

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 สารประกอบไนโตรเจน

ไนโตรเจนมีความสำคัญต่อระบบนิเวศวิทยาของแหล่งน้ำมาก เพราะเป็นส่วนประกอบของอินทรีย์สารหลายชนิดที่มีความสำคัญต่อการเป็นอยู่ของพืชและสัตว์ เช่น เป็นส่วนประกอบของโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมันบางชนิด (เปี่ยมศักดิ์, 2525) ในธรรมชาติไนโตรเจนเกิดสารประกอบได้หลายแบบเพราะไนโตรเจนมีหลายวาเลนซ์ด้วยกัน การเปลี่ยนแปลงรูปของสารประกอบไนโตรเจนนี้ ส่วนใหญ่เกิดขึ้นโดยสิ่งมีชีวิตและขึ้นกับสภาวะที่มีหรือไม่มีออกซิเจน แบ่งได้เป็น 2 ประเภท

1) สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน (Organic nitrogen compound) คือ สารประกอบไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบหรือโครงสร้างของพืชและสัตว์ สัมผัสถ่ายจากสัตว์ ซากเน่าเปื่อย และสารจากการย่อยสลายซากสิ่งมีชีวิต ได้แก่ โปรตีน คลอโรฟิลล์ กรดอะมิโนยูเรียและกรดยูริก เป็นต้น

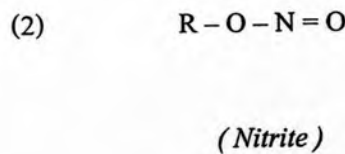
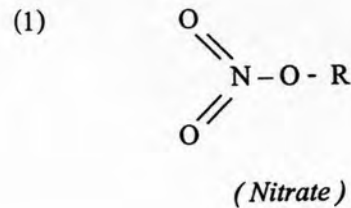
2) สารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน (Inorganic nitrogen compound) ได้แก่ แอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) ไนไตรท์ ( $\text{NO}_2^-$ ) และไนเตรท ( $\text{NO}_3^-$ ) ซึ่งเกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน อันเป็นการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนจากอินทรีย์สารเป็นอนินทรีย์สาร โดยกลุ่มของแบคทีเรียในดินและน้ำที่มีชื่อว่า Nitrifying bacteria ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน ซึ่งเป็นการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและน้ำ เพราะไนเตรทเป็นสารอาหารที่ความต้องการพืชน้ำ ในทางกลับกันหากขาดออกซิเจนจะเกิดปฏิกิริยาคีไนตริฟิเคชัน โดย Denitrifying bacteria ทำให้สูญเสียไนโตรเจนในดินและน้ำ

##### 2.1.1 ไนเตรทและไนไตรท์

ไนเตรทเป็นเกลือของกรดไนตริกซึ่งเป็นกรดแก่ เกลือไนเตรทที่ใช้ในทางการเกษตรและอุตสาหกรรม ได้แก่ เกลือไนเตรทของโซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แอมโมเนียม ทองแดง เหล็ก อลูมิเนียม โครเมียม ปรอทเงิน บิสมัท แบเรียม สตรอนเทียม และ ตะกั่ว

ไนไตรท์เป็นเกลือของกรดไนตริกซึ่งเป็นกรดอ่อน สารไนไตรท์ถูกออกซิไดส์เป็นสารไนเตรทได้ง่าย ดังนั้นในสิ่งแวดล้อมมักพบไนไตรท์ในปริมาณต่ำ

### สูตรโครงสร้าง



#### 2.1.1.1 ไนเตรทและไนไตรท์ในแหล่งธรรมชาติ

ไนเตรทในดิน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดินเกิดขึ้นเนื่องจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น โปรตีนในพืช สัตว์ และของเสียจากสัตว์ โดยจุลินทรีย์แอมโมเนียออกไซด์จะถูกออกซิไดส์เป็นไนไตรท์และไนเตรท การเกิดไนเตรทและไนไตรท์ตามธรรมชาติจึงเป็นผลเนื่องมาจากวัฏจักรของไนโตรเจน แต่ไนไตรท์โดยปกติจะพบในปริมาณต่ำมาก ไนไตรท์เป็นเกลือของกรดไนตริกซึ่งเป็นกรดอ่อน สารไนไตรท์ถูกออกซิไดส์เป็นสารไนเตรทได้ง่าย ดังนั้นในสิ่งแวดล้อมมักพบไนไตรท์ในปริมาณต่ำ

ไนเตรทและไนไตรท์พบได้ตามธรรมชาติ โดยไนโตรเจนในบรรยากาศสามารถที่จะเข้าสู่แหล่งน้ำได้โดยตรงและถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสารประกอบไนโตรเจนหลายรูป เช่น แอมโมเนีย ไนเตรท และไนไตรท์ ในระบบนิเวศน์สารประกอบไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปต่างๆ ได้หลายรูป กระบวนการเหล่านี้เกิดขึ้นได้ทั้งที่อาศัยและไม่ต้องอาศัยสิ่งมีชีวิตเป็นผู้ดำเนินการ ปฏิริยาที่อาศัยสิ่งมีชีวิตเป็นผู้ดำเนินการได้แก่ การรับเข้าไว้ทางชีวภาพ (Biological assimilation) การย่อยสลาย (Decomposition) ซึ่งเกิดขึ้นเป็นวงจร นอกจากนี้ไนโตรเจนอาจถูกทำให้ออกไปจากระบบได้โดยกระบวนการทางชีวภาพ ซึ่งจะสลายไนเตรทเป็นไนโตรเจนหรือไนตรัสออกไซด์ ( $\text{N}_2\text{O}$ ) เข้าสู่บรรยากาศหรือมีการหมุนเวียนตามวัฏจักรไนโตรเจนต่อไป

### 2.1.1.2 ไนเตรทและไนโตรที่ที่เกิดขึ้นเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์

#### 1) ปุ๋ย

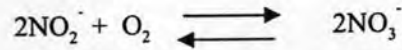
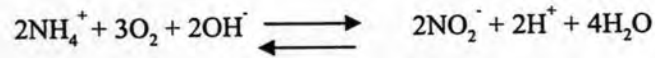
ปุ๋ยสังเคราะห์เป็นแหล่งที่พบไนเตรทมากในสิ่งแวดล้อม ได้แก่ สารประกอบไนเตรทของแอมโมเนีย แคลเซียม โพแทสเซียม และโซเดียมรวมทั้งยูเรีย ปริมาณการผลิตปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มขึ้นประมาณ 3 เท่า จาก 15.8 ล้านตัน ในปี ค.ศ. 1961/62-1965/66 เป็น 42.3 ล้านตัน ในปี ค.ศ. 1974/75 เนื่องจากพืชไม่สามารถใช้ไนโตรเจนในดินได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นจึงมีบางส่วนที่สะสมในดินและไหลลงสู่แหล่งน้ำ Sawyer (1947) รายงานว่าไนโตรเจนในน้ำที่ไหลมาจากพื้นที่ซึ่งใช้ปุ๋ย มีปริมาณสูงกว่าพื้นที่ที่ไม่ได้ใช้ปุ๋ยในบริเวณเดียวกันถึง 3-10 เท่า อย่างไรก็ตาม การศึกษาหาปริมาณไนเตรทในแม่น้ำในอังกฤษ ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปริมาณไนเตรทและปริมาณการใช้ปุ๋ยของพื้นที่ใกล้เคียง

#### 2) ของเสียจากสัตว์

การทำฟาร์มเลี้ยงสัตว์ก่อให้เกิดสารประเภทไนโตรเจน ซึ่งสามารถเปลี่ยนไปเป็นไนเตรทได้ ของเสียที่ได้จากวัว 7-8 ตัว สามารถนำมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพในพื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์เป็นจำนวนถึงเฮกเตอร์ และการใช้ในปริมาณมาก อาจก่อให้เกิดการสะสมของปริมาณไนเตรทในชั้นน้ำใต้ดินสูงกว่า 10 มก./ล. ปริมาณของไนเตรทจากของเสียจากมนุษย์ประเมินได้ว่ามีประมาณ 5 กก.ต่อคนต่อปี

นอกจากนี้สารประกอบไนโตรเจนจะถูกออกซิไดส์ได้สารประกอบที่มีแอมโมเนียเป็นส่วนใหญ่นอกจากแอมโมเนียจะมีความเป็นพิษโดยตรงต่อสิ่งมีชีวิตแล้ว ยังถูกออกซิไดส์ได้ง่ายและกลายเป็นไนโตรที่ที่มีความเป็นพิษสูงต่อสัตว์น้ำ โดยแอมโมเนียในแหล่งน้ำมีต้นกำเนิดมาจากสองแหล่งด้วยกัน คือ แอมโมเนียที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ไม่ว่าจะเป็นการทิ้งน้ำโสโครกจากบ้านเรือน และจากโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับแอมโมเนีย การเกษตรกรรมหรืออาจจะมาจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำโดยที่การกำจัดสารนี้ออกจากร่างกายอาจอยู่ในรูปของแอมโมเนียโดยตรงหรืออยู่ในรูปกรดยูริกหรือยูเรียขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์

ในสภาพแวดล้อมทั่วไป แอมโมเนียสามารถที่จะเปลี่ยนไปเป็นไนเตรทและไนโตรที่ไอออนได้โดยกระบวนการ Biological oxidation เรียกกระบวนการดังกล่าวนี้ว่ากระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอน คือ (รัชนี, 2533)



ปฏิกิริยาทั้งสองนี้อาศัยจุลินทรีย์ที่ต่างกัน โดยแบคทีเรียในสกุล *Nitrosomonas* จะสามารถใช้แอมโมเนียแล้วเปลี่ยนเป็นไนไตรท์ออกมาเมื่อใดก็ตามที่มีแอมโมเนียในปริมาณมากๆ จะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนไตรท์ นอกจากนั้นไนไตรท์อาจจะสร้างขึ้นได้จากปฏิกิริยารีดักชัน (reduction) ของไนเตรท ไนไตรท์จะถูกย่อยสลายอีกชั้นหนึ่งโดยการเติมออกซิเจน ซึ่งไนไตรท์จะถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรท แบคทีเรียที่ย่อยสลายไนไตรท์ในขั้นตอนนี้ได้แก่แบคทีเรียในสกุล *Nitrobacter* และถ้าเกิดสภาวะขาดออกซิเจนด้วยแล้ว จะเกิดปฏิกิริยาผันกลับไนเตรทเป็นไนไตรท์ ทำให้ปริมาณไนไตรท์เพิ่มขึ้นได้อีกทางหนึ่ง (Armstrong et al., 1976)

ไนไตรท์ ( $\text{NO}_2^-$ ) เป็นแอนไอออน (anion) ที่พบได้ทั่วไปตามธรรมชาติ ทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็มจัดเป็น Intermediate compound ที่ถูกสร้างขึ้นระหว่างกระบวนการไนตริฟิเคชันของแอมโมเนียและไนเตรท การใช้ปุ๋ยทางการเกษตรนับว่าเป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งส่งผลทำให้เกิดการปนเปื้อนของไนเตรทในแหล่งน้ำ นอกเหนือจากปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น บริเวณที่มีการเพาะปลูกและใส่ปุ๋ยจะมีเกลือไนเตรทในปริมาณมากโดยพืชจะสามารถใช้ไนเตรทในดินได้บางส่วน บางส่วนจะถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำ ในขณะที่บางส่วนเกิดคิไนตริฟิเคชันซึ่งเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่สลายไนเตรทเป็นไนโตรเจนและไนตรัสออกไซด์แล้วเข้าสู่บรรยากาศ นอกจากนี้ยังมีพืชบางชนิดที่พบว่ามีความเข้มข้นของเกลือไนเตรทสูง เช่น หัวแครอท ผักโขม กระเทียม หัวผักกาด ผักกะหล่ำ

### 3) พิษของไนไตรท์ต่อปลา

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า ไนไตรท์เป็นสารประกอบไนโตรเจนอีกชนิดหนึ่งที่มีความเป็นพิษสูงต่อสัตว์น้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสัตว์น้ำที่มีกระดูกสันหลัง (Russo et al, 1974) ความเป็นพิษของ ไนไตรท์นั้น ทำให้เกิดภาวะเมทฮีโมโกลบินีเมีย (methaemoglobinaemia) ซึ่งเป็นสภาวะที่ฮีโมโกลบินไม่สามารถรวมตัวกับออกซิเจนได้ เกิดจากมีการออกซิเดชัน (oxidation) ของ  $\text{Fe}^{2+}$  (ferrous form) ทำให้ไม่สามารถจับกับออกซิเจน ของฮีโมโกลบินตรงตำแหน่งที่ 6 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่จะจับกับออกซิเจนไปเป็น  $\text{Fe}^{3+}$  (ferric form) ทำให้ไม่สามารถจับกับออกซิเจนได้

ความสามารถในการลำเลียงออกซิเจนของเลือดไปยังเนื้อเยื่อต่างๆลดลง และถ้ามีเมทฮีโมโกลบินในปริมาณสูงจะทำให้เกิดการขาดออกซิเจนขึ้นได้ (Tomasso et al., 1979; Huey et al., 1980) เช่นเดียวกับสัตว์ชั้นสูงชนิดอื่นที่จะสังเกตได้ว่าเลือดจะมีสีน้ำตาล (Smith and Russo, 1975) โดยปกติฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดงมีหน้าที่นำออกซิเจนให้กับเซลล์โดยที่ ออกซิเจนจะรวมตัวกับฮีโมโกลบินกลายเป็นออกซีสีโมโกลบิน (oxyhaemoglobin) ซึ่งเป็นการรวมในแบบที่ออกซิเจนสามารถที่จะแยกออกจากฮีโมโกลบินได้ง่าย เพื่อผลในการนำส่งออกซิเจน

ในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ ไนโตรที่่จะรวมตัวกับไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) เกิดเป็นกรดไนตริก ( $HNO_2$ ) อยู่ในสภาวะสมดุล ดังสมการ (Russo, Thurston and Emerson, 1981)



#### 4) พิษของไนเตรทและไนไตรท์ในคน

ได้มีรายงานถึงความเป็นพิษของสารประกอบไนเตรทต่อคนเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1793 (Beck, 1909) การเกิดพิษเนื่องจากการได้รับสารไนเตรทหรือไนไตรท์ไม่ว่าจะได้รับจากอาหารหรือน้ำดื่มก็ตามถ้าได้รับในปริมาณที่มากหรือได้รับเป็นเวลานานก็มีผลทำให้เกิดภาวะเมทฮีโมโกลบินนีเมียได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเด็กทารก ภาวะเมทฮีโมโกลบินนีเมียที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะถูกรายงานว่าเกิดจากการได้รับสารไนเตรท ซึ่งไนเตรทเองไม่ได้เป็นตัวที่ทำให้เกิดพิษ แต่เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็นไนไตรท์และทำให้เกิดพิษตามมา โดยไนเตรทสามารถที่จะถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็นไนไตรท์ได้โดยแบคทีเรียที่อยู่ในกระเพาะอาหารและลำไส้ส่วนบน (upper gastrointestinal tract) หลังจากนั้นไนไตรท์จะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดแล้วมีผลไปออกซิไดส์ฮีโมโกลบิน ทำให้เกิดเมทฮีโมโกลบินได้ (Marshall and Marshall, 1945) ในคนปกติจะมีปริมาณเมทฮีโมโกลบินอยู่ 1% สมดุลกับฮีโมโกลบินปกติ 99%

อาการพิษจากไนเตรทหรือไนไตรท์คือ ทำให้หลอดเลือดแดงทั่วร่างกายขยายตัวและเกิดภาวะเมทฮีโมโกลบินสูงในเลือด พิษที่ร้ายแรงอีกอย่างหนึ่งคือเป็นต้นเหตุทำให้เกิดสารก่อมะเร็ง (carcinogen) ขึ้นภายในร่างกาย ความรุนแรงของการเกิดพิษขึ้นอยู่กับปริมาณไนเตรทหรือไนไตรท์ที่ร่างกายได้รับอาการมีดังนี้



- ผลต่อระบบทางเดินอาหาร กลืนไนเตรททำให้เกิดการระคายเคืองต่อกระเพาะอาหารและลำไส้ทำให้เกิดอาการปวดท้อง คลื่นไส้ อาเจียน ท้องเดิน ถ้าได้รับในปริมาณมากจะทำให้มีอาการอักเสบของกระเพาะอาหารและลำไส้ อาเจียน หรือ อุจจาระเป็นเลือดได้

- ผลต่อระบบกล้ามเนื้อและหลอดเลือด การออกฤทธิ์ของไนเตรทและไนไตรท์ทำให้กล้ามเนื้อเรียบคลายตัว รวมทั้งกล้ามเนื้อของผนังหลอดเลือด เชื่อกันว่ากลไกการออกฤทธิ์ของไนเตรทและไนไตรท์จะถูกเปลี่ยนเป็นไนตริกออกไซด์ (nitric oxide) ที่เซลล์ของกล้ามเนื้อเรียบแล้วไปทำปฏิกิริยากับ sulphydryl group เกิด s-nitrosothiols มีผลไปกระตุ้น guanylate cyclase ทำให้เกิดการคลายตัวของกล้ามเนื้อเรียบขึ้น (Ignarro and Gruetter, 1980) จะเกิดอาการปวดศีรษะ เนื่องจากการขยายตัวของหลอดเลือด หน้าแดงร้อนผ่าว เวียนศีรษะ ความดันโลหิตต่ำ หัวใจเต้นเร็ว เหงื่อออก เป็นลม

- การเกิดเมทธิโมโกลบินในเลือด โดยปกติแล้วไนเตรทจะไม่มีพิษแต่เมื่อถูกรีดิวซ์ให้อยู่ในรูปของไนไตรท์ โดยเอนไซม์ nitrate reductase ที่มีอยู่ในแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในกระเพาะอาหารและลำไส้ส่วนบน (Marshall and Marshall, 1945) ไนไตรท์ที่เกิดขึ้นจะมีฤทธิ์ไปออกซิไดส์ฮีโมโกลบินที่มี  $Fe^{2+}$  ในฮีมของฮีโมโกลบินให้เปลี่ยนเป็นเมทธิโมโกลบินที่มี  $Fe^{3+}$  ส่งผลทำให้โมเลกุลของฮีม (heme) ไม่สามารถจับกับออกซิเจน และนำออกซิเจนไปสู่เซลล์ต่างๆ ในร่างกายได้ จึงทำให้เกิดอาการตัวเขียวขึ้น (cyanosis)

ความเป็นพิษของไนเตรทและไนไตรท์ในร่างกายในการทำให้เกิดเมทธิโมโกลบินขึ้นอยู่กับปริมาณที่ร่างกายได้รับเข้าไปและการทำงานของ NADH-methaemoglobin reductase (cytochrome b<sub>5</sub> reductase) ในคนที่ขาดเอนไซม์นี้ โดยเฉพาะในเด็กอ่อนที่อายุต่ำกว่า 3 เดือนและเด็กเล็ก การทำงานของเอนไซม์นี้ยังไม่สมบูรณ์ จึงทำให้เกิดอาการพิษได้มาก แม้จะได้รับไนไตรท์ในปริมาณต่ำๆ ประกอบกับความเป็นกรดในกระเพาะอาหารต่ำ ส่งผลทำให้แบคทีเรียที่มีเอนไซม์ที่สามารถรีดิวซ์ไนเตรทเป็นไนไตรท์เจริญเติบโตได้ดี (แบคทีเรียชนิดนี้จะไม่เจริญเติบโตในภาวะที่เป็นกรด) ในประเทศไทยเคยมีรายงานการเกิดพิษจากโซเดียมไนไตรท์เมื่อปี พ.ศ. 2529 เด็ก 4 คน อายุ 1-3 ปี คืมน้ำที่มีโซเดียมไนไตรท์ผสมอยู่ ถูกนำส่งโรงพยาบาลด้วยอาการตัวเขียวทั้งตัว หัวใจเต้นเร็ว อ่อนเพลียมาก เลือดมีสีน้ำตาลช็อกโกแลต (รัตนพร ภิญญา สโมสร, 2529)

ไนไตรท์ที่ใช้อย่างแพร่หลายที่สุด ได้แก่ โซเดียมไนไตรท์ ซึ่งใช้ในกิจการต่างๆ ดังต่อไปนี้

- เป็นตัวเร่งให้คอนกรีตแข็งตัว
- ใช้ถนอมอาหารสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อ
- การผลิต azo dye
- เป็น oxidant สำหรับอุตสาหกรรมไอโอดีน
- ทำให้เหล็กแข็งตัวในการผลิตส่วนของเครื่องจักร
- ป้องกันการกัดกร่อนของโลหะในน้ำและน้ำเกลือใน boiler
- เป็นสารป้องกันการกัดกร่อนจากบรรยากาศ
- เป็นส่วนผสมใน lubricant coolant liquid และสารเคลือบผิวโลหะ
- ด้านเภสัชกรรม
- อุตสาหกรรมกระดาษ
- เป็นสารกำจัดวัชพืช

แหล่งสำคัญที่มนุษย์ได้รับไนเตรทคือน้ำ ไนเตรทในน้ำมีตั้งแต่ไม่พบเลยจนสูงกว่า 200 มก./ล. ในแหล่งน้ำของชุมชนหรือน้ำประปามักพบไนเตรทต่ำกว่า 10 มก./ล. ถ้าประมาณว่าแต่ละคนดื่มน้ำวันละ 2 ลิตร ปริมาณไนเตรทที่ได้รับแต่ละวันจะน้อยกว่า 20 มก. โดยเกณฑ์มาตรฐานของปริมาณไนเตรทในน้ำของประเทศไทย แสดงในตารางที่ 2.1

### 2.1.1.3 ข้อเสนอแนะและมาตรการทางกฎหมายประเทศไทย

ตารางที่ 2.1 การกำหนดปริมาณไนเตรทในน้ำของประเทศไทย

ชนิด	มาตรฐาน (มก./ล.)	หน่วยงานควบคุม	ที่มา
น้ำดื่ม	ไนเตรท-ไนโตรเจน 4 มก./ล.	กระทรวงสาธารณสุข	ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 พ.ศ. 2524
น้ำบาดาลเพื่อการ บริโภค	ไนเตรท-ไนโตรเจน 10 มก./ล.	กระทรวงอุตสาหกรรม	ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 4 พ.ศ. 2521
น้ำดื่มชุมชน	ไนเตรท-ไนโตรเจนไม่ กำหนดสำหรับชุมชน น้อยกว่า 501 คน และจะ กำหนดเมื่อน้ำมีปัญหา สำหรับชุมชนมากกว่า 500 คน	สำนักงาน คณะกรรมการ สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ	คณะกรรมการกำหนด มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มชุมชน
น้ำผิวดิน	ไนเตรท-ไนโตรเจน 5 มก./ล.	สำนักงาน คณะกรรมการ สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ	ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน พ.ศ. 2528

ที่มา : ไนเตรท ไนไตรท์ และสารประกอบอื่นไนโตรโซ

### 2.1.1.4 ผลกระทบต่อสุขภาพ

ปัญหาน้ำเสียที่เกิดจากการปนเปื้อนของไนเตรทมีความรุนแรงมากขึ้น โดยเฉพาะในพื้นที่เกษตรกรรมที่มีการใช้ปุ๋ยและยาฆ่าแมลง จะมีระดับของการปนเปื้อนไนเตรทในแหล่งน้ำสูงกว่าปกติ ทำให้มีการศึกษาถึงผลข้างเคียงที่เกิดจากการบริโภคน้ำที่ปนเปื้อนไนเตรท



การประเมินอันตรายของไนเตรทและไนไตรท์ต่อสุขภาพจากข้อมูลที่มีพบว่าปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ที่พบในเครื่องดื่มจะไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพในผู้ใหญ่ โดยทั่วไปและในเด็กโต ความเป็นพิษหลักที่เกิดขึ้นจากการรับประทานไนเตรทและไนไตรท์คือ methaemoglobinaemia ซึ่งเด็กทารกมีความเสี่ยงอันตรายเป็นพิเศษเนื่องจาก

- 1) ความเป็นกรดในกระเพาะดำมีผลต่อจุลินทรีย์ที่มีเอ็นไซม์ ซึ่งสามารถรีดิวซ์ไนเตรทและไนไตรท์ให้เจริญเติบโตได้ดี
- 2) ฮีโมโกลบินของทารกในครรภ์และเม็ดเลือดแดงของเด็กอาจเปลี่ยนเป็นเม็ทฮีโมโกลบิน
- 3) เด็กทารกขาดระบบเอ็นไซม์ที่มาสามารถรีดิวซ์เม็ทฮีโมโกลบินเป็นฮีโมโกลบิน
- 4) การรับ (intake) ของเหลวในร่างกายของเด็กทารกสูงกว่าผู้ใหญ่เมื่อเทียบกับน้ำหนักร่างกาย

ดังนั้นจึงมีข้อเสนอแนะว่าการผสมนมผงให้เด็กทารก ควรใช้น้ำที่มีไนเตรทต่ำ อย่างน้อยที่สุดไม่ควรเกิน  $10 \text{ mg NO}_3^-/\text{N/L}$  และควรเลี้ยงเด็กทารกด้วยผักที่มีปริมาณไนเตรทต่ำ นอกจากนี้ควรลดการใช้ไนเตรทและไนไตรท์ให้น้อยที่สุดและหลีกเลี่ยงการใช้ในเนื้อสดและปลาและปริมาณไนเตรทในน้ำประปาควรจะมีไนเตรทไม่เกิน  $10 \text{ mg NO}_3^-/\text{N/L}$  ตามข้อเสนอแนะเกี่ยวกับมาตรฐานน้ำดื่มระหว่างประเทศขององค์การอนามัยโลกปี ค.ศ.1971 (The 1971 WHO International standards for drinking-water.)

พบว่าการบริโภคน้ำที่มีระดับการปนเปื้อนไนเตรทสูงกว่า  $10 \text{ mg NO}_3^-/\text{N/L}$  เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคตัวเขียวในเด็กทารกที่มีอายุต่ำกว่า 6 เดือนซึ่งทางการแพทย์เรียกว่า Methemoglobinaemia (Infant Cyanosis หรือ Blue – Baby Syndrome) ทั้งนี้เพราะผิวของทารกมีฮีโมโกลบินเนื่องจากเลือดขาดออกซิเจน ทารกที่เกิดจากมารดาที่บริโภคน้ำที่ปนเปื้อนไนเตรทมีความเสี่ยงต่อการเป็นโรคตัวเขียว ในบางรายอาจมีอาการเฉียบพลัน หากไม่ได้รับการรักษาอย่างรวดเร็วทารกจะขาดอากาศและเสียชีวิตในที่สุด และแม้ว่าจะยังไม่มีการยืนยันอย่างแน่ชัด แต่มารดาที่อยู่ระหว่างการให้นมบุตรควรหลีกเลี่ยงการบริโภคน้ำที่มีระดับการปนเปื้อนไนเตรทสูงกว่า  $50 \text{ mg NO}_3^-/\text{N/L}$

สำหรับผู้ป่วยที่เป็นโรคหัวใจหรือโรคปอด หากบริโภคน้ำที่ปนเปื้อนไนเตรทอาจทำให้ได้รับผลกระทบจากไนเตรทรุนแรงกว่าคนปกติ นอกจากนี้ผู้เชี่ยวชาญบางท่านยังเชื่อว่าการบริโภคน้ำที่มีระดับการปนเปื้อนไนเตรทสูงอย่างต่อเนื่องและเป็นเวลายาวนานจะเพิ่มความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็ง

### 2.1.1.5 ระดับการปนเปื้อนไนเตรทในน้ำดื่ม

ในน้ำผิวดินจะพบไนเตรทในปริมาณน้อย โดยทั่วไปมักต่ำกว่า 1 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/L และอย่างสูงก็ไม่เกิน 5 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/L แต่สำหรับน้ำใต้ดินอาจมีไนเตรทสูงตั้งแต่ 0–1,000 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/L ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ ไนเตรทนอกจากเข้าสู่แหล่งน้ำจากการเน่าเปื่อยของสิ่งมีชีวิตแล้วยังมาจากปุ๋ยที่ใช้ในการเกษตรกรรมและน้ำเสียอีกด้วย (มันสิน, 2540) เมื่อน้ำมีปริมาณการปนเปื้อน ไนเตรทสูงจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ด้วยเหตุนี้ USEPA (The United States Environmental Protection Agency) และองค์กรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องจึงกำหนดค่าการปนเปื้อนไนเตรทในน้ำดื่ม (Sawyer, 1994) ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ระดับการปนเปื้อนไนเตรทในน้ำดื่มตามมาตรฐานขององค์กรต่างๆ

มาตรฐาน	เกณฑ์กำหนดสูงสุด Concentration (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N/L)	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด Concentration (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N/L)
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค (มอก.)	10	10
มาตรฐานน้ำดื่มของสหรัฐอเมริกา (USEPA)	-	10
มาตรฐานน้ำดื่มของการประปานครหลวงไทย	-	10

ที่มา : ธรรมรงค์ (2540)

### 2.1.2.6 การปนเปื้อนไนเตรทของน้ำจากบ่อน้ำบาดาลในประเทศ

เมื่อปี 2543 กรมทรัพยากรธรณีได้ทำการขุดเจาะบ่อน้ำบาดาลในพื้นที่ทั่วประเทศ ไทย และทำการวิเคราะห์ผลทางเคมีของน้ำในบ่อน้ำบาดาล พบการปนเปื้อนของไนเตรท ดังแสดงในตารางที่ 2.3 (ปริมาณไนเตรทที่ตรวจพบสามารถเปลี่ยนแปลงได้ ขึ้นอยู่กับปริมาณสารมลทินจากการเกษตร ปริมาณน้ำที่ซึมลงสู่ใต้ดิน ฤดูกาล และพฤติกรรมกรรมการเพาะปลูก)

ตารางที่ 2.3 การปนเปื้อนไนเตรทของบ่อน้ำบาดาลในประเทศไทยที่มีค่าเกิน 20 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N/L และ 45 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N/L

ภาค	จังหวัด	ร้อยละของจำนวนบ่อ		
		การวิเคราะห์จาก จำนวนบ่อ ทั้งหมดที่มีใน พื้นที่	จากจำนวนบ่อที่มีการวิเคราะห์	
			ที่พบปริมาณ ไนเตรทเกิน 20 mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N/L	ที่พบปริมาณ ไนเตรท เกิน 45 mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N/L
ใต้	กระบี่	49.64	1.09	1.09
	ชุมพร	59.66	1.00	0.17
	ตรัง	50.05	1.16	0.39
	นครศรีธรรมราช	65.23	0.38	0.13
	นราธิวาส	58.26	3.37	0.96
	ปัตตานี	64.93	0.86	0.29
	พังงา	50.98	0.77	0.00
	พัทลุง	56.44	0.38	0.19
	ภูเก็ต	53.38	1.41	0.00
	ยะลา	58.54	3.24	1.08
	ระนอง	48.10	0.00	0.00
	สงขลา	68.24	0.93	0.27
	สตูล	43.12	0.52	0.00
	สุราษฎร์ธานี	49.95	0.74	0.00

ภาค	จังหวัด	ร้อยละของจำนวนบ่อ		
		การวิเคราะห์จาก จำนวนบ่อ ทั้งหมดที่มีใน พื้นที่	จากจำนวนบ่อที่มีการวิเคราะห์	
			ที่พบปริมาณ ไนเตรทเกิน 20 mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N/L	ที่พบปริมาณ ไนเตรท เกิน 45 mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N/L
กลาง	กรุงเทพมหานคร	88.24	0.74	0.74
	ชัยนาท	48.82	8.45	5.28
	นครนายก	59.28	0.51	0.00
	นครปฐม	80.08	0.25	0.00
	นนทบุรี	76.32	0.00	0.00
	ปทุมธานี	63.13	2.40	0.00
	พระนครศรีอยุธยา	57.89	0.45	0.23
	ลพบุรี	69.48	27.09	15.44
	สมุทรปราการ	91.67	0.00	0.00
	สมุทรสาคร	40.85	0.00	0.00
	สระบุรี	69.87	7.20	1.44
	สิงห์บุรี	72.89	0.00	0.00
	สุพรรณบุรี	71.43	3.93	1.37
	อ่างทอง	74.69	0.00	0.00

ภาค	จังหวัด	ร้อยละของจำนวนบ่อ		
		การวิเคราะห์จาก จำนวนบ่อ ทั้งหมดที่มีใน พื้นที่	จากจำนวนบ่อที่มีการวิเคราะห์	
			ที่พบปริมาณ ไนเตรทเกิน 20 mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N/L	ที่พบปริมาณ ไนเตรทเกิน 45 mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N/L
ตะวันออก เฉียงเหนือ	ขอนแก่น	66.74	13.34	8.81
	ชัยภูมิ	67.70	18.02	13.50
	นครพนม	72.68	12.17	9.47
	นครราชสีมา	76.19	3.96	1.32
	บุรีรัมย์	63.03	13.88	8.85
	มหาสารคาม	63.80	9.51	6.47
	มุกดาหาร	65.57	24.30	19.62
	ยโสธร	57.55	5.22	2.32
	ร้อยเอ็ด	77.77	8.55	5.10
	เลย	77.38	11.10	7.37
	ศรีสะเกษ	72.22	2.63	1.31
	สกลนคร	72.99	4.97	3.47
	สุรินทร์	75.90	7.79	3.83
	หนองคาย	65.28	7.50	3.92
	หนองบัวลำภู	68.41	3.26	1.33
	อำนาจเจริญ	70.01	6.28	4.12
	อุดรธานี	58.96	4.42	2.30
	อุบลราชธานี	66.30	6.69	3.87
	อุบลราชธานี	68.52	4.00	1.51
เหนือ	กำแพงเพชร	73.76	0.51	0.34
	เชียงราย	81.95	0.95	0.19
	สุโขทัย	70.41	1.19	0.85
	เชียงใหม่	81.50	1.44	0.48
	นครสวรรค์	55.42	12.25	5.67
	น่าน	58.09	2.67	0.38



ภาค	จังหวัด	ร้อยละของจำนวนบ่อ		
		การวิเคราะห์จาก จำนวนบ่อ ทั้งหมดที่มีใน พื้นที่	จากจำนวนบ่อที่มีการวิเคราะห์	
			ที่พบปริมาณ ไนเตรทเกิน 20 mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N/L	ที่พบปริมาณ ไนเตรท เกิน 45 mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N/L
	พะเยา	80.43	1.85	0.51
	เพชรบูรณ์	66.87	10.46	4.71
	พิจิตร	68.53	1.10	0.55
	พิษณุโลก	76.19	1.83	1.22
	แพร่	76.32	2.86	0.95
	แม่ฮ่องสอน	65.00	0.00	0.00
	ลำปาง	67.43	4.99	1.97
	ลำพูน	29.45	3.64	2.23
	อุตรดิตถ์	65.63	3.04	2.03
ตะวันออก	จันทบุรี	32.28	1.72	0.57
	ฉะเชิงเทรา	52.27	2.52	1.68
	ชลบุรี	60.57	3.64	0.78
	ตราด	43.98	0.00	0.00
	ปราจีนบุรี	64.06	3.23	0.44
	ระยอง	45.18	2.08	0.52
	สระแก้ว	56.23	4.32	1.98
ตะวันตก	ประจวบคีรีขันธ์	72.36	3.65	1.00
	เพชรบุรี	69.83	7.65	4.44
	ราชบุรี	72.01	5.25	2.80

ที่มา : กองน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณี

จากตารางที่ 2.3 พบว่า น้ำในบ่อน้ำบาดาลของจังหวัดลพบุรี มหาสารคาม และขอนแก่น มีระดับการปนเปื้อนไนเตรทสูงที่สุดในประเทศไทย สำหรับการปนเปื้อนไนเตรทเกิน 20 mg  $\text{NO}_3^-$ -N/L คิดเป็นร้อยละ 27.09, 24.30 และ 18.02 ตามลำดับ และสำหรับการปนเปื้อนไนเตรทเกิน 45 mg  $\text{NO}_3^-$ -N/L คิดเป็นร้อยละ 15.44, 19.22 และ 13.52 ตามลำดับ

ภูมิภาคที่น้ำในบ่อน้ำบาดาลมีการปนเปื้อนไนเตรทน้อยที่สุดและมากที่สุดคือ ภาคใต้ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตามลำดับ

จากข้อมูลตารางที่ 2.3 แสดงให้เห็นว่าน้ำในบ่อน้ำบาดาลของประเทศไทยมีการปนเปื้อนไนเตรทระดับที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค ควรมีการกำจัดไนเตรทที่ปนเปื้อนในน้ำก่อนนำไปใช้

## 2.2 ดินเบา

ดินเบา (Diatomaceous earth) หรือรู้จักกันในชื่อต่างๆ เช่น Diatomite, Kieselguhr, Tripolite, Fossil flour เป็นต้น เรียกชื่อภาษาไทยว่า “ดินเบา” ทั้งนี้เนื่องจากมีน้ำหนักเบา แร่ดินเบาเป็นหินพวก siliceous ชนิดหนึ่ง โครงสร้างส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยฟอสซิลขนาดละเอียดของพืชเซลล์เดียวในอดีตกาลที่เรียกว่า diatom จึงเกิดเป็นหินตะกอนที่มีลักษณะการเกิดเป็นชั้นๆ มีสีเทา ขาว นวล ถึงสีน้ำตาลอ่อน โครงสร้างของไดอะตอมเหล่านี้ส่วนใหญ่ประกอบด้วยซิลิกาไร้ผลึกชนิดบริสุทธิ์ โดยที่ไดอะตอมแต่ละสปีชีส์ จะมีโครงสร้างซับซ้อนและมีคุณสมบัติเด่นเฉพาะตัวคือมีความบริสุทธิ์ การมีความพรุนตัวสูง และมีพื้นที่ผิวมาก จึงเป็นผลที่เกิดขึ้นโดยตรงจากรูปร่าง โครงสร้างและส่วนประกอบภายในของไดอะตอมแต่ละชนิดนั้น คุณสมบัติเหล่านี้ เมื่อรวมกับความคงทนทางด้านเคมีและเป็นตัวนำความร้อน จึงเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำดินเบาไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ

### 2.2.1 การกำเนิดดินเบา

ดินเบาสามารถกำเนิดได้ทั้งในน้ำทะเล น้ำกร่อย และน้ำจืด ขณะที่มีชีวิตอยู่ตัวไดอะตอมจะสกัดสิ่งน้ำรอบๆตัว และคายออกมาในรูปเปลือกหอยห่อหุ้มตัวมันเอง ภายหลังจากตายโครงสร้างแบบเปลือกหอยเหล่านี้จะค่อยๆตกตะกอนสู่พื้นของแอ่ง (basin) ที่บดกรวมกับตะกอนชนิดอื่นๆ แหล่งดินเบาเกิดขึ้นจากการจับตัวแน่นของตะกอนเหล่านี้ ภายใต้อุณหภูมิและความกดดัน โดยมักมีทราย ดิน สารคาร์บอนเนต และแร่ธาตุไฟแทรกเจือปนอยู่ด้วย ส่วนที่เป็นอินทรีย์วัตถุ

จะสลายตัวไปหมด หรืออาจคงเหลืออยู่บ้าง ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมต่อการสะสมตัว ซากเหล่านี้ก็จะสะสมจนมีความหนาแน่นมาก และค่อยๆ จับตัวกันแน่นจนกลายเป็นแหล่งดินเบา ปัจจุบันตะกอนทางทะเลที่มีไคอะตอมมากจะสะสมในแอ่งทะเลบริเวณที่มีสารอาหารสมบูรณ์ เช่นเขตมหาสมุทรที่มีกระแสน้ำแตกต่างกัน แถบกึ่งแอนตาร์กติก อย่างไรก็ตามดินเบาสามารถเกิดขึ้นได้ในสภาพแวดล้อมน้ำตื้น มีรายงานว่าดินเบาที่เกิดขึ้นในน้ำจืด มีการสะสมตัวในทะเลสาบ บนภูเขา หรือจากปล่องภูเขาไฟ (Congar, 1942) มีการสะสมตัวอย่างอิสระที่มีกระแสน้ำหรือแม่น้ำมาเกี่ยวข้อง น้ำจะไหลเข้ามาโดยการซึม ผลจากกระบวนการหลังการสะสมตัวของแหล่งดินเบา มีอิทธิพลต่อความพรุน และระดับชั้นของการประสานตัว ซึ่งมีการแยกตัว การเคลื่อนไหว และการตกตะกอนใหม่ของซิลิกาในไคอะตอม ในที่สุดดินเบาจะเปลี่ยนเป็นเชิร์ต (chert) หรือโคลนไคอะตอม (Mathers, 1989) มีรายงานว่ามีส่วนของสารอินทรีย์มากมาย ซึ่งแปรสภาพจากรูปร่างที่อ่อนนุ่มของไคอะตอมและอาจจะเป็นหินกำเนิดของแหล่งปิโตรเลียมได้ (Talliaferro, 1933) เมื่อแหล่งสะสมนี้ถูกยกตัวขึ้นพื้นระดับน้ำก็จะเป็แหล่งแร่ที่มีความสำคัญต่อด้านเศรษฐกิจ

แหล่งดินเบาที่สำคัญที่สำรวจโดยกรมทรัพยากรธรณีในประเทศไทย พบที่ จ.ลำปาง ใน อ.เมือง อ.เกาะคา อ.แม่ทะ และ อ.สบปราบ มักพบเป็นเนินสูงรีๆ โดยมีความสูงจากท้องนา 10-20 เมตร เช่นที่แหล่งบ้านม่อนหินแก้ว บ้านป่าม่วง บ้านน้ำใจและบ้านม่อนแสงสี รวมทั้งแหล่งบ้านกล้วยแพะ ชั้นดินเบาถูกปิดทับด้วยก้อนกรวดและก้อนหินมนเล็ก การสะสมตัวอีกชนิดหนึ่งเกิดขึ้นตามเชิงลาด บริเวณขอบของแอ่งลำปาง โดยชั้นก้อนกรวดปิดทับ พบเห็นตามเนินเตี้ยๆ เป็นหย่อมๆ มีความยาวหลายกิโลเมตร ที่บ้านพิชัย บ้านห้วยน้ำเค็ม บ้านกัวลม และทางใต้ของนิคมกัวลม บริเวณแหล่งที่กล่าวถึงทั้งหมดนี้มีพื้นที่ครอบคลุมประมาณ 30 ตารางกิโลเมตร

## 2.2.2 ชีววิทยาและนิเวศวิทยาของไคอะตอม

ไคอะตอมจัดอยู่ในพวก protista เช่นเดียวกับ protozoans, moulds และ fungi ไคอะตอมเป็นพืชเซลล์เดี่ยวขนาดเล็กมาก มีขนาดตั้งแต่ 2-2,000 ไมครอน มีรูปร่างอ่อนนุ่ม ประกอบด้วย cytoplasm, oil, globules และ chloplasts เชื่อมกันด้วย opaline exoskeleton ซึ่งโครงสร้างกระดูกนี้หรือ frustules อาจจะมีลักษณะเป็นทรงกลมหรือทรงรี ลักษณะภายนอกเป็นรูคล้ายตะแกรง มีโครงสร้างเป็นตาข่ายซับซ้อน ตัวไคอะตอมสร้างอาหารโดยการรวมคาร์บอน (ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงของคาร์บอนไดออกไซด์) กับสารอาหารที่สกัดจากน้ำทะเล ไคอะตอมเป็นพื้นฐานของวงจรรอาหารในทะเล เป็นอาหารหลักของกุ้งตัวเล็กๆ ซึ่งเป็นอาหารของสัตว์มีกระดูกสันหลังอีกต่อหนึ่ง

ไดอะตอมสามารถอยู่ในสภาพแวดล้อมทางน้ำหลายแบบ โดยต้องการเงื่อนไข สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมจึงจะเจริญเติบโตได้ เช่น มีอุณหภูมิ และเงื่อนไขทางแสงที่เหมาะสม มีสภาพความเค็ม ความเป็นกรดในวงจำกัด และได้รับสารอาหารตลอดเวลา คือพวกซิลิกา ในโตรเจน ฟอสฟอรัส เหล็ก ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ไดอะตอมอาศัยอาศัยอยู่ในเขตที่มีแสง มีความลึกถึง 200 เมตร การศึกษาเมื่อไม่นานมานี้ได้ใช้กลุ่มไดอะตอมเป็นเครื่องชี้บอก สภาพแวดล้อมของทะเลสาบน้ำจืดในยุค quaternary และในสมัยปัจจุบัน (Stager, 1988)

### 2.2.3 ส่วนประกอบทางเคมีของดินเบา

ดินเบาบริสุทธิ์ ประกอบด้วย opaline หรือ hydro silica กับสารอนินทรีย์อื่นๆ เล็กน้อย เช่น alumina, alkaline metals เป็นต้น ดินเบาดิบอาจมีอินทรีย์สาร หิน ทรายดิน หรือคาร์บอนเนตใน ปริมาณต่างๆ โดยในตารางที่ 2.4 พบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ของดินเบา คือ silica จึงทำให้ พื้นที่ผิวส่วนใหญ่ของดินเบาเป็นหมู่ silanol group ทำให้สามารถดูดซับโมเลกุลที่มีขั้วได้ (อิริชา บวรวัฒนานนท์, 2527)

ตารางที่ 2.4 แสดงผลการวิเคราะห์ทางเคมีของดินเบา จากแหล่งแร่ต่างๆ

1. Hollywood, California
2. Dragowistiza near Sofia, Bulgaria
3. The Gurmen deposit, Blagoevgrad, Bulgaria
4. อําเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง

Composition in %	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	73.71	83.5	68.8	68.14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.25	10.56	13.7	13.75
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.63	2.04	5.3	5.00
MgO	1.47	0.67	0.9	0.87
CaO	1.72	1.18	1.1	0.42
Na <sub>2</sub> O	1.19	2.05	1.8	1.00
K <sub>2</sub> O	1.00	2.05	1.8	-

- ที่มา: 1. Pettijohn (1957)  
 2. Atanasov (1972)  
 3. Atanasov (1974)  
 4. ชฎาภรณ์ (2545)

### 2.2.4 ลักษณะทางกายภาพ

ดินเบาที่มีสีค่อนข้างอ่อน มีสีขาวหรือสีครีมคล้ายพวกชอล์ก โดยแหล่งดินเบาที่เกิดในแหล่งน้ำจืดมักจะมีสารอินทรีย์ปะปนอยู่ด้วย สารที่ปรากฏจะทำให้สีแตกต่างออกไปจากน้ำตาลอ่อนถึงน้ำตาลเขียว หรือเกือบดำซึ่งยากแก่การแยกจากสารพวกที่คล้ายถ่านหิน (peatlike material) โครงสร้างอาจจะเป็นแบบเนื้อแน่นหรือเป็นสาย ความแข็งของอนุภาคดินเบาตามสเกลความแข็งมาตรฐาน โมลห์ อยู่ระหว่าง 4.5–6.0 แต่ความแข็งปรากฏของแร่ดินเบาเนื้อแน่นประมาณ 1.5 ทั้งนี้เนื่องจากความหนาแน่นปรากฏน้อย และความร่วนของเนื้อดินที่มีรูพรุนความถ่วงจำเพาะ 2.1-2.2 เมื่อบริสุทธิ์และแห้งมีความถ่วงจำเพาะปรากฏน้อยกว่า 1 ดังนั้น แร่ดินเบาจะลอยน้ำได้จนกว่าจะจมจนอึดตัวด้วยน้ำ ความหนาแน่นปรากฏ 5-16 ปอนด์/ลบ.ฟุต ความหนาแน่นเมื่อเปียก 10-20 ปอนด์/ลบ.ฟุต ดัชนีหักเห 1.42-1.348 นอกจากนั้นดินเบายังมีสีที่แตกต่างกันออกไป โดยมีลักษณะทางกายภาพดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงลักษณะทางกายภาพของดินเบา

Parameters	ดินเบาสีเหลือง	ดินเบาสีขาว
pH	9-7	8-9
True density, g/cm <sup>3</sup>	2.26	2.20
Free fall density, g/cm <sup>3</sup>	0.41	0.21
Packed density, g/cm <sup>3</sup>	0.47	0.24
Void space	0.8	0.9
Surface area, m <sup>2</sup> /g	4.00	1.00

ที่มา : Ottenstein (1963)

มีสิ่งควรคำนึงในเรื่องต่างๆ เพิ่มเติมดังต่อไปนี้

#### 1) ความขาว (Whiteness) ของดินเบา

ทั้งนี้เพื่อความเหมาะสมในการปฏิบัติที่ตัวช่วยกรองน้ำจะมีสีอ่อนๆ ให้เห็นว่าเป็นสิ่งสะอาด Diatomite นั้นเป็น Amorphous silica ชนิดหนึ่ง ซึ่งตามธรรมชาติแล้วจะมีสีขาว ดังนั้น เพื่อให้ Diatomite มีความบริสุทธิ์เพื่อให้มีประสิทธิภาพที่ดีในการใช้หรือ Diatomite ดิบจากแหล่งอำเภอกะฉานนั้นมักจะมีสีเหลืองอ่อนจนถึงสีน้ำตาลอ่อน ซึ่งเกิดจากธาตุเหล็กที่เจือปนอยู่



นอกจากนี้เนื่องด้วยอนุภาคของดินเบาที่มีรูพรุนอยู่อย่างมาก จึงทำให้มีสิ่งเจือปนพวกสารอินทรีย์ หรืออื่นๆ เข้าไปอุดตันอยู่ด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการขจัดออกไป

### 2) สมบัติในการเป็น filtering media ของ diatomite

เพื่อแสดงว่านอกจากดินเบาเองจะมีสมบัติเป็นตัวช่วยกรองแล้วยังสามารถใช้เป็นตัวกลางกรองได้อีกด้วย โดยที่ดิน เคาเบาจะต้องไม่สามารถแทรกผ่านตัวกลางกรอง (Filter medium) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ขนาดอนุภาคของดินเบาต้องไม่เล็กเกินกว่าขนาดของรูพรุนของตัวกลางกรอง

### 3) ความสามารถในการเป็น adsorption

สมบัติข้อนี้เป็นสิ่งที่สำคัญของดินเบาที่จะสามารถทำให้ดูดซับเอาสิ่งสกปรก รวมทั้งสิ่งมีชีวิตจำพวกแบคทีเรียหรือสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เข้าไปใน โครงสร้างที่เป็นรูพรุนของมันได้ ดินเบาติด มักจะมีสารอินทรีย์ที่ไม่ต้องการที่มีขนาดเล็กขนาดคอลลอยด์เข้าไปอุดตันอยู่ในรูพรุนของอนุภาค ดินเบาไว้ รูพรุนที่เกิดการอุดตันของ ดินเบา เหล่านี้จะทำให้ของเหลวไหลผ่านไปได้ไม่สะดวก อัตราการกรองจะช้าลง ดังนั้นในการปรับปรุงคุณภาพของดินเบาจึงคำนึงถึงสมบัติข้อนี้เป็นสำคัญ

## 2.2.5 แหล่งแร่ดินเบาที่พบในประเทศไทย

แหล่งแร่ดินเบาที่สำคัญทั้งชนิดที่เกิดขึ้นในทะเลและน้ำจืด มีอายุต่างกันตั้งแต่ยุค น้ำแข็งตอนกลางของยุค Quaternary ถึง Tertiary แหล่งสะสมในบริเวณที่พื้นโลกคั่นตัวอยู่เสมอมัก มีขนาดเล็ก พบแหล่งดินเบาที่เกิดในยุค Paleocene และ Cretaceous บ้างแต่แหล่งดินเบาเหล่านี้มักมี คุณภาพค่อนข้างต่ำและไม่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ

แหล่งแร่ดินเบาในประเทศไทยพบที่จังหวัดลำปาง ซึ่งกระจุกกระจายอยู่ 5 แหล่ง ภายในแหล่งลำปาง คือ

1. บ้านหม่อนหินแก้ว ตำบลวังพร้าว อำเภอเกาะคา จังหวัดลำปาง
2. วัดม่อนคีรีวัน ตำบลพิชัย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง
3. บ้านห้วยน้ำเค็ม ตำบลบ้านแสง อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง
4. บ้านหนองถ้อย ตำบลนาครีว อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง
5. ตำบลกล้วยแพะ อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง

## 2.2.6 การใช้ประโยชน์จากดินเบาในอุตสาหกรรมต่างๆ

### 1) ใช้เป็นสารช่วยกรอง (filter aids)

การใช้ประโยชน์ของดินเบา ส่วนใหญ่ใช้เป็นสารช่วยกรอง (ซึ่งมีปริมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของการใช้งานดินเบาทั้งหมด) ในการกรองผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวในอุตสาหกรรมและที่ไม่ใช่อุตสาหกรรม รวมทั้งสารเคมีชนิดอินทรีย์และอนินทรีย์เวชภัณฑ์ (pharmaceuticals) เบียร์ เหล้าองุ่น น้ำมันต่างๆ ดินเบาใช้เป็นสารช่วยกรองเพราะมีคุณสมบัติในการซึมซับ อนุภาคชนิดละเอียดที่แขวนลอยอยู่ในสารละลายที่ต้องการกรองได้เป็นอย่างดี รวดเร็ว และได้สารละลายที่ใสขึ้น

### 2) ใช้เป็นตัวเติม (fillers)

ดินเบาใช้เป็นสารตัวเติมมีการใช้มากเป็นอันดับสอง โดยใช้เติมเพื่อเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น สี พลาสติก ยาง เกสซ์ภัณฑ์ สารขัดมันและเคมีภัณฑ์ ต่างๆ ดินเบาที่ใช้เติมในผลิตภัณฑ์เพื่อการค้า มีทั้งชนิดจากธรรมชาติ และชนิดที่ผ่านการทำ calcine แล้ว โดยทั่วไปดินเบาที่ใช้เติมในผลิตภัณฑ์ของสี และสีรองพื้น เพราะดินเบาที่มีคุณสมบัติเป็น flattening ที่ดี ทำให้การซึมของสีดีขึ้นและแห้งเร็วมีความตึงผิวดี และเรียบเหมือนขัดด้วยทราย ส่วนดินเบาที่ใช้เติมในอุตสาหกรรมพลาสติก ส่วนใหญ่ใช้เป็นสาร anti-blocking ในผลิตภัณฑ์ฟิล์ม โพลีเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำตามปกติจะเติมดินเบาลงไปให้มีความเข้มข้น 300-500 ppm เพื่อป้องกันการติดกันของฟิล์ม

### 3) ใช้ทำแผ่นฉนวนและผงดูดซับ (insulators and absorbents)

ทำเป็นอิฐฉนวนซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติเป็นสารผสมระหว่าง ดินเบา และ 20-25% ของ plastic clay และใช้ในการผลิตสารดูดซับชนิดผงและชนิดเม็ดที่ใช้ในเตาอบแห้งด้วย ใช้ในการดูดซับในผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ยาฆ่าแมลง ส่วนดินเบาที่เป็นผงและผ่านการเผาแล้วจะใช้ในวัสดุระเบิด, seed coating และในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เคมีต่างๆ

### 4) การใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ

นอกจากประโยชน์ดังกล่าวข้างต้นแล้ว ยังสามารถนำดินเบามาใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆได้อีก เช่น เป็นสารขัดถูชนิดอ่อนสำหรับผสมในยาสีฟันและน้ำยาขัดโลหะ เป็นตัวกลางที่ใช้ป้องกัน

การแข็งตัวของปุ๋ย ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก โดยเป็นตัวเติมเพื่อลดความเหนียวใน ดินปั้น และเพิ่มความแข็งแรงด้วย ช่วยในการขึ้นรูปได้ดี ใช้ทำน้ำยาเคลือบในการทำผงสีเซรามิกและทำอิฐทนไฟ เพราะมีคุณสมบัติต้านทานความร้อนได้ดี เป็นตัวกลางควบคุมในวัฏระเบิด ใช้ใน chromatography support media และ pitch control ในอุตสาหกรรมกระดาษ เป็นตัวนำพาตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ เช่น ใช้เป็นตัวนำพาในอุตสาหกรรมทำกรดกำมะถัน และในกรดฟอสฟอริกในการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม

## 2.3 การดูดซับ (adsorption)

### 2.3.1 หลักการดูดซับ

การดูดซับ (adsorption) เป็นปรากฏการณ์ที่โมเลกุลของสารไปเกาะอยู่บนผิวหน้าของของแข็งหรือของเหลว สารที่ไปเกาะเรียกว่า สารที่ถูกดูดซับ (adsorbate) และของแข็งหรือของเหลวที่พื้นผิวของมันถูกสารเกาะเรียกว่า สารดูดซับ (adsorbent) การดูดซับด้วยของแข็งจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสของของแข็ง การดูดซับจะเกิดขึ้นทั้งทางกายภาพ (physisorption) และทางเคมี (chemisorption)

เมื่อโมเลกุลในวัฏภาคของเหลว (liquid phase) ยึดติดกับผิวของของแข็ง เนื่องจากแรงดึงดูดที่พื้นผิวของของแข็งซึ่งเป็นสารดูดซับมีค่ามากกว่าค่าพลังงานจลน์ของ โมเลกุลของของเหลวนั้นในทางสิ่งแวดล้อม การดูดซับถูกนำมาใช้ในการบำบัดหรือขจัดสารมลพิษ ซึ่งกระบวนการนั้นขึ้นกับระบบของการบำบัดว่าจะได้ประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใดและโดยทั่วไปกระบวนการดูดซับมักเกิดขึ้นในขั้นสุดท้ายของระบบบำบัด

### 2.3.2 การดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption หรือ physisorption)

เกิดจากความแตกต่างของพลังงานหรือแรงดึงดูดทางไฟฟ้า (electrical attractive force) อย่างอ่อนๆ ระหว่างโมเลกุลซึ่งเรียกว่า แรงแวนเดอร์วาลส์ (van der waals force) ทำให้เกิดการเกาะหรือยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับและโมเลกุลที่ผิวหน้าของสารดูดซับด้วยการดึงดูดของแรงระหว่างโมเลกุลของสารทั้งสองโดยวิธีทางกายภาพ ซึ่งจะให้เกิดชั้นหลายๆชั้นซ้อนทับกัน โดยแต่ละชั้นจะซ้อนทับอยู่เหนือชั้นที่เกิดขึ้นก่อน จำนวนชั้นจะทำให้เกิดชั้นหลายๆชั้นซ้อนทับกัน โดยแต่ละชั้นจะซ้อนทับอยู่เหนือชั้นที่เกิดขึ้นก่อน จำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสาร การดูดซับทางกายภาพนี้จะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ทำให้

เกิดส่วนที่หนาและผันกลับไม่ได้ (irreversible) การดูดซับทางกายภาพมักจะเป็นแบบไม่เฉพาะ (nonspecific) กล่าวคือ โมเลกุลที่ถูกดูดซับไว้ จะไม่ติดติดกับเฉพาะบริเวณใดบริเวณหนึ่งบนผิวหน้าของของแข็ง แต่จะเป็นอิสระในการเคลื่อนที่อยู่นอบบริเวณผิวนั้น (Sawyer et al., 1994) โดยกระบวนการที่เกิดขึ้นจะไม่ขึ้นตรงกับอุณหภูมิและค่าไอออนิกสเตรงท์ (ionic strength) ของสารละลายแต่จะขึ้นอยู่กับค่าพีเอชและสารเชิงซ้อนที่ปะปนอยู่ในวัฏภาคของเหลว (Allard et al., 1987) ทั้งนี้การดูดซับทางกายภาพโดยทั่วไปจะสามารถผันกลับได้ การผันกลับของการดูดซับทางกายภาพจะขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของแรงดึงดูดระหว่างสารดูดซับกับสารที่ถูกดูดซับ ถ้าแรงดึงดูดนี้มีค่าน้อยจะสามารถเกิดการปลดปล่อยหรือคายสารที่ถูกดูดซับออกมา (disruption) ซึ่งอาจเป็นผลจากการเปลี่ยนความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับ หรือการเพิ่มอุณหภูมิเข้าไปในปริมาณมาก ปฏิริยาที่เกิดขึ้นจากการดูดซับทางกายภาพจะทำให้เกิดการคายความร้อน โดยปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีค่าใกล้เคียงกับความร้อนแฝงของการกลั่นตัวเป็นของเหลว (พล, 2518)

### 2.3.3 การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption หรือ chemisorption)

เกิดจากปฏิริยาเคมีระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับและสารดูดซับ หรือแรงดึงดูดทางเคมีซึ่งเป็นแรงที่แข็งแรงกว่าการดูดซับทางกายภาพ และเป็นแรงงานทำให้เกิดพันธะ เฉพาะบริเวณเฉพาะ (specific) ใดๆบนพื้นผิวของวัฏภาคของแข็ง เกิดเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่ที่ผิวสัมผัสของสารดูดซับ ทำให้ค่าความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงใกล้เคียงกับค่าของพลังงานพันธะเคมี อาจเกิดการดูดซับได้ช้าและผันกลับไม่ได้เป็นบางส่วน โดยทั่วไปสารที่ถูกดูดซับจะเกิดเป็นโมเลกุลชั้นเดียว (monolayer) เหนือผิวหน้าของสารดูดซับ โดยโมเลกุลของสารดูดซับจะไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ จากบริเวณผิวนั้นไปยังบริเวณอื่น เมื่อผิวหน้าของสารดูดซับถูกปกคลุมด้วยโมเลกุล 1 ชั้นแล้ว ความสามารถในการดูดซับของมันจะลดลง จึงเกิดการผันกลับได้ยาก นอกจากจะมีการให้ความร้อนถึงอุณหภูมิสูงๆ แล้วสารดูดซับจึงจะแยกตัวออกมาจากสารดูดซับได้ (Sawyer et al., 1994) ปฏิริยาที่เกิดขึ้นจะเกิดที่อุณหภูมิสูงและเกี่ยวข้องกับพลังงานกระตุ้น (activation energy) รวมทั้งยังมีการใช้พลังงานความร้อนในการผันกลับของปฏิริยาด้วย ทั้งนี้ การดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญต่างๆ ได้แก่ ส่วนประกอบของพื้นผิวของของแข็ง ความเข้มข้นของตัวถูกละลาย พีเอช และอุณหภูมิของสารละลาย (Allard et al., 1987)

นอกจากนี้ยังมีการกล่าวถึงการดูดซับอีกประเภทหนึ่ง คือการดูดซับแบบแลกเปลี่ยน (exchange adsorption) ซึ่งใช้ในการอธิบายถึงการดูดซับที่บอกลักษณะด้วยการดึงดูดทางไฟฟ้า ระหว่างสารดูดซับกับบริเวณผิวหน้าของสารดูดซับ โดยที่การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) ก็ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มของการดูดซับประเภทนี้เช่นกัน กล่าวคือ ไอออนของสารดูดซับซึ่งมีอยู่เป็น



จำนวนมากบริเวณผิวหน้าเป็นผลมาจากการดึงดูดทางศักย์ไฟฟ้า (electrostatic attraction) ซึ่งดึงดูดไอออนสู่บริเวณที่มีประจุแบบตรงกันข้ามที่อยู่บนผิวหน้าของสารดูดซับ รวมทั้งไอออนของสารดูดซับที่มีอยู่ในสารละลายจะเกิดการแลกเปลี่ยนกับไอออนที่มีประจุแบบเดียวกันซึ่งแปะติดอยู่กับสารดูดซับ โดยทั่วไปนั้นไอออนที่มีประจุมากกว่า เช่น ไอออนแบบไตรวาเลนต์ (trivalent ions) จะถูกดึงสู่บริเวณที่มีประจุแบบตรงกันข้ามได้แรงกว่าไอออนที่มีประจุน้อยกว่า เช่น ไอออนแบบโมนอวาเลนต์ (monovalent ions) การแลกเปลี่ยนไอออนเป็นปฏิกิริยาเคมีที่ผันกลับได้ นอกจากนี้ไอออนที่มีขนาดเล็กกว่าจะถูกดึงดูดได้แรงกว่าไอออนที่มีขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะมีความแตกต่างกันระหว่างการดูดซับทั้ง 3 ประเภทที่กล่าวมา แต่ก็ยังเป็นการยากที่จะตัดสินใจว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นบนสารดูดซับใดๆ จะมีการดูดซับแบบใดแบบหนึ่งที่กำลังกล่าว มาเกิดขึ้นเพียงแบบเดียวบนสารดูดซับนั้น (Sawyer et al., 1994)

### 2.3.4 ข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี

การดูดซับทางกายภาพไม่ได้รวมถึงการถ่ายเทหรือการใช้อิเล็กทรอนิกส์ร่วมกันและมักจะเกิดพันธะหรือการสัมผัสกันเฉพาะตัว (Individuality of interacting species) จึงทำให้การผันกลับ (Reversible interaction) และในการขจัดหรือทำให้ตัวถูกดูดซับหลุดออกจากพื้นผิวตัวดูดซับที่เรียกว่า การคายสาร (Desorption) นั้นสามารถที่จะย้อนกลับในสภาวะอุณหภูมิเดียวกันได้ ถึงแม้ว่ากระบวนการนั้นจะเกิดอย่างช้า ๆ เนื่องจากอิทธิพลของการแพร่ก็ตาม (Diffusion effects) แต่การดูดซับทางเคมี รวมถึงการเกิดพันธะทางเคมีจะไม่สามารถผันกลับได้

การดูดซับทางกายภาพสามารถเกิดได้ทั่ว ๆ บนพื้นผิวของตัวดูดซับนั้น คือ ไม่มีบริเวณจำเพาะในการเกิดกระบวนการดูดซับ (site specific) และภายใต้สภาวะความดัน อุณหภูมิที่เหมาะสมจะเกิดการดูดซับหลายชั้นได้ ในทางตรงข้ามการดูดซับทางเคมีจะเกิดเฉพาะส่วน โมเลกุลที่ถูกดูดซับอย่างพอเหมาะ ในพื้นที่ที่เหมาะสมเท่านั้น และจะเกิดการดูดซับชั้นเดียวเสมอ

แรงที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับทางกายภาพส่วนใหญ่เป็นแรง แวนเดอร์วาลส์ความร้อนที่จะได้น้อยกว่าการดูดซับทางเคมีซึ่งเกิดจากพันธะเคมี อย่างไรก็ตามความร้อนนี้มักไม่ใช่เป็นข้อเปรียบเทียบความแตกต่างเท่าไรหรอก โดยทั่วไปค่าสูงสุดของค่าความร้อน (upper limit) ของตัวดูดซับมีค่ามากกว่า 20 kcal/mol ขึ้นไป ส่วนค่าความร้อนของการดูดซับทางเคมีมีช่วงต่ำกว่า 20 kcal/mol ถึงมากกว่า 100 kcal/mol ดังนั้นจะเห็นว่า ถ้าใช้ค่าความร้อนบอกลักษณะแตกต่างของทั้งสองกระบวนการแล้ว ต้องใช้ค่าความร้อนที่มีค่าสูงหรือต่ำเท่านั้นจึงจะใช้ได้



### 2.3.5 สรุปข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี

- 1) การดูดซับทางกายภาพไม่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนหรือใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน
- 2) การดูดซับทางกายภาพจะไม่จำกัดเกี่ยวกับบริเวณที่เกิดปฏิกิริยา โมเลกุลที่ถูกดูดซับสามารถเข้าไปเกาะยังพื้นที่ผิวส่วนใดก็ได้ แต่การดูดซับทางเคมีจะเลือกเฉพาะบริเวณที่สามารถเกิดพันธะเคมีได้เท่านั้น
- 3) ค่าความร้อนของการดูดซับทางกายภาพจะมีค่าต่ำ โดยมีค่าเท่ากับความร้อนของการกลายเป็นของเหลว ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับ การดูดซับทางเคมีที่มีค่าเปลี่ยนแปลงตามปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น
- 4) การดูดซับทางกายภาพจะเกี่ยวข้องกับการเกิดของชั้นหลายโมเลกุล (multimolecular layers) ส่วนการดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นสมบูรณ์ เมื่อมีการเกิดชั้นที่หนึ่งแล้ว ซึ่งบางครั้งการดูดซับทางกายภาพจะเกิดขึ้นที่พื้นผิวชั้นบนของการดูดซับทางเคมีก็ได้
- 5) การดูดซับทางกายภาพจะเกิดขึ้นอย่างทันที เป็นการแพร่เข้าไปในรูพรุนของสารดูดซับ ซึ่งต้องใช้เวลานานพอสมควร ส่วนการดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นอย่างทันทีเช่นกัน แต่ต้องอาศัยพลังงานกระตุ้นด้วย (ปิยะพร, 2542)

### 2.3.6 วัฏภาคตัวถูกดูดซับ (Adsorbate phase)

ลักษณะอย่างหนึ่งของอนุภาคตัวถูกดูดซับ คือ ความสามารถในการเคลื่อนที่ (mobility) ของตัวถูกดูดซับ ลักษณะและความสามารถในการเคลื่อนที่ที่แปรเปลี่ยนอยู่ระหว่างลักษณะที่มีสภาวะคล้ายกับของเหลวกับลักษณะที่มีสภาวะคล้ายกับของแข็ง ซึ่งสามารถแยกประเภทของวัฏภาคตัวถูกดูดซับได้เป็น 2 ประเภท คือ วัฏภาคเคลื่อนที่ (mobile phase หรือ nonlocalized phase) และวัฏภาคไม่เคลื่อนที่ (immobile phase หรือ localized phase) ภายในวัฏภาคเคลื่อนที่ ตัวถูกดูดซับจะประพติดัวคล้ายของเหลวและโมเลกุลของมันสามารถเคลื่อนที่ไปมาได้ แต่ความสามารถในการเคลื่อนที่นี้ จะถูกจำกัดโดยแรงดึงดูดของแข็งที่มีต่อโมเลกุลที่ถูกดูดซับอันเนื่องมาจากอิทธิพลของสนามศักย์ภาพ (potential field) ของพื้นผิวของแข็ง โดยทั่วไปแล้วการดูดซับทางฟิสิกส์จะเกิดวัฏภาคประเภทนี้ สำหรับกรณีของวัฏภาคไม่เคลื่อนที่ อนุภาคตัวถูกดูดซับ

จะติดแน่นกับที่ที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้ แต่ว่าโมเลกุลยังคงมีการสั่นไหว (vibration) อยู่ วัฏภาคประเภทหลังนี้เกิดขึ้นเสมอสำหรับการดูดซับทางเคมี ส่วนในการดูดซับทางฟิสิกส์นั้นจะเกิดวัฏภาคประเภทนี้ได้ก็ต่อเมื่อสนามศักย์ภาพมีความแข็งแรงมากพอเท่านั้น

### 2.3.7 แรงที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับ (Adsorption force)

สำหรับการดูดซับทางกายภาพแล้ว โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเกาะบนผิวพื้นของของแข็งได้ก็ด้วยผลของแรงชนิดต่าง ๆ ซึ่งแบ่งออกได้ 3 ประเภท คือ

1) แรงแพร่กระจาย (Dispersion force) เป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว เกิดจากการกระจายตัวของอิเล็กตรอนบริเวณต่าง ๆ ภายในอะตอมขณะใดขณะหนึ่งไม่เท่ากัน ทำให้อะตอมหรือโมเลกุลมีขั้วชั่วขณะหนึ่ง เกิดไดโพล (dipole) ขึ้น สามารถเหนี่ยวนำให้โมเลกุลข้างเคียงเกิดมีไดโพลตรอน เป็นผลให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล

2) แรงผลักระยะสั้น (Short-range repulsive force) เป็นแรงผลักที่เกิดจากอะตอมหรือโมเลกุลทั้งสองอยู่ใกล้ชิดกันมาก ระยะของแรงผลักจะมีอยู่ระยะหนึ่งเมื่อพื้นระยะดังกล่าวจะไม่เกิดแรงผลัก อะตอมหรือโมเลกุลสามารถเกิดแรงดึงดูดกันได้ แรงผลักระยะสั้นมีการซ้อนทับกันของหมอกอิเล็กตรอน (Electron clouds) แรงชนิดนี้จะมีผลต่อการดูดซับเมื่อปริมาณก๊าซที่ถูกดูดซับมีค่าสูงเพราะที่สภาวะเช่นนี้ โมเลกุลก๊าซจะอยู่ใกล้ชิดกันมากขึ้น

3) แรงไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic force) เป็นแรงที่มีผลจากการที่อะตอมของแข็งเป็นอะตอมที่มีอิเล็กตรอน หรืออะตอมมีขั้ว ซึ่งสามารถเหนี่ยวนำให้โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเกิดไดโพลได้ นอกจากนั้นยังเป็นผลจากการที่โมเลกุลเองมีไดโพลถาวร (Permanent dipole) แรงเหล่านี้จะทำให้เกิดการดูดซับดียิ่งขึ้น

แรงเหล่านี้ต่างก็มีผลต่อการดูดซับ แรงประเภท 1 และ 2 จะเกิดขึ้นเสมอในการดูดซับ ในการคำนวณค่าของแรงแต่ละประเภทนั้นทำไม่ได้ เนื่องจากพื้นผิวของแข็งมีโครงสร้างที่ซับซ้อน ดังนั้นจึงสามารถอธิบายได้เพียงลักษณะเท่านั้น

### 2.3.8 อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล (Rate of molecular transfer)

อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุลมีความสำคัญต่อการดูดซับ ขั้นตอนในการดูดซับที่ผิวของสารดูดซับที่มีรูพรุน มี 3 ขั้นตอน คือ

1) การขนส่งทั้งก้อน (Bulk transport) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุด โมเลกุลของตัวถูกละลายในของเหลว จะถูกส่งไปที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบาง ๆ ที่หุ้มอยู่ที่ผิวของสารดูดซับ

2) การขนส่งชั้นฟิล์ม (Film transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลของตัวถูกละลายที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบาง ๆ แทรกตัวเข้าสู่ที่ผิวหน้าของสารดูดซับ การขนส่งชั้นฟิล์มเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการแพร่ผ่านฟิล์ม (Film diffusion) จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับที่ผิวขั้นตอนหนึ่ง

3) การขนส่งภายในอนุภาค (Intraparticle transport) เป็นการแพร่ของโมเลกุลของตัวถูกละลายที่อยู่ที่ผิวหน้าของสารดูดซับเข้าสู่รูพรุนของสารดูดซับ (Pore diffusion) และทำให้เกิดการดูดซับภายใน ซึ่งขั้นตอนนี้จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับเช่นกัน

### 2.3.9 จลนพลศาสตร์ของการดูดซับ (Kinetic adsorption)

ลักษณะของการดูดซับหรือการส่งถ่ายมวลสารที่อยู่ภายในสารละลายไปยังพื้นที่ผิวของของแข็งซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้กำจัดสารปนเปื้อนมี 3 ขั้นตอนสำคัญ คือ

1) การถ่ายโอนมวลสารของสารที่ถูกดูดซับจากภูมิภาคของเหลวหรือแก๊สเข้าสู่บริเวณรอบนอกที่ใกล้กับพื้นผิวของสารดูดซับหรือที่ทางเข้ารูพรุนของสารดูดซับ

2) การแพร่กระจายของมวลสารที่ถูกดูดซับจากรอบนอกที่ใกล้กับพื้นผิวของสารดูดซับเข้าสู่ผิวภายในรูพรุนของสารดูดซับ

3) การดูดซับ คือการที่โมเลกุลที่อยู่ภายในรูพรุนถูกดูดซับจากสารละลายไปแปะติดอยู่ที่ภูมิภาคของแข็ง ซึ่งเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับ 2 ขั้นตอนที่ผ่านมา คาดว่าภาวะสมดุลเกิดขึ้นระหว่างภูมิภาคทั้งสองนี้

### 2.3.10 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

#### 1) ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ

ความสามารถในการดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ และ อัตราการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดตัวดูดซับ โดยกลไกของการดูดซับภายนอกของตัวดูดซับที่ไม่มีโพรงนั้น อัตราการดูดซับจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวดูดซับ สำหรับตัวดูดซับที่มีโพรง อัตราการของการเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่ผิวภายในโพรงถูกควบคุมโดยความต้านทานภายนอกที่เรียกว่า film transport ดังนั้น อัตราการดูดซับจะมีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนกับเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าการเคลื่อนที่ภายในเป็นตัวควบคุมอัตราการดูดซับเคลื่อนย้ายของมวลภายนอก จะประมาณได้ว่าคงที่สำหรับขนาดอนุภาคคาร์บอนที่อยู่ในช่วง 300–900 (50/70) ขนาดตะแกรงมาตรฐาน ถึง 20/25 ขนาดตะแกรงมาตรฐาน) และจะลดลงเมื่อเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค (Mathews and Zayas, 1989)

#### 2) ลักษณะของตัวดูดซับ

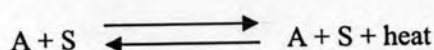
ความสามารถในการละลายน้ำของตัวดูดซับเป็นปัจจัยสำคัญในการดูดซับ การดูดซับจะเพิ่มขึ้น เมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวดูดซับในตัวทำละลายลดลง เนื่องจากในการดูดซับตัวดูดซับจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลาย ซึ่งในที่นี้คือ น้ำ โดยตัวดูดซับที่ละลายน้ำได้ดี หรือแตกตัวเป็นไอออนได้ดีจะมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำสูง จึงเป็นการยากในการดูดซับ ดังนั้นสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยจะสามารถดูดซับได้ดี นอกจากความสามารถในการละลายแล้ว ขนาดโมเลกุลของตัวดูดซับยังมีความสัมพันธ์กับการดูดซับ ซึ่งถ้าอัตราการเคลื่อนที่ภายในโพรงเป็นอัตราที่ควบคุมกลไกแล้ว ความสามารถในการดูดซับจะแปรผกผันกับขนาดโมเลกุลของตัวดูดซับ

#### 3) พีเอช (pH)

พีเอชมีอิทธิพลต่อการดูดซับ เนื่องจากไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกไซด์ไอออนสามารถถูกดูดซับอย่างค่อนข้างแข็งแรง การดูดซับไอออนอื่นๆ จึงมีผลกระทบมาจากพีเอชของสารละลาย นอกจากนี้ พีเอชยังมีผลต่อการแตกตัวของไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ อีกด้วย

#### 4) อุณหภูมิ

การดูดซับโดยทั่วไปเป็นกระบวนการคายความร้อน (exothermal) ดังนั้นความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง แต่อัตราเร็วในการดูดซับจะสูงขึ้น แสดงดังสมการ



ที่ซึ่ง A คือสารถูกดูดซับ และ S คือพื้นที่ผิว เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยา นอกจากนี้ อุณหภูมิ จะมีผลต่อความสามารถในการดูดซับ โดยเปลี่ยนความสามารถในการละลาย เช่น เมื่ออุณหภูมิลดลงโดยปกติจะทำให้ความสามารถในการละลายสูงขึ้น มีผลทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลง

#### 5) ความปั่นป่วน

อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับ การแพร่ภายนอกและการแพร่ภายใน ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาตัวดูดซับ ดังนั้นการแพร่ภายนอกจึงเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าความปั่นป่วนสูงจะเกิดฟิล์มบางๆ ทำให้การแพร่ภายในเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

#### 6) เวลาสัมผัส

เวลาสัมผัสเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ และอายุการใช้งานของถังดูดซับ มีการศึกษาพบว่าเวลาสัมผัสของถังเปล่าของสารดูดซับ และความเข้มข้นของน้ำเข้าของสารชีวมีคเป็นปัจจัยสำคัญซึ่งมีอิทธิพลต่ออายุการใช้งานของชั้นคาร์บอน โดยถ้าเวลาสัมผัสถึงเปล่าเพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของน้ำลดลงแล้ว อายุการใช้งานของถังคาร์บอนจะนานขึ้น เวลาสัมผัสใช้ในการลดสารอินทรีย์ในน้ำเสียขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์อื่นๆ เช่น พื้นที่ผิวในการดูดซับ ลักษณะของ โพรง ชนิดและขนาด โมเลกุลของตัวดูดซับในสารละลายและชนิดของคาร์บอน



### 2.3.11 ไอโซเทอร์มการดูดติดผิว

สมการเอมพิริคัลทางคณิตศาสตร์จำนวนมากซึ่งเรียกว่าไอโซเทอร์ม ถูกพัฒนาเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ดูดติดผิว (sorption) ไอโซเทอร์ม เป็นการพล็อตขนาดการดูดติดผิว เมื่อความเข้มข้นสารดูดซับ (sorbate) เพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิคงที่ ไอโซเทอร์มทำให้ได้กราฟของวัตถุที่ถูกดูดซับ (mass of sorbate/mass of sorbent) ในฟังก์ชันของความเข้มข้นที่สมดุลของสารดูดซับ รูปแบบของไอโซเทอร์มที่เหมาะสมกับแต่ละระบบขึ้นอยู่กับชนิดของสารดูดซับ (sorbate) และสารดูดซับ (sorbent) อาจจะมีไอโซเทอร์มหลายลักษณะที่สามารถอธิบายถึงระบบนั้นๆ ได้มีการใช้ไอโซเทอร์มการดูดติดผิวมาเป็นเวลานานเพื่อศึกษาปรากฏการณ์การดูดติดผิวหลายๆรูปแบบ มีการค้นคว้าถึงแบบจำลองสำหรับการดูดติดผิวทางกายภาพ บางส่วนเพิ่มสมการที่เหมาะสมสำหรับการดูดติดผิวทางเคมีด้วย (Shuman, 1975) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการดูดติดผิวที่พบเห็นโดยทั่วไปมี 2 แบบ คือ แลงมัวร์ และฟรุนดลิชไอโซเทอร์ม (Langmuir และ Freundlich isotherms)

#### 1) แบบจำลองแลงมัวร์ (Langmuir model)

แบบจำลองแลงมัวร์ขึ้นอยู่กับสมมติฐานที่ว่า ที่ผิวของของแข็งมีสารดูดซับสะสมอยู่เพียงชั้นเดียว กราฟของไอโซเทอร์มแบบแลงมัวร์ จากกราฟที่เฟสของเหลว (liquid phase) เมื่อความเข้มข้นของสารดูดซับ (sorbate) เพิ่มขึ้น แสดงว่าผงของสารดูดซับ (sorbent) ถูกปกคลุมด้วย สารดูดซับในสัดส่วนที่มากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารในเฟสของสารละลาย (solution phase) สูงขึ้น สารดูดซับจะอิ่มตัวอย่างสมบูรณ์ จุดที่ความเข้มข้นสูงกว่านี้จะไม่เกิดการดูดซับสารใดๆ ดังนั้นจะไม่มีการดูดซับเกิดขึ้นอีก สมการที่ใช้อธิบายระบบของแลงมัวร์คือ

$$X = \frac{(X_m b C_e)}{(1 + b C_e)}$$

โดยที่

$X$  = ปริมาณของตัวถูกละลายต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับที่ใช้ในการสร้างแผ่นชั้นเดียว (Monolayer) มีหน่วยเป็น mg/g หรือ mol/g

$C_e$  = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่จุดสมดุล มีหน่วยเป็น mg/l หรือ mol/l

$b$  = ค่าคงที่ของพลังงานในการดูดซับ

## 2) แบบจำลองของฟรอนด์ลิช (Freundlich model)

ลักษณะของไอโซเทอร์มแบบนี้เป็นคือ การดูดซับจะยังคงดำเนินต่อไปเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารดูดซับ ไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรอนด์ลิช เขียนได้ดังนี้

$$x/m = KC_e^{1/n} \quad \text{หรือ} \quad q = K_F C_e^{1/n}$$

โดยที่

$$q = \frac{(C_0 V - C_e V)}{m}$$

โดยที่

$X$  = จำนวนของตัวถูกละลายที่ดูดซับ หน่วยเป็น mg/l หรือ moi/l

$K, 1/n$  = สัมประสิทธิ์การดูดซับของฟรอนด์ลิช หรือค่าคงที่ของระบบ

$q$  = ค่าปริมาณการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

$m$  = น้ำหนักของตัวดูดซับ (กรัม)

$C_0$  = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$C_e$  = ความเข้มข้นของสารละลายที่เหลืออยู่ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$V$  = ปริมาตรของสารละลาย (มิลลิลิตร)

จากไอโซเทอร์มฟรอนด์ลิชจะเห็นได้ว่ามวลของสารที่ถูกดูดซับเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นเฟสของน้ำ (aqueous phase) จากสมการข้างต้น สามารถเขียนในรูป ลอการิทึมได้ดังนี้

$$\text{Log } q = \text{log } K_F + 1/n \text{ log } C_e$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง  $\log q$  กับ  $\log C_e$  จะได้เส้นตรง ซึ่งมีความชัน  $1/n$  และจุดตัดแกน  $y$  เท่ากับ  $\log K_F$  สำหรับค่า  $1/n$  ที่เกือบจะเท่ากับ 1 แสดงถึงความจุของการดูดซับที่ดี

#### 2.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดินเบาเป็นหินตะกอนที่ทับถมกันของไดอะตอม มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแร่ซิลิกา (Si-OH) สามารถดูดซับโมเลกุลที่มีขั้วได้ (Gouti และคณะ, 2003) ได้มีการศึกษาการดูดซับด้วยดินเบาโดยมีการปรับปรุงคุณภาพของดินเบาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการเผา (ชัยศรี ชัยวุฒิ, 2544)

ชฎาภรณ์ บุญแท้ (2545) ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับ แคลเซียม โครเมียม (ประจุ+3) และอาร์เซนิก จากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยดินเบา ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนัก ปริมาณดินเบา ค่าพีเอชของสารละลายและช่วงเวลาสัมผัส มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับแคลเซียมคือ ความเข้มข้นของแคลเซียมเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ดินเบาปริมาณ 2.0 กรัม ค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 5 และช่วงเวลาสัมผัส 10 ชั่วโมง โดยประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 99.92% สำหรับการดูดซับโครเมียมสภาวะที่เหมาะสม คือ ความเข้มข้นของโครเมียม เท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ดินเบาปริมาณ 1.0 กรัม ค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 4 และช่วงเวลาสัมผัส 10 ชั่วโมง โดยประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 98.82% จากการศึกษาพบว่าดินเบาไม่เหมาะสม ที่จะใช้ในการดูดซับอาร์เซนิกในช่วงความเข้มข้นที่ศึกษา แต่สามารถดูดซับได้ดีเมื่อนำดินเบาไปเผาที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมงมาใช้ในการดูดซับ พบว่าสามารถใช้กำจัดอาร์เซนิกได้ดี โดยสภาวะที่เหมาะสมคือ ความเข้มข้นของอาร์เซนิก เท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ดินเบาเผาปริมาณ 1.0 กรัมกับค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 4 และช่วงเวลาสัมผัสเท่ากับ 6 ชั่วโมง ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงถึง 99.96%

พรเพ็ญ มีทองมูล (2545) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ดินเบาเคลือบแมงกานีสออกไซด์ในการดูดซับ อาร์เซนิก แคลเซียม และตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ ผลการศึกษา พบว่าความเข้มข้นของอาร์เซนิก เท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ดินเบาปริมาณ 0.1 กรัม ค่าพีเอช

ของสารละลายเท่ากับ 7 และช่วงเวลาสัมผัส 12 ชั่วโมง โดยประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 35.19% สำหรับการดูดซับแคดเมียม สภาวะที่เหมาะสม คือ ความเข้มข้นของแคดเมียม เท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ดินเบาปริมาณ 0.1 กรัม ค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 5 และช่วงเวลาสัมผัส 8 ชั่วโมง โดยประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 91.67 % สำหรับการดูดซับตะกั่ว สภาวะที่เหมาะสม คือ ความเข้มข้นของตะกั่ว เท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ดินเบาปริมาณ 0.1 กรัม ค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 4 และช่วงเวลาสัมผัส 45 นาทีโดยประสิทธิภาพในการดูดซับสูงกว่า 99 %

Srimurali, Pragathi และKarthikeyan (1998) ได้ศึกษาเรื่องการนำ kaolinite, bentonite, charfines, lignite และnirmali seed มาใช้ในการดูดซับฟลูออไรด์ในน้ำดื่ม โดยเลือกมาทำการศึกษาแบบ batch adsorption ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ เวลาที่สัมผัส พีเอช ปริมาณและขนาดของตัวดูดซับ ผลการศึกษาได้ว่า nirmali seed และlignite ไม่มีประสิทธิภาพพอในการกำจัดฟลูออไรด์ คือ กำจัดฟลูออไรด์ได้เพียง 6 เปอร์เซ็นต์ และ 8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ดิน kaolinite มีประสิทธิภาพถึง 18.2 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ charfines และ bentonite มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดคือ 38 เปอร์เซ็นต์และ 46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ศุภวรรณ เกตุคุ้ม (2545) ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการใช้ดินเบาในการดูดซับไซยาไนด์ไอออนในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า ปริมาณดินเบา พีเอช เวลาสัมผัสและความเข้มข้นของไซยาไนด์ไอออน มีผลต่อความสามารถในการดูดซับไซยาไนด์ไอออนด้วยดินเบาโดยภาวะที่เหมาะสมในการใช้ดินเบาดูดซับไซยาไนด์ไอออนในน้ำเสียสังเคราะห์ คือ ใช้ปริมาณดินเบา 1 กรัม พีเอช 9 ในเวลา 9 ชั่วโมง เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์ไอออนคือ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับไซยาไนด์ไอออนของดินเบามีถึง 90-95%

Aytas และคณะ (1999) ศึกษาการกำจัดยูเรเนียมในสารละลายด้วยไออะดอมไมต์ซึ่งมีคุณสมบัติในการเป็นตัวดูดซับที่ดี โดยใช้การศึกษาแบบโครมาโทกราฟี การศึกษาใช้ตัวแปรในการทดลอง 4 ด้าน คือ ความเข้มข้นของสารละลายยูเรเนียม pH เวลาที่สัมผัส และอุณหภูมิ และใช้ Langmuir isotherm ศึกษาคุณสมบัติการดูดซับ

Agdi และคณะ (2000) ศึกษาการกำจัดสาร Atrazine และ Chlorpyriphous จากสารละลายโดยการดูดซับโดยดินเบา พารามิเตอร์ในการศึกษา คือ ปริมาณดินเบา พีเอช เวลาในการสัมผัส ความเข้มข้นเริ่มต้นของสาร และ อุณหภูมิ ผลการศึกษาพบว่า ดินเบาเป็นตัวดูดซับที่ดีมากสำหรับ Atrazine และ Chlorpyriphous พีเอชมีอิทธิพลต่อการดูดซับคือ ค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้นทำให้การดูดซับลดลง สำหรับเวลาในการสัมผัสจะเป็นอิสระต่อการดูดซับ เวลาสัมผัสมากกว่าการดูดซับ

จะเกิดมาก ปริมาณดินเบาที่ 20 กรัม ให้ค่าการดูดซับสูงสุด ผลของความเข้มข้นของสารเริ่มต้นทั้งสองชนิดพบว่า Atrazine และ Chlorpyrifous ที่ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เป็นจุดที่ให้ค่าการดูดซับสูงสุด และอุณหภูมิไม่มีผลต่อการดูดซับ

Kei Mizuta และคณะ (2004) ได้ทำการศึกษาการกำจัดไนเตรทในน้ำดื่มโดยใช้ผงถ่านที่ทำจากไม้ไผ่ พบว่าผงถ่านจะมีการดูดซับได้ดีเมื่อผ่านการเผา ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยสภาวะที่ดูดซับสารละลายไนเตรทได้ดี คือที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของไนเตรทคือ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

Ozturk และBektas (2004) ศึกษาการดูดซับไนเตรทด้วยดิน Sepiolite ซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นซิลิกา โดยเปรียบเทียบระหว่างดิน Sepiolite ดิบ และดินSepiolite ที่ผ่านการเตรียมกับกรดไฮโดรคลอริก โดยทำการดูดซับไนเตรทในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมจากสารละลายโซเดียมไนเตรท 100 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าดิน Sepioliteที่ผ่านการเตรียมกับกรดไฮโดรคลอริกมีประสิทธิภาพในการดูดซับดีกว่าดิน Sepiolite ดิบ โดยสภาวะที่เหมาะสมคือ ใช้เวลาที่สัมผัส 5 นาที พีเอชคือ 2 และใช้ปริมาณ Sepiolite 20 กรัมต่อลิตรของสารละลาย การเพิ่มขึ้นของปริมาณตัวดูดซับมีผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรทเพิ่มขึ้นด้วย

Yong H. Huang และTian C. Zhang (2004) ได้ศึกษาผลของพีเอชที่มีต่อการดูดซับไนเตรทโดยผงเหล็ก พบว่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับไนเตรทคือที่พีเอชเท่ากับ 2