

# สารบัญ

หน้า

คำนำ  
สารบัญ

บทนำ หลักการและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดสารมลพิษด้วยวิธีทางชีวภาพ	1
1. ความหมายและหลักการของการบำบัดสารมลพิษด้วยวิธีทางชีวภาพ	2
2. กลยุทธ์การบำบัดสารมลพิษด้วยวิธีทางชีวภาพ	3
<input type="checkbox"/> การบำบัดสารมลพิษตามธรรมชาติ (Natural attenuation)	3
<input type="checkbox"/> การบำบัดสารมลพิษโดยการกระตุ้นทางชีวภาพ (Biostimulation)	4
<input type="checkbox"/> การเติมจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อบำบัดสารมลพิษ (Bioaugmentation)	5
3. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดสารมลพิษด้วยวิธีทางชีวภาพ	7
<input type="checkbox"/> ลักษณะสมบัติของสารมลพิษ	9
<input type="checkbox"/> สภาพแวดล้อมของบริเวณที่มีการปนเปื้อนของสารมลพิษ	15
<input type="checkbox"/> ลักษณะสมบัติของจุลินทรีย์และกลไกการตอบสนองต่อสารมลพิษ	22
<input type="checkbox"/> กลไกการตอบสนองและความทนทานของจุลินทรีย์ต่อสารมลพิษ	24
▪ การเคลื่อนที่แบบมีทิศทางของแบคทีเรีย (Bacterial chemotaxis)	27
▪ การปรับเปลี่ยนองค์ประกอบและสมบัติของเซลล์เมมเบรน (Cell membrane modification)	32
▪ ระบบขับสารมลพิษออกจากเซลล์ (Efflux system)	33
▪ การตอบสนองต่อความเครียดจากสารมลพิษและ/หรือสารเคมี (Chemical stress responses)	36
▪ การกระตุ้นการสร้างระบบเอนไซม์ในวิถีเมแทบอลิซึมเพื่อย่อยสลายสารมลพิษ (Biodegradation / Detoxification)	37
▪ กลไกการตอบสนองต่อสารมลพิษรูปแบบอื่น ๆ	39
4. สรุปบทนำ และเนื้อหาของหนังสือ “เอนไซม์ในวิถีการย่อยสลายสารมลพิษ”	40
เอกสารอ้างอิง	41
<b>บทที่ 1 เอนไซม์ออกซิโดรีดักเทส : บทบาทต่อการบำบัดสารมลพิษอินทรีย์</b>	<b>45</b>
1.1 บทนำ	46
1.2 การเรียกชื่อของเอนไซม์ออกซิโดรีดักเทส	47
1.3 การจัดกลุ่มของเอนไซม์ออกซิโดรีดักเทสและบทบาทของเอนไซม์ต่อการเปลี่ยนรูปสารมลพิษ	49
1.3.1 เอนไซม์ออกซิจีเนสหรือไฮดรอกซิเลส	50
<input type="checkbox"/> เอนไซม์ออกซิจีเนสที่มีองค์ประกอบของฮีม : ไฮโดโครม พี450 โมโนออกซิจีเนส	50
▪ ข้อมูลทั่วไปของเอนไซม์ไฮโดโครม พี450 โมโนออกซิจีเนส	50
▪ กลไกการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ไฮโดโครม พี450 โมโนออกซิจีเนส	53

■ การจำแนกกลุ่มของเอนไซม์ไฮโดรโครม พี450 โมโนออกซิจีเนส	56
■ ตัวอย่างเอนไซม์ไฮโดรโครม พี450 โมโนออกซิจีเนส ที่มีบทบาทในการบำบัดสารมลพิษอินทรีย์	64
□ การเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ไฮโดรโครม พี450 โมโนออกซิจีเนส ต่อสารมลพิษกลุ่มไดออกซิน	65
□ การเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ไฮโดรโครม พี450 โมโนออกซิจีเนส ต่อสารมลพิษกลุ่มสารปราบศัตรูพืช	68
<input type="checkbox"/> เอนไซม์ออกซิจีเนสที่มีองค์ประกอบของเหล็กที่ไม่ใช่ฮีม	72
<input type="checkbox"/> เอนไซม์ออกซิจีเนสที่มีองค์ประกอบของฟลาวิน	72
■ ข้อมูลทั่วไปของเอนไซม์ฟลาโวโปรตีน โมโนออกซิจีเนส	72
■ กลไกการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ฟลาโวโปรตีน โมโนออกซิจีเนส	73
■ การจำแนกเอนไซม์ฟลาโวโปรตีน โมโนออกซิจีเนส และ ตัวอย่างเอนไซม์ฟลาโวโปรตีน โมโนออกซิจีเนส ที่มีบทบาทในการบำบัดสารมลพิษอินทรีย์	77
□ เอนไซม์ฟลาโวโปรตีน โมโนออกซิจีเนส กลุ่ม A และบทบาทในวิธีการบำบัดสารมลพิษกลุ่มไฮดรอกซีเอต	78
□ เอนไซม์ฟลาโวโปรตีน โมโนออกซิจีเนส กลุ่ม B และบทบาทในวิธีการบำบัดสารมลพิษไฮโดรคาร์บอน	85
□ เอนไซม์ฟลาโวโปรตีน โมโนออกซิจีเนส กลุ่ม C และบทบาทในการตรวจติดตามกระบวนการบำบัดสารมลพิษ และในวิธีการบำบัดสารมลพิษ	93
□ เอนไซม์ฟลาโวโปรตีน โมโนออกซิจีเนส กลุ่ม D และบทบาทในวิธีการบำบัดสารมลพิษฟีนอล	100
□ เอนไซม์ฟลาโวโปรตีน โมโนออกซิจีเนส กลุ่ม E และบทบาทในวิธีการบำบัดสารมลพิษไนโตรเจน	104
□ เอนไซม์ฟลาโวโปรตีน โมโนออกซิจีเนส กลุ่ม F	117
<input type="checkbox"/> เอนไซม์ออกซิจีเนสที่มีองค์ประกอบของคอปเปอร์	117
<input type="checkbox"/> เอนไซม์ออกซิจีเนสที่มีองค์ประกอบของเทอร์รีน	117
<input type="checkbox"/> เอนไซม์ออกซิจีเนสที่มีองค์ประกอบของโคแฟกเตอร์อื่นหรือไม่มีโคแฟกเตอร์	117
1.3.2 เอนไซม์ดีไฮโดรจีเนส	118
1.3.3 เอนไซม์ออกซิเดส	119
<input type="checkbox"/> เอนไซม์แล็กเคส	120
<input type="checkbox"/> เอนไซม์ไทโรซิเนส	122
1.3.4 เอนไซม์เพอร์ออกซิเดส	123
1.4 สรุป บทบาทของเอนไซม์ออกซิโดรีดักเทสกับการเปลี่ยนรูปสารมลพิษ	126
เอกสารอ้างอิง	127

<b>บทที่ 2 เอนไซม์ทรานสเฟอเรส : บทบาทต่อการบำบัดสารมลพิษอินทรีย์</b>	<b>135</b>
2.1 บทนำ	136
2.2 การเรียกชื่อของเอนไซม์ทรานสเฟอเรส	136
2.3 การแบ่งกลุ่มย่อยและรูปแบบปฏิกิริยาของเอนไซม์ทรานสเฟอเรส	137
2.4 เอนไซม์กลูตาไธโอน ทรานสเฟอเรส	140
<input type="checkbox"/> ข้อมูลทั่วไปของเอนไซม์กลูตาไธโอน ทรานสเฟอเรส	140
<input type="checkbox"/> การเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์กลูตาไธโอน ทรานสเฟอเรส	142
▪ ปฏิกิริยาควบจูกชัน (Conjugation) ของเอนไซม์กลูตาไธโอน ทรานสเฟอเรส	142
▪ ปฏิกิริยาเพอร์ออกซิเดชัน (Peroxidation) ของเอนไซม์กลูตาไธโอน ทรานสเฟอเรส	149
▪ ปฏิกิริยาอื่น ๆ ของเอนไซม์กลูตาไธโอน ทรานสเฟอเรส	149
<input type="checkbox"/> เอนไซม์กลูตาไธโอน ทรานสเฟอเรสในแบคทีเรีย	150
และบทบาทในกระบวนการย่อยสลายสารมลพิษ	
▪ บทบาทของกลูตาไธโอน ทรานสเฟอเรสและการย่อยสลายไดคลอโรมีเทน	151
▪ บทบาทของกลูตาไธโอน ทรานสเฟอเรสในวิธีการย่อยสลายเพนตะคลอโรฟินอล	156
▪ บทบาทของกลูตาไธโอน ทรานสเฟอเรสในวิธีการย่อยสลายพอลิคลอรีเนตไบฟีนิล	160
▪ วิธีการย่อยสลายสารมลพิษอื่น ๆ ในแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับกลูตาไธโอน ทรานสเฟอเรส	163
2.5 สรุป บทบาทของเอนไซม์ทรานสเฟอเรสกับการเปลี่ยนรูปสารมลพิษ	163
เอกสารอ้างอิง	163

<b>บทที่ 3 เอนไซม์ไฮดรอลเลส : บทบาทต่อการบำบัดสารมลพิษอินทรีย์</b>	<b>167</b>
3.1 บทนำ	168
3.2 การเรียกชื่อ การแบ่งกลุ่มย่อยและรูปแบบปฏิกิริยาของเอนไซม์ไฮดรอลเลส	171
3.3 บทบาทของเอนไซม์ไฮดรอลเลสในแบคทีเรียในกระบวนการย่อยสลายสารมลพิษ	186
<input type="checkbox"/> บทบาทของเอนไซม์ไฮดรอลเลสในวิธีการย่อยสลายสารทาเลตเอสเทอร์ในแบคทีเรีย	187
▪ สารทาเลตเอสเทอร์	187
▪ ความเป็นพิษของสารทาเลตเอสเทอร์	188
▪ จุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารทาเลตเอสเทอร์	192
▪ วิธีการย่อยสลายสารทาเลตเอสเทอร์และบทบาทของเอนไซม์	196
<input type="checkbox"/> บทบาทของเอนไซม์ไฮดรอลเลสในวิธีการย่อยสลายสารพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในแบคทีเรีย	206
▪ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์	206
▪ ความเป็นพิษและปัญหาสิ่งแวดล้อมของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	207
▪ จุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	207
▪ วิธีการย่อยสลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และบทบาทของเอนไซม์	209
3.4 สรุป บทบาทของเอนไซม์ไฮดรอลเลสในวิธีการบำบัดสารมลพิษทางชีวภาพ	215
เอกสารอ้างอิง	217

<b>บทที่ 4 เอนไซม์ไลเอส : บทบาทต่อการบำบัดสารมลพิษอินทรีย์</b>	<b>221</b>
4.1 บทนำ	222
4.2 การเรียกชื่อ การแบ่งกลุ่มย่อยและรูปแบบปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลเอส	223
4.2.1 การแบ่งกลุ่มเอนไซม์ไลเอสตามลักษณะการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์	224
<input type="checkbox"/> กลุ่มเอนไซม์ไลเอสที่เร่งปฏิกิริยาการกำจัดหมู่และสร้างพันธะคู่ที่ตำแหน่งในสารตั้งต้น	224
<input type="checkbox"/> กลุ่มเอนไซม์ไลเอสที่เร่งปฏิกิริยาการเติมหมู่ฟังก์ชันในโครงสร้างของสารตั้งต้น	225
▪ ปฏิกิริยาการเติมหมู่เข้าสู่พันธะคู่ระหว่างคาร์บอน	227
▪ ปฏิกิริยาการสร้างพันธะระหว่างคาร์บอน	228
4.2.2 การแบ่งกลุ่มเอนไซม์ไลเอสตามชนิดของพันธะเคมีในสารตั้งต้นที่ถูกสลาย	232
4.3 ตัวอย่างบทบาทของเอนไซม์ไลเอสในแบคทีเรียในกระบวนการย่อยสลายสารมลพิษ	241
<input type="checkbox"/> บทบาทของเอนไซม์ไลเอสในวิถีการย่อยสลายไซยาไนด์ในแบคทีเรีย	241
▪ ไซยาไนด์	241
▪ รูปแบบไซยาไนด์และการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม	242
▪ ความเป็นพิษของไซยาไนด์	245
▪ วิถีการย่อยสลายสารไซยาไนด์ในแบคทีเรียและบทบาทของเอนไซม์	246
<input type="checkbox"/> วิถีการย่อยสลายไซยาไนด์แบบไฮดรอลิซิส	247
<input type="checkbox"/> วิถีการย่อยสลายไซยาไนด์แบบออกซิเดชัน	249
<input type="checkbox"/> วิถีการย่อยสลายไซยาไนด์แบบรีดักชัน	250
<input type="checkbox"/> วิถีการย่อยสลายไซยาไนด์ที่อาศัยปฏิกิริยาการแทนที่และการย้ายหมู่	251
<input type="checkbox"/> วิถีการเปลี่ยนรูปไซยาไนด์ด้วยเอนไซม์ซินเทส	253
<input type="checkbox"/> บทบาทของเอนไซม์ไลเอสในวิถีการย่อยสลายไนโตรลีนในแบคทีเรีย	255
▪ ไนโตรลีน	255
▪ ความเป็นพิษของไนโตรลีน	256
▪ วิถีการย่อยสลายสารไนโตรลีนและบทบาทของเอนไซม์	257
<input type="checkbox"/> วิถีการย่อยสลายไนโตรลีนโดยใช้เอนไซม์ไนโตรเลส	258
<input type="checkbox"/> วิถีการย่อยสลายไนโตรลีนโดยใช้เอนไซม์ไนโตรล ไฮดราเลสและเอนไซม์แอมิเดส	262
4.4 สรุป บทบาทของเอนไซม์ไลเอสในวิถีการบำบัดสารมลพิษทางชีวภาพในแบคทีเรีย	265
เอกสารอ้างอิง	266
<b>บทที่ 5 เอนไซม์ไอโซเมอเรส: บทบาทต่อการบำบัดสารมลพิษอินทรีย์</b>	<b>271</b>
5.1 บทนำ	272
5.2 การเรียกชื่อ การแบ่งกลุ่มย่อยและรูปแบบปฏิกิริยาของเอนไซม์ไอโซเมอเรส	273
5.3 ตัวอย่างบทบาทของเอนไซม์ไอโซเมอเรสในแบคทีเรียในกระบวนการย่อยสลายสารมลพิษ	279
<input type="checkbox"/> เพนตะคลอโรฟีนอล	280
<input type="checkbox"/> วิถีการย่อยสลายเพนตะคลอโรฟีนอลในแบคทีเรีย	281
5.4 สรุป บทบาทของเอนไซม์ไอโซเมอเรสในแบคทีเรียในกระบวนการย่อยสลายสารมลพิษ	285

**บทที่ 6 เอนไซม์ไลเอส : บทบาทต่อการบำบัดสารมลพิษอินทรีย์** 287

6.1 บทนำ 288

6.2 การเรียกชื่อ การแบ่งกลุ่มย่อยและรูปแบบปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลเอส 289

6.3 ตัวอย่างบทบาทของเอนไซม์ไลเอสในแบคทีเรียในกระบวนการย่อยสลายสารมลพิษ 291

 การใช้และความเป็นพิษของสารเบนโซเอตและแอนทรานิเลต 291

 การย่อยสลายทางชีวภาพของสารมลพิษอะโรมาติกเบนโซเอตและแอนทรานิเลต 292

6.4 สรุป บทบาทของเอนไซม์ไลเอสในแบคทีเรียในกระบวนการย่อยสลายสารมลพิษ 296

เอกสารอ้างอิง 296

**บทที่ 7 วิธีและเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายแอลิฟาติกไฮดรคาร์บอน** 299

7.1 สารประกอบไฮดรคาร์บอน 300

7.2 การเคลื่อนที่และการปนเปื้อนตกค้างในสิ่งแวดล้อมของสารประกอบไฮดรคาร์บอน 301

7.3 ความเป็นพิษของสารประกอบไฮดรคาร์บอน 305

7.4 วิธีกรย่อยสลายสารประกอบแอลิฟาติกไฮดรคาร์บอนและบทบาทของเอนไซม์ 306

7.4.1 วิธีกรย่อยสลายสารประกอบแอลิฟาติกไฮดรคาร์บอน – แอลเคน 308

 จุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายสารประกอบแอลเคน 308

 วิธีกรย่อยสลายสารประกอบแอลเคนแบบใช้ออกซิเจน 308

- วิธีกรย่อยสลายมีเทน 309

- วิธีกรย่อยสลายแอลเคนแบบ Terminal oxidation 310

- วิธีกรย่อยสลายแอลเคนแบบ Sub-terminal oxidation 311

- เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิเดชันแรกในวิธีกรย่อยสลายแอลเคน 311

- เอนไซม์มีเทนโมนอกซิจีเนส 314

- เอนไซม์แอลเคนโมนอกซิจีเนส 315

- ในวิธีกรย่อยสลายแอลเคนที่มีคาร์บอน 2-4 อะตอม

- เอนไซม์แอลเคนโมนอกซิจีเนส 316

- ในวิธีกรย่อยสลายแอลเคนที่มีคาร์บอน 5-16 อะตอม

- เอนไซม์แอลเคนโมนอกซิจีเนส 319

- ในวิธีกรย่อยสลายแอลเคนที่มีคาร์บอน 17 อะตอม

- เอนไซม์ไนยูแคริโอตที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอลเคน 320

7.4.2 วิธีกรย่อยสลายสารประกอบแอลิฟาติกไฮดรคาร์บอน – ไฮคลิกแอลเคน 321

7.4.3 วิธีกรย่อยสลายสารประกอบแอลิฟาติกไฮดรคาร์บอน – แอลคีน 324

7.4.4 วิธีกรย่อยสลายสารประกอบแอลิฟาติกไฮดรคาร์บอน – แอลคีน 329

7.4.5 การย่อยสลายสารประกอบแอลิฟาติกไฮดรคาร์บอนแบบไม่ใช้ออกซิเจน 331

7.5 สรุป วิธีและเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายแอลิฟาติกไฮดรคาร์บอน 339

เอกสารอ้างอิง 339

<b>บทที่ 8 วิธีและเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายแอมโรแมติกไฮดรคาร์บอน</b>	<b>345</b>
8.1 สารแอมโรแมติกไฮดรคาร์บอน	346
8.2 ชนิด แหล่งที่มา การตกค้างในสิ่งแวดล้อมและความเป็นพิษของสารแอมโรแมติกไฮดรคาร์บอน	346
8.3 จุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายสารประกอบแอมโรแมติกไฮดรคาร์บอน	352
8.4 วิธีการย่อยสลายสารแอมโรแมติกไฮดรคาร์บอน และบทบาทของเอนไซม์ต่าง ๆ	356
8.4.1 วิธีแบบเพอริเฟอร์ล (Peripheral pathway) หรือวิธีบน (Upper pathway)	357
□ วิธีการกำจัดหมู่ไฮดรอกซิลของสารประกอบแอมโรแมติกไฮดรคาร์บอน	357
▪ วิธีการกำจัดหมู่เมทิลในสารประกอบแอมโรแมติกไฮดรคาร์บอนโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน	358
▪ วิธีการกำจัดหมู่เมทิลโดยปฏิกิริยาดีเมทิลเลชัน	359
▪ วิธีที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันของกรดแอมโรแมติก	360
▪ วิธีการกำจัดหมู่ไฮดรอกซิลโดยปฏิกิริยาโคเอ-เพอริเฟอร์ลสำหรับสารประกอบฟีนอลโพรพินอย	361
▪ วิธีการกำจัดหมู่ไฮดรอกซิลของกรดอะมิโนแบบแอมโรแมติก	363
□ วิธีแบบเพอริเฟอร์ลเพื่อกระตุ้นโครงสร้างสารแอมโรแมติกก่อนการแตกวง	364
▪ บทบาทของ Rieske non-heme iron oxygenases	364
▪ บทบาทของ Soluble diiron monooxygenase	369
▪ บทบาทของฟลาโวโปรตีน โมโนออกซิจีเนส	374
8.4.2 วิธีการแตกวงแอมโรแมติก (Ring-cleavage pathway) หรือ วิธีล่าง (Lower pathway)	385
□ วิธีการแตกวงแอมโรแมติกโดยปฏิกิริยาออกซิจีเนชัน (Oxygenation ring-cleavage pathway)	385
▪ สารตัวกลางหลักในวิธีการแตกวงแอมโรแมติกโดยปฏิกิริยาออกซิจีเนชัน	385
▪ เอนไซม์ไดออกซิจีเนสที่มีเร่งปฏิกิริยาการแตกวงแอมโรแมติก (Ring-cleavage dioxygenases)	386
▪ วิธีการแตกวงแอมโรแมติกของสารตัวกลางหลัก	389
□ วิธีการแตกวงแอมโรแมติกโดยปฏิกิริยาที่อาศัยโคเอ (CoA dependent ring-cleavage pathway)	403
8.4.3 ตัวอย่างวิธีการย่อยสลายสารมลพิษแอมโรแมติกโพลีอิน	406
8.5 สรุป วิธีและเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายแอมโรแมติกไฮดรคาร์บอน	412
เอกสารอ้างอิง	412
<b>บทที่ 9 วิธีและเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายฮาโลจิเนตไฮดรคาร์บอน</b>	<b>419</b>
9.1 สารฮาโลจิเนตไฮดรคาร์บอน แหล่งที่มาและประเภทของสาร	420
9.2 การประยุกต์ใช้ และความเป็นพิษของฮาโลจิเนตไฮดรคาร์บอน	423
9.3 วิธีการย่อยสลายฮาโลจิเนตไฮดรคาร์บอน	431
9.3.1 ปฏิกิริยาการกำจัดหมู่ฮาโลเจนแบบออกซิวันและแบบซิวัน	432
9.3.2 หลักการย่อยสลายสารฮาโลจิเนตไฮดรคาร์บอนของจุลินทรีย์	433

9.3.3 วิธีการย่อยสลายสารมลพิษฮาโลเจนเตไฮดรอคาร์บอนและเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง	435
<input type="checkbox"/> จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารมลพิษฮาโลเจนเตไฮดรอคาร์บอน	436
<input type="checkbox"/> ปฏิกริยาการกำจัดหมู่ฮาโลเจนในวิธีการย่อยสลายสารฮาโลเจนเตไฮดรอคาร์บอน	439
1. ปฏิกริยาการกำจัดหมู่ฮาโลเจนแบบออกซิเดทีฟ ดีฮาโลจิเนชัน (Oxidative dehalogenation)	440
1.1 ปฏิกริยาการกำจัดหมู่ฮาโลเจนจากฮาโลเจนเตแอโรแมติก แบบออกซิไดซ์ ดีฮาโลจิเนชัน	442
1.2 ปฏิกริยาการกำจัดหมู่ฮาโลเจนที่เกิดขึ้นในเมแทบอลิซึมร่วม	446
1.3 ปฏิกริยาการกำจัดหมู่ฮาโลเจนแบบเกิดขึ้นเอง	451
2. ปฏิกริยาการกำจัดหมู่ฮาโลเจนแบบดีไฮดรอฮาโลจิเนชัน (Dehydrohalogenation)	457
3. ปฏิกริยาการกำจัดหมู่ฮาโลเจนแบบการแทนที่ (Substitutive dehalogenation)	461
3.1 ปฏิกริยาไฮดรอลิติก ดีฮาโลจิเนชัน (Hydrolytic dehalogenation)	461
3.2 ปฏิกริยาไธโอไลติก ดีฮาโลจิเนชัน (Thiolytic dehalogenation)	466
3.3 ปฏิกริยาดีฮาโลจิเนชันแบบแทนที่หมู่แบบอินทราโมเลกุล	470
4. ปฏิกริยาการกำจัดหมู่ฮาโลเจนแบบรีดักทีฟดีฮาโลจิเนชัน (Reductive dehalogenation)	473
<input type="checkbox"/> ปฏิกริยาแบบไฮดรอจีโนไลซิส (Hydrogenolysis)	474
5. ปฏิกริยาแบบวิซินอลรีดักชัน (Vicinal reduction หรือ Dihaloelimination)	480
6. ปฏิกริยารีดักทีฟดีฮาโลจิเนชันที่เชื่อมโยงกับกระบวนการหายใจ ภายใต้สภาวะที่ไม่ใช้ออกซิเจน	480
7. ปฏิกริยาการกำจัดหมู่ฮาโลเจนแบบการโยกย้ายหมู่เมทิล	483
9.3.4 ตัวอย่างของความหลากหลายของวิธีการย่อยสลายสารไทรคลอโรเอทีลิน	484
9.4 สรุป วิธีและเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายฮาโลเจนเตไฮดรอคาร์บอน	490
เอกสารอ้างอิง	490
<b>บทที่ 10 บทสรุป บทบาทของเอนไซม์ต่อการบำบัดสารมลพิษอินทรีย์และศักยภาพการนำไปใช้</b>	<b>499</b>
10.1 บทสรุป : บทบาทของเอนไซม์ในการบำบัดสารมลพิษ	500
10.2 ศักยภาพของการใช้เอนไซม์ในกระบวนการบำบัดสารมลพิษ	502
เอกสารอ้างอิง	506
ดรชนิภาชาวไทย	507
ดรชนิภาภาษาอังกฤษ	515

# เอนไซม์ในวิถีย่อยสลายสารมลพิษ

อลิตา วังใน

เลขหมู่ 572.7  
ด429  
2560  
เลขทะเบียน น 1108  
วันที่ - 4 ก.ย. 2560

11๘๙1



สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2560

450.-