# บทที่ 1

# บทนำ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ยางพารา (*Hevea brasiliensis* , Muell. Arg.) เป็นพืชเศรษฐกิจหลักของเกษตรกรในภาคใต้และภาคตะวันออกของประเทศไทย ปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางรายใหญ่เป็นอันดับหนึ่งของโลก จึงถือว่ายางพาราเป็นพืชที่มีความสำคัญต่อการครองชีพของประชาชนภาคใต้และภาคตะวันออกไม่ต่ำกว่า 1 ล้านครอบครัว (ณรงค์ สุจเร , 2536) ปัจจุบันนี้ประเทศไทยผลิตยางได้ถึง 2,060,000 เมตริกตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 90,000 ล้านบาท (สถิติยางไทย , 2541) โดยเฉลี่ยผลผลิตยางธรรมชาติของไทยในช่วง 10 กว่าปีที่ผ่านมาพบว่าเพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ7.46 ต่อปี ผลผลิตที่จำแนกได้ในปี 2541 พบว่าเป็นยางแผ่นรมควันร้อยละ50.71 ยางแท่งร้อยละ45.86 น้ำยางข้นร้อยละ 23.53 และยางอื่นๆ อีกร้อยละ6.26 ผลผลิตของยางธรรมชาติร้อยละ 89.07 จะถูกส่งออกไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศ การส่งออกมีอัตราการขยายตัวประมาณร้อยละ 7.9 ต่อปี ส่วนความต้องการการใช้ยางธรรมชาติภายในประเทศก็เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 12.6 ต่อปี

จากความต้องการในการใช้ยางทั้งภายในและต่างประเทศที่เพิ่มขึ้นประกอบกับผลผลิตยางธรรมชาติของไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อันเนื่องจากการขยายพื้นที่เพาะปลูกซึ่งรวมถึงการขยายพื้นที่เพาะปลูกไปสู่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ทำให้จำนวนโรงงานและกำลังการผลิตของโรงงานยางเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างมากและรวดเร็ว เพื่อรองรับวัตถุดิบและความต้องการที่มากขึ้น แต่ในขณะเดียวกันปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิตยางธรรมชาติก็เพิ่มมากขึ้นด้วยนั่นคือ ปัญหาน้ำเสียในกระบวนการผลิตยางธรรมชาติต่างๆจะต้องมีการคัดแยกเนื้อยางจากน้ำซีรัมและน้ำซีรัมเหล่านี้จะถูกปล่อยทิ้งปีละหลายแสนตันสู่ธรรมชาติ นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตจะต้องใช้น้ำในปริมาณที่สูงสำหรับการล้างยางและทำความสะอาดเครื่องจักรต่างๆ วันชัย แก้วยอด (2540) พบว่าค่า$BOD_5$ ของน้ำทิ้งจากการผลิตน้ำยางข้นโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2,390 มก./ลิตร ยางสกิมเครพมี $BOD_5$ โดยเฉลี่ย 10,485 มก./ลิตร และยางแท่ง มีค่า $BOD_5$ โดยเฉลี่ย 3,922 มก./ลิตร

ดังนั้นถ้าน้ำทิ้งเหล่านี้ถูกปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่ผ่านการบำบัดก่อนหรือผ่านการบำบัดที่ระบบบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพไม่ดีและไม่ได้ประสิทธิภาพตามศักยภาพของระบบที่ควรจะเป็นก็จะก่อให้เกิดปัญหามลภาวะกับแหล่งน้ำเป็นอย่างมาก รวมทั้งก่อความเดือดร้อนให้แก่ประชาชนบริเวณใกล้เคียงนั้น ดังจะเห็นได้จากการประท้วงและร้องเรียนกันอยู่บ่อยครั้ง เช่นการร้องเรียนของประชาชนตำบลชากบก อำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง กรณีโรงงานไทยลาเท็กซ์อินดัสเตรียล จำกัด ปล่อยน้ำทิ้งออกมาจากโรงงานไหลลงในพื้นที่ใกล้เคียงและไหลซึมลงสู่คลองยาง

มะงั่วผ่านหมู่บ้านต่างๆ หลายหมู่บ้านทำให้น้ำในคลองเน่าเหม็นมีสีดำคล้ำ สัตว์น้ำลอยเป็นแพ ไม่สามารถนำน้ำไปใช้เพื่ออุปโภคบริโภคได้ การร้องเรียนของประชาชนตำบลท่าพญา อำเภอประเหลียน จังหวัดตรัง กรณี โรงงานรับเบอร์ลาเท็กซ์ ปล่อยน้ำทิ้งลงคลองธรรมชาติ การร้องเรียนของประชาชนอำเภอสิเกา จังหวัดตรัง กรณีโรงงานบริษัทพาราภัณฑ์ จำกัด ลักลอบปล่อยน้ำทิ้งลงคลองกะลาแส อำเภอสิเกา รวมทั้งการร้องเรียนของประชาชนในหลายพื้นที่ในอำเภอจะนะ ถึงกลิ่นเหม็นรบกวนจากโรงงานยางพารา เป็นต้น(กรมควบคุมมลพิษ , 2538)

ด้วยเหตุผลข้างต้นนี้ จึงเห็นว่าควรจะมีการจัดการกับน้ำทิ้งของโรงงานประเภทต่างๆ ด้วยวิธีทางเคมีและชีวภาพเพื่อเป็นแนวทางเลือกที่เหมาะสมในการนำไปปฏิบัติ เพื่อช่วยลดปัญหามลภาวะที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมยาง ทั้งในด้านการบำบัดน้ำทิ้งและการใช้ประโยชน์จากน้ำซีรัมที่ได้มาจากการคัดแยกเนื้อยาง ซึ่งจะส่งผลให้เกิดสภาพแวดล้อมที่ดีและยังเป็นการสร้างงาน สร้างอาชีพและเพิ่มรายได้ให้กับประชาชนบริเวณนั้นๆ ด้วย

### 1.1 การใช้น้ำในอุตสาหกรรมยางพารา

โรงงานอุตสาหกรรมยางมีความจำเป็นต้องใช้น้ำดิบในขบวนการผลิตค่อนข้างมากโดยใช้ในขั้นตอนของการผลิตหลายจุดได้แก่ การล้างยาง ล้างปอพักยางและภาชนะบรรจุน้ำยาง ใช้สำหรับผสมกับสารเคมีในการจับก้อนยาง การล้างพื้นโรงงานและเครื่องปั่นน้ำยางเป็นต้น แหล่งน้ำที่ใช้สำหรับโรงงานยางพารา อาจเป็นน้ำบาดาล น้ำฝนซึ่งเก็บกักในสระขนาดใหญ่หรือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจนมีคุณภาพดีระดับหนึ่งแล้วมาใช้ในกระบวนการผลิตเช่น การผลิตยางแท่ง และยางแผ่นรมควันเป็นต้น เพราะสามารถใช้น้ำคุณภาพต่ำในการล้างยางได้ นอกจากนั้นบางโรงงานที่ไม่ประสบปัญหาขาดแคลนน้ำดิบมากนักก็มีการนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ล้างพื้นโรงงาน รดน้ำต้นไม้ น้ำใช้ในห้องน้ำของโรงงานและน้ำใช้ในสำนักงานด้วย

### 1.2 ลักษณะของน้ำยางและน้ำทิ้งจากการผลิต

สำหรับสมบัติและส่วนประกอบของน้ำยางสดนั้น ผลชิต บัวแก้ว (2531)ได้อธิบายว่าน้ำยางสดหมายถึงน้ำยางธรรมชาติที่กรีดได้จากยางพารา มีลักษณะเป็นของเหลว สีขาวคล้ายน้ำนม มีความหนาแน่น 0.975-0.98 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีความเป็นกรด-ด่าง 6.5-7.0 ของเหลวนี้ประกอบด้วยอนุภาคที่มีรูปร่างเป็นเม็ดเล็ก ๆ แขวนลอยกระจัดกระจายอยู่ในของเหลวที่เรียกว่า"ซีรัม"(Serum) มีความแปรปรวนในส่วนประกอบอย่างกว้างขวางและมีสาเหตุหลายประการด้วยกัน เช่น พันธุ์ยาง อายุยาง ฤดูกาลกรีดยาง และวิธีการกรีดยาง

1.2.1 น้ำยางสด

ส่วนประกอบของน้ำยางสด แบ่งเป็นส่วนประกอบหลัก ๆ 2 ส่วนคือ

1.2.1.1. **ส่วนที่เป็นยาง** (Dry rubber contents , DRC) เป็นส่วนของสารพวกไฮโดรคาร์บอน อันเป็นหน่วยของไอโซพรีน (Isoprene) ที่เชื่อมต่อกันประมาณ 2,000-5,000 หน่วยต่อโมเลกุล

1.2.1.2 **ส่วนที่ไม่ใช่ยาง** (Non rubber contents) เช่น น้ำตาล โปรตีน ไขมัน คาร์โรติ-นอยด์ เกลือแร่ เอนไซม์ และสารประกอบไนโตรเจน เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ส่วนประกอบของน้ำยางสด

| ส่วนประกอบที่อยู่ในน้ำยาง | เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร |
|---|---|
| ของแข็งทั้งหมด (Total solid contents) | 5.5 % |
| เนื้อยางแห้ง (Dry rubber contents) | 36.0 % |
| โปรตีน | 1.4 % |
| ไขมัน | 1.0 % |
| ฟอสฟอลิปิด | 0.6 % |
| เถ้า | 0.5 % |
| อิโนซิทอลและคาร์โบไฮเดรต | 1.6 % |
| สารประกอบไนโตรเจน | 0.3 % |
| น้ำ | 53.1 % |

1.2.2 น้ำทิ้งของโรงงานยาง

ส่วนน้ำทิ้งที่ออกจากโรงงานยางพารานั้นจะเกิดจากกระบวนการผลิตโดยเกิดจากขั้นตอนต่างๆ คือการคัดแยกเนื้อยาง การล้างยาง การล้างภาชนะ การทำความสะอาด ซึ่งน้ำเสียที่เกิดขึ้นนั้นจะมีปริมาณสารอินทรีย์สูงมาก อันเนื่องมาจากเนื้อยาง น้ำซีรัม และสารเคมีต่าง ๆ ที่ช่วยในการผลิต

1.2.2.1 ค่าความสกปรกที่อยู่ในน้ำทิ้ง

ค่าความสกปรกซึ่งวัดในรูป $BOD_5$ และCOD จะไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับชนิดและประเภทของโรงงานยางพารา จากการศึกษาของสถาบันวิจัยยางของมาเลเซียในปี1979 พบว่าสมบัติของ

น้ำเสียในแต่ละชนิดของผลิตภัณฑ์นั้นมีค่า$BOD_5$ แตกต่างกันซึ่งน้ำทิ้งในขบวนการผลิตยางแท่งจะมีค่า $BOD_5$ สูงมาก เนื่องจากในน้ำทิ้งจะมีส่วนประกอบที่เป็นส่วนที่ไม่ใช่ยางสูงมาก ส่วนประกอบของน้ำทิ้งที่มาจากแหล่งผลิตที่ต่างกัน จะมีสมบัติดังแสดงในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 สมบัติของน้ำทิ้งที่มาจากกระบวนการผลิตต่างๆ (ในหน่วยกิโลกรัม/ตันผลผลิต)

| ตัวแปร \ ผลิตภัณฑ์ | ยางแผ่น | ยางเครพสีน้ำตาล | ยางแท่ง | น้ำยางข้น |
|---|---|---|---|---|
| พีเอช | 5.3 | 6.0 | 5.2 | 3.5 |
| ค่าบีโอดี | 48.8 | 7.0 | 58.3 | 40.0 |
| ค่าซีโอดี | 78.2 | 32.8 | 92.6 | 79.0 |
| ปริมาณของแข็งรวม | 94.6 | 31.5 | 55.8 | 108.8 |
| ปริมาณของแข็งแขวนลอย | 6.2 | 12.6 | 9.9 | 3.8 |
| ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด | 2.6 | 1.7 | 4.9 | 8.4 |
| ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน | 0.3 | 0.8 | 2.6 | 6.5 |

ที่มา : สถาบันวิจัยยาง ประเทศมาเลเซีย , 1974

1.2.2.2 **ปริมาณของสารต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำซีรัม**

**น้ำซีรัม**หมายถึงของเหลวที่เกิดจากการคัดแยกเนื้อยางออกแล้ว ไม่ว่าจะผ่านการเติมด้วยกรดฟอร์มิกหรือกรดซัลฟุริก ซึ่งเป็นแหล่งที่มีทั้งพวกสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์มากมาย ได้แก่ เกลือของแอมโมเนียม โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมันและแร่ธาตุต่างๆ เช่น แมกนีเซียม คอปเปอร์ โซเดียม เหล็ก เป็นต้น (ธีรยศ วิทิตสุวรรณกุลและระพีพรรณ วิทิตสุวรรณกุล , 2538) องค์ประกอบทางเคมีและฟิสิกส์ของน้ำซีรัมซึ่งได้มาจากการตกตะกอนด้วยกรดซัลฟุริกจากหางน้ำยาง (สถาบันวิจัยยาง ประเทศมาเลเซีย , 1974) แสดงในตารางที่ 1.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่1.3 สมบัติของน้ำซีรัมที่แยกได้จากหางน้ำยางจากสถาบันวิจัยยางประเทศมาเลเซีย

| Property | Sample1 | Sample2 | Sample3 | Average |
|---|---|---|---|---|
| pH | 4.10 | 5.40 | 4.82 | 4.77 |
| Total Solids | 44,520 | 45,286 | 37,833 | 42,550 |
| Volatile Solids | 38,340 | 38,646 | 32,248 | 36,410 |
| Suspened Solids | 624 | 7,348 | 584 | 2,850 |
| C.O.D. | 32,445 | 37,617 | 27,997 | 32,690 |
| B.O.D. | 15,675 | 13,425 | 11,900 | 13,670 |
| Total Nitrogen | 4,664 | 5,190 | 3,997 | 4,620 |
| Ammoniacal nitrogen | 3,660 | 3,660 | 2,972 | 3,430 |
| Albuminoid nitrogen | 714 | 923 | 627 | 755 |
| Nitrate nitrogen | 2 | 4 | 3 | 3 |
| Nitrite nitrogen | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Total sugars | 336 | 704 | 241 | 500 |
| Reducing sugars | 450 | 406 | 370 | 409 |
| Al | 2.0 | 0.7 | 2.0 | 1.6 |
| Ca | 6.0 | 7.0 | 5.0 | 6.0 |
| Cu | 2.0 | 7.0 | 2.0 | 4.0 |
| Fe | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| K | 625 | 680 | 550 | 618 |
| Mg | 60.0 | 68.0 | 55.0 | 61.0 |
| Mn | 0.6 | 0.7 | 0.5 | 0.6 |
| Na | 6.0 | 7.0 | 20.0 | 11.0 |
| P | 60.0 | 68.0 | 55.0 | 61.0 |
| Rb | 2.0 | 2.0 | 5.0 | 3.0 |
| Si | 2.0 | 2.0 | 20.0 | 8.0 |

All values except pH are expressed in p.p.m.

ที่มา : สถาบันวิจัยยาง ประเทศมาเลเซีย , 1974 อ้างใน RRIM training manual an analytical chemistry latex and rubber analysis หน้า 201.

### 1.3 วิธีการผลิตยางประเภทต่างๆ

น้ำยางสด (fresh latex) สามารถแยกได้เป็น 3 ส่วนหลัก ๆ โดยการปั่นด้วยความเร็วสูง ได้แก่ ส่วนบนที่เป็นสีขาว เรียกว่า ส่วนเนื้อยาง ส่วนของเหลวที่เรียกว่า ซีรัม และส่วนLutoid (Cook and Sekhar ,1953) ส่วนเนื้อยางเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่เป็นพวก cis-1,4-polyisoprene (ประมาณ 99%) โดยส่วนที่เป็นเนื้อยางนี้จะเคลือบด้วยชั้นที่เป็นโปรตีนและฟอสโฟลิปิด ส่วนซีรัม ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ ประกอบด้วยกรดอะมิโน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต กรดอินทรีย์ และเกลือของสารอนินทรีย์เป็นต้น และส่วนล่างสุดประกอบด้วยส่วนที่เป็นอนุภาคของลูทอยด์(Lutiod particles) เป็นส่วนมาก(Homans and Van Gils , 1948) ส่วนที่เรียกว่าอนุภาคของ Frey-Wyssling (Archer และคณะ , 1969) ลักษณะเป็นผลึกสีเหลืองมีคาโรทีนอยด์เป็นองค์ประกอบ ภายในประกอบด้วย ไมโตรคอนเดรียและไรโบโซม เป็นต้น

#### 1.3.1 กรรมวิธีการผลิตยางแท่ง (Block rubber)

ขั้นตอนการผลิตยางแท่งเริ่มจากการรวบรวมน้ำยางสดลงในถังทำการกรองน้ำยางให้สะอาดจากนั้นทำให้น้ำยางจับตัวโดยใช้กรดฟอร์มิก เมื่อได้ยางที่จับตัวกันแล้วนำไปผ่านเครื่องตัดซึ่งจะตัดยางเป็นก้อนเล็กๆ ขณะที่ยางผ่านเครื่องตัด จะฉีดน้ำเพื่อล้างสิ่งสกปรก จากนั้นนำเข้าเครื่องเครพเพื่อรีดยางออกเป็นแผ่น และขณะรีด ยางจะถูกฉีดน้ำเพื่อชะล้างสิ่งสกปรกอีกครั้ง แล้วนำเข้าเครื่องตัดย่อยเป็นชิ้นเล็กๆอย่างรวดเร็ว นำไปอบแห้ง ชั่งน้ำหนัก อัดเป็นแท่ง และบรรจุถุงพลาสติกเพื่อจำหน่ายต่อไป

#### 1.3.2. วิธีการผลิตน้ำยางข้น

จากน้ำยางสดที่ได้จากสวนยาง จะต้องเติมสารเคมีป้องกันน้ำยางจับตัวซึ่งจะทำให้ยางไม่เสียสภาพได้แก่ Zinc Oxide (ZnO) Sodium pentachlorophenate (SPP) Tetramethyl thiuram disulfide (TMTD) Ammonia ($NH_3$) และ Boric acid เป็นต้น แล้วจึงผ่านตะแกรงขนาด 80 mesh ลงสู่ถังรวมและนำตัวอย่างน้ำยางทดสอบหาปริมาณน้ำยางแห้ง ซึ่งต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 จากนั้นจะมีการตรวจสอบปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยาง แล้วเติมDiammonium phosphate เพื่อให้เกิดการตกตะกอนของแมกนีเซียมก่อนจะปล่อยทิ้งไว้ 8-12 ชั่วโมงเพื่อให้เกิดการตกตะกอนของแมกนีเซียมและสิ่งสกปรกต่างๆ โดยตะกอนเหล่านี้จะถูกแยกออกจากน้ำยางก่อนนำไปผลิตน้ำยางข้น แล้วจึงทำการปั่นแยกน้ำยาง น้ำยางจะถูกแยกเป็น 2 ส่วน คือส่วนน้ำยางซึ่งจะมีเนื้อยางอยู่ประมาณ60% และส่วนที่เป็นหางน้ำยางซึ่งมีเนื้อยางอยู่ประมาณ4% จากนั้นส่วนที่เป็นน้ำยางข้น

จะนำไปเติมสารละลายแอมโมเนียมลอเรต และแอมโมเนียอีกครั้งหนึ่ง เพื่อรักษาสภาพน้ำยางก่อนบ่มน้ำยางประมาณ 15-30 วัน จึงจะจำหน่ายได้

1.3.3. **การผลิตยางสกิมบลอค** (Skim block)

จากหางน้ำยางที่ได้จากการผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีการปั่นแยก รวบรวมลงสู่บ่อจับตัวน้ำยาง เติมกรดซัลฟุริกเพื่อคัดแยกเนื้อยางออก ทิ้งไว้ 1 คืนเพื่อให้ยางจับตัว เมื่อยางจับตัวแล้วจึงตัดยางเป็นก้อนเล็กๆ ก่อนเข้าเครื่องเครพเพื่อรีดยางเป็นแผ่นบางๆ ส่งต่อไปยังเครื่องฉีกยางเพื่อฉีกยางเป็นชิ้นเล็กๆ นำไปอบแห้ง ชั่งน้ำหนัก อัดก้อน และบรรจุถุงพลาสติกเพื่อจำหน่ายต่อไป

1.4. **กระบวนการบำบัดน้ำเสีย**

กระบวนการบำบัดน้ำเสียนั้นจะประกอบด้วยกระบวนการย่อยต่างๆ ที่จะลดปริมาณสารเจือปนในน้ำเสีย โดยการทำลายสารอินทรีย์และแยกเอาสิ่งเจือปนออกเพื่อทำให้น้ำเสียนั้นมีสภาพกลับเหมือนน้ำตามธรรมชาติมากที่สุด มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ (2538) อธิบายว่ากระบวนการย่อยมารวมกันแต่ละกระบวนการย่อยจะสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ

1.4.1. **กระบวนการทางกายภาพ** ใช้กำจัดสิ่งที่ไม่ละลายน้ำหรือของแข็งแขวนลอย ได้แก่ การดักด้วยตะแกรง การกวาด การทำให้ลอย การตกตะกอนโดยการใช้ตะแกรงหยาบ ตะแกรงละเอียด ถังดักกรวดและทราย ถังดักไขมัน ถังตกตะกอนต่าง ๆ

1.4.2. **กระบวนการทางเคมี** ใช้กำจัดสารประกอบต่างๆ ที่ส่วนมากเป็นสารอนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำทิ้ง ได้แก่ การทำให้เป็นกลาง การกำจัดตะกอนแขวนลอยด้วยกระบวนการจับก้อน

1.4.3. **กระบวนการทางเคมีกายภาพ** ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำ ได้แก่ การแลกเปลี่ยนประจุ การออสโมซีสแบบย้อนทาง (Reverse Osmosis) การใช้สารดูดซับ เช่น ใช้คาร์บอนในการดูดกลิ่น

1.4.4. **กระบวนการทางชีววิทยา** ใช้ในการบำบัดสารอินทรีย์ซึ่งจุลินทรีย์ย่อยสลายได้ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ กระบวนการบำบัดโดยใช้ออกซิเจน (Aerobic process) ได้แก่ Oxidation pond Aerated Lagoon Activated sludge Trickling Filter Biological Disc Filter

และกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic process)ได้แก่ Anaerobic Lagoon Anaerobic Digestion Anaerobic Contactor และ Anaerobic Filter

ในการเลือกใช้ระบบใดขึ้นกับลักษณะของน้ำเสีย ระดับของการบำบัด สภาพท้องถิ่น ซึ่งได้แก่ ราคาและที่ดินต่าง ๆ

1.5 **กระบวนการตกตะกอน** (Coagulation)

เป็นกระบวนการที่เกิดจากการเติมสารเคมีลงในน้ำที่มีอนุภาคคอลลอยด์หรือสารแขวนลอย รวมตัวกันเข้ายึดเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากการผสมอย่างเร็ว ทำให้สารเคมีที่เติมลงไปจับยึดกับอนุภาคต่างๆ ได้มาก เป็นกระบวนการรวมกันเป็นกลุ่มก้อน เป็นการผสมระหว่างสารเคมีคือสารจับก้อนหรือพอลิเมอร์กับอนุภาคคอลลอยด์ โดยใช้เวลาผสมค่อนข้างนานเพื่อเปลี่ยนอนุภาคคอลลอยด์ขนาดเล็กไปเป็นอนุภาคคอลลอยด์ขนาดใหญ่ที่สามารถมองเห็นได้ เกิดได้ทั้งอนุภาคที่เป็นไฮโดรฟิลิกและไฮโดรโฟบิกคอลลอยด์

การตกตะกอนทางเคมี เป็นการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์เพื่อให้อนุภาคต่างๆ เคลื่อนที่มาสัมผัสและเกาะจับกันเป็นกลุ่มเป็นก้อน

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ (2538) ได้แบ่งกลไกการทำลายเสถียรภาพออกเป็น 4 แบบ ดังนี้

- กลไกลดความหนาของชั้นกระจาย (Diffuse layer)

โดยการเพิ่มประจุตรงข้ามกับคอลลอยด์ในชั้นกระจายให้มากขึ้น ทำให้ความหนาของชั้นการกระจายลดลง อนุภาคจะสามารถเข้าใกล้ได้มากขึ้น จนแรงดึงดูดสามารถทำให้อนุภาคเกาะกันได้

- กลไกดูดติดผิวและทำลายประจุของอนุภาคคอลลอยด์ (Adsorption and charge neutralization)

เกิดจากการใส่สารเคมีบางหมู่ที่มีความสามารถให้ประจุตรงกันข้ามกับอนุภาคคอลลอยด์ และดูดติดผิวได้ดีจะมีผลในทางลดศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์ ซึ่งเป็นการทำลายเสถียรภาพนั่นเอง

- กลไกสร้างผลึกสารขึ้นมา เพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับ (Sweep coagulation)

เป็นการเติมสารเคมีให้เกิดตะกอนที่มีลักษณะเหนียวเหนอะ ซึ่งสามารถห่อหุ้มอนุภาค ทำให้ผิวของอนุภาคมีความเหนียวและไม่สามารถแสดงประจุไฟฟ้า เมื่ออนุภาคสัมผัสกันจึงสามารถเกาะกันเป็นตะกอนใหญ่ ด้วยกลไกนี้ถือว่าเป็นการเพิ่มขนาดและน้ำหนักให้กับอนุภาคคอลลอยด์ เป็นผลให้อนุภาคคอลลอยด์สูญเสียเสถียรภาพและสามารถตกตะกอนได้

●กลไกการสร้างสะพานเชื่อมต่ออนุภาคคอลลอยด์

โดยใช้สารพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ มีอนุมูลยาวต่อกันเป็นเส้น เมื่อใส่ลงในน้ำจะให้ไอออนเป็นจำนวนมาก เพื่อเกาะจับกับอนุภาคคอลลอยด์และยังมีแขนเชื่อมต่อกับอนุภาคคอลลอยด์ตัวอื่น ๆ เพื่อทำให้เกิดก้อนตะกอน

1.5.1 **ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการตกตะกอน** (กาญนิถา ครองธรรมชาติ , 2535)

ในกระบวนการตกตะกอนจะดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ดังต่อไปนี้

1.5.1.1.**ชนิดของคอลลอยด์ในน้ำ** เนื่องจากคอลลอยด์ในน้ำเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ที่มีสภาพเป็นประจุบวกหรือลบ ดังนั้นถ้าหากทราบชนิดของคอลลอยด์ จะได้เลือกใช้สารที่ช่วยในการตกตะกอนได้อย่างเหมาะสม

1.5.1.2.**ชนิดของสารที่ใช้ในการตกตะกอน** สารเคมีแต่ละชนิดจะมีความเหมาะสมกับคอลลอยด์ต่างชนิดไม่เหมือนกัน ตลอดจนคุณสมบัติในการตกตะกอนและปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในน้ำ ลักษณะของก้อนตะกอน ความเร็วในการตกตะกอน ราคา ความยากง่ายในการใช้งาน ดังนั้น จะต้องมีการเลือกใช้งานให้เหมาะสมระหว่างชนิดของคอลลอยด์และสารที่ใช้ในการตกตะกอน

1.5.1.3.**พีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน** สารที่ใช้ในการตกตะกอนแต่ละชนิดจะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดที่พีเอชหนึ่งเท่านั้น ถ้าปฏิกิริยาที่เกิดไม่อยู่ในช่วงพีเอชนี้ ผลการตกตะกอนจะเกิดขึ้นไม่ดี จึงต้องมีการปรับพีเอชให้ได้ตามต้องการของสารเคมี

1.5.1.4.**ปริมาณของสารที่ช่วยให้ตกตะกอน** มีความสำคัญเกี่ยวกับความสามารถในการตกตะกอนเพราะธรรมชาติสารใดก็ตามถ้าค่าผลคูณไอออนโปรดัก(Ion product) ไม่เกินค่า $K_{sp}$ (ค่าคงที่ในการละลาย)ของสารนั้นแล้วสารนั้นจะไม่ตกผลึกตะกอนออกมาในน้ำ แต่ถ้าเกินค่า $K_{sp}$ จะตกผลึกตะกอนทันที ดังนั้นปริมาณสารที่ช่วยในการตกตะกอนจะต้องเหมาะสมต่อการตกตะกอนในแต่ละครั้ง ถ้ามากเกินไปก็จะทำให้อนุภาคกลับมีเสถียรภาพใหม่

1.5.1.5.**เวลาและความแรงของการผสมเพื่อให้สารเคมีกระจายตัว** การทำให้สารเคมีละลายน้ำอย่างทั่วถึงเพื่อให้เกิดการสร้างตะกอนจำเป็นต้องกวนน้ำเพื่อให้เกิดการปั่นป่วน

อย่างรวดเร็วด้วยเวลาอันสั้นเพื่อให้สารเคมีกระจายตัวออกไปทำปฏิกิริยากับสารแขวนลอยได้อย่างทั่วถึง และยังเป็นการช่วยประหยัดเวลาอีกด้วยเพราะปฏิกิริยาดังกล่าวนี้ใช้เวลาน้อยกว่ากระบวนการรวมตะกอน ดังนั้นถ้าการใช้การกวนที่รุนแรงมากเท่าใดก็จะช่วยประหยัดเวลามากขึ้นเท่านั้น ในทางตรงข้ามเมื่อต้องการให้เกิดการรวมตัวของตะกอนจำเป็นต้องใช้การกวนอย่างช้าๆเพื่อไม่ให้ก้อนตะกอนแตก แต่จะใช้เวลาที่นานขึ้นเพื่อเปิดโอกาสให้ตะกอนที่เกิดขึ้นมีโอกาสลอยมาสัมผัสซึ่งกันและกันได้มากที่สุด

### 1.5.2 สารที่ใช้ในการจับก้อน( Coagulant )

สารจับก้อนที่นิยมใช้ในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม (กรรณิการ์ สิริสิงห , 2525) คือ

#### 1.5.2.1. การจับก้อนด้วยสารจับก้อนที่มีอลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบ

ได้แก่ อลูมิเนียมซัลเฟต อลูมิเนียมคลอไรด์ โพลิอลูมิเนียมคลอไรด์ และโซเดียมอลูมิเนต สารตกตะกอนพวกอลูมิเนียมจะเป็นสารจับก้อนที่มีประสิทธิภาพในการตกตะกอน ราคาไม่แพง เมื่ออยู่ในน้ำจะมีความสามารถในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีประจุไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก และจะถูกควบคุมปฏิกิริยาโดยพีเอชในระบบ

#### 1.5.2.2.การจับก้อนด้วยสารจับก้อนที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ

ได้แก่ เฟอร์รัสซัลเฟต และ เฟอร์ริคคลอไรด์ เป็นต้น เป็นสารจับก้อนที่นิยมใช้กันไม่มากเท่าใดนัก มีราคาค่อนข้างแพง อำนาจในการกัดกร่อนสูงและควรละลายใช้งานที่ความเข้มข้น20-40% สำหรับการใช้งานของพวกเฟอร์รัสซัลเฟต อาจต้องอัดอากาศลงในน้ำ มิฉะนั้น จะเกิดปฏิกิริยาที่ทำให้น้ำมีสีแดง และเกิดตะกอนเหล็กได้ ส่วนเฟอร์ริคคลอไรด์ เป็นสารเคมีที่มีค่าพีเอชที่สามารถทำงานได้ดีอยู่ในช่วง 4-11 หากพีเอชไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสม กระบวนการตกตะกอนจะมีประสิทธิภาพต่ำหรือไม่มีประสิทธิภาพเลย เมื่อเฟอร์ริคคลอไรด์ละลายน้ำ จะมีการแตกตัวให้ไอออนบวกและลบ ดังสมการที่ 2.1

$$FeCl_3 \longrightarrow Fe^{3+} + Cl^- \quad \text{..... (2.1)}$$

การเกิดปฏิกิริยาของเฟอร์ริคคลอไรด์ในกระบวนการจับก้อน โดยจะทำปฏิกิริยากับความเป็นด่างในน้ำเสียหรือกับปูนขาวที่เติมลงไป เกิดเป็นตะกอนของ "ไฮดรอกไซด์" ดังสมการที่ 2.2

$$2FeCl_3 + 3Ca(OH)_2 \longrightarrow 2Fe(OH)_3 \downarrow + 3CaCl_2 \quad \text{.....(2.2)}$$

1 ppm ของ $FeCl_3$ จะทำปฏิกิริยากับ 0.92 ppm alkalinity as $CaCO_3$ และ 0.72 ppm of Hydrated lime

โดยทั่วๆไป เฟอร์ริคคลอไรด์จะใช้ได้ดีในการกำจัดสีเมื่อพีเอชต่ำๆ และพีเอชสูงๆเฟอร์ริค-คลอไรด์ ก็จะใช้ได้ดีในการกำจัดเหล็ก มังกานีส ซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดสี

ข้อดีของเฟอร์ริคคลอไรด์เปรียบเทียบกับอลูมิเนียมซัลเฟต คือ

ตะกอนของเฟอร์ริคไฮดรอกไซด์ จะหนักกว่าตะกอนของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์และตกตะกอนได้เร็วกว่า และตะกอนของเฟอร์ริคไฮดรอกไซด์ จะไม่กลับมาละลายที่ความเป็นด่างสูงๆ อย่างไรก็ตามเนื่องจากต้องใช้ที่พีเอชสูงทำให้เปลืองด่าง จึงมักใช้กับน้ำที่ผ่านการกำจัดความกระด้างด้วยปูนขาว

การที่เกลือของเหล็กเหมาะที่จะใช้เป็นตัวจับก้อนเพราะมีคุณสมบัติในการตกตะกอนได้มากกว่าทั้งนี้เพราะการตกตะกอนของคอลลอยด์จะมีผลโดยไอออนของอิเลคโทรไลต์ที่เติมลงไปมีประจุตรงข้ามกับอนุภาคของคอลลอยด์ และผลที่เกิดจากไอออนเหล่านั้นจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนประจุบนตัวของมัน

### 1.5.3. สารช่วยจับก้อน (Coagulant aid)

สารช่วยในการจับก้อน เป็นสารที่ช่วยในการทำงานของสารจับก้อนให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เกิดเม็ดตะกอนใหญ่ขึ้น มีความสามารถในการกำจัดอนุภาคคอลลอยด์ออกจากน้ำได้ดี นอกจากนี้ยังช่วยลดเวลาในการตกตะกอนได้ด้วย สารช่วยจับก้อนส่วนใหญ่ มักเป็นพอลิอิเลคโทรไลต์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท (กาญนิถา ครองธรรมชาติ , 2535) ได้แก่

#### 1.5.3.1 พอลิอิเลคโทรไลต์จากวัสดุธรรมชาติ

พอลิอิเลคโทรไลต์เหล่านี้สามารถละลายน้ำได้และส่วนใหญ่ไม่มีประจุ ได้แก่ แป้ง อนุพันธ์ของเซลลูโลส กาแลคโตแมนแนน โพลีแซคคาร์ไรด์ที่ผลิตโดยแบคทีเรีย เจลาตินและกาว

#### 1.5.3.2 พอลิอิเลคโทรไลต์สังเคราะห์

เป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยกลุ่มอนุพันธ์ต่างๆ หลายชนิดเพื่อใช้เป็นตัวสร้างสะพานเชื่อมต่อระหว่างอนุภาคหรือกลุ่มตะกอน เพื่อให้ตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้น (0.3-1 มม.)นอกจากนี้พอลิเมอร์ยังสามารถลดประจุคอลลอยด์ได้อีกด้วย ปกติพีเอชจะไม่มีผลต่อกลไกการเกิดปฏิกิริยาของพอลิเมอร์

เมื่อพิจารณาประจุที่อยู่บนสายพอลิเมอร์ จะสามารถแบ่งพอลิเมอร์ได้เป็น 3 ชนิด คือ

●.แคทไอออนพอลิเมอร์ เป็นพอลิเมอร์ที่มีประจุบวก ใช้สำหรับดูดซับอนุภาคคอลลอยด์หรือตะกอนที่มีประจุลบ

● แอนไอออนพอลิเมอร์ เป็นพอลิเมอร์ที่มีประจุลบ ใช้แทนที่อนุภาคคอลลอยด์ที่มีประจุลบ และทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างคอลลอยด์กับพอลิเมอร์

●นอนไอออนิกพอลิเมอร์ เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีประจุ เป็นตัวรวมตะกอนโดยอาศัยพันธะไฮโดรเจนระหว่างผิวหน้าของอนุภาคและกลุ่มที่มีขั้วของพอลิเมอร์

## 1.6. เห็ดนางฟ้า

### 1.6.1 แหล่งที่มา

เห็ดนางฟ้าเป็นเห็ดในตระกูลเดียวกับเห็ดนางรม เห็ดนางฟ้าภูฏาน และเห็ดเป๋าฮื้อ เกิดขึ้นแถบเทือกเขาหิมาลัย ที่เมืองจามูและแคชเมียร์ ประเทศอินเดีย มักพบขึ้นตามธรรมชาติบนตอไม้เนื้ออ่อนที่กำลังผุ ชื่อทางวิทยาศาสตร์ของเห็ดนางฟ้า คือ Pleurotus sajor-caju (Fr.) Singer (บุญส่ง วงศ์เกรียงไกร , 2536)จำแนกทางวิทยาศาสตร์ได้ดังนี้

Class : Basidiomycetes

Sub-class : Heterobasidiomycetes

Order : Agaricales

Family : Tricholomataceae

Genus : Pleurotus

Species : Pleurotus sajor-caju

เห็ดนางฟ้าถูกนำไปเลี้ยงในอาหารวุ้นเป็นครั้งแรกโดยJandaik ในปี1974 ต่อมา Rangaswami และ Nadu แห่ง Agricultural University Coimbatore ในอินเดีย เป็นผู้นำเชื้อบริสุทธิ์ของเห็ดนางฟ้ามาฝากไว้ที่ American Type Culture Collection (ATCC) ในอเมริกา เมื่อปี1975 จากนั้นประมาณปี1977 ทางกองวิจัยโรคพืชกรมวิชาการเกษตรเป็นผู้นำเชื้อจาก ATCC เข้ามาในประเทศไทย ปรากฏว่าสามารถเจริญได้ดี

### 1.6.2 ธาตุอาหารและสภาวะที่เห็ดต้องการ (อานนท์ เอื้อตระกูล , 2538)

เห็ดนางฟ้าเติบโตได้ดีที่อากาศร้อนชื้น ใช้น้ำตาลในแง่ของอาหารคาร์โบไฮเดรตได้ดีกว่าพวกโพลีแซคคาไรด์หรืออาหารซับซ้อน

1.6.2.1. ธาตุอาหารที่เห็ดต้องการใช้ในการเจริญเติบโต ได้แก่

●ธาตุคาร์บอน (Carbon) เป็นธาตุอาหารหลักที่เห็ดต้องการนำเอาไปใช้เป็นแหล่งพลังงานในการเจริญเติบโต โดยปกติวัสดุเพาะเห็ดแทบทุกชนิดมีคาร์บอนอยู่อย่างเพียงพอในรูปต่างๆ เช่น เซลลูโลส ลิกนิน คาร์โบไฮเดรต แป้ง น้ำตาล และกรดอินทรีย์ทั้งหลาย เห็ดนางฟ้ามีคุณสมบัติพิเศษที่สามารถย่อยอาหารคาร์บอนที่อยู่ในรูปเชิงซ้อนได้ ทั้งนี้เพราะมีน้ำย่อยชนิดหนึ่งที่สามารถย่อยลิกนินได้คือ แลคเคส (Laccase) ดังนั้นในการเพาะเห็ดนางฟ้าจึงไม่จำเป็นที่จะเพิ่มธาตุคาร์บอนเข้าไป

●ธาตุไนโตรเจน (Nitrogen) เป็นอีกธาตุหนึ่งที่มีความสำคัญเนื่องจาก ธาตุไนโตรเจนมีอยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างต่ำหรือขาดแคลนในวัสดุที่ใช้เพาะถ้าเป็นพืชชั้นสูงโดยทั่วไป หากขาดธาตุไนโตรเจนก็จะมีการเติมให้แก่พืชในรูปของสารอนินทรีย์ เช่น ปุ๋ยแอมโมเนีย หรือปุ๋ยยูเรีย เป็นต้น แต่ธาตุอาหารในรูปดังกล่าว เห็ดไม่สามารถที่จะนำเอาไปใช้ได้ จะต้องเติมในรูปของอินทรีย์สาร เช่น ในรูปของกรดอะมิโน ซึ่งสารเหล่านี้เส้นใยสามารถดูดซึมและนำไปใช้ได้ทันที

●เกลือแร่อื่น ๆ (Other minerals) นอกจากธาตุอาหารหลักที่สำคัญแล้ว ยังมีเกลือแร่ที่จำเป็นอีกหลายชนิดที่เห็ดต้องการนำไปใช้ในการเจริญเติบโต เกลือแร่ดังกล่าวได้แก่ แคลเซียม (Calcium) ฟอสฟอรัส (Phosphorus) โพตัสเซียม (Potassium) และเหล็ก (Iron) ธาตุโพตัสเซียมที่เห็ดต้องการนั้นมีอยู่ในวัสดุเพาะอย่างเพียงพออยู่แล้ว ธาตุที่มักจะต้องทำการเติมลงไป คือ ธาตุแคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็ก

— ธาตุแคลเซียม มีอยู่หลายรูปที่ใช้ในการเพาะเห็ด ซึ่งธาตุแคลเซียมที่เติมเข้าไปในวัสดุเพาะ นอกจากจะเป็นอาหารของเห็ดโดยตรงแล้วยังช่วยให้คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของปุ๋ยดีขึ้น ทำลายสารหรือแก๊สที่อาจเป็นพิษต่อเห็ดได้ ธาตุแคลเซียมที่ใช้กับเห็ดได้แก่ Calcium carbonate Calcium sulfate และCalcium oxide การที่จะเลือกใช้ปูนแคลเซียมในรูปใดนั้น ขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นกรด-ด่าง ของวัสดุเพาะ

— ฟอสฟอรัส เป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของเห็ด เพราะธาตุนี้เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของกรดนิวคลีอิก ควบคุมการแบ่งเซล ส่วนใหญ่ในวัสดุที่ใช้เพาะเห็ดมักมีธาตุฟอสฟอรัส อยู่ในเกณฑ์ที่สูงพอควร แต่หากมีการเติมเข้าไปอีกในรูปและปริมาณที่เหมาะสม จะทำให้คุณภาพดอกเห็ดดีขึ้นและผลผลิตก็สูงขึ้นด้วย

— ธาตุโพตัสเซียม เห็ดเป็นพวกเชื้อราชั้นสูง ไม่สามารถใช้แสงในการสังเคราะห์อาหารจำพวกแป้งและน้ำตาล ดังนั้นความต้องการธาตุโพตัสเซียมจึงมีน้อยกว่าพืชสีเขียวทั่วไป อย่างไรก็ตามโพตัสเซียมก็ยังเป็นธาตุที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งที่เห็ดต้องการนำไปใช้ในการเจริญเติบโต โดยปกติแล้วปริมาณโพตัสเซียมที่มีอยู่ในวัสดุเพาะจะมีอยู่ในปริมาณที่เพียงพอกับความต้องการโดยไม่มีความจำเป็นต้องเติมลงไปอีก

— ธาตุเหล็ก เช่นเดียวกับโพตัสเซียม กล่าวคือมักจะมีอยู่อย่างเพียงพอในอาหารที่ใช้เพาะเห็ดความสำคัญของเหล็กส่วนใหญ่ จะเกี่ยวข้องกับการแบ่งเซล ที่จะทำให้เส้นใยเจริญเติบโตได้อย่างเป็นปกติ

**●วิตามินและฮอร์โมน** (Vitamins and Hormones) มีวิตามินและฮอร์โมนบางชนิดที่สามารถเร่งการเจริญเติบโตของเส้นใยเห็ดและเพิ่มผลผลิตได้เช่นวิตามินบี1 (Thiamine)ช่วยเร่งการเจริญเติบโตของเส้นใย ฮอร์โมนจิบเบอร์เรลลิค แอซิค มีผลทำให้เส้นใยเห็ดเจริญเติบโตรวดเร็วและแน่นหนาขึ้น

1.6.2.2 **สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต**

**●อุณหภูมิ** (Temperature) เห็ดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติในสภาพอากาศร้อนชื้นสามารถเพาะให้ออกดอกในสภาพดินฟ้าอากาศของประเทศไทยได้เป็นอย่างดี อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใย คือ 32°C และสร้างดอกได้ดีที่ 25°C

**●ความชื้น** (Humidity) การที่จะทำให้เห็ดออกดอกให้สมบูรณ์นั้น ระดับของความชื้นในบรรยากาศ ควรจะมีมากกว่า80% ขึ้นไป แต่ไม่ควรเกิน 93% เพราะหากสูงกว่านั้นจะทำให้อากาศถ่ายเทไม่สะดวก และเห็ดจะอุ้มน้ำมากเกินไป

**●แสง** (Light) แม้ว่าเห็ดนางฟ้าจะเป็นเชื้อราชั้นสูงที่ไม่สามารถใช้แสงในการสังเคราะห์อาหารได้ก็ตาม แต่จากการทดลองพบว่า แสงมีผลต่อการเจริญเติบโตของเส้นใย ผลผลิตและคุณภาพของดอกเห็ด กล่าวคือ ขณะที่เส้นใยเห็ดเจริญเติบโตอยู่นั้น หากมีแสง เส้นใยจะเจริญเติบโตช้าลง ในทางตรงกันข้ามถ้าต้องการทำให้เส้นใยที่เจริญในวัสดุเพาะเต็มที่แล้วมารวมตัวกันให้เกิดดอกนั้น หากมีแสงไม่พอ การรวมตัวของเส้นใยเห็ดจะช้าลงและคุณภาพของดอกเห็ดก็จะไม่ดีเท่าที่ควร เช่น ดอกเล็ก สีซีด ก้านสั้น ถ้าเป็นห้องมืดสนิท เส้นใยเห็ดจะไม่สามารถรวมตัวกันสร้างดอกได้ อย่างไรก็ตามขณะที่ดอกเห็ดกำลังเจริญเติบโต แสงที่มากเกินไป ดอกเห็ดจะมีสีเข้ม ก้านสั้น อวบหนา แสงแดดที่ส่องถูกดอกเห็ดหรือเส้นใยเห็ดโดยตรงนาน ๆ อาจเป็นอันตรายต่อเห็ดถึงตายได้

**●อากาศ** (Air) เห็ดเป็นเชื้อราชั้นสูงที่ต้องการออกซิเจนมาใช้ในขบวนการหายใจในการเจริญเติบโต แต่จากการทดลองพบว่า ถึงแม้ทุกขั้นตอนของการเจริญเติบโตของเห็ดต้องการอากาศ แต่ระยะที่เส้นใยเห็ดเจริญเติบโตนั้น พบว่า หากมีออกซิเจนอยู่ในบรรยากาศสูง เส้นใยเห็ดจะมีการสะสมอาหารและรวมตัวกันเป็นดอกได้เร็วขึ้น ทำให้การเจริญเติบโตและการแบ่งเซลช้าลง ด้วยเหตุดังกล่าว ช่วงระยะเวลาที่เส้นใยมีการเจริญเติบโตนั้น ไม่ควรเก็บไว้ในที่ที่มีออกซิเจนสูง ควรเก็บไว้ในที่ที่มีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สูงกว่าบรรยากาศทั่วไปจึงจะดี ใน

ระยะที่เส้นใยเห็ดรวมตัวกันเป็นดอกนั้น ในบรรยากาศจะต้องมีความบริสุทธิ์สูง กล่าวคือมีปริมาณออกซิเจนสูง จึงจะทำให้การเกิดดอกเห็ดสมบูรณ์ได้ แต่ถ้ามีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงในระยะนี้ดอกเห็ดจะไม่เกิดขึ้นหรือเกิดมาแล้วหมวกดอกเล็ก ก้านยาว

●**ความเป็นกรด-ด่าง** (pH) ความเป็นกรด-ด่าง ในวัสดุเพาะหรือน้ำ มีความสำคัญเช่นเดียวกับการเพิ่มธาตุอาหารที่สำคัญลงในวัสดุเพาะ ทั้งนี้เพราะความเป็นกรด-ด่างที่ไม่ถูกต้องในวัสดุเพาะหรือน้ำที่ใช้รดนั้น อาจจะทำให้ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อเห็ดบางอย่างอยู่ในรูปที่เห็ดไม่สามารถเอาไปใช้ได้ เช่น หากมีสภาพเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า6.5 ธาตุอาหารพวกเกลือต่างๆ เช่น เหล็ก โพตัสเซียม แคลเซียม จะถูกตรึงเอาไว้จนเห็ดไม่สามารถเอาไปใช้ได้ แต่ถ้าเป็นด่างมาก (ค่าพีเอช มากกว่า7.5) ทำให้ธาตุจำพวก ฟอสฟอรัส จะถูกตรึง เป็นต้น ดังนั้นก่อนจะมีการเตรียมวัสดุทุกครั้งควรนำเอาวัสดุเพาะมาวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง เสียก่อน โดยให้อยู่ระหว่าง 6.5-7.5

### 1.6.3 วัสดุเพาะเห็ดที่ใช้กันทั่วไปในประเทศไทย

วัสดุเพาะที่ใช้ในการเพาะเห็ดนางฟ้าในถุงพลาสติก มักจะเป็นวัสดุที่หาง่าย ส่วนใหญ่เป็นของที่เหลือใช้ จากการเกษตรอุตสาหกรรม เช่น ฟางข้าว ขี้เลื่อย ขุยมะพร้าว ซังข้าวโพด และใบไม้ เป็นต้น

ตัวอย่างวัสดุที่นิยมใช้โดยทั่วไป (อานนท์ เอื้อตระกูล , 2538) แบ่งออกเป็น

#### 1.6.3.1 ฟางข้าว

เป็นวัสดุที่หาได้ง่าย ราคาถูก มีธาตุอาหารที่เห็ดเอาไปใช้ได้ง่าย และดอกเห็ดที่ได้จากการเพาะด้วยฟางมีรสหวาน และหอมกว่าดอกเห็ดที่เพาะในวัสดุชนิดอื่น แต่อย่างไรก็ตาม ข้อเสียของการใช้ฟางเป็นวัสดุเพาะ คือ ต้องทำการหมักให้เส้นฟางนิ่ม จึงจะสามารถบรรจุลงในถุงและทำให้แน่นได้ โดยใช้เวลาประมาณ 8-10 วัน และการให้ผลผลิตดอกเห็ดในรุ่นแรกๆ จะให้ผลผลิตมาก จากนั้นจะออกดอกน้อย และไม่สม่ำเสมอ ด้วยเหตุผลนี้จึงมักผสมวัสดุอย่างอื่นลงไปด้วย เช่น ซังข้าวโพดบด ขี้เลื่อยไม้เนื้ออ่อน เปลือกถั่วลิสง เป็นต้น

#### 1.6.3.2 ขี้เลื่อย

เป็นวัสดุอีกชนิดหนึ่งที่เหมาะแก่การนำมาเพาะเห็ด เพราะหาง่าย ราคาไม่แพงนัก เป็นชิ้นเล็กๆ บรรจุลงถุงได้ง่ายและรวดเร็ว ขี้เลื่อยไม้เนื้ออ่อนที่สามารถใช้เพาะเห็ดได้เช่น ไม้นุ่น ไม้มะม่วง ไม้งิ้ว ไม้มะกอก ไม้ก้ามปู และไม้ยางพารา ซึ่งไม่จำเป็นต้องทำการหมักก่อนบรรจุ ขี้เลื่อยไม้เนื้ออ่อน ที่นิยมกันอย่างกว้างขวาง ได้แก่ ขี้เลื่อยไม้ยางพารา เป็นขี้เลื่อยที่มีตลอดทั้งปีเนื่องจากยางเป็นพืชเศรษฐกิจที่ต้องทำการตัดและปลูกทดแทนทุกๆ 20-25 ปี ดังนั้นในปีหนึ่งๆ จะมีการตัด

ไม้ยางพาราเป็นจำนวนมาก ในกรณีที่แหล่งของขี้เลื่อยอยู่ห่างจากฟาร์มเพาะเห็ด การใช้ขี้เลื่อยไม้ยางพารามักมีปัญหา เนื่องจากอาจมียาฆ่าเชื้อราติดมากับขี้เลื่อยจึงต้องนำเอาไปหมัก โดยอาศัยจุลินทรีย์ที่อยู่ในธรรมชาติเป็นตัวช่วยทำลายยางไม้หรือสารพิษที่เป็นอันตรายต่อเห็ดได้และยังช่วยย่อยอาหารที่อยู่ในรูปเชิงซ้อนออกมาเป็นในรูปที่เห็ดนำไปใช้ได้

1.6.3.3. การเพาะด้วยวัสดุอย่างอื่น

วัสดุที่สามารถนำมาเพาะเห็ดได้และราคาถูกอีกเป็นจำนวนมาก ที่สามารถนำมาเพาะเห็ดนางฟ้าอย่างได้ผล ได้แก่ ซังข้าวโพด ต้นไมยราบยักษ์ ต้นข้าวโพด ต้นข้าวฟ่าง ขานอ้อย ขุยมะพร้าว เป็นต้น เมื่อนำวัสดุเหล่านี้มาสับและบดให้ละเอียดเป็นชิ้นเล็กๆ ก็จะสามารถนำไปใช้แทนขี้เลื่อยเพื่อเป็นวัสดุเพาะเห็ดได้ พบว่าให้ผลผลิตสูงและออกดอกนานกว่าการใช้ขี้เลื่อยด้วย แต่เนื่องจากอาจมีเชื้อรามาก จึงต้องทำการหมักร่วมกับเศษของพืชตระกูลถั่วก่อนทำการเพาะ

1.6.4. สูตรอาหารที่ใช้เพาะเห็ดนางฟ้า

สูตรอาหารที่ใช้ในการทำก้อนเชื้อมีหลายสูตร ขึ้นอยู่กับ ชนิดของวัสดุหลักที่ใช้เป็นส่วนผสม สูตรอาหารที่นิยมใช้กันทั่วไป มาลินทร์ กระบวนรัตน์ (2524) ได้รวบรวมสูตรชนิดต่างๆ ไว้ดังนี้

1.6.4.1. **สูตรที่ 1** ประกอบด้วย ฟางสับขนาด 1 นิ้ว จำนวน 4 กก. ขี้ม้า 2 กก. ข้าวโพดป่น 200 กรัม รำละเอียด 200 กรัม และแคลเซียมซัลเฟต 200 กรัม โดยนำฟางแช่น้ำ 1-2 วัน แล้วคลุกกับขี้ม้าและแคลเซียมซัลเฟต ทิ้งไว้ 2-3 วันจึงกลับกองสักครั้ง หมักจนกระทั่งฟางมีสีขาแก่ จึงเติมรำและข้าวโพดป่น คลุกเคล้าให้ดีและบรรจุใส่ถุง นำไปฆ่าเชื้อ

1.6.4.2. **สูตรที่ 2** ประกอบด้วย ฟางสับยาว 1 นิ้ว จำนวน 10 กก. ขี้ม้า 300 กรัม ปุ๋ยดับ-เบิ้ลซุปเปอร์ฟอสเฟต 300 กรัม แคลเซียมคาร์บอเนต 10 กรัม ข้าวโพดป่น 300 กรัม และรำละเอียด 300 กรัม โดยนำฟางที่สับแล้วแช่น้ำ 1-2 วัน แล้วคลุกกับขี้ม้าและปุ๋ยดับเบิ้ลซุปเปอร์ฟอสเฟต หมั่นกลับกอง 3 วันต่อ 1 ครั้ง เมื่อกลับกองครั้งที่ 2 จึงเติมแคลเซียมคาร์บอเนตลงไปแล้วหมักต่อจนฟางมีสีขาแก่ จึงเติมรำและข้าวโพดป่นคลุกเคล้าให้ทั่วและบรรจุลงถุงทันที ก่อนนำไปฆ่าเชื้อ

1.6.4.3. **สูตรที่ 3** ประกอบด้วย ฟางสับยาง 1 นิ้ว จำนวน 10 กก. ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 100 กรัม ปุ๋ยดับเบิ้ลซุปเปอร์ฟอสเฟต 100-200 กรัม แคลเซียมซัลเฟต 100-200 กรัม ข้าวโพดป่น 300 กรัม และรำละเอียด 300 กรัม ซึ่งวิธีการผสมทำเช่นเดียวกับสูตรที่1 และสูตรที่ 2

1.6.4.4. **สูตรที่** 4 ประกอบด้วยขี้เลื่อยแห้ง 100 กก. รำละเอียด 10-12 กก. กากถั่วป่น 1 กก. ใบกระถินป่น 1 กก. ข้าวโพดหรือข้าวฟ่างป่น 2 กก. แมกนีเซียมซัลเฟต 200 กรัม และแคลเซียมซัลเฟต 2 กก. โดยทำการผสมแคลเซียมซัลเฟต ใบกระถินป่น รำละเอียด กากถั่วป่น ข้าวโพดหรือข้าวฟ่างป่นลงในขี้เลื่อย คลุกเคล้าให้เข้ากัน ละลายแมกนีเซียมซัลเฟตในน้ำแล้วรดลงบนกองขี้เลื่อย ตรวจสอบความชื้นในขณะกลับกองด้วยการทดลองบีบ หากความชื้นอยู่ในระดับพอดีจะต้องมีน้ำออกมาเล็กน้อย บรรจุลงถุง แล้วนำไปฆ่าเชื้อ

1.6.4.5. **สูตรที่** 5 ประกอบด้วย ขี้เลื่อยไม้เนื้ออ่อน 100 กก. รำละเอียด 5 กก. ปุ๋ยยูเรีย 300 กรัม แคลเซียมคาร์บอเนต 1 กก. แคลเซียมซัลเฟต 500 กรัม และแมกนีเซียมซัลเฟต 200 กรัม โดยนำรำละเอียด แคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมซัลเฟตผสมลงในกองขี้เลื่อย ละลายแมกนีเซียมซัล-เฟต และปุ๋ยยูเรียลงในน้ำ แล้วราดลงบนกองขี้เลื่อย คลุกเคล้าให้เข้ากัน บรรจุลงถุงแล้วนำไปฆ่าเชื้อ

1.6.4.6. **สูตรที่** 6 ประกอบด้วยส่วนผสมซังข้าวโพดและเศษพืชตระกูลถั่วป่นในอัตราส่วน 4:1 จำนวน 100 กก. ปุ๋ยยูเรีย 500 กรัม แคลเซียมเซียมไฮดรอกไซด์ 1 กก. แคลเซียมซัลเฟต 1 กก. ปุ๋ยหินฟอสเฟต(สูตร 0-3-0) 1 กก. โดยนำส่วนผสมทุกอย่างผสมเข้าด้วยกัน ยกเว้นปุ๋ยหินฟอสเฟตและแคลเซียมซัลเฟต รดน้ำลงบนกองขี้เลื่อย ทิ้งไว้ 3 วันจึงกลับกอง หมักต่อไปอีก 2-3 วัน จึงกลับกองอีกครั้งหนึ่ง การกลับกองในครั้งนี้ให้ทำการเติมปุ๋ยหินฟอสเฟตและแคลเซียมซัลเฟตเข้าไป ทำการหมักต่อ 2-3 วัน แล้วจึงบรรจุลงถุงก่อนนึ่งฆ่าเชื้อ

1.6.5 **คุณค่าทางโภชนาการของเห็ด**

จากรายงานของวรพจน์ สุนทรสุขและลีณา ลีลาศวัฒนกิจ (2541) กล่าวว่า จากการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของเห็ดหลายชนิดพบว่า เห็ดจัดเป็นอาหารที่มีปริมาณโปรตีนค่อนข้างสูง คือประมาณ 19-35%(ต่อน้ำหนักแห้ง) โดยมีกรดอะมิโนทุกชนิดเป็นองค์ประกอบในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดอะมิโนที่มีความสำคัญต่อร่างกาย และชนิดที่ร่างกายมนุษย์ไม่สามารถสร้างขึ้นเองได้จะพบในเห็ดปริมาณสูง ได้แก่ ไลซีน(lysine) ลูซีน(leucine) เมไทโอนีน (methionine) ทริปโตเฟน(tryptophan) ทรีโอนีน(threonine) วาลีน(valine) ไอโซลูซีน(isoleucine) ซีลเทอีน(cysteine) และฟีนิลอลานีน(phenyalanine) นอกจากนี้เห็ดยังมีไขมันน้อยและมีสัดส่วนของกรดไขมันประเภทไม่อิ่มตัวสูง(72-85%)เทียบกับกรดไขมันทั้งหมด เห็ดยังมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง คือประมาณ 51-88% (ต่อน้ำหนักแห้ง) และมีปริมาณไฟเบอร์ประมาณ 4-20%

(ต่อน้ำหนักแห้ง) เห็ดยังเป็นแหล่งวิตามินและแร่ธาตุที่สำคัญหลายชนิด เช่น วิตามินบีหนึ่ง วิตามินบีสอง วิตามินบีห้า วิตามินซี แคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็ก เป็นต้น

และผลการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของเห็ดนางฟ้า จะเห็นได้ว่า เห็ดชนิดนี้มีคุณค่าทางอาหารไม่แพ้เห็ดชนิดอื่นเลย โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีโปรตีนอยู่ในเกณฑ์ที่สูงมากกว่าเห็ดชนิดอื่น นอกจากนี้ยังอุดมไปด้วยวิตามินและเกลือแร่ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายอีกหลายชนิด เห็ดนางฟ้ายังมีคุณสมบัติทางยาไม่แพ้เห็ดชนิดอื่นที่มีราคาแพงเช่น เห็ดหอม เห็ดหลินจือ เห็ดหูหนูขาว คุณสมบัติทางยาดังกล่าวได้แก่ คุณสมบัติลดไขมันในเส้นเลือด อันเนื่องจากสารอิริตาดีนีน (Eritadenine) ที่มีอยู่ในเห็ด การบริโภคเห็ดชนิดนี้เป็นประจำ จึงเหมาะสมสำหรับบุคคลที่มีปัญหาเกี่ยวกับโรคหัวใจ โรคความดันโลหิตสูงหรือไขมันในเส้นเลือดสูง

## 1.7.งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 1.7.1. การบำบัดน้ำทิ้ง

ปี1985 Mohd และ Ahmad ได้ทำการทดลองใช้วิธีการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมยางด้วยระบบการหมุนของแผ่นชีวภาพ(Rotating biodisc system) ซึ่งเป็นกระบวนการบำบัดขั้นที่ 2 โดยใช้แผ่นอะลูมิเนียม 20 แผ่น เรียงตัวตามแนวนอน แต่ละแผ่นห่างกัน 2 ซ.ม. ในขณะที่หมุนแต่ละแผ่นจะสัมผัสกับเชื้อจุลินทรีย์และน้ำเสีย รวมทั้งปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ด้วย จากการทดลองพบว่าการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีนี้สามารถลดค่าซีโอดี(Chemical Oxygen Demand , COD)ได้ถึง85% เมื่อมีปริมาณของค่าซีโอดีเริ่มต้นเป็น 2.8 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในขณะที่ความสามารถในการลดปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนจะน้อยกว่า 50% แต่ถ้าปริมาณซีโอดีเริ่มต้นน้อยกว่า0.6 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน จะสามารถลดปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนได้ถึง85% เมื่อพิจารณาในแง่ของพื้นที่ของแผ่นอะลูมิเนียมที่ใช้ พบว่าถ้าใช้แผ่นชีวภาพ(Biodisc)ที่มีพื้นที่เป็น0.01 กิโลกรัมซีโอดีต่อตารางเมตรต่อวันและ0.001กิโลกรัมแอมโมเนีย-ไนโตรเจนต่อตารางเมตรต่อวัน จะสามารถลดค่าซีโอดีและแอมโมเนีย-ไนโตรเจนได้ถึง85% นั่นคือด้วยปริมาตรและพื้นที่ของแผ่นชีวภาพนี้จะปล่อยน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีและแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่มีค่าน้อยกว่า 80 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

1986 Ahmad และ John ได้ทำการทดลองการใช้ระบบการให้อากาศ 2 ระบบในการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานผลิตน้ำยางข้น ซึ่งตั้งอยู่ในตัวเมืองหรือในที่ที่มีพื้นที่จำกัด ได้แก่ระบบการให้อากาศที่ผิวน้ำด้านบนหรือออกซิเดชั่นดิช (Oxidation ditch) และระบบการให้อากาศใต้น้ำของตะกอนเร่ง (Submerged Aeration Activated Sludge system , SAAS) ผลการทดลองพบว่า ทั้ง

2 ระบบมีประ-สิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ได้พอควรโดยสามารถลดค่าบีโอดี(Biochemical oxygen demand , BOD)ลงได้เพียง 37% สำหรับระบบoxidation ditch และ 60% ในระบบSAAS แต่ไม่สามารถลดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total-Nitrogen) ได้ นั่นคือ ในระบบoxidation ditch จะลดปริมาณไนโตรเจนลงได้ 10.8% และระบบSAASลดปริมาณไนโตรเจนได้ 34.2% จากการพิจารณาในแง่ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำงานแต่ละระบบ พบว่าในระบบ oxidation ditch จะใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่า 2 เท่าของระบบ SAAS (9.18 กิโลกรัมบีโอดีต่อกิโลวัตต์ต่อวันและ 16.88 กิโลกรัมบีโอดีต่อกิโลวัตต์ต่อวันตามลำดับ) โดยต้นทุนในการบำบัดนั้นใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 600,000 ringgit

1989 Nordin และ Mohd ได้ทำการศึกษาในระดับนำร่องของการใช้วิธีการบำบัดน้ำทิ้งในส่วนที่เป็นน้ำซีรั่มที่แยกได้จากน้ำยางสดผ่านการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobically digested diluted field latex serum) ของโรงงานผลิตยางแท่ง ด้วยระบบการเลี้ยงสาหร่ายในบ่อบำบัด (High Rate Algal Pond , HRAP) ปรากฏว่าในระยะเวลาเพียง 6 วัน สามารถบำบัดน้ำทิ้งได้เป็นที่น่าพอใจ โดยสามารถลดค่าบีโอดีและปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ได้ตามค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของประเทศมาเลเซีย(ค่าบีโอดีไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตรและปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดไม่เกิน 60 มิลลิกรัมต่อลิตร) แต่สำหรับค่าของแข็งแขวนลอย(Suspened Solids, SS)นั้น ยังไม่สามารถกำจัดออกไปได้เท่าที่ควร สำหรับความสามารถในการกำจัดปริมาณไนโตรเจนนั้น ในระบบHRAP ต้องการใช้พื้นที่ในการกำจัดน้อยกว่าระบบแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic/Facultative pond) โดยใช้ประมาณ 60% และระบบนี้สามารถลดต้นทุนในการบำบัดลงได้ โดยจะได้คืนในรูปของสาหร่ายกลับมาแทน

1993 Nordin ทำการศึกษาการออกแบบมาตรฐานในการสร้างระบบที่เต็มรูปแบบในการบำบัดน้ำทิ้งส่วนที่เป็นน้ำซีรั่มที่แยกได้จากน้ำยางสดซึ่งถูกย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในขั้นตอนของการผลิตยางแท่ง โดยการใช้ระบบบำบัดแบบการเลี้ยงสาหร่ายในบ่อบำบัด(HRAP)ร่วมกับการกรองด้วยทรายขนาดต่างๆ (Intermittent sand filter , ISF) พบว่า ระบบนี้อาจจะช่วยยกระดับประ-สิทธิภาพในการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนให้คงใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้น และช่วยลดต้นทุนในการบำบัดน้ำทิ้งรวมทั้งสามารถได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสาหร่ายกลับคืนมาด้วย อย่างไรก็ตามการพัฒนาในระบบที่เต็มรูปแบบของการบำบัดด้วยวิธีนี้ ยังคงมีข้อบกพร่องอยู่อีกมาก

### 1.7.2. การจำแนกเชื้อแบคทีเรียเพื่อย่อยสลายเศษยาง

ปี1936 Spence และ Van Niel ได้ทดลองทำการย่อยสลายเนื้อยางโดยใช้แบคทีเรียที่อยู่ในน้ำยาง สายพันธุ์ *Hevea brasiliensis* , Muell . Arg) พบว่าสามารถจำแนกเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำยาง จำพวก Actinomyces ได้มากกว่า 4 สายพันธุ์

1938 Kalinenko ได้พบสายพันธุ์ของ Streptomyces ซึ่งสามารถใช้เศษยางที่เน่าเปื่อยเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญอีกตัวหนึ่งด้วย

1952 Shaposhnikov ได้ศึกษาผลการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียที่อยู่ในยางธรรมชาติ พบว่าเชื้อจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ โดยใช้ส่วนที่ไม่ใช่ยาง เช่น โปรตีน เรซิน และคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในยางธรรมชาติและการเจริญเติบโตของมันจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ในยางธรรมชาติ ถ้ามีการกำจัดส่วนที่ไม่ใช่ยางออกไป อย่างไรก็ตามเชื้อจุลินทรีย์ที่ถูกคัดแยกเหล่านี้ ก็ยังสามารถเจริญได้ในยางบริสุทธิ์ ได้แก่ยางที่ไม่มีส่วนที่ไม่ใช่ยาง โดยใช้ส่วนที่เป็นสายโพลีไอโซพรีน (polyisoprene chain) ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณคาร์บอนในส่วนนี้อยู่น้อย (กลูโคส = 0.5%) โดยการเจริญเติบโตในช่วงแรกจะใช้แหล่งอาหารที่มาจากส่วนนี้ ต่อจากนั้นจะใช้แหล่งคาร์บอนที่มาจากยางบริสุทธิ์

1992 Lowและคณะ ได้ศึกษาถึงจุลินทรีย์บางชนิดที่สามารถย่อยสลายยางดิบและยางบริสุทธิ์หรือยางที่ไม่มีส่วนของยางซึ่งได้มาจากน้ำยางสดที่ผ่านการปั่นแยกแล้ว เรียกส่วนนี้ว่า"ครีมยาง"(rubber cream)โดยทำการคัดแยกเชื้อจุลินทรีย์จากเปลือกไม้ ยางที่จับก้อนในถ้วยน้ำยาง (cuplumps) และเศษยางที่อยู่ในดินด้วยวิธีการเจือจางเชื้อในน้ำยางที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ในอัตราส่วน 1:10,000 จากนั้นจึงนำไปทดสอบความสามารถในการทำให้น้ำยางใสขึ้น ปรากฏว่า มีจุลินทรีย์มากกว่า 200 ชนิด ส่วนใหญ่เป็นพวก Actinomycete และจีนัส Fusarium Trichoderma Penicillium Paecilomyces และ Aspergillus ที่สามารถใช้ยางธรรมชาติเป็นแหล่งอาหาร นอกจากนี้ ยังศึกษาความสามารถในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในยางบริสุทธิ์ จากการทดลอง พบว่าน้ำหนักของยางบริสุทธิ์ลดลงประมาณ 5-10% และน้ำหนักโมเลกุลพอลิเมอร์ของยางบริสุทธิ์ลดลงเล็กน้อย นั่นคือ การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์จะเกิดขึ้นที่ปลายสายพอลิเมอร์มากกว่าการแตกภายในสายพอลิเมอร์ ซึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสายพอลิเมอร์เกิดขึ้น

### 1.7.3. การใช้น้ำซีรัมให้เป็นประโยชน์ในด้านต่างๆ

ปี1989 Tajima จากบริษัทโยโกฮามา รับเบอร์ จำกัด(Yokohama rubber Company Ltd., Japan)ประเทศญี่ปุ่นร่วมกับสถาบัวิจัยยาง ประเทศมาเลเซีย ได้ศึกษาถึงการนำน้ำซีรัมมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพของยางธรรมชาติให้มีคุณภาพดีเท่ากับยางสังเคราะห์ พบว่าสามารถปรับปรุงคุณภาพของยางดิบได้เมื่อเติมน้ำซีรัม 1-3 p.h.r. จะทำให้ค่า $P_o$ (wallace plasticity) และค่าความหนืด (mooney viscosity) เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความแข็ง จะลดลงสำหรับยาง SMRL แต่ในยาง SMR CV จะไม่มีผลต่อสมบัติเหล่านี้

1989 Lau และ Subbramaniam ได้ศึกษาถึงการใช้ประโยชน์จากน้ำซีรัม โดยใช้น้ำซีรัมในรูปของปุ๋ยน้ำ (NRS fertiliser) โดยเตรียมสูตรอาหารของปุ๋ยน้ำซีรัมที่มีสูตรอาหาร N:P:K เป็น

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


8:8:8 เทียบกับปุ๋ยเคมี (NPK fertiliser) พบว่าปุ๋ยน้ำซีรัมสามารถใช้ได้ดีกับผักที่มีใบ เช่น ผักโขม (spinach) ซึ่งให้ผลผลิตมากกว่า76% เมื่อเทียบกับปุ๋ยเคมี และเมื่อทำการทดลองปลูกผักSawi (Brassica Juncea) โดยใช้ปุ๋ยน้ำซีรัมที่ผสมกับปุ๋ยมูลไก่เทียบกับปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว โดยมีระดับของสารอาหารเท่ากันพบว่า ปุ๋ยน้ำซีรัมที่ผสมกับปุ๋ยมูลไก่จะให้ผลผลิตที่สูงกว่าเทียบกับการปลูกด้วยปุ๋ยเคมี เมื่อทำการเพาะในดินปนทราย และดินเหนียว และอีกการทดลองหนึ่งเป็นการใช้น้ำซีรัมในรูปผงแห้งเป็นอาหารเสริมของสัตว์ โดยผสมเมล็ดปาล์มหมักกับน้ำซีรัมในรูปผงอัตราส่วน 77 : 23 สำหรับเลี้ยงแพะนานกว่า 2 เดือน เทียบกับการเลี้ยงด้วยอาหารเมล็ดปาล์มเพียงอย่างเดียว พบว่าน้ำหนักตัวของแพะลดลงทุกๆ เดือน อาจเนื่องมาจากแพะไม่บริโภคอาหารที่มีเมล็ดปาล์มหมักผสมกับน้ำซีรัม เป็นเพราะว่ารสชาติไม่อร่อย ซึ่งเป็นผลมาจากความเป็นกรดและกลิ่นที่รุนแรงของน้ำซีรัมที่ผสมอยู่ ส่วนการศึกษาความเป็นพิษ ได้ทำการทดลองเลี้ยงหนูด้วยน้ำมันมะกอกที่ผสมกับน้ำซีรัมในรูปผง ปรากฏว่า ทันทีหลังจากที่หนูรับประทานเข้าไปแล้ว มันจะไม่เคลื่อนไหว อยู่นิ่งๆ แต่หลังจากนั้นจะมีอาการปกติหลังจากรับประทานผ่านไปประมาณ 1 ชั่วโมง โดยพบว่าจะไม่มีการตายเกิดขึ้น หลังจากเลี้ยงนาน 7 วันและจะไม่เป็นอันตรายต่ออวัยวะภายในร่างกายของหนูเลย ด้วยเหตุนี้จึงอาจใช้น้ำซีรัมในรูปผงแก่สัตว์ต่างๆ ก่อนที่จะนำไปฆ่าได้โดยใช้แทนยาประเภทกด-ประสาท

1996 Oikiและคณะ ทำการทดลองหาอิทธิพลของอาหารต่อการเจริญเติบโตของ *Bifidobacterium bifidum*โดยทำการเลี้ยงจุลินทรีย์ชนิดนี้ในสูตรอาหารที่เสริมด้วยผงซีรัมที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปน (papain-digested NRSP) เทียบกับสูตรอาหารปกติที่ไม่เสริมด้วยผงซีรัม พบว่า ซีรัมในรูปผงมีผลต่อการเจริญเติบโตของ bifidobacterium อย่างมากเช่นเดียวกับเมื่อเลี้ยงในสูตรอาหารปกติที่มีเคซีน (casein) การเติมน้ำซีรัมในรูปผงลงในสูตรอาหารนั้นจะช่วยเพิ่มขบวนการสร้างเมตาบอลิซึมและผลผลิตให้มากขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังพบว่า แอมโมเนียซัลเฟตซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในน้ำซีรัมจะช่วยในการเจริญเติบโตของbifidobacterium โดยเป็นแหล่งไนโตรเจน

2531 พิมพรรณ ต้นสกุลและอารักษ์ จันทศิลป์ ได้ทำการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง(Spirulina sp.) ในน้ำทิ้งจากโรงงานยางปักษ์ใต้ อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา โดยนำน้ำทิ้งมาตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง นำเฉพาะส่วนใสกรองเอาตะกอนออก น้ำที่กรองได้นำมาปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็น 8 แล้วนำไปฆ่าเชื้อโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอที่ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที พบว่าน้ำทิ้งที่ไม่เจือจางนั้น สาหร่ายเกลียวทองเจริญเติบโตได้มากที่สุด และจากการเติมสารอาหารหลักบางตัวที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กันลงไปในน้ำทิ้งจากโรงงานยาง พบว่า อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายเกลียวทอง จะสูงสุดเมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมไนเตรท ($NaNO_3$) ความเข้มข้น 2.5 กรัมต่อลิตร ส่วนการเพิ่มปริมาณของโพตัสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต

($K_2HPO_4$)และ ไดโพตัสเซียมซัลเฟต($K_2SO_4$) นั้นพบว่า ไม่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเกลียวทอง

## 1.8. วัตถุประสงค์การทดลอง

### 1.8.1 การบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมยาง

โรงงานอุตสาหกรรมยางที่อยู่ในประเทศไทยส่วนใหญ่ ได้แก่ โรงงานผลิตยางแท่ง โรงงานผลิตน้ำยางข้น และโรงงานที่มีการผลิตทั้งยางแท่งและน้ำยางข้น ซึ่งก่อให้เกิดน้ำเสียที่มีความสกปรกแตกต่างกันด้วย และจากงานวิจัยที่เกี่ยวกับการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมยางนั้น ส่วนใหญ่จะเป็นการบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีทางชีวภาพ โดยยังไม่มีงานวิจัยใดที่ใช้วิธีการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมยางด้วยวิธีทางเคมีเลย ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีทางเคมีของโรงงานอุตสาหกรรมยางประเภทต่างๆ ได้แก่ การบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานผลิตยางแท่ง น้ำทิ้งของโรงงานการผลิตน้ำยางข้น และน้ำทิ้งรวมที่มาจากการผลิตยางแท่งและน้ำยางข้น โดยเปรียบเทียบต้นทุนการบำบัดน้ำแต่ละประเภทไว้ด้วย เพื่อเป็นแนวทางในการเทียบเคียงกับความเป็นไปได้ในการลงทุนปฏิบัติจริงกับโรงงานอุตสาหกรรมยาง นอกจากนี้ยังได้ทำการทดลองเติมอากาศลงไปหลังการบำบัดทางเคมีในปริมาณต่างๆและคัดแยกเชื้อที่มาจากน้ำทิ้งของโรงงานยางประเภทต่างๆอีกด้วย โดยมีวัตถุประสงค์ในการวิจัย ดังนี้

1.8.1.1 เพื่อศึกษาความสามารถในการใช้สารเคมีในการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมยาง เพื่อให้ค่าความขุ่นลดลงมากที่สุด

1.8.1.2 ศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานยางทั้ง 3 ประเภท

1.8.1.3 ศึกษาประสิทธิภาพในการเติมอากาศลงไปหลังการบำบัดทางเคมี เพื่อให้ค่าบีโอดีและค่าของแข็งแขวนลอยลดลงมากที่สุด

1.8.1.4 สามารถคัดแยกและจำแนกเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำทิ้งของโรงงานยางประเภทต่างๆ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์

### 1.8.2 การประยุกต์ใช้ในการเพาะเห็ด

น้ำทิ้งของโรงงานผลิตน้ำยางข้น ซึ่งภายหลังการแยกเนื้อยางออกแล้วจะได้ส่วนที่เป็นน้ำซีรัม ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในหลาย ๆ ด้าน ดังกล่าวข้างต้น จากแนวความคิดนี้ผู้วิจัยเห็นว่าน้ำซีรัมซึ่งมีสารอาหารและแร่ธาตุต่างๆมากมาย จึงน่าจะนำน้ำซีรัมเหล่านี้ผสมในวัสดุเพาะเห็ดเพื่อเป็นแหล่งอาหารที่สามารถทดแทนปุ๋ยยูเรีย เพื่อลดต้นทุนในการเพาะเห็ด และเป็นการลดปัญหามลภาวะทางน้ำได้อีกทางหนึ่งด้วย ซึ่งยังไม่มีงานวิจัยใดที่ทำการศึกษาทางด้านนี้ โดยทำ

การศึกษาความสามารถในการใช้น้ำทิ้งที่ได้จากการคัดแยกหางน้ำยางในการเพาะเห็ดนางฟ้าซึ่งเป็นเห็ดที่เพาะเลี้ยงได้ง่าย เจริญที่อุณหภูมิประมาณ 25-32°C และสภาพอากาศร้อนชื้น นอกจากนี้ยังตรวจสอบสมบัติของดอกเห็ดในเชิงอาหารด้วย ซึ่งมีวัตถุประสงค์การทดลอง ดังนี้

1.8.2.1 ศึกษาปริมาณน้ำซีรัมที่เหมาะสมในการเพาะเห็ดนางฟ้าโดยเติมอาหารขี้เลื่อยไม้ยางพาราเพียงอย่างเดียว

1.8.2.2 ศึกษาปริมาณน้ำซีรัมใช้ทดแทนยูเรียในการเพาะเห็ดนางฟ้าโดยเติมรำ แมกนีเซียมซัลเฟต แคลเซียมคาร์บอเนต และแคลเซียมซัลเฟตเท่านั้น

1.8.2.3 ศึกษาปริมาณรำที่เหมาะสมหลังจากผสมน้ำซีรัมลงในวัสดุเพาะเห็ด

1.8.2.4 ตรวจสอบปริมาณของสารพิษที่อยู่ในดอกเห็ดนางฟ้าเปรียบเทียบกับดอกเห็ดที่เพาะในวัสดุปลูกที่มี0.3%ยูเรียโดยน้ำหนัก และค่าที่ยอมรับได้ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย