

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับนิกเกิลโดยกาบยีสต์



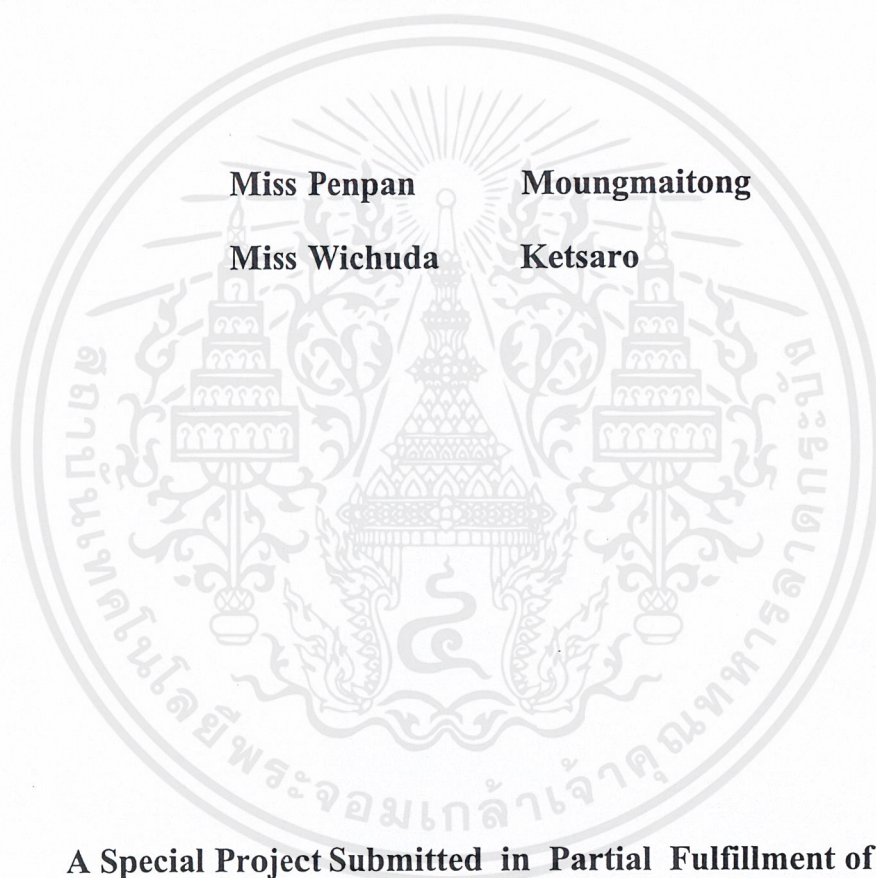
นางสาวเพ็ญพรรณ ม่วงไหมทอง  
นางสาววิชุดา เกสโร

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 43975  
วัน, เดือน, ปี 18 ต.ค. 2545

b.....  
i.....

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2544

**Factors affecting on adsorption of nickel by spent yeast**



**Miss Penpan**

**Moungmaitong**

**Miss Wichuda**

**Ketsaro**

**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the**

**Requirement for the Degree of the Bachelor of Science**

**Department of Applied Biology**

**Faculty of Science**

**King Mongkut ' s Institute of Technology Ladkrabang**

**2001**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ      ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับนิกเกิลโดยกากยีสต์  
โดย                              นางสาวเพ็ญพรรณ              ม่วงไหมทอง  
   นางสาววิชุดา                      เกสโร  
ภาควิชา                              ชีววิทยาประยุกต์  
อาจารย์ที่ปรึกษา              อาจารย์มงคล                      เพ็ญสายใจ

ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร  
บัณฑิต

..... นวพรรณ นพวง

( รศ.ดร. นवलพรรณ ณ ระนอง )

หัวหน้าภาควิชา

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ

..... นวพรรณ นพวง

( รศ.ดร. นवलพรรณ ณ ระนอง )

ประธานกรรมการ

..... จิน ฐิติ

( ผศ.วิณา ชูโชติ )

กรรมการ

..... อาจารย์มงคล เพ็ญสายใจ

( อาจารย์มงคล เพ็ญสายใจ )

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับนิกเกิล โดยกากยีสต์	
โดย	นางสาวเพ็ญพรรณ	ม่วงไหมทอง
	นางสาววิชุดา	เกสรโร
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์มงคล	เพ็ญสายใจ
ภาควิชา	ชีววิทยาประยุกต์	
ปีการศึกษา	2544	

### บทคัดย่อ

กากยีสต์ที่ได้จากอุตสาหกรรมการผลิตเบียร์มีประสิทธิภาพในการดูดซับนิกเกิลในทางชีวภาพ โดยทำให้นิกเกิลที่สามารถละลายน้ำได้เปลี่ยนเป็นนิกเกิลที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ จากการศึกษาผลของพีเอชและอุณหภูมิมีผลต่อการดูดซับนิกเกิล พบว่า ที่พีเอช 4 และอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับนิกเกิล และนิกเกิลสามารถดูดซับได้อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ จากการศึกษาความแตกต่างในอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายนิกเกิลและกากยีสต์ พบว่าสามารถดูดซับนิกเกิลได้สูงสุดร้อยละ 78 เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายนิกเกิลเท่ากับ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร กับความเข้มข้นของกากยีสต์ 15 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) จากผลการทดลอง การดูดซับนิกเกิลจะลดลงอย่างรวดเร็วที่เวลา 15 นาทีแรกของการดูดซับ

<b>Special Project Title</b>	Factors affecting on adsorption of nickel by spent yeast	
<b>Name</b>	Miss Penpan	Moungmaitong
	Miss Wichuda	Ketsaro
<b>Special Project Advisor</b>	Mr. Mongkol	Phensaijai
<b>Department</b>	Applied Biology	
<b>Academic year</b>	2001	

### ABSTRACT

Spent yeast obtained from brewery industry was an efficient biosorbent for nickel . It could adsorb nickel , thereby transforming soluble nickel to insoluble nickel . Effects of pH and temperature on nickel sorption were studied . It was found that pH 4 and temperature 35 °C were the optimal condition for nickel sorption and nickel could be adsorb significantly at 95 % confidence level . Moreover , we also investigated the influence of initial concentration of nickel and spent yeast on the metal accumulation . The highest nickel adsorption was 78 % when an initial nickel concentration was 15 mg/l with 15 % (w/v) of spent yeast . From the results , the uptake of nickel was rapidly decreased at the first 15 minute of adsorption .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้ได้จัดทำขึ้นตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพซึ่งโครงการพิเศษนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ทางคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอาจารย์มงคล เพ็ญสายใจ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ได้ให้ความรู้ ข้อเสนอแนะ

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. นवलพรรณ ณ ระนอง ประธานคณะกรรมการ และ ผศ.วินา ชูโชติ กรรมการพิจารณาโครงการพิเศษ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำในโครงการพิเศษนี้เป็นอย่างยิ่งเสมอมา

ขอขอบพระคุณบริษัทไทยอมฤตบริวเวอร์รี่ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้กวมวลยีสต์ *Saccharomyces carlsbergensis* มาใช้ในการศึกษาในโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ทุกท่านที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับการทดลอง

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และ น้อง ๆ ทุกคนที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจในการจัดทำโครงการพิเศษนี้

คณะผู้จัดทำ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตการศึกษา	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 บททรวนเอกสาร	3
โลหะหนัก	3
นิกเกิล	4
ผลกระทบของโลหะหนักต่อสิ่งมีชีวิต	5
ยีสต์กับอุตสาหกรรมการผลิตเบียร์	5
ลักษณะทั่วไปของกากยีสต์	6
แนวทางการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม	7
การกำจัดโลหะหนักโดยวิธีทางชีวภาพ	9
องค์ประกอบของผนังเซลล์	12
การใช้เครื่องมือ Atomic Absorption Spectrophotometer	12
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	17
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	25
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	37
เอกสารอ้างอิง	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก		หน้า
ภาคผนวก ก	สารเคมีและวิธีการเตรียม	42
ภาคผนวก ข	กราฟมาตรฐาน	43
ภาคผนวก ค	การวิเคราะห์ทางสถิติ	45
ภาคผนวก ง	มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำ	49
ภาคผนวก จ	ขั้นตอนการผลิตเบียร์	53



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	องค์ประกอบของเซลล์ยีสต์	7
4.1	ประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลของกากยีสต์ที่พีเอชต่าง ๆ กัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสความเข้มข้นของกากยีสต์ 5 เปอร์เซ็นต์ และความเข้มข้นของนิกเกิลเริ่มต้น 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที	25
4.2	ประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลของกากยีสต์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน ที่พีเอช 4 ความเข้มข้นของกากยีสต์ 5 เปอร์เซ็นต์ และความเข้มข้นของนิกเกิล เริ่มต้น 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที	28
4.3	ประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลของกากยีสต์ที่ความเข้มข้นของกากยีสต์ต่าง ๆ กัน ที่พีเอช 4 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของนิกเกิล เริ่มต้น 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที	31
4.4	ประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลของกากยีสต์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิล เริ่มต้นต่าง ๆ กัน ที่พีเอช 4 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสความเข้มข้นของ กากยีสต์ 15 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที	34
ค1	การคัดเลือกทางสถิติของพีเอชต่าง ๆ	45
ค2	การเปรียบเทียบแบบ LSD ของพีเอช	45
ค3	การคัดเลือกทางสถิติของอุณหภูมิต่าง ๆ	46
ค4	การเปรียบเทียบแบบ LSD ของอุณหภูมิ	46
ค5	การคัดเลือกทางสถิติของความเข้มข้นของกากยีสต์ต่าง ๆ	47
ค6	การเปรียบเทียบแบบ LSD ของความเข้มข้นของกากยีสต์	47
ค7	การคัดเลือกทางสถิติของความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิลเริ่มต้นต่าง ๆ	48
ค8	การเปรียบเทียบแบบ LSD ของความเข้มข้นของนิกเกิลเริ่มต้น	48
ง1	มาตรฐานการควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภท โรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	เส้นทางของสารมลพิษในระบบดิน - น้ำ - มนุษย์	4
2.2	ส่วนประกอบของผนังเซลล์ของเชื้อยีสต์ <i>Saccharomyces</i> spp.	11
3.1	ลักษณะของกากยีสต์	20
3.2	ลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิลที่ยังไม่เติมกากยีสต์	20
3.3	ลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิลที่เติมกากยีสต์ลงไป	21
3.4	ลักษณะเครื่องเขย่าที่ปรับอุณหภูมิได้	21
3.5	ลักษณะของตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ที่เก็บในเวลาต่าง ๆ ก่อนที่จะทำการหมนเหวี่ยงเมื่อทำการเขย่าที่เวลาต่าง ๆ	22
3.6	ลักษณะของตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์หลังจากทำการหมนเหวี่ยง	22
3.7	เครื่องหมนเหวี่ยง	23
3.8	เครื่องวัดพีเอช	23
3.9	เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer	24
4.1	กราฟแสดงประสิทธิภาพการดูดซับโลหะนิกเกิล โดยใช้กากยีสต์ที่พีเอชต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของกากยีสต์ 5 เปอร์เซ็นต์ และความเข้มข้นของนิกเกิลเริ่มต้น 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที	26
4.2	กราฟแสดงประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลของกากยีสต์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ที่พีเอช 4 ความเข้มข้นของกากยีสต์ 5 เปอร์เซ็นต์ และความเข้มข้นของนิกเกิลเริ่มต้น 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที	29
4.3	กราฟแสดงประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลของกากยีสต์ที่ความเข้มข้นของกากยีสต์ต่าง ๆ ที่พีเอช 4 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของนิกเกิลเริ่มต้น 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที	32
4.4	กราฟแสดงประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลของกากยีสต์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิลเริ่มต้นต่าง ๆ ที่พีเอช 4 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของกากยีสต์ 15 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข1 กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของนิกเกิลที่ 2 4 8 12 16 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร กับค่าการดูดกลืนแสง	43
ข2 กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของนิกเกิลที่ 5 10 20 40 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร กับค่าการดูดกลืนแสง	44
จ1 ขั้นตอนการผลิตเบียร์	53



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

จากการขยายตัวทางเศรษฐกิจ และอุตสาหกรรมของโลก ได้เจริญรุดหน้าไปอย่างรวดเร็ว ทำให้มนุษย์ต้องนำเอาทรัพยากรธรรมชาติ ที่มีอยู่จำกัดมาใช้อย่างสิ้นเปลือง เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ที่มีจำนวนเพิ่มขึ้นทุก ๆ ปี เป็นผลทำให้เกิดปัญหามลพิษ(pollution)ทั้งทางบก ทางน้ำ และทางอากาศ อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งได้ส่งผลกระทบต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช รวมทั้งสิ่งแวดล้อมอย่างมากมาย แม้ว่ามนุษย์ได้พยายามร่วมกันรณรงค์ที่จะแสวงหาวิธีต่าง ๆ เพื่อจะลดปัญหามลพิษให้น้อยที่สุด ไม่ว่าจะเป็นการปลูกป่าทดแทน การนำขยะมาแปรรูปใหม่ การใช้น้ำมัน ไร้สารตะกั่ว และการเลิกใช้สาร CFC วิธีเหล่านี้สามารถแก้ปัญหาได้เพียงระดับหนึ่งเท่านั้น แต่ปริมาณของมลพิษ ยังคงทวีจำนวนมากขึ้นทั่วทุกมุมโลก ดังนั้นทางออกที่ดีที่สุดก็คือ การใช้เทคโนโลยีใหม่ในการกำจัดมลพิษให้หมดสิ้นไป (สุทธิเวช : www. Thaienvironment . net )

น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการดำรงชีวิตของมนุษย์และสิ่งมีชีวิต ในขณะที่เดียวกันน้ำยังเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่จำเป็นสำหรับการพัฒนาเศรษฐกิจ เช่น การชลประทาน การสาธารณสุข การอุตสาหกรรมและพลังงาน การคมนาคม ตลอดจนการระบายของเสียจากชุมชน และโรงงานอุตสาหกรรม และด้วยเหตุนี้น้ำสามารถใช้ประโยชน์ส่วนรวมได้หลายอย่าง จึงก่อให้เกิดปัญหาการเสื่อมโทรมของคุณภาพ สิ่งแวดล้อมทางน้ำ ซึ่งส่วนใหญ่มีอิทธิพลจากการเพิ่มจำนวนประชากรอย่างรวดเร็ว การขยายตัวด้านอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม การนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาใช้ทำให้เกิดสารมลพิษขึ้นมากมายหลายชนิด (ณรงค์, 2525) สารมลพิษเหล่านี้ก่อให้เกิดการทำลายสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ โดยโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะปล่อยของเสียลงสู่แม่น้ำ ลำคลอง หนองน้ำ บึงและทะเล ของเสียเหล่านี้มักอยู่ในรูปของเกลืออนินทรีย์และเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนัก เช่น พวกเกลือตะกั่ว ทองแดง แคดเมียม แมงกานีส นิกเกิล เป็นต้น เมื่อสารมลพิษสะสมอยู่ในร่างกายจนถึงปริมาณหนึ่งก็จะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกาย

ในขณะนี้หลายประเทศทั่วโลก รวมทั้งประเทศไทยได้ออกกฎหมายเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม โดยให้ผู้ประกอบการทุกประเภท ทั้งโรงงานอุตสาหกรรม โรงงานผลิตอาหาร โรงพยาบาลและภัตตาคารต่าง ๆ ต้องมีระบบบำบัดน้ำเสียก่อนที่จะปล่อยลงสู่แม่น้ำลำคลอง และมีระบบฟอกอากาศสำหรับมลพิษทางอากาศด้วย อย่างไรก็ตามขั้นตอนในการกำจัดมลพิษในน้ำต้องใช้เวลานาน

สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง และใช้สารเคมี ประกอบกันหลายชนิด อาทิ สารส้ม โซเดียมไฮโปคลอไรท์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมซัลไฟด์ กรดซัลฟิวริกและโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต เป็นต้น สารเคมีเหล่านี้ มีราคาแพง และต้องใช้จำนวนครั้งละมาก ๆ ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมได้เช่นกัน

ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีโอกาสปล่อยโลหะหนักได้มากที่สุด คือ โรงงานชุบโลหะ ฉะนั้นปัญหาในการหากระบวนการที่จะกำจัดโลหะหนักอย่างมีประสิทธิภาพก็จะยังมีอยู่ และคาดว่าปัญหานี้คงจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศกำลังพัฒนาด้านอุตสาหกรรมซึ่งเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว นิกเกิลเป็นโลหะหนักอีกตัวหนึ่งที่มีความเป็นพิษ เมื่อนิกเกิลเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ในปริมาณมาก มีระดับความเป็นพิษสูงมากอาจเป็นสาเหตุให้เกิดโรคมะเร็งจากนิกเกิลได้ นอกจากนี้ยังพบว่านิกเกิลมีคุณสมบัติเป็นสารชักนำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ (ศุภมาส, 2540)

วิธีการกำจัดนิกเกิลในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี ทั้งวิธีทางเคมี วิธีทางกายภาพ และวิธีทางชีวภาพ สำหรับวิธีทางเคมีนั้นเป็นวิธีที่ค่อนข้างยุ่งยากและใช้ต้นทุนสูง ดังนั้นจึงนำเอาวิธีทางชีวภาพมาใช้เพื่อลดปริมาณนิกเกิลโดยใช้กากยีสต์ ปัจจุบันได้มีการศึกษาการนำจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการปนเปื้อนของนิกเกิลโดยการนำเอาโครงสร้างบางส่วนของจุลินทรีย์ทิ้งที่ตายแล้วและยังมีชีวิตอยู่ หรือผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากจุลินทรีย์ (กากมวลชีวภาพ) มาใช้ในการดูดซับนิกเกิลแทนการใช้สารเคมี

มาตรฐานน้ำทิ้งกระทรวงอุตสาหกรรมไทยได้กำหนดให้มีปริมาณนิกเกิลในน้ำทิ้งได้ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (ฉัตรไชย, 2539)

### วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่เหมาะสมในการนำเอากากยีสต์มาดูดซับนิกเกิล โดยปัจจัยที่นำมาศึกษาคือ พีเอช อุณหภูมิ ความเข้มข้นของกากยีสต์ ความเข้มข้นของโลหะหนัก

### ขอบเขตของโครงการพิเศษ

ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการดูดซับนิกเกิล โดยใช้กากยีสต์จากโรงงานผลิตเบียร์

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักโดยวิธีทางชีวภาพ
2. เป็นแนวทางในการนำเอากากยีสต์ไปใช้ดูดซับโลหะหนักในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดโดยวิธีอื่น
3. ทราบปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการดูดซับนิกเกิลโดยใช้กากยีสต์
4. นำกากยีสต์ซึ่งเป็นของเสียมาใช้ประโยชน์ทำให้ลดปริมาณกากของเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### บทตรวจเอกสาร

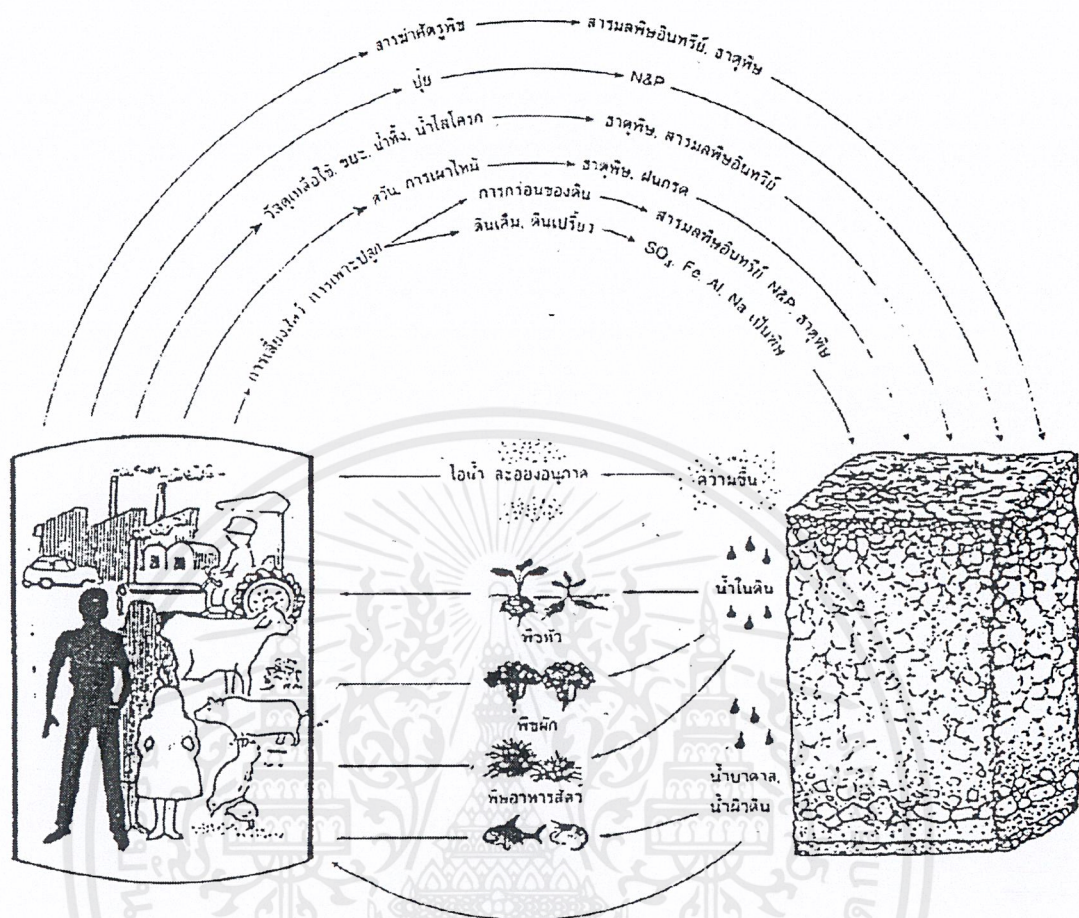
#### 2.1 โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เช่น ตะกั่ว แคดเมียม ปรอท นิกเกิล เป็นต้น โดยทั่วไปโลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง ยกเว้นปรอทที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ ซึ่งโลหะหนักส่วนใหญ่มีสมบัติทางกายภาพคล้ายคลึงกัน ได้แก่การนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความมันวาว และสามารถนำมาตีเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ ส่วนสมบัติด้านเคมีที่สำคัญคือ สามารถที่จะรวมตัวกับสารอื่น เป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ

โลหะหนักสามารถจัดแบ่งโดยอาศัยแนวโน้มความเป็นพิษต่อสภาวะแวดล้อมได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มโลหะที่มีแนวโน้มความเป็นพิษต่อสภาวะแวดล้อมสูงมาก ได้แก่ As, Au, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Sb, Sn, Te และ Zn และกลุ่มโลหะที่มีแนวโน้มความเป็นพิษต่อสภาวะแวดล้อมสูงรองลงมา ได้แก่ Ba, Bi, Fe, Mo, Ti และ U (ชุตินา, 2543)

ความเป็นพิษของกลุ่มโลหะหนักเหล่านี้ เป็นผลมาจากการที่มนุษย์ได้รับสารเหล่านี้ในปริมาณที่ต่าง ๆ กัน และก่อให้เกิดอันตรายแก่ร่างกายนั่นเอง แหล่งที่มาสำคัญของโลหะหนักเหล่านี้ก็คือ จากกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถปนเปื้อนมาพร้อมกับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม จากนั้นจึงเกิดการปนเปื้อนเข้าสู่สิ่งแวดล้อมในดิน น้ำ อากาศ และผลิตผลทางการเกษตร และเข้าสู่ร่างกายมนุษย์และมีผลต่อเมตาบอลิซึมของเซลล์สิ่งมีชีวิต

การปนเปื้อนของโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อม ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ และสิ่งแวดล้อมได้หลายทาง ทั้งโดยการสัมผัสโดยตรง การสะสมอยู่ในห่วงโซ่อาหาร (food chain) การปนเปื้อนต่อแหล่งน้ำที่ใช้ในการอุปโภค บริโภค การเจือปนอยู่ในอากาศ หรือโดยการระบิดหรือไฟไหม้ ดังรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่า สารโลหะหนักที่มีการกำจัดไม่ถูกต้องเหมาะสมจะก่อให้เกิดปัญหากระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้



รูปที่ 2.1 แสดงเส้นทางของสารมลพิษในระบบดิน - น้ำ - มนุษย์  
(ที่มา : ศุภมาส, 2540)

## 2.2 นิกเกิล

นิกเกิลเป็นโลหะตัวที่ 3 ของธาตุในกลุ่มที่ 8 ในตาราง Periodic ซึ่งจะมีเลขอะตอม 28 มวลโมเลกุลเท่ากับ 58.69 และมีเลขออกซิเดชันได้หลายค่าตั้งแต่ +1 ถึง +4 ในเปลือกโลกจะมีนิกเกิลอยู่ 1.2 พีพีเอ็ม ในดินมี 2.5 พีพีเอ็ม ในอากาศมี 1 ไมโครกรัมต่อลิตร และในน้ำใต้ดินจะมีน้อยกว่า 0.1 ไมโครกรัมต่อลิตร

นิกเกิลเป็นโลหะที่มีความสำคัญมากในทางอุตสาหกรรม มีความแข็งแรงทนทานสูง สึกกร่อนได้ยากและไม่เป็นสนิม จึงนิยมนำนิกเกิลมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเจือ (alloy) เช่น เหล็กกล้าปลอดสนิม ( stainless steel ) ใช้ชุบโลหะ ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน (hydrogenation) ของน้ำมันพืช ใช้ทำแบตเตอรี่สะสมอัลคาไลน์ ( alkaline storage battery )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กโตรเซลล์เชื้อเพลิง ( fuel cell electrodes ) ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ เครื่องประดับ เป็นต้น (APHA, AWWA and WPCF, 1998)

Volesky (1990) ได้กล่าวว่า ถ้าร่างกายได้รับนิกเกิลในปริมาณสูง ระดับความเป็นพิษจะสูงมากอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคมะเร็งจากนิกเกิลได้ (nikle carcinogenicity) โดย สุขุมาศ (2540) กล่าวว่า นิกเกิลจัดเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ แต่ถือเป็นสารที่เป็นอันตรายไม่รุนแรงมากในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เนื่องจากทางเดินอาหารดูดซึมนิกเกิลได้ต่ำ แต่นิกเกิลค่อนข้างเป็นพิษต่อพืช โดยทั่วไปพืชจะทนพิษของนิกเกิลได้น้อยกว่าตะกั่ว

กลไกการออกฤทธิ์ เมื่อนิกเกิลเข้าสู่ร่างกายจะไปสะสมตามกระดูกสันหลัง สมอง ปอด และหัวใจ อาการของผู้ได้รับพิษมีดังนี้ ปวดหัว มึนงง คลื่นไส้ และอาเจียน แน่นหน้าอก ไอแห้ง ถ้าหากมีอาการรุนแรงมากอาจมีเลือดออกในปอด (ชุตินา, 2543)

### 2.3 ผลกระทบของโลหะหนักต่อสิ่งมีชีวิต

โลหะหนักเป็นของเสียอันตราย (hazardous waste) ประเภทหนึ่งที่มีลักษณะเป็นพิษซึ่งเป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์และสัตว์ตลอดจนสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ อย่างมาก หากทำการเก็บหรือกำจัดทิ้งไปโดยไม่ระมัดระวังให้ถูกหลักวิชาการ โดยโลหะหนักมีแหล่งที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมเช่น น้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะซึ่งจะมีโลหะหนักเจือปนอยู่ จะมีโลหะหนักพวกโครเมียม แคดเมียม สังกะสี ทองแดง นิกเกิล ตะกั่ว พรอท สารหนู ของเสียจากโรงกลั่นน้ำมันจะมีโลหะหนักพวกตะกั่ว เจือปนอยู่ ของเสียที่มาจากชุมชนบ้านเรือนที่พักอาศัย เช่น ซากถ่านไฟฉายจะมีสารพวกแมกนีสิียม หรือแคดเมียมอยู่ภายใน ซากแบตเตอรี่ของรถยนต์จะมีโลหะหนักพวกตะกั่วเจือปนอยู่ หรือแหล่งที่มาของโลหะหนักที่ปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม จะมาจากโรงงานอุตสาหกรรมและการทำเหมืองแร่ (รพีพร, 2542)

### 2.4 ยีสต์กับอุตสาหกรรมการผลิตเบียร์

#### 2.4.1 อุตสาหกรรมการผลิตเบียร์

ตามความหมายดั้งเดิมนั้น เบียร์หมายถึงเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่ได้จากกระบวนการหมักของข้าวมอลต์ น้ำฮอป (hop) และยีสต์ แต่ในปัจจุบันมีเพียงประเทศเยอรมันประเทศเดียวเท่านั้นที่มีการผลิตเบียร์ ตามความหมายนี้ แต่ประเทศอื่น ๆ จะมีการใช้ธัญพืชอื่น ๆ ผสมกับข้าวมอลต์ในการผลิตเบียร์ ธัญพืชที่ใช้ได้แก่ ข้าวโพด ข้าว และข้าวสาลี เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต เนื่องจากข้าวมอลต์มีราคาสูง ซึ่งในกระบวนการผลิตเบียร์นั้นยีสต์จะมีบทบาทสำคัญมากที่สุด ดังนั้นในการผลิตเบียร์จึงจำเป็นต้องเลือกใช้สายพันธุ์ยีสต์ที่บริสุทธิ์ มีสุขภาพแข็งแรง มี activity ดี ซึ่งสายพันธุ์ที่นิยมใช้กันในการผลิตเบียร์ทั่วโลกคือ *Saccharomyces cerevisiae* และ *S. carlsbergensis* โดยนอกจากจะเป็นตัวการในการเปลี่ยนน้ำตาลในวอร์ด (wort) ให้เป็นเอทานอลและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วยังผลิตสารอื่น ๆ ที่ระเหยได้และระเหยไม่ได้หลายชนิดในปริมาณเล็กน้อยและสารเหล่านี้เป็นตัวให้กลิ่นรสแก่เบียร์ (คุชณี, 2537) โดยมีขั้นตอนการผลิตเบียร์คือ การคลุกเคล้า การหมักเบียร์ การบ่ม การกรองและการบรรจุ ดังรายละเอียดในภาคผนวก จ ยีสต์ที่ใช้ในกระบวนการหมักจะถูกนำมาใช้ใหม่ได้ 6-7 รอบของการหมักขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ของยีสต์ จำนวนยีสต์ที่ตาย และอ่อนแอด้วยยีสต์ที่ผ่านกระบวนการหมักเบียร์จะถูกกรองแยกออกจากน้ำเบียร์กลายเป็นกากยีสต์ (spent yeast) ซึ่งเป็นส่วนที่ต้องกำจัดออกไป จึงได้นำกากยีสต์ไปใช้ประโยชน์ต่าง ๆ ต่อไป ซึ่งทางโรงงานจะนำบางส่วนไปอบแห้งแล้วใช้เป็นอาหารสัตว์ และเป็นปุ๋ยในการปลูกข้าวบาร์เลย์ของโรงงาน ให้ฟรีแก่ผู้มาขอหรือนำไปถมที่ แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณของกากยีสต์ และกากตะกอนก็ยังคงเหลือเป็นจำนวนมากที่เป็นภาระในการกำจัดต่อไป ดังนั้นอีกแนวทางหนึ่งในการจัดการกากของเสียเหล่านี้คือ การนำเอากากของเสียกลับไปใช้ใหม่ จึงน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งในการลดภาระการกำจัดได้บ้าง เช่น การศึกษากากยีสต์ไปใช้กำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม หรือการนำเอากากตะกอนไปเป็นปุ๋ยในการเพาะปลูก เป็นต้น

## 2.5 ลักษณะทั่วไปของกากยีสต์

กากมวलयีสต์ เป็นผลผลิตที่ได้จากอุตสาหกรรมการหมักเบียร์ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นเชื้อ *Saccharomyces* sp. มีรูปร่างกลมหรือรูปไข่ (spherical หรือ ovoid shape) ต่อกันเป็นโซ่ยาว เซลล์เดี่ยวมีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ โดยการแตกหน่อ และการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศโดยการสร้าง ascospore ตามปกติแล้วยีสต์จะสร้างหน่อมากเมื่อเราเลี้ยงในอาหารสังเคราะห์ แต่จะพบ ascospore มาก เมื่อเลี้ยงยีสต์ในสภาพอิสระตามธรรมชาติ ยีสต์ที่ใช้ในการผลิตเบียร์ส่วนใหญ่มี 2 สายพันธุ์คือ *S. cerevisiae* และ *S. carlsbergensis* ความแตกต่างระหว่างยีสต์ 2 ตัวนี้คือ *S. carlsbergensis* สามารถใช้น้ำตาลราฟิโนสได้ ในขณะที่ *S. cerevisiae* ไม่สามารถใช้น้ำตาลชนิดนี้ได้ (Richard และคณะ, 2000) *Saccharomyces* จัดอยู่ในอยู่ใน ascosporengous yeast ชั้นดิวิชัน Ascomycotinas ชั้น Hemiascomycetes อันดับ Endomycetales วงศ์ Saccharomycetaceae เชื้อหุ้มเซลล์ประกอบด้วย ไขมัน โปรตีน และโพลีแซคคาไรด์ (Anna, 1990) ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบของเซลล์ยีสต์แห้ง

Major component	Concentration (g/100g)	Vitamin	Concentration (mg/100g)
Protein	50	Niacin	50
Carbohydrate	42	Thiamine	15
Ash	7	Pantothenate	10
Fat	6	Riboflavin	7
Moisture	5	Folic acid	4
		Pyridoxine	3
		Biotin	0.2

( ที่มา : Michael และคณะ, 1995 )

## 2.6 แนวทางการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

ในโรงงานอุตสาหกรรมจะมีการใช้น้ำที่แตกต่างกัน ตามประเภทหรือชนิดของโรงงาน บางโรงงานอาจต้องการน้ำใช้เพียงเพื่อสำหรับการอุปโภค บริโภคของพนักงานและเจ้าหน้าที่เท่านั้น แต่บางโรงงานอาจต้องการน้ำใช้ช่วยในกระบวนการผลิตสินค้า

เกรียงศักดิ์ (2537) น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมก็คือน้ำเสียของโรงงานนั้น ๆ ซึ่งต้องทำการบำบัดให้ได้น้ำทิ้งที่มีคุณภาพได้มาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรมแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท

1. น้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการหล่อเย็น (cooling water) จะเป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากการระบายความร้อนในเครื่องจักร
2. น้ำทิ้งจากกระบวนการชะล้าง (wash water) จะเป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการล้างวัตถุดิบต่างๆ
3. น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต (process wastewater) จะเป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการผลิต
4. น้ำทิ้งจากกิจกรรมต่าง ๆ จะเป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากการอาบน้ำของพนักงาน น้ำทิ้งจากห้องน้ำและอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ จะมีความแตกต่างกันมาก ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ กระบวนการ และปัจจัยอื่น ๆ อีกมากมาย เนื่องจากลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมชนิดต่าง ๆ มีความแตกต่างกันมาก ดังนั้นวิธีการบำบัดน้ำเสียจึงมีความแตกต่างกันด้วย เพราะฉะนั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากที่จะต้องทราบรายละเอียดเกี่ยวกับน้ำเสียและรายละเอียดของกระบวนการผลิตในโรงงานนั้นๆ ตัวอย่างเช่น โรงงานชุบโลหะซึ่งจะมีกระบวนการชุบโลหะทองแดง นิกเกิลและโครเมียมพบว่าในกระบวนการผลิตจะมีส่วนของอ็อกไซด์ของโลหะหนักที่ละลายอยู่ในน้ำเสียของโรงงาน เช่น ตะกั่ว นิกเกิล ทองแดง และโครเมียม เป็นต้น ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตนั่นเอง

สำหรับกระบวนการจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากโรงงานมีอยู่หลายวิธี เช่น การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ หรือทางเคมีของโลหะหนัก โดยอาจทำให้หมดความเป็นพิษ หรือมีความเป็นพิษน้อยลง หรืออยู่ในลักษณะที่ไม่สามารถแสดงความเป็นพิษออกมาได้ เพื่อสะดวกต่อการกำจัดทำลายในขั้นต่อไป ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี (อติศักดิ์, 2536) ได้แก่ การทำให้เป็นก้อน การทำให้แห้ง การทำให้เป็นกลาง การใช้สารเคมีทำลายฤทธิ์หรือทำให้ตกตะกอน การใช้เตาเผา รวมถึงการใช้กระบวนการใช้จุลินทรีย์แยกโลหะหนัก

### 2.6.1 การกำจัดโลหะหนักโดยวิธีต่างๆ

#### 1. การแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange resin)

ระบบนี้จะใช้หลักการแลกเปลี่ยนประจุของสารปนเปื้อนที่มีอยู่ในน้ำเสีย เช่น แยก  $\text{NH}_4^+$   $\text{Cu}^{+2}$   $\text{CrO}_4^{-2}$   $\text{Zn}^{+2}$   $\text{Ni}^{+2}$  เป็นต้น ซึ่งโดยมากมักจะมียอดมากในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิด โดยอาศัยสารที่เติมลงไปจนถึงแลกเปลี่ยนประจุ เช่น  $\text{NaCl}$  หรือ  $\text{HCl}$  หรือ  $\text{H}_2\text{SO}_4$  หรือ  $\text{NaOH}$  เป็นต้น วิธีการกำจัดประเภทนี้จะใช้กับสารปนเปื้อนที่มีปริมาณไม่มากนัก แต่ราคาแพงและประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับชนิดของเรซิน (resin) ที่ใช้

#### 2. การตกตะกอนด้วยสารเคมี

กระบวนการนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงสภาพของสารต่าง ๆ ที่ละลายอยู่ในรูปสารละลาย (soluble) ให้เป็นสารที่อยู่ในสภาพไม่ละลายน้ำ (insoluble) โดยวิธีการเติมสารเคมีผสมกับน้ำเสียให้ทั่วถึง เช่น สารส้ม (alum) Ferric chloride ( $\text{FeCl}_3$ ) ปูนขาว (lime) เป็นต้น ซึ่งเมื่อผสมเข้ากันดีแล้วจะเกิดการจับตัวกันระหว่างสารเคมิดังกล่าวกับสารละลาย ทำให้สามารถแยกมลสารที่ไม่ต้องการออกจากน้ำเสียด้วยวิธีตกตะกอนผลึกทางเคมี

### 3. การออกซิเดชัน - รีดักชัน (oxidation - reduction)

- การออกซิเดชัน (oxidation) เป็นกระบวนการที่เกิดปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียอิเล็กตรอนของอะตอม กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีนี้จึงเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนสภาพของมลสารที่อยู่ในน้ำจากมลสารประเภทมีพิษมากไปเป็นมลสารประเภทมีพิษน้อยหรือไม่มี จะใช้วิธีการใช้สารเคมีเติมออกซิเจนลงไป สารเคมีที่ใช้ เช่น โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $KMnO_4$ ) โอโซน ( $O_3$ ) โครเมต ไฮโปคลอไรต์ ฯลฯ

- การรีดักชัน (reduction) เป็นกระบวนการที่เกิดปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มอิเล็กตรอน ของอะตอม กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีนี้ จึงเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนสภาพของมลสารที่อยู่ในน้ำจากมลสารประเภทมีพิษมากไปเป็นมลสารประเภทมีพิษน้อย หรือไม่มี จะใช้วิธีการใช้สารเคมีนำออกซิเจนออกมา สารเคมีที่ใช้ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โซเดียมไบซัลไฟด์ เฟอร์รัสซัลเฟต

### 4. วิธีการตกผลึก

โลหะหนักที่พบในน้ำเสียและเป็นปัญหามักอยู่ในรูปของสารละลาย ทำให้ไม่สามารถบำบัดออกจากน้ำได้ด้วยวิธีการตกตะกอนหรือกรองเพียงลำพัง การกำจัดโลหะหนักจำเป็นต้องทำให้เกิดการตกผลึกของแข็ง (precipitation) เสียก่อน จากนั้นจึงทำให้ผลึกของแข็งรวมกันเป็นกลุ่มก้อน และวิธีการกรอง ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าการกำจัดโลหะหนักต้องใช้วิธีตกตะกอนผลึก ร่วมกับวิธีการตกตะกอนและการกรอง (เกรียงศักดิ์, 2539)

### 2.7 การกำจัดโลหะหนักด้วยวิธีทางชีวภาพ (Biosorption)

Biosorption คือการดูดซับทางชีวภาพเป็นรูปแบบทั่ว ๆ ไป (Volesky, 1990) ที่สามารถใช้ในกระบวนการดูดซับโลหะ รวมทั้งธาตุและสารประกอบจากสารละลายโดยวิธีทางชีวภาพ จุลินทรีย์จะเป็นตัวสำคัญที่นำมาประยุกต์ใช้ในการดูดซับทางอุตสาหกรรมสามารถดูดซับโลหะหนักและสารประกอบ เช่น radionuclide , organometallic compound , metalloids และอนุภาคของโลหะ จากสิ่งแวดล้อมภายนอกที่มีการปนเปื้อนสูง ๆ อาจรวมทั้งการดูดซับและการตกตะกอนซึ่งจะเป็นกระบวนการที่ขึ้นอยู่กับเมแทบอลิซึม เซลล์มีชีวิตและไม่มีชีวิตจะมีความสามารถในการปล่อยผลิตภัณฑ์ เช่น ผงซิลิกา เม็ดสี และโพลีแซคคาไรด์ ทั้งหมดจะสามารถจับกับโลหะและกำจัดออกจากสารละลายได้ การนำการดูดซับทางชีวภาพมาใช้ในทางอุตสาหกรรมได้รับความสนใจ เพราะว่ามีศักยภาพในการกำจัดโลหะหนักที่เป็นพิษ และสารกัมมันตภาพรังสีจากของเหลวที่เป็นพิษ และส่งผลให้ความเป็นพิษหมดไป และยังช่วยรักษาสังแวดล้อมด้วย

ดังนั้นในความหมายของการดูดซับทางชีวภาพ หมายถึง การดูดกลืนโลหะหนักหรือสารกัมมันตรังสี โดยชีวมวลของจุลินทรีย์ (microbial biomass) ซึ่งจะรวมทั้งที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต มีทั้งแบคทีเรีย ยีสต์ ราและสาหร่าย ซึ่งมีลักษณะการใช้อยู่ 2 แบบ คือ

### 1. ในรูปเซลล์ที่มีชีวิต ( active cell )

กลไกในการดูดซับ อาศัยกลไกการนำสารเข้าสู่เซลล์และกระบวนการเมทาบอลิซึมภายในเซลล์

กระบวนการดูดซับไอออนโลหะหนักโดยเซลล์ที่มีชีวิตจะเกิดขึ้น 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนแรก เป็นการดูดซับโลหะที่ไม่ขึ้นกับกระบวนการเมทาบอลิซึมของเซลล์ การดูดซับโลหะในขั้นตอนนี้เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วภายในเวลาไม่กี่นาทีที่บริเวณผิวเซลล์โดยการแลกเปลี่ยนไอออนโลหะ (ion exchange ) ที่บริเวณหมู่เคมีต่าง ๆ เช่น คาร์บอกซิล (carboxyl) เอมีน (amine) ไฮดรอกซิล (hydroxyl) ฟอสเฟต (phosphate) ซัลไฟด์ (sulfhydryl) รวมถึงไคติน (chitin) และกลูแคน (glucan) โดยอาจมีกระบวนการอื่น ๆ ร่วมด้วย เช่น การตกตะกอนด้วยสารอนินทรีย์ การเกิดสารประกอบเชิงซ้อน การดูดซับทางกายภาพ เป็นต้น

ขั้นตอนที่สอง เป็นการสะสมโลหะที่อาศัยพลังงานจากกระบวนการเมทาบอลิซึมของเซลล์ ซึ่งเกิดขึ้นได้ช้ากว่าขั้นตอนแรก เพราะมักถูกยับยั้งเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ การขาดแคลนแหล่งพลังงานสำหรับกระบวนการเมทาบอลิซึม

การดูดซับในรูปเซลล์ที่มีชีวิตมักมีปัญหาเรื่องปัจจัยที่ต้องควบคุมตามมา เช่น แหล่งอาหารสำหรับจุลินทรีย์ การปนเปื้อนโดยเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่น ปริมาณสารพิษในน้ำเสีย

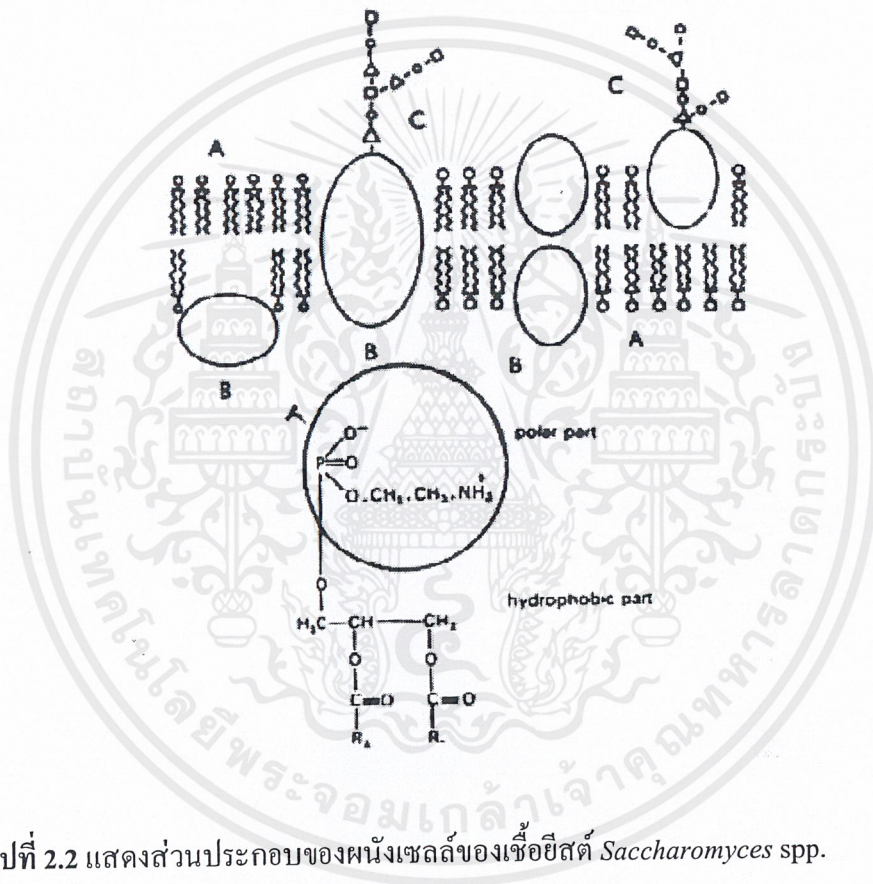
### 2. ในรูปเซลล์ที่ไม่มีชีวิต ( inactive cell )

กระบวนการดูดซับไอออนโลหะหนักโดยเซลล์ที่ไม่มีชีวิต จะเกิดขึ้นเฉพาะขั้นตอนแรก อาศัยปฏิกิริยาเคมีที่เกิดกับหมู่ functional ขององค์ประกอบของผนังเซลล์ โครงสร้างโดยทั่วไปของผนังเซลล์ยีสต์และราเป็นแบบ multilaminated microfibrilla โครงสร้างหลักมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ เป็นพอลิแซคคาไรด์ สำหรับ *Saccharomyces* spp. อยู่ในกลุ่ม Hemiascomycetes จะมีโครงสร้างหลักเป็น mannan -  $\beta$  - glucan และมีองค์ประกอบอื่นๆ เช่น โปรตีน ไขมันและรงควัตถุ

การที่มี phosphodiester group และ carbonyl group ในโปรตีนและไขมัน ยังทำให้ผนังเซลล์มีความเป็นประจุ สามารถดึงดูดโมเลกุลที่มีประจุได้ ได้มีการศึกษาผนังเซลล์ของยีสต์ *S. cerevisiae* ที่ผ่านการ dehydration - rehydration แล้วพบว่าที่ผนังเซลล์จะมีแขนงของ mannan protein fibril ทำให้ผนังเซลล์มี electronegativity เพิ่มขึ้นซึ่งจะช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับโลหะประจุบวก

ข้อดีของเซลล์ที่ไม่มีชีวิต

1. ไม่ขึ้นกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (ไม่มีคำจำกัดความจากความเป็นพิษของโลหะหนัก ไม่ต้องให้สารอาหาร ไม่มีปัญหาในการกำจัดสารผลิตภัณฑ์จากกระบวนการเมแทบอลิซึม)
2. กระบวนการกำจัดโลหะไม่ขึ้นกับรูปร่างของเซลล์
3. กระบวนการดูดซับโลหะหนักเกิดขึ้นได้เร็ว โดยจุลินทรีย์เสมือนเป็นตัวแลกเปลี่ยนประจุ



รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบของผนังเซลล์ของเชื้อยีสต์ *Saccharomyces* spp.

A = ฟอสโฟไลปิด

B = โปรตีน

C = โพลีแซคคาไรด์

R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> = กรดคาร์บอกซิลิก

(ที่มา : Anna, 1990)

## 2.7 องค์ประกอบของผนังเซลล์ *Saccharomyces spp.* ( รพีพร, 2542 )

1. กลูแคน (glucan) เป็นโพลีแซคคาไรด์ที่สำคัญของผนังเซลล์ มีประมาณ 30 - 35 เปอร์เซ็นต์ของผนังเซลล์ มีหน้าที่ทำให้เซลล์ยึดโครงสร้างได้และให้ความแข็งแรงแก่เซลล์ด้วย กลูแคนของยีสต์ประกอบด้วยกลูโคสหลายโมเลกุลเรียงตัวต่อกัน กลูโคสแต่ละโมเลกุลต่อกันอยู่ด้วยพันธะ  $\beta$  1 - 3 เป็นส่วนใหญ่ และอาจจะต่อโยงด้วย พันธะ  $\beta$  1 - 6 บ้าง
2. แมนแนน (mannan) ประกอบด้วยน้ำตาลแมนโนส (mannose) เป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ละลายน้ำได้ มีประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ สามารถแยกแมนแนนบริสุทธิ์ได้โดยใช้ด่างเจือจางสกัดให้แมนแนนหลุดออกจากผนังเซลล์ และตกตะกอนด้วยสารละลายเฟลิ่งได้เป็นตะกอนของเกลือของทองแดง จากการวิเคราะห์ทางด้านเคมีพบว่า แมนแนนเป็นโพลีแซคคาไรด์ชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและแตกกิ่งก้านสาขามากมาย แมนโนสแต่ละโมเลกุลต่อกันอยู่ด้วยพันธะ  $\alpha$  1 - 6 และพันธะ  $\alpha$  1 - 2 เป็นส่วนมาก มีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เชื่อมด้วยพันธะ  $\alpha$  1 - 3
3. ไคติน (chitin) พบมากที่แผลที่เกิดจากการแตกหน่อ มีอยู่ประมาณ 1 - 2 เปอร์เซ็นต์ในไคตินประกอบด้วย โมเลกุลของ N-acetyl - d glucosamine เชื่อมต่อเนื่องกันด้วยพันธะ  $\beta$  1 - 4
4. โปรตีน (protein) ผนังเซลล์ประกอบด้วยโปรตีนประมาณ 6 - 13 เปอร์เซ็นต์ โดยปกติโปรตีนจะเชื่อมต่อกับแมนแนน โปรตีนบางส่วนทำหน้าที่เป็นเอนไซม์เพื่อช่วยย่อยสารบางชนิดเพื่อให้สารนั้นสามารถผ่านเข้าสู่ภายในเซลล์ได้ ได้แก่ phosphatase , invertase , melibias , protease และกลุ่มของ hydrolases
5. ไขมัน ผนังเซลล์ของยีสต์ที่ใช้ทำขนมปังมีไขมันประมาณ 8.5 - 13.5 เปอร์เซ็นต์
6. สารอนินทรีย์ต่างๆ ส่วนมาก ได้แก่ ฟอสเฟส

โดยกลไกการดูดซับในรูปสิ่งมีชีวิตและรูปไม่มีชีวิต มีความแตกต่างกัน คือ ในรูปมีชีวิติจะดูดซับโลหะหนักโดยอาศัยกลไกการนำเข้าสู่เซลล์และกระบวนการเมทาบอลิซึมภายในเซลล์ ในส่วนรูปเซลล์ไม่มีชีวิติจะทำการดูดซับโดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดกับหมู่ Functional ขององค์ประกอบของผนังเซลล์ ความสามารถที่ใช้เซลล์จุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิติในระบบการดูดซับจะมีความสามารถในการกำจัดสารได้มากกว่าเซลล์ที่มีชีวิติ (Volesky และคณะ, 1993)

## 2.8 การใช้เครื่องมือ Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

แม้น และอมร (2535) เทคนิคทาง AAS เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุอย่างหนึ่ง ซึ่งสามารถทำได้ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์ที่ได้รับความนิยมมากวิธีหนึ่ง เพราะเป็นเทคนิคที่ให้ความเที่ยง ความแม่นยำ มีสภาพไวสูง และเป็นเทคนิคที่เฉพาะดีมาก ประกอบกับค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ก็ไม่สูงมากนัก

อะตอมมิกแอบซอร์พชันเป็นกระบวนการที่เกิดจากอะตอมเสรีของธาตุดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นอันหนึ่งโดยเฉพาะ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ ธาตุแต่ละชนิดจะมีระดับของพลังงานแตกต่างกัน จึงมีการดูดกลืนพลังงานแตกต่างกัน

ในการทำให้อะตอมของธาตุในสารประกอบเกิดเป็นอะตอมเสรีได้นั้น ต้องมีการดูดกลืนพลังงานเข้าไปซึ่งอาจจะอยู่ในรูปต่าง ๆ กัน เช่น พลังงานความร้อนจากเปลวไฟ หรือความร้อนจากไฟฟ้า เป็นต้น ความร้อนจะทำให้เกิดกระบวนการแตกตัว (dissociation) หรือเปลี่ยนให้เป็นไอ (vaporization) หรืออาจแตกตัวเป็นอะตอม หรือทำให้อะตอมอยู่ในสถานะกระตุ้น หรืออาจกลายเป็นไอออนก็ได้

#### เทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธี AAS

ใช้ Flame Atomization Technique เทคนิคนี้ใช้กระบวนการทำให้สารตัวอย่างแตกตัวเป็นอะตอมด้วยเปลวไฟ (flame) ที่เหมาะสม

#### กระบวนการทำให้ธาตุแตกตัวเป็นอะตอมเสรีด้วยเปลวไฟ (Flame Atomization)

ในกรณีที่ใช้กระบวนการ atomization ด้วยเปลวไฟนั้น สารตัวอย่างจะต้องเป็นสารละลายที่เข้ากันเป็นเนื้อเดียว ไม่มีสารแขวนลอยอยู่ ตัวทำละลายจะเป็นน้ำหรือสารอินทรีย์ก็ได้ กระบวนการ atomization นี้สามารถ แบ่งออกได้เป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

1. Nebulization เป็นกระบวนการเปลี่ยนของเหลวให้เป็นละอองเล็ก ๆ (mist) ด้วยเครื่องที่เรียกว่า nebulizer
2. Droplet precipitation เป็นกระบวนการที่ละอองเล็ก ๆ ของสารละลายรวมกันเป็นหยดสารละลายโต ไม่สามารถจะลอยอยู่ในอากาศได้ จึงตกลงมาแล้วออกไปทางท่อน้ำทิ้ง (drain)
3. Mixing เป็นกระบวนการที่ละอองเล็ก ๆ ของสารละลายเกิดผสมกับแก๊สเชื้อเพลิง (fuel) และออกซิแดนซ์ (oxidant) ใน spray chamber ของ nebulizer
4. Desolvation เป็นกระบวนการที่ตัวทำละลายที่อยู่ในละอองเล็กนั้นถูกกำจัดออกไป ทำให้เกิดเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ของสารประกอบ กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นตอนล่างของเปลวไฟ
5. Compound decomposition เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในเปลวไฟ โดยที่พลังงานความร้อนจากเปลวไฟจะไปทำให้สารประกอบเกิดการแตกตัวเป็นออกไซด์เป็นโมเลกุล และเป็นอะตอมเสรี บางครั้งอาจเกิดการกระตุ้นหรือเกิดการไอออนไนเซชันต่อไปได้

#### ข้อที่ควรจะต้องคำนึงถึงเสมอคือ

1. จะต้องทำงานด้วยความระมัดระวัง ตลอดจนการใช้เครื่อง
2. การเตรียมสารตัวอย่างทุกขั้นตอนต้องระมัดระวังอย่างมาก เพราะมีโอกาสที่สารตัวอย่างจะหายไปหรือเกิดการปนเปื้อนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ห้องปฏิบัติการที่ใช้ทำการวิเคราะห์ควรจะต้องสะอาดมาก ๆ
4. อุปกรณ์ที่ใช้ เช่น เครื่องแก้ว ปิเปตต์ ที่จะต้องมาสัมผัสกับสารตัวอย่างจะต้องสะอาด และ blank level ไม่ควรเกิน 10% ของค่าที่จะวัดได้จากตัวอย่าง
5. สารเคมีที่ใช้ตามขั้นตอนต่าง ๆ ของกระบวนการทางเคมีควรจะต้องเป็นเกรดที่บริสุทธิ์ มาก ๆ มิฉะนั้นผลการวิเคราะห์อาจผิดพลาดได้มาก เพราะสารเคมีที่เติมลงไปมีมากกว่าในสารตัวอย่างเสียอีก

6. Read out system หรือ recorder จะต้องไวพอที่จะวัดสัญญาณได้สำหรับตัว furnace นั้นอาจจะมีารออกแบบแตกต่างกันของแต่ละบริษัทผู้ผลิต แต่อย่างไรก็ตามไม่ว่าจะเป็นแบบไหน furnace จะทำงานบนพื้นฐานเหมือนกันหมด นั่นคือ ทำให้เกิดกระบวนการ atomization ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนที่สามารถโปรแกรมได้ทั้งเวลาและอุณหภูมิ คือ

(1) Drying stage เป็นขั้นตอนที่สารตัวอย่างจะค่อย ๆ ถูกให้ความร้อนเพื่อระเหยตัวทำละลายให้ออกไปก่อน โดยปกติจะใช้อุณหภูมิต่ำ (ต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส)

(2) Ashing stage เป็นขั้นตอนที่ให้ความร้อนสูงขึ้นอาจถึง 1,500 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยโมเลกุลของสารเหล่านี้จะแตกสลายออกไป เหลือแต่สารอนินทรีย์ที่เสถียรเท่านั้น โดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของโลหะออกไซด์

(3) Atomization stage เป็นขั้นตอนสุดท้ายที่สารที่เหลืออยู่ถูกเผาที่อุณหภูมิสูง อาจถึง 3,000 องศาเซลเซียส เพื่อให้สลายเป็นอะตอมเสรีเกิดขึ้นในช่องทางที่แสงผ่าน ซึ่งสามารถวัดสัญญาณของการดูดกลืนแสงได้ออกมาเป็นพีกแหลม (sharp peak) และความสูงของพีกจะเป็นปฏิภาคกับปริมาณของธาตุในสารตัวอย่างนั้น

เนื่องจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค flameless atomization นั้น matrix interferences นั้นมีมากซึ่งจะได้กล่าวต่อไป ดังนั้น เพื่อให้การวิเคราะห์ได้ผลถูกต้อง จำเป็นจะต้องหาทางลด interferences ให้เหลือน้อยที่สุด มีหลักง่าย ๆ ที่ควรจะต้องคำนึงถึงไว้มีดังต่อไปนี้

1. พยายามลดปริมาณคลอไรด์ หรือไม่ควรให้มีคลอไรด์ในตัวอย่าง เพราะมีธาตุหลายธาตุสามารถ เกิดสารประกอบโคเวเลนต์กับคลอไรด์ที่เสถียรมาก ๆ เมื่อได้รับความร้อนจะระเหยออกไปโดยไม่สลายตัวทำให้สารตัวอย่างสูญเสียไป

2. ควรให้สารตัวอย่างอยู่ในสารละลายของกรดไนตริก เพราะโลหะไนเตรตจำนวนมาก เมื่อได้รับความร้อนจะสลายตัวโดยไม่มีภาระระเหยถึงแม้จะมีคลอไรด์มากก็ตาม ดังนั้น ในการวิเคราะห์ควรเติมกรดไนตริกให้มากเกินไปพอเสมอ

3. ควรจะต้องตรวจสอบความบริสุทธิ์ของกรดที่ใช้เสมอ

4. กรด  $H_2SO_4$  และ  $H_3PO_4$  สามารถใช้ได้เมื่อใช้ furnace แต่ควรจะต้องระวัง เพราะเกลือซัลเฟตและเกลือฟอสเฟตไม่ค่อยละลายน้ำ ดังนั้นจึงไม่ควรเติมกรดเหล่านี้ก่อนนำไปฉีดใน atomization แต่ควรเติมภายหลัง

5. ควรทำให้ standard และสารตัวอย่างมี matrix เหมือน ๆ กัน โดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบ standard addition calibration

#### ขั้นตอนของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS

ในการวิเคราะห์สารตัวอย่างนั้น ถ้าตัดสินใจที่จะใช้เทคนิคทาง AAS ขั้นตอนต่าง ๆ ที่จะเตรียมให้พร้อมควรจะเป็นดังนี้

1. เตรียมสารตัวอย่างให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมและพร้อมที่จะใช้กับเครื่อง AAS
2. ตัดสินใจว่าจะทำการวิเคราะห์เพื่อหาอะไร และเลือกวิธีการที่เหมาะสม ทั้งในเชิงคุณภาพวิเคราะห์และปริมาณวิเคราะห์
3. จัดเครื่องมือให้พร้อมที่จะทำงานได้ ซึ่งถ้าเป็นเครื่องทันสมัยที่ใช้คอมพิวเตอร์หรือไมโครโพรเซสเซอร์ควบคุม จะมี software ที่เก็บข้อมูลของแต่ละชนิดไว้แล้ว เป็นเสมือน cook book ให้ผู้วิเคราะห์เลือกใช้ได้ ซึ่งมี
  - ก. การเลือก HCL ของธาตุที่จะทำการวิเคราะห์ใส่เข้าไปในเครื่อง และเลือกกระแสไฟฟ้าที่ต้องใช้
  - ข. จัดเครื่องให้มีสภาพที่เหมาะสมกับเทคนิคที่ใช้ เช่น flame atomization การปรับอัตราการไหลของออกซิเจน แอซีส และเชื้อเพลิง เป็นต้น
  - ค. จัดความกว้างของช่องแสงเข้าออกจากโมโนโครมิเตอร์ (slit width) ให้เหมาะสม
4. เลือกโปรแกรมการวัดผล การคำนวณ ตลอดจนการรายงานผลการวิเคราะห์

#### Flame Techniques

เทคนิคนี้ใช้ flame ทำให้เกิด atomization ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างกว้างขวางอย่างไรก็ตาม สารตัวอย่างควรจะต้องมีลักษณะดังต่อไปนี้

1. สารตัวอย่างต้องเป็นสารละลายหรือของเหลว
2. สารตัวอย่างควรมีสารที่เป็นของแข็งละลายอยู่ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ มิฉะนั้นจะมีผลต่อการทำให้เกิด atomization
3. สารตัวอย่างควรจะสลายตัวได้ดีด้วยความร้อน
4. ควรมีความเข้มข้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสม
5. สารละลายตัวอย่างจะต้องมีอย่างน้อย 1 มิลลิลิตร

นอกจากนี้ผู้ทำการวิเคราะห์ก็ไม่จำเป็นต้องใช้ความชำนาญมากนัก ค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่จะอยู่ที่การเตรียมสารตัวอย่างให้เป็นสารละลาย ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับเครื่องมือมีน้อย ความแม่นยำในการวิเคราะห์ก็ดีเยี่ยมอีกด้วย

#### ประโยชน์ของ AAS ที่ใช้ในงานวิเคราะห์ทางเคมี (application of AAS)

เนื่องจากเทคนิคทาง AAS นั้นเป็นที่นิยมกันมากในการวิเคราะห์ธาตุในแทบทุกชนิดของสารตัวอย่าง ไม่ว่าจะเป็นของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส ซึ่งอาจสรุปได้ดังนี้

1. ใช้ในงานวิเคราะห์เพื่อการเกษตร (agricultural analysis) เช่น การวิเคราะห์ดิน พืช และปุย เป็นต้น
2. ใช้ในงานวิเคราะห์เพื่อการแพทย์และชีวเคมี (chemical and biochemistry) เช่น การหาปริมาณของธาตุ Ca, Mg, Cu, Pb, Na, K, Fe, Zn, As, และอื่น ๆ ในเลือด ปัสสาวะ และเนื้อเยื่อ เป็นต้น
3. ใช้ในงานวิเคราะห์เพื่อการโลหวิทยา (metallurgy) เช่น การวิเคราะห์โลหะผสมต่าง ๆ หาปริมาณของสารเจือปนต่าง ๆ ในโลหะบริสุทธิ์ เป็นต้น
4. ใช้ในงานวิเคราะห์พวกน้ำมันและการปิโตรเลียม (oil and petroleum) เช่น การหาองค์ประกอบที่เป็นโลหะของน้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันเครื่อง น้ำมันปิโตรเลียม น้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น
5. ใช้ในงานวิเคราะห์พวกแร่และวัสดุต่าง ๆ (mineral and materials)
6. ใช้ในงานวิเคราะห์น้ำจากแหล่งต่าง ๆ เช่น น้ำบาดาล น้ำเสีย น้ำทิ้ง น้ำแร่ หรือน้ำจากแหล่งธรรมชาติ เป็นต้น
7. ใช้ในงานวิเคราะห์ทางสิ่งแวดล้อม
8. ใช้ในงานวิเคราะห์ทางอาหารและยา (food and drugs)
9. ใช้ในงานวิเคราะห์ธาตุในสารอื่น ๆ

### บทที่ 3

#### อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

#### 1. กากยีสต์

กากยีสต์ที่ใช้ในการทดลองนี้ได้มาจากบริษัทไทยอมฤตบริวเวอรี่ จำกัด ซึ่งเป็นเชื้อยีสต์

*Saccharomyces carlsbergensis*

#### 2. เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องเคซิกเคเตอร์
- เครื่องแก้วต่าง ๆ ของ PYREX
- ตู้อบ ของ WTB binder รุ่น FD53
- เครื่องชั่งละเอียด ของ Sartorius รุ่น 2842
- เครื่องเขย่า (Incubator shaker) ของ Gallenkamp รุ่น SGM 300
- เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ของ HERMLE รุ่น ZK 380
- เครื่องวัดพีเอช (pH meter) ของ TOA Electronics LTD รุ่น HM-7E
- เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ของ GBC รุ่น Avanta ver.1.33

#### 3. การเตรียมกากยีสต์

นำกากยีสต์ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้ในเคซิกเคเตอร์

#### 4. การทดสอบการดูดซับนิกเกิล

##### 4.1 การทดสอบเปรียบเทียบพีเอช

4.1.1 นำน้ำตัวอย่าง คือ สารละลายนิกเกิลในน้ำ deionized ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 15 มิลลิกรัมต่อลิตร นำมาใส่ลงในพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร จำนวน 300 มิลลิลิตร จากนั้นนำน้ำตัวอย่างมาปรับพีเอชต่าง ๆ กัน ที่พีเอช 3 4 5 และ 6 ตามลำดับ ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 N และสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2 N

4.1.2 นำกากยีสต์ที่ได้จากข้อ 3 มาใส่ในน้ำตัวอย่าง โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของกากยีสต์ 5 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) แล้วนำไปวางบนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

- 4.1.3 ทำการเก็บตัวอย่างประมาณ 7 มิลลิลิตร ที่เวลาต่าง ๆ โดยที่เวลา 0 จะเก็บตัวอย่างที่ไม่ได้ใส่กากยีสต์ลงไป นำตัวอย่างไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำส่วนใสไปวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิลต่อไป

หมายเหตุ ส่วนใสที่ได้ควรทำการวิเคราะห์ทันทีหรือเก็บไว้ในตู้เย็น

#### 4.2 การทดสอบเปรียบเทียบอุณหภูมิ

- 4.2.1 นำพีเอชที่ทดสอบได้จากข้อ 4.1 ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับนิกเกิลได้ดีที่สุด นำมาศึกษาอุณหภูมิที่ระดับต่าง ๆ คือ 25 30 และ 35 องศาเซลเซียส โดยใช้สารละลายนิกเกิลที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 15 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นเริ่มต้นของกากยีสต์ 5 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำไปวางบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที

- 4.1.2 ทำการเก็บตัวอย่างประมาณ 7 มิลลิลิตร ที่เวลาต่าง ๆ กัน โดยที่เวลา 0 จะเก็บตัวอย่างที่ไม่ได้ใส่กากยีสต์ลงไป นำตัวอย่างไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำส่วนใสไปวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิลต่อไป

#### 4.3 การทดสอบเปรียบเทียบความเข้มข้นเริ่มต้นของกากยีสต์

- 4.3.1 นำพีเอชที่ทดสอบได้จากข้อ 4.1 และ อุณหภูมิที่ทดสอบได้จากข้อ 4.2 ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับนิกเกิลได้ดีที่สุด นำมาศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของกากยีสต์ที่ระดับต่าง ๆ คือ 5 10 12.5 และ 15 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) โดยใช้สารละลายนิกเกิลที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 15 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วนำไปวางบนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที

- 4.3.2 ทำการเก็บตัวอย่างประมาณ 7 มิลลิกรัม ที่เวลาต่าง ๆ โดยที่เวลา 0 จะเก็บตัวอย่างที่ไม่ได้ใส่กากยีสต์ลงไป นำตัวอย่างไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำส่วนใสไปวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิลต่อไป

#### 4.4 การทดสอบเปรียบเทียบความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิล

- 4.4.1 นำพีเอชที่ทดสอบได้จากข้อ 4.1 อุณหภูมิที่ทดสอบได้จากข้อ 4.2 และ ความเข้มข้นเริ่มต้นของกากยีสต์จากข้อ 4.3 ที่มีประสิทธิภาพใน

การดูดซับนิกเกิลได้ดีที่สุด นำมาศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิลที่ระดับต่าง ๆ คือ 15 30 35 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร

- 4.4.2 ทำการเก็บตัวอย่างประมาณ 7 มิลลิตร ที่เวลาต่าง ๆ โดยที่เวลา 0 จะเก็บตัวอย่างที่ไม่ได้ใส่กากยีสต์ลงไป นำตัวอย่างไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำส่วนใสไปวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิลต่อไป

## 5. การวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิล

(สารเคมีและวิธีการเตรียมแสดงดังภาคผนวก ข)

### 5.1 การทำกราฟมาตรฐานระหว่างปริมาณนิกเกิลกับค่าการดูดกลืนแสง

- 5.1.1 นำสารละลายนิกเกิลมาทำความเข้มข้นที่ระดับต่าง ๆ คือ 2 4 8 12 16 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

- ปิเปตสารละลายนิกเกิลมาตรฐาน (ความเข้มข้นของนิกเกิล 100 มิลลิกรัมต่อลิตร) ในปริมาตร 1 2 4 6 8 และ 10 มิลลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำ Deionized เป็น 50 มิลลิตร

- 5.1.2 นำสารละลายนิกเกิลมาทำความเข้มข้นที่ระดับต่าง ๆ คือ 5 10 20 40 60 และ 80 มิลลิกรัมต่อลิตร

- ปิเปตสารละลายนิกเกิลมาตรฐาน (ความเข้มข้นของนิกเกิล 100 มิลลิกรัมต่อลิตร) ในปริมาตร 2.5 5 10 20 30 และ 40 มิลลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำ Deionized เป็น 50 มิลลิตร

- 5.1.3 นำสารละลายนิกเกิลมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

- 5.1.4 นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาเขียนเป็นกราฟมาตรฐาน  
หมายเหตุ ใช้ น้ำ Deionized เป็นแบลนด์

### 5.2 การวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิล

นำส่วนใสมาวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิลด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

## 6. การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

วิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCB)



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะของกากยีสต์



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของน้ำเสี้ยวสังเคราะห์โลหะนิกเกิลที่ยังไม่เติมกากยีสต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

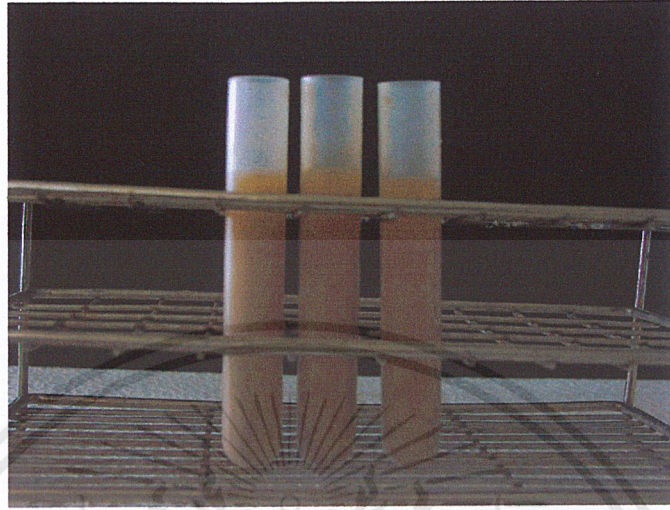


รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะของน้ำเลี้ยงสังเคราะห์ที่โลหะ निकเกิดที่เดิมกากยีสต์ลงไป

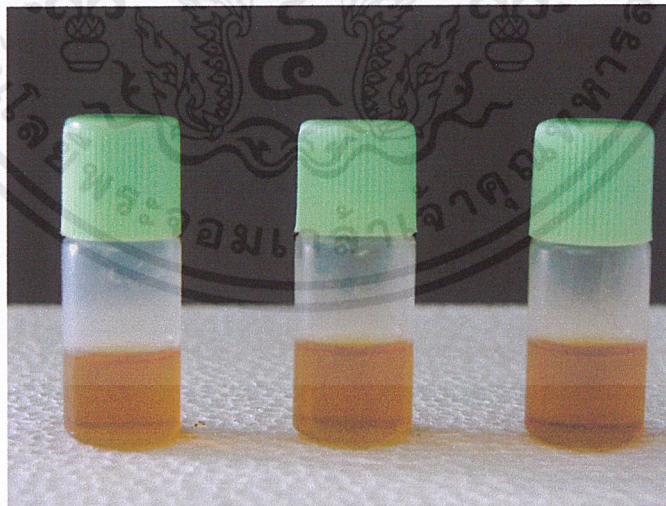


รูปที่ 3.4 เครื่องฆ่าที่ปรับอุณหภูมิได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ลักษณะของตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนที่เก็บในเวลาต่าง ๆ  
ก่อนที่จะทำการหมนเหวี่ยงเมื่อทำการเขย่าที่เวลาต่าง ๆ



รูปที่ 3.6 ลักษณะของตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักเกิด  
หลังจากทำการหมนเหวี่ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 เครื่องหมุนเหวี่ยง



รูปที่ 3.8 เครื่องวัดพีเอช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

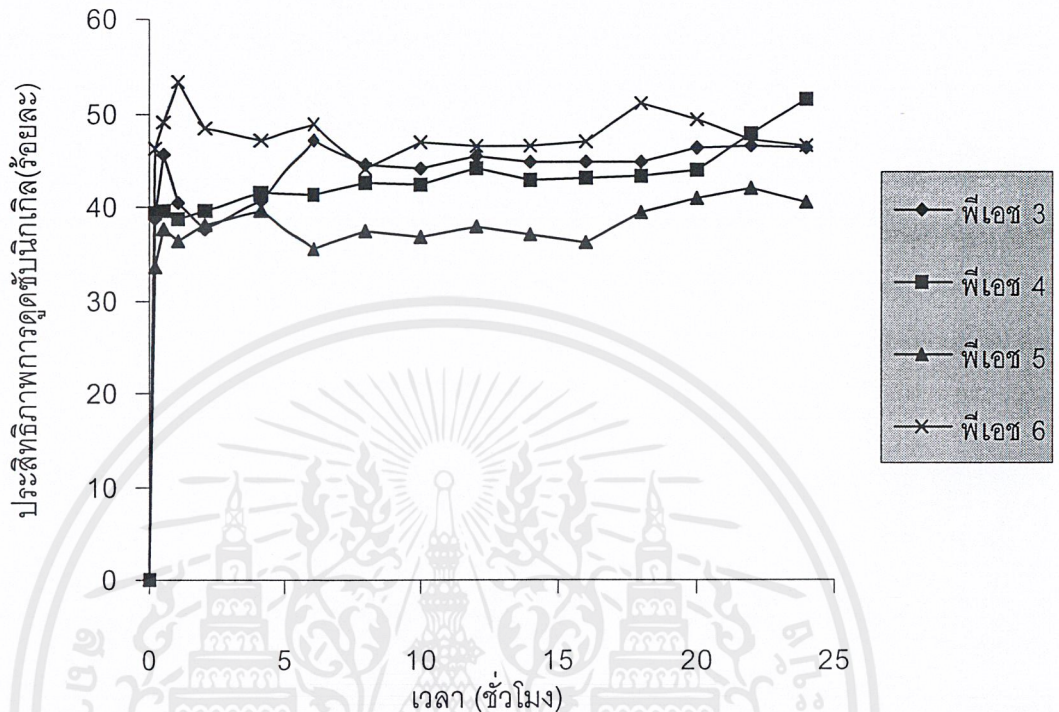
### ผลการทดลองและวิจารณ์

- 4.1) การทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลของกากยีสต์ *Saccharomyces carlsbergensis* ที่พีเอชต่างๆ คือ 3 4 5 และ 6 ซึ่งมีความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิล 15 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของกากยีสต์ 5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที แล้วเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลได้ผลดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงประสิทธิภาพของการดูดซับนิกเกิลโดยใช้กากยีสต์ที่พีเอชต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิล (ร้อยละ)			
	pH3	pH4	pH5	pH6
0	0	0	0	0
0.25	38.66	39.46	33.46	46.19
0.5	45.62	39.63	37.57	49.12
1	40.43	38.81	36.40	53.28
2	37.55	39.59	38.17	48.39
4	40.54	41.53	39.49	47.06
6	47.06	41.29	35.53	48.76
8	44.62	42.48	37.39	44.08
10	44.05	42.38	36.70	46.90
12	45.32	43.99	37.83	46.48
14	44.81	42.87	36.93	46.39
16	44.79	43.00	36.16	46.39
18	44.64	43.29	39.41	51.05
20	46.21	43.94	40.83	49.21
22	46.37	47.71	41.92	47.06
24	46.16	51.39	40.38	46.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงประสิทธิภาพการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ใช้กากยีสต์ที่พีเอชต่าง ๆ คือ 3 4 5 และ 6 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิล 15 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของกากยีสต์ 5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที

จากผลการศึกษาสภาวะของพีเอชในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิล พบว่าที่พีเอช 4 ยีสต์มีประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักได้มากที่สุดคือ มีประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลเป็น 51.39 เปอร์เซ็นต์ และจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าที่พีเอช 4 ประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับพีเอช 3 5 และ 6 ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงนำพีเอช 4 มาใช้ในการวิเคราะห์ขั้นต่อไป

เมื่อพิจารณาความสามารถของกากยีสต์ในการดูดซับนิกเกิล พบว่าช่วงพีเอชที่กากยีสต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะนิกเกิลได้สูงสุดคือพีเอช 4 และเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นถึง 6 ความสามารถในการดูดซับโลหะหนักจะลดลง ซึ่งจากศึกษาโดย Huang และคณะ (1990) ถึงความ

สามารถของ *S. cerevisiae* ในการดูดซับโลหะทองแดงพบว่าช่วงพีเอช 5 - 7 เป็นช่วงที่มีการดูดซับโลหะทองแดงได้ดีที่สุด แต่ความสามารถในการดูดซับจะลดลงเมื่อพีเอชมากกว่า 7 และจากการศึกษาของ Kapoor และ Viraraghvan (1995) พบว่า brewery yeast สามารถดูดซับโลหะหนักชนิดต่างๆ ได้มากถึง 63 - 97 เปอร์เซ็นต์ ที่พีเอช 5 - 6 แต่จะลดลงอย่างมาก ที่พีเอช 1 - 2 และ ที่พีเอชสูงจะทำให้ความสามารถของ *Pseudomonas digitalum* ในการดูดซับโลหะนิกเกิล สังกะสี แคลเซียมและตะกั่วเพิ่มขึ้น แต่จะถูกยับยั้งเมื่อพีเอชต่ำกว่า 3 จากการศึกษานี้ของ Lu และ Wilkins (1996) กล่าวว่าความสามารถในการดูดซับโลหะขึ้นอยู่กับพีเอชของสารละลาย โดยจะมีผลต่อความสามารถในการแข่งขันการจับกันของประจุบวกซึ่งเป็นผลมาจากไฮโดรเนียมไอออน

Volesky และคณะ(1995) กล่าวว่า มวลชีวภาพของยีสต์ที่มีอยู่มากมายสามารถแยกโลหะหนักจากสารละลายได้ โดยมวลชีวภาพของ *S. cerevisiae* ทั้งที่มีชีวิตและไม่มีชีวิตสามารถกำจัดโลหะ ยูเรเนียม สังกะสี และทองแดงที่พีเอชเหมาะสมคือ 4 - 5 สถานะการเลี้ยงเชื้อก็มีอิทธิพลต่อการดูดซับ ซึ่งปกติยีสต์ที่ได้จากการผลิตเบียร์ทั้งที่มีชีวิตและไม่มีชีวิตจะสามารถดูดซับ  $U > Zn > Cd > Cu$  ยีสต์ขนมปังที่ไม่มีชีวิตสามารถดูดซับ  $Zn > Cd > U > Cu$  และยีสต์ขนมปังที่มีชีวิตสามารถดูดซับ  $Zn > Cu \approx Cd > U$  เซลล์ที่ตายแล้วของ *S. cerevisiae* สามารถกำจัดยูเรเนียมหรือสังกะสีได้มากกว่าการใช้เซลล์ที่มีชีวิตถึง 40 เปอร์เซ็นต์ โดยประมาณ

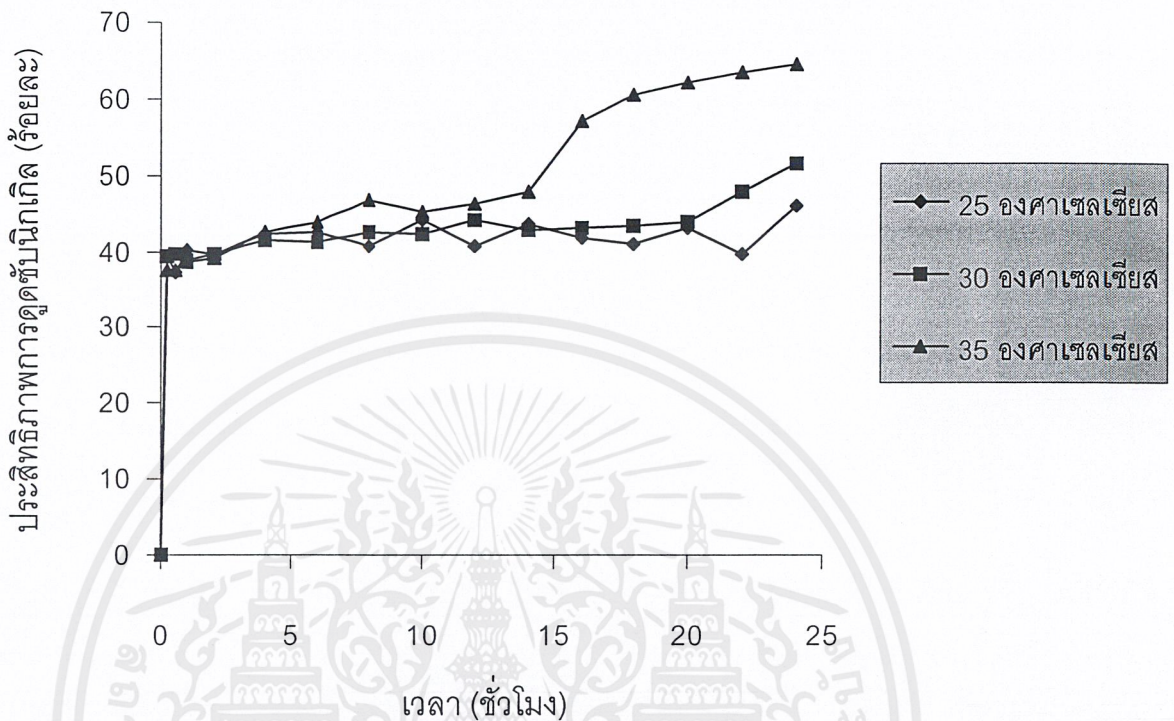
Stardberg และคณะ (1981) พบว่าปัจจัยของพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับยูเรเนียมของ *S. cerevisiae* คือ 3.0 - 4.0 ส่วนการดูดซับยูเรเนียมของ *Pseudomonas aeruginosa* นี้ไม่ขึ้นกับปัจจัยพีเอช

- 4.2) การทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลของกากยีสต์ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ คือ 25 30 และ 35 องศาเซลเซียส ซึ่งมีความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิล 15 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของกากยีสต์ 5 เปอร์เซ็นต์ ที่พีเอช 4 ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที แล้วเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลได้ผลดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิล โดยใช้กากยีสต์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิล (ร้อยละ)		
	อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับนิกเกิล ( องศาเซลเซียส)		
	25	30	35
0	0	0	0
0.25	39.39	39.46	37.38
0.5	37.17	39.63	37.50
1	40.23	38.81	38.66
2	39.74	39.59	39.07
4	42.25	41.53	42.63
6	42.41	41.29	43.77
8	40.59	42.48	46.76
10	43.99	42.38	45.13
12	40.70	43.99	46.10
14	43.55	42.87	47.77
16	41.76	43.00	57.18
18	41.00	43.29	60.56
20	42.98	43.94	62.05
22	39.63	47.71	63.50
24	46.03	51.39	64.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลโดยใช้กากยีสต์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ คือ 25 30 35 องศาเซลเซียส ที่พีเอช 4 เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิล 15 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของกากยีสต์ 5 เปอร์เซ็นต์ ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที

จากผลการศึกษาสภาวะของอุณหภูมิในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิล พบว่าที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ยีสต์มีประสิทธิภาพการดูดซับโลหะนิกเกิลได้มากที่สุดคือ มีประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลเป็น 64.58 เปอร์เซ็นต์ และจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลของยีสต์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับอุณหภูมิ 25 30 องศาเซลเซียส ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงนำอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสมาทำการวิเคราะห์ในขั้นต่อไป

เมื่อพิจารณาความสามารถของกากยีสต์ในการดูดซับนิกเกิลพบว่า ช่วงอุณหภูมิที่กากยีสต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะนิกเกิลได้สูงสุดคืออุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ซึ่งจากการศึกษาของ Stradberg และคณะ (1981) พบว่าการดูดซับยูเรเนียมโดย *S. cerevisiae* ที่อุณหภูมิต่างๆ มีผลต่อการดูดซับโลหะหนัก

Omar และคณะ(1996) ได้นำมวลชีวภาพของ *S. cerevisiae* ที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตเบียร์มาใช้ในการศึกษาการดูดซับโลหะหนักหลาย ๆ ชนิด ซึ่งในการดูดซับยูเรเนียมสามารถดูดซับได้ถึง 2.4 มิลลิโมลต่อลิตร ของมวลชีวภาพแห้ง อุณหภูมิที่ใช้อยู่ระหว่าง 10 - 37 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อ การดูดซับ แต่ค่าพีเอชจะมีผลต่อการดูดซับโดยพีเอชที่เหมาะสมที่สามารถดูดซับได้มากที่สุด คือ 4.5 และความเข้มข้นเริ่มต้นของยูเรเนียมอยู่ในช่วง 0.1 - 0.5 โมลต่อลิตร กากมวลชีวภาพของยีสต์แห้งสามารถดูดซับโลหะหนักได้ถึง ร้อยละ 84 - 98



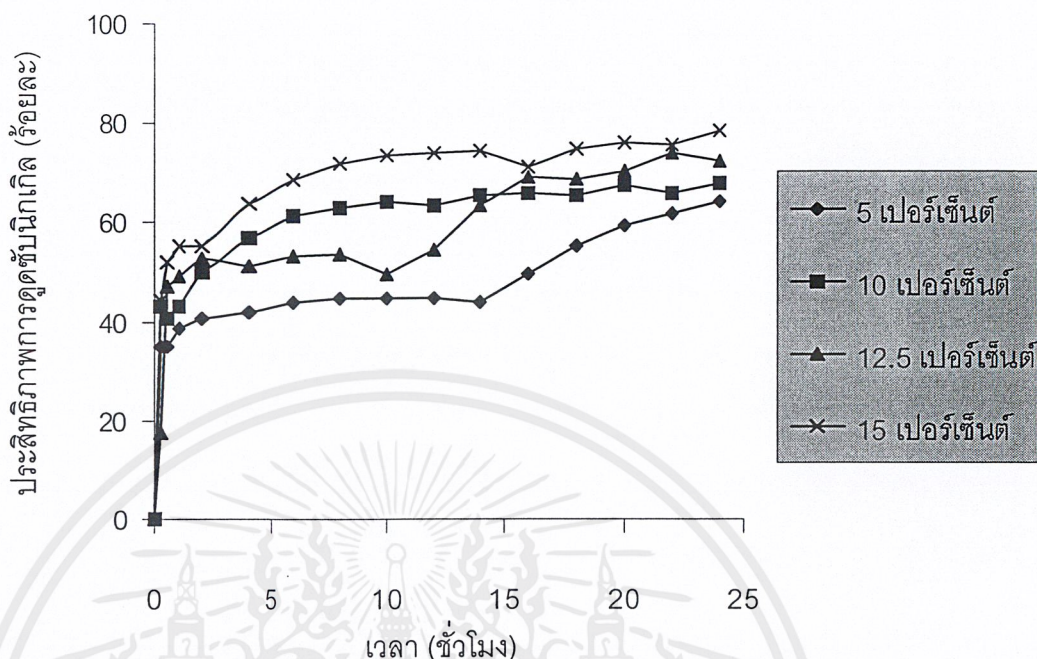
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.3) การทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลของกากยีสต์ ที่ความเข้มข้นของกากยีสต์ต่าง ๆ คือ 5 10 12.5 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิล 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 4 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที แล้วเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิล ได้ผลดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิล โดยใช้กากยีสต์ที่ความเข้มข้นของกากยีสต์ต่าง ๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิล (ร้อยละ)			
	ความเข้มข้นของกากยีสต์ (เปอร์เซ็นต์)			
	5	10	12.5	15
0	0	0	0	0
0.25	34.97	43.21	47.27	44.14
0.5	34.96	40.61	49.22	52.13
1	38.68	43.25	49.70	55.17
2	40.57	49.84	52.88	63.96
4	41.93	57.09	54.51	68.89
6	43.91	61.21	57.85	71.79
8	44.53	62.90	63.48	73.56
10	44.76	64.33	64.71	73.89
12	44.72	63.27	69.03	74.57
14	43.72	65.56	68.75	71.25
16	49.43	65.93	70.21	74.83
18	55.17	65.25	71.99	76.05
20	59.42	67.36	72.34	75.72
22	61.67	65.98	73.87	78.44
24	64.10	67.72	74.01	76.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิล โดยใช้กากยีสต์ที่ความเข้มข้นของกากยีสต์ต่าง ๆ คือ 5 10 12.5 15 เปอร์เซ็นต์ ที่พีเอช 4 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิล 15 มิลลิกรัมต่อลิตรความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที

จากผลการศึกษาสภาวะของความเข้มข้นของกากยีสต์ในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิล พบว่าที่ความเข้มข้นของกากยีสต์เป็น 15 เปอร์เซ็นต์ กากยีสต์มีประสิทธิภาพการดูดซับโลหะนิกเกิลได้มากที่สุดคือ ประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลเป็น 76.10 เปอร์เซ็นต์ และจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าที่ความเข้มข้นของกากยีสต์เป็น 15 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลของกากยีสต์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงนำความเข้มข้นของกากยีสต์ที่ 15 เปอร์เซ็นต์มาทำการวิเคราะห์ในขั้นต่อไป

เมื่อพิจารณาความสามารถของกากยีสต์ในการดูดซับนิกเกิล พบว่าช่วงของความเข้มข้นของกากยีสต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะนิกเกิลได้สูงสุดคือ 15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากการศึกษาของ Kapoor และ Viraghaun (1995) ว่า การดูดซับโลหะแคดเมียมเพิ่มสูงขึ้น ณ ความเข้มข้นของ

กากยีสต์ต่ำ ซึ่งหมายถึง *Aspergillus oryzae* ,*A. niger* , *Mucor racemosus* ,*P. chrysogenum* และ *Trichoderma viride* จะมีความสามารถในการดูดซับแคดเมียมลดลง เมื่อความเข้มข้นของเซลล์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งน่าจะมีผลจากปฏิกิริยาทางไฟฟ้าสถิตย์ระหว่างหมู่ฟังก์ชันบนผิวเซลล์เอง เมื่อเซลล์มีปริมาณมากก็ทำให้เซลล์มีการเกาะกลุ่มสัมผัสกันเองก็เป็นได้



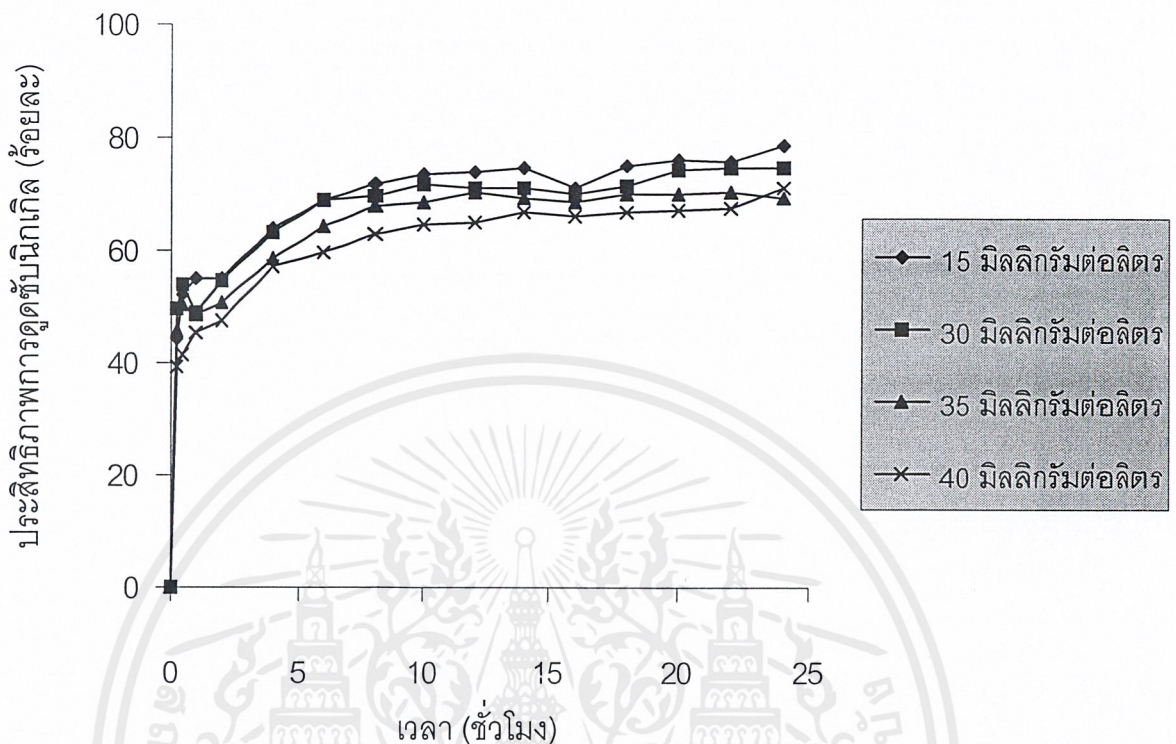
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.4) การทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลของกากยีสต์ ที่ความเข้มข้นของ นิกเกิลต่าง ๆ คือ 15 30 35 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของกากยีสต์ 15 เปอร์เซ็นต์ ที่พีเอช 4 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที แล้ว เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลได้ผลดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลโดยใช้กากยีสต์ที่ความเข้มข้นของนิกเกิลต่าง ๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิล (ร้อยละ)			
	ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิล (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	15	30	35	40
0	0	0	0	0
0.25	44.14	49.47	45.76	39.16
0.5	52.13	54.10	50.31	41.30
1	55.17	49.08	48.72	45.44
2	63.96	54.50	50.69	47.57
4	68.89	63.27	58.68	56.98
6	71.79	68.82	64.27	59.48
8	73.56	69.67	68.02	62.74
10	73.89	71.96	68.58	64.72
12	74.57	71.07	70.19	64.94
14	71.25	71.03	69.29	66.85
16	74.83	70.15	68.45	66.17
18	76.05	71.59	70.11	66.68
20	75.72	74.41	69.90	67.00
22	78.44	74.69	70.49	67.55
24	76.10	74.58	69.18	70.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงประสิทธิภาพการดูซับนิกเกิลโดยใช้กากยีสต์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของ นิกเกิลต่าง ๆ คือ 15 30 35 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 4 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เมื่อ ความเข้มข้นของกากยีสต์เป็น 15 เปอร์เซ็นต์ ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที

จากผลการศึกษาสภาวะของความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะ นิกเกิล พบว่าที่ ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิลเป็น 15 มิลลิกรัมต่อลิตร กากยีสต์มีประสิทธิภาพใน การดูซับดี่มากที่สุด คือมีประสิทธิภาพการดูซับนิกเกิลเป็น 76.10 เปอร์เซ็นต์ และจากการ วิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าที่ ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิล 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการดู ซับนิกเกิลของยีสต์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับ 30 35 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเชื่อ มั่น 95 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาความสามารถของกากยีสต์ในการดูซับนิกเกิล พบว่าช่วงของความเข้มข้น ของนิกเกิลเริ่มต้นที่กากยีสต์มีประสิทธิภาพในการดูซับลโลหะนิกเกิลได้สูงสุด คือ 15 มิลลิกรัมต่อ ลิตร ซึ่งจากการทดลองของ Rapoport และ Muter (1995) ที่ได้ศึกษาการดูซับลโครเมียมของยีสต์ซึ่ง พบว่าเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียมเพิ่มขึ้นจะมีค่าการดูซับลลดลง โดยที่ความเข้มข้นเริ่มต้น

ของโครเมียม 50 มิลลิลิตรต่อลิตร จะมีค่าการดูดซับเป็น 50 มิลลิกรัมต่อ 1 กรัม น้ำหนักเซลล์แห้ง มากกว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม 100 มิลลิลิตรต่อลิตรที่มีการดูดซับคือ 3.7 มิลลิกรัมต่อ 1 กรัม น้ำหนักเซลล์แห้ง และจากการทดลองของ Pilar และ Garmen (1993) ศึกษาการดูดซับยูเรเนียม ของเซลล์ตรึงของเชื้อ *Pseudomonas* สายพันธุ์ EPS 5028 พบว่าที่ความเข้มข้นของยูเรเนียม 5 – 875 ไมโครกรัมยูนิตต่อมิลลิลิตร การดูดซับจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของโครเมียมต่ำ ( 5 10 และ 21 ไมโครกรัมยูนิตต่อมิลลิลิตร ) โดยดูดซับได้ 120 เปอร์เซ็นต์ 119 เปอร์เซ็นต์ และ 116 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของโครเมียมเพิ่มเป็น 51 104 211 293 430 463 655 และ 815 ไมโครกรัมยูนิตต่อมิลลิลิตร โดยดูดซับได้ 62 เปอร์เซ็นต์ 58 เปอร์เซ็นต์ 42 เปอร์เซ็นต์ 30 เปอร์เซ็นต์ 28 เปอร์เซ็นต์ 30 เปอร์เซ็นต์ 38 เปอร์เซ็นต์ และ 28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองการนำกากยีสต์จากโรงงานเบียร์ มาศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักในน้ำสังเคราะห์ ซึ่งผลการทดลองที่กล่าวไปแล้วสามารถสรุปผลและให้ข้อเสนอแนะที่ได้จากการทำการทดลองนี้ ดังนี้

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 กากยีสต์ *Saccharomyces carlsbergensis* มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะนิกเกิลได้สูงสุดที่พีเอช 4 และพบว่าที่พีเอช 3 6 และ 5 กากยีสต์มีประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลได้ลดลงตามลำดับ

5.1.2 กากยีสต์ *Saccharomyces carlsbergensis* มีประสิทธิภาพการดูดซับโลหะนิกเกิลได้สูงสุดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และพบว่าที่อุณหภูมิ 30 และ 25 กากยีสต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับนิกเกิลได้ลดลงตามลำดับ

5.1.3 กากยีสต์ *Saccharomyces carlsbergensis* มีประสิทธิภาพการดูดซับโลหะนิกเกิลได้สูงสุดที่ความเข้มข้นของกากยีสต์เป็น 15 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าที่ความเข้มข้นของกากยีสต์เป็น 12.5 10 และ 5 เปอร์เซ็นต์กากยีสต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับได้ลดลงตามลำดับ

5.1.4 กากยีสต์ *Saccharomyces carlsbergensis* มีประสิทธิภาพการดูดซับโลหะนิกเกิลได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะนิกเกิลเป็น 15 มิลลิกรัมต่อลิตร และพบว่าที่ความเข้มข้นของนิกเกิลเป็น 30 40 และ 35 มิลลิกรัมต่อลิตรกากยีสต์มีประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลได้ลดลงตามลำดับ

จากการทดลองที่ได้ทำให้สรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะนิกเกิลโดยใช้กากยีสต์ *Saccharomyces carlsbergensis* คือ ต้องใช้กากยีสต์ 15 เปอร์เซ็นต์ ในการดูดซับนิกเกิลที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเป็น 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ในสภาวะพีเอช 4 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส โดยใช้ความเร็วรอบในการเขย่า 200 รอบต่อนาที และใช้เวลาในการดูดซับเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า กากยีสต์มีประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักได้ดีในระดับหนึ่ง แต่เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้วิธีทางชีวภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย โดยใช้กากยีสต์เป็นตัวดูดซับ ควรได้มีการศึกษาเพิ่มเติมในประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

5.2.1 ศึกษาปัจจัยที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักโดยกากยีสต์ เช่น วิธีการเตรียมกากยีสต์ก่อนนำมาใช้เป็นตัวดูดซับ

5.2.2 ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้กากยีสต์ดูดซับโลหะหนักมากกว่าหนึ่งครั้ง

5.2.3 ศึกษาเวลาที่น้อยที่สุดที่กากยีสต์ดูดซับโลหะหนักได้มากที่สุด เพื่อเป็นประโยชน์ในการนำไปศึกษาต่อไป

5.2.4 ศึกษาการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นก่อนที่จะนำมาทำการดูดซับโดยใช้กากยีสต์ เช่น อาจใช้วิธีทางเคมี เพราะจะทำให้การกำจัดโลหะหนักมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น



## เอกสารอ้างอิง

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ .2537 . วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม . สำนักพิมพ์มิตรนราการพิมพ์ ,  
กรุงเทพมหานคร. หน้า 154 .

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ .2539. การบำบัดน้ำเสีย .สำนักพิมพ์มิตรนราการพิมพ์ ,กรุงเทพมหานคร.  
หน้า 134-285 .

ฉัตรไชย รัตนไชย . 2539 . การจัดการคุณภาพน้ำ . กรุงเทพมหานคร . หน้า 230-232 .

ชุติมา เสพย์ธรรม . 2543 . โครงการพิเศษเรื่องการจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมด้วยถ้ำ  
ลอยที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ. คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ  
ทหารลาดกระบัง , กรุงเทพมหานคร.

ณรงค์ ฌ เชียงใหม่ . 2525 . มลพิษสิ่งแวดล้อม . สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ , กรุงเทพมหานคร .  
หน้า 27-28 .

คุณณี ธนะบริพัฒน์ . 2537 . จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม . คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระ  
จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , กรุงเทพมหานคร . หน้า 9-4 - 9-5 .

แมน อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม . 2535. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. ภาค  
วิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , กรุงเทพมหานคร. หน้า 322-384 .

รพีพร คำรัตน์ . 2542 . การดูดซับโลหะหนักโดยใช้กากยีสต์จากโรงงานเบียร์ . วิทยานิพนธ์  
ปริญญาโท . มหาวิทยาลัยมหิดล , กรุงเทพมหานคร.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วนิดา มยุรฤทธิ ภิบาล วไลลักษณ์ และสุพรรณิกา เวียนทอง .2541 .โครงการพิเศษเรื่องการดู  
 ษัษตะกั่ว(2+) โดยเชื้อแบคทีเรีย *Zoogloea ramigera* เชื้อรา *Rhizopus arrhizus* และกากมวด  
 ชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม . คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
 เจ้าคุณทหารลาดกระบัง , กรุงเทพมหานคร.

ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา .2540 .ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย  
 เกษตรศาสตร์ , กรุงเทพมหานคร . หน้า 282 .

สุทธิเวช ต. แสงจันทร์. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ . จัดทำเป็นเว็บเพจโดย :  
[www. Thaienvironment . net](http://www.Thaienvironment.net) .

อดิศักดิ์ ทองไข่มุกต์. 2536. ของเสียที่เป็นอันตราย. โรคจากสารพิษและการป้องกันในการประชุม  
 วิชาการอาชีวเวชศาสตร์และสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 5 . โรงพิมพ์กองสุศึกษา กระทรวง  
 สาธารณสุข , กรุงเทพมหานคร. หน้า 335-349 .

Anna , K.K. 1990 . Yeast and Yeast - like Organisms . NY CUSA . New York . p 79.

APHA , AWWA and WPCF . 1998 . Standard Methods for the Examination of Water and  
 Wastewater. p3000.

Huang , C-P ., Chin-Pon , H. & Morehart , A .L . 1990. The Removal of Cu(II) from Aqueous  
 Solution by *Saccharomyces cerevisiae* . wat. res. 4 : 433-439 .

Kapoor , A. & Viraraghavan , T . 1995 . Fungal biosorption -an alternative treatment option for  
 heavy metal bearing wastewaters:a review . Biosource Technol , 53 : 195-206 .

Lu , Y., & Wilkins , E. 1996 . Heavy metal removal by caustic treated yeast immobilized in  
 alginate . J of Hazardous Material . 49 : 165-179 .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Michael , L . J . , & Young , T. W. 1995 . Brewing . Chapman and Hall Press, London . p 159.
- Omar , N . B . , Merroum , M.L . , Gonzalez - Munoz., M .T . and Arias , J .M . 1996 .  
Brewery Yeast as a Biosorbent for Uranium . J Appl Bacteriology . 81 : 283-287 .
- Pilar , M . Pons and M. Garmen Fute . 1993. Uranium Uptake by Immobilized Cell of  
*Pseudomonas* Strain EPS 5028. Appl Microbiol Biotechnol. 39 : 661-665 .
- Rapoport , A. I. and O. A. Muter. 1995 . Biosorption of Hexavalent Chromium by Yeast .  
Process Biochem . 30(2) : 145-149.
- Richard,K.Carla.Batt and Pradip,D.Patel .2000.Encyclopedia of Food Microbiology.Vol2.p1175.
- Strandberg , G. W. , Starling , E. S. & Parrot , JR. 1981 . Microbial Cell as Biosorbents for  
Heavy Metal : Accumulation of Uranium by *Saccharomyces cerevisiae* and *Pseudomonas*  
*aeruginosa*. Applied and Environmental Microbiology . 41 : 237-245 .
- Volesky , B . (ed) . 1990 . In Biosorption of heavy metals. CRC Press Inc, U.S.A . pp 83-92 .
- Volesky , B ., May , H. and Holan , Z .R. 1993. Cadmium Biosorption by *Saccharomyces*  
*cerevisiae*. Biotechnology and Bioengineering . 41 : 826-829 .
- Volesky , B . May - Phillips . H . 1995 . Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces*  
*cerevisiae*." Appl Microbiol Biotechnol . 42 : 797-806 .

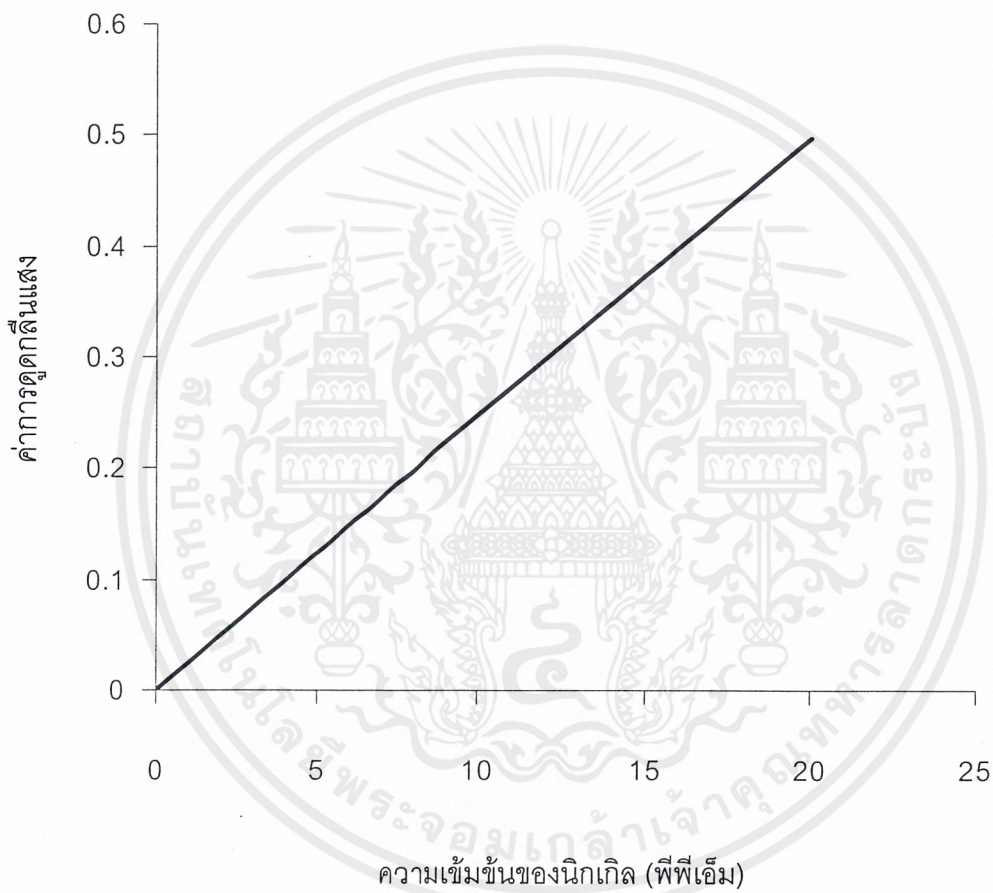
**ภาคผนวก ก**  
**สารเคมีและวิธีการเตรียม**

สารเคมีและวิธีการเตรียม สำหรับการวิเคราะห์นิกเกิล

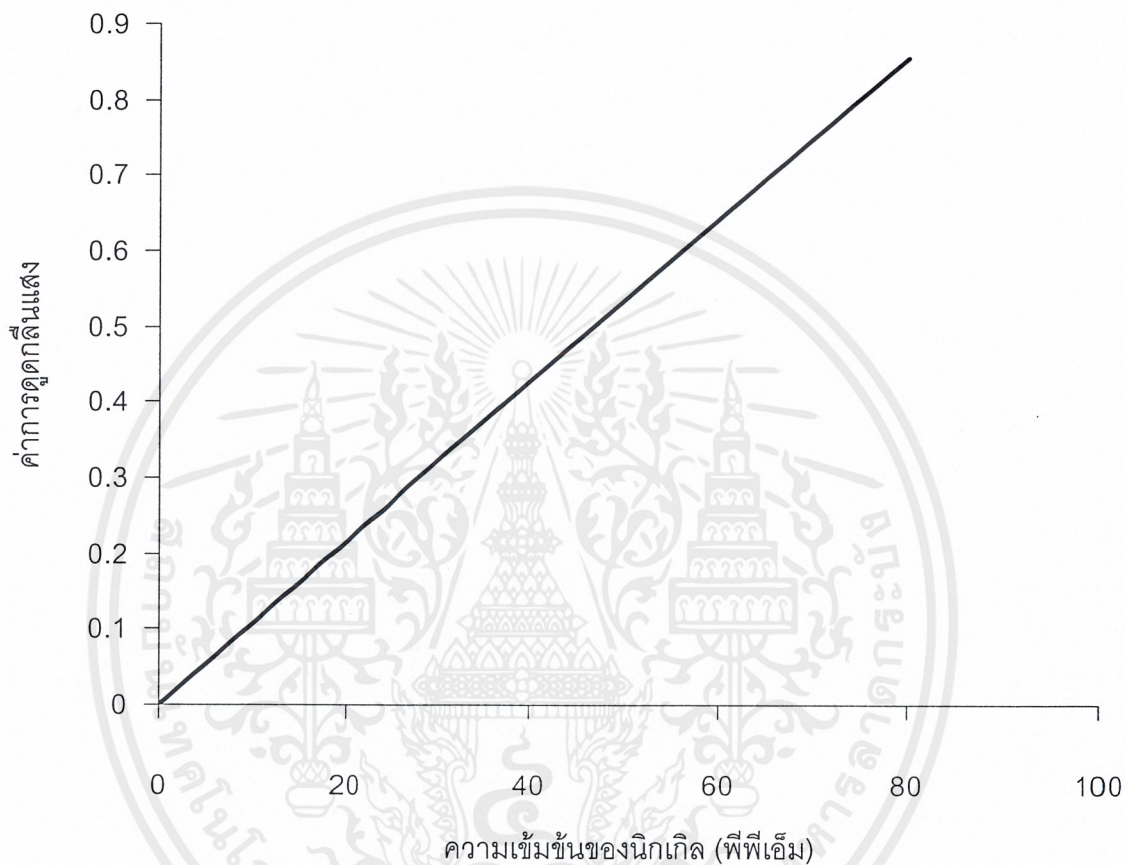
1. สารละลายสต็อกนิกเกิล (ความเข้มข้นของนิกเกิล 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร)
2. สารละลายมาตรฐานนิกเกิล (ความเข้มข้นของนิกเกิล 100 มิลลิกรัมต่อลิตร)
  - บีเปิดสารละลายสต็อกนิกเกิล 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำ Deionized
3. สารละลายกรดซัลฟูริก 2 N
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 N
5. สารละลายกรดไนตริก 5 เปอร์เซ็นต์
  - บีเปิดสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 65 เปอร์เซ็นต์ มา 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร

ภาคผนวก ข

กราฟมาตรฐาน



รูปที่ ข1 แสดงกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของนิกเกิดที่ 2 4 8 12 16 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร กับค่าการดูดกลืนแสง



รูปที่ ข2 แสดงกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของนิกเกิดที่ 5 10 20 40 60 และ 80 มิลลิกรัมต่อลิตรกับค่าการดูดกลืนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก ก**  
**การวิเคราะห์ทางสถิติ**

จากการทดลองสามารถ คำนวณความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) ได้ดังตารางที่ ก1

**ตารางที่ ก1 การคัดเลือกลูกทางสถิติของพีเอช**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	296.574	3	98.858	35.222	.000
Within Groups	437.851	156	2.807		
Total	734.426	159			

**ตารางที่ ก2 การเปรียบเทียบทาง LSD ของตารางที่ ก1**

(I) พีเอช	(J) พีเอช	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
3	4	1.05981*	.51296	.040	4.6562E-02	2.07306
	5	4.04556*	.48363	.000	3.09026	5.00086
	6	1.71037*	.46827	.000	.78541	2.63534
4	3	-1.05981*	.51296	.040	-2.07306	-4.65618E-02
	5	2.98575*	.38234	.000	2.23052	3.74098
	6	.65056	.36272	.075	-6.59140E-02	1.36704
5	3	-4.04556*	.48363	.000	-5.00086	-3.09026
	4	-2.98575*	.38234	.000	-3.74098	-2.23052
	6	-2.33519*	.31989	.000	-2.96706	-1.70331
6	3	-1.71037*	.46827	.000	-2.63534	-.78541
	4	-.65056	.36272	.075	-1.36704	6.5914E-02
	6	2.33519*	.31989	.000	1.70331	2.96706

\* แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดลองสามารถคำนวณความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) ได้ดังตารางที่ ค2

ตารางที่ ค2 การคัดเลือกทางสถิติของอุณหภูมิ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	32.546	2	16.273	4.489	.014
Within Groups	337.156	93	3.625		
Total	369.702	95			

ตารางที่ ค4 การเปรียบเทียบทาง LSD ของตารางที่ ค3

(I) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	(J)อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	Mean Difference(I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
25	30	-1.11556	.58299	.059	-2.27326	4.2137E-02
	35	.15238	.54965	.782	-.93911	1.24386
30	25	1.11556	.58299	.059	-4.21366E-02	2.27326
	35	1.26794*	.43453	.004	.40504	2.13084
35	25	-.15238	.54965	.782	-1.24386	.93911
	30	-1.26794*	.43453	.004	-2.13084	-.40504

\* แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองสามารถคำนวณความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) ได้ดังตารางที่ ค5

ตารางที่ ค5 การคัดเลือกทางสถิติของความเข้มข้นของกากยีสต์

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	168.050	3	56.017	6.866	.000
Within Groups	1272.661	156	8.158		
Total	1440.712	159			

ตารางที่ ค6 การเปรียบเทียบทาง LSD ของตารางที่ ค5

(I)ความเข้มข้นของกากยีสต์ (เปอร์เซ็นต์)	(J) ความเข้มข้นของกากยีสต์ (เปอร์เซ็นต์)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
5	10	-1.19787	.87454	.173	-2.92534	.52959
	12.5	-2.97769*	.82452	.000	-4.60636	-1.34901
	15	-.88319	.79834	.270	-2.46014	.69377
10	5	1.19787	.87454	.173	-.52959	2.92534
	12.5	-1.77981*	.65184	.007	-3.06739	-.49223
	15	.31469	.61839	.612	-.90682	1.53619
12.5	5	2.97769*	.82452	.000	1.34901	4.60636
	10	1.77981*	.65184	.007	.49223	3.06739
	15	2.09450*	.54537	.000	1.01723	3.17177
15	5	.88319	.79834	.270	-.69377	2.46014
	10	-.31469	.61839	.612	-1.53619	.90682
	12.5	-2.09450*	.54537	.000	-3.17177	-1.01723

\* แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองสามารถคำนวณความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) ได้ดังตารางที่ ค7

ตารางที่ ค7 การคัดเลือกทางสถิติของความเข้มข้นของนิกเกิลเริ่มต้น

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2873.648	3	957.883	24.574	.000
Within Groups	6080.867	156	38.980		
Total	8954.515	159			

ตารางที่ ค8 การเปรียบเทียบทาง LSD ของตารางที่ ค7

(I)ความเข้มข้น นิกเกิลเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	(J) ความเข้มข้น นิกเกิลเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
15	30	-8.71238*	1.91164	.000	-12.48841	-4.93634
	35	-12.44456*	1.80231	.000	-16.00465	-8.88448
	40	-14.24738*	1.74508	.000	-17.69441	-10.80034
30	15	8.71238*	1.91164	.000	4.93634	12.48841
	35	-3.73219*	1.42485	.010	-6.54668	-.91769
	40	-5.5350*	1.35173	.000	-8.20506	-2.86494
35	15	12.44456*	1.80231	.000	8.88448	16.00465
	30	3.73219*	1.42485	.010	.91769	6.54668
	40	-1.80281	1.19212	.132	-4.15759	.55196
40	15	14.24738*	1.74508	.000	10.80034	17.69441
	30	5.53500*	1.35173	.000	2.86494	8.20506
	35	1.80281	1.19212	.132	-.55196	4.15759

\* แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง  
มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำ

ตารางที่ ง1 มาตรฐานการควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงาน  
อุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

ตัวแปร	ค่ามาตรฐาน
1. ความเป็นกรดและด่าง (pH)	- 5.5 – 9.0
2. ทีดีเอส (Total Dissolved Solids)	- ไม่เกิน 3,000 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ต้องไม่เกิน 5,000 มก./ล. - น้ำทิ้งที่ระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็มเกิน 2,000 มก./ล. หรือลงสู่ทะเล ค่าทีดีเอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าทีดีเอสที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยหรือทะเลได้อีกไม่เกิน 5,000 มก./ล.
3. สารแขวนลอย (Suspended Solids)	- ไม่เกิน 50 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมหรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสีย ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ต้องไม่เกิน 150 มก./ล.
4. อุณหภูมิ (Temperature)	- ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 มาตรฐานการควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงาน  
อุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (ต่อ)

ตัวแปร	ค่ามาตรฐาน
5. สีและกลิ่น (Color and Odor)	- เมื่อระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะแล้ว ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
6. ซัลไฟด์ (Sulfide as H <sub>2</sub> S)	- ไม่เกิน 1 มก./ล.
7. ไซยาไนด์ (Cyanide as HCN)	- ไม่เกิน 2 มก./ล.
8. น้ำมันและไขมัน (Fat Oil and Grease)	- ไม่เกิน 5 มก./ล. อาจแตกต่างกันแต่แห่ง รองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ต้องไม่เกิน 15 มก./ล.
9. ฟอรัลดีไฮด์ (Formaldehyde)	- ไม่เกิน 1 มก./ล.
10. สารประกอบฟีนอล (Phenol)	- ไม่เกิน 1 มก./ล.
11. คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	- ไม่เกิน 1 มก./ล.
12. สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรู พืชหรือสัตว์ (Pesticide)	- ต้องตรวจไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่กำหนด
13. บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD)	- ไม่เกิน 20 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแต่ แห่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ต้องไม่เกิน 60 มก./ล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 มาตรฐานการควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงาน  
อุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (ต่อ)

ตัวแปร	ค่ามาตรฐาน
14. ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen : TKN)	- ไม่เกิน 100 มก./ล. อาจแตกต่างกันแล้วแต่แหล่ง รองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม กรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็น สมควร แต่ต้องไม่เกิน 400 มก./ล.
15. ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)	- ไม่เกิน 100 มก./ล. อาจแตกต่างกันแล้วแต่แหล่ง รองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม กรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็น สมควร แต่ต้องไม่เกิน 400 มก./ล.
16. โลหะหนัก (Heavy Metal)	
1) สังกะสี (Zn)	- ไม่เกิน 50 มก./ล.
2) โครเมียม (Cr) Hexavalent	- ไม่เกิน 0.25 มก./ล.
Trivalent	- ไม่เกิน 0.75 มก./ล.
3) อาร์เซนิก (As)	- ไม่เกิน 0.25 มก./ล.
4) ทองแดง (Cu)	- ไม่เกิน 2.0 มก./ล.
5) ปรอท (Hg)	- ไม่เกิน 0.005 มก./ล.
6) แคดเมียม (Cd)	- ไม่เกิน 0.03 มก./ล.
7) แบเรียม (Ba)	- ไม่เกิน 1.0 มก./ล.
8) เซเลเนียม (Se)	- ไม่เกิน 0.02 มก./ล.
9) ตะกั่ว (Pb)	- ไม่เกิน 0.2 มก./ล.
10) นิกเกิล (Ni)	- ไม่เกิน 1.0 มก./ล.
11) แมงกานีส (Mn)	- ไม่เกิน 5.0 มก./ล.

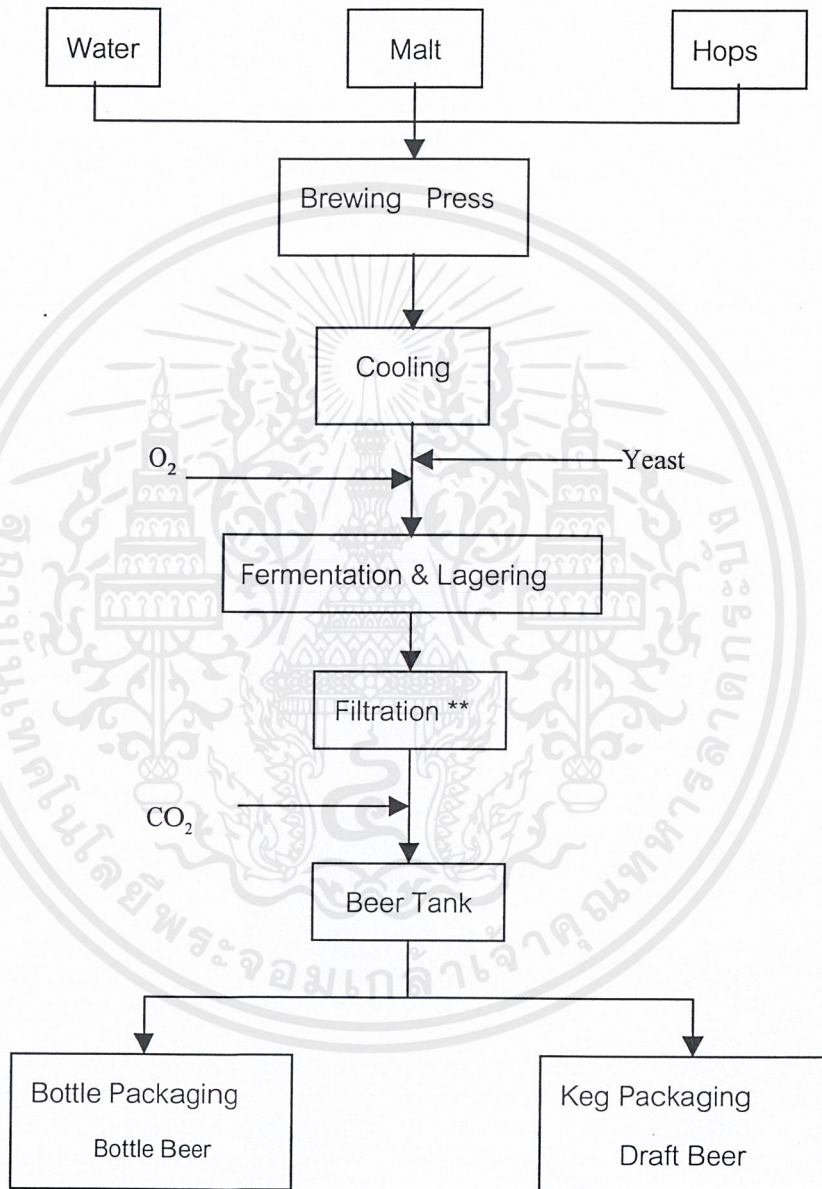
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ :

- (1) มาตรฐานฯ นี้ ได้ประกาศเป็นประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ลงวันที่ 3 มกราคม 2539
- (2) มก./ล. หมายถึง มิลลิกรัมต่อลิตร
- (3) โรงงานอุตสาหกรรม หมายความว่า โรงงานตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน
- (4) นิคมอุตสาหกรรม หมายความว่า นิคมอุตสาหกรรมตามกฎหมายว่าด้วยนิคมอุตสาหกรรมหรือโครงการที่จัดไว้สำหรับการประกอบการอุตสาหกรรมที่มีการจัดการระบายทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อมร่วมกัน
- (5) น้ำเสีย หมายความว่า ของเสียที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลว รวมทั้งมลสารที่ปะปนหรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น
- (6) น้ำทิ้ง หมายความว่า น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรม หรือนิคมอุตสาหกรรมที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ หรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้ความหมายรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงาน รวมทั้งจากกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรม หรือในนิคมอุตสาหกรรมด้วย โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในประกาศ
- (7) โรงงานอุตสาหกรรมจำพวกที่ 2 และ 3 ตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 และนิคมอุตสาหกรรม ได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการควบคุมมลพิษ เมื่อวันที่ 5 ตุลาคม 2537 ให้กำหนดเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่ต้องถูกควบคุมตามมาตรา 69 ของพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2535 (ฉัตร์ไชย, 2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ  
ขั้นตอนการผลิตเบียร์



รูปที่ จ1 ขั้นตอนการผลิตเบียร์

หมายเหตุ \*\* คือขั้นตอนที่ได้กากยีสต์ออกมา ซึ่งกากมวลียีสต์ที่ได้จะนำไปทำให้แห้งโดยผ่านเครื่อง Drum Dryer  
(ที่มา : วนิดาและคณะ, 2541)