่วนของตะกั่วที่ไม่ใช่ silicate ในดินตะกอนที่มาจากหิน เป็นการรวมการดูดซับตะกั่วบนอนุภาคของดินตะกอน การเกิดสารเชิงซ้อน การดูดซับบนสารอินทรีย์ และในรูปของเกลือที่ไม่ละลายน้ำ

กรดไฮโดรคลอริก 0.5 นอร์มัล สามารถปลดปล่อยตะกั่วจากสารอินทรีย์ เกลือตกตะกอนที่ละลายน้ำได้ (dissolve precipitated salt) และตัวดูดซับที่สกัดออกมา (extract adsorbed) และตะกั่วที่สกัดได้ทั้งหลายจากดินตะกอน วิธีนี้จะไม่มีผลสะท้อนกลับจากดินตะกอนที่มาจากหิน และให้ข้อมูลที่ดีกว่าในการหาภาวะมลพิษ เนื่องจากเกิดจากการดูดซับ (adsorption) เกิดสารเชิงซ้อน (complexation) และการตกตะกอน (precipitation) ซึ่งเป็นกระบวนการที่สำคัญในการปนเปื้อนของตะกั่วในดินตะกอน

## พฤติกรรมของตะกั่วในแหล่งน้ำ

### 1. การละลาย (Solubility)

สารประกอบตะกั่ว 3 ชนิดที่อยู่ในน้ำ สามารถแตกตัวเป็นไอออนดังสมการ



ตะกั่วไอออน ( $\text{Pb}^{2+}$ ) มีแนวโน้มจะเกิดไอออนคู่ (ion pairs) เช่น  $\text{PbHCO}_3^+$  และ  $\text{PbCO}_3^0$  รูปแบบเหล่านี้จะไปลดความเข้มข้นของตะกั่วไอออน ( $\text{Pb}^{2+}$ ) และสมดุลจะเคลื่อนไปทางขวา ตะกั่วจึงละลายได้มากขึ้น และตะกั่วสามารถละลายได้มากขึ้นอีก เมื่อสารประกอบอินทรีย์เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับตะกั่วไอออน ( $\text{Pb}^{2+}$ )

ตะกั่วคาร์บอเนตที่อยู่ในดินตะกอนในแหล่งน้ำธรรมชาติ สามารถหา particulate lead ได้จากสมดุลการละลาย ถ้าตะกั่วที่อยู่ในน้ำเป็น carbonate/hydroxy precipitates แล้วการลด pH ของน้ำลง จะทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วละลาย (soluble lead) สูงขึ้น

### 2. การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange)

การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) สามารถเคลื่อนย้ายตะกั่วออกจากสารละลายไปยังสารแขวนลอยได้ และตะกอนขนาดเล็กจะแสดงความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (cation exchange capacity) ได้มีการทำการศึกษาพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนของตะกั่วในแหล่งน้ำ พบว่าสัดส่วนการแลกเปลี่ยนไอออนนอกจากจะขึ้นอยู่กับ pH ของน้ำแล้ว ยังขึ้นอยู่กับ competing cation เช่น  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  ด้วย

### 3. การดูดซับ (Adsorption)

ตะกั่วส่วนใหญ่จะถูกดูดซับอยู่บนสารแขวนลอย และในดินตะกอน ในน้ำที่มีออกซิเจน โลหะหนักที่จมลงโดยเกิดจาก colloidal hydrous ferric และ manganese oxide ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$  and  $\text{MnO}_2$ ) hydrous oxide ซึ่งความสามารถในการดูดซับแสดงได้ดังนี้  $\text{Pb}^{2+} > \text{Cd}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{K}^+$  ทั้งนี้กระบวนการดูดซับจะเป็นไปอย่างรวดเร็วและไม่สามารถผันกลับได้นอกจากนั้นจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อ pH ของน้ำสูงขึ้น

hydrous ferric และ manganese oxide จะถูกทำให้ลดลงและกลายเป็นตะกั่วละลาย ภายใต้สภาวะที่ไร้ออกซิเจน เพราะฉะนั้นการปลดปล่อยโลหะเมื่อเข้าสู่สภาวะไร้ออกซิเจน จะเกิดร่วมกับการเกิด hydrous sulphide และจะเคลื่อนย้ายตะกั่วออกจากรูปที่ละลายได้อีกครั้งในขณะที่ lead sulphide ซึ่งไม่ละลายน้ำจะมีปริมาณสูงขึ้น

### 4. การเกิดสารเชิงซ้อน (Complexation)

ตะกั่วสามารถทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ในน้ำได้ น้ำทิ้งจากบ้านเรือนจะมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ปริมาณมาก และอาจจะมี chelating agent เช่น ethylene diamine tetra-acetic acid (EDTA) ซึ่งสามารถจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับตะกั่วได้ ในน้ำผิวดิน สารประกอบอินทรีย์ที่สำคัญคือ humic และ fuvic acid การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนขึ้นอยู่กับ pH สูงๆ competing cation จะมีผลต่อปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับสารอินทรีย์ ซึ่งจะเกิดช่วงน้ำกร่อยที่มีความเข้มข้นของ competing cation ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) และ ligands ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ) สูง

### 5. การตกตะกอนทางเคมี (Precipitation)

การตกตะกอนของตะกั่วเป็นเกลือตะกั่วที่ละลายน้ำได้น้อย ขึ้นอยู่กับชนิดของไอออนลบ (anion) และ pH การละลายของเกลือที่ละลายน้ำได้น้อย มีค่าคงที่การละลาย ( $K_{sp}$ ) เป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงความสามารถในการละลายน้ำได้มากหรือน้อยเพียงใด

โลหะตะกั่วเป็นโลหะชนิดที่มีความสามารถที่จะถูกสะสมอยู่ในดินตะกอนได้สูงกว่าโลหะชนิดอื่นๆ เช่น ทองแดง, สังกะสี ทั้งนี้เนื่องจากตะกั่วเป็นโลหะที่สามารถเคลื่อนย้ายออกจากรากทะเลและเข้าสู่ตะกอนได้อย่างรวดเร็ว (พิชรา เพ็ชรพิรุณ, 2531)

### ลักษณะทั่วไปของแม่น้ำเจ้าพระยา

#### ก. ลักษณะทางกายภาพของแม่น้ำเจ้าพระยา

แม่น้ำเจ้าพระยาเกิดจากแม่น้ำปิง วัง ยม และน่าน ไหลมาบรรจบกันที่บริเวณปากน้ำโพ อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ ไหลผ่านจังหวัดชัยนาท สิงห์บุรี อ่างทอง อยุธยา ปทุมธานี นนทบุรี กรุงเทพฯ และไหลลงสู่อ่าวไทยที่จังหวัดสมุทรปราการ รวมระยะทางทั้งสิ้น 380 กิโลเมตร พื้นที่ลุ่มแม่น้ำ 142,055.70 ตารางกิโลเมตร

#### ข. ลักษณะการใช้ที่ดินในบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา

สภาพแวดล้อมทั่วไปบนสองฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยาสามารถแบ่งเป็นเขตต่างๆ ตามการใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างๆ ได้ดังนี้

เขตกิจกรรม ครอบคลุมพื้นที่ 4 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดอยุธยา ปทุมธานี นนทบุรี และกรุงเทพมหานคร สภาพทั่วไปของเขตนี้นี้เป็นส่วนผลไม้ ทุ่งนา และมีบ้านเรือนอยู่บางเบา น้ำในแม่น้ำช่วงนี้มีการไหลอยู่ตลอดเวลาตามการขึ้นลงของน้ำ คลองบางแห่งใช้เป็นที่สัญจรทางน้ำ มีเรือหางยาววิ่งไปมา ตลอดเวลาซึ่งเป็นการเพิ่มอากาศให้แก่ น้ำ ของเสียที่ปล่อยลงสู่น้ำจะเกิดจากอาคารบ้านเรือน และการกสิกรรมเป็นส่วนใหญ่ แต่ยังคงอยู่ในระดับที่แม่น้ำสามารถรับได้โดยธรรมชาติ

นอกจากนี้พื้นที่บริเวณสองฝั่งจากอยุธยาลงมาถึงปทุมธานี มีการทำเกษตรกรรม ได้แก่ ทำนา และปลูกพืชผักต่างๆ ส่วนในเขตจังหวัดนนทบุรี จะใช้น้ำจากแม่น้ำในการทำสวนผลไม้ เช่น ทุเรียน เป็นต้น

ในด้านการเลี้ยงสัตว์และการจับสัตว์น้ำ ปัจจุบันการทำฟาร์มสัตว์น้ำพวกกุ้งลดน้อยลง เนื่องจากปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในระดับต่ำมาก สัตว์น้ำต่างๆ ไม่สามารถอาศัยอยู่ได้ ปัจจุบันการจับสัตว์น้ำมีเฉพาะบริเวณเหนือจากจังหวัดปทุมธานีขึ้นไป และได้ผลไม่ดีเท่าที่ควร สำหรับเขตกรุงเทพฯ และสมุทรปราการนี้มีการจับสัตว์น้ำน้อยมากจนไม่นับเป็นอาชีพหลักที่แน่นอน

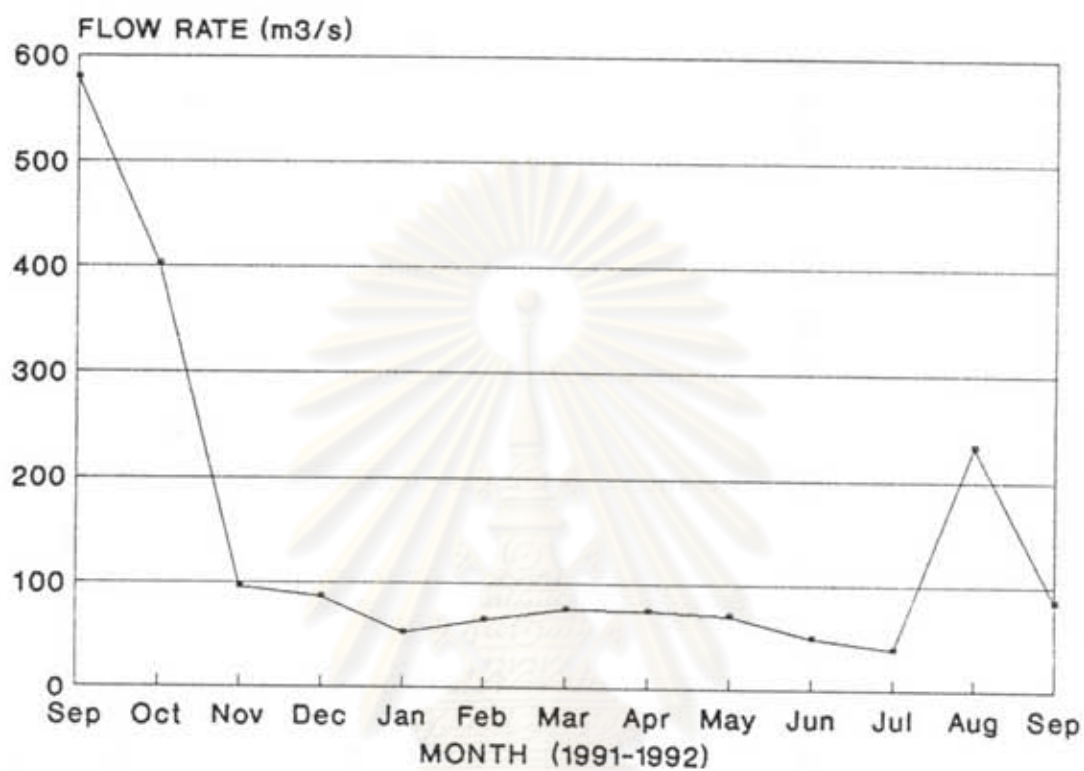
เขตชุมชน เป็นเขตที่อยู่ในช่วงกลางของแม่น้ำ เขตนี้จะผ่านกรุงเทพมหานคร เป็นเขตที่ประชากรอาศัยอยู่หนาแน่น มีโรงงานอุตสาหกรรมขนาดย่อม และอุตสาหกรรมในครอบครัวแทรกอยู่ประปราย ท่อระบายน้ำจากบ้านเรือนหรือโรงงานต่างๆ เกือบทั้งหมดจะต่อตรงและระบายลงสู่คลองและแม่น้ำ จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้น้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาช่วงนี้มีคุณภาพเลวลง

เขตอุตสาหกรรม เป็นเขตที่อยู่ช่วงล่างของแม่น้ำ ส่วนใหญ่จะอยู่ในเขตอำเภอราชบุรีบุรณะ (กรุงเทพมหานคร) อำเภอพระประแดง และอำเภอเมือง (จังหวัดสมุทรปราการ) โรงงานที่ตั้งอยู่ในเขตนี้เป็นโรงงานขนาดใหญ่ มีปริมาณน้ำทิ้งมาก น้ำทิ้งจากโรงงานจะปล่อยลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยาโดยตรงและบางแห่งจะปล่อยลงสู่คลองซึ่งไหลลงสู่แม่น้ำอีกต่อหนึ่ง

#### ก. ปริมาณน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา

อัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา เปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลจากข้อมูลการวัดอัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาที่ท้ายเขื่อนเจ้าพระยา วัดโพธิ์งาม อำเภอสรรพยา จังหวัดชัยนาท ของกองจัดสรรน้ำและบำรุงรักษา กรมชลประทาน รูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นว่าสามารถแบ่งอัตราการไหลของน้ำออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงอัตราการไหลมาก และช่วงอัตราการไหลน้อย ซึ่งอยู่ในช่วงเดือนกันยายน ถึงตุลาคม 2534 และเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน 2535 โดยมีอัตราการไหลในช่วงฤดูน้ำมากเฉลี่ยเท่ากับ 491 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และอัตราการไหลในช่วงน้ำน้อยเฉลี่ยเท่ากับ 45 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ปริมาณน้ำและอัตราการไหลของกระแสน้ำ เป็นตัวควบคุมลักษณะทางกายภาพของแม่น้ำ รวมทั้งด้านคุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติทางชีววิทยา ข้อมูลนี้จึงมีความจำเป็นต่อการศึกษาคุณภาพน้ำของแม่น้ำ



รูปที่ 2.3 อัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา โดยเฉลี่ยในแต่ละเดือน  
(พ.ศ. 2534-2535)

ที่มา : กองจัดสรรน้ำและบำรุงรักษา กรมชลประทาน, 2535

ง. การกำหนดประเภทของแหล่งน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา

สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ได้กำหนดประเภทของแหล่งน้ำโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา เพื่อประโยชน์ในการอนุรักษ์คุณภาพน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา โดยแบ่งแม่น้ำเจ้าพระยา ตั้งแต่พระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ ขึ้นไปทางตอนเหนือจนถึง จุดเริ่มต้นของแม่น้ำ ที่จังหวัดนครสวรรค์ ออกเป็น 3 ช่วง ดังต่อไปนี้ (รูปที่ 2.4)

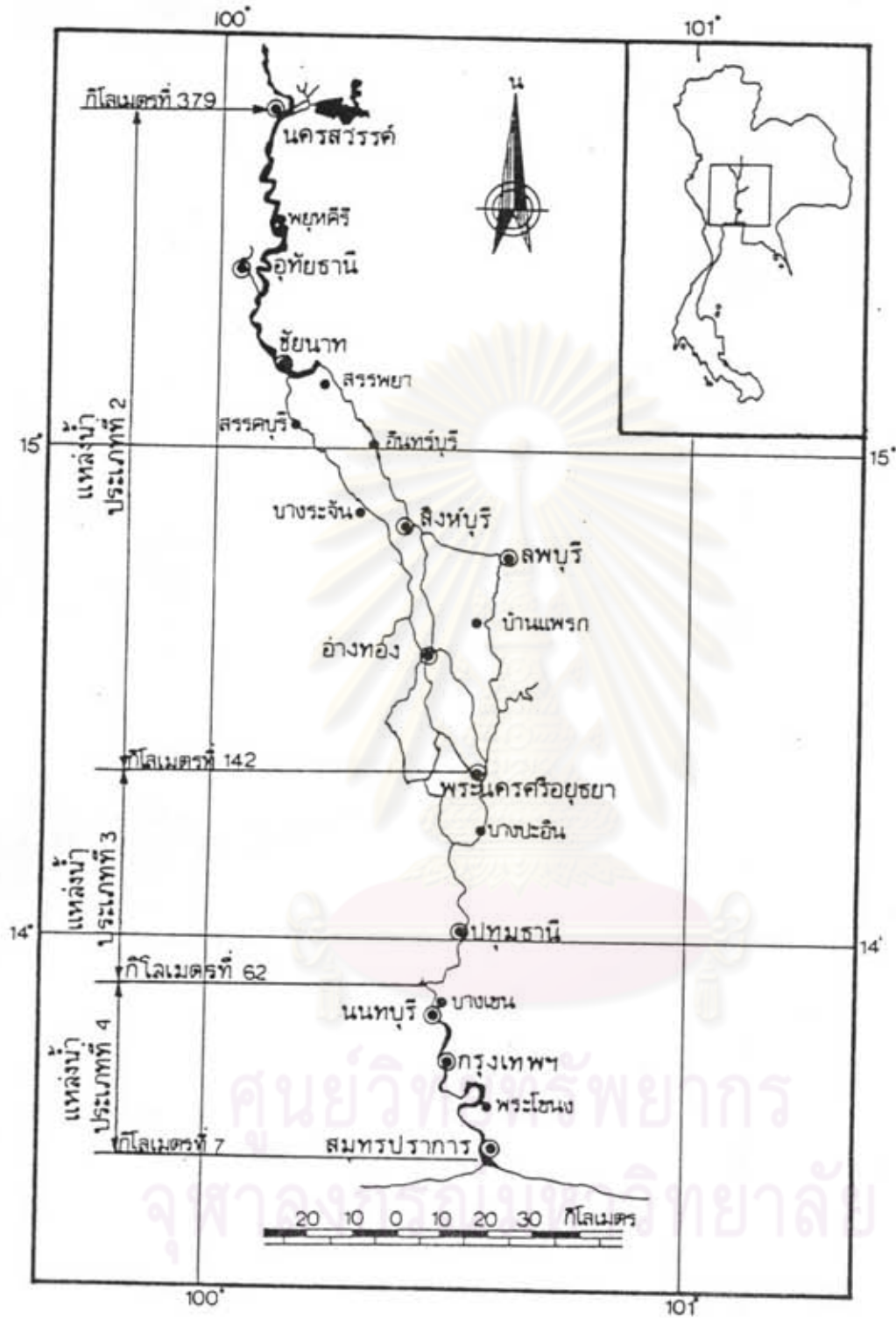
1. แม่น้ำเจ้าพระยาตั้งแต่พระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ ที่กิโลเมตร 7 จากปากแม่น้ำขึ้นไปทางตอนเหนือจนถึง ศาลากลาง จังหวัดนนทบุรี ที่กิโลเมตร 62 จากปากแม่น้ำ เป็นแหล่งน้ำประเภทที่ 4

2. แม่น้ำเจ้าพระยาตั้งแต่ศาลากลาง จังหวัดนนทบุรี ที่กิโลเมตร 62 จากปากแม่น้ำ ขึ้นไปทางตอนเหนือจนถึง ป้อมเพชร จังหวัดอยุธยา ที่กิโลเมตร 142 จากปากแม่น้ำ เป็นแหล่งน้ำประเภทที่ 3

3. แม่น้ำเจ้าพระยาตั้งแต่ป้อมเพชร จังหวัดอยุธยา ที่กิโลเมตร 142 จากปากแม่น้ำขึ้นไปทางตอนเหนือจนถึง จุดเริ่มต้นของแม่น้ำเจ้าพระยา จังหวัดนครสวรรค์ ที่กิโลเมตร 379 จากปากแม่น้ำ เป็นแหล่งน้ำประเภทที่ 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





- เครื่องหมาย
- จังหวัด
  - อำเภอ
  - แม่น้ำ

รูปที่ 2:4 แผนที่แสดงแม่น้ำเจ้าพระยา  
ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2524