

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎี

2.1 ตะกั่ว

2.1.1 สมบัติทั่วไปของตะกั่ว

ตะกั่วเป็นธาตุทรานสิชัน (Transition Elements) ในตารางธาตุ (Periodic Table) พบกระจายอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ ส่วนมากอยู่ในแร่กาลีน่า (Galena, PbS) เซอร์ไซต์ (Cerussite, PbCO₃) และแองกลีไซต์ (Anglesite, PbSO₄) โดยพบอยู่ในหินอัคนีบางชนิด ในลักษณะของสารประกอบซัลไฟด์ ตะกั่วจัดเป็นโลหะหนัก ที่ความถ่วงจำเพาะ 11.34 จุดหลอมเหลว 324.7 °c และจุดเดือด 1351 °c ตะกั่วเมื่อบริสุทธิ์จะมีลักษณะด้านและมีสีเทาแก่รอยตัดและผิวบนจะเป็นสีเทาฟ้า เป็นโลหะที่มีความทนทานต่อการกัดกร่อน มีความหล่อลื่นในตัวเอง เป็นโลหะอ่อนที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ สามารถตัด รีด หรือ ตีได้ง่าย ขยายตัวมากเมื่อได้รับความร้อน ผสมกับโลหะต่างๆ ได้หลายชนิดสารประกอบตะกั่วส่วนมากไม่ละลายน้ำ โดยทั่วไปจะมีสีขาวหรือไม่มีสี แต่ออกไซด์ของตะกั่วจะมีสีเหลืองหรือสีส้ม ไดออกไซด์จะมีสีเทาหรือสีดำ ตะกั่วอาจจะอยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ได้ซึ่งสารประกอบตะกั่วอินทรีย์บางอย่าง สามารถละลายน้ำได้ (Rochow and Abel,1973)

2.1.2 ประโยชน์ของตะกั่ว

1) ในอุตสาหกรรมสีมีการใช้ตะกั่วออกไซด์เป็นส่วนประกอบ เช่น สีแดง (Red Lead) สีเหลืองส้ม (Litharge) และ สีขาว (Lead Carbonate) ตะกั่วขาวและแดงใช้ในการทำสี ส่วนตะกั่วสีส้มใช้เป็นส่วนผสมสำคัญในอุตสาหกรรมกระจกและเครื่องเคลือบบางชนิด

2) เป็นส่วนประกอบในการผลิตท่อส่งน้ำต่างๆ โดยเฉพาะท่อพีวีซี

3) เป็นส่วนประกอบในการผลิตแบตเตอรี่ และ โลหะหุ้มสายเคเบิลไฟฟ้า

4) เป็นส่วนประกอบในการผลิตกระสุนปืนชนิดต่างๆ

5) ใช้ในอุตสาหกรรมผสมโลหะผสมต่างๆ เช่น

5.1) ตะกั่วผสมดีบุก เป็นโลหะบัดกรี (Solder)

5.2) ตะกั่วผสมพลวง เป็นโลหะตัวพิมพ์ (Type Metal)

5.3) ตะกั่วผสมดีบุกและทองแดง เป็นโลหะพิวเตอร์ (Pewter)

5.4) ตะกั่วผสมบิสมีต ดีบุก และ แคดเมียม เป็นโลหะผสมที่เรียกว่า Wood's Alloy

5.5) ใช้ในระบบสัญญาณไฟฟ้าอัตโนมัติซึ่งมีจุดหลอมเหลวที่ 70 °c (ประภต, 2539)

2.1.3 พิษของตะกั่ว

อาการของผู้ป่วยที่ได้รับสารตะกั่วอินทรีย์ การแสดงออกทางจิตมักจะมีเด่นชัดกว่าอาการเจ็บไข้ธรรมดา อาการโดยทั่วไปที่มักจะพบเห็นได้แก่ ผื่นร้าย ประสาทหลอน กระวนกระวาย กระสับกระส่าย และ หลงผิด บางครั้งก็จะพบอาการแทรกซ้อนอย่างอื่นร่วมด้วย เช่น อาการปวดข้อ คลุ้มคลั่ง สับสน และการเก็บตัวไม่ยุ่งเกี่ยวกับใคร แต่ในผู้ป่วยบางรายที่ได้รับสารตะกั่วในปริมาณที่มากเกินไปก็จะทำให้เกิดอาการชักกระตุกในทันทีทันใด ส่วนในรายของผู้ป่วยที่ได้รับสารตะกั่วในปริมาณที่ไม่มากมักจะพบว่ามีอาการนอนไม่ค่อยหลับ บางครั้งก็จะผื่นอย่างโรคเริมและน้ำกัว อาการปวดศีรษะจะเกิดขึ้นบ่อยครั้ง และ รุนแรง รวมถึงอาการเวียนศีรษะด้วย หากผู้ป่วยมีอาการรุนแรงจะต้องได้รับการดูแลอย่างใกล้ชิดเนื่องจากอาการประสาทหลอนทำให้มีแนวโน้มในการฆ่าตัวตายสูง (ประภต, 2539)

2.1.4 ตะกั่วในน้ำเสีย

ตะกั่วเป็นสารละลายที่ไม่สลายตัวเองตามธรรมชาติ และ เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย โดยการชะล้างตะกั่วที่ตกค้างจากการใช้งานหรือจากกิจกรรมอุตสาหกรรมที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากตะกั่วมีสมบัติเหมาะในการใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง เช่น ในกิจกรรมแบตเตอรี่ ใช้ผสมน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อให้เครื่องยนต์เดินเรียบ ทำสี Һุ้มสายเคเบิล การบัดกรี ทำตัวพิมพ์ ท่อน้ำ ลูกปืน และแผ่นตะกั่ว ใช้เป็นองค์ประกอบในการผลิตแก้ว พลาสติก เซรามิก แผ่นเหล็กอาบสังกะสี และโลหะผสมนาโนชนิด ปริมาณและชนิดของสารประกอบตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 และ 2.2

การละลายของตะกั่วในน้ำเสีย มีความสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสีย แต่ความรู้ทางเคมีของตะกั่วในน้ำเสียมีการศึกษากันน้อย ส่วนใหญ่อ้างอิงจากการศึกษาเคมี ของตะกั่วในน้ำธรรมชาติ หรือน้ำกลั่นบริสุทธิ์ ซึ่งพอจะสรุปได้ว่าความสามารถในการละลายของตะกั่วในน้ำ

ตาราง 2.1 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท (Patterson , 1985)

ประเภทโรงงาน	ตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อลิตร)
* การผลิตแบตเตอรี่ ตะกั่วจะอยู่ในสถานะ	
อนุภาคแขวนลอย	5 - 48
สารละลาย	0.5 - 25
** การผลิตแบตเตอรี่ ตะกั่วจะอยู่ในสถานะ	
อนุภาคแขวนลอย	0.4 - 66.5
สารละลาย	2.6 - 5.1
*** การผลิตแบตเตอรี่ ตะกั่วจะอยู่ในสถานะ	
อนุภาคแขวนลอย	40.3 - 319.4
สารละลาย	11.7
การชุบโลหะ	2 - 140
การผลิตหลอดโทรทัศน์	380 - 400
การผลิตตัวพิมพ์	1.65
การผลิตแก้ว	0.43 - 100
การเคลือบลายคราม	2.9
การทำเหมืองแร่	0.018 - 0.098
การผลิตวัตถุระเบิด	6.5
การกลั่นน้ำมัน	
ตะกั่วอินทรีย์	126.7 - 144.8
ตะกั่วอนินทรีย์	66.1 - 84.9
การผลิตสี	1.1 - 10.0
การผลิตเหล็กกล้า	0.47 - 1.39
การหล่อโลหะ	29 - 170
การผลิตวงแหวนลูกสูบ	94.6

* IIT Research Institute c 8213 - 2 (1972)

** 29th Annual Purdue Industrial Waste Conference, West Lafayette, In (May 1974)

*** Proceedings of the 4th Conference on Advanced Pollution Control for the Metal Finishing Industry. USEPA 600/9-82-022 (December 1982)

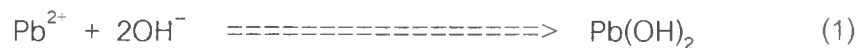
ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตะกั่วและสารประกอบ (Clayton and Clayton, 1981)

ชื่อ	สูตร	At/Mol. Wt	Sp.Gr.	จุดหลอม เหลว(°C)	จุดเดือด (°C)	ความสามารถในการละลาย g/l
Lead	Pb	207.19	11.343 (16°C)	327.5	1740	Insol. Cold. Hot H ₂ O ;sol HNO ₃
Lead acetate	Pb(C ₂ H ₃ O ₂) ₂	325.28	3.25 (20°C)	280	-	44.3(20°);221(50°C); v. sl. Sol.alcohol; sol. Glycerin
Lead arsenate (ortho)	Pb(AsO ₄) ₂	899.4	7.80	1042,sl.d ec.1000	-	V. Sl. Sol. Cold H ₂ O; sol. HNO ₃
Lead azide	Pb(N ₃) ₂	291.23	-	-	Explodes at 350	0.023(18°C); 0.09 (70°C)
Lead carbonate (basic white lead)	2PbCO ₃ .Pb (OH) ₂	775.6	6.14	Dec.400	-	Insol. Cold. Hot H ₂ O; sol. HNO ₃ ;insol Alcohol
Lead chloride	PbCl ₂	278.1	5.85	501	950	0.99(20° C);3.34 (100° C);sl.sol. dil. HCl,NH ₃ ;insol. alcohol
Lead chromate (chrome yellow)	PbCrO ₄	323.18	6.12 (15°C)	844	Dec.	0.0000058(25° C); insol. Hot H ₂ O; sol Acid, alkalis; insol acetic acid, NH ₃
Lead molybdate (molybdate orange)	PbMoO ₄	367.13	6.92 (25°C)	1060- 1070	-	Insol. Hot H ₂ O; dec. conc. H ₂ SO ₄ ; sol. Acid, KOH; insol. alcohol
Lead nitrate	Pb(NO ₃) ₂	331.2	4.53 (20°C)	Dec.470	-	37.65(0° C); 127; (100°C); sol. alkalis, NH ₃

เสียน้อยอยู่กับพีเอช ความกระด้าง ความเป็นด่าง และ สารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยผลของพารามิเตอร์ต่างๆมีดังนี้

ผลของพีเอช (Nayer and Dague, 1975)

การละลายของสารตะกั่วในสารละลายขึ้นอยู่กับ พีเอช ที่พีเอชน้อยกว่า 8 ตะกั่วอยู่ในรูปของสารละลาย พีเอช 8-11 ตะกั่วจะตกตะกอนเป็นตะกั่วไฮดรอกไซด์ ดังสมการ



เนื่องจากคุณสมบัติตามธรรมชาติของตะกั่วออกไซด์ จะละลายในสารละลายที่มีพีเอชมากกว่า 11 ดังสมการ



ผลของความกระด้าง (Nayer and Dague, 1975)

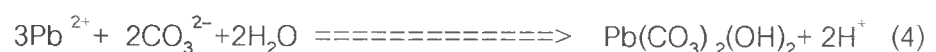
การละลายของตะกั่วถูกกำหนดโดยผลของความกระด้าง ในการกำจัดความกระด้างด้วยปูนขาวที่ pH 10.5 ที่ pH นี้ ตะกั่วจะตกตะกอนในรูป ตะกั่วออกไซด์ ประจุลบจากความกระด้างที่เกิดจากแคลเซียม และแมกนีเซียมมีผลเล็กน้อยต่อการละลายของตะกั่ว

ผลของความเป็นด่าง (Nayer and Dague, 1975)

ในน้ำที่มีตะกั่วและคาร์บอนไดออกไซด์ ค่าการละลายของตะกั่วขึ้นอยู่กับ pH และความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ pH น้อยกว่า 5 ตะกั่วจะอยู่ในรูปสารละลายที่ pH 5-8.5 ตะกั่วจะตกตะกอนในรูปตะกั่วคาร์บอเนต ดังสมการ



ที่ pH 8.5-12.5 ตะกั่วจะตกตะกอนในรูปตะกั่วไฮดรอกไซด์ดังสมการที่ 1 หรืออาจจะตกตะกอนในรูป basic lead carbonate ดังสมการ



ที่ $\text{pH} > 12.5$ ตะกั่วจะอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนของตะกั่วออกไซด์ตามสมการ
ที่ 2

ผลของสารอินทรีย์ (Tunay, 1994)

ความสามารถในการละลายของตะกั่วจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีสารอินทรีย์โดยเฉพาะสารอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเป็นสารคีเลต (Chelating Agent) ซึ่งสามารถจะทำปฏิกิริยากับตะกั่วเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของตะกั่วได้ ทำให้ความสามารถในการละลายน้ำของตะกั่วเพิ่มมากขึ้น

2.1.5 วิธีการกำจัดตะกั่วในน้ำเสีย

ในปัจจุบันการกำจัดตะกั่วที่อยู่ในรูปสารละลายเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีในการเปลี่ยนสารละลายตะกั่วให้เป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก โดยการเติมสารเคมีบางประเภท เช่น ปูนขาว ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) หรือ โซดาไฟ (NaOH) เพื่อให้เกิดการตกตะกอนในรูปตะกั่วไฮดรอกไซด์ ($\text{Pb}(\text{OH})_2$) โซดาแอช ($\text{Na}_2(\text{CO}_3)$) เพื่อให้เกิดการตกตะกอนในรูปตะกั่วคาร์บอเนต (PbCO_3) และ ฟอสเฟต เพื่อให้เกิดการตกตะกอนในรูปตะกั่วฟอสเฟต ($\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$) นอกจากนี้ยังมีการใช้สารส้ม เพอร์รัส และ เพอร์ริกซัลเฟตเป็นสารตกตะกอนในการกำจัดตะกั่ว

ในกระบวนการทำให้ตะกั่วตกตะกอน โดยทั่วไปนิยมที่จะตกตะกอนในรูปตะกั่วคาร์บอเนตและตะกั่วไฮดรอกไซด์ การเกิดตะกอนของตะกั่วขึ้นอยู่กับปริมาณของคาร์บอเนตที่มีอยู่หรือที่เติมลงไป ในน้ำเสีย และพีเอช น้ำเสียที่มีสภาพเป็นกรดโดยทั่วไปจะมีคาร์บอเนตในปริมาณต่ำและจะเกิดการตกตะกอนในรูปตะกั่วไฮดรอกไซด์ ถ้าไม่มีการเติมคาร์บอเนต ตะกั่วคาร์บอเนตจะตกตะกอนได้มากกว่าตะกั่วไฮดรอกไซด์ซึ่งมีผลต่อกระบวนการที่ตามมาคือจะต้องมีถังตกตะกอน (Sedimentation Tank) และ การเอาน้ำออกจากตะกอน (Sludge Dewatering)

ที่พีเอชในช่วงกลาง หากทำการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้น พบว่าการตกตะกอนตะกั่วในรูปคาร์บอเนตจะได้ตะกอนมากกว่าการตกตะกอนตะกั่วในรูปไฮดรอกไซด์ ปริมาณคาร์บอเนตที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดการตกตะกอนในรูปของตะกั่วคาร์บอเนตคือ $200 \text{ mg/l as CaCO}_3$ ปริมาณคาร์บอเนตที่มากกว่านี้ หรือ พีเอชที่มากกว่า 9 จะทำให้ประสิทธิภาพในการตกตะกอนลดลง อย่างไรก็ตามพีเอช ระหว่าง 7.5 – 9.0 จะเป็นช่วงที่เหมาะสมมากต่อการตกตะกอนในรูปตะกั่วคาร์บอเนต ส่วนในรูปของตะกั่วไฮดรอกไซด์นั้นจะอยู่ที่พีเอชเท่ากับ 10 ซึ่งเป็นช่วงที่แคบมาก และ ถ้าพีเอชมากกว่า 10 ประสิทธิภาพในการตกตะกอนในรูปของตะกั่วไฮดรอก

ไซต์จะลดลงอย่างรวดเร็ว ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกำจัดตะกั่วโดยวิธีการทำให้ตกตะกอนคือค่าการละลายของตะกั่วในน้ำ (Patterson, 1985)

ในตารางที่ 2.3 จะสรุปวิธีการกำจัดตะกั่วด้วยวิธีการต่างๆ และ ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของแต่ละวิธี โดยวิธีการตกตะกอนจะเป็นวิธีที่นิยมมากที่สุดในปัจจุบันเนื่องจากเป็นวิธีกำจัดตะกั่วที่มีราคาถูกแต่ก็พบปัญหาในการจัดการตะกอนที่เกิดขึ้น พิเศษหลังจากการกำจัดค่อนข้างสูง และการนำตะกั่วกลับมาใช้ใหม่ก็ทำได้ยาก อีกทั้งยังพบปัญหาในการตกตะกอนได้ยากในกรณีที่เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของตะกั่ว ดังนั้นการใช้โคโคแชนจึงเป็นทางเลือกอีกทางที่มีแนวโน้มจะแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้เนื่องจากโคโคแชนเป็นสารดูดซับอีกชนิดหนึ่งในปัจจุบันที่มีการศึกษากันอย่างแพร่หลายเกี่ยวกับคุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนัก อีกทั้งยังสามารถประยุกต์ใช้ได้หลายรูปแบบและสามารถแยกโลหะหนักที่ถูกดูดซับไว้กลับมาใช้ใหม่ได้ (Lasko and Hurst, 1999)

2.2 การดูดซับหรือการดูดติดผิว (Adsorption)

การดูดซับเป็นความสามารถของสารในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ ที่อยู่ในของเหลวหรือก๊าซให้มาเกาะและจับติดบนผิวของมัน ซึ่งปรากฏการณ์เคลื่อนย้ายสารจากของเหลวหรือก๊าซมายังผิวของของแข็งเป็นส่วนสำคัญของกระบวนการนี้ โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่เคลื่อนย้ายมาเรียกว่า Adsorbate ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของ Adsorbate เรียกว่า Adsorbent โดยกลไกการดูดซับเกิดเมื่อโมเลกุลในชั้นของเหลวเข้าไปใกล้สารดูดซับ

การดูดซับมี 2 วิธีคือ การดูดซับทางกายภาพ (Physisorption) และการดูดซับทางเคมี (Chemisorption) การดูดซับทางกายภาพเกิดขึ้นจากความแตกต่างของพลังงานและ/หรือแรงดูดซับทางไฟฟ้า(แรงวัลเดอรัวาล์ว) ซึ่งมีค่าน้อยโมเลกุลของสารถูกดูดซับจะถูกยึดติดแบบกายภาพกับโมเลกุลของสารดูดซับการดูดซับแบบนี้เป็นแบบหลายชั้น (Multilayers) ซึ่งแต่ละชั้นของโมเลกุลจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลก่อนหน้านั้น โดยจำนวนของชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับหรือตัวถูกละลาย

จำนวนชั้นของโมเลกุลจะมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลายการดูดติดแบบกายภาพทั่วไปจะเกิดที่อุณหภูมิต่ำซึ่งการดูดซับมีพลังงานต่ำ การย้อนกลับของกระบวนการดูดซับ ถ้าแรงมีค่าน้อยการหลุดออกของสารถูกดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้

ตารางที่ 2.3 สรุปรายงานการกำจัดตะกั่วและประสิทธิภาพการกำจัด(Patterson, 1985)

Treatment Process	Treatment pH	Lead concentration (mg/l)		Removal %
		Initial	Final	
Ion exchange	5.0 - 5.2	0.1	0.01	90
Ion exchange *	-	0.055	0.0015	97.3
	-	126.7 - 144.8	0.020 - 0.053	99.9
Lime-sedimentation	8.3	11.7	0.27	97.7
	7.1	0.91	0.19	79.1
	8.2	1.2	0.15	87.5
	-	30	1	96
	-	6.5	0.1	98.5
	-	0.31	0.1	97
Lime-5-hr sedimentation	7.7	98	39	40
Lime-30-hr sedimentation	6.8	-	0.48	-
Caustic-1-hr Sedimentation	5.5	-	1.6	-
Caustic-24-hr Sedimentation	7.0	-	0.04	-
Ammonium hydroxide	7.8	-	23.9	-
Lime-ferric sulfate+ Sedimentation+	10.0	5.0	0.25	95
filtration*			0.029	99.4
Lime-Sedimentation+ filtration	11.5	5.0	0.20	96
			0.019	99.6
	9.5	0.9 - 4.6	0.11 - 0.21	-
	9.5	0.9 - 4.6	0.10 - 0.17	-
Caustic-Soda ash*	9.0-9.5	5.0	0.01 - 0.03	99
Sodium carbonate+ filtration*	6.4 - 8.7	10.2 - 70.0	0.2 - 3.6	82 - 99
Sodium carbonate+ filtration*	7.2 - 7.5	3.0 - 5.0	0.2 - 0.6	83 - 93
Ferric sulfate+ sedimentation+	6.0	5.0	0.25	95
filtration*	6.0	5.0	0.03	99.4
Ferrous sulfate+ sedimentation	10.4 - 10.8	45	1.7	96.2

* Pilot - plant results

การดูดซับทางเคมีเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเกิดเป็นสารประกอบทางเคมีซึ่งแตกต่างจากการดูดซับแบบกายภาพ กระบวนการนี้将有ความหนาของโมเลกุลเพียงชั้นเดียวและไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้เอง เนื่องจากมีการจับตัวทางเคมีสร้างสารประกอบใหม่ที่ผิวของสารดูดซับ การดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีจะกระทำอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงมากกว่าอุณหภูมิต่ำ ซึ่งสารที่มีอำนาจดูดโมเลกุลต่างๆมาดูดซับได้มีหลายชนิด อาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

1) ประเภทสารอนินทรีย์ เช่นดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์และแอคทีเวเต็ดชิลิกา สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50 – 200 ตารางเมตรต่อกรัม แต่สารสังเคราะห์อาจมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก อย่างไรก็ตามก็มีข้อเสียคือ จับโมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การใช้ประโยชน์จากสารดูดซับประเภทสารอนินทรีย์มีจำกัดมาก

2) ถ่านกัมมันต์ เป็นสารดูดซับที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600 – 1000 ตารางเมตรต่อกรัม

3) ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ สารเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300 – 500 ตารางเมตรต่อกรัม

ปัจจุบันสารดูดซับสังเคราะห์ได้ถูกผลิตขึ้นมาหลายชนิดเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียทั้งที่ความคล่องตัวในการใช้และความสามารถในการดูดซับมีน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) แต่สารดูดซับเหล่านี้ก็เหมาะกับการใช้งานบางอย่าง ซึ่งตารางที่ 2.4 แสดงชนิดของสารดูดซับที่นิยมใช้และคุณสมบัติของสารดูดซับนั้น

2.2.1 กลไกการดูดซับ (มันสิน, 2538)

1) การแพร่ภายนอก (External Diffusion หรือ Film Diffusion) การแพร่ภายนอกเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกละลายเข้าถึงสารดูดซับ ซึ่งพื้นผิวของสารดูดซับมีของเหลวห่อหุ้มโดยโมเลกุลแทรกตัวผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงผิวหน้าสารดูดซับ

2) การแพร่ภายใน (Internal Diffusion หรือ Pore Diffusion) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายแทรกตัวเข้าถึงช่องว่างสารดูดซับเพื่อให้เกิดการดูดซับ

3) ปฏิกิริยาพื้นผิว (Surface Reaction) ปฏิกิริยาพื้นผิวเป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายดูดติดที่ผิวของสารดูดซับซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่ ดังนั้นความต้านทานจากกระบวนการนี้จึงละเลยได้

ตารางที่ 2.4 ชนิดและคุณสมบัติทางกายภาพของสารดูดซับที่นิยมใช้กัน (Noll และคณะ, 1992)

Material	Shape	Size (Mesh)	ϵ_p (-)	ρ_b (lb/ft ³)	r_p (Å)	A_s (m ² /g)	Commercial Products
Aluminas							
Active aluminas	G	V	0.25-0.3	50	35-45	235	Alcoa F-1 Reynolds RA-1,RA-3
	S	3-8	0.5-0.6	47-50	40-50	400	Alcoa H-151 Kaiser KA-201
Catalytic-alumina	S	V	0.62	47	45	300	Pechiney CR
Chromatographic -alumina	G	80-200	0.3	58	45	225	Alcoa F-20
Silicas							
Alumino-silicates	C	4-12	0.4	40	-	770	Davison
	S		0.55	55			3A,4A,5A
Magnesia-silica gel	P						13X,700
	G	V	0.33	30	-	300	Florisil
Silica gel	G	V	V	27-45	V	300-800	Davison silica gel
	S	1/8 in	0.34-0.51	41-52	21-28	650-700	Cecagel Mobil Sorbead R,H
Carbon							
Shell-base	G	V	0.5-0.6	27-34	20	800-1100	Cochranex FCB
	P	-	0.6-0.8	20-22	30	1200	Barnebey-Cheney JF,JU,YF
Wood-based	G	5-7	-	24	5-10	1400	Supersorbon W
	P	V	-	27-29	3-10	750-900	Brilonit

ϵ_p = particle porosity , ρ_b = bulk density , r_p = pore size , A_s = surface area

C = cylindrical pellets , G = granular , S = spherical beads , T = tablets , V = various

2.2.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ (มันลิน, 2538)

1) ความปั่นป่วน

อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับ การแพร่ภายนอก (Film Diffusion) และการแพร่ภายใน (Pore Diffusion) ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูงทำให้การแพร่ (Pore Diffusion) เป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

2) ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ

อัตราการดูดซับเป็นส่วนผกผันกับขนาดของสารดูดซับและพื้นที่ผิวของสารดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ (Adsorption Capacity) ยกเว้นในกรณีที่ไม่เลกุลของสารที่ถูกดูดซับมีขนาดใหญ่กว่าช่องว่างของสารดูดซับ

3) ความสามารถในการละลายน้ำของสารดูดซับ

เมื่อเกิดการดูดซับโมเลกุลจะถูกดันออกจากน้ำและเกาะติดบนผิวของของแข็งสารที่ละลายน้ำได้หรือแตกตัวเป็นไอออนได้จะมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำสูงจึงเป็นสารที่ยากในการดูดซับ ดังนั้นสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยจะสามารถเกาะติดบนผิวสารดูดซับได้ดี

4) ขนาดของสารที่ถูกดูดติดบนผิวสารดูดซับ

ขนาดของสารหรือโมเลกุลมีความสำคัญมากต่อการดูดซับ ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในช่องว่างของสารดูดซับ

5) ค่าพีเอช

ค่าพีเอชของสารละลายเป็นปัจจัยที่สำคัญของการดูดซับ เนื่องจากค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อ การดูดซับ

6) อุณหภูมิ

ในกรณีการดูดซับเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน พบว่าเมื่ออุณหภูมิลดลงความสามารถในการดูดซับจะสูงขึ้นแต่อัตราเร็วในการดูดซับจะลดลงในทางตรงกันข้ามถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการดูดซับจะลดลงแต่อัตราเร็วในการดูดซับจะสูงขึ้น

2.2.3 การดูดซับที่สภาวะสมดุลย์ (Adsorption Isotherm)

สามารถอธิบายปรากฏการณ์กระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นว่า ณ จุดสมดุลย์ของความสามารถของสารดูดซับในน้ำ (Adsorption Capacity หรือ Q_e) สามารถเขียนอยู่ในรูปความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับในน้ำ (C_e) ที่อุณหภูมิคงที่ สมการความสัมพันธ์นี้เรียกว่า "Adsorption Isotherm"

ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความสามารถของสารดูดซับในน้ำ (Q_e) และความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับในน้ำ (C_e) นั่นคือว่าโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับถูกดูดติดที่ผิวของสารดูดซับเพียงชั้นเดียว (Monolayer) อย่างไรก็ตามกระบวนการดูดซับอาจจะเกิดขึ้นแบบหลายชั้น (Multilayers) โดยโมเลกุลของสารดูดซับจะถูกดูดติดกับชั้นโมเลกุลก่อนหน้า (มันลิน , 2538) สมการที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ของการดูดซับที่ใช้นั้นมากได้แก่ (Faust and Aly, 1998)

2.2.3.1 สมการของแลงมัวร์ (Langmuir Adsorption Isotherm)

สมการของแลงมัวร์เป็นสมการที่อธิบายการดูดซับแบบชั้นเดียวที่มีสมมติฐานดังนี้

- 1) โมเลกุลจะถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวที่จำกัดของสารดูดซับ
- 2) แต่ละพื้นที่ที่ถูกดูดซับจะเกิดการดูดซับเพียงชั้นเดียว (monolayer)
- 3) พื้นที่ในแต่ละแห่งจะถูกจำกัดปริมาณของสารที่ถูกดูดซับด้วยสภาพทางเรขาคณิตของพื้นที่ผิวนั้นๆ
- 4) พลังงานในการดูดซับจะมีค่าเท่ากันในทุกบริเวณพื้นผิวของสารดูดซับ นอกจากนี้โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับจะไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระตลอดพื้นผิวสารดูดซับหรือข้ามไปยังโมเลกุลอื่นได้

สมการของแลงมัวร์แสดงได้ดังนี้

$$X = X_m b C_e / (1 + b C_e)$$

โดยที่ $X = x/m$ หรือปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับ (x) ต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ (m)

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่ภาวะสมดุลย์

X_m = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับที่ต้องการสำหรับความสามารถในการเกิดการดูดซับเพียงชั้นเดียว (monolayer)

b = ค่าคงที่ของระบบ

2.2.3.2 สมการของฟรอยด์ลิช (Freundlich Adsorption Isotherm)

สมการของฟรอยด์ลิชเป็นสมการการดูดซับทางคณิตศาสตร์ที่ใช้กันอย่างกว้างขวางที่สุด มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$x / m = KC_e^{1/n}$$

โดยที่ x = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับ

m = น้ำหนักของสารดูดซับ

C_e = ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุลของตัวถูกละลาย

K = ค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับ

$1/n$ = ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานของการดูดซับ

2.2.3.3 สมการของบีอีที (BET Adsorption Isotherm)

สมการบีอีทีได้รับการพัฒนาโดย Brunauer, Emmett และ Teller ในการอธิบายการดูดซับแบบหลายชั้น(multilayers) ซึ่งพัฒนามาจากสมการของแลงมัวร์ มีสมมติฐานว่าแต่ละโมเลกุลในชั้นดูดซับชั้นแรก จะเป็นบริเวณที่โมเลกุลชั้นที่สองดูดติด เช่นเดียวกับชั้นต่อไป สมการแสดงการดูดซับของบีอีทีแสดงได้ดังนี้

$$X = X_m BC_e / (C_s - C_e) [1 + (B-1)C_e / C_s]$$

โดยที่ X = x/m หรือปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับ(x) ต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ(m)

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่ภาวะสมดุล

C_s = ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดซับที่อุณหภูมิหนึ่งๆ

X_m = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับที่ต้องการสำหรับความสามารถในการเกิดการดูดซับเพียงชั้นเดียว (monolayer)

B = ค่าคงที่ของระบบ

2.2.4 ประโยชน์ของการดูดซับ (มันสิน , 2538)

สารดูดซับที่เป็นที่รู้จักกันดีคือถ่านกัมมันต์ซึ่งได้ถูกใช้ในการบำบัดน้ำเสียเพื่อประโยชน์ดังต่อไปนี้

- 1) กำจัดสี กลิ่น รส ซึ่งเกิดจากสารอินทรีย์ เช่น กรดฮิวมิก และ กรดฟัลวิก
- 2) กำจัดคลอรีน
- 3) กำจัดโลหะหนักต่างๆ
- 4) กำจัดยาฆ่าแมลง
- 5) กำจัดผงซักฟอก
- 6) กำจัดฟีนอลและสารประกอบฟีนอล
- 7) กำจัดไฮโดรคาร์บอน

ส่วนในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียด้วยถ่านกัมมันต์นั้นสามารถกำจัดตะกั่วให้เหลือเพียง 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร จากความเข้มข้นเริ่มต้น 6 มิลลิกรัมต่อลิตร (Patterson, 1985) แม้ว่าถ่านกัมมันต์จะเป็นสารดูดซับที่มีประสิทธิภาพดี แต่มีราคาค่อนข้างแพง จึงได้มีการใช้สารชนิดอื่นเป็นสารดูดซับแทน ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จะนำไคโตแซนมาใช้ในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์

2.3 ไคตินและไคโตแซน (Chitin and Chitosan)

2.3.1 สมบัติทั่วไปของไคตินและไคโตแซน

ไคตินเป็นโพลีเมอร์ธรรมชาติที่พบมากเป็นอันดับที่ 2 ของโลกรองจากเซลลูโลส (Cellulose) มีชื่อทางเคมีว่า poly- β (1,4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glucose มีสูตรทั่วไปคือ $(C_8H_{13}NO_5)_n$ พบมากในเปลือกของปู กุ้ง กระดองของปลาหมึก และ ที่ผนังเซลล์ของ Fungi บางชนิด (Rorner และคณะ, 1993) โดยที่ไคตินบริสุทธิ์จะมีสีขาวไม่ละลายน้ำ กรดอ่อน ด่างอ่อน และ ตัวทำละลายอินทรีย์ส่วนใหญ่ แต่ละลายในกรดฟอร์มิกบริสุทธิ์ สารละลายไฮโปคลอไรต์ และกรดแอมโมเนียม นอกจากนี้ยังพบว่าสารละลาย N,N-dimethylacetamide (DMAc)- 5% LiCl และ N-methyl-2-pyrrolidone (NMP)- 5% LiCl สามารถละลายไคตินได้โดยไม่ทำลายโครงสร้างของไคติน (อัศวิน, 2539) ตารางที่ 2.5 แสดงแหล่งกำเนิดต่างๆของไคตินที่มีอยู่ในธรรมชาติ

ไคโตแซนเป็นสารโพลีเมอร์ประจวบวงที่มีชื่อทางเคมีว่า poly- β (1,4)-2-amino-2-deoxy-D-glucose เป็นอนุพันธ์ของไคตินที่เกิดจากกระบวนการแยกหมู่อะซิติดิล(N-deacetylation)

ตารางที่ 2.5 แหล่งกำเนิดต่างๆของไคตินที่มีอยู่ในธรรมชาติ (Muzzarelli, 1977)

Distribution and chemical features of the diverse chitinous structures in living organisms					
Organisms	Examples	Structure	Minerals	Chitin % org.	Other organic constituents
FUNGI					
Ascomyceta	<i>Aspergillus flavus, fumigatus, niger, Penicillium notatum, Neurospora crassa.</i>				
Basidiomyceta	<i>Agaricus campestris, Armillaria mellea, Boletus edulis, Schizophyllum commune.</i>	cell walls and structural mem-		traces	glucans, mannan or
Phycomyceta	<i>Blastocladiella emersonii, Mucor rouxii, Mortierella vinacea, Phycomjees Blakesleanus, Rhizopus rhizopodiiformis, Apodachlya.</i>	brannes of mycellia stalks and spores		to 45	other polysaccharides
Imperfecti	<i>Candida albicans, Alternaria kikuchiana</i>				
ALGAE					
Cholorophyceae	<i>Ulva lactuca, Valonia ventricosa.</i>			+	cellulose
PROTOZOA					
Rhizopoda	<i>Pelomyza</i>	cyst wall		+	-
	<i>Plagiopyxidae</i>	shell	silica	+	-
	<i>Allogromia</i>	shell	iron	+	proteins, lipids
	<i>Vasicola ciliata</i>	cyst wall		+	proteins
CNIDARIA					
Hydrozoa					
Hydroidea		perisarc		3-30	α proteins (tanned)
Milleporina	<i>Millepora alcicornis</i>	coenosteum	CaCO ₃	+	α -
Siphonophora		pneumatophore		+	α -
Anthozoa	<i>Metridium, Pocillopora</i>	"skeleton"	CaCO ₃	+	proteins
Scyphozoa	<i>Aurelia</i>	podocyst		+	proteins
ASCHELMINTES					
Rotifera		egg inner membr.		14	proteins
Nematoda	<i>Ascaris lombricoides</i>	egg middle membr.		16	proteins
Acanthocephala		egg capsule		+	-
Priapulida	<i>Priapulus caudatus</i>	cuticle		+	proteins
ENDOPROCTA	<i>Pedicellina cernua</i>	cuticle		+	tanned proteins
BRYOZOA	<i>Chnstaella mucedo</i>	ectocyst	(CaCO ₃)	2-6	proteins
PHARONIDA		tubes		13	proteins
BRACHIOPODA					
Articulata		stalk cuticle		4	-
inarticulata		stalk cuticle		+	ψ collagen
		shell	CaCO ₃	29	β -
		hooked chaetae		+	-
ENHIURIDA					
ANNELIDA					
Polychaeta	<i>Aphrodite, Amphinome</i>	chaetae		20-38	β quinone tanned protein:
Eunicidae		jaws		03	proteins
Oligochaeta	<i>Lombricus terrestris</i>	chaetae		+	β
all		peritrophic membr.		+	proteins
MOLLUSCA					
Polyplacophora	<i>Chiton</i>	shell plates	CaCO ₃	12	proteins
		radula	iron	+	proteins
Gastropoda	<i>Helix pomatia</i>	mother of pearl	CaCO ₃	3-7	conchiolin
		radula	iron silica	20	α tanned proteins
		jaws		+	tanned proteins
Cephalopoda	<i>Sepia Officinalis, Nautilus pompilius, Loligo palsei, Octopus vulgaris, Omnatostrephes sagittatus</i>	calcified shell	CaCO ₃	3-26	β conchiolin
		pen		18	β conchagen
		jaws and radula		20	γ tanned proteins
		stomach cuticle		ψ	
Lamellibranchia	<i>Nucula nitida, Ostrea Verginica, Venus Mercenaria mercenaria</i>	shells	CaCO ₃	up to 8	conchiolin
		gastric shield		17	-
ARTHROPODA					
Crustacea	<i>Palinurus vulgaris, Homarus vulgaris, Cancer magister, pagarus, carcinus meanas, Astacus fluviatilis, Euphausia superba.</i>	calcified cuticle inter-segmental membrane	CaCO ₃	58-85	α
			CaCO ₃	48-80	α
Insecta	<i>Drosophila melanogaster, Lugasta migratoria, Periplaneta americana, Bombyx mori, Calliphora sp., Sareophaga bullata, Tenebrio molitor, Schistocerca gregaria</i>	hardened cuticle		20-60	α
		hardened cuticle		20-60	α
		unhardened cuticle		20-60	α

ออกจากไคตินเกิดเป็นหมู่อะมิโนอิสระที่สามารถรับโปรตรอนและสามารถทำให้โพลีเมอร์ที่ได้มีประจุรวมเป็นบวก ไคโตแซนจึงมีคุณสมบัติที่ละลายได้ในสารละลายซึ่งมีพีเอชในช่วงที่เป็นกรด (ต่ำกว่า 5.5) ได้แก่ สารละลายกรดอินทรีย์เจือจาง เช่น กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดแกลกอลิก กรดมาลิก กรดซัคซินิก กรดแลกติก กรดไพรูวิก กรดมาลิก กรดทาร์ทาริก กรดซิตริกและกรดไฮโปคลอริกเจือจาง ในกรดเปอร์คลอริก กรดไฮโดรคลอริกและกรดไนตริกจะละลายได้เล็กน้อย ส่วนในกรดฟอสฟอริกและกรดซัลฟูริกจะไม่ละลาย (Onsøyen and Skaugrud, 1990)

ไคโตแซนไม่ละลายน้ำแต่สามารถละลายได้ในรูปเกลือของกรดหลายชนิด ยกเว้น เกลือซัลเฟต และ เกลือซัลไฟด์ ไคโตแซนสามารถละลายในได้ในส่วนผสมระหว่างกลีเซอรอลและน้ำ (3:1) ที่มีกรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 1.0

2.3.2 ประโยชน์ของไคตินและไคโตแซน

1) ด้านการแพทย์และเภสัชวิทยา

ไคโตแซนสามารถใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตยาห้ามเลือด แคปซูลบรรจุกา ยา ลดคลอเรสเตอรอล (วราพร, 2541) วัสดุเชื่อมหรือตัดกระดูก ผงงาไคเทียม รวมถึงการนำไปผลิตคอนแทคเลนส์เนื่องจากไคโตแซนมีคุณสมบัติในการยอมให้ออกซิเจนผ่านเข้าและออกได้ดีโดยไม่เกิดอาการระคายเคืองต่อสายตา (Brzeski, 1987)

2) ด้านอุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์

มีการใช้ไคโตแซนเป็นส่วนผสมในการทำเครื่องสำอางค์ครั้งแรกในปีค.ศ.1969 โดยที่บริษัทในประเทศญี่ปุ่นและเยอรมันได้ผลิตเกลือของไคโตแซนซึ่งสามารถละลายน้ำเพื่อใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องสำอางค์สำหรับเส้นผมมานานประมาณ 10 ปี โดยอาศัยคุณสมบัติการเป็นสารให้ความหนืดสำหรับเป็นส่วนผสมของครีม ส่วนในประเทศอิตาลีได้มีการผลิตเอ็นคาร์บอซี บิวทิว-ไคโตแซน แทนการใช้กรดไฮยาลูโรนิก สำหรับผลิตภัณฑ์แชมพู สบู่เหลว ยาสีฟัน ครีม และ โลชั่น (Nicol, 1991)

3) ด้านอุตสาหกรรมอาหาร

เนื่องจากการที่ไคโตแซนมีความสามารถในการสร้างตะกอนและรวมตะกอนกับโปรตีนได้ดี ดังนั้นในอุตสาหกรรมอาหารที่มีส่วนประกอบของโปรตีนจึงมีการใช้ประโยชน์จากไคโตแซนในการกำจัดโปรตีนออกจากน้ำเสีย(Bough, 1976)

ส่วนในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มน้ำที่มีส่วนผสมของแอปเปิ้ลและแครอท มีการนำโคโตแซนมาใช้ในการกำจัดเบต้าแคโรทีนและกรดออกจากร้าน้ำเสียเช่นกัน (Imeri and Knorr, 1988 and Soto และคณะ, 1989)

4) ด้านอุตสาหกรรม

มีการนำโคโตแซนมาทำเป็นฟิล์มห่อหุ้มอาหารโดยการละลายโคโตแซนในกรดฟอร์มิก หรือกรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 2 (นน./นน.) แล้วนำมาขึ้นรูปบนแผ่น โพลีเอทิลีนหรือแผ่นแก้ว จากนั้นก็ทำให้แห้ง ฟิล์มที่ได้มีลักษณะเหนียว ใส ยืดหยุ่น ทนอุณหภูมิได้สูงและสามารถรับประทานได้ (อัศวิน, 2539)

โคโตแซนสามารถผลิตเป็นแผ่นกรองรีเวอร์สออสโมซิสได้ โดยการนำโคโตแซนมาละลายในกรดอะซิติกร้อยละ 2 (นน./นน.) แล้วแผ่เป็นแผ่นบางๆบนแผ่นกระจก จากนั้นปรับพีเอชให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 10 (นน./นน.) แผ่นฟิล์มที่ได้จะมีความคงทนต่อต่าง (พีเอช 13) แต่ยังคงละลายในกรด ดังนั้นหากเติมหมู่อะซิติกให้หมู่อะมิโนอิสระ จะมีผลทำให้ฟิล์มมีความคงทนต่อกรด ซึ่งได้เปรียบกว่าแผ่นกรองที่ผลิตจากเซลลูโลสอะซิเตท (Yang and Zall, 1984)

5) ด้านการเกษตร

ได้มีการศึกษาพบว่าหากนำเมล็ดธัญพืชมาเคลือบด้วยโคโตแซนก่อนนำไปปลูก จะทำให้ปริมาณผลผลิตที่ได้สูงขึ้น ซึ่งวิธีดังกล่าวนี้ได้มีการทดลองนำโคโตแซนไปเคลือบเมล็ดข้าวสาลี ผลที่ได้เป็นที่น่าพอใจและมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในอเมริกา (วราพร, 2541)

6) ด้านบำบัดน้ำเสีย

เนื่องจากโคโตแซนเป็นสารโพลีเมอร์โมเลกุลยาวที่มีประจุบวก จึงมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการเป็นสารช่วยตกตะกอนอีกชนิดหนึ่งที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่โดยทั่วไปจะนิยมใช้ประโยชน์ในการกำจัดโลหะหนักออกจากร้าน้ำเสีย เนื่องจากโคโตแซนมีหมู่อะมิโน(Amino Group) โดยที่ไนโตรเจนในหมู่อะมิโนจะสร้างพันธะโคออดิเนชันกับโลหะหนักได้ดี (วราพร, 2541)

2.3.3 การกำจัดโลหะหนักออกจากร้าน้ำเสียด้วยโคโตแซน

หลังจากที่ได้มีการค้นพบคุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนักของโคโตแซน ก็ได้มีการนำโคโตแซนมาทดลองดูดซับโลหะหนักชนิดต่างๆ ออกจากน้ำเสียไม่ว่าจะเป็นแคดเมียม (Cd^{2+})(Rorrer and Hsien, 1995 and Jha และคณะ, 1998) โครเมียม (Cr^{3+})(Weltroski และคณะ, 1996)ปรอท (Hg^{2+})(Kawamura และคณะ, 1998) ทองแดง (Cu^{2+})(Ngha and Isa, 1998)และอื่นๆ

รูปแบบที่ใช้ก็มีหลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็นการใช้โคโตแซนในรูปสารละลายซึ่งจะมีความสามารถในการกำจัดโลหะหนักน้อยกว่าการใช้ในรูปแบบผง (วรภาพ, 2541) แต่เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการนำโคโตแซนมาทำเป็นแบบเม็ด (Rorrer and Hsien, 1995 and Kawamura และคณะ, 1998) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับซึ่งปรากฏว่าได้ผลดีกว่าการใช้ในรูปแบบผง รวมถึงความพยายามในการเพิ่มหมู่ไอออนต่างๆเข้าไปในโคโตแซนเพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับ ซึ่งผลที่ได้ก็ทำให้ความสามารถในการดูดซับโลหะหนักแต่ละชนิดของโคโตแซนเพิ่มขึ้น (Ni and Xu, 1996)

แต่ก็มีนักวิจัยบางคน (Rorrer and Hsien, 1995 and Weltroski และคณะ, 1996) พยายามมุ่งเน้นไปในทางแก้ไขความสามารถในการละลายที่มากเกินไปของโคโตแซนในช่วงพีเอชที่เป็นกรดจนทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลง จะเห็นได้ว่าคุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนักของโคโตแซนนี้น่าสนใจมากเนื่องจากโคโตแซนผลิตได้จากวัสดุที่มีราคาถูก สามารถแยกโลหะหนักกลับมาใช้ใหม่ได้และยังมีแนวโน้มที่จะพัฒนาทั้งรูปแบบและความสามารถไปได้อีกมาก

จนกระทั่งมีการพบปัญหาในการตกตะกอนของโลหะหนัก เนื่องจากเกิดสารประกอบเชิงซ้อนบางประเภทของโลหะหนักในน้ำเสียที่มีความแข็งแรงมากจนไม่สามารถจะกำจัดออกด้วยวิธีการตกตะกอนได้ จึงมีนักวิจัยบางคนได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดสารประกอบเชิงซ้อนของทองแดง(Cu^{2+}) ด้วยโคโตแซน (Wu และคณะ, 1999) ซึ่งผลที่ได้ก็เป็นที่น่าพอใจแต่ยังมีโลหะหนักอีกหลายประเภทที่มีแนวโน้มที่จะเกิดปัญหาเหล่านี้อีกในอนาคตซึ่งตะกั่วก็เป็นหนึ่งในนั้นด้วยเช่นกัน

เนื่องจากยังไม่ได้มีการศึกษาอย่างจริงจังถึงความสามารถของโคโตแซนในการดูดซับตะกั่วที่อยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนบางประเภทที่แข็งแรง ดังนั้นในการศึกษารั้งนี้จึงเลือกใช้เอ็ดดีทีเอ(EthyleneDiamineTetraacetic Acid) เพื่อใช้ในการสร้างสารประกอบเชิงซ้อนกับตะกั่ว เนื่องจากเอ็ดดีทีเอเป็นสารคีเลตที่ได้รับการยอมรับในปัจจุบันว่าสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่แข็งแรงกับโลหะหนักได้หลายประเภท จากนั้นใส่โคโตแซนลงไปเพื่อทดสอบความสามารถในการดูดซับที่พีเอชต่างๆและทำการเติมโซเดียมไนเตรท($NaNO_3$) เพื่อดูผลกระทบที่เกิดขึ้นกับกระบวนการดูดซับเนื่องจากการเพิ่มความแรงไอออน(Ionic Strength) เพื่อใช้ในการอธิบายถึงกลไกการดูดซับในแต่ละช่วงพีเอชว่าเป็นการดูดซับแบบกายภาพหรือแบบเคมี

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Jha และคณะ (1988) ได้ทำการศึกษาการดูดซับแคดเมียม(Cd^{2+}) ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยไคโตแซนชนิดเกล็ด จากการทดลองพบว่าความสามารถในการดูดซับของไคโตแซนจะขึ้นอยู่กับขนาดของไคโตแซนและพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ โดยที่ความสามารถในการดูดซับจะสูงขึ้นหากมีการลดขนาดของไคโตแซนและความสามารถในการดูดซับจะสูงสุดที่พีเอช 8.3 นอกจากนี้หากมีการเติมอีดีทีเอ(EthyleneDiamineTetraacetic Acid) หรือสังกะสีลงไปก็จะทำให้ความสามารถในการดูดซับแคดเมียมลดลงด้วย แต่การเติมแคลเซียม แมกนีเซียม ไบคาร์บอเนต และคลอไรด์ ไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับของไคโตแซน

Mitani และคณะ (1995) ได้ทำการศึกษาผลของความแรงไอออน (Ionic Strength)ที่มีต่อการดูดซับโคบอลต์และนิกเกิลด้วยไคโตแซนชนิดเม็ดโดยใช้โปตัสเซียมซัลเฟต (Potassium Sulfate) และโปตัสเซียมคลอไรด์(Potassium Chloride) ในการปรับความแรงไอออนในสารละลาย จากการทดลองพบว่าเมื่อความแรงไอออนเพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการดูดซับโคบอลต์และนิกเกิลของไคโตแซนเพิ่มขึ้น ซัลเฟตในสารละลายจะช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับโคบอลต์และนิกเกิลของไคโตแซน

Rorrer and Hsien (1995) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของกระบวนการ Acylation และการทำโครงร่างตาข่าย(Crosslinking) ที่มีต่อความสามารถในการดูดซับแคดเมียม(Cd^{2+})ของไคโตแซน การทดลองในครั้งนี้ได้นำไคโตแซนมาผ่านกระบวนการเพื่อเพิ่มความพรุนโดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า Aqueous Phase Inversion เพื่อทำให้ไคโตแซนเป็นเม็ด(gel beads) จากนั้นก็นำไปผ่านกระบวนการ Freeze Drying เพื่อให้ไคโตแซนแข็งตัว โดยที่จะมีขนาดของไคโตแซนประมาณ 3 มม.

หลังจากที่ได้ไคโตแซนชนิดเม็ดแล้วก็ได้ทำการเพิ่มคุณสมบัติของไคโตแซนอีกสองขั้นตอนดังนี้

1) ทำการ Homogeneous Acylation ที่หมู่อะมิโนของไคโตแซนด้วย Nonanoyl Chloride ก่อนขั้นตอนที่จะทำให้เป็นเม็ด

2) ทำการเพิ่มโครงร่างตาข่าย(Crosslink Chains)ลงไปในไคโตแซนด้วย Glutaric Dialdehyde หลังขั้นตอนที่จะทำให้เป็นเม็ด แต่ทำก่อนขั้นตอน Freeze Drying

เมื่อนำไปทดลองดูดซับโครเมียมในสารละลายพบว่า

หลังจากผ่านกระบวนการ Acylation จะทำให้

1) ความสามารถในการดูดซับแคดเมียมของไคโตแซนเพิ่มขึ้นจาก 169 มิลลิกรัม/กรัมไคโตแซน เป็น 216 มิลลิกรัม/กรัมไคโตแซน

2) ความสามารถในการละลายกรดลดลงเล็กน้อย

และหลังจากผ่านกระบวนการเพิ่มโครงร่างตาข่าย(Crosslinking) จะทำให้

1) พื้นที่ผิวภายในเพิ่มสูงขึ้น

2) ไม่ละลายในกรดอะซิติกที่ pH 2.36

3) ความสามารถในการดูดซับแคดเมียมจะลดลง

4) การทนต่อแรงอัดของไคโตแซนจะลดลง

Inoue และคณะ (1997) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติการดูดซับเหล็ก(Fe^{3+}) ทองแดง(Cu^{2+}) นิกเกิล(Ni^{2+}) สังกะสี(Zn^{2+}) อลูมิเนียม(Al^{3+}) และตะกั่ว(Pb^{2+}) ด้วยไคโตแซนที่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วยอีดีทีเอ(EDTA) และดีทีพีเอ(DTPA) ผลการทดลองพบว่าไคโตแซนทั้งสองชนิดสามารถดูดซับตะกั่วออกจากสารละลายที่มีสังกะสีละลายปะปนอยู่ที่พีเอชต่ำได้ดีเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนักกับ Phosphonamidic Acid-type Chelating Resin ซึ่งเป็นเรซินที่นิยมใช้ในการดูดซับโลหะหนักพบว่าไคโตแซนที่มีการปรับปรุงคุณภาพทั้งสองชนิดจะมีความสามารถในการดูดซับดีกว่า

ความสามารถในการดูดซับตะกั่วของไคโตแซนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพทั้งสองชนิดมีค่าดังนี้ 1.5 มิลลิกรัม / กิโลกรัมแห้งของไคโตแซนชนิดอีดีทีเอ และ 1.8 มิลลิกรัม / กิโลกรัมแห้งของไคโตแซนชนิดดีทีพีเอ

Ngah and Isa (1998) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับทองแดง(Cu^{2+}) ของไคโตแซนโดยนำมาเปรียบเทียบกับเรซิน 2 ชนิดที่นิยมใช้ในการกำจัดทองแดงในสารละลาย ได้แก่ Dowex A-1 และ Zerolite 225 เรซินทั้ง 3 ชนิดนั้นนำมาทดลองกำจัดทองแดงในสารละลายที่มีความเข้มข้นของทองแดง 100 ppm ในช่วงพีเอช 2-10 จากการทดลองพบว่าพีเอชจะมีผลต่อความสามารถในการดูดซับทองแดงของเรซินทั้ง 3 ชนิด ความสามารถในการดูดซับสูงสุดของเรซินแต่ละชนิดมีค่าดังนี้

4,700 ไมโครกรัมทองแดง / กรัมไคโตแซน ที่พีเอช 6.2

2.3 ไมโครกรัมทองแดง / กรัม Dowex A-1 ที่พีเอช 8.6

440 ไมโครกรัมทองแดง / กรัม Zerolite 225 ที่พีเอช 4.1

Bailey และคณะ (1999) ได้ทำการรวบรวมเอกสารทางวิชาการต่างๆที่มีการศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของวัสดุดูดซับที่มีราคาถูกซึ่งบางชนิดก็ถูกพัฒนาเพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับ ได้แก่ เปลือกไม้ (bark) ไคโตแซน (chitosan) ซีโอไลท์ (zeolite) ดินเหนียว (clay) ถ่านพีท (peat moss) สาหร่าย (seaweed) และอื่นๆ

ความสามารถสูงสุดในการดูดซับโลหะแต่ละชนิดมีดังนี้

1,587	มิลลิกรัมตะกั่ว (Pb^{2+}) / กรัมลิกนิน
796	มิลลิกรัมตะกั่ว (Pb^{2+}) / กรัมไคโตแซน
1,123	มิลลิกรัมปรอท (Hg^{2+}) / กรัมไคโตแซน
1,000	มิลลิกรัมปรอท (Hg^{2+}) / กรัมฝ้ายซีพีอีไอ (CPEI cotton)
92	มิลลิกรัมโครเมียม (Cr^{3+}) / กรัมไคโตแซน
76	มิลลิกรัมโครเมียม (Cr^{3+}) / กรัมถ่านพีท
558	มิลลิกรัมแคดเมียม (Cd^{2+}) / กรัมไคโตแซน
215	มิลลิกรัมแคดเมียม (Cd^{2+}) / กรัมสาหร่าย

Bassi และคณะ (1999) ได้ทำการศึกษาผลของกรดซิตริก (Citric) และ กรดออกซาลิก (Oxalic) ต่อการดูดซับโลหะหนักของไคโตแซนแบบเกล็ด (Chitosan Flake) โลหะหนักที่ใช้ในการทดลองได้แก่ สังกะสี (Zn^{2+}) ทองแดง (Cu^{2+}) แคดเมียม (Cd^{2+}) และตะกั่ว (Pb^{2+}) จากการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นของกรดทั้งสองชนิด ในสารละลายมากกว่า 10^{-2} โมล / ลิตร จะทำให้ความสามารถในการดูดซับโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดของไคโตแซนลดลงเป็นอย่างมากโดยที่กรดซิตริกจะมีผลมากกว่ากรดออกซาลิกเล็กน้อย

Wu และคณะ (1999) ได้ทำการศึกษาผลของพีเอชที่มีต่อการดูดซับทองแดง (Cu^{2+}) ของไคโตแซนในสารละลายที่มีสารคีเลต (Chelating Agents) โดยสารคีเลตที่ใช้ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ อีดีทีเอ (EDTA), กรดซิตริก (Citric Acid), กรดทาทาริก (Tartaric Acid), โซเดียมกลูโคเนต (Sodium Gluconate) โดยจำนวนโมลของสารคีเลตที่เติมลงไปจะเท่ากับจำนวนโมลของทองแดงที่มีอยู่ในน้ำล้าง (equimolar) ความเข้มข้นของทองแดงที่ใช้ในการทดลองจะอยู่ระหว่าง 0.3-4.5 โมล / ลิตร ทดลองในช่วงพีเอช 2-10 โดยรักษาอุณหภูมิให้คงที่ที่ $25^{\circ}C$ ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสูงสุดมีดังนี้

- 0.59 มิลลิวกรัม / กิโลกรัม ไคโตแซน เมื่อใส่ที่ดีที่เอที่พีเอช 3.1-4.2
- 2.60 มิลลิวกรัม / กิโลกรัม ไคโตแซน เมื่อใส่กรดซิตริกที่พีเอช 5.0-5.8
- 4.29 มิลลิวกรัม / กิโลกรัม ไคโตแซน เมื่อใส่กรดทาทาริกที่พีเอช 5.0-6.0
- 2.48 มิลลิวกรัม / กิโลกรัม ไคโตแซน เมื่อใส่โซเดียมคลอไรด์ที่พีเอช 5.2-5.8

Jaafari และคณะ (2001) ได้ทำการศึกษาการกำจัดไนเตรต(NO_3^-) ด้วยไคโตแซน จากการทดลองพบว่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดไนเตรตคือช่วงระหว่าง 3 ถึง 5 เมื่อเพิ่มปริมาณไนเตรตก็จะทำให้ความสามารถในการกำจัดเพิ่มขึ้น กราฟการดูดซับที่สภาวะสมดุล (Adsorption Isotherm) เป็นกราฟเส้นตรง และเมื่อเพิ่มฟลูออไรด์ลงไปในส่วนละลายจะทำให้ความสามารถในการกำจัดไนเตรตลดลง ส่วนคลอไรด์และซัลเฟตไม่มีผลต่อการกำจัดไนเตรตของไคโตแซน

Schmuhl และคณะ (2001) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับทองแดง (Cu^{2+}) และโครเมียม(Cr^{6+}) ด้วยไคโตแซน จากการทดลองพบว่าความเร็วรอบในการเขย่ามีผลการดูดซับทองแดง แต่ไม่มีผลต่อการดูดซับโครเมียม พีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมียมเท่ากับ 5 ในขณะที่ทองแดงพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับจะอยู่ในช่วง 3 ถึง 5

การดูดซับโครเมียมสามารถอธิบายด้วย Langmuir Isotherm ในขณะที่การดูดซับทองแดงสามารถอธิบายด้วย Freundlich Isotherm