

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มลพิษทางอากาศภายในอาคาร

มลพิษทางอากาศหมายถึง ภาวะของอากาศที่มีสารเจือปนอยู่ในปริมาณมากพอ และเป็นระยะเวลา นานพอที่จะทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ อนามัยของมนุษย์ สัตว์ และ พืช ซึ่งประเด็นด้านมลพิษทางอากาศ ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน คือ มลพิษทางอากาศภายในอาคาร ซึ่งภายในอาคารมีสารปนเปื้อน ในอากาศหลายประเภทได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM₁₀ , PM_{2.5}) สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds, VOCs) รวมถึง เชื้อราและแบคทีเรียต่างๆ ซึ่งอาคารที่มีปัญหาการระบายอากาศจะทำให้ผู้ที่ อาศัยอยู่ภายในอาคารเกิดอาการป่วย เช่น ระคายเคืองผิวหนัง เคืองตา คัดจมูก ภูมิแพ้ รวมทั้งอาจก่อให้เกิด โรคที่ร้ายแรงอย่างโคติดเชื้อทางระบบหายใจจากเชื้อราและแบคทีเรีย หรือโรคมะเร็งจากการได้รับสารอินทรีย์ ระเหยง่าย เช่น เบนซีน โทลูอิน และจากฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เข้าไปสะสมภายในปอด (ผกาแก้ว, 2553) โดยสารมลพิษที่เป็นแหล่งมลพิษสำคัญที่ปนเปื้อนภายในอาคารสามารถระบุได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สารมลพิษที่เป็นแหล่งสำคัญในอาคาร (ผกาแก้ว, 2553)

สารมลพิษในอากาศ	แหล่งกำเนิด	ผลกระทบต่อสุขภาพ
Carbon dioxide	การหายใจของมนุษย์ กระบวนการ เผาไหม้	หายใจติดขัด อ่อนเพลีย เวียน ศรีษะ อาจเสียชีวิตได้ถ้าความ เข้มข้นสูงมากและระยะเวลา สัมผัสนาน
Carbon monoxide	ควันบุหรี่ การเผาไหม้เชื้อเพลิง เต่า หุงต้ม	เวียนศรีษะ ปวดศรีษะ หัวใจเต้นผิดปกติ
Formaldehyde	วัสดุก่อสร้างและสิ่งตกแต่งภายใน สารเคลือบผิวเฟอร์นิเจอร์	เคืองตา ระคายเคืองระบบ ทางเดินอากาศหายใจ ภูมิแพ้ หอบหืด
Nitrogen Oxides	เต่าหุงต้มที่ใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิง ควันบุหรี่ การเผาไหม้ของ เครื่องยนต์	ไอ ระคายเคืองตาและระบบ ทางเดิน
Ozone	เครื่องถ่ายเอกสาร เครื่องฟอก อากาศ	ระคายเคืองตา ระบบทางเดิน หายใจ
Radon	พื้นดิน น้ำใต้ดิน วัสดุก่อสร้าง ปูนซีเมนต์	ไม่เกิดผลเฉียบพลัน แต่จะสะสม แล้วทำให้เกิดโรคมะเร็งปอด
Volatile Organic Compounds (VOCs)	สีทาบ้าน น้ำยาทำความสะอาด ทินเนอร์ ยาฆ่าแมลง การเผาไหม้ เชื้อเพลิง เครื่องถ่ายเอกสาร ไอ	ระคายเคืองตาและระบบทางเดิน หายใจ เวียนศรีษะ ปวดศรีษะ อ่อนเพลีย เป็นสารก่อมะเร็ง

	ระเหยของน้ำมัน ควันบุหรี	
Miscellaneous Inorganic Gas	ควันบุหรี เครื่องพิมพ์ น้ำยาทำความสะอาด	ระคายเคืองตา และระบบทางเดินหายใจ
Asbestos	ฉนวนกันความร้อน แผ่นกระเบื้องแผ่นบุผนัง	ไม่เกิดผลอย่างเฉียบพลันแต่ทำให้เกิดมะเร็งปอด
Synthetic fiber	Fibrous gas mineral wool	ระคายเคืองตาและผิวหนัง โรคผิวหนังอักเสบ
Tobaaco smoke	การสูบบุหรี	ผลต่อระบบทางเดินหายใจ ก่อให้เกิดโรคมะเร็งปอด ภูมิแพ้ และหอบหืด
Microorganisms	ระบบปรับอากาศ แผ่นกรองอากาศ พรม ฝ้าเพดานที่เปียกชื้น	ปวดศีรษะ ไอ ก่อให้เกิดโรคภูมิแพ้ และหอบหืด

ชนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่าย

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

1. 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)

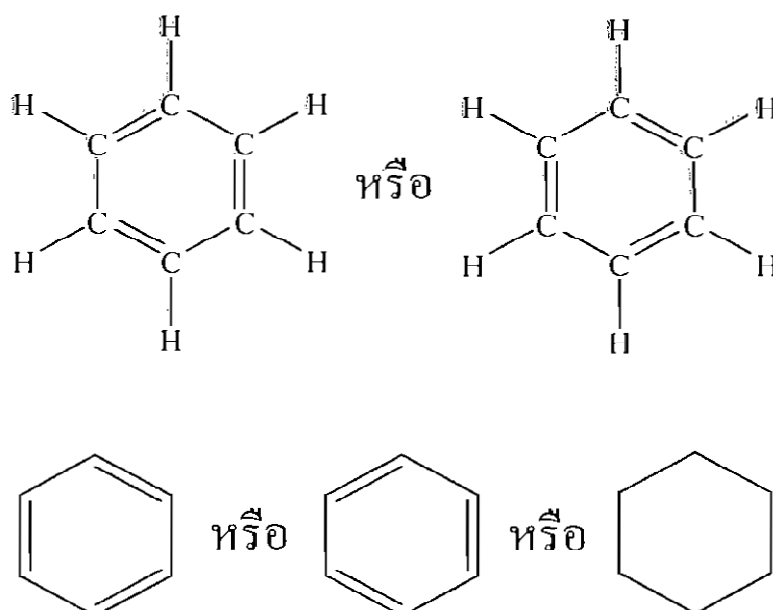
2. Chlorinated VOCs หรือ Halogeneated hydrocarbons ได้แก่ กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่มีธาตุคลอรีนในโมเลกุล สารในกลุ่มนี้มีความเป็นพิษและเสถียรตัวในสิ่งแวดล้อม มากกว่าสารกลุ่ม non-chlorinated ทำให้สลายตัวได้ยากในธรรมชาติ ทั้งทางชีวภาพ ภายภาพ หรือกระบวนการทางเคมี จึงเกิดสะสมในสิ่งแวดล้อมได้นาน เนื่องจากมีโครงสร้างที่มีพันธะระหว่างคาร์บอนและธาตุกลุ่มฮาโลเจนที่ทนทานมา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

เบนซีน

เบนซีน คือ เป็นของเหลวไม่มีสี มีกลิ่นหอมหวานแบบอโรมาติก ระเหยได้เร็ว ละลายน้ำได้เล็กน้อย ไวไฟมากและเป็นตัวทำลายในอุตสาหกรรมที่สำคัญเป็นสารตั้งต้นในการผลิต พลาสติก ยางสังเคราะห์และสี ย้อมผม

โมเลกุลของเบนซีนประกอบด้วยคาร์บอน 6 อะตอมต่อกันเป็นวง มีสูตรโครงสร้างเป็น C_6H_6 พันธะระหว่างอะตอมเป็นพันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอนเป็นพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยว ซึ่งลักษณะโครงสร้างทางเคมีของเบนซีนแสดงดังภาพที่ 2.1 โดยพันธะระหว่างคาร์บอนทั้ง 6 มีความยาวเท่ากันคือ 136 pm น้ำหนักโมเลกุล 78.11 g/mol เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค (kinetic diameter) ประมาณ 5.9 Å และคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเบนซีน เป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นฉุนเฉพาะตัว (aromatic order) ระเหยได้ง่าย ติดไฟได้ สามารถกลายเป็นไอได้ง่าย ค่าความดันของไอคือ 100 มิลลิกรัมปรอท ที่ 26.1 องศาเซลเซียส (ปกฉัตร,2553)

เบนซีนเป็นตัวทำลายในอุตสาหกรรมหลายประเภทเช่นอุตสาหกรรมเคมี สี สีย้อม หนังเทียม สารกำจัดแมลง สารทำความสะอาด ผงซักฟอก หมึก เรซิน แลกเกอร์ พลาสติก และ เป็นตัวทำลายในหมึกพิมพ์ในอุตสาหกรรมกรพิมพ์ (เกรียงศักดิ์,2546)



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของเบนซีน (คณะกรรมการวิชาการ.ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ นครราชสีมา, 2555)

เบนซีนเป็นสารที่มีพิษเฉียบพลันมีอันตรายร้ายแรงต่อสุขภาพเมื่อได้รับสารนี้เป็นเวลานานโดยการหายใจ การสัมผัสผิวหนัง การกลืนกิน โดยเบนซีนมีค่า LD₅₀ (Oral,Rat) ประมาณ 930 mg/kg และ LC₅₀ (Inhalation, Rat) ประมาณ 10,000 ppm(V)/7 h และอาจทำให้เกิดมะเร็งได้ (ปกฉัตร,2553)

Occupational Safety and Health Administration (OSHA) ได้กำหนดมาตรฐานของเบนซีนในอากาศไว้ที่ระดับความเข้มข้นไม่เกิน 1 ppm ที่ 8 h ของ Time Weight Average (TWA) หรือไม่เกิน 5 ppm สำหรับค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาใดๆ (ปกฉัตร,2553)

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเบนซีน

สูตรโมเลกุล	C ₆ H ₆
มวลโมเลกุล	78.11 g mol ⁻¹
ความหนาแน่น	0.8786 g / cm ³
จุดหลอมเหลว	5.5 °c , 279 k , 42 °F
จุดเดือด	80.1 °c , 353 k , 176 °F
จุดวาบไฟ	-11 °c
ความสามารถละลายในน้ำ	0.8 g / L

มาตรฐานของเบนซีนในบรรยากาศ

เนื่องจากการปนเปื้อนของเบนซีนเกิดขึ้นทั่วโลกโดยเฉพาะเขตเมืองที่มีการจราจรคับคั่งและพื้นที่ใกล้โรงงานอุตสาหกรรมทำให้ทั่วโลกมีการเฝ้าระวังและกำหนดค่ามาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 2.3-2.4

ตารางที่ 2.3 ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของเบนซีนในน้ำดื่ม อากาศทั่วไป และพื้นที่ปฏิบัติงาน ของแต่ละองค์กร

Organization	Mg / l (water)	µg / m ³ (air)	ppm (air)	Exposure time
USEPA	0.005	-	-	-
OSHA (work space)	-	-	1	8h / day
	-	-	5	15 min
WHO	-	0.5 - 125	-	-

ที่มา: World Health Organization (2000)

ตารางที่ 2.4 ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศทั่วไปของแต่ละประเทศ (กรมควบคุมมลพิษ,2011)

Organization	$\mu\text{g} / \text{m}^3$ (air)	ppm (air)	Exposure time
Island	0.1	0.00003	1 year
New zealand	10	0.00313	1 year
Japan	3	0.00094	1 year
Arizona	0.14	0.00004	1 year
Thailand	1.7	0.00053	1 year
Thailand	7.6	-	24 hour

มาตรฐานของเบนซีนและสารอินทรีย์ระเหยง่ายอื่นๆ ในบรรยากาศทั่วไปเป็นเวลา 1 ปี ของประเทศไทย แสดงดังตารางที่ 2.5 และมาตรฐานค่าเฝ้าระวังของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปเป็นเวลา 24 ชั่วโมงแสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.5 มาตรฐานของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศทั่วไปเป็นเวลา 1 ปี

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

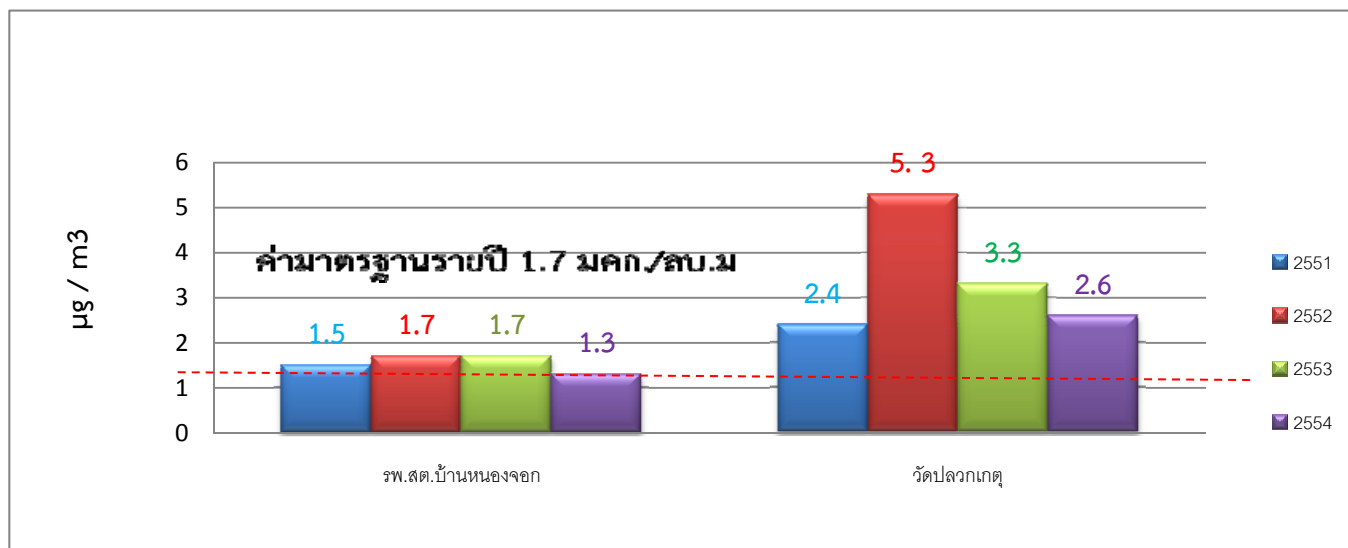
*(ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 30 (พ.ศ.2550) เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปเป็นเวลา 1 ปี ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 124 ตอนพิเศษ 143ง วันที่ 14 กันยายน พ.ศ. 2550

ตารางที่ 2.6 มาตรฐานค่าเฝ้าระวังของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

สารมลพิษ	ค่ามาตรฐาน
1. อะซีทัลดีไฮด์(Acetaldehyde)	ไม่เกิน 860 มคก./ลบ.ม
2. อะคริโลไนไตร(Acrylonitrile)	ไม่เกิน 10 มคก./ลบ.ม
3. เบนซีน(Benzene)	ไม่เกิน 7.6 มคก./ลบ.ม
4. เบนซิลคลอไรด์(Benzyl Chloride)	ไม่เกิน 12 มคก./ลบ.ม
5. 1,3 - บิวทาไดอิน(1,3-Butadiene)	ไม่เกิน 5.3 มคก./ลบ.ม
6. โบรโมมีเทน(Bromomethane)	ไม่เกิน 190 มคก./ลบ.ม
7. คาร์บอนเตตระคลอไรด์(Carbon Tetrachloride)	ไม่เกิน 150 มคก./ลบ.ม
8. คลอโรฟอร์ม(Chloroform)	ไม่เกิน 57 มคก./ลบ.ม
9. 1,2 - ไดโบรโมอีเทน(1,2-Dibromoethane)	ไม่เกิน 370 มคก./ลบ.ม
10. 1,4-ไดคลอโรเบนซีน(1,4-Dichlorobenzene)	ไม่เกิน 1100 มคก./ลบ.ม
11. 1,2 - ไดคลอโรอีเทน(1,2-Dichloroethane)	ไม่เกิน 48 มคก./ลบ.ม
12. ไดคลอโรมีเทน(Dichloromethane)	ไม่เกิน 210 มคก./ลบ.ม
13. 1,2 - ไดคลอโรโพรเพน(1,2-Dichloropropane)	ไม่เกิน 82 มคก./ลบ.ม
14. 1,4-ไดออกเซจ(1,4-Dioxane)	ไม่เกิน 860 มคก./ลบ.ม
15. อะครอลีน(2-Propenal/acrolein)	ไม่เกิน 0.55 มคก./ลบ.ม
16. เตตระคลอโรเอทิลีน(Tetrachloroethylene)	ไม่เกิน 400 มคก./ลบ.ม
17. 1,1,2,2-เตตระคลอโรเอทิลีน(1,1,2,2-Tetrachloroethane)	ไม่เกิน 83 มคก./ลบ.ม
18. ไตรคลอโรเอทิลีน(Trichloroethylene)	ไม่เกิน 130 มคก./ลบ.ม
19. ไวนิลคลอไรด์(Vinyl Chloride)	ไม่เกิน 20 มคก./ลบ.ม

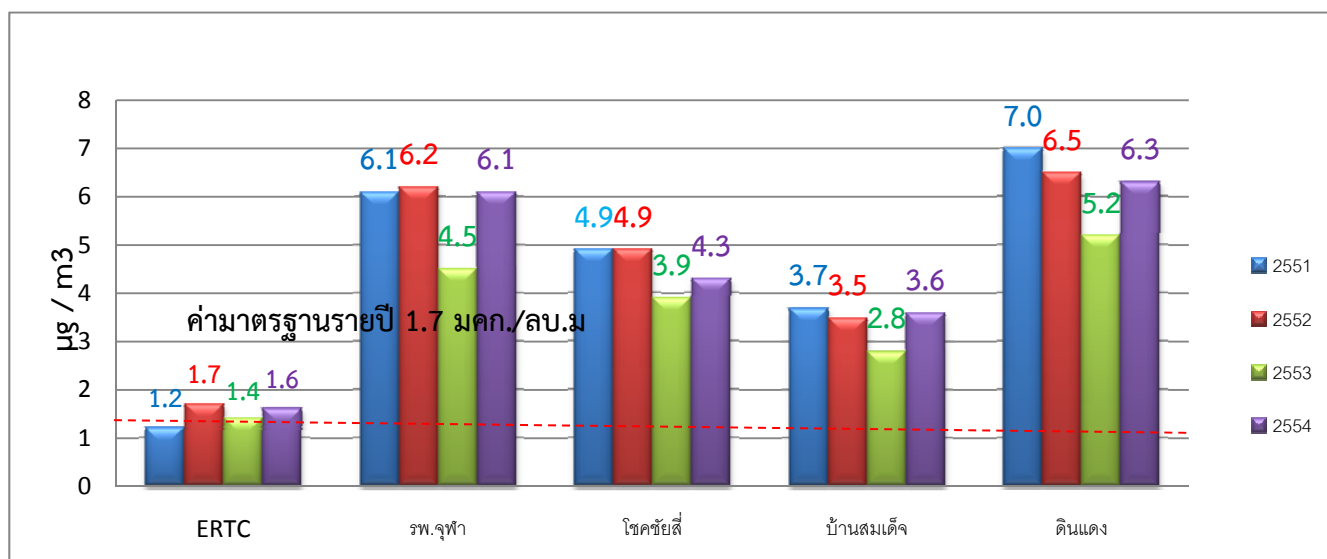
*ประกาศกรมควบคุมมลพิษ พศ. 2552 เรื่อง กำหนดค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

จะเห็นว่าปัญหาของเบนซีนในบรรยากาศเกินมาตรฐานในประเทศไทยส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมเช่น ในจังหวัดระยอง แสดงดังภาพที่ 2.2-2.4



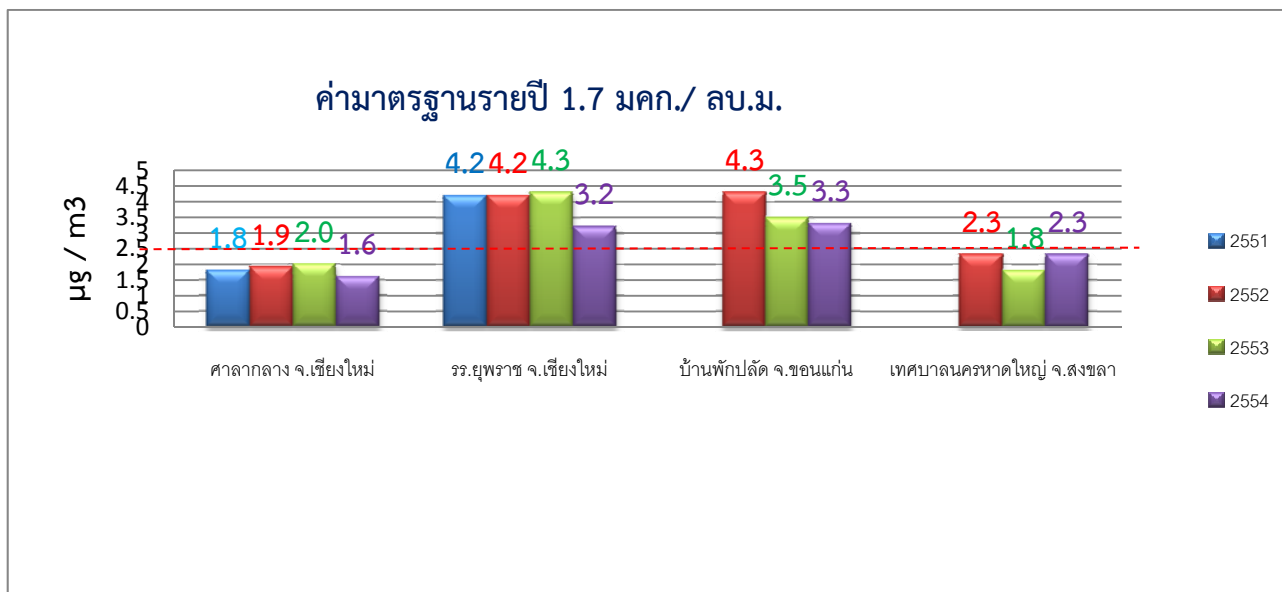
ภาพที่ 2.2 ความเข้มข้นเบนซีนบริเวณพื้นที่โดยรอบนิคมอุตสาหกรรม IRPC จ. ระยอง ปี 2550-2554 (กรมควบคุมมลพิษ, 2011)

จากภาพที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่า บริเวณพื้นที่โดยรอบ นิคมอุตสาหกรรม IRPC พื้นที่วัดปลวกเกตุ มีค่าความเข้มข้นของเบนซีนสูงกว่าค่ามาตรฐานที่ 1.7 มก. /ลบ.ม



ภาพที่ 2.3 ความเข้มข้นของเบนซีนในบรรยากาศทั่วไปบริเวณพื้นที่กรุงเทพมหานคร (กรมควบคุมมลพิษ, 2011)

ภาพที่ 2.3 แสดงความเข้มข้นของเบนซีนในพื้นที่บริเวณกรุงเทพมหานครซึ่งจะเห็นได้ว่าบริเวณกรุงเทพมหานครมีปริมาณความเข้มข้นของสารเบนซีนสูงกว่าค่ามาตรฐานในหลายจุดตรวจวัดโดยเฉพาะบริเวณดินแดงมีความเข้มข้นของเบนซีนสูงที่สุดในปี 2551 โดยมีค่า 7.0 มก / ลบ.ม



ภาพที่ 2.4 ความเข้มข้นของเบนซีนในบรรยากาศทั่วไปบริเวณพื้นที่จังหวัดต่างๆ (กรมควบคุมมลพิษ, 2011)

จากกราฟที่ 2.4 จะเห็นได้ว่า พื้นที่ต่างๆทั่วประเทศไทยกำลังประสบปัญหาการปนเปื้อนของ เบนซีน ในบรรยากาศทั้งนี้พบว่าหลายพื้นที่มีการปนเปื้อนของเบนซีนในบรรยากาศเกินค่ามาตรฐานตามกฎหมายไทย

ผลกระทบของเบนซีนต่อสุขภาพ

สารเบนซีนสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง คือ ทางการหายใจ ผิวหนังและการกิน สำคัญที่สุดคือ ทางการหายใจ เมื่อสารเบนซีนเข้าสู่ร่างกายจะกระจายตัวในเลือดอย่างรวดเร็วและถูกเมตาโบไลต์ (Metabolized) ที่ตับไปเป็นสารตัวกลาง (Metabolites) เช่น เบนซีนออกไซด์ (benzenz oxide), ฟีนอล (Phenol), กรดมิวโคนิค (Trans,Transmuconic acid) และกรดเฟนิลเมอร์แคปตริก (S-phenylmercapturic acid, S-PMA) ซึ่งสารตัวกลางบางตัวจะกลายสภาพไปเป็นสารก่อมะเร็งที่มีความไวต่อความผิดปกติทางพันธุกรรม (mutation) ผลทางพิษวิทยาเมื่อได้รับสารเบนซีนเข้าสู่ร่างกายทั้งแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรัง ได้แก่ ทำให้เกิดการระคายเคืองและพุพอง พิษต่อระบบประสาท ทำให้ปวดศีรษะ มึนงง คลื่นไส้ อาเจียน ชักหมดสติ และเสียชีวิตได้ พิษต่อระบบเลือดทำลายไขกระดูก ทำให้จำนวนเม็ดเลือดขาวและเกล็ดเลือดต่ำ ก่อให้เกิดภาวะโลหิตจางแบบ aplastic anemia นอกจากนี้สารเบนซีนยังถูกจัดให้เป็นสารสงสัยว่าก่อมะเร็ง ประเภท I (Suspected carcinogen class I : IARC) โดยก่อให้เกิด myelogenous leukemia และ acute myeloblastic leukemia (AML) ซึ่งเป็นมะเร็งเม็ดเลือดขาวซึ่งเกิดจากเบนซีนที่พบมากที่สุดและรองลงมาคือ chronic lymphocytic leukemia และยังพบอัตราการเกิด chromosomal aberration เพิ่มขึ้น ซึ่งนำไปสู่การเกิดกลุ่มเซลล์ที่ผิดปกติในกลุ่มผู้ที่ทำงานสัมผัสกับสารเบนซีนด้วย (คณะกรรมการวิชาการ ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์นครราชสีมา, 2555)

วิธีการบำบัดอากาศ

วิธีการโดยทั่วไปการบำบัดมลพิษทางอากาศที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีด้วยกันหลายวิธี โดยมีรายละเอียดดังนี้ (เกริก, 2549)

1. การควบแน่น (Condensation) ก๊าซเสียที่มีสารปนเปื้อนที่มีจุดเดือดสูงเมื่อเข้าสู่ระบบบำบัดด้วยวิธีนี้ สารปนเปื้อนดังกล่าวบางส่วนอาจถูกทำให้กลับคืนมาใหม่ด้วยวิธีการทำให้ก๊าซเสียเย็นและการอัดความดัน เทคนิคการบำบัดด้วยวิธีนี้จะเป็วิธีที่ประหยัดเฉพาะในกรณีที่สารปนเปื้อนที่ถูกบำบัดที่สามารถทำให้กลับคืนมาได้และมีคุณภาพสามารถนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตได้อีกครั้ง ถ้าก๊าซเสียถูกผสมกับสารปนเปื้อนตัวอื่นๆหลายชนิด การนำสารปนเปื้อนที่ต้องการกลับมาใช้ใหม่อาจเป็นไปได้ยากและอาจจำเป็นต้องมีการเผาของเหลวที่ได้จากการกลั่นตัวนี้ วิธีการบำบัดก๊าซเสียด้วยวิธีนี้บางครั้งอาจต้องมีการเพิ่มวิธีการบำบัดก๊าซเสียด้วยวิธีอื่นรวมด้วย เพื่อให้ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในก๊าซเสียที่ออกจากระบบอยู่ในระดับตามมาตรฐานที่กำหนดไว้

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

3. การดูดซับ (Adsorption) โดยปกติแล้ววิธีการบำบัดก๊าซเสียด้วยวิธีการดูดซับนั้นจะประกอบไปด้วยวัสดุดูดซับอย่างเช่น activated carbon หรือ zeolite ซึ่งวัสดุเหล่านี้อาจอยู่ในลักษณะยึดติดอยู่กับที่หรือเคลื่อนที่ได้ในตัวระบบบำบัด และวิธีการกำจัดก๊าซเสียวิธีนี้ก็เป็วิธีที่มีประสิทธิภาพมากสำหรับการบำบัดก๊าซเสียที่มีปริมาณความเข้มข้นของสารปนเปื้อนต่ำ สิ่งที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของระบบนี้คืออัตราการไหลของก๊าซเสีย, ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยและองค์ประกอบเฉพาะของสารอินทรีย์ระเหย โดยทั่วไปแล้วการบำบัดก๊าซเสียด้วยวิธีดูดซับนิยมใช้ในการควบคุมปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่มีความดันไอต่ำและมวลโมเลกุลสูง เมื่อวัสดุดูดซับถูกใช้งานไปจนถึงขีดความสามารถในการดูดซับทั้งระบบ ประสิทธิภาพในการบำบัดจะลดลง ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการเปลี่ยนวัสดุดูดซับใหม่และบ่อยครั้งที่วัสดุดูดซับนี้จำเป็นต้องกำจัดในลักษณะที่เป็นของเสียอันตรายทำให้มีค่าใช้จ่ายในส่วนนี้เพิ่มขึ้นอีก ปัญหาการหาจุดพอดีของขีดจำกัดของระบบดูดซับก็เป็นปัญหาหนึ่งที่มีก่ประสบอยู่บ่อยๆ การตัดสินใจที่ผิดพลาดในส่วนของการกำหนดจุดพอดีของการดูดซับนี้อาจทำให้วัสดุดูดซับถูกเปลี่ยนใหม่ก่อนถึงเวลาอันควร ปัญหานี้ก็ทำให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นได้เช่นกัน วิธีที่ทำให้ activated carbon กลับคืนสภาพ(regeneration)นั้นอาจทำได้ด้วยวิธีการใช้น้ำร้อนหรือลมร้อน แต่เมื่อ activated carbon หมดสภาพจนไม่สามารถใช้วิธีกลับคืนสภาพได้แล้วก็จำเป็นต้องนำไปกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบหรือการเผาซึ่งต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงในการดำเนินการเช่นกัน

4.ระบบกรองชีวภาพ (Biofiltration) เป็นเทคโนโลยีการควบคุมมลพิษทางอากาศด้วยวิธีทางชีวภาพ อากาศเสียจะถูกบำบัดโดยการไหลผ่านตัวกลางที่มีจุลินทรีย์อาศัยอยู่ จุลินทรีย์จะทำหน้าที่ในการย่อยสลาย สารมลพิษที่ต้องการบำบัด และสุดท้ายอากาศที่ได้รับการบำบัดนี้ก็จะมีสารมลพิษน้อยลงและสามารถปล่อย ออกสู่บรรยากาศภายนอก การกรองชีวภาพมีหลักการพื้นฐานเดียวกับกระบวนการแผ่นฟิล์มชีวภาพ(Biofilm process) คือ มีกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในระบบกรองชีวภาพและรอบๆ แผ่นฟิล์มชีวภาพ โดยมีการ เปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของสารตั้งต้น(Substrate) เช่นสารอินทรีย์ระเหย(Volatile organic compound:VOC) และปริมาณของก๊าซออกซิเจน กระบวนการแรกที่เกิดขึ้นภายในระบบคือสารเคมีที่อยู่ใน สถานะก๊าซ (Gas phase)จะมีการเคลื่อนย้ายในส่วนเชื่อมต่อกันระหว่างก๊าซที่กำลังไหลอยู่ระหว่างช่องว่าง ภายในระบบกับส่วนที่เป็นของเหลวที่อยู่รอบๆ ตัวกลางที่มีแผ่นฟิล์มชีวภาพเกาะอยู่ จากนั้นสารเคมีจะแพร่ ผ่านสู่แผ่นฟิล์มชีวภาพซึ่งแผ่นฟิล์มชีวภาพนี้คือกลุ่มของจุลินทรีย์ที่สามารถปรับสภาพให้สามารถดำรงชีวิตและ ดำเนินกิจกรรมการย่อยสลายสารมลพิษที่เข้าสู่ระบบได้ สุดท้ายจุลินทรีย์จะได้พลังงานจากการออกซิไดซ์ สารเคมีที่เป็นสารตั้งต้นนี้ ภายในเซลล์ หรือ จุลินทรีย์อาจจะปล่อยเอนไซม์ออกมาเพื่อที่จะทำการย่อยสลาย ภาพนอกเซลล์ ในเวลาเดียวกันการแพร่และการใช้สารอาหารอย่างเช่นไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในรูปที่ จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ และก๊าซออกซิเจน ภายในระบบกรองชีวภาพก็เกิดขึ้นด้วยเช่นกัน การใช้สารเคมี, ตัวรับอิเล็กตรอน (Electron acceptor) และสารอาหาร ภายในระบบกรองชีวภาพจะเกิดการเปลี่ยนแปลง อย่างต่อเนื่องโดยการแพร่ส่งผ่านสู่แผ่นฟิล์มชีวภาพ ในการออกแบบและการเดินระบบที่ถูกต้องตามหลักการ แล้วนั้นจะสามารถเปลี่ยนก๊าซเสียที่มีสารเคมีที่ต้องการบำบัดให้เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย (End product) คือ CO_2 , H_2O หรือ เกลืออนินทรีย์ (Inorganic salts) และ มวลชีวภาพ(Biomass)ได้

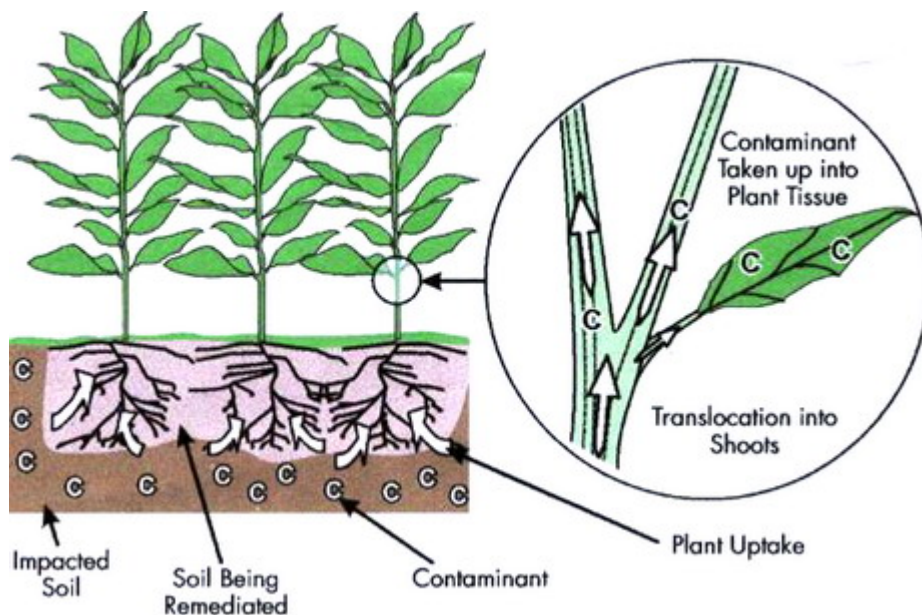
การบำบัดสิ่งแวดล้อมโดยพืช (Phytoremediation)

เป็นการใช้พืชในการบำบัดสารมลพิษที่ปนเปื้อนทั้งอยู่ในรูปสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่อยู่ใน ตัวกลางดินน้ำ หรือ อากาศ เพื่อลดอันตรายของสารมลพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม (จันทน์, 2555) การ บำบัดสิ่งแวดล้อมโดยพืชจัดเป็นระบบบำบัดที่สามารถสร้างขึ้นได้ในราคาที่ไม่สูงมากนัก เป็นการทำงานโดย อาศัยพลังงานทางธรรมชาติ ไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมี ในขณะที่กิจกรรมทางชีววิทยาของพืชสามารถเปลี่ยน สถานภาพของสารมลพิษไปเป็นสารที่มีความเป็นพิษน้อยลงหรือไม่เป็นพิษได้

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

1. Phytoextraction

เป็นการใช้พืชเพื่อบำบัดสารมลพิษปนเปื้อนอยู่ในดิน หรือน้ำเสีย โดยใช้พืชไปดูดซึมสารมลพิษ โดยผ่านราก แล้วไปเก็บสะสมในเนื้อเยื่อพืชส่วนที่เป็น ลำต้น และ ใบ ในส่วนของผนังเซลล์ หรือ แวคคิวโอ แอสตังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 กลไกการทำงานของ phytoextraction (Raskin *et al.*, 1997)

2. Phytostabilization

เป็นการใช้พืชที่มีความสามารถในการยับยั้ง การควบคุม หรือลดการเคลื่อนที่ของสารมลพิษที่ปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดินด้วยการตรึงสารมลพิษหรือยึดไว้ที่รากโดยรากพืชจะดูดและตรึงสารปนเปื้อนไว้บนรากพืช ทำให้สารปนเปื้อนต่างๆ ทำให้สารปนเปื้อนต่างๆภายในดินมีการเปลี่ยนรูปไปอยู่ในรูปที่มีความเสถียรเกิดการตกตะกอน โดยกระบวนการนี้จะสามารถลดการเคลื่อนย้ายสารปนเปื้อนที่เป็นพิษต่างๆ ภายในดินหรือน้ำใต้ดิน

3. Phytovolatilization

เป็นวิธีที่พืชใช้เอนไซม์เปลี่ยนสารอินทรีย์ที่เบา เช่น น้ำมันก๊าดโซลีน น้ำมันดีเซล ไฮยาไนท์ และสารอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยให้อยู่ในรูปของไอระเหยได้

4. Phytofiltration

เป็นการใช้ระบบของรากพืชในการดูดซับ และ/หรือตกตะกอนโลหะหนัก และสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย เรียกระบบนี้ว่า Constructed wetland

5. Phytodegradation

เป็นวิธีที่ใช้ในการบำบัดสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายโดยพืชอาจจะเปลี่ยนสารอินทรีย์เหล่านี้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือเปลี่ยนเป็นสารตัวอื่นที่สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของพืช เอนไซม์ที่รากพืชจะย่อยสลายสารอินทรีย์ให้มีโมเลกุลเล็กลง

6. Rhizodegradation

เป็นวิธีที่จุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ที่รากพืชย่อยสลายสารอินทรีย์ เปลี่ยนเป็นชีวมวล ทำให้สารอินทรีย์มีโมเลกุลเล็กลง สูดทำกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผกาแก้ว (2553) ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์ไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเทคนิคโซล-เจลและประสิทธิภาพของกระบวนการโฟโตคะตะไลติสในการสลายสีสารละลายเมทิลีนบลูและการกำจัดก๊าซเบนซีน โดย ทำการเคลือบลงบนตะแกรงสแตนเลสเพื่อศึกษาผลของตัวแปร 2 ชนิด คือ จำนวนชั้นในการเคลือบผิววัสดุและลักษณะพื้นที่ผิวแตกต่างกัน โดยใช้ตะแกรง 2 ขนาดคือตะแกรงหยาบ Mesh 20 และ ตะแกรงละเอียด Mesh 80 จากการทดลองเผาไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 350-750°C แล้วนำมา วิเคราะห์ด้วย X-ray Diffraction (XRD) พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ส่งผลต่อโครงสร้างผลึก ไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยการเผาที่อุณหภูมิ 550°C ได้โครงสร้างแบบอนาเทสซึ่งนิยมใช้ใน กระบวนการโฟโตคะตะไลติสสูงที่สุด จากภาพถ่าย Scanning Electron Microscope (SME) แสดง ผลึกไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เกาะติดอยู่บนพื้นผิวของตะแกรง และพบว่าการเพิ่มจำนวนชั้นเคลือบผิว มากขึ้นทำให้ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้มีลักษณะการยึดเกาะไม่ดี หลุดลอกได้ง่าย โดยในการศึกษา จะทำการศึกษาประสิทธิภาพด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติส ในการสลายสีของสารละลาย เมทิลีนบลูที่ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 10 ยกกำลัง-5M และสารเบนซีนในอากาศความเข้มข้นเริ่มต้น 10 ppm จากผล การทดลองชี้ให้เห็นว่าพื้นที่ผิวของวัสดุตัวกลางที่ใช้เคลือบเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพใน ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติสเนื่องจากตะแกรง Mesh 80 ที่มีพื้นที่ผิวยึดเกาะของไทเทเนียมไดออกไซด์ มากกว่านั้นมีประสิทธิภาพในการสลายสีสารละลายเมทิลีนบลูของตะแกรง Mesh 80 มี ค่าเท่ากับ 25.6+-9.3% ในขณะที่ค่าประสิทธิภาพในการสลายสารเบนซีนที่ทำการตรวจวัดด้วย Gas Chromatography Flame Ionization Detector (GC-FID) มีค่าเท่ากับ 27.7+-10.0%

เกริก (2549)] ได้ศึกษาหาประสิทธิภาพการบำบัดอากาศที่ปนเปื้อนเบนซีนโดยการกรองชีวภาพด้วยตัวกรองเศษวัสดุเกษตรกรรม ซึ่งได้แก่ เปลือกถั่วลิสง และกลบ และจากผลการทดลองพบว่า สำหรับตัวกลางเปลือกถั่วลิสงที่อัตราการไหลของอากาศเข้าระบบ 0.42 0.85 และ 1.27 ลิตร/นาที/ลิตร ตัวกรองมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 100% 100% และ 69.2% ตามลำดับ สำหรับกรณีความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศ 50 ppm ส่วนในกรณีระดับความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศ 100 ppm ประสิทธิภาพการกำจัดที่ได้ 95.5% และ 60.6% และ 49.7% ตามลำดับ ในส่วนของตัวกรองกลบได้ทำการทดลองเฉพาะที่อัตราการไหลของอากาศเข้าระบบ 0.42 และ 0.85 ลิตร/นาที/ลิตร ตัวกลางกรอง เนื่องจากมีประสิทธิภาพการกำจัดต่ำ ผลการทดลองพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศเท่ากับ 50 ppm ประสิทธิภาพการกำจัดได้คือ 61.4% และ 35.1% ตามลำดับ ส่วนในกรณีที่ความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศเท่ากับ 100 ppm ประสิทธิภาพการกำจัดที่ได้คือ 41.5% และ 19.3%

Ao and Lee (2005) ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยการใช้งานร่วมแอคทิเวเตดคาร์บอน เพื่อกำจัดสารมลพิษในอาคารโดยทำการติดตั้งแผ่นกรองอากาศไทเทเนียมไดออกไซด์และแอคทิเวเตดคาร์บอนในเครื่องกรอง โดยไทเทเนียมไดออกไซด์ที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ Degussa P-25 ใช้ไนโตรเจนออกไซด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 200 ppb และโทลูอินความเข้มข้นเริ่มต้น 2.2 ppm เป็นสารทดสอบ พบว่าประสิทธิภาพของแผ่นกรองไทเทเนียมไดออกไซด์ร่วมกับแอคทิเวเตดคาร์บอนมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงกว่าแผ่นกรองไทเทเนียมไดออกไซด์เพียงชนิดเดียว เนื่องจากแอคทิเวเตดคาร์บอนช่วยเพิ่มพื้นที่ใน

การดูดซับสารให้มากขึ้นโดยประสิทธิภาพในการกำจัด NO สูงถึง 66% ในขณะที่การใช้แผ่นกรองไทเทเนียมไดออกไซด์เพียงอย่างเดียวมีประสิทธิภาพในการกำจัด NO และ BTEX น้อยกว่า 10%

Changsuphan *et al.* (2012) ได้ทำการศึกษาการบำบัดเบนซีนในอากาศด้วย zeolite และ ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ที่โค้ท (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, O₃ และ UV+O₃ ในบรรยากาศของชุดทดลองด้วย ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า การบำบัดเบนซีนที่มีค่าเริ่มต้น 5 ppm นั้น zeolite ที่ถูกโค้ทด้วย ZnO nanoparticle จะให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูง (97.9±0.9%) กว่า zeolite ที่ไม่ได้ถูกโค้ทด้วย ZnO nanoparticle (94.2±2.4%) ถ้าในบรรยากาศมี UV, O₃ และ UV+O₃ จะช่วยให้มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 98.4 ±0.4%, 98.2±1.0% และ 98.9 ±0.2% ตามลำดับ ขณะที่ถ่านกัมมันต์สามารถบำบัดเบนซีนได้สูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่โค้ทด้วย ZnO nanoparticle เล็กน้อย โดยประสิทธิภาพการบำบัดเบนซีนด้วยถ่านกัมมันต์เท่ากับ 98.3% ขณะที่ประสิทธิภาพการบำบัดเบนซีน ด้วยถ่านกัมมันต์ที่โค้ทด้วย ZnO nanoparticle และในบรรยากาศมี UV, O₃ และ UV+O₃ มีค่าเท่ากับ 99.0±0.1%, 99.0±0.2% และ 98.2±0.3% ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการบำบัดขึ้นเป็นการทำงานร่วมกับการดูดซับ การ photodegradation โดย UV และการ ออกซิเดชันของโอโซน (O₃)

Chuang *et al.* (2008) ได้ศึกษาการบำบัดเบนซีน และ โทลูอินด้วยไม้ไผ่ที่ถูกนำมาทำให้เป็นถ่านกัมมันต์ (CB) โดยนำไม้ไผ่มาเผาที่ 600 องศาเซลเซียสภายใต้สภาวะที่มีก๊าซไนโตรเจน และนำมากระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (CB) เปรียบเทียบกับ ถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ที่ปรับด้วย TiO₂ (CBM) (โดยการผสมกันเพียงอย่างเดียว) และถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ที่มีการผสมกับ TiO₂ โดยเมื่อผสมกันแล้วนำมาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 100 นาทีต่อไป (CBM) ซึ่งผลการทดลองพบว่าการดูดซับเบนซีนสามารถเรียงตามลำดับดังนี้ CBC > CBM > CB โดยมีประสิทธิภาพการบำบัด เท่ากับ 54% , 45% และ 30% ตามลำดับ ส่วนโทลูอิน CB , CBM และ CBC ประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 37%, 41% และ 48% ตามลำดับ

Treesubstorn and Thiravetyan (2012) ได้ทำการศึกษาการบำบัดเบนซีนภายในอาคารด้วยต้นกวนอิม โดยผลการทดลองได้ใช้เบนซีนเริ่มต้นในบรรยากาศ 20 ppm และมี 2 เงื่อนไขคือ ควบคุมให้ต้นกวนอิมอยู่ในสภาวะที่มีแสงตลอด 24 ชั่วโมง และ สภาวะไม่มีแสง 24 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบการดูดซับของเบนซีนด้วยต้นกวนอิมในเงื่อนไขที่มีแสงและไม่มีแสง โดยให้ระยะเวลา 4 รอบ (cycle) โดยระยะเวลาแต่ละรอบ 7 วัน ซึ่งผลการทดลองพบว่า ในเงื่อนไขที่ต้นกวนอิมอยู่ในสภาวะที่มีแสงระยะเวลา 2 รอบ คือ 14 วัน พืชสามารถดูดซับเบนซีนสูงกว่าต้นกวนอิมในสภาวะที่ไม่มีแสง และ ระยะเวลา 4 รอบ คือ 28 วัน ต้นกวนอิมสามารถดูดซับเบนซีนให้มีประสิทธิภาพสูงถึง 54% และจากการทดลองพบว่าแว็กซ์(wax) ที่อยู่ในต้นกวนอิมสามารถดูดซับเบนซีนได้สูงถึง 46%

Ugrekheldze *et al.* (1997) ใช้เทคนิค radioactive ในการศึกษากลไกในการดูดและ ย่อยสลาย เบนซีนและโทลูอินในพืชพบว่าพืชอาศัยปากใบและคิวติเคิลเป็นเส้นทางหลักใน การดูดซับ เบนซีน นอกจากนี้ ยังพบว่าใบไม้อ่อนมีความสามารถในการดูดซับเบนซีนได้ดีกว่าใบไม้แก่แม้ว่าจะมีปริมาณคิวติเคิลที่น้อยกว่า ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ค่าการเรืองแสงของ c^{14} -benzene และปริมาณคิวติเคิล ในใบไม้อ่อนและแก่

leave	Age	Quantity of epicuticular wax (adaxial plus adaxialsurfaces) ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Total radioactivity of nonvolatile metabolites (103 cpm /g fresh wt)
<i>Acercampestre</i>	Young	48	19.5
<i>A.campestre</i>	Old	98	16.0
<i>Malus domestica</i>	Young	78	31.0
<i>M.domestica</i>	Old	120	28.0
<i>Vitis vinifera</i>	Young	38	14.5
<i>V.vinifera</i>	Old	52	9.5

Note.[1- 6^{14}C] Benzene, 1.76 MBq / mmol; concentration in air,0.1 mmol/ liter. Exposure time, 8 hr,in ligh,at 22-23 °C.

ทั้งนี้การติดตามดูเมตาบอไลต์ของเบนซีนผ่าน(Radioactive)ภาพในพืชพบว่าพืชจะย่อยเบนซีนไปเป็น สารโมเลกุลขนาดเล็กเช่นกรดอินทรีย์ หรือนำไปสร้างเป็นกรดอมิโน ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ค่าการเรืองแสงของ c^{14} -benzene เมตาบอลิซึมจำแนกตามชนิดของสารที่แยกด้วยเครื่อง HPLC

Substrate	Percentage of total radioactivity		Distribution of radioactivity in the fractions (%)	
	Organic acids	Amino acids	Organic acids	Amino acids
[1- 14 C]Benzene	84	16	Muconic,37.2 Fumaric,24.4 Succinic,12.5 Malic,9.6 Oxalic,9.1 X,7.2	Tyrosine,33.8 Phenylalanine,25.8 Glycine,16.2 Aspartic acid,11.3 X ₁ ,7.4 X ₂ ,5.5

เอ็นไซม์โมโนออกซิจีเนสได้รับความสนใจเนื่องจากเป็นเอ็นไซม์ที่สามารถทำลายวงเบนซีนได้โดยการเติมออกซิเจนลงไปบนโมเลกุลของเบนซีน อย่างไรก็ตาม เอ็นไซม์ดังกล่าวต้องอาศัย NADH, NADPH เป็นโคเอนไซม์การศึกษาชิ้นนี้จึงมีการเติมเอ็นไซม์เหล่านี้แก่พืชและพบว่าพืชมีกลไกการย่อยสลายเบนซีนได้อย่างรวดเร็วอีกด้วย

Wolverton *et al.* (1989) งานวิจัยเพื่อคัดกรองพืชที่มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดเบนซีน และฟอร์มัลดีไฮด์ ในอาคารได้ทำการศึกษาในพืชกว่า 50 ชนิดและพบว่าพืชหลายชนิดที่มีประสิทธิภาพดีเช่น *Dracaena deremensis warneckeii*, *Hedera helix*, *Sansevieria laurentii*, *Spathiphyllum*, *Gerbera jamesonii*, *Chrysanthemum morifolium* เป็นต้น

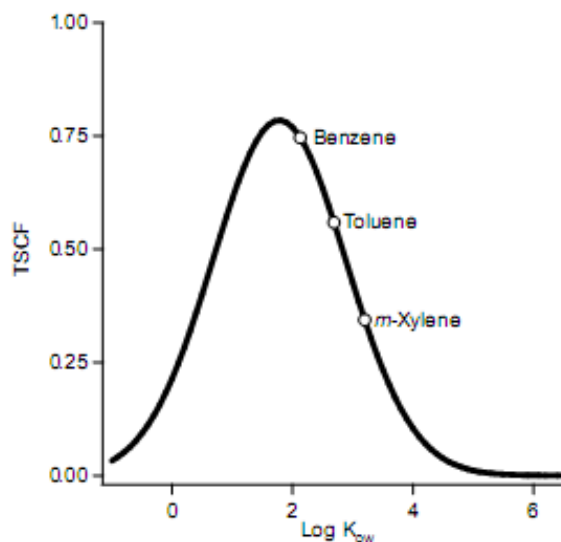
Gorna-Binkul *et al.* (1996) ทำการตรวจวัดปริมาณเบนซีนและอนุพันธ์ของเบนซีนในส่วนต่างๆของพืชโดยGCMSพบว่ามีโกลูอินความเข้มข้นสูงสะสมอยู่ในเปลือกส้มและพบว่ามีไซลีนปนเปื้อนในใบพาสเลย์

Cornejo *et al.* (1999) *Ficus elastic*, *Kalanchoe* ทำการตรวจวัดปริมาณเบนซีนและอนุพันธ์ของเบนซีนในส่วนต่างๆของพืชโดยGCMSพบว่ามีโกลูอินความเข้มข้นสูงสะสมอยู่ในเปลือกส้มและพบว่ามีไซลีนปนเปื้อนในใบพาสเลย์

Collins *et al.* (1999) ทำการศึกษาการสะสมของเบนซีนในพืช 3 ชนิดได้แก่แตงกวา แบล็คเบอร์รี่ และแอปเปิ้ล โดยจากการศึกษาพบว่าแอปเปิ้ลและแบล็คเบอร์รี่มีการสะสมของเบนซีนมากกว่าแตงกวา อย่างไรก็ตามกลไกการสะสมเบนซีนในแบล็คเบอร์รี่และ แอปเปิ้ลยังไม่สามารถสรุปได้

Slaski *et al.* (2000) ได้รายงานทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการปนเปื้อนของPAHsในพืชหลายชนิดที่ปลูกในบริเวณโรงงานอุตสาหกรรม โรงกลั่นน้ำมัน และแหล่งอื่นๆที่มีการปนเปื้อน

Kamath *et al.*(2005) รายงานค่า $\log K_{OW}$ ของสารที่เหมาะสมในการเคลื่อนที่ผ่านชั้นคิวติเคิลของใบไม้ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1.5-3.5 ซึ่งเบนซีนและโทลูอีนมีค่าอยู่ในช่วงดังกล่าวทั้งนี้ค่าKOWเป็นค่าที่แสดงถึงการละลายในเอทานอลต่อการละลายในน้ำ ดังภาพที่ 2.6



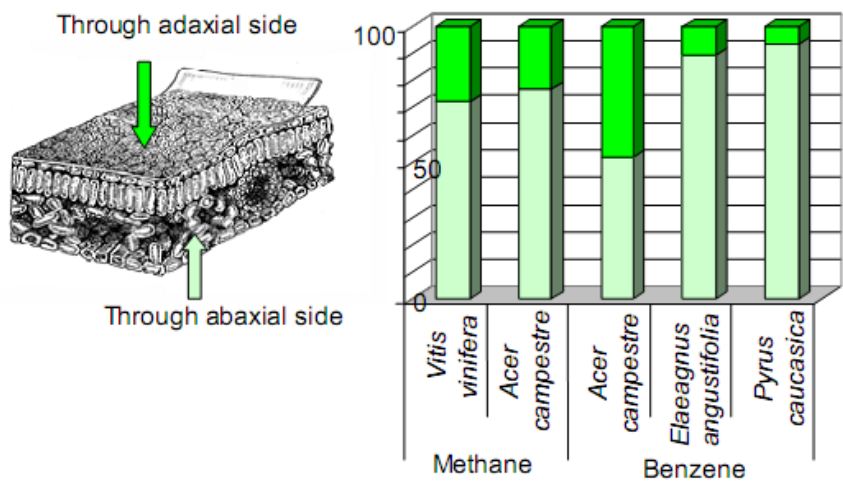
ภาพที่ 2.6 ความสัมพันธ์แบบระฆังคว่ำระหว่างค่า $\log K_{OW}$ กับการเคลื่อนที่ของสารในต้นไม้

Liu *et al.* (2007) ในประเทศจีนมีการศึกษาการบำบัดเบนซีนโดยพืช 72 ชนิดในระบบบำบัดแบบต่อเนื่อง พบว่ามีพืชหลายชนิดสามารถบำบัดเบนซีนได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.7



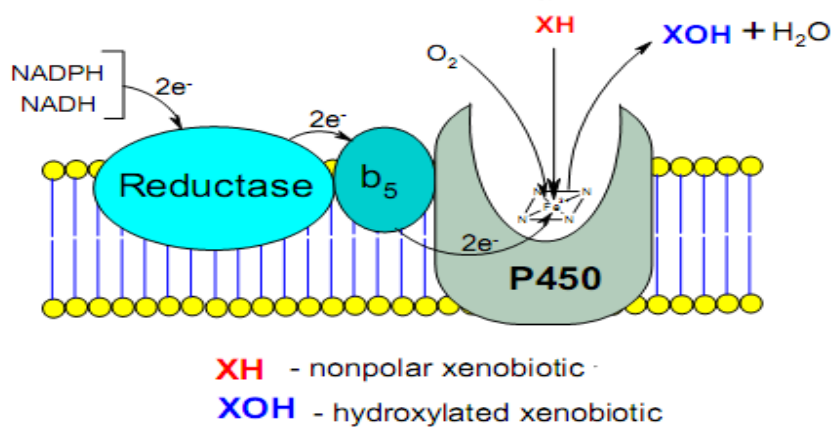
ภาพที่ 2.7 พืชที่มีประสิทธิภาพสูงจากการคัดกรองในการทดลอง (Liu *et al.*, 2007)

Kvesitadze et al. (2009) รายงานถึงกลไกการดูดเบนซินของพืชซึ่งประกอบด้วย adaxial side ซึ่งเป็นส่วนที่ถูกเคลือบไว้ด้วยคิวติเคิลด้านบนของใบไม้และส่วนของ abaxial side ซึ่งเป็นส่วนที่เป็นที่อยู่ของปากใบและคิวติเคิลเคลือบบางๆ โดยงานวิจัยดังกล่าวเป็นการศึกษาสัดส่วนการดูดซับเบนซินผ่านเส้นทางหลัก 2 เส้นทางดังกล่าวใช้เทคนิคการตรวจ radioactive และปิดปากใบโดยการนำใบไม้ไปลอยเหนือน้ำโดยให้ส่วน abaxial side ติดอยู่กับน้ำดังภาพที่ 2.8



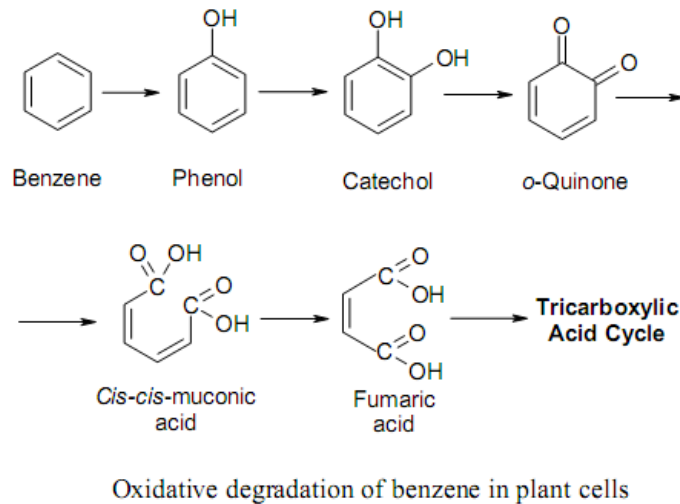
ภาพที่ 2.8 สัดส่วนการเรืองแสงของ c^{14} -benzene บนผิวใบไม้แต่ละชนิดทั้งในด้านหน้าและหลังใบ

การศึกษาก่อนหน้านี้ยังพบว่า เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายเบนซินในพืชคือเอนไซม์ โมโนออกซิจีเนส ดังนั้นกลไกการทำงานของเอนไซม์ดังกล่าวได้รับการตีพิมพ์ในรายงานฉบับนี้



ภาพที่ 2.9 กลไกการทำงานของเอนไซม์ P450 โมโนออกซิจีเนส

ภาพที่ 2.9 แสดงให้เห็นถึงการทำงานของเอนไซม์ P450 โมโนออกซิจีเนส ซึ่งต้องอาศัย NADH หรือ NADPH เป็นตัวให้อิเล็กตรอนจากนั้นอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านไซโตโครมซีสเตมและกระตุ้นให้เอนไซม์ออกซิจีเนสเติมออกซิเจนลงบนโมเลกุลของเบนซีนหลังจากเบนซีนถูกเติมออกซิเจนลงบนโมเลกุลจะทำให้โครงสร้างและความมีขั้วเปลี่ยนแปลงคือสามารถละลายน้ำได้มากขึ้นและถูกตัดวงเบนซีนได้แม้ว่าจะยังไม่มีการศึกษายืนยันกลไกการย่อยสลายเบนซีนโดยพืชแต่การศึกษานี้รายงานว่ากลไกที่มีความเป็นไปได้ในการย่อยสลายแสดงดังภาพที่ 2.10

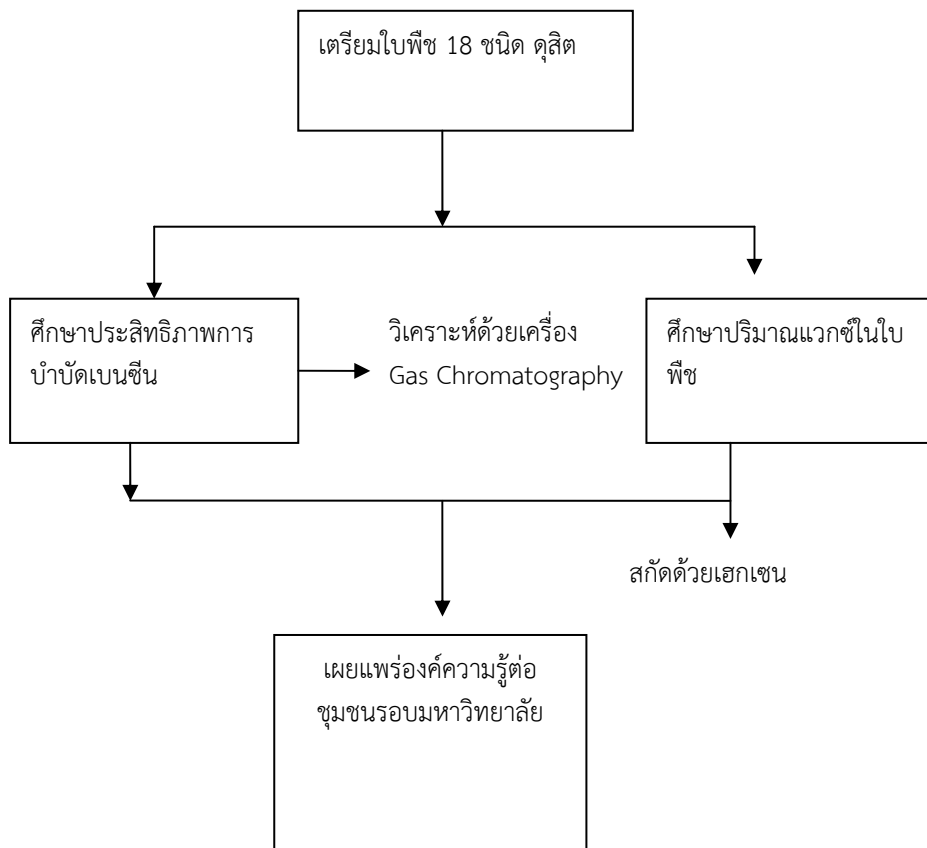


ภาพที่ 2.10 กลไกการย่อยสลายเบนซีนภายในต้นพืช

กรอบแนวความคิดการวิจัย

แนวคิดและสมมุติฐานของโครงการวิจัยนี้เนื่องจากเห็นปัญหาของการปนเปื้อนของเบนซีน ภายในอาคารซึ่งจะเป็นปัญหาที่สำคัญในอนาคต เนื่องจาก 80-90% ของเวลาทั้งหมดของคนในสังคมเมืองอาศัยอยู่ภายในอาคาร ซึ่งเบนซีนปนเปื้อนในอากาศมาจากผลิตภัณฑ์จากสำนักงานซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์

ใบพืชก็จัดเป็นวัสดุธรรมชาติ มีความปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ผู้วิจัยจึงสนใจจะใช้ใบพืชมาบำบัดเบนซีนภายในอาคาร โดยมีแนวคิดที่ว่าปริมาณของแก๊กซีในใบพืชจะมีความสัมพันธ์ของการดูดซับเบนซีน ดังนั้นใบพืชแต่ละชนิดที่มีปริมาณและชนิดของแก๊กซีต่างกันจะให้ประสิทธิภาพการบำบัดเบนซีนที่ต่างกัน โดยศึกษาใบพืช ทั้งหมด 18 ชนิด โดยกรอบแนวความคิดการวิจัยแสดงดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 กรอบแนวคิดของการวิจัย