บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาคุณลักษณะของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อม

จากการสำรวจและเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อม ตำบลทุ่งโฮ้ง อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ พบว่ามีน้ำเสียเกิดจากขั้นตอนการผลิต 2 ประเภท คือ น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการย้อมผ้า และน้ำเสียรวมในถังพักน้ำเสีย (ภาพ 11 และ ภาพ 12 ตามลำดับ)

(ก)

(ข)

ภาพ 11 น้ำเสียน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการย้อมผ้าของอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อม ตำบลทุ่งโฮ้ง อำเภอเมือง จังหวัดแพร่

หมายเหตุ (ก) น้ำฟอกย้อมเทียน

(ข) น้ำฟอกย้อม

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

(ก)

(ข)

ภาพ 12 น้ำเสียจากถังพักน้ำเสียรวมของอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อม ตำบลทุ่งโฮ้ง อำเภอเมือง จังหวัดแพร่

หมายเหตุ (ก) น้ำล้างผ้าหม้อฮ่อม

(ข) ถังพักน้ำเสียรวม

ซึ่งเมื่อนำตัวอย่างน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อม ทั้ง 2 ประเภท คือ น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการย้อมผ้าและน้ำเสียรวมในถังพักน้ำเสียมาวิเคราะห์ค่าเอฟซีโอดี บีโอดี พีเอช และความเข้มสี (ตาราง 2)

ตาราง 2 การวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อม

คุณลักษณะ	น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการย้อมผ้า	น้ำเสียรวมในถังพักน้ำเสีย
เอฟซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	6,933	511
บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	4200	180
พีเอช	6.85	9.02
ความเข้มสี (OD 665 nm)	4.60	1.34

จากตาราง พบว่าน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการย้อมผ้ามีค่าเอฟซีโอดีและบีโอดี เท่ากับ 6,933 และ 4,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ น้ำเสียรวมในถังพักน้ำเสียมีค่าเอฟซีโอดีและบีโอดี เท่ากับ 511 และ 180 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการย้อมผ้า มีค่าเอฟซีโอดีและบีโอดีสูงกว่าน้ำเสียรวมในถังพักน้ำเสีย ทั้งนี้เนื่องจากในขั้นตอนการฟอกย้อมมี

การใช้สารเคมีช่วยย้อม มีแป้งบางส่วนที่ติดมากับผ้าซึ่งแป้งจะเป็นตัวหนึ่งที่ทำให้ค่าเอฟซีโอดี และบีโอดีมีค่าสูง ส่วนน้ำเสียจากถังพักน้ำเสียรวมส่วนใหญ่จะเป็นน้ำจากขั้นตอนการล้างซึ่งจะมีส่วนประกอบของสีและสารเคมีปนเปื้อนต่างๆ ติดมาน้อยจึงมีผลให้ค่าเอฟซีโอดีและค่าบีโอดีมีค่าต่ำกว่าน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการย้อมผ้าเนื่องจากน้ำเสียถูกเจือจางลงแล้ว

น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการย้อมผ้ามีค่าพีเอชเท่ากับ 6.85 น้ำเสียรวมในถังพักน้ำเสียมีค่าพีเอชเท่ากับ 9.02 น้ำเสียรวมในถังพักน้ำเสียมีค่าพีเอชสูงกว่าน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการย้อมผ้าเนื่องจากน้ำเสียในถังพักน้ำเสียรวมถูกเจือจางในการล้างแต่ละครั้งและถูกรวบรวมไว้ในถังพักน้ำเสียรวมจึงทำให้ค่าพีเอชสุดท้ายของน้ำเสียรวมในถังพักน้ำเสียมีค่าเพิ่มขึ้น

ส่วนความเข้มสีของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการย้อมผ้ามีค่าเท่ากับ 4.60 น้ำเสียรวมในถังพักน้ำเสียมีค่าเท่ากับ 1.34 จะเห็นได้ว่าน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการย้อมผ้ามีความเข้มสีสูงกว่าน้ำเสียรวมในถังพักน้ำเสีย เนื่องจากน้ำเสียในถังพักน้ำเสียรวมมีสีที่เกิดขึ้นในปริมาณน้อยกว่าขั้นตอนการฟอกย้อมซึ่งน้ำเสียรวมในถังพักน้ำเสียส่วนใหญ่จะเป็นน้ำล้างของแต่ละขั้นตอน ดังนั้นสีจากการฟอกย้อมจึงถูกเจือจางเป็นลำดับ ส่งผลให้น้ำเสียรวมในถังพักน้ำเสียมีความเข้มสีน้อยกว่าน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการย้อมผ้า ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีการกำหนดมาตรฐานสีในน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมที่แน่นอนว่าควรอยู่ในเกณฑ์ใดเพียงแต่ระบุว่าสีของน้ำต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจเท่านั้น ซึ่งปัญหาปัจจุบันที่สำคัญของสีย้อมในน้ำทิ้งไม่ได้อยู่ที่ความเป็นพิษของสีย้อมแต่อยู่ที่สีของน้ำทิ้ง (Shaw *et al.*, 2002) ดังนั้นจึงควรมีการกำจัดสีก่อนปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติเพื่อไม่ให้ส่งผลเสียต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ เช่น ไปบดบังความเข้มของแสงอาทิตย์ไม่ให้ส่องผ่านลงสู่ผิวน้ำ ลดการสังเคราะห์แสงของพืชใต้น้ำและแพลงตอนก์พืช ซึ่งจะส่งผลต่อระบบออกซิเจนละลายทำให้พืชบางชนิดและสิ่งมีชีวิตในน้ำตายได้ (ประนัดดา, 2548)

การศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการกำจัดสีในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อม

1. การคัดแยกเชื้อ

เมื่อนำตัวอย่างน้ำที่ผ่านกระบวนการย้อมผ้า น้ำจากถังพักน้ำเสียรวมและดินบริเวณโรงงานฟอกย้อม มาคัดแยกเชื้อจุลินทรีย์ พบว่า สามารถคัดแยกเชื้อจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด 126 ไอโซเลต (ตาราง 3)

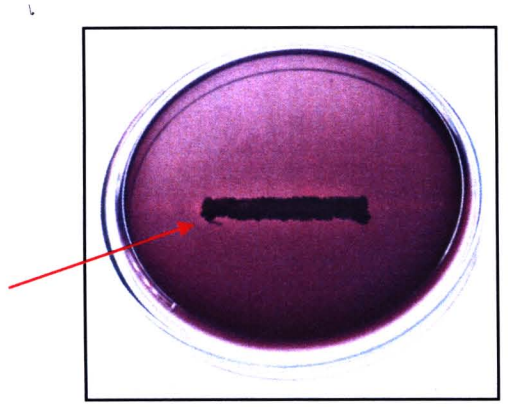
ตาราง 3 เชื้อจุลินทรีย์ที่คัดแยกได้จากแหล่งต่าง ๆ

ลำดับ	แหล่งที่คัดแยกเชื้อ	จำนวนไอโซเลต	รหัสเชื้อ
1	น้ำที่ผ่านกระบวนการย้อมผ้า	46	SP-L1 – SP-L46
2	น้ำจากถังพักน้ำเสียรวม	32	SP-M1- SP-M32
3	ดินบริเวณโรงงานฟอกย้อม	48	SP-D1- SPD48

เมื่อนำเชื้อจุลินทรีย์ที่คัดแยกได้จากตัวอย่างน้ำที่ผ่านกระบวนการย้อมผ้า น้ำจากถังพักน้ำเสียรวม และดินบริเวณโรงงานฟอกย้อม จำนวน 126 ไอโซเลท มาทดสอบความสามารถในการกำจัดสีในอาหารแข็งสูตร NA ผสมสีย้อมสิ่งทอสังเคราะห์ พบว่า เชื้อจุลินทรีย์จำนวน 15 ไอโซเลต สามารถทำให้สีของอาหารจางลงบริเวณรอบโคโลนีของเชื้อ (clear zone) ได้แก่ เชื้อจุลินทรีย์ไอโซเลท SP-L1, SP-L2, SP-L3, SP-L4, SP-L5, SP-L6, SP-L7, SP-M1, SP-M2, SP-M3, SP-M4, SP-M5, SP-D1, SP-D2 และ SP-D3 (ตาราง 4 และ ภาพ 13)

ตาราง 4 จำนวนไอโซเลทของเชื้อจุลินทรีย์ที่คัดแยกได้จากแหล่งต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดวงใส (clear zone) ในอาหารแข็งสูตร NA ผสมสีย้อมสิ่งทอสังเคราะห์

ลำดับ	แหล่งที่คัดแยกเชื้อ	จำนวนไอโซเลท	รหัสเชื้อ
1	น้ำที่ผ่านกระบวนการย้อมผ้า	7	SP-L1, SP-L2, SP-L3, SP-L4, SP-L5, SP-L6, SP-L7
2	น้ำจากถังพักน้ำเสียรวม	5	SP-M1, SP-M2, SP-M3, SP-M4, SP-M5
3	ดิน	3	SP-D1, SP-D2, SP-D3

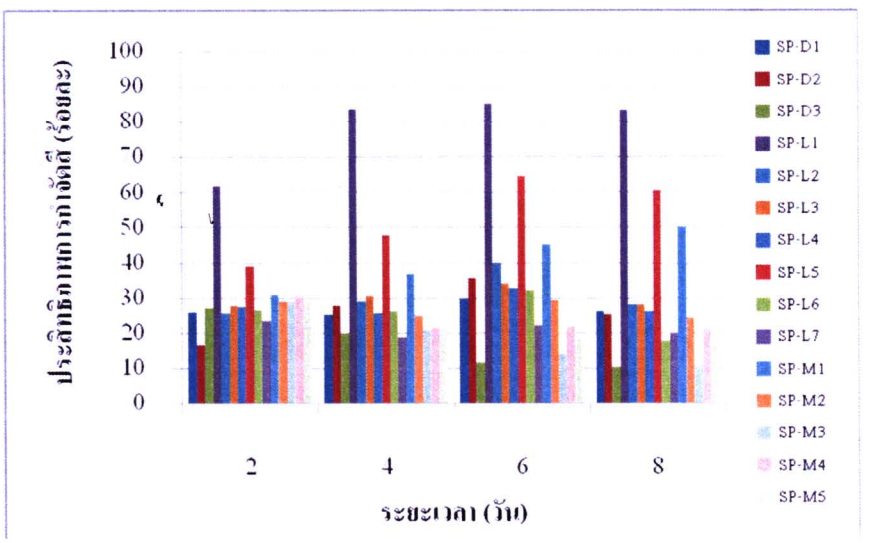


3 การเกิดวงใส (clear zone) ของเชื้อจุลินทรีย์ไอโซเลท SP-L1 ในอาหารแข็งที่ผสมสีน้ำเสียสังเคราะห์

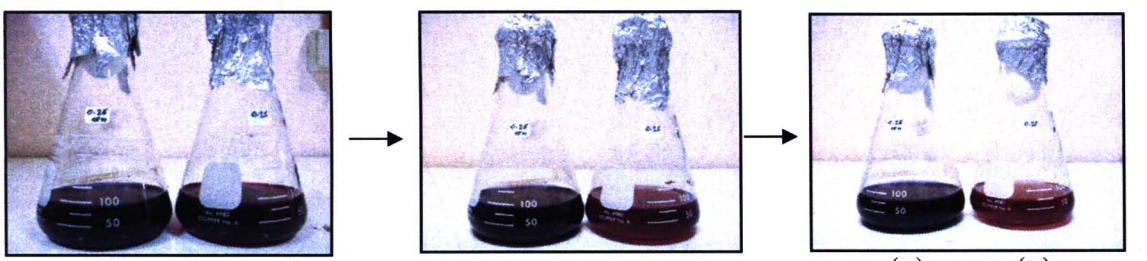
2. การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ในการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีอะโซเป็นองค์ประกอบ

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีอะโซเป็นองค์ประกอบโดยนำเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 15 ไอโซเลท มาทดสอบความสามารถในการกำจัดสีอะโซในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการเติมสีไดเร็กท์ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 วัน โดยทำการบันทึกผลและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ พบว่า เชื้อจุลินทรีย์ไอโซเลท SP-L1 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงสุดร้อยละ 85.2 ที่ระยะเวลา 6 วัน ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 563 นาโนเมตร ลดลงจาก 3.27 เหลือ

0.48 (ภาพ 14 และ 15) โดยให้ค่าแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับไอโซเลทอื่นๆ รองลงมาคือ ไอโซเลท SP-L5 และ SP-M1 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีร้อยละ 64.5 และ 45.2 ตามลำดับ ส่วนไอโซเลทอื่นๆ มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีต่ำกว่าร้อยละ 40 ที่ระยะเวลา 6 วัน จากผลการทดลองที่ได้จึงทำการคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ไอโซเลท SP-L1 มาใช้ในการทดลองต่อไป



ภาพ 14 ประสิทธิภาพการกำจัดสีอะโซในน้ำเสียสังเคราะห์โดยเชื้อจุลินทรีย์แต่ละไอโซเลทที่ระยะเวลา 8 วัน



(ก) (ข) (ก) (ข) (ก) (ข)

ระยะเวลา 2 วัน ระยะเวลา 4 วัน ระยะเวลา 6 วัน

ภาพ 15 สีน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการกำจัดสีด้วยเชื้อจุลินทรีย์ไอโซเลท SP-L1 เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ระยะเวลา 2, 4 และ 6 วัน

หมายเหตุ (ก) ชุดควบคุม

(ข) ชุดการทดลองที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ไอโซเลต SP-L1

3. การตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาและผลการหาลำดับเบสของ DNA ในส่วนของยีน 16S rRNA

นำเชื้อจุลินทรีย์ไอโซเลท SP-L1 ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงสุดมาตรวจดูลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาบนอาหารแข็งสูตร NA โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบเลนส์ประกอบ พบว่าเชื้อจุลินทรีย์ไอโซเลท SP-L1 มีโคโลนีสีขาว ลักษณะของโคโลนีกลม ผิวหน้าแบนราบและขอบหยัก (ภาพ 16) เมื่อศึกษาลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1,000 เท่ามีลักษณะเป็นท่อนต่อกัน ติดสีแกรมบวก (ภาพ 17)

ภาพ 16 ลักษณะการเจริญบนอาหารสูตร NA ของเชื้อจุลินทรีย์ไอโซเลท SP-L1

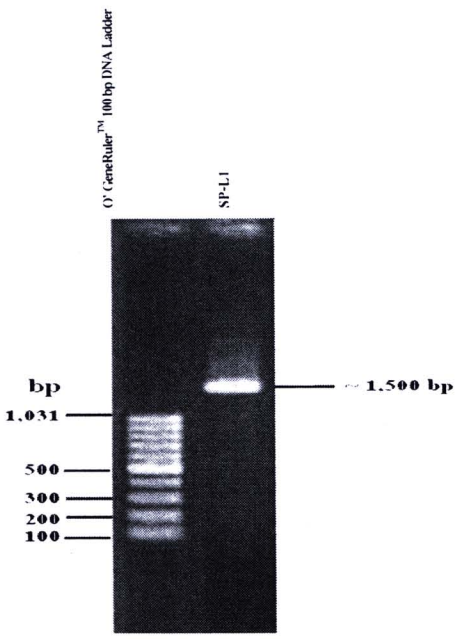
ภาพ 17 รูปร่างและการติดสีแกรมของเชื้อจุลินทรีย์ไอโซเลท SP-L1ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1,000 เท่า

ผลการหาลำดับเบสของ DNA ในส่วนของยีน 16S rRNA

จากการนำเชื้อจุลินทรีย์ไอโซเลท SP-L1 ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงสุดมาสกัดดีเอ็นเอโดยชุดสกัดดีเอ็นเอสำเร็จรูป (Genomic DNA extraction kit) และนำ genomic DNA ที่ได้มาเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอในส่วนของยีน 16S rRNA ด้วยวิธี Polymerase Chain Reaction (PCR) โดยใช้ universal primer 1 คู่ คือ 27F และ 1522R จากนั้นนำ PCR product (ภาพ 18) ที่ได้มาทำให้บริสุทธิ์โดยใช้วิธีการตกตะกอนดีเอ็นเอด้วยเอธานอล แล้วนำ PCR product ที่บริสุทธิ์นี้ไปหาลำดับเบสของดีเอ็นเอในส่วนของยีน 16S rRNA จากนั้นนำลำดับเบสที่ได้จาก primer ทั้ง 1 คู่ ของเชื้อจุลินทรีย์ ไอโซเลท SP-L1 ไปสร้าง contiq ในโปรแกรม BioEdit แล้วนำลำดับเบสที่ได้ไปเทียบความคล้ายจากฐานข้อมูลลำดับเบสใน GenBank โดยใช้โปรแกรม BLAST ได้ผลดังนี้คือ เชื้อจุลินทรีย์ไอโซเลท SP-L1 มีลำดับเบสของยีน 16S rRNA ที่คล้ายกับ *Bacillus amyloliquefaciens* ร้อยละ 100.0 (ตาราง 5 และภาพ 19)

ตาราง 5 การจัดจำแนกเชื้อจุลินทรีย์ไอโซเลท SP-L1 โดยการหาลำดับเบสของ DNA ในส่วนของยีน 16S rRNA

ไอโซเลท	แบคทีเรีย	accession number	identities	ร้อยละ homology
SP-L1	*Bacillus amyloliquefaciens*	GU568197	1400/1400	100.0



ภาพ 18 ผลผลิตพีซีอาร์ของยีน 16S rRNA ของไอโซเลท SP-L1

หมายเหตุ 100 bp DNA ladder คือ ดีเอ็นเอมาตรฐาน O' GeneRuler™ 100 bp DNA Ladder

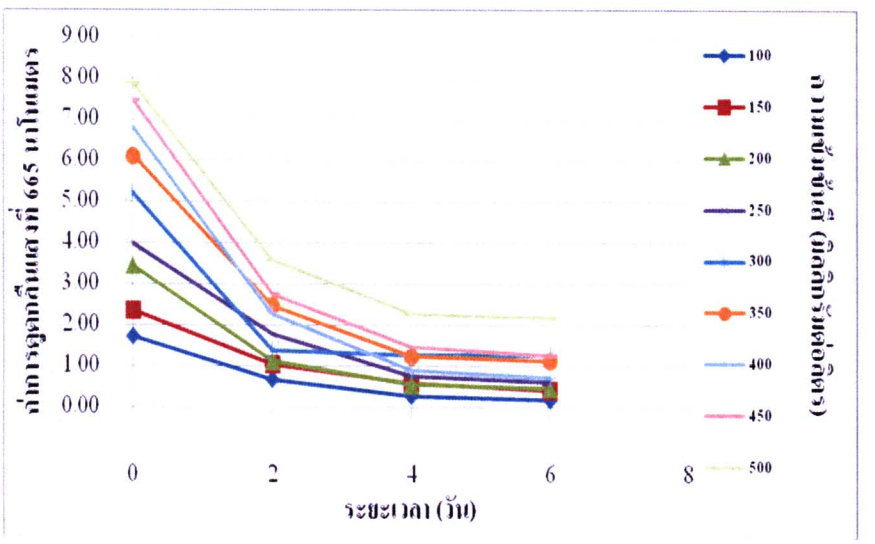
SP-L1 คือ ผลผลิตพีซีอาร์ของยีน 16S rRNA ของไอโซเลท SP-L1

```
>gb|GU568197.1| Bacillus amyloliquefaciens strain DJFZ40 16S ribosomal RNA gene,
partial sequence
Length=1459

 Score = 2586 bits (1400),  Expect = 0.0
 Identities = 1400/1400 (100%), Gaps = 0/1400 (0%)
 Strand=Plus/Plus

Query  1     AGCTTGCTCCCTGATGTTAGCGGCGGACGGGTGAGTAACACGTGGGTAACCTGCCTGTAA  60
             ||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
Sbjct  46    AGCTTGCTCCCTGATGTTAGCGGCGGACGGGTGAGTAACACGTGGGTAACCTGCCTGTAA  105

Query  61    GACTGGGATAACTCCGGGAAACCGGGGCTAATACCGGATGCTTGTTTGAACCGCATGGTT  120
             ||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
Sbjct  106   GACTGGGATAACTCCGGGAAACCGGGGCTAATACCGGATGCTTGTTTGAACCGCATGGTT  165

Query  121   CAGACATAAAAGGTGGCTTCGGCTACCACTTACAGATGGACCCGCGGCGCATTAGCTAGT  180
             ||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
Sbjct  166   CAGACATAAAAGGTGGCTTCGGCTACCACTTACAGATGGACCCGCGGCGCATTAGCTAGT  225

Query  181   TGGTGAGGTAACGGCTCACCAAGGCGACGATGCGTAGCCGACCTGAGAGGGTGATCGGCC  240
             ||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
Sbjct  226   TGGTGAGGTAACGGCTCACCAAGGCGACGATGCGTAGCCGACCTGAGAGGGTGATCGGCC  285

Query  241   ACACTGGGACTGAGACACGGCCCAGACTCCTACGGGAGGCAGCAGTAGGGAATCTTCCGC  300
             ||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
Sbjct  286   ACACTGGGACTGAGACACGGCCCAGACTCCTACGGGAGGCAGCAGTAGGGAATCTTCCGC  345

Query  301   AATGGACGAAAGTCTGACGGAGCAACGCCGCGTGAGTGATGAAGGTTTTCGGATCGTAAA  360
             ||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
Sbjct  346   AATGGACGAAAGTCTGACGGAGCAACGCCGCGTGAGTGATGAAGGTTTTCGGATCGTAAA  405

Query  361   GCTCTGTTGTTAGGGAAGAACAAGTGCCGTTCAAATAGGGCGGCACCTTGACGGTACCTA  420
             ||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
Sbjct  406   GCTCTGTTGTTAGGGAAGAACAAGTGCCGTTCAAATAGGGCGGCACCTTGACGGTACCTA  465

Query  421   ACCAGAAAGCCACGGCTAACTACGTGCCAGCAGCCGCGGTAATACGTAGGTGGCAAGCGT  480
             ||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
Sbjct  466   ACCAGAAAGCCACGGCTAACTACGTGCCAGCAGCCGCGGTAATACGTAGGTGGCAAGCGT  525

Query  481   TGTCCGGAATTATTGGGCGTAAAGGGCTCGCAGGCGGTTTCTTAAGTCTGATGTGAAAGC  540
             ||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
Sbjct  526   TGTCCGGAATTATTGGGCGTAAAGGGCTCGCAGGCGGTTTCTTAAGTCTGATGTGAAAGC  585

Query  541   CCCCGGCTCAACCGGGGAGGGTCATTGGAAACTGGGGAACTTGAGTGCAGAAGAGGAGAG  600
             ||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
Sbjct  586   CCCCGGCTCAACCGGGGAGGGTCATTGGAAACTGGGGAACTTGAGTGCAGAAGAGGAGAG  645

Query  601   TGGAATTCCACGTGTAGCGGTGAAATGCGTAGAGATGTGGAGGAACACCAGTGGCGAAGG  660
             ||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
Sbjct  646   TGGAATTCCACGTGTAGCGGTGAAATGCGTAGAGATGTGGAGGAACACCAGTGGCGAAGG  705

Query  661   CGACTCTCTGGTCTGTAACTGACGCTGAGGAGCGAAAGCGTGGGGAGCGAACAGGATTAG  720
             ||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
Sbjct  706   CGACTCTCTGGTCTGTAACTGACGCTGAGGAGCGAAAGCGTGGGGAGCGAACAGGATTAG  765

Query  721   ATACCCTGGTAGTCCACGCCGTAAACGATGAGTGCTAAGTGTTAGGGGGTTTCCGCCCCT  780
             ||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
Sbjct  766   ATACCCTGGTAGTCCACGCCGTAAACGATGAGTGCTAAGTGTTAGGGGGTTTCCGCCCCT  825

Query  781   TAGTGCTGCAGCTAACGCATTAAGCACTCCGCCTGGGGAGTACGGTCGCAAGACTGAAAC  840
             ||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
Sbjct  826   TAGTGCTGCAGCTAACGCATTAAGCACTCCGCCTGGGGAGTACGGTCGCAAGACTGAAAC  885

Query  841   TCAAAGGAATTGACGGGGGCCCGCACAAGCGGTGGAGCATGTGGTTTAATTCGAAGCAAC  900
             ||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
Sbjct  886   TCAAAGGAATTGACGGGGGCCCGCACAAGCGGTGGAGCATGTGGTTTAATTCGAAGCAAC  945

Query  901   GCGAAGAACCTTACCAGGTCTTGACATCCTCTGACAATCCTAGAGATAGGACGTCCCCTT  960
             ||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
Sbjct  946   GCGAAGAACCTTACCAGGTCTTGACATCCTCTGACAATCCTAGAGATAGGACGTCCCCTT  1005

Query  961   CGGGGGCAGAGTGACAGGTGGTGCATGGTTGTCGTCAGCTCGTGTCGTGAGATGTTGGGT  1020
             ||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
Sbjct  1006  CGGGGGCAGAGTGACAGGTGGTGCATGGTTGTCGTCAGCTCGTGTCGTGAGATGTTGGGT  1065

Query  1021  TAAGTCCCGCAACGAGCGCAACCCTTGATCTTAGTTGCCAGCATTCAGTTGGGCACTCTA  1080
             ||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
Sbjct  1066  TAAGTCCCGCAACGAGCGCAACCCTTGATCTTAGTTGCCAGCATTCAGTTGGGCACTCTA  1125

Query  1081  AGGTGACTGCCGGTGACAAACCGGAGGAAGGTGGGGATGACGTCAAATCATCATGCCCCT  1140
             ||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
Sbjct  1126  AGGTGACTGCCGGTGACAAACCGGAGGAAGGTGGGGATGACGTCAAATCATCATGCCCCT  1185

Query  1141  TATGACCTGGGCTACACACGTGCTACAATGGACAGAACAAAGGGCAGCGAAACCGCGAGG  1200
             ||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
Sbjct  1186  TATGACCTGGGCTACACACGTGCTACAATGGACAGAACAAAGGGCAGCGAAACCGCGAGG  1245

Query  1201  TTAAGCCAATCCCACAAATCTGTTCTCAGTTCGGATCGCAGTCTGCAACTCGACTGCGTG  1260
             ||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
Sbjct  1246  TTAAGCCAATCCCACAAATCTGTTCTCAGTTCGGATCGCAGTCTGCAACTCGACTGCGTG  1305

Query  1261  AAGCTGGAATCGCTAGTAATCGCGGATCAGCATGCCGCGGTGAATACGTTCCCGGGCCTT  1320
             ||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
Sbjct  1306  AAGCTGGAATCGCTAGTAATCGCGGATCAGCATGCCGCGGTGAATACGTTCCCGGGCCTT  1365

Query  1321  GTACACACCGCCCGTCACACCACGAGAGTTTGTAACACCCGAAGTCGGTGAGGTAACCTT  1380
             ||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
Sbjct  1366  GTACACACCGCCCGTCACACCACGAGAGTTTGTAACACCCGAAGTCGGTGAGGTAACCTT  1425

Query  1381  TTAGGAGCCAGCCGCCGAAG  1400
             ||||||||||||||||||||
Sbjct  1426  TTAGGAGCCAGCCGCCGAAG  1445
```

ภาพ 19 ลำดับชื่อของแบคทีเรียที่มีลำดับเบสคล้ายเชื้อจุลินทรีย์ไอโซเลท SP-L1

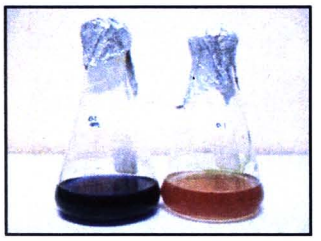
4. การทดสอบความเข้มข้นของสีที่เหมาะสมต่อการกำจัดสีอะโซในน้ำเสียสังเคราะห์

จากการศึกษาความเข้มข้นสีเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีอะโซเป็นองค์ประกอบของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 โดยเติมสีไดเร็กท์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน คือ 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าที่ความเข้มข้นสีเริ่มต้นระดับต่างๆ ในช่วง 2 วันแรก ให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 563 นาโนเมตร ลดลงแตกต่างกันและเมื่อระยะเวลาผ่านไป 6 วัน พบว่ามีแนวโน้มการลดลงของสีที่ความยาวคลื่น 563 นาโนเมตร ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากการคัดแยกเชื้อแบคทีเรียมาจากบริเวณที่ปนเปื้อนสี จึงทำให้มีการปรับตัวของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ต่อระดับความเป็นพิษของสีที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น (ภาพ 21 และ 22)



ภาพ 20 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ที่มีระดับความเข้มข้นของสีอะโซต่าง ๆ

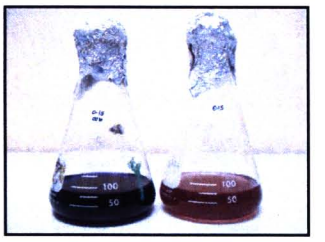
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



(ก) (ข)

ความเข้มข้นสี 100 มก./ล

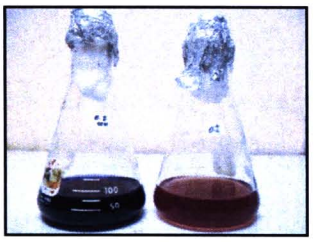
OD (1.72 → 0.19)



(ก) (ข)

ความเข้มข้นสี 150 มก./ล

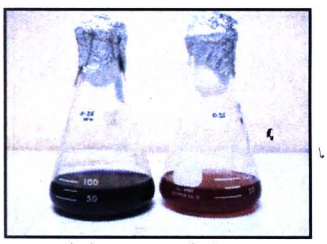
OD (2.35 → 0.41)



(ก) (ข)

ความเข้มข้นสี 200 มก./ล

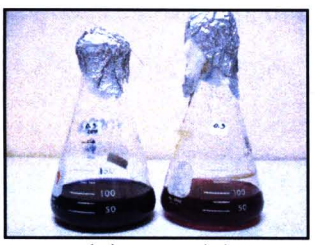
OD (3.44 → 0.47)



(ก) (ข)

ความเข้มข้นสี 250 มก./ล

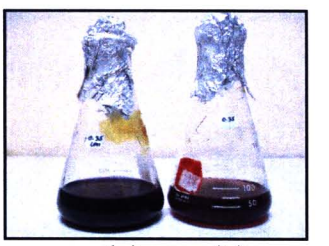
OD (3.99 → 0.60)



(ก) (ข)

ความเข้มข้นสี 300 มก./ล

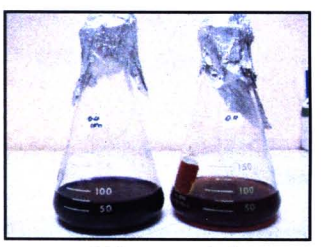
OD (5.21 → 1.28)



(ก) (ข)

ความเข้มข้นสี 350 มก./ล

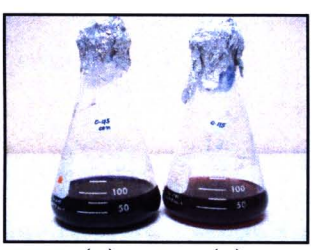
OD (6.11 → 1.12)



(ก) (ข)

ความเข้มข้นสี 400 มก./ล

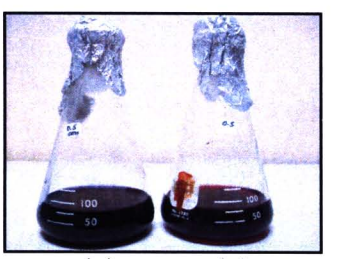
OD (6.82 → 0.73)



(ก) (ข)

ความเข้มข้นสี 450 มก./ล

OD (7.48 → 1.26)



(ก) (ข)

ความเข้มข้นสี 500 มก./ล

OD (7.87 → 2.18)

ภาพ 21 สีของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ที่มีค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้นที่ระดับต่าง ๆ ที่ระยะเวลา 6 วัน เปรียบเทียบกับชุดควบคุม

หมายเหตุ (ก) ชุดควบคุม

(ข) ชุดการทดลองที่มีการเติมเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1

ดังนั้นในการศึกษาต่อไปจึงเลือกความเข้มข้นสีเริ่มต้นที่ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อลดเวลากักเก็บน้ำเสีย และขนาดของระบบบำบัด ซึ่งหากเลือกความเข้มข้นสีที่สูงขึ้นจะต้องใช้เวลากักเก็บน้ำเสียที่นานขึ้นและระบบบำบัดจะมีขนาดใหญ่ตามไปด้วย และหากเลือกความเข้มข้นสีต่ำกว่า 250 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเป็นความเข้มข้นสีที่ต่ำกว่าที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อม ซึ่งจากการสำรวจในอุตสาหกรรมฟอกย้อมส่วนใหญ่ต้องการให้น้ำย้อมมีความเข้มสีที่สูงเพื่อให้สีย้อมติดผ้าดีโดยไม่สามารถกำหนดได้ว่าความเข้มสีที่ใช้ควรมีความเข้มสีเท่าไรซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ผลิตแต่ละแหล่ง

และจากการศึกษาของ กัลยาณี (2550) พบว่า สีอะโซที่นำมาใช้ศึกษาการกำจัดสีส่วนใหญ่มีความเข้มข้น 10 – 250 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยความเข้มข้นของสีที่มากเกินไปจะมีผลเสียต่อการกำจัดสี อาจเนื่องจากมีความเข้มข้นสีเกินขีดความสามารถหรือประสิทธิภาพการรีดักชันที่จะเกิดขึ้นได้ หรืออาจเป็นผลจากความเป็นพิษต่อเชื้อ ดังนั้นจึงควรสนใจความเข้มสีและระยะเวลาการสัมผัสสีของเชื้อด้วยเนื่องจากความเข้มข้นสีที่มากเกินไปจะเป็นพิษต่อเชื้อจุลินทรีย์ ทั้งนี้ระดับความเข้มข้นที่มากหรือเป็นพิษจะขึ้นกับชนิดของสีและจุลินทรีย์

5. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการกำจัดสีในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อมของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ได้แก่

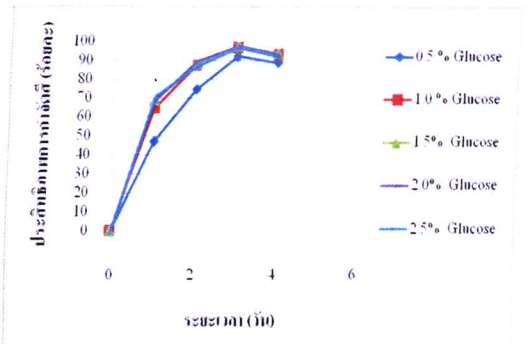
5.1 แหล่งคาร์บอนที่เหมาะสม

จากผลการทดลองในข้อ 2.2 พบว่าเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงสุด ดังนั้นจึงเลือกเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มาเขี่ยลงในอาหารเหลวสูตร NB ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเชื้อจุลินทรีย์ไปวัดค่าการเจริญด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ให้มีค่าเท่ากับ 0.1 แล้วนำสารละลายเชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวมาเติมในปริมาตรร้อยละ 5 ต่อสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองขนาด 25 × 150 มิลลิเมตร ซึ่งมีแหล่งคาร์บอนต่างๆ คือ glucose, sucrose, maltose, starch และ lactose ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 หลังจากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน

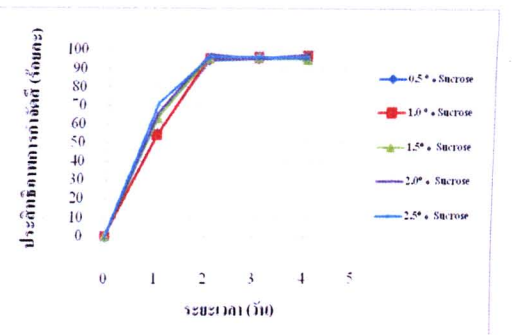
จากผลการทดลอง พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เติมแหล่งคาร์บอนต่างกันและความเข้มข้นต่างกันมีประสิทธิภาพการกำจัดสีไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) (ภาพ 22) และจาก

ภาพ 23 พบว่าเมื่อเติม sucrose เป็นแหล่งคาร์บอน เมื่อผ่านการกำจัดสีด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ส่งผลให้ความเข้มสีลดลงมากที่สุดดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือก sucrose สำหรับการทดลองต่อไป

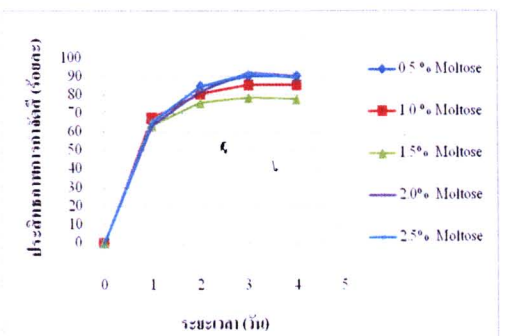
การเติม sucrose สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสีของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ได้ เนื่องจากเมทาบอลิซึมของ sucrose เป็นผลให้มีการสร้าง NADH และ FADH ซึ่งเป็นตัวให้อิเล็คตรอนสำหรับกำจัดสีอะโซ ดังนั้นจึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสี (Khehra *et al.*, 2005) นอกจากนี้การเติมแหล่งคาร์บอนจะช่วยให้มีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์พร้อมกับผลิตเอนไซม์สำหรับการกำจัดสีซึ่งจะส่งผลให้มีการกำจัดสีที่เร็วขึ้น (Jadhav *et al.*, 2008) และจากการศึกษาของ Seesuriyachan *et al.* (2007) พบว่าการเติม sucrose จะช่วยให้ *Lactobacillus casei* สามารถกำจัดสี methyl orange ได้อย่างสมบูรณ์ภายใน 2.5 ชั่วโมง โดยจะเปลี่ยน methyl orange ไปเป็น *N,N*-dimethyl-*p*-phenylenediamine และ 4-aminosulfonic acid ทำให้ไม่เห็นสีของ methyl orange ซึ่งแสดงว่ามีการผลิตเอนไซม์ azoreductase สำหรับสลายพันธะอะโซของ methyl orange ทำให้พันธะขาดออกจากกันกลายเป็นสารตัวกลางต่างๆ และส่งผลให้สีจางลง



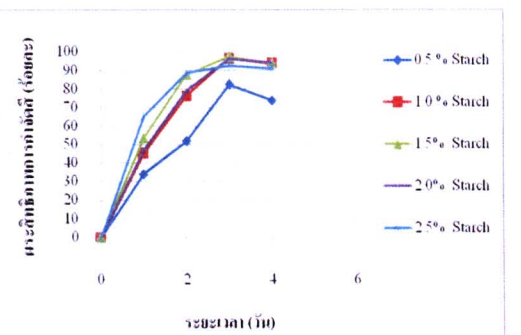
(ก)



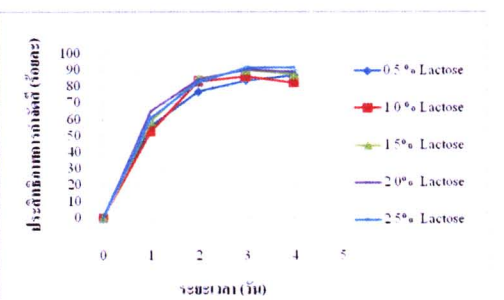
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

ภาพ 22 ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ในการกำจัดสีน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีแหล่งคาร์บอนแตกต่างกัน

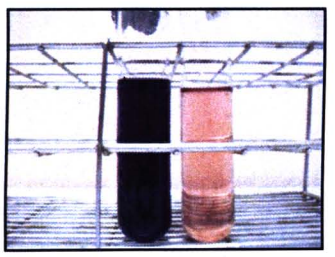
หมายเหตุ (ก) glucose ความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5

(ข) sucrose ความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5

(ค) maltose ความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5

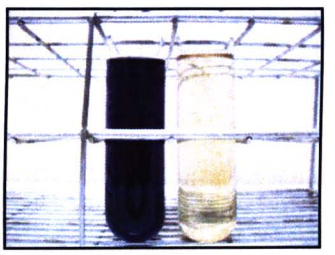
(ง) starch ความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5

(จ) lactose ความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5



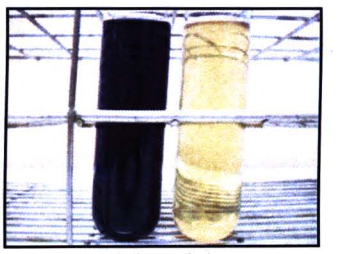
(ก) (ข)

glucose



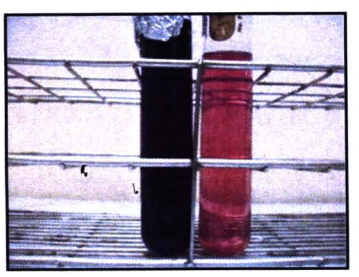
(ก) (ข)

sucrose



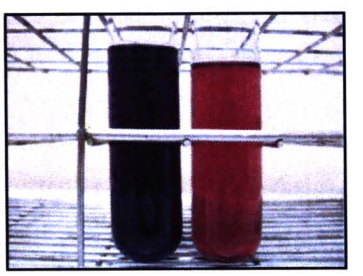
(ก) (ข)

maltose



(ก) (ข)

starch



(ก) (ข)

lactose

ภาพ 23 สีของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เติม glucose, sucrose, maltose, starch และ lactose ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 หลังการบำบัดด้วยเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ในวันที่ 4 ของการทดลอง

หมายเหตุ (ก) ชุดควบคุม

(ข) glucose, sucrose, maltose, starch และ lactose ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5

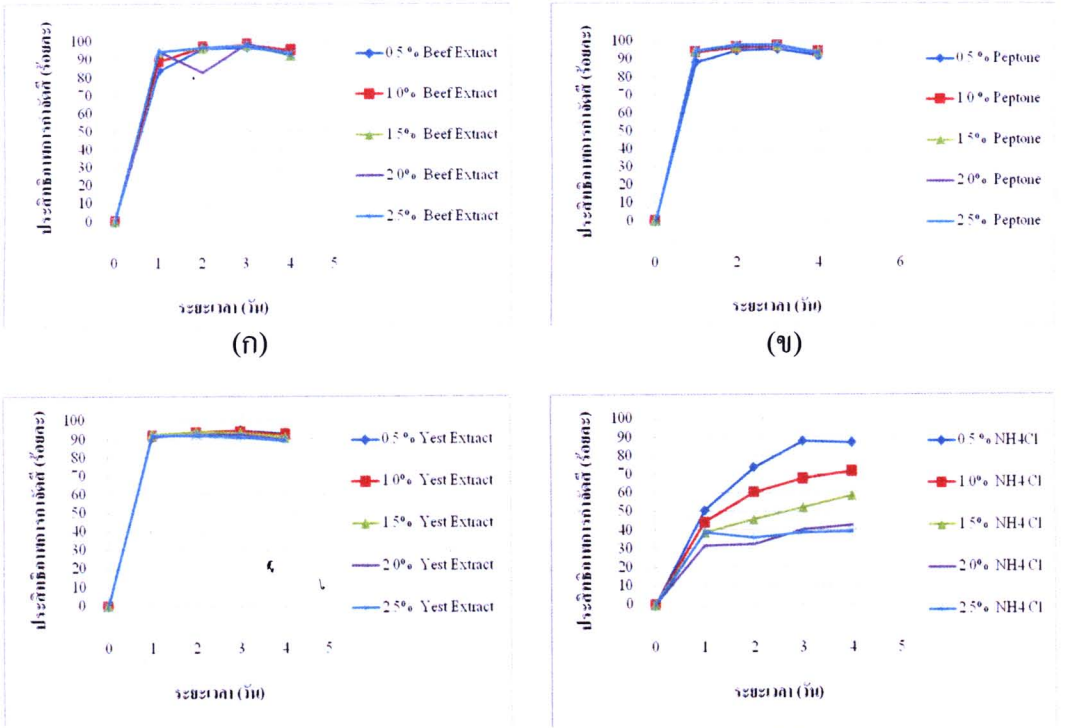
5.2 แหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสม

นำเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มาเขี่ยลงในอาหารเหลวสูตร NB ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเชื้อจุลินทรีย์ไปวัดค่าการเจริญด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ให้มีค่าเท่ากับ 0.1 แล้วนำสารละลายเชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวมาเติม ในปริมาตรร้อยละ 5 ต่อสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองขนาด 25 × 150 มิลลิเมตร ซึ่งมีแหล่งไนโตรเจนต่างๆ คือ beef extract, peptone, yeast extract และ NH_4Cl ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 หลังจากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน พบว่า ในสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีแหล่งไนโตรเจนต่างชนิดกัน และความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่

563 นาโนเมตร ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการสแกนหาช่วงความยาวคลื่นการดูดกลืนแสงสูงสุดของสีไดเร็กท์ (ภาพ 24)

จากภาพ 25 น้ำเสียสังเคราะห์ที่เติม peptone เป็นแหล่งไนโตรเจน เมื่อผ่านการกำจัดสีด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ส่งผลให้ความเข้มสีลดลงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือก peptone สำหรับการทดลองต่อไป

การเติม peptone เป็นแหล่งไนโตรเจนสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสีของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ได้ เนื่องจากแหล่งไนโตรเจนจำเป็นต้องเติมในอาหารเพื่อช่วยให้มีการสร้าง NADH สำหรับเป็นตัวให้อิเล็กตรอนในการกำจัดสีอะโซโดยจุลินทรีย์ (Khehra *et al.*, 2005) อาหารที่มี sucrose และ peptone จะช่วยในการกำจัดสี orange II โดย *Cunninghamella elegan* UCP 542 (Ambrosio and Campos, 2004) อีกทั้ง peptone ยังเป็นแหล่งไนโตรเจนที่มีอิทธิพลในการสลายพันธะอะโซของสี Acid violet 7 โดยทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีที่ดี (YU *et al.*, 2001) นอกจากนี้แหล่งไนโตรเจนที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์นั้น peptone จะเป็นแหล่งไนโตรเจนที่ดีที่สุดสำหรับกำจัดสี Reactive Red 195 โดย *Bacillus cereus* เนื่องจากสารอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นแหล่งอาหารที่จำเป็นสำหรับสร้าง NADH เพื่อเป็นตัวให้อิเล็คตรอนสำหรับกำจัดสีอะโซโดยจุลินทรีย์ (Modi *et al.*, 2010)



(ก) (ข)

(ง) (ค)

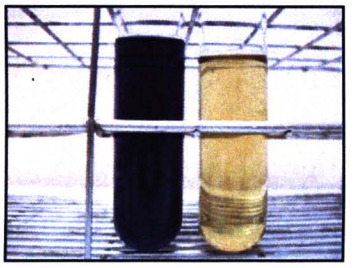
ภาพ 24 ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ในการกำจัดสีน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีแหล่งไนโตรเจนแตกต่างกัน

หมายเหตุ (ก) beef extract ความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.0,1.5, 2.0 และ 2.5

(ข) peptone ความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.0,1.5, 2.0 และ 2.5

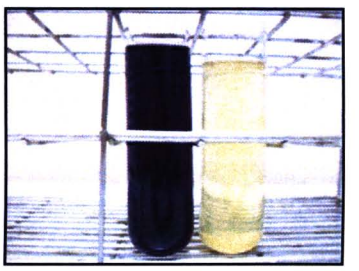
(ค) yeast extract ความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.0,1.5, 2.0 และ 2.5

(ง) NH_4Cl ความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.0,1.5, 2.0 และ 2.5



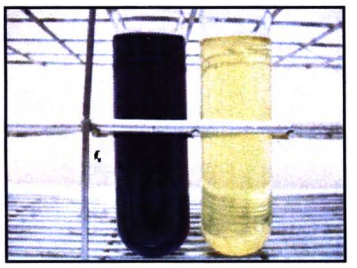
(ก) (ข)

beef extract



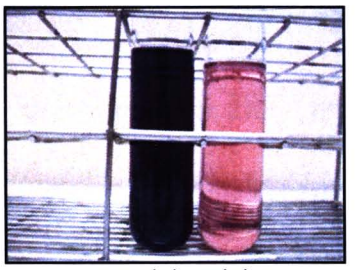
(ก) (ข)

peptone



(ก) (ข)

yeast extract



(ก) (ข)

NH_4Cl

ภาพ 25 สีของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เติม beef extract, peptone, yeast extract และ NH_4Cl ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 หลังการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ในวันที่ 4 ของการทดลอง

หมายเหตุ (ก) ชุดควบคุม

(ข) beef extract, peptone, yeast extract และ NH_4Cl ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5

5.3 การวิเคราะห์รีเกรสชันสำหรับแผนการทดลองแบบ Central Composite Design แบบหุ่นกำลังสอง

หลังจากการศึกษาหาแหล่งคาร์บอนและแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสม พบว่า แหล่งคาร์บอนและแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการกำจัดสี คือ sucrose และ peptone การศึกษาต่อไปจะศึกษาผลของแหล่งคาร์บอนและแหล่งไนโตรเจน ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี โดยปัจจัยที่ทดสอบจะประกอบด้วยความเข้มข้นที่ต่างกันขององค์ประกอบของอาหารเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีในอาหารที่มีความเข้มข้นต่างกัน (ตาราง 6 และ 7)

ตาราง 6 การศึกษาผลของแหล่งคาร์บอนและแหล่งไนโตรเจนต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1

ชุดทดลอง	sucrose	peptone	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (ร้อยละ)
	X1	X2	
1	1	0	93.0[a]
2	0.5	0.866	93.5[a]
3	-0.5	0.866	94.0[a]
4	-1	0	93.2[a]
5	-0.5	-0.866	88.2[ab]
6	0.5	-0.866	85.6[b]
7	0	0	91.3[ab]
8	0	0	91.2[ab]
9	0	0	90.0[ab]
10	0	0	92.2[ab]
11	-	-	83.8[c]

ตาราง 7 ผลของอาหารที่มีความเข้มข้นต่างกันต่อการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ที่ระยะเวลา 4 วัน

ชุดทดลอง	จำนวนเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 (cfu/ml)
1	$1.27x10^8$
2	$1.4x10^8$
3	$2.93x10^8$
4	$2.47x10^8$
5	$1.59x10^8$
6	$2.05x10^8$
7	$1.68x10^8$
8	$9.05x10^7$
9	$1.75x10^8$
10	$2.15x10^8$
11	$1.29x10^8$

จากผลการทดลองที่ได้พบว่า ในอาหารที่มีความเข้มข้นของ sucrose และ peptone ต่างกันประสิทธิภาพการกำจัดสีและการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยประสิทธิภาพการกำจัดสีและการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มีค่าสูงสุดอยู่ที่รหัส (code) - 0.5 ของ sucrose และ 0.866 ของ peptone และจากการวิเคราะห์รีเกรสชันเชิงเส้น ตาราง 8 พบว่า ผลของ peptone (pep), sucrose (su^2) และ peptone (pep^2) มีค่า P น้อยกว่า 0.05 (0.0000, 0.0061 และ 0.0000) ส่วน sucrose (su) และ supep มีค่า P มากกว่า 0.05 คือ 0.2368 และ 0.2242 ตามลำดับ ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์ทำให้ได้สมการความสัมพันธ์ดังนี้

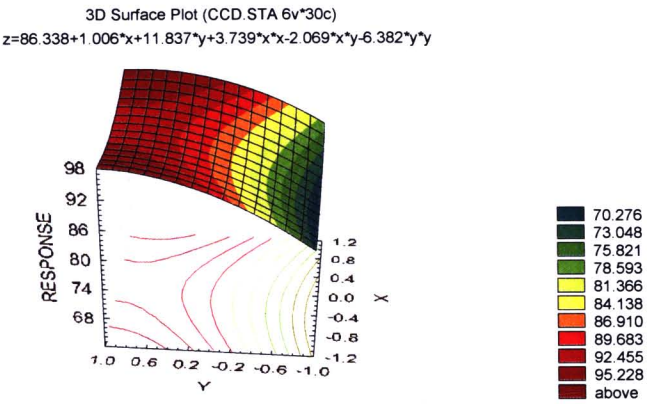
ประสิทธิภาพการกำจัดสี = $86.338 + 1.006x + 11.837y + 3.739x^2 - 2.069xy - 6.382y^2$

จากสมการทำให้ทราบได้ว่าตัวแปรใดมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงสุด โดยดูจากสัมประสิทธิ์ของแต่ละตัวแปรและค่า P ของตัวแปร โดยยิ่งมีค่า P น้อยจะยิ่งมีอิทธิพลมาก (อิสรพงษ์, 2544) จากสมการที่ได้และจากค่า P ของแต่ละตัวแปรพบว่า peptone (pep) และ peptone (pep^2) มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีและการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มากกว่า sucrose (su^2), sucrose (su) และ supep ตามลำดับ

โดยตัวแปร x ในสมการคือ sucrose และตัวแปร y คือ peptone จากสมการและผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว (ภาพ 26) พบว่าความเข้มข้นขององค์ประกอบของอาหารที่เหมาะสมคือ sucrose ร้อยละ 3.14 และ peptone ร้อยละ 0.89 ซึ่งความเข้มข้นดังกล่าวไม่อยู่ในช่วงการทดลองดังนั้นจึงต้องทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของ sucrose และ peptone ที่ความเข้มข้นร้อยละ 3.14 และ 0.89 ตามลำดับ

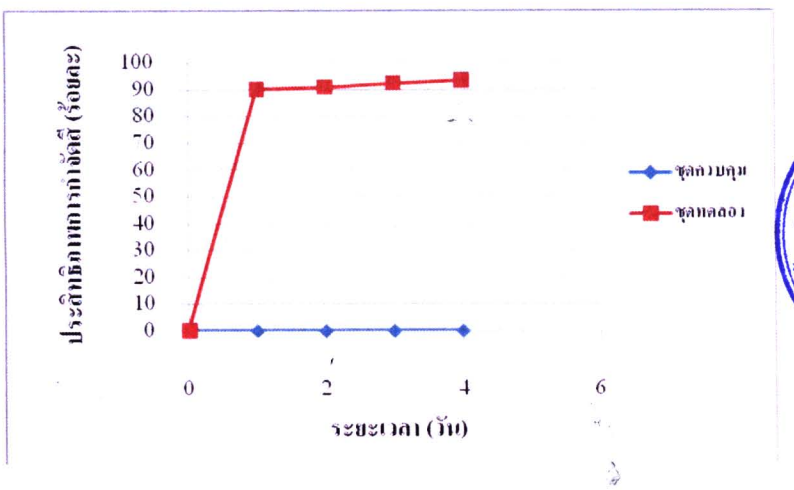
ตาราง 8 ผลการวิเคราะห์รีเกรสชันเชิงเส้นของการศึกษาผลของแหล่งคาร์บอนและแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี

Variables	Coefficient	Student's T	P
Constant	86.338	120.24	0.0000
sucrose (su)	1.006	1.21	0.2368
peptone (pep)	11.837	14.28	0.0000
su^2	3.739	3.01	0.0061
pep^2	-6.382	-5.13	0.0000
supep	-2.069	-1.25	0.2242
R-squared (R^2) =	0.9112		
Adjusted R-squared =	0.8926		



ภาพ 26 ผลการตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิวในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เติม sucrose ร้อยละ 3.14 และ peptone ร้อยละ 0.89

จากการทดลองเมื่อนำความเข้มข้นขององค์ประกอบของอาหารมาใช้ในการทดลองโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ผสมสีย้อมสิ่งทอสังเคราะห์และเติม sucrose ร้อยละ 3.14 และ peptone ร้อยละ 0.89 พบว่าเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีร้อยละ 93.4 ที่ระยะเวลา 4 วัน (ภาพ 27) และเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่ 3 พบว่า ชุดการทดลองที่ 3 มีร้อยละการกำจัดสีสูงกว่าคือ ร้อยละ 94.0 และใช้ความเข้มข้นของ sucrose และ peptone น้อยกว่าที่หาได้จากสมการและผลการตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว คือ sucrose ร้อยละ 0.95 และ peptone ร้อยละ 0.93 ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงเลือกใช้ความเข้มข้นของอาหารในชุดการทดลองที่ 3 เพื่อศึกษาต่อไป



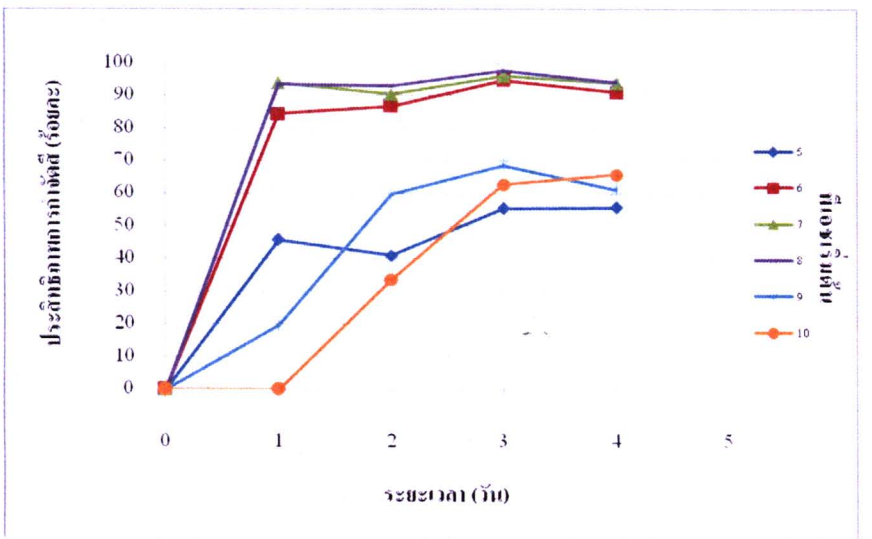
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ภาพ 27 ประสิทธิภาพการกำจัดสีของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ในอาหารที่มีความเข้มข้น sucrose ร้อยละ 3.14 และ peptone ร้อยละ 0.89

5.4 พีเอชที่เหมาะสม

หลังจากได้แหล่งคาร์บอนและแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมแล้ว ในขั้นตอนนี้จึงนำเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มาเลี้ยงในน้ำเสียสังเคราะห์ผสมสีย้อมสิ่งทอสังเคราะห์ไดเร็กท์ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร เติม sucrose ร้อยละ 0.95 (แหล่งคาร์บอน) peptone ร้อยละ 0.93 (แหล่งไนโตรเจน) กรัมต่อลิตร และควบคุมค่าพีเอชเริ่มต้น คือ 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0 และ 10.0 บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และบันทึกผลทุกวัน เป็นเวลา 4 วัน พบว่าค่าพีเอชเริ่มต้นมีผลต่อการกำจัดสีของน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 สามารถกำจัดสีของน้ำเสียสังเคราะห์ได้สูงสุดร้อยละ 94.6, 95.9 และ 97.6 ที่ค่าพีเอชเริ่มต้น 6, 7 และ 8 ตามลำดับ ในวันที่ 3 ของการทดลอง โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 5.0, 9.0 และ 10.0 ซึ่งสามารถกำจัดสีของน้ำเสียสังเคราะห์ได้ร้อยละ 55.7, 61.2 และ 65.7 ตามลำดับ ในวันที่ 4 ของการทดลอง (ภาพ 28 และ ตาราง 9)

จากภาพ 29 จะเห็นได้ว่าค่าพีเอช เริ่มต้นที่ 10.0 มีค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้นของสีย้อมสังเคราะห์ไม่เท่ากับระดับอื่นๆ ทั้งนี้เกิดจากที่ค่าพีเอช เริ่มต้นที่ 10.0 มีผลกับองค์ประกอบของสี จึงทำให้สีย้อมสิ่งทอสังเคราะห์ที่ใช้จางลง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้นน้อยกว่าที่ค่าพีเอชเริ่มต้นอื่นๆ

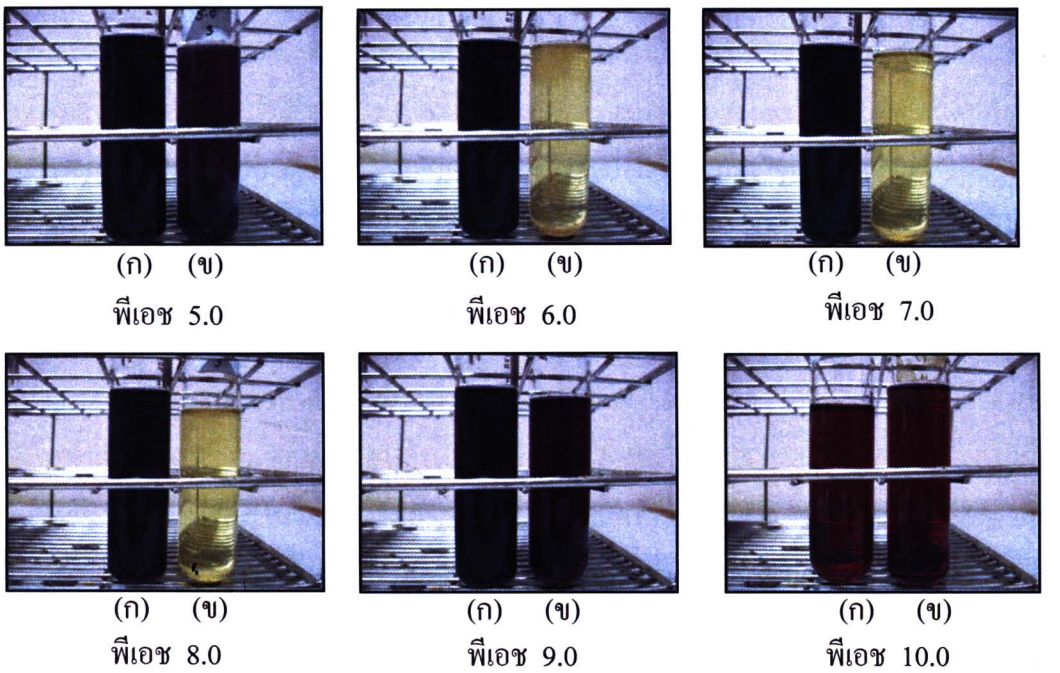


ภาพ 28 ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ในการกำจัดสีน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าพีเอชเริ่มต้นที่ระดับต่าง ๆ

ตาราง 9 ผลของพีเอชเริ่มต้นต่อการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ที่ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 4 วัน

พีเอชเริ่มต้น	จำนวนเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 (cfu/ml)
5	3.6×10^6
6	1.8×10^7
7	4.7×10^7
8	3.0×10^7
9	2.3×10^6
10	2.0×10^6

หมายเหตุ * ค่าที่ได้มาจากการหาค่าเฉลี่ยในการทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ



ภาพ 29 สีน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการกำจัดสีด้วยเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ของการทดลองหาค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0 และ 10.0 ในวันที่ 3 ของการทดลอง
หมายเหตุ (ก) น้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่ได้เติมเชื้อ
(ข) พีเอช 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0 และ 10.0

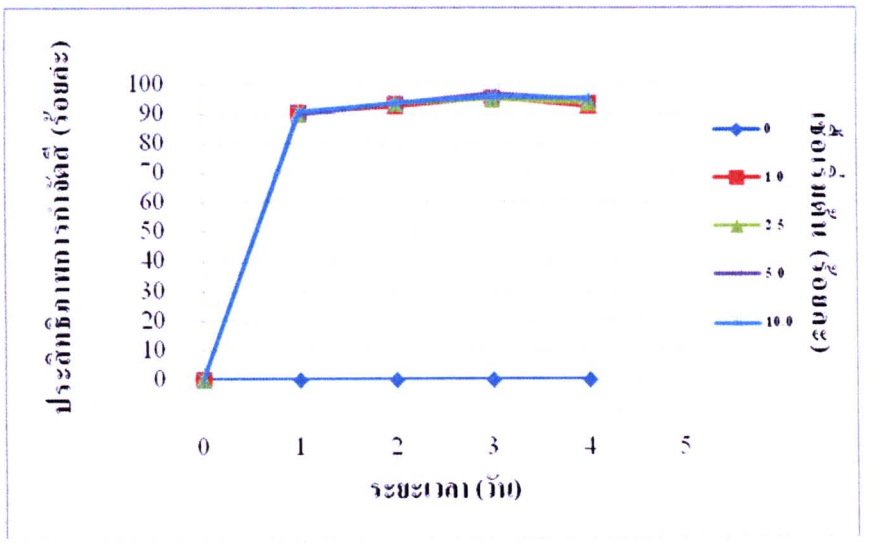
จากการทดลองพบว่าเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีที่ค่าพีเอช ที่ 6-8 และประสิทธิภาพในการกำจัดสีลดลงเมื่อค่าพีเอชของสารละลายมีค่าเท่ากับ 5.0, 9.0 และ 10.0 สอดคล้องกับ YU *et al.* (2001) ซึ่งพบว่าเชื้อแบคทีเรีย *Pseudomonas* มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงเมื่อค่าพีเอช อยู่ในช่วง 7 - 8 และมีประสิทธิภาพลดลงประมาณร้อยละ 50 เมื่อสารละลายมีสภาพเป็นด่างเล็กน้อย เช่นเดียวกับ Hsueh and Chen (2007) ได้ศึกษาพบว่าในช่วงของค่าพีเอชที่ต่ำจะทำให้พันธะอะโซอยู่ในรูปของโปรตอนซึ่งส่งผลให้เชื้อแบคทีเรีย *Pseudomonas luteola* ไม่สามารถกำจัดสีได้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี ดังนั้นการกำจัดสีจึงเลือกใช้ค่าพีเอชเป็นกลางและพีเอชของอาหารในช่วง 4.7 - 5.0 มีผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียโดยส่งผลให้การกำจัดสีอะโซถูกยับยั้ง (Chen *et al.*, 2003) โดยค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสีอะโซ คือ พีเอช 7-9 เนื่องจากพบว่าการเพิ่มพีเอช จาก 5 ถึง 7 อัตราการกำจัดสีเฉพาะเพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่า (Chang and Kuo, 2000) เช่นเดียวกับ Wang *et al.* (2009) ได้ศึกษาพีเอชที่เหมาะสมสำหรับ *Enterobacter* sp. EC3 ในการเจริญในน้ำเสียที่มีสี Reactive Black 5 คือพีเอชเป็นกลาง โดยพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสีของ *Enterobacter* sp. EC3 จะอยู่ระหว่าง

6.0 – 10.0 ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงเลือกค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 8.0 เนื่องจากเป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการกำจัดสีของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 นอกจากนี้ยังเป็นค่าพีเอชที่ใกล้เคียงกับค่าพีเอชของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อม

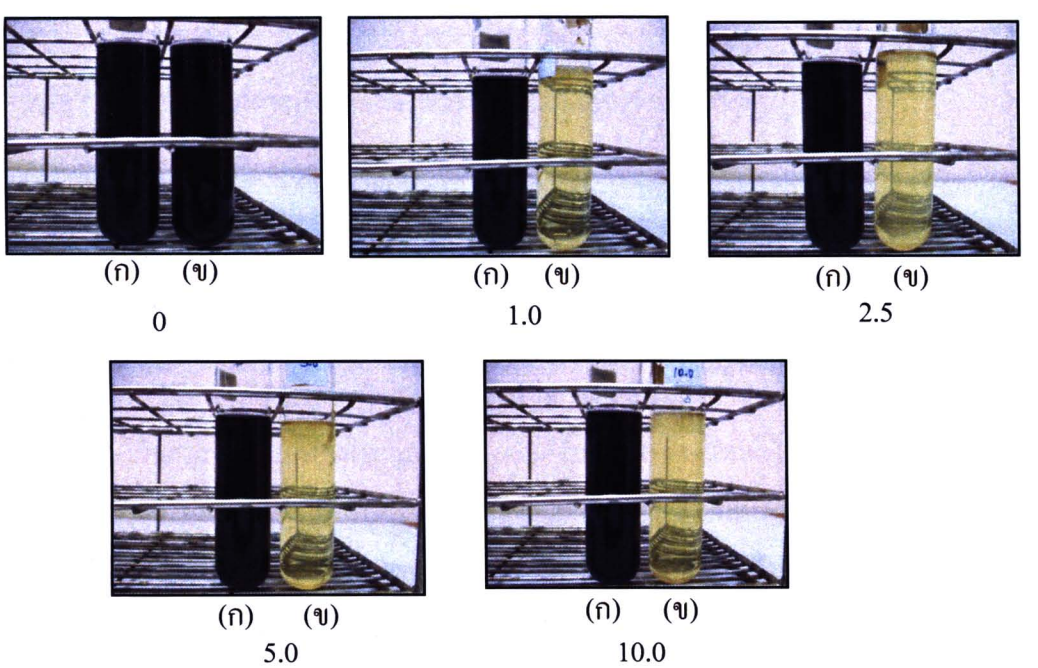
5.5 ปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่เหมาะสม

เมื่อนำเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มาเลี้ยงในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เติม sucrose ร้อยละ 0.95 (แหล่งคาร์บอน) peptone ร้อยละ 0.93 (แหล่งไนโตรเจน) ควบคุมค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 8.0 และควบคุมเชื้อเริ่มต้นให้มีปริมาณร้อยละ 0, 1.0, 2.5, 5.0, และ 10.0 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์ของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 จะมีค่าสูงเมื่อมีปริมาณเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 1.0, 2.5, 5.0, และ 10.0 โดยสามารถกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ร้อยละ 95.2, 94.8, 96.6 และ 95.6 ตามลำดับ ในวันที่ 3 ของการทดลอง โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) (ภาพ 30 และภาพ 31) จากการที่เชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 สามารถกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปริมาณเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 1.0 ขึ้นไป แสดงว่าการเพิ่มปริมาณเชื้อเริ่มต้นมากขึ้นเรื่อยๆ ไม่มีผลต่อการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์

จากตาราง 10 พบว่าที่ปริมาณเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 0, 1.0, 2.5, 5.0, และ 10.0 มีจำนวนเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 เท่ากับ 0, 1.4×10^7, 2.0×10^7, 2.4×10^7และ 2.3×10^7 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าที่ปริมาณเชื้อเริ่มต้นสูงขึ้นจะมีจำนวนเชื้อเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย แต่จำนวนเชื้อที่เพิ่มมากขึ้นไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 เนื่องจากประสิทธิภาพการกำจัดสีน่าจะมีความสัมพันธ์กับความสมบูรณ์ของเซลล์มากกว่าปริมาณเชื้อเริ่มต้น (ปิยะบุตร, 2552) ดังนั้นปริมาณเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 1.0 จะใช้สำหรับการทดลองต่อไปเพื่อเป็นการประหยัดต้นทุนในการดำเนินงาน



ภาพ 30 ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 เริ่มต้นที่ระดับต่าง ๆ



ภาพ 31 สีน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการกำจัดสีด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ของการทดลองหาปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่เหมาะสมในวันที่ 3 ของการทดลอง

หมายเหตุ (ก) น้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่ได้เติมเชื้อ

(ข) เชื้อเริ่มต้นร้อยละ 0, 1.0, 2.5, 5.0, และ 10.0

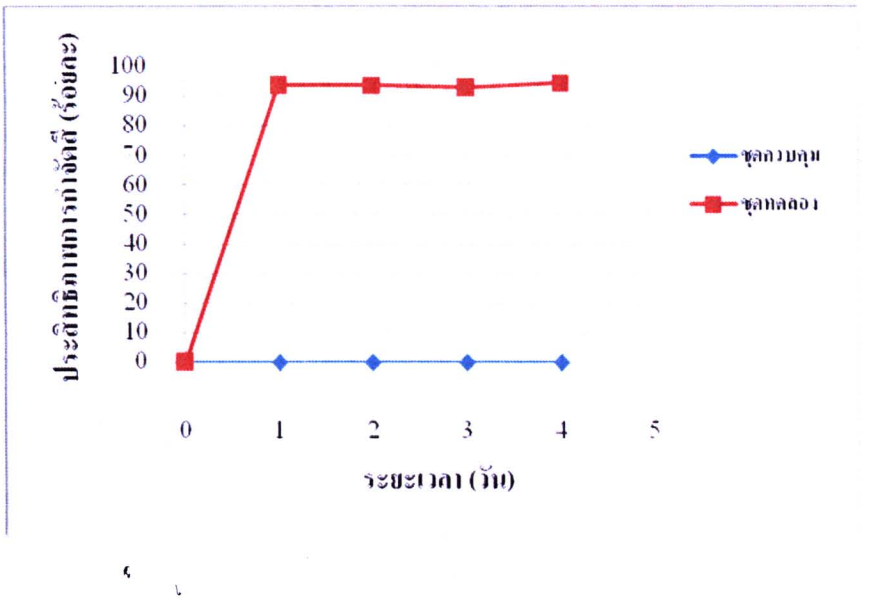
ตาราง 10 ผลของเชื้อเริ่มต้นต่อการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ที่ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 4 วัน

เชื้อเริ่มต้น (ร้อยละ)	จำนวนเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 (cfu/ml)
0	0
1	1.4×10^7
2.5	2.0×10^7
5	2.4×10^7
10	2.3×10^7

หมายเหตุ * ค่าที่ได้มาจากการหาค่าเฉลี่ยในการทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ

6. การศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ต่อการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์ในสภาวะที่เหมาะสม

เมื่อนำเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มาเลี้ยงในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เติม sucrose ร้อยละ 0.95 (แหล่งคาร์บอน) peptone ร้อยละ 0.93 (แหล่งไนโตรเจน) ควบคุมค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 8.0 และควบคุมเชื้อเริ่มต้นให้มีปริมาณร้อยละ 1.0 โดยบันทึกผลทุกวันเป็นระยะเวลา 4 วัน พบว่าเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงสุดร้อยละ 94.6 และมีประสิทธิภาพการกำจัดเอฟซีโอดีร้อยละ 50.0 ที่ระยะเวลา 4 วัน ของการทดลอง (ภาพ 32, ภาพ 33 และภาพ 34) แสดงว่าเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีและเอฟซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการเพิ่มสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าว ดังนั้นจึงเป็นผลให้เชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 สามารถกำจัดสีและเอฟซีโอดีได้ดี



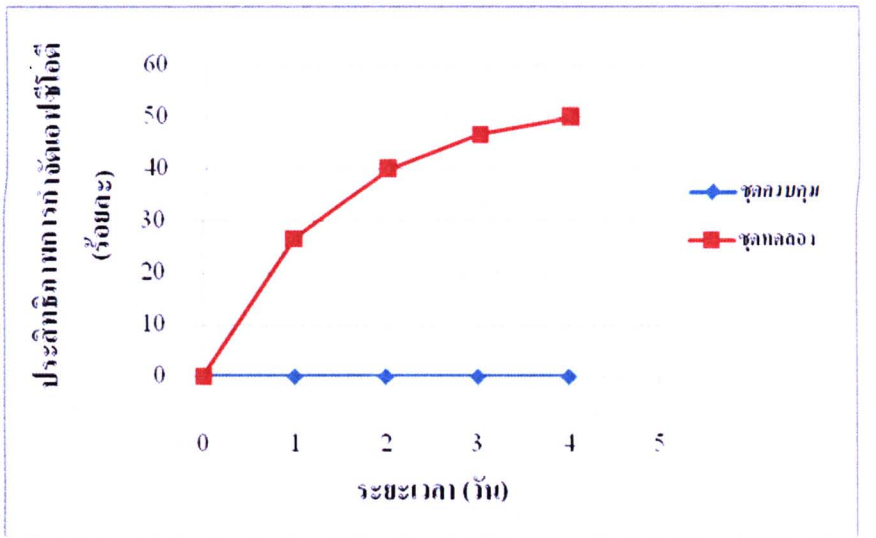
ภาพ 32 ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำเสียสังเคราะห์ของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ในสภาวะที่เหมาะสม

(ก) (ข)

ภาพ 33 สีน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการกำจัดสีด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ของการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในวันที่ 3 ของการทดลอง

หมายเหตุ (ก) น้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่ได้เติมเชื้อ

(ข) น้ำเสียสังเคราะห์ในสภาวะที่เหมาะสม (sucrose ร้อยละ 0.95, peptone ร้อยละ 0.93, พีเอชเริ่มต้น 8.0 และ ปริมาณเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 1.0)

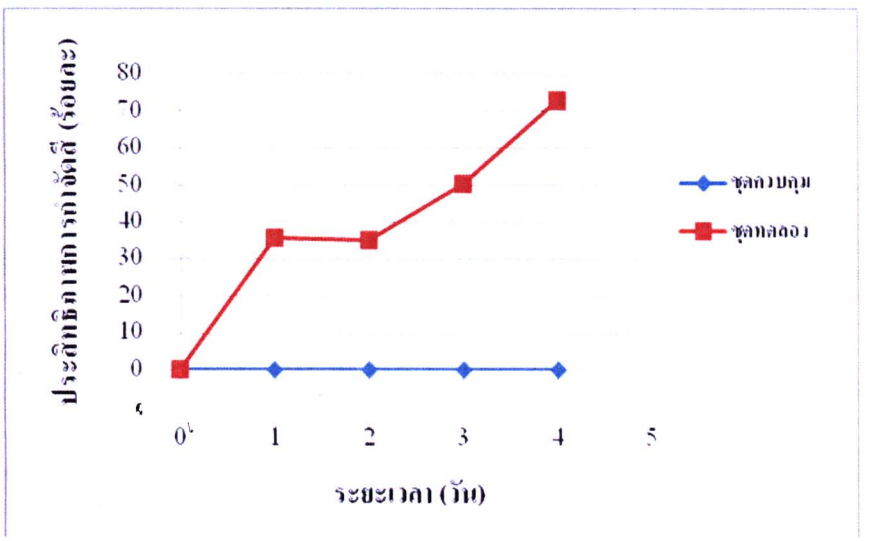


ภาพ 34 ประสิทธิภาพการกำจัดเอฟซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ในสภาวะที่เหมาะสม

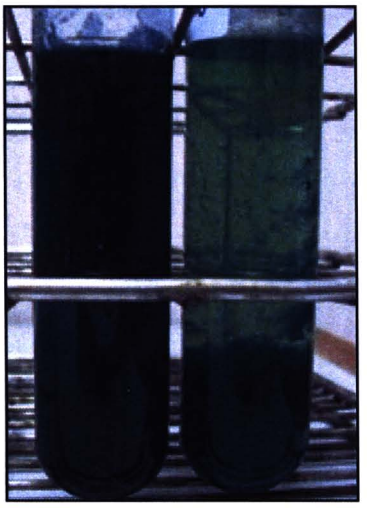
7. การศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ต่อการกำจัดสีในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อมในสภาวะที่เหมาะสม

เมื่อนำเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มาเลี้ยงในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อมที่เติม sucrose ร้อยละ 0.95 (แหล่งคาร์บอน) peptone ร้อยละ 0.93 (แหล่งไนโตรเจน) ควบคุมค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 8.0 และควบคุมเชื้อเริ่มต้นให้มีปริมาณร้อยละ 1.0 โดยบันทึกผลทุกวัน เป็นระยะเวลา 4 วัน พบว่าเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงสุดร้อยละ 72.9 และมีประสิทธิภาพการกำจัดเอฟซีโอดีร้อยละ 25.0 ที่ระยะเวลา 4 วัน ของการทดลอง (ภาพ 35 และ 36) แสดงว่า เชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มีความสามารถในการกำจัดสีและเอฟซีโอดีในสภาวะดังกล่าวได้ดี แต่เมื่อเปรียบเทียบร้อยละการกำจัดสีและเอฟซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ในสภาวะเดียวกันนั้น เชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มีค่าการกำจัดสีและเอฟซีโอดีร้อยละ 94.6 และ 50.0 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มีประสิทธิภาพการกำจัดสีและเอฟซีโอดีในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อมต่ำกว่าในน้ำเสียสังเคราะห์ ทั้งนี้เป็นผลมาจากลักษณะโครงสร้างของสี สารเคมีและส่วนประกอบต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมซึ่งในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อมจะมีส่วนประกอบของสารช่วยย้อม เศษเทียนไขที่ใช้ในการตกแต่งผ้าและเศษเส้นใยผ้าที่ติดมากับน้ำเสีย (ภาพ 37) ดังนั้นจึงเป็นผลให้เชื้อแบคทีเรีย

Bacillus amyloliquefaciens SP-L1 กำจัดสีและเอฟซีโอดีในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อมได้ต่ำกว่าสีในน้ำเสียสังเคราะห์

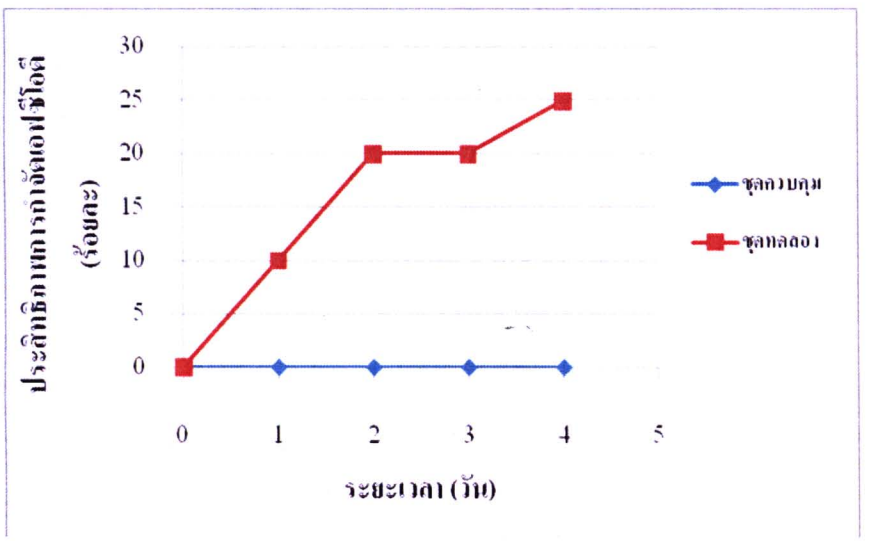


ภาพ 35 ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ในการกำจัดสีน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตหม้อฮ่อมในสภาวะที่เหมาะสม



(ก) (ข)

ภาพ 36 สีน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อมที่ผ่านการกำจัดสีด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ของการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในวันที่ 4 ของการทดลอง
หมายเหตุ (ก) น้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อมที่ไม่ได้เติมเชื้อ
(ข) น้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อมในสภาวะที่เหมาะสม (sucrose ร้อยละ 0.95, peptone ร้อยละ 0.93, พีเอชเริ่มต้น 8.0 และ ปริมาณเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 1.0)



ภาพ 37 ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ในการกำจัดเอฟซีโอดีในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อมในสภาวะที่เหมาะสม

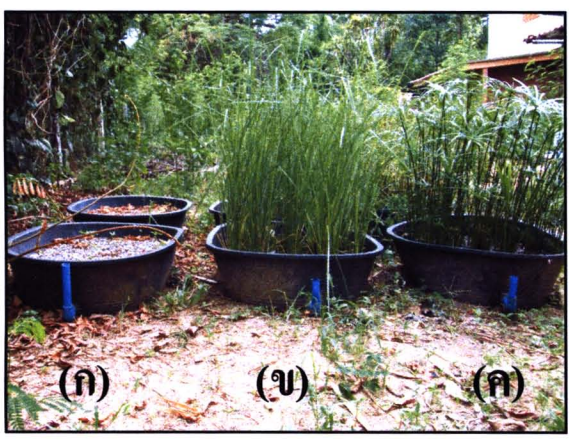
การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อมโดยใช้เชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ร่วมกับระบบบึงประดิษฐ์

ในการทดลองได้ใช้ระบบที่มีการใช้เชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ร่วมกับระบบบึงประดิษฐ์ในการกำจัดสีและลดค่าสารอินทรีย์ต่าง ๆ โดยระบบที่มีการใช้เชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 จะใช้ปริมาณเชื้อร้อยละ 1.0 ร่วมกับ sucrose ร้อยละ 0.95 (แหล่งคาร์บอน) peptone ร้อยละ 0.93 (แหล่งไนโตรเจน) และพีเอชเริ่มต้นที่ 8.0 ใช้เวลาในการเดินระบบ 4 วัน และเติมอากาศ 1 วัน เพื่อเป็นการกำจัดอะโรมาติกเอมีนที่เกิดขึ้นจากการกำจัดสีของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 เนื่องจากอะโรมาติคเอมีนที่เกิดจากการรีดักชันจะสามารถย่อยสลายต่อไปในสภาวะมีออกซิเจนได้ง่าย (กัลยาณี, 2550) หลังจากนั้นปล่อยน้ำเสียเข้าระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลตามแนวนอนโดยใช้ปั๊มแบบ peristatic เพื่อปล่อยน้ำเสียเข้าระบบแบบต่อเนื่องโดยมีอัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน และมีระยะเวลากักเก็บ 3 วัน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 แบบคือ (ภาพ 38 และ 39)

แบบที่ 1 บ่อควบคุม (ไม่ปลูกพืช)

แบบที่ 2 บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานี

แบบที่ 3 บึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นกกลังกา



ภาพ 38 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอน

หมายเหตุ (ก) บ่อที่ไม่ปลูกพืช

(ข) บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานี

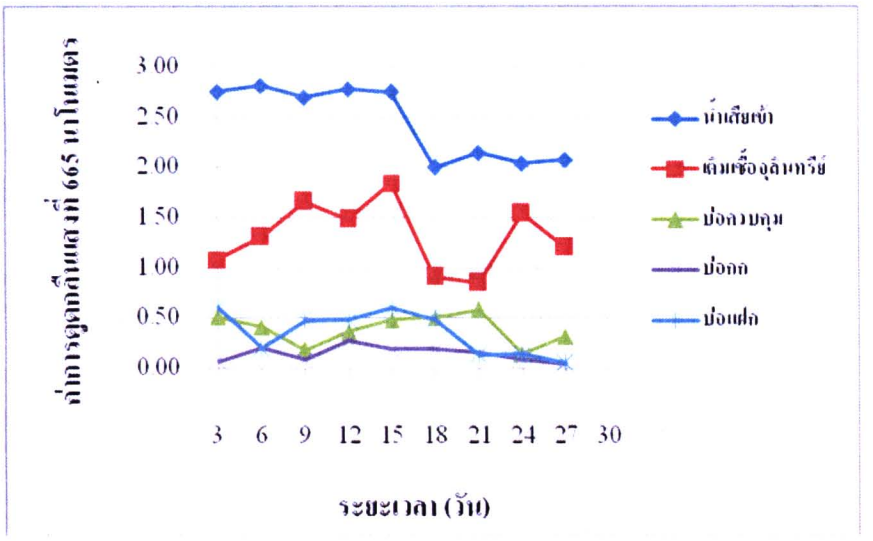
(ค) บึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นกกลังกา

ภาพ 39 แสดงการปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลตามแนวนอน

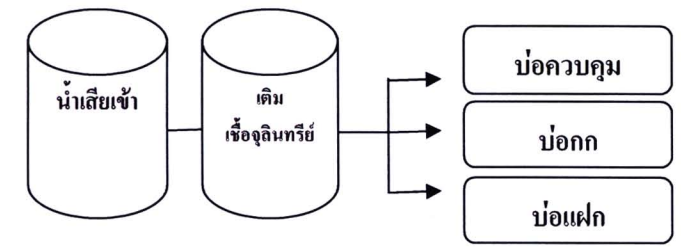
เมื่อเริ่มทำการทดลองในส่วนของระบบที่มีการใช้เชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 จะเก็บน้ำวิเคราะห์ทุก 4 วัน ส่วนระบบบึงประดิษฐ์จะวิเคราะห์น้ำทุก 3 วัน โดยจุดเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์คือ ก่อนเติมเชื้อจุลินทรีย์ หลังเติมเชื้อจุลินทรีย์และหลังผ่านระบบบึงประดิษฐ์ พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ สี เอฟซีโอดี บีโอดี พีเอช ของแข็งแขวนลอยและของแข็งทั้งหมด ซึ่งประสิทธิภาพโดยรวมในการกำจัดมีรายละเอียดดังนี้

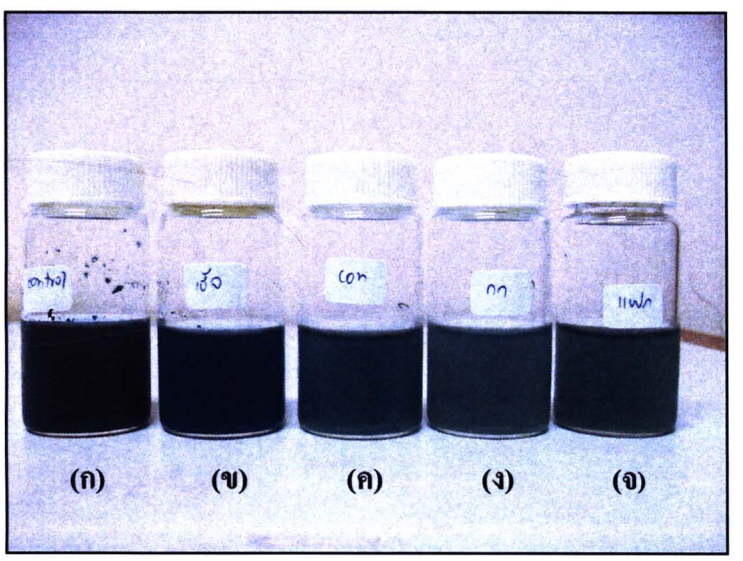
การกำจัดสี

ในส่วนของการกำจัดสีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อมนั้นสีที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เกิดจากขั้นตอนการฟอกย้อมซึ่งสีที่เกิดขึ้นจะเป็นสีน้ำเงิน จากการทดลองน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีค่าความเข้มสีที่ความยาวคลื่น 665 นาโนเมตร เฉลี่ยเท่ากับ 2.45 และเมื่อน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อมผ่านการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มีค่าความเข้มสีลดลงเฉลี่ย 1.32 และเมื่อปล่อยน้ำเสียผ่านระบบบึงประดิษฐ์พบว่า ความเข้มสีของน้ำที่ออกจากบึงประดิษฐ์ที่ปลูกกกลังกามีค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ 0.14 และมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ น้ำที่ออกจากบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าแฝกสายพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีความเข้มสีเฉลี่ยเท่ากับ 0.35 และน้ำที่ออกจากบ่อควบคุม (ไม่ปลูกพืช) มีความเข้มสีเฉลี่ยเท่ากับ 0.39 ตามลำดับ (ภาพ 40 และ 41) ซึ่งสามารถสรุปประสิทธิภาพการกำจัดสีได้ดังตาราง 11



ภาพ 40 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อมเมื่อผ่านการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ร่วมกับระบบบึงประดิษฐ์





ภาพ 41 สีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อมเมื่อผ่านการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ร่วมกับระบบบึงประดิษฐ์

หมายเหตุ (ก) น้ำเสียเข้า

(ข) น้ำเสียหลังผ่านการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1

(ค) บึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช (บ่อควบคุม)

(ง) บึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นกกลังกา

(จ) บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานี

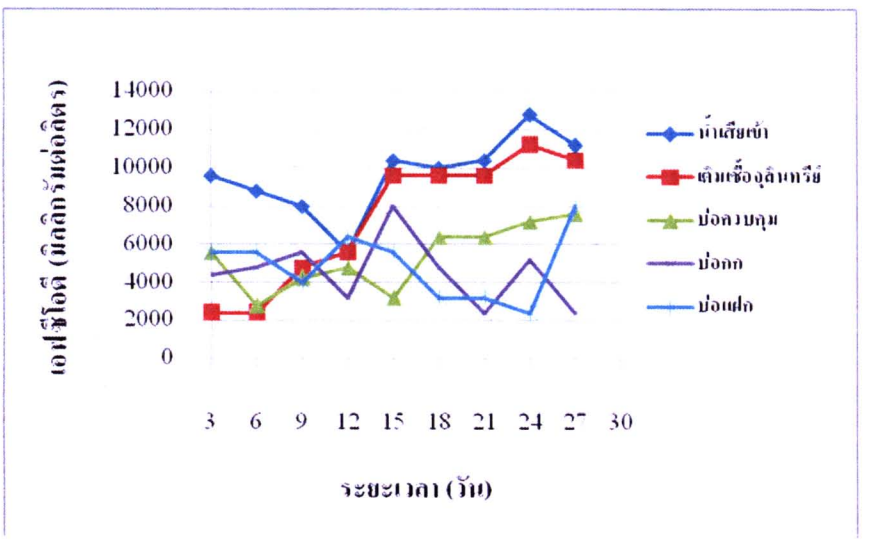
ตาราง 11 ประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อมเมื่อผ่านการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ร่วมกับระบบบึงประดิษฐ์

ทรีตเมนต์	ความเข้มสีที่ 665 นาโนเมตร	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (ร้อยละ)
น้ำเสียเข้า	2.45	-
น้ำเสียหลังผ่านการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1	1.32	46.2
บึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช (บ่อควบคุม)	0.39	70.6
บึงประดิษฐ์ที่ปลูกกกลังกา	0.35	89.4
บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าแฝกสายพันธุ์สุราษฎร์ธานี	0.14	73.4

จากตาราง 11 พบว่า เชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มีประสิทธิภาพการกำจัดสีร้อยละ 46.2 เมื่อผ่านน้ำเสียเข้าสู่ระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช (บ่อควบคุม) บึงประดิษฐ์ที่ปลูกกกลังกาและบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าแฝกสายพันธุ์สุราษฎร์ธานี มีประสิทธิภาพการกำจัดสีร้อยละ 70.6, 89.4 และ 73.4 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าสีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อมเริ่มลดลงหลังจากผ่านการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสีของเชื้อแบคทีเรียทำให้สีจางลงและเมื่อผ่านบึงประดิษฐ์ทั้ง 3 แบบ พบว่าบ่อควบคุมมีประสิทธิภาพการกำจัดสีต่ำกว่าบึงประดิษฐ์ที่ปลูกกกลังกาและบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าแฝกสายพันธุ์สุราษฎร์ธานี เนื่องจากบ่อควบคุมมีเพียงกลไกการตกตะกอนและการกรองผ่านตัวกลางเพียงอย่างเดียวส่วนบึงประดิษฐ์ที่ปลูกกกลังกาและหญ้าแฝกสายพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีพืชเป็นปัจจัยสำคัญซึ่งพืชจะมีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลสที่มีความสามารถในการดูดซับสีได้ดี (ประนัดดา, 2548) นอกจากนี้กระบวนการทางกายภาพยังมีส่วนช่วยในการกำจัดสี เช่น การดูดซับในชั้นตัวกลาง ในรากพืชและเมือกจุลินทรีย์เป็นต้น (เสนีย์, 2551)

การกำจัดเอฟซีโอดี

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตหม้อฮ่อมมีค่าเอฟซีโอดีก่อนผ่านการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9,644 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มีค่าเอฟซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 7,289 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อปล่อยน้ำเสียผ่านระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช (บ่อควบคุม) มีค่าเฉลี่ยเอฟซีโอดีน้ำออกเท่ากับ 5,360 มิลลิกรัมต่อลิตร บึงประดิษฐ์ที่ปลูกกกลังกามีค่าเฉลี่ยเอฟซีโอดีน้ำออกเท่ากับ 4,533 มิลลิกรัมต่อลิตร และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าแฝกสายพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีค่าเฉลี่ยเอฟซีโอดีน้ำออกเท่ากับ 4,889 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพ 42) จากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุปเป็นประสิทธิภาพการกำจัดเอฟซีโอดีดังตาราง 12



ภาพ 42 เอฟซีโอดีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อมเมื่อผ่านการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ร่วมกับระบบบึงประดิษฐ์

ตาราง 12 ประสิทธิภาพการกำจัดเอฟซีโอดีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อมเมื่อผ่านการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ร่วมกับระบบบึงประดิษฐ์

ทรีตเมนต์	เอฟซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพการกำจัดเอฟซีโอดี (ร้อยละ)
น้ำเสียเข้า	9,644	-
น้ำเสียหลังผ่านการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1	7,289	24.4
บึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช (บ่อควบคุม)	5,360	26.4
บึงประดิษฐ์ที่ปลูกกกลังกา	4,533	37.8
บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าแฝกสายพันธุ์สุราษฎร์ธานี	4,889	32.9

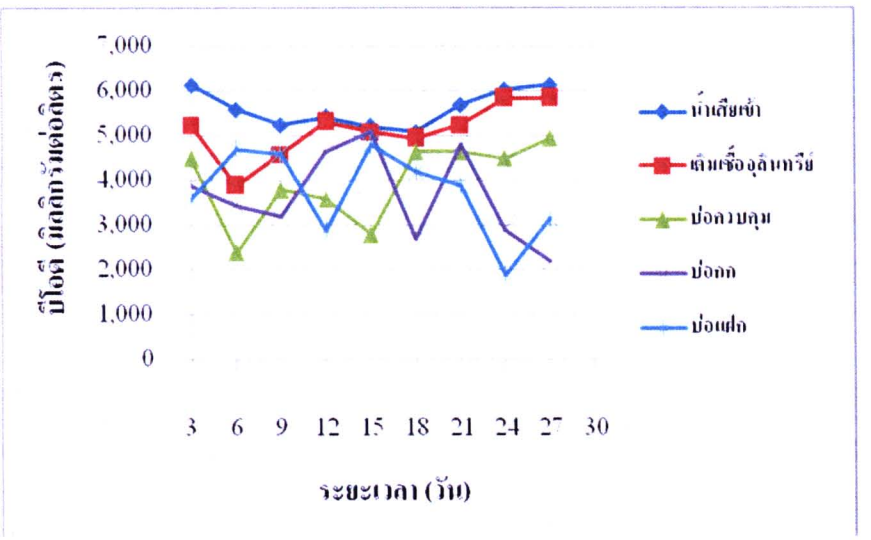
จากตาราง 12 พบว่าพบว่า เชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มีประสิทธิภาพการกำจัดเอฟซีโอดีร้อยละ 24.4 เมื่อผ่านน้ำเสียเข้าสู่ระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช (บ่อควบคุม) บึงประดิษฐ์ที่ปลูกกกลังกาและบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าแฝกสายพันธุ์สุราษฎร์ธานี มีประสิทธิภาพการกำจัดเอฟซีโอดีร้อยละ 26.4, 37.8 และ 32.9 ตามลำดับ

การที่ค่าเอฟซีโอดีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตหม้อฮ่อมลดลงเนื่องจากเกิดกลไกในการกรอง และตกตะกอน คือ เมื่อน้ำเสียไหลผ่านตัวกลางพวกกรวด ทราย ที่มีการไหลตามแนวนอนจากจุดน้ำเข้าผ่านชั้นตัวกลางต่างๆ จะทำให้เกิดการกรอง และการตกตะกอน ซึ่งทั้งกรวดและทรายมีคุณสมบัติในการกรองและทำให้มีการตกตะกอนของมลสารเหมือนถังกรองที่มีชั้นกรองสารทั่วไปในระบบบำบัดน้ำเสีย ส่วนการนำสารอาหารไปใช้โดยรากพืชเพื่อนำไปใช้ในการสร้างอาหารและเพื่อการเจริญเติบโตของพืช ทำให้ค่าซีโอดีลดลงได้ส่วนหนึ่ง อีกเหตุผลหนึ่งคือ น้ำเสียจะถูกบำบัดซีโอดีได้โดยการทำงานของ aerobic heterotrophic bacteria ที่เกาะอยู่ตามกรวด ทราย และรากพืช แบคทีเรียชนิดนี้มีหน้าที่ในการกำจัดสารละลายอินทรีย์ซึ่งมีการย่อยสลายแบบ แอโรบิคและได้รับออกซิเจนโดยตรงจากบรรยากาศ โดยการแพร่และการส่งผ่านออกซิเจนมายังรากพืชและบริเวณรอบๆ ที่รากพืชแทรกอยู่ในขณะที่บ่อควบคุมไม่มี และเมื่อพืชมีการเจริญเติบโตเต็มที่พื้นที่ในการยึดเกาะของจุลินทรีย์มากขึ้นจึงส่งผลให้ความสามารถในการลดค่าซีโอดีสูงขึ้น

นอกจากนี้ค่าซีโอดีส่วนหนึ่งลดลงได้เนื่องจากในกระบะที่มีการไหลในแนวนอนนั้นมีซีโอดีบางส่วนถูกใช้เป็นแหล่งคาร์บอนโดยแบคทีเรียในกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งกระบวนการดีไนตริฟิเคชันจะทำการเปลี่ยนไนเตรทไนโตรเจนไปเป็นไนไตรท์ไนโตรเจนและก๊าซไนโตรเจนในที่สุด โดยไนเตรทไนโตรเจนจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอน มีสารอินทรีย์คาร์บอนที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน สามารถจำแนกปฏิกิริยานี้ได้เป็น 2 ชนิด คือ Substrate Nitrate Denitrification ซึ่งใช้สารอินทรีย์คาร์บอนจากแหล่งใดก็ได้ที่ไม่ใช่คาร์บอนในเซลล์จุลินทรีย์ สารอินทรีย์คาร์บอนอาจเป็นซีโอดีหรือบีโอดี ที่อยู่ในน้ำเสีย และ Endogenous Nitrate Denitrification กรณีนี้จะเกิดขึ้นเมื่อไม่มีคาร์บอนจากแหล่งภายนอก คือ จุลินทรีย์จะใช้แหล่งคาร์บอนภายในเซลล์ของตน ปฏิกิริยานี้จึงเสมือนว่าเป็นการย่อยตัวเอง (ศักดิ์ชัย, 2547)

บีโอดี

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตหม้อฮ่อมมีค่าบีโอดีก่อนผ่านการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5,626 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 5,119 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อปล่อยน้ำเสียผ่านระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช (บ่อควบคุม) มีค่าเฉลี่ยบีโอดีน้ำออกเท่ากับ 3,983 มิลลิกรัมต่อลิตร บึงประดิษฐ์ที่ปลูกกกลังกามีค่าเฉลี่ยบีโอดีน้ำออกเท่ากับ 3,656 มิลลิกรัมต่อลิตร และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าแฝกสายพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีค่าเฉลี่ยบีโอดีน้ำออกเท่ากับ 3,752 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพ 43) จากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุปเป็นประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีดังตาราง 13



ภาพ 43 ค่าบีโอดีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อมเมื่อผ่านการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ร่วมกับระบบบึงประดิษฐ์

ตาราง 13 ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อมเมื่อผ่านการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ร่วมกับระบบบึงประดิษฐ์

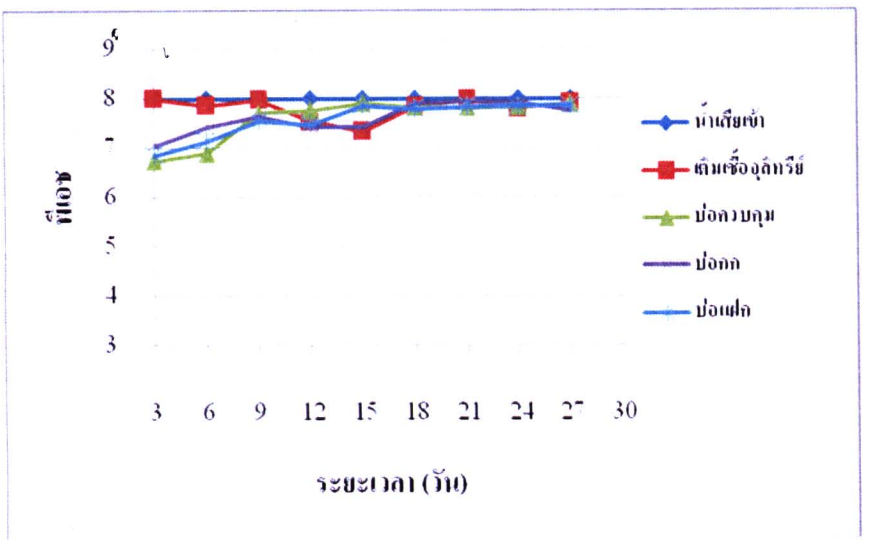
ทรีตเมนต์	บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี (ร้อยละ)
น้ำเสียเข้า	5,626	-
น้ำเสียหลังผ่านการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1	5,119	9
บึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช (บ่อควบคุม)	3,983	22.2
บึงประดิษฐ์ที่ปลูกกกลังกา	3,656	28.6
บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าแฝกสายพันธุ์สุราษฎร์ธานี	3,752	26.7

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

จากตาราง 13 พบว่าเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มีประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีร้อยละ 9.0 เมื่อผ่านน้ำเสียเข้าสู่ระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช (บ่อควบคุม) บึงประดิษฐ์ที่ปลูกกกกลังกาและบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าแฝกสายพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี ร้อยละ 22.2, 28.6 และ 26.7 ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์เกิดจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ (จุฑารัตน์, 2546) โดยสารอินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่จะถูกบำบัดโดยการกรองและการตกตะกอนภายในชั้นตัวกลาง และถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายต่อไป ส่วนสารอินทรีย์ที่อยู่ในสภาพละลายน้ำจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ซึ่งจะมีอยู่ทั้งในสภาพที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน (วรวุฒิ, 2547) โดยจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่กับรากพืชจะย่อยสลายสารอินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนตลอดเวลา เนื่องจากพืชจะส่งผ่านออกซิเจนไปยังรากพืช ทำให้บริเวณรอบรากพืชมีสภาพเอื้ออำนวยต่อการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน ส่วนจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่กับตัวกลางจะมีการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนหรือไม่ใช้ออกซิเจนนั้นขึ้นอยู่กับการมีหรือไม่มีออกซิเจนในบริเวณดังกล่าว โดยบริเวณผิวหน้าตัวกลางจะเกิดสภาพมีออกซิเจนได้มากกว่าบริเวณที่ลึกลงไป (สุรศักดิ์, 2550) จากการทดลองเนื่องจากมีปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบมาก คือบีโอดีก่อนผ่านบึงประดิษฐ์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5,119 มิลลิกรัมต่อลิตร และจากความเป็นพิษของสีจึงทำให้จุลินทรีย์นำสารอินทรีย์ดังกล่าวไปย่อยสลายได้ไม่หมดส่งผลให้บีโอดีน้ำออกหลังผ่านบึงประดิษฐ์ทั้ง 3 แบบ มีค่าสูง คือ อยู่ระหว่าง 3,656 – 3,983 มิลลิกรัมต่อลิตร

พีเอช

ค่าพีเอชของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตหม้อฮ่อมนั้นพบว่ามีค่าเป็นด่าง (พีเอช เท่ากับ 9.0) ดังนั้นในการทดลองจึงปรับค่าพีเอชของน้ำเสียให้เหลือ 8.0 ด้วยกรดซัลฟูริคเข้มข้น เนื่องจากเป็นค่าพีเอชเริ่มต้นที่เชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี โดยค่าพีเอชของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อมเมื่อผ่านการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย*Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ร่วมกับระบบบึงประดิษฐ์พบว่าค่าพีเอชไม่แตกต่างกันมากนัก (ภาพ 44)

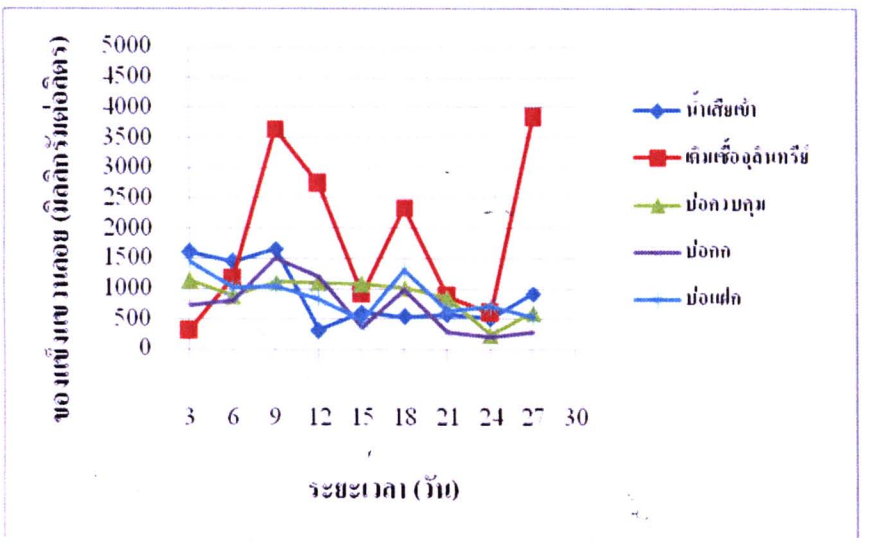


ภาพ 44 พีเอชของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อมเมื่อผ่านการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ร่วมกับระบบบึงประดิษฐ์

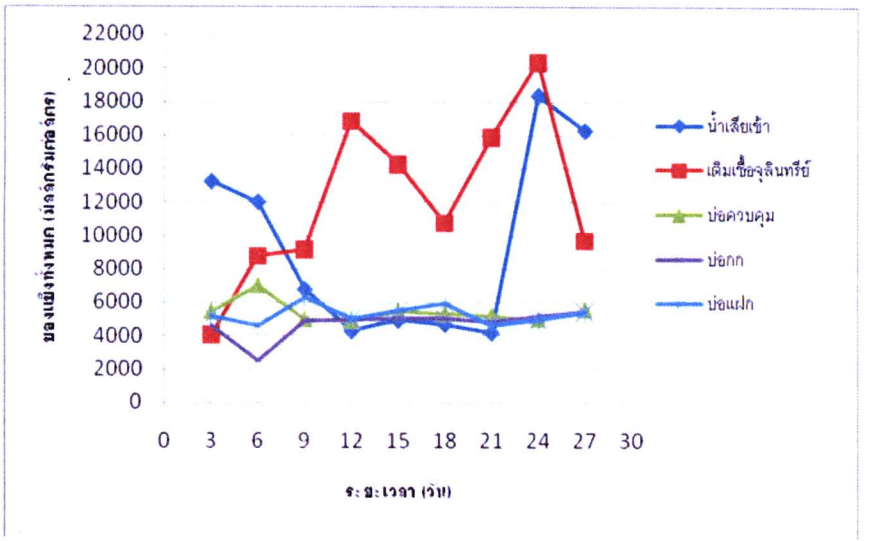
จากภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มีค่าเฉลี่ย 7.8 ส่วนน้ำหลังผ่านบึงประดิษฐ์ทั้ง 3 แบบ คือ บ่อควบคุม (ไม่ปลูกพืช) บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าแฝกสายพันธุ์สุราษฎร์ธานี และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นกกลังกา มีค่าเฉลี่ยพีเอช เท่ากับ 7.59, 7.58 และ 7.61 ตามลำดับ ซึ่งค่าพีเอชดังกล่าวจัดว่ามีความเหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน โดยค่าที่เหมาะสมต่อปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจะอยู่ในช่วง 7.5-8.6 ส่วนค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจะอยู่ในช่วง 7.0 - 8.0 เมื่อค่าพีเอชต่ำกว่า 6.0 และมากกว่า 8.0 จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันลดลง (พวงเดือน, 2549)

การกำจัดของแข็งแขวนลอยและของแข็งทั้งหมด

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตหม้อฮ่อมมีค่าของแข็งแขวนลอยก่อนผ่านการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 เฉลี่ยเท่ากับ 920 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าของแข็งทั้งหมดเฉลี่ย 9,409 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 1,836 มิลลิกรัมต่อลิตรและค่าของแข็งทั้งหมดเฉลี่ย 12,177 มิลลิกรัมต่อลิตร การที่ค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อมเพื่อใช้ในการกำจัดสีและสารอินทรีย์ แต่หลังจากที่น้ำเสียผ่านการบัดด้วยบึงประดิษฐ์พบว่า มีค่าลดลง คือระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช (บ่อควบคุม) มีค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยน้ำออกเท่ากับ 900 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าของแข็งทั้งหมดเฉลี่ย 5,432 มิลลิกรัมต่อลิตร บึงประดิษฐ์ที่ปลูกกกลังกามีค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยน้ำออกเท่ากับ 714 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าของแข็งทั้งหมดเฉลี่ย 4,718 มิลลิกรัมต่อลิตร และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าแฝกสายพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยน้ำออกเท่ากับ 896 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าของแข็งทั้งหมดเฉลี่ย 5,303 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพ 45 และ 46) จากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุปเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยและของแข็งทั้งหมดดังตาราง 14 และ 15



ภาพ 45 ค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อมเมื่อผ่านการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ร่วมกับระบบบึงประดิษฐ์



ภาพ 46 ค่าของแข็งทั้งหมดของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อมเมื่อผ่านการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ร่วมกับระบบบึงประดิษฐ์

ตาราง 14 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อมเมื่อผ่านการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ร่วมกับระบบบึงประดิษฐ์

ทรีตเมนต์	ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย (ร้อยละ)
น้ำเสียเข้า	920	-
น้ำเสียหลังผ่านการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1	1,836	-
บึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช (บ่อควบคุม)	900	50.1
บึงประดิษฐ์ที่ปลูกกกลังกา	714	61.0
บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าแฝกสายพันธุ์สุราษฎร์ธานี	896	51.2

ตาราง 15 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อมเมื่อผ่านการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ร่วมกับระบบบึงประดิษฐ์

ทรีตเมนต์	ของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมด(ร้อยละ)
น้ำเสียเข้า	9,409	-
น้ำเสียหลังผ่านการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1	12,177	-
บึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช (บ่อควบคุม)	5,432	55.4
บึงประดิษฐ์ที่ปลูกกกลังกา	4,718	61.2
บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าแฝกสายพันธุ์สุราษฎร์ธานี	5,303	56.4

จากตาราง 14 และ 15 พบว่าน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตหม้อฮ่อมหลังผ่านการบำบัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 มีค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* SP-L1 ในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตหม้อฮ่อมเพื่อใช้ในการกำจัดสีและสารอินทรีย์ และ เมื่อผ่านน้ำเสียเข้าสู่ระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช (บ่อควบคุม) บึงประดิษฐ์ที่ปลูกกกลังกาและบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าแฝกสายพันธุ์สุราษฎร์ธานี มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยร้อยละ 50.1, 61.1 และ 51.2 ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดร้อยละ 55.4, 61.2 และ 56.4 ตามลำดับ

การที่ค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งทั้งหมดหลังผ่านการบำบัดด้วยบึงประดิษฐ์มีค่าลดลงเนื่องจากกลไกการกำจัดของแข็งแขวนลอยและของแข็งทั้งหมด คือ การตกตะกอน การกรองและการจับติดกับชั้นฟิล์มของจุลินทรีย์ การเลือกใช้สารกรองประเภทหินเกร็ดจะช่วยในการลดของแข็งแขวนลอยได้ เนื่องจากตัวกรองจะทำหน้าที่กรองและลดความเร็วของน้ำ ทำให้ของแข็งแขวนลอยไม่สามารถถูกน้ำพัดพาไปได้ ตะกอนแขวนลอยที่จมตัวลงบางครั้งอาจกลับมาแขวนลอยได้อีก เช่น ในกรณีฝนตกหนัก หรือ ลมพัดแรง โดยทั่วไปอัตราการตกตะกอนในบ่ออยู่ในช่วง 2-90 มิลลิกรัมต่อปี (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2546 อ้างโดย รุจิรา, 2547) รากต้นพืชในบึงประดิษฐ์ยังทำหน้าที่เป็นตัวกรองได้อีกทางหนึ่ง โดยหญ้าแฝกและกกลังกาเป็นพืชที่มีระบบรากฝอยที่แผ่กว้างและมีการเจริญเติบโตของรากได้เร็วจึงช่วยลดการอุดตันของชั้นกรองได้ดีอีกทั้งรากฝอยที่มากจะเป็นเสมือนตาข่ายช่วยกรองสารแขวนลอย ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการ

กรองสารแขวนลอย ดีขึ้น (สมพล, 2547) เช่นเดียวกับ โสมวดี (2546) กล่าวว่ากลไกสำคัญในการกำจัดของแข็งแขวนลอยคือ การกรอง ซึ่งนับได้ว่าเป็นกลไกหลัก กลไกนี้เกิดขึ้นในชั้นตัวกลางและมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นเมื่อมีรากพืชที่สานกันไปมาอยู่ในชั้นตัวกลาง นอกจากนี้อนุภาคของแข็งแขวนลอยที่สะสมอยู่จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ต่อไป