

LỜI CẢM ƠN

Trong suốt quá trình thực hiện và để hoàn thành bài báo cáo này, ngoài năng lực và sự cố gắng của bản thân, chúng em đã nhận được sự giúp đỡ rất nhiều của thầy cô, người thân, bạn bè.

Trước tiên, chúng em xin gửi lời cảm ơn sâu sắc đến thầy Th.S Phạm Ngọc Hòa – người đã tận tình hướng dẫn, chỉ bảo và giúp đỡ chúng em trong suốt quá trình thực hiện và hoàn thành bài báo này. Cảm ơn thầy đã tạo điều kiện cho chúng em có cơ hội học hỏi thêm những kiến thức mới.

Chúng em cũng xin cảm ơn đến chị Phương và chị Thảo cùng các anh chị tại nhà máy xử lý nước thải tại khu công nghiệp Sóng Thần 1 đã tận tình chỉ dẫn, đóng góp ý kiến, giúp đỡ và tạo điều kiện thuận lợi cho chúng em hoàn thành tốt bài báo cáo này.

Chúng em cũng xin gửi lời cảm ơn chân thành đến tất cả các thầy cô tại Khoa Công Nghệ Sinh Học Môi Trường đã truyền thụ kiến thức cho chúng em trong hơn năm học vừa qua.

Mặc dù, được sự giúp đỡ của nhiều người nhưng vì lượng kiến thức còn hạn chế nên bài báo cáo không tránh khỏi những sai sót chúng em rất mong được sự góp ý của quý thầy cô, các anh chị để bài báo cáo được hoàn thiện hơn.

Một lần nữa em xin chân thành cảm ơn.

MỤC LỤC

LỜI CẢM ƠN	i
MỤC LỤC	ii
TÓM TẮT	v
DANH MỤC CÁC HÌNH	vii
DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU	ix
DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT.....	x
MỞ ĐẦU	1
1. Đặt vấn đề	1
2. Mục tiêu và đối tượng nghiên cứu	2
2.1 Mục tiêu nghiên cứu	2
2.2 Đối tượng nghiên cứu	2
3. Phạm vi và giới hạn đề tài	2
4. Phương pháp nghiên cứu.....	2
5. Ý nghĩa khoa học	3
6. Ý nghĩa thực tiễn	3
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ KHU CÔNG NGHIỆP SÓNG THẦN 1	
VÀ CÁC VẤN ĐỀ TÁI SINH NƯỚC THẢI.....	4
1.1 Tổng quan về khu công nghiệp Sóng Thần 1.....	4
1.1.1 Thông tin về chủ đầu tư	4
1.1.2 Thông tin về khu công nghiệp	4
1.2 Tổng quan về nhà máy xử lý nước thải tập trung tại khu công nghiệp Sóng Thần 1	6
1.2.1 Giới thiệu tổng quan nhà máy xử lý nước thải tập trung hiện tại	6
1.2.2 Sơ đồ hệ thống xử lý nước thải	7
1.3 Các vấn đề về nước tái sinh	8
1.3.1 Mục đích về tái sinh nước	8

1.3.2 Các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình tái sinh nước thải	9
1.3.3 Nguyên nhân cho việc tái sinh nước thải công nghiệp	9
1.3.4 Một số công nghệ tái sinh nước thải hiện nay	10
1.3.5 Các tiêu chuẩn tái sinh ở nước ngoài	10
CHƯƠNG 2: TỔNG QUAN VỀ QUÁ TRÌNH XỬ LÝ BẬC CAO (AOPs)	
TRONG XỬ LÝ NƯỚC THẢI	11
2.1 Tổng quan về công nghệ xử lý bậc cao (AOPs)	11
2.1.1 Cơ sở lý thuyết	11
2.1.2 Các quá trình tạo ra gốc Hydroxyl $\cdot\text{OH}$	12
2.2 Khảo sát quá trình dựa trên khả năng oxi hóa của ozone	14
2.2.1 Quá trình oxi hóa bằng ozone	14
2.2.1.1 Giới thiệu chung về quá trình ozone	14
2.2.1.2 Cơ chế của quá trình ozone hóa	15
2.2.2 Quá trình Peroxon	15
2.2.2.1 Giới thiệu chung về quá trình Peroxone	15
2.2.2.2 Cơ chế của quá trình Peroxone	16
2.2.2.3 Các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình Peroxone	16
2.3 Một số ứng dụng về công nghệ xử lý bậc cao trong nước và thế giới đã áp dụng để xử lý nước thải và mang lại kết quả thành công	18
2.3.1 Ứng dụng trên thế giới	18
2.3.2 Ứng dụng trong nước	19
CHƯƠNG 3: NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU	21
3.1 Nội dung nghiên cứu	21
3.1.1 Nội dung nghiên cứu 1: Nghiên cứu theo mô hình công nghệ xử lý bậc cao AOPs	21
3.1.2 Nội dung nghiên cứu 2: Nghiên cứu nước thải sau xử lý bằng công nghệ AOPs qua mô hình BAC	22

3.2 Phương pháp nghiên cứu.....	23
3.2.1 Nghiên cứu nội dung 1 với mô hình công nghệ xử lý bậc cao AOPs.....	23
3.2.2 Nghiên cứu nội dung 2 với mô hình xử lý nước thải sau khi xử lý bằng công nghệ bậc cao AOPs qua mô hình BAC	30
3.3 Kiểm soát các yếu tố vận hành.....	32
3.3.1 Kiểm soát nồng độ ozone dư trong quá trình thí nghiệm	32
3.3.2 Kiểm soát quá trình tạo ra Trihalometan	32
3.4 Phương pháp phân tích các chỉ tiêu	33
CHƯƠNG 4: KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN	35
4.1 Nội dung 1: Nghiên cứu theo mô hình công nghệ phản ứng bậc cao AOPs (quá trình O_3 và quá trình $H_2O_2 + O_3$).....	35
4.1.1 Xác định các thông số tối ưu của quá trình O_3	35
4.1.2 Xác định các thông số tối ưu của quá trình oxi hóa bậc cao $H_2O_2 + O_3$	40
4.1.3 So sánh hiệu quả xử lý của 2 mô hình 2 hệ O_3 và $H_2O_2 + O_3$	47
4.1.4 Đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình công nghệ AOPs	48
4.2 Nội dung 2: Nghiên cứu quá trình xử lý nước thải sau quá trình xử lý bậc cao bằng công nghệ AOPs ($H_2O_2 + O_3$) kết hợp với mô hình BAC	50
4.3 Đề xuất quy trình xử lý cho mục đích tái sinh	55
CHƯƠNG 5: KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	57
5.1 Kết luận	57
5.2 Kiến nghị	58
TÀI LIỆU THAM KHẢO	
PHỤ LỤC A: CÁC BẢNG SỐ LIỆU NGHIÊN CỨU	A-1
PHỤ LỤC B: PHỤ LỤC HÌNH ẢNH QUÁ TRÌNH NGHIÊN CỨU	B-1
PHỤ LỤC C: TIÊU CHUẨN MỤC ĐÍCH TÁI SINH NƯỚC SAU XỬ LÝ	C-1
PHỤ LỤC D: TÍNH TOÁN PHƯƠNG TRÌNH HỒI QUY	D-1

TÓM TẮT

Cùng với sự phát triển công nghiệp hóa – hiện đại hóa đất nước thì nhu cầu cho sự phát triển công nghiệp ngày càng được nâng cao. Lượng nước được sử dụng cho công nghiệp ngày càng tăng. Hiện nay, trên cả nước lượng nước thải công nghiệp trên vẫn chưa được xử lý triệt để, có nơi vẫn chưa có hệ thống xử lý mà thải trực tiếp ra các sông suối, ao hồ. Do vậy, lượng nước thải công nghiệp được thải ra môi trường ngày càng nhiều và hiện đang là vấn đề cần được quan tâm.

Để góp phần vào bảo vệ môi trường, dưới sự hướng dẫn của Th.S Phạm Ngọc Hòa nhóm nghiên cứu đã tiến hành đề tài nghiên cứu khoa học ***“Nghiên cứu quá trình xử lý bậc cao (AOPs) trong xử lý nước thải công nghiệp với mục đích tái sinh”***. Đề tài tiến hành với 2 nội dung AOPs (O_3 , $H_2O_2 + O_3$) và AOPs kết hợp với mô hình BAC rút ra được kết luận:

- Với quá trình O_3 hiệu suất xử lý COD là 75%, độ màu là 83,5% và TOC là 73%.
- Với quá trình $H_2O_2 + O_3$ hiệu suất xử lý COD là 87%, độ màu là 95%, TOC là 88% và Coliform là 96,7%.
- Với AOPs ($H_2O_2 + O_3$) kết hợp mô hình BAC xử lý 96,5% COD, 98% độ màu, TOC là 96% và Coliform là 99,7%.

ABSTRACT

With the development of industrialization and modernization, the demand of the industrial development is improved, and the quantity of domestic wastewater is also increased. Now, the domestic industrial wastewater still not be treated completely, even that many places have no treatment system, and wastewater flow to the lake or river directly. However, quantity of domestic industrial wastewater that flow to the environment is more and more, and this problem needs to be concerned currently.

To take part in protection environment, under the instruction of Dr. Pham Ngoc Hoa, we carry out the subject ***"Research the treatment process domestic industrial***

wastewater by advanced oxydation processes (AOPs) technology with purpose to reuse''.

This subject is running with 2 processes AOPs (O_3 , $H_2O_2 + O_3$) and AOPs put together BAC model and take out this conclusion:

➤ With O_3 process, the treated efficiency of COD is 75%, of colour is 83,5% and TOC is 73%.

➤ With $H_2O_2 + O_3$ process, the treated efficiency of COD is 87%, of colour is 95%, of TOC is 88% and Coliform is 96,7%.

➤ With AOPs ($H_2O_2 + O_3$) put together BAC, the treated efficiency of COD is 96,5%, of colour is 98%, of TOC is 96% and Coliform is 99,7%.

DANH MỤC CÁC HÌNH

Hình 1.1 Sơ đồ hệ thống xử lý nước thải của khu công nghiệp Sóng Thần 1	7
Hình 3.1 Quy trình nội dung thực hiện của quá trình O_3	21
Hình 3.2 Quy trình nội dung thực hiện của quá trình $H_2O_2 + O_3$	22
Hình 3.3 Quy trình nội dung thực hiện của mô hình BAC	22
Hình 3.4 Mô hình vận hành theo quá trình ozone.....	23
Hình 3.5 Mô hình vận hành theo quá trình $H_2O_2 + O_3$	23
Hình 3.6 Hệ thống xử lý nước thải bằng mô hình BAC	30
Hình 4.1 Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của pH đến hiệu quả xử lý độ màu, COD và TOC của quá trình O_3	35
Hình 4.2 Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của thời gian tiếp xúc khí đến hiệu quả xử lý màu, COD và TOC của quá trình O_3	37
Hình 4.3 Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của nồng độ đến hiệu quả xử lý màu, COD và TOC của quá trình O_3	39
Hình 4.4 Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của pH đến hiệu quả xử lý độ màu, COD và TOC của quá trình $H_2O_2 + O_3$	41
Hình 4.5 Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của thời gian sục khí đến hiệu quả xử lý màu, COD và TOC của quá trình $H_2O_2 + O_3$	43
Hình 4.6 Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của nồng độ O_3 đến hiệu quả xử lý màu, COD và TOC của quá trình $H_2O_2 + O_3$	45
Hình 4.7 Biểu đồ so sánh hiệu quả xử lý nước thải của hai mô hình hệ O_3 và hệ $H_2O_2 + O_3$	47
Hình 4.8 Biểu đồ thể hiện hiệu quả xử lý màu, COD và TOC với tải trọng 2 m/h mô hình BAC	51
Hình 4.9 Biểu đồ thể hiện hiệu quả xử lý màu, COD và TOC với tải trọng 3 m/h mô hình BAC	52
Hình 4.10 Biểu đồ thể hiện hiệu quả xử lý màu, COD và TOC với tải trọng 5 m/h mô hình BAC	53

Hình 5.11 Sơ đồ tái sinh nước thải công nghiệp với quá trình ozone.....	55
Hình 5.12 Sơ đồ tái sinh nước thải công nghiệp với quá trình $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3$	56
Hình 5.13 Sơ đồ tái sinh nước thải công nghiệp của quá trình $(\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3)$ kết hợp mô hình BAC	56

DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU

Bảng 1.1 Bảng cơ cấu đất khu công nghiệp Sóng Thần 1	5
Bảng 1.2 Chỉ tiêu nước thải đầu vào và đầu ra theo QCVN 40:2009/BTNMT.....	6
Bảng 1.3 Tiêu chuẩn tái sinh tái sử dụng nước thải trong công nghiệp tại các bang của Mỹ (US EPA, 2004)	10
Bảng 2.1 Khả năng oxi hóa của một số tác nhân oxi hóa [Zhou, H. và Smith, D.H.2001].....	11
Bảng 2.2 Các quá trình oxi hóa bậc cao dựa vào gốc *OH	13
Bảng 3.1 Các thông số thiết kế mô hình AOPs.....	24
Bảng 3.2 Nghiên cứu khả năng xử lý nước thải khu công nghiệp Sóng Thần 1 trên mô hình hệ ozone	26
Bảng 3.3 Nghiên cứu khả năng xử lý nước thải khu công nghiệp Sóng Thần 1 trên mô hình hệ $H_2O_2 + O_3$	27
Bảng 3.4 Bảng thông số vận hành mô hình công nghệ AOPs	29
Bảng 3.5 Bảng thông số thiết kế mô hình BAC.....	30
Bảng 3.6 Các phương pháp phân tích mẫu	34
Bảng 4.1 Nồng độ ozone sử dụng của 2 quá trình O_3 và $H_2O_2 + O_3$	48

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

Tên viết tắt	Tên tiếng Anh	Tên tiếng Việt
AOPs	Advanced Oxidation Processes	Quá trình oxy hóa bậc cao
ANPO	Advanced Non – Photochemical Process	Nhóm oxy hóa bậc cao không nhờ tác nhân ánh sáng
APO	Advanced Photochemical Process	Nhóm các quá trình oxy hóa bậc cao nhờ tác nhân ánh sáng
BAC	Biological Activated Carbon	Công nghệ xử lý bằng than hoạt tính sinh học
BDOC	Biodegradable Dissolved Organic Carbon	Phân hủy sinh học carbon hữu cơ hòa tan
BOD ₅	Biochemical Oxygen Demand	Nhu cầu oxy sinh hóa trong 5 ngày
BTNMT		Bộ tài nguyên môi trường
COD	Chemical Oxygen Demand	Nhu cầu oxy hóa học
DNNN		Doanh nghiệp nhà nước
HTXLNT		Hệ thống xử lý nước thải
KCN		Khu công nghiệp
pH		Chỉ tiêu để đánh giá tính Acid hay Bazo
QCVN		Quy chuẩn Việt Nam
QĐ-BXD		Quyết định bộ xây dựng
SBR	Sequencing Batch Reactor	Bể lọc sinh học từng mẻ
SS	Suspended Solid	Chất rắn lơ lửng
TCVN		Tiêu chuẩn Việt Nam
TMXNK		Thương mại xuất nhập khẩu
TOC	Total Organic Carbon	Tổng Cacbon hữu cơ

MỞ ĐẦU

1. Đặt vấn đề

Trong những năm gần đây, vấn đề ô nhiễm môi trường đang được quan tâm sâu sắc bởi những ảnh hưởng của nó đến đời sống con người và sinh thái ngày càng theo hướng tiêu cực đi.

Trong đó quá trình công nghiệp hóa và hiện đại hóa là một trong những nguyên nhân chính của sự xuất hiện nhiều khu công nghiệp, khu chế xuất... Và đây cũng là nơi thải nhiều chất thải ô nhiễm ra môi trường, đặc biệt là lượng lớn nước thải chưa được xử lý.

Theo thuyết phát triển bền vững: “Phát triển bền vững là sự phát triển nhằm đáp ứng những yêu cầu của hiện tại nhưng không gây trở ngại cho việc đáp ứng nhu cầu của thế hệ mai sau”. Đây chính là mục tiêu của nước ta hiện nay.

Nhưng nhiều nhà máy, xí nghiệp, khu công nghiệp... hiện vẫn còn dùng những phương pháp xử lý nước thải truyền thống như: phương pháp cơ học, phương pháp hóa lý, phương pháp sinh học... và đều không xử lý được hoặc xử lý chưa được triệt để các nguồn ô nhiễm này theo đúng QCVN 40:2009/BTNMT (loại B) khi thải ra nguồn tiếp nhận là môi trường xung quanh.

Ngoài ra cũng chính vì nguồn nước của chúng ta ngày càng bị thu hẹp do những nguyên nhân khác nhau như: nguồn nước bị ô nhiễm, hạn hán, biến đổi khí hậu... Do đó mà nhiều công ty, xí nghiệp, các khu công nghiệp, khu chế xuất... ngày càng ý thức được việc tái sử dụng lại nguồn nước thải của mình. Vì thế tái sinh tái sử dụng nước thải công nghiệp dùng lại cho các công việc trong khu công nghiệp hay các hoạt động khác là một vấn đề đang được quan tâm mạnh mẽ hiện nay.

Ngày nay nhiều khu công nghiệp đã biết được cái lợi trong việc tái sinh lại một lượng lớn nước thải thải ra hằng ngày của công ty nhằm sử dụng vào trong các việc như: tưới cây, rửa đường, làm mát, dùng lại cho dây chuyền công nghệ...

Do đó, khu công nghiệp Sóng Thần 1 thấy được lượng lớn nước thải hằng ngày và áp dụng phương pháp tái sinh tái sử dụng lại lượng lớn nước thải đó. Vì

vậy: “*Nghiên cứu quá trình xử lý bậc cao (AOPs) trong xử lý nước thải công nghiệp với mục đích tái sinh*” đã được đưa ra và được tiến hành nghiên cứu một cách cụ thể. Trong mục tiêu chính của đề tài là muốn tái sinh nước thải công nghiệp cho khu công nghiệp Sóng Thần 1 đạt được quy chuẩn đầu ra và có thể tái sử dụng lại nhằm nhiều mục đích khác nhau từ đó có thể giảm được gánh nặng cho môi trường xung quanh và môi trường sống của chúng ta được cải thiện một cách tốt đẹp hơn, đồng thời cũng giảm được chi phí xử lý môi trường khi bị ô nhiễm.

2. Mục tiêu và đối tượng nghiên cứu

2.1 Mục tiêu nghiên cứu

Đánh giá khả năng quá trình ứng dụng của công nghệ AOPs trong xử lý nước thải công nghiệp tại khu công nghiệp Sóng Thần 1 với mục đích tái sinh.

2.2 Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là nguồn nước thải công nghiệp được lấy tại bể SBR từ nhà máy xử lý nước thải khu công nghiệp Sóng Thần 1.

3. Phạm vi và giới hạn đề tài

Phạm vi và giới hạn đề tài nghiên cứu là nước thải công nghiệp được lấy tại bể SBR từ nhà máy xử lý nước thải khu công nghiệp Sóng Thần 1 nhằm nghiên cứu khả năng ứng dụng của công nghệ xử lý bậc cao AOPs và AOPs kết hợp với mô hình BAC trong xử lý nước thải công nghiệp với mục đích tái sinh.

Đề tài giới hạn dựa trên các quá trình trong phòng thí nghiệm về nghiên cứu quá trình xử lý nước thải công nghiệp với mục đích tái sinh bằng công nghệ AOPs ($\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3$, O_3) và nước sau xử lý bằng công nghệ AOPs sẽ qua mô hình BAC và kiểm tra các chỉ tiêu trong nước sau xử lý.

4. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu này được thực hiện dựa trên các phương pháp sau:

- **Phương pháp tổng hợp tài liệu (tìm hiểu các tài liệu có liên quan):**

Thu thập, tổng hợp các tài liệu nghiên cứu về tính chất nước thải công nghiệp, các nghiên cứu về phương pháp và công nghệ xử lý nước thải công nghiệp trong và

ngoài nước dựa trên internet, sách, các báo cáo khoa học tài liệu liên quan về xử lý nước thải công nghiệp.

Thu thập, tổng hợp các tài liệu về nghiên cứu quá trình xử lý bậc cao AOPs ($\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3$, O_3) và AOPs kết hợp mô hình BAC trong xử lý nước thải công nghiệp nhằm mục đích tái sinh.

- Phương pháp thực nghiệm:

Căn cứ trên các tài liệu đã thu thập bắt đầu tiến hành thiết kế và lắp đặt mô hình thí nghiệm (lab scale) tại phòng thí nghiệm khoa Công nghệ Sinh học – Môi trường, trường Đại học Lạc Hồng.

- Phương pháp phân tích và xử lý số liệu:

Tất cả các số liệu, kết quả thí nghiệm được phân tích và xử lý bằng phần mềm Excel.

Phương pháp lấy mẫu, phân tích, đánh giá các chỉ tiêu hóa lý, chỉ tiêu chất hữu cơ, chỉ tiêu sinh học trong nước thải công nghiệp.

Toàn bộ kỹ thuật lấy mẫu và phân tích các chỉ tiêu môi trường được tiến hành theo đúng quy định của qui chuẩn Việt Nam và tiêu chuẩn Quốc tế.

5. Ý nghĩa khoa học

Nghiên cứu khả năng xử lý và tái sinh nước thải của khu công nghiệp Sóng Thần 1 bằng công nghệ xử lý bậc cao AOPs và AOPs kết hợp với mô hình BAC.

6. Ý nghĩa thực tiễn

Đưa ra hướng giải quyết mới về tận dụng lại nước thải công nghiệp và giải quyết được tình trạng ô nhiễm môi trường của khu công nghiệp Sóng Thần 1.

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ KHU CÔNG NGHIỆP SÓNG THẦN 1 VÀ CÁC VẤN ĐỀ TÁI SINH NƯỚC THẢI

1.1 Tổng quan về khu công nghiệp Sóng Thần 1

1.1.1 Thông tin về chủ đầu tư

- Tên chủ đầu tư: **Tổng Công ty Thương mại Xuất nhập khẩu Thanh Lễ - TNHH Một thành viên**
- Địa chỉ: 63 Yersin, Phường Hiệp Thành, Thành phố Thủ Dầu Một, Tỉnh Bình Dương.
- Điện thoại: (0650) 3829 535
- Fax: (0650) 3 824 112
- Website: www.thalexim.com
- Email: thalexim@hcm.vnn
- Giấy chứng nhận đăng ký đầu tư/kinh doanh: Giấy chứng nhận đăng ký kinh doanh và đăng ký thuế số 3700146458 do Sở Kế hoạch và Đầu tư tỉnh Bình Dương cấp lần đầu ngày 01/7/2010 (được chuyển đổi từ DNNN Công ty TM XNK Thanh Lễ số 4606000006 ngày 23/10/1992)
- Ngành nghề đăng ký đầu tư/kinh doanh: Đầu tư, xây dựng và kinh doanh cơ sở hạ tầng kỹ thuật khu công nghiệp, khu dân cư và khu đô thị, kinh doanh bất động sản, cho thuê văn phòng làm việc, xuất nhập khẩu xăng dầu, mua bán nguyên liệu, nhiên liệu xăng dầu, thi công xây dựng các công trình công nghiệp, dân dụng, hạ tầng kỹ thuật...

1.1.2 Thông tin về khu công nghiệp

- Quyết định thành lập: Số 577/TTg ngày 16/9/1995 của Thủ tướng Chính phủ.
- Quyết định phê duyệt quy hoạch chi tiết khu công nghiệp: số 1444/QĐ-UBND ngày 12/5/2008 của UBND tỉnh Bình Dương về việc điều chỉnh một số nội dung trong quy hoạch chi tiết Khu công nghiệp Sóng Thần 1 tại Quyết định số 1199/QĐ-BXD ngày 24/9/2002 của Bộ trưởng Bộ xây dựng.

Bảng 1.1 Bảng cơ cấu đất khu công nghiệp Sóng Thần 1

Loại đất	Diện tích (ha)	Tỷ lệ (%)
Đất xây dựng xí nghiệp công nghiệp	112,51	62,40
Đất kho tàng bến bãi, công trình điều hành dịch vụ	27,20	15,00
Đất cây xanh - mặt nước	12,20	8,10
Đất xây dựng công trình đầu mối hạ tầng kỹ thuật	4,69	2,60
Đất giao thông	0,75	0,40
TỔNG CỘNG	178,01	100

(Nguồn: www.binhduong.gov.vn/vn/sobannganh_detail.php?id=3&dcat=4538&idcat2=159)

- Địa chỉ khu công nghiệp: Phường Dĩ An, Thị xã Dĩ An, Tỉnh Bình Dương.
- Vị trí địa lý: Cách Cảng Sài Gòn và Tân Cảng 12 km, cảng Vũng Tàu 100 km, Cách sân bay Tân Sơn Nhất 15 km, Giáp với tuyến đường sắt Bắc Nam ở phía Đông, gần ga Sóng Thần, Cách trung tâm kinh tế - văn hóa - xã hội Tp.Hồ Chí Minh, Tp.Biên Hòa 15 km, Tp.Vũng Tàu 100 km.
- Vị trí nhà máy xử lý nước thải được giới hạn bởi: Phía Đông giáp KCN Sóng Thần 1, Tây giáp đường 743, Bắc giáp tiểu đoàn 26 - Quân 4, Nam giáp kho quân sự.
- Đặc điểm
 - + Độ cao so với mặt nước biển: 32m
 - + Độ ẩm trung bình/năm: 83,83%
 - + Nhiệt độ trung bình/năm: 24,6⁰C
 - + Lượng mưa trung bình/năm: 1846,7mm
 - + Độ nén của đất: 2kg/cm².
- Tính chất khu công nghiệp: khu công nghiệp thu hút các ngành nghề cơ khí chế tạo, máy móc thiết bị, công nghiệp nhẹ (dệt may, da giày, chế biến gỗ...), công nghiệp thực phẩm (đồ uống ...), vật liệu xây dựng, kho bãi, điện, điện tử....
- Hạ tầng kỹ thuật: được thực hiện một cách hoàn chỉnh và phát triển.

- Nhà máy xử lý nước thải tập trung: Tổng công suất 13.000 m³/ngày đêm.
- Tổng vốn đầu tư đã thực hiện: 195.527 tỷ đồng

1.2 Tổng quan về nhà máy xử lý nước thải tập trung tại khu công nghiệp Sóng Thần 1

1.2.1 Giới thiệu tổng quan nhà máy xử lý nước thải tập trung hiện tại

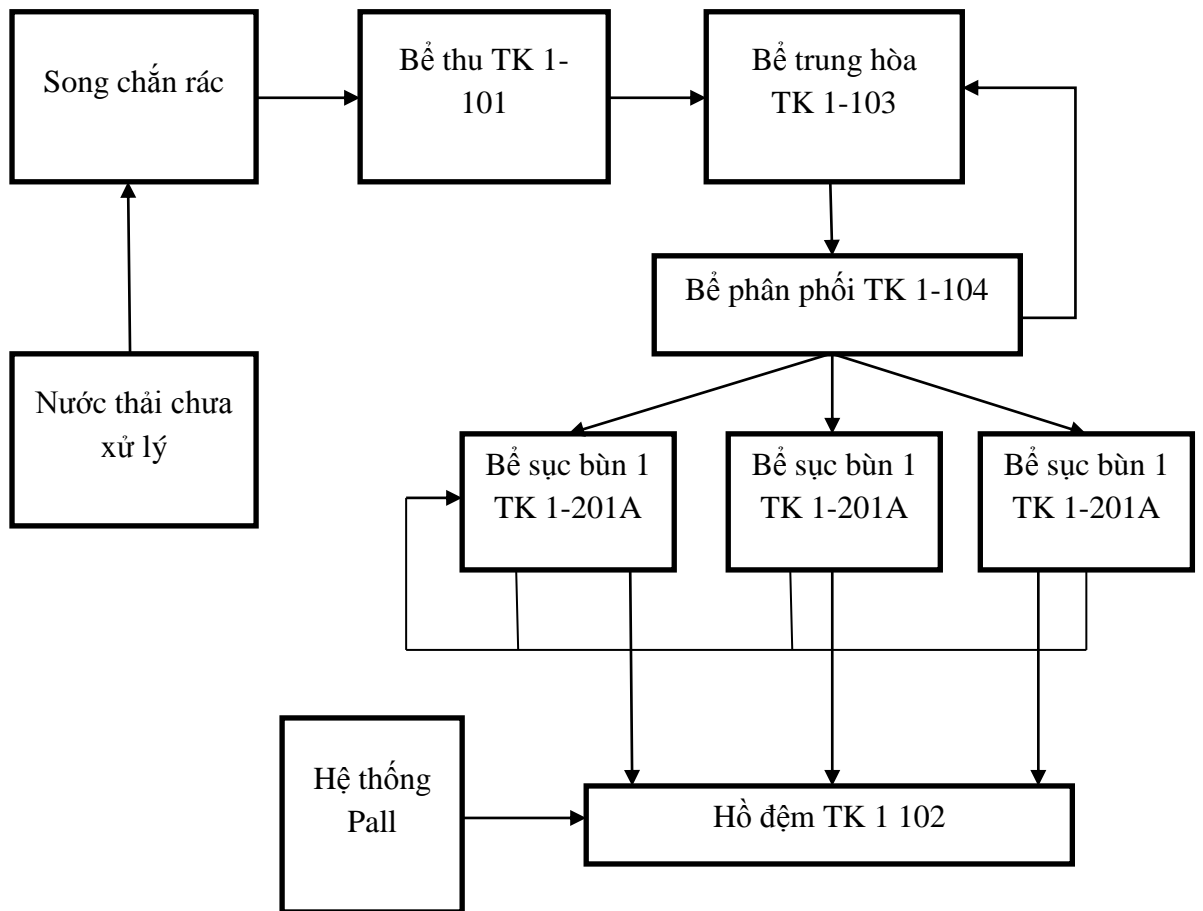
- Địa điểm: thị trấn Dĩ An, huyện Dĩ An.
- Địa chỉ liên lạc: Công ty Thương mại xuất nhập khẩu Thanh Lễ, 63 Yersin, thị xã- Thủ Dầu Một, tỉnh Bình Dương.
- Điện thoại: (84-650) 822966, 824116.
- Fax: (84-650) 824112, 824114.
- Tính chất nghề nghiệp: khu công nghiệp hỗn hợp.
- Công nghệ của nhà máy là công nghệ SBR.
- Công suất 13.000m³.

Bảng 1.2 Chỉ tiêu nước thải đầu vào và đầu ra theo QCVN 40:2009/BTNMT

STT	Chỉ tiêu	Đơn vị đo	Nước thải đầu vào	QCVN 40:2009/BTNMT (Loại B)
1	pH	-	7,26	5,5 - 9
2	Độ hấp thu màu	Abs	0,073	-
3	SS	mg/L	100	100
4	COD	mg/L	70 - 100	100
5	TOC	mg/L	15	-
6	Coliform	CFU/100ml	4.10 ⁴	<10000 MPM/100ml

- Với tình hình ô nhiễm kênh Ba Bò trong thời gian qua, khu công nghiệp Sóng Thần 1 đã nâng cấp công suất xử lý nước thải từ 5500m³/ngày đêm lên 6500m³/ngày đêm; sau khi hoàn thành sẽ nâng công suất xử lý của khu xử lý nước thải Khu công nghiệp Sóng Thần 1 lên 13000m³/ngày đêm.

1.2.2 Sơ đồ hệ thống xử lý nước thải



Hình 1.1 Sơ đồ hệ thống xử lý nước thải của khu công nghiệp Sóng Thần 1.

➤ **Thuyết minh qui trình xử lý nước thải tại khu công nghiệp Sóng Thần 1**

a. Song chắn rác

- Song chắn rác thường đặt trước hệ thống xử lý nước nhằm giữ lại các tạp chất có kích thước lớn như: nhánh cây, gỗ, lá, giấy, nilông, vải vụn và các loại tạp chất khác.

- Nguồn nước thải từ các nhà máy sau khi tiếp nhận sẽ đưa vào hệ thống tách rác thải, nước đi qua song chắn rác tại đây các loại rác lớn nước sẽ giữ lại ở bể thu.

b. Bể thu

- Sau khi tách rác thì nước thải đến bể thu sẽ được bơm tới bể trung hòa để sục khí, bể này có nhiệm vụ chứa nước để sang bể trung hòa.

c. Bể phân phối

- Trước khi nước thải đi qua 3 bể sục bùn thì nước thải sẽ qua bể phân phối, bể này nhiệm vụ phân phối lượng nước, khi lượng nước từ bể trung hòa chuyển qua bể phân phối để đi đến các bể sục bùn quá nhiều thì bể phân phối có đường ống đi ngược lại bể trung hòa, như vậy sẽ điều tiết được lượng nước thải xuống các bể sục bùn.

d. Bể sục bùn

- Khi nước thải từ bể phân phối sang các bể sục bùn thì nước thải sẽ được sục bùn liên tục nhờ vào các máy bơm.
- Ở bể này có sự xử lý của vi sinh vật, tại đây xảy ra quá trình oxi hóa sinh hóa các chất hữu cơ hòa tan và dạng keo trong nước thải dưới sự tham gia của các vi sinh vật hiếu khí dính bám.

e. Hồ chứa

- Nhiệm vụ để điều tiết nước thải và giảm áp lực nước thoát ra hệ thống cống.

1.3 Các vấn đề về nước tái sinh

1.3.1 Mục đích về tái sinh nước

Tái sinh nước thải hay tái sử dụng nước thải (*wastewater reclamation*) đã có từ rất lâu. Những hoạt động này với mục đích giải quyết tình trạng khan hiếm nguồn nước trong thời kỳ đó.

Tái sinh nước thải là quá trình phục hồi nước thải bỏ từ các hộ gia đình, khu công nghiệp, từ các quá trình sản xuất để tạo ra sản phẩm có ích hơn.

Với các biện pháp xử lý thích hợp, nước thải có thể đáp ứng được các nhu cầu khác nhau như nước cấp cho khu công nghiệp, cho đô thị ngoài việc tưới cây rửa đường, làm mát, phục vụ lại các hoạt động của công nghiệp...thì chúng ta cũng cần tái sinh nước dùng cho sinh hoạt như: ăn, uống, giặt giũ...Việc tái sinh nước thải có

rất nhiều lợi ích khác nhau, tùy thuộc vào các hình thức tái sử dụng. Đó cũng chính là những giải pháp hiệu quả nhất mà các nước có nền kinh tế phát triển về kinh tế nhưng thiếu nước áp dụng như: Singapo, Úc, Nhật Bản...

1.3.2 Các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình tái sinh nước thải

Giá trị của nước tái sinh thường phụ thuộc vào chất lượng nước cung cấp khi so sánh với nhu cầu của người sử dụng, trữ lượng nước sạch sẵn có và khả năng đáp ứng các nhu cầu thường xuyên thay đổi bất thường, hiệu quả của luật/quy định trong kiểm soát quá trình tái sử dụng và thái độ của các tổ chức chịu trách nhiệm thi hành luật, chi phí hiện tại và chi phí dự kiến trong tương lai đối với nước sạch cho người sử dụng.

➤ **Để đánh giá được khả năng tái sử dụng nước ta cần dựa vào các yếu tố sau:**

- **Mức độ xử lý:** nếu cần phải thực hiện quá trình xử lý nước tăng cường trước khi thải ra môi trường thì chi phí có thể tiết kiệm được nếu đã có quá trình xử lý bậc 2.
- **Quy mô dự án:** tỷ lệ tái sử dụng có thể dao động từ một đối tượng riêng lẻ cho đến nhiều mục đích sử dụng khác nhau mà phục vụ cho ăn uống, công nghiệp hay các ngành khác có nhu cầu.
- **Mạng lưới phân phối:** các tuyến đường vận chuyển khác nhau sẽ có các thuận lợi khác nhau. Việc tái sử dụng sẽ có thuận lợi hơn nếu như đã có mạng lưới phân phối hoặc nước tái sinh được phục vụ cho một lượng lớn đối tượng sử dụng.

1.3.3 Nguyên nhân cho việc tái sinh nước thải công nghiệp

- Chỉ khoảng 50% lượng nước thải công nghiệp được xử lý đạt tiêu chuẩn trước khi xả ra nguồn tiếp nhận.
- Để giải quyết các vấn đề phát sinh liên quan đến sự khan hiếm và ô nhiễm nguồn nước do nước thải công nghiệp.
- Nguy cơ thiếu nước ngọt mùa khô.
- Lượng mưa đã giảm về số lượng, trữ lượng nước ngầm cũng theo đó giảm mạnh. Hiện trữ lượng nước sông Đồng Nai giảm khoảng 20 cm so với cùng kỳ năm trước.

1.3.4 Một số công nghệ tái sinh nước thải hiện nay

- Công nghệ lọc bằng màng.
- Công nghệ khử trùng nước bằng bức xạ tử ngoại.
- Công nghệ phân hủy khoáng hóa chất ô nhiễm hữu cơ bằng quá trình oxi hóa bậc cao.

1.3.5 Các tiêu chuẩn tái sinh ở nước ngoài

**Bảng 1.3 Tiêu chuẩn tái sinh tái sử dụng trong công nghiệp
tại các bang của Mỹ⁽¹⁾ (US EPA, 2004)**

Mục	California	Florida	Hawaii	Texas	Washington
Quá trình xử lý	Oxi hóa, khử trùng	Xử lý bậc 2 và khử trùng	Oxi hóa và khử trùng	NS	Oxi hóa và khử trùng
BOD ₅	NS ⁽³⁾	20 mg/L	NS	20 mg/L	NS
TSS	NR	NS	20 mg/L	NR	NS
Độ đục	NS	NS	NS	3 NTU	NS
Coliform	Tổng	Phân	Phân	Phân	Tổng
	23/100 ml (Agv)	200/100 ml (Agv)	23/100 ml (Agv)	200/100 ml (Agv)	23/100 ml (Agv)
	240/100 ml (Max trong 30 ngày)	800/100 ml (Max)	200/100 ml (Max)	800/100 ml (Agv)	240/100 ml (Agv)

Ghi chú:

- Tất cả các quy định ở các bang có giá trị ở mức tối thiểu. Thêm vào đó quá trình xử lý được quy định căn cứ vào mức độ tiếp xúc của cộng đồng. Bao gồm những quy định cho hệ thống công nghiệp.
- (2) NR – Không quy định.
- (3) NS – Không chỉ rõ trong quy định.
- Max- lượng tối đa.
- Agv – lượng trung bình.

CHƯƠNG 2: TỔNG QUAN VỀ QUÁ TRÌNH XỬ LÝ BẬC CAO (AOPs) TRONG XỬ LÝ NƯỚC THẢI

2.1 Tổng quan về công nghệ xử lý bậc cao (AOPs)

2.1.1 Cơ sở lý thuyết

Các quá trình oxy hóa bậc cao là những quá trình phân hủy oxy hóa dựa vào gốc tự do hoạt động hydroxyl $\cdot\text{OH}$ được hình thành ngay trong quá trình xử lý. Gốc $\cdot\text{OH}$ là một tác nhân oxy hóa mạnh (bảng 2.1), gốc $\cdot\text{OH}$ có khả năng phân hủy không chọn lọc mọi hợp chất hữu cơ, dù là chất khó phân hủy nhất thành các hợp chất vô cơ (còn gọi là khoáng hóa) không độc hại như CO_2 , H_2O , các acid vô cơ...

Quá trình oxy hoá bậc cao rất hiệu quả trong việc phân huỷ: hydrocacbon halogen, benzen, toluen, polyclorobiphenyl các hoá chất bảo vệ thực vật, thuốc nhuộm chất hoạt động bề mặt. Ngoài ra $\cdot\text{OH}$ còn là tác nhân diệt khuẩn có tính an toàn hơn clo.

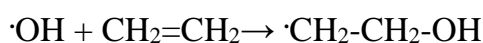
Bảng 2.1 Khả năng oxy hóa của một số tác nhân oxy hóa
[Zhou, H. và Smith, D.H.2001]

Tác nhân oxy hóa	Thế oxy hóa, V
Gốc hydroxyl, $\cdot\text{OH}$	2,8
Ozone	2,07
Hydrogen peroxide	1,78
Permanganate	1,68
Acid hydrobromic	1,59
Chlor dioxide	1,57
Acid hypochloride	1,49
Acid hypoiodide	1,45
Chlor	1,36
Brom	1,09
Iod	0,54

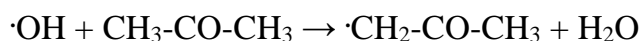
Cơ chế phản ứng và phương thức phản ứng của gốc hydroxyl: Khi một gốc tự do được hình thành thì lập tức xảy ra hàng loạt các phản ứng tiếp theo, theo kiểu chuỗi với những gốc hoạt động mới. Như vậy gốc Hydroxyl như là sự khơi mào của hàng loạt các phản ứng xảy ra kế tiếp. Vì phản ứng của $\cdot\text{OH}$ là không chọn lựa nên khó có thể tiên đoán các sản phẩm trung gian của quá trình.

Gốc $\cdot\text{OH}$ có thể phản ứng với các chất ô nhiễm theo những kiểu sau:

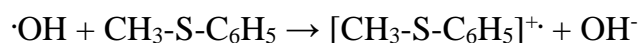
- Phản ứng cộng với hợp chất hữu cơ không no dây thẳng hoặc vòng thơm tạo ra Hydroxylat hoạt động:



- Phản ứng tách Hydrogen từ hợp chất hữu cơ no hoặc không no tạo thành nước và gốc hoạt động mới:



- Phản ứng trao đổi ion mới hoạt động:



Mục đích cuối cùng của quá trình oxy hoá các chất ô nhiễm trong nước là vô cơ hoá hay khoáng hoá.

2.1.2 Các quá trình tạo ra gốc Hydroxyl $\cdot\text{OH}$

Nhiều công trình nghiên cứu trong những thập kỷ qua là tìm kiếm quá trình tạo ra gốc $\cdot\text{OH}$ trên cơ sở các tác nhân thông thường như O_3 , H_2O_2 thông qua các phản ứng hoá học. Theo cơ quan bảo vệ môi trường của Mỹ, dựa vào đặc tính của quá trình có hay không sử dụng nguồn năng lượng bức xạ tử ngoại UV có thể phân loại quá trình oxy hoá bậc cao thành 2 nhóm:

- Nhóm oxy hoá bậc cao không nhờ tác nhân ánh sáng (ANPO)
- Nhóm các quá trình oxy hoá bậc cao nhờ tác nhân ánh sáng (APO)

Bảng 2.2 Các quá trình oxi hóa bậc cao dựa vào gốc $\cdot OH$

STT	Tác nhân phản ứng	Phản ứng đặc trưng	Nhóm quá trình	Tên quá trình
1	H_2O_2 và Fe^{2+}	$H_2O_2 + Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + OH^- + \cdot OH$	ANPO	Fenton
2	H_2O_2/Fe^{3+} và năng lượng photon UV	$Fe^{3+} + H_2O + h\nu \rightarrow \cdot OH + Fe^{2+} + H^+$ $H_2O_2 + Fe^{2+} + h\nu \rightarrow OH^- + \cdot OH + Fe^{3+}$	APO	Quang Fenton
3	H_2O_2/Fe^{3+} (phức) và năng lượng UV	Fe^{3+} (phức) + $h\nu \rightarrow Fe^{2+}$ gốc (phức) $H_2O_2 + Fe^{2+} + h\nu \rightarrow OH^- + \cdot OH + Fe^{3+}$ (phức)	APO	Quang Fenton biến thể
4	H_2O với anot Fe và năng lượng điện hoá	$\frac{1}{2}O_2 + H_2O + \text{năng lượng điện hoá} \rightarrow 2\cdot OH$	ANPO	Fenton điện hoá
5	H_2O_2 và O_3	$H_2O_2 + 2O_3 \rightarrow 2\cdot OH + 3O_2$	ANPO	Peroxon
6	O_3 và chất xúc tác	$3O_3 + H_2O_2 + \text{chất xúc tác} \rightarrow 2\cdot OH + 4O_2$ Chất xúc tác đồng thể hay dị thể	ANPO	Catazon
7	H_2O và năng lượng điện hoá	$H_2O + \text{năng lượng điện hoá} \rightarrow \cdot OH + \cdot H$	ANPO	Oxy hoá điện hoá
8	H_2O và năng lượng siêu âm	$H_2O + \text{năng lượng siêu âm} \rightarrow \cdot OH + \cdot H$	ANPO	Quá trình siêu âm
9	H_2O và năng lượng cao (tia gama, tia X, chùm electron)	$H_2O + \text{năng lượng cao} \rightarrow \cdot OH + \cdot H$	ANPO	Quá trình bức xạ năng lượng cao

STT	Tác nhân phản ứng	Phản ứng đặc trưng	Nhóm quá trình	Tên quá trình
10	H ₂ O ₂ và năng lượng photon UV	$\text{H}_2\text{O}_2 + h\nu \rightarrow 2\cdot\text{OH}$	APO	UV/oxy hoá
11	O ₃ và năng lượng UV	$\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} + h\nu \rightarrow 2\cdot\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$	APO	UV/oxy hoá
12	H ₂ O ₂ /O ₃ và năng lượng UV	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} + h\nu \rightarrow 4\cdot\text{OH} + \text{O}_2$	APO	UV/oxy hoá
13	H ₂ O và năng lượng photon UV chân không (VUV)	$\text{H}_2\text{O} + \text{năng lượng VUV} \rightarrow \cdot\text{OH} + \cdot\text{H}$	APO	VUV/oxy hoá
14	TiO ₂ và năng lượng photon UV	$\text{TiO}_2 + h\nu \rightarrow e^- + h^+$ $h^+ + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \cdot\text{OH} + \text{H}^+$ $h^+ + \text{OH}^- \rightarrow \cdot\text{OH} + \text{H}^+$	APO	Quang xúc tác bán dẫn

2.2 Khảo sát quá trình dựa trên khả năng oxy hóa của ozone

2.2.1 Quá trình oxy hóa bằng ozone

2.2.1.1 Giới thiệu chung về quá trình ozone

Ozone là một chất oxy hóa có hoạt tính cao và độ hòa tan trong nước lớn gấp 10 lần O₂. Nó bền trong môi trường axit hơn so với môi trường bazơ. Vì vậy thường được sử dụng để xử lý nước thải có chứa chất hữu cơ ở dạng hòa tan và dạng keo nhờ khả năng oxy hóa rất cao, dễ dàng nhường oxi nguyên tử hoạt tính cho các chất hữu cơ. Ozone còn sử dụng để làm sạch nước thải khỏi phenol, sản phẩm dầu mỡ, hydrosulfua, các hợp chất asen, chất hoạt động bề mặt, xyanua, phẩm nhuộm, tiêu diệt các vi khuẩn...

Độ hòa tan của ozone trong nước phụ thuộc vào độ pH và hàm lượng chất tan trong nước thải.

2.2.1.2 Cơ chế của quá trình ozone hóa

Ozone tác dụng với các hợp chất hữu cơ tan trong nước chủ yếu theo hai cơ chế:

Cơ chế 1: Ozone phản ứng trực tiếp với chất hữu cơ

Ozone khi hòa tan vào nước sẽ tác dụng với các hợp chất hữu cơ, tạo thành dạng oxy hóa của chúng.

Nhưng phản ứng trực tiếp của ozone với các hợp chất hữu cơ có tính chọn lọc. Sản phẩm của các quá trình ozone hóa trực tiếp các chất vòng thơm bằng ozone thường là các axit hữu cơ hoặc các muối của chúng. Ngoài ra, nghiên cứu cho thấy cơ chế này xảy ra tương đối chậm và chiếm ưu thế ở khoảng pH thấp.

Cơ chế 2: Ozone phản ứng với chất thông qua các gốc tự do

Khi sục O_3 vào nước, chất oxy hóa thứ cấp là gốc tự do $\cdot OH$ được hình thành và chính sự có mặt của các gốc tự do này giúp hiệu quả oxy hóa được nâng cao. Trong điều kiện axit, con đường oxy hóa trực tiếp bằng phân tử ozone là chủ yếu, trong khi đó, trong điều kiện pH cao hoặc trong những điều kiện có tác nhân khác như H_2O_2 , UV, chất xúc tác... tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình tạo gốc $\cdot OH$, con đường oxy hóa gián tiếp thông qua gốc Hydroxyl sẽ là chủ yếu và hiệu quả oxy hóa được nâng cao.

2.2.2 Quá trình Peroxone

2.2.2.1 Giới thiệu chung về quá trình Peroxone

Quá trình oxi hóa của ozone với sự có mặt của Hydrogen Peroxit được gọi là quá trình Peroxone hoặc Perozone. Sự khác nhau cơ bản giữa quá trình ozone và Peroxone là chỗ quá trình ozone thực hiện sự oxi hóa các chất ô nhiễm chủ yếu trực tiếp bằng phân tử ozone trong nước khi đó quá trình Peroxone thực hiện sự oxi hóa chất ô nhiễm chủ yếu là gián tiếp thông qua gốc Hydroxyl được tạo ra từ ozone.

Quá trình Peroxone được áp dụng để xử lý các chất gây mùi, vị khó chịu như Geosmin, 2-metyliosbocneol (MIB), các hợp chất hữu cơ chứa Clo, đồng thời còn sử dụng như một tác nhân khử trùng mạnh, tiêu diệt được những loại vi khuẩn hoặc các loại kém bền vững với Clo như Giardia và Cryptosporidium, các chất hữu cơ

chứa Halogen như Tricoetylen (TCE), Perloetylen (PCE), Diclopropen (DCPE), Clopantan (CPA), Dicloetan(DCA)...ngoài ra còn cải thiện tỷ số BOD/COD trong nước thải theo chiều thuận lợi để thực hiện quá trình xử lý sinh học tiếp sau.

2.2.2.2 Cơ chế của quá trình Peroxone

- Cơ chế phản ứng tạo gốc $\text{OH}\cdot$ từ hệ $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3$

Sự có mặt của H_2O_2 được xem như làm tác dụng khơi mào cho sự phân hủy O_3 thông qua ion Hydroperoxit HO_2^- , như mô tả trong các phương trình (1), (2) dưới đây :

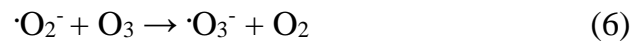


Các phản ứng tiếp theo tạo thành gốc Hydroxyl $\cdot\text{OH}$ xảy ra như sau:

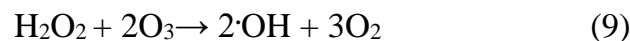
- Tạo gốc $\cdot\text{OH}$ từ O_3^- :



- Tạo gốc $\cdot\text{OH}$ từ $\cdot\text{HO}_2$:



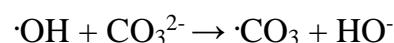
Tổng hợp các phương trình trên có thể viết lại dưới dạng sau, đặc trưng cho quá trình Peroxon $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3$:

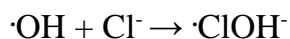
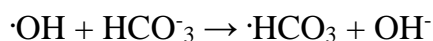


2.2.2.3 Các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình Peroxone

- Ảnh hưởng của các ion vô cơ

Một số ion vô cơ thường có trong nước ngầm và nước thải cũng có thể làm giảm hiệu quả của quá trình Peroxone do chúng tiêu diệt các gốc $\cdot\text{OH}$ vừa được tạo ra. Những phản ứng làm mất gốc Hydroxyl của một số anion tiêu diệt gốc Hydroxyl đặc trưng như sau:





Khi tăng pH, cân bằng của bicacbonat - cacbonat sẽ chuyển dịch theo hướng tạo thành cacbonat gây bất lợi cho phản ứng oxy hóa bậc cao. Trong khi đó, cacbonic axit lại không có tác dụng tóm bắt gốc hydroxyl, vì vậy trong trường hợp độ kiềm cao, bằng cách chỉnh pH sang môi trường axit để chuyển cân bằng cacbonat - bicacbonat từ cacbonat (chất tìm diệt gốc hydroxyl) sang cacbonic axit (không phải chất tìm diệt gốc hydroxyl), sẽ có thể loại bỏ tác dụng kìm hãm tốc độ phản ứng của các ion cacbonat và ion bicacbonat.

Nói chung, các ion clorua, cacbonat và bicacbonat thường có ảnh hưởng kìm hãm tốc độ phản ứng nhiều nhất, trong khi đó các ion sulfat, phosphat hay nitrat thường ảnh hưởng ở mức độ thấp hơn.

- Độ pH và độ kiềm

Hydrogen peroxit bản thân phản ứng chậm với ozone, nhưng sản phẩm phân hủy của hydrogen peroxit theo phương trình (1) là ion HO_2^- lại phản ứng rất mạnh với ozone theo phương trình (2). Vì vậy, trong môi trường pH cao rất thuận lợi cho phản ứng (2) xảy ra, do đó làm tăng tốc độ quá trình phân hủy ozone và tạo gốc $\cdot\text{OH}$. Nếu tăng pH lên 1 đơn vị có thể tăng tốc độ tạo thành gốc $\cdot\text{OH}$ lên 10 lần [Meijers, R.T, 1998]. Trị số pH tối ưu của quá trình Peroxon thường nằm trong khoảng 7 - 8.

Độ kiềm là một thông số quan trọng của quá trình peroxone $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3$. Nếu trong nước và nước thải chứa độ kiềm bicacbonat và cacbonat, cần phải loại bỏ chúng trước khi tiến hành phản ứng peroxone $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3$ vì khi thực hiện trong môi trường pH cao, cân bằng cacbonat - bicacbonat sẽ nhanh chóng chuyển sang tạo Cacbonat là một chất tìm diệt gốc $\cdot\text{OH}$.

- Tỷ lệ $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$

Phương trình (9) cho thấy 1 mol H_2O_2 tác dụng với 2 mol O_3 sẽ tạo ra hai gốc tự do $\cdot\text{OH}$. Theo nhiều tác giả [Glaze, W.H(1989); Meijers, R.T(1985)] tỷ lệ tối ưu $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3$ là 0,5 mol H_2O_2 cho 1 mol O_3 . Tuy nhiên, nhu cầu H_2O_2 còn tùy thuộc

vào sự có mặt của những chất tìm diệt gốc $\cdot\text{OH}$ trong hệ. Chẳng hạn, khi có mặt HCO_3^- nhu cầu H_2O_2 tăng lên tỷ lệ với nồng độ HCO_3^- . Do đó tỷ lệ mol $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3$ không còn là 0,5 nữa. Mặt khác, cần lưu ý nếu cho H_2O_2 quá dư so với tỷ lệ trên sẽ có tác dụng ngược lại, làm giảm hiệu quả của quá trình vì H_2O_2 cũng có tác dụng như chất tìm diệt gốc $\cdot\text{OH}$ theo phản ứng (4). Nói chung, tỷ lệ $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3$ tối ưu để có thể cho tốc độ phản ứng tạo gốc hydroxyl cực đại được xác định vào từng trường hợp cụ thể.

2.3 Một số ứng dụng về công nghệ xử lý bậc cao trong nước và thể giới đã áp dụng để xử lý nước thải và mang lại kết quả thành công

2.3.1 Ứng dụng trên thế giới

Xử lý Clorofoc trong nước ngầm ở Commerce City, Colorado, USA đã được Zappi et al. [1992] nghiên cứu bằng hệ $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$.

Mẫu nước ngầm được lấy từ hai vị trí khác nhau, có nồng độ clorofoc là 33,4 mg/L (ở vị trí Basin A) và 0,738 mg/L (ở vị trí South Plants). Trong quá trình nghiên cứu, ozone liên tục cho vào thiết bị phản ứng dung tích 1 lít với lượng 3 mg/L. Để xử lý nước ngầm ở Basin A, lượng H_2O_2 tối ưu so với lượng O_3 đưa vào là trong khoảng 0,25 đến 1 mg/L. Trong điều kiện đó, khoảng 90% Clorofoc được xử lý trong vòng 20 phút. Đối với mẫu nước ngầm ở South Plants, lượng H_2O_2 tối ưu so với lượng O_3 đưa vào là khoảng 1 đến 10 mg/L. Trong điều kiện đó, cũng khoảng 90% Clorofoc được xử lý nhưng phải trong vòng 30 phút.

Trong nước ngầm của Oitti (Phần Lan) bị nhiễm Tetrachloetylen (PCE) và Trichloetylen (TCE). Hirnoven, A.T. et al. (1996) đã nghiên cứu xử lý các thành phần này bằng quá trình Peroxone.

Độ pH của nước giếng là 6,8 và độ kiềm CaCO_3 là 55 mg/L, mẫu nước giếng được pha loãng để có nồng độ PCE là 100 $\mu\text{g/l}$ và TCE là 200 $\mu\text{g/l}$. Thí nghiệm tiến hành với liều lượng O_3 là 7 mg/phút và tỷ lệ khối lượng $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$ là 0,7. Trong những điều kiện đó, sau 5 phút có thể xử lý đến 92% PCE và 96% TCE trong mẫu nước giếng.

Glaze và Kang (1988) đã tiến hành nghiên cứu phân hủy PCE và TCE trong nước ngầm lấy từ hai giếng ở Los Angeles, California, USA. Độ kiềm CaCO_3 của nước ngầm của hai giếng là 200 và 300 mg/L, pH tương ứng trong khoảng 7,2 đến 7,4. Hàm lượng tổng Cacbon hữu cơ TOC 1,1 mg/L. Trong quá trình thí nghiệm với nồng độ ban đầu của PCE và TCE tương ứng là 55 và 475 $\mu\text{g/l}$ nhận thấy sau 20 phút có 405 $\mu\text{g/l}$ ion Clorua được tạo thành và hàm lượng PCE và TCE giảm tương ứng xuống còn 5 và 8 $\mu\text{g/l}$. Điều này chứng tỏ trong quá trình phản ứng với $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ ít nhất đã có thể phân hủy được 97% PCE và TCE thành các ion Clorua. Hàm lượng cao các ion Bicacbonat trong nước ngầm đã làm giảm đáng kể hiệu quả xử lý PCE và TCE, vì vậy để nâng cao hiệu quả của quá trình nên làm mềm nước trước khi xử lý.

2.3.2 Ứng dụng trong nước

Đề tài nghiên cứu: “Xử lý chất thải hữu cơ trong nước cấp nhà máy nước Tân Hiệp, Tp. Hồ Chí Minh” được thực hiện bởi Th.S Phan Thị Hải Vân, PGS.TS Nguyễn Phước Dân và Th.S Phạm Ngọc Hòa.

Đánh giá được khả năng xử lý của hệ AOPs ($\text{O}_3 + \text{UV}$) trong quá trình xử lý chất thải hữu cơ có trong nước cấp sau quá trình xử lý với thành phần và tính chất của nước đầu vào: pH = 6,7 – 7,1; độ màu 107 - 110 Pt - Co; độ đục 4 - 20 NTU; độ kiềm 16 - 28 mg/ CaCO_3/l ; COD_{Mn} = 13,4 - 24 mg/L; BOD_5 = 1,9 – 2,9 mg/L; TOC = 7,5 – 10,3 mg/L; DOC = 7,1 – 8,4 mg/L ; BDOC = 1,3 – 2,0 mg/L; BDOC/DOC = 0,24 – 0,27; UV_{254} = 0,09 – 0,25 cm^{-1} . Đề tài nghiên cứu được thực hiện với 3 nội dung: xác định pH thích hợp, xác định thời gian lưu nước thích hợp, xác định tỷ lệ $\text{mgO}_3/\text{mgTOC}$ thích hợp. Từ các kết quả thí nghiệm cho thấy quá trình $\text{O}_3 + \text{UV}$ đạt hiệu quả chuyển hóa chất hữu cơ cao nhất tại pH = 8,5, thời gian lưu thích hợp là 20 phút, nồng độ ozone đầu vào là 0,9 $\text{mgO}_3/\text{mgTOC}$ (cường độ UV là $44\text{mWs}/\text{cm}^2$). Hiệu quả thu được sau quá trình nghiên cứu khả năng xử lý của hệ AOPs ($\text{O}_3 + \text{UV}$) đối với quá trình xử lý chất thải hữu cơ trong nước cấp nhà máy nước Tân Hiệp, TP.Hồ Chí Minh là 65,3% hiệu quả xử lý độ màu, COD_{Mn} là 32,8%, TOC là 17,4%, DOC là 14,7%, UV_{254} là 29,3%, tỷ số BDOC/DOC tăng gấp 6 lần so với đầu vào.

Đề tài nghiên cứu “Nghiên cứu xây dựng mô hình Oxy hóa hóa học (H_2O_2) kết hợp với bức xạ tử ngoại (UV) dùng để xử lý nước thải chứa thuốc bảo vệ thực vật tại thành phố Hồ Chí Minh” được thực hiện bởi TS. La Thị Thái Hà, KS. Lương Thành Nhơn, 2007.

Đề tài sử dụng hệ H_2O_2 /UV với đối tượng nghiên cứu là nước thải của Công ty Cổ phần Thuốc Bảo vệ thực vật Hòa Bình với thành phần ô nhiễm cao như COD = 770 mg/L, BOD₅ = 290 mg/L, độ màu = 220 Pt – Co và hàm lượng thuốc BVTV gốc Clo = 154,2 µg/l. Thí nghiệm tiến hành ở hai chế độ: dòng liên tục và gián đoạn (từng mẻ). Trong thí nghiệm từng mẻ gián đoạn với hiệu suất khử COD đạt 85%, BOD là 95,8% và thuốc BVTV gốc Clo là 99,9% (một số hợp chất tạo màu và độ đục cũng bị phân hủy). Sau phản ứng pH của nước thải giảm chứng tỏ các hợp chất hữu cơ đã bị khoáng hóa thành những acid đơn giản, muối hoặc CO₂ và H₂O. Qua nghiên cứu này đã đưa ra một số kết luận:

Phản ứng quang phân trực tiếp H_2O_2 để tạo ra gốc hydroxyl tỷ lệ thuận với cường độ, bước sóng của bức xạ chiếu vào và thời gian tiếp xúc.

Việc ngăn cản tia bức xạ của một vật dài chất nào đó như: vi khuẩn, các chất hóa học dễ kết tủa, hợp chất tạo màu...cũng làm giảm tốc độ sản sinh gốc Hydroxyl.

Nếu nước và nước thải chứa nhiều hợp chất dễ hấp thụ bức xạ tử ngoại thì số lượng gốc hydroxyl tạo ra sẽ giảm.

Khi áp dụng vào thực tế, trước công đoạn thực hiện quá trình oxy hóa bậc cao phải xử lý sơ bộ trước như: song chắn rác, lắng sơ bộ, lọc nhằm nâng cao hiệu quả xử lý.

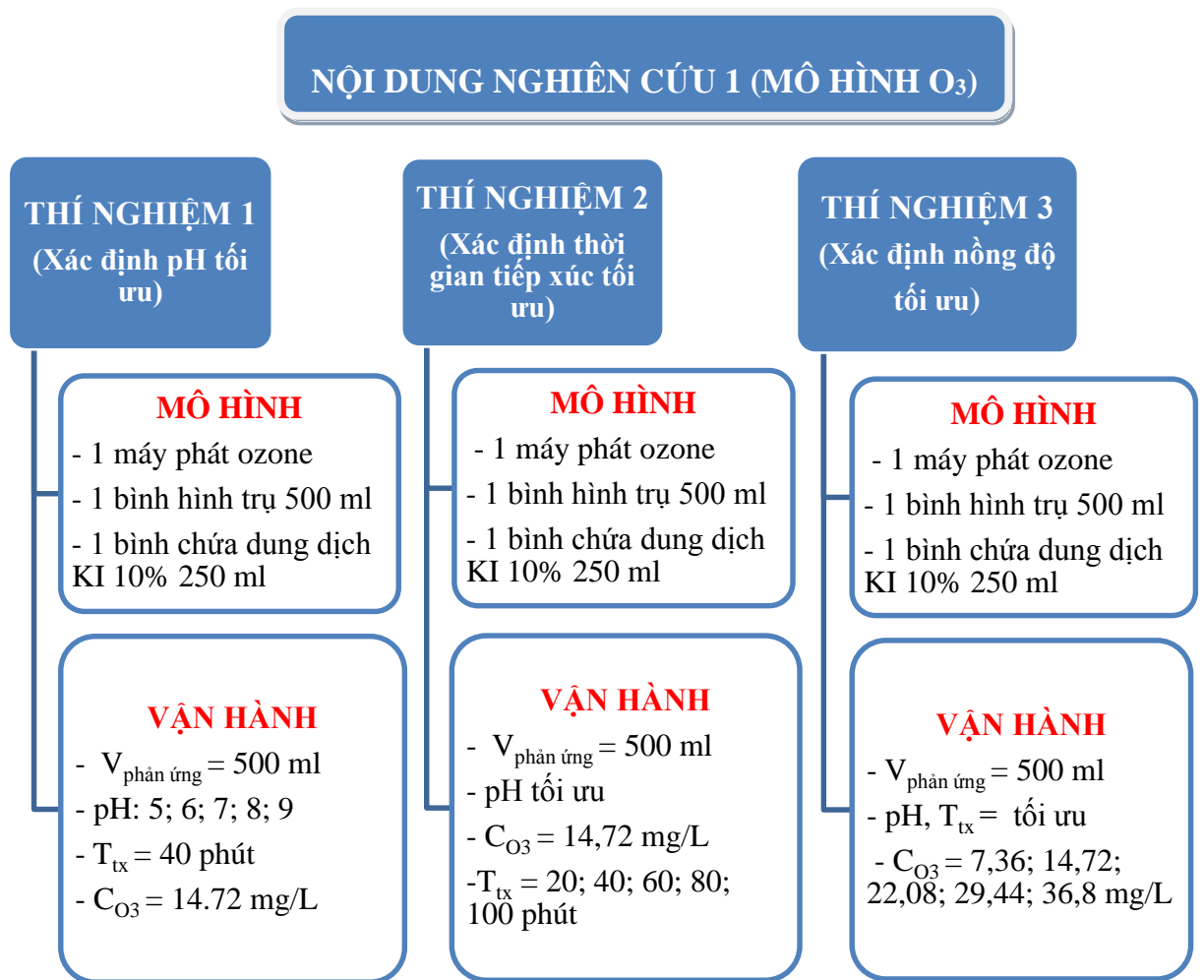
CHƯƠNG 3: NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

3.1 Nội dung nghiên cứu

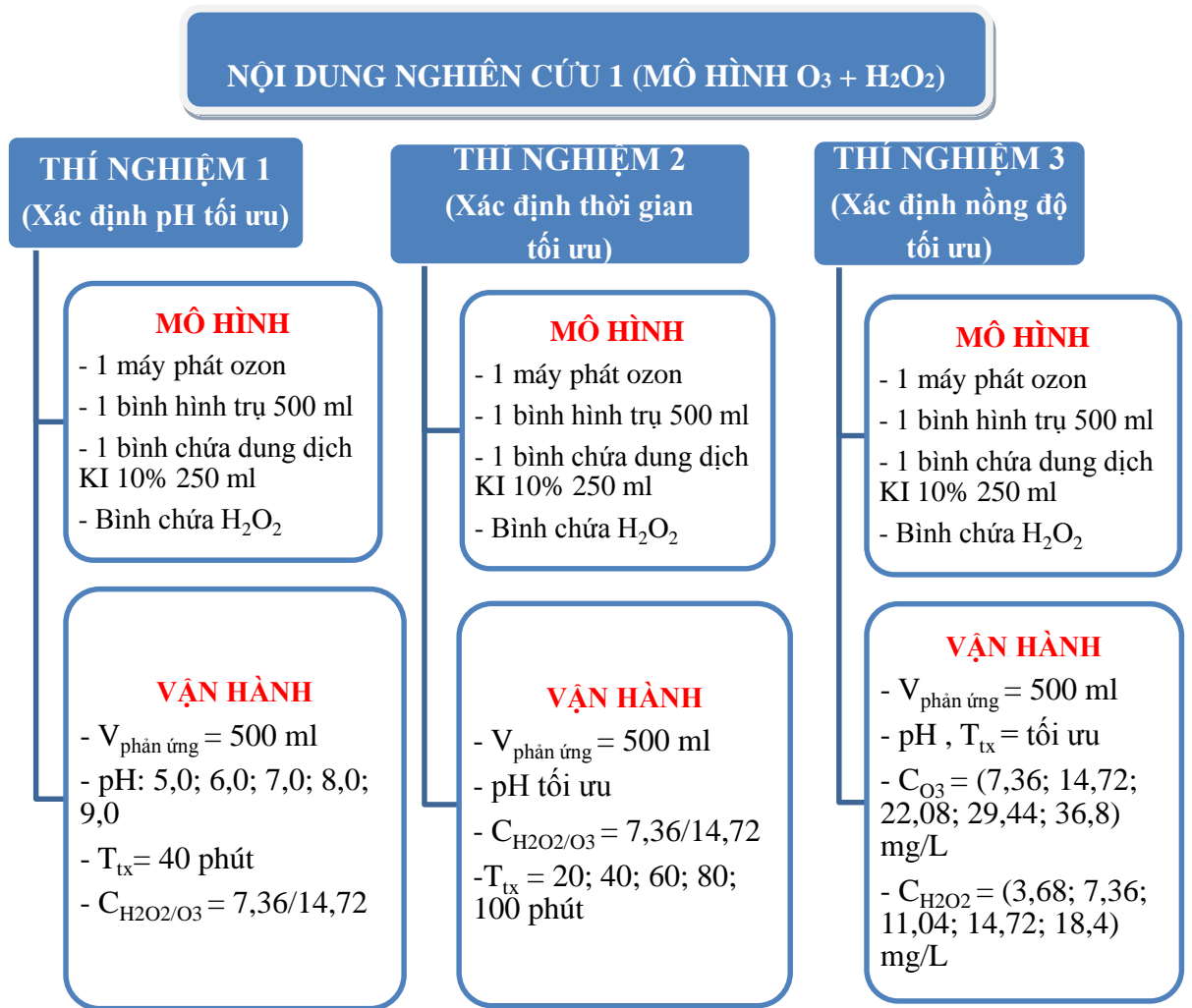
Nghiên cứu bao gồm 2 nội dung chính: nghiên cứu theo mô hình công nghệ phản ứng bậc cao AOPs và nghiên cứu nước thải sau xử lý bằng công nghệ phản ứng bậc cao AOPs qua mô hình BAC.

3.1.1 Nội dung nghiên cứu 1: Nghiên cứu theo mô hình công nghệ xử lý bậc cao AOPs

Trong quá trình nghiên cứu ở nội dung 1 thì ta tiến hành nghiên cứu 2 quá trình đó là: quá trình O_3 và quá trình $H_2O_2 + O_3$. Từ đó ta có thể so sánh được hiệu quả xử lý của chúng.

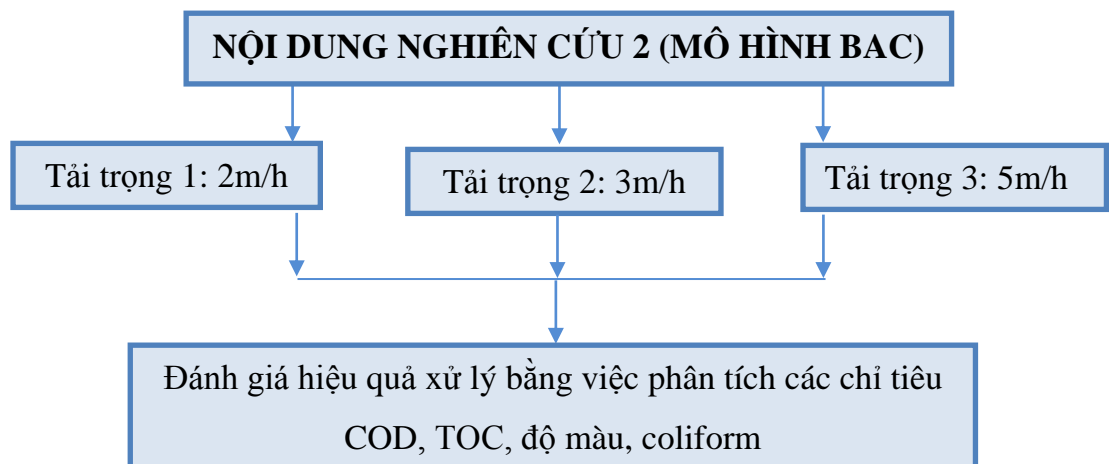


Hình 3.1 Quy trình nội dung thực hiện của quá trình O_3



Hình 3.2 Quy trình nội dung thực hiện của quá trình $H_2O_2 + O_3$

3.1.2 Nội dung nghiên cứu 2: Nghiên cứu nước thải sau xử lý bằng công nghệ AOPs qua mô hình BAC



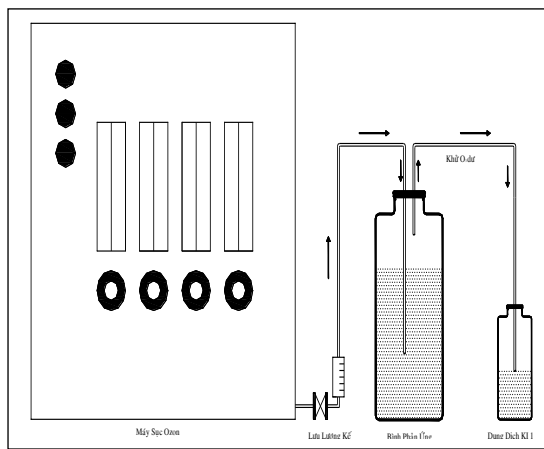
Hình 3.3 Quy trình nội dung thực hiện của mô hình BAC

3.2 Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu này được thực hiện ba thí nghiệm khác nhau để đánh giá hiệu quả xử lý của công nghệ AOPs ở nội dung 1 và công nghệ AOPs kết hợp với mô hình BAC ở nội dung 2 sau đó xác định các chỉ tiêu độ màu, COD, TOC, coliform...sau xử lý.

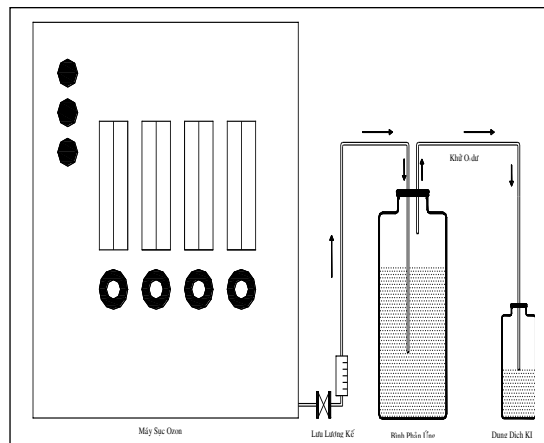
3.2.1 Nghiên cứu nội dung 1 với mô hình công nghệ xử lý bậc cao AOPs

- **Mô hình 1: Quá trình O_3**



Hình 3.4 Mô hình vận hành quá trình sục khí ozone

- **Mô hình 2: Quá trình $H_2O_2 + O_3$**



Hình 3.5 Mô hình vận hành theo quá trình $H_2O_2 + O_3$

Mô hình công nghệ AOPs được thiết kế theo các thông số chính như sau:

Bảng 3.1 Các thông số thiết kế mô hình AOPs

Thông số	Chiều cao	Đường kính	Thể tích
Kích thước	170 mm	70 mm	500mm

Mô hình nghiên cứu:

Mô hình nghiên cứu gồm 4 phần: bình phản ứng $V = 500$ ml, máy phát ozone, thiết bị điều chỉnh lưu lượng khí, bình hấp thụ khí ozone.

- Bình phản ứng: được làm bằng thủy tinh chịu nhiệt hình trụ ($D = 70$ mm, $H = 170$ mm, $\delta = 3$ mm). Phần trên của bình phản ứng có bố trí 3 van: van dẫn nước cần xử lý vào từ bể chứa, van thoát khí ozone dư trong quá trình sục khí, van dẫn khí ozone vào từ máy phát ozone. Khí ozone được cấp vào bình phản ứng nhờ qua hệ thống đá bọt nhằm khuếch tán tối đa lượng khí ozone hòa tan vào trong nước. Lượng khí ozone sục vào bể được điều chỉnh bởi đồng hồ đo lưu lượng.

- Máy phát ozone:

- + Nhãn hiệu VINA Ozone Generator.
- + Công suất: 54W.
- + Điện thế: AC 220V/ 50Hz.
- + Lượng ozone sinh ra: 1 g/h.

- Bình hấp thụ khí ozone dư: làm bằng thủy tinh bên trong chứa dung dịch KI 10% dùng để hấp thụ khí ozone dư thoát ra từ bình phản ứng.

- Thiết bị đo lưu lượng khí: 1- 5 l/phút.

• **Thuyết minh quy trình**

Trong quá trình thực hiện mô hình của hệ O_3 và hệ $H_2O_2 + O_3$ thì hai mô hình này hoạt động tương tự nhau chỉ có khác là quá trình $H_2O_2 + O_3$ có thêm thêm dung dịch H_2O_2 3% vào bình phản ứng còn quá trình hệ O_3 thì không.

Nước thải khi lấy đúng thể tích $V = 500$ ml.

Ta cần xác định pH, thời gian tiếp xúc khí, nồng độ O_3 tối ưu qua từng thí nghiệm riêng biệt để tìm ra các thông số tối ưu nhất.

Nước thải sau khi điều chỉnh các thông số nồng độ đầu vào rồi đưa vào bình phản ứng đúng thể tích đã chọn. Sau đó ta vận hành máy phát ozone và tiến hành điều chỉnh lưu lượng nồng độ khí ozone cấp vào trong bình phản ứng bằng cách điều chỉnh lưu lượng kế theo những nồng độ đã chọn trước. Và tương tự các khoảng thời gian và giá trị pH cũng khác nhau. Sau đó, lần lượt lấy mẫu trong bình phản ứng ra để kiểm tra các chỉ tiêu độ màu, pH, TOC, COD, coliform ...

Nồng độ O_3 dư được dẫn qua bình chứa dung dịch KI 10% để khử ozone dư.

Tương tự, qui trình thực của sự kết hợp $H_2O_2 + O_3$ thì nồng độ 2 chất được đưa vào bình phản ứng theo các tỉ lệ $H_2O_2/O_3 = 1/2$.

- **Nguyên vật liệu**

Nước thải đem nghiên cứu lấy tại bể SBR ở khu công nghiệp Sóng Thần 1 và được lấy ở nhiều vị trí khác nhau trong hồ chứa nước bằng cách ta phân vùng lấy. Đồng thời ta lấy nước thải ở những thời gian khác nhau trong ngày để biết được vào thời gian nào thì lượng nước thải ra nồng độ cao nhất và ít nhất để ta có thể điều chỉnh trong quá trình nghiên cứu.

- Máy phát ozone hiệu VINA Ozone Generator công suất tối đa 1g/h có đồng hồ và van điều chỉnh lưu lượng cung cấp.
- Dung dịch KI 10%, H_2O_2 3%
- Ống dẫn khí và nước thải trong mô hình thí nghiệm.

- **Tiến hành thí nghiệm**

Nghiên cứu này được tiến hành với 3 thí nghiệm khác nhau để đánh giá hiệu quả xử lý của công nghệ oxy hóa bậc cao (AOPs) nhằm mục đích tái sinh.

Nghiên cứu khả năng xử lý nước thải khu công nghiệp Sóng Thần 1 trên mô hình oxi hóa bậc cao hệ ozone (O₃)

Bảng 3.2 Nghiên cứu khả năng xử lý nước thải khu công nghiệp Sóng Thần 1 trên mô hình hệ ozone

TN	Nội dung nghiên cứu	Điều kiện thí nghiệm	Chỉ tiêu phân tích
1	Xác định giá trị pH tối ưu	<ul style="list-style-type: none"> - Điều chỉnh pH theo pH đã định trước bằng dung dịch NaOH 1N và H₂SO₄ 1N - Tiến hành thí nghiệm đối với nước thải có nồng độ ozone đầu vào là 14,72 mg/L. - Các giá trị pH: 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 9,0 - Thời gian xử lý là 40 phút. - Cho 250 ml KI 10% vào bình hấp thụ, dùng H₂SO₄ 2N đưa dung dịch KI 10% về pH = 2 để tạo môi trường hấp thu ozone dư tốt nhất. 	Sau kết thúc quá trình lấy mẫu nước sau xử lý đem phân tích các chỉ tiêu như: COD, độ màu, độ đục, coliform.
2	Xác định thời gian tiếp xúc khí tối ưu	<ul style="list-style-type: none"> - Điều chỉnh giá trị pH tới pH tối ưu. - Tiến hành thí nghiệm đối với nước thải có nồng độ ozone đầu vào là 14,72 mg/L. - Thời gian xử lý là 20; 40; 60; 80; 100 phút. - Cho 250 ml KI 10% vào bình hấp thụ, dùng H₂SO₄ 2N đưa dung dịch KI 10% về pH = 2 để tạo môi trường hấp thu ozone dư tốt nhất 	Sau kết thúc quá trình mẫu nước sau xử lý đem phân tích các chỉ tiêu như: COD, TOC, độ màu, độ đục, colifom.
3	Xác định nồng độ O ₃ tối ưu	<ul style="list-style-type: none"> - Giá trị pH được điều chỉnh tới pH tối ưu. 	Sau kết thúc quá

TN	Nội dung nghiên cứu	Điều kiện thí nghiệm	Chỉ tiêu phân tích
		<ul style="list-style-type: none"> - Thời gian được điều chỉnh đến mức thời gian tiếp xúc tối ưu. - Tiến hành thí nghiệm đối với nước thải có nồng độ ozone đầu vào lần lượt là 7,36; 14,72; 22,08; 29,44; 36,8 mg/L. - Cho 250 ml KI 10% vào bình hấp thụ, dùng H₂SO₄ 2N đưa dung dịch KI 10% về pH = 2 để tạo môi trường hấp thu ozone dư tốt nhất. 	trình mẫu nước sau xử lý lấy ra và đem phân tích các chỉ tiêu: COD, TOC, độ màu, coliform.

Nghiên cứu khả năng xử lý nước thải khu công nghiệp Sóng Thần 1 trên mô hình oxi hóa bậc cao hệ H₂O₂ + O₃

Bảng 3.3 Nghiên cứu khả năng xử lý nước thải khu công nghiệp Sóng Thần 1 trên mô hình hệ H₂O₂ + O₃

TN	Nội dung nghiên cứu	Điều kiện thí nghiệm	Chỉ tiêu phân tích
1	Xác định pH tối ưu	<ul style="list-style-type: none"> - Điều chỉnh pH theo pH đã chọn bằng dung dịch NaOH 1N và H₂SO₄ 1N. - Các giá trị pH: 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 9,0 - Tiến hành thí nghiệm đối với nước thải có nồng độ ozone đầu vào là 14,72 mg/L và nồng độ H₂O₂ 3% là 7,36 mg/L. - Thời gian xử lý là 40 phút. - Cho 250 ml KI 10% vào bình hấp thụ, dùng H₂SO₄ 2N đưa dung dịch KI 10% về pH = 2 để tạo môi trường hấp thu ozone dư 	Sau kết thúc quá trình lấy mẫu nước sau khi xử lý đem phân tích các chỉ tiêu: COD, TOC, độ màu, coliform...

TN	Nội dung nghiên cứu	Điều kiện thí nghiệm	Chỉ tiêu phân tích
		tốt nhất	
2	Xác định thời gian tiếp xúc tối ưu	<ul style="list-style-type: none"> - Điều chỉnh giá trị pH tới pH tối ưu. - Tiến hành thí nghiệm với nước thải có nồng độ ozone đầu vào là 14,72 mg/L và nồng độ H₂O₂ 3% là 7,36 mg/L. - Thời gian xử lý là 20; 40; 60; 80; 100 phút. - Cho 250 ml KI 10% vào bình hấp thụ, dùng H₂SO₄ 2N đưa dung dịch KI 10% về pH = 2 để tạo môi trường hấp thụ ozone dư tốt nhất. 	Sau kết thúc quá trình lấy mẫu nước sau xử lý đem phân tích các chỉ tiêu: COD, TOC, độ màu, coliform.
3	Xác định nồng độ O ₃ tối ưu	<ul style="list-style-type: none"> - Giá trị pH được điều chỉnh tới pH tối ưu. - Thời gian sục khí được điều chỉnh tới thời gian sục khí tối ưu. - Tiến hành thí nghiệm đối với nước thải có nồng độ ozone cấp vào lần lượt là: 7,36; 14,72; 22,08; 29,44; 36,8 mg/L và nồng độ H₂O₂ 3% là: 3,68; 7,36; 11,04; 14,72; 18,4 mg/L. - Cho 250 ml KI 10% vào bình hấp thụ, dùng H₂SO₄ 2N đưa dung dịch KI 10% về pH = 2 để tạo môi trường hấp thụ ozone dư tốt nhất. 	Sau kết thúc quá trình mẫu nước thải sau khi xử lý đem phân tích các chỉ tiêu: COD, TOC, độ màu, coliform.

- **Thông số vận hành mô hình công nghệ AOPs**

Tiến hành thực hiện theo 3 thí nghiệm sau:

Bảng 3.4 Bảng thông số vận hành mô hình công nghệ AOPs

Thí nghiệm	Thông số vận hành			
	Thể tích nước thải đầu vào (ml)	Thời gian thí nghiệm (phút)	Lưu lượng khí O ₃ cấp vào mô hình (mg/L)	Giá trị pH
Xác định pH tối ưu	500	40	<u>MH1</u> : C _{O3} = 14,72 mg/L <u>MH2</u> : C _{O3} = 14,72 mg/L C _{H2O2} = 7,36 mg/L	5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 9,0
Xác định thời gian tiếp xúc tối ưu	500	20; 40; 60; 80; 100	<u>MH1</u> : C _{O3} = 14,72 mg/L <u>MH2</u> : C _{O3} = 14,72 mg/L C _{H2O2} = 7,36 mg/L	pH tối ưu
Xác định nồng độ O ₃ (H ₂ O ₂ + O ₃) tối ưu	500	Thời gian tối ưu	<u>MH1</u> : C _{O3} = 7,36; 14,72; 22,08; 29,44; 36,8 mg/L. <u>MH2</u> : C _{O3} = 7,36; 14,72; 22,08; 29,44; 36,8 mg/L. C _{H2O2} = 3,68; 7,36; 11,04; 14,72; 18,4 mg/L. C _{H2O2/O3} = 1/2	pH tối ưu

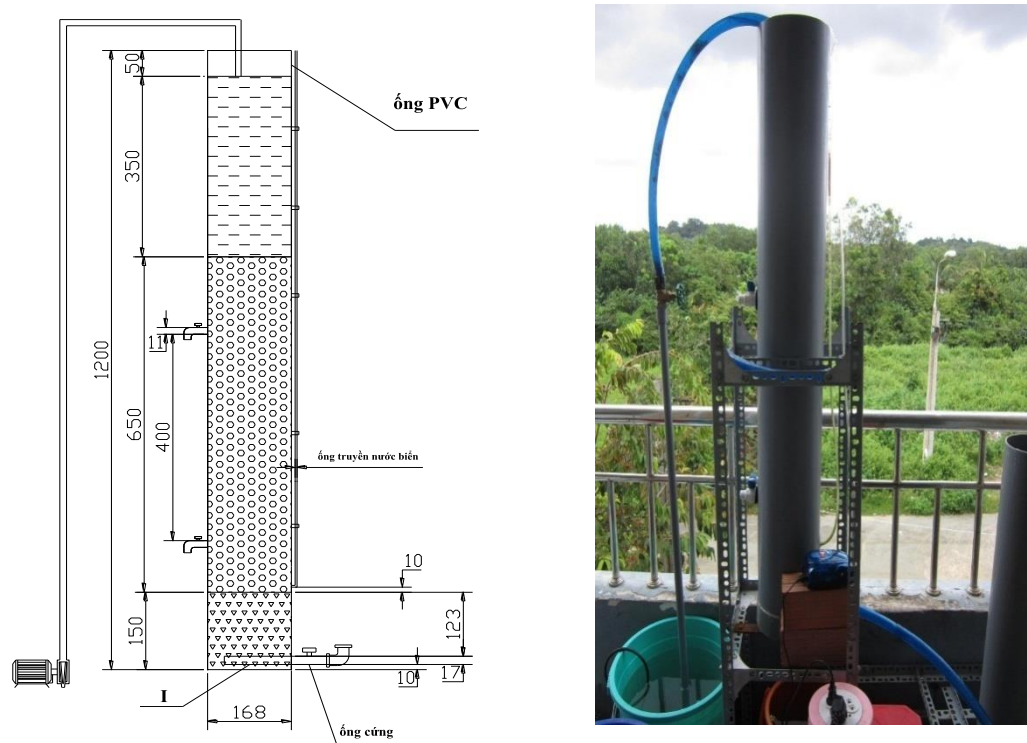
- **Phương pháp khử O₃ và H₂O₂ trong nước**

Trong quá trình thí nghiệm sẽ đo các chỉ tiêu TOC, COD...Nhưng việc phân tích các chỉ tiêu này lại không thể tiến hành nếu trong mẫu có chứa hàm lượng O₃ và H₂O₂ dư sẽ làm ảnh hưởng, gây sai số kết quả đo COD. Do đó, sau khi phân tích hàm lượng O₃, H₂O₂ dư trong nước, sẽ tiến hành khử chất oxi hóa còn lại bằng Na₂S₂O₃. Na₂S₂O₃ được chọn vì nó là chất khử mạnh có khả năng chuyển thành dạng muối Sunphat không ảnh hưởng đến phân tích TOC, COD. Na₂S₂O₃ dư sẽ làm

tăng giá trị COD phân tích được bằng KMnO_4 nên việc loại bỏ hoàn toàn $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ dư đảm bảo cho thí nghiệm chính xác.

3.2.2 Nghiên cứu nội dung 2 với mô hình xử lý nước thải sau khi xử lý bằng công nghệ bậc cao AOPs qua mô hình BAC

➤ Mô hình được thiết kế theo các thông số sau:



Hình 3.6 Hệ thống xử lý nước thải bằng mô hình BAC

Bảng 3.5 Bảng thông số thiết kế mô hình BAC

Thông số	Chiều cao	Cạnh	Thể tích
Kích thước	1200 mm	150 mm	15000ml

➤ **Thuyết minh qui trình**

Nước thải sau khi xử lý từ mô hình công nghệ AOPs thì được thu ra bể chứa. Sau đó nó được bơm qua hệ thống mô hình BAC tiến hành lọc từ trên xuống. Tại đây nước thải qua lớp than hoạt tính sinh học và than hoạt tính sẽ lọc nước thải đi qua. Quá trình lọc tốt hơn nhờ máy sục khí được sục từ dưới đáy bể lên. Nước sau khi xử lý được thu tại ống thu đặt dưới đáy bể và đem đi tiến hành phân tích các chỉ tiêu: COD, TOC, coliform, độ màu...

➤ **Nguyên vật liệu**

- Nước thải sau quá trình xử lý bằng công nghệ AOPs.
- Máy bơm công suất 250N.
- Mô hình BAC.

Than hoạt tính sinh học gáo dừa:

- Hình dạng : dạng hạt, màu đen, khô, có góc cạnh.
- Tỷ trọng ở 25⁰C: 0,440 – 0,600 g/ml.
- Tính tan trong nước hoặc trong dung môi khác: không.
- Độ ẩm (Moisture): 5% - 25%.
- Độ tro (Ash): 3% - 7%.
- Cường độ (Hardness): 95% tối thiểu.
- Cỡ hạt: Kích thước 2,36 – 4,76 mm (mesh size 4 - 8).
- Công dụng: Khử màu, mùi, kim loại nặng, các hợp chất hữu cơ, thuốc trừ sâu.

Sỏi đỡ:

- Kích thước: 2 - 5 mm.
- Công dụng: làm lớp lót đáy bể lọc, độ dày lớp lót từ 100 – 250 mm, chọn 150 mm.
- Hạn dùng: tối thiểu 5 năm nên thay mới, định kỳ rửa ngược rửa xuôi.
- Tỷ trọng: 1,4 kg/lít – 1,55 kg/lít.

Lớp than được cho vào bể là 600 mm, xếp chồng lên nhau và có những khe hở. Dưới lớp vật liệu than ta cho lớp sỏi đỡ có chiều cao $h = 150$ mm, có nhiều lỗ rỗng. Phần trên đỉnh có ống dẫn nước xuống dưới đáy bể, khí được cung cấp bằng một máy sục khí và được phân phối trong mô hình bằng 4 đá bọt, được bố trí đều 4 bên của bể và được đặt sát dưới đáy bể. Bên trái của bể ta thiết kế 2 van để lấy nước đem đi phân tích các chỉ tiêu: độ màu, TOC, COD, coliform...

➤ **Thông số vận hành**

Các thông số vận hành của mô hình thí nghiệm:

- Lưu lượng
- Thời gian lưu

➤ **Chỉ tiêu giám sát**

- Nhu cầu oxy hóa học (COD), mg/L
- Hàm lượng Coliform, CFU/100ml
- Độ màu, Abs.
- TOC, mg/L.

➤ **Vị trí và tần suất lấy mẫu**

Vị trí lấy mẫu: mẫu đầu vào được lấy tại bể SBR của nhà máy xử lý nước thải tại khu công nghiệp Sóng Thần 1.

Mẫu được lấy vào thời điểm từ 7h30 – 9h hằng ngày và được chuyển về phòng thí nghiệm để phân tích trong ngày.

3.3 Kiểm soát các yếu tố vận hành

3.3.1 Kiểm soát nồng độ ozone dư trong quá trình thí nghiệm

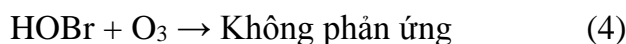
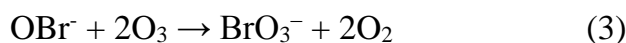
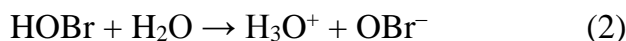
Trong quá trình thí nghiệm thì lượng khí ozone cung cấp vào mô hình lúc nào cũng là cung cấp dư để quá trình phản ứng xảy ra tốt. Vì vậy, để kiểm soát được nồng độ ozone dư bằng cách khử ozone.

3.3.2 Kiểm soát quá trình tạo ra Trihalometan

Trihalometan là một chất tồn tại trong nước cấp lâu ngày tích tụ lại sẽ gây ung thư nếu ta thường xuyên tiếp xúc và sử dụng nó.

Nó được xác định là do trong quá trình xử lý bằng công nghệ AOPs thì có nồng độ ozone cấp vào trong xử lý nước thải dư. Bởi vì quá trình dư O_3 nên tạo ra hiện tượng bromate (BrO_3^-) mà bromate thì tác dụng mạnh với chất hữu cơ có trong nguồn nước thì nó tạo ra trihalometane (THMs).

Bromate trong nước được hình thành khi nguồn nước có chứa bromide được xử lý bằng ozone. Bromide tồn tại trong nước sẽ bị oxi hóa thành hydrobromite và tiếp tục bị oxi hóa thành bromate theo các phương trình phản ứng sau:



Tốc độ phản ứng của quá trình oxi hóa hypobromite thành Bromate tăng ở pH cao. Phương trình (4) chứng tỏ rằng, ozone không thể oxi hóa hypobromite thành bromate. Do đó, giảm pH của quá trình khử trùng bằng ozone là một cách giảm thiểu sự hình thành bromate, vì pH thấp hypobromite tồn tại chủ yếu ở dạng acid

Ngoài ra, sự hình thành bromate còn bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố khác như liều lượng ozone, nồng độ bromide, thời gian khử trùng...

Vì vậy quá trình kiểm soát và hạn chế quá trình hình thành bromate (BrO_3^-) trong quá trình xử lý nước thải chúng ta nên lưu ý như sau:

- Cần có đầy đủ thông số thiết kế định tính cũng như định lượng và thông tin về tính năng hoạt động của ozone cho hệ thống.
- Kiểm soát tốt lượng ozone dư khi dùng ozone trong xử lý nước thải.
- Điều chỉnh yếu tố giảm pH là nhiệm vụ cực kỳ quan trọng.

3.4 Phương pháp phân tích các chỉ tiêu

Việc phân tích mẫu được thực hiện theo các phương pháp phân tích trong *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, Eaton DA, and AWWA (Joint eds). 1998)

Bảng 3.6 Các phương pháp phân tích mẫu

STT	Chỉ tiêu	Phương pháp	Đơn vị	Thiết bị	Độ chính xác
1	pH	4500 – H ⁺ B. Electrometric Method		pH 211 pH Meter	± 0,01
2	Độ màu	2120 C.Spectrophotometric Method	Pt - Co (APHA)	Máy Hach DR/2010	< 1%
3	COD	5220 C. Closed Reflux, Titrimetric Method	mgCOD/l	Tủ nung 150 ⁰ C	-
4	Coliform	TCVN 6187: 2009	CFU/100ml		
5	TOC	TCVN 5501-91	mg/L	Máy phân tích TOC	± 0,01 mg/L

CHƯƠNG 4: KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

4.1 Nội dung 1: Nghiên cứu theo mô hình công nghệ phản ứng bậc cao AOPs (quá trình O_3 và quá trình $H_2O_2 + O_3$)

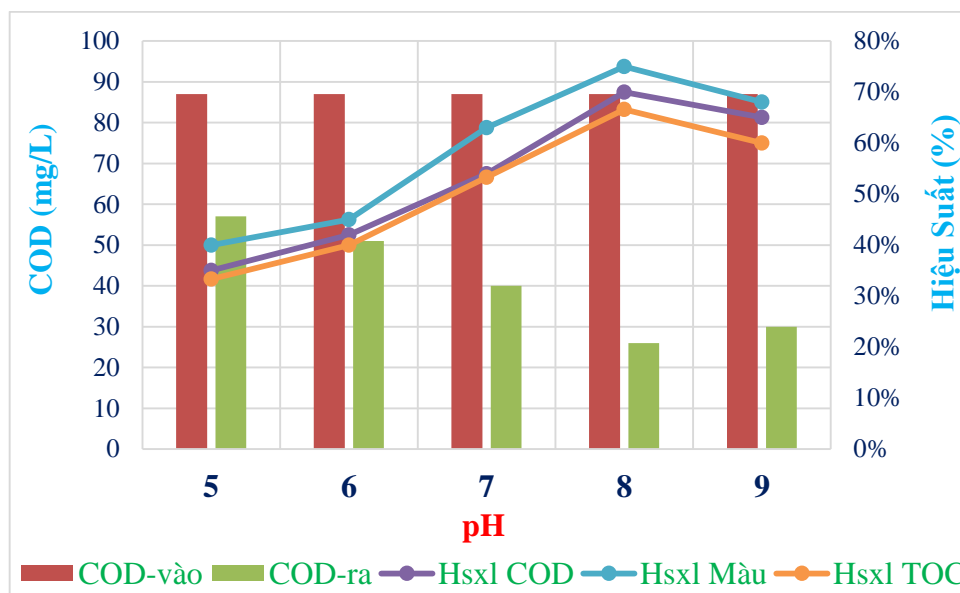
4.1.1 Xác định các thông số tối ưu của quá trình O_3

Nước thải đem thí nghiệm có nồng độ đầu vào là: TOC = 15 mg/L, COD = 87 mg/L, độ màu (độ hấp thu màu) 0,073 Abs, nồng độ Coliform 4.10^4 CFU/100ml.

Thí nghiệm 1: Xác định giá trị pH tối ưu.

Thí nghiệm này nhằm nghiên cứu ảnh hưởng của pH đến hiệu quả xử lý độ màu, COD và TOC.

Hiệu quả xử lý màu, COD và TOC được thể hiện ở biểu đồ dưới đây:



Hình 4.1 Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của pH đến hiệu quả xử lý màu, COD và TOC của quá trình O_3 .

Dựa vào biểu đồ thể hiện hiệu quả xử lý trên thì quá trình ozone đều có khả năng xử lý màu, TOC và COD ở các giá trị pH khác nhau từ 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 9,0

- Đối với quá trình xử lý COD thì ở giá trị pH thấp thì hiệu quả xử lý của nó là khá thấp điển hình như tại pH = 5,0 hiệu quả xử lý COD chỉ đạt 35% hay pH = 6,0 hiệu quả xử lý COD đạt khoảng 42%. Còn đối với pH = 7 thì khả năng xử lý này tương đối đạt hiệu quả trung bình là 54%. Với pH = 8 hiệu quả xử lý tăng lên đáng

kể là 70%. Tại pH = 9 thì hiệu quả xử lý COD có giảm xuống chút ít nhưng vẫn còn cao hơn các pH = 5,0; 6,0; 7,0 và hiệu quả đạt được 65%.

- Đối với quá trình xử lý độ màu thì hiệu quả xử lý thể hiện có chút rõ ràng hơn đối với hiệu quả xử lý COD tại các giá trị pH khác nhau. Tương tự như quá trình xử lý COD tại pH = 5 hiệu quả xử lý màu đạt 40%; pH = 6 là 45% thấp hơn nhiều so với các giá trị pH còn lại như: pH = 7 hiệu quả xử lý đạt được là 63%, pH = 8 là 75% và pH = 9 có giảm hơn chút ít so với pH = 8 nhưng nó vẫn còn lớn hơn các giá trị pH còn lại và hiệu quả đạt được 68%.

- TOC đạt cao nhất tại giá trị pH = 8 là 66,6% cao hơn các giá trị pH = 5; 6; 7; 9 hiệu quả xử lý đạt được lần lượt là 33,3%; 40%; 53,3%; 60% (Xem ở bảng P.A-1, phụ lục A)

- pH đầu ra của giá trị pH đầu vào pH = 8 là pH = 7,6

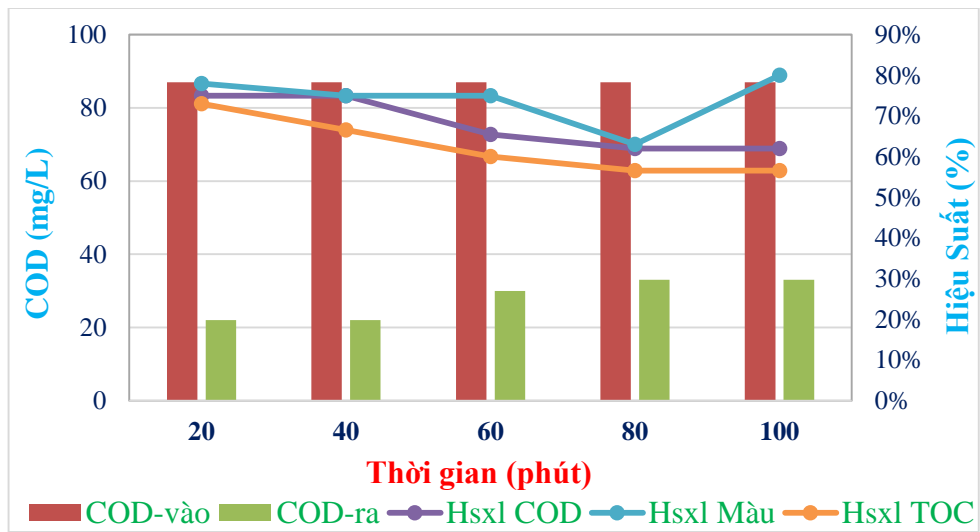
Vì vậy, với hiệu quả xử lý độ màu, COD và TOC trong nước thải công nghiệp tại các giá trị pH khác nhau thì ta thấy rằng: trong môi trường điều kiện acid con đường oxi hóa trực tiếp bằng phân tử ozone là chủ yếu nhưng con đường này xảy ra tương đối chậm, còn trong điều kiện giá trị pH cao thì lại tạo môi trường thuận lợi cho quá trình tạo gốc $\cdot\text{OH}$ và hiệu quả oxi hóa được nâng cao.

Do đó tại giá trị pH = 8 hiệu quả xử lý COD đạt cao nhất là 70%, màu đạt khoảng 75% và TOC đạt khoảng 66,6%. Vì vậy ta chọn pH = 8 làm pH tối ưu tiếp tục cho các thí nghiệm sau.

Thí nghiệm 2: Xác định thời gian tiếp xúc khí tối ưu của mô hình hệ ozone.

Thí nghiệm này nhằm nghiên cứu sự ảnh hưởng của thời gian tiếp xúc khí đến hiệu quả xử lý độ màu, COD và TOC.

Kết quả xử lý màu, COD và TOC được thể hiện tại biểu đồ sau:



Hình 4.2 Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của thời gian tiếp xúc khí đến hiệu quả xử lý độ màu, COD và TOC của quá trình O_3 .

Dựa vào quá trình thực hiện thí nghiệm của mô hình hệ ozone với pH tối ưu là 8. Thời gian thực hiện thí nghiệm được thay đổi từ 20; 40; 60; 80; 100 phút. Và hiệu quả cho ta thấy trong các khoảng thời gian khác nhau thì hiệu quả xử lý của mô hình cho các kết quả thay đổi khác nhau về hiệu quả xử lý màu, COD và TOC như:

- Đối với hiệu quả xử lý COD thì tại khoảng thời gian 20 phút đầu hiệu quả xử lý đạt được tương đối cao là 75%, tương tự tăng thời gian sục khí lên 40 phút thì hiệu quả xử lý cũng đạt được 75%. Nhưng khi tăng thời gian lên 60 phút hiệu quả xử lý COD có giảm xuống còn 65,5%, 80 phút là 62%, tương tự tiếp tục tăng thời gian sục lên 100 phút thì hiệu quả xử lý giảm xuống đáng kể so với 20 phút và 40 phút còn 62%.
- Đối với quá trình xử lý màu của hệ ozone ứng với các thời gian khác nhau thì kết quả đạt được là khác nhau. Ví dụ như: tại 20 phút đầu hiệu quả xử lý đạt được tương đối cao khoảng 78%, tương tự ở thời gian 40 phút và 60 phút thì hiệu quả xử lý của 2 khoảng thời gian này như nhau và đạt được 75%. Nhưng khi ta tăng thời gian tiếp xúc khí lên 80 phút thì hiệu quả xử lý giảm một cách đáng kể so với những thời gian trước chỉ đạt được 63%, tiếp tục tăng thời gian tiếp xúc khí lên 100 phút thì hiệu quả xử lý cao hơn hẳn kết quả đạt được là 80%.

- Hiệu quả xử lý TOC cao nhất tại thời gian sục khí là 20 phút đạt 73% cao hơn các khoảng thời gian 40; 60; 80; 100 phút lần lượt là: 66,6%; 60%; 56,6%; 56,6%. (Xem ở bảng P.A-2, phụ lục A).

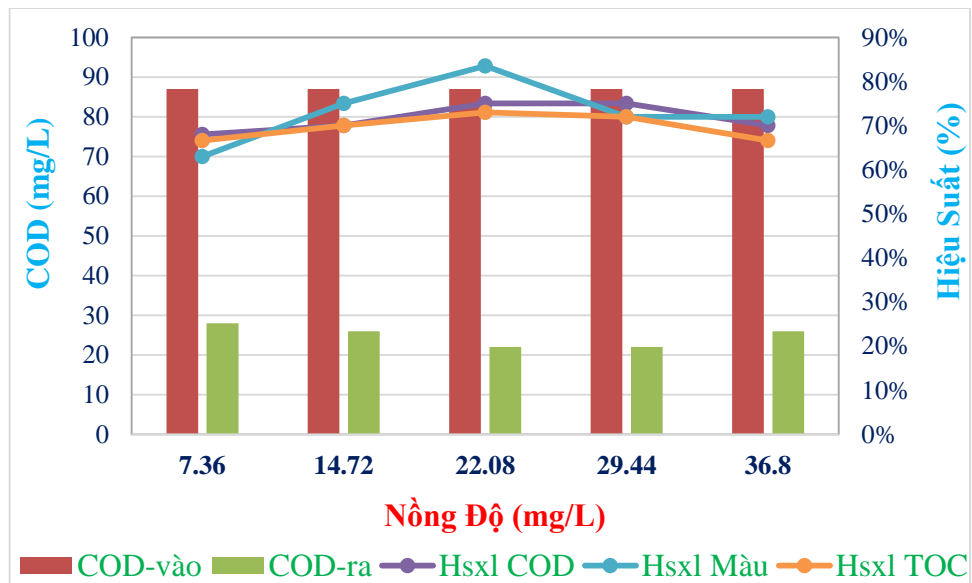
Tóm lại qua các kết quả đạt được trong các thí nghiệm trên cho ta nhận xét một cách tổng quan hơn về sự thay đổi các khoảng thời gian tiếp xúc khí khác nhau sẽ ảnh hưởng đến quá trình xử lý và hiệu quả xử lý khác nhau. Ví dụ như: với thời gian tiếp xúc khí là 20 phút hiệu quả xử lý TOC đạt giá trị cao nhất là 73%, COD đạt giá trị cao nhất với 75%. Với hiệu quả xử lý độ màu đạt cao nhất 80% thời gian 100 phút. Nhưng trong khoảng thời gian xử lý là 20 phút có hiệu quả đạt được là 78%. Do đó, ta thấy một sự chênh lệch tương đối nhỏ về hiệu quả xử lý đối với hai khoảng thời gian cách xa nhau là rất lớn. Vì vậy để chọn được thời gian tối ưu ngoài kết quả xử lý ra ta còn dựa vào tính kinh tế của nó như: thời gian càng dài thì tổn kém điện lớn, tổn hóa chất...

Do đó thời gian tối ưu nhất của quá trình xét thời gian tiếp xúc khí tối ưu là thời gian 20 phút và tiếp tục thực hiện thí nghiệm sau.

Thí nghiệm 3: Xác định nồng độ ozone tối ưu cấp vào quá trình.

Thí nghiệm này nhằm khảo sát sự ảnh hưởng của nồng độ ozone cung cấp vào trong quá trình thí nghiệm đến hiệu quả xử lý độ màu, COD và TOC...

Đồ thị dưới đây thể hiện hiệu quả xử lý của mô hình qua các thí nghiệm ta thấy rằng, khi thực hiện trong môi trường giá trị pH tối ưu là 8, thời gian sục khí tối ưu là 20 phút và với các nồng độ ozone cấp vào khác nhau thì cho ta hiệu quả xử lý màu, TOC và COD khác nhau, diễn hình như:



Hình 4.3 Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của nồng độ ozone đến hiệu quả xử lý màu, COD và TOC của quá trình O_3 .

- Đối với hiệu quả xử lý COD với các nồng độ ozone đầu vào khác nhau thì cho ta hiệu quả xử lý khác nhau ví dụ như: tại nồng độ ozone đầu vào là 7,36 mg/L thì hiệu quả xử lý đạt được là 68%, tương tự nồng độ ozone cấp vào là 14,72 mg/L hiệu quả xử lý đạt 70%, ta tiếp tục tăng nồng độ ozone đầu vào lần lượt là 22,08 mg/L và 29,44 mg/L thì hiệu quả xử lý tương đối khá cao đều đạt 75%, nhưng khi tăng nồng độ ozone cấp vào mô hình lên 36,8 mg/L thì hiệu quả xử lý COD có sự thay đổi và có xu hướng giảm xuống nhưng không đáng kể hiệu quả đạt được là 70%.

- Đối với hiệu quả xử lý màu với các nồng độ ozone cấp vào khác nhau thì hiệu quả xử lý của nó có sự rõ ràng hơn đối với hiệu quả xử lý COD ví dụ như: khi nồng độ ozone đầu vào là 7,36 mg/L thì hiệu quả xử lý đạt được là 63%, tương tự tại nồng độ ozone cấp vào mô hình là 14,72 mg/L thì hiệu quả đạt được là 75%, tiếp tục tăng thêm nồng độ ozone đầu vào lên 22,08 mg/L hiệu quả xử lý đạt được là 83,5% tương đối cao hơn hai nồng độ trước, nhưng khi tăng thêm nồng độ ozone đầu vào lên 29,44 mg/L thì kết quả thu được lại giảm hơn so với nồng độ trước kết quả đạt được là 72%, tiếp tục tăng thêm nồng độ ozone đầu vào lên 36,8 mg/L thì hiệu quả xử lý cũng chỉ đạt 72%.

- Hiệu quả xử lý TOC đạt cao nhất là 73% tại nồng độ ozone đầu vào là 22,08 mg/L, hiệu quả ở nồng độ này cao hơn các nồng độ còn lại như 7,36; 14,72; 29,44; 36,8 mg/L và hiệu quả xử lý đạt được lần lượt là 66,6%; 70%; 72%; 66,6%. (Xem ở bảng P.A-3, phụ lục A)

Do đó, từ những kết quả đạt được từ những thí nghiệm trên cho ta kết luận rằng: Khi tăng nồng độ khí ozone cung cấp vào quá trình thí nghiệm thì hiệu quả xử lý màu, COD và TOC cũng tăng theo đến một giới hạn thì hiệu quả xử lý là cao nhất điển hình như tại nồng độ ozone cấp vào mô hình là 22,08 mg/L cho hiệu quả xử lý đối với màu cao nhất là khoảng 83,5%, COD là khoảng 75%, TOC là 73% nhưng sau đó hiệu quả lại giảm xuống khi ta tăng thêm nồng độ ozone đầu vào. Điều đó chứng tỏ rằng nồng độ khí cấp vào tăng (tức là lưu lượng sục khí lớn) sẽ sinh ra nhiều bọt khí làm tăng tần suất va chạm và chúng kết hợp lại với nhau tạo thành một chùm bọt khí lớn làm giảm diện tích bề mặt tiếp xúc và khả năng khếch tán, dẫn đến giảm ozone hòa tan kết quả là giảm hiệu quả xử lý. Ngoài ra việc thay đổi nồng độ khí cấp vào làm tăng tốc độ xáo trộn, làm giảm thời gian tiếp xúc giữa pha khí và pha lỏng dẫn đến khả năng khếch tán của khí O_3 vào trong nước giảm. Đó cũng chính là những lý do tại sao ta chọn nồng độ O_3 cấp vào quá trình thí nghiệm là tối ưu. Vì vậy dựa vào những dẫn chứng và hiệu quả xử lý trên ta chọn nồng độ tối ưu của O_3 cấp vào là 22,08 mg/L.

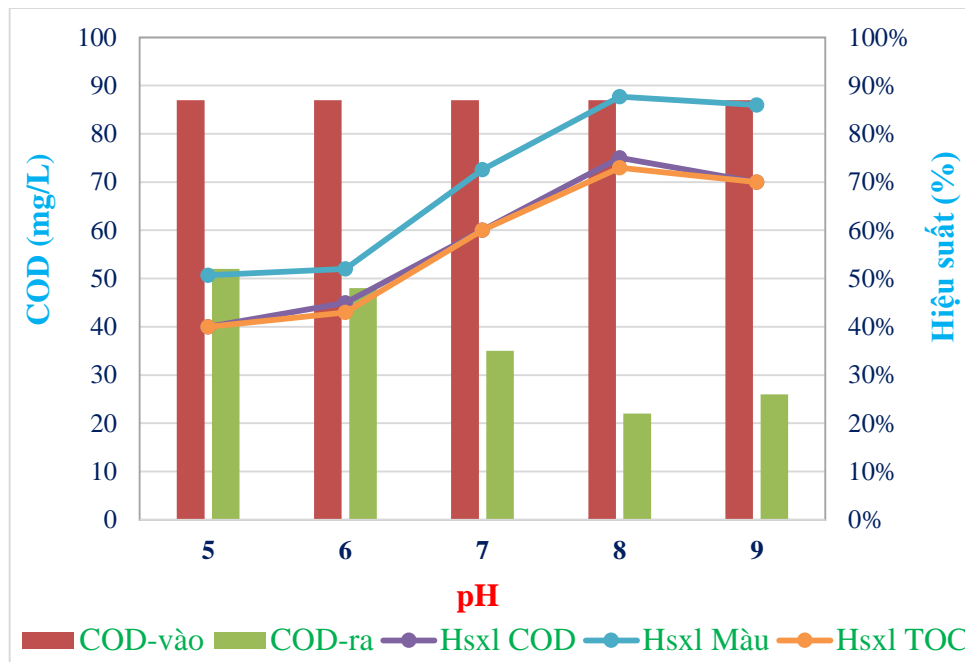
4.1.2 Xác định các thông số tối ưu của quá trình oxi hóa bậc cao hệ $H_2O_2 + O_3$

Nước thải đem thí nghiệm có nồng độ đầu vào là: TOC = 15 mg/L, COD = 87 mg/L, độ màu (độ hấp thu màu) 0,073 Abs, nồng độ Coliform 4.10^4 CFU/100ml.

Thí nghiệm 1: Xác định giá trị pH tối ưu của quá trình $H_2O_2 + O_3$

Thí nghiệm này nhằm khảo sát sự ảnh hưởng của pH đến hiệu quả xử lý độ màu, COD, TOC... của quá trình $H_2O_2 + O_3$

Kết quả xử lý độ màu, COD và TOC được thể hiện ở biểu đồ sau:



Hình 4.4 Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của pH đến hiệu quả xử lý độ màu, COD và TOC của hệ $H_2O_2 + O_3$

Dựa vào biểu đồ thể hiện hiệu quả xử lý màu, COD và TOC của hệ $H_2O_2 + O_3$ thì khả năng xử lý của nó ở các giá trị pH khác nhau từ 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 9,0 được thể hiện như sau:

- Đối với hiệu quả xử lý COD: tại giá trị pH = 5 hiệu quả xử lý đạt được là 40%, với pH = 6 hiệu quả xử lý có tăng nhưng không đáng kể và đạt được khoảng 45%, tiếp tục tăng giá trị pH lên pH = 7 thì hiệu quả xử lý cũng tăng theo và đạt 60%, tương tự tại giá trị pH = 8 thì hiệu quả xử lý vẫn tăng một cách đều đặn và kết quả đạt được là 75% nhưng khi đến pH = 9 thì hiệu quả xử lý lại không tăng nữa mà giảm bất ngờ chỉ còn 70% nhưng kết quả này vẫn còn cao hơn các khoảng pH = 5,0; 6,0 và 7,0.

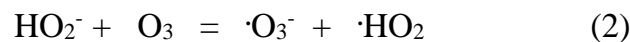
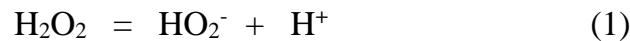
- Đối với hiệu quả xử lý màu của hệ so với hiệu quả xử lý COD thì hiệu quả của nó có rõ ràng hơn cụ thể như: tại giá trị pH = 5,0 hiệu quả xử lý màu đạt được là 50,7%, tương tự tăng giá trị pH lên pH = 6,0 hiệu quả xử lý có tăng nhưng không đáng kể chỉ đạt 52%, tiếp tục tăng giá trị pH lên pH = 7 thì hiệu quả xử lý màu cũng tăng theo kết quả đạt được là 72,6%, tương tự tại pH = 8 thì hiệu quả xử lý vẫn tiếp

tục tăng và kết quả đạt được là 87,7% nhưng khi tăng giá trị pH lên pH = 9 thì hiệu quả xử lý có sự giảm nhẹ hơn so với pH = 8 kết quả đạt được là 86%.

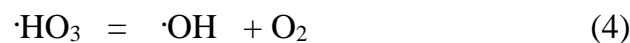
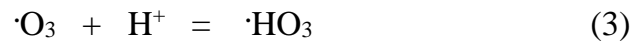
- Đối với hiệu quả xử lý TOC đạt hiệu quả xử lý cao nhất tại giá trị pH = 8 là 73% cao hơn các giá trị pH = 5; 6; 7; 9 hiệu quả xử lý lần lượt là 40%; 43%; 60%; 70%. (Xem ở bảng P.A-4, phụ lục A).

- Giá trị pH đầu ra ứng với giá trị đầu vào pH = 8 là pH = 7,4.

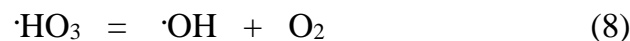
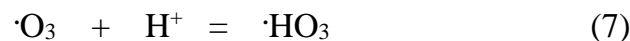
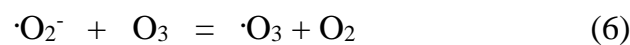
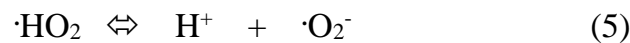
Với những kết quả đạt được từ các thí nghiệm ở các giá trị pH khác nhau thì so với hiệu quả xử lý của quá trình O₃ riêng biệt thì hiệu quả xử lý của quá trình H₂O₂ + O₃ cao hơn hẳn với lý do trong quá trình peroxone sự có mặt của H₂O₂ đã làm gia tăng đáng kể quá trình tiêu thụ và phân hủy ozone làm cho sự chuyển hóa ozone từ pha khí sang pha lỏng được tăng cường hơn đáng kể. Sự có mặt của H₂O₂ được xem như làm tác dụng khơi mào cho sự phân hủy ozone thông qua ion hydroxit HO₂⁻ theo phương trình dưới đây:



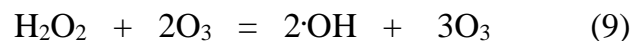
Tạo $\cdot\text{OH}$ từ $\cdot\text{O}_3$



Tạo gốc $\cdot\text{OH}$ từ $\cdot\text{HO}_2$



Tổng hợp các phương trình ta có:



Ngoài ra khi thực hiện thí nghiệm thì trong môi trường acid như pH = 5,0; 6,0 trong điều kiện này con đường oxi hóa trực tiếp bằng phân tử ozone là chủ yếu nhưng con đường này xảy ra tương đối chậm và hiệu quả không cao lắm cho nên không là tối ưu được. Còn đối với trong môi trường pH cao thì thuận lợi cho việc

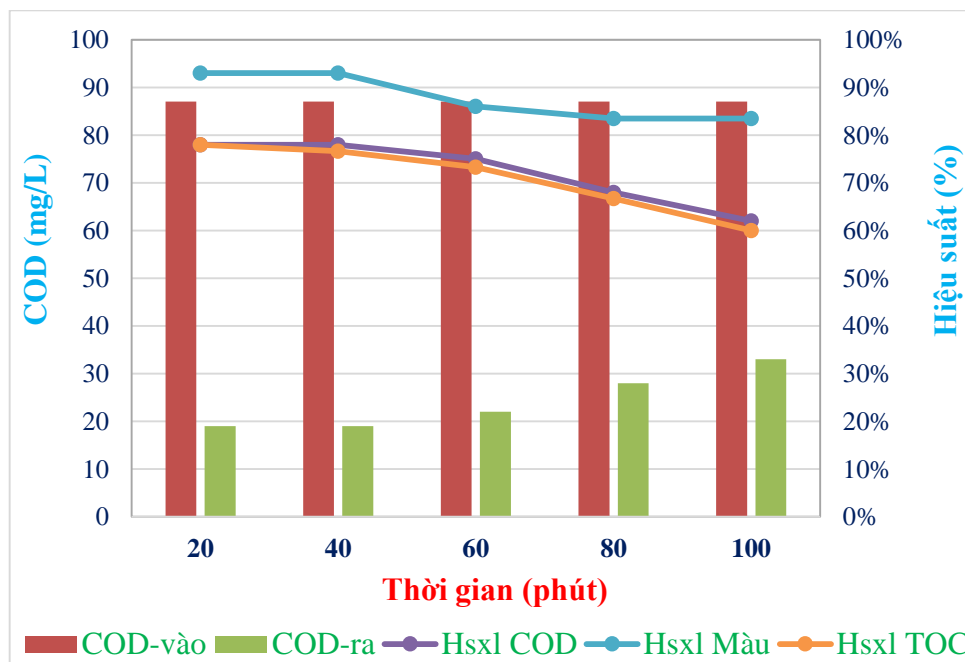
hình thành gốc $\cdot\text{OH}$ và hiệu quả xử lý được nâng cao hơn. Nhưng khi tăng pH cao quá sẽ dẫn đến cân bằng của bicacbonat - cacbonat sẽ chuyển dịch theo hướng tạo thành cacbonnat là những chất khử các gốc $\cdot\text{OH}$ gây bất lợi cho phản ứng oxi hóa bậc cao hiệu quả xử lý không tăng nữa đôi khi đi theo chiều hướng giảm. Ví dụ như ở pH = 8 thì hiệu quả xử lý màu, TOC và COD cao hơn so với các giá trị pH còn lại mặc dù điều kiện thí nghiệm như nhau nhưng khác giá trị pH.

Do đó căn cứ vào các điều kiện trên thì giá trị pH = 8 là pH tối ưu nhất, đạt hiệu quả xử lý cao nhất trong tất cả các giá trị pH đem làm thí nghiệm và tiến hành làm thí nghiệm tiếp theo.

Thí nghiệm 2: Xác định thời gian tiếp xúc khí tối ưu của hệ $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3$.

Thí nghiệm xác định thời gian tiếp xúc khí tối ưu này nhằm khảo sát sự ảnh hưởng của thời gian sục khí đến hiệu quả xử lý độ màu, COD, TOC...

Kết quả xử lý độ màu, COD và TOC tại các thời gian tiếp xúc khí khác nhau được thể hiện ở biểu đồ sau:



Hình 4.5 Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của thời gian sục khí đến hiệu quả xử lý màu, COD và TOC của hệ $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3$.

Dựa vào biểu đồ thể hiện hiệu quả xử lý độ màu, COD và TOC trong các khoảng thời gian khác nhau từ 20; 40; 60; 80; 100 phút thì hiệu quả xử lý được thể hiện như sau:

- Đối với hiệu quả xử lý COD trong hệ $H_2O_2 + O_3$ thì tại thời gian sục khí là 20 phút hiệu quả xử lý đạt được tương đối cao khoảng 78%, tương tự ta tăng thời gian sục khí lên 40 phút thì hiệu quả xử lý cũng là 78% so với khoảng 20 phút đầu, nhưng khi tăng thời gian sục lên 60 phút thì hiệu quả xử lý của nó có chút giảm nhưng không đáng kể và đạt được là 75%, tiếp tục với thời gian sục khí là 80 phút thì hiệu quả xử lý lại giảm hơn nhiều so với các khoảng thời gian trước chỉ còn 68%, không ngừng ở đó ta tiếp tục tăng thời gian sục lên 100 phút hiệu quả xử lý giảm một cách đáng kể chỉ còn 62%.

- Đối với hiệu quả xử lý màu của quá trình này được thể hiện như sau: với thời gian sục khí là 20 phút hiệu quả xử lý màu khá cao đạt 93%, tương tự thời gian sục khí 40 phút hiệu quả xử lý cũng là 93%, nhưng khi tăng thời gian sục khí lên 60 phút thì hiệu quả lại giảm còn 86%, tiếp tục thời gian sục khí được tăng lên 80 phút thì hiệu quả xử lý màu tiếp tục giảm nhưng không đáng kể lắm còn 83,5% và thời gian sục khí là 100 phút hiệu quả xử lý cũng là 83,5%.

- Đối với hiệu quả xử lý TOC đạt giá trị cao nhất là 78% ở thời gian sục khí là 20 phút cao hơn hiệu quả xử lý của các khoảng thời gian khác như: 40; 60; 80; 100 phút và hiệu quả xử lý lần lượt là 76,6%; 73,3%; 66,7%; 60%. (Xem ở bảng P.A-5, phụ lục A)

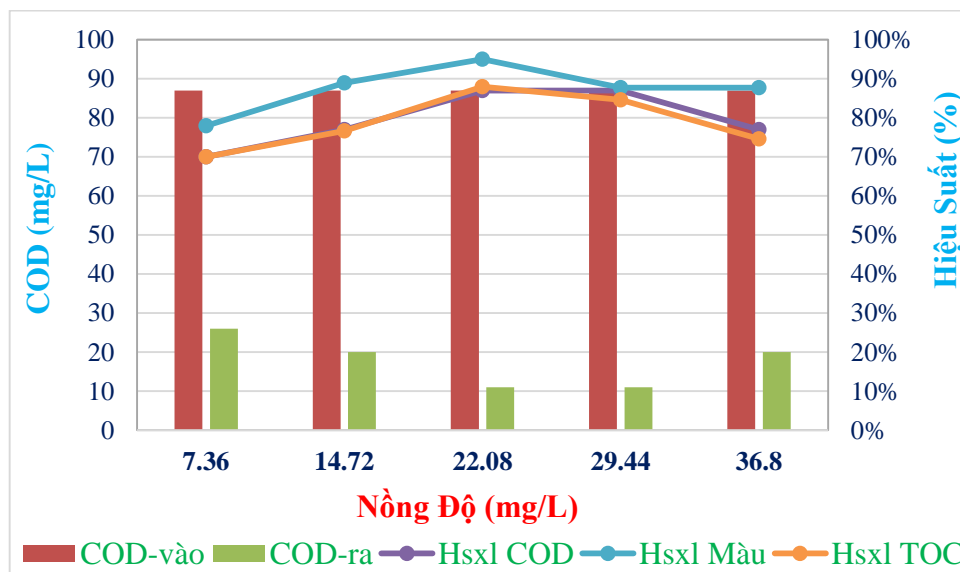
Vì vậy thông qua các kết quả trên với $pH = 8$ là tối ưu và các khoảng thời gian tiếp xúc khí khác nhau thì cho ta biết thời gian sục khí càng cao thì hiệu quả xử lý màu, COD và TOC của hệ có xu hướng giảm nếu tăng thì không đáng kể. Với kết quả đạt được từ các thí nghiệm trên thì hiệu quả xử lý TOC trong 20 phút đầu là cao nhất với 78%, hiệu quả xử lý màu cao nhất ở thời gian 20 và 40 phút là 93%, hiệu quả xử lý COD đạt cao nhất là 78% tại thời gian 20 và 40 phút cao hơn hẳn so với các thời gian còn lại. Nhưng khi chọn thời gian tối ưu của quá trình không chỉ xét về hiệu quả xử lý của hệ mà ngoài ra còn xét về nhiều khía cạnh khác như thời gian

sục khí dài thì hóa chất sử dụng nhiều, năng lượng tiêu thụ lớn... Cho nên thời gian tối ưu nhất được chọn mang lại hiệu quả nhất, tối ưu nhất là khoảng thời gian 20 phút và tiến hành làm thí nghiệm tiếp theo.

Thí nghiệm 3: Xác định nồng độ ozone tối ưu cấp vào hệ $H_2O_2 + O_3$

Thí nghiệm này được thực hiện nhằm khảo sát sự ảnh hưởng của nồng độ O_3 cấp vào hệ $H_2O_2 + O_3$ đến hiệu quả xử lý màu, COD, TOC và coliform.

Hiệu quả xử lý độ màu, COD và TOC của hệ tại các nồng độ khác nhau được thể hiện trên biểu đồ sau:



Hình 4.6 Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của nồng độ O_3 đến hiệu quả xử lý màu, COD và TOC của quá trình $H_2O_2 + O_3$.

Dựa vào biểu đồ thể hiện hiệu quả xử lý màu, COD và TOC của hệ qua các thí nghiệm với nồng độ Ozone đầu vào khác nhau thì hiệu quả xử lý thể hiện như sau:

- Đối với hiệu quả xử lý COD ở nồng độ đầu vào khác nhau thì: tại nồng độ thứ nhất tỷ lệ $H_2O_2/O_3 = 3,68/7,36$ cho vào thì hiệu quả xử lý là 70%, tương tự ta tăng nồng độ ozone lên thì tỷ lệ $H_2O_2/O_3 = 7,36/14,72$ hiệu quả xử lý COD tăng lên 77%, tiếp tục tăng nồng độ ozone đầu vào lên lần lượt theo các tỷ lệ H_2O_2/O_3 là 11,04/22,08 và 14,72/29,44 thì hiệu quả xử lý đạt được là tương đối cao với 87% hiệu quả, tuy nhiên tiếp tục tăng nồng độ đầu vào của ozone lên nữa và tỷ lệ

$H_2O_2/O_3 = 18,4/36,8$ thì hiệu quả xử lý giảm hơn so với các nồng độ trước kết quả đạt được là 77%.

- Đối với hiệu quả xử lý màu ở các nồng độ ozone đầu vào khác nhau thì được thể hiện như sau: với nồng độ ozone đầu vào ứng với tỷ lệ nồng độ $H_2O_2/O_3 = 3,68/7,36$ thì hiệu quả xử lý đạt được là khá cao với 78%, tương tự khi tăng thêm nồng độ O_3 ứng với tỷ lệ nồng độ $H_2O_2/O_3 = 7,36/14,72$ thì hiệu quả xử lý tiếp tục tăng lên và đạt 89%, tiếp tục tăng nồng độ ozone đầu vào ứng với tỷ lệ nồng độ $H_2O_2/O_3 = 11,04/22,08$ thì kết quả đạt được là rất cao 95%, tuy nhiên vẫn tiếp tục tăng nồng độ ozone đầu vào ứng với tỷ lệ $H_2O_2/O_3 = 14,72/29,44$ và $H_2O_2/O_3 = 18,4/36,8$ thì hiệu quả xử lý màu lại không tăng nữa mà theo hướng ngược lại kết quả đạt được giống nhau đều là 87,7%.

- Đối với hiệu quả xử lý TOC tại tỷ lệ nồng độ $H_2O_2/O_3 = 11,04/22,08$ đạt hiệu quả là 88% cao hơn tất cả các nồng độ còn lại như: $H_2O_2/O_3 = 3,68/7,36$; $H_2O_2/O_3 = 7,36/14,72$; $H_2O_2/O_3 = 14,72/29,44$; $H_2O_2/O_3 = 18,4/36,8$ và hiệu quả xử lý đạt được lần lượt là: 70%; 76,7%; 84,6%; 74,6%. (Xem ở bảng P.A-6, phụ lục A)

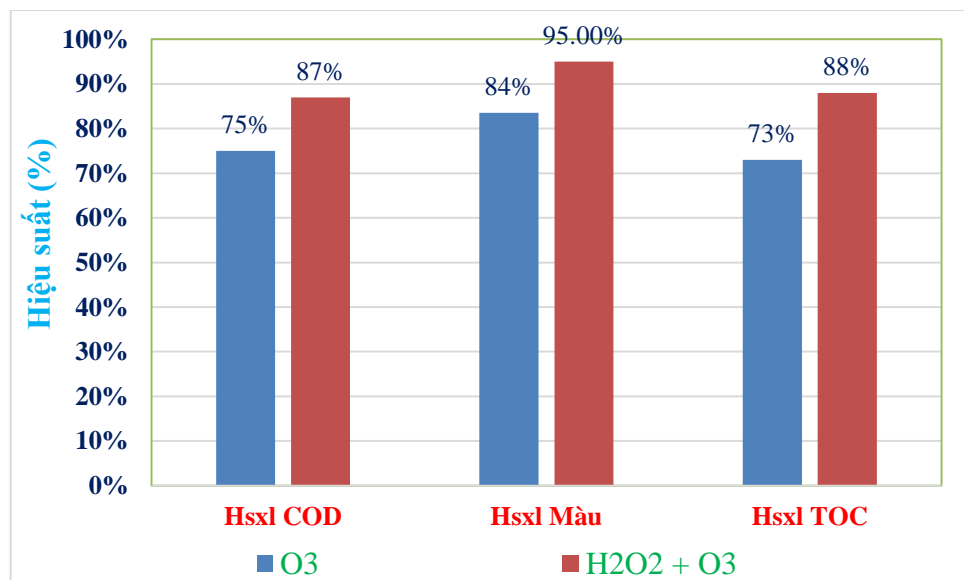
- Đối với hiệu quả xử lý coliform tại pH = 8, thời gian sục khí tối ưu 20 phút và nồng độ ozone đầu vào theo tỷ lệ $H_2O_2/O_3 = 11,04/22,08$ thì nồng độ coliform còn lại là $1,3.10^3$ CFU/100ml và hiệu quả xử lý đạt khoảng 96,7%.

Vì vậy để chọn được nồng độ ozone tối ưu thì ta phải dựa vào hiệu quả xử lý của nó. Nghĩa là tại nồng độ O_3 đầu vào ứng với tỷ lệ $H_2O_2/O_3 = 11,04/22,08$ hiệu quả xử lý cao nhất của độ màu là 95%, COD là 87%, TOC là 88%, coliform là 96,7% so với các nồng độ còn lại. Nói cách khác là khi ta tăng nồng độ lên một mức nào đó thì đạt hiệu quả xử lý là cao nhất nhưng khi muốn tăng thêm nồng độ của nó lên nữa thì hiệu quả xử lý không chênh lệch nhau nhiều có khi tăng theo hướng ngược lại lúc đó chỉ có H_2O_2 và O_3 cung cấp nhiều mà thôi. Ngoài ra nếu như ta cung cấp không đủ nồng độ xử lý thì hiệu quả không cao là hiển nhiên nhưng khi cung cấp nồng độ quá nhiều tới mức dư thì cũng giống như O_3 khi lượng khí cung cấp vào cao thì làm tăng tốc độ xáo trộn, làm giảm thời gian tiếp xúc giữa pha khí và pha lỏng dẫn đến khả năng khếch tán khí O_3 vào trong nước giảm. Tương tự nếu

tăng hàm lượng khí cung cấp thì lưu lượng sục khí lớn sẽ sinh ra nhiều bọt khí lớn làm tăng tần suất va chạm và chúng kết hợp lại với nhau tạo thành một chùm bọt khí lớn làm giảm bề mặt tiếp xúc và khả năng khếch tán dẫn đến giảm nồng độ O_3 hòa tan. Tương tự nếu nồng độ O_3 cao cũng đồng nghĩa nồng độ H_2O_2 tăng dễ chuyển cân bằng bicacbonat – cacbonat sang cacbonat làm giảm hiệu quả xử lý. Cho nên căn cứ vào kết quả đạt được và những dẫn chứng trên thì nồng độ tối ưu phù hợp với điều kiện H_2O_2/O_3 mang lại hiệu quả cao nhất là 11,04/22,08.

4.1.3 So sánh hiệu quả xử lý của 2 mô hình 2 hệ O_3 và $H_2O_2 + O_3$

- Thí nghiệm tổng quát của hệ $H_2O_2 + O_3$ sau khi tìm ra các thông số tối ưu: pH = 8; thời gian tiếp xúc khí là 20 phút; nồng độ ozone cấp vào quá trình ứng với điều kiện $H_2O_2/O_3 = 11,04/22,08$.
- Thí nghiệm tổng quát của hệ O_3 khi biết được các thông số tối ưu: pH = 8; thời gian tiếp xúc khí là 20 phút; nồng độ ozone cấp vào quá trình là 22,08 mg/L.
- Hiệu quả xử lý màu, COD và TOC đạt được từ 2 thí nghiệm tổng quát với những thông số tối ưu được thể hiện trên biểu đồ sau:



Hình 4.7 Biểu đồ so sánh hiệu quả xử lý nước thải của hai mô hình hệ O_3 và hệ $H_2O_2 + O_3$.

Từ những thông số thể hiện rõ ràng hiệu quả xử lý độ màu, COD và TOC của 2 quá trình ở biểu đồ trên thì ta thấy rằng quá trình $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3$ cho ta hiệu quả xử lý cao hơn quá trình O_3 riêng biệt. Ví dụ như: tại quá trình O_3 thì hiệu quả xử lý màu là 83,5%, COD là 75%, TOC là 73% còn đối với quá trình $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3$ hiệu quả xử lý độ màu là 95%, COD là 87%, TOC là 88%. Ngoài ra, hiệu quả xử lý Coliform còn lại sau quá trình $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3$ là $1,3.10^3$ CFU/100ml đạt 96,7%. Vì vậy dựa vào các kết quả tìm được từ các thí nghiệm thì quá trình hệ $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3$ có hiệu quả xử lý trội hơn quá trình O_3 riêng biệt cho nên được chọn để kết hợp với mô hình BAC và tiến hành thực hiện nội dung tiếp theo.

Bảng 4.1 Nồng độ ozone sử dụng của 2 quá trình O_3 và $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3$

Hệ	O_3 ban đầu (mg/L)	O_3 phản ứng (mg/L)	O_3 dư trong bình hấp thụ (mg/L)	Hiệu suất sử dụng O_3 (%)
O_3	7,36	6,59	0,77	89,6
	1,72	12,5	2,22	85
	22,08	19,6	2,48	89
	29,4	26,4	3,04	89,8
	36,8	27,97	8,83	76
$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3$	7,36	6,56	0,8	89
	14,72	13	1,72	88
	22,08	19,76	2,32	89,5
	29,44	25,9	3,54	88
	36,8	27,8	9	75,6

4.1.4 Đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình công nghệ AOPs

Đặt:

- Z_1 là giá trị pH tối ưu.
- Z_2 là thời gian tiếp xúc khí tối ưu.
- Z_3 là nồng độ ozone cấp vào tối ưu.

- \hat{y}_1 là hiệu suất xử lý COD (y_{COD}).
- \hat{y}_2 là hiệu suất xử lý màu ($y_{\text{màu}}$).

➤ **Quá trình oxi hóa bậc cao hệ O_3 :**

Phương trình hồi quy theo hiệu suất xử lý COD (xem ở phụ lục D).

$$y_1 = -225,92 + 45,85Z_1 - 2,405Z_2 + 12,98Z_3 - 1,4Z_1Z_3 + 0,074Z_2Z_3 - 0,24Z_3^2$$

Phương trình hồi quy theo hiệu suất xử lý màu (xem ở phụ lục D).

$$y_2 = -230,635 + 47,68Z_1 - 2,595Z_2 + 13,595Z_3 - 1,48Z_1Z_3 + 0,078Z_2Z_3 - 0,25Z_3^2$$

Kết luận:

Tại các giá trị pH, thời gian tiếp xúc khí và nồng độ ozone cấp vào tối ưu cho ta kết quả sau:

- Hiệu quả xử lý COD và độ màu trong nước thải công nghiệp: pH= 8, thời gian tiếp xúc khí là 20 phút, nồng độ ozone cấp vào quá trình là 22,08 mg/L: $y_{\text{COD}} = 75\%$, $y_{\text{màu}} = 83,5\%$.
- Ngoài ra xử lý COD và độ màu trong nước thải công nghiệp bằng phương pháp oxy hóa bậc cao có hiệu quả cao được đặc trưng bởi 2 phương trình y_{COD} và $y_{\text{màu}}$.
- Hai phương trình này thể hiện sự ảnh hưởng của các yếu tố pH, thời gian và nồng độ O_3 đến hiệu quả xử lý COD, hiệu quả xử lý độ màu.
- Dựa vào các hệ số mà ta thấy rằng yếu tố làm tăng hiệu quả xử lý đó là pH và nồng độ ozone. Còn yếu tố kiềm hãm quá trình xử lý đó là yếu tố thời gian.
- Ngoài ra, sự có mặt của hệ số b_{13} đó là sự kết hợp pH và nồng độ ozone cấp vào sẽ làm giảm hiệu quả xử lý màu và COD.
- Bên cạnh đó sự có mặt của hệ số b_{23} chứng tỏ có sự qua lại kết hợp lẫn nhau của 2 yếu tố thời gian và nồng độ ozone làm tăng lên hiệu quả xử lý của hệ.

Tuy nhiên trên thực tế không có một nghiệm chung nào cho cả hai phương trình để đạt được $y_{\text{COD}} \text{ max}$, $y_{\text{màu}} \text{ max}$ mà chỉ tìm nghiệm thỏa hiệp (Z_1, Z_2, Z_3) để các giá trị y_1, y_2 gần $y_{\text{COD}} \text{ max}$ và $y_{\text{màu}} \text{ max}$

➤ **Quá trình oxi hóa bậc cao hệ $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3$**

Phương trình hồi quy theo hiệu suất xử lý COD (xem ở phụ lục D).

$$\hat{y}_1 = -247,05 + 49,47Z_1 - 2,58Z_2 + 14,07Z_3 - 1,5Z_1Z_3 + 0,078Z_2Z_3 - 0,26Z_3^2$$

Phương trình hồi quy theo hiệu suất xử lý màu (xem ở phụ lục D).

$$\hat{y}_2 = -273,36 + 57,83Z_1 - 3,15Z_2 + 15,62Z_3 - 1,76Z_1Z_3 + 0,095Z_2Z_3 - 0,29Z_3^2$$

Kết luận:

Tại các khoảng giá trị pH, thời gian tiếp xúc khí, nồng độ ozone cấp vào quá trình tối ưu kết quả thu được là:

- Hiệu quả xử lý COD và màu trong nước thải với pH = 8, thời gian tiếp xúc khí là 20 phút, tỷ lệ nồng độ của hệ $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3 = 11,04/22,08$ là tối ưu thì hiệu quả xử lý đạt được là: $y_{\text{COD}} = 87\%$, $y_{\text{màu}} = 95\%$.

- Quá trình xử lý COD và độ màu trong nước thải bằng phương pháp oxy hóa bậc cao có hiệu quả khá cao được đặc trưng bởi 2 phương trình y_{COD} và $y_{\text{màu}}$.

- Hai phương trình này thể hiện sự ảnh hưởng của các yếu tố giá trị pH, thời gian tiếp xúc khí và nồng độ O_3 cấp vào đến hiệu quả xử lý COD và độ màu. Trong đó yếu tố thời gian là kiềm hãm quá trình xử lý do mang hệ số âm. Còn 2 yếu tố giá trị pH và nồng độ ozone cấp vào quá trình thì tăng hiệu quả xử lý màu và COD.

- Ngoài ra, sự có mặt của hệ số b_{13} đó là sự kết hợp giữa pH và nồng độ sẽ làm giảm hiệu quả xử lý màu và COD.

- Bên cạnh đó sự có mặt của b_{23} chứng tỏ có sự qua lại kết hợp lẫn nhau của 2 yếu tố thời gian và nồng độ làm tăng lên hiệu quả xử lý của hệ.

Tuy nhiên trên thực tế không có một nghiệm chung cho cả hai phương trình để đạt được $y_{\text{COD max}}$, $y_{\text{màu max}}$ mà chỉ tìm nghiệm thỏa hiệp (Z_1, Z_2, Z_3) để các giá trị y_1, y_2 gần $y_{\text{COD max}}$ và $y_{\text{màu max}}$.

4.2 Nội dung 2: Nghiên cứu quá trình xử lý nước thải sau quá trình xử lý bậc cao bằng công nghệ AOPs ($\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3$) kết hợp với mô hình BAC

Nghiên cứu này nhằm khảo sát hiệu quả xử lý nước thải của mô hình BAC với nguồn nước thải đầu vào là sau quá trình xử lý bậc cao của hệ ($\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3$) để đánh giá hiệu quả xử lý của mô hình BAC với các chỉ tiêu: độ màu, COD, TOC, colifom.

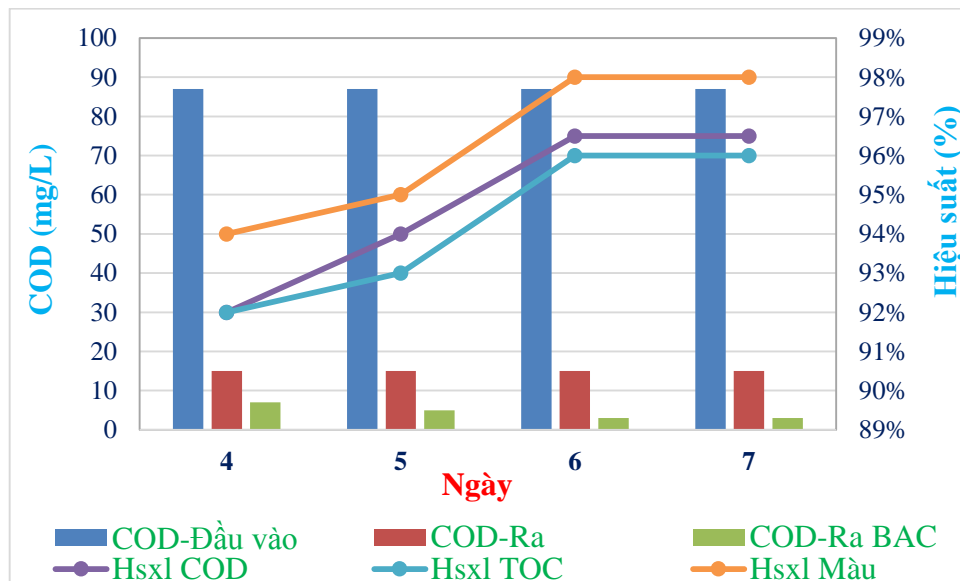
Thí nghiệm được thực hiện với 3 tải trọng là: 2; 3; 5 m/h để tìm ra tải trọng tối ưu nhất.

Các thông số chỉ tiêu nước thải đầu vào của mô hình BAC:

- Nước thải được lấy sau quá trình xử lý bậc cao của hệ $H_2O_2 + O_3$.
- pH = 8.
- COD đầu vào 15- 20 mg/L.
- TOC đầu vào là 2 – 2,5 mg/L.
- Độ màu 0,005 – 0,008 Abs.
- Coliform đầu vào là $1,3.10^3$ CFU/100ml.

Thí nghiệm 1: Thí nghiệm được thực hiện với mô hình tải trọng là 2 m/h.

Thí nghiệm này được thực hiện với tải trọng 2 m/h trong vòng 7 ngày liên tiếp và kết quả thu được qua các ngày 4; 5; 6; 7 được thể hiện ở biểu đồ sau:



Hình 4.8 Biểu đồ thể hiện hiệu quả xử lý màu, COD và TOC với tải trọng 2 m/h mô hình BAC.

Dựa vào kết quả thể hiện trên biểu đồ cho ta thấy rằng hiệu quả xử lý màu, COD và TOC của mô hình BAC với tải trọng 2 m/h thì kết quả đạt được:

- Đối với quá trình xử lý COD thì hiệu quả xử lý của mô hình kết hợp là khá cao và đạt hiệu quả cao nhất khoảng 96,5% thu ở ngày thứ 6 và 7 và hiệu quả thấp nhất là 92% thu ở ngày 4, còn ngày thứ 5 hiệu quả của nó đạt 94%.

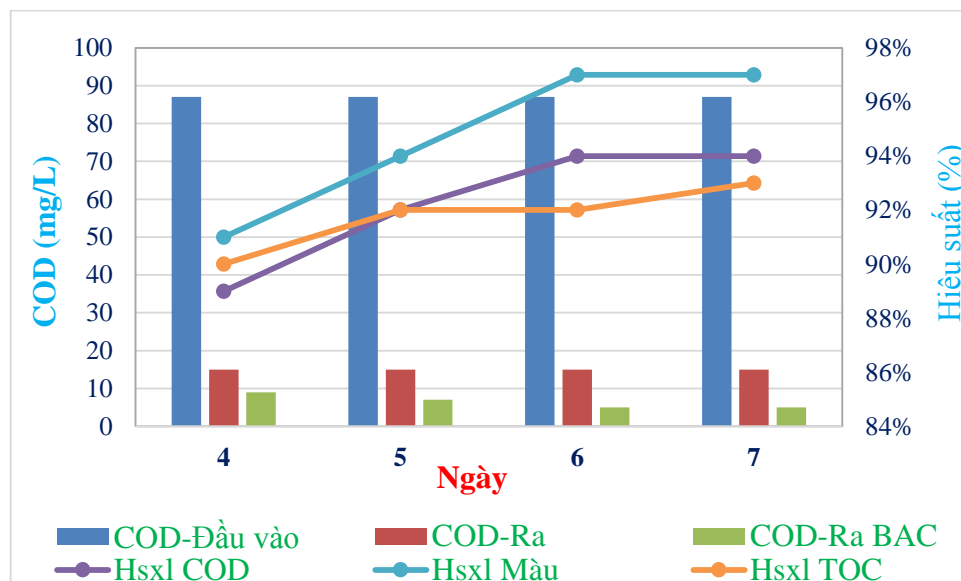
- Đối với hiệu quả xử lý độ màu thì hiệu quả xử lý của nó tương đối nhau không có sự chênh lệch nhiều về hiệu quả xử lý và đạt hiệu quả cao nhất là 98% tại các ngày 6 và 7, hiệu quả xử lý màu thấp nhất ở các ngày thứ 4 với 94%, còn ngày thứ 5 là 95%.

- Đối với TOC hiệu quả xử lý đạt được là 96% ở ngày thứ 6 và 7, hiệu quả này cao hơn hẳn so với các ngày 4; 5 với hiệu quả xử lý lần lượt là: 92%; 93%. (Xem ở bảng (Xem ở bảng P.A-8, phụ lục A).

- Coliform sau khi xử lý cũng giảm đáng kể xuống còn $9,6.10^1$ CFU/100ml hiệu quả xử lý đạt là 99,7%

Thí nghiệm 2: Thí nghiệm được thực hiện với mô hình tải trọng 3 m/h.

Thí nghiệm này được thực hiện với mô hình tải trọng 3 m/h trong vòng 7 ngày liên tiếp và kết quả thu được qua các ngày 4; 5; 6; 7 được thể hiện rõ ràng ở biểu đồ sau:



Hình 4.9 Biểu đồ thể hiện hiệu quả xử lý màu, COD và TOC với tải trọng 3 m/h của mô hình BAC.

Dựa vào kết quả thể hiện trên biểu đồ cho ta thấy rằng hiệu quả xử lý màu, COD và TOC của mô hình với tải trọng 3 m/h thì kết quả đạt được là:

- Đối với quá trình xử lý COD thì hiệu quả xử lý của mô hình khá cao và đạt hiệu quả cao nhất khoảng 94% ở các ngày 6 và 7 còn hiệu quả xử lý thấp nhất là

89% ở ngày thứ 4. Tương tự thì hiệu quả xử lý ngày thứ 5 cũng tương đối cao khoảng 92%.

- Đối với hiệu quả xử lý độ màu thì hiệu quả xử lý của nó khá cao và sự chênh lệch giữa các hiệu quả xử lý cũng không lớn lắm. Hiệu quả xử lý cao nhất là 97% tại các ngày 6, 7. Hiệu quả xử lý thấp nhất ở ngày thứ 4 là 91%, còn ngày thứ 5 hiệu quả xử lý màu cũng tương đối cao là 94%.

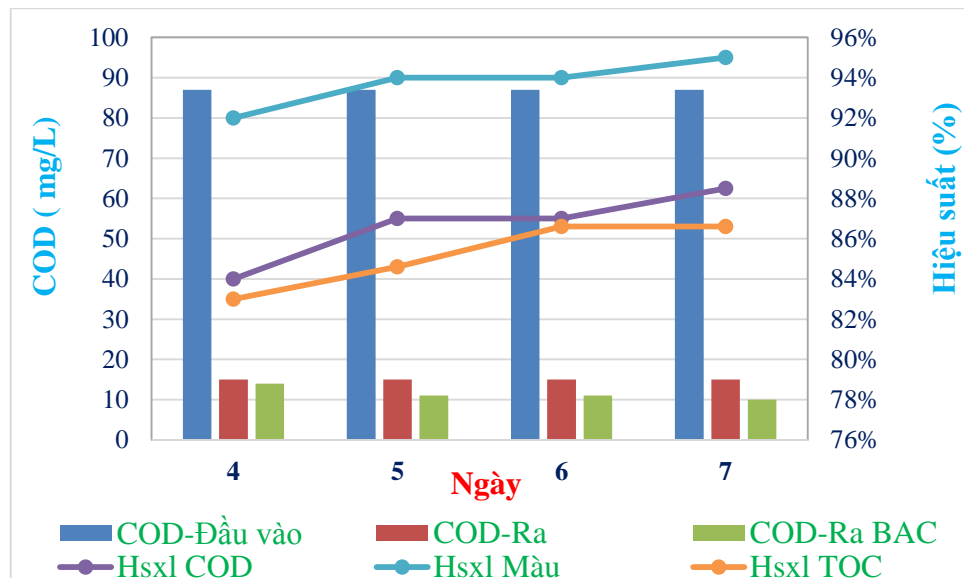
- Coliform sau khi xử lý cũng giảm đáng kể xuống còn 140 CFU/100ml hiệu quả xử lý đạt 99,6%.

- Hiệu quả xử lý TOC đạt 93% vào ngày thứ 7 cao hơn so với các ngày 4; 5; 6 hiệu quả xử lý lần lượt là 90%; 92%; 92%.

Thí nghiệm 3: Thí nghiệm được thực hiện với mô hình tải trọng là 5 m/h.

Thí nghiệm này được thực hiện với mô hình tải trọng 5 m/h trong vòng 7 ngày liên tiếp và kết quả thu được qua các ngày 4; 5; 6; 7.

Kết quả xử lý độ màu, COD và TOC của mô hình AOPs ($H_2O_2 + O_3$) kết hợp với mô hình BAC được thể hiện ở biểu đồ sau:



Hình 4.10 Biểu đồ thể hiện hiệu quả xử lý màu, COD và TOC với tải trọng 5 m/h mô hình BAC.

Dựa vào kết quả thể hiện trên biểu đồ cho ta thấy rằng hiệu quả xử lý màu, COD và TOC của mô hình với tải trọng 5 m/h thì kết quả đạt được là:

- Đối với quá trình xử lý COD của mô hình thì hiệu quả xử lý của mô hình tương đối cao và đạt hiệu quả cao nhất khoảng 88,5% thu ở ngày thứ 7 vận hành mô hình. Hiệu quả xử lý COD thấp nhất của mô hình là 84% thu vào ngày thứ 4. Còn các ngày thứ 5 và 6 hiệu quả xử lý COD đạt 87%.
- Đối với hiệu quả xử lý độ màu của mô hình thì hiệu quả xử lý của nó tương đối cao và đạt hiệu quả cao nhất là 95% tại ngày thứ 7. Hiệu quả xử lý màu thấp nhất ở ngày lấy kết quả thứ 4 là 92% hiệu quả. Còn hiệu quả xử lý màu của các ngày 5, 6 thì như nhau khoảng 94% hiệu quả.
- Hiệu quả xử lý TOC của mô hình đạt 86,6% ở ngày thứ 6 và 7, hiệu quả này cao hơn so với các ngày còn lại là ngày 4 và 5 hiệu quả xử lý lần lượt là 83%; 84,6% (Xem ở bảng P.A-10, phụ lục A)
- Coliform sau khi xử lý cũng giảm đáng kể xuống còn $8,0 \cdot 10^2$ CFU/100ml hiệu quả xử lý đạt được là 98%.

Kết luận:

Dựa vào các kết quả thu được ở các thí nghiệm với các tải trọng khác nhau để chọn ra 1 tải trọng tối ưu nhất trong việc tái sinh nước thải công nghiệp tại khu công nghiệp Sóng Thần 1 khi qua mô hình BAC kết hợp với mô hình công nghệ AOPs ($H_2O_2 + O_3$) chúng ta cần phải xét:

- Hiệu quả xử lý của chúng qua các kết quả thu được từ các thí nghiệm với các tải trọng khác nhau. Trong 3 tải trọng 2; 3; 5 m/h thì hiệu quả xử lý của tải trọng 2 m/h có tính trội hơn tải trọng 3 và 5 m/h về kết quả xử lý coliform, COD, TOC và độ màu. Ví dụ như: hiệu quả xử lý COD thì hiệu quả xử lý lần lượt của các tải trọng 2; 3; 5 m/h là 96%; 94%; 88,5%, hiệu quả xử lý độ màu lần lượt là 98%; 97%; 94%, hiệu quả xử lý TOC lần lượt là 96%; 93%; 86,6% hay hiệu quả xử lý coliform lần lượt là 99,7%; 99,6%; 98%.
- Tính phù hợp với tiêu chuẩn tái sinh tái sử dụng nước thải do PGS.TS Nguyễn Phước Dân và cộng sự đưa ra.

Vì vậy để chọn ra 1 tải trọng tối ưu nhất trong 3 tải trọng tiến hành thí nghiệm thì căn cứ vào các dẫn chứng vừa nêu lên như: tính hiệu quả xử lý, tính phù hợp tiêu

chuẩn nước tái sinh...thì ta nên chọn tải trọng 2 m/h là tải trọng tối ưu nhất trong 3 tải trọng đem làm thí nghiệm.

4.3 Đề xuất quy trình xử lý cho mục đích tái sinh

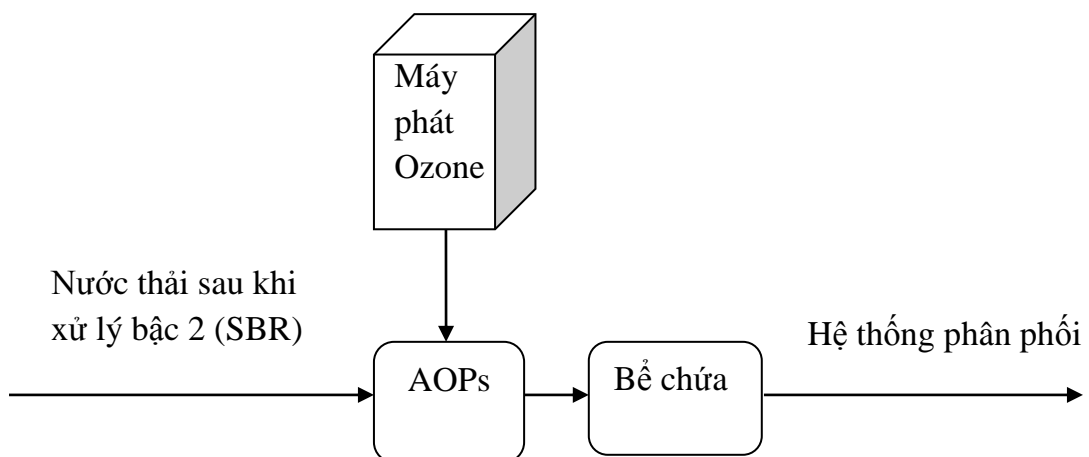
Theo nghiên cứu tái sinh tái sử dụng nước thải đô thị ở thành phố Hồ Chí Minh của PGS.TS Nguyễn Phước Dân và cộng sự đã đưa ra bảng tiêu chuẩn nước tái sinh sau xử lý (xem ở phụ lục C)

❖ Đối với quá trình oxi hóa bậc cao AOPs (O_3 , $H_2O_2 + O_3$)

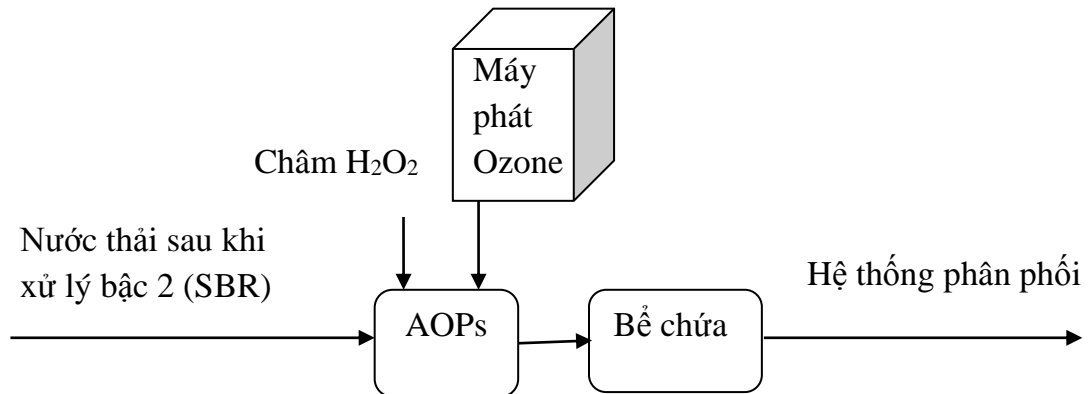
Dựa vào các tiêu chuẩn tái sinh tái sử dụng nước thải đô thị ở TP. Hồ Chí Minh của PGS.TS Nguyễn Phước Dân và cộng sự thì nước sau khi xử lý được áp dụng cho:

- Tái sử dụng ở đô thị: tưới cây/công viên - vùng hạn chế tiếp xúc của cộng đồng, dội rửa toilet, chữa cháy, điều hòa không khí, tưới đường...
- Phục vụ xây dựng: đầm nén nền móng, kiểm soát ô nhiễm bụi, phun nước rửa, đầm nén đất...
- Tái tạo cảnh quan: các hồ, các đài phun nước – vùng không hạn chế tiếp xúc cộng đồng...
- Có thể dùng lại cho công nghiệp như: rửa thiết bị, cung cấp cho nồi hơi, làm mát thiết bị máy móc...

Quy trình xử lý:



Hình 5.11 Sơ đồ tái sinh nước thải công nghiệp với quá trình O_3



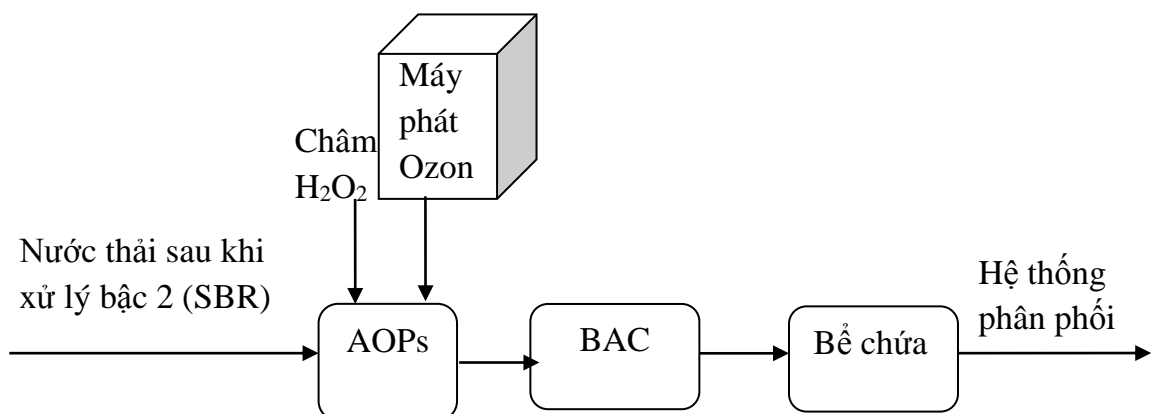
Hình 5.12 Sơ đồ tái sinh nước thải công nghiệp với quá trình $H_2O_2 + O_3$

❖ Đối với quá trình công nghệ oxi hóa bậc cao AOPs ($H_2O_2 + O_3$) kết hợp với mô hình BAC

Nước thải sau quá trình xử lý thỏa tiêu chuẩn nước tái sinh được đề nghị cho TP. Hồ Chí Minh do PGS.TS Nguyễn Phước Dân cùng với cộng sự đưa ra và được sử dụng cho:

- Tái sử dụng ở đô thị: tưới cây/công viên – vùng không hạn chế tiếp xúc của cộng đồng, dội rửa toilet, chữa cháy, điều hòa không khí, tưới đường...
- Phục vụ xây dựng: đầm nén nền móng, kiểm soát ô nhiễm bụi, phun nước rửa, đầm nén đất...
- Tái tạo cảnh quan: các hồ, các đài phun nước – vùng không hạn chế tiếp xúc cộng đồng...
- Phục vụ lại cho công nghiệp: cung cấp nôi hơi, làm mát, rửa thiết bị...

Quy trình xử lý:



Hình 5.13 Sơ đồ tái sinh nước thải công nghiệp của quá trình ($H_2O_2 + O_3$) kết hợp với mô hình BAC

CHƯƠNG 5: KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

5.1 Kết luận

Trong suốt quá trình làm đề tài nghiên cứu, bằng các phương pháp phân tích xử lý số liệu, chúng tôi đã nhận thấy rằng khả năng xử lý và hiệu suất xử lý nước thải công nghiệp rất cao của công nghệ oxi hóa bậc cao AOPs và công nghệ oxi hóa bậc cao AOPs ($\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3$) kết hợp với mô hình BAC nhằm mục đích tái sinh.

- Đối với quá trình O_3 : tại pH = 8, thời gian tiếp xúc khí tối ưu là 20 phút, nồng độ O_3 đầu vào của quá trình là 22,08 mg/L cho hiệu quả xử lý độ màu là 83,5%, COD là 75%, TOC là 73%.

- Đối với quá trình $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3$: tại pH = 8, thời gian tiếp xúc khí tối ưu là 20 phút, nồng độ O_3 cấp vào quá trình là 22,08 mg/L và H_2O_2 là 11,04 mg/L thì hiệu quả xử lý màu là 95%, COD là 87%, TOC là 88%, Coliform còn $1,3.10^3$ CFU/100ml hiệu quả đạt được là 96,7%.

- Đối với quá trình kết hợp giữa công nghệ xử lý bậc cao AOPs ($\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3$) với mô hình BAC thì hiệu quả xử lý màu cao nhất là 98%, COD là 96,5%, TOC là khoảng 96%, Coliform còn lại là $9,6.10^1$ CFU/100ml hiệu quả đạt được khoảng 99,7%.

Kết quả nghiên cứu cho ta thấy rằng hiệu quả xử lý của quá trình $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3$ cao hơn và cao hơn nhiều so với hệ O_3 riêng biệt. Và hiệu quả càng cao hơn nữa khi mô hình công nghệ xử lý bậc cao AOPs ($\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3$) kết hợp với mô hình BAC.

Nước thải sau khi xử lý tại các điều kiện tối ưu của mô hình công nghệ AOPs ($\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3$) kết hợp mô hình BAC với tải trọng 2 m/h hiệu quả xử lý rất cao phù hợp với tiêu chuẩn tái sinh tái sử dụng nước của PGS.TS Nguyễn Phước Dân và cộng sự đề ra cho TP.Hồ Chí Minh. Điều này cho thấy sự kết hợp mô hình công nghệ AOPs ($\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3$) với mô hình BAC để xử lý nước thải khu công nghiệp Sóng Thần 1 sau bể SBR là thích hợp và hiệu quả cao.

Mô hình công nghệ oxi hóa bậc cao và mô hình công nghệ oxi hóa bậc cao kết hợp với mô hình BAC mang lại hiệu quả kinh tế cao về chi phí xây dựng, chi phí

vận hành và diện tích không gian nhỏ. Do đó, mở rộng công nghệ này tại Việt Nam sẽ đem lại lợi ích không nhỏ, tiết kiệm được thời gian và diện tích. Chất lượng nước sau xử lý đạt tiêu chuẩn quy định và nhằm bảo vệ môi trường. Ngoài ra nước thải sau xử lý có thể đem dùng tái sinh cho nhiều mục đích khác nhau dựa vào bảng tiêu chuẩn nước tái sinh do PGS.TS Nguyễn Phước Dân cùng cộng sự nghiên cứu được sử dụng cho TP.Hồ Chí Minh.

Công nghệ này xử lý được nước thải có nồng độ chất ô nhiễm cao như: COD, TOC, coliform, độ màu...và đặc biệt nhất là các chất hữu cơ khó phân hủy.

5.2 Kiến nghị

Qua kết quả nghiên cứu chúng tôi có một số kiến nghị thêm và hướng nghiên cứu tiếp theo để mang lại hiệu quả xử lý tốt hơn đó là:

- Cần phải tiếp tục nghiên cứu thêm một số hệ oxi hóa bậc cao khác nữa như: $UV + H_2O_2$, $UV + O_3$...nhằm tìm ra phương pháp xử lý nước thải tại khu công nghiệp Sóng Thần 1 sau bể SBR đạt hiệu quả hơn nhất.
- Khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình nghiên cứu.
- Xem xét lại tính chấp nhận của mô hình và chi phí xây dựng để áp dụng vào thực tế hiệu quả hơn.
- Trước khi mô hình đưa vào áp dụng tại khu công nghiệp Sóng Thần 1 thì phải nghiên cứu lại mô hình đó tại vị trí khu công nghiệp và tiến hành xem xét, kiểm tra lại hiệu quả.
- Ở nội dung 2 cần phải làm khoảng thời gian dài hơn ở mô hình BAC để xác định chính xác cột áp nhằm xác định thời gian rửa lọc.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

- [1] Trần Mạnh Trí, Trần Mạnh Trung, (2006), *Các Quá trình Oxy hóa nâng cao trong xử lý nước và nước thải – Cơ sở Khoa học và Ứng dụng*, Nhà Xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- [2] La Thị Thái Hà, Lương Thành Nhơn, (2007), *Nghiên cứu xây dựng mô hình Oxy hóa hóa học (H_2O_2) kết hợp với bức xạ tử ngoại (UV) dùng để xử lý nước thải chứa thuốc bảo vệ thực vật tại thành phố Hồ Chí Minh*, Viện Môi trường và Tài nguyên.
- [3] Nguyễn Cảnh, *Quy hoạch thực nghiệm*, Nhà xuất bản đại học quốc gia TP.Hồ Chí Minh (2011).
- [4] Tạp chí phát triển Khoa học và Công nghệ, tập 15, số M1 – 2012.
- [5] Các tiêu chuẩn của nghiên cứu tái sinh tái sử dụng nước thải đô thị ở thành phố Hồ Chí Minh của PGS.TS Nguyễn Phước Dân và cộng sự.
- [6] <http://www.xaluan.com/modules.php?name=News&file=article&sid=315212>

Tiếng Anh

- [7] Decolourization of textile wastewater containing green cationic dye by AOPs, *Department of Chemistry, Faculty of Sciences and Arts, Valahia University of Târgoviste, 18-22 Unirii Street, 130082, Târgoviste, Romania.*
- [8] Metcalf and Eddy Inc, *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse, McGraw Hill, 4 edition*, (2003).

PHỤ LỤC A: CÁC BẢNG SỐ LIỆU NGHIÊN CỨU

A.1 Hệ Ozone

- Xác định pH tối ưu

Bảng P.A-1 Bảng kết quả thí nghiệm xác định pH tối ưu của hệ O_3

pH	5	6	7	8	9
Kết quả xử lý độ màu (Abs)	0,045	0,043	0,034	0,022	0,023
	0,050	0,040	0,027	0,020	0,026
	0,043	0,030	0,031	0,018	0,021
	0,037	0,045	0,021	0,015	0,027
	0,040	0,042	0,022	0,015	0,018
Độ màu trung bình (Abs)	0,043	0,040	0,021	0,018	0,023
Kết quả xử lý COD (mg/L)	57	51	43	34	30
	68	47	34	26	34
	51	68	51	17	25
	57	34	43	28	34
	52	55	34	26	25
Nồng độ COD trung bình (mg/L)	57	51	40	26	30
TOC đầu ra (mg/L)	10	9	7	5	6

- **Xác định thời gian tiếp xúc khí tối ưu**

Bảng P.A-2 Bảng kết quả thí nghiệm xác định thời gian tiếp xúc khí tối ưu của hệ O_3

Thời gian tiếp xúc khí (phút)	20	40	60	80	100
Kết quả xử lý độ màu (Abs)	0,016	0,018	0,013	0,034	0,008
	0,018	0,017	0,023	0,023	0,016
	0,012	0,018	0,018	0,028	0,016
	0,022	0,015	0,022	0,030	0,019
	0,022	0,022	0,014	0,020	0,011
Độ màu trung bình (Abs)	0,016	0,018	0,018	0,027	0,014
Kết quả xử lý COD (mg/L)	22	20	30	34	30
	17	22	30	33	30
	17	17	17	43	20
	22	17	40	25	51
	34	34	33	30	34
Nồng độ COD trung bình (mg/L)	22	22	30	33	33
TOC đầu ra (mg/L)	4	5	6	6,5	6,5

- **Xác định nồng độ O₃ (mg/L) tối ưu**

Bảng P.A-3 Bảng kết quả thí nghiệm xác định nồng độ O₃ tối ưu của hệ O₃

Nồng độ O ₃ đầu vào (mg/L)	7,36	14,72	22,08	29,44	36,8
Kết quả xử lý độ màu (Abs)	0,027	0,015	0,009	0,014	0,029
	0,029	0,022	0,009	0,026	0,015
	0,018	0,018	0,012	0,015	0,020
	0,036	0,023	0,014	0,025	0,014
	0,025	0,012	0,016	0,020	0,022
Độ màu trung bình (Abs)	0,027	0,018	0,012	0,020	0,020
Kết quả xử lý COD (mg/L)	28	22	22	22	25
	26	26	20	17	34
	28	26	22	34	34
	24	24	17	20	17
	34	32	30	17	20
Nồng độ COD trung bình (mg/L)	28	26	22	22	26
TOC đầu ra (mg/L)	5	4,5	4	4,2	5

A.2 Hệ $H_2O_2 + O_3$ **- Xác định giá trị pH tối ưu*****Bảng P.A-4 Bảng kết quả thí nghiệm xác định giá trị pH tối ưu của hệ $H_2O_2 + O_3$.***

pH	5	6	7	8	9
Kết quả xử lý độ màu (Abs)	0,028	0,038	0,012	0,008	0,016
	0,037	0,036	0,027	0,007	0,007
	0,041	0,025	0,020	0,005	0,005
	0,035	0,039	0,018	0,011	0,009
	0,039	0,037	0,023	0,014	0,013
Độ màu trung bình (Abs)	0,036	0,035	0,020	0,009	0,010
Kết quả xử lý COD (mg/L)	34	43	30	25	43
	58	51	34	18	20
	68	58	43	22	25
	43	41	17	25	17
	58	47	51	20	25
Nồng độ COD trung bình (mg/L)	52	48	35	22	26
TOC đầu ra (mg/L)	9	8,5	6	4	4,5

- **Xác định thời gian tiếp xúc khí tối ưu**

Bảng P.A-5 Bảng kết quả thí nghiệm xác định thời gian tiếp xúc khí tối ưu của hệ $H_2O_2 + O_3$.

Thời gian tiếp xúc khí (phút)	20	40	60	80	100
Kết quả xử lý độ màu (Abs)	0,008	0,002	0,005	0,010	0,013
	0,006	0,007	0,006	0,009	0,010
	0,005	0,006	0,011	0,014	0,011
	0,002	0,004	0,009	0,012	0,014
	0,004	0,006	0,014	0,015	0,012
Độ màu trung bình (Abs)	0,005	0,005	0,009	0,012	0,012
Kết quả xử lý COD (mg/L)	17	22	20	30	24
	22	19	25	34	43
	19	17	22	25	34
	17	20	18	34	30
	20	17	25	17	34
Nồng độ COD trung bình (mg/L)	19	19	22	28	33
TOC đầu ra (mg/L)	3,3	3,5	4	5	6

- Xác định nồng độ O_3 (mg/L) tối ưu

Bảng P.A-6 Bảng kết quả thí nghiệm xác định nồng độ O_3 (mg/L) tối ưu của hệ $H_2O_2 + O_3$.

Nồng độ O_3 đầu vào (mg/L)	7,36	14,72	22,08	29,44	36,8
Kết quả xử lý độ màu (Abs)	0,020	0,010	0,006	0,010	0,008
	0,016	0,006	0,002	0,006	0,005
	0,018	0,008	0,003	0,012	0,013
	0,015	0,011	0,003	0,008	0,007
	0,011	0,005	0,001	0,009	0,012
Độ màu trung bình (Abs)	0,016	0,008	0,003	0,009	0,009
Kết quả xử lý COD (mg/L)	34	18	12	10	24
	24	25	10	11	17
	30	22	15	7	22
	22	18	10	17	17
	20	17	8	10	20
Nồng độ COD trung bình (mg/L)	26	20	11	11	20
TOC đầu ra (mg/L)	4,5	3,5	1,8	2,3	3,8

Bảng P.A-7 Bảng thông số so sánh kết quả xử lý của 2 hệ O_3 và $H_2O_2 + O_3$

Quá trình	Nồng độ COD (mg/L)	Độ màu (Abs)	TOC (mg/L)
O_3	22	0,012	4

H ₂ O ₂ + O ₃	11	0,004	1,8
--	----	-------	-----

A.3 Hệ (H₂O₂ + O₃) kết hợp với mô hình BAC

- Tải trọng 2 m/h

Bảng P.A-8 Bảng kết quả thí nghiệm mô hình AOPs (H₂O₂ + O₃) kết hợp mô hình BAC với tải trọng 2m/h.

Ngày lấy tải	4	5	6	7
Kết quả xử lý COD (mg/L)	7	5	3	3
Kết quả xử lý màu (Abs)	0,004	0,003	0,001	0,001
TOC đầu ra (mg/L)	1,2	1	1	0,6

- Tải trọng 3 m/h

Bảng P.A-9 Bảng kết quả thí nghiệm mô hình AOPs (H₂O₂ + O₃) kết hợp mô hình BAC với tải trọng 3 m/h.

Ngày lấy tải	4	5	6	7
Kết quả xử lý COD (mg/L)	9	7	5	5
Kết quả xử lý màu (Abs)	0,006	0,004	0,002	0,002
TOC đầu ra (mg/L)	1,5	1,2	1,2	1

- **Tải trọng 5 m/h**

Bảng P.A-10 Bảng kết quả thí nghiệm mô hình AOPs ($H_2O_2 + O_3$) kết hợp mô hình BAC với tải trọng 5 m/h.

Ngày lấy tải	4	5	6	7
Kết quả xử lý COD (mg/L)	13	11	11	10
Kết quả xử lý màu (Abs)	0,005	0,004	0,004	0,003
TOC đầu ra (mg/L)	2,5	2,3	2	2

PHỤ LỤC B: PHỤ LỤC HÌNH ẢNH QUÁ TRÌNH NGHIÊN CỨU



Hình P.B-1 Quá trình sục khí O_3 .



Hình P.B-2 Quá trình hấp thụ khí O_3 dư bằng dung dịch KI 10%.

B-2



Hình P.B-3 Quá trình khử khí O_3



Hình P.B-4 Quá trình sục O_3



Hình P.B-5 Quá trình chạy mô hình BAC.



Hình P.B-6 Máy Spectrophotometer.



Hình P.B-7 Máy nung COD Hach.



Hình P.B-8 Cân phân tích.



Hình P.B-9 Tủ sấy.

PHỤ LỤC C: TIÊU CHUẨN MỤC ĐÍCH TÁI SINH NƯỚC SAU XỬ LÝ

***Bảng P.C-1 Giá trị giới hạn chất lượng nước tái sinh
đề nghị cho TP. Hồ Chí Minh***

Loại tái sử dụng	Thông số	Đơn vị	Giá trị giới hạn
1. Tái sử dụng ở đô thị			
+ Tưới cây/công viên vùng không hạn chế tiếp xúc cộng đồng.	pH	-	5,8 - 8,6
	TDS	mg/L	≤ 500 (EC ≤ 800 $\mu\text{s/cm}$)
	SAR	$(\text{meq/l})^{0,5}$	< 6
	BOD ₅	mg/L	≤ 10
	Độ đục	NTU	≤ 5
	Mùi	Cảm quan	Không khó chịu
	Coliform phân*	ND/100 ml	ND
	Cl ₂ dư	mg/L	1
+ Tưới cây/công viên - vùng hạn chế tiếp xúc của cộng đồng.	pH	-	5,8 - 8,6
	TDS	mg/L	≤ 500 (EC ≤ 800 $\mu\text{s/cm}$)
	SAR	$(\text{meq/l})^{0,5}$	< 6
	BOD ₅	mg/L	≤ 30
	TSS	mg/L	≤ 30
	Mùi	Cảm quan	Không khó chịu
	Coliform phân**	ND/100 ml	≤ 200
	Cl ₂ dư	mg/L	1
+ Dội rửa toilet, chữa	pH	-	5,8 – 8,6

cháy, điều hòa không khí, tưới đường.	BOD ₅	mg/L	≤ 10
	Màu	-	≤ 30
	Mùi	-	Không khó chịu
	Độ đục	NTU	≤ 5
	Coliform phân*	ND/100 ml	ND
	Cl ₂ dư	mg/L	1
2. Phục vụ xây dựng			
Đầm nén nền móng, kiểm soát ô nhiễm bụi, phun nước rửa, đầm nén đất.	pH	-	5,8 – 8,6
	TSS	mg/L	≤ 30
	BOD ₅	mg/L	≤ 30
	Clo dư	mg/L	1
	Coliform phân**	ND/100 ml	≤ 200
3. Tái tạo cảnh quan			
+ Các hồ, các đài phun nước – vùng không hạn chế tiếp xúc cộng đồng.	pH	-	5,8 – 8,6
	Độ đục	NTU	≤ 5
	Màu	-	≤ 10
	Mùi	Cảm quan	Không khó chịu
	BOD ₅	mg/L	≤ 20
	Coliform phân*	ND/100 ml	ND
	Clo dư	mg/L	1
	N tổng	mg/L	15
	P tổng	mg/L	4
+ Các hồ, các đài phun nước – vùng hạn chế tiếp xúc cộng đồng, gia tăng hoặc	pH	-	5,8 – 8,6
	TSS	mg/L	≤ 30
	Màu	-	≤ 40
	Mùi	Cảm quan	Không khó chịu

khởi thông dòng chảy	BOD ₅	mg/L	≤ 30
	Coliform phân**	CFU/100ml	≤ 200
	Clo dư	mg/L	1
	N tổng	mg/L	30
	P tổng	mg/L	6
4. Trong công nghiệp			
+ Nước làm mát	pH	-	7 – 7,5
	TSS	mg/L	≤ 30
	BOD ₅	mg/L	≤ 30
	Coliform phân**	CFU/100ml	≤ 200
	Clo dư	mg/L	1
	Độ kiềm	mg/LCaCO ₃	200
	Độ cứng	mg/LCaCO ₃	300
	TDS	mg/L	1000
	N-Ammonia	mg/L	10
	Photphate	mg/L	15
	Cl ⁻	mg/L	100

Ghi chú:

- Clo dư tổng số mức độ tối thiểu sau 30 phút tiếp xúc.
- ND: không phát hiện.
- SAR: Tỷ số hấp phụ Natri dùng cho nước tưới, nó biểu thị hoạt động tương đối của ion Natri trong các phản ứng trao đổi với đất. Về mặt định lượng có thể tính theo công thức: $SAR = Na^+ / [1/2(Ca^{2+} + Mg^{2+})]^{1/2}$.

- *EC - Độ dẫn điện.*
- *Giới hạn về độ đục phải đạt được trước khi khử trùng. Độ đục trung bình nên căn cứ trong giai đoạn với thời gian 24 giờ. Độ đục không nên vượt quá 5 NTU ở bất kỳ thời gian nào. Nếu TSS thay cho độ đục, TSS không nên vượt quá 5 mg/L.*
- ** Lượng Coliform phân không nên vượt quá 14CFU/100ml trong mẫu bất kỳ.*
- *** Lượng Coliform phân không vượt quá 800/100ml trong bất kỳ mẫu nào.*

PHỤ LỤC D: TÍNH TOÁN PHƯƠNG TRÌNH HỒI QUY

Xác định các thông số tối ưu của công nghệ xử lý bậc cao (AOPs) quá trình O_3 và quá trình $O_3 + H_2O_2$

4.1 Nội dung 1: Xác định các thông số tối ưu của công nghệ oxi hóa bậc cao AOPs quá trình O_3

Nghiên cứu quá trình xử lý bậc cao của công nghệ AOPs quá trình Ozone trong nước thải công nghiệp khu công nghiệp Sóng Thần 1 với mục đích tái sinh.

- Bài toán tối ưu:

- + pH $Z_1 \quad 5 \leq pH \leq 9$
- + Thời gian $Z_2 \quad 20 \div 100$ phút
- + Nồng độ Ozone $Z_3 \quad 7,36; 14,72; 22,08; 29,44; 36,8$ mg/L

+ y_1 là hiệu suất xử lý COD của mô hình.

+ y_2 là hiệu suất xử lý màu của mô hình.

- Chọn dạng phương trình hồi quy là: $\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1.x_2 + b_{13}x_1.x_3 + b_{23}x_2.x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2$
- Sau khi tiến hành các thí nghiệm ta thu được bảng kết quả sau:

STT	Z_1	Z_2	Z_3	y_1	y_2
1	5	40	14,72	35	40
2	6	40	14,72	42	45
3	7	40	14,72	54	63
4	8	40	14,72	70	75
5	9	40	14,72	65	68
6	8	20	14,72	75	78
7	8	40	14,72	75	75
8	8	60	14,72	65,5	75
9	8	80	14,72	62	63
10	8	100	14,72	62	80
11	8	20	7,36	68	63

D-2

12	8	20	14,72	70	75
13	8	20	22,08	75	83,5
14	8	20	29,44	75	72
15	8	20	36,8	70	72

- Hãy xác định các biến đầu vào sao cho năng suất xử lý là cực đại

Bảng P.D-1 Bảng ma trận quy hoạch trực giao cấp 2, ba yếu tố của quá trình O_3 .

STT	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1^2-0,73$	$x_2^2-0,73$	$x_3^2-0,73$	y_1	y_2
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+0,27	+0,27	+0,27	35	40
2	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+0,27	+0,27	+0,27	42	45
3	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+0,27	+0,27	+0,27	54	63
4	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+0,27	+0,27	+0,27	70	75
5	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+0,27	+0,27	+0,27	65	68
6	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+0,27	+0,27	+0,27	75	78
7	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+0,27	+0,27	+0,27	75	75
8	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+0,27	+0,27	+0,27	65,5	75
9	+1	+1,215	0	0	0	0	0	+0,746	-0,73	-0,73	62	63
10	+1	-1,215	0	0	0	0	0	+0,746	-0,73	-0,73	62	80
11	+1	0	+1,215	0	0	0	0	-0,73	+0,746	-0,73	68	63
12	+1	0	-1,215	0	0	0	0	-0,73	+0,746	-0,73	70	75
13	+1	0	0	+1,215	0	0	0	-0,73	-0,73	-0,746	75	83,5
14	+1	0	0	-1,215	0	0	0	-0,73	-0,73	-0,746	75	72
15	+1	0	0	0	0	0	0	-0,73	-0,73	-0,73	70	72
$\sum x^2$		10,952	10,952	10,952	8,000	8,000	8,000	4,361	4,361	4,361	64,233	68,5

$\sum x.y_1$	963,5	327,5	-352,93	-481,5	-196,5	-327,5	350,5	-38,831	-18,167	-224,26		
$\sum x.y_2$	1027,5	328,345	-383,58	-505,03	-199	-349	369	-20,007	-27,387	-233,56		

Xác định các hệ số hồi quy:

- Theo hiệu suất COD.

b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
15	29,901	-32,223	-43,963	-24,56	-40,94	43,813	-8,904	-4,166	-51,425

- Theo hiệu suất hấp thu màu.

b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
15	29,979	-35	-46	-24,88	-43,63	46,125	-4,6	-6,280	-53,560

Phương sai các hệ số được tính trong bảng sau:

- Theo hiệu suất COD.

Thực hiện 3 thí nghiệm ở tâm: $y^0_1 = 35$; $y^0_2 = 37$; $y^0_3 = 75$ tìm được phương sai tái hiện $s_{th} = 22,54$

S_{bo}	S_{bj}	S_{bjl}	S_{bjj}
5,82	6,81	7,97	10,8

- Theo hiệu suất xử lý màu.

Thực hiện 3 thí nghiệm ở tâm: $y^0_1 = 40$; $y^0_2 = 42$; $y^0_3 = 83$ tìm được phương sai tái hiện $s_{th} = 24,27$

S_{bo}	S_{bj}	S_{bjl}	S_{bjj}
6,27	7,33	8,58	11,62

Kiểm định ý nghĩa hệ số hồi quy theo chuẩn student:

- Theo hiệu suất COD.

t_0	t_1	t_2	t_3	t_{12}	t_{13}	t_{23}	t_{11}	t_{22}	t_{33}
2,5773	4,3908	4,7318	6,4556	3,0819	5,1364	5,4972	0,8245	0,3857	4,7616

Tra bảng ta có: $t_p(f)$, $p = 0,05$, $f = 3$ $T_{0,05}(3) = 3,18 \rightarrow$ các hệ số không có nghĩa là b_0 ; b_{12} ; b_{11} ; b_{22}

Do đó, các hệ số hồi quy tương ứng bị loại khỏi PTHQ. Ta nhận được phương trình hồi qui có dạng:

$$\hat{y}_1 = 29,901x_1 - 32,223x_2 - 43,963x_3 - 40,94x_1x_3 + 43,813x_2x_3 - 51,425x_3^2$$

- Theo hiệu suất xử lý màu.

t_0	t_1	t_2	t_3	t_{12}	t_{13}	t_{23}	t_{11}	t_{22}	t_{33}
2,393	4,089	4,777	6,290	2,899	5,085	5,375	0,394	0,5404	4,6093

Tra bảng ta có: $t_p(f)$, $p = 0,05$; $f = 3$ $T_{0,05}(3) = 3,18 \rightarrow$ các hệ số không có nghĩa là b_0 ; b_1 ; b_{11} ; b_{22}

Do đó, các hệ số hồi quy tương ứng bị loại khỏi PTHQ. Ta nhận được phương trình hồi qui có dạng:

$$\hat{y}_2 = 29,979x_1 - 35x_2 - 46x_3 - 43,63x_1x_3 + 46,125x_2x_3 - 53,56x_3^2$$

Kiểm định sự tương thích của phương trình hồi quy thực nghiệm:

- Đối với hiệu quả xử lý COD.

\hat{y}	$(y_i - \hat{y})^2$
35,27325	0,074666
35,27325	45,24917
176,9553	15117,99
176,9553	11439,43
176,9553	12533,98
176,9553	10394,87
176,9553	10394,87
24,88325	1649,72
73,86997	140,8961
1,210535	3695,359
-1,6107	4845,649
76,6912	44,77209
-15,052	8109,362
91,7781	281,5045
37,54025	1053,635

Để kiểm định được sự tương thích của PTHQ với thực nghiệm ta tính phương sai dư:

$$s_{du}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N - l} = \frac{79747,36}{15 - 6} = 8860,82$$

$$F = \frac{s_{du}^2}{s_{th}^2} = \frac{8860.82}{508} = 17,4$$

Giá trị ở bảng của tiêu chuẩn Fisher với mức ý nghĩa $p = 0,05$ và các bậc tự do:

$$f_1 = 8; f_2 = 2 \text{ là: } F_{1-p}(f_1; f_2) = 19,4$$

$$\text{Do đó: } F_{0,95}(9,5) = 19,4 > F = 17,4$$

=>Phương trình tương thích với thực nghiệm.

Mã hóa ngược lại:

Thay các biểu thức của x_1, x_2, x_3 vào phương trình ta được:

$$\begin{aligned} y_1 &= 29,901 \times \left(\frac{Z_1 - 7}{2}\right) - 32,223 \times \left(\frac{Z_2 - 60}{40}\right) - 43,963 \times \left(\frac{Z_3 - 22,08}{14,72}\right) - 40,94 \times \left(\frac{Z_1 - 7}{2}\right) \times \left(\frac{Z_3 - 22,08}{14,72}\right) \\ &+ 43,813 \times \left(\frac{Z_2 - 60}{40}\right) \times \left(\frac{Z_3 - 22,08}{14,72}\right) - 51,425 \times \left(\frac{Z_3 - 22,08}{14,72}\right)^2 \\ &= -225,92 + 45,85Z_1 - 2,405Z_2 + 12,98Z_3 - 1,4Z_1Z_3 + 0,074Z_2Z_3 - 0,24Z_3^2 \\ &\quad - \text{Đôi với hiệu quả xử lý màu:} \end{aligned}$$

\hat{y}	$(y_i - \hat{y})^2$
39,0548	0,893403
39,0548	35,3454
186,2728	15196,18
186,2728	12381,64
186,2728	13988,46
186,2728	11723
186,2728	12381,64
24,0228	2598,675
75,52329	156,8327
2,674315	5979,262
-3,4262	4412,44
81,6238	43,87473
-15,9342	9887,168
95,84576	568,6203

39,0988	1082,489
---------	----------

Để kiểm định được sự tương thích của PTHQ với thực nghiệm ta tính phương sai dư:

$$s_{du}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N - l} = \frac{90436,51}{15 - 6} = 10048,5$$

$$F = \frac{s_{du}^2}{s_{th}^2} = \frac{10048,5}{589} = 17,06$$

Giá trị ở bảng của tiêu chuẩn Fisher với mức ý nghĩa $p = 0,05$ và các bậc tự do: $f_1 = 8; f_2 = 2$ là: $F_{1-p}(f_1; f_2) = 19,4$

Do đó: $F_{0,95}(9,5) = 19,4 > F = 17,06$

=> Phương trình tương thích với thực nghiệm.

Mã hóa ngược lại:

Thay các biểu thức của x_1, x_2, x_3 vào phương trình ta được:

$$\begin{aligned} \hat{y}_2 &= 29,979 \times \left(\frac{Z_1 - 7}{2}\right) - 35 \times \left(\frac{Z_2 - 60}{40}\right) - 46 \times \left(\frac{Z_3 - 22,08}{14,72}\right) - 43,63 \times \left(\frac{Z_1 - 7}{2}\right) \times \left(\frac{Z_3 - 22,08}{14,72}\right) \\ &+ 46,125 \times \left(\frac{Z_2 - 60}{40}\right) \times \left(\frac{Z_3 - 22,08}{14,72}\right) - 53,56 \times \left(\frac{Z_3 - 22,08}{14,72}\right)^2 \\ &= -230,635 + 47,68Z_1 - 2,595Z_2 + 13,595Z_3 - 1,48Z_1Z_3 + 0,078Z_2Z_3 - 0,25Z_3^2 \end{aligned}$$

4.2 Nội dung 2: Xác định các thông số tối ưu của công nghệ oxi hóa bậc cao AOPs quá trình $H_2O_2 + O_3$

Nghiên cứu quá trình xử lý bậc cao AOPs trong xử lý nước thải công nghiệp khu công nghiệp Sóng Thần 1 với mục đích tái sinh.

- Bài toán tối ưu được thực hiện như sau:

- + pH $Z_1 \quad 5 \leq \text{pH} \leq 9$
- + Thời gian $Z_2 \quad 20 \div 100$ phút
- + Tỷ lệ nồng độ H_2O_2/O_3 $Z_3 \quad (3,68; 7,36; 11,04; 14,72; 18,4)H_2O_2/(7,36; 14,72; 22,08; 29,44; 36,8)O_3$
- + y_1 hiệu suất xử lý COD của mô hình
- + y_2 hiệu suất xử lý màu của mô hình

- Chọn dạng phương trình hồi quy là: $\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2$

Sau khi tiến hành các thí nghiệm ta thu được bảng kết quả sau:

STT	Z_1	Z_2	Z_3	y_1	y_2
1	5	40	14,72	40	50,7
2	6	40	14,72	45	52
3	7	40	14,72	60	72,6
4	8	40	14,72	75	87,7
5	9	40	14,72	70	86
6	8	20	14,72	78	93
7	8	40	14,72	78	93
8	8	60	14,72	75	86
9	8	80	14,72	68	83,5
10	8	100	14,72	62	83,5
11	8	20	7,36	70	78
12	8	20	14,72	77	89
13	8	20	22,08	88	95
14	8	20	29,44	88	87,7
15	8	20	36,8	77	87,7

- Hãy xác định các biến đầu vào sao cho năng suất xử lý là cực đại:

Bảng P.D-2 Bảng ma trận quy hoạch trực giao cấp 2, ba yếu tố của quá trình $H_2O_2 + O_3$.

STT	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ ² -0,73	X ₂ ² -0,73	X ₃ ² -0,73	y ₁	y ₂
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+0,27	+0,27	+0,27	40	50,7
2	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+0,27	+0,27	+0,27	45	52
3	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+0,27	+0,27	+0,27	60	72,6
4	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+0,27	+0,27	+0,27	75	87,7
5	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+0,27	+0,27	+0,27	70	86
6	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+0,27	+0,27	+0,27	78	93
7	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+0,27	+0,27	+0,27	78	93
8	+1	+1	+1	-1	+1	-1	+1	+0,27	+0,27	+0,27	75	86
9	+1	+1,215	0	0	0	0	0	+0,746	-0,73	-0,73	68	83,5
10	+1	-1,215	0	0	0	0	0	+0,746	-0,73	-0,73	62	83,5
11	+1	0	+1,215	0	0	0	0	-0,73	+0,746	-0,73	70	78
12	+1	0	-1,215	0	0	0	0	-0,73	+0,746	-0,73	77	89
13	+1	0	0	+1,215	0	0	0	-0,73	-0,73	-0,746	88	95
14	+1	0	0	-1,215	0	0	0	-0,73	-0,73	-0,746	88	87,7
15	+1	0	0	0	0	0	0	-0,73	-0,73	-0,73	77	87,7
Σx ²		10,952	10,952	10,952	8,000	8,000	8,000	4,361	4,361	4,361	70,067	81,693

$\sum x.y_1$	1051	358,29	-379,50	-521	-201	-351	371	-54,35	-29,26	-249		
$\sum x.y_2$	1225,4	415,6	-462,4	-612,13	-243,6	-415,6	449	-27,05	-27,05	-276,5		

Xác định các hệ số hồi quy:

- Theo hiệu suất COD.

b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
15	32,713	-34,650	-47,567	-25,13	-43,88	46,375	-12,463	-6,709	-57,111

- Theo hiệu suất xử lý màu.

b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
15	37,946	-42,215	-55,889	-30,45	-51,95	56,125	-6,203	-6,203	-63,398

Phương sai các hệ số được tính trong bảng sau:

- Theo hiệu suất COD.

Thực hiện 3 thí nghiệm ở tâm: $y^0_1 = 44$; $y^0_2 = 45$; $y^0_3 = 88$ tìm được phương sai tái hiện $s_{th} = 25,2$

S_{bo}	S_{bj}	S_{bjl}	S_{bjj}
6,506	7,61	8,9	12,06

- Theo hiệu suất xử lý màu.

Thực hiện 3 thí nghiệm ở tâm: $y^0_2 = 45$; $y^0_2 = 46$; $y^0_3 = 95$ tìm được phương sai tái hiện: $s_{th} = 28,6$

S_{bo}	S_{bj}	S_{bjl}	S_{bjj}
7,38	8,64	10,12	13,7

Kiểm định ý nghĩa hệ số hồi quy theo chuẩn student:

- Theo hiệu suất COD.

t_0	t_1	t_2	t_3	t_{12}	t_{13}	t_{23}	t_{11}	t_{22}	t_{33}
2,305	4,290	4,553	6,250	2,823	4,929	5,210	1,033	0,556	4,736

Tra bảng ta có: $t_p(f)$, $p = 0,05$, $f = 3$ $T_{0,05}(3) = 3,18 \rightarrow$ các hệ số không có nghĩa là b_0 , b_{12} , b_{11} , b_{22}

Do đó, các hệ số hồi quy tương ứng bị loại khỏi PTHQ. Ta nhận được phương trình hồi qui có dạng:

$$\hat{y}_1 = 32,713x_1 - 34,650x_2 - 47,567x_3 - 43,88x_1x_3 + 46,357x_2x_3 - 57,111x_3^2$$

- Theo hiệu suất xử lý màu.

t_0	t_1	t_2	t_3	t_{12}	t_{13}	t_{23}	t_{11}	t_{22}	t_{33}
2,03	4,392	4,886	6,468	3,008	5,133	5,545	0,452	0,452	4,627

Tra bảng ta có: $t_p(f)$, $p = 0,05$, $f = 3$ $T_{0,05}(3) = 3,18 \rightarrow$ các hệ số không có nghĩa là b_0 , b_{12} , b_{11} , b_{22}

Do đó, các hệ số hồi quy tương ứng bị loại khỏi PTHQ. Ta nhận được phương trình hồi qui có dạng:

$$\hat{y}_2 = 37,946x_1 - 42,215x_2 - 55,889x_3 - 51,95x_1x_3 + 56,125x_2x_3 - 63,398x_3^2$$

Kiểm định sự tương thích của phương trình hồi quy thực nghiệm:

- Theo hiệu suất COD.

\hat{y}	$(y_i - \hat{y})^2$
36,56103	11,82651
36,56103	71,21621
189,747	16834,29
189,747	13166,88
189,747	14339,35
189,747	12487,4
189,747	12487,4
27,73303	2234,166
81,43733	180,5617
1,944735	3606,635
-0,40872	4957,388
83,79078	46,11469
-15,1891	10647,99
100,3987	153,728
41,69103	1246,723

Để kiểm định được sự tương thích của PTHQ với thực nghiệm ta tính phương sai dư:

$$s_{du}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N - l} = \frac{92471,67}{15 - 6} = 10274,63$$

$$F = \frac{s_{du}^2}{s_{th}^2} = \frac{10274,63}{631} = 16,28$$

Giá trị ở bảng của tiêu chuẩn Fisher với mức ý nghĩa $p = 0,05$ và các bậc tự do: $f_1 = 8; f_2 = 2$ là: $F_{1-p}(f_1; f_2) = 19,4$

Do đó: $F_{0,95}(9,5) = 19,4 > F = 16,28$

=> Phương trình tương thích với thực nghiệm.

Mã hóa ngược lại:

Thay các biểu thức của x_1, x_2, x_3 vào phương trình ta được:

$$\begin{aligned} \hat{y}_1 &= 32,713 \times \left(\frac{Z_1 - 7}{2}\right) - 34,650 \times \left(\frac{Z_2 - 60}{40}\right) - 47,567 \times \left(\frac{Z_3 - 22,08}{14,72}\right) - 43,88 \times \left(\frac{Z_1 - 7}{2}\right) \times \left(\frac{Z_3 - 22,08}{14,72}\right) \\ &+ 46,357 \times \left(\frac{Z_2 - 60}{40}\right) \times \left(\frac{Z_3 - 22,08}{14,72}\right) - 57,111 \times \left(\frac{Z_3 - 22,08}{14,72}\right)^2 \\ \hat{y}_1 &= -247,05 + 49,47Z_1 - 2,58Z_2 + 14,07Z_3 - 1,5Z_1Z_3 + 0,078Z_2Z_3 - 0,26Z_3^2 \end{aligned}$$

- Theo hiệu suất độ hấp thu màu.

\hat{y}	$(y_i - \hat{y})^2$
47,21554	12,14146
47,21554	22,89106
227,0075	23841,69
227,0075	19406,59
227,0075	19883,13
227,0075	17958,02
227,0075	17958,02
30,32754	3099,423
92,38493	78,94198
0,17615	6942,864
-5,01069	6890,774
97,57177	73,47516
-20,6102	13365,72
115,2	756,2524

46,28054	1715,572
----------	----------

Để kiểm định được sự tương thích của PTHQ với thực nghiệm ta tính phương sai dư:

$$s_{du}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N-l} = \frac{132005,5}{15-6} = 14667,3$$

$$F = \frac{s_{du}^2}{s_{th}^2} = \frac{14667,3}{817} = 17,95$$

Giá trị ở bảng của tiêu chuẩn Fisher với mức ý nghĩa $p = 0,05$ và các bậc tự do: $f_1 = 8; f_2 = 2$ là: $F_{1-p}(f_1; f_2) = 19,4$

Do đó: $F_{0,95}(9,5) = 19,4 > F = 17,95$

⇒ Phương trình tương thích với thực nghiệm.

Mã hóa ngược lại:

Thay các biểu thức của x_1, x_2, x_3 vào phương trình ta được:

$$\begin{aligned} \hat{y}_2 &= 37,946 \times \left(\frac{Z_1 - 7}{2}\right) - 42,215 \times \left(\frac{Z_2 - 60}{40}\right) - 55,889 \times \left(\frac{Z_3 - 22,08}{14,72}\right) - 51,95 \times \left(\frac{Z_1 - 7}{2}\right) \times \left(\frac{Z_3 - 22,08}{14,72}\right) \\ &+ 56,125 \times \left(\frac{Z_2 - 60}{40}\right) \times \left(\frac{Z_3 - 22,08}{14,72}\right) - 63,398 \times \left(\frac{Z_3 - 22,08}{14,72}\right)^2 \\ &= -273,36 + 57,83Z_1 - 3,15Z_2 + 15,62Z_3 - 1,76Z_1Z_3 + 0,095Z_2Z_3 - 0,29Z_3^2 \end{aligned}$$