

บทที่ 2

การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดินประกอบด้วยส่วนที่เป็นอากาศ (Gaseous Phase) เป็นของเหลว (Liquid Phase) และเป็นของแข็ง (Solid Phase) ส่วนประกอบที่เป็นอากาศ ได้แก่ ช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ไม่มีน้ำอยู่ เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนอากาศ ระหว่างดินกับบรรยากาศ เพื่อการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ในดิน ส่วนประกอบที่เป็นของเหลวหรือสารละลายดิน (Soil Solution) เป็นส่วนประกอบที่มีหน้าที่เป็นตัวกลางในการถ่ายเทสารอาหาร โดยจะทำให้เกิดเป็น อนุมูล หรือ ไอออน (ion) ในรูปอนินทรีย์สาร ส่วนประกอบที่เป็นของแข็ง เป็นส่วนประกอบหลักที่จะเป็นแหล่งเก็บกักสารอาหารและแร่ธาตุ ต่าง ๆ ทั้งในรูปของอนุภาคอินทรีย์ (Organic Particles) หรือซากอินทรีย์ที่ผูกพันในดิน (Humus) ได้แก่ ซากพืชซากสัตว์ และอนุภาคอนินทรีย์ (Inorganic Particles) หรือแร่ธาตุ (Minerals) เช่น โปแตสเซียม โซเดียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็กและสังกะสี เป็นต้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535)

2.1 การดูดซับประจุลบของดิน

ธรรมชาติของดินมีได้ทั้งประจุลบและประจุบวก ดินส่วนใหญ่มีประจุลบมากกว่าประจุบวก จึงมักจะพบว่าดินมีประจุรวมเป็นลบ นอกจากนั้นประจุในดินยังมีทั้งประจุถาวรและประจุที่แปรเปลี่ยนตามสภาพความเป็นกรดและด่าง (pH) การที่จะมีประจุชนิดใดมากกว่ากันนั้นขึ้นอยู่กับสารคอลลอยด์ในดินนั้น ๆ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535 และไพบูลย์ ประพทธิธรรม, 2528)

2.1.1 คอลลอยด์

ดินที่เหมาะสมต่อการเกษตรต้องสามารถกักน้ำได้ดี มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนต่าง ๆ ได้ดี คือมี CEC สูง อนุภาคค่อนข้างละเอียดโดยทั่วไปจะมีขนาดเล็กตั้งแต่ 2 ไมครอน (μ) ลงไป เมื่อละลายน้ำจะมีคุณสมบัติเป็นคอลลอยด์ อนุภาคส่วนใหญ่มีประจุลบ จึงสามารถแลกเปลี่ยนและดูดยึดประจุบวกได้ รวมทั้งการดูดยึดธาตุอาหารพืชในดินในรูปของไอออนนั่นเอง คอลลอยด์ ในดินมีอยู่ 2 ลักษณะคือ ส่วนที่เป็นอินทรีย์คอลลอยด์ (Organic Colloid) หรือซากอินทรีย์ที่ผูกพันในดิน (Humus) และส่วนที่เป็นอนินทรีย์คอลลอยด์ (Inorganic

Colloid) ในรูปของแร่ซิลิเกต (Silicate Mineral) หรืออลูมิโนซิลิเกต (Alumino Silicate) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535 และไพบูลย์ ประพทธิธรรม, 2528)

อินทรีย์คอลลอยด์ (Organic Colloid) หรือซากอินทรีย์ที่ฝังในดิน เกิดจากการเน่าเปื่อยของซากพืชซากสัตว์ที่ย่อยสลายปนอยู่ในสภาพที่ไม่มีรูปร่างที่แน่นอน (Amorphous) มีหมู่ฟังก์ชันหรือโครงสร้างสำคัญที่แสดงความเป็นกรดคือ Carboxyl Group (COOH^-) ทำให้ อินทรีย์คอลลอยด์ สามารถละลายน้ำได้ และการที่มีประจุลบจึงมีความสามารถในการดึงดูดไอออนบวก (Cation) ขึ้นมาแทนที่ไฮโดรเจนไอออน (Hydrogen Ion, H^+) ทำให้สารละลายในดินมีความเป็นกรดและต่างเกิดขึ้นซึ่งส่วนใหญ่อินทรีย์คอลลอยด์จะมี pH ประมาณ 3-8 (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535 และไพบูลย์ ประพทธิธรรม, 2528)

อนินทรีย์คอลลอยด์ (Inorganic Colloid) คือ อลูมิโนซิลิเกต (Alumino Silicate) หรือ แร่ซิลิเกต (Silicate Mineral) จัดเป็นผลึกของสารประกอบที่มี อลูมิเนียม (Al) และซิลิกอน (Si) เป็นหลักโดยจะยึดต่อกันเป็นโครงสร้าง ก่อให้เกิดคุณสมบัติต่าง ๆ ของ คอลลอยด์ขึ้น หน่วยที่เล็กที่สุดของอนินทรีย์คอลลอยด์นี้คือ โครงสร้างอลูมินารูปแปดเหลี่ยม (Alunina Octahedral Unit) หรือโครงสร้างซิลิการูปสี่เหลี่ยม (Silica Tetrahedral Unit) โดยที่หน่วยทั้งสองจะต่อกันเป็นชั้น ๆ ไปในอนุภาคของดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535 และไพบูลย์ ประพทธิธรรม, 2528)

2.1.2 การแลกเปลี่ยนไอออนบวก

โครงสร้างซิลิการูปสี่เหลี่ยม (Silica Tetrahedral) คือโครงสร้างที่ประกอบไปด้วยซิลิกอน (Si) 1 อะตอม ออกซิเจน (O) 4 อะตอมอยู่ล้อมรอบโดยมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยม แต่ละหน่วยเรียงต่อกันเป็นแผ่น (Sheet) เกิดช่องว่างเป็นรูปสี่เหลี่ยม (รูปที่ ผ 2.1 และ ผ 2.2)

โครงสร้างอลูมินารูปแปดเหลี่ยม (Alunina Octahedral) คือโครงสร้างที่ประกอบไปด้วย อลูมิเนียม (Al) 1 อะตอม ออกซิเจน (O) 6 อะตอมอยู่ล้อมรอบโดยมีรูปร่างเป็นแปดเหลี่ยม แต่ละหน่วยเรียงต่อกันเป็นแผ่น เกิดช่องว่างเป็นรูปแปดเหลี่ยม (รูปที่ ผ 2.3)

จากโครงสร้างทั้ง 2 หน่วยในอนุภาคที่ต่างกันจะมีการจัดเรียงชั้นของหน่วยทั้ง 2 ที่ต่างกัน ซึ่งแบ่งได้ 3 ชนิดคือ

1. Kaolinite มีการจัดเรียงของ Silica Unit 1 แผ่นต่อกับ Alumina Unit 1 แผ่น โดยใช้ออกซิเจนร่วมกัน (รูปที่ ผ 2.4 และ ผ 2.5)
2. Montmorillonite มีการจัดเรียงของ Silica Unit 2 แผ่น ประกอบกับ Alumina Unit ที่อยู่ตรงกลาง โดยใช้ออกซิเจนร่วมกันระหว่าง Si และ Al (รูปที่ ผ 2.6 และ ผ 2.7)
3. Illite มีการจัดเรียงคล้ายคลึงกับ Montmorillonite แต่มีองค์ประกอบบางอย่างที่ผิดแปลกไปคือมี K^+ อยู่ในช่องว่างของระนาบชั้นในช่องสี่เหลี่ยมของ Silica Sheet (รูปที่ ผ 2.8 และ ผ 2.9) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535 และไพบุลย์ ประพทธิธรรม, 2528)

2.1.3 ปฏิกริยาดินในการดูดยึดประจุลบ

จากโครงสร้างของ Silica Tetrahedral Unit และ Alumina Octahedral Unit ทั้งสอง พบว่าสามารถเกิดประจุลบในโครงสร้างได้เนื่องจาก

- การสลายพันธะ (Exposed Crystal Edge) ซึ่งเกิดจากการสลายพันธะระหว่าง Si-O หรือ Al-O พันธะใดพันธะหนึ่ง ทำให้ O มีประจุลบค้างอยู่ อนุภาคดินเหนียว (Clay) จึงแสดงความเป็นประจุลบ ทำให้สามารถดึงดูดไอออนบวกหรือแร่ธาตุอาหารต่าง ๆ ได้

- การแทนที่ (Isomorphous Substitution) เกิดจากการแทนที่ด้วยไอออนที่มีประจุน้อยกว่าเนื่องจาก Clay สามารถดูดซับไอออนต่าง ๆ ในส่วนที่เป็นแร่ธาตุสำหรับพืชได้ จึงทำให้ Clay มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนต่าง ๆ ในสารละลายดินแทนที่ Al ในโครงสร้าง เช่น Mg^{2+} แทนที่ Al^{3+} ในโครงสร้างทำให้เกิดประจุลบขึ้น ซึ่งสามารถดูดยึดประจุบวกได้ จากความเป็นประจุลบนีเองที่ทำให้ Clay สามารถดูดซับแร่ธาตุต่าง ๆ ไว้ได้ซึ่งแร่ธาตุส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไอออนบวก ดังนั้น ดินที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก หรือมี CEC สูงก็จะดูดซับแร่ธาตุไว้ได้มาก จึงมีความอุดมสมบูรณ์ของดินดี (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535 และไพบุลย์ ประพทธิธรรม, 2528)

2.2 สารอินทรีย์

สารอินทรีย์เป็นแหล่งอาหารที่สำคัญในดิน เนื่องจากอินทรีย์วัตถุเป็นสารคอลลอยด์ในดินที่มีความสามารถในการดูดซับประจุสูง โอกาสที่จุลชีพจะมาวมกันจึงมีมาก เป็นการยากที่จะบอกได้ว่า เกิดจากการเน่าเปื่อยผุพังของสารอินทรีย์โดยตรงหรือเกิดจากการดูดตั้ง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535 และไพบูลย์ ประพฤทธิ์ธรรม, 2528) อย่างไรก็ตามเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปแล้วว่าการเติมกากตะกอนลงดินเป็นเสมือนการเพิ่มสารอินทรีย์ให้แก่ดิน ซึ่งจะช่วยปรับโครงสร้างของดินให้ดีขึ้น (อรรพรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2532) อีกทั้งผลงานวิจัยมากมายได้ยืนยันแล้วถึงคุณประโยชน์ของกากตะกอนในการปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของดิน

2.2.1 อินทรีย์วัตถุ

อินทรีย์วัตถุ (Organic Materials) เป็นองค์ประกอบที่มีอยู่ในดิน เมื่อเทียบอัตราส่วนแล้วถึงแม้จะมีเป็นจำนวนน้อย แต่มีอิทธิพลต่อลักษณะสมบัติของดินอย่างมาก โดยเฉพาะอิทธิพลต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของดิน ช่วยให้ดินจับตัวเป็นก้อนและเป็นแหล่งพลังงานของธาตุอาหารพืช สารอินทรีย์ในดินเกิดจากซากพืชซากสัตว์ที่เน่าเปื่อยผุพังและถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ต่าง ๆ อินทรีย์วัตถุมีบทบาทที่สำคัญทางกายภาพคือ เป็นตัวเชื่อมยึดอนุภาคดินให้กลายเป็นเม็ดดินจนได้โครงสร้างที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช บทบาททางเคมีคือ ทำให้การดูดซับประจุลบและบวกของอนุภาคดินได้มาก ความอุดมสมบูรณ์ของดินจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์ที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืช (ไพบูลย์ ประพฤทธิ์ธรรม, 2528)

อินทรีย์วัตถุในดินหรือฮิวมัสนั้น จะมีการสลายตัวในสภาวะที่เหมาะสม ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซอื่น ๆ ทำให้อินทรีย์วัตถุในดินลดลงเรื่อย ๆ ปัจจัยที่เป็นตัวเร่งให้เกิดการสูญเสียอินทรีย์วัตถุ ได้แก่ สภาพที่ดินแห้งและชื้นสลับกันไป และการเพิ่มอินทรีย์วัตถุที่สลายตัวได้ง่าย การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าอินทรีย์วัตถุในดินเขตร้อนจะสลายตัวได้ดีกว่าดินในเขตหนาว จึงพบว่าดินในเขตร้อนมีอินทรีย์วัตถุต่ำกว่าดินในเขตหนาว การเติมกากตะกอนจึงเป็นการเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดินและช่วยลดการสูญเสียอินทรีย์วัตถุของดินได้อีกด้วย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535)

นอกจากนี้ธาตุอาหารในดินที่พืชสามารถใช้ได้ พวกหนึ่งอยู่ในรูปของ

ไอออนในสารละลายดินและพวกที่อยู่ในรูปของไอออนซึ่งถูกสารคอลลอยด์ดูดซับไว้ (คณาจารย์ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535)

2.2.2 กากตะกอน

กากตะกอนเป็นผลพลอยได้จากการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการทางชีววิทยา ซึ่งอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์หลายประเภท กลไกของการบำบัดเป็นการเปลี่ยนรูปลักษณ์ของสสารในน้ำเสียและแยกสิ่งสกปรกเหล่านี้ออกมาเป็นกากตะกอนของน้ำเสีย (Sewage Sludge) ซึ่งกากตะกอนที่เกิดขึ้นนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

- กากตะกอนที่เป็นสารอนินทรีย์ ได้แก่ กากตะกอนที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมประเภทชุบโลหะ อุตสาหกรรมเคมี และ อีเลคโทรนิคส์ เป็นต้น

- กากตะกอนที่เป็นสารอินทรีย์ ได้แก่ กากตะกอนที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตรหรืออาหาร โรงฆ่าสัตว์ และน้ำเสียชุมชน ระบบบำบัดน้ำเสียที่ทำให้เกิดกากตะกอนที่เป็นสารอินทรีย์ ได้แก่ ระบบ Trickle Filters, ระบบ Bio-Disc, ระบบ Anaerobic Digestion, ระบบ Anaerobic Lagoon, ระบบ Oxidation Ditch และระบบ Activated Sludge เป็นต้น (เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2518)

แหล่งกำเนิดของกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่เป็นผลมาจากกิจกรรมต่าง ๆ ของชุมชน ซึ่งจำเป็นจะต้องมีการบำบัดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำต่อไป ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียไม่ว่าจะด้วยวิธีการใดก็ตาม ย่อมจะมีกากตะกอนเกิดขึ้นเสมอ กากตะกอนจะมีองค์ประกอบแตกต่างกัน ได้แก่ สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ เกลือแร่ต่าง ๆ ตลอดจนจุลินทรีย์หลายชนิด โดยทั่วไปปริมาณของแข็งในน้ำเสียอยู่ในช่วง 500-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (ppm) ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์มีอยู่ในน้ำประปาเดิมและ 75 เปอร์เซ็นต์เพิ่มมาจากชุมชน ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) จะมีปริมาณหนึ่งในสามของของแข็งทั้งหมด (Total Solids) และประมาณหนึ่งในสามถึงหนึ่งในสองของของแข็งแขวนลอยนี้ มีขนาดของอนุภาคและความถ่วงจำเพาะที่จะทำให้ตัวมันแยกออกจากของเหลวเมื่อดังตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง ของแข็งที่ตกตะกอนลงมาเองได้เรียกว่า Settleable Solids และส่วนที่ไม่สามารถตกตะกอนเมื่อดังตั้งทิ้งไว้เรียกว่า Nonsettleable Solids สำหรับของแข็งในน้ำที่สามารถผ่านกระดาษกรองจะประกอบด้วยของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Dissolved Solids) และคอลลอยด์ (สมใจ กาญจนวงศ์, 2532)

สารอินทรีย์ในโตรเจนในน้ำเสียชุมชนประกอบด้วย โปรตีน ยูเรีย กรดอะมิโน และคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ น้ำตาล แป้ง เซลลูโลส กรดไขมัน และสารประกอบอื่น ๆ เช่น

ฟีนอล ผงซักฟอก เป็นต้น สำหรับสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากชุมชนประกอบด้วย กรวด ทราย กรวดต่าง เกลือหรือโลหะบางชนิด ซึ่งบางส่วนละลายน้ำได้ บางส่วนอยู่ในรูปของคอลลอยด์หรือสารแขวนลอยในน้ำ และส่วนประกอบที่เป็นเกลือแร่ประเภทต่าง ๆ เช่น โบคาร์บอเนต ฟอสเฟต แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส ซิลิกา เป็นต้น (Lamb, 1985) นอกจากนี้ยังมีจุลินทรีย์ต่าง ๆ เช่น แบคทีเรีย โปรโตซัว และนีมาโทด (Greenson, 1981)

ภาคตะกอนจากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย เกิดขึ้นจากขั้นตอนดังนี้

- ขั้นตอนเตรียมการก่อนการบำบัด เป็นขั้นตอนที่ต้องการตัดแปลงหรือปรับปรุงสภาพน้ำทิ้งให้เหมาะสมกับการบำบัดในลำดับต่อไป โดยอาศัยกระบวนการทางกายภาพเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ การแยกสิ่งแขวนลอยขนาดใหญ่โดยอาศัยตะแกรงกักเอาไว้ การคุมอัตราการไหลให้สม่ำเสมอ และการแยกน้ำมันหรือไขมันออกจากน้ำ สำหรับในขั้นตอนนี้ยังไม่มีตะกอนเกิดขึ้น จะมีก็เป็นเพียงสิ่งแขวนลอยขนาดใหญ่ที่ถูกแยกออกมา

- การบำบัดขั้นต้นเป็นการทำของแข็งส่วนที่ตกตะกอนได้ (Settleable Solids) ให้แยกตัวออกจากน้ำโดยอาศัยการตกตะกอน (Sedimentation) ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก การบำบัดในขั้นตอนนี้มุ่งให้สารส่วนที่จุลชีพย่อยสลายได้ (Biodegradable Matter) ตกตะกอนในถังตกตะกอนขั้นต้น (Primary Clarifier) สำหรับสารส่วนที่จุลชีพย่อยสลายไม่ได้ (Non-Biodegradable Matter) ได้แก่ วัตถุประเภททราย กรวด หิน เมล็ดผลไม้ เศษกระดูก จะถูกแยกให้ตกตะกอนในถังอีกใบหนึ่ง (Grit Chamber) การบำบัดในขั้นนี้อาศัยกระบวนการทางเคมี เช่น การทำให้เป็นกลาง (Neutralization) การสังเคราะห์แกนตะกอนและการรวมตะกอน (Coagulation and Flocculation) ซึ่งเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนสารที่มีขนาดเล็กมากเมื่อละลายอยู่ในน้ำและไม่สามารถตกตะกอนได้ ถูกทำให้เป็นกลางจนตะกอนเบาเล็ก ๆ ซึ่งสามารถรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนจนสามารถตกตะกอนโดยน้ำหนักของตัวเอง

- การบำบัดขั้นที่สอง น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นยังมีความสกปรกในสภาพของสารละลายอินทรีย์ (Soluble Organic) จึงต้องเปลี่ยนให้เป็นเซลล์ของจุลชีพ แล้วนำเซลล์เหล่านี้ไปแยกออกจากน้ำโดยการตกตะกอนในถังตกตะกอนขั้นที่สอง (Secondary Clarifier) การบำบัดในขั้นตอนนี้จึงต้องอาศัยกระบวนการทางชีวภาพเป็นหลักและระบบที่ใช้ทั่วไป ได้แก่ ระบบเลี้ยงตะกอน (Activated Sludge) ระบบลานกรอง (Trickling Filter หรือ Biofilter) ระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch) ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon) และระบบบ่อกำจัด (Stabilization Pond)

- การบำบัดขั้นสุดท้าย โดยทั่วไปถือว่าน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดขั้นที่สองแล้วจะมีความสกปรกต่ำ สามารถปล่อยทิ้งลงแหล่งน้ำได้ การบำบัดในขั้นตอนนี้ส่วนใหญ่จะเป็นการกำจัดสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้ เช่น ฟีนอล ดีเทอร์เจนต์ สารเร่งการเจริญเติบโตของพืชน้ำ เช่น ไนเตรท ฟอสเฟต ตลอดจนสี กลิ่น โลหะต่าง ๆ และของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) ซึ่งก่อให้เกิดความขุ่น (ศุภฤกษ์ สินสุพรรณ, 2526)

ตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียชุมชนมักเกิดจากขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นและการบำบัดขั้นที่สอง สำหรับการบำบัดขั้นสุดท้ายมักใช้บำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้หรือสารอนินทรีย์เคมี โดยอาศัยกระบวนการทางเคมีในการบำบัดเป็นส่วนใหญ่ ตะกอนน้ำเสียที่ได้นี้จะต้องนำมาบำบัดต่อไป เพราะยังถือว่าเป็นตัวการสำคัญที่ก่อให้เกิดมลภาวะถ้าไม่ได้ผ่านการบำบัดก่อนนำไปทิ้ง เพราะตะกอนเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นตะกอนอินทรีย์ (Organic Sludge) ที่ได้จากถังตกตะกอนขั้นต้นและขั้นที่สอง ซึ่งยังมีสภาพไม่คงตัว (Unstable) การบำบัดตะกอนมีขั้นตอนหลัก 2 ขั้นตอนคือ

- การลดส่วนที่เป็นน้ำ (Dewater Content) ที่มีอยู่ในตะกอนเพื่อให้ตะกอนมีความหนาแน่นตัวขึ้น การลดส่วนที่เป็นน้ำกระทำได้ในขั้นก่อนนำตะกอนเข้าสู่กระบวนการบำบัด เรียกว่า Thickening

- การเปลี่ยนสภาพสารอินทรีย์ของตะกอนให้อยู่ในสภาวะคงตัว โดยไม่มีการย่อยสลายอีกต่อไป ซึ่งการย่อยสลายแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ การย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digestion) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมาก และการย่อยสลายแบบใช้อากาศ (Aerobic Digestion) (ศุภฤกษ์ สินสุพรรณ, 2526)

กากตะกอนอินทรีย์เหล่านี้เป็นของเสียที่ยังมีสิ่งสกปรกเจือปนอยู่และส่วนใหญ่จะสามารถย่อยสลายต่อไปได้อีก ดังนั้นกากตะกอนที่เกิดขึ้นจึงจำเป็นต้องดำเนินการกำจัดด้วยวิธีต่าง ๆ ที่เหมาะสม การบำบัดกากตะกอนจึงเป็นสิ่งสำคัญส่วนหนึ่งของระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อลดปริมาณสารอินทรีย์ลงให้อยู่ในรูปที่คงตัวไม่เน่าเหม็น ในที่สุดของกระบวนการบำบัดน้ำเสียและบำบัดกากตะกอน ก็จะได้กากตะกอนซึ่งมีลักษณะคงตัวและถูกรีดน้ำออกแล้วเพื่อจะได้สะดวกต่อการนำไปทิ้งหรือใช้ประโยชน์ต่อไป การบำบัดกากตะกอนขั้นสุดท้ายโดยวิธีการเผาทิ้ง การถมที่หรือการนำมาใช้ประโยชน์อื่น ๆ เช่น ทางด้านการเกษตรกรรมในรูปปุ๋ย (เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2518)

ปัจจุบันประเทศไทยมีระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนกระจายอยู่ทั่วประเทศ ทั้งที่เดินระบบแล้วและทั้งที่กำลังก่อสร้าง รวมทั้งหมด 76 ระบบ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541) ดังนั้น ในอนาคตอันใกล้นี้จะมีกากตะกอนเกิดขึ้นมาจากระบบบำบัดน้ำเสียเหล่านั้นเป็นจำนวนมาก คาด จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการจัดการกับกากตะกอนดังกล่าวโดยเลือกวิธีที่เกิดประโยชน์มากที่สุด และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ทางเลือกที่ได้รับประโยชน์จากคุณลักษณะของกาก ตะกอนที่สามารถเป็นแหล่งอาหารของพืชและช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดิน โดยการนำกาก ตะกอนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ในรูปของปุ๋ย (อรุวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2532)

2.3 การนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

การจัดการกากตะกอนที่เกิดขึ้นเป็นปริมาณมากเป็นสิ่งที่ควรพิจารณาอย่างเร่งด่วน จากการศึกษาของ อรุวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ (2532) ได้ประเมินปริมาณกากตะกอนในเขตกรุงเทพมหานครที่จะเกิดจากการบำบัดน้ำเสียชุมชนประมาณ 0.2 ล้านตันต่อปี และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีกในอนาคต ตามอัตราการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร

สำหรับประเทศที่พัฒนาแล้ว อย่างเช่นประเทศสหรัฐอเมริกาคาดว่าปริมาณกาก ตะกอนประมาณ 7 ล้านตันของกากตะกอนแห้งต่อปีและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีกในอนาคต (US.EPA, 1983 อ้างถึงใน Chongrak Polprasert, 1989) ในกลุ่มประเทศยุโรปได้มีการประเมิน ปริมาณการเกิดกากตะกอนโดยกลุ่มเศรษฐกิจและการค้ายุโรป (European Economic Communities, EEC) ว่ามีปริมาณมากถึง 6 ล้านตันกากตะกอนแห้งต่อปี หรือประมาณ 230 ล้าน ตูบาศก์เมตรในรูปของกากตะกอนสด (Wet Sludge) ต่อปี (Kofoed, 1984 อ้างถึงใน Chongrak Polprasert, 1989)

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการจัดการกากตะกอนอย่างเหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการ ใช้ประโยชน์จากกากตะกอนทางการเกษตรซึ่งเป็นวิธีการจัดการกากตะกอนวิธีหนึ่งที่น่าจะมีผล กระทบต่อสภาพแวดล้อมน้อยและมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากกว่าวิธีการอื่น ได้แก่ การ เผาทิ้งหรือการนำไปทิ้งทะเล (Webber และคณะ, 1984; Manson, 1988) และในการประชุม นานาชาติของ Water Research Centre (WRC) เมื่อปี 1989 ได้สรุปว่า การนำกากตะกอนไปใช้

ประโยชน์ในการเกษตรเป็นวิธีที่มีความยืดหยุ่นสูงในทางปฏิบัติ อีกทั้ง US.EPA และกลุ่มประเทศยุโรปก็ยอมรับและสนับสนุนการกำจัดกากตะกอนด้วยวิธีการนี้อย่างกว้างขวาง (Manson, 1989)

2.3.1 ลักษณะการใช้กากตะกอนทางการเกษตร

การกำจัดกากตะกอนโดยวิธีการเผาทิ้ง การนำไปฝังดินหรือการขนไปทิ้งในทะเลหรือมหาสมุทรนั้น มีแนวโน้มที่จะเกิดปัญหาสภาวะแวดล้อมได้อีก การกำจัดกากตะกอนของกลุ่มประชาคมยุโรปโดยนำไปใช้ในพื้นที่เพาะปลูกประมาณร้อยละ 29 ทิ้งในพื้นที่ที่มีการควบคุมดูแลร้อยละ 45 การเผาร้อยละ 7 และการนำไปทิ้งทะเลร้อยละ 19 สำหรับการนำไปทิ้งทะเลนั้น อาจเป็นการกำจัดกากตะกอนที่ได้ผลในระยะสั้นแต่อาจจะก่อให้เกิดปัญหาต่อเนื่องในระยะยาวได้

ในปัจจุบันการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ ที่จะเป็นการช่วยแก้ไขปัญหามลพิษแวดล้อมได้อีกยังสามารถมองเห็นกำไรจากการลงทุนจากการพัฒนาวิธีการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์บนที่ดิน (Land Application) โดยมีวัตถุประสงค์หลัก ๆ 4 ประการ ดังนี้

1. ใช้กากตะกอนเป็นแหล่งธาตุอาหารของพืช ปุ๋ย และเป็นตัวปรับปรุงดิน (Agricultural Utilization)
2. ใช้กากตะกอนในการเพิ่มผลผลิตของป่า (Forest Utilization)
3. ใช้กากตะกอนในการปรับสภาพพื้นที่ที่ถูกรบกวน เช่น การทำเหมืองแร่ (Land Reclamation)
4. ใช้กากตะกอนใส่ลงดิน ทั้งในพื้นที่ที่มีการเพาะปลูกและไม่ใช้พื้นที่เพาะปลูก (Land Disposal) เป็นการจัดการกากตะกอนโดยการสร้างผลผลิตแก่พืช รวมทั้งการปรับปรุงลักษณะสมบัติของดินให้ดีขึ้น (Chongrak Polprasert, 1989)

2.3.2. การนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรมีวัตถุประสงค์หลักดังนี้

2.3.2.1 การปรับปรุงลักษณะสมบัติของดิน

ก. บทบาทของกากตะกอนในการปรับปรุงลักษณะสมบัติของดินทางกายภาพ กากตะกอนสามารถปรับปรุงโครงสร้างดินโดยลดความหนาแน่นรวมของดิน เพิ่มความพรุนและเพิ่มความเสถียรของการเกิดเม็ดดินและเพิ่มความชุ่มน้ำของดิน (ปรัชญา รัญญาดี, 2532; Guidi และ Hall, 1984; Hasit, 1986)

ข. บทบาทของกากตะกอนในการปรับปรุงลักษณะสมบัติของดินทางเคมี เมื่อใส่กากตะกอนลงดิน อินทรีย์วัตถุของดินจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2529; Gillies และคณะ, 1989) รวมทั้งการเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน ซึ่งสามารถที่จะดูดซับประจุบวกต่าง ๆ ที่เป็นธาตุอาหารพืชไว้ได้ดี ทำให้การสูญเสียธาตุอาหารพืชของดินจากการชะล้าง (Leaching) ของน้ำลดลง (Hasit, 1986)

ค. บทบาทของกากตะกอนในการปรับปรุงลักษณะสมบัติของดินทางชีวภาพ เมื่อใส่กากตะกอนลงดิน อินทรีย์วัตถุในกากตะกอนจะเป็นอาหารของจุลินทรีย์ดิน ทำให้มีการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ดินและกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน เช่น การแปรสภาพธาตุอาหารพืชในดิน การตรึงไนโตรเจน เป็นต้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535)

2.3.2.2. การเพิ่มผลผลิตพืช

ก. บทบาทของกากตะกอนในการปรับปรุงลักษณะสมบัติของดินทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ จะส่งผลต่อเนื่องถึงการปรับปรุงทั้งโครงสร้างดินและน้ำในดิน ซึ่งมีอิทธิพลกับผลผลิตของพืชได้ (Guidi และ Hall, 1984) นั่นคือ กากตะกอนที่ใช้ในการเกษตรทำหน้าที่ทั้งเป็นสารปรับปรุงบำรุงดินและเป็นปุ๋ยสำหรับพืช (Gillies และคณะ, 1989) ชีตความสามารถของกากตะกอนที่จะใช้เป็นปุ๋ยมีใกล้เคียงกับปุ๋ยเคมี อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพที่เป็นแหล่งธาตุอาหารพืชได้อย่างต่อเนื่องและยาวนานกว่าปุ๋ยเคมี (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2532)

ข. การใส่กากตะกอนลงดินเป็นการเพิ่มไนโตรเจนในดิน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการเจริญเติบโตและการเพิ่มผลผลิตของพืชรวมทั้งอัตราการย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจน (Mineralization) จะขึ้นอยู่กับปริมาณอินทรีย์วัตถุและอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N Ratio) ในกากตะกอน (Hall และ Coker, 1983) กล่าวคือ อินทรีย์วัตถุที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับหรือต่ำกว่า 10:1 จุลินทรีย์ดินจะสามารถเปลี่ยนอินทรีย์สารไปเป็นอนินทรีย์สารได้ดี ค่าขีดจำกัดสูงสุดสำหรับอินทรีย์วัตถุที่จะสามารถเกิดกระบวนการเปลี่ยนอินทรีย์สารไปเป็นอนินทรีย์สารโดยจุลินทรีย์ คือ อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 30:1 ถ้าอัตราส่วนสูงกว่านี้อัตราการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุจะเป็นไปได้ช้าหรือเกิดการตรึงไนโตรเจนจากดินมาใช้ (Immobilization) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530)

Chaussod (1981) ได้ยืนยันว่า เมื่อใส่กากตะกอนที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมากกว่า 10:1 ลงดิน อินทรีย์วัตถุในกากตะกอนจะย่อยสลายเปลี่ยนเป็น

อนินทรีย์สารได้เข้า และจะเกิดการดูดตั้งไนโตรเจนจากดินมาใช้ชั่วคราวเป็นเวลานานถึง 2 เดือน แต่สำหรับกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียชุมชนทั่วไปจะมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 10-12:1 การนำกากตะกอนมาใช้ในพื้นที่การเกษตร จึงไม่ทำให้เกิดการขาดแคลนไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (Follett และคณะ, 1981)

การเติบโตและการดูดตั้งธาตุอาหารขึ้นไปใช้ของพืช จะได้รับอิทธิพลจากอัตราการใส่กากตะกอนลงดิน (Sheaffer และคณะ, 1979a; อรรพรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2529) ดังที่ อรรพรรณ ศิริรัตน์พิริยะ (2529) พบว่า การใส่กากตะกอนลงดินในอัตราต่าง ๆ เพื่อปลูกผักคะน้า และได้ผลผลิตผักคะน้าเพิ่มขึ้นตามอัตราการเติมกากตะกอน จากการศึกษาของ Mays, Terman, และ Duggan (1973) พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตของพืชกับอัตราการใส่กากตะกอนเป็นแบบเส้นโค้ง โดยผลผลิตของพืชจะสูงมากขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการใส่กากตะกอนในระดับหนึ่ง และการเพิ่มผลผลิตจะลดลงเมื่ออัตราการใส่กากตะกอนสูงเกินไป ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีบางอย่างในกากตะกอนซึ่งมีปริมาณสูงจนเป็นพิษต่อพืชได้ และเป็นผลจากปัจจัยอื่น ๆ ด้วย (Dolar, Boyle, และ Keeney, 1972) ต่อมา Cunningham, Keen, และ Ruan (1975) ได้สรุปผลการทดลองว่า ผลผลิตของข้าวโพดและข้าวไรย์จะเพิ่มขึ้นตามอัตราเติมกากตะกอนและให้ผลผลิตสูงสุดเมื่อใช้อัตราเติมกากตะกอน 125 เมตริกตันต่อเฮกตาร์ (20,000 กิโลกรัมต่อไร่) แต่ผลผลิตจะลดลงเมื่ออัตราการเติมกากตะกอนเพิ่มเป็น 502 เมตริกตันต่อเฮกตาร์ (80,320 กิโลกรัมต่อไร่)

การพิจารณาความเป็นประโยชน์ของกากตะกอนต่อดินและพืชต่าง ๆ มักพิจารณาจากปริมาณธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม โดยเฉพาะอย่างยิ่งไนโตรเจนในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ทันที การปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปนี้จะมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับเวลาใส่ในอัตราต่ำ แต่ถ้าใส่ในอัตราสูง (เกินกว่าร้อยละ 2) พบว่าช่วงแรกจะมีการปลดปล่อยไนโตรเจนน้อยเพราะเกิดการหยุดชะงักของกิจกรรมจุลินทรีย์เนื่องจากความเป็นพิษของสารบางอย่างที่เกิดขึ้น แต่เมื่อพ้นช่วงนี้ไปการสลายตัวจะเร็วขึ้นและอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนจะสูงกว่าการใส่ในอัตราต่ำ (Premi และ Comfield, 1971)

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช (Essential Elements) มีอยู่ในระดับที่สามารถก่อให้เกิดประโยชน์แก่พืชได้ แต่ในขณะเดียวกันปริมาณธาตุที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะธาตุในกลุ่มโลหะหนัก (Heavy Metals) ที่มีแนวโน้มจะก่อปัญหาด้านสุขภาพได้ หากมิได้คำนึงถึงปริมาณอัตราการใช้ประโยชน์และเวลาที่เหมาะสม เพราะโลหะหนักไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางชีววิทยาและเคมีตามธรรมชาติ สารประกอบที่มีโลหะหนักสามารถเปลี่ยนรูปได้ ในขณะที่โลหะหนักนั้นยังคงอยู่

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอน (Sludge) จากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน
ห้วยขวาง (อรรถกร ศิริรัตน์พิริยะ, 2529)

องค์ประกอบทางเคมี	ค่าขององค์ประกอบทางเคมี
PH	7.00
Organic Carbon (%)	30.40
Organic Matter (%)	52.29
Total Nitrogen (%)	2.87
NH ₄ -N (ppm)	800.00
NO ₃ -N (ppm)	636.00
Available P (ppm)	167.75
Exchangable K (ppm)	690.00
Sodium (ppm)	300.00
Cadmium (ppm)	0.24* (4.2)
Copper (ppm)	55.00*(179.5)
Iron (ppm)	357.00*(16,176.7)
Manganese (ppm)	126.00* (523.1)
Nickel (ppm)	4.40*(43.3)
Lead (ppm)	3.54*(162.4)
Zinc (ppm)	500.00* (1,510.7)

* โลหะหนักที่สกัดด้วย 0.005 M DTPA
ตัวเลขในวงเล็บ คือ ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในกากตะกอน
(ppm) หมายถึง ความเข้มข้น มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ความคงตัวของโลหะหนักทำให้สามารถเกิดการเคลื่อนย้ายไปได้ในระยะทางไกล ๆ ทั้งทางอากาศ และน้ำ รวมทั้งเกิดการสะสมในดิน

การใช้กากตะกอนเพื่อเป็นปุ๋ยมีทั้งผลดีและผลเสียต่อพืช ขึ้นอยู่กับสมบัติของกากตะกอนและอัตราที่ใช้ การใช้ในอัตราที่สูงเกินไปจะเกิดผลเสียต่อพืชได้ เช่น อาจทำให้เกิดความไม่สมดุลย์ของธาตุอาหารพืช เกิดความเป็นพิษต่อพืช หรือเกิดการสะสมของเกลือและสารพิษจากกากตะกอนซึ่งจะถ่ายทอดไปสู่ห่วงโซ่อาหารได้ (Chaney, 1983)

ธาตุอาหารสำคัญและจุลธาตุอาหารในดิน จะเพิ่มขึ้นจากการสลายตัวของกากตะกอนโดยเพิ่มมากขึ้นตามอัตราการใช้กากตะกอน (Ajmal และ Khan, 1984) และการปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชยังขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น สมบัติของดิน ความชื้นของอุณหภูมि วิธีการใส่กากตะกอน และองค์ประกอบของกากตะกอน (Miller, 1974; Guidi และ Hall, 1984) โดยที่อัตราการใช้กากตะกอนจะมีผลต่อการเพิ่มธาตุอาหารในดินมากกว่าชนิดของกากตะกอนที่ใส่ลงในดิน Kelling และคณะ, (1977) ได้ทดลองใส่กากตะกอนลงดินด้วยอัตรา 3.75-60 เมตริกตันต่อเฮกแตร์ (600-9,600 กิโลกรัม/ไร่) พบว่ามีอินทรีย์ไนโตรเจน อินทรีย์ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินภายใน 3 สัปดาห์

กากตะกอนที่มี pH เป็นกลางเมื่อใส่ลงในดิน จะไม่ทำให้ pH ของดินเปลี่ยนแปลงไปมากนัก แต่ pH ของดินอาจมีความเป็นกรดมากกว่าดินที่ไม่มีการเติมกากตะกอน ซึ่งเป็นผลมาจากการแทนที่ไฮโดรเจนอออนที่ยึดเกาะในดินของเกลืออนินทรีย์ (Kuntz และคณะ, 1984) การย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุจนได้กรดอินทรีย์ การเกิดไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ของแอมโมเนียไนโตรเจนและอินทรีย์ไนโตรเจน และออกซิเดชัน (Oxidation) ของอัลไมด์ (Ajmal และ Khan, 1984) การเพิ่มปริมาณกากตะกอนลงดินอาจทำให้ pH ของดินเป็นกรดมากขึ้นได้ แต่ความเป็นกรดจะมีปริมาณมาก ๆ ในช่วงแรกของการใส่กากตะกอนเท่านั้น

2.3.3. ข้อจำกัดของการใช้ประโยชน์กากตะกอน

การนำเอากากตะกอนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงที่เกิเกิดขึ้นชั่วคราวและความเสี่ยงที่เกิเกิดขึ้นระยะยาว (Webber และคณะ, 1984) โดยความเสี่ยงที่เกิเกิดขึ้นชั่วคราวจะใช้ระยะเวลาไม่นานนัก เช่น กลิ่นรบกวนของกากตะกอนที่จะทำให้เกิดเหตุรำคาญ การปนเปื้อนของจุลินทรีย์และหนอนพยาธิที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายของโรคต่าง ๆ การปนเปื้อนของน้ำใต้ดินจากไนเตรทไนโตรเจน ความเป็นพิษต่อพืชจากการละลายเกลือเนื่องจากความไม่คงตัวของกากตะกอน เป็นต้น Wollan, Davis, และ Jenner (1978) ได้ทำการศึกษา

ความเป็นพิษของ กากตะกอนที่มีต่อพืชพบว่า แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในช่วงที่มีการย่อยสลายกากตะกอน สามารถยับยั้งการงอกของเมล็ดพืชและเป็นปัจจัยจำกัดในการเจริญเติบโตของพืชได้ และความเสี่ยงที่เกิดขึ้นถาวรจะเกิดขึ้นเป็นระยะเวลายาวนานนับ 10 ปี เช่น อัตราการสะสมโลหะหนักในดิน, พืชและในห่วงโซ่อาหาร รวมทั้งการสะสมของสารอินทรีย์ต่าง ๆ เป็นต้น

Stoker และ Seagers (1976) ได้ทำการศึกษาจากกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสีย พบว่า ในกากตะกอนจะมีโอกาสพบโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ โดยโลหะหนักเป็นธาตุที่มีความหนาแน่นสูง(มากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยวิธีการทางชีววิทยาและเคมี สารประกอบที่มีโลหะหนักเป็นส่วนประกอบสามารถเปลี่ยนรูปได้ ในขณะที่โลหะหนักยังคงรูปอยู่ ความคงตัวของโลหะทำให้สามารถเคลื่อนย้าย และปนเปื้อนไปทั้งทางอากาศ น้ำ ดิน และสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ การนำกากตะกอนที่มีโลหะหนักปนเปื้อนมาใช้อย่างไม่เหมาะสม จะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อดินและพืชได้

การใส่กากตะกอนลงสู่ดินก็เสมือนกับว่าเป็นการเพิ่มโลหะหนักให้แก่ดิน และถูกดูดดึงขึ้นไปสะสมในพืช (Kelling และคณะ, 1977; Sheaffer และคณะ, 1979; Lutrick, Roberton, และ Cornell, 1982; อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2532) โลหะหนักที่สะสมในดินปริมาณมากก็อาจจะเป็นอันตรายต่อพืช (Phytotoxic) โลหะหนักบางชนิดแม้จะมีปริมาณความเข้มข้นต่ำก็ก่อให้เกิดอันตรายได้โดยเฉพาะในดินที่มีสภาพเป็นกรด เพราะโลหะหนักจะละลายออกมาอยู่ในสารละลายดินได้ดีและง่ายต่อการดูดซึมเข้าไปสะสมในพืช เช่น สังกะสี ทองแดง นิเกิลและแคดเมียม (Orawan Siriratpiriya และคณะ, 1985) การย่อยสลายก็จะผลต่อความเข้มข้นของโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว และสังกะสีจะสูงขึ้นตามช่วงเวลาที่มีการสะสม ทั้งในพืชและในดิน

อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ (2529) ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบผลการสะสมโลหะหนักของผักคะน้าที่ปลูกในดินที่ใส่กากตะกอนอัตรา 20 40 60 และ 80 เมตริกตันต่อเฮกแตร์ (3,200 6,400 9,600 และ 12,800 กิโลกรัม/ไร่) ตามลำดับ กับดินที่ใส่โลหะหนักในรูปสารละลายเกลือโลหะคลอไรด์ที่มีปริมาณโลหะหนักเทียบเท่ากับปริมาณที่มีอยู่ในกากตะกอนทั้ง 4 อัตรา พบว่า ในโลหะหนักทั้ง 7 ธาตุ (ตะกั่ว แคดเมียม นิเกิล ทองแดง แมงกานีส สังกะสี และเหล็ก) มีแมงกานีสและสังกะสีเท่านั้นที่มีการสะสมในผักคะน้าที่ปลูกในดินที่ใส่สารละลายเกลือโลหะคลอไรด์สูงกว่าการสะสมในผักคะน้าที่ปลูกในดินที่เติมกากตะกอน

โลหะหนักจะถูกดูดดึงโดยพืชจำพวกใบมากกว่าเมล็ด (Vigerust และคณะ, 1987) เมื่อปลูกผักหลาย ๆ ชนิดบนดินที่เติมกากตะกอน พบว่าคุณภาพดินที่เติมกาก

ตะกอนจะมีปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้น 10 เท่า ทองแดงเพิ่มขึ้น 7 เท่า และแคดเมียมเพิ่มขึ้น 4 เท่า (Dowdy และ Larson, 1975) ส่วนผักทั่ว ๆ ไปที่ปลูกในดินที่เติมกากตะกอน ไม่มีการสะสม แคดเมียมและทองแดงเพิ่มขึ้น ยกเว้นผักกาดหอมมีปริมาณแคดเมียมสะสมมากขึ้น และมะเขือเทศมีปริมาณทองแดงสะสมเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปแล้วการดูดดึงสังกะสีและนิกเกิลของพืชจะเพิ่มตาม การเพิ่มของกากตะกอนที่ใส่ลงดิน (Schaues และ Pelchart, 1980)

2.4 บทบาทของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม

2.4.1 โลหะหนักในดิน

การเติมกากตะกอนลงในดินทำให้มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของสังกะสี แคดเมียม ทองแดง และนิกเกิลตามอัตราการเติมกากตะกอน (Sheaffer และคณะ, 1979) และ Davis (1984) พบว่าปริมาณของแคดเมียมและนิกเกิลที่มีอยู่ในพืชและในดินมีความสัมพันธ์กัน สำหรับสังกะสีแม้ว่าจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอัตราการเติมแต่จะไม่ใช่สัดส่วนโดยตรงกับปริมาณที่พบในพืช (Mortvedt และ Giordano, 1975) ปริมาณโลหะหนักที่อยู่ในกากตะกอนจะมีปริมาณหนึ่งที่พืชดูดซับไปใช้ และมีอีกปริมาณหนึ่งที่เหลือตกค้างอยู่ในดินซึ่งจะมีการสะสมมากขึ้น เมื่อมีการเติมกากตะกอนลงไปบนดินซ้ำ การเติมกากตะกอนในช่วงแรกจะมี ปริมาณโลหะหนักสะสมอยู่ในดินมาก พืชสามารถดูดซับโลหะหนักไปได้มากเช่นกัน เมื่อความเข้มข้นของโลหะหนักมีปริมาณมากขึ้น (Christensen และ Tjell, 1983) ซึ่งจะเกินขีดจำกัดของปริมาณโลหะหนักแต่ละตัวที่จะเป็นอันตรายต่อพืช และมนุษย์ได้ ดังนั้นปริมาณโลหะหนักที่ยอมรับได้ในดินเพื่อการเกษตรในแต่ละประเทศจึงได้ถูกกำหนดขึ้น (Webber และคณะ, 1984) เพื่อป้องกันอันตรายต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นได้ถ้าไม่มีการควบคุม (ตารางที่ 2.2-2.3)

Abdel-Ghafter และคณะ (n.d.) ได้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างแคดเมียมและสังกะสีที่มีอยู่ในกากตะกอนเนื่องจากปริมาณสังกะสีมีปริมาณมากกว่าต่อการตรวจวัดมากกว่าแคดเมียม ดังนั้นจึงหาความสัมพันธ์ของโลหะหนักทั้งสอง พบว่าอัตราส่วนระหว่างแคดเมียมต่อสังกะสี (Cd/Zn ratio) มีค่าเท่ากับ 0.5 เป็นค่าที่ไม่สามารถยอมรับให้มีได้ในกากตะกอนที่จะนำมาใช้ในพื้นเพื่อการเกษตร

ตารางที่ 2.2 ปริมาณโลหะหนัก (ppm) ที่ยอมรับให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตร (Webber และคณะ, 1984)

ประเทศที่กำหนด	ปริมาณโลหะหนัก						
	เหล็ก	แมงกานีส	สังกะสี	ทองแดง	นิกเกิล	ตะกั่ว	แคดเมียม
อังกฤษ	-	-	280	140	35	550	3.5
เยอรมัน	-	-	300	100	50	100	3.0
ฝรั่งเศส	-	-	300	100	50	100	2.0
ช่วงของทั้ง 3 ประเทศ	-	-	280-300	100-140	35-50	100-550	2.0-3.5

- หมายถึงไม่มีการเสนอตัวเลข

(ppm) หมายถึง ความเข้มข้น มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.3 ปริมาณโลหะหนัก (ppm) สูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ในกากตะกอนที่จะใช้เพื่อการเกษตร
(Webber และคณะ, 1984)

ประเทศ	ปริมาณโลหะหนัก						
	เหล็ก	แมงกานีส	สังกะสี	ทองแดง	นิกเกิล	ตะกั่ว	แคดเมียม
แคนาดา	-	-	1850	-	180	500	20
เดนมาร์ก	-	-	-	-	30	400	8
ฟิลแลนด์	-	3000	5000	3000	500	1200	30
ฝรั่งเศส	-	-	3000	1000	200	800	20
เยอรมัน	-	-	3000	1200	200	1200	20
เนเธอร์แลนด์	-	-	2000	600	100	500	10
นอร์เวย์	-	500	3000	1500	100	300	10
สวีเดน	-	-	10000	3000	500	300	15
สวิสเซอร์แลนด์	-	-	1000	1000	200	1000	30
กลุ่มประชาคมยุโรป (CEC)	-	-	3000	1500	400	1000	40
ช่วงของทั้ง 3 ประเทศ	-	500-3000	1000-10000	500-3000	30-500	300-1200	8-40

- หมายถึงไม่มีการเสนอตัว

(ppm) หมายถึง ความเข้มข้น มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

2.4.2 โลหะหนักในพืช

โลหะหนักชนิดต่าง ๆ หากมีปริมาณที่เหมาะสมก็จะเป็นประโยชน์ต่อพืชหรือไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช (ตารางที่ 2.4) ปริมาณโลหะหนักที่สูงเกินไปจะส่งผลกระทบต่อพืชได้ จากการศึกษาของวิลโลภรณ์ บุญญกิจจินดา (2523) พบว่า ผักคะน้า ผักกาดหอม ผักกวางตุ้ง และผักบุ้งจีน เจริญเติบโตปกติในสารละลายอาหารที่มีโลหะหนักความเข้มข้นต่ำ แต่เมื่อความเข้มข้นของแคดเมียมและนิกเกิลในสารละลายอาหารสูงกว่า 5 และ 2 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ พืชผักทั้งสองชนิดจะมีลักษณะผิดปกติ ได้แก่ แคดเมียมจะทำให้เนื้อเยื่อจากใบอ่อนซีดเหลือง (Chlorosis) และรุนแรงจนใบซีดจาง ทำให้เกิดเนื้อเยื่อตาย (Necrosis) ของใบผักบุ้งจีน นิกเกิลจะทำให้เนื้อเยื่อจากใบอ่อนซีดเหลืองในระหว่างเส้นใบอย่างไม่สม่ำเสมอและรุนแรงจนเนื้อเยื่อใบของพืชผักทุกชนิดแห้งตายจนเหลือแต่ก้านใบที่ยังเขียวอยู่ และทั้งแคดเมียมและนิกเกิลทำให้รากผักทุกชนิดเน่าเปื่อย สั้นกุดและมีปริมาณน้อย ในทางตรงกันข้าม หากพืชได้รับโลหะหนักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตน้อยจนเกินไปก็จะเกิดผลกระทบได้ ดังเช่น Baumeister (1985) พบว่าพืชที่ได้รับเหล็กปริมาณน้อยจะมีผลทำให้ปริมาณโปรตีนลดต่ำลง คลอโรฟิลล์ไม่เสถียรและแสดงอาการซีดจางที่เนื้อเยื่อใบ เป็นต้น

ปริมาณโลหะหนักในพืชในระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษและไม่เป็นพิษต่อพืชตามแต่ละชนิดของโลหะหนักในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ppm) พบว่าระดับแคดเมียมที่มีปริมาณเพียงเล็กน้อยก็สามารถก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช ส่วนสังกะสีและแมงกานีส จะต้องมีความเข้มข้นมากพอจึงจะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชได้ (Chaney, 1983) ดังนั้นการศึกษาถึงระดับความเป็นพิษต่อพืชจึงใช้ปริมาณแคดเมียมเป็นตัวบอก หากมีปริมาณแคดเมียมสูงแสดงว่ากากตะกอนที่ใส่ลงดินหรือดินที่จะปลูกพืชมีอัตราความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดความเป็นพิษทั้งในพืชและต่อการบริโภค ทั้งนี้ความรุนแรงของโลหะหนักแต่ละธาตุ และตำแหน่งที่จะก่อให้เกิดพิษต่อพืชจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความสามารถจำเพาะในการสร้างสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโลหะหนักกับสารอินทรีย์ ชนิดของธาตุที่ให้อิเล็กตรอน (Electron Donor) ชนิดและการตอบสนองของพืช รวมทั้งสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ทั้งภายในและภายนอกพืช (Meller และ Malley, 1948)

2.4.3 ผลของกากตะกอนต่อการสะสมของโลหะหนักในดินและพืช

การนำกากตะกอนไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินที่ใช้ในการเพาะปลูกและใช้เป็นปุ๋ยแก่พืชนั้น เนื่องจากองค์ประกอบในกากตะกอนส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ที่พืชสามารถใช้เป็นสารอาหารได้เป็นอย่างดีแต่ในขณะเดียวกันก็มีองค์ประกอบที่เป็นสารพิษ เช่น

ตารางที่ 2.4 ปริมาณโลหะหนัก (ppm) ในพืช ณ ระดับปกติและระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช (Chaney , 1982)

ปริมาณโลหะหนัก		
ชนิดของโลหะหนัก	ระดับปกติ	ระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช
เหล็ก	30-300	-
แมงกานีส	15-150	400-2000
สังกะสี	15-150	500-1500
ทองแดง	3-20	15-40
นิกเกิล	0.1-5	50-100
แคดเมียม	0.1-1	5-700
ตะกั่ว	2-5	-

- หมายถึงไม่มีการเสนอตัวเลข

(ppm) หมายถึง ความเข้มข้น มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบคทีเรีย โលະหนັก ฯลฯ โលະหนັกที่มีอยู่ในดินตามธรรมชาติ ส่วนหนึ่งอาจถูกใช้ประโยชน์โดยพืชและมีส่วนหนึ่งที่ดินดูดซับไว้ การเติมกากตะกอนลงในดินเป็นการเพิ่มภาระการดูดซับ โលະหนັก โលະหนັกบางชนิดเช่น แมงกานีส เหล็ก ทองแดง และสังกะสี จัดเป็นจุลธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช ดังนั้นการเติมกากตะกอนลงสู่ดิน ย่อมส่งผลให้เกิดการสะสมของโលະหนັกในดินและในพืชที่ปลูกบนดินที่เติมกากตะกอนนั่นเอง การสะสมของโលະหนັกในดินและในพืชจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

ก. ลักษณะสมบัติของดิน

- ลักษณะสมบัติทางกายภาพของดิน เช่น ลักษณะเนื้อดิน (Soil Texture) สภาพการระบายน้ำ (Drainage Status) และความสามารถในการดูดซับของดิน (Sorptive Capacity) มีบทบาทต่อปริมาณโលະหนັกในสารละลายดินและปริมาณโលະหนັกที่ถูกพืชดูดตั้งไปใช้ โดยพบว่าพืชที่ปลูกในดินซึ่งมีลักษณะอัดตัวแน่นหรืออยู่ในที่จำกัด เช่น ภาชนะที่ปลูกมักพบว่าพืชจะขาดสังกะสี เนื่องจากการอัดตัวแน่นของดินเป็นปัจจัยต่อการแพร่ของสังกะสีไปยังรากพืช จึงทำให้การนำสังกะสีไปใช้ประโยชน์ของพืชลดลง (Lindsay, 1972) หรือชนิดดินที่แตกต่างกันก็มีผลต่อการเคลื่อนที่และการดูดตั้งโលະหนັกของพืช จากผลการศึกษาของ Cottenies และคณะ (1984) ได้รายงานว่าการเคลื่อนที่และการดูดตั้งสังกะสี นิกเกิล และแคดเมียมของต้นข้าวที่ปลูกบนดินทราย (Sandy Soil) สูงกว่าที่ปลูกบนดินเหนียว (Heavy Clay Soil) ไม่ว่าโលະหนັกจะอยู่ในรูปของเกลือซัลเฟตหรือรูปของกากตะกอนก็ตาม และ Allaway และ Morgan (1986) ได้ทดลองปลูกพืชในเรือนทดลองโดยเติมกากตะกอนน้ำเสียลงในดินประเภทต่าง ๆ คือ ดินตําร่วน (Calcareous Loam) ดินเหนียว (Clay) และดินร่วนปนทราย (Sandy Loam) พบว่าปริมาณนิกเกิลสะสมสูงสุดในผักกระหล่ำปลีที่ปลูกบนดินเหนียว และผักกาดหอมที่ปลูกบนดินร่วนปนทราย ซึ่งแสดงว่าลักษณะสมบัติทางกายภาพของดินที่ต่างกันก็มีอิทธิพลต่อการดูดตั้งโលະหนັกของพืชที่ต่างชนิดกันด้วย นอกจากนี้ยังพบว่ากากตะกอนที่เติมลงสู่ดินสามารถทำให้ลักษณะสมบัติทางกายภาพของดินเปลี่ยนแปลงได้ด้วย คือ ทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลง (Gupta และคณะ, 1977; Klavivko และ Nelson, 1979; Hall และ Coker, 1983) และความพรุนของดินเพิ่มขึ้น (Pagliai และคณะ, 1981)

- ลักษณะสมบัติสมบัติทางเคมีของดิน เช่นความเป็นกรดเป็นด่างของดิน เป็นส่วนที่สำคัญที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อปริมาณโលະหนັกที่ละลายออกมาในสารละลายดิน และปริมาณโលະหนັกที่ถูกพืชดูดตั้ง ซึ่งอาจทำให้เกิดความเป็นพิษหรือการขาดธาตุอาหารเหล่านี้ได้ การเติมกากตะกอนลงในดินอาจทำให้ดินมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น (Roberson และ

คณะ, 1982) Gangaiya และ Bache (1988) สรุปว่าการละลายในสารละลายดินของแคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ซึ่งมีอยู่ในกากตะกอนจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเป็นกรดเป็นด่างลดลง ดังนั้น เมื่อดินมี pH ต่ำ จุลธาตุอาหารเหล่านี้จะละลายออกมาได้มาก แต่ละลายได้น้อยลงเมื่อ pH ของดินสูงขึ้น (ไพบูลย์ ประพทธิธรรม, 2528) จากการศึกษาของ Davis (1984) พบว่า ระดับ pH เท่ากับ 6.5 เป็นระดับที่พืชสวนมากเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งนับว่าเป็นข้อเสนอที่ได้รับความนิยมรับกันว่าเหมาะสมและจำเป็นสำหรับพื้นที่ที่ต้องการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์เพื่อการเกษตร

บ. ชนิดของพืช

- การสะสมสารพิษในพืชจากการเติมกากตะกอนลงในดิน ไม่เพิ่มเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเพิ่มอัตราการเติมกากตะกอน แต่พืชต่างชนิดจะมีพฤติกรรมการสะสมที่ต่างกัน (Joseph, 1984) Dowdy และ Larson (1975) รายงานว่า ผักกาดหอม หัวผักกาด หัวแครอทและมันฝรั่ง ที่ปลูกบนดินเติมกากตะกอนจะสะสมสังกะสี ทองแดง แคดเมียม และตะกั่ว ในเนื้อเยื่อลำต้นมากกว่าในรากและหัว และมีปริมาณโลหะหนักประมาณ 2-3 เท่าในเนื้อเยื่อของพืชที่ปลูกบนดินที่ไม่มีการเติมกากตะกอน ยกเว้นผักกาดหอมมีการสะสมโลหะหนักคือ สังกะสี ทองแดง และแคดเมียม เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด หญ้าพวกโรโดเดนดรอน (Rododendron) และ อโซเลียร์ (Azolea) เป็นกลุ่มของพืชที่ต้องการเหล็กสูงมาก จึงขึ้นอยู่บนดินที่มีสภาพเป็นกรดและทนทานต่อพิษของโลหะหนักได้สูงกว่าพืชชนิดอื่น ๆ นอกจากนี้หญ้าอาหารสัตว์ ถั่วหลายชนิด ธัญพืชต่าง ๆ พืชไร่และผักต่าง ๆ ชอบดินที่มีฤทธิ์เป็นกรดเล็กน้อย (Brady, 1974)

ค. ชนิดของโลหะหนัก

- โลหะหนักแต่ละชนิดมีลักษณะสมบัติในการถูกปลดปล่อยจากกากตะกอนสู่สารละลายดิน และถูกดูดซับเข้าสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืชแตกต่างกัน เช่น พบว่าการใส่กากตะกอนลงดินทำให้มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของสังกะสี ทองแดง แคดเมียม และนิกเกิลในดินตามอัตราการใส่กากตะกอน (Sheaffer และคณะ, 1979) และธาตุทั้ง 4 นี้ สามารถถูกพืชดูดซับไปใช้ได้ดีกว่าตะกั่ว ปรอท และโครเมียม จึงมีโอกาที่จะเกิดอันตรายจากการเติมกากตะกอนซึ่งมีธาตุเหล่านี้ได้มากกว่า และพบว่า แคดเมียมและนิกเกิลมีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่มีอยู่ในพืชและในดิน (Davis, 1984) สำหรับสังกะสีแม้ว่าความเข้มข้นในดินจะเพิ่มขึ้นตามอัตราเติม แต่ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นที่พบในพืช (Mortvedt และ Giordano, 1975) นอกจากนี้ Cottenies และคณะ (1984) ได้ทำการเปรียบเทียบถึงลำดับความสามารถในการดูดซับของนิกเกิล แคดเมียม สังกะสี และทองแดง ของต้นข้าว สรุปได้ว่า นิกเกิลสามารถถูกดูดซับได้สูงที่สุด รองลงมาคือ แคดเมียม และสังกะสี ซึ่งถูกดูดซับได้ใกล้เคียงกันไม่ว่าจะปลูกข้าวบน

ดินประเภทใด (ดินทรายหรือดินเหนียว) หรือใช้โลหะหนักในรูปใด (รูปเกลือซัลเฟตหรือกากตะกอน) การศึกษาถึงการดูดดึงของโลหะหนักนับว่าเป็นสิ่งที่จำเป็นในการประเมินถึงอันตรายจากโลหะหนักในดิน เนื่องจากมีผลโดยตรงกับการเป็นพิษต่อพืช และการเข้าไปมีบทบาทในห่วงโซ่อาหาร (Davis, 1984)

ง. คุณสมบัติทางเคมีของโลหะหนัก

- คุณสมบัติทางเคมีของโลหะหนักมีผลต่อการดูดดึงของพืชมากเช่นกัน โดยทั่วไปพบว่าโลหะหนักที่อยู่ในรูปของเกลืออนินทรีย์ที่ละลายน้ำ จะถูกพืชดูดดึงเข้าไปได้มากกว่าโลหะหนักจากกากตะกอน Cottenies และคณะ (1984) พบว่าการเคลื่อนที่ (Mobility) และการดูดดึง (Uptake) ของสังกะสี นิกเกิล และแคดเมียมของต้นข้าวที่ปลูกบนดินที่เติมโลหะหนักในรูปเกลือซัลเฟตสูงกว่าจากดินที่เติมโลหะหนักในรูปกากตะกอน ไม่ว่าจะปลูกบนดินทรายหรือดินเหนียวก็ตาม เหตุที่พืชสามารถดูดดึงโลหะหนักในรูปเกลืออนินทรีย์ได้ดีนั้นอาจเนื่องมาจากคุณสมบัติของการละลายน้ำได้ดีซึ่งพืชสามารถดูดดึงได้สูง นอกจากนี้เกลืออนินทรีย์อาจทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินลดลง โดยไอออนบวกของเกลืออนินทรีย์จะแทนที่ไฮโดรเจนที่ผิวอนุภาคดิน ทำให้โลหะหนักหลายชนิดในดินมีโอกาสถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างมากขึ้น ส่วนไอออนลบของเกลืออนินทรีย์มีแนวโน้มจะเพิ่มความสามารถในการละลายของโลหะหนัก โดยการเพิ่มความเข้มข้นของประจุลบในสารละลายของดิน (Kuntze และคณะ, 1984) การที่โลหะหนักบางชนิดในกากตะกอน เช่น แมงกานีส และสังกะสี สามารถเกิดการรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex Compound) กับอินทรีย์วัตถุในกากตะกอนได้ มีผลทำให้การดูดดึงขึ้นไปสะสมในส่วนลำต้นลดลง (Hodgeson และคณะ, 1965) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ อรรวรรณศิริรัตน์พิริยะ (2529) ที่พบว่าปริมาณการสะสมของแมงกานีสและสังกะสีในผักคะน้า (ส่วนที่บริโภคได้) จากการเติมโลหะหนักในรูปสารละลายเกลือโลหะหนักคลอไรด์ มีมากกว่าการเติมกากตะกอนอย่างมีนัยสำคัญ

จ. อัตราการเติมกากตะกอนที่เหมาะสม

- อัตราการเติมกากตะกอนเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่ง ที่จะต้องคำนึงถึงในแง่ความเป็นพิษของโลหะหนักต่อพืช และความเหมาะสมคุณค่าทางเศรษฐกิจ พบว่าการสะสมโลหะหนักของพืชที่ปลูกบนดินเติมกากตะกอนมักจะเพิ่มปริมาณมากขึ้นและมีความผันแปรตามปริมาณกากตะกอนที่เติมลงไป (Dowdy และ Larson, 1975; Kelling และคณะ, 1977) Reddy และ Dunn (1984) ได้ทดลองปลูกถั่วเหลืองบนดินที่เติมกากตะกอนน้ำเสีย พบว่าระดับนิกเกิลในเนื้อเยื่อพืชจะเพิ่มขึ้นตามอัตราเติมกากตะกอน ความเข้มข้นในใบจะสูงกว่าในลำต้น

คือพบนิเกิลสะสมในใบ 2.1-8.5 ppm และในลำต้นพบ 1.2-6.2 ppm ของน้ำหนักรากแห้งพืช จากการเติมกากตะกอนลงดินด้วยอัตรา 0.8-4 กิโลกรัมของนิเกิลต่อเฮกแตร์ นอกจากนี้ Kefer และ คณะ (1986) รายงานถึงการสะสมนิเกิลทั้งในส่วนที่บริโภคได้และบริโภคไม่ได้ของผักที่ปลูกบนดินที่เติมกากตะกอนน้ำเสียชนิดต่าง ๆ ในช่วงอัตรา 2.0-2.5 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ ดังนั้น ในหัว กระหล่ำปลีพบปริมาณนิเกิล 2.0-22.1 ppm ในรากและยอดผักกาดพบ 1.3-12.3 ppm และ 3.1-18.3 ppm ตามลำดับ ส่วนถั่วเขียวพบในใบและฝัก 4.7-14.0 ppm และ 5.0-11.0 ppm ของ น้ำหนักแห้งตามลำดับ

แม้ว่าจะมีแนวโน้มการสะสมโลหะหนักในพืชสูงขึ้นตามอัตราเติมกากตะกอนก็ตาม แต่พบว่าผลผลิตที่ได้ไม่จำเป็นต้องเพิ่มขึ้นตามอัตราเติมกากตะกอนลงดิน อรวรรณ ศิริรัตนพิริยะ (2529) รายงานไว้ว่า อัตราการเติมที่เพิ่มขึ้นไม่ก่อให้เกิดการเพิ่มผลผลิตผักคะน้าในระดับที่คุ้มค่า ทางเศรษฐกิจ เพราะอัตราการเติมกากตะกอนที่เพิ่มขึ้นหมายถึงการใช้จ่ายเพื่อการขนย้ายกาก ตะกอน การหุบกากตะกอน รวมทั้งค่าจ้างแรงงานจะต้องเพิ่มขึ้นตามไปด้วยแต่ผลผลิตที่ได้กลับไม่ เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนตามอัตราการเติมกากตะกอน และยังได้เสนอว่า อัตราการเติมกากตะกอน 20 เมตริกตันต่อเฮกแตร์ (3,200 กิโลกรัมต่อไร่) เป็นอัตราที่เหมาะสมทั้งการทดลองในกระถางและใน ภาคนาม สำหรับอัตราการเติม 20 เมตริกตันต่อเฮกแตร์นี้นับว่าเป็นอัตราต่ำสุด เมื่อเทียบกับค่า ขีดจำกัดของต่างประเทศที่กำหนดค่าอัตราเติมกากตะกอนสูงสุด (Maximum Sludge Solids Loading) ลงในดิน ซึ่งอยู่ในช่วง 20-200 เมตริกตันต่อเฮกแตร์ในรูปของกากตะกอนแห้ง (Webber และคณะ, 1984)

ดินส่วนมากจะมีปริมาณสังกะสีทั้งหมดมากเกินไปเกินความต้องการของ พืช โดยเฉพาะในดินที่มีความเป็นกรดพืชจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มาก ความเข้มข้นของ สังกะสีในสารละลายดินโดยทั่วไปพบว่า มีระดับต่ำ และอาจพบการขาดสังกะสีขึ้นได้ การเคลื่อนที่ ของสังกะสีในดินมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการนำสังกะสีไปใช้ประโยชน์ (Mengel และ Kirkby, 1982) Elgawhary และคณะ, (1970) รายงานว่า 95% ของปริมาณสังกะสีทั้งหมดเคลื่อน ที่ได้โดยการแพร่ และการแพร่ของสังกะสีไปยังรากจะถูกจำกัดโดยสภาวะของดินที่อัดตัวกันแน่น (Lindsay, 1972) ส่งผลทำให้การนำสังกะสีไปใช้ประโยชน์ของพืชลดลง

แคดเมียมจัดว่าเป็นโลหะหนักที่มีความเป็นพิษ ส่วนสังกะสีจัดว่าเป็นจุล ธาตุที่จำเป็นสำหรับพืช โลหะหนักทั้งสองชนิดมีลักษณะสมบัติทางเคมีคล้ายคลึงกันมากจึงนับว่า แคดเมียมมีพฤติกรรมคล้ายกับธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช ทั้งการดูดตั้งและปฏิกิริยาต่าง ๆ ใน พืช (Mengel และ Kirkby, 1982) แคดเมียมแตกต่างจากสังกะสี คือ แคดเมียมสามารถเคลื่อนที่

จากดินผ่านรากไปยังส่วนบนของพืชได้ การดูดดึงไปใช้ประโยชน์มีขึ้นกับระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินและประจุบวกอื่น ๆ ที่สามารถแข่งขันกันจับกับตำแหน่งแลกเปลี่ยนประจุของราก แคตไอออนและสังกะสีช่วยลดการดูดดึงของแคดเมียมได้ ในพืชส่วนมากการลำเลียงของแคดเมียมเข้าไปในลำต้น จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นภายนอกราก (Pettersen, 1976) อย่างไรก็ตามการเคลื่อนย้ายของแคดเมียมจากใบไปยังเมล็ดเป็นไปได้ช้าและปริมาณแคดเมียมในปริมาณสูง ๆ ก็มีค่าไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Sommer, 1977)

การปนเปื้อนของแคดเมียมในดินที่ใช้เพาะปลูกมีสาเหตุมาจากการใช้ดินจากแหล่งแร่สังกะสี หรือการเติมกากตะกอนน้ำเสียลงสู่ดิน แม้ยังไม่มีรายงานเกี่ยวกับความเป็นพิษของแคดเมียมจากแหล่งเพาะปลูกในลักษณะดังกล่าวก็ตาม แต่การใช้กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย ควรต้องมีการติดตามอย่างรอบคอบ (Mengel และ Kirkby, 1982) แม้ว่าจากรายงานของ Dijkshoorn และ Lampe (1975) จะสรุปไว้ว่า การดูดดึงแคดเมียมของพืชจากกากตะกอนจะน้อยกว่าการดูดดึงแคดเมียมจากเกลือแคดเมียมที่เติมลงไปในดิน และการดูดดึงแคดเมียมจากเกลือแคดเมียมที่เติมลงในดิน จะน้อยกว่าการดูดดึงแคดเมียมจากการทดลองปลูกพืชในสารละลายก็ตาม อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ (2529) ได้ยืนยันผลการศึกษาวิจัยทั้งในเรือนเพาะชำและภาคสนามว่า พืชผักจะดูดดึงแคดเมียมจากกากตะกอนได้น้อยกว่าการดูดดึงจากเกลือแคดเมียมคลอไรด์ที่เติมลงในดิน ปริมาณแคดเมียมที่ก่อให้เกิดพิษต่อพืชอยู่ในช่วงกว้างระหว่าง 5-700 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ppm) ของน้ำหนักแห้งของพืช Chaney (1982) รายงานว่าความเป็นพิษของแคดเมียมต่อพืชเกิดจากการที่แคดเมียมไปมีผลต่อเมตาบอลิซึมของพืช ทั้งการยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสงและกระบวนการคายน้ำของพืชด้วย และยังมีผลต่อการลดปริมาณคลอโรฟิลล์ ทำให้โครงสร้างของคลอโรพลาสต์ผิดปกติ (Peligard, 1986)

การเติบโตและดึงดูดธาตุอาหารขึ้นไปใช้ของพืชจะได้รับอิทธิพลจากอัตราการใช้ตะกอนลงดินในระดับที่เหมาะสม (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2529) การเติมกากตะกอนไม่ก่อให้เกิดผลกระทบร้ายแรงต่อผลผลิตพืชจำพวกผักบางชนิด ได้แก่ แครอท มันฝรั่ง ผักกาดหอม ถั่ว หัวผักกาด และข้าวโพดหวานแต่อย่างใด โดยพบว่าผลผลิตมันฝรั่งจะมีความมากขึ้นตามอัตราเติมจนถึงอัตราเติมกากตะกอน 450 เมตริกตันต่อเฮกแตร์ (72,000 กิโลกรัม/ไร่) และที่อัตราดังกล่าว พืชแต่ละชนิดก็ไม่แสดงอาการของความไม่สมดุลย์ทางสรีรวิทยา (Dowdy และ Larson, 1975) ซึ่งสอดคล้องกับ อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ (2529) ที่ได้ทำการศึกษาแล้วพบว่า การใช้กากตะกอนในการเพาะปลูกผักคะน้าในดินเปรี้ยวจัดที่มีการควบคุม pH ของดิน ผลผลิตผักคะน้าจะเพิ่มมากขึ้นตามอัตราเติมกากตะกอน โดยมีผลผลิตสูงสุดที่อัตราเติม 80 เมตริกตันต่อเฮกแตร์

(12,800 กิโลกรัม/ไร่) อย่างไรก็ตามการเติมกากตะกอนในปริมาณที่มากเกินไป อาจมีผลเสียต่อพืชได้ เช่น ก่อให้เกิดความไม่สมดุลย์ของธาตุอาหารพืช หรือการเกิดการสะสมของสารพิษต่าง ๆ จากกากตะกอน ด้วยเหตุนี้ ประเทศนอร์เวย์ และประเทศฟินแลนด์ ได้กำหนดขีดจำกัดสูงสุดของการใช้กากตะกอนในอัตรา 20 เมตริกตันต่อเฮกตาร์ (3,200 กิโลกรัม/ไร่) (Webber และคณะ, 1984)

2.5 ความเสี่ยงจากพิษโลหะหนัก

2.5.1 การประเมินความเสี่ยงจากพิษโลหะหนัก

การประเมินความเสี่ยงจากโลหะหนักจะเป็นการประเมินจากการได้รับสัมผัสโลหะหนักที่น่าจะมีผลต่อสุขภาพมากน้อยเพียงใด เพื่อที่จะได้ควบคุมการได้รับหรือสัมผัสนั้นว่าควรจะมีมากหรือน้อย โดยพิจารณาจากความเป็นพิษของโลหะหนักแต่ละชนิดทั้งในเชิงคุณภาพว่าทำให้เกิดพิษมากหรือน้อยอย่างไร และเชิงปริมาณเพื่อที่จะคาดคะเนเป็นตัวเลขว่าการได้รับสารพิษนั้นจะมีผลต่อสุขภาพอย่างไร (คณะอนุกรรมการเฉพาะกิจเพื่อจัดหาแนวทางในการควบคุมวัตถุอันตราย, 2542)

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าในกากตะกอนจะมีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ ดังนั้นการเติมกากตะกอนลงสู่ดินจึงเปรียบเสมือนการเพิ่มโลหะหนักให้กับดิน การประเมินความเสี่ยงจากพิษโลหะหนักจึงเป็นประเด็นหลักอันหนึ่งที่ไม่อาจจะหลีกเลี่ยงได้ แม้ว่าการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรจะเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมสูง การกำจัดกากตะกอนด้วยวิธีนี้ยังคงต้องศึกษาในรายละเอียดกันอีกในแต่ละพื้นที่ เพราะอาจมีความเสี่ยงเกิดขึ้นได้ ดังนั้นการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรให้ได้ประโยชน์สูงสุดอย่างคุ้มค่าและปลอดภัยจากความเสียหายต่าง ๆ จะต้องจัดการตามข้อกำหนดและคำแนะนำโดยอาศัยหลักวิชาการอย่างเคร่งครัด รวมถึงการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนและลักษณะสมบัติของดินของดินบริเวณนั้นด้วย

ในกลุ่มประเทศแถบยุโรปและสหรัฐอเมริกา ได้ออกข้อกำหนดของแต่ละประเทศและข้อกำหนดร่วมของหลาย ๆ ประเทศ เช่น ปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในกากตะกอนที่จะนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรและในดิน ปริมาณโลหะหนักต่าง ๆ ที่ยอมให้มีได้ในดิน ในกากตะกอนและในพืช เป็นต้น (Webber และคณะ, 1984) ข้อกำหนดเหล่านี้ได้มีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ตามหลักฐานและข้อมูลทางวิชาการต่าง ๆ เพื่อสนองตอบการใช้

กากตะกอนอย่างมีประสิทธิภาพ (Horobin, 1990) นอกจากนี้ยังมีข้อเสนอแนะสำหรับการปฏิบัติ และการจัดการกับกากตะกอน ได้แก่ วิธีการใส่กากตะกอนลงดิน การเก็บตัวอย่างดิน การตรวจสอบคุณภาพดินก่อนและหลังการใส่กากตะกอน เป็นต้น (Manson, 1989)

2.5.2 เกณฑ์และข้อกำหนดปริมาณการปนเปื้อนโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม

ข้อกำหนดต่าง ๆ เกี่ยวกับการกำจัดกากตะกอนด้วยวิธีต่าง ๆ ของแต่ละประเทศยังมีอยู่น้อย (Matthews, 1987) ข้อบังคับที่มีอยู่มักจะมาจากกฎที่ใช้กันทั่ว ๆ ไป โดยใช้ข้อมูลใหม่ๆ มาปรับปรุงข้อบังคับที่มีอยู่เดิม โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศกำลังพัฒนา ข้อมูลต่าง ๆ ที่มีการศึกษาวิจัยยังไม่เพียงพอที่จะใช้กำหนดข้อกำหนดต่าง ๆ ได้เอง ต้องอาศัยข้อมูลอ้างอิงจากกลุ่มประเทศแถบยุโรปและสหรัฐอเมริกา สำหรับประเทศไทย ในขณะนี้กำลังเริ่มจะมีการกำหนดเกี่ยวกับปริมาณโลหะหนักที่ยอมรับให้มีได้ในดินบ้างแล้ว (ตารางที่ 2.5) โดย พิชิต พงษ์สกุล แห่ง กองปรวพิศาสตร์ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ คาดว่าจะลงพิมพ์ในหนังสือวารสารดินและปุ๋ยประมาณเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน 2542

2.5.2.1 การปนเปื้อนโลหะหนักในดิน

โลหะหนักที่เป็นจุลธาตุอาหารโดยตรง ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง ส่วนโลหะหนักที่เป็นพิษ ได้แก่ นิกเกิล แคดเมียม และตะกั่ว ซึ่งการยอมรับให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตรตามเกณฑ์ของประเทศต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 และระดับโลหะหนักที่ยอมรับให้มีได้ในกากตะกอนเพื่อใช้ทางการเกษตร ตามเกณฑ์ของนานาประเทศ และของกลุ่มประชาคมยุโรป (Commission of The European Communities) ดังแสดงไว้ตารางที่ 2.3

2.5.2.2 การปนเปื้อนโลหะหนักในพืช

โลหะหนักชนิดต่าง ๆ หากมีปริมาณที่เหมาะสมก็จะเป็นประโยชน์ต่อพืช หรือไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช ปริมาณโลหะหนักที่สูงเกินไปจะส่งผลกระทบต่อพืชได้ เช่น พิษจากสังกะสีทำให้พืชสูญเสียคลอโรฟิลล์แม้ว่าจะไม่แสดงอาการเป็นพิษอย่างเฉียบพลัน (Mengel และ Kirkby, 1982) และลดการเจริญของราก ส่วนพิษจากแคดเมียมทำให้เกิดอาการคลอโรซิส ปริมาณโลหะหนักระดับปกติและระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษของโลหะหนักต่อพืชดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.5 ปริมาณโลหะหนัก (ppm) ในดินสำหรับประเทศไทย (พิชิต พงษ์สกุล, 2542)

ชนิดของโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนัก (ppm) ในดิน สำหรับประเทศไทย
สารหนู	29
โคบอลต์	21
โครเมียม	79.4
ปรอท	0.10
สังกะสี	71
ทองแดง	43.6
นิกเกิล	43.9
แคดเมียม	0.074
ตะกั่ว	54.6

หมายเหตุ : รายงานนี้ยังไม่มีผลการเผยแพร่ทางวิชาการอย่างเป็นทางการ คาดว่าจะลงพิมพ์ใน หนังสือวารสารดิน และวิจัยประมาณเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน 2542

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5.2.3 การปนเปื้อนโลหะหนักในอาหาร

โลหะหนักมีความเสี่ยงที่จะปนเปื้อนเข้าไปในระบบห่วงโซ่อาหารโดยเฉพาะการนำกากตะกอนมาใช้ในการเกษตรอาจมีการสะสมในพืชหรือสัตว์และถึงมนุษย์โดยการบริโภคอาหารที่ประกอบจากพืชหรือสัตว์นั้น ๆ พิษจากโลหะหนักมีทั้งพิษแบบเฉียบพลัน (Acute Poisoning) และแบบเรื้อรัง (Chronic Poisoning) เพื่อลดความเสี่ยงเหล่านั้นแต่ละประเทศจึงได้กำหนดค่ามาตรฐานที่ยอมให้มีการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้งในดิน กากตะกอน และพืช ตลอดจนในแหล่งน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ระดับความเข้มข้นสูงสุด (Maximum Allowance Concentration) ของสารพิษประเภทโลหะหนัก(Heavy Metal) ที่ยินยอมให้มีอยู่ในน้ำได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ (กรมควบคุมมลพิษ, 2538)

โลหะหนัก(Heavy Metal)	ระดับความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในแหล่งน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)
แคดเมียม (Cd)	0.001
ทองแดง (Cu)	0.02
ตะกั่ว (Pb)	0.05
ปรอท (Hg)	0.0005
เหล็ก (Fe)	0.3
สังกะสี (Zn)	0.1

- หมายเหตุ :
- ค่าที่กำหนดไว้คิดเป็นความเข้มข้นของไอออนของโลหะแต่ละชนิด
 - โลหะส่วนใหญ่มีพิษต่อสัตว์น้ำเพิ่มมากขึ้นในน้ำอ่อน และมีพิษลดลงในน้ำ กระด้าง ดังนั้นค่าที่กำหนดไว้จึงเป็นเกณฑ์ที่ใช้ได้ทั้งในน้ำที่มีความกระด้างต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนตและสูงกว่า