

ปกมือ

เครื่องปฏิกรณ์ชนิดถังทรงหมุนแบบใหม่สำหรับการย่อยสลายแบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของพีนอล
ซึ่งเจือปนในสารแขวนลอยที่ประกอบด้วยอนุภาคระดับนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์



นางสาวนภาพรรณ ทองประชาญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-53-1056-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A NOVEL ROTARY DRUM FILTERING REACTOR FOR PHOTOCATALYTIC
DECOMPOSITION OF PHENOL IN SLURRY CONTAINING
TITANIUM DIOXIDE NANOPARTICLES

Miss Napawon Thongprachan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

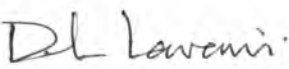
Academic year 2005

ISBN 974-53-1056-5

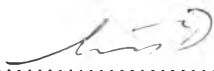
481678

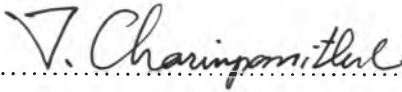
Thesis Title A NOVEL ROTARY DRUM FILTERING REACTOR
FOR PHOTOCATALYTIC DECOMPOSITION OF
PHENOL IN SLURRY CONTAINING TITANIUM
DIOXIDE NANOPARTICLES
By Miss Napawon Thongprachan
Field of study Chemical Engineering
Thesis Advisor Associate Professor Tawatchai Charinpanitkul, D.Eng.
Thesis Co-advisor Professor Wiwut Tanthapanichakoon, Ph.D.

Accepted by the Faculty of Engineering, Chulalongkorn University in Partial
Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree


..... Dean of the Faculty of Engineering
(Professor Direk Lavansiri, Ph.D.)

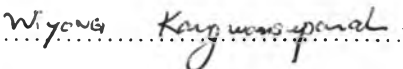
THESIS COMMITTEE


..... Chairman
(Associate Professor Siriporn Damrongsakkul, Ph.D.)


..... Thesis Advisor
(Associate Professor Tawatchai Charinpanitkul, D.Eng.)


..... Thesis Co-advisor
(Professor Wiwut Tanthapanichakoon, Ph.D.)


..... Member
(Assistant Professor Joongjai Panpranot, Ph.D.)


..... Member
(Wiyong Kangwansupamonkon, Ph.D.)

นภาพรรณ ทองประชาญ : เครื่องปฏิกรณ์ชนิดถังกรองหมุนแบบใหม่สำหรับการย่อยสลายแบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของฟีนอลซึ่งเจือปนในสารแขวนลอยที่ประกอบด้วยอนุภาคระดับนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (A NOVEL ROTARY DRUM FILTERING REACTOR FOR PHOTOCATALYTIC DECOMPOSITION OF PHENOL IN SLURRY CONTAINING TITANIUM DIOXIDE NANOPARTICLES) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ธวัชชัย ชรินพานิชกุล,
อ.ที่ปรึกษาร่วม : ศ.ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, 74 หน้า. ISBN 974-53-1056-5

ในเบื้องต้นได้ทำการศึกษาไททาเนีย ที่มีขนาดเฉลี่ยแตกต่างกันสองชนิด (T1 (เฟสแอนาเทส, ขนาดเฉลี่ยของผลึก 30 นาโนเมตร, พื้นที่ผิวจำเพาะ 56-59 ตร.ม.ต่อกรัม) และ N1 (เฟสแอนาเทส, ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคเคลือบด้วยอาพาไทด์ 400-500 นาโนเมตร, พื้นที่ผิวจำเพาะ 64 ตร.ม.ต่อกรัม)) ในการสลายตัวสารละลายฟีนอลโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์เชิงแสงแบบเขย่า เพื่อหาตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงที่ดีกว่าและนำไปใช้กับระบบเครื่องปฏิกรณ์ชนิดถังกรองหมุน พบว่า T1 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงที่ดีกว่า ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสุดในการย่อยสลายและทำให้ค่า TOC ลดลงหลังจากฉายแสง 60 นาทีเท่ากับ 19.72 และ 14.86 % ตามลำดับ

เครื่องปฏิกรณ์เชิงแสงชนิดถังกรองหมุนที่ใช้ผงไททาเนียชนิด T1 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง สามารถแก้ไขปัญหาการสูญเสียตัวเร่งปฏิกิริยาในระหว่างการแยกออกจากสายทางออก ในการวิจัยนี้ชั้นเล็กของไททาเนียมีความหนา 200 ไมโครเมตร บนกระดาษกรองชนิด HEPA สารละลายฟีนอลที่มีความเข้มข้นแรกเริ่ม 25 มก.ต่อลิตร และปริมาตรน้ำที่บำบัด 25 ลบ.คม. ได้ทำการตรวจสอบผลกระทบของความเร็วรอบหมุนของถังที่ 5 10 20 และ 30 รอบต่อนาที และความเร็วในการกรอง 0.52 0.73 และ 0.84 ซม.ต่อนาที ที่มีต่อการสลายตัวของฟีนอล ผลการทดลองเบื้องต้นของผลกระทบของความเร็วรอบหมุนที่มีต่อความหนาชั้นน้ำบนถังหมุนแสดงให้เห็นว่าความหนาเฉลี่ยเชิงประสิทธิผลของชั้นน้ำจะมากขึ้นเมื่อความเร็วรอบหมุนเพิ่มขึ้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราการย่อยสลายฟีนอลและอัตราการลดลงของค่า TOC จะช้าลงเมื่อความเร็วรอบหมุนของถังเพิ่มขึ้น ความเร็วรอบหมุนที่เหมาะสมคือ 5 รอบต่อนาที ในกรณีของความเร็วการกรองพบว่า ความเร็วในการกรองที่เหมาะสมที่สุดคือ 0.73 เซนติเมตรต่อนาที ปฏิกริยาที่ใช้แสงอย่างเดียวถูกทำการศึกษาเพื่อหาประสิทธิภาพที่แท้จริงของชั้นเล็กไทเทเนียมไดออกไซด์ในการย่อยสลายฟีนอล ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการย่อยสลายฟีนอลโดยใช้แสงอย่างเดียวเป็นเวลา 360 นาที มีค่าเท่ากับ 4.96 % ในขณะที่ประสิทธิภาพในการย่อยสลายฟีนอลโดยชั้นเล็กไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่า 21.47 % เป็นการบ่งชี้ว่าชั้นเล็กไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นปัจจัยหลักในการสลายตัวฟีนอล นอกจากนี้ได้มีการศึกษาการดูดซับฟีนอลบนชั้นเล็กไทเทเนียมไดออกไซด์ ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลมีค่าประมาณ 0.95 % ซึ่งน้อยมาก

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2548.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4770319521 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: PHOTOCATALYTIC DECOMPOSITION / PHOTOCATALYST /
TITANIUM DIOXIDE / PHENOL

NAPAWON THONGPRACHAN : A NOVEL ROTARY DRUM
FILTERING REACTOR FOR PHOTOCATALYTIC DECOMPOSITION OF
PHENOL IN SLURRY CONTAINING TITANIUM DIOXIDE
NANOPARTICLES. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. TAWATCHAI
CHARINPANITKUL, D.Eng., THESIS CO-ADVISOR : PROF. WIWUT
TANTHAPANICHAKOON, Ph.D., 74 pp. ISBN 974-53-1056-5

Two titania with different crystallite sizes (T1 (anatase, average crystallite size of 30 nm, BET surface area of 56-59 m² g⁻¹) and N1 (anatase, apatite coated particles of 400-500 nm, BET surface area of 64 m² g⁻¹)) were investigated using a shaker-type photoreactor to find out the better photocatalyst for degrading the phenol solution and applying it in a novel rotary drum filtering photoreactor system. T1 proved to be the better photocatalyst, whose highest decomposition and TOC depletion efficiency of phenol after 60 min were 19.72 and 14.86 %, respectively.

A rotary drum filtering photoreactor used T1 as photocatalyst and it could eliminate the problem of catalyst loss by elutriation with the effluent stream. In this study, the thickness of TiO₂ cake on the HEPA filter was 200 μm, the initial concentration of phenol was 25 ppm, and the volume of treated water was 25 dm³. The rotating speed of the drum was 5, 10, 20, or 30 rpm and the filtration velocity was 0.52, 0.73, or 0.84 cm min⁻¹. Preliminary results on the effect of the rotating speed on the water film thickness on the drum showed that the effective average water film thickness became thicker as the rotating speed increased. The experimental results revealed that the decomposition rate of phenol and TOC depletion rate decreased against the increased rotating speed. The suitable speed of the drum was 5 rpm. As for the filtration velocity, the phenol decomposition rate and TOC depletion rate achieved the optimum when the filtration velocity was 0.73 cm min⁻¹. To obtain the intrinsic capacity of TiO₂ cake in degrading phenol, the photolysis of phenol was also studied. The results indicated that the photolysis efficiency of phenol after 360 min was 4.96 % while the decomposition efficiency of phenol was 21.47 %. They indicated that the presence of TiO₂ cake was a key factor for degrading phenol. In addition, the dark adsorption of phenol on TiO₂ cake was verified. We found that the adsorption efficiency of phenol on TiO₂ cake for 30 min was insignificant, which was about 0.95 %.

Department.....Chemical Engineering....Student's signature.....*N. Thongprachan*
Field of study.....Chemical Engineering...Advisor's signature.....*V. Charinpanitkul*
Academic year...2005.....Co-advisor's signature.....*W. Tanthapanichakoon*

ACKNOWLEDGEMENTS

The author would like to thank Prof. Wiwut Tanthapanichakoon and Assoc. Prof. Tawatchai Charinpanitkul for their continuous advising many interesting subject, deep discussion, and encouragement to pass by the problem and obstacle throughout this project including the training for developing the self-learning.

In addition, the author would like to thank lecturer Arthorn Vijitamornlert of Mahachai Plastic Industrial for his support in experimental setup.

The author is grateful to Prof. Yasushige Mori of Doshisha University, Kyoto, Japan for providing the nanotitania sample and New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) for financial support.

The author would like to acknowledge Assoc. Prof. Siriporn Damrongsakkul, Assist. Prof. Joongjai Panpranot, and Dr. Wiyong Kangwansupamonkon for their useful comments and participation as the thesis committee.

Furthermore, the author is very grateful to Mr. Poonlasak Muthakarn, Mr. Nawin Viriya-empikul, and Mr. Adisak Saiyasuk for their useful suggestions, kindly helping and encouragement. Moreover, Mr. Kijchai Kanjanapaparkul is also acknowledged due to his hospitality and encouragement to set up the experimental apparatus. As well, the author thanks research assistants and helpmate in Particle Technology and Material Processing Laboratory of Chulalongkorn University for their helpful all of things.

Finally, the author thanks my family for giving me support, for encouragement to pursue my interests, and for listening to my complaints and frustrations.

CONTENTS

	Page
ABSTRACT IN THAI	iv
ABSTRACT IN ENGLISH	v
ACKNOWLEDGEMENTS	vi
CONTENTS	vii
LIST OF TABLES	x
LIST OF FIGURES	xi
NOMENCLATURE	xiii
 CHAPTER	
I INTRODUCTION	1
1.1 Background	1
1.2 Objectives of study	2
1.3 Scopes of research	2
1.4 Expected benefits	3
II FUNDAMENTAL KNOWLEDGE AND LITERATURE REVIEW	4
2.1 Phenol	4
2.2 Titanium dioxide photocatalyst	6
2.3 Photocatalytic reaction	8
2.4 The pollutants removal using titanium dioxide	11
2.5 Filtration fundamental	16

CHAPTER	Page
III EXPERIMENTAL	18
3.1 Synthetic wastewater	18
3.2 Analytical instruments	18
3.3 Photocatalysts	21
3.4 Photocatalytic reactor	21
3.4.1 Shaker	21
3.4.2 Rotary drum filtering reactor	22
3.5 Experimental procedure	25
IV RESULTS AND DISCUSSION	26
4.1 Finding the adsorption and decomposition efficiency and initial rate of titania in degrading phenol using the shaker-type photoreactor	26
4.1.1 Phenol removal efficiency	27
4.1.2 Initial rate of photocatalytic degradation	28
4.2 Characterization of TiO ₂ cake formed on the surface of HEPA filter	29
4.3 Phenol removal using rotary drum filtering photoreactor	30
4.3.1 Effect of rotating speed of the drum on phenol removal	31
4.3.2 Effect of filtration velocity on phenol removal	33
4.3.3 Effect of direct photolysis on the phenol removal	35
4.3.4 Adsorption of phenol on TiO ₂ cake	37
V CONCLUSION	38
5.1 Choosing the better titanium dioxide	38
5.2 Phenol removal using rotary drum filtering photoreactor	38
5.3 Recommendation for future work	40

CHAPTER	Page
REFERENCES	41
APPENDICES	44
APPENDIX A Publications Resulting from This Research Work	45
APPENDIX B Experimental Results	51
APPENDIX C Experimental Procedure of Rotary Drum Filtering Reactor System	57
VITA	60

LIST OF TABLES

	Page
Table 1.1 Physical characteristics of titania samples	3
Table 2.1 The important properties of phenol	6
Table 2.2 Comparison of rutile and anatase	8
Table 4.1 Phenol removal efficiency (%) and initial decomposition rate of each titania	28
Table 4.2 The initial degradation rate of phenol at various rotating speeds of the drum	31
Table 4.3 The initial degradation rate of phenol at various rotating speeds of the drum	32

LIST OF FIGURES

	Page
Figure 2.1 Crystalline phase of TiO ₂	7
Figure 2.2 Principle mechanism of photocatalytic reaction	9
Figure 2.3 Particle deposition in filtration	16
Figure 3.1 Scanning Electron Microscopy (SEM) (JEOL, JSM-5800 LV)	19
Figure 3.2 High Performance Liquid Chromatography (HPLC)	20
Figure 3.3 TOC analyzer	20
Figure 3.4 Arrangement of the batch reactors and lamps in the shaker (T1, T2, T3, and T4 are test tubes with samples of organic solution and titania; B1 and B2 are test tubes with samples of only organic solution)	22
Figure 3.5 A schematic diagram of the setup of TiO ₂ cake-covered rotary drum filtering reactor	23
Figure 3.6 A photo of the bare rotary drum filtering reactor	24
Figure 3.7 A photo of the experimental set-up of rotary drum filtering reactor	24
Figure 4.1 Comparison of phenol removal by each titania in terms of phenol and TOC	29
Figure 4.2 SEM image of HEPA filter fibers	30
Figure 4.3 SEM image of TiO ₂ (T1) cake formed on the surface of HEPA filter	30
Figure 4.4 Decomposition of phenol at various rotating speeds of the drum using filtration velocity of 0.73 cm min ⁻¹	32

Figure 4.5 TOC depletion at various rotating speeds of the drum using filtration velocity of 0.73 cm min^{-1}	33
Figure 4.6 Comparison decomposition of phenol at various filtration velocities	34
Figure 4.7 Comparison TOC depletion at various filtration velocities	35
Figure 4.8 Effect of direct photolysis on the decomposition of phenol using rotating speed of the drum of 5 rpm and filtration velocity of 0.73 cm min^{-1}	36
Figure 4.9 Effect of direct photolysis on the TOC depletion using rotating speed of drum of 5 rpm and filtration velocity of 0.73 cm min^{-1}	36
Figure 4.10 Dark adsorption of phenol on TiO_2 cake in terms of phenol and TOC using filtration velocity of 0.73 cm min^{-1} and rotating speed of 5 rpm	37

NOMENCLATURE

A	=	filtration area (m^2)
c	=	dry cake mass per filtrate volume (kg/m^3)
C	=	residual concentration at any time (ppm)
C_0	=	initial concentration (ppm)
$C_{b,lr}$	=	the average residual concentration of phenol in the blank samples in the irradiation experiment (ppm)
$C_{b,NI}$	=	the average residual concentration of phenol in the blank samples in the absence of irradiation (ppm)
C_i	=	the initial concentration of phenol at the start of the experiment (ppm)
C_{lr}	=	residual concentration at any time in the irradiation experiment (ppm)
$C_{t,lr}$	=	the average residual concentration of phenol in the test samples in the irradiation experiment (ppm)
$C_{t,NI}$	=	the average residual concentration of phenol in the test samples in the absence of irradiation (ppm)
P	=	pressure (N/m^2)
R_m	=	medium resistance ($1/m$)
t	=	time (sec)
TOC	=	residual total organic carbon concentration at any time (ppm)
TOC ₀	=	initial total organic carbon concentration (ppm)

$TOC_{b,NI}$	=	the average residual total organic carbon concentration of solution in the blank samples in the absence of irradiation (ppm)
$TOC_{t,NI}$	=	the average residual total organic carbon concentration of solution in the test samples in the absence of irradiation (ppm)
$TOC_{b,lr}$	=	the average residual total organic carbon concentration of solution in the blank samples in the irradiation experiment (ppm)
$TOC_{t,lr}$	=	the average residual total organic carbon concentration of solution in the test samples in the irradiation experiment (ppm)
TOC_i	=	the initial total organic carbon concentration of solution at the start of the experiment (ppm)
V	=	filtrate volume (m^3)
μ	=	liquid viscosity (Pa.s)
α	=	local specific cake resistance (m/kg)