

## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### มลพิษทางอากาศภายในอาคาร

มลพิษทางอากาศหมายถึง ภาวะของอากาศที่มีสารเจือปนอยู่ในปริมาณมากพอ และเป็นระยะเวลานานพอที่จะทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ อนามัยของมนุษย์ สัตว์ และ พืช ซึ่งประเด็นด้านมลพิษทางอากาศได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน คือ มลพิษทางอากาศภายในอาคาร ซึ่งภายในอาคารมีสารปนเปื้อนในอากาศหลายประเภทได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ) สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds, VOCs) รวมถึง เชื้อราและแบคทีเรียต่างๆ ซึ่งอาคารที่มีปัญหาการระบายอากาศจะทำให้ผู้ที่อาศัยอยู่ภายในอาคารเกิดอาการป่วย เช่น ระคายเคืองผิวหนัง เคืองตา คัดจมูก ภูมิแพ้ รวมทั้งอาจก่อให้เกิดโรคที่ร้ายแรงอย่างโรคติดเชื้อทางระบบหายใจจากเชื้อราและแบคทีเรีย หรือโรคมะเร็งจากการได้รับสารอินทรีย์ระเหยง่าย เช่น เบนซีน โทลูอีน และจากฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เข้าไปสะสมภายในปอด (ผกาแก้ว, 2553) โดยสารมลพิษที่เป็นแหล่งมลพิษสำคัญที่ปนเปื้อนภายในอาคารสามารถระบุได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สารมลพิษที่เป็นแหล่งสำคัญในอาคาร (ผกาแก้ว, 2553)

| สารมลพิษในอากาศ                   | แหล่งกำเนิด                                                                                                     | ผลกระทบต่อสุขภาพ                                                                         |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Carbon dioxide                    | การหายใจของมนุษย์ กระบวนการเผาไหม้                                                                              | หายใจติดขัด อ่อนเพลีย เวียนศีรษะ อาจเสียชีวิตได้ถ้าความเข้มข้นสูงมากและระยะเวลาสัมผัสนาน |
| Carbon monoxide                   | ควันบุหรี่ การเผาไหม้เชื้อเพลิง เตาหุงต้ม                                                                       | เวียนศีรษะ ปวดศีรษะ หัวใจเต้นผิดปกติ                                                     |
| Formaldehyde                      | วัสดุก่อสร้างและสิ่งตกแต่งภายใน สารเคลือบผิวเฟอร์นิเจอร์                                                        | เคืองตา ระคายเคืองระบบทางเดินอากาศหายใจ ภูมิแพ้ หอบหืด                                   |
| Nitrogen Oxides                   | เตาหุงต้มที่ใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิง ควันบุหรี่ การเผาไหม้ของเครื่องยนต์                                           | ไอ ระคายเคืองตาและระบบทางเดิน                                                            |
| Ozone                             | เครื่องถ่ายเอกสาร เครื่องฟอกอากาศ                                                                               | ระคายเคืองตา ระบบทางเดินหายใจ                                                            |
| Radon                             | พื้นดิน น้ำใต้ดิน วัสดุก่อสร้าง ปูนซีเมนต์                                                                      | ไม่เกิดผลเฉียบพลัน แต่จะสะสมแล้วทำให้เกิดโรคมะเร็งปอด                                    |
| Volatile Organic Compounds (VOCs) | สีทาบ้าน น้ำยาทำความสะอาด ทินเนอร์ ยาฆ่าแมลง การเผาไหม้เชื้อเพลิง เครื่องถ่ายเอกสาร ไอระเหยของน้ำมัน ควันบุหรี่ | ระคายเคืองตาและระบบทางเดินหายใจ เวียนศีรษะ ปวดศีรษะ อ่อนเพลีย เป็นสารก่อมะเร็ง           |
| Miscellaneous Inorganic Gas       | ควันบุหรี่ เครื่องพิมพ์ น้ำยาทำความสะอาด                                                                        | ระคายเคืองตา และระบบทางเดินหายใจ                                                         |

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) สารมลพิษที่เป็นแหล่งสำคัญในอาคาร (ผกาแก้ว, 2553)

| สารมลพิษในอากาศ | แหล่งกำเนิด                                             | ผลกระทบต่อสุขภาพ                                                 |
|-----------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Asbestos        | ฉนวนกันความร้อน แผ่นกระเบื้อง<br>แผ่นบุผนัง             | ไม่เกิดผลอย่างเฉียบพลันแต่ทำให้เกิดมะเร็งปอด                     |
| Synthetic fiber | Fibrous gas mineral wool                                | ระคายเคืองตาและผิวหนัง โรค<br>ผิวหนังอักเสบ                      |
| Tobaaco smoke   | การสูบบุหรี่                                            | ผลต่อระบบทางเดินหายใจก่อให้เกิด<br>โรคมะเร็งปอด ภูมิแพ้และหอบหืด |
| Microorganisms  | ระบบปรับอากาศ แผ่นกรองอากาศ<br>พรม ฝ้าเพดานที่เปียกชื้น | ปวดศีรษะ ไอก่อให้เกิดโรคภูมิแพ้<br>และหอบหืด                     |

### ชนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds)

สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds, VOCs) คือกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ที่สามารถระเหยเป็นไอได้ที่อุณหภูมิห้องและความดันปกติ โมเลกุลส่วนใหญ่ประกอบด้วยอะตอมคาร์บอนและไฮโดรเจน อาจมีออกซิเจนหรือคลอรีนร่วมด้วย สารอินทรีย์ระเหยง่ายสามารถพบได้จากสิ่งต่างๆที่ใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น น้ำยาทำความสะอาด น้ำยาซักแห้ง น้ำยาเคลือบวัสดุ สีทาบ้าน ทินเนอร์ เฟอร์นิเจอร์ ไม้ วัสดุยาฆ่าแมลง สารทำละลาย นอกจากนี้ยังพบในควันบุหรี่ ไอเสียจากเครื่องยนต์ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต่างๆ รวมทั้งควันที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรม สารอินทรีย์ระเหยง่ายสามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ตามลักษณะของโมเลกุลคือ (ผกาแก้ว, 2553)

- Non-chlorinated VOCs หรือ Non-halogenated hydrocarbons เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง ก๊าซโซลีน สารตัวทำละลาย เช่น alcohols, hexane, aldehydes และสาร aromatic hydrocarbons เช่น สารในกลุ่ม BTEX (benzene, toluene, ethylbenzene และ xylenes)

- Chlorinated VOCs หรือ Halogeneated hydrocarbons ได้แก่ กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่มีธาตุคลอรีนในโมเลกุล สารในกลุ่มนี้มีความเป็นพิษและเสถียรตัวในสิ่งแวดล้อม มากกว่าสารกลุ่ม non-chlorinated ทำให้สลายตัวได้ยากในธรรมชาติ ทั้งทางชีวภาพ กายภาพ หรือกระบวนการทางเคมี จึงเกิดสะสมในสิ่งแวดล้อมได้นาน เนื่องจากมีโครงสร้างที่มีพันธะระหว่างคาร์บอนและธาตุกลุ่มฮาโลเจนที่ทนทานมาก ตัวอย่างสารที่พบได้ในสิ่งแวดล้อม เช่น chloroform, ethylene dibromide, trichloroethylene (TCE), tetrachloroethylene (PCE), vinyl chloride

### ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของสารอินทรีย์ระเหยง่าย

สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศจากอุตสาหกรรมต่างๆ จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพดังนี้ (รวมพร นิคม, 2548).

**-ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม** สารอินทรีย์ระเหยง่ายมีส่วนในการทำให้ระบบนิเวศในธรรมชาติเสียสมดุล โดยเมื่อฝนตก และชะสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศลงสู่ดินหรือแหล่งน้ำ จะส่งผลให้เกิดความเป็นพิษขึ้น พืชและสัตว์น้ำบางชนิดไม่สามารถอยู่ได้ นอกจากนั้นสารอินทรีย์ระเหยง่ายยังส่งผลต่อชั้นโอโซน โดยทำให้ชั้นโอโซนเกิดการกระจายตัว แสงอาทิตย์สามารถส่องผ่านมายังโลกได้มากขึ้น ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน

**-ปัญหาด้านสุขภาพ** สารอินทรีย์ระเหยง่ายสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทางคือ การหายใจทางปากโดยการกินดื่ม การสัมผัสทางผิวหนัง ซึ่งความเป็นพิษต่อร่างกายมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ชนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ได้รับ ปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่าย ช่วงครึ่งชีวิตของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในร่างกาย สภาพสมบูรณ์ของร่างกาย และระบบขับถ่ายของเสีย

สารอินทรีย์ระเหยง่ายเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจทำให้ประสิทธิภาพของระบบภูมิคุ้มกันลดลง ส่งผลกระทบต่อระบบประสาท เช่น กดประสาท ทำลายประสาทส่วนกลาง และส่งผลกระทบต่อด้านอื่นๆ เช่น ระบบฮอร์โมน ระบบสืบพันธุ์ รวมถึง อาจก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้

### ค่ามาตรฐานของสารอินทรีย์ระเหยง่าย

เนื่องจากการศึกษาทางด้านคุณภาพอากาศยังไม่แพร่หลายมากนักในปัจจุบันทำให้ยังไม่มี การกำหนดค่ามาตรฐานสำหรับคุณภาพอากาศในอาคารอย่างชัดเจนมาตรฐานคุณภาพในอากาศที่ประกาศในประเทศไทยที่มีการประกาศเป็นทางการมีเฉพาะมาตรฐานมลพิษในบรรยากาศทั่วไปเท่านั้น โดยมาตรฐานของสารอินทรีย์ระเหยง่ายอื่นๆ ในบรรยากาศทั่วไปเป็นเวลา 1 ปี แสดงดังตารางที่ 2.2

**ตารางที่ 2.2** มาตรฐานของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศทั่วไปเป็นเวลา 1 ปี

| สารมลพิษ                                       | ค่ามาตรฐาน            |
|------------------------------------------------|-----------------------|
| 1. เบนซีน (Benzene)                            | ไม่เกิน 1.7 มก./ลบ.ม  |
| 2. ไวนิลคลอไรด์ (Vinyl Chloride)               | ไม่เกิน 10 มก./ลบ.ม   |
| 3. 1,2 - ไดคลอโรอีเทน (1,2 - Dichloroethane)   | ไม่เกิน 0.4 มก./ลบ.ม  |
| 4. ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene)         | ไม่เกิน 23 มก./ลบ.ม   |
| 5. ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane)              | ไม่เกิน 22 มก./ลบ.ม   |
| 6. 1,2 - ไดคลอโรโพรเพน (1,2 - Dichloropropane) | ไม่เกิน 4 มก./ลบ.ม    |
| 7. เตตระคลอโรเอทิลีน (Tetrachloroethylene)     | ไม่เกิน 200 มก./ลบ.ม  |
| 8. คลอโรฟอร์ม (Chloroform)                     | ไม่เกิน 0.43 มก./ลบ.ม |
| 9. 1,3 - บิวทาไดอีน (1,3 - Butadiene)          | ไม่เกิน 0.33 มก./ลบ.ม |

\*(ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 30 (พ.ศ.2550) เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ โดยทั่วไปเป็นเวลา 1 ปี ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 124 ตอนพิเศษ 143 ง วันที่ 14 กันยายน พ.ศ. 2550

จากการศึกษาข้อมูลจากต่างประเทศพบว่า ยังไม่มีการประกาศใช้มาตรฐานสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอาคารเช่น กัน โดยมาตรฐานที่มีการประกาศใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นค่ามาตรฐานของบรรยากาศทั่วไป โดยมาตรฐานของหน่วยงานต่างๆ ของต่างประเทศ แสดงดังตารางที่ 2.3

**ตารางที่ 2.3** ค่ามาตรฐานสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศของหน่วยงานต่างๆ (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

| compounds    | WHO guideline for air quality (2000)<br>$\mu\text{g}/\text{m}^3$<br>(AVG. ambient air concentration) | New Zealand<br>$\mu\text{g}/\text{m}^3$<br>(Guideline value) | Canada<br>(Ambient air quality criteria, Ontario) | Arizona (guideline ) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |         |         |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------|---------|
|              |                                                                                                      |                                                              |                                                   | 1 hour                                        | 2 hours | 3 hours |
| Benzene      | 5-20                                                                                                 | 10<br>(annual)                                               | -                                                 | 630                                           | 51      | 0.14    |
| Ethylbenzene | 1-100                                                                                                | -                                                            | 1000(24 h)                                        | 4500                                          | 3500    | -       |
| Toluene      | 5-150                                                                                                | -                                                            | 2000(24 h)                                        | 4700                                          | 3000    | -       |
| Xylene       | 1-100                                                                                                | -                                                            | 2300(24 h)                                        | 5500                                          | 3500    | -       |

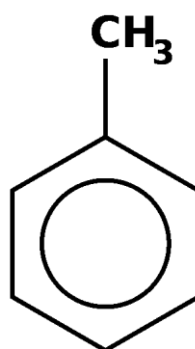
### โทลูอิน (Toluene)

เป็นตัวทำละลายประเภท aromatic hydrocarbon กลุ่ม BTEX ที่มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีคุณสมบัติเป็นสารไวไฟที่เสี่ยงต่อการติดไฟและระเบิด ไม่มีฤทธิ์กัดกร่อน มีกลิ่นหอมฉุนเล็กน้อยคล้ายกลิ่นเบนซีน แต่ความเป็นพิษน้อยกว่าจัดเป็นสารที่มีอันตรายปานกลางที่อยู่ใน packing group II: substance presenting medium danger ตามการจำแนกชั้นของ United Nations สำนักงานผลิตภัณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมได้ให้บทนิยามของโทลูอินสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมไว้ว่า “โทลูอิน” หมายถึง สารอินทรีย์ที่มีสูตร เคมี  $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$  เป็นของเหลวไวไฟ มีกลิ่นเฉพาะตัว มีจุดเดือด 110.6 องศาเซลเซียส มีจุดวาบไฟ 4.4 องศาเซลเซียส ละลายได้ในแอลกอฮอล์ เบนซีน และอีเทอร์ แต่ไม่ละลายในน้ำโดยมีคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ดังนี้

|                                                           |                                                 |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| ความหนาแน่น ( $\text{g}/\text{ml}$ , $20^\circ\text{C}$ ) | = 0.8669                                        |
| ความถ่วงจำเพาะ ( $20^\circ\text{C}$ )                     | = 0.8623                                        |
| จุดหลอมเหลว                                               | = $-95^\circ\text{C}$ ( $-139^\circ\text{F}$ )  |
| จุดเดือด (760 mm Hg)                                      | = $110.6^\circ\text{C}$ ( $231^\circ\text{F}$ ) |
| ความดันไอ ( $25^\circ\text{C}$ )                          | = 28.7 mmHg                                     |
| ความหนาแน่นไอ                                             | = 3.2                                           |

|                        |                                                                                            |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| จุดวาบไฟ               | =4.4 °C                                                                                    |
| อุณหภูมิที่ติดไฟได้เอง | = 552 °C(896 °F)                                                                           |
| การละลายน้ำ            | = ละลายน้ำได้น้อยมาก (535 mg/l ที่ 25 °C)                                                  |
|                        | แต่ละลายได้ดีใน alcohol, chloroform, ether, acetone, glacial acetic acid, carbon disulfide |

โดยโครงสร้างของโทลูอินแสดงดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของโทลูอิน  
ที่มา ( MSDS,2001 )

### ประโยชน์ของโทลูอินใช้ในอุตสาหกรรม

ประโยชน์ของโทลูอินมี ดังนี้

- 1) ใช้เป็นตัวทำละลาย (solvent) หรือ ทินเนอร์ ในอุตสาหกรรมสีพ่นรถยนต์ สีทาบ้าน สีเคลือบ สีย้อมผ้า น้ำมันเคลือบสี น้ำมันขัดเงา แล็กเกอร์ เรซิน วาร์นิช กาว ยา สารเคมี ยางพลาสติก พรม และเครื่องเรือน
- 2) ใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้น และเป็น intermediate ในอุตสาหกรรมอินทรีย์เคมี อุตสาหกรรม การสังเคราะห์เคมี และผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เช่น การผลิตเบนซีน ฟีนอล กรดเบนโซอิก ซัลคาริน โทลูอินไดไอโซไซยานาท หัวน้ำหอม ยาฆ่าแมลง และวัตถุระเบิดโดยเฉพาะ TNT (Trinitrotoluene)
- 3) ใช้เป็นอุตสาหกรรมหนังเทียม เส้นใย การเคลือบกระดาษ และหมึกพิมพ์
- 4) ใช้เป็นองค์ประกอบในสูตรผสมน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องบิน และเครื่องยนต์บางชนิด
- 5) ใช้เป็นสารสกัดหรือล้างสี (paint remover)
- 6) ใช้เป็นสารเติมแต่ง (additive) ในเครื่องสำอาง
- 7) ใช้สกัดสารจากพืช
- 8) ใช้ทำความสะอาดในโรงงานอุตสาหกรรม

### ผลกระทบของโพลูอินต่อมนุษย์

การเข้าสู่ร่างกายของสารโพลูอิน เข้าทางการหายใจ ทางผิวหนัง การกินหรือกลืน การสัมผัส ถูกตา เมื่อสารโพลูอินเข้าสู่ร่างกายแล้วจะเกิดการเปลี่ยนแปลงในร่างกาย กลไกการเกิดพิษของสารที่เป็นกลุ่มตัวทำละลาย เช่นสารโพลูอินนี้ยังไม่ชัดเจนนัก แต่ส่วนใหญ่จะมีผลต่ออวัยวะต่างๆ คล้ายกัน เช่น ระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้เกิดอาการวิงเวียน ซึม เมื่อร่างกายดูดซึมแล้ว จะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ตับ แล้วเปลี่ยนรูปไปเป็นกรดเบนโซอิก (benzoic acid) และถูกขับออกจากร่างกายทางไต ในรูปปัสสาวะ แต่อาจมีบางส่วนถูกขับออกทางการหายใจหรือทางผิวหนัง การขจัดสารโพลูอินออกจากร่างกาย ขึ้นกับปริมาณที่ได้รับ ส่วนใหญ่โพลูอินจะถูกขับออกจากร่างกายอย่างรวดเร็ว ภายในเวลาไม่เกิน ๒๔ ชั่วโมง หลังได้รับสารเข้าสู่ร่างกาย

**ตารางที่ 2.4** ปริมาณที่ได้รับและผลกระทบต่อร่างกาย (กองประเมินผลกระทบสุขภาพอนามัย, 2555)

| ปริมาณที่ได้รับ                     | อาการ                                                                                                      |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ปริมาณ ๑๐ – ๑๕ ส่วนในล้านส่วน       | เริ่มรับกลิ่นของโพลูอินได้                                                                                 |
| ปริมาณ ๕๐ ส่วนในล้านส่วน            | มีอาการง่วงนอนและปวดศีรษะ                                                                                  |
| ปริมาณ ๕๐-๑๐๐ ส่วนในล้านส่วน        | มีอาการระคายเคืองบริเวณจมูก คอ และระบบทางเดินหายใจ                                                         |
| ปริมาณ ๑๐๐ ส่วนในล้านส่วน           | มีอาการอ่อนเพลียและวิงเวียนศีรษะ หน้ามืด ตาลาย                                                             |
| ปริมาณ ๒๐๐ ส่วนในล้านส่วน           | มีอาการคล้ายคนเมาเหล้า มึนงง คลื่นไส้เล็กน้อย                                                              |
| ปริมาณมากกว่า ๕๐๐ ส่วนในล้านส่วน    | มีอาการสับสน เกิดความไม่สัมพันธ์กันของการเคลื่อนไหว ระบบประสาทสัมผัสไม่ดี ทำให้เกิดอุบัติเหตุหกล้มตามมาได้ |
| ปริมาณ ๘๐๐ ส่วนในล้านส่วน           | มีอาการสับสน ควบคุมตัวเองไม่ได้ กล้ามเนื้ออ่อนแรง อาจทำให้นอนไม่หลับหลายวัน                                |
| ปริมาณมากกว่า ๑๕๐๐ ส่วนในล้านส่วน   | มีอาการอ่อนเพลียอย่างมาก                                                                                   |
| ปริมาณมากกว่า ๑๐.๐๐๐ ส่วนในล้านส่วน | ทำให้หมดสติและอาจถึงแก่ชีวิต                                                                               |

## เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene)

เอทิลเบนซีนมีชื่อทางวิทยาศาสตร์อีกแบบหนึ่งคือ phenylethane เป็นสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่มีสูตร  $C_8H_{10}$  เกิดขึ้น โดยเบนซีนทำปฏิกิริยากับเอทิลีน แล้วสร้างพันธะโคเวเลนต์ มีช่วงการสลายตัวที่สั้น นอกจากนี้เอทิลเบนซีนมีคุณสมบัติทั่วไปคือ เป็นของเหลวใส ไม่มีสี ติดไฟง่าย มีจุดหลอมเหลว -95 องศาเซลเซียส และจุดเดือด 136 องศาเซลเซียส โดยมีรายละเอียดดังนี้ (Anderson et al.,1993)

|                           |                                                                  |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------|
| ความหนาแน่น (g/ml, 20 °C) | = 0.867                                                          |
| มวลโมเลกุล(g/mol)         | = 96                                                             |
| ความถ่วงจำเพาะ (20 °C)    | = 0.867                                                          |
| จุดหลอมเหลว               | = -95.01 °C                                                      |
| จุดเดือด (760 mm Hg)      | = 136.25 °C                                                      |
| จุดวาบไฟ                  | = -6.6 °C                                                        |
| อุณหภูมิที่ติดไฟได้เอง    | = 432.2 °C                                                       |
| การละลายน้ำ               | = ไม่สามารถละลายน้ำได้<br>แต่ละลายใน ethyl alcohol , ethyl ether |

เอทิลเบนซีนเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติและเกิดจากการสังเคราะห์ในอุตสาหกรรมผลิตยาง พลาสติก ลาเท็ก หมึกพิมพ์ ตัวทำละลาย และ สารเคลือบผิววัสดุ

### ประโยชน์ของเอทิลเบนซีนในอุตสาหกรรม

เอทิลเบนซีนใช้ในอุตสาหกรรมหลายชนิด แสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 วัสดุที่มีองค์ประกอบของเอทิลเบนซีน

| วัสดุ               | สารที่เป็นองค์ประกอบในวัสดุ |
|---------------------|-----------------------------|
| Fiberboard          | เอทิลเบนซีน                 |
| Vinyl coating       | เอทิลเบนซีน                 |
| Floor lacquers      | เอทิลเบนซีน                 |
| คอมพิวเตอรืและจอภาพ | เอทิลเบนซีน                 |

### ตารางที่ 2.5 (ต่อ) วัสดุที่มีองค์ประกอบของเอทิลเบนซิน

| วัสดุ                                                   | สารที่เป็นองค์ประกอบในวัสดุ |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Preprinted paper forms                                  | เอทิลเบนซิน                 |
| น้ำยาทำความสะอาด                                        | เอทิลเบนซิน                 |
| สารประกอบที่ใช้สมาน หรือ เชื่อมต่อ (caulking compounds) | เอทิลเบนซิน                 |

### ผลกระทบของเอทิลเบนซินต่อสุขภาพ

เอทิลเบนซิน เมื่อเข้าสู่ร่างกายสามารถดูดซับเข้าสู่ปอด ระบบช่วยย่อยในร่างกาย ผิวหนัง และยังสามารถถ่ายทอดไปสู่ทารกในครรภ์ได้หากได้รับในปริมาณที่ไม่สูงมากนักจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อปอด ระบบส่วนกลาง และก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ และผิวหนังได้นอกจากนี้การศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับเอทิลเบนซินเข้าสู่ร่างกาย พบว่าหากได้รับสารดังกล่าว เข้าสู่ร่างกายที่ระดับความเข้มข้นสูงเป็นระยะเวลานานทำให้โอกาสเสี่ยงที่จะเป็นเนื้องอก (จิรัฐธา, 2551) โดยรายละเอียดของผลกระทบต่อสุขภาพมีดังนี้

สัมผัสทางหายใจ - การหายใจเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อเมือก และทางเดินหายใจส่วนบน กดประสาทส่วนกลาง

สัมผัสทางผิวหนัง - การสัมผัสผิวหนังจะทำให้เกิดการระคายเคืองผิวหนัง กินหรือกลืนเข้าไปจะทำให้เกิดการระคายเคือง คลื่นไส้ อาเจียน ปวดศีรษะ

สัมผัสถูกตา - การสัมผัสถูกตา จะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อตา

การก่อมะเร็ง ความผิดปกติอื่น ๆ - อวัยวะเป้าหมาย คือระบบประสาทส่วนกลาง ปอด ทรวงอก ระบบหายใจ ไต ตับ กระเพาะปัสสาวะ อวัยวะพันธุ เป็นอันตรายต่อทารกในครรภ์ (ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์, 2556)

### วิธีการบำบัดอากาศ

วิธีการโดยทั่วไปการบำบัดมลพิษทางอากาศที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีด้วยกันหลายวิธี โดยมีรายละเอียดดังนี้ (เกริก, 2549 ; Hodgson et al., 1994)

1. การควบแน่น (Condensation) ก๊าซเสียที่มีสารปนเปื้อนที่มีจุดเดือดสูงเมื่อเข้าสู่ระบบบำบัดด้วยวิธีนี้ สารปนเปื้อนดังกล่าวบางส่วนอาจถูกทำให้กลั่นคืนมาใหม่ด้วยวิธีการทำให้ก๊าซเสียเย็น และการอัดความดัน เทคนิคการบำบัดด้วยวิธีนี้จะเป็นวิธีที่ประหยัดเฉพาะในกรณีที่สารปนเปื้อนที่ถูกบำบัดที่สามารถทำให้กลั่นคืนมาได้และมีคุณภาพสามารถนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตได้อีกครั้ง ถ้าก๊าซเสียถูกผสมกับสารปนเปื้อนตัวอื่นๆหลายชนิด การนำสารปนเปื้อนที่ต้องการกลับมาใช้ใหม่อาจ

เป็นไปได้ยากและอาจจำเป็นต้องมีการเผาของเหลวที่ได้จากการกลั่นตัวนี้ วิธีการบำบัดก๊าซเสียด้วยวิธีนี้บางครั้งอาจต้องมีการเพิ่มวิธีการบำบัดก๊าซเสียด้วยวิธีอื่นรวมด้วย เพื่อให้ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในก๊าซเสียที่ออกจากระบบอยู่ในระดับตามมาตรฐานที่กำหนดไว้

2. การเผา (Incineration) การใช้ความร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยาในการเผาเป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและมีประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซเสีย การเผาด้วยความร้อน (Thermal incineration) เป็นวิธีการเผาสารมลพิษที่อุณหภูมิประมาณ 700-1400 องศาเซลเซียส ส่วนวิธีการเผาร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic incineration) จะใช้อุณหภูมิในการเผาประมาณ 300-700 องศาเซลเซียสร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาอย่างเช่น แพลทินัม (Platinum), พาลลาเดียม (Palladium) และ รูบิเดียม (Rubidium) วิธีการบำบัดก๊าซเสียด้วยการเผานี้เป็นวิธีที่นิยมมาก แต่ค่าใช้จ่ายในการบำบัดจะสูงถ้าก๊าซเสียมีความเข้มข้นของสารมลพิษต่ำเพราะจำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงเพิ่มเข้าไปในการเผา มาก บ่อยครั้งที่มีการพัฒนาหรือการปรับปรุงวิธีการควบคุมระบบความร้อนเพื่อที่จะพยายามลดค่าใช้จ่ายส่วนของเชื้อเพลิงในการเดินระบบการเกิดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) และไดออกซินเป็นสารมลพิษที่เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นจากการบำบัดด้วยวิธีการนี้ โดยทั่วไปวิธีการบำบัดก๊าซเสียด้วยวิธีการเผาเป็นวิธีที่เหมาะสมมากสำหรับก๊าซเสียที่มีอัตราการไหลปานกลาง

3. การดูดซับ (Adsorption) โดยปกติแล้ววิธีการบำบัดก๊าซเสียด้วยวิธีการดูดซับนั้นจะประกอบไปด้วยวัสดุดูดซับอย่างเช่น activated carbon หรือ zeolite ซึ่งวัสดุเหล่านี้อาจอยู่ในลักษณะยึดติดอยู่กับที่หรือเคลื่อนที่ได้ในตัวระบบบำบัด และวิธีการกำจัดก๊าซเสียวิธีนี้ก็เป็นที่นิยมมีประสิทธิภาพมากสำหรับการบำบัดก๊าซเสียที่มีปริมาณความเข้มข้นของสารปนเปื้อนต่ำ สิ่งที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของระบบนี้คืออัตราการไหลของก๊าซเสีย, ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยและองค์ประกอบเฉพาะของสารอินทรีย์ระเหย โดยทั่วไปแล้วการบำบัดก๊าซเสียด้วยวิธีดูดซับนิยมใช้ในการควบคุมปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่มีความดันไอต่ำและมวลโมเลกุลสูง เมื่อวัสดุดูดซับถูกใช้งานไปจนถึงขีดความสามารถในการดูดซับทั้งระบบ ประสิทธิภาพในการบำบัดจะลดลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนวัสดุดูดซับใหม่และบ่อยครั้งที่วัสดุดูดซับนี้จำเป็นต้องกำจัดในลักษณะที่เป็นของเสียอันตรายทำให้มีค่าใช้จ่ายในส่วนนี้เพิ่มขึ้นอีก ปัญหาการหาจุดพอดีของขีดจำกัดของระบบดูดซับก็เป็นปัญหาหนึ่งที่มักประสบอยู่บ่อยๆ การตัดสินใจที่ผิดพลาดในส่วนของการกำหนดจุดพอดีของการดูดซับนี้อาจทำให้วัสดุดูดซับถูกเปลี่ยนใหม่ก่อนถึงเวลาอันควร ปัญหานี้ก็ทำให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นได้เช่นกัน วิธีที่ทำให้ activated carbon กลับคืนสภาพ (regeneration) นั้นอาจทำได้ด้วยวิธีการใช้ไอน้ำร้อนหรือลมร้อน แต่เมื่อ activated carbon หมดสภาพจนไม่สามารถใช้วิธีกลับคืนสภาพได้แล้วก็ต้องนำไปกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบหรือการเผาซึ่งต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงในการดำเนินการเช่นกัน

4. ระบบกรองชีวภาพ (Biofiltration) เป็นเทคโนโลยีการควบคุมมลพิษทางอากาศด้วยวิธีทางชีวภาพ อากาศเสียจะถูกบำบัดโดยการไหลผ่านตัวกลางที่มีจุลินทรีย์อาศัยอยู่ จุลินทรีย์จะทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารมลพิษที่ต้องการบำบัด และสุดท้ายอากาศที่ได้รับการบำบัดนี้จะมีสารมลพิษน้อยลงและสามารถปล่อยออกสู่บรรยากาศภายนอก การกรองชีวภาพมีหลักการพื้นฐานเดียวกับกระบวนการแผ่นฟิล์มชีวภาพ (Biofilm process) คือ มีกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในระบบกรองชีวภาพและรอบๆ แผ่นฟิล์มชีวภาพ โดยมีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของสารตั้งต้น (Substrate) เช่น สารอินทรีย์ระเหย (Volatile organic compound: VOC) และปริมาณของก๊าซ

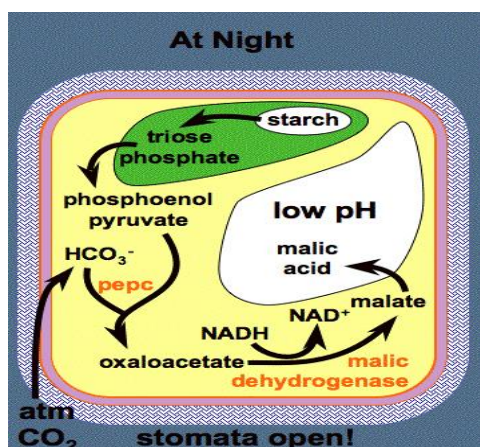
ออกซิเจน กระบวนการแรกที่เกิดขึ้นภายในระบบคือสารเคมีที่อยู่ในสถานะก๊าซ (Gas phase) จะมีการเคลื่อนย้ายในส่วนเชื่อมต่อกันระหว่างก๊าซที่กำลังไหลอยู่ระหว่างช่องว่างภายในระบบกับส่วนที่เป็นของเหลวที่อยู่รอบๆ ตัวกลางที่มีแผ่นฟิล์มชีวภาพเกาะอยู่ จากนั้นสารเคมีจะแพร่ผ่านสู่แผ่นฟิล์มชีวภาพซึ่งแผ่นฟิล์มชีวภาพนี้คือกลุ่มของจุลินทรีย์ที่สามารถปรับสภาพให้สามารถดำรงชีวิตและดำเนินกิจกรรมการย่อยสลายสารมลพิษที่เข้าสู่ระบบได้ สุดท้ายจุลินทรีย์จะได้พลังงานจากการออกซิไดส์สารเคมีที่เป็นสารตั้งต้นนี้ ภายในเซลล์ หรือ จุลินทรีย์อาจจะปล่อยเอนไซม์ออกมาเพื่อที่จะทำการย่อยสลายภายนอกเซลล์ ในเวลาเดียวกันการแพร่และการใช้สารอาหารอย่างเช่นไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในรูปที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ และก๊าซออกซิเจน ภายในระบบกรองชีวภาพก็เกิดขึ้นด้วยเช่นกัน การใช้สารเคมี, ตัวรับอิเล็กตรอน (Electron acceptor) และสารอาหาร ภายในระบบกรองชีวภาพจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องโดยการแพร่ผ่านสู่แผ่นฟิล์มชีวภาพ ในการออกแบบและการเดินระบบที่ถูกต้องตามหลักการแล้วนั้นจะสามารถเปลี่ยนก๊าซเสียที่มีสารเคมีที่ต้องการบำบัดให้เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย (End product) คือ  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  หรือ เกลืออนินทรีย์ (Inorganic salts) และ มวลชีวภาพ (Biomass) ได้

## พืช CAM พืช C3 และ C4

### 1. พืช CAM (CAM plant)

พืช CAM จะมีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ

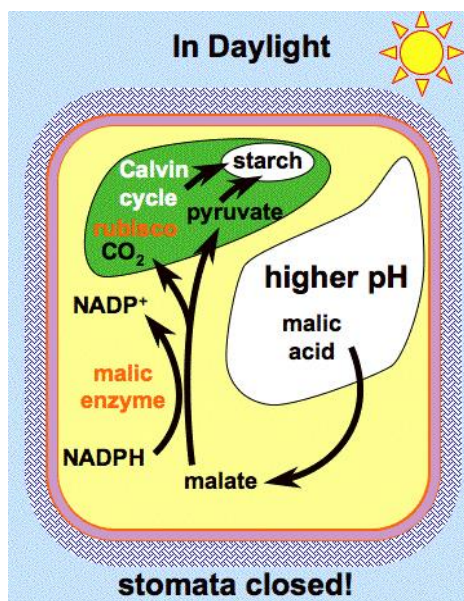
1) ในเวลากลางคืน (At night) พืช CAM จะเปิดปากใบเพื่อตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ โดยกรดฟอสโฟอินอล ไพรูวิก (PEP) จะถูกกระตุ้นให้รวมตัวกับคาร์บอนไดออกไซด์ โดยเอนไซม์ฟอสโฟ-อินอลไพรูเวต คาร์บอกซิเลส (PEP Carboxylase) ได้กรดออกซาโลอะซีติก (OAA) และ OAA นี้จะถูกเอนไซม์ มาเลตดีไฮโดรจีเนส (Malate dehydrogenase) กระตุ้นให้เปลี่ยนไปเป็นกรดมาลิก (Malic acid) แล้วลำเลียงไปเก็บสะสมไว้ในแวคิวโอล ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช CAM ครั้งที่ 1 ในเวลากลางคืน

จากภาพที่ 2.2 ในเวลากลางคืน ปากใบเปิด (At Night stomata open!) และมีกลไก การเกิดปฏิกิริยาไกลโคไลซิสในไซโทซอลและไมโทคอนเดรีย ได้สารพวกน้ำตาลที่มีคาร์บอน 3 อะตอม และมีหมู่ฟอสเฟต จนกระทั่งได้ ฟอสโฟอินอลไพรูวิก (PEP) และ PEP นี้ถูกลำเลียงออกมายังไซโทซอล ในขณะเดียวกันแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ( $\text{atm CO}_2$ ) แพร่ผ่านปากใบเข้าไปในมีโซฟิลล์ และละลายน้ำได้กรดคาร์บอนิก ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) และแตกตัวได้  $\text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$  จากนั้นเอนไซม์ฟอสโฟอินอลไพรูเวต คาร์บอกซิเลส (PEP Carboxylase หรือ pepc) กระตุ้นให้  $\text{HCO}_3^-$  รวมตัวกับ PEP ได้ Oxaloacetate (OAA) และ OAA จะถูกกระตุ้นด้วยเอนไซม์มาลิก ดีไฮโดรจีเนส (Malic dehydrogenase) และ NADH ไปเป็น กรดมาลิก (Malic acid) แล้วลำเลียงไปสะสมไว้ใน แวคิวโอล

ในเวลากลางวันเมื่อเริ่มมีแสงปากใบจะปิดเพื่อลดการสูญเสียน้ำ กรดมาลิกจะถูกลำเลียงจากแวคิวโอลเข้าสู่คลอโรพลาสต์ พืชจะมีกระบวนการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากกรดมาลิก ที่สะสมไว้ และคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกตรึงเข้าสู่วัฏจักรคัลวินตามปกติ และเนื่องจากการปิด ปากใบทำให้คาร์บอนไดออกไซด์แพร่ออกนอกใบได้ยาก ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ ในเซลล์สูง ทำให้อัตราโฟโตเรสไพเรชันลดลงอย่างมาก ดังภาพที่ 2.3



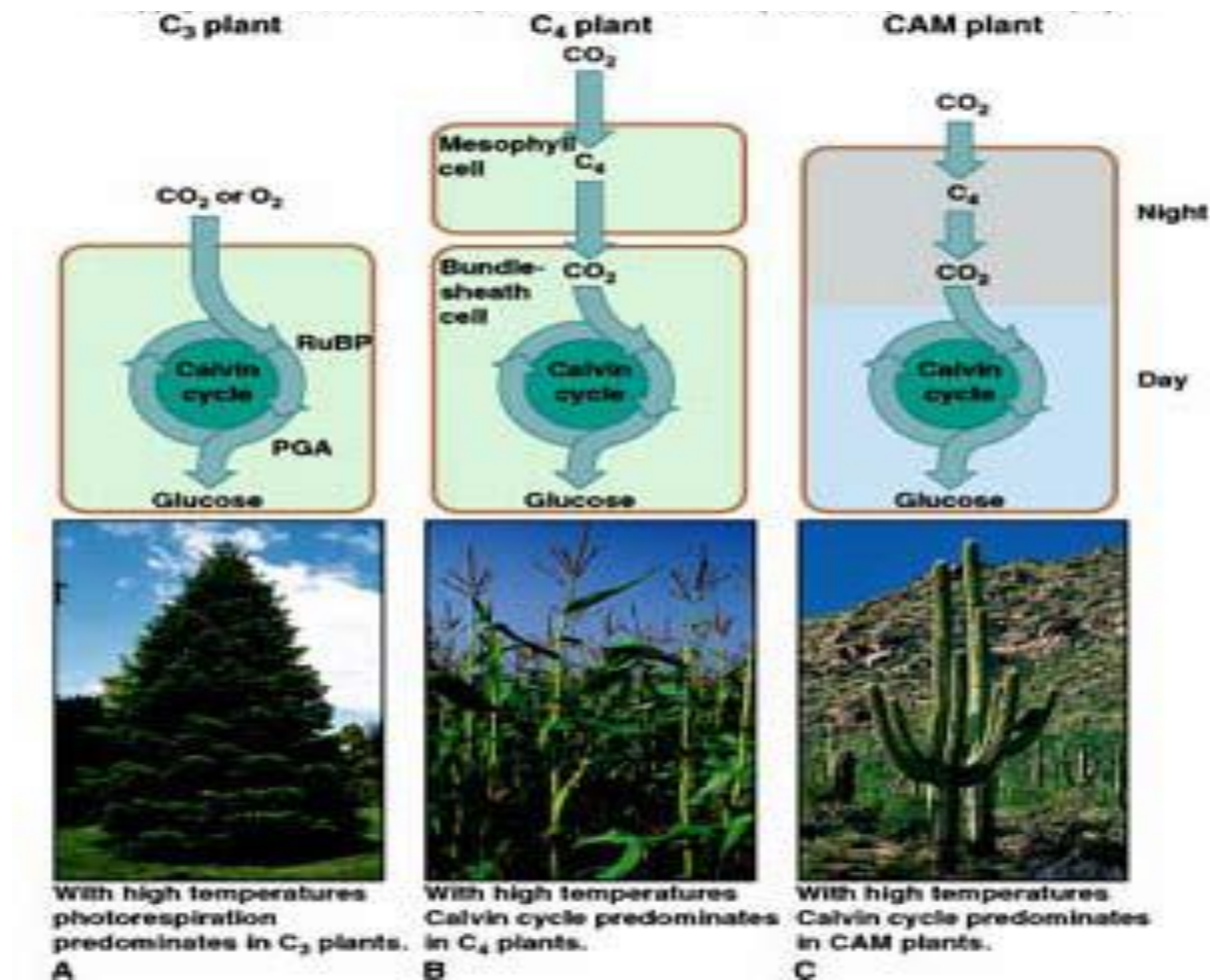
ภาพที่ 2.3 การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช CAM ครั้งที่ 2 ในเวลากลางวัน

2) ในเวลากลางวัน ปากใบปิด (In Daylight stomata closed!) กรดมาลิกที่สะสมอยู่ใน แวคิวโอล และลำเลียงมายังไซโทซอล กรดมาลิกจะถูกกระตุ้นด้วยเอนไซม์ มาลิกดีคาร์บอกซิเลส (Malic decarboxylase) และ NADPH ให้แตกตัวออกเป็น กรดไพรูวิก และคาร์บอนไดออกไซด์ กรดไพรูวิกเกิดปฏิกิริยาสังเคราะห์แบ่ง เพื่อเก็บสะสมไว้ในเวลากลางคืน ในขณะที่มีแสง ก็เกิดปฏิกิริยาช่วงใช้แสงเพื่อสังเคราะห์ ATP และ NADPH ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ถูกกระตุ้นด้วยเอนไซม์รูบิสโก ให้รวมตัวกับ RuBP และเข้าสู่วัฏจักรคัลวิน จนสังเคราะห์น้ำตาลได้ในที่สุด พืชที่มีกลไกการตรึง

คาร์บอนไดออกไซด์ที่กล่าวมาข้างต้น พบในพืชที่มีใบอวบน้ำ หลายชนิด เช่น คว่ำตายหงายเป็น กุหลาบหิน กระบองเพชร ศรนารายณ์ กล้วยไม้ วานหางจระเข้ สับปะรด พืชบางชนิด เช่น สับปะรด เป็นพืชที่มีการตรึงคาร์บอนออกไซด์ได้ 2 แบบ กล่าวคือ เมื่ออยู่ในสภาพ แดดล้นที่ เหมาะสม จะสังเคราะห์ด้วยแสงโดยใช้วัฏจักรคัลวินเพียงอย่างเดียว เหมือนพืช C3 แต่ถ้าอยู่ในสภาพแดดล้นที่ไม่เหมาะสม เช่น การขาดแคลนน้ำ อุณหภูมิสูง หรือดินเค็ม สับปะรดจะแสดงการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์แบบพืช CAM ได้

## 2. พืช C3 (C3 plant) พืช C4 (C4 plant) และพืช CAM (CAM Plant)

พืช C3 พืช C4 และพืช CAM ต่างก็มีกลไกการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อใช้ในกระบวนการ สังเคราะห์ด้วยแสงเหมือน ๆ กัน โดยพืชทุกชนิดจะต้องมีวัฏจักรคัลวิน เพื่อตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ เข้ามาในใบ และนำไปสู่การสังเคราะห์น้ำตาล พืชทุกชนิดต่างก็มีการปรับตัว เพื่อที่จะเจริญเติบโตและกระจายพันธุ์ในเขตต่าง ๆ ของภูมิอากาศโลก จากการศึกษาพบว่า พืช C3 มีการกระจายพันธุ์ ได้ดีในเขตอบอุ่นและเขตร้อน พืช C4 มีการกระจายพันธุ์ได้ดีในเขตร้อน ส่วนพืช CAM มีการกระจายพันธุ์ได้ดีในเขตร้อนแห้งแล้ง ซึ่งพืชทุกชนิดต่างก็มีการปรับตัวเกี่ยวกับการสังเคราะห์ ด้วยแสงที่ต่างกัน เพื่อที่จะดำรงชีวิตในเขตภูมิอากาศนั้น ๆ ของโลก เช่นพืช C3 พืช C4 และพืช CAM มีกลไกการตรึง คาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 เปรียบเทียบกลไกการตรึง CO<sub>2</sub> ในพืช C<sub>3</sub> พืช C<sub>4</sub> และพืช

จากภาพที่ 2.4 (ด้านบน) เป็นการเปรียบเทียบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช โดยพืช C<sub>3</sub> มีการตรึง CO<sub>2</sub> เพียงครั้งเดียวที่เนื้อเยื่อมีโซฟิลล์ และเกิดวัฏจักรคัลวิน ในเวลากลางวัน (Day : สีฟ้า) พืช C<sub>4</sub> มีการตรึง CO<sub>2</sub> 2 ครั้ง ในเวลากลางวัน โดยตรึง CO<sub>2</sub> ครั้งที่ 1 ที่เนื้อเยื่อมีโซฟิลล์ และตรึง CO<sub>2</sub> ครั้งที่ 2 ที่เซลล์บันเดิลชีท และเกิดวัฏจักรคัลวิน ส่วนพืช CAM มีการตรึง CO<sub>2</sub> 2 ครั้ง โดยตรึง CO<sub>2</sub> ครั้งที่ 1 เกิดที่เนื้อเยื่อมีโซฟิลล์ในเวลากลางคืน (Night : สีเทา) และครั้งที่ 2 ที่เนื้อเยื่อมีโซฟิลล์ในเวลากลางวันเช่นกัน และเกิดวัฏจักรคัลวิน พืชทุกชนิดหลังจากเกิดวัฏจักรคัลวิน จะมีการสะสมน้ำตาลที่มีคาร์บอน 3 อะตอม (G3P) และนำไปสู่การสังเคราะห์น้ำตาลที่มีคาร์บอน 6 อะตอม ได้แก่ กลูโคส และสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตชนิดอื่น ๆ ได้

จากตาราง 2.6 (ด้านล่าง) เป็นการเปรียบเทียบเมื่อพืชอยู่ในสภาพที่ความเข้มแสงสูง และแดดร้อนจัดในเวลากลางวัน ซึ่งอากาศมีอุณหภูมิสูง ในพืช C<sub>3</sub> จะเกิดกระบวนการโฟโตเรสไพเรชันเด่นกว่าวัฏจักรคัลวิน ในพืช C<sub>4</sub> เกิดวัฏจักรคัลวินเด่นชัดกว่ากระบวนการโฟโตเรสไพเรชัน และใน

พืช CAM เกิดวัฏจักรคัลวินเด่นชัดกว่ากระบวนการโฟโตเรสไพเรชัน เช่นเดียวกัน และเรายังสามารถเปรียบเทียบพืชทั้ง 3 ชนิด ในลักษณะอื่น ๆ ได้

ตารางที่ 2.6 เปรียบเทียบพืช C3 ,C4และ พืชCAM

| ตัวเปรียบเทียบ                                  | พืช C3    | พืช C4          | พืช CAM           |
|-------------------------------------------------|-----------|-----------------|-------------------|
| จำนวนครั้งการตรึง CO <sub>2</sub>               | 1 ครั้ง   | 2 ครั้ง         | 2 ครั้ง           |
| สารตรึง CO <sub>2</sub>                         | RuBP      | RuBP<br>และ PEP | RuBP และ PEP      |
| ผลิตภัณฑ์ตัวแรก                                 | PGA       | OAA             | OAA               |
| จำนวนครั้งการตรึง CO <sub>2</sub> จากอากาศ      | 1         | 1               | 1                 |
| คลอโรพลาสต์                                     |           |                 |                   |
| - Mesophyll                                     | มี        | มี              | มี (Vacuole ใหญ่) |
| - Bundle sheath                                 | ไม่มี     | มี              | ไม่มี             |
| ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง                   | ต่ำ       | ดีที่สุด        | ดี                |
| จุดอิ่มแสง                                      | มี        | ไม่มี           | ไม่มี             |
| การหายใจ                                        | มี        | ไม่มี           | ไม่มี             |
| จุดอิ่ม CO <sub>2</sub>                         | ไม่มี     | มี              | มี                |
| อัตราการใช้น้ำต่อการตรึง CO <sub>2</sub> 1 กรัม | 400-500 g | 250-300 g       | 50-100 g          |

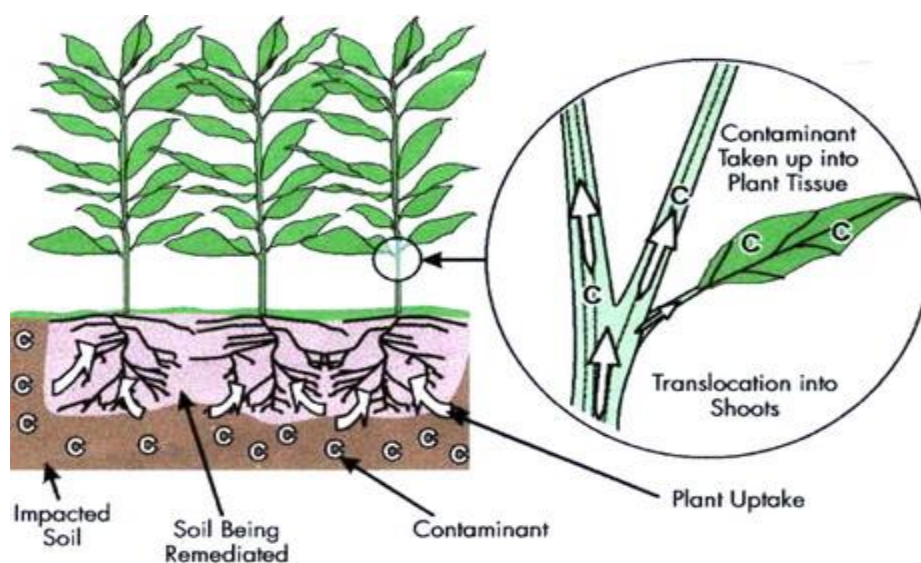
### การบำบัดสิ่งแวดล้อมโดยพืช (Phytoremediation)

เป็นการใช้พืชในการบำบัดสารมลพิษที่ปนเปื้อนทั้งอยู่ในรูปสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่อยู่ในตัวกลางดินน้ำ หรือ อากาศ เพื่อลดอันตรายของสารมลพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม (จันทน์, 2555) การบำบัดสิ่งแวดล้อมโดยพืชจัดเป็นระบบบำบัดที่สามารถสร้างขึ้นได้ในราคาที่ไม่สูงมากนัก เป็นการทำงานโดยอาศัยพลังงานทางธรรมชาติ ไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมี ในขณะที่กิจกรรมทางชีววิทยาของพืชสามารถเปลี่ยนสถานภาพของสารมลพิษไปเป็นสารที่มีความเป็นพิษน้อยลงหรือไม่เป็นพิษได้

การบำบัดสิ่งแวดล้อมโดยพืช (Phytoremediation) สามารถแบ่งออกได้เป็น 6 ประเภท ได้แก่ (Raskin et al., 1997)

#### 1. Phytoextraction

เป็นการใช้พืชเพื่อบำบัดสารมลพิษปนเปื้อนอยู่ในดิน หรือน้ำเสีย โดยใช้พืชไปดูดซึมสารมลพิษโดยผ่านราก แล้วไปเก็บสะสมในเนื้อเยื่อพืชส่วนที่เป็น ลำต้น และ ใบ ในส่วนของผนังเซลล์ หรือ แวคิวโอล แสดงดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 กลไกการทำงานของ phytoextraction

#### 2. Phytostabilization

เป็นการใช้พืชที่มีความสามารถในการยับยั้ง การควบคุม หรือลดการเคลื่อนที่ของสารมลพิษที่ปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดินด้วยการตรึงสารมลพิษหรือยึดไว้ที่รากโดยรากพืชจะดูดและตรึงสารปนเปื้อนไว้บนรากพืช ทำให้สารปนเปื้อนต่างๆ ทำให้สารปนเปื้อนต่างๆภายในดินมีการเปลี่ยนรูปไปอยู่ในรูปที่มีความเสถียร เกิดการตกตะกอน โดยกระบวนการนี้จะสามารถลดการเคลื่อนย้ายสารปนเปื้อนที่เป็นพิษต่างๆ ภายในดิน หรือน้ำใต้ดิน

#### 3. Phytovolatilization

เป็นวิธีที่พืชใช้เอนไซม์เปลี่ยนสารอินทรีย์ที่เบา เช่น น้ำมันก๊าดโซลีน น้ำมันดีเซล ไฮโดรคาร์บอน และสารอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปของไอระเหยได้

#### 4. Phytofiltration

เป็นการใช้ระบบของรากพืชในการดูดซับ และ/หรือตกตะกอนโลหะหนัก และสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย เรียกกระบวนนี้ว่า Constructed wetland

## 5. Phytodegradation

เป็นวิธีที่ใช้ในการบำบัดสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายโดยพืชอาจจะเปลี่ยนสารอินทรีย์เหล่านี้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือเปลี่ยนเป็นสารตัวอื่นที่สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของพืช เอนไซม์ที่รากพืชจะย่อยสลายสารอินทรีย์ให้มีโมเลกุลเล็กลง

## 6. Rhizodegradation

เป็นวิธีที่จุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ที่รากพืชย่อยสลายสารอินทรีย์ เปลี่ยนเป็นชีวมวล ทำให้สารอินทรีย์มีโมเลกุลเล็กลง สุดท้ายกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ao and Lee (2005) ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยการใช้งานร่วมแอคทิเวเตดคาร์บอน เพื่อกำจัดสารมลพิษในอาคารโดยทำการติดตั้งแผ่นกรองอากาศไทเทเนียมไดออกไซด์และแอคทิเวเตดคาร์บอนในเครื่องกรอง โดยไทเทเนียมไดออกไซด์ที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ Degussa P-25 ใช้ในโตรเจนออกไซด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 200 ppb และไทลูอินความเข้มข้นเริ่มต้น 2.2 ppm เป็นสารทดสอบ พบว่าประสิทธิภาพของแผ่นกรองไทเทเนียมไดออกไซด์ร่วมกับแอคทิเวเตดคาร์บอนมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงกว่าแผ่นกรองไทเทเนียมไดออกไซด์เพียงชนิดเดียว เนื่องจากแอคทิเวเตดคาร์บอนช่วยเพิ่มพื้นที่ในการดูดซับสารให้มากขึ้นโดยประสิทธิภาพในการกำจัด NO สูงถึง 66% ในขณะที่การใช้แผ่นกรองไทเทเนียมไดออกไซด์เพียงอย่างเดียวมีประสิทธิภาพในการกำจัด NO และ BTEX น้อยกว่า 10%

Changsuphan, *et al.* (2012) ได้ทำการศึกษาการบำบัดเบนซินในอากาศด้วย zeolite และ ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ที่เคลือบ (coated) ด้วย ZnO nanoparticles โดยอัตราส่วนของ ZnO nanoparticle ต่อ Zeolite และ ZnO nanoparticle ต่อ ถ่านกัมมันต์ 0.5 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก โดยชุดทดลองให้อุณหภูมิอากาศ ประมาณ 30 เซลเซียส และกำหนดเงื่อนไขให้มี UV, O<sub>3</sub> และ UV+O<sub>3</sub> ในบรรยากาศของชุดทดลองด้วย ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า การบำบัดเบนซินที่มีค่าเริ่มต้น 5 ppm นั้น zeolite ที่ถูกเคลือบ ด้วย ZnO nanoparticle จะให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูง (97.9±0.9%) กว่า zeolite ที่ไม่ได้ถูกเคลือบด้วย ZnO nanoparticle (94.2±2.4%) ถ้าในบรรยากาศมี UV, O<sub>3</sub> และ UV+O<sub>3</sub> จะช่วยให้มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 98.4 ±0.4%, 98.2±1.0% และ 98.9 ±0.2% ตามลำดับ ขณะที่ถ่านกัมมันต์สามารถบำบัดเบนซินได้สูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่เคลือบด้วย ZnO nanoparticle เล็กน้อย โดยประสิทธิภาพการบำบัดเบนซินด้วยถ่านกัมมันต์เท่ากับ 98.3% ขณะที่ประสิทธิภาพการบำบัดเบนซิน ด้วยถ่านกัมมันต์ที่เคลือบด้วย ZnO nanoparticle และในบรรยากาศมี UV, O<sub>3</sub> และ UV+O<sub>3</sub> มีค่าเท่ากับ 99.0±0.1%, 99.0±0.2% และ 98.2±0.3% ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการบำบัดเบนซินเป็นการทำงานร่วมกับการดูดซับ การ photodegradation โดย UV และการ ออกซิเดชันของโอโซน (O<sub>3</sub>)

Chuang et al. (2008) ได้ศึกษาการบำบัดเบนซิน และ โทลูอินด้วยไม้มันที่ถูกนำมาทำให้เป็นถ่านกัมมันต์ (CB) โดยนำไม้มันมาเผาที่ 600 องศาเซลเซียสภายใต้สภาวะที่มีก๊าซไนโตรเจน และ นำมากระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส(CB) เปรียบเทียบกับ ถ่านกัมมันต์จากไม้มันที่ปรับด้วย  $\text{TiO}_2$  (CBM)( โดยการผสมกันเพียงอย่างเดียว) และถ่านกัมมันต์จากไม้มันที่มีการผสมกับ  $\text{TiO}_2$  โดยเมื่อผสมกันแล้วนำมาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 100 นาทีต่อไป (CBM) ซึ่งผลการทดลองพบว่าการดูดซับเบนซินสามารถเรียงตามลำดับดังนี้  $\text{CBC} > \text{CBM} > \text{CB}$  โดยมีประสิทธิภาพการบำบัด เท่ากับ 54% , 45% และ 30% ตามลำดับ ส่วนโทลูอิน CB , CBM และ CBC ประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 37%, 41% และ 48% ตามลำดับ

Chairat and paitip (2012) ได้ทำการศึกษาการบำบัดเบนซินภายในอาคารด้วยต้นกวนอิม โดยผลการทดลองได้ใช้เบนซินเริ่มต้นในบรรยากาศ 20 ppm และมี 2 เงื่อนไขคือ ควบคุมให้ต้นกวนอิมอยู่ในสภาวะที่มีแสงตลอด 24 ชั่วโมง และ สภาวะไม่มีแสง 24 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบการดูดซับของเบนซินด้วยต้นกวนอิมในเงื่อนไขที่มีแสงและไม่มีแสง โดยให้ระยะเวลา 4 รอบ (cycle) โดยระยะเวลาแต่ละรอบ 7 วัน ซึ่งผลการทดลองพบว่า ในเงื่อนไขที่ต้นกวนอิมอยู่ในสภาวะที่มีแสง ระยะเวลา 2 รอบ คือ 14 วัน พืชสามารถดูดซับเบนซินสูงกว่าต้นกวนอิมในสภาวะที่ไม่มีแสง และ ระยะเวลา 4 รอบ คือ 28 วัน ต้นกวนอิมสามารถดูดซับเบนซินให้มีประสิทธิภาพสูงถึง 54% และจากการทดลองพบว่าแว็กซ์(wax) ที่อยู่ในต้นกวนอิมสามารถดูดซับเบนซินได้สูงถึง 46%

Singh et al. (2010) ได้ทำการศึกษาการบำบัดโทลูอินโดยการกรองชีวภาพโดยใช้ถ่านไม้เป็นตัวกลาง (media) และจุลินทรีย์ชนิด *Pseudomonas putida* โดยการกรองชีวภาพเป็นระบบต่อเนื่อง 5 เดือน การทดลองกำหนดให้อัตราการไหล (flow rate) แตกต่างกัน 0.06, 0.12, 0.18, 0.24 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และความเข้มข้นของโทลูอินอยู่ในช่วง 0.04-4.5 กรัม/ลูกบาศก์เมตร การทดลองพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอินสูงถึง 77-99.5%

Gallastegui et al (2010) ได้ศึกษาการบำบัดเอทิลเบนซินและโทลูอินโดยระบบกรองชีวภาพโดยใช้ของเสียอินทรีย์ (organic waste) เป็นตัวกลาง โดยระยะเวลาของระบบสำหรับบำบัดเอทิลเบนซิน 415 วัน และสำหรับโทลูอิน 472 วัน และพบว่าระบบกรองชีวภาพมีความสามารถในการบำบัดได้สูงสุด 170, 138 กรัม/ลูกบาศก์เมตร-ชั่วโมง สำหรับเอทิลเบนซิน และโทลูอินมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงถึง 75% และ 87.5% ตามลำดับ

### กรอบแนวความคิดของการวิจัย

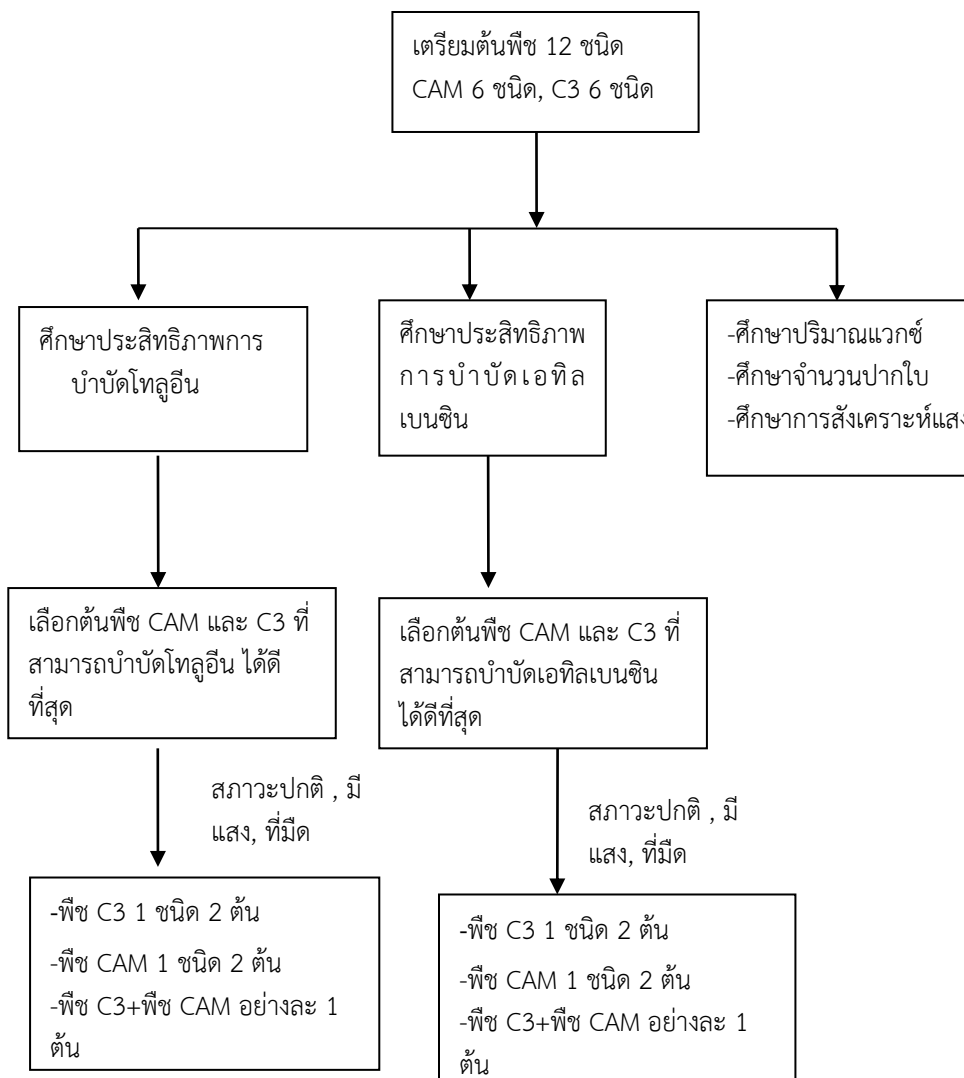
แนวคิดและสมมุติฐานของโครงการวิจัยนี้เนื่องจากเห็นปัญหาของการปนเปื้อนของเบนซินภายในอาคารซึ่งจะเป็นปัญหาที่สำคัญในอนาคต เนื่องจาก 80-90% ของเวลาทั้งหมดของคนใน

สังคมเมืองอาศัยอยู่ภายในอาคาร ซึ่งโหลูอิน เอทิลเบนซินปนเปื้อนในอากาศมาจากสีทาอาคาร ผลิตภัณฑ์จากสำนักงานซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์

การใช้พืชบำบัดมลพิษทางอากาศมีประสิทธิภาพสูง มีความปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ผู้วิจัยจึงสนใจจะใช้พืชมาบำบัด โหลูอิน เอทิลเบนซินภายในอาคาร โดยมีแนวคิดที่ว่า ชนิดของพืชที่ต่างกันย่อมที่มีประสิทธิภาพการบำบัด โหลูอิน เอทิลเบนซินภายในอาคารต่างกัน จึงได้ทำการคัดกรองพืช 12 ชนิด เป็นพืช CAM 6 ชนิด และ C3 6 ชนิด ในการบำบัดโหลูอิน เอทิลเบนซิน และศึกษาผลของปริมาณแร่ธาตุและจำนวนปากใบต่อประสิทธิภาพการบำบัดโหลูอินและเอทิลเบนซิน

นอกจากนี้การทดลองยังศึกษาเปรียบเทียบชนิดของพืชชนิด CAM , ชนิด C3 และพืช C3 + CAM ในสภาวะปกติ สภาวะมีแสง สภาวะไม่มีแสง ต่อประสิทธิภาพการบำบัดโหลูอิน

กรอบแนวคิดในการวิจัยมีดังนี้



ภาพที่ 2.6 กรอบแนวคิดในการวิจัย