



E46911



**REMOVAL OF ORGANIC SUBSTANCES AND REACTIVE
AZO DYE BY ANAEROBIC/AEROBIC
BIOLOGICAL ACTIVATED CARBON SEQUENCING BATCH REACTOR**

MISS NITTAYA PASUKPHON

**A DISSERTATION SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
(ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY)
SCHOOL OF ENERGY, ENVIRONMENT AND MATERIALS
KING MONKUT'S UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THONBURI**

2010

600246526



E46911

Removal of Organic Substances and Reactive Azo Dye by Anaerobic/Aerobic
Biological Activated Carbon Sequencing Batch Reactor

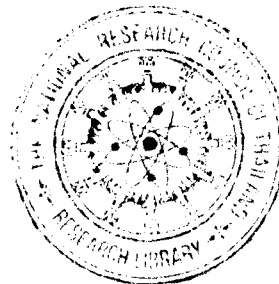
Miss Nittaya Pasukphun M.Sc. (Environmental Technology)

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for
the Degree of Doctor of Philosophy (Environmental Technology)

School of Energy, Environment and Materials

King Mongkut's University of Technology Thonburi

2010



Dissertation Committee

S. Suktrakoolvut
.....
(Dr. Saovapak Suktrakoolvut)

Chairman of Dissertation Committee

Soydoa Vinitnantharat
.....
(Assoc. Prof. Dr. Soydoa Vinitnantharat)

Member and Dissertation Advisor

Shabbir H. Gheewala
.....
(Assoc. Prof. Dr. Shabbir H. Gheewala)

Member and Dissertation Co-Advisor

Suwanchai Nitisoravut
.....
(Assoc. Prof. Dr. Suwanchai Nitisoravut)

Member

Pawinee Chaiprasert
.....
(Assoc. Prof. Dr. Pawinee Chaiprasert)

Member

Dissertation Title	Removal of Organic Substances and Reactive Azo Dye by Anaerobic/Aerobic Biological Activated Carbon Sequencing Batch Reactor
Dissertation Credits	42
Candidate	Miss Nittaya Pasukphun
Thesis Advisors	Assoc. Prof. Dr. Soydoa Vinitnantharat Assoc. Prof. Dr. Shabbir H. Gheewala
Program	Doctor of Philosophy
Field of Study	Environmental Technology
Department	Environmental Technology
Faculty	School of Energy, Environment and Materials
B.E.	2553

E46911

Abstract

The aim of this research is to investigate the capability of Anaerobic/Aerobic Biological Activated Carbon Sequencing Batch Reactor (A/A BAC-SBR) for organic substances and dye removal. The experiments were divided into 2 phases; phase I was designed in order to determine the main removal mechanisms in the system and phase II was reactor operation that studied effect of SBR operation parameters. Each of BAC system composition; granular activated carbon (GAC), microorganism (MC) and immobilized cell on GAC or biological activated carbon (BAC) was studied. The removal efficiency on various conditions; BAC composition type, BAC composition dosage, test solution and operating condition (anaerobic and/or aerobic batch operation or SBR operation) were also investigated. Furthermore, the data from this phase was used for determination of kinetic parameters by simple chemical equations and the appropriate condition for SBR operation in phase I and reactor operation in phase II.

The preliminary results showed that the acclimatized microorganisms were more effectively remove dye than non acclimatized microorganisms by shorten the retention time with no lag phase. Besides, the result showed that anaerobic

condition was important for dye removal and the appropriate anaerobic retention time was 35 h. On the other hand, GAC and the acclimatized microorganism dosages were decided to use at 3000 mg/L and 5000 mg/L, respectively due to dye removal efficiency and economic concern reasons.

As for the study of BAC system composition, the batch experiments were followed to SBR periods; Fill, React (anaerobic : aerobic), Settle, Draw and Idle. The results indicated GAC and MC played role in dye removal. It was found that desizing agent disturb dye adsorption capability by GAC but support MC decolorization by acting as co-substrate. Removal of organic substance and dyes was observed in all periods of SBR cycle batch test, it was found that organic substances and dyes were rapidly decreased in Fill period. The kinetic studies showed that dye biodegradation fitted to second order reaction which indicated that decolorization was depended on dye and co-substrate concentrations.

As for reactor operation, the appropriate conditions from phase I were used. The A/A BAC-SBR was operated with 5000 mg/L and 3000 mg/L of MC and GAC at the beginning, respectively. SBR cycle consisted of Fill 1.5 h, React 43 h (anaerobic : aerobic; 35 : 8), Settle 2.5 h, Draw 0.5 h and Idle 0.5 h for 48 h/cycle. A/A SBR and A/A BAC-SBR were set up to study the effect of SRT and initial dye concentration on COD and dye removal efficiency. The results showed that increasing SRT from 3 to 15 days could not lead to significant higher COD and dye removal.

On the other hand, increasing initial dye concentration from 100 mg/L to 500 mg/L resulted in decreasing COD removal of A/A SBR and A/A BAC-SBR probably due to the accumulation of by-products from dye degradation. GAC replacement was performed at the end of anaerobic phase at every 7th cycle in order to reduce the intermediates from biodegradation before discharging. It was found that replacement could not raise dye removal but it clearly showed the possibility to decrease dye intermediates that probably toxic to microorganisms in SBR. GC-MS technique was used for identification dye intermediate compounds. Detectable peaks were appeared during anaerobic and aerobic phase. This showed that operation in same basin could not bring about completely remove dye

intermediate under anaerobic/aerobic condition of this study. However, overall organic substance and dye removal in this research was in the range of discharge standards. Therefore, the advance treatment should be employed to minimize toxic accumulation in the system and effluent. In this research, GAC replacement shows the possibility to support decreasing toxic level in effluent of BAC system. After replacement of exhausted GAC (BAC) with virgin GAC in A/A BAC-SBR, the detectable peaks were significantly decreased. Therefore, A/A BAC system with GAC replacement shows trend to completely remove dye and its intermediates from textile wastewater and bring about decreasing toxic level in treatment system and receiving water.

Keywords : BAC/Decolorization/Dyes/GAC Replacement/SBR/Textile

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดสารอินทรีย์และสีรีแอกทีฟโครงสร้างอะโซโดยกระบวนการ ไร้อากาศ/ใช้อากาศถังเทชีววิทยาร่วมกับถ่านกัมมันต์
หน่วยกิต	42
ผู้เขียน	นางสาวนิศยา ผาสุขพันธุ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. ดร. สร้อยดาว วินิจนันทรรัตน์ รศ. ดร. แชนเบ็ญ กิ่วลา
หลักสูตร	ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
คณะ	พลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
B.E.	2553

บทคัดย่อ

E 46911

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาความสามารถในการบำบัดสารอินทรีย์และสีของถังเทชีววิทยาร่วมกับถ่านกัมมันต์ในสภาวะไร้อากาศ/ใช้อากาศ (Anaerobic/Aerobic Biological Activated Carbon Sequencing Batch Reactor, A/A BAC-SBR) โดยการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ช่วงได้แก่ ช่วงที่ 1 ได้ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์และสีด้วยองค์ประกอบหลักของถังเทชีววิทยาร่วมกับถ่านกัมมันต์ในการทดลองแบบกะ โดยองค์ประกอบหลักของระบบ A/A BAC-SBR ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ (GAC) จุลินทรีย์ (MC) และถ่านกัมมันต์ที่ถูกตรึงด้วยเซลล์จุลินทรีย์ (BAC) และช่วงที่ 2 คือการศึกษาในถังปฏิกรณ์ โดยในช่วงที่ 1 ได้ศึกษาผลของประเภทของจุลินทรีย์ ปริมาณถ่านกัมมันต์และจุลินทรีย์ ประเภทของสารละลายที่ถูกบำบัดและสภาวะใช้อากาศหรือไร้อากาศ หรือการเดินระบบถึงต่อความสามารถในการบำบัดสีด้วย ผลการศึกษาในช่วงที่ 1 ถูกประเมินลักษณะทางจลนพลศาสตร์และใช้เพื่อกำหนดภาวะที่เหมาะสมในการศึกษาของการทดลองต่อไปของช่วงที่ 1 และการศึกษาในช่วงที่ 2 ได้แก่ การเดินระบบถึงพร้อมกับถ่านกัมมันต์ในสภาวะไร้อากาศ/ใช้อากาศ

จากผลการศึกษาในขั้นต้นพบว่า จุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพให้คุ้นเคยกับน้ำเสียสังเคราะห์หรือสีแล้วมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ดีกว่าจุลินทรีย์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ปรับสภาพแล้วต้องการระยะเวลาทำปฏิกิริยาในการกำจัดที่สั้นกว่า และไม่ต้องการช่วงปรับตัวระยะแรก นอกจากนี้พบว่า สภาวะที่ไม่มีการเติมอากาศหรือไร้อากาศมีบทบาทต่อการกำจัดสีโดยมีช่วงระยะเวลาบำบัดที่เหมาะสมคือ 35 ชั่วโมง ในขณะที่ใช้ปริมาณของถ่านกัมมันต์และจุลินทรีย์ที่ผ่าน

การปรับสภาพแล้วที่ 3000 และ 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งสาเหตุที่เลือกปริมาณดังกล่าวในการทดลองเนื่องจากประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์

ผลการศึกษาองค์ประกอบต่างๆ ในระบบ BAC พบว่า ถ่านมันต์และจุลินทรีย์มีบทบาทในการกำจัดสี ย้อม และพบว่าสารลอกแป้ง (desizing agents) ทำให้การดูดซับสีโดยถ่านกัมมันต์ลดลงแต่ช่วยส่งเสริมให้เกิดการบำบัดสีโดยจุลินทรีย์มากขึ้น เนื่องจากสารลอกแป้งเป็นสารอาหารร่วมที่ส่งเสริมการกำจัดสี (co-substrate) ในขณะเดียวกันความสามารถในการบำบัดสารอินทรีย์และสีย้อมของ BAC ในระบบเป็นไปตามการทำงานร่วมกันของการย่อยสลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์ที่ยึดเกาะบนถ่านกัมมันต์และการดูดซับของ BAC โดยการกำจัดสารอินทรีย์และสีย้อมในระยะเวลาหนึ่งรอบทำงานของระบบเอสบีอาร์แบบการทดลองแบบกะพบว่า ความเข้มข้นสารอินทรีย์และสีย้อมลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเติมน้ำเสีย (Fill) นอกจากนี้การศึกษากินพลศาสตร์ของการย่อยสลายสีย้อมสอดคล้องกับปฏิกิริยาอันดับที่สองซึ่งชี้ให้เห็นว่าการกำจัดสีย้อมขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสีย้อมและสารอาหารร่วม

ในการศึกษาในระยะที่ 2 นั้นภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในระยะที่ 1 ถูกนำมาใช้ใน A/A BAC-SBR ในช่วงเริ่มต้นการทำงานของระบบได้ใช้จุลินทรีย์ที่ปรับสภาพแล้วและถ่านกัมมันต์ที่ปริมาณ 5000 และ 3000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งรอบการทำงานของถังเท่ากับ 48 ชั่วโมง และประกอบไปด้วย ช่วงเติมน้ำเสีย (Fill) 1.5 ชั่วโมง ช่วงทำปฏิกิริยา (React) ไร้อากาศ : ใช้อากาศ 35 : 8 ชั่วโมง ช่วงจมตัว (Settle) 2.5 ชั่วโมง ช่วงระบายน้ำเสีย (Draw) 0.5 ชั่วโมง และช่วงพักระบบ (Idle) 0.5 ชั่วโมง ซึ่งการศึกษาในรูปของการเดินระบบดังปฏิกิริยานี้ได้ดำเนินการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ A/A SBR และ A/A BAC-SBR ที่ค่าอายุตะกอนต่างๆ ความเข้มข้นของสีย้อมที่แตกต่างกันในน้ำเข้า ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มค่าอายุตะกอนจาก 3 วัน เป็น 15 วันไม่มีความแตกต่างกันต่อการกำจัดสารอินทรีย์และสีย้อม ในขณะที่การเพิ่มความเข้มข้นของสีย้อมในน้ำเข้าจาก 100 เป็น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ลดลง ค่าสารอินทรีย์ที่สะสมอยู่ในระบบนี้เป็นผลมาจากสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการย่อยสลายสีย้อมด้วยการแตกพันธะอะโซ่ ดังนั้นเพื่อลดสารผลิตภัณฑ์ดังกล่าว จึงได้แทนที่ถ่านกัมมันต์ที่เสื่อมสภาพแล้วที่ช่วงสิ้นสุดสถานะแอนแอโรบิคในทุกๆ 7 รอบการทำงาน โดยหลังการแทนที่ถ่านกัมมันต์พบว่า ไม่สามารถช่วยเพิ่มการกำจัดสีแต่ สามารถแสดงถึงความเป็นไปได้ในการลดผลิตภัณฑ์ตัวกลางที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสีย้อมในระบบ การใช้เทคนิควิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี (GC-MS) เพื่อตรวจสอบสารผลิตภัณฑ์ของสีย้อมและพื้นที่ได้กราฟที่ตรวจวัดได้ถูกใช้ประเมินการมีอยู่ของสารผลิตภัณฑ์ ซึ่งพบว่า กราฟแสดงผลทั้งในช่วงที่ไม่มีการเติมอากาศและมีการเติมอากาศ จากผล

การศึกษาพบว่า การเดินระบบแบบถังเดียวภายใต้สภาวะไร้อากาศ/ใช้อากาศในช่วงที่ศึกษาไม่สามารถกำจัดสีได้อย่างสมบูรณ์ อย่างไรก็ตามพบว่า การกำจัดสารอินทรีย์และสีของระบบที่ศึกษาให้ค่าน้ำทิ้งอยู่ในเกณฑ์ของมาตรฐานน้ำทิ้ง ดังนั้น การบำบัดในขั้นสูงจึงเป็นจุดมุ่งหมายสำหรับงานวิจัยนี้เพื่อลดการสะสมของสารพิษในระบบและน้ำทิ้ง

งานวิจัยนี้ได้ชี้ให้เห็นว่า การแทนที่ถ่านกัมมันต์ช่วยส่งเสริมการลดระดับความเป็นพิษในระบบบำบัด BAC หรือในน้ำทิ้ง กล่าวคือหลังจากที่ได้ทำการแทนที่ถ่านกัมมันต์ที่เสื่อมสภาพแล้วด้วยถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ได้ใช้งานใน A/A BAC-SBR แล้ว พื้นที่ใต้กราฟที่ตรวจสอบได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นระบบ A/A BAC-SBR ที่มีการแทนที่ถ่านกัมมันต์แสดงแนวโน้มในความสามารถในการกำจัดสีและสารผลิตภัณฑ์จากการย่อยสลายสีได้อย่างสมบูรณ์และนำไปสู่การลดลงของระดับความเป็นพิษในระบบบำบัดน้ำเสียและแหล่งน้ำรองรับ

คำสำคัญ : การกำจัดสี/ การแทนที่ถ่านกัมมันต์/ ดึงเทชีววิทยาร่วมกับถ่านกัมมันต์/ สิ่งทอ/ สีย้อม/ เอส
ปียาร์

ACKNOWLEDGEMENT

I would like to express my gratitude to all those who gave me the possibility to complete this thesis.

I am deeply indebted to my advisor and co-advisor; Assoc. Prof. Dr. Soydoa Vinitnantharat and Assoc. Prof. Dr. Shabbir H. Gheewala, my thesis committee; Dr. Saovapak Suktrakoolvait, Assoc. Prof. Dr. Suwanchai Nitorisravut and Assoc. Prof. Dr. Pawinee Chaiprasert who helped, suggested and encouraged me in all the time of research and writing of this thesis.

I would like to thank Prof. Dr. Sung Ryong Ha, Chungbuk National University, South Korea who always give me suggestion for this research. I also would like to thank my neighborhood, Mr. Pongpisut Thongradsamee and Mr. Num Panmanee who help me to set up the lab scale reactor. Miss Aorachon Chimjarn and Miss Angsuma Kanchak who was of great help in experiments and sampling. Mr. Ebenezer Nortey Yebuah who proved my English writing.

I would like to thank Winimex Industry Company Limited, Thailand and Thungkru district's domestic wastewater treatment plant, Thailand for giving me dyes and microorganisms. I am pleased to acknowledge the financial support from National Research Council of Thailand (NRCT) and School of Energy, Environment and Materials.

Especially, I would like to give my special thanks to my father who patient love, be my power and enabled me to complete this work. Also, my mother and my sister who make me pass the most difficult time.

CONTENTS

	PAGE
ENGLISH ABSTRACT	ii
THAI ABTRACT	v
ACKNOWLEDGEMENT	viii
CONTENTS	ix
LIST OF TABLES	xi
LIST OF FIGURES	xix
LIST OF ABBREVIATIONS	xx
 CHAPTER	
1. INTRODUCTION	1
1.1 Background and Problem Identification	1
1.2 Objectives	2
1.3 Scope of Study	2
1.4 Expectation Output	2
 2. THEORETICAL ISSUE / RELATED WORK	4
2.1 Textile Industrial Process and Wastewater Generation	4
2.2 Dye	6
2.2.1 Classification of Dyes	7
2.2.2 Reactive Dye	8
2.2.3 Dye Treatment from Textile Wastewater	9
2.3 Biological Decolorization	11
2.3.1 Aerobic and Anaerobic Dyes Treatment Process	11
2.3.2 Anaerobic/Aerobic Treatment of Dyes	12
2.4 Sequencing Batch Reactor (SBR)	15
2.5 Granular Activated Carbon (GAC)	19
2.6 Biological Activated Carbon (BAC) Process	22
2.6.1 Advantages of BAC Process	22
2.6.2 Removal Mechanism of BAC Process	24
2.6.3 Bioregeneration of BAC Process	25
2.7 Kinetic Studies	28
2.7.1 Reaction Rate	29
2.7.2 Monod Equation	31
 3. METHODOLOGY	32
3.1 Materials	32
3.1.1 Dyes	32
3.1.2 Tested Solutions	33
3.1.3 BAC Compositions	34
3.2 Experiments	36
3.2.1 Phase I Batch Tests	36
3.2.2 Phase II Reactor Operation	39
3.3 Analytical Methods	41
3.3.1 COD and Dye Concentration Measurement	41
3.3.2 Dye Intermediates Detection	42

CONTENTS (CONTINUE)

	PAGE
4 RESULTS AND DISCUSSION	44
4.1 Phase I Batch Test	44
4.1.1 Performance of Different MC Types on COD and Dye Removal	44
4.1.2 Performance of Virgin GAC on COD and Dye Removal	47
4.1.3 Treatability and Kinetic Studies with Main Compositions of A/A BAC-SBR	53
4.2 Reactor Operation	66
4.2.1 Effect of SRT on COD and Dye Removal	66
4.2.2 Effect of GAC Replacement	74
4.3 GC Study and Dye Intermediate Evaluation	76
4.3.1 Dye Intermediate and Anaerobic Retention Time	77
4.3.2 Dye Intermediate Study in A/A BAC-SBR	78
4.3.3 Attempt to Indentify Dye Intermediate Compound in A/A BAC-SBR	80
4.3.4 Effect of GAC Replacement on Existing of Dye Intermediate	82
4.4 Evaluation of Dye Removal Mechanism in A/A BAC-SBR	84
 5 CONCLUSION AND RECOMMENDATION	 86
5.1 Conclusion	86
5.1.1 Batch Test	86
5.1.2 Reactor Operation	88
5.1.3 Dye Intermediate in A/A BAC-SBR	88
5.1.4 GAC Replacement	89
5.1.5 Dye Removal Mechanism in A/A BAC-SBR	89
5.2 Recommendation	89
 REFERENCES	 91
 APPENDIX	 99
A BATCH TEST	100
B REACTOR OPERATION	119
C EXAMPLE OF CALCULATION	127
 CURRICULUM VITAE	

LIST OF TABLES

TABLE	PAGE
2.1 Pretreatment process and used substrates or chemicals	4
2.2 Characteristics of textile wastewater and effect of the composition on bioreactor	6
2.3 The atomic group of Chromophore and Auxochromes	7
2.4 Detail of dyes using in cotton fiber dyeing	8
2.5 Dye removal by various methods	10
2.6 Decolorization in aerobic and anaerobic conditions	12
2.7 SBR design criteria	17
2.8 Summary of anaerobic-aerobic process for dyes removal in single or separated stage	19
2.9 The characteristics of GAC	21
2.10 Benefits of BAC process for wastewater treatment	23
2.11 The effective design criterial of powers carbon / activated sludge system 23 for the Lurgi Process Coal Gasification wastewater	28
3.1 The Composition of the tested solutions	34
3.2 Summary of phase I	36
3.3 The detail of GAC adsorption equilibrium time	37
3.4 The experimental detail of the capability of GAC and MC for organic substances and dye removal	38
3.5 The operation conditions of the A/A BAC-SBR	40
3.6 Details of experimental condition	41
3.7 Parameters and analytical methods	42
4.1 Total COD and dye removal efficiencies of using non-acclimatized and acclimatized MC operating on DS and STW under anaerobic condition	45
4.2 Adsorption equilibrium time and removal efficiency in anaerobic and aerobic conditions	49
4.3 COD and dye removal in anaerobic – aerobic operation by virgin GAC	51
4.4 Dye desorption in buffer solution and DI water	53
4.5 Dye removal efficiencies with different removal mechanisms on A/A SBR operation in a cycle	61
4.6 Preliminary kinetic studies	64
4.7 Kinetic studies for BAC process composition	65
4.8 Dye removal on different of wastewater feeding methods	73
4.9 Changed detectable peak area during anaerobic condition	77
4.10 Detectable peak area for A/A SBR and A/A BAC-SBR	80
4.11 Dye removal in A/A BAC-SBR	85

LIST OF TABLES (CONTINUE)

TABLE	PAGE
A.1 DAS removal by various GAC dosages	101
A.2 Dye removal from DS-RR141 by various GAC dosages	101
A.3 COD removal from DS-RR141 by various GAC dosages	102
A.4 Dye removal from STW-RR141 by various GAC dosages	102
A.5 COD removal from STW-RR141 by various GAC dosages	103
A.6 Dye removal from DS-RR180 by various GAC dosages	103
A.7 COD removal from DS-RR180 by various GAC dosages	104
A.8 Dye removal from STW-RR180 by various GAC dosages	104
A.9 COD removal from STW-RR180 by various GAC dosages	105
A.10 COD concentration during 1 cycle SBR operation on treatability with various reactions (GAC 3000 mg/L, MC 5000 mg/L, DAS)	105
A.11 %COD removal during 1 cycle SBR operation on treatability with various reactions (GAC 3000 mg/L, MC 5000 mg/L, DAS)	106
A.12 COD concentration and removal during 1 cycle SBR operation on treatability with BAC in DAS	106
A.13 COD concentration during 1 cycle SBR operation on treatability with various reactions (GAC 3000 mg/L, MC 5000 mg/L, DS-RR141)	107
A.14 %COD removal during 1 cycle SBR operation on treatability with various reactions (GAC 3000 mg/L, MC 5000 mg/L, DS-RR141)	107
A.15 COD concentration and removal during 1 cycle SBR operation on treatability with BAC in DS-RR141	108
A.16 COD concentration during 1 cycle SBR operation on treatability with various reactions (GAC 3000 mg/L, MC 5000 mg/L, STW-RR141)	108
A.17 %COD removal during 1 cycle SBR operation on treatability with various reactions (GAC 3000 mg/L, MC 5000 mg/L, STW-RR141)	109
A.18 COD concentration and removal during 1 cycle SBR operation on treatability with BAC in STW-RR141	109
A.19 COD concentration during 1 cycle SBR operation on treatability with various reactions (GAC 3000 mg/L, MC 5000 mg/L, DS-RR180)	110
A.20 COD concentration and removal during 1 cycle SBR operation on treatability with BAC in DS-RR180	110
A.21 COD concentration during 1 cycle SBR operation on treatability with various reactions (GAC 3000 mg/L, MC 5000 mg/L, STW-RR180)	111
A.22 %COD removal during 1 cycle SBR operation on treatability with various reactions (GAC 3000 mg/L, MC 5000 mg/L, STW-RR180)	111
A.23 COD concentration and removal during 1 cycle SBR operation on treatability with BAC in STW-RR180	112

LIST OF TABLES (CONTINUE)

TABLE	PAGE
A.24 Dye concentration during 1 cycle SBR operation on treatability with various reactions (GAC 3000 mg/L, MC 5000 mg/L, DS-RR141)	112
A.25 % dye removal during 1 cycle SBR operation on treatability with various reactions (GAC 3000 mg/L, MC 5000 mg/L, DS-RR141)	113
A.26 Dye concentration and removal during 1 cycle SBR operation on treatability with BAC in DS-RR141	113
A.27 Dye concentration during 1 cycle SBR operation on treatability with various reactions (GAC 3000 mg/L, MC 5000 mg/L, STW-RR141)	114
A.28 % dye removal during 1 cycle SBR operation on treatability with various reactions (GAC 3000 mg/L, MC 5000 mg/L, STW-RR141)	114
A.29 Dye concentration and removal during 1 cycle SBR operation on treatability with BAC in STW-RR141	115
A.30 Dye concentration during 1 cycle SBR operation on treatability with various reactions (GAC 3000 mg/L, MC 5000 mg/L, DS-RR180)	115
A.31 % dye removal during 1 cycle SBR operation on treatability with various reactions (GAC 3000 mg/L, MC 5000 mg/L, DS-RR180)	116
A.32 Dye concentration and removal during 1 cycle SBR operation on treatability with BAC in DS-RR180	116
A.33 Dye concentration during 1 cycle SBR operation on treatability with various reactions (GAC 3000 mg/L, MC 5000 mg/L, STW-RR180)	117
A.34 % dye removal during 1 cycle SBR operation on treatability with various reactions (GAC 3000 mg/L, MC 5000 mg/L, STW-RR180)	117
A.35 Dye concentration and removal during 1 cycle SBR operation on treatability with BAC in STW-RR180	118
B1.1 Fill COD concentration (mg/L)	121
B1.2 Anaerobic COD concentration (mg/L)	121
B1.3 Aerobic COD concentration (mg/L)	122
B1.4 Effluent COD concentration (mg/L)	122
B1.5 Fill Dye concentration (mg/L)	123
B1.6 Anaerobic Dye concentration (mg/L)	123
B1.7 Aerobic Dye concentration (mg/L)	124
B1.8 Effluent Dye concentration (mg/L)	124
B1.9 %Dye Removal	125
B1.10 Fill TKN concentration (mg/L)	125
B1.11 Anaerobic TKN concentration (mg/L)	126

LIST OF TABLES (CONTINUE)

TABLE	PAGE
B1.12 Aerobic TKN concentration (mg/L)	126
B1.13 Effluent TKN concentration (mg/L)	126
B1.14 Fill NH ₃ concentration (mg/L)	127
B1.15 Anaerobic NH ₃ concentration (mg/L)	127
B1.16 Aerobic NH ₃ concentration (mg/L)	127
B1.17 Effluent NH ₃ concentration (mg/L)	128
B1.18 MLSS concentration (mg/L)	128
B1.19 SV ₃₀ (ml/L)	128
B1.20 SVI (ml/g)	128
B1.21 SS concentration (mg/L)	129
B1.22 Fill pH	129
B1.23 Anaerobic pH	130
B1.24 Aerobic pH	131
B1.25 Effluent pH	132
B1.26 Fill DO concentration (mg/L)	133
B1.27 Anaerobic DO concentration (mg/L)	134
B1.28 Aerobic DO concentration (mg/L)	135
B1.29 Fill ORP (mV)	136
B1.30 Anaerobic ORP (mV)	137
B1.31 Aerobic ORP (mV)	138
B1.32 Fill Temperature (C)	139
B1.33 Anaerobic Temperature (C)	140
B1.34 Aerobic Temperature (C)	141
B2.1 Fill COD concentration (mg/L)	143
B2.2 Anaerobic COD concentration (mg/L)	143
B2.3 Aerobic COD concentration (mg/L)	143
B2.4 Effluent COD concentration (mg/L)	144
B2.5 COD Removal	144
B2.6 Fill Dye concentration (mg/L)	144
B2.7 Anaerobic Dye concentration (mg/L)	145
B2.8 Aerobic Dye concentration (mg/L)	145
B2.9 Effluent Dye concentration (mg/L)	145
B2.10 Dye Removal	146
B2.11 Fill TKN concentration (mg/L)	146
B2.12 Anaerobic TKN concentration (mg/L)	146
B2.13 Aerobic TKN concentration (mg/L)	147
B2.14 Effluent TKN concentration (mg/L)	147
B2.15 BOD concentration (mg/L)	147
B2.16 Fill pH	147

LIST OF TABLES (CONTINUE)

TABLE	PAGE
B2.17 Anaerobic pH	148
B2.18 Aerobic pH	148
B2.19 Effluent pH	148
B2.20 Fill DO concentration (mg/L)	149
B2.21 Anaerobic DO concentration (mg/L)	149
B2.22 Aerobic DO concentration (mg/L)	149
B2.23 Fill ORP (mV)	150
B2.24 Anaerobic ORP (mV)	150
B2.25 Aerobic ORP (mV)	150
B2.26 Fill Temperature(C)	151
B2.27 Anaerobic Temperature(C)	151
B2.28 Aerobic Temperature(C)	151
B2.29 MLSS concentration (mg/L)	152
B2.30 SS concentration (mg/L)	152
B2.31 SVI (ml/g)	152
B2.32 SV30 (ml/L)	152
B3.1 Fill COD concentration (mg/L)	154
B3.2 Anaerobic COD concentration (mg/L)	154
B3.3 Aerobic COD concentration (mg/L)	154
B3.4 Effluent COD concentration (mg/L)	155
B3.5 COD Removal	155
B3.6 Fill Dye concentration (mg/L)	155
B3.7 Anaerobic Dye concentration (mg/L)	156
B3.8 Aerobic Dye concentration (mg/L)	156
B3.9 Effluent Dye concentration (mg/L)	156
B3.10 Dye Removal	157
B3.11 Fill TKN concentration (mg/L)	157
B3.12 Anaerobic TKN concentration (mg/L)	157
B3.13 Aerobic TKN concentration (mg/L)	158
B3.14 Effluent TKN concentration (mg/L)	158
B3.15 BOD concentration (mg/L)	158
B3.16 Fill pH	158
B3.17 Anaerobic pH	159
B3.18 Aerobic pH	159
B3.19 Effluent pH	159
B3.20 Fill DO concentration (mg/L)	160
B3.21 Anaerobic DO concentration (mg/L)	160
B3.22 Aerobic DO concentration (mg/L)	160
B3.23 Fill ORP (mV)	161

LIST OF TABLES (CONTINUE)

TABLE	PAGE
B3.24 Anaerobic ORP (mV)	161
B3.25 Aerobic ORP (mV)	161
B3.26 Fill Temperature(C)	162
B3.27 Anaerobic Temperature(C)	162
B3.28 Aerobic Temperature (C)	162
B3.29 MLSS concentration (mg/L)	163
B3.30 SS concentration (mg/L)	163
B3.31 SVI (ml/g)	163
B3.32 SV30 (ml/L)	163
B4.1 Fill COD concentration (mg/L)	165
B4.2 Anaerobic COD concentration (mg/L)	165
B4.3 Aerobic COD concentration (mg/L)	166
B4.4 Effluent COD concentration (mg/L)	166
B4.5 COD Removal	167
B4.6 Profile COD	167
B4.7 Fill Dye concentration (mg/L)	168
B4.8 Anaerobic Dye concentration (mg/L)	168
B4.9 Aerobic Dye concentration (mg/L)	168
B4.10 Effluent Dye concentration (mg/L)	169
B4.11 Dye Removal	169
B4.12 Profile Dye concentration	169
B4.13 Optimum Density 660 nm	170
B4.14 Fill pH	170
B4.15 Anaerobic pH	171
B4.16 Aerobic pH	171
B4.17 Effluent pH	171
B4.18 Fill DO concentration (mg/L)	172
B4.19 Anaerobic DO concentration (mg/L)	172
B4.20 Aerobic DO concentration (mg/L)	172
B4.21 Fill Temperature (C)	173
B4.22 Anaerobic Temperature (C)	173
B4.23 Aerobic Temperature (C)	173
B4.24 Fill ORP (mV)	174
B4.25 Anaerobic ORP (mV)	174
B4.26 Aerobic ORP (mV)	174
B4.27 MLSS concentration (mg/L)	175
B4.28 SS concentration (mg/L)	175
B4.29 SV30 (ml/L)	175

LIST OF TABLES (CONTINUE)

TABLE	PAGE
B4.30 SVI (ml/g)	175
B4.31 BOD concentration (mg/L)	176
B5.1 Fill COD concentration (mg/L)	178
B5.2 Anaerobic COD concentration (mg/L)	178
B5.3 Aerobic COD concentration (mg/L)	179
B5.4 Effluent COD concentration (mg/L)	179
B5.5 COD Removal	180
B5.6 Profile COD	180
B5.7 Fill Dye concentration (mg/L)	181
B5.8 Anaerobic Dye concentration (mg/L)	181
B5.9 Aerobic Dye concentration (mg/L)	181
B5.10 Effluent Dye concentration (mg/L)	182
B5.11 Dye Removal	182
B5.12 Profile Dye	182
B5.13 Optimum Density 660 nm	183
B5.14 Fill pH	183
B5.15 Anaerobic pH	184
B5.16 Aerobic pH	184
B5.17 Effluent pH	184
B5.18 Fill DO concentration (mg/L)	185
B5.19 Anaerobic DO concentration (mg/L)	185
B5.20 Aerobic DO concentration (mg/L)	185
B5.21 Fill Temperature (C)	186
B5.22 Anaerobic Temperature (C)	186
B5.23 Aerobic Temperature (C)	186
B5.24 Fill ORP (mV)	187
B5.25 Anaerobic ORP (mV)	187
B5.26 Aerobic ORP (mV)	187
B5.27 MLSS concentration (mg/L)	188
B5.28 SS concentration (mg/L)	188
B5.29 SV30 (ml/L)	188
B5.30 SVI (ml/g)	188
B5.31 BOD concentration (mg/L)	189
B6.1 Fill pH	191
B6.2 Anaerobic pH	192
B6.3 Aerobic pH	193
B6.4 Effluent pH	194
B6.5 Fill DO concentration (mg/L)	195
B6.6 Anaerobic DO concentration (mg/L)	196

LIST OF TABLES (CONTINUE)

TABLE	PAGE
B6.7 Aerobic DO concentration (mg/L)	197
B6.8 Fill ORP (mV)	198
B6.9 Anaerobic ORP (mV)	199
B6.10 Aerobic ORP (mV)	200
B6.11 Fill Temperature (C)	201
B6.12 Anaerobic Temperature (C)	202
B6.13 Aerobic Temperature (C)	203
B6.14 SV30 (ml/L)	203
B6.15 SS concentration (mg/L)	204
B6.16 Fill COD concentration (mg/L)	204
B6.17 Anaerobic COD concentration (mg/L)	205
B6.18 Aerobic COD concentration (mg/L)	206
B6.18 Effluent COD concentration (mg/L)	207
B6.19 COD Removal	208
B6.20 Fill Dye concentration (mg/L)	209
B6.21 Anaerobic Dye concentration (mg/L)	210
B6.22 Aerobic Dye concentration (mg/L)	211
B6.23 Effluent Dye concentration (mg/L)	212
B6.24 Dye Removal	213
B6.25 BOD concentration (mg/L)	213
B6.26 SVI (ml/g)	214
B6.27 MLSS concentration (mg/L)	214
B6.28 Dye Concentration (mg/L) on Profile of Cycle 7 th	215
B6.29 Dye Concentration (mg/L) on Profile of Cycle 14 th	215
B6.30 Dye Concentration (mg/L) on Profile of Cycle 21 st	215
B6.31 COD Concentration (mg/L) on Profile of Cycle 7 th	215
B6.32 COD Concentration (mg/L) on Profile of Cycle 14 th	216
B6.33 COD Concentration (mg/L) on Profile of Cycle 21 st	216
C.1 Dye removal in A/A BAC-SBR	218

LIST OF FIGURES

FIGURE	PAGES
2.1 Textile industrial processes	5
2.2 Existing hypothesis for anaerobic decolorization of azo dyes	11
2.3 The metabolic pathway for MY3 degradation by using mixed culture in anaerobic/aerobic condition	13
2.4 SBR operation	16
2.5 Chemisorption on GAC surface	21
3.1 The structure of Reactive red 141(a) and reactive red 180 (b)	33
3.2 A/A BAC-SBR setup	40
4.1 Dye removal efficiency operating on different solutions by GAC	49
4.2 Dye concentration profiles during anaerobic and aerobic phases operating on non-acclimatized MC and acclimatized MC	54
4.3 Dye concentration profiles during anaerobic and aerobic phases operating on GAC	55
4.4 Dye removal on effect of SBR operation	56
4.5 Effect of SBR operation on dye adsorption by GAC 3000 mg/L	57
4.6 COD and dye removal efficiencies with different removal mechanisms on A/A SBR operation in a cycle	59
4.7 COD removal profile of BAC-SBR composition	60
4.8 Dye removal profile of BAC-SBR composition	62
4.9 Effect of SRT on COD and dye removal by A/A SBR and A/A BAC-SBR	69
4.10 Profile of COD and dye concentrations in one cycle of SBR	71
4.11 Absorbance measurements at different wavelengths in 1 SBR cycle	72
4.12 COD and dye removal efficiencies among replacement phase	75
4.13 GC chromatograms obtained for RR141 conversion at the end of anaerobic period	77
4.14 Detectable peak in anaerobic condition (a) A/A SBR, anaerobic condition (b) A/A BAC-SBR, aerobic condition (c) A/A SBR and aerobic (d) condition A/A BAC-SBR	79
4.15 Detectable compounds in A/A BAC-SBR.	82
4.16 Comparison of detectable peak area before and after replacement	83
4.17 Detectable peak area during replacement phase	84

LIST OF ABBREVIATIONS

A/A BAC-SBR	=	Anaerobic/Aerobic Biological Activated Carbon
AB	=	Amido black 10B
AC	=	Activated carbon
AS	=	Activated sludge system
AZ	=	Acrylic size
B	=	Biosorption
BAC	=	Immobilized cell on GAC
BOD	=	Biochemical oxygen demand
COD	=	Chemical oxygen demand
CR	=	Congo red
CSTR	=	Completely Stirred Tank Reactors
D	=	Degradation
DAS	=	Desizing agent solution
DR	=	Direct red 4BS
DS	=	Dye solution
EDTA	=	Diaminoethane-tetraacetic acid
F/M	=	Food to Microorganisms
FAD	=	Flavin Adenine Dinucleotide
FBR	=	Fluidized bed reactor
FMN	=	Flavin mononucleotide
GAC	=	Granular Activated Carbon
GAOs	=	Glycogen-accumulating organisms
GC-MS	=	Gas Chromatography - Mass Spectrometry
HRT	=	Hydraulic retention times
MC	=	Mixed Cultures

LIST OF ABBREVIATIONS (CONTINUE)

MC-V	=	Mixed Culture with virgin GAC
MLSS	=	Mixed liquid suspension solid
MY3	=	Mordant Yellow 3
NB	=	Nutrient broth
OG	=	Orange G
ORP	=	Oxidation reduction potential
PAC	=	Powdered activated carbon
PAOs	=	Polyphosphate-acumulating organisms
PVA	=	Polyvinyl Alcohol
PVOH	=	Investigated dyes and polyvinyl alcohols
RAS	=	Return activated-sludge
RR 141	=	Reactive Red 141
RR 180	=	Reactive Red 180
SA	=	Sodium acetate
SAS	=	Surface-active substances
SBR	=	Sequencing Batch Reactor
SRT	=	Sludge Retention Time
STW	=	Simulated Textile Wastewater
t	=	time (h)
TAT	=	Triaminotoluene
TKN	=	Total Kjeldahl Nitrogen
TNT	=	Trinitrotoluene
TVS	=	Total volatile solids
UASB	=	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
W/O	=	Without