

การกำจัดเชื้อไวรัสโคโรนา (III) และเชื้อไวรัสเอนเทอโรไวรัส (II) โดยกระบวนการ  
ออกซิเดชันด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์



นายปิยะพงษ์ เรืองถาวร

ศูนย์วิจัยทรัพยากร

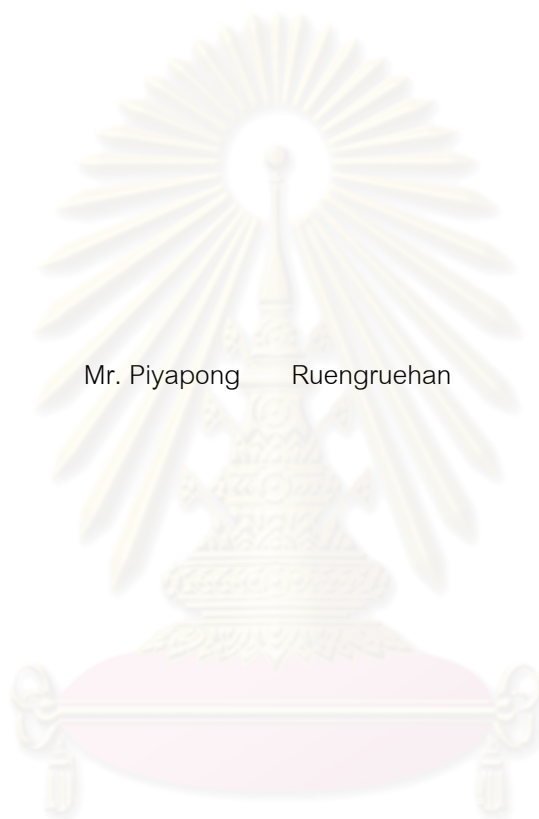
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REMOVAL OF HEXACYANOCOBALTATE (III) AND TETRACYANONICKELATE (II) BY  
OXIDATION USING ULTRAVIOLET WITH TITANIUM DIOXIDE



Mr. Piyapong Ruengruehan

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

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การกำจัดเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตต (III) และเตตระไฮยาโน  
นิกเกิลเลต (II) โดยกระบวนการออกซิเดชันด้วยรังสีอัลตรา  
ไวโอเล็ตร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์

โดย

นายปิยะพงษ์ เรืองฤาหาร

สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เขมรัฐ โสธาทพันธุ์


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต

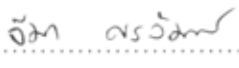
  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เขมรัฐ โสธาทพันธุ์)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนัสกร ราชอาณาจักร)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จีมา ชมสุรินทร์)

ปิยะพงษ์ เรื่องอาหาร : การกำจัดเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต (III) และเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต (II) โดยกระบวนการออกซิเดชันด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์. (Removal of hexacyanocobaltate (III) and tetracyanonickelate (II) by oxidation using ultraviolet with titanium dioxide) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร.เชมรัฐ โสสถาพันธุ์, 206 หน้า.

การทำวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาการกำจัดไซยาไนด์และสารประกอบไซยาไนด์โดยใช้กระบวนการออกซิเดชันด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ และความสามารถในการกำจัดไซยาไนด์ ด้วยการแปรค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยแปรค่าพีเอช (9.5 10.5 12.0) ความเข้มข้นเริ่มต้นของไซยาไนด์และสารประกอบไซยาไนด์ (100 500 1,000 ไมโครโมลาร์) ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ (0.1 0.5 1.0 1.5 2.0 กรัมต่อลิตร) และอัตราการเติมอากาศ (0.5 1.0 2.0 ลิตรต่อนาที) ผลการทดลองสามารถแบ่งได้เป็นดังนี้

การศึกษากการออกซิไดซ์ไซยาไนด์อิสระโดยสภาวะที่เหมาะสมในการออกซิไดซ์สารไซยาไนด์อิสระ คือความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร พีเอชเท่ากับ 9.5 อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที โดยใช้เวลาในการกำจัดไซยาไนด์ให้เหลือ 100.00 % ในเวลา 180 นาที โดยการออกซิไดซ์สารไซยาไนด์จะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อมีความเข้มข้นต่ำที่ 100 ไมโครโมลาร์ แต่เนื่องจากไซยาไนด์อิสระมีความเป็นพิษสูงดังนั้นการเลือกสภาวะที่พีเอชสูงจะช่วยให้ปลอดภัยจากก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ ดังนั้นในการนำมาประยุกต์ใช้ควรเลือกที่พีเอช 12.0

การศึกษากการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต โดยสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต ในน้ำเสียสังเคราะห์ คือความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.5 กรัมต่อลิตร พีเอชเท่ากับ 12.0 อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที โดยสามารถกำจัดสารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตได้ 31.76 % ในเวลา 180 นาที การออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อมีความเข้มข้นต่ำที่ 100 ไมโครโมลาร์

การศึกษากการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต โดยสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสารประกอบเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต ในน้ำเสียสังเคราะห์ คือความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.5 กรัมต่อลิตร พีเอชเท่ากับ 12.0 อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที โดยสามารถกำจัดสารประกอบเตตระไซยาโนนิกเกิลเลตได้ 66.12 % ในเวลา 180 นาที การออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไซยาโนนิกเกิลเลตจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อมีความเข้มข้นต่ำที่ 100 ไมโครโมลาร์

การศึกษากการออกซิไดซ์สารประกอบผสม [เตตระไซยาโนนิกเกิลเลตและสารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต] โดยสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสารประกอบผสม คือความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.5 กรัมต่อลิตร พีเอชเท่ากับ 12.0 อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที โดยสามารถกำจัดสารประกอบผสม [เตตระไซยาโนนิกเกิลเลตและสารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต] ได้ 42.62 % ในเวลา 180 นาที การออกซิไดซ์สารประกอบผสม จะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อมีความเข้มข้นต่ำที่ 100 ไมโครโมลาร์

ภาควิชา...วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิสิต..... 

สาขาวิชา...วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก..... 

ปีการศึกษา...2552.....

# # 5070585721 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : HEXACYANOCOBALTATE (III) /TETRACYANONICKELATE (II) /OXIDATION

PIYAPONG RUENGRUEHAN: REMOVAL OF HEXACYANOCOBALTATE (III) AND  
TETRACYANONICKELATE (II) BY OXIDATION USING ULTRAVIOLET AND TITANIUM  
DIOXIDE. THESIS ADVISOR : KHEMARATH OSATHAPHAN, Ph.D., 206pp.

This research is to study about removal of hexacyanocobaltate and tetracyanonickelate by oxidation using ultraviolet with titanium dioxide. To compare and efficiency in the removal of cyanide by changing parameter. To set up pH (9.5 10.5 12.0). The beginning level of cyanide and cyanide-complex (100 500 1,000 micro-molar). The level of titanium dioxide (0.1 0.5 1.0 1.5 2.0 gram per liter) and air flow rate (0.5 1.0 2.0 liter per minute). The result of experiment can be summarized as follow:

The study of cyanide oxidation in the situation that is proper for cyanide oxidation, is the level of titanium dioxide 1.0 gram per liter, pH is 9.5. Air flow rate is 0.5 liter per minute with using time for cyanide removal as 100% in 180 minute. Cyanide oxidation can occur well in low level is 100 micro-molars. But cyanide has high level so selecting high pH can be safe from hydrogen-cyanide. Then the implementation should select pH as 12.0.

The study of heacyanocobaltate oxidation in situation that is proper for hexacyanocobaltate removal in synthetic wastewater, is the level of titanium dioxide 1.5 gram per liter, pH is 12.0, air flow rate is 0.5 liter per minute with using time for hexacyanocobaltate removal as 31.76% in 180 minute. Hexacyanocobaltate can occur well in low level at 100 micro-molars.

The study of tetracyanonickelate oxidation in situation that is proper for tetracyanonickelate removal in synthetic wastewater, is level of titanium dioxide 1.5 gram per liter. pH is 12.0, air flow rate is 0.5 liter per minute with using time for tetracyanonickelate removal as 66.12% in 180 minute. Tetracyanonickelate oxidation can be occur well in low level at 100 micro-molars.

The study of mixture oxidation in situation that is proper for mixture removal in synthetic wastewater, is the level of titanium dioxide 1.5 gram per liter, pH is 12.0, air flow rate is 0.5 liter per minute with using time for mixture removal as 42.62% in 180 minute. Mixture oxidation can be occur well in low level at 100 micro-molars.

Department : Environmental Engineering

Field of Study : Environmental Engineering

Academic Year : 2009

Student's Signature

Advisor's Signature

*Piyapong Ruengruehan*  
*Khemarath Osathaphan*

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้อง เป็นอย่างสูงที่ให้การช่วยเหลือในด้านทุนทรัพย์ และกำลังใจที่ดีเสมอมา ซึ่งทำให้ข้าพเจ้าสามารถฝ่าฟันอุปสรรคต่าง ๆ ในการศึกษาเล่าเรียนมาได้ตลอด

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เขมรัฐ โอสถาพันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้แนวทางและคำแนะนำอย่างดียิ่งในการทำวิจัยตลอดมาจนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ดร. Virender K. Sharma สำหรับการแนะนำสารเอกซะไซยาโนโคบอลเตต สารเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต และเอกสารงานวิจัยต่าง ๆ ที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนัสกร ราชากรกิจ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จีมา ชมสุรินทร์ ที่ได้สละเวลาเพื่อเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณพี่ม้อ พี่ ๆ ห้องธุรการ ที่ช่วยให้คำปรึกษาต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พี่แหม่ม เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของโครงการศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสมาคมศิษย์เก่า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มอบเงินอุดหนุนในการศึกษาและทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้องๆ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่คอยเพิ่มเสียงหัวเราะและช่วยเหลือข้าพเจ้าในเรื่องต่าง ๆ เป็นอย่างดีเสมอมา



# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ด
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า.....	4
2.1.1 หลักการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า.....	4
2.1.2 ขั้นตอนการชุบโลหะ.....	5
2.1.3 ลักษณะของเสียจากการชุบโลหะ.....	7
2.2 ไซยาไนต์	
2.2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไซยาไนต์.....	9
2.2.2 ชนิดของสารประกอบไซยาไนต์.....	10
2.2.3 สถานะของสารประกอบไซยาไนต์.....	11
2.2.4 เสถียรภาพของสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนต์.....	12
2.2.5 ความเป็นพิษและปัจจัยที่มีผลต่อระดับความเป็นพิษ.....	13
2.2.6 ค่ามาตรฐานของไซยาไนต์.....	14
2.2.7 การบำบัดไซยาไนต์ในน้ำเสีย (Cyanide Treatment).....	14
2.2.8 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	28
3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี.....	28
3.1.1 วัสดุอุปกรณ์.....	28
3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....	28
3.2 น้ำเสียสังเคราะห์.....	29

3.3	ตัวแปรในการวิจัยและวิธีดำเนินการวิจัย.....	30
3.3.1	ศึกษาการกำจัดไซยาไนด์ในรูปของไซยาไนด์อิสระ $[(CN)^-]$ .....	30
3.3.2	ศึกษาการกำจัดไซยาไนด์ในรูปของเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต $[(Co(CN)_6]^{3-})$ .....	39
3.3.3	ศึกษาการกำจัดไซยาไนด์ในรูปของเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต $[(Ni(CN)_4]^{2-})$ .....	48
3.3.4	ศึกษาการกำจัดไซยาไนด์ในรูปของสารประกอบผสม.....	57
บทที่ 4	ผลการวิจัย.....	66
4.1	ผลการศึกษาการกำจัดไซยาไนด์ในรูปของไซยาไนด์อิสระ $[(CN)^-]$ .....	66
4.2	ผลการศึกษาการกำจัดไซยาไนด์ในรูปของเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต $[(Co(CN)_6]^{3-})$ .....	77
4.3	ผลการศึกษาการกำจัดไซยาไนด์ในรูปของเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต $[(Ni(CN)_4]^{2-})$ .....	88
4.4	ผลการศึกษาการกำจัดไซยาไนด์ในรูปของสารประกอบผสม.....	99
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	111
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	111
5.2	ความสำคัญทางด้านวิศวกรรมและการนำไปใช้ประโยชน์.....	112
5.3	ข้อเสนอแนะ.....	112
	รายการอ้างอิง.....	113
	ภาคผนวก.....	118
	ภาคผนวก ก. ผลการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์.....	119
	ภาคผนวก ข. รูปแบบของถังปฏิกรณ์.....	197
	ภาคผนวก ค. รายละเอียดของหลอดยูวี.....	200
	ภาคผนวก ง. รายละเอียดเกี่ยวกับไทเทเนียมไดออกไซด์.....	202
	ภาคผนวก ฉ. รายละเอียดการคำนวณ.....	204
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	206



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1	ผลการตรวจวัดลักษณะสมบัติของน้ำเสียเฉลี่ย.....7
2-2	แหล่งกำเนิดสารที่พิษจากกระบวนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า.....9
2-3	ค่าคงที่ของค่าคงตัว ( $\beta$ ) ของสารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์.....13
2-4	ค่าคงที่ของความคงตัว (K) ของสารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์.....13
2-5	ความเป็นพิษของสารประกอบไซยาไนด์ในรูปแบบต่างๆ.....14
2-6	ค่าความเป็นพิษและวิธีการได้รับสัมผัส.....14
2-7	ความเข้มข้นของสารประกอบไซยาไนด์ที่ก่อให้เกิดพิษต่อสิ่งมีชีวิต.....15
2-8	ค่ามาตรฐานต่างๆไซยาไนด์ในแหล่งน้ำของประเทศไทย.....15
3-1	ตัวแปรในการศึกษาผลของพีเอชและความเข้มข้นของไซยาไนด์ ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์.....30
3-2	ตัวแปรในการศึกษาผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์.....33
3-3	ตัวแปรในการศึกษาผลของอัตราการเติมอากาศต่อประสิทธิภาพ ในการกำจัดไซยาไนด์.....36
3-4	ตัวแปรในการศึกษาผลของพีเอชและความเข้มข้นของเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตต่อ ประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต.....39
3-5	ตัวแปรในการศึกษาผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพ ในการกำจัดสารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต.....42
3-6	ตัวแปรในการศึกษาผลของอัตราการเติมอากาศ ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต.....45
3-7	ตัวแปรในการศึกษาผลของพีเอชและความเข้มข้นของเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต.....48
3-8	ตัวแปรในการศึกษาผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต.....51
3-9	ตัวแปรในการศึกษาผลของอัตราการเติมอากาศ ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต.....54
3-10	ตัวแปรในการศึกษาผลของพีเอชและความเข้มข้นของสารประกอบผสม ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบผสม.....57



















## สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2-1	การชุบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า.....5
2-2	แผนผังของเสียจากขั้นตอนการชุบโลหะ.....8
2-3	ความเข้มข้นของไซยาไนด์อิสระและไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ pH ต่างๆ.....10
2-4	การเกิดสถานะของไซยาไนด์ที่ pH ต่างๆ.....12
3-1	ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ทดลอง.....29
3-2	ขนาดของถังปฏิกรณ์.....30
3-3	แผนผังขั้นตอนการทดลองที่ 3.3.1.1.....32
3-4	แผนผังขั้นตอนการทดลองที่ 3.3.1.2.....35
3-5	แผนผังขั้นตอนการทดลองที่ 3.3.1.3.....38
3-6	แผนผังขั้นตอนการทดลองที่ 3.3.2.1.....41
3-7	แผนผังขั้นตอนการทดลองที่ 3.3.2.2.....44
3-8	แผนผังขั้นตอนการทดลองที่ 3.3.2.3.....47
3-9	แผนผังขั้นตอนการทดลองที่ 3.3.3.1.....50
3-10	แผนผังขั้นตอนการทดลองที่ 3.3.3.2.....53
3-11	แผนผังขั้นตอนการทดลองที่ 3.3.3.3.....56
3-12	แผนผังขั้นตอนการทดลองที่ 3.3.4.1.....59
3-13	แผนผังขั้นตอนการทดลองที่ 3.3.4.2.....62
3-14	แผนผังขั้นตอนการทดลองที่ 3.3.4.3.....65
4-1	ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร.....67
4-2	ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์ ไซยาเนตและเวลา พีเอช 9.5 อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 100 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร.....68
4-3	ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา พีเอช 9.5 อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร.....69
4-4	ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา พีเอช 9.5 อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร .....70

4-5	ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อ นาที่ พีเอช 10.5 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร นาที่.....	71
4-6	ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อ นาที่ พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร.....	72
4-7	ความสัมพันธ์ระหว่าง % ประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์และพีเอชต่างๆ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที.....	72
4-8	ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา ความเข้มข้นของไทเทเนียม ไดออกไซด์ต่าง ๆ กัน อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0 .....	74
4-9	ความสัมพันธ์ระหว่าง % ประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์และความเข้มข้น ของไทเทเนียมไดออกไซด์ ความเข้มข้นเริ่มต้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0 .....	74
4-10	ความสัมพันธ์ระหว่างไซยาไนด์และเวลา ที่อัตราการเติมอากาศต่าง ๆ กัน ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตรความเข้มข้นเริ่มต้น ของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ พีเอช 12.0.....	75
4-11	ความสัมพันธ์ระหว่าง % ประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์และอัตราการเติม อากาศ ความเข้มข้นเริ่มต้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของ ไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร พีเอช 12.0 .....	76
4-12	ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา ที่สภาวะการทดลองต่าง ๆ .....	78
4-13	ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์ ไซยาเนตและเวลา ความเข้มข้นของไทเท เนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร พีเอช 12.0 อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที.....	79
4-14	ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา ความเข้มข้นของไทเทเนียมได ออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที.....	80
4-15	ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา พีเอช 9.5 ความเข้มข้นไทเทเนียม ไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที.....	81
4-16	ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา พีเอช 10.5 ความเข้มข้นของไทเท เนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที.....	82
4-17	ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา พีเอช 12.0 ความเข้มข้นไทเท เนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที.....	83

4-18 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตตและพีเอช ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที.....83

4-19 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่าง ๆ กัน อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0.....85

4-20 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตตและความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตต (รูปไซยาไนด์) 500 ไมโครโมลาร์ อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0 .....85

4-21 ความสัมพันธ์ระหว่างไซยาไนด์และเวลา ที่อัตราการเติมอากาศต่าง ๆ กัน ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ พีเอช 12.0.....87

4-22 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์และอัตราการเติมอากาศที่สภาวะความเข้มข้นเริ่มต้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร พีเอช 12.0 .....88

4-23 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา ที่สภาวะการทดลองต่าง ๆ.....90

4-24 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์ ไซยาเนตและเวลา พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ความเข้มข้นของเตตระไฮยาโนนิกเกิลเลต 500 ไมโครโมลาร์ .....90

4-25 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์.....91

4-26 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา พีเอช 9.5 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที.....92

4-27 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา พีเอช 10.5 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที.....93

4-28 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที.....94

4-29 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตตและพีเอช ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที.....94



4-30	ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่าง ๆ กัน อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0 .....	96
4-31	ความสัมพันธ์ระหว่าง % ประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเตตระไฮยาโนนิก เกิดเลตและความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลต (รูปไซยาไนด์) 500 ไมโครโมลาร์ อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0 .....	96
4-32	ความสัมพันธ์ระหว่างไซยาไนด์และเวลา ที่อัตราการเติมอากาศต่าง ๆ กัน ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ พีเอช 12.0.....	98
4-33	ความสัมพันธ์ระหว่าง % ประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเตตระไฮยาโนนิก เกิดเลตและอัตราการเติมอากาศ ความเข้มข้นเริ่มต้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร พีเอช 12.0.....	99
4-34	ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา ที่สภาวะการทดลองต่าง ๆ .....	101
4-35	ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์ ไซยาเนตและเวลา พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที.....	102
4-36	ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ความเข้มข้นของสารประกอบผสม (รูปไซยาไนด์) 500 ไมโครโมลาร์.....	103
4-37	ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา พีเอช 9.5 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที.....	104
4-38	ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา พีเอช 10.5 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที.....	105
4-39	ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที.....	106
4-40	ความสัมพันธ์ระหว่าง % ประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบผสมและพีเอช ที่สภาวะความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที.....	106
4-41	ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่าง ๆ กัน พีเอช 12.0 .....	108



- 4-42 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบผสมและความ  
เข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบผสม  
(รูปโซยาไนต์) 500 ไมโครโมลาร์ อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0.....108
- 4-43 ความสัมพันธ์ระหว่างโซยาไนต์และเวลา ที่อัตราการเติมอากาศต่าง ๆ กัน ความ  
เข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของ  
สารประกอบผสม (รูปโซยาไนต์) 500 ไมโครโมลาร์ พีเอช 12.0.....110
- 4-44 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบผสมและอัตรา  
การเติมอากาศ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบผสม (รูปโซยาไนต์) 500  
ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร พีเอช 12.0.....110



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการชุบโลหะในประเทศไทยเป็นกลุ่มอุตสาหกรรม ที่มีอัตราการเติบโตเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ การเพิ่มขึ้นดังกล่าวก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมขึ้น เนื่องจากไม่มีการจัดการด้านของเสียอย่างถูกต้องและต่อเนื่อง (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548) ปัญหาที่พบส่วนใหญ่จะเป็นปัญหาเกี่ยวกับของเสียที่เป็นสารเคมีที่เกิดจากกระบวนการต่างๆของการชุบโลหะ ทั้งกระบวนการทางกายภาพ ทางเคมี และทางไฟฟ้า เช่น น้ำทิ้งที่เกิดจากการล้างชิ้นงาน น้ำยาล้างชิ้นงาน น้ำยาชุบโลหะที่ผ่านการใช้งานแล้ว (วลัยรัตน์ จันทรวงศ์, 2542)

อุตสาหกรรมการชุบโลหะในประเทศไทยแบ่งตามประเภทการชุบได้เป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มอุตสาหกรรมชุบโลหะนิกเกิล กลุ่มอุตสาหกรรมชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม กลุ่มอุตสาหกรรมชุบโลหะโครเมียม กลุ่มอุตสาหกรรมชุบโลหะทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม และกลุ่มอุตสาหกรรมชุบโลหะสาร์ตโครม ซึ่งของเสียที่เกิดจากกระบวนการในการชุบโลหะแต่ละแบบจะแตกต่างกันไปตามแต่ละประเภทการชุบ

น้ำยาที่ใช้ในการชุบโลหะนั้นจะมีส่วนผสมของไซยาไนด์เป็นองค์ประกอบ (อนันต์ ทองมธัญ, 2537) ซึ่งไซยาไนด์จะมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต โดยมนุษย์จะได้รับพิษของไซยาไนด์เข้าสู่ร่างกายได้หลายทาง เช่น ทางลมหายใจ ทางการสัมผัส และทางปาก (International Cyanide Management, 2002) โดยเมื่อได้รับพิษของไซยาไนด์แล้วจะมีผลต่อร่างกายของมนุษย์แบ่งเป็น 2 แบบคือ แบบที่หนึ่งพิษแบบเฉียบพลัน มักเกิดกับผู้ที่ต้องทำงานเกี่ยวข้องกับกาใช้ หรือการผลิตสารประกอบไซยาไนด์ ซึ่งเมื่อได้รับสารพิษชนิดนี้เข้าไปจะเป็นอันตรายต่อระบบสมองและหัวใจ และอาจถึงตายได้ในเวลาไม่กี่นาที ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นและระยะเวลาในการสัมผัสความเป็นพิษแบบที่สองพิษแบบเรื้อรัง มักเกิดจากการได้รับไซยาไนด์ในปริมาณความเข้มข้นต่ำ แต่ได้รับเป็นระยะเวลานาน ไม่ทำอันตรายให้ถึงตายในทันที แต่จะทำให้เกิดการสะสมในร่างกาย ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบหายใจ เช่น หายใจติดขัด เจ็บหน้าอก ปวดศีรษะ อาเจียน ต่อมน้ำไทรอยด์โต และยังมีผลต่อการเกิดโรคต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับระบบการหายใจ สมอง และการมองเห็น

กระบวนการในการกำจัดไซยาไนด์ที่ใช้ในปัจจุบันมีด้วยกันหลายวิธี เช่น การออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ การออกซิไดซ์ด้วยคลอรีน (Bozt, 2001) เป็นต้น กระบวนการทั้งหมดจะใช้สารเคมีในการทำปฏิกิริยากับไซยาไนด์ในน้ำ ซึ่งจะทำให้มีสารตกค้างเหลืออยู่ในธรรมชาติ ดังนั้น จึงมีผู้คิดค้นหากระบวนการอื่นมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียเหล่านี้แทนเพื่อลดปริมาณสาร

ตกค้าง คือ กระบวนการออกซิเดชันด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ (Photocatalytic Process)

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต (III) และเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต (II) โดยใช้กระบวนการออกซิเดชันด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์

### ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ การทดลองแบบเบ็ดเสร็จตลอดการวิจัย ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ โดยทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการของศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย (NCE-EHWM) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองจะใช้น้ำเสียสังเคราะห์ โดยกำหนดขอบเขตการวิจัยไว้ดังนี้

1. น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ 4 ชนิด คือ
  - น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต ( $[\text{Co}(\text{CN})_6]^{3-}$ )
  - น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต ( $[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$ )
  - น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีทั้งสารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตและสารประกอบเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต ( $[\text{Co}(\text{CN})_6]^{3-} + [\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$ )
  - น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบของไซยาโนอิดิสระ ( $\text{CN}^-$ )
2. พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ คือ พีเอช ไซยาไนด์ ( $\text{CN}^-$ ) ไซยาเนต ( $\text{CNO}^-$ ) ไนไตรท์ ( $\text{NO}_2^-$ ) ไนเตรท ( $\text{NO}_3^-$ )
3. สารเคมีที่ใช้เป็นสารเคมี Lab Grade ความบริสุทธิ์  $> 99.5\%$
4. การวิเคราะห์ค่าของไซยาไนด์ ( $\text{CN}^-$ ) ไซยาเนต ( $\text{CNO}^-$ ) ไนไตรท์ ( $\text{NO}_2^-$ ) ไนเตรท ( $\text{NO}_3^-$ ) ใช้เครื่องไอออนโครมาโตกราฟี (Ion Chromatography)

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบประสิทธิภาพและสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต โดยใช้กระบวนการออกซิเดชันด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์
2. ทราบประสิทธิภาพและสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต โดยใช้กระบวนการออกซิเดชันด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์

3. ทราบประสิทธิภาพและสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสารประกอบผลสมระหว่างเฮกซะไซยานโคบอลต์เตตและเตตระไซยานอนิกเกิลเลต โดยใช้กระบวนการออกซิเดชันด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์
4. ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในเชิงทฤษฎีในการบำบัดน้ำเสียที่มีไซยาไนด์ โคบอลต์ และนิกเกิล เป็นส่วนประกอบ โดยใช้กระบวนการออกซิเดชันด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์



ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

อุตสาหกรรมการชุบโลหะมีวัตถุประสงค์ประสงค์ในการชุบที่แตกต่างกัน เช่น การชุบเพื่อความสวยงาม การชุบเพื่อป้องกันความเสียหายของชิ้นงาน การชุบเพื่อรองพื้นหรือเพิ่มความหนาของชิ้นงาน เป็นต้น

อุตสาหกรรมเกี่ยวกับการชุบโลหะสามารถแบ่งทั้งหมด 5 กลุ่ม ตามรูปแบบในการชุบโลหะ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548) เช่น กลุ่มอุตสาหกรรมชุบโลหะนิกเกิล กลุ่มอุตสาหกรรมชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม กลุ่มอุตสาหกรรมชุบโลหะโครเมียม กลุ่มอุตสาหกรรมชุบโลหะทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม และกลุ่มอุตสาหกรรมชุบโลหะฮาร์ดโครม

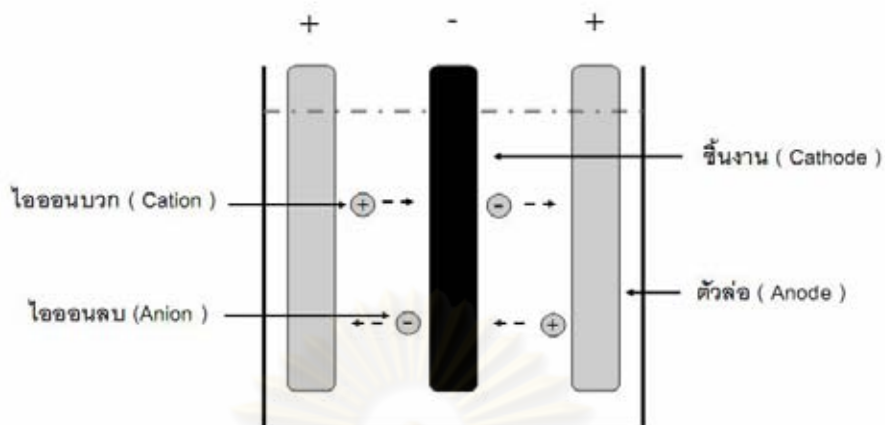
##### 2.1.1 หลักการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

หลักการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าเป็นกาการนำเอาโลหะชนิดหนึ่งหรือหลายชนิดไปเกาะ หรือห่อหุ้มโลหะอีกชนิดหนึ่ง เพื่อเป็นการเพิ่มคุณสมบัติให้เกิดความทนทานต่อการกัดกร่อนและให้เกิดความสวยงามนำไปใช้ ส่วนประกอบของการชุบโลหะด้วยไฟฟ้ามี 4 ส่วนที่สำคัญ คือ

1. สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)
2. ขั้วบวก (Anode)
3. ขั้วลบ (Cathode)
4. เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำ (Rectifier, Low Voltage)

กระบวนการในการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าเป็นการนำเอาชิ้นงาน หรือวัสดุที่สามารถนำไฟฟ้าได้มาเคลือบผิวโลหะโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งมีหลักการในการชุบคือ นำชิ้นงานที่จะชุบต่อเข้ากับขั้วลบ (Cathode) ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำ ส่วนโลหะที่ใช้เคลือบบนผิวชิ้นงานจะต่อเข้ากับขั้วบวก (Anode) ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งเรียกว่าตัวล่อ จากนั้นนำไปจุ่มลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์หรือตัวนำไฟฟ้า ซึ่งจะประกอบด้วยอนุมูล (Ions) ของโลหะที่ต้องการชุบละลายอยู่ (อนันต์ ทองมอญ, 2527) ดังรูปที่ 2.1

การผ่านกระแสไฟฟ้าตรงเข้าไปยังสารละลายอิเล็กโทรไลต์ อนุมูลของอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุไฟฟ้าลบ (Anion) จะวิ่งไปยังขั้วบวก (Anode) และอนุมูลที่มีประจุไฟฟ้าบวก (Cation) จะวิ่งไปเกาะที่ขั้วลบ (Cathode) ซึ่งประจุบวกของอนุมูลของโลหะจะถูกสะเทิน (Neutral) ด้วยอิเล็กตรอนจากวงจรไฟฟ้าให้กลายเป็นอะตอมของโลหะเคลือบเกาะติดอยู่บนผิวของขั้วลบ



รูปที่ 2-1 การชุบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า (อนันต์ ทองมอดู, 2527)

อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าบวก (Cation) จะวิ่งไปเกาะที่ขั้วลบ (Cathode) ซึ่งประจุบวกของอนุภาคของโลหะจะถูกสะเทิน (Neutral) ด้วยอิเล็กตรอนจากวงจรไฟฟ้าให้กลายเป็นอะตอมของโลหะเคลือบเกาะติดอยู่บนผิวของขั้วลบ (Cathode) ดังสมการที่ 2-1



นอกจากนี้ หากโลหะนั้นกลายเป็นชนิดเดียวกันกับโลหะที่จะไปเคลือบขั้วลบ ก็จะทำให้เกิดการออกซิไดซ์ให้อิเล็กตรอน และกลายเป็นไอออนบวกละลายลงในสารละลายดังสมการที่ 2-2



## 2.1.2 ขั้นตอนการชุบโลหะ

### 2.1.2.1 ขั้นตอนการเตรียมผิวขั้วลบ

ขั้นตอนการเตรียมผิวขั้วลบเป็นขั้นตอนแรกในกระบวนการชุบโลหะ ขั้นตอนนี้จะเป็นการเตรียมให้ขั้วลบมีความสะอาด ไม่มีสิ่งแปลกปลอมปนเปื้อนกับขั้วลบ ทำให้ผิวขั้วลบเรียบ ขั้นตอนการเตรียมผิวขั้วลบมีดังนี้

#### - ขั้นตอนการขัดผิวขั้วลบ

การขัดจนผิวหน้าเรียบจะทำให้คุณภาพขั้วลบหลังการชุบมีคุณภาพดี ผิวขั้วลบมีความเรียบสม่ำเสมอและการเกาะติดของโลหะจะแน่น

#### - ขั้นตอนการล้างไขมันด้วยด่าง



การล้างด้วยไขมันด้วยต่างเป็นขั้นตอนการทำความสะดวกขึ้นงานด้วยสารประเภทต่าง เช่น โซดาไฟ เป็นต้น วิธีการล้างปกติจะใช้วิธีการจุ่มหรือแบบสเปรย์

#### - ขั้นตอนการกำจัดสนิมด้วยกรด

ขั้นตอนนี้จะเป็นการกำจัดสนิมหรือฟิล์มออกไซด์ออกจากผิวชิ้นงาน ส่วนใหญ่จะใช้กรดเกลือหรือกรดไฮโดรคลอริก ซึ่งความเข้มข้นของกรดที่ใช้จะแตกต่างกันตามประเภทและความสกปรกของชิ้นงาน

#### 2.1.2.2 ขั้นตอนการชุบโลหะ

ขั้นตอนการชุบโลหะ เป็นขั้นตอนการชุบผิวชิ้นงานโลหะด้วยไฟฟ้า โลหะที่จะนำมาทำการชุบผิวนั้น ขึ้นอยู่กับความต้องการและวัตถุประสงค์ของการใช้งาน

##### 1. ขั้นตอนการชุบนิเกิล

การชุบนิกเกิลใช้กับชิ้นงานที่เป็นสังกะสี นิยมชุบเพื่อความสวยงามและความสะอาดในการทำความสะอาด โดยปกติแล้วมักจะตามด้วยการชุบโครเมียม เพราะจะทำให้ง่ายต่อการทำความสะอาด

##### 2. ขั้นตอนการชุบโครเมียม

สามารถที่จะแบ่งประเภทของการชุบได้ ดังนี้

- การชุบโครเมียมแบบบาง เนื่องจากโครเมียมนั้นมีความแข็งและเปราะ การชุบแบบบางบนผิวเหล็กที่มีความพูนจึงหลุดร่วงง่าย จึงต้องมีการรองพื้นด้วยทองแดง นิกเกิล แล้วจึงทำการชุบโครเมียม

- การชุบโครเมียมแบบหนา เป็นการชุบโดยที่ไม่ต้องมีการรองพื้น

##### 3. ขั้นตอนการชุบสาร์ตโครม

หลักการในการชุบคล้ายกับการชุบโครเมียม แต่จะมีชั้นของโครเมียมหนาตั้งแต่ 25 ไมโครเมตร หรือ 0.025 มิลลิเมตรขึ้นไป ผิวของชิ้นงานที่ทำการชุบแบบนี้จะมีความแข็งแรงทนต่อความร้อน การเสียดสี ทนต่อปฏิกิริยาทางเคมี และมีความผิวดำ

##### 4. ขั้นตอนการชุบทองแดง สามารถแบ่งออกได้ ดังนี้

- การชุบทองแดงแบบกรด ไม่สามารถที่จะใช้กับชิ้นงานที่มีความเงาได้ นิยมใช้ชุบเพื่อเพิ่มความหนาของทองแดงก่อนที่จะนำไปชุบด้วยนิกเกิลเงา

- การชุบทองแดงแบบต่าง สามารถที่จะชุบโดยที่ไม่ต้องมีการรองพื้น นิยมที่จะชุบเพื่อรองพื้นก่อนที่จะนำไปชุบแบบอื่นต่อไป เช่น ชุบงานที่มีสังกะสีก่อนที่จะนำไปชุบนิกเกิล เป็นต้น

#### 2.1.2.3 ขั้นตอนการล้างชิ้นงาน

ขั้นตอนการล้างชิ้นงานเป็นการล้างวัตถุดิบและสารเคมีที่ติดกับชิ้นงาน รูปแบบการล้างที่ใช้กันมี 2 แบบ คือ จุ่มล้างและการดักล้าง ขั้นตอนในการล้างชิ้นงานอยู่ในทุก ๆ ส่วนของขั้นตอนการชุบ ซึ่งจะทำให้เกิดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนจากสารเคมีต่าง ๆ

#### 2.1.2.4 ขั้นตอนการอบแห้ง

หลังจากผ่านขั้นตอนการชุบโลหะและขั้นตอนการล้างแล้ว จะต้องมีการนำชิ้นงานไปอบแห้งในเตาอบ การอบชิ้นงานมีหลายแบบ เช่น แบบใช้ลมร้อนโดยใช้ก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง แบบใช้ความร้อนโดยใช้พลังงานไฟฟ้า โรงงานขนาดเล็กนิยมใช้แบบการผึ่งแดด

#### 2.1.3 ลักษณะของเสียจากการชุบโลหะ

กระบวนการในการชุบโลหะจะพบว่ามีการใช้กรด ต่าง และสารเคมีต่าง ๆ ซึ่งในแต่ละขั้นตอนจะแตกต่างกันไป ทำให้เกิดคุณลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะที่แตกต่างกันด้วย สามารถแบ่งประเภทของน้ำเสียที่เกิดขึ้น ได้ 3 ประเภท (วลัยรัตน์ จันทรวงศ์, 2542) ดังนี้

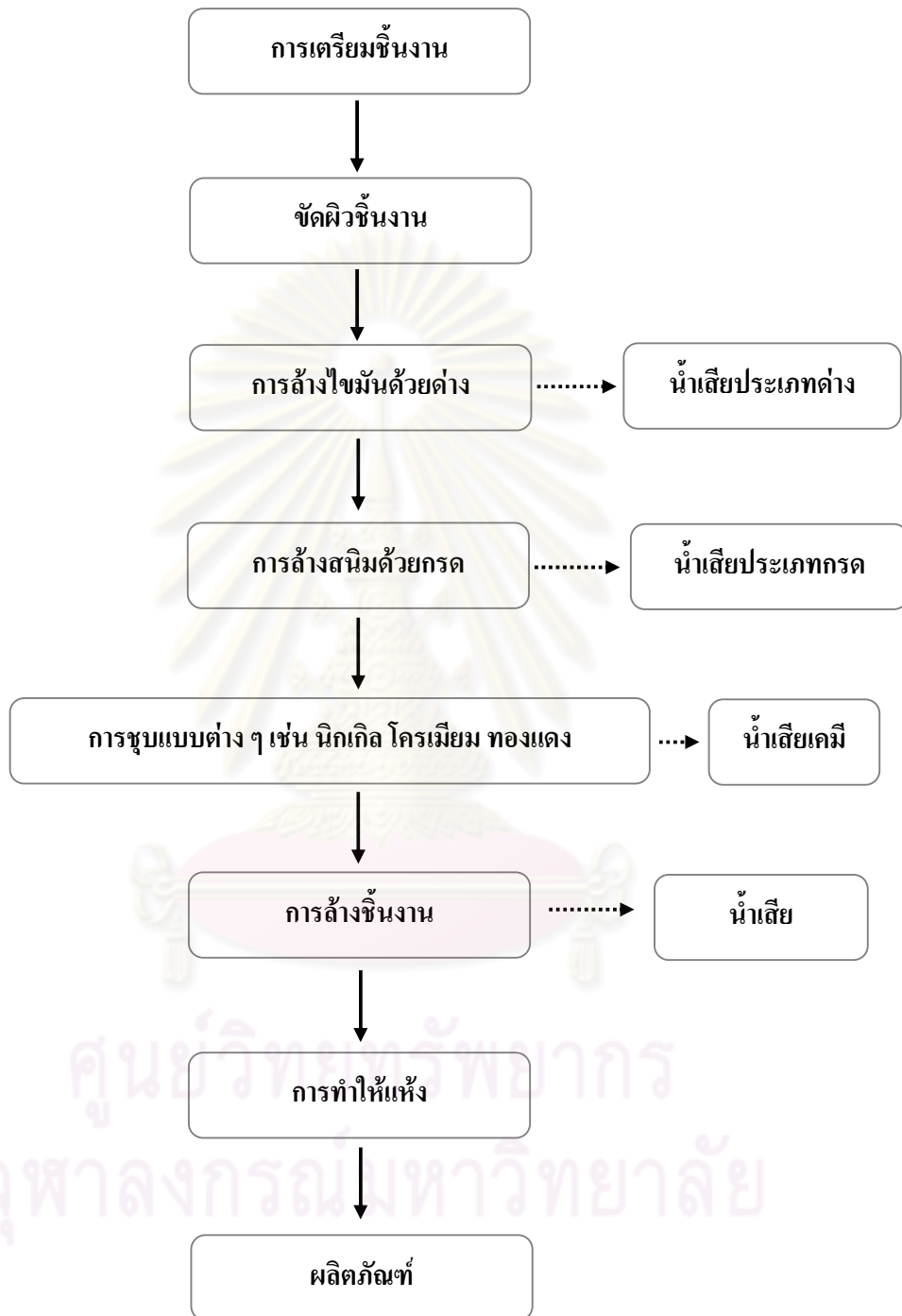
- น้ำทิ้งประเภทกรดและด่าง
- น้ำทิ้งประเภทไซยาไนด์ (น้ำยาชุบทองแดง น้ำยาชุบสังกะสี น้ำยาชุบทอง)
- น้ำทิ้งประเภทโครเมียม (น้ำยาชุบโครเมียมหรือน้ำยาโครเมต)

ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะของ ศีลาวุธ ดำรงศิริ ทำการเก็บตัวอย่างปีละ 3 ครั้ง โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานชุบสังกะสี เก็บตัวอย่างจาก 11 โรงงาน ผลการศึกษาตัวอย่างในปี 2547 เป็นดังตารางที่ 2-1 สำหรับผลการศึกษาในปี 2548 ทำการเก็บตัวอย่างเหมือนกับในปี 2547 เป็นดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ผลการตรวจวัดลักษณะสมบัติของน้ำเสียเฉลี่ย (ศีลาวุธ ดำรงศิริ, 2548)

ปี พ.ศ.	ประเภทการชุบ	พีเอช	ไซยาไนด์ มก./ล.	สังกะสี มก./ล.	ทองแดง มก./ล.	นิกเกิล มก./ล.	โครเมียม มก./ล.	เหล็ก มก./ล.
2547	นิกเกิล	4.10	14.21	19.24	6.00	30.95	19.68	84.01
	โครเมียม							
	สังกะสี	4.00	23.90	638.87	2.22	4.48	72.54	508.97
2548	นิกเกิล	6.25	22.48	107.06	15.15.	261.14	127.05	157.93
	โครเมียม							
	สังกะสี	12.00	2824.17	631.78	30.78	9.43	2.47	710.28

แผนผังขั้นตอนและของเสียที่เกิดจากการชุบโลหะ



รูปที่ 2-2 แผนผังของเสียจากขั้นตอนการชุบโลหะ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548)

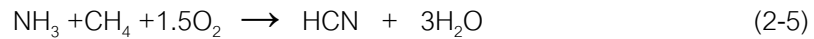
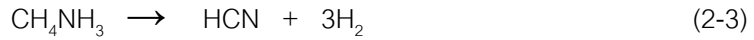
ตารางที่ 2-2 แหล่งกำเนิดสารพิษจากกระบวนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า(วัลย์รัตน์ จันทร์วงศ์, 2542)

สารที่เป็นพิษ	แหล่งกำเนิด	วิธีการบำบัด	
น้ำมัน	สารประเภทไขมัน	การเตรียมชิ้นงานก่อนชุบ	การแยกไขมัน
ของแข็ง	ยาขัด ทวาย	การขัด	ตกตะกอน
กรด	กรดกำมะถัน กรดเกลือ กรดไนตริก กรดกำมะถัน กรดฟอสฟอริก กรดน้ำส้ม	การจุ่มกรดกระตุ้นผิว การขัดเงาด้วยสารเคมี	ทำให้เป็นกลาง
ด่าง	โซดาไฟ โซดาคาร์บอเนต โซเดียมซัลเฟต โซเดียมฟอสเฟต	การต้มล้างไขมัน ทำให้ เป็นกลาง กัดผิว อะลูมิเนียม	ทำให้เป็นกลาง
ไซยาไนด์	สารประกอบไซยาไนด์ต่าง ๆ	ล้างด้วยไฟฟ้าหรือจากถัง ชุบ	ทำการออกซิเดชัน โดยการใช้สาร ประเภทคลอรีน
โลหะหนักใน รูปของไอออน	โลหะหนักที่มีค่า ทองแดง นิกเกิล เหล็ก แคดเมียม สังกะสี อะลูมิเนียม แมงกานีส	อยู่ในน้ำยาจากการเตรียม ก่อนชุบ	ใช้ต่าง
กรดโครมิก	กรดโครมิก	น้ำยาชุบการทำโครเมต	การทำรีดักชันและ การตกตะกอน
ไอออนเชิงซ้อน	ไอออนเชิงซ้อนของทองแดง และนิกเกิล	น้ำยาชุบ	ทำให้สารประกอบ เชิงซ้อนเกิดการแตก ตัว

## 2.2 ไซยาไนด์

### 2.2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไซยาไนด์

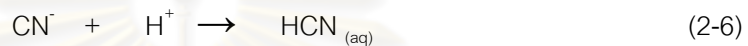
ไซยาไนด์เป็นสารที่ประกอบด้วย อนุภาคคาร์บอนและธาตุไนโตรเจน อย่างละ 1 อะตอม กระบวนการในการผลิตไซยาไนด์มีหลายวิธี แต่วิธีที่ได้รับความนิยมมีด้วยกัน 3 กระบวนการ ได้แก่กระบวนการ Blausure – Methane - Ammoniak ดังสมการที่ 2-3 กระบวนการ Shawinigan ดังสมการที่ 2-4 กระบวนการ Andrussaw ดังสมการที่ 2-5 กระบวนการที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในการผลิตไซยาไนด์ คือ กระบวนการ Andrussaw



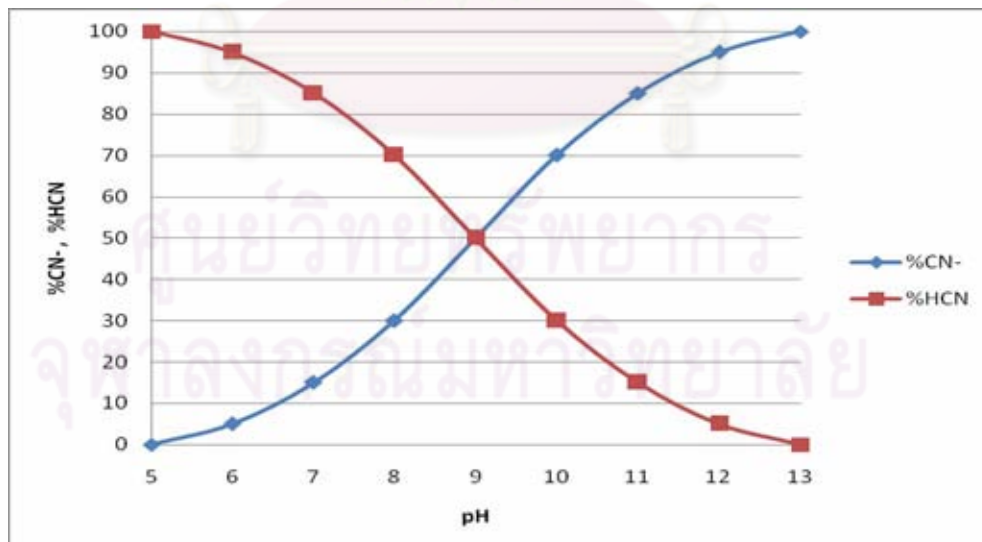
## 2.2.2 ชนิดของสารประกอบไซยาไนด์

สารประกอบไซยาไนด์ มีอยู่หลายชนิดซึ่งสามารถแบ่งออกได้ ดังนี้

1. Free Cyanide (Moran, 2000) หมายถึง ไซยาไนด์อิสระซึ่งอยู่ในรูปไซยาไนด์ไอออน ( $\text{CN}^-$ ) และไฮโดรเจนไซยาไนด์ ( $\text{HCN}$ ) ทั้งที่อยู่ในรูปของสารละลาย และก๊าซ ดังสมการที่ 2-6 และ 2-7



ปริมาณความเข้มข้นของไซยาไนด์อิสระซึ่งอยู่ในรูปไซยาไนด์ไอออน ( $\text{CN}^-$ ) และไฮโดรเจนไซยาไนด์ ( $\text{HCN}$ ) ที่ละลายอยู่ในน้ำนั้นจะมีความสัมพันธ์กับค่า pH โดยที่ pH 9.3-9.5 ไซยาไนด์ไอออน และไฮโดรเจนไซยาไนด์จะอยู่ในภาวะสมดุล ถ้า pH 11 สารละลายจะอยู่ในรูปไซยาไนด์ไอออนมากกว่า 99 % แต่ถ้า pH 7 สารละลายจะอยู่ในรูปไฮโดรเจนไซยาไนด์มากกว่า 99 % แม้ว่าไฮโดรเจนไซยาไนด์จะสามารถละลายน้ำได้ แต่ถ้าอุณหภูมิและความเค็มเพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการละลายน้อยลง (Madden และคณะ, 2001) ดังรูปที่ 2-3



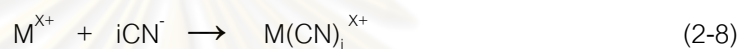
รูปที่ 2-3 ความเข้มข้นของไซยาไนด์อิสระและไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ pH ต่างๆ (Madden และคณะ, 2001)

2. **Simple Cyanide** (Barnes, 2000) หมายถึง สารประกอบโลหะไซยาไนด์อยู่ในรูปของเกลือไซยาไนด์สามารถแบ่งได้ 2 กลุ่ม ตามความสามารถในการละลาย ได้แก่

2.1 **Soluble Simple Cyanide Complex** หมายถึง สารประกอบไซยาไนด์สามารถละลายน้ำได้ง่าย เช่น  $\text{NaCN}$   $\text{KCN}$   $\text{Ca}(\text{CN})_2$  และ  $\text{Hg}(\text{CN})_2$  เมื่อสารเหล่านี้มีการละลายน้ำจะแตกตัวให้ไซยาไนด์อิสระที่มีความเป็นพิษสูง

2.2 **Insoluble Simple Cyanide Complex** หมายถึง สารประกอบไซยาไนด์ที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้ยาก เช่น  $\text{Zn}(\text{CN})_2$   $\text{CuCN}$   $\text{Ni}(\text{CN})_2$  และ  $\text{AgCN}$

3. **Complex Cyanide** (Barnes, 2000) หมายถึง สารประกอบไซยาไนด์เชิงซ้อนที่สร้างพันธะแข็งแรงกับโลหะอื่นๆ การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์เกิดขึ้นจากการจับตัวของไซยาไนด์ไอออนกับโลหะหนัก (M) ที่ละลายอยู่ในน้ำ ดังสมการที่ 2-8



นอกจากนี้ ยังสามารถแบ่งสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์ได้เป็น 3 ประเภท โดยใช้ความสามารถในการแตกตัว (Dissociation) (Botz, 2001) ดังนี้

3.1 **Weak Acid Dissociable Cyanide** เป็นกลุ่มสารประกอบไซยาไนด์ที่สามารถแตกตัวได้ปานกลางถึงง่าย เมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรดอ่อน เช่น  $\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}$   $\text{Cd}(\text{CN})_4^{2-}$  และ  $\text{Cd}(\text{CN})_3^-$

3.2 **Moderately Strong Acid Dissociable Cyanide** เป็นสารประกอบไซยาไนด์ที่สามารถแตกตัวได้บ้างเล็กน้อย เมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรดอ่อน เช่น  $\text{Cu}(\text{CN})_2^-$   $\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-}$ ,  $\text{Ni}(\text{CN})_4^{2-}$  และ  $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$

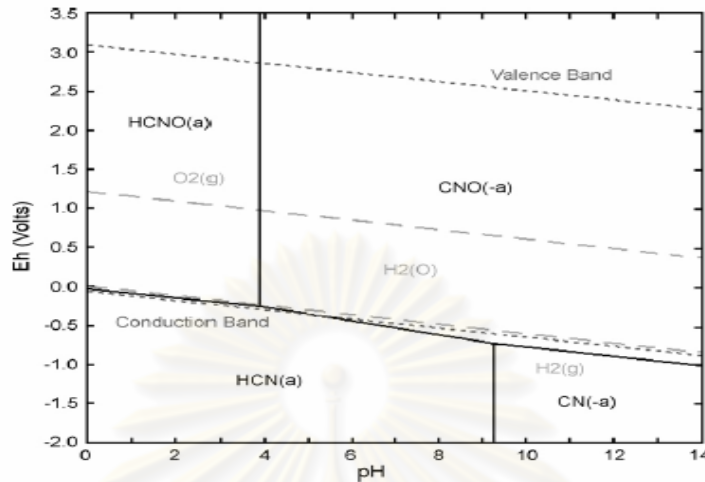
3.3 **Strong Acid Dissociable Cyanide** เป็นสารประกอบไซยาไนด์ที่สามารถแตกตัวได้ยาก แต่สามารถแตกตัวได้ดีขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรดแก่และอุณหภูมิสูงขึ้น เช่น  $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$   $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$   $\text{Co}(\text{CN})_6^{4-}$  และ  $\text{Au}(\text{CN})_2^-$

### 2.2.3 สถานะของสารประกอบไซยาไนด์

สถานะของไซยาไนด์ (25 องศาเซลเซียส) จะอยู่ได้ในสถานะที่เป็นทั้งของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ซึ่งอาจอยู่ในรูปของไซยาไนด์ที่แตกต่างกันก็ได้ (Meehan, 2000) สถานะของแข็งของไซยาไนด์จะอยู่ในรูปของ Complex-cyanide Alkaline-Metallic-Cyanide และ Double-Metallic-Cyanide ซึ่งเกิดได้ดีในช่วง pH ที่ค่อนข้างกว้าง และในสภาวะ Anoxic Condition สถานะของเหลวไซยาไนด์อาจอยู่ในรูปของ Free-Cyanide Simple-Cyanide และ Complex Cyanide ขึ้นอยู่กับ pH (ถ้าต่ำกว่า 9.2 ไซยาไนด์จะอยู่ในรูปไฮโดรเจนไซยาไนด์) และ Re-dox



Potential ของสารละลาย และสถานะของแก๊สไฮโดรเจนไซยาไนด์ เมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกลางถึงกรดอ่อน ซึ่งเป็นสารที่มีความสามารถในการระเหยได้ดีและมีความเป็นพิษสูงมาก



รูปที่ 2-4 การเกิดสถานะของไซยาไนด์ที่ pH ต่างๆ (Meehan, 2000)

#### 2.2.4 เสถียรภาพของสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์

สารประกอบไซยาไนด์แต่ละชนิดมีเสถียรภาพแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับค่าคงที่ของค่าคงตัว (Equilibrium constant for a reaction between MeL and i-j ligand to form a complex of the type  $MeL_i\beta_{ij}$ ) ของสารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์ (Benjamin, Gherrou และ Kerdjoudj, 2002) ดังตารางที่ 2.2 ส่วนค่าคงที่ของความคงตัว (Equilibrium constant for a reaction between two dissolve species, adding one ligand to a complex with i-l ligand, to form complex with i ligand, K) ของสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์จะบ่งบอกความแข็งแรงของโมเลกุล (Dionex, 2003) ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2-3 ค่าคงที่ของค่าคงตัว ( $\beta$ ) ของสารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์ (Benjamin, Gherrou และ Kerdjoudj, 2002)

โลหะหนัก	$Log \beta$		
เหล็ก ( $Fe^{2+}$ )	$Fe(CN)_6^{4-}$ 52.44	$FeH(CN)_6^{2-}$ 50	$FeH_2(CN)_6^{4-}$ 45.61
เหล็ก ( $Fe^{3+}$ )	$Fe(CN)_6^{3-}$ 52.63	-	-
ทองแดง ( $Cu^{2+}$ )	$Cu(CN)_2^-$ 24.0	$Cu(CN)_3^{2-}$ 28.6	$Cu(CN)_4^{3-}$ 30.3
นิกเกิล ( $Ni^{2+}$ )	$Ni(CN)_2$ 14.59	$Ni(CN)_4^-$ 22.64	$NiH_3(CN)_4^{2+}$ 43.59
สังกะสี ( $Zn^{2+}$ )	$Zn(CN)_2$ 11.07	$Zn(CN)_3^-$ 16.05	$Zn(CN)_4^{2-}$ 16.72

ตารางที่ 2-4 ค่าคงที่ของความคงตัว (K) ของสารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์ (Dionex, 2003)

สูตรเคมี	ค่าคงที่ (log K @ 25 °C )	ชนิดสารประกอบเชิงซ้อน
$[\text{Co}(\text{CN})_6]^{3-}$	64.0	Strong
$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$	43.6	Strong
$[\text{Pd}(\text{CN})_4]^{2-}$	42.4	Strong
$[\text{Pt}(\text{CN})_4]^{2-}$	40.0	Strong
$[\text{Hg}(\text{CN})_4]^{2-}$	39.0	Strong
$[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$	37.0	Strong
$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$	35.4	Strong
$[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$	30.2	Weak
$[\text{Cu}(\text{CN})_4]^{3-}$	30.3	Weak
$[\text{Cu}(\text{CN})_3]^{3-}$	23.5	Weak
$[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$	20.5	Weak
$[\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-}$	19.6	Weak
$[\text{Cu}(\text{CN})_2]^{3-}$	18.6	Weak
$[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-}$	17.9	Weak
$\text{Zn}(\text{CN})_2$	11.11	Weak
$\text{Cd}(\text{CN})_2$	11.0	Weak
$[\text{Mn}(\text{CN})_4]^{3-}$	9.7	Weak
$\text{HCN}$	9.2	Weak
$\text{ZnCN}^+$	5.3	Weak

### 2.2.5 ความเป็นพิษและปัจจัยที่มีผลต่อระดับความเป็นพิษของสารประกอบไซยาไนด์

สารประกอบไซยาไนด์สามารถเข้าสู่ร่างกายอย่างรวดเร็วได้หลายทาง เช่น ทางลมหายใจ ทางปาก และการดูดซึมของผิวหนัง ซึ่งความรุนแรงจากการได้รับพิษไซยาไนด์นั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น วิธีการรับสารพิษ ความเข้มข้น และรูปของสารประกอบไซยาไนด์ (International Cyanide Management, 2002)

ความเป็นพิษของไซยาไนด์มีปัจจัยที่สำคัญ คือ ความสามารถในการแตกตัวของสารประกอบไซยาไนด์ สารที่สามารถแตกตัวได้ดีจะมีความเป็นพิษสูง (Free Cyanide) (Moran, 2000) ความเป็นพิษของในรูปต่างๆ แสดงในตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 ความเป็นพิษของสารประกอบไซยาไนด์ในรูปต่างๆ (U.S. EPA, 2000)

สารประกอบ	สูตรเคมี	สถานะ	TLV	LD <sub>50</sub>
ไฮโดรเจนไซยาไนด์	HCN	ก๊าซ	5 มก./ม <sup>3</sup>	1 มก./กก. มนุษย์
โพแทสเซียมไซยาไนด์	KCN	ของแข็ง	5 มก./ม <sup>3</sup>	2.85 มก./กก. มนุษย์ 10 มก./กก. หนู
โซเดียมไซยาไนด์	NaCN	ของแข็ง	5 มก./ม <sup>3</sup>	2.85 มก./กก. มนุษย์ 6.44 มก./กก. หนู
ไซยาโนเจนคลอไรด์	CNCL	ก๊าซ	0.3 ppm	
โซเดียมไซยาเนต	NaCNO	ของแข็ง	-	260 มก./กก. หนู
โพแทสเซียมไซยาเนต	KCNNO	ของแข็ง	-	320 มก./กก. หนู

\*TLV = *Threshold Limit Values* คือ ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารสำหรับการทำงานปกติ 8 ชั่วโมงต่อวันและ 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ โดยที่คนงานเกือบทุกคนสัมผัสสารซ้ำ ๆ หลายวันต่อเนื่องกันโดยไม่เกิดอันตรายต่อร่างกาย

\*LD<sub>50</sub> = *Lethal Dose 50% of population* คือ ปริมาณสารที่เมื่อรับเข้าสู่ทางร่างกายแล้วจะทำให้สิ่งมีชีวิตในกลุ่มตายลงครึ่งหนึ่ง

นอกจากนี้ความเข้มข้นของสารประกอบไซยาไนด์ และวิธีการได้รับสารพิษก็มีผลต่อ

ร่างกายดัง แสดงในตารางที่ 2-6 (U.S. EPA, 2000)

ตารางที่ 2-6 ค่าความเป็นพิษและวิธีการได้รับสัมผัส (U.S. EPA, 2000)

การรับสาร	ค่าความเป็นพิษ ( Lethal Dose 50%, LD <sub>50</sub> )
ทางปาก	50-200 ppm หรือ 1-3 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักร่างกาย (กิโลกรัม)
ทางลมหายใจ	100-300 ppm ตายภายในเวลา 10-60 นาที (2,000 ppm จะตายภายใน 1 นาที)
ทางผิวหนัง	100 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักร่างกาย (กิโลกรัม)

## 2.2.6 ค่ามาตรฐานของไซยาไนด์

การกำหนดค่ามาตรฐานของไซยาไนด์ขึ้นอยู่กับแต่ละสถาบัน และเกณฑ์ที่ใช้ในการกำหนดค่ามาตรฐาน เช่น ความปลอดภัยในการทำงานกำหนดปริมาณไซยาไนด์ที่ร่างกายสามารถรับได้ไม่เกิน 10 ppm หรือ 11.0 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร สำหรับการงาน 8 ชั่วโมง ความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน กำหนดปริมาณไซยาไนด์ที่ร่างกายสามารถรับได้ทางผิวหนังไม่เกิน 4.7 ppm หรือ 5 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ทุกๆ 15 นาที (OSHA PEL, 1993) ความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิตอื่น ได้มีการกำหนดปริมาณไซยาไนด์สำหรับสัตว์น้ำจัดไว้ไม่เกิน 5.2 ไมโครกรัมต่อลิตร และสำหรับสัตว์น้ำเค็ม และสัตว์ป่าไม่เกิน 1.0 ไมโครกรัมต่อลิตร (U.S. EPA,

2000) ค่ามาตรฐานสารประกอบไซยาไนด์เชิงซ้อนกับโลหะ ซึ่งสามารถแตกตัวให้สารประกอบไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้ ซึ่งทำให้เกิดความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต (Moran, 2000) แสดงในตารางที่ 2-7 สำหรับค่ามาตรฐานต่างๆ ไซยาไนด์ในแหล่งน้ำของประเทศไทย แสดงในตารางที่ 2-8

ตารางที่ 2-7 ความเข้มข้นของสารประกอบไซยาไนด์ที่ก่อให้เกิดพิษต่อสิ่งมีชีวิต (Moran, 2000)

สารประกอบ	ระดับความเข้มข้น (mg/l)
ไซเดียมไซยาไนด์	0.02-0.3
โปแทสเซียมไซยาไนด์	0.02-0.3
ซิงค์ไซยาไนด์	0.02-0.3
แคดเมียมไซยาไนด์	0.02-0.3
คอปเปอร์ (II) ไซยาไนด์	0.4 – 4.0
นิกเกิลไซยาไนด์	0.4 (pH 6.5)-730 (pH 8.0)
เหล็กไซยาไนด์	0.2

ตารางที่ 2-8 ค่ามาตรฐานต่างๆ ของไซยาไนด์ในแหล่งน้ำของประเทศไทย

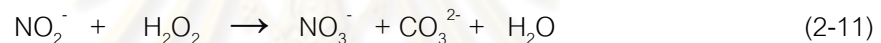
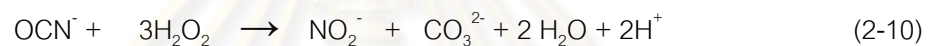
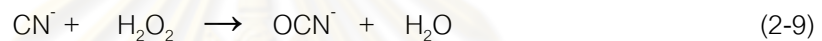
มาตรฐาน	ค่ามาตรฐาน (mg/l)
1. มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคม (ที่มา : ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม)	ไม่เกิน 0.2
2. มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล (ที่มา : ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 27 (พ.ศ.2549) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล)	ไม่เกิน 7.0
3. มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง (ที่มา : ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 7 (พ.ศ.2537) )	แหล่งน้ำประเภทที่ 2-4 ไม่เกิน 0.01
4.มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (ที่มา :ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ.2537))	แหล่งน้ำประเภทที่ 2-4 ไม่เกิน 0.005
5. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค (ที่มา : ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 332 (พ.ศ.2521) )	ไม่เกิน 0.02 (เกณฑ์กำหนดสูงสุด)
6. มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มที่ปิดมิดชิด (ที่มา : ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 135 (พ.ศ.2534) )	ไม่เกิน 0.1 (เกณฑ์อนุโลมสูงสุด)

### 2.2.7 การบำบัดไซยาไนด์ในน้ำเสีย (Cyanide Treatment)

การบำบัดไซยาไนด์อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสม มีหลักการในการบำบัดไซยาไนด์ คือ การทำลายพิษไซยาไนด์และการนำไซยาไนด์กลับมาใช้ใหม่ (Young, 2002) วิธีในการบำบัดไซยาไนด์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีหลายวิธี ดังต่อไปนี้

#### 2.2.7.1 การออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide Oxidation)

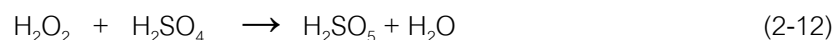
กระบวนการบำบัดไซยาไนด์ที่ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นตัวออกซิไดซ์ และใช้สารละลายคอปเปอร์ วานาเดียม ทังสเตน หรือเงิน เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การเกิดปฏิกิริยาในสารละลายจะทำให้ไซยาไนด์เปลี่ยนเป็นไซยาเนต ดังสมการที่ 2-9 และถ้ามีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มากเกินไป ไซยาเนตจะเกิดปฏิกิริยาต่อกลายเป็นไนไตรท์ ( $\text{NO}_2^-$ ) ไนเตรท ( $\text{NO}_3^-$ ) และคาร์บอนเนต ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) ตามลำดับ สมการการเกิดปฏิกิริยาเป็นดังนี้

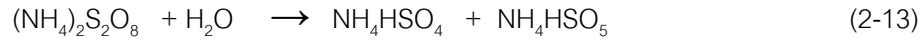


กระบวนการบำบัดไซยาไนด์ที่ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สามารถทำลายกลุ่มสารประกอบไซยาไนด์ที่สามารถแตกตัวง่ายได้ดี และยังสามารถกำจัดสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์กับโลหะหนักบางตัวได้ดี (Cd Zn Cu) โดยการตกตะกอนสารประกอบเชิงซ้อนดังกล่าว (Bozt, 2001) สำหรับข้อเสียของกระบวนการนี้ คือ ไม่สามารถใช้กับกลุ่มสารประกอบไซยาไนด์ที่สามารถแตกตัวได้ยากได้ ในทางทฤษฎีการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.31 กรัมต่อไซยาไนด์ 1 กรัม แต่ในทางปฏิบัตินั้นใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2.0 - 8.0 กรัมต่อไซยาไนด์ 1 กรัม ที่ pH ประมาณ 9.0-9.5 แต่ค่า pH ดังกล่าวจะมีความสามารถในการกำจัดสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์กับเหล็กได้น้อย เนื่องจากการตกตะกอนสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กไซยาไนด์ต้องทำที่ pH ต่ำกว่านี้

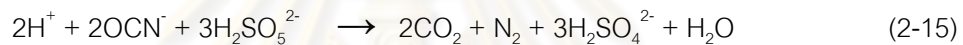
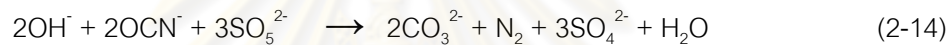
#### 2.2.7.2 การออกซิไดซ์ด้วย Caro's acid

Caro's acid ( $\text{H}_2\text{SO}_5$ ) สามารถเตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดซัลฟิวริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) กับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) ดังสมการที่ 2-12 หรืออาจเตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis Reaction) ของแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต ( $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ ) ดังสมการที่ 2-13 (Bozt, 2001)



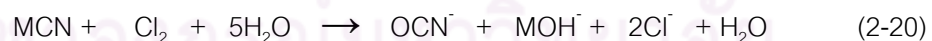
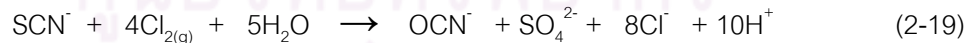
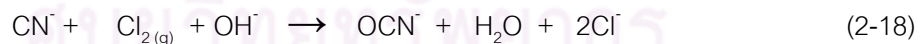
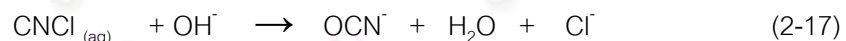
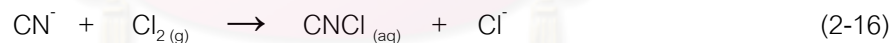


Caro's acid เป็นสารที่สลายตัวได้รวดเร็วมากจึงนิยมเตรียมเมื่ออยู่หน้างานเท่านั้น (On-site) ในทางทฤษฎีใช้ Caro's acid 4.39 กรัมต่อไฮยาไนต์ 1 กรัม แต่ในทางปฏิบัติใช้ Caro's acid ประมาณ 5-15 กรัมต่อไฮยาไนต์ 1 กรัม โดย Caro's acid จะทำปฏิกิริยากับไฮยาไนต์ได้ไฮยาเนต ที่ pH 10.0 และจะต้องมีการเติมปูนขาวเพื่อปรับพีเอช เนื่องจากปฏิกิริยาจะทำให้พีเอชลดลง กระบวนการนี้ใช้ได้ดีกับกลุ่มสารประกอบไฮยาไนต์ที่สามารถแตกตัวง่าย โดยที่ไม่ต้องใช้คอปเปอร์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แต่จะมีความสามารถในการออกซิไดซ์น้อยเมื่อมีการนำไปใช้กับกลุ่มสารประกอบไฮยาไนต์ที่สามารถแตกตัวได้ยาก และถ้ามี Caro's acid มากเกินไปจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไฮยาเนตเป็นคาร์บอเนตและก๊าซไนโตรเจน ดังสมการที่ 2-14 และถ้าอยู่ในสภาวะที่เป็นกรดจะเกิดการกระตุ้นปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไฮยาเนต ดังสมการที่ 2-15

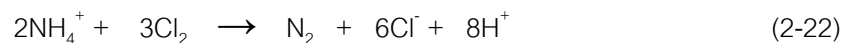
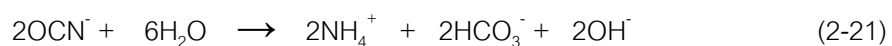


### 2.2.7.3 การออกซิไดซ์ด้วยคลอรีน (Alkaline Chlorination)

การออกซิไดซ์ด้วยคลอรีนเป็นวิธีบำบัดไฮยาไนต์อีกแบบหนึ่ง โดยมีการใช้ก๊าซคลอรีนในการออกซิไดซ์ไฮยาไนต์ให้เป็นไฮยาเนต ดังสมการที่ 2-16 ถึง 2-20 (Bozt, 2001) นอกจากนี้ก๊าซคลอรีนยังสามารถที่จะเกิดปฏิกิริยากับไทโอไฮยาเนต และสารประกอบเชิงซ้อนโลหะไฮยาไนต์ ดังสมการที่ 2-24 ถึง 2-25



ถ้ามีก๊าซคลอรีนมากเกินไปไฮยาเนตจะทำปฏิกิริยาต่อไปจนได้ก๊าซไนโตรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการที่ 2-21 และ 2-22 (Bozt, 2001)



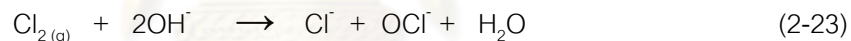


การออกซิไดซ์ด้วยคลอรีนเป็นวิธีบำบัดไซยาไนด์สามารถใช้กับไซยาไนด์อิสระ และกลุ่มสารประกอบไซยาไนด์ที่สามารถแตกตัวง่ายในรูปของสารละลายได้ดี โดยอาจใช้คลอรีนที่อยู่ในรูปของเหลวก็ได้ ในทางทฤษฎีใช้คลอรีน 2.73 กรัมต่อไซยาไนด์ 1.0 กรัม แต่ในทางปฏิบัติใช้คลอรีน 3-8 กรัมต่อไซยาไนด์ 1 กรัม ที่ pH สูงกว่า 10.0 เพื่อให้มั่นใจได้ว่าสารประกอบไซยาไนด์จะกลายเป็นไฮดรอกไซด์ของโลหะ ส่วนโลหะต่างๆ ในสารละลายจะตกตะกอนเป็นไฮดรอกไซด์ของโลหะ กระบวนการนี้สามารถลดปริมาณไซยาไนด์ในของเสียได้ต่ำกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่มีข้อเสีย คือ ใช้สารเคมีในการปรับ pH ค่อนข้างมาก ใช้ก๊าซคลอรีนซึ่งจัดเป็นสารพิษในปริมาณสูง และไม่สามารถทำลายกลุ่มสารประกอบไซยาไนด์ที่สามารถแตกตัวได้ยากได้

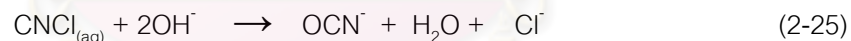
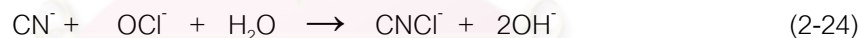
#### 2.2.7.4 การออกซิไดซ์ด้วยไฮโปคลอไรต์ (Hypochlorite Alkaline )

กระบวนการออกซิไดซ์ด้วยไฮโปคลอไรต์นั้นสามารถที่จะเตรียมสารไฮโปคลอไรต์ (OCI) ได้จากสมการที่ 2-23 การเกิดปฏิกิริยานั้นไฮโปคลอไรต์จะเปลี่ยนไซยาไนด์เป็นไซยาเนต (ปฏิกิริยาการทำลายไซยาไนด์โดยไฮโปคลอไรต์คล้ายกับวิธี Alkaline Chlorination) ดังสมการที่ 2-24 และ 2-25 ( Parga Shukla และ Carrillo-Pedroza, 2003)

การเตรียมไฮโปคลอไรต์ :



การเกิดปฏิกิริยา :



ไฮโปคลอไรต์สามารถทำปฏิกิริยากับไทโอไซยาเนต และกลุ่มสารประกอบไซยาไนด์ที่สามารถแตกตัวง่ายได้ แต่ไม่สามารถทำปฏิกิริยากับกลุ่มสารประกอบไซยาไนด์ที่สามารถแตกตัวได้ยากได้ และถ้ามีไฮโปคลอไรต์มากเกินไปไซยาเนตจะถูกเปลี่ยนเป็นไนโตรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการที่ 2-26



#### 2.2.7.5 การออกซิไดซ์ด้วย INCO Sulfur Dioxide/Air

INCO Sulfur Dioxide/Air เป็นกระบวนการบำบัดไซยาไนด์ที่ใช้สารประกอบซัลเฟอร์เป็นแหล่งกำเนิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และเติมอากาศให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) กับไซยาไนด์อิสระและสารประกอบเชิงซ้อนโลหะไซยาไนด์หรือไทโอไซยาเนต เมื่อ

เกิดปฏิกิริยาจะได้ไซยาเนตซึ่งมีพิษน้อยกว่า และสามารถเติม Cupric หรือ Nickel cation เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ ส่วนเหล็กไซยาไนด์ก็จะเกิดปฏิกิริยาตกตะกอนเป็นสารประกอบโลหะเชิงซ้อนของเหล็กไซยาไนด์ที่ pH ประมาณ 5-6 ส่วนโลหะอื่นจะตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ของโลหะ (Botz, 2001) ดังนั้น ปฏิกิริยาที่สำคัญในการบำบัดไซยาไนด์ด้วย INCO Sulfur Dioxide/Air มี 3 ปฏิกิริยาที่สำคัญ ดังนี้

1. ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation Reaction) ของไซยาไนด์อิสระ และไทโอไซยาเนต ดังสมการที่ 2-27 ถึง 2-39



2. ปฏิกิริยาการปรับสภาพความเป็นกรด (Neutralization Reaction) ดังสมการที่ 2-30



3. ปฏิกิริยาการตกตะกอน (Precipitation Reaction) ของเหล็กไซยาไนด์และโลหะอื่น ดังสมการที่ 2-31 และ 2-32 (Botz, 2001)



ในทางทฤษฎีใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2.46 กรัมต่อไซยาไนด์ 1 กรัม แต่ในทางปฏิบัติใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 3.5-4.5 กรัมต่อไซยาไนด์ 1 กรัม ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้อาจอยู่ในรูปของก๊าซหรือใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) เป็นแหล่งกำเนิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ก็ได้ ปฏิกิริยาจะเกิดได้ดีที่ pH ประมาณ 9 ซึ่งสามารถควบคุม pH ได้โดยการเติมปูนขาว แต่จะทำให้เกิดตะกอนของไฮดรอกไซด์และยิบซั่มซึ่งยากต่อการบำบัด (Botz, 2001)

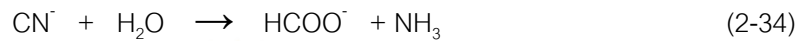
#### 2.2.7.6 การออกซิไดซ์ด้วยเปอร์แมงกาเนต

การออกซิไดซ์ด้วยเปอร์แมงกาเนต เป็นกระบวนการกำจัดไซยาไนด์ด้วยการเติมโปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $\text{KMnO}_4$ ) ไซยาไนด์จะถูกเปลี่ยนเป็นไซยาเนต ดังสมการที่ 2-33

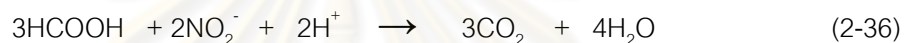
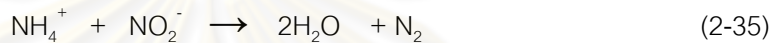


### 2.2.7.7 การออกซิเดชันด้วยความร้อน

การออกซิเดชันด้วยความร้อนเป็นกระบวนการในการกำจัดไซยาไนด์ โดยใช้หลักการไฮโดรไลซิสที่อุณหภูมิสูงระหว่าง 140 – 200 องศาเซลเซียส ที่พีเอช 8 และแรงดันที่ใช้สูงถึง 100 บาร์ ไซยาไนด์จะถูกไฮโดรไลซิสอย่างรวดเร็วเกิดเป็นฟอร์มเมต (HCOO<sup>-</sup>) และแอมโมเนีย (NH<sub>3</sub>) ดังสมการที่ 2-34



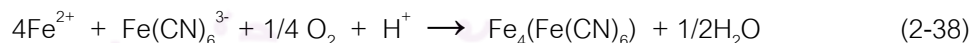
หากมีไนโตรที่เข้ามาในระบบด้วย ฟอรัมเมตและแอมโมเนียจะถูกทำลายที่อุณหภูมิสูงที่ 150 องศาเซลเซียส ดังสมการที่ 2-35 และ 2-36



วิธีนี้ใช้บำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วงความเข้มข้นที่กว้าง และสามารถใช้น้ำล้างชั้นงานที่เข้มข้นสูงได้ด้วย

### 2.2.7.8 การตกตะกอนโดยการสร้างสารประเชิงซ้อนของไซยาไนด์กับเหล็ก

การตกตะกอนโดยการสร้างสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์กับเหล็กเป็นการกำจัดไซยาไนด์โดยการเติม FeSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O เพื่อให้ไซยาไนด์เปลี่ยนรูปมาอยู่ในสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์กับเหล็กและเกิดการตกตะกอน (Botz, 2001) ดังสมการที่ 2-37 และ 2-38



วิธีนี้มีข้อจำกัดที่ค่าความสามารถในการละลายของสารประกอบเชิงซ้อน ส่วนค่าพีเอชที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาอยู่ที่พีเอช 5-6 และปริมาณ FeSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O ที่ใช้ประมาณ 0.5-5 โมลต่อไซยาไนด์ 1 โมล

### 2.2.7.9 การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

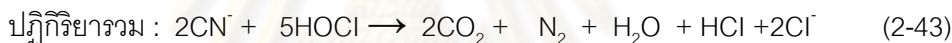
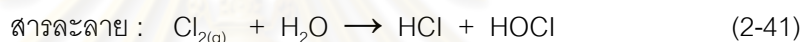
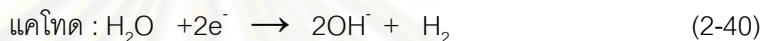
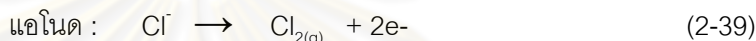
การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์เป็นการกำจัดไซยาไนด์ โดยใช้ความสามารถในการดูดซับที่ผิวของถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ผิวแบบปกติและแบบตกแต่งผิวถ่านกัมมันต์เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิว (Modified Activated Carbon) (Adhoum และ Monser, 2002) นอกจากนี้ ยังมีการใช้วิธีการเคลือบด้วยโลหะบางชนิด (Impregnate Activated Carbon) (Adhoum และ Monser, 2002)

วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้ดีและมีราคาถูก มักใช้เป็นระบบสุดท้ายเพื่อบำบัดไฮยาไนต์ที่อยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อน ซึ่งมักเหลือจากการบำบัดด้วยวิธีอื่น (Botz, 2001)

### 2.2.7.10 วิธีการสลายตัวด้วยไฟฟ้า

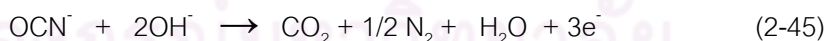
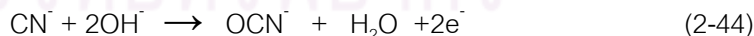
การทำลายไฮยาไนต์ด้วยวิธี Electrolysis นั้นจะมียูต์ด้วยกัน 2 แบบ คือ

1. การใช้ไฟฟ้าเคมีสลายตัวทางอ้อม โดยจะเป็นการผลิตไฮโปคลอไรต์ (OCI) จากโซเดียมคลอไรด์ที่เติมลงไป จากนั้นไฮโปคลอไรต์ (OCI) ที่เกิดขึ้นจะไปทำลายไฮยาไนต์ต่อไป วิธีการนี้มักใช้กับน้ำเสียที่มีไฮยาไนต์น้อยกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร (Ogutveren และคณะ, 1999) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นดังสมการที่ 2-39 ถึง 2-43

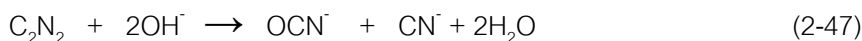


2. การใช้ไฟฟ้าเคมีสลายตัวทางตรง เป็นกระบวนการที่มีการออกซิเดชันที่แอนโนดโดยตรง โดยจะเปลี่ยนไฮยาไนต์เป็นไฮยาเนต ซึ่งจะถูกสลายต่อไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ หรือออกซาเลต ไอออนซึ่งขึ้นอยู่กับพีเอช (Ogutveren และคณะ, 1999) วิธีนี้เหมาะกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของไฮยาไนต์สูงๆ (1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) การเกิดปฏิกิริยาจะเกิดในพีเอชต่าง ๆ ดังนี้

- สารละลายที่มีความเป็นด่าง (พีเอช 12) : ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นดังสมการที่ 2-44 และ 2-45



- สารละลายที่มีความเป็นกลางและด่างอ่อน (พีเอช 7.0- 11.7) : ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นดังสมการที่ 2-46 ถึง 2-47



- สารละลายที่มีความเป็นกรดอ่อน (พีเอช 5.2-6.8) : ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นดังสมการที่ 2-49

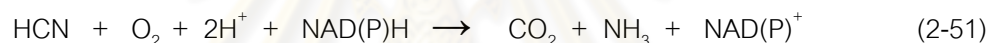


#### 2.2.7.11 การออกซิไดซ์ทางชีวภาพ (Bio-Oxidation)

กระบวนการออกซิไดซ์ทางชีวภาพเป็นการเปลี่ยนไซยาไนด์เป็นไซยาเนต ซึ่งมีพิษน้อยกว่า (White Pilon และ Woolard, 2000) ดังสมการที่ 2-50

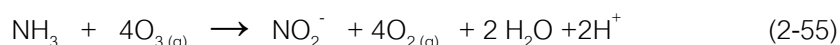
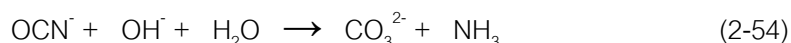
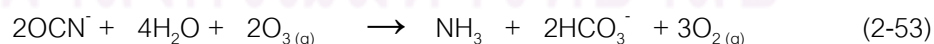


กระบวนการในการย่อยสลายทางชีวภาพมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดทีฟ (Oxidative Reaction) ไซยาไนด์จะถูกย่อยสลายให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และแอมโมเนีย (Ebbs, 2004) ดังสมการที่ 2-52



#### 2.2.7.12 การออกซิไดซ์ด้วยโอโซน

การออกซิไดซ์ด้วยโอโซนเป็นกระบวนการที่ใช้โอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ ซึ่งโอโซนมีความสามารถเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงกว่าออกซิเจน โอโซนจะทำหน้าที่เปลี่ยนไซยาไนด์เป็นไซยาเนต และอาจเติมคอปเปอร์หรืออินหรือแมงกานีสออกไซด์เพื่อช่วยเร่งปฏิกิริยา รูปแบบการเกิดปฏิกิริยาเป็นดังสมการที่ 2-52 และออกซิเจนที่เกิดขึ้นสามารถออกซิไดซ์ไซยาไนด์ต่อไปได้อีก ดังสมการที่ 2-53 เป็นปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพสูง ในกรณีที่มีโอโซนมากเกินไป ไซยาเนตจะถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจนและแอมโมเนีย ดังสมการที่ 2-54 และสมการที่ 2-55 (Parga Shukla และ Carrillo-Pedroza, 2003)

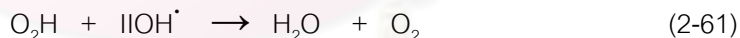
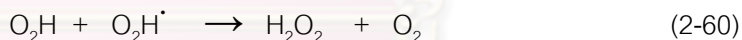
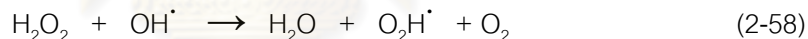


กระบวนการนี้สามารถใช้กำจัดกลุ่มสารประกอบไซยาไนด์ที่สามารถแตกตัวง่าย และไทโอไซยาเนตได้ดี แต่ข้อเสียของกระบวนการนี้ คือ สามารถทำลายกลุ่มสารประกอบไซยาไนด์ที่

สามารถแตกตัวได้ยากได้น้อย ประสิทธิภาพของการออกซิไดซ์ด้วยโอโซนจะลดลงถ้า pH สูงกว่า 11 ซึ่งเป็นระดับของ pH ที่ป้องกันการเกิดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ และอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณไซยาไนด์แต่ขึ้นอยู่กับปริมาณโอโซนเท่านั้น

### 2.2.7.13 การออกซิเดชันด้วยโฟโตแคตาไลติก (Photocatalytic Process)

กระบวนการโฟโตแคตาไลติก(Photocatalytic Process) ดังกล่าวจะใช้แสงเป็นตัวส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน โดยเป็นแหล่งพลังงานกระตุ้นการถ่ายเทอิเล็กตรอน การออกซิไดซ์ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับการเติมโอโซน หรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะช่วยให้ประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ซึ่งการใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะทำให้เกิดอนุมูลของหมู่ไฮดรอกซิล ( $\text{OH}^\cdot$ ) ซึ่งเป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรงสามารถที่จะออกซิไดซ์สารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์กับโลหะหนักได้ แหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมจะให้รังสีอัลตราไวโอเล็ตอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 200 ถึง 280 นาโนเมตร ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการออกซิเดชันด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (U.S. EPA, 2000) เป็นดังสมการที่ 2-56 ถึง 2-61



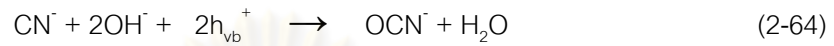
ส่วนการใช้การออกซิไดซ์ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับการเติมโอโซน (U.S. EPA, 2000) เป็นดังสมการที่ 2-62 และ 2-63



การออกซิไดซ์ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตยังสามารถใช้ร่วมกับ Fenton's reagent และไทเทเนียมไดออกไซด์ได้อีกด้วย ซึ่งการใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตใช้ร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์นั้นเมื่อไทเทเนียมไดออกไซด์ได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 390 นาโนเมตร ซึ่งตรงกับพลังงาน Band Gap ของไทเทเนียมไดออกไซด์โครงสร้าง Anatase ที่เท่ากับ 3.2 eV



(Chiang Amal และ Tran, 2003) ก็จะสร้างอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลขึ้นที่ผิวของไทเทเนียมไดออกไซด์ ซึ่งอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลนั้นเป็นสารออกซิแดนซ์ที่รุนแรงมาก ซึ่งผลผลิตของปฏิกิริยานี้จะได้ไฮยาเนต และสามารถถูกออกซิไดซ์อย่างรวดเร็วบนผิวของไทเทเนียมไดออกไซด์ไปเป็นไนเตรท และคาร์บอเนต หรืออาจเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไฮยาเนตขึ้นได้ ผลที่ได้จะทำให้ค่าของแอมโมเนียและคาร์บอเนตสูงขึ้น (Chiang Amal และ Tran, 2003) ดังสมการที่ 2-64 และ 2-65



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2.2.8 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**บัณฑิต ชูเชิดวัฒน์ศักดิ์ (2547)** ศึกษาผลของอัตราที่เอตต่อการกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยการใช้กระบวนการออกซิเดชันด้วยไฟฟ้า และรังสีอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ ผลการศึกษาพบว่า ในส่วนของกระบวนการออกซิเดชันไซยาไนด์ด้วยไฟฟ้านั้น การเพิ่มกระแสไฟฟ้าที่ใช้จะทำให้อัตราการกำจัดไซยาไนด์มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ว่าพลังงานที่ต้องใช้เพื่อกำจัดไซยาไนด์ 1 กิโลกรัม ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย การเพิ่มขึ้นของอัตราที่เอตในน้ำเสียจะทำให้อัตราการออกซิเดชันของไซยาไนด์มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นพบว่า เป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของไซยาไนด์ โดยเมื่อใช้กระแสไฟฟ้าเท่ากับ 2.5 แอมแปร์ เมื่อไม่มีอัตราที่เอตต้องใช้พลังงาน 170.17 กิโลวัตต์-ชั่วโมง เพื่อกำจัดไซยาไนด์ 1 กิโลกรัม (51.05 บาทต่อลูกบาศก์เมตรน้ำเสีย) แต่เมื่อมีอัตราที่เอตในน้ำเสีย 15 กรัมต่อลิตร พลังงานที่ต้องใช้ถึง 1280 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัมไซยาไนด์ (384.00 บาทต่อลูกบาศก์เมตรน้ำเสีย) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นพบว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเช่นเดียวกับการออกซิเดชันด้วยไฟฟ้า ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบทั้งสองวิธีแล้ว การออกซิเดชันด้วยไฟฟ้าจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเนื่องจากเวลาที่ต้องใช้ในการกำจัดไซยาไนด์ให้ลดลงเท่า ๆ กันนั้นจะน้อยกว่า รวมทั้งพลังงานที่ต้องใช้ก็ยังน้อยกว่าอีกด้วย

**Rader, W.S. และคณะ (1995)** ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากเหมืองขุดแร่ (Precious – Metal Mill Tailing ) โดยวิธีการออกซิเดชันด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ สภาวะในการทดลองคือ พีเอช 11 พื้นที่ผิวหน้า 350 ตารางเซนติเมตร ลึก 3 เซนติเมตร และมีความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ปริมาณ 10 กรัมต่อลิตร พบว่า สามารถกำจัดสารประกอบไซยาไนด์ทุกชนิดได้อย่างสมบูรณ์ โดยไซยาไนด์อิสระและสารประกอบเชิงซ้อนส่วนหนึ่งจะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไนเตรท ส่วนสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์กับเหล็ก สังกะสี ทองแดง พรอท และสารหนู จะถูกทำให้เสถียรในรูปของตะกอน

**Dobrowski, B. และคณะ (2002)** ทำการศึกษาปฏิกิริยาออกซิเดชันของไซยาไนด์อิสระ โดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ร่วมกับการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยการหาอัตราการออกซิเดชันไซยาไนด์ด้วยแสง โดยใช้ความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น พีเอช ลักษณะตัวเร่งปฏิกิริยา ก๊าซที่ใช้ และอุณหภูมิที่แตกต่างกัน พบว่าการใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่างรังสีอัลตราไวโอเล็ต และออกซิเจนมีผลให้อัตราการออกซิเดชันไซยาไนด์อิสระเพิ่มเป็น 2 เท่า แต่อย่างไรก็ตาม อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันไม่ขึ้นอยู่กับความดันย่อยของออกซิเจน (0.2–1

บรรยากาศ) ที่อัตราการไหลของก๊าซในช่วงที่ทำการศึกษา และการเพิ่มอุณหภูมิจาก 25 องศาเซลเซียส เป็น 35 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไซยาไนด์

Chiang, K. Amal, R. และ Tran, T. (2003) ได้ศึกษาถึงกลไกในการออกซิไดซ์ไซยาไนด์โดยใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยการทดลองที่กลุ่มไฮดรอกซิล บนพื้นผิวไททาเนียมด้วยฟลูออไรด์ไฮดรอกซิล ทำให้ทราบว่าปฏิกิริยาออกซิไดซ์ไซยาไนด์ไม่ได้เกิดขึ้นโดยไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $\text{OH}^\bullet$ ) แต่เกิดขึ้นโดยเรดิคัลที่พื้นผิวของไททาเนียม และความเร็วในการลดลงของไซยาไนด์ต่ำเนื่องจาก 1.) การดูดติดของไซยาไนด์ที่พื้นผิวของไททาเนียมต่ำ 2.) ไม่มีปฏิกิริยาที่เกิดจากไซยาไนด์กับไฮดรอกซิลเรดิคัล 3.) เกิดการรวมตัวใหม่ของเรดิคัลที่พื้นผิวของไททาเนียมอย่างรวดเร็ว

Parga, J.R. Shukla, S.S. และ Carrillo-Pedroza, F.R. (2003) ศึกษาเกี่ยวกับไซยาไนด์ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยการออกซิไดซ์ด้วยคลอรีนไดออกไซด์ ( $\text{ClO}_2$ ) การออกซิไดซ์ด้วยโอโซน และการออกซิไดซ์ด้วยแสงที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า การใช้คลอรีนไดออกไซด์ ( $\text{ClO}_2$ ) สามารถกำจัดไซยาไนด์อิสระได้ดีที่ทุกพีเอช ส่วนสารประกอบเชิงซ้อนจะสามารถกำจัดได้ดีที่พีเอชสูงๆ ส่วนการใช้โอโซนสามารถกำจัดไซยาไนด์อิสระได้ดีและอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับการเติมโอโซนเท่านั้น และการใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตโดยมีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถกำจัดสารประกอบเชิงซ้อนได้โดยเฉพาะเมื่อใช้แสงอาทิตย์

Barakat, M.A. Chenb, Y.T. และ Huang, C.P.(2004) ศึกษาการกำจัดสารประกอบของคอปเปอร์ (II) ไซยาไนด์ ด้วยวิธีการออกซิไดซ์ด้วยแสงที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยใช้แสงที่มีขนาด 100 วัตต์ ผลการทดลองพบว่า สามารถกำจัดไซยาไนด์อิสระได้ 78 % (เริ่มต้น  $10^{-3}$  M) ในเวลา 4 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์เท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และสามารถกำจัดคอปเปอร์อิสระได้หมดในเวลา 3 ชั่วโมง (เริ่มต้น  $10^{-2}$  M) ซึ่งสามารถที่จะกำจัดไซยาไนด์และคอปเปอร์ (II) ได้ดีที่อัตราส่วนโดยโมลของ Cu : CN เท่ากับ 10 : 1

Grieken, V.R. และคณะ (2005) ศึกษาการกำจัดไซยาไนด์จากสารประกอบของเหล็กไซยาไนด์ในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยทำการศึกษาก่อเกิดปฏิกิริยาแบบ Homogeneous และแบบ Heterogeneous แล้วเปรียบเทียบระหว่างการใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Degussa-P25) อย่างเดียว และใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ร่วมกับซิลิกา (Degussa-P25 กับ SBA-15) ที่เกิดจากการสังเคราะห์ ผลปรากฏว่า ปฏิกิริยาในการออกซิไดซ์สารประกอบของเหล็ก

ไซยาไนด์แบบใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ร่วมกับซิลิกา (Degussa-P25กับ SBA-15) ที่เกิดจากการสังเคราะห์จะเกิดได้ดีกว่าแบบใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Degussa-P25) อย่างเดียว และปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ร่วมกับซิลิกาที่สังเคราะห์ขึ้น จะมีอัตราส่วนของไทเทเนียมไดออกไซด์ 20 % ใน SBA-15 ซิลิกา

Pedraza-Avella, J.A. Acevedo-Pen, P. และ Pedraza-Rosas, J.E. (2008) ศึกษาการกำจัดไซยาไนด์ด้วยวิธีการโฟโตแคตตาไลติก ทำการวัดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นโดยวัดปริมาณไฟฟ้าที่ผ่านตัวนำจากผลผลิตผลการสลายตัวที่เกิดขึ้น โดยใช้  $\text{TiO}_2$  : graphite เป็น 70 : 30 ความต่างศักย์ไฟฟ้าตั้งแต่ -1000 ถึง 1000 มิลลิโวลต์ พบว่า ที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำ (-1000 ถึง 0 มิลลิโวลต์ ) สามารถทำการออกซิไดซ์ไซยาไนด์ได้ดีกว่าการออกซิไดซ์หมู่ไฮดรอกซิล ( $\text{OH}^-$ ) โดยไซยาไนด์จะถูกออกซิไดซ์ ( $\text{CN}^-$ ) ให้กลายเป็นไซยาเนต ( $\text{OCN}^-$ ) และที่ศักย์ไฟฟ้าสูง (0 ถึง 1000 มิลลิโวลต์) พบว่า สามารถออกซิไดซ์ได้ทั้งไซยาไนด์ ( $\text{CN}^-$ ) และหมู่ไฮดรอกซิล ( $\text{OH}^-$ )

Je-Lueng, S. และคณะ (2008) ศึกษาการตรวจสอบพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำกรปรับปรุงพื้นที่ผิวแล้วนำไปใช้ในการกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ พร้อมกับทำการทดลองหลอดรังสีต่างชนิดกัน โดยใช้ระยะทางที่แสงสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่สุด โดยจะมีการแปรค่าความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ทำกรปรับปรุงพื้นที่ผิวแล้วที่ต่างกัน พบว่า การปรับปรุงพื้นที่ผิวโดยใช้  $\text{Ag/TiO}_2$  เป็น 0.334 : 1 จะทำให้เกิดประสิทธิภาพในการกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ดีที่สุด จากนั้นนำมาทดลองกับรังสีที่ต่างชนิดกัน คือ UVC เท่ากับ 254 นาโนเมตร UVA เท่ากับ 365 นาโนเมตร และ UVLED (แสงจากหลอดอิเล็กทรอนิกส์) ผลการทดลองปรากฏว่า UVLED ( $0.6942 \text{ mg / kW x h}$ ) > UVA ( $0.007 \text{ mg / kW x h}$ ) > UVC ( $0.0053 \text{ mg / kW x h}$ ) และใช้ UVLED ได้มากกว่า UCV ถึง 131 ครั้ง ในการเกิดการออกซิเดชันด้วยแสง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

##### 3.1.1 วัสดุอุปกรณ์

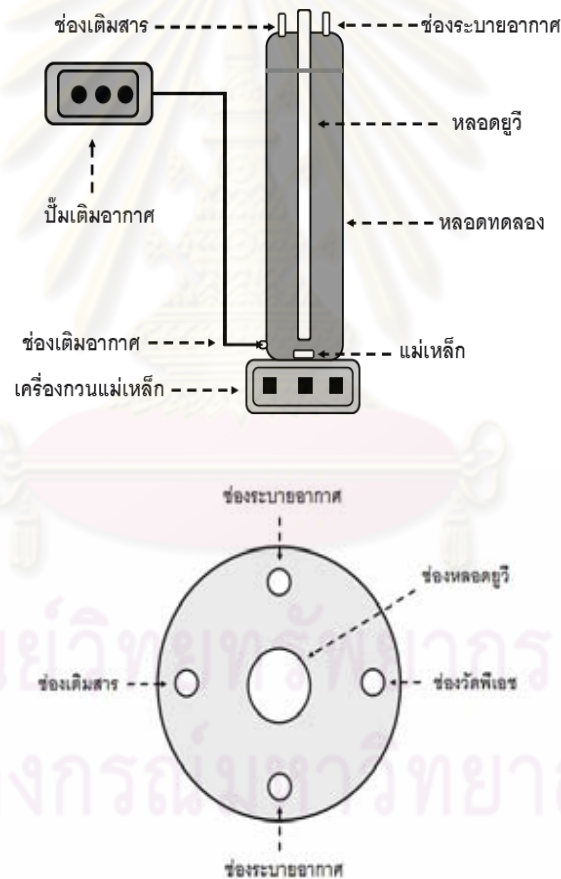
1. เครื่องไอออนโครมาโตกราฟี (Ion Chromatography, IC) : Dionex ICS -2500
2. เครื่องวัดพีเอช (pH meter) : Denver Instrument, model 215
3. เครื่องกวนแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer) : Thermolyne Cimarec 2
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (4-Digits Balance) : Mettler-Toledo, Dragon 204
5. หลอดรังสีอัลตราไวโอเลตชนิด Low – pressure mercury lamp : Philips CLEO 15 w
6. เครื่องทำน้ำบริสุทธิ์ (DI water 18.2 m $\Omega$ ) : ELGA, Purelab Maxima
7. Hyperclean Syringe Filter : Target, Nylon 0.45  $\mu$ m
8. กระจกกรองใยแก้ว (Glass Micro filter) : Whatman, GF/C
9. บั้มเติมอากาศ (ปรับอัตราการเติมอากาศได้)
10. ถังปฏิกรณ์ขนาด 1.5 ลิตร
11. อุปกรณ์เครื่องแก้วทั่วไป

##### 3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1. โปแทสเซียมเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต  
(Potassium Hexacyanocobaltate,  $K_3[Co(CN)_6]^{3-}$ ): Fiuka, Purum
2. โปแทสเซียมเตตระไซยาโนนิกเกิลเตต  
(Potassium Tetracyanonickelate,  $K_2[Ni(CN)_4]^{2-}$ ): Fiuka, Purum
3. ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium Dioxide,  $TiO_2$ ): Degussa P -25
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide, NaOH) : Lab – scan, AR
5. โซเดียมฟอร์มเมต (Sodium formate, HCOONa) ; Acros Organics 99%
6. โปแทสเซียมไซยาไนด์ (Potassium cyanide, KCN : Fiuka, Purum
7. โซเดียมอะซิเตตไตรไฮเดรต (Sodium acetate tri-hydrate,  $CH_3COONa.3H_2O$ ):  
Ridel-de Haen, Extra Pure
8. เฟอริกไนเตรท (Ferric nitrate,  $Fe(NO_3)_3.9H_2O$ ) : Ajax, AR

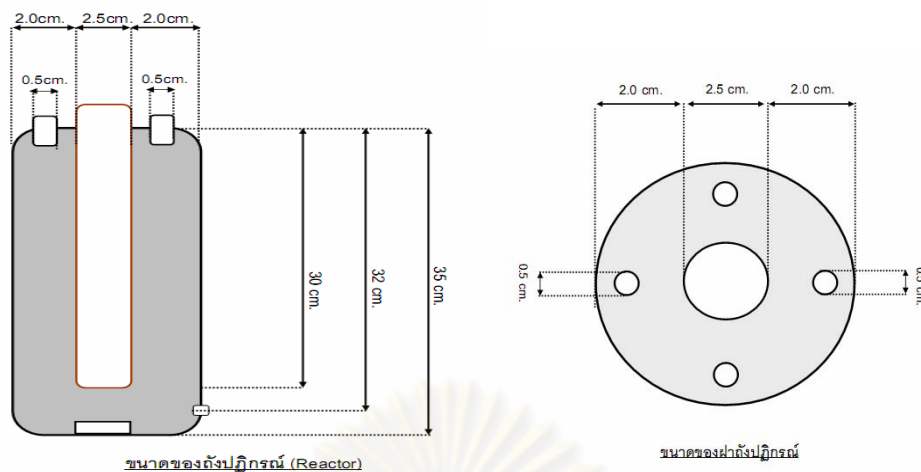
### 3.2 น้ำเสียสังเคราะห์

1. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ชนิดด้วยกัน ได้แก่ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีทั้งไซยาไนด์และโคบอลต์ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีทั้งไซยาไนด์และนิกเกิล น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีทั้งไซยาไนด์ โคบอลต์ และนิกเกิล
2. ทำการปรับพีเอชของน้ำเสียโดยการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์
3. ลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์เติมในรูปของ โปแทสเซียมเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต ( $K_3[Co(CN)_6]^{3-}$ ) และโปแทสเซียมเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต ( $K_2[Ni(CN)_4]^{2-}$ ) ทำการปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์อีกครั้ง เนื่องจากการเติมสารเคมีจะทำให้พีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เปลี่ยนไป



รูปที่ 3-1 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ทดลอง





รูปที่ 3-2 ขนาดของถังปฏิกรณ์

### 3.3 ตัวแปรและวิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.3.1 ศึกษาการกำจัดไซยาไนด์ในรูปของไซยาไนด์อิสระ $[(CN)^-]$

##### 3.3.1.1 ศึกษาผลของพีเอชและความเข้มข้นของไซยาไนด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์

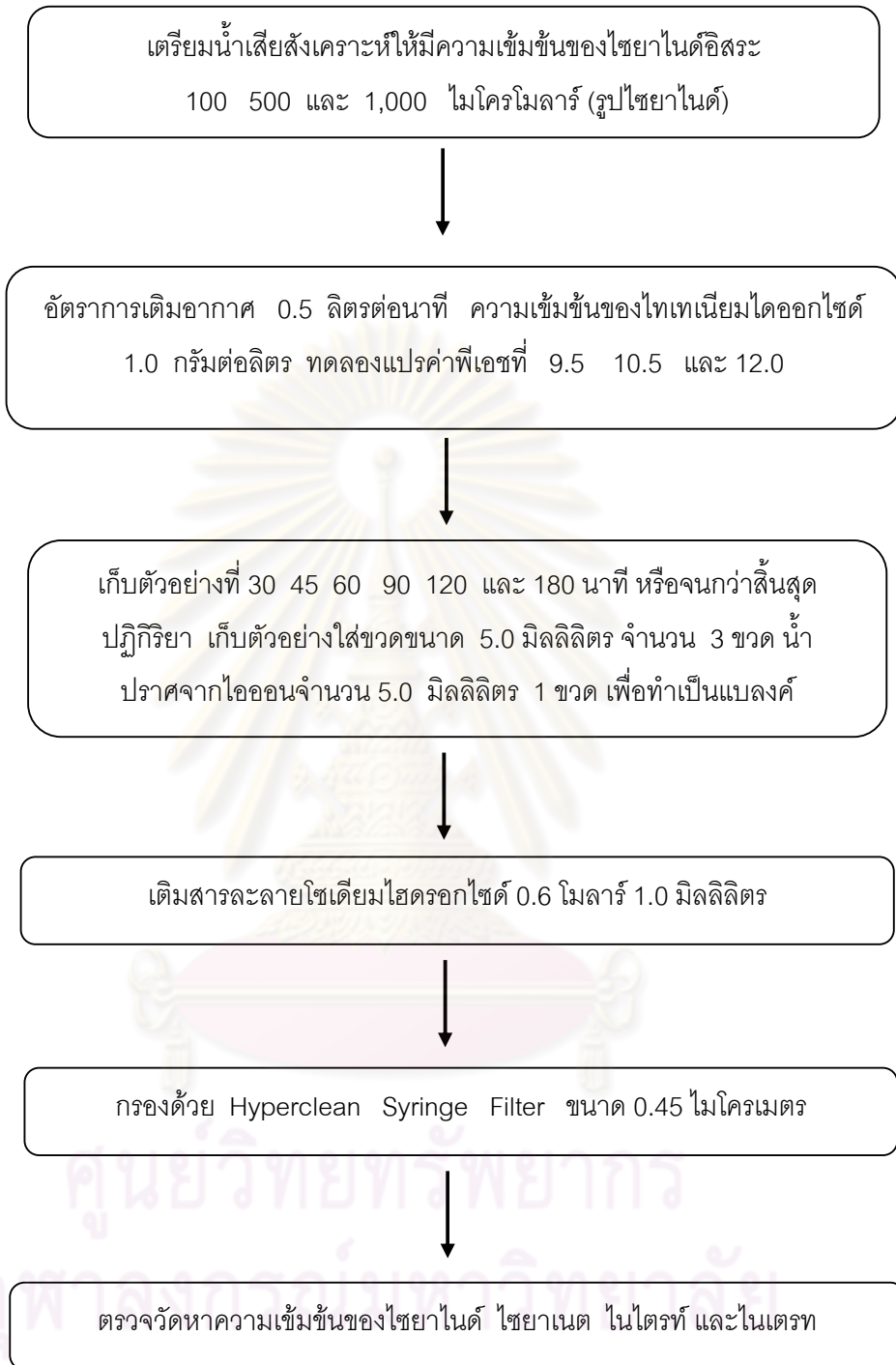
ตารางที่ 3-1 ตัวแปรในการศึกษาผลของพีเอชและความเข้มข้นของไซยาไนด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์

ตัวแปรคงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์	1. 1.0 กรัมต่อลิตร
2. ความเข้มข้นของไซยาไนด์อิสระ	2. 100 500 และ 1,000 ไมโครโมลาร์
3. อัตราการเติมอากาศ	3. 0.5 ลิตรต่อนาที
4. อุณหภูมิ	4. อุณหภูมิห้อง
5. รั้งสัญญาณ	5. ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร กำลังไฟฟ้า 15 วัตต์
ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการศึกษา
พีเอช	9.5 10.5 และ 12.0
ตัวแปรตาม	ช่วงที่ทำการตรวจวัด
ประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์	ความเข้มข้นของไซยาไนด์ ไสยาเนต ไนไตรท์ และไนเตรท

ขั้นตอนการศึกษาผลของพีเอชและความเข้มข้นของไซยาไนด์อิสระต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์

การทดลองนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์ในรูปของไซยาไนด์อิสระ ที่พีเอชที่แตกต่างกัน เพื่อหาพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดไซยาไนด์ และศึกษาถึงผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของไซยาไนด์อิสระ ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้ ความเข้มข้นของไซยาไนด์อิสระที่ใช้ 100 500 และ 1,000 ไมโครโมลาร์ (รูปไซยาไนด์) แต่จะความเข้มข้นจะทำการทดลองแปรตามค่าพีเอช 9.5 10.5 และ 12.0 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที และมีขั้นตอนการทดลอง แผนผังขั้นตอนการทดลองดังรูปที่ 3-3 ดังนี้

1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของไซยาไนด์อิสระ ตามความเข้มข้นที่ 100 500 และ 1,000 ไมโครโมลาร์ (รูปไซยาไนด์) ในถังปฏิกิริยาที่มีน้ำปราศจากไอออน 0.5 ลิตร
2. ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร ใส่ลงไปในถังปฏิกิริยา
3. เติมอากาศเพื่อให้สารละลายอิมิตัวที่อัตราการเติมเท่ากับ 0.5 ลิตรต่อนาที ทุกการทดลอง
4. ทำการทดลองที่พีเอชต่างๆ กัน คือ 9.5 10.5 และ 12.0
5. เก็บตัวอย่างที่ 30 45 60 90 120 และ 180 นาที หรือจนกว่าสิ้นสุดปฏิกิริยา โดยเก็บตัวอย่างใส่ขวดขนาด 5.0 มิลลิลิตร จำนวน 3 ขวด และเติมน้ำปราศจากไอออนจำนวน 5.0 มิลลิลิตร 1 ขวด เพื่อทำเป็นแบลนด์
6. นำตัวอย่างไปตรวจวัดพีเอชและเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.6 โมลาร์ 1.0 มิลลิลิตร เพื่อปรับพีเอชไม่ให้ไซยาไนด์ระเหย
7. กรองด้วย Hyperclean Syringe Filter ขนาด 0.45 ไมโครเมตร และนำสารละลายไปตรวจวัดหาความเข้มข้นของไซยาไนด์ ไซยาเนต ไนไตรท์ และไนเตรท ด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟี (พร้อมทั้งแบลนด์ด้วย)
8. นำผลการทดลองไปวิเคราะห์ถึงผลของพีเอช และผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของไซยาไนด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์และเลือกสภาวะที่เหมาะสม



รูปที่ 3-3 แผนผังขั้นตอนการทดลองที่ 3.3.1.1

### 3.3.1.2 ศึกษาผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไชยาไนต์

ตารางที่ 3-2 ตัวแปรในการศึกษาผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไชยาไนต์

ตัวแปรคงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. พีเอช 2. อุณหภูมิ 3. อัตราการเติมอากาศ 4. ความเข้มข้นของไชยาไนต์อิสระ 5. รังสียูวี	1. พีเอชที่เหมาะสม (จากข้อ 3.3.1.1) 2. อุณหภูมิห้อง 3. 0.5 ลิตรต่อนาที 4. 500 ไมโครโมลาร์ (รูปไชยาไนต์) 5. ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร กำลังไฟฟ้า 15 วัตต์
ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการศึกษา
ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์	0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 กรัมต่อลิตร
ตัวแปรตาม	ช่วงที่ทำการตรวจวัด
ประสิทธิภาพในการกำจัดไชยาไนต์และสารผลิตภัณฑ์	ความเข้มข้นของไชยาไนต์ ไชยาเนต ไนไตรท์ และไนเตรท

#### ขั้นตอนการศึกษาผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไชยาไนต์

การทดลองนี้เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไชยาไนต์ ที่ความเข้มข้นต่างกัน ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองคือพีเอชที่เหมาะสม (จากข้อ 3.3.1.1) ความเข้มข้นของไชยาไนต์อิสระ 500 ไมโครโมลาร์ (รูปไชยาไนต์) และความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 0.1 0.2 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีแผนผังขั้นตอนการทดลองดังรูปที่ 3-4 และขั้นตอนการทดลอง ดังนี้

1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ให้มีความเข้มข้นของไชยาไนต์อิสระ 500 ไมโครโมลาร์ (รูปไชยาไนต์) ในน้ำปราศจากไอออน 0.5 ลิตร
2. ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 กรัมต่อลิตร
3. ทำการเติมอากาศเพื่อให้สารละลายอิ่มตัว โดยเติมด้วยอัตราเท่ากับ 0.5 ลิตรต่อนาที
4. ทำการเก็บตัวอย่างที่ 30 45 60 90 120 และ 180 นาที หรือจนกว่าสิ้นสุดปฏิกิริยา โดยเก็บตัวอย่างใส่ขวดขนาด 5.0 มิลลิลิตร จำนวน 3 ขวด และเติมน้ำปราศจากไอออน จำนวน 5.0 มิลลิลิตร 1 ขวด เพื่อทำเป็นแบลนด์

5. เติมสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.6 โมลาร์ 1.0 มิลลิลิตร เพื่อปรับพีเอชไม่ให้ ไซยาไนด์ระเหย
6. นำตัวอย่างที่ได้จากการเติมอากาศไปกรองด้วย Hyperclean Syringe Filter ขนาด 0.45 ไมโครเมตร และนำไปตรวจวัดหาความเข้มข้นของไซยาไนด์ ไซยาเนต ไนไตรท์ และไนเตรท ด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟ (พร้อมกับแบลนด์ด้วย)
7. นำผลการทดลองไปวิเคราะห์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อที่เหมาะสมต่อ ประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์ และเลือกสภาวะที่เหมาะสม



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3-4 แผนผังขั้นตอนการทดลองที่ 3.3.1.2



### 3.3.1.3 ศึกษาผลของอัตราการเติมอากาศต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไฮยาไนต์

ตารางที่ 3-3 ตัวแปรในการศึกษาผลของอัตราการเติมอากาศต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไฮยาไนต์

ตัวแปรคงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 2. อุณหภูมิ 3. พีเอช 4. ความเข้มข้นของไฮยาไนต์อิสระ 5. รังสียูวี	1. ที่เหมาะสม (จากข้อ 3.3.1.2) 2. อุณหภูมิห้อง 3. พีเอชที่เหมาะสม (จากข้อ 3.3.1.1) 4. 500 ไมโครโมลาร์ (รูปไฮยาไนต์) 5. ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตรกำลังไฟฟ้า 15 วัตต์
ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการศึกษา
อัตราการเติมอากาศ	0.5 1.0 และ 2.0 ลิตรต่อนาที
ตัวแปรตาม	ช่วงที่ทำการตรวจวัด
ประสิทธิภาพในการกำจัดไฮยาไนต์	ความเข้มข้นของไฮยาไนต์ ไฮยาเน็ต ไนไตรท์ และไนเตรท

#### ขั้นตอนการศึกษาผลของอัตราการเติมอากาศต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไฮยาไนต์

การทดลองนี้เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเติมอากาศ ที่มีต่อการกำจัดไฮยาไนต์อิสระ ที่อัตราการเติมต่างๆ กัน ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง พีเอชที่เหมาะสม (จากข้อ 3.3.1.1) ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสม (จากข้อ 3.3.1.2) และแปรค่าอัตราการเติมอากาศที่ 0.5 1.0 และ 2.0 ลิตรต่อนาที ซึ่งมีแผนผังขั้นตอนการทดลองดังรูปที่ 3-5 และขั้นตอนการทดลอง ดังนี้

1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นของไฮยาไนต์อิสระ 500 ไมโครโมลาร์ (รูปไฮยาไนต์) พีเอชที่เหมาะสม (จากข้อ 3.3.1.1) ความเข้มข้นไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสม (จากข้อ 3.3.1.2) ในน้ำปราศจากไอออน 0.5 ลิตร
2. ทำการแปรค่าอัตราการเติมอากาศที่ 0.5 1.0 และ 2.0 ลิตรต่อนาที
3. เก็บตัวอย่างที่ 30 45 60 90 120 และ 180 นาที หรือ จนกว่าสิ้นสุดปฏิกิริยา เก็บตัวอย่างใส่ขวดขนาด 5.0 มิลลิลิตร จำนวน 3 ขวด และเติมน้ำปราศจากไอออน จำนวน 5.0 มิลลิลิตร 1 ขวด เพื่อทำเป็นแบลนด์

4. เติมสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.6 โมลาร์ 1.0 มิลลิลิตร เพื่อปรับพีเอชไม่ให้ ไซยาไนด์ระเหย
5. นำตัวอย่างที่ได้จากการเติมอากาศไปกรองด้วย Hyperclean Syringe Filter จากนั้นตรวจหาไซยาไนด์ ไซยาเนต ไนไตรท์ และไนเตรท ด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟ (พร้อมกับแบลนด์ด้วย)
6. นำผลการทดลองไปวิเคราะห์หาค่าการเติมอากาศที่เหมาะสม ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์ และเลือกสภาวะที่เหมาะสม



ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3-5 แผนผังขั้นตอนการทดลองที่ 3.3.1.3

### 3.3.2 ศึกษาการกำจัดไซยาไนด์ในรูปของเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต ( $[\text{Co}(\text{CN})_6]^{3-}$ )

#### 3.3.2.1 ศึกษาผลของพีเอชและความเข้มข้นของเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตต่อ

##### ประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต

ตารางที่ 3-4 ตัวแปรในการศึกษาผลของพีเอชและความเข้มข้นของเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต

ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต

ตัวแปรคงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์	1. 1.0 กรัมต่อลิตร
2. ความเข้มข้นของเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต	2. 100 500 และ 1,000 ไมโครโมลาร์ (รูปไซยาไนด์)
3. อัตราการเติมอากาศ	3. 0.5 ลิตรต่อนาที
4. อุณหภูมิ	4. อุณหภูมิห้อง
5. รั้งสี่งูวี่	5. ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร กำลังไฟฟ้า 15 วัตต์
ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการศึกษา
พีเอช	9.5 10.5 และ 12.0
ตัวแปรตาม	ช่วงที่ทำการตรวจวัด
ประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต	ความเข้มข้นของไซยาไนด์ ไซยาเนต ไนไตรท์ และไนเตรท

#### ขั้นตอนการศึกษาผลของพีเอชและความเข้มข้นของเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต

การทดลองนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์รูปของเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตที่แต่ละพีเอช เพื่อหาพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดไซยาไนด์และศึกษาถึงผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้ ความเข้มข้นของเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต (รูปไซยาไนด์) 100 500 และ 1,000 ไมโครโมลาร์ แต่ละความเข้มข้นจะทำการแปรตามพีเอช 9.5 10.5 และ 12.0 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ขั้นตอนการทดลองและแผนผังขั้นตอนการทดลองดังรูปที่ 3-6 ดังนี้

1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ให้มีความเข้มข้นของเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต (รูปไซยาไนด์) ตามความเข้มข้นที่ 100 500 และ 1,000 ไมโครโมลาร์ ในถังปฏิกรณ์ที่มีน้ำปราศจากไอออน 0.5 ลิตร
2. ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร ใส่ลงไปในถังปฏิกรณ์

3. เติมอากาศเพื่อให้สารละลายอิ่มตัวที่อัตราการเติมเท่ากับ 0.5 ลิตรต่อนาที
4. ทำการทดลองที่พีเอชต่าง ๆ กัน คือ 9.5 10.5 และ 12.0
5. เก็บตัวอย่างที่ 30 45 60 90 120 และ 180 นาที หรือจนกว่าสิ้นสุดปฏิกิริยา โดยเก็บตัวอย่างใส่ขวดขนาด 5.0 มิลลิลิตร จำนวน 3 ขวด และเติมน้ำปราศจากไอออนจำนวน 5.0 มิลลิลิตร 1 ขวด เพื่อทำเป็นแบลนด์
6. นำตัวอย่างไปตรวจวัดพีเอช และเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.6 โมลาร์ 1.0 มิลลิลิตร เพื่อปรับพีเอชไม่ให้โซยาไนต์ระเหย
7. กรองด้วย Hyperclean Syringe Filter ขนาด 0.45 ไมโครเมตร และนำสารละลายไปตรวจวัดหาความเข้มข้นของโซยาไนต์ โซยานेट ไนไตรท์ และไนเตรท ด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟี (พร้อมกับแบลนด์ด้วย)
8. นำผลการทดลองไปวิเคราะห์ผลของพีเอช และผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของโซยาไนต์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเฮกซะโซยาโนโคบอลเตตและเลือกสภาวะที่เหมาะสม



ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3-6 แผนผังขั้นตอนการทดลองที่ 3.3.2.1



### 3.3.2.2 ศึกษาผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตต

ตารางที่ 3-5 ตัวแปรในการศึกษาผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพ ในการกำจัดสารประกอบเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตต

ตัวแปรคงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. พีเอช 2. อุณหภูมิ 3. อัตราการเติมอากาศ 4. ความเข้มข้นของเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตต 5. รังสียูวี	1. พีเอชที่เหมาะสม (จากข้อ 3.3.2.1) 2. อุณหภูมิห้อง 3. 0.5 ลิตรต่อนาที 4. 500 ไมโครโมลาร์ (รูปไฮยาโนด์) 5. ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร กำลังไฟฟ้า 15 วัตต์
ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการศึกษา
ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์	0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 กรัมต่อลิตร
ตัวแปรตาม	ช่วงที่ทำการตรวจวัด
ประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตต	ความเข้มข้นของไฮยาโนด์ ไฮยาเนต ไนไตรท์ และไนเตรท

#### ขั้นตอนการศึกษาผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตต

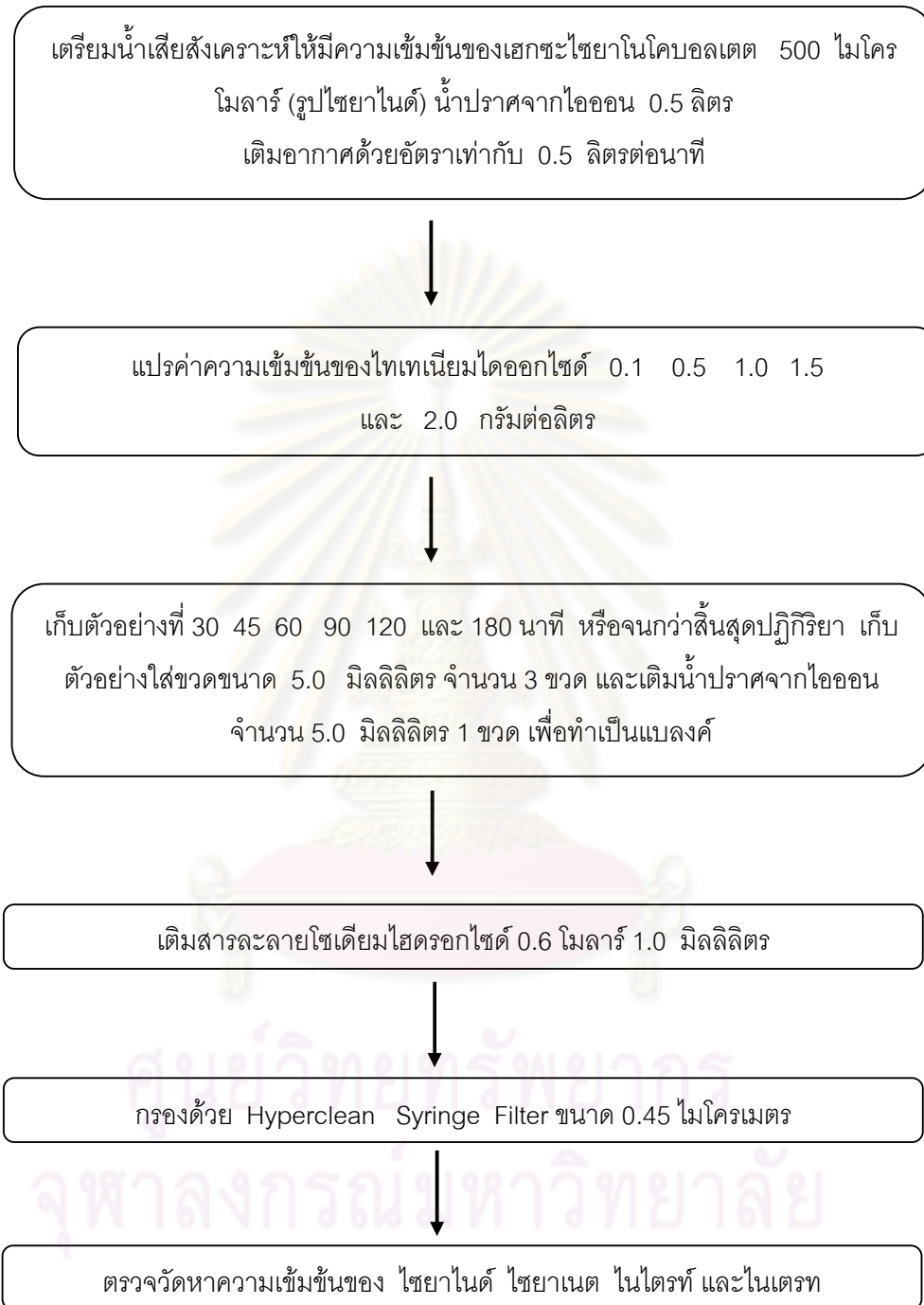
การทดลองนี้เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตตต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตต ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองคือ พีเอชที่เหมาะสม (จากข้อ 3.3.2.1) ความเข้มข้นของเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตต (รูปไฮยาโนด์) 500 ไมโครโมลาร์ และความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีแผนผังขั้นตอนการทดลองดังรูปที่ 3-7 และขั้นตอนการทดลอง ดังนี้

1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ให้มีความเข้มข้นของเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตต (รูปไฮยาโนด์) 500 ไมโครโมลาร์ ในน้ำปราศจากไอออน 0.5 ลิตร
2. ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 กรัมต่อลิตร
3. ทำการเติมอากาศเพื่อให้สารละลายอิ่มตัว โดยเติมด้วยอัตราเท่ากับ 0.5 ลิตรต่อนาที

4. ทำการเก็บตัวอย่างที่ 30 45 60 90 120 และ 180 นาที หรือจนกว่าสิ้นสุดปฏิกิริยา โดยเก็บตัวอย่างใส่ขวดขนาด 5.0 มิลลิลิตร จำนวน 3 ขวด และเติมน้ำปราศจากไอออน จำนวน 5.0 มิลลิลิตร 1 ขวด เพื่อทำเป็นแบลนด์
5. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.6 โมลาร์ 1.0 มิลลิลิตร เพื่อปรับพีเอชไม่ให้ไฮยาไนต์ระเหย
6. นำตัวอย่างที่ได้จากการเติมอากาศไปกรองด้วย Hyperclean Syringe Filter ขนาด 0.45 ไมโครเมตร และนำไปตรวจวัดหาความเข้มข้นของไฮยาไนต์ ไฮยาเนต ไนไตรท์ และไนเตรท ด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟี (พร้อมกับแบลนด์ด้วย)
7. นำผลการทดลองไปวิเคราะห์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตต และเลือกสภาวะที่เหมาะสม



ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3-7 แผนผังขั้นตอนการทดลองที่ 3.3.2.2

### 3.3.2.3 ศึกษาผลของอัตราการเติมอากาศต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตต

ตารางที่ 3-6 ตัวแปรในการศึกษาผลของอัตราการเติมอากาศต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตต

ตัวแปรคงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 2. ความเข้มข้นของเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตต 3. อุณหภูมิ 4. พีเอช 5. รังสียูวี	1. ที่เหมาะสม (จากข้อ 3.3.2.2) 2. 500 ไมโครโมลาร์ (รูปโซยาไนต์) 3. อุณหภูมิห้อง 4. พีเอชที่เหมาะสม (จากข้อ 3.3.2.1) 5. ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร กำลังไฟฟ้า 15 วัตต์
ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการศึกษา
อัตราการเติมอากาศ	0.5 1.0 และ 2.0 ลิตรต่อนาที
ตัวแปรตาม	ช่วงที่ทำการตรวจวัด
ประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตต	ความเข้มข้นของโซยาไนต์ โซยานेत ไนไตรท์ และไนเตรท

#### ขั้นตอนการศึกษาผลของอัตราการเติมอากาศต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตต

การทดลองนี้เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเติมอากาศ ที่อัตราการเติมต่าง ๆ กันในการกำจัดโซยาไนต์ ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง ความเข้มข้นของเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตต (รูปโซยาไนต์) 500 ไมโครโมลาร์ พีเอชที่เหมาะสม (จากข้อ 3.3.2.1) ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสม (จากข้อ 3.3.2.2) และแปรค่าอัตราการเติมอากาศที่ 0.5 1.0 และ 2.0 ลิตรต่อนาที ซึ่งมีแผนผังขั้นตอนการทดลองดังรูปที่ 3-8 และขั้นตอนการทดลองดังนี้

- เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ พีเอชที่เหมาะสม (จากข้อ 3.3.2.1) ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสม (จากข้อ 3.3.2.2) ความเข้มข้นของเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตต 500 ไมโครโมลาร์ (รูปโซยาไนต์) ในน้ำปราศจากไอออน 0.5 ลิตร
- ทำการแปรค่าอัตราการเติมอากาศที่ 0.5 1.0 และ 2.0 ลิตรต่อนาที
- เก็บตัวอย่างที่ 30 45 60 90 120 150 และ 180 นาที หรือจนกว่าสิ้นสุดปฏิกิริยา เก็บตัวอย่างใส่ขวดขนาด 5.0 มิลลิลิตร จำนวน 3 ขวด และเติมน้ำปราศจากไอออน จำนวน 5.0 มิลลิลิตร 1 ขวด เพื่อทำเป็นแบลนด์

4. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.6 โมลาร์ 1.0 มิลลิลิตร เพื่อปรับพีเอชไม่ให้โซยาไนต์ระเหย
5. นำตัวอย่างที่ได้จากการเติมอากาศไปกรองด้วย Hyperclean Syringe Filter จากนั้นนำตรวจหาโซยาไนต์ โซยานेत ไนไตรท์ และไนเตรท ด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟ (พร้อมกับแบลนด์ด้วย)
6. นำผลการทดลองไปวิเคราะห์อัตราการผลิตอากาศที่เหมาะสม ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเฮกซะโซยาโนโคบอลเตต และเลือกสภาวะที่เหมาะสม



ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3-8 แผนผังขั้นตอนการทดลองที่ 3.3.2.3



### 3.3.3 ศึกษาการกำจัดไซยาไนด์ในรูปของเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต ( $[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$ )

#### 3.3.3.1 ศึกษาผลของพีเอชและความเข้มข้นของเตตระไซยาโนนิกเกิลเลตต่อ

##### ประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต

ตารางที่ 3-7 ตัวแปรในการศึกษาผลของพีเอชและความเข้มข้นของเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต

ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต

ตัวแปรคงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์	1. 1.0 กรัมต่อลิตร
2. ความเข้มข้นเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต	2. 100 500 และ 1,000 ไมโครโมลาร์ (รูปไซยาไนด์)
3. อัตราการเติมอากาศ	3. 0.5 ลิตรต่อนาที
4. อุณหภูมิ	4. อุณหภูมิห้อง
5. รั้งสี่ยูวี	5. ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร กำลังไฟฟ้า 15 วัตต์
ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการศึกษา
พีเอช	9.5 10.5 และ 12.0
ตัวแปรตาม	ช่วงที่ทำการตรวจวัด
ประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต	ความเข้มข้นของไซยาไนด์ ไซยาเนต ไนไตรท์ และไนเตรท

#### ขั้นตอนการศึกษาผลของพีเอชและความเข้มข้นของเตตระไซยาโนนิกเกิลเลตต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต

การทดลองนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์ ในรูปของเตตระไซยาโนนิกเกิลเลตที่แต่ละพีเอช เพื่อหาพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดไซยาไนด์ และศึกษาถึงผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้ ความเข้มข้นของเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต (รูปไซยาไนด์) 100 500 และ 1,000 ไมโครโมลาร์ แต่จะความเข้มข้นจะทำการแปรตามพีเอช 9.5 10.5 และ 12.0 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ขั้นตอนการทดลองและแผนผังขั้นตอนการทดลอง ดังรูปที่ 3-9 ดังนี้

1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต ตามความเข้มข้นที่ 100 500 และ 1,000 ไมโครโมลาร์ (รูปไซยาไนด์) ในถังปฏิกิริยาที่มีน้ำปราศจากไอออน 0.5 ลิตร

2. ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร ใส่ลงไปจนถึงปฏิกรณ์
3. เติมหอากาศเพื่อให้สารละลายอิมิตัวที่อัตราเท่ากับ 0.5 ลิตรต่อนาที
4. ทำการทดลองที่พีเอชต่าง ๆ กัน คือ 9.5 10.5 และ 12.0
5. เก็บตัวอย่างที่ 30 45 60 90 120 และ 180 นาที หรือจนกว่าสิ้นสุดปฏิกิริยา โดยเก็บตัวอย่างใส่ขวดขนาด 5.0 มิลลิลิตร จำนวน 3 ขวด และเติมน้ำปราศจากไอออนจำนวน 5.0 มิลลิลิตร 1 ขวด เพื่อทำเป็นแบลนด์
6. นำตัวอย่างไปตรวจวัดพีเอช และเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.6 โมลาร์ 1.0 มิลลิลิตรเพื่อปรับพีเอชไม่ให้โซยานินดัดระเหย
7. กรองด้วย Hyperclean Syringe Filter ขนาด 0.45 ไมครอนเมตร และนำสารละลายไปตรวจวัดหาความเข้มข้นของโซยานินดัด โซยานิต ไนไตรท์ และไนเตรท ด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟี (พร้อมกับแบลนด์ด้วย)
8. นำผลการทดลองไปวิเคราะห์ผลของพีเอช และผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของโซยานินดัดต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเตตระโซยานินนิกเกิลเลตและเลือกสภาวะที่เหมาะสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3-9 แผนผังขั้นตอนการทดลองที่ 3.3.3.1

### 3.3.3.2 ศึกษาผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกลเลต

ตารางที่ 3-8 ตัวแปรในการศึกษาผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกลเลต

ตัวแปรคงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. พีเอช 2. อุณหภูมิ 3. อัตราการเติมอากาศ 4. ความเข้มข้นของเตตระไฮยาโนนิกเกลเลต 5. รังสียูวี	1. พีเอชที่เหมาะสม (จากข้อ 3.3.3.1) 2. อุณหภูมิห้อง 3. 0.5 ลิตรต่อนาที 4. 500 ไมโครโมลาร์ (รูปโซยาไนต์) 5. ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร กำลังไฟฟ้า 15 วัตต์
ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการศึกษา
ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์	0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 กรัมต่อลิตร
ตัวแปรตาม	ช่วงที่ทำการตรวจวัด
ประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกลเลต	ความเข้มข้นของโซยาไนต์ โซยานेत ไนไตรท์ และไนเตรท

#### ขั้นตอนการศึกษาผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกลเลต

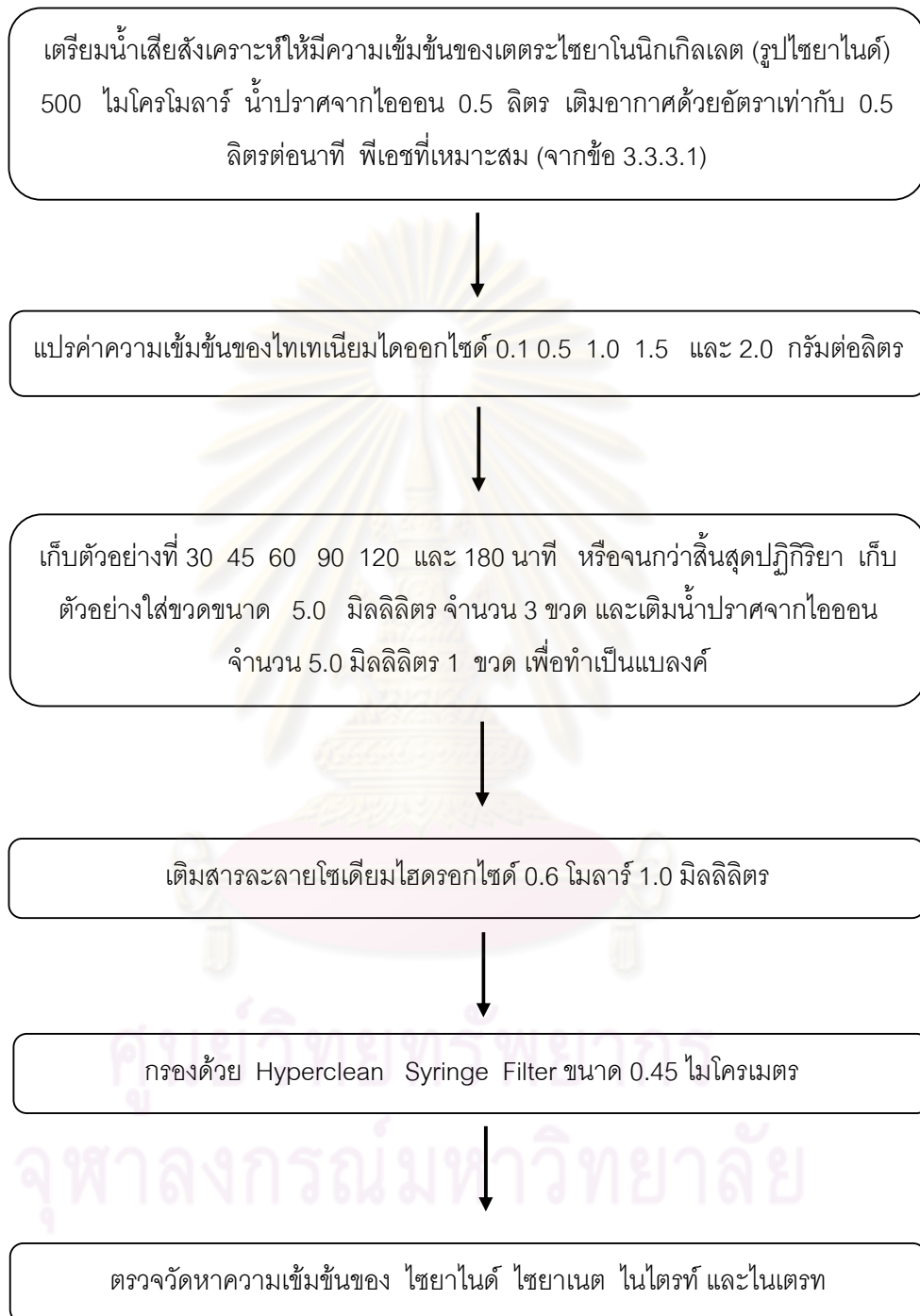
การทดลองนี้เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกลเลต ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองจะมีพีเอชที่เหมาะสม ความเข้มข้นของเตตระไฮยาโนนิกเกลเลต 500 ไมโครโมลาร์ (รูปโซยาไนต์) และความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีแผนผังขั้นตอนการทดลองดังรูปที่ 3-10 และขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ให้มีความเข้มข้นของเตตระไฮยาโนนิกเกลเลต (รูปโซยาไนต์) 500 ไมโครโมลาร์ พีเอชที่เหมาะสม (จากข้อ 3.3.3.1) ในน้ำปราศจากไอออน 0.5 ลิตร
2. ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 กรัมต่อลิตร
3. ทำการเติมอากาศเพื่อให้สารละลายอิมิตัว โดยเติมด้วยอัตราเท่ากับ 0.5 ลิตรต่อนาที
4. เก็บตัวอย่างที่ 30 45 60 90 120 และ 180 นาที หรือจนกว่าสิ้นสุดปฏิกิริยา โดยเก็บตัวอย่างใส่ขวดขนาด 5.0 มิลลิลิตร จำนวน 3 ขวด และเติมน้ำปราศจากไอออน จำนวน 5.0 มิลลิลิตร 1 ขวด เพื่อทำเป็นแบลนด์

5. เติมสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ 0.6 โมลาร์ 1.0 มิลลิลิตร เพื่อปรับพีเอชไม่ให้ไฮยาไนต์ระเหย
6. นำตัวอย่างที่ได้จากการเติมอากาศไปกรองด้วย Hyperclean Syringe Filter ขนาด 0.45 ไมโครเมตร และนำไปตรวจวัดหาความเข้มข้นของไฮยาไนต์ ไฮยาเนต ไนไตรท์ และไนเตรท ด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟ (พร้อมกับแบลนด์ด้วย)
7. นำผลการทดลองไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกลเลต และเลือกสภาวะที่เหมาะสม



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3-10 แผนผังขั้นตอนการทดลองที่ 3.3.3.2



### 3.3.3.3 ศึกษาผลของอัตราการเติมอากาศต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบ เตตระไฮยาโนนิกเกิดเลต

ตารางที่ 3-9 ตัวแปรในการศึกษาผลของอัตราการเติมอากาศต่อประสิทธิภาพในการกำจัด  
สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลต

ตัวแปรคงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 2. ความเข้มข้นของเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลต 3. อุณหภูมิ 4. พีเอช 5. รังสียูวี	1. ที่เหมาะสม (จากข้อ 3.3.3.2) 2. 500 ไมโครโมลาร์ (รูปไฮยาโนด์) 3. อุณหภูมิห้อง 4. ที่เหมาะสม (จากข้อ 3.3.3.1) 5. ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร กำลังไฟฟ้า 15 วัตต์
ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการศึกษา
อัตราการเติมอากาศ	0.5 1.0 และ 2.0 ลิตรต่อนาที
ตัวแปรตาม	ช่วงที่ทำการตรวจวัด
ประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลต	ความเข้มข้นของไฮยาโนด์ ไฮยาเนต ไนไตรท์ และไนเตรท

#### ขั้นตอนการศึกษาผลของอัตราการเติมอากาศต่อประสิทธิภาพในการกำจัด สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลต

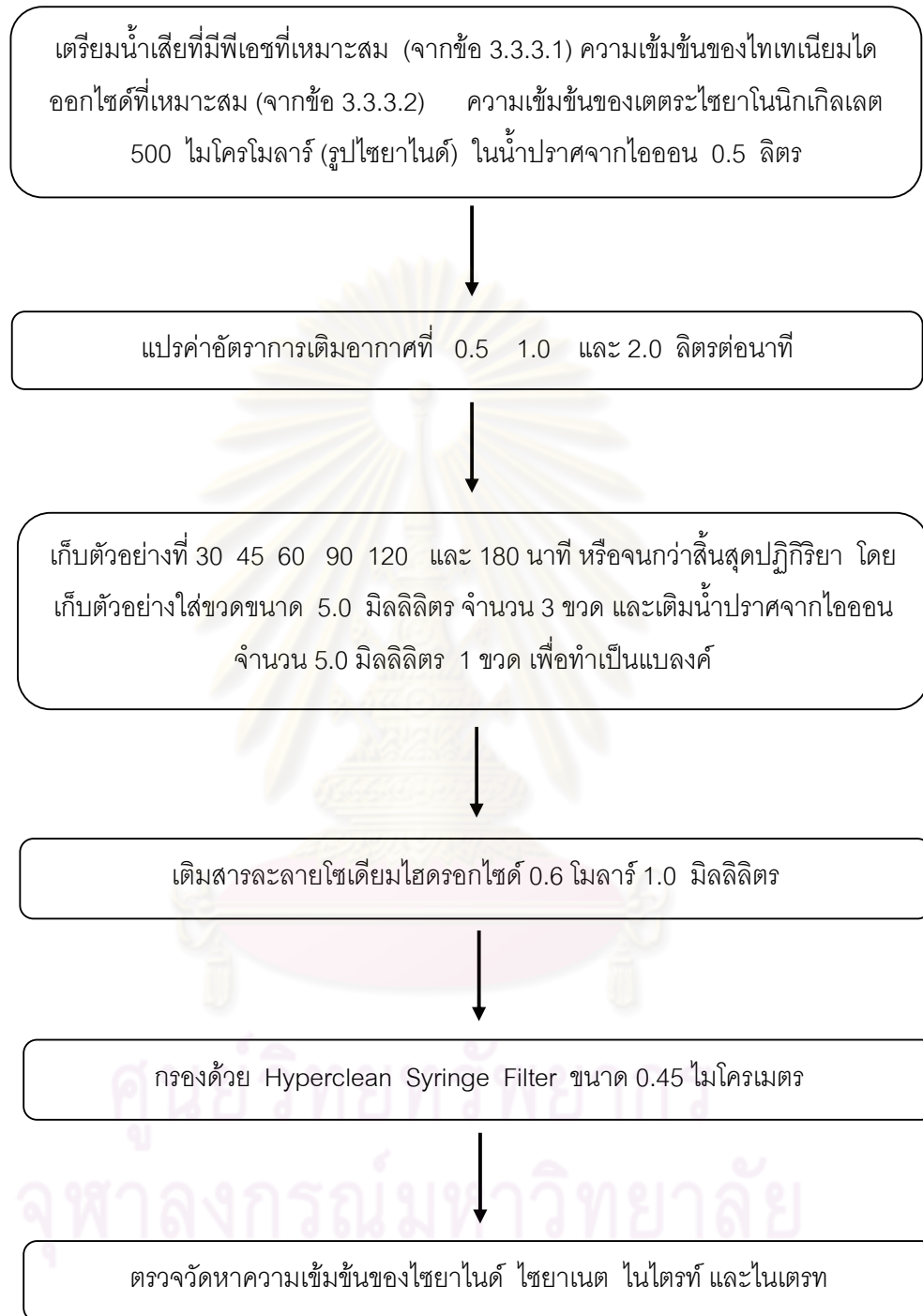
การทดลองนี้เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบผลของการเติมอากาศ ที่อัตราการเติมต่างๆ  
กันในการกำจัดสารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลต ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง พีเอชที่  
เหมาะสม (จากข้อ 3.3.3.1) ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสม (จากข้อ 3.3.3.2)  
ความเข้มข้นของเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลต (รูปไฮยาโนด์) 500 ไมโครโมลาร์ และแปรค่าอัตราการ  
เติมอากาศที่ 0.5 1.0 และ 2.0 ลิตรต่อนาที ขั้นตอนการทดลองและแผนผังขั้นตอนการทดลอง  
ดังรูปที่ 3-11 ดังนี้

1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ ต่อความเข้มข้นของเต  
ตระไฮยาโนนิกเกิดเลตที่เหมาะสม พีเอชที่เหมาะสมในน้ำปราศจากไอออน 0.5 ลิตร
2. ทำการแปรค่าอัตราการเติมอากาศที่ 0.5 1.0 และ 2.0 ลิตรต่อนาที
3. เก็บตัวอย่างที่ 30 45 60 90 120 และ 180 นาที หรือจนกว่าสิ้นสุดปฏิกิริยา เก็บ  
ตัวอย่างใส่ขวดขนาด 5.0 มิลลิลิตร จำนวน 3 ขวด และเติมน้ำปราศจากไอออน  
จำนวน 5.0 มิลลิลิตร 1 ขวด เพื่อทำเป็นแบลนด์

4. เติมสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.6 โมลาร์ 1.0 มิลลิลิตร เพื่อปรับพีเอชไม่ให้ ไซยาไนด์ระเหยเป็นไอ
5. นำตัวอย่างที่ได้จากการเติมอากาศไปกรองด้วย Hyperclean Syringe Filter จากนั้นนำตรวจหาไซยาไนด์ ไซยาเนต ไนไตรท์ และไนเตรท ด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟ (พร้อมกับแบลนด์ด้วย)
6. นำผลการทดลองไปวิเคราะห์หาค่าการเติมอากาศที่เหมาะสม ต่อประสิทธิภาพในการ กำจัดสารประกอบเตตระไซยาไนด์ในนิกเกิลเลต และเลือกสภาวะที่เหมาะสม



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3-11 แผนผังขั้นตอนการทดลองที่ 3.3.3.3

### 3.3.4 ศึกษาการกำจัดไชยาไนต์ในรูปของสารประกอบผสม (เตตระไชยาโนนิกเกิลเลต และเฮกซะไชยาโนโคบอลเตต)

#### 3.3.4.1 ศึกษาผลของพีเอชและความเข้มข้นของสารประกอบผสมต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบผสม

ตารางที่ 3-10 ตัวแปรในการศึกษาผลของพีเอชและความเข้มข้นของสารประกอบผสมต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบผสม

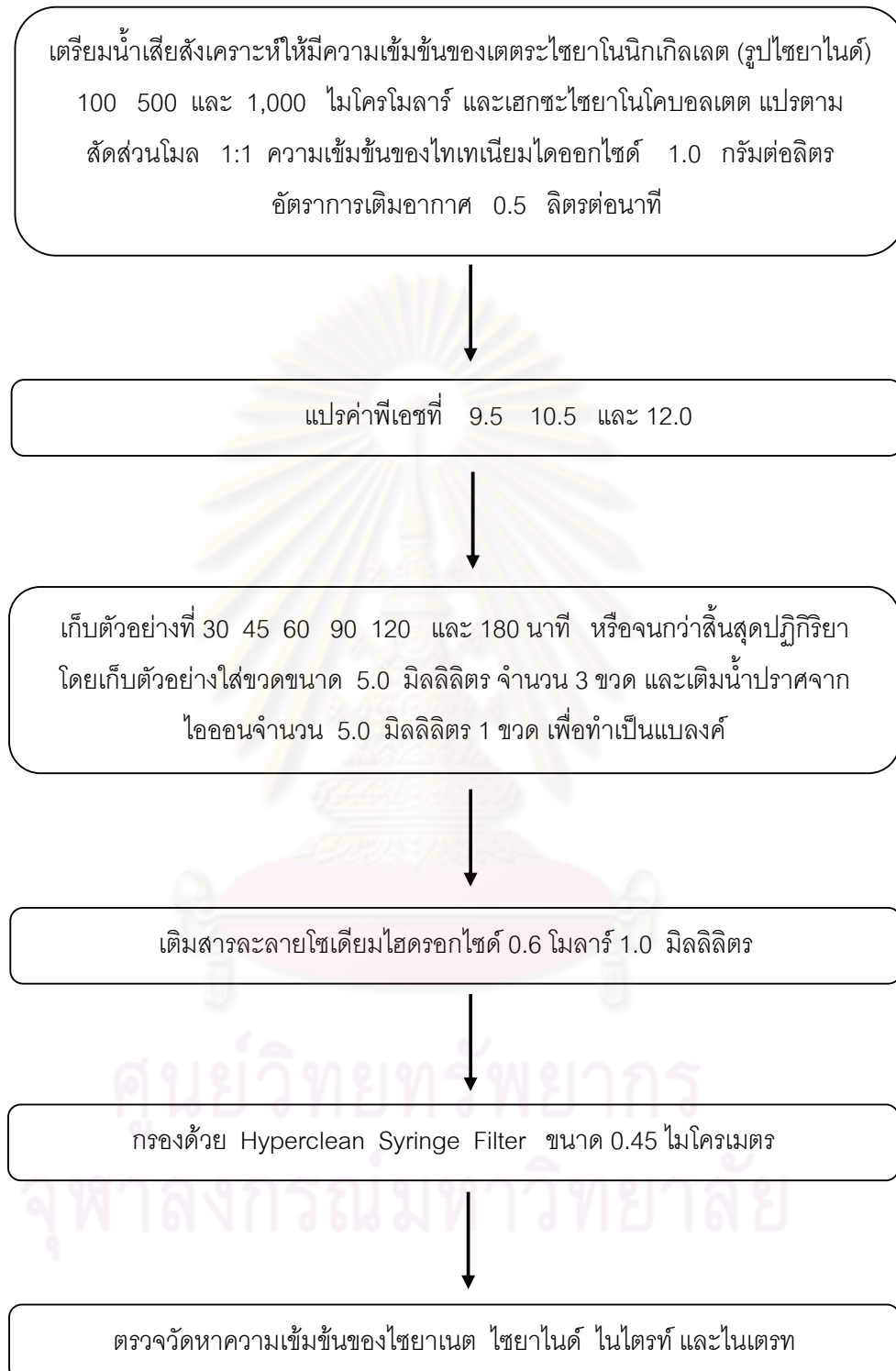
ตัวแปรคงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. อัตราส่วนโดยโมลของเตตระไชยาโนนิกเกิลเลตต่อเฮกซะไชยาโนโคบอลเตต	1. 1 : 1
2. ความเข้มข้นของเตตระไชยาโนนิกเกิลเลต	2. ความเข้มข้นของเตตระไชยาโนนิกเกิลเลต (รูปไชยาไนต์) 100 500 และ 1,000 ไมโครโมลาร์
3. ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์	3. 1.0 กรัมต่อลิตร
4. อัตราการเติมอากาศ	4. 0.5 ลิตรต่อนาที
5. อุณหภูมิ	5. อุณหภูมิห้อง
6. รั้งสัญญาณ	6. ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร กำลังไฟฟ้า 15 วัตต์
ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการศึกษา
พีเอช	9.5 10.5 และ 12.0
ตัวแปรตาม	ช่วงที่ทำการตรวจวัด
ประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบผสม	ความเข้มข้นของไชยาไนต์ ไชยาเนต ไนไตรท์ และไนเตรท

#### ขั้นตอนการศึกษาผลของพีเอชและความเข้มข้นของสารประกอบผสมต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบผสม

การทดลองนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดไชยาไนต์ในรูปของสารประกอบผสมที่แต่ละพีเอช เพื่อหาพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดไชยาไนต์ และศึกษาถึงผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบผสมสัดส่วนโดยโมล ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองจะมีความเข้มข้นของเตตระไชยาโนนิกเกิลเลต (รูปไชยาไนต์) 100 500 และ 1,000 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของเฮกซะเฮกซะไชยาโนโคบอลเตตแปรตามสัดส่วนโดยโมลของเตตระไชยาโนนิกเกิลเลตที่ 1:1 ทำการแปรตามพีเอช 9.5 10.5 และ 12.0 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร

อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ซึ่งมีแผนผังขั้นตอนการทดลองดังรูปที่ 3-12 และขั้นตอนการทดลอง ดังนี้

1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ให้มีความเข้มข้นของเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลต ตามความเข้มข้นต่างที่กำหนดไว้ คือ 100 500 และ 1,000 ไมโครโมลาร์ (รูปไฮยาโนด) แปรค่าความเข้มข้นของเฮกซะโคบอลต์เตตตามสัดส่วนโมลที่ 1:1 ในถังปฏิกิริยาที่มีน้ำปราศจากไอออน 0.5 ลิตร
2. ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร ใส่ลงไปในถังปฏิกิริยา
3. ทำการเติมอากาศเพื่อให้สารละลายอิ่มตัวที่อัตราเท่ากับ 0.5 ลิตรต่อนาที
4. ทำการทดลองที่พีเอชต่าง ๆ กัน คือ 9.5 10.5 และ 12.0
5. เก็บตัวอย่างที่ 30 45 60 90 120 และ 180 นาที หรือจนกว่าสิ้นสุดปฏิกิริยา โดยเก็บตัวอย่างใส่ขวดขนาด 5.0 มิลลิลิตร จำนวน 3 ขวด และเติมน้ำปราศจากไอออนจำนวน 5.0 มิลลิลิตร 1 ขวด เพื่อทำเป็นแบลนด์
6. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.6 โมลาร์ 1.0 มิลลิลิตร เพื่อปรับพีเอชไม่ให้ไฮยาโนดระเหย
7. นำตัวอย่างที่ได้ไปกรองด้วย Hyperclean Syringe Filter ขนาด 0.45 ไมโครเมตร และนำสารละลายไปตรวจวัดหาความเข้มข้นของไฮยาโนด ไฮยาเนต ไนไตรท์ และไนเตรท ด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟ (พร้อมกับแบลนด์ด้วย)
8. นำผลการทดลองไปวิเคราะห์ผลของพีเอช และผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบผสมต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบผสม และเลือกสภาวะที่เหมาะสม



รูปที่ 3-12 แผนผังขั้นตอนการทดลองที่ 3.3.4.1



### 3.3.4.2 ศึกษาผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบผสม

ตารางที่ 3-11 ตัวแปรในการศึกษาผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบผสม

ตัวแปรคงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. พีเอช 2. อุณหภูมิ 3. อัตราการเติมอากาศ 4. ความเข้มข้นเตตระไฮยานอนิกเกลเลต 5. อัตราส่วนโดยโมลเตตระไฮยานอนิกเกลเลตต่อเฮกซะไฮยานโคบอลเตต 6. รังสียูวี	1. พีเอชที่เหมาะสม (จากข้อ 3.3.4.1) 2. อุณหภูมิห้อง 3.. 0.5 ลิตรต่อนาที 4. 500 ไมโครโมลาร์ (รูปโซยานินด์) 5. 1:1 6. ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร กำลังไฟฟ้า 15 วัตต์
ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการศึกษา
ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์	0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 กรัมต่อลิตร
ตัวแปรตาม	ช่วงที่ทำการตรวจวัด
ประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบผสม	ความเข้มข้นของโซยานินด์ โซยานเนต ไนไตรท์ และไนเตรท

#### ขั้นตอนการศึกษาผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบผสม

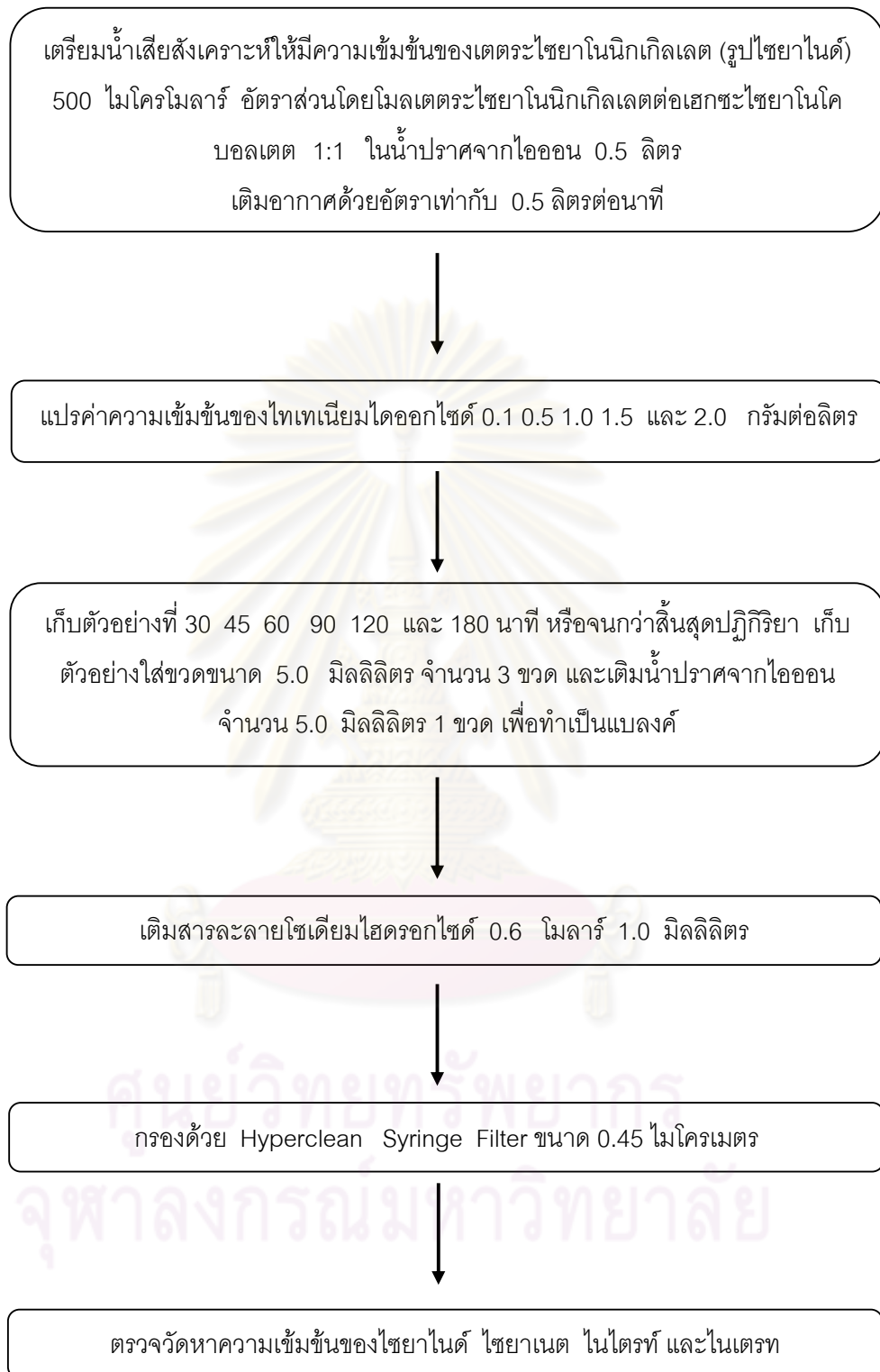
การทดลองนี้เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบผสม ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองคือ พีเอชที่เหมาะสม (จากข้อ 3.3.4.1) ความเข้มข้นของเตตระไฮยานอนิกเกลเลต (รูปโซยานินด์) 500 ไมโครโมลาร์ ซึ่งมีแผนผังขั้นตอนการทดลองดังรูปที่ 3-13 และขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ให้มีความเข้มข้นของเตตระไฮยานอนิกเกลเลต (รูปโซยานินด์) 100 500 และ 1,000 ไมโครโมลาร์ อัตราส่วนโดยโมลเตตระไฮยานอนิกเกลเลตต่อเฮกซะไฮยานโคบอลเตต 1:1 ในน้ำปราศจากไอออน 0.5 ลิตร
2. ทำการเติมอากาศเพื่อให้สารละลายอิ่มตัว โดยเติมด้วยอัตราเท่ากับ 0.5 ลิตรต่อนาที
3. ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 กรัมต่อลิตร

4. เก็บตัวอย่างที่ 30 45 60 90 120 และ 180 นาที หรือจนกว่าสิ้นสุดปฏิกิริยา โดยเก็บตัวอย่างใส่ขวดขนาด 5.0 มิลลิลิตร จำนวน 3 ขวด และเติมน้ำปราศจากไอออนจำนวน 5.0 มิลลิลิตร 1 ขวด เพื่อทำเป็นแบลนด์
5. เติมนสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.6 โมลาร์ 1.0 มิลลิลิตรเพื่อปรับพีเอชไม่ให้โซยาไนต์ระเหย
6. นำตัวอย่างที่ได้จากการเติมอากาศไปกรองด้วย Hyperclean Syringe Filter ขนาด 0.45 ไมโครเมตร และนำไปตรวจวัดหาความเข้มข้นของโซยาไนต์ โซยานेट ไนไตรท์ และไนเตรท ด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟ (พร้อมกับแบลนด์ด้วย)
7. นำผลการทดลองไปวิเคราะห์ผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบผสม และเลือกสภาวะที่เหมาะสม



ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3-13 แผนผังขั้นตอนการทดลองที่ 3.3.4.2

### 3.3.4.3 ศึกษาผลของของอัตราการเติมอากาศต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบผสม

ตารางที่ 3-12 ตัวแปรในการศึกษาผลของของอัตราการเติมอากาศต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบผสม

ตัวแปรคงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 2. อัตราส่วนเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตต่อเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตต 3. ความเข้มข้นของเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลต 4. อุณหภูมิ 5. พีเอช 6. รังสียูวี	1. พีเอชที่เหมาะสม (จากข้อ 3.3.4.1) 2. 1:1 3. 500 ไมโครโมลาร์ (รูปโซยาไนต์) 4. อุณหภูมิห้อง 5. ที่เหมาะสม (จากข้อ 3.3.4.2) 6. ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร กำลังไฟฟ้า 15 วัตต์
ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการศึกษา
อัตราการเติมอากาศ	0.5 1.0 และ 2.0 ลิตรต่ออนาที
ตัวแปรตาม	ช่วงที่ทำการตรวจวัด
ประสิทธิภาพในการกำจัดโซยาไนต์และสารผลิตภัณฑ์	ความเข้มข้นของโซยาไนต์ โซยาเนต ไนไตรท์ และไนเตรท

### ขั้นตอนการศึกษาผลของอัตราการเติมอากาศต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบผสม

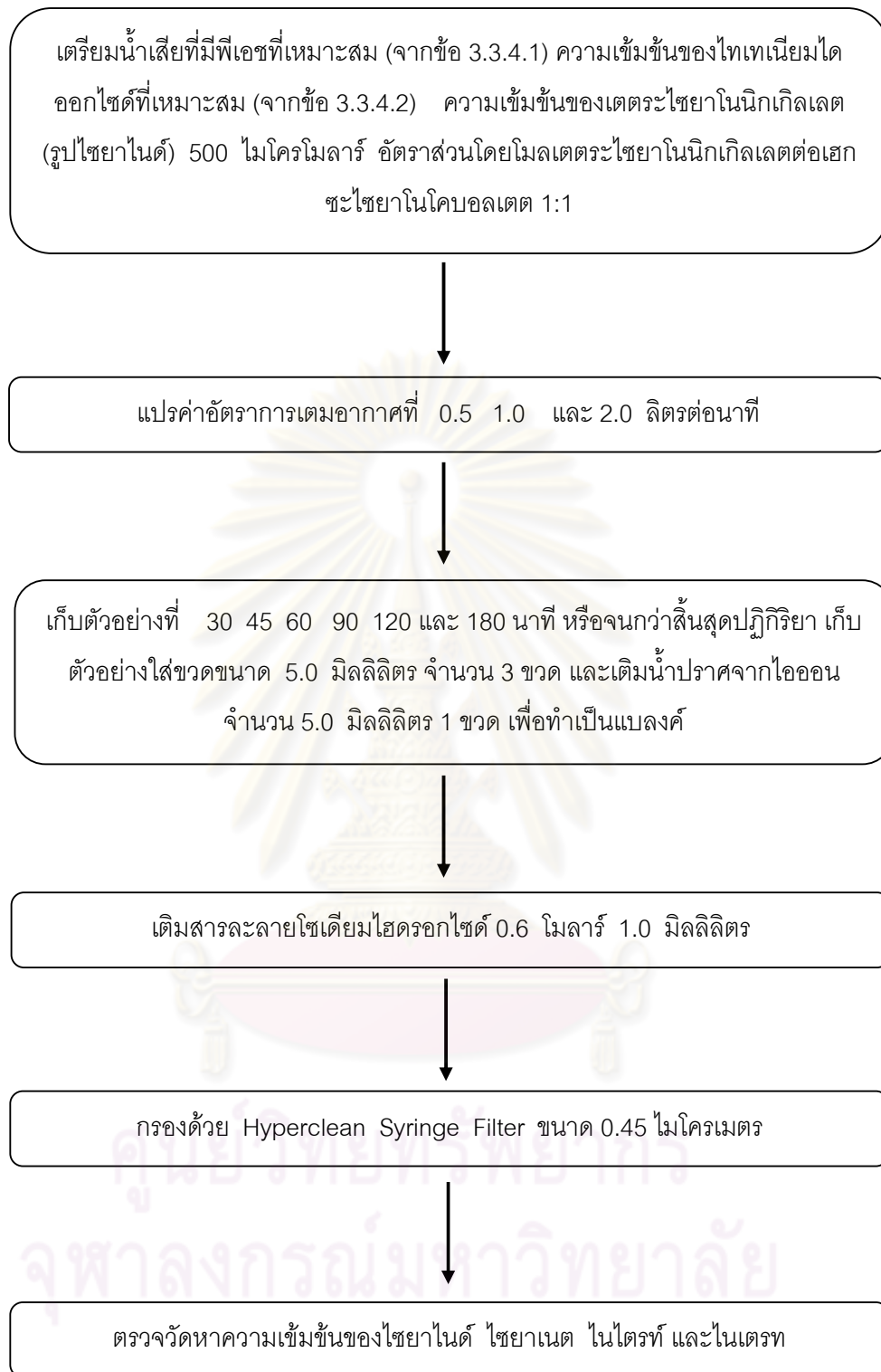
การทดลองนี้เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเติมอากาศ ที่อัตราการเติมต่างๆ กันในการกำจัดสารประกอบผสม ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองคือ พีเอชที่เหมาะสม (จากข้อ 3.3.4.1) ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสม (จากข้อ 3.3.4.2) ความเข้มข้นของเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลต (รูปโซยาไนต์) 500 ไมโครโมลาร์ อัตราส่วนโดยโมลเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตต่อเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตต 1:1 และแปรค่าอัตราการเติมอากาศที่ 0.5 1.0 และ 2.0 ลิตรต่ออนาที ซึ่งมีแผนผังขั้นตอนการทดลองดังรูปที่ 3-14 และขั้นตอนการทดลองดังนี้

- เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ให้มีพีเอชที่เหมาะสม (จากข้อ 3.3.4.1) ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสม (จากข้อ 3.3.4.2) ความเข้มข้นของเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลต (รูปโซยาไนต์) 500 ไมโครโมลาร์ อัตราส่วนโดยโมลของเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตต่อเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตต 1:1 ในน้ำปราศจากไอออน 0.5 ลิตร
- เติมอากาศเพื่อให้สารละลายที่อัตราการเติม 0.5 1.0 และ 2.0 ลิตรต่ออนาที

3. เก็บตัวอย่างที่ 30 45 60 90 120 และ 180 นาที หรือจนกว่าสิ้นสุดปฏิกิริยา โดยเก็บตัวอย่างใส่ขวด ขนาด 5.0 มิลลิลิตร จำนวน 3 ขวด และเติมน้ำปราศจากไอออนจำนวน 5.0 มิลลิลิตร 1 ขวด เพื่อทำเป็นแบลนด์
4. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.6 โมลาร์ 1.0 มิลลิลิตรเพื่อปรับพีเอชไม่ให้ไฮยาไนต์ระเหย
5. นำตัวอย่างที่ได้จากการเติมอากาศไปกรองด้วย Hyperclean Syringe Filter จากนั้นนำไปตรวจวัด ไฮยาเนต ไฮยาไนต์ ไนไตรท์ และไนเตรท ด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟี (พร้อมกับแบลนด์ด้วย)
6. ผลการทดลองที่ได้นำไปวิเคราะห์อัตราการผลิตอากาศที่เหมาะสม



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3-14 แผนผังขั้นตอนการทดลองที่ 3.3.4.3



## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

#### 4.1 ผลการศึกษาการกำจัดไซยาไนด์ในรูปของไซยาไนด์อิสระ [CN<sup>-</sup>]

การทดลองการกำจัดไซยาไนด์อิสระโดยการใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ ทำการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์ไซยาไนด์เปรียบเทียบในกรณีต่าง ๆ ดังนี้

กรณีที่มีการเติมอากาศเพียงอย่างเดียว (ไม่มีการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตและไม่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์) ทำการศึกษาที่พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ และอัตราการเติมอากาศเท่ากับ 0.5 ลิตรต่อนาที ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณไซยาไนด์ไม่ลดลง แสดงว่าการเติมอากาศเพียงอย่างเดียว ไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์ไซยาไนด์ไปเป็นไซยาเนตได้ ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4-1

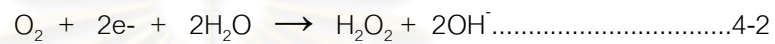
กรณีไม่มีการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ (มีการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตและการเติมอากาศ) ทำการศึกษาที่พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ และอัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ผลการศึกษาพบว่าปริมาณไซยาไนด์ไม่ลดลงแสดงว่าการเติมอากาศ ร่วมกับการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์ไซยาไนด์ไปเป็นไซยาเนต ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4-1

กรณีไม่มีการเติมอากาศ (มีการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตและเติมไทเทเนียมไดออกไซด์) ทำการศึกษาที่พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร ผลการศึกษาพบว่าปริมาณไซยาไนด์ลดลง แสดงว่าการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ร่วมกับการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์ไซยาไนด์ไปเป็นไซยาเนต ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4-1

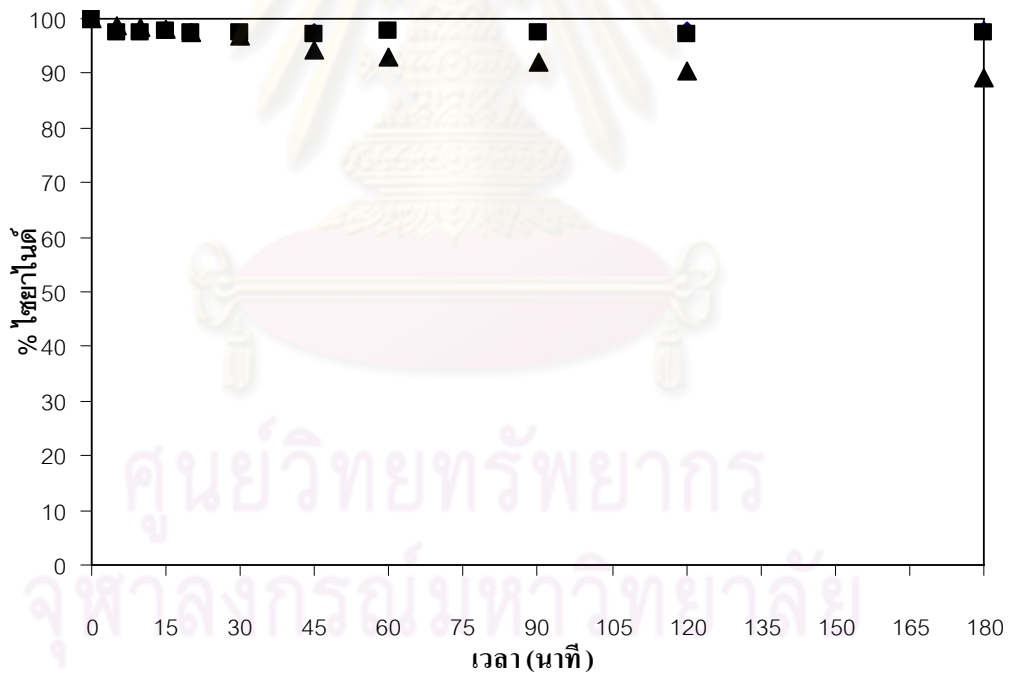
จากผลการศึกษาทั้ง 3 กรณี สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Aguado et al. (2002) ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์ไซยาไนด์ไปเป็นไซยาเนตจะเกิดขึ้นได้ดีต้องมีตัวเร่งปฏิกิริยา แหล่งกำเนิดรังสีอัลตราไวโอเล็ต และการเติมอากาศ

ผลการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์ไซยาไนด์ (กรณีมีการเติมอากาศ การเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ และการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต) แล้วทำการวิเคราะห์ค่าไอออนต่าง ๆ หลังปฏิกิริยาดำเนินไป พบว่า ปริมาณไซยาไนด์ลดลง และปริมาณไซยาเนตเพิ่มขึ้น แสดงว่าเกิดปฏิกิริยาการออกซิไดซ์ไซยาไนด์ไปเป็นไซยาเนต สามารถตรวจสอบได้โดยการวัดปริมาณของไซยาไนด์ที่ลดลงและไซยาเนตที่เพิ่มขึ้น แสดงดังรูปที่ 4-2 ซึ่งจากผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Chaing et al. (2003) สำหรับกลไกการเกิดปฏิกิริยาการออกซิไดซ์ไซยาไนด์ไปเป็นไซยาเนตที่เสนอโดย Augugliaro et al. (1997) ดังสมการที่ 4-1 และ 4-2 ที่แสดงถึงการ

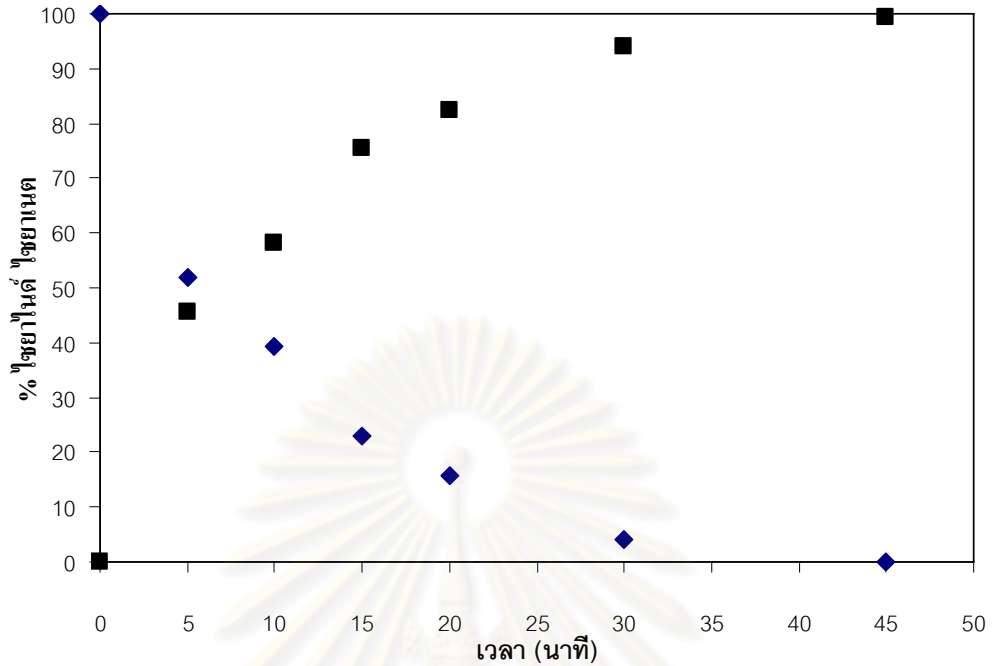
เกิดปฏิกิริยาการออกซิไดซ์ไซยาไนด์ไปเป็นไซยาเนต สมการที่ 4-1 แสดงถึงการออกซิไดซ์ไซยาไนด์ไปเป็นไซยาเนต โดยไทเทเนียมไดออกไซด์จะถูกกระตุ้นโดยรังสีอัลตราไวโอเล็ตเกิดเป็น Photogenerated holes ( $h_{vb}^+$ ) และไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $OH^\bullet$ ) ซึ่งไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $OH^\bullet$ ) ที่เกิดขึ้นจะไปทำปฏิกิริยาออกซิไดซ์ไซยาไนด์เกิดเป็นไซยาเนต ส่วนสมการที่ 4-2 เป็นปฏิกิริยาการรีดิวซ์ออกซิเจนโดยอิเล็กตรอนเมื่อมีการเติมอากาศ ซึ่งปฏิกิริยาที่ได้จะทำให้เกิดไฮดรอกไซด์ไฮออน ( $OH^-$ ) ขึ้น ไฮดรอกไซด์ไฮออน ( $OH^-$ ) ที่เกิดขึ้นนี้จะไปเกิดปฏิกิริยากับ Photogenerated holes ( $h_{vb}^+$ ) เกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $OH^\bullet$ ) อีกครั้ง แล้วไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $OH^\bullet$ ) จะไปเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์ไซยาไนด์ไปเป็นไซยาเนต ดังนี้



จากปฏิกิริยาการออกซิไดซ์ไซยาไนด์ไปเป็นไซยาเนตนั้น ไซยาเนตที่เกิดขึ้นยังสามารถที่จะถูกออกซิไดซ์ต่อไปได้เป็นไนเตรทและคาร์บอเนต สมการที่ 4-3 ดังนี้



รูปที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา ที่พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร  
 ▲ = ไม่มี การเติมอากาศ (มีการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตและเติมไทเทเนียมไดออกไซด์) ■ = ไม่มี การเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ (มีการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตและเติมอากาศ) ◆ = มีการเติมอากาศเพียงอย่างเดียว (ไม่มี การฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตและไม่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์)

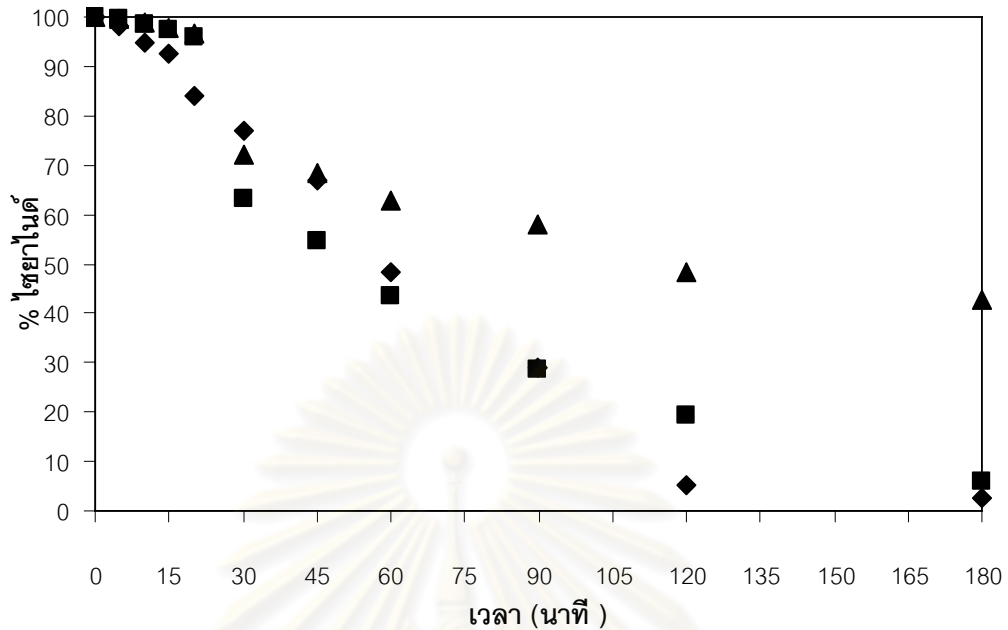


รูปที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไชยาไนต์ ไชยาเนตและเวลา พีเอช 9.5 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที โดย ■ = ไชยาเนต ◆ = ไชยาไนต์

#### 4.1.1 การศึกษาผลของพีเอชและความเข้มข้นเริ่มต้นของไชยาไนต์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไชยาไนต์

การศึกษาค้นคว้าของพีเอชที่ต่าง ๆ กัน (9.5 10.5 12.0) สภาวะการทดลองใช้ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที และความเข้มข้นเริ่มต้นของไชยาไนต์ที่ 500 ไมโครโมลาร์ ทำการศึกษาโดยแปรตามค่าพีเอชที่ 9.5 10.5 และ 12.0

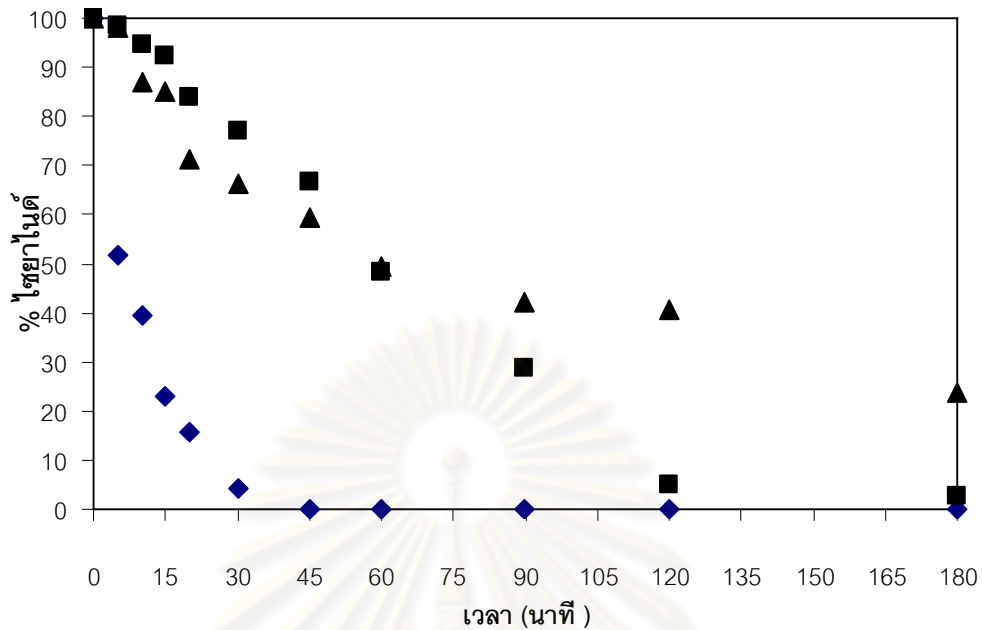
ผลการศึกษาค้นคว้าพบว่าที่พีเอช 9.5 มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์ไชยาไนต์ไปเป็นไชยาเนตมากที่สุด ตรวจสอบโดยวัดปริมาณไชยาไนต์ที่เหลือหลังเกิดปฏิกิริยาการออกซิไดซ์ไชยาไนต์ รองลงมาคือ ที่พีเอช 10.5 และ 12.0 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4-3



**รูปที่ 4-3** ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ โดย ▲ = พีเอช 12.0 ■ = พีเอช 10.5 ◆ = พีเอช 9.5

การศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของไซยาไนด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นที่แตกต่างกัน คือ ที่ความเข้มข้น 100 500 และ 1,000 ไมโครโมลาร์ นำไปศึกษาที่พีเอช 9.5 จากผลการศึกษาพบว่า ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของไซยาไนด์ต่ำประสิทธิภาพในการออกซิไดส์ไซยาไนด์ไปเป็นไซยาเนตมีค่าสูงกว่าที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของไซยาไนด์สูง ทำการตรวจสอบโดยวัดปริมาณไซยาไนด์เมื่อปฏิกิริยาดำเนินไป ดังรูปที่ 4-4 และค่าประสิทธิภาพการกำจัดไซยาไนด์ไปเป็นไซยาเนตที่พีเอช 9.5 ในเวลา 180 นาที เป็นดังนี้ 100.00% (100 ไมโครโมลาร์) 97.49% (500 ไมโครโมลาร์) และ 76.43% (1,000 ไมโครโมลาร์) ดังรูปที่ 4-7

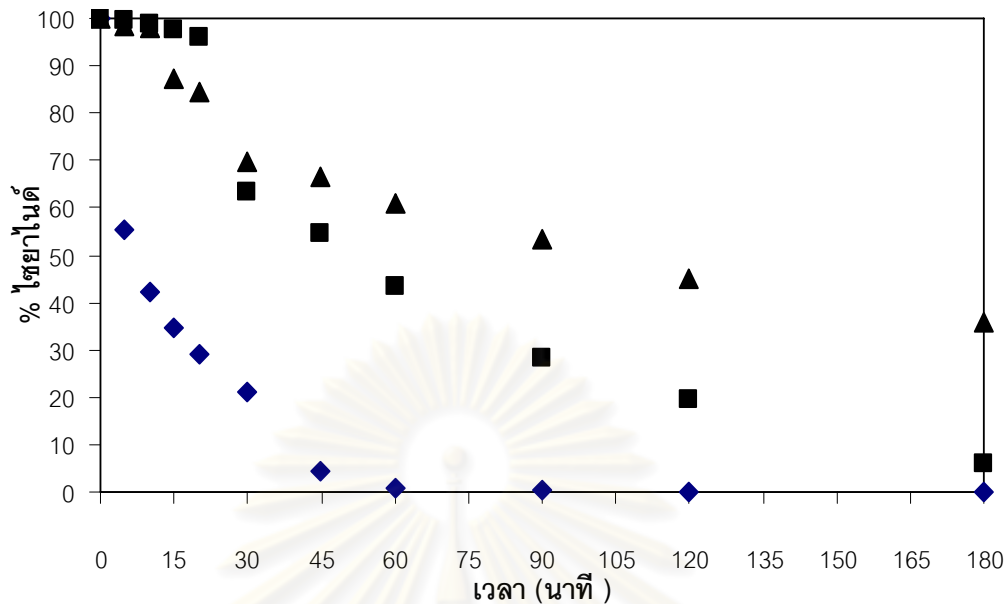
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา พีเอช 9.5 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที โดยที่  $\blacklozenge$  = 100 ไมโครโมลาร์  $\blacksquare$  = 500 ไมโครโมลาร์  $\blacktriangle$  = 1,000 ไมโครโมลาร์

การศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของไซยาไนด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นที่แตกต่างกัน คือ ที่ความเข้มข้น 100 500 และ 1,000 ไมโครโมลาร์ นำไปทดลองที่พีเอช 10.5 ผลการศึกษาพบว่าที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของไซยาไนด์ต่ำ ประสิทธิภาพในการออกซิไดส์ไซยาไนด์ไปเป็นไซยาเนตจะมีค่าสูงกว่าที่ความเข้มข้นเริ่มต้นสูง ตรวจสอบโดยการวัดปริมาณปริมาณไซยาไนด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาการออกซิไดส์ไซยาไนด์ ดังรูปที่ 4-5 และค่าประสิทธิภาพในการออกซิไดส์ไซยาไนด์ที่แต่ละความเข้มข้นเริ่มต้น เป็นดังนี้ 100.00% (100 ไมโครโมลาร์) 94.02% (500 ไมโครโมลาร์) และ 64.28% (1,000 ไมโครโมลาร์) ดังรูปที่ 4-7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



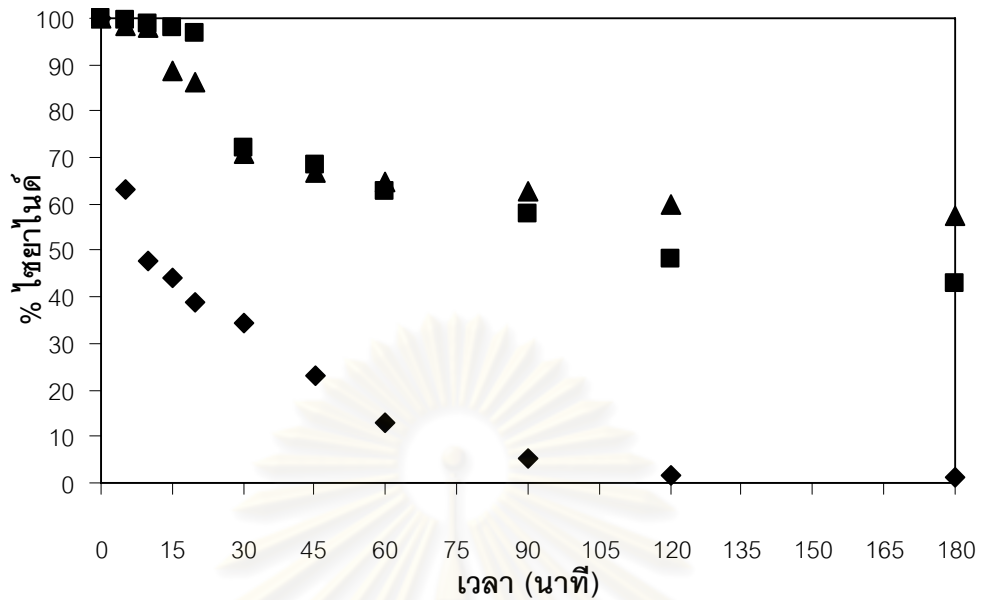
รูปที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา ที่พีเอช 10.5 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที โดยที่  $\blacklozenge$  = 100 ไมโครโมลาร์  $\blacksquare$  = 500 ไมโครโมลาร์  $\blacktriangle$  = 1,000 ไมโครโมลาร์

การศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของไซยาไนด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นที่แตกต่างกัน คือ ที่ความเข้มข้น 100 500 และ 1,000 ไมโครโมลาร์ นำไปทดลองที่พีเอช 12.0

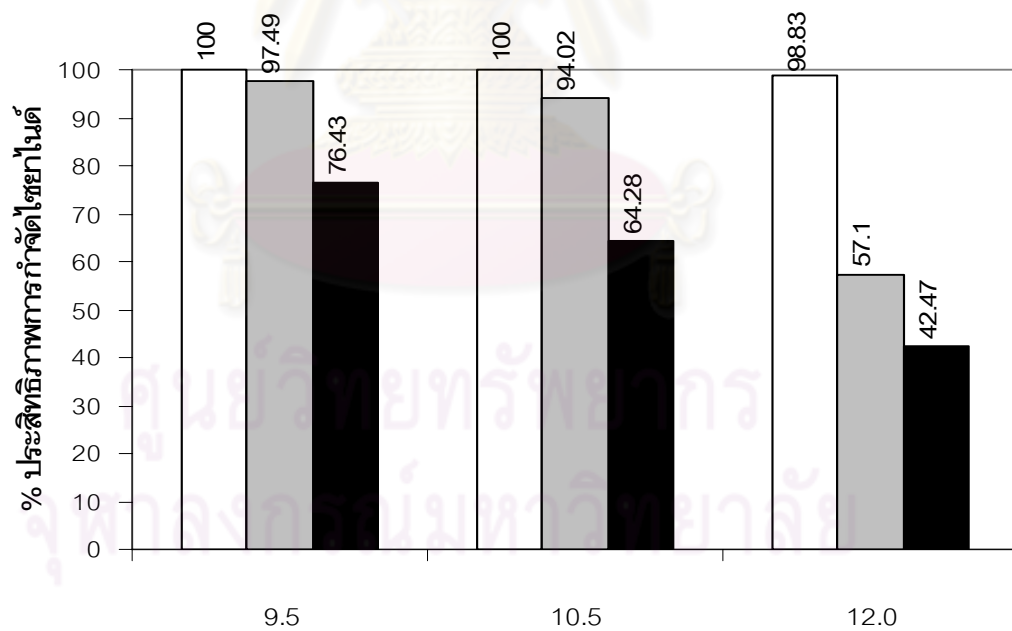
จากผลการศึกษาพบว่า ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของไซยาไนด์ต่ำ ประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์ไซยาไนด์ไปเป็นไซยาเนตจะมีค่าสูงกว่าที่ความเข้มข้นเริ่มต้นสูง ตรวจสอบโดยการวัดปริมาณไซยาไนด์หลังปฏิกิริยาออกซิไดซ์ดำเนินไป ดังรูปที่ 4-6 และค่าประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์ไซยาไนด์ไปเป็นไซยาเนตที่แต่ละความเข้มข้นเริ่มต้น เป็นดังนี้ 98.83% (100 ไมโครโมลาร์) 57.10% (500 ไมโครโมลาร์) และ 42.47% (1,000 ไมโครโมลาร์) ดังรูปที่ 4-7

ผลการศึกษาที่พีเอชทั้ง 3 พีเอชและความเข้มข้นเริ่มต้นของไซยาไนด์ที่แตกต่างกัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Chaing Amal และ Tran (2003) ที่พบว่าผลการศึกษาเหมือนกันทั้ง 3 กรณี โดยที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของไซยาไนด์ต่ำ ปฏิกิริยาการออกซิไดซ์ไซยาไนด์ไปเป็นไซยาเนตเกิดขึ้นได้ดีกว่าที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของไซยาไนด์สูง แสดงว่าการเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของไซยาไนด์ขึ้น จะทำให้ตำแหน่งที่ไวต่อปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชัน (active site) และการดูดซับของตัวเร่งปฏิกิริยาจะต้องรับปริมาณไซยาไนด์เพิ่มขึ้น ทำให้การเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์ไซยาไนด์เกิดขึ้นช้าลง จึงส่งผลต่อประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์ไซยาไนด์ไปเป็นไซยาเนตลดลงด้วย





รูปที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไชยาไนต์และเวลา พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที โดยที่ ◆ = 100 ไมโครโมลาร์ ■ = 500 ไมโครโมลาร์ ▲ = 1,000 ไมโครโมลาร์



รูปที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ประสิทธิภาพในการกำจัดไชยาไนต์และพีเอชต่างๆ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที โดยที่ □ = 100 ไมโครโมลาร์ ■ = 500 ไมโครโมลาร์ ■ = 1,000 ไมโครโมลาร์

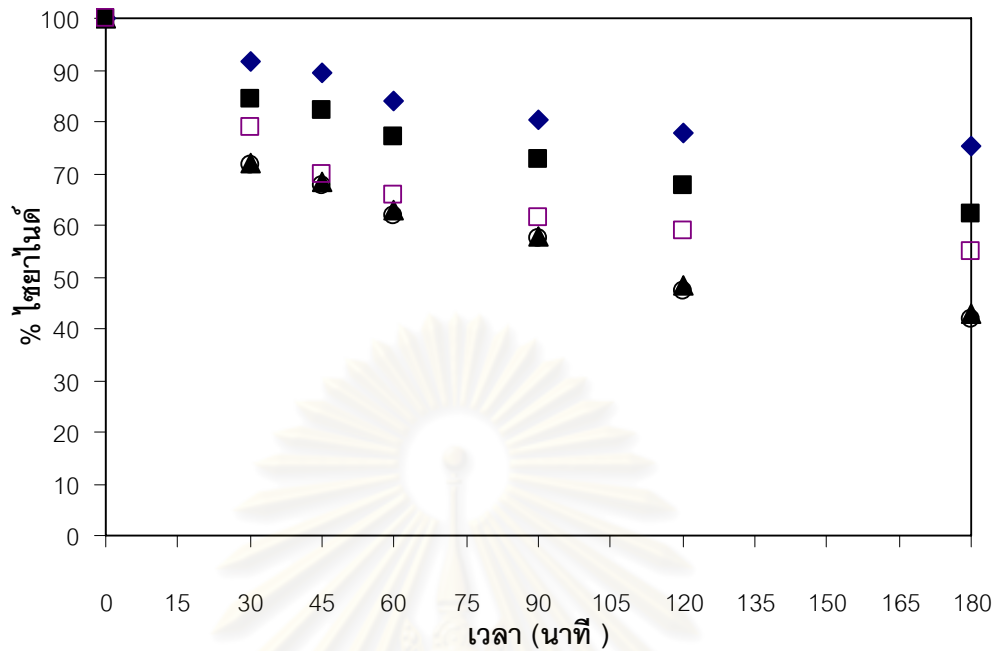
#### 4.1.2 ศึกษาผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไฮยาไนด์

การศึกษาผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไฮยาไนด์ การศึกษาทำการทดลองที่พีเอช 12.0 ความเข้มข้นเริ่มต้นของไฮยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ทำการแปรค่าตามความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 กรัมต่อลิตร

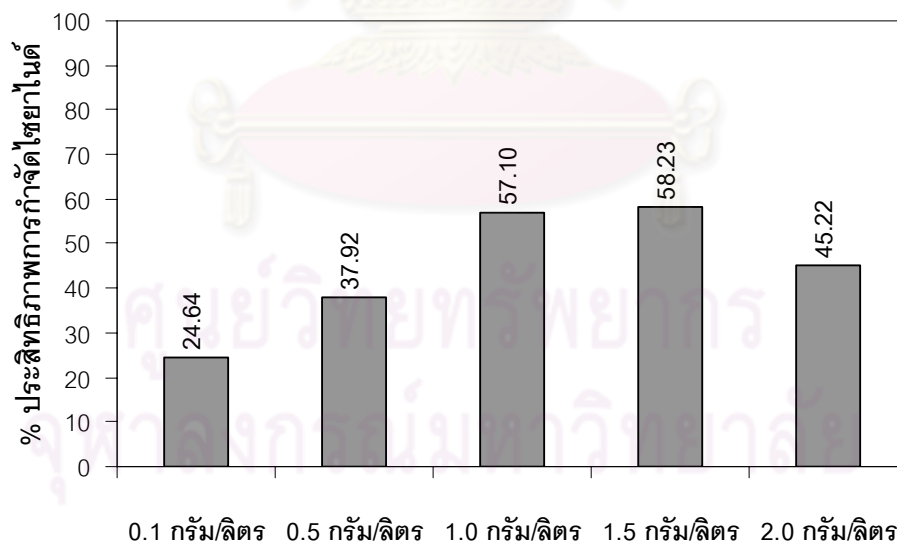
ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ขึ้น ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์ไฮยาไนด์ไปเป็นไฮยาเนตเพิ่มขึ้น การเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์ไฮยาไนด์จะเพิ่มขึ้นจนถึงที่ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสม ประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์จะไม่เพิ่มขึ้นอีก ตรวจสอบโดยการวัดปริมาณของไฮยาไนด์ที่ลดลงหลังเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์ ดังรูปที่ 4-8

ค่าประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์ไฮยาไนด์ไปเป็นไฮยาเนตที่แต่ละความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ ในเวลา 180 นาที เป็นดังนี้ 24.64% (0.1 กรัมต่อลิตร) 37.92% (0.5 กรัมต่อลิตร) 57.10% (1.0 กรัมต่อลิตร) 57.27% (1.5 กรัมต่อลิตร) และ 45.22% (2.0 กรัมต่อลิตร) ดังรูปที่ 4-9

จากผลการศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไฮยาไนด์ พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ขึ้นจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์ไฮยาไนด์มากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Chaing Amal และ Tran (2003) ที่พบว่าการเกิดปฏิกิริยาการออกซิไดซ์ไฮยาไนด์ไปเป็นไฮยาเนตขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ไวต่อปฏิกิริยา (active site) และการดูดซับของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ การเติมสารตัวเร่งปฏิกิริยาลงไปเพียงพอจะเพิ่มการเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์ไฮยาไนด์ไปเป็นไฮยาเนตเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม หากมีการเพิ่มสารตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากเกินไปก็จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์ คือทำให้ประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาลดลง เพราะหากเพิ่มตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากเกินไปจะทำให้รังสีอัลตราไวโอเล็ตสามารถทะลุผ่านสารแขวนลอยในสารละลายได้น้อยลง ส่งผลต่อไทเทเนียมไดออกไซด์บริเวณตำแหน่งที่ไวต่อปฏิกิริยา (active site) ไม่ได้รับการกระตุ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์และประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์ไฮยาไนด์ไปเป็นไฮยาเนตลดลงด้วย



รูปที่ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่าง ๆ กัน อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0 โดยที่ ◆ = 0.1 กรัมต่อลิตร ■ = 0.5 กรัมต่อลิตร ▲ = 1.0 กรัมต่อลิตร ○ = 1.5 กรัมต่อลิตร □ = 2.0 กรัมต่อลิตร



รูปที่ 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์และความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ ความเข้มข้นเริ่มต้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0

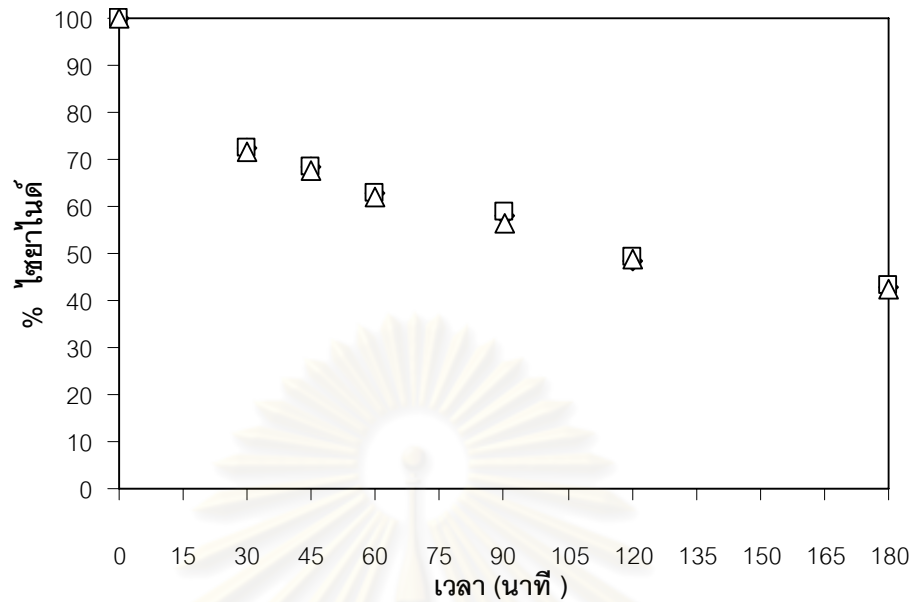
#### 4.1.3 ศึกษาผลของอัตราการเติมอากาศต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์

การศึกษาค่าอัตราการเติมอากาศทำการศึกษาที่พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ ทำการแปรค่าอัตราการเติมอากาศที่แตกต่างกัน (0.5 1.0 2.0 ลิตรต่อนาที) ซึ่งจากผลการศึกษาในชุดการทดลองเปรียบเทียบในกรณีที่ไม่มีการเติมอากาศ (มีการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์) ประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์ไซยาไนด์จะไม่เพิ่มขึ้น ส่วนในกรณีที่มีการเติมอากาศด้วยทำให้ประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์เพิ่มมากขึ้น แสดงว่าการเติมอากาศจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการออกซิไดซ์ไซยาไนด์ไปเป็นไซยาเนตมากขึ้น เนื่องจากการเติมอากาศในปฏิกิริยาโฟโตแคตตาไลซิสทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตตาไลซิสเพิ่มขึ้น เพราะโมเลกุลออกซิเจน (จากการเติมอากาศ) ทำปฏิกิริยากับ Photogenerated holes ( $h_{\nu}^+$ ) ได้ซูเปอร์ออกไซด์ไฮดรอกซิลเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังเป็นการเพิ่มการถ่ายเทอากาศระหว่างผิวของสารละลายและการเพิ่มการกวนผสมสารละลายอีกด้วย

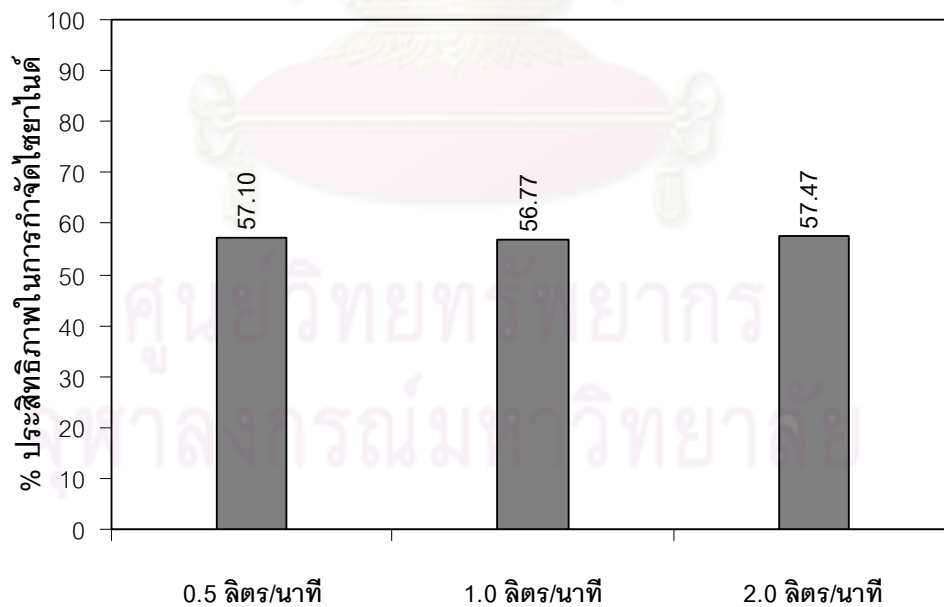
การศึกษาค่าอัตราการเติมอากาศ พบว่า การเพิ่มอัตราการเติมอากาศเข้าไปในระบบทำให้ประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์ไซยาไนด์ไปเป็นไซยาเนตเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอัตราการเติมอากาศจนถึงค่าอัตราการเติมอากาศค่าหนึ่งประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์ไซยาไนด์ไปเป็นไซยาเนตไม่เพิ่มขึ้นอีก ผลการศึกษาสอดคล้องกับการศึกษาของ Chaing Amal และ Tran (2003) ที่พบว่า การเพิ่มอัตราการเติมอากาศที่สูงจะทำให้เกิดปริมาณฟองอากาศมากขึ้น ฟองอากาศที่เกิดปริมาณมากดังกล่าวจะไปบดบังการเดินทางของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่จะเข้าไปทำปฏิกิริยากระตุ้นไทเทเนียมไดออกไซด์ ทำให้ปฏิกิริยาในการออกซิไดซ์ไซยาไนด์ไปเป็นไซยาเนตเกิดขึ้นน้อยลง ตรวจสอบโดยการวัดปริมาณไซยาไนด์หลังเกิดปฏิกิริยา ดังรูปที่ 4-10

ค่าประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์ไซยาไนด์ไปเป็นไซยาเนต อัตราการเติมอากาศที่แตกต่างกัน ในเวลา 180 นาที เป็นดังนี้ 57.10% (0.5 ลิตรต่อนาที) 56.77% (1.0 ลิตรต่อนาที) และ 57.47% (2.0 ลิตรต่อนาที) รูปที่ 4-11

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างไซยาไนด์และเวลา ที่อัตราการเติมอากาศต่าง ๆ กัน ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ พีเอช 12.0 โดย  $\diamond$  = อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที  $\square$  = อัตราการเติมอากาศ 1.0 ลิตรต่อนาที  $\triangle$  = อัตราการเติมอากาศ 2.0 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 4-11 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์และอัตราการเติมอากาศ ความเข้มข้นเริ่มต้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร พีเอช 12.0

#### 4.2 ผลการศึกษาการกำจัดไซยาไนด์ในรูปของเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต ( $[\text{Co}(\text{CN})_6]^{3-}$ )

การศึกษาการกำจัดไซยาไนด์ในรูปสารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต โดยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ การศึกษาทำการทดลองในชุดเปรียบเทียบเหมือนกับการทดลองในสารไซยาไนด์อิสระเพื่อศึกษาถึงผลของปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

การศึกษากรณีที่มีการเติมอากาศเพียงอย่างเดียว (ไม่มีการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตและไม่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์) โดยใช้พีเอชเท่ากับ 12.0 ความเข้มข้นของสารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต (รูปไซยาไนด์) 500 ไมโครโมลาร์ อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ผลการศึกษาพบว่า ไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต โดยสามารถตรวจสอบด้วยการวัดปริมาณไซยาไนด์หลังปฏิกิริยาดำเนินไป (หากมีการเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตเกิดขึ้นจะพบไซยาไนด์)

การศึกษากรณีไม่มีการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ (มีการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตและเติมอากาศ) โดยใช้พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของสารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต (รูปไซยาไนด์) 500 ไมโครโมลาร์ และอัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ผลการศึกษาพบว่า ไม่มีการเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตเกิดขึ้น โดยสามารถตรวจสอบด้วยการวัดปริมาณไซยาไนด์หลังปฏิกิริยาดำเนินไป (หากมีการเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตเกิดขึ้นจะพบไซยาไนด์)

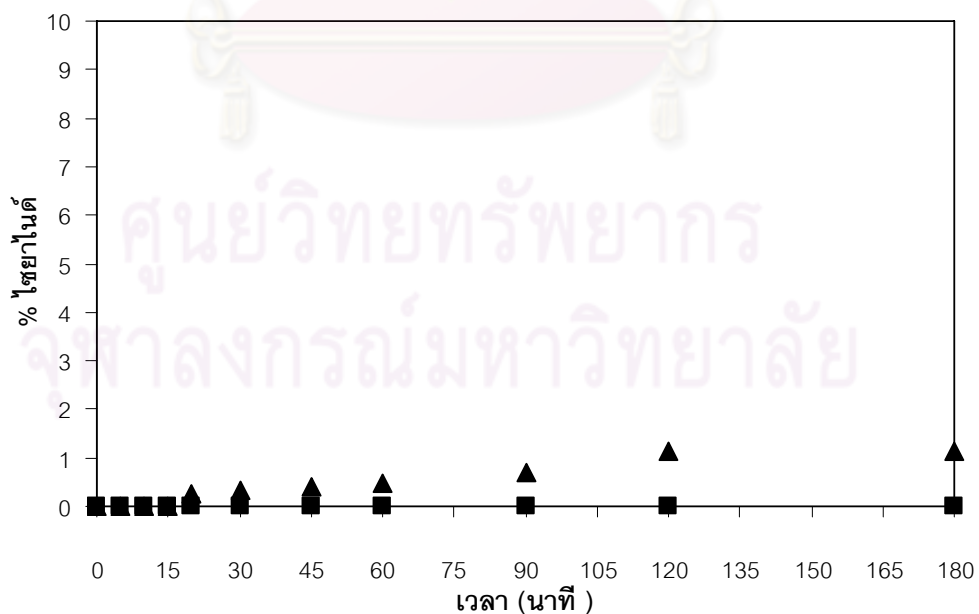
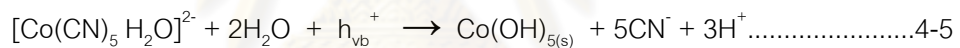
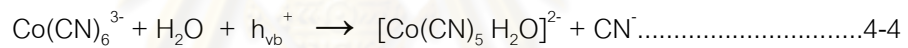
การศึกษากรณีไม่มีการเติมอากาศ (มีการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตและเติมไทเทเนียมไดออกไซด์) โดยใช้พีเอชเท่ากับ 12.0 ความเข้มข้นของสารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต (รูปไซยาไนด์) 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร ผลการศึกษาพบว่า มีปริมาณไซยาไนด์เกิดขึ้นในระบบแต่เป็นปริมาณน้อยมาก แสดงว่าการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ ทำให้เกิดปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบไซยาโนโคบอลเตตไปเป็นไซยาไนด์ สามารถตรวจสอบโดยการวัดปริมาณไซยาไนด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต (หากมีการเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตเกิดขึ้นจะพบไซยาไนด์)

การศึกษาในชุดการทดลองเปรียบเทียบปัจจัยทั้ง 3 กรณี จะสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Grieken et al. (2002) ดังรูปที่ 4-12 ดังนั้น ปฏิกิริยาออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตไปเป็นไซยาไนด์ได้ต้องมีตัวเร่งปฏิกิริยา แหล่งกำเนิดรังสีอัลตราไวโอเล็ต และการเติมอากาศ

จากผลการศึกษานำไปทำการวิเคราะห์ค่าไอออนต่างๆ หลังปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตดำเนินไปพบว่า มีปริมาณไซยาไนด์เพิ่มขึ้นในระบบ แต่ปริมาณไซยาเนตมีน้อยมาก แสดงว่าการเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์ไซยาไนด์ต่อไปเป็นไซยาเนต

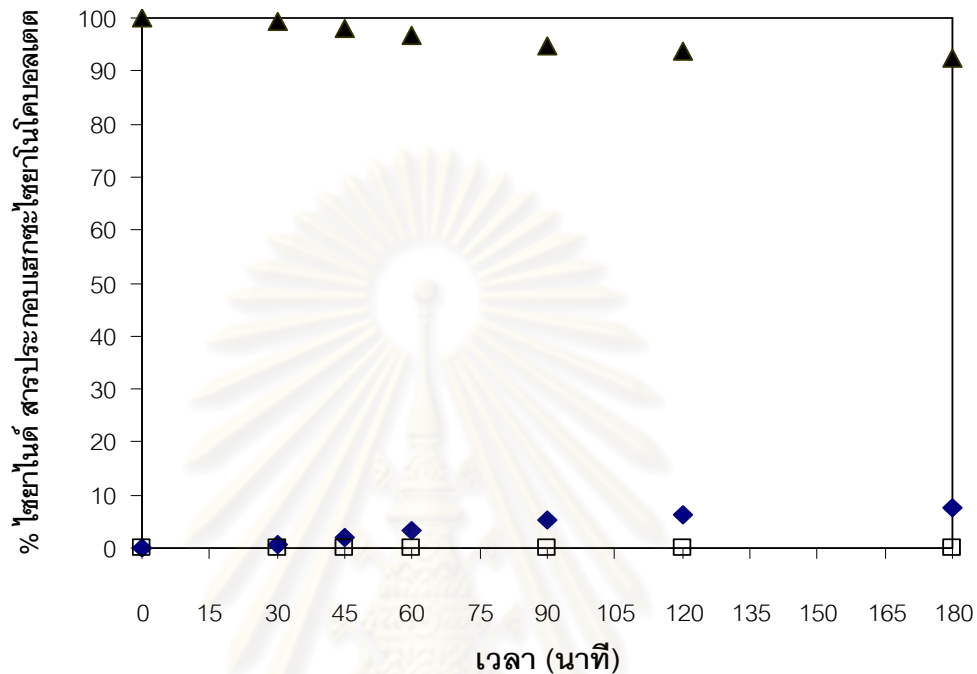


เกิดขึ้นน้อยมาก ผลการศึกษาเป็นดังรูปที่ 4-13 สำหรับกลไกการเกิดปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต สามารถเขียนได้ตามสมการที่ 4-4 และสมการที่ 4-5 ซึ่งกลไกดังกล่าวเสนอโดย Grieken et al. (2002) สำหรับสมการที่ 4-4 แสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตไปเป็นไซยาไนด์ การเกิดปฏิกิริยาโดยไทเทเนียมไดออกไซด์จะถูกกระตุ้นโดยรังสีอัลตราไวโอเล็ตเกิดเป็น Photogenerated holes ( $h_{vb}^+$ ) และไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $OH^\bullet$ ) ซึ่งไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $OH^\bullet$ ) ที่เกิดขึ้นจะไปออกซิไดซ์สารประกอบไซยาโนโคบอลเตตทำให้ได้ไซยาไนด์หลุดออกจากสารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต ส่วนไซยาไนด์ที่เกิดจากการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตนั้น จะถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็นไซยาเนตน้อยมาก แสดงว่า ไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $OH^\bullet$ ) ที่เกิดจากการกระตุ้นไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะนำไปใช้ในการสลายพันธะระหว่างโคบอลและไซยาไนด์ ส่วนสมการที่ 4-6 เป็นปฏิกิริยาการรีดิวซ์ออกซิเจนโดยอิเล็กตรอนเมื่อมีการเติมอากาศ ซึ่งปฏิกิริยาที่ได้จะทำให้เกิดไฮดรอกไซด์ไอออน ( $OH^-$ ) ขึ้น ไฮดรอกไซด์ไอออน ( $OH^-$ ) ที่เกิดขึ้นนี้จะไปทำปฏิกิริยากับ Photogenerated holes ( $h_{vb}^+$ ) เกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $OH^\bullet$ ) อีกครั้ง แล้วไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $OH^\bullet$ ) จะไปทำปฏิกิริยาออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตอีกครั้ง ดังนี้



รูปที่ 4-12 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา ที่สภาวะการทดลองต่างๆ

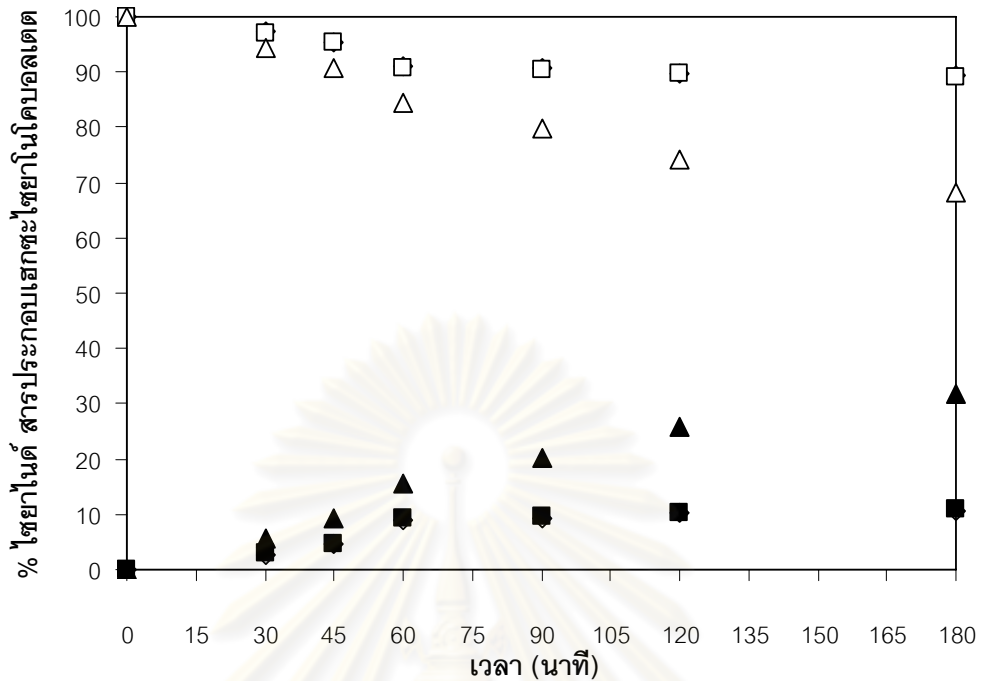
โดย ▲ = ไม่มีการเติมอากาศ (มีการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตและเติมไทเทเนียมไดออกไซด์)  
 ■ = ไม่มีการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ (มีการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตและเติมอากาศ) ◆ = มี  
 การเติมอากาศเพียงอย่างเดียว (ไม่มีการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตและไม่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์)



รูปที่ 4-13 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์ ไซยาเนตและเวลา พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที โดยที่  
 □ = ไซยาเนต ◆ = ไซยาไนด์ ▲ = สาหร่ายประคบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต

#### 4.2.1 ศึกษาผลของพีเอชและความเข้มข้นเริ่มต้นของเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต

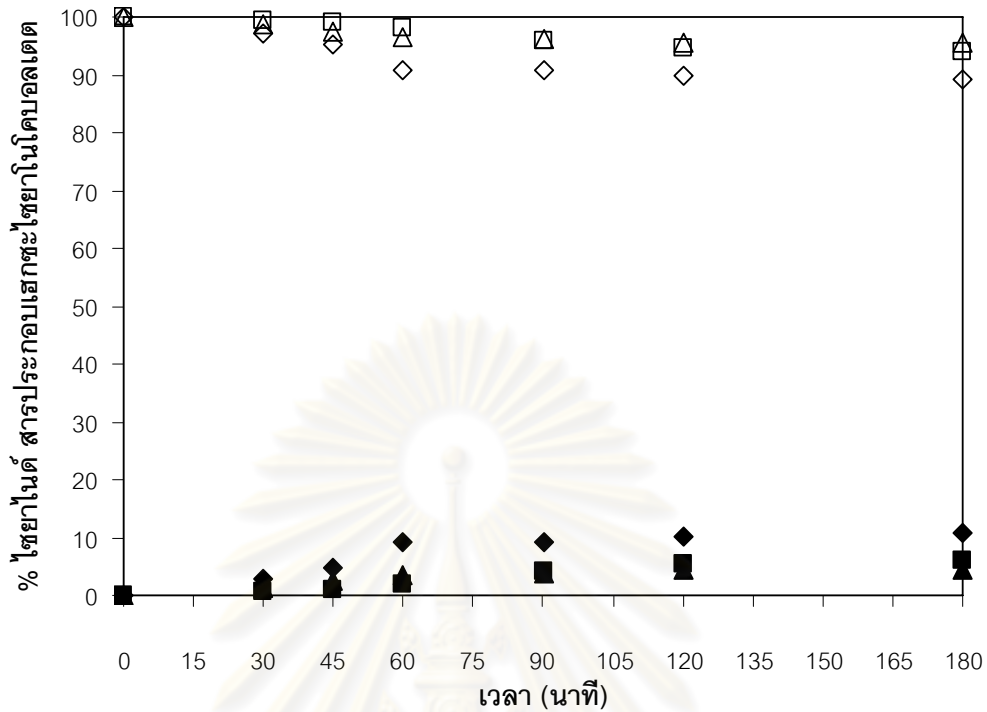
การศึกษาค่าพีเอช ทำการศึกษาที่สภาวะความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต (รูปไซยาไนด์) 100 ไมโครโมลาร์ อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร นำไปศึกษาที่พีเอชต่างกัน ผลการศึกษาพบว่าที่พีเอช 12.0 ประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตไปเป็นไซยาไนด์มีค่าสูงที่สุด รองลงมา คือ พีเอช 10.5 และ 9.5 ตามลำดับ ตรวจสอบโดยการวัดปริมาณไซยาไนด์ที่เกิดขึ้นในระบบ เป็นดังรูปที่ 4-14



**รูปที่ 4-14** ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไนยาไนต์และเวลา ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ความเข้มข้นของไนยาไนต์ 100 ไมโครโมลาร์ โดย ไชยาไนต์ (◆ = พีเอช 9.5 ■ = พีเอช 10.5 ▲ = พีเอช 12.0) สารประกอบเฮกซะไชยาโนโคบอลเตต (◇ = พีเอช 9.5 □ = พีเอช 10.5 △ = พีเอช 12.0)

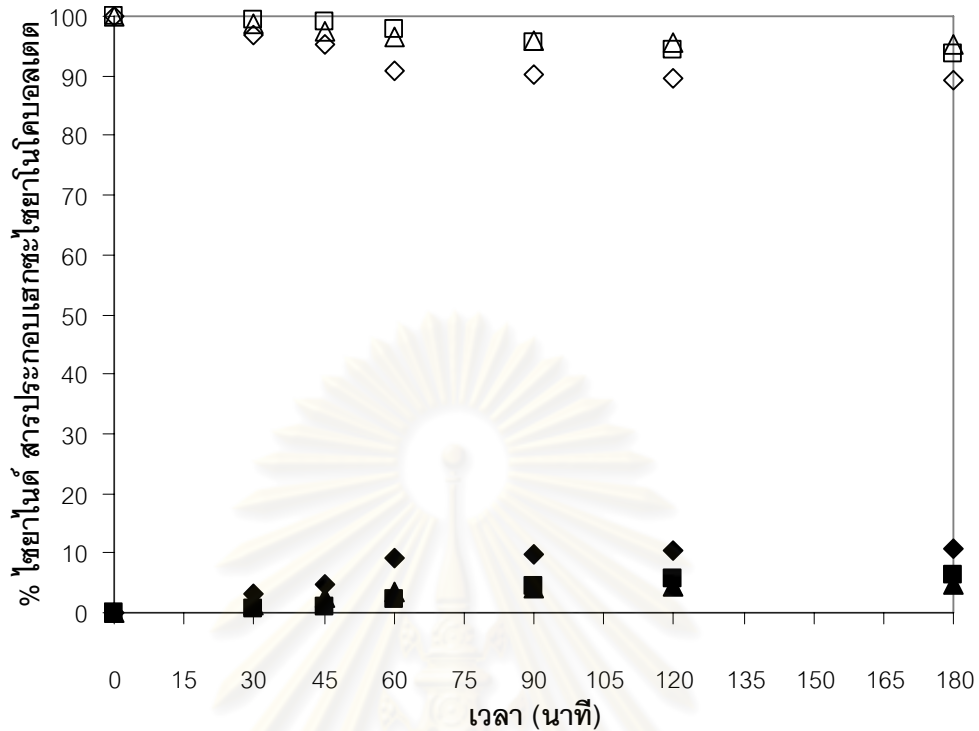
การศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบเฮกซะไชยาโนโคบอลเตต (รูป ไชยาไนต์) ที่แตกต่างกัน โดยสภาวะการศึกษาที่ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที

ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบเฮกซะไชยาโนโคบอลเตต (รูป ไชยาไนต์) ที่ความเข้มข้น 100 500 และ 1,000 ไมโครโมลาร์ ผลการศึกษาการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไชยาโนโคบอลเตตที่พีเอช 9.5 พบว่า ที่ความเข้มข้นของสารประกอบเฮกซะไชยาโนโคบอลเตตต่ำ มีประสิทธิภาพการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไชยาโนโคบอลเตตไปเป็นไนยาไนต์ได้ดีกว่าที่ความเข้มข้นของสารประกอบของเฮกซะไชยาโนโคบอลเตตสูง สามารถตรวจสอบโดยการวัดปริมาณ ไชยาไนต์ที่เกิดจากการปฏิบัติการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไชยาโนโคบอลเตต ดังรูปที่ 4-15 สำหรับค่าประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไชยาโนโคบอลเตต ในเวลา 180 นาที เป็นดังนี้ 10.75% (100 ไมโครโมลาร์) 6.08% (500 ไมโครโมลาร์) และ 4.58% (1,000 ไมโครโมลาร์) ดังรูปที่ 4-18



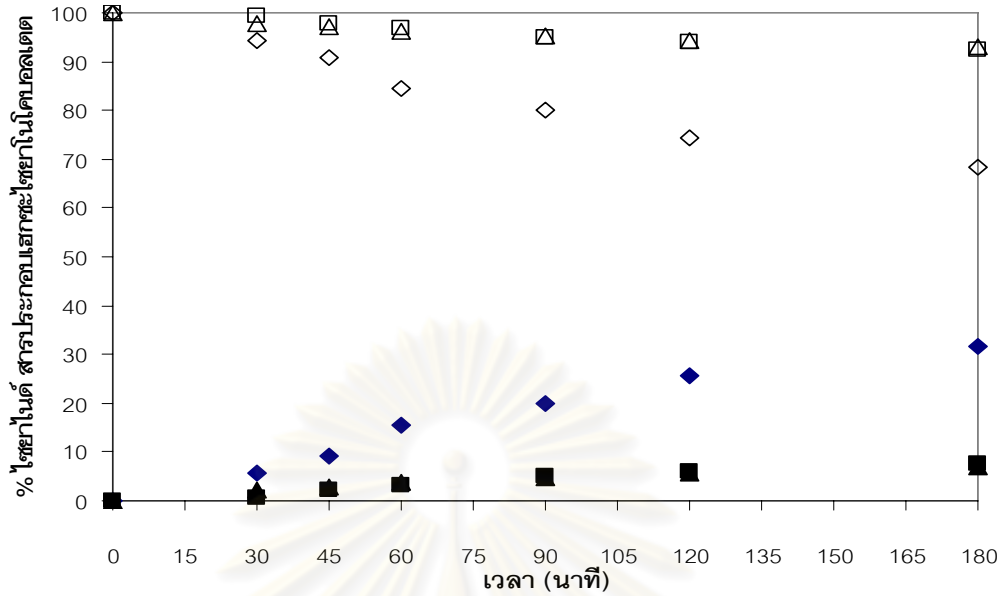
รูปที่ 4-15 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไชยาไนด์และเวลา พีเอช 9.5 ความเข้มข้นไทเทเนียม ไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที โดยที่ ไชยาไนด์ (◇ = 100 ไมโครโมลาร์ ■ = 500 ไมโครโมลาร์ ▲ = 1,000 ไมโครโมลาร์) สารประกอบเฮกซะไชยาโนโคบอลเตต (◇ = 100 ไมโครโมลาร์ □ = 500 ไมโครโมลาร์ Δ = 1,000 ไมโครโมลาร์)

ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบเฮกซะไชยาโนโคบอลเตต (รูปไชยาไนด์) ที่ความเข้มข้น 100 500 และ 1,000 ไมโครโมลาร์ ผลการศึกษาการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไชยาโนโคบอลเตตที่พีเอช 10.5 พบว่า ที่ความเข้มข้นของสารประกอบเฮกซะไชยาโนโคบอลเตตต่ำ มีประสิทธิภาพการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไชยาโนโคบอลเตตไปเป็นไชยาไนด์ได้ดีกว่าที่ความเข้มข้นของสารประกอบของเฮกซะไชยาโนโคบอลเตตสูง สามารถตรวจสอบโดยการวัดปริมาณไชยาไนด์ที่เกิดจากการปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไชยาโนโคบอลเตต ดังรูปที่ 4-16 สำหรับประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไชยาโนโคบอลเตตที่พีเอช 10.5 ในเวลา 180 นาที เป็นดังนี้ 10.85% (100 ไมโครโมลาร์) 6.21% (500 ไมโครโมลาร์) และ 4.70% (1,000 ไมโครโมลาร์) ดังรูปที่ 4-18

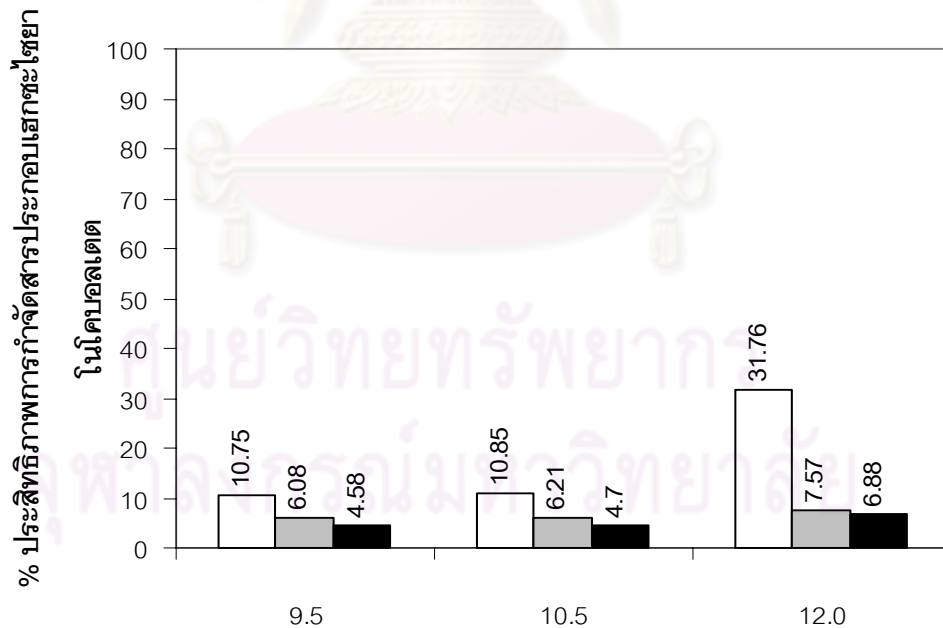


รูปที่ 4-16 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไนโตรเจนไดออกไซด์ และเวลา ที่พีเอช 10.5 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที โดยที่ ไนโตรเจนไดออกไซด์ (◆ = 100 ไมโครโมลาร์ ■ = 500 ไมโครโมลาร์ ▲ = 1,000 ไมโครโมลาร์) สารประกอบเฮกซะไนโตรเจนไดออกไซด์ (◇ = 100 ไมโครโมลาร์ □ = 500 ไมโครโมลาร์ △ = 1,000 ไมโครโมลาร์)

ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบเฮกซะไนโตรเจนไดออกไซด์ (รูปไนโตรเจนไดออกไซด์) ที่ความเข้มข้น 100 500 และ 1,000 ไมโครโมลาร์ ผลการศึกษาการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไนโตรเจนไดออกไซด์ที่พีเอช 12.0 พบว่าที่ความเข้มข้นของสารประกอบเฮกซะไนโตรเจนไดออกไซด์ต่ำ มีประสิทธิภาพการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไนโตรเจนไดออกไซด์ไปเป็นไนโตรเจนไดออกไซด์ได้ดีกว่าที่ความเข้มข้นของสารประกอบของเฮกซะไนโตรเจนไดออกไซด์สูง สามารถตรวจสอบโดยการวัดปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ที่เกิดจากการปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไนโตรเจนไดออกไซด์ ดังรูปที่ 4-17 สำหรับประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไนโตรเจนไดออกไซด์ที่พีเอช 12.0 ในเวลา 180 นาที เป็นดังนี้ 31.76% (100 ไมโครโมลาร์) 7.57% (500 ไมโครโมลาร์) และ 6.88% (1,000 ไมโครโมลาร์) ดังรูปที่ 4-18



รูปที่ 4-17 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา พีเอช 12.0 ความเข้มข้นไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที โดยที่ ไซยาไนด์ (◇ = 100 ไมโครโมลาร์ ■ = 500 ไมโครโมลาร์ ▲ = 1,000 ไมโครโมลาร์) สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต (◇ = 100 ไมโครโมลาร์ □ = 500 ไมโครโมลาร์ △ = 1,000 ไมโครโมลาร์)



รูปที่ 4-18 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตและพีเอช ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที โดยที่ □ = 100 ไมโครโมลาร์ ■ = 500 ไมโครโมลาร์ ■ = 1,000 ไมโครโมลาร์

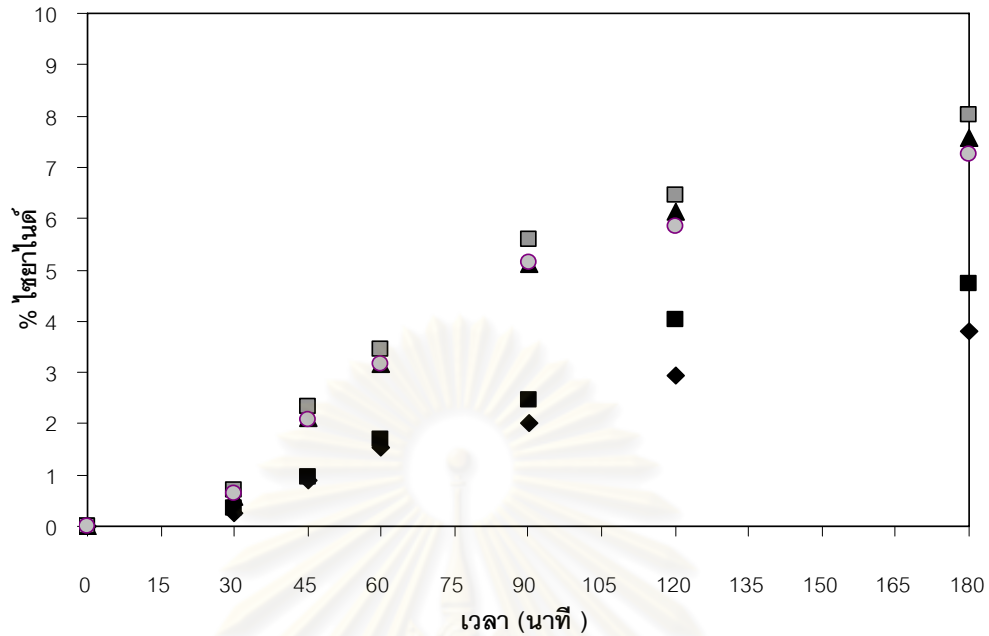


ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต (รูปไซยาไนด์) ที่ความเข้มข้น 100 500 และ 1,000 ไมโครโมลาร์ ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chaing Amal และ Tran (2003) และ Grieken และ คณะ (2005) ที่พบว่าเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตขึ้น ตำแหน่งที่ไวต่อปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชัน (active site) และการดูดซับของตัวเร่งปฏิกิริยาจะต้องรับปริมาณสารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตเพิ่มขึ้นอีก ทำให้ประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตเกิดขึ้นช้าลงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตไปเป็นไซยาไนด์ลดลงด้วย

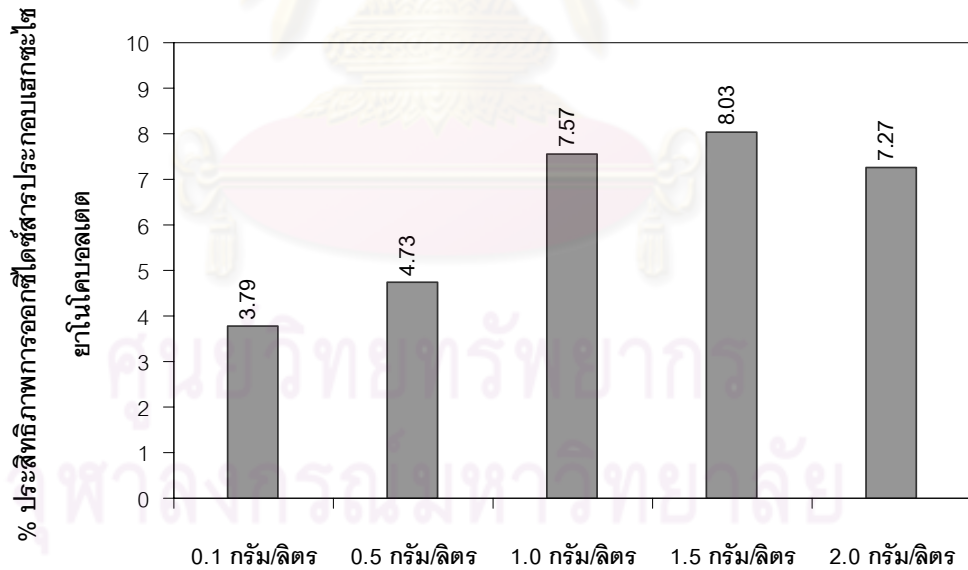
#### 4.2.2 ศึกษาผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต

การศึกษาค้นคว้าผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต ทำการศึกษาที่สภาวะพีเอช 12.0 ความเข้มข้นเริ่มต้นของเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต (รูปไซยาไนด์) 500 ไมโครโมลาร์ อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที นำไปทำการศึกษาโดยแปรค่าตามความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 กรัมต่อลิตร

จากผลการศึกษาในชุดการทดลองเปรียบเทียบ ในกรณีการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต ร่วมกับการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ พบว่า เกิดปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตไปเป็นไซยาไนด์ขึ้น การศึกษาต่อไปจะทำการแปรค่าความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตไปเป็นไซยาไนด์มากขึ้นด้วย แต่การเพิ่มความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มากเกินไปไม่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตเพิ่มขึ้นอีก สามารถตรวจสอบได้โดยการวัดปริมาณไซยาไนด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต ผลการศึกษาเป็นดังรูปที่ 4-19 สำหรับค่าประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาสารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตไปเป็นไซยาไนด์ในเวลา 180 นาที เป็นดังนี้ 3.79% (0.1 กรัมต่อลิตร) 4.73% (0.5 กรัมต่อลิตร) 7.57% (1.0 กรัมต่อลิตร) 8.03% (1.5 กรัมต่อลิตร) และ 7.27% (2.0 กรัมต่อลิตร) ดังรูปที่ 4-20



รูปที่ 4-19 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่าง ๆ กัน อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0 โดยที่ ◆ = 0.1 กรัมต่อลิตร ■ = 0.5 กรัมต่อลิตร ▲ = 1.0 กรัมต่อลิตร □ = 1.5 กรัมต่อลิตร ○ = 2.0 กรัมต่อลิตร



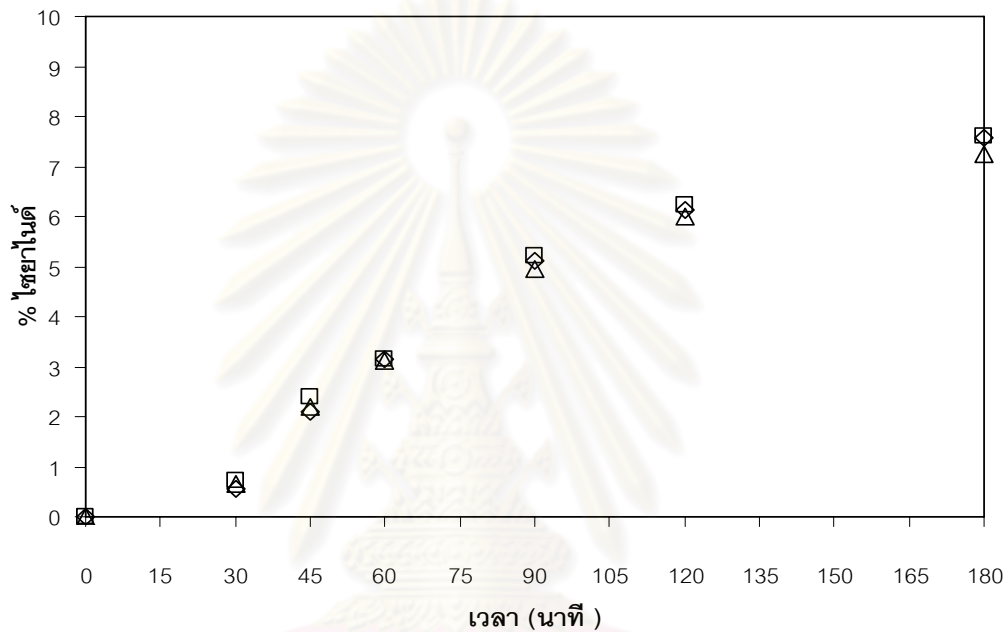
รูปที่ 4-20 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตและความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต (รูปไซยาไนด์) 500 ไมโครโมลาร์ อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0

จากผลการศึกษาคความเข้มข้นเริ่มต้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตตไปเป็นไฮยาโนด์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Chaing Amal และ Tran (2003) และ Grieken และคณะ(2005) ที่แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตตไปเป็นไฮยาโนด์ ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ไวต่อปฏิกิริยา (active site) และการดูดซับของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เติมลงไป การเติมตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมนั้นจะเพิ่มให้การเกิดคู่อlectron-hoe ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตตไปเป็นไฮยาโนด์เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การเพิ่มตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากเกินไป ส่งผลให้เกิดการบดบังการเดินทางของรังสีอัลตราไวโอเล็ต ทำให้ไม่สามารถหรือทะลุผ่านสารแขวนลอยได้ ทำให้เกิดปฏิกิริยาการกระตุ้นไทเทเนียมไดออกไซด์ได้น้อยลงด้วย ซึ่งจะส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาการออกซิไดซ์และประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตตไปเป็นไฮยาโนด์ลดลงด้วย

#### 4.2.3 ศึกษาผลของอัตราการเติมอากาศต่อประสิทธิภาพในการกำจัดเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตต

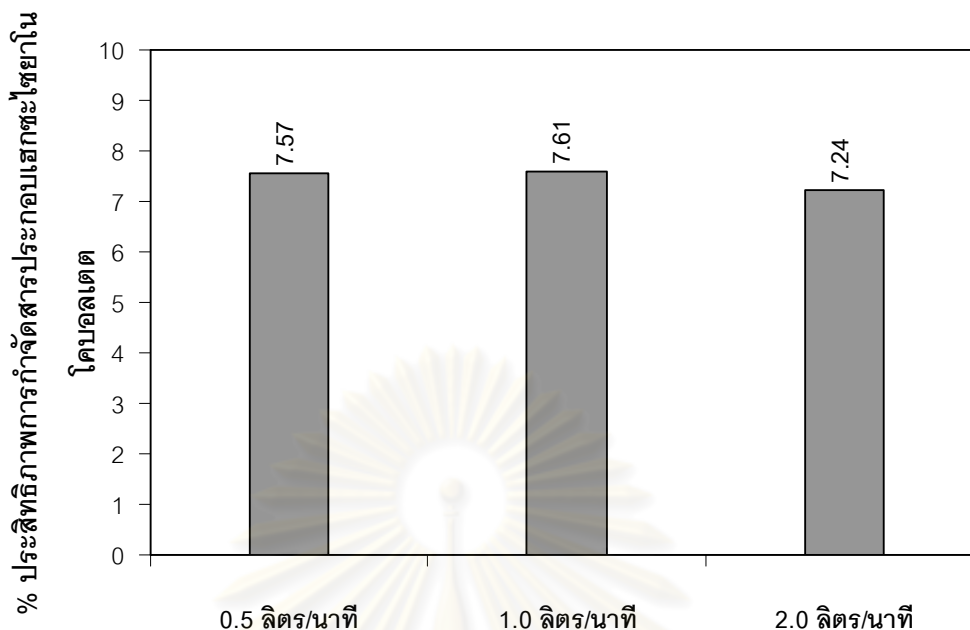
การศึกษ้อัตราการเติมอากาศต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตตไปเป็นไฮยาโนด์ การศึกษาในชุดการทดลองเปรียบเทียบกับแสดงให้เห็นว่า การเติมอากาศเข้าไปในระบบทำให้ปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตตไปเป็นไฮยาโนด์เกิดได้ดีขึ้น การศึกษาต่อไปทำการศึกษาถึงผลของอัตราการเติมอากาศต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตต โดยทำการศึกษาในสภาวะพีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของสารประกอบเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตต (รูปไฮยาโนด์) 500 ไมโครโมลาร์ และแปรตามค่าอัตราการเติมอากาศ ที่ 0.5 1.0 และ 2.0 ลิตรต่อนาที ผลการศึกษพบว่า การเพิ่มอัตราการเติมอากาศทำให้เกิดปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตตไปเป็นไฮยาโนด์จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติมอากาศในปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิสทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิสเพิ่มขึ้น เพราะโมเลกุลออกซิเจน (จากการเติมอากาศ) ทำปฏิกิริยากับ Photogenerated holes ( $h_{\nu}^+$ ) ได้ซูเปอร์ออกไซด์ไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มการถ่ายเทอากาศระหว่างผิวของสารละลายและการเพิ่มการกวนผสมสารละลายอีกด้วย ประสิทธิภาพการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตตไปเป็นไฮยาโนด์จะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าอัตราการเติมอากาศค่าหนึ่ง ประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตตไปเป็นไฮยาโนด์ไม่เพิ่มขึ้นอีก ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Chaing Amal และ Tran (2003) และ Grieken และคณะ(2005) ที่พบว่าอัตราการเติมอากาศสูงจะมีปริมาณฟองอากาศมาก ฟองอากาศปริมาณมากดังกล่าวจะไปบดบังการเดินทาง

ของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับไทเทเนียมไดออกไซด์เพื่อทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $\text{OH}^\bullet$ ) ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตไปเป็นไซยาไนด์มีค่าลดลง ตรวจสอบโดยการวัดปริมาณไซยาไนด์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต ดังรูปที่ 4-21 ค่าประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตไปเป็นไซยาไนด์ที่แต่ละอัตราการเติมอากาศ ในเวลา 180 นาที เป็นดังนี้ 7.57% (0.5 ลิตรต่อนาที) 7.61% (1.0 ลิตรต่อนาที) และ 7.24% (2.0 ลิตรต่อนาที) รูปที่ 4-22



**รูปที่ 4-21** ความสัมพันธ์ระหว่างไซยาไนด์และเวลา ที่อัตราการเติมอากาศต่าง ๆ กัน ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ พีเอช 12.0 โดย ◇ = อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที □ = อัตราการเติมอากาศ 1.0 ลิตรต่อนาที Δ = อัตราการเติมอากาศ 2.0 ลิตรต่อนาที

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



**รูปที่ 4-22** ความสัมพันธ์ระหว่าง % ประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์และอัตราการเติมอากาศที่สภาวะความเข้มข้นเริ่มต้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร พีเอช 12.0

#### 4.3 ผลการศึกษาการกำจัดไซยาไนด์ในรูปของเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต ( $[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$ )

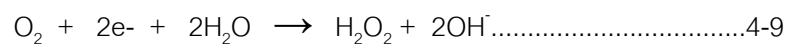
การศึกษาการกำจัดสารประกอบเตตระไซยาโนโคบอลเตตโดยการใช้อัตราการเติมอากาศร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ การศึกษาจะทำการศึกษาในชุดการเปรียบเทียบเหมือนกับการศึกษาในส่วนของไซยาไนด์ ซึ่งมีกรณีต่าง ๆ ดังนี้

การศึกษกรณีที่มีการเติมอากาศเพียงอย่างเดียว (ไม่มีการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตและไม่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์) สภาวะในการศึกษาใช้พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของสารประกอบเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต (รูปไซยาไนด์) 500 ไมโครโมลาร์ อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ผลการศึกษาพบว่า ไม่เกิดปฏิกิริยาการออกซิไดส์สารประกอบเตตระไซยาโนนิกเกิลเลตเกิดขึ้น (หากมีการเกิดปฏิกิริยาออกซิไดส์สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตเกิดขึ้นจะพบไซยาไนด์)

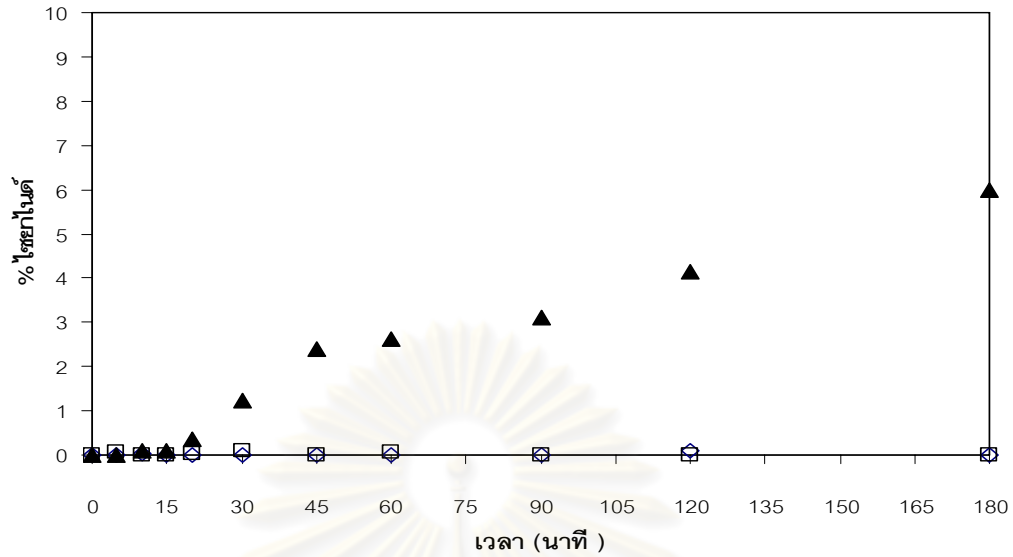
การศึกษกรณีไม่มีการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ (มีการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตและเติมอากาศ) สภาวะการทดลองใช้พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของสารประกอบเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต (รูปไซยาไนด์) 500 ไมโครโมลาร์ และอัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ผลการศึกษาพบว่า ไม่มีการเกิดปฏิกิริยาการออกซิไดส์สารประกอบเตตระไซยาโนนิกเกิลเลตไปเป็นไซยาไนด์เกิดขึ้นในระบบ ตรวจสอบด้วยการวัดปริมาณไซยาไนด์ปรากฏว่าไม่พบไซยาไนด์ (หากมีการเกิดปฏิกิริยาออกซิไดส์สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตเกิดขึ้นจะพบไซยาไนด์)

การศึกษากรณีไม่มีการเติมอากาศ (มีการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตและเติมไทเทเนียมไดออกไซด์) สภาวะการทดลองใช้พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของสารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลต (รูปไฮยาโนด์) 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร พบว่าเกิดปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตไปเป็นไฮยาโนด์ ตรวจสอบด้วยการวัดปริมาณไฮยาโนด์พบว่าปริมาณไฮยาโนด์เกิดขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น

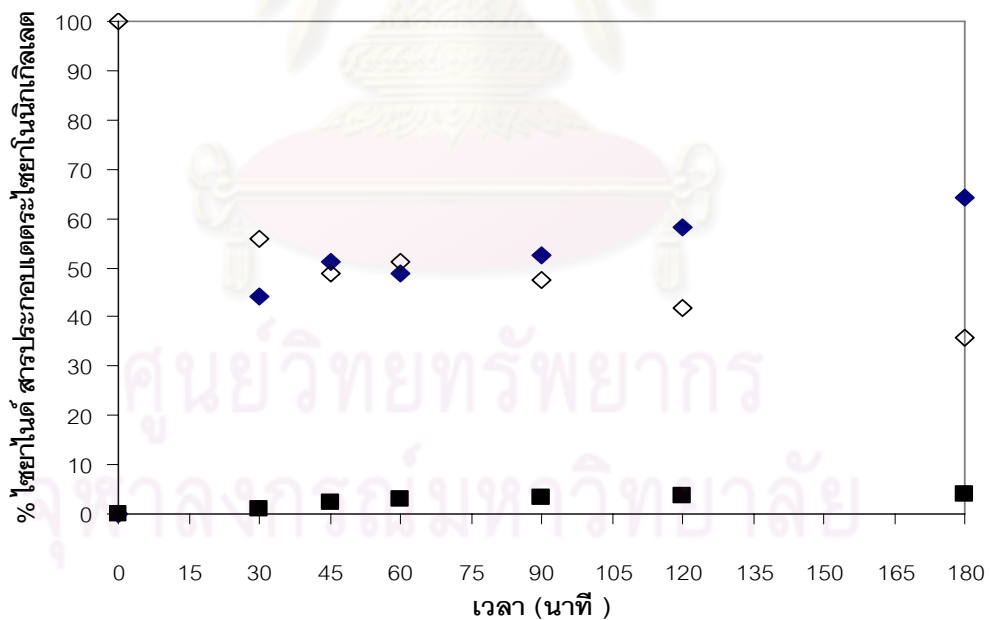
การศึกษาในชุดเปรียบเทียบทั้ง 3 กรณีจะสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Grieken et al.(2002) ดังรูปที่ 4-23 ดังนั้น การเกิดปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตไปเป็นไฮยาโนด์เกิดขึ้นได้ดีจะต้องมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม แหล่งกำเนิดรังสีอัลตราไวโอเล็ต และการเติมอากาศ เมื่อปล่อยให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นแล้วทำการวิเคราะห์ค่าไอออนต่าง ๆ หลังปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตดำเนินไปพบว่า มีปริมาณไฮยาโนด์เพิ่มขึ้นในระบบ แต่ปริมาณไฮยาเนตมีปริมาณน้อยมาก แสดงว่าการเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตไปเป็นไฮยาโนด์ (จากการออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไฮยาโนโคบอลเตต) ต่อไปเป็นไฮยาเนตเกิดขึ้นน้อยมาก ผลการศึกษาเป็นดังรูปที่ 4-24 สำหรับกลไกการเกิดปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตเขียนได้ตามสมการที่ 4-7 และสมการที่ 4-8 ซึ่งกลไกดังกล่าวเสนอโดย Grieken et al.(2002) สำหรับสมการที่ 4-7 แสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตไปเป็นไฮยาโนด์ โดยไทเทเนียมไดออกไซด์จะถูกกระตุ้นโดยรังสีอัลตราไวโอเล็ตเกิดเป็น Photogenerated holes ( $h_{vb}^+$ ) และ ไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $OH^\bullet$ ) ซึ่งไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $OH^\bullet$ ) ที่เกิดขึ้นจะไปทำปฏิกิริยากับสารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตทำให้ได้ไฮยาโนด์หลุดออกจากสารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลต ส่วนไฮยาโนด์ที่เกิดจากการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตนั้นจะถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็นไฮยาเนตน้อยมาก แสดงว่า ไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $OH^\bullet$ ) ที่เกิดจากการกระตุ้นไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะนำไปใช้ในการสลายพันธะระหว่างนิกเกิลและไฮยาโนด์ ส่วนสมการที่ 4-9 เป็นปฏิกิริยาการรีดิวซ์ออกซิเจนโดยอิเล็กตรอนเมื่อมีการเติมอากาศ ซึ่งปฏิกิริยาที่ได้จะทำให้เกิดไฮดรอกไซด์ไอออน ( $OH^-$ ) ขึ้น ไฮดรอกไซด์ไอออน ( $OH^-$ ) ที่เกิดขึ้นนี้จะไปเกิดปฏิกิริยากับ Photogenerated holes ( $h_{vb}^+$ ) เกิดเป็นไฮดรอกไซด์เรดิคัล ( $OH^\bullet$ ) อีกครั้ง แล้วไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $OH^\bullet$ ) จะไปทำปฏิกิริยาออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตอีกครั้ง ดังนี้







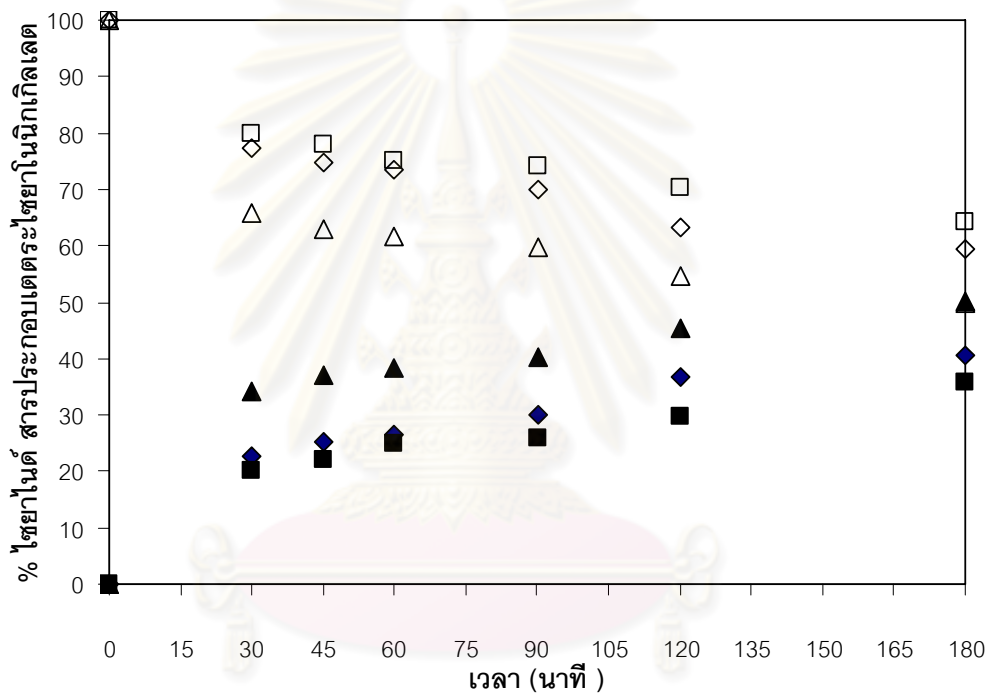
รูปที่ 4-23 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา ที่สภาวะการทดลองต่าง ๆ  
 ▲ = ไม่มีการเติมอากาศ (มีการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตและเติมไทเทเนียมไดออกไซด์) ■ = ไม่มีการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ (มีการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตและเติมอากาศ) ◆ = มีการเติมอากาศเพียงอย่างเดียว (ไม่มีการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตและไม่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์)



รูปที่ 4-24 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์ ไซยาเนตและเวลา พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ความเข้มข้นของเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต 500 ไมโครโมลาร์ ■ = ไซยาเนต ◆ = ไซยาไนด์อิสระ ○ = สารประกอบเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต

#### 4.3.1 ศึกษาผลของพีเอชและความเข้มข้นของสารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกลเลตต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกลเลต

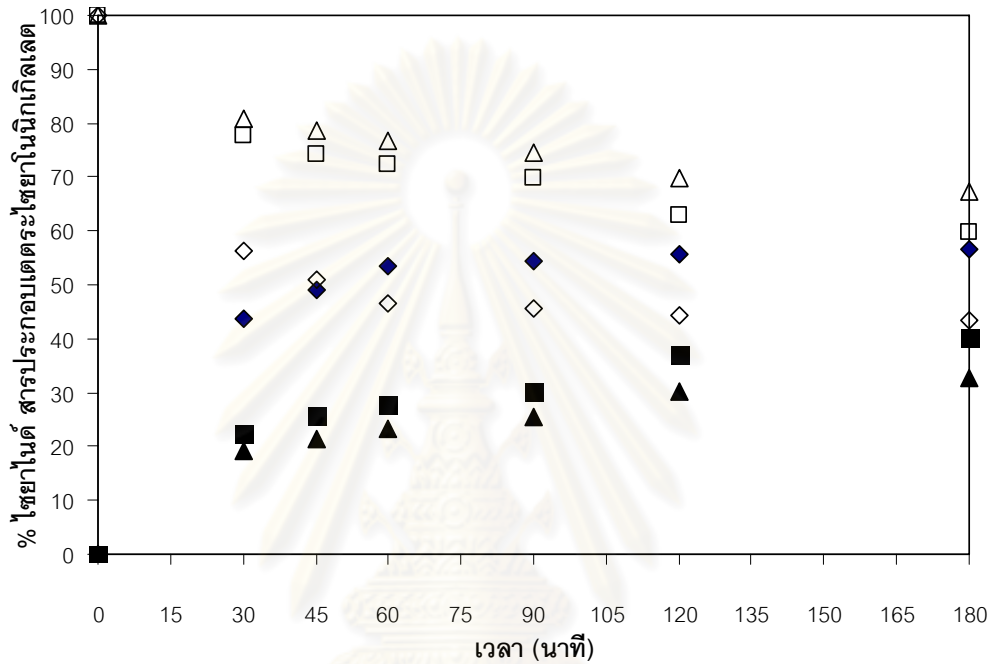
การศึกษาผลพีเอช ทำการศึกษาที่สภาวะความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกลเลต (รูปไฮยาโนด์) 500 ไมโครโมลาร์ อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร นำไปศึกษาที่พีเอชต่างกัน ผลการศึกษาพบว่าที่พีเอช 12.0 มีประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกลเลตไปเป็นไฮยาโนด์ จะมีค่าสูงที่สุด รองลงมา คือ พีเอช 10.5 และ 9.5 ตามลำดับ ตรวจสอบโดยการวัดปริมาณไฮยาโนด์ที่เกิดขึ้นในระบบ เป็นดังรูปที่ 4-25



รูปที่ 4-25 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไฮยาโนด์และเวลา ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ความเข้มข้นของไฮยาโนด์ 500 ไมโครโมลาร์ โดย ไฮยาโนด์ (■ = พีเอช 9.5 ◆ = พีเอช 10.5 ▲ = พีเอช 12.0) สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกลเลต (□ = พีเอช 9.5 ◇ = พีเอช 10.5 △ = พีเอช 12.0)

ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกลเลต (รูปไฮยาโนด์) ที่ความเข้มข้น 100 500 และ 1,000 ไมโครโมลาร์ ผลการศึกษาการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกลเลตที่พีเอช 9.5 พบว่า ที่ความเข้มข้นของสารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกลเลตต่ำ มีประสิทธิภาพการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกลเลตไปเป็นไฮยาโนด์ได้ดีกว่า ที่ความ

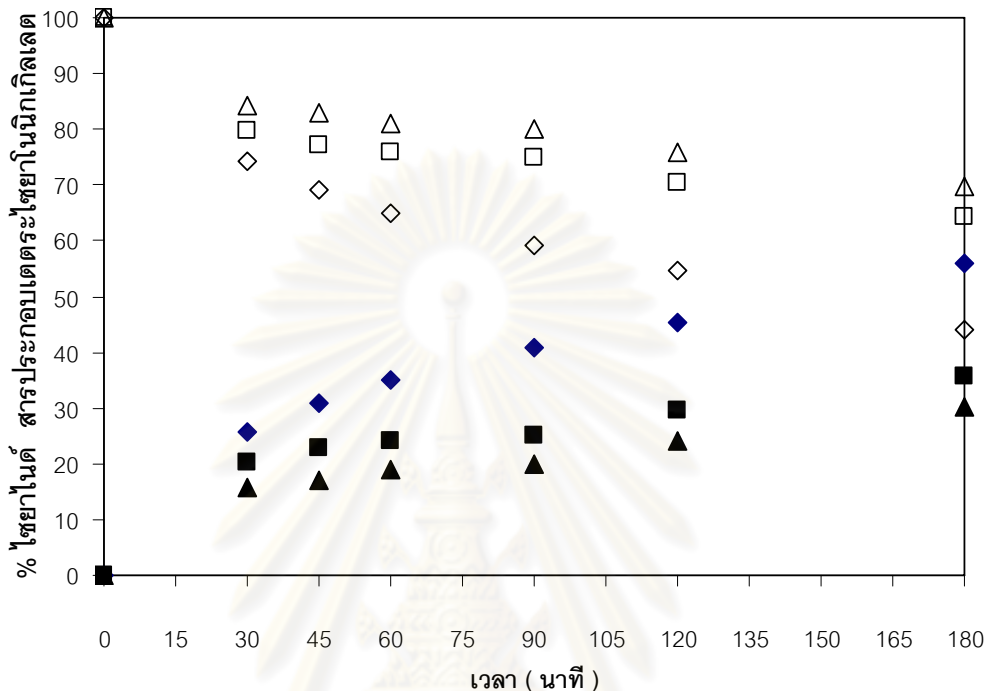
เข้มข้นของสารประกอบของเตตระไฮยานอนิกเกล็ดสูง สามารถตรวจสอบโดยการวัดปริมาณไฮยาโนด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยานอนิกเกล็ด ดังรูปที่ 4-26 สำหรับค่าประสิทธิภาพในการศึกษาที่พีเอช 9.5 ในเวลา 180 นาที เป็นดังนี้ 52.54% (100 ไมโครโมลาร์) 50.19% (500 ไมโครโมลาร์) และ 46.47% (1,000 ไมโครโมลาร์) ดังรูปที่ 4-29



รูปที่ 4-26 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไฮยาโนด์และเวลา พีเอช 9.5 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่ออนาที โดยที่ ไฮยาโนด์ (◆ = 100 ไมโครโมลาร์ ■ = 500 ไมโครโมลาร์ ▲ = 1,000 ไมโครโมลาร์) สารประกอบเตตระไฮยานอนิโคบอลเตต (◇ = 100 ไมโครโมลาร์ □ = 500 ไมโครโมลาร์ △ = 1,000 ไมโครโมลาร์)

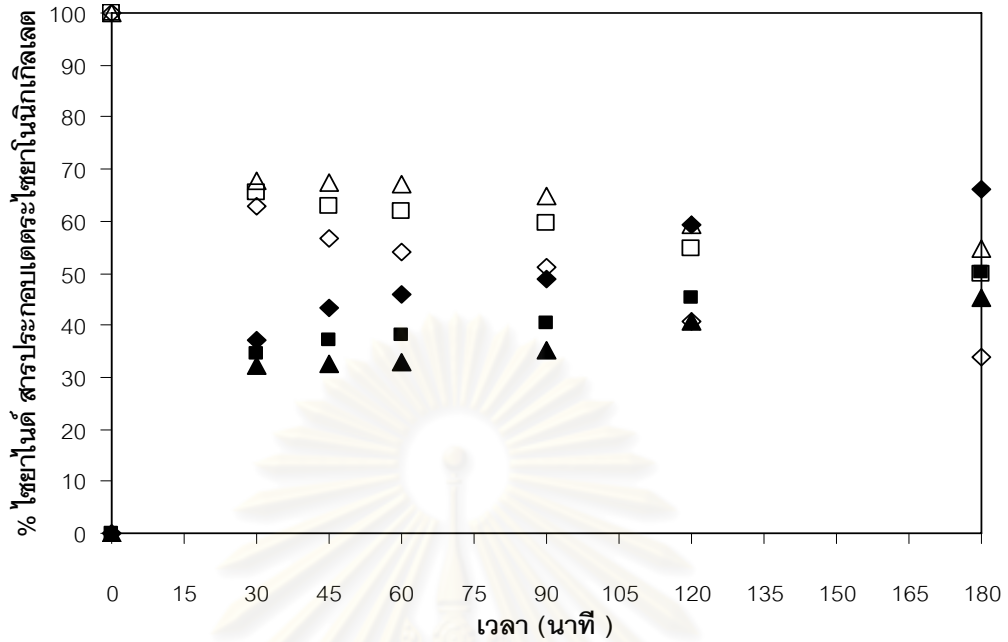
ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบเตตระไฮยานอนิโคบอลเตต (รูปไฮยาโนด์) ที่ความเข้มข้น 100 500 และ 1,000 ไมโครโมลาร์ ผลการศึกษาการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยานอนิกเกล็ดที่พีเอช 10.5 พบว่า ที่ความเข้มข้นของสารประกอบเตตระไฮยานอนิกเกล็ดต่ำ มีประสิทธิภาพการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยานอนิกเกล็ดไปเป็นไฮยาโนด์ได้ดีกว่าที่ความเข้มข้นของสารประกอบของเตตระไฮยานอนิกเกล็ดสูง สามารถตรวจสอบโดยการวัดปริมาณไฮยาโนด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยานอนิกเกล็ด ดังรูปที่ 4-27 สำหรับประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยานอนิกเกล็ดที่พีเอช

10.5 ในเวลา 180 นาที เป็นดังนี้ 55.99% (100 ไมโครโมลาร์) 52.07% (500 ไมโครโมลาร์) และ 48.24% (1,000 ไมโครโมลาร์) ดังรูปที่ 4-29

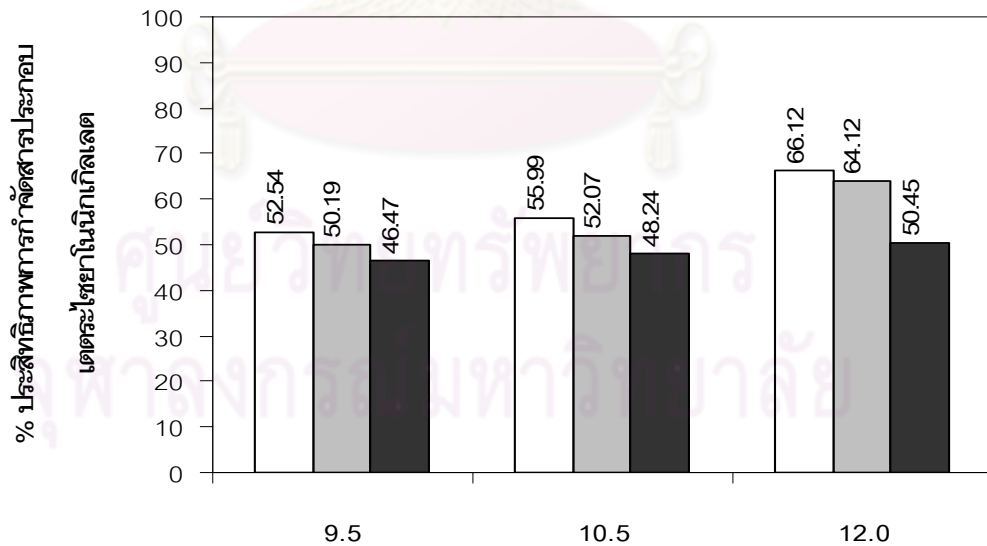


รูปที่ 4-27 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไชยาไนต์และเวลา พีเอช 10.5 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที โดยที่ ไชยาไนต์ (◆ = 100 ไมโครโมลาร์ ■ = 500 ไมโครโมลาร์ ▲ = 1,000 ไมโครโมลาร์) สารประกอบเตตระไฮยาโนบิลเกลเลต (◇ = 100 ไมโครโมลาร์ □ = 500 ไมโครโมลาร์ △ = 1,000 ไมโครโมลาร์)

ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบเตตระไฮยาโนบิลเกลเลต (รูปไชยาไนต์) ที่ความเข้มข้น 100 500 และ 1,000 ไมโครโมลาร์ ผลการศึกษาการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนบิลเกลเลตที่พีเอช 12.0 พบว่า ที่ความเข้มข้นของสารประกอบเตตระไฮยาโนบิลเกลเลตต่ำ มีอัตราการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนบิลเกลเลตไปเป็นไชยาไนต์ได้ดีกว่าที่ความเข้มข้นของสารประกอบของเตตระไฮยาโนบิลเกลเลตสูง สามารถตรวจสอบโดยการวัดปริมาณไชยาไนต์ที่เกิดจากปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนบิลเกลเลต ดังรูปที่ 4-28 สำหรับประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนบิลเกลเลตที่พีเอช 12.0 ในเวลา 180 นาที เป็นดังนี้ 66.12% (100 ไมโครโมลาร์) 64.12% (500 ไมโครโมลาร์) และ 50.45% (1,000 ไมโครโมลาร์) ดังรูปที่ 4-28



รูปที่ 4-28 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที โดยที่ ไซยาไนด์ (◇ = 100 ไมโครโมลาร์ ■ = 500 ไมโครโมลาร์ ▲ = 1,000 ไมโครโมลาร์) สารประกอบเตตระไซยาโนบิลิเลต (◇ = 100 ไมโครโมลาร์ □ = 500 ไมโครโมลาร์ △ = 1,000 ไมโครโมลาร์)



รูปที่ 4-29 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเฮกซะไซยาโนบิลิเลตและพีเอช ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร โดยที่ □ = 100 ไมโครโมลาร์ ■ = 500 ไมโครโมลาร์ ■ = 1,000 ไมโครโมลาร์

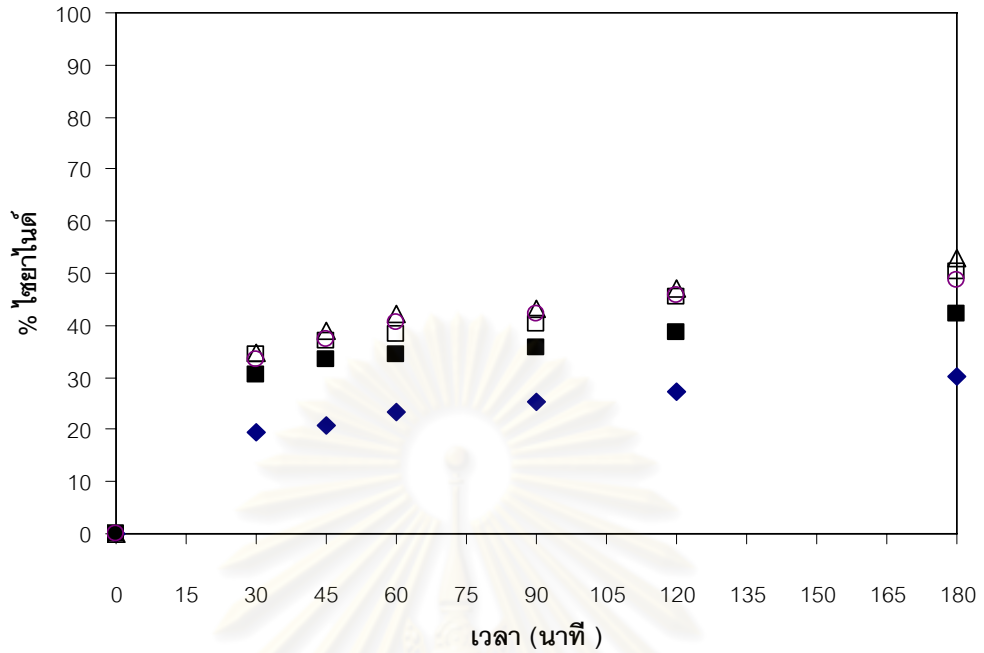
ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลต (รูปไฮยาโนด์) ที่ความเข้มข้น 100 500 และ 1,000 ไมโครโมลาร์ ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Chaing Amal และ Tran (2003) และ Grieken และคณะ(2005) ที่พบว่าเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตขึ้น ตำแหน่งที่ไวต่อปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชัน (active site) และการดูดซับของตัวเร่งปฏิกิริยาจะต้องรับปริมาณสารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตเพิ่มขึ้นอีก ทำให้ประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตเกิดได้ช้าลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตไปเป็นไฮยาโนด์ลดลงด้วย

#### 4.3.2 ศึกษาผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลต

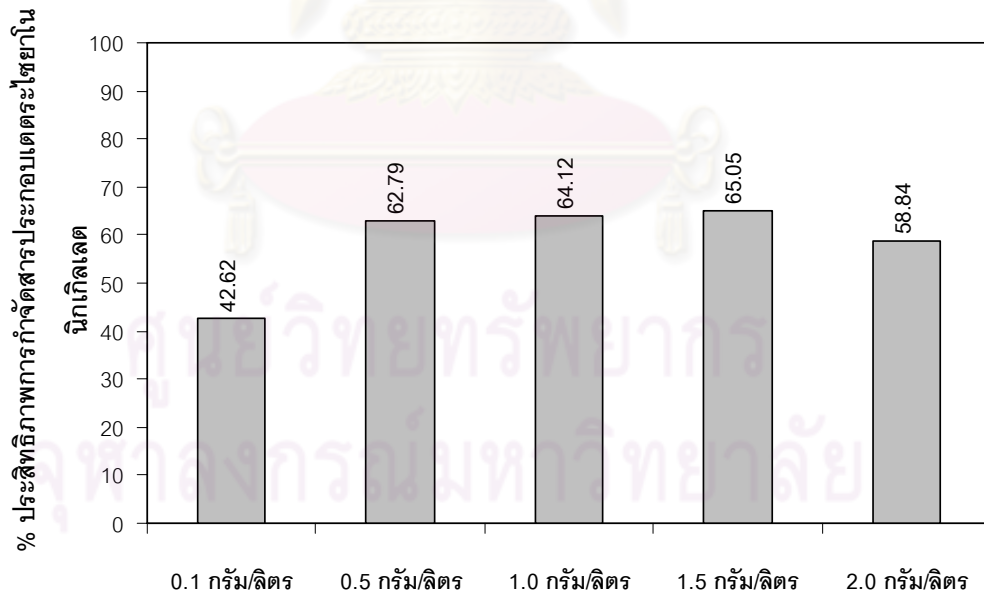
การศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลต ทำการทดลองที่สภาวะพีเอช 12.0 ความเข้มข้นเริ่มต้นของเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลต (รูปไฮยาโนด์) 500 ไมโครโมลาร์ อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที นำไปทำการศึกษาโดยแปรค่าตามความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 กรัมต่อลิตร

จากผลการศึกษาในชุดการทดลองเปรียบเทียบ กรณีการฉายรังสีอัลตราไวโอเลตร่วมกับการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ พบว่า เกิดปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตไปเป็นไฮยาโนด์ขึ้น การศึกษาต่อไปจะทำการแปรค่าความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ในระบบผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ขึ้น ทำให้การเกิดปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตไปเป็นไฮยาโนด์มากขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Chaing Amal และ Tran (2003) และ Grieken และคณะ(2005) แต่การเพิ่มความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มากเกินไป จะไม่ทำให้การเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์เพิ่มขึ้นอีก การตรวจสอบสามารถทำได้โดยการวัดปริมาณไฮยาโนด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลต ผลการศึกษาเป็นดังรูปที่ 4-30 สำหรับค่าประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาสารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตไปเป็นไฮยาโนด์ ในเวลา 180 นาที เป็นดังนี้ เป็นดังนี้ 42.62% (0.1 กรัมต่อลิตร) 62.79% (0.5 กรัมต่อลิตร) 64.12% (1.0 กรัมต่อลิตร) 65.05% (1.5 กรัมต่อลิตร) และ 58.84% (2.0 กรัมต่อลิตร) ดังรูปที่ 4-31





รูปที่ 4-30 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่าง ๆ กัน อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0 โดยที่ ◆ = 0.1 กรัมต่อลิตร ■ = 0.5 กรัมต่อลิตร △ = 1.0 กรัมต่อลิตร □ = 1.5 กรัมต่อลิตร ○ = 2.0 กรัมต่อลิตร



รูปที่ 4-31 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเตตระไซยาโนนิกเกิดเลตและความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบเตตระไซยาโนนิกเกิดเลต (รูปไซยาไนด์) 500 ไมโครโมลาร์ อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0

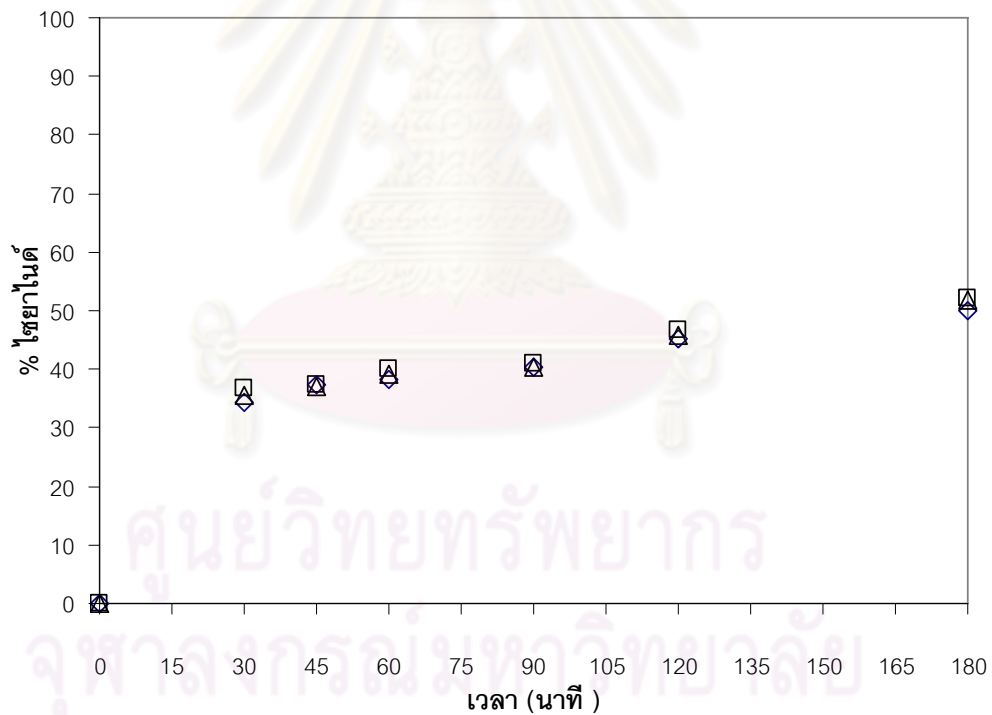
จากผลการศึกษาถึงความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตไปเป็นไฮยาโนด์ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Chaing Amal และ Tran (2003) และ Grieken และคณะ(2005) ที่พบว่าประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตไปเป็นไฮยาโนด์ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ไวต่อปฏิกิริยา (active site) และการดูดซับของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เติมลงไป การเติมตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมนั้นจะเพิ่มการเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตไปเป็นไฮยาโนด์เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การเพิ่มตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากเกินไปจะส่งผลให้เกิดการบดบังการเดินทางของรังสีอัลตราไวโอเล็ต ทำให้ไม่สามารถหรือทะลุผ่านสารแขวนลอยได้ลดลง ทำให้ประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาการกระตุ้นไทเทเนียมไดออกไซด์ได้น้อยลง ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตไปเป็นไฮยาโนด์ลดลงด้วย

#### 4.3.3 ศึกษาผลของอัตราการเติมอากาศต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลต

การศึกษ้อัตราการเติมอากาศต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตไปเป็นไฮยาโนด์ การศึกษาในชุดการทดลองเปรียบเทียบกับแสดงให้เห็นว่า การเติมอากาศเข้าไปในระบบจะเป็นการเพิ่มการถ่ายเทออกซิเจนที่ผิวหน้าของสารละลาย ทำให้ปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตไปเป็นไฮยาโนด์เกิดได้ดีขึ้น

การศึกษาต่อไปทำการศึกษาถึงผลของอัตราการเติมอากาศต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลต โดยทำการทดลองที่สภาวะพีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของสารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลต (รูปไฮยาโนด์) 500 ไมโครโมลาร์ และแปรตามค่าอัตราการเติมอากาศ ที่ 0.5 1.0 และ 2.0 ลิตรต่อวินาที ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มอัตราการเติมอากาศจะพบว่าประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตไปเป็นไฮยาโนด์จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติมอากาศในปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิสทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิสเพิ่มขึ้น เพราะโมเลกุลออกซิเจน (จากการเติมอากาศ) ทำปฏิกิริยากับ Photogenerated holes ( $h_{\nu}^+$ ) ได้ซูเปอร์ออกไซด์ไฮดรอกซิลเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังเป็นการเพิ่มการถ่ายเทอากาศระหว่างผิวของสารละลายและการเพิ่มการกวนผสมสารละลายอีกด้วย ประสิทธิภาพการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตไปเป็นไฮยาโนด์จะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าอัตราการเติมอากาศค่าหนึ่ง ประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตไปเป็นไฮยาโนด์ไม่เพิ่มขึ้นอีก เพราะอัตราการเติมอากาศสูงจะมีปริมาณฟองอากาศมาก ฟองอากาศจะไปบดบังการเดินทางของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับไทเทเนียมไดออกไซด์ เพื่อทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $OH^{\cdot}$ ) ซึ่งทำให้

ประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตไปเป็นไฮยาโนดมีค่าลดลง ตรวจสอบโดยการวัดปริมาณไฮยาโนดที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลต จนถึงค่าอัตราการเติมอากาศค่าหนึ่ง ประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตเป็นไฮยาโนดไม่เพิ่มขึ้นอีก ตรวจสอบโดยการวัดปริมาณไฮยาโนดที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลต ดังรูปที่ 4-32 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษานี้ของ Chaing Amal และ Tran (2003) และ Grieken และคณะ(2005) แสดงว่าอัตราการเติมอากาศสูงจะมีปริมาณฟองอากาศมาก ฟองอากาศจะไปบดบังการเดินทางของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับไทเทเนียมไดออกไซด์เพื่อทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $\text{OH}^\bullet$ ) ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตไปเป็นไฮยาโนดมีค่าลดลง ค่าประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดเลตไปเป็นไฮยาโนดที่แต่ละอัตราการเติมอากาศ ในเวลา 180 นาที เป็นดังนี้ 64.12% (0.5 ลิตรต่อนาที) 64.96% (1.0 ลิตรต่อนาที) และ 64.15% (2.0 ลิตรต่อนาที) รูปที่ 4-33



**รูปที่ 4-32** ความสัมพันธ์ระหว่างไฮยาโนดและเวลา ที่อัตราการเติมอากาศต่าง ๆ กัน ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของไฮยาโนด 500 ไมโครโมลาร์ พีเอช 12.0 โดย ◇ = อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที □ = อัตราการเติมอากาศ 1.0 ลิตรต่อนาที △ = อัตราการเติมอากาศ 2.0 ลิตรต่อนาที

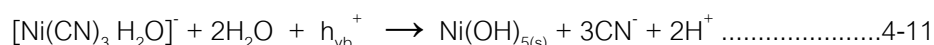
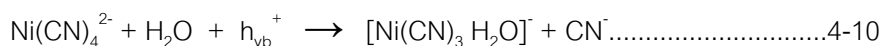


อากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ผลการศึกษาพบว่า ไม่มีการเกิดปฏิกิริยาการออกซิไดส์สารประกอบผสมไปเป็นไซยาไนด์เกิดขึ้นในระบบ ตรวจสอบด้วยการวัดปริมาณไซยาไนด์ปรากฏว่าไม่พบไซยาไนด์ (หากมีการเกิดปฏิกิริยาออกซิไดส์สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตเกิดขึ้นจะพบไซยาไนด์)

กรณีไม่มีการเติมอากาศ (มีการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตและเติมไทเทเนียมไดออกไซด์) สภาวะการศึกษาใช้พีเอชของสารละลายเท่ากับ 12.0 ความเข้มข้นของสารประกอบผสม (รูปไซยาไนด์) 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร พบว่าเกิดปฏิกิริยาการออกซิไดส์สารประกอบผสมไปเป็นไซยาไนด์ ตรวจสอบด้วยการวัดปริมาณไซยาไนด์ปรากฏว่าพบไซยาไนด์ (หากมีการเกิดปฏิกิริยาออกซิไดส์สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตตเกิดขึ้นจะพบไซยาไนด์)

การทดลองเปรียบเทียบในทั้ง 3 กรณีจะสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Grieken et al.(2002) ดังรูปที่ 4-34 ดังนั้น ปฏิกิริยาออกซิไดส์สารประกอบผสม ไปเป็นไซยาไนด์เกิดขึ้นได้ดีจะต้องมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม แหล่งกำเนิดแสง และการเติมอากาศ จากผลการศึกษา นำไปทำการวิเคราะห์ค่าไอออนต่าง ๆ หลังปฏิกิริยาการออกซิไดส์สารประกอบผสมดำเนินไปพบว่า มีปริมาณไซยาไนด์เพิ่มขึ้นในระบบ แต่ปริมาณไซยาเนตมีปริมาณน้อยมาก แสดงว่าการเกิดปฏิกิริยาออกซิไดส์สารประกอบผสมไปเป็นไซยาไนด์ แต่การออกซิไดส์ไซยาไนด์ต่อไปเป็นไซยาเนตเกิดขึ้นน้อยมาก ผลการศึกษาเป็นดังรูปที่ 4-35 สำหรับกลไกการเกิดปฏิกิริยาการออกซิไดส์สารประกอบผสมเขียนได้ตามสมการที่ 4-10 และสมการที่ 4-11 เป็นสมการการออกซิไดส์สารประกอบเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต สมการที่ 4-12 และสมการที่ 4-13 เป็นสมการการออกซิไดส์สารประกอบเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต โดยไทเทเนียมไดออกไซด์จะถูกระตุ้นโดยรังสีอัลตราไวโอเล็ตเกิดเป็น Photogenerated holes ( $h_{vb}^+$ ) และ ไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $OH^\circ$ ) ซึ่งไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $OH^\circ$ ) ที่เกิดขึ้นจะไปทำปฏิกิริยากับสารประกอบผสม ทำให้ได้ไซยาไนด์หลุดออกจากสารประกอบผสม ส่วนไซยาไนด์ที่เกิดจากการออกซิไดส์สารประกอบผสม นั้นจะถูกออกซิไดส์ต่อไปเป็นไซยาเนตน้อยมาก แสดงว่า ไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $OH^\circ$ ) ที่เกิดจากการกระตุ้นไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะนำไปใช้ในการสลายพันธะระหว่างนิกเกิล โคบอล และไซยาไนด์ ส่วนสมการที่ 4-14 เป็นปฏิกิริยาการรีดิวซ์ออกซิเจนโดยอิเล็กตรอนเมื่อมีการเติมอากาศ ซึ่งปฏิกิริยาที่ได้จะทำให้เกิดไฮดรอกไซด์ไอออน ( $OH^-$ ) ขึ้น ไฮดรอกไซด์ไอออน ( $OH^-$ ) ที่เกิดขึ้นนี้จะไปทำปฏิกิริยากับ Photogenerated holes ( $h_{vb}^+$ ) เกิดเป็นไฮดรอกไซด์เรดิคัล ( $OH^\circ$ ) อีกครั้ง แล้วไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $OH^\circ$ ) จะไปทำปฏิกิริยาออกซิไดส์สารประกอบผสมอีกครั้ง ดังนี้

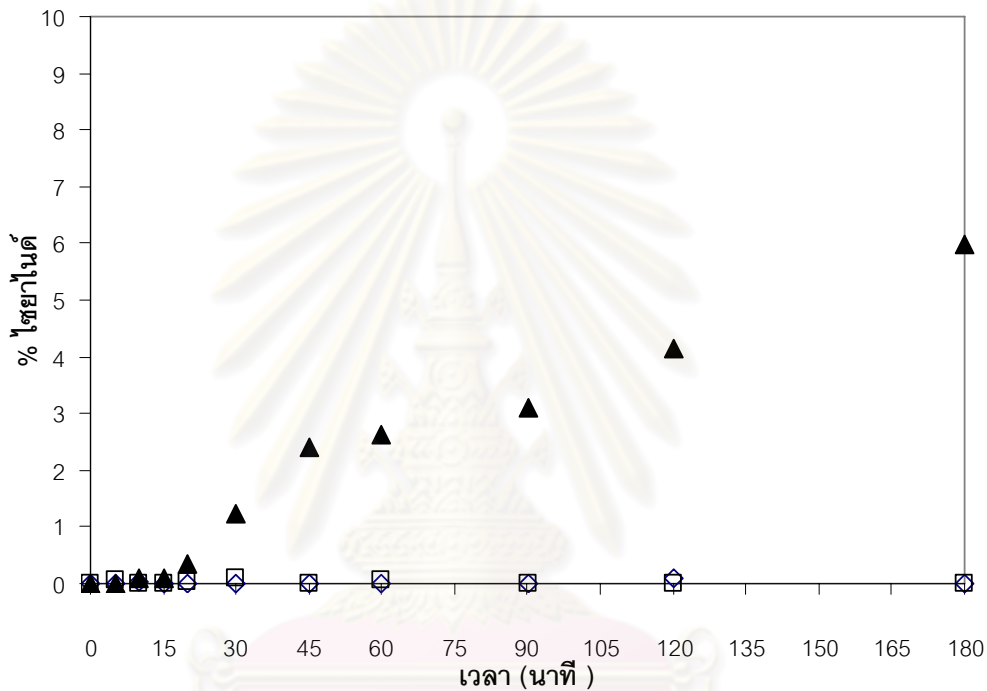
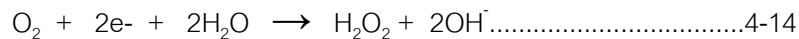
#### 1. การออกซิไดส์สารประกอบเตตระไซยาโนนิกเกิลเลต



## 2. การออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไซยาโนนิกเกิลเลต



## 3. ปฏิกริยาการรีดิวซ์ออกซิเจน



รูปที่ 4-34 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา ที่สภาวะการทดลองต่างๆ

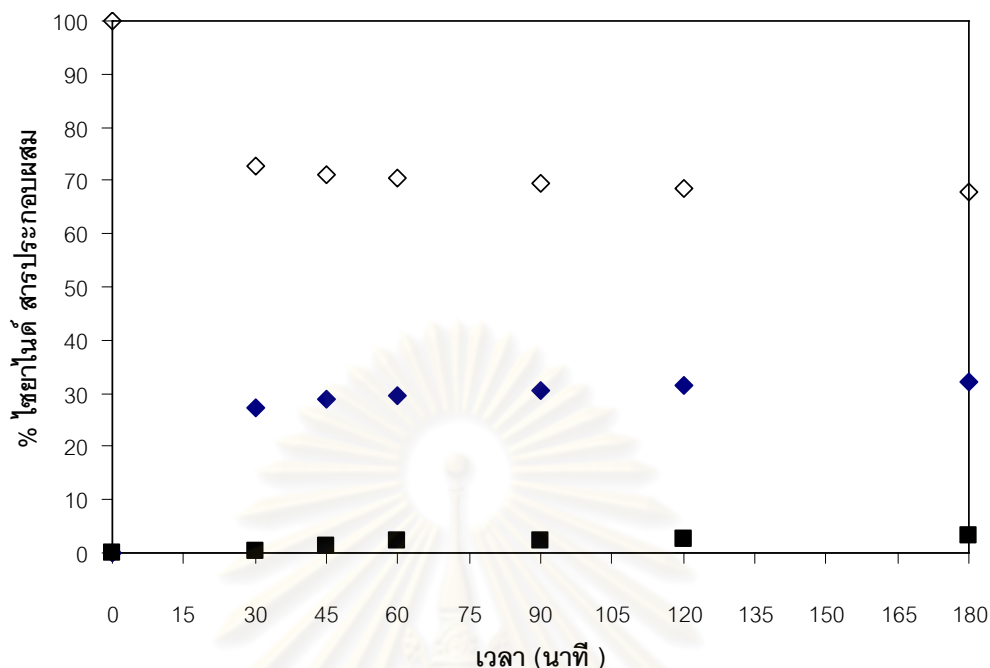
โดย ▲ = ไม่มีการเติมอากาศ (มีการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตและเติมไทเทเนียมไดออกไซด์)

■ = ไม่มีการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ (มีการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตและเติมอากาศ) ◆ = มี

การเติมอากาศเพียงอย่างเดียว (ไม่มีการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตและไม่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

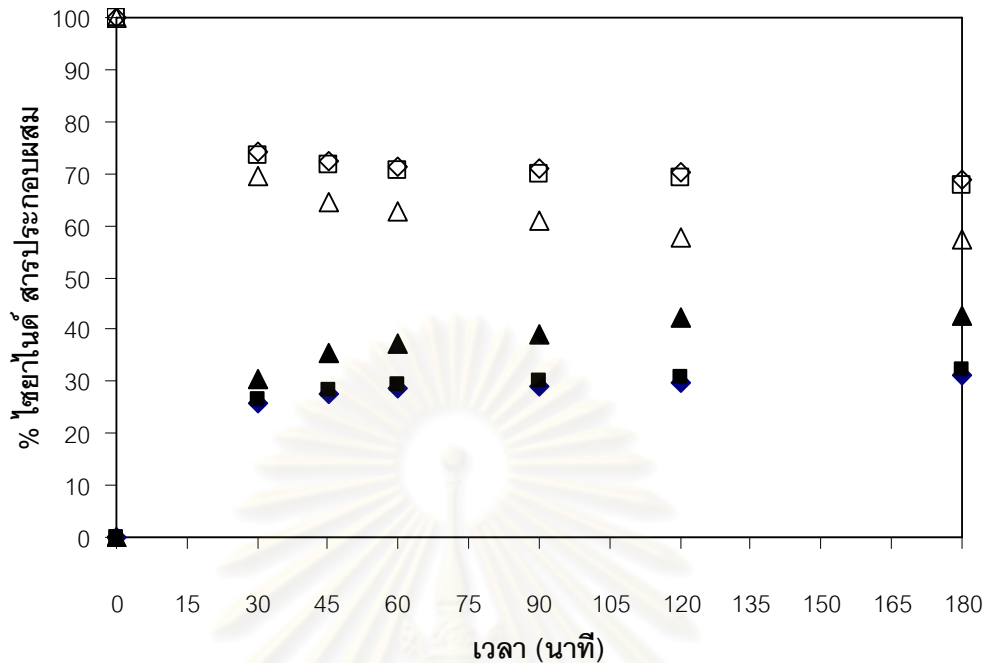




รูปที่ 4-35 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนต์ ไชยาเนตและเวลา พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ความเข้มข้นของสารประกอบผสม (รูปไซยาไนต์) 500 ไมโครโมลาร์ โดย ■ = ไชยาเนต ◆ = ไชยาไนต์ ◇ = สารประกอบผสม

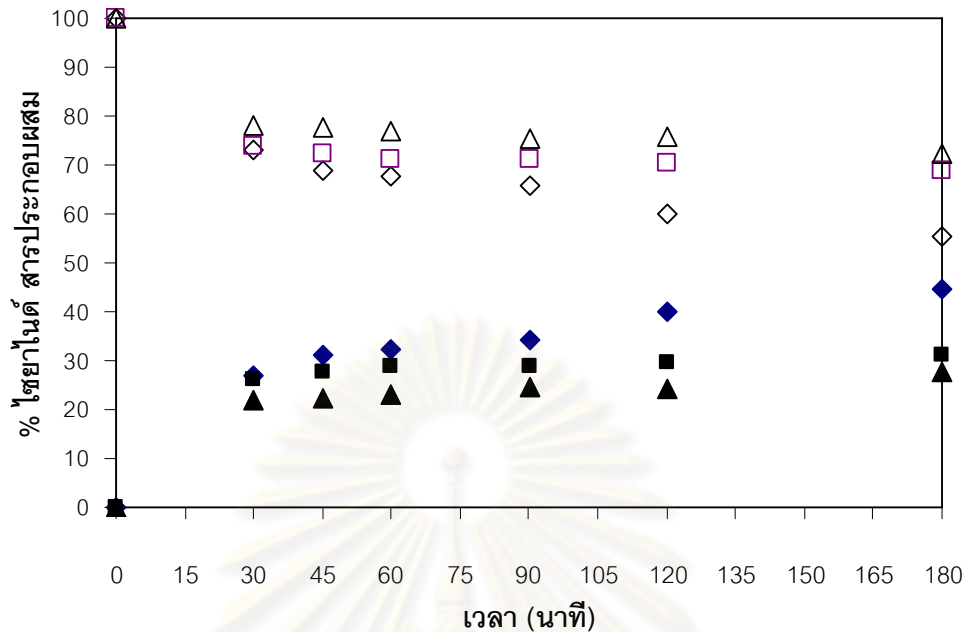
#### 4.4.1 ศึกษาผลของพีเอชและความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบผสม [เตตระไซยาโนนิกเกิลเลตและเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต] ต่อประสิทธิภาพในสารประกอบผสม [เตตระไซยาโนนิกเกิลเลตและเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต]

การศึกษาผลพีเอช ทำการศึกษาที่สภาวะความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบผสม (รูปไซยาไนต์) 500 ไมโครโมลาร์ อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร นำไปศึกษาที่พีเอชต่างกัน ผลการศึกษาพบว่า ที่พีเอช 12.0 มีประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบผสม ไปเป็นไซยาไนต์จะมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือพีเอช 10.5 และ 9.5 ตามลำดับ ตรวจสอบโดยการวัดปริมาณไซยาไนต์ที่เกิดขึ้นในระบบ เป็นดังรูปที่



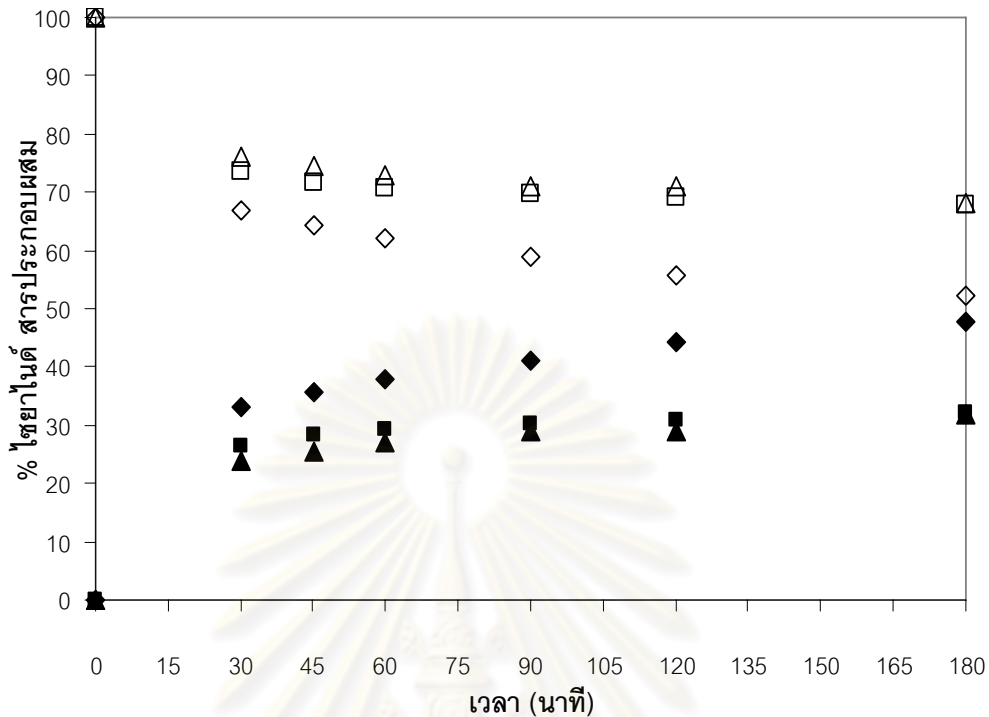
รูปที่ 4-36 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของโซเดียมไอออนและเวลา ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ความเข้มข้นของสารประกอบผสม (รูปโซเดียมไอออน) 500 ไมโครโมลาร์ โดย โซเดียมไอออน (◆ = พีเอช 9.5 ■ = พีเอช 10.5 ▲ = พีเอช 12.0) สารประกอบผสม (◇ = พีเอช 9.5 □ = พีเอช 10.5 △ = พีเอช 12.0)

ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบผสม (รูปโซเดียมไอออน) ที่ความเข้มข้น 100 500 และ 1,000 ไมโครโมลาร์ ผลการศึกษาการออกซิไดซ์สารประกอบผสม ที่พีเอช 9.5 พบว่า ที่ความเข้มข้นของสารประกอบผสมต่ำมีประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบผสมไปเป็นโซเดียมไอออนได้ดีกว่าที่ความเข้มข้นของสารประกอบผสมสูง สามารถตรวจสอบโดยการวัดปริมาณโซเดียมไอออนที่เกิดจากการปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบผสม ดังรูปที่ 4-37 สำหรับค่าประสิทธิภาพในการศึกษาที่พีเอช 9.5 ในเวลา 180 นาที เป็นดังนี้ เป็นดังนี้ 44.45% (100 ไมโครโมลาร์) 31.13% (500 ไมโครโมลาร์) และ 27.07% (1,000 ไมโครโมลาร์) ดังรูปที่ 4-40



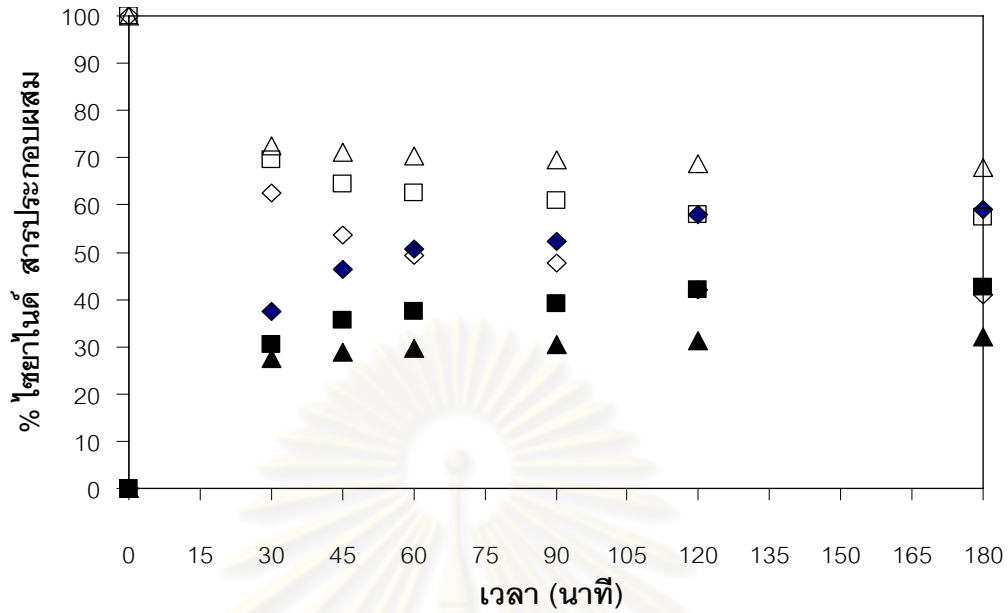
**รูปที่ 4-37** ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไชยาไนต์และเวลา พีเอช 9.5 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่ออนาที โดยที่ ไชยาไนต์ (◆ = 100 ไมโครโมลาร์ ■ = 500 ไมโครโมลาร์ ▲ = 1,000 ไมโครโมลาร์) สารประกอบผสม (◇ = 100 ไมโครโมลาร์ □ = 500 ไมโครโมลาร์ △ = 1,000 ไมโครโมลาร์)

ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบผสม (รูปไชยาไนต์) ที่ความเข้มข้น 100 500 และ 1,000 ไมโครโมลาร์ ผลการศึกษาการออกซิไดซ์สารประกอบผสมที่พีเอช 10.5 พบว่า ที่ความเข้มข้นของสารประกอบผสมต่ำมีประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบผสมไปเป็นไชยาไนต์ได้ดีกว่าที่ความเข้มข้นของสารประกอบผสมสูง สามารถตรวจสอบโดยการวัดปริมาณไชยาไนต์ที่เกิดจากการปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบผสม ดังรูปที่ 4-38 สำหรับประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบผสมที่พีเอช 10.5 ในเวลา 180 นาที เป็นดังนี้ 47.89% (100 ไมโครโมลาร์) 32.20% (500 ไมโครโมลาร์) และ 31.19% (1,000 ไมโครโมลาร์) ดังรูปที่ 4-40

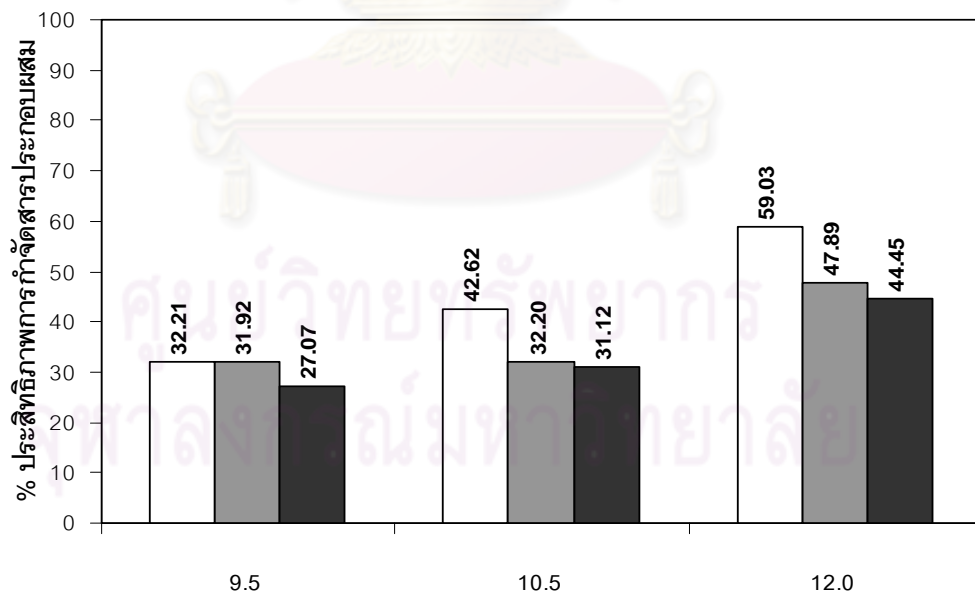


รูปที่ 4-38 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไนยาไนต์และเวลา พีเอช 10.5 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที โดยที่ ไชยาไนต์ (◆ = 100 ไมโครโมลาร์ ■ = 500 ไมโครโมลาร์ ▲ = 1,000 ไมโครโมลาร์) สารประกอบผสม (◇ = 100 ไมโครโมลาร์ □ = 500 ไมโครโมลาร์ △ = 1,000 ไมโครโมลาร์)

ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบผสม (รูปไนยาไนต์) ที่ความเข้มข้น 100 500 และ 1,000 ไมโครโมลาร์ ผลการศึกษาการออกซิไดซ์สารประกอบผสมที่พีเอช 12.0 พบว่า ที่ความเข้มข้นของสารประกอบผสมต่ำประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบผสมไปเป็นไนยาไนต์ได้ดีกว่าที่ความเข้มข้นของสารประกอบผสมสูง สามารถตรวจสอบโดยการวัดปริมาณไนยาไนต์ที่เกิดจากการปฏิบัติการออกซิไดซ์สารประกอบผสม ดังรูปที่ 4-39 สำหรับประสิทธิภาพการเกิดปฏิบัติการออกซิไดซ์สารประกอบผสมที่พีเอช 12.0 ในเวลา 180 นาที เป็นดังนี้ 59.03% (100 ไมโครโมลาร์) 32.21% (500 ไมโครโมลาร์) และ 31.76% (1,000 ไมโครโมลาร์) ดังรูปที่ 4-40



รูปที่ 4-39 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไนโตรเจนและเวลา พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที โดยที่ ไนโตรเจน (◆ = 100 ไมโครโมลาร์ ■ = 500 ไมโครโมลาร์ ▲ = 1,000 ไมโครโมลาร์) สารประกอบผสม (◇ = 100 ไมโครโมลาร์ □ = 500 ไมโครโมลาร์ △ = 1,000 ไมโครโมลาร์)



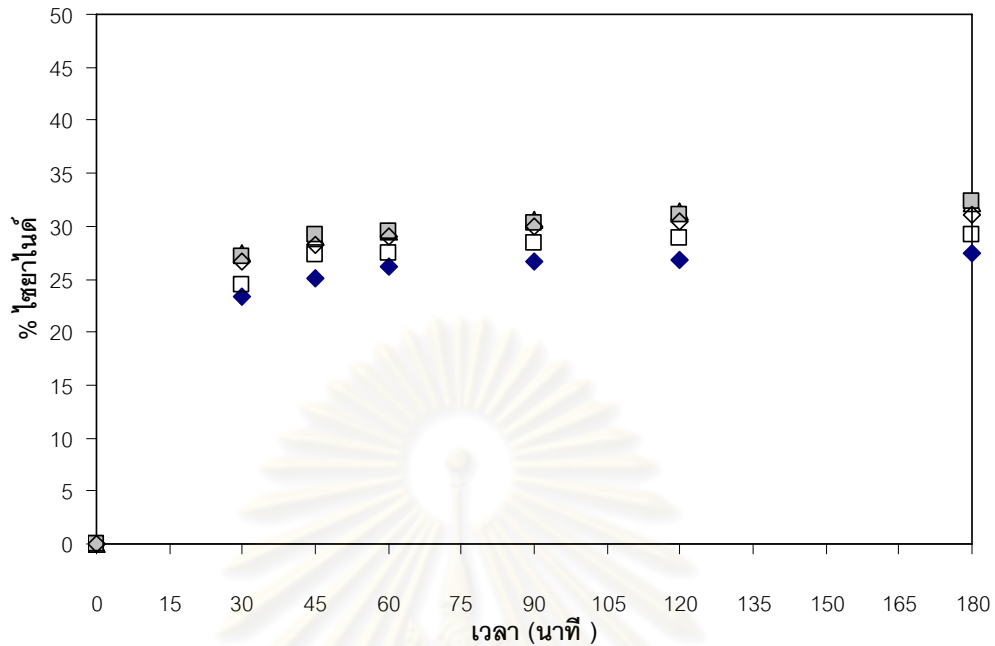
รูปที่ 4-40 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบผสมและพีเอช ที่สภาวะความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที โดยที่ □ = 100 ไมโครโมลาร์ ■ = 500 ไมโครโมลาร์ ■ = 1,000 ไมโครโมลาร์

จากผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบผสมขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์สารประกอบผสมมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Chaing Amal และ Tran (2003) และ Grieken และคณะ(2005) ที่พบว่าเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบผสมขึ้น ตำแหน่งที่ไวต่อปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชัน (active site) และการดูดซับของตัวเร่งปฏิกิริยาจะต้องรับปริมาณสารประกอบผสมเพิ่มขึ้นอีกทำให้การเกิดปฏิกิริยาจะเกิดได้ช้าลง ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบผสมไปเป็นไฮยาไนด์ลดลงด้วย

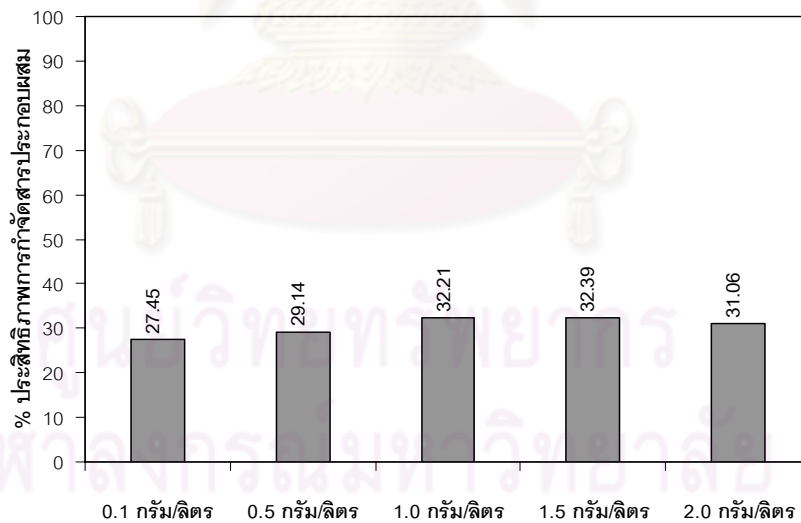
#### 4.4.2 ศึกษาผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบผสม

การศึกษาผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบผสม ทำการศึกษาที่สภาวะพีเอชของสารละลายเท่ากับ 12.0 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบผสม (รูปไฮยาไนด์) 500 ไมโครโมลาร์ อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที นำไปทำการศึกษาโดยแปรค่าตามความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 กรัมต่อลิตร จากผลการศึกษาในชุดการทดลองเปรียบเทียบ กรณีการฉายแสงร่วมกับการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ พบว่าเกิดปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบผสม ไปเป็นไฮยาไนด์ขึ้น การศึกษาต่อไปจะทำการแปรค่าความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ในระบบ ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบผสม ไปเป็นไฮยาไนด์เพิ่มมากขึ้นด้วย แต่การเพิ่มความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มากเกินไปจะไม่ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นอีก การตรวจสอบสามารถทำได้โดยการวัดปริมาณไฮยาไนด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบผสม ผลการศึกษาเป็นดังรูปที่ 4-41 สำหรับค่าประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาสารประกอบเตตระไฮยาโนนิกเกิดไปเป็นไฮยาไนด์ ในเวลา 180 นาที เป็นดังนี้ 27.45% (0.1 กรัมต่อลิตร) 29.14% (0.5 กรัมต่อลิตร) 32.21% (1.0 กรัมต่อลิตร) 32.39% (1.5 กรัมต่อลิตร) และ 31.06% (2.0 กรัมต่อลิตร) ดังรูปที่ 4-42





รูปที่ 4-41 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของไซยาไนด์และเวลา ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่าง ๆ กัน อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0 โดยที่ ◆= 0.1 กรัมต่อลิตร □ = 0.5 กรัมต่อลิตร △ = 1.0 กรัมต่อลิตร ◇ = 1.5 กรัมต่อลิตร ■ = 2.0 กรัมต่อลิตร



รูปที่ 4-42 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบผสมและความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบผสม (รูปไซยาไนด์) 500 ไมโครโมลาร์ อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0

จากผลการศึกษาถึงความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบผสมไปเป็นไซยาไนด์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Chaing Amal และ Tran

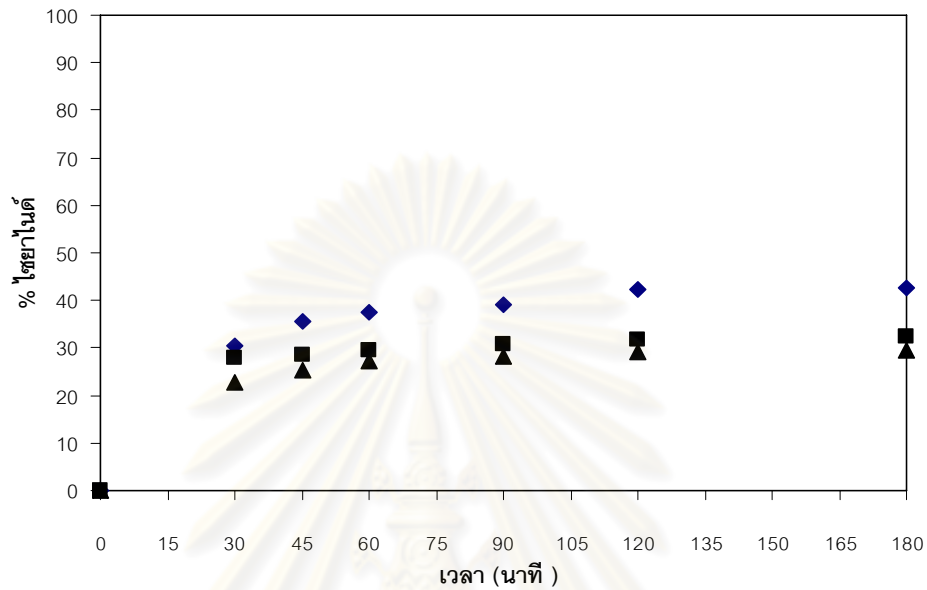
(2003) และ Grieken และคณะ(2005) ที่พบว่าประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบผสมไปเป็นไซยาไนด์ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ไวต่อปฏิกิริยา (active site) และการดูดซับของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เติมลงไป การเติมตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมนั้นจะเพิ่มการเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบผสมไปเป็นไซยาไนด์เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การเพิ่มตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากเกินไปจะส่งผลให้เกิดการบดบังการเดินทางของรังสีอัลตราไวโอเล็ต ทำให้ไม่สามารถหรือทะลุผ่านสารแขวนลอยได้ลดลง ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการกระตุ้นไทเทเนียมไดออกไซด์ได้น้อยลงด้วย ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบผสมไปเป็นไซยาไนด์ลดลงด้วย

#### 4.4.3 ศึกษาผลของอัตราการเติมอากาศที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบผสม

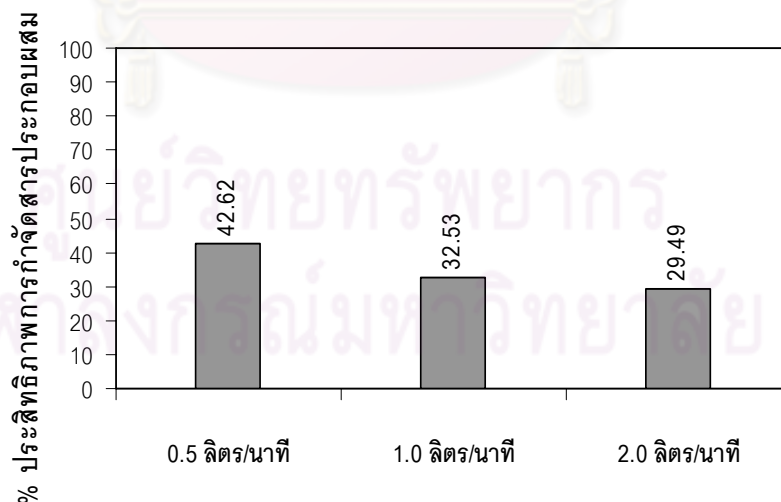
การศึกษ้อัตราการเติมอากาศต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบผสมไปเป็นไซยาไนด์ การศึกษาในชุดการทดลองเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่า การเติมอากาศเข้าไปในระบบจะเป็นการเพิ่มอัตราการถ่ายเทออกซิเจนที่ผิวหน้าของสารละลาย ทำให้ปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบผสมไปเป็นไซยาไนด์เกิดได้ดีขึ้น

การศึกษาต่อไปทำการศึกษาถึงผลของอัตราการเติมอากาศต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบผสมโดยทำการศึกษาในสภาวะพีเอชของสารละลายเท่ากับ 12.0 ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของสารประกอบผสม (รูปไซยาไนด์) 500 ไมโครโมลาร์ และแปรตามค่าอัตราการเติมอากาศ ที่ 0.5 1.0 และ 2.0 ลิตรต่อนาที ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มอัตราการเติมอากาศจะมีประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบผสมไปเป็นไซยาไนด์จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติมอากาศทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิสเพิ่มขึ้น เพราะโมเลกุลออกซิเจน (จากการเติมอากาศ) ทำปฏิกิริยากับ Photogenerated holes ( $h_{\nu}^+$ ) ได้ซูเปอร์ออกไซด์ไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยัง เป็นการเพิ่มการถ่ายเทอากาศระหว่างผิวของสารละลายและการเพิ่มการกวนผสมสารละลายอีกด้วย ประสิทธิภาพการออกซิไดซ์จะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าอัตราการเติมอากาศค่าหนึ่ง ประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบผสมไปเป็นไซยาไนด์ไม่เพิ่มขึ้นอีก ตรวจสอบโดยการวัดปริมาณไซยาไนด์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารประกอบผสมต่อไซยาไนด์ในนิกเกิลเลต ดังรูปที่ 4-43 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Chaing Amal และ Tran (2003) และ Grieken และคณะ(2005) ที่พบว่าอัตราการเติมอากาศสูงจะมีปริมาณฟองอากาศมาก ฟองอากาศจะไปบดบังการเดินทางของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับไทเทเนียมไดออกไซด์เพื่อทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $OH^\bullet$ ) ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารประกอบผสมไปเป็นไซยาไนด์มีค่าลดลง ค่าประสิทธิภาพในการ

ออกซิไดซ์สารประกอบผสมไปเป็นไซยาไนด์ที่แต่ละอัตราการเติมอากาศ ในเวลา 180 นาที เป็นดังนี้ 42.62% (0.5 ลิตรต่อนาที) 32.52% (1.0 ลิตรต่อนาที) และ 29.49% (2.0 ลิตรต่อนาที) รูปที่ 4-44



รูปที่ 4-43 ความสัมพันธ์ระหว่างไซยาไนด์และเวลา ที่อัตราการเติมอากาศต่าง ๆ กัน ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบผสม (รูปไซยาไนด์) 500 ไมโครโมลาร์ พีเอช 12.0 โดย ◇ = อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที □ = อัตราการเติมอากาศ 1.0 ลิตรต่อนาที △ = อัตราการเติมอากาศ 2.0 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 4-44 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบผสมและอัตราการเติมอากาศ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบผสม (รูปไซยาไนด์) 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร พีเอช 12.0

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษากำจัดไชยาไนต์ในรูปไชยาไนต์อิสระและสารประกอบไชยาไนต์ โดยใช้กระบวนการออกซิเดชันด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดไชยาไนต์อิสระในน้ำเสียสังเคราะห์ คือ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร พีเอชเท่ากับ 9.5 อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที โดยใช้เวลาในการกำจัดไชยาไนต์ให้เหลือ 100.00 % ในเวลา 180 นาที โดยการออกซิไดซ์สารไชยาไนต์จะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อมีความเข้มข้นต่ำที่ 100 ไมโครโมลาร์ แต่เนื่องจากไชยาไนต์อิสระมีความเป็นพิษสูง ดังนั้นการเลือกสภาวะที่พีเอชสูงจะช่วยให้ปลอดภัยจากก๊าซไฮโดรเจนไชยาไนต์ และในการนำมาประยุกต์ใช้ควรเลือกที่พีเอช 12.0

2. สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสารประกอบเฮกซะไชยาโนโคบอลเตต ในน้ำเสียสังเคราะห์ คือ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.5 กรัมต่อลิตร พีเอชเท่ากับ 12.0 อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที โดยใช้เวลาในการกำจัดสารประกอบเฮกซะไชยาโนโคบอลเตตได้ 31.76 % ในเวลา 180 นาที การออกซิไดซ์สารประกอบเฮกซะไชยาโนโคบอลเตตจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อมีความเข้มข้นต่ำที่ 100 ไมโครโมลาร์

3. สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสารประกอบเตตระไชยาโนนิกเกิลเลต ในน้ำเสียสังเคราะห์ คือ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.5 กรัมต่อลิตร พีเอชเท่ากับ 12.0 อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที โดยใช้เวลาในการกำจัดสารประกอบเฮกซะไชยาโนโคบอลเตตได้ 66.12 % ในเวลา 180 นาที การออกซิไดซ์สารประกอบเตตระไชยาโนนิกเกิลเลตจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อมีความเข้มข้นต่ำที่ 100 ไมโครโมลาร์

4. สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสารประกอบผสมในน้ำเสียสังเคราะห์ คือ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.5 กรัมต่อลิตร พีเอชเท่ากับ 12.0 อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที โดยใช้เวลาในการกำจัดสารประกอบผสมได้ 42.62 % ในเวลา 180 นาที การออกซิไดซ์สารประกอบผสม [สารประกอบเตตระไชยาโนนิกเกิลเลตและสารประกอบเฮกซะไชยาโนโคบอลเตต] จะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อมีความเข้มข้นต่ำที่ 100 ไมโครโมลาร์

## 5.2 ความสำคัญทางด้านวิศวกรรมและการนำไปใช้ประโยชน์

จากผลการศึกษากำจัดไฮยาไนด์ในรูปไฮยาไนด์อิสระและสารประกอบไฮยาไนด์ โดยใช้กระบวนการออกซิเดชันด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดังนี้

1. ทราบถึงเวลาสัมผัสที่ต้องใช้ในการทำปฏิกิริยากำจัดไฮยาไนด์อิสระและสารประกอบไฮยาไนด์ในน้ำเสีย เพื่อที่จะนำไปปรับปรุงใช้ในการกำจัดไฮยาไนด์อิสระและสารประกอบไฮยาไนด์
2. เป็นแนวทางในการขยายขนาดของระบบ (Scale-Up) และสามารถนำไปปรับปรุงระบบเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารไฮยาไนด์และสารประกอบไฮยาไนด์จากโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กซึ่งมีน้ำเสียในปริมาณไม่มาก
3. เป็นแนวทางในการเลือกระบบบำบัดน้ำเสียที่มีสารไฮยาไนด์ และสารประกอบไฮยาไนด์เป็นองค์ประกอบ

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษากำจัดไฮยาไนด์ในรูปไฮยาไนด์อิสระและสารประกอบไฮยาไนด์ โดยใช้กระบวนการออกซิเดชันด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมดังนี้

1. ศึกษาการกำจัดไฮยาไนด์อิสระและสารประกอบไฮยาไนด์ในน้ำเสียด้วยการใช้รังสีจากดวงอาทิตย์แทนการใช้หลอดยูวี หรือการใช้กระบวนการยูวีร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
2. ศึกษาถึงพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่มีผลต่อการออกซิไดซ์สารไฮยาไนด์และสารประกอบไฮยาไนด์ เช่น กำลังของหลอดยูวี เป็นต้น
3. ศึกษาการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาอื่นๆ หรือปรับปรุงไทเทเนียมไดออกไซด์ ให้มีประสิทธิภาพที่ดีมากขึ้น เช่นการเพิ่มประสิทธิภาพของไทเทเนียมไดออกไซด์ เป็นต้น
4. ศึกษาการกำจัดสารประกอบไฮยาไนด์ชนิดอื่นๆ อีก เช่น แพพตินัมไฮยาไนด์ เป็นต้น

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- จุฑารัตน์ อาชวรัตน์ถาวร. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไซยาไนด์ (Cyanide Introduction). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2546.
- บัณฑิต ชูเชิดวัฒนศักดิ์. ผลของอัตราที่เอตต่อการกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยการใช้กระบวนการออกซิเดชันด้วยไฟฟ้าและรังอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- ประยูร พงศกิตกุล, ชลาลัย ห่วงประเสริฐ, พิทยา จารุพูนผล และ วิสิทธิ์ สุขป้อม. การบำบัดไซยาไนด์ในน้ำทิ้งจากกระบวนการชุบโลหะด้วยสังกะสีโดยวิธีการออกซิเดชันด้วยไบโแทสซีเอ็มเปอร์มังกานิต. วารสารสารานุกรมสุขศาสตร์ 29,2(2542) : 38 - 47
- มันลิน ตันจุลเวศน์. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. หลักปฏิบัติเพื่อการป้องกันมลพิษ (เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด), 2548
- วัลย์รัตน์ จันทรวงศ์. การบำบัดน้ำเสียของโรงงานชุบโลหะ. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 9,2(2542) : 4-8
- ศीलารุช ดำรงศิริ. ผลของสังกะสีต่อการกำจัดไซยาไนด์โดยวิธีการออกซิเดชันด้วยเฟอร์เรต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- อนันต์ ทองมอญ. ชุบโลหะ-ชุบโครเมียม. กรุงเทพฯ : เรือนแก้วการพิมพ์, 2527
- อนันต์ ทองมอญ. สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ, ชุบโลหะด้วยไฟฟ้า, 2537

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



### ภาษาอังกฤษ

- Adhoum, N. and Moser, L. Remove of Cyanide from Aqueous Solution Using Impregnate Activated Carbon. Chemical Engineering and Processing. 41(2002) : 17-21.
- Adhoum, N. and Moser, L. Modified Activated Carbon for the Remove of Copper, Zinc, Chromium and cyanide from Wastewater. Separation and Purification Technology. 26(2002) : 137- 146.
- Aguado, J., Van Grieken, R., Lopez-Munoz, M. J. and Marugan, J. Remove of cyanide in wastewater by supported  $\text{TiO}_2$  – based photocatalytic. Catalysis Today 75(2002): 95 – 102.
- APHA, AWWA, and WEF. Standard Methods for examination of water and wastewater. 20<sup>th</sup> ed. United Book Press, 2005.
- Auguliaro, V., Loddo, V., Marci, G., Palmisano, L., and Lopez-Munoz, M. J. Photocatalytic oxidation of cyanide in aqueous titanium oxide suspensions. Journal of Catalytic 166(1997) : 272 – 283.
- Auguliaro, V., Blanco-Galvez, J., Caceres-Vazquez, J., Garcia-Lopez, E., Loddo, V., Lopez-Munoz, M. J., Malato-Rodroquez, S., Marci, G., Palmisano, L. and Schiavello, M. Photocatalytic oxidation of cyanide in aqueous  $\text{TiO}_2$  suspensions irradiated by sunlight in mild and strong oxidant conditions. Catalytic Today 54(1999) : 254- 253.
- Barakat, M.A., Chenb, Y.T. and Huangb, C.P. Removal of toxic cyanide and Cu(II) Ions from water by illuminated  $\text{TiO}_2$  catalyst. Applied Catalysis B: Environmental 53 (2004) : 13–20.
- Barnes, D.E., Wright, P.J., Graham, S.M. and Jones-Watson, E.A. Techniques for the determination of cyanide in a process environment: A review. Geostandards Newsletter: The Journal of Geostandards and Geoanalysis 24(2000): 183-195.
- Begum, N. and Ahmed, H. Synthesis of nanocrystalline  $\text{TiO}_2$  thin films by liquid phase deposition technique and its application for photocatalytic degradation studies. Bulletin of Materials Science 31(2008) : 43-48

- Benafield, L.D., Judkins, J.F. and Weand, B.L. Process chemistry for water and wastewater treatment. NJ : Prentice-Hall,1982.
- Botz, M.M. Overview of Cyanide Treatment Methods. Mining Environmental Management. UK: Mining Journal,2001
- Carrillo-Pedroza, F.R., Nava-Alonso, F. and Uribe-Salas, A. Cyanide oxidation by ozone in cyanidation tailings: Reaction kinetic. Mineral Engineering 13(2000) : 541-548.
- Chiang, K., Amal, R. and Tran, T. Photocatalytic degradation of cyanide using titanium oxide modified with copper oxide. Advance in Environmental Research 6(2002): 471 – 485.
- Chiang, K., Amal, R. and Tran, T. Photocatalytic oxidation of cyanide : kinetic and mechanistic studies. Journal Molecular catalytic A: Chemical 193(2003) : 285 - 297.
- Clescerl, L.S., Greenberg, A.E. and Eaton, A.D. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, United Book Press Inc., Baltimore, Maryland, United States 1998.
- Dabrowski, B., Zaleska, A., Janczarek, M., Hupka, J. and Miller, J.D. Photo-oxidation dissolve cyanide using TiO<sub>2</sub> catalyst. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chem 151(2003) : 201 – 205.
- Dionex Corporation. Direct Determination of Metal Cyanide by Ion Chromatography with UV Absorbance Detection. Application Update 147.
- Duran, A., Monteagudo, J.M., Sanmartin, F. and Garcia-Penab, P. Photocatalytic degradation of pollutants from Elcogas IGCC power station effluents. Journal of Hazardous Materials 144 (2007) : 132–139.
- Emilio, C.A., Jardim, W.F., Litter, M.I. and Mansilla, H.D. EDTA destruction using the solar ferrioxalate advance oxidation technology (AOT) comparison with solar photo Fenton treatment .Journal Photochemical Photobio. A : Chemical 151(2002) : 121-127
- Ebbs, S. Biological degradation of Cyanide Compound. .Current option in biotechnology.15(2004) :1-6.

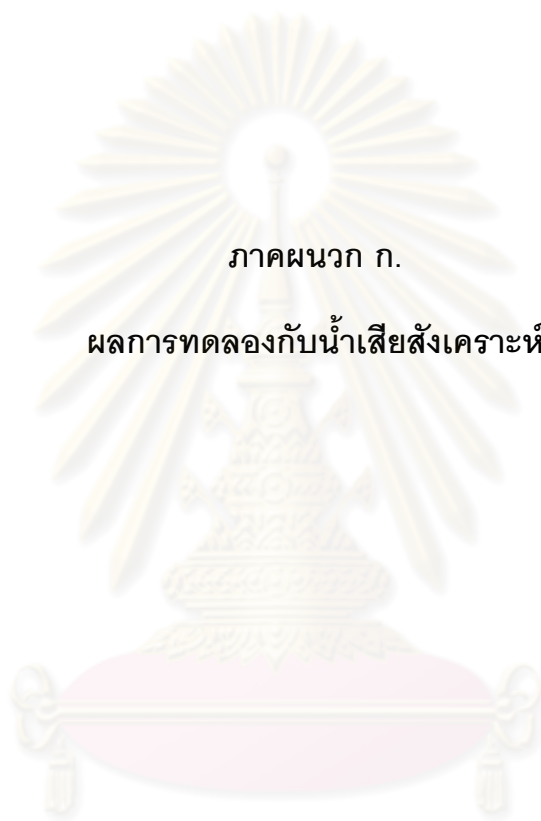
- Gilbert, E. and Hoff-Glewe. Ozonation of ethylenediaminetetraacetic acid(EDTA) in aqueous solution, influence of pH value and metal ions. Water Research 24(1990); 39-44
- Grieken, V. R., Aguado, J., Lo'pez-Mun'oz, M.J. and Maruga, J. Photocatalytic degradation of iron–cyanocomplexes by TiO<sub>2</sub> based catalysts. Applied Catalysis B: Environmental 55 (2005) : 201–211.
- Gherrou, A. and Kerdjoudj, H. Specific Membrane Transport of Silver and Copper as Ion through a Support Liquid Membrane using K<sup>+</sup>-crown Ether as carrier Desalination. 151(2002):87-94.
- International Cyanide Management Code. "Cyanide Facts." [Online].2002. Available: [http://www.cyanidecode.org/library/cyanide\\_facts.html](http://www.cyanidecode.org/library/cyanide_facts.html)[2008, March 20]
- Je-Lueng, S., Chia-Hsiang, L., Chyow-San, C., Chang-Tong, C., Chia-Chi, C. and Ching-Yuan, C. Photodegradation kinetics of formaldehyde using light sources of UVA, UVC and UVLED in the presence of composed silver titanium oxide photocatalyst. Journal of Hazardous Materials 155 (2008) : 164–172
- Kurama, H. and Catalarik, T. Remove of Zinc Cyanide From a Leach Solution By Anionic Ion-Exchange Resin. Desalination 129 (2000) : 1- 6.
- Madden, T.H., Datye, A.K., Fulton, M., Prairie, M.R., Majumdar, S.A. and Stange, B.M.Oxidation of metal-EDTA complex by TiO<sub>2</sub> photocatalysis. Journal of Environment Science 31(1997):3475-3481
- Monteagudo, J.M., Duran, A., Guerra, J., Garcia-Pen, F. and Coca, P. Solar TiO<sub>2</sub>-assisted photocatalytic degradation of IGCC power station effluents using a Fresnel lens. Chemosphere 71 (2008) : 161–167.
- Moran, R. Cyanide Uncertainties.Mineral Policy Center Protecting Communities and the Environment.2000..
- Movassaghi, K. and Salehi, M. Study of photocatalytic free and complex cyanide elimination process from industrial wastewater using a self made Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> catalyst. Environmental Engineering and Management Journal 3 (2004) : 617 – 640.

- Nielsen, P., Dresow, B., Fischer, R. and Heinrich, H.C. Bioavailability of iron and cyanide from oral potassium ferric hexacyanoferrate(II) in humans. Journal Archives of Toxicology 64 (1990) : 420 -422.
- Ogutveren, U.B., Toru, E. and Korparal, S. Remove of Cyanide by Anodic Oxidation for Wastewater Treatment. Water Research 33(1999) : 1851 – 1856.
- OSHA. "Cyanide(asCN)" [Online]. 1993. Available: [http://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH\\_230400.html](http://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_230400.html). [2008, June 10]
- Parga, J.R., Shukla, S.S. and Carrillo-Pedroza, F.R. Destruction of cyanide waste solutions using chlorine dioxide, ozone and titania sol. Waste Management 23(2003) : 138-140
- Pedraza-Avella, J.A., Acevedo-Pen, P. and Pedraza-Rosas, J.E. Photocatalytic oxidation of cyanide on TiO<sub>2</sub>: An electrochemical approach. Catalysis Today 133–135 (2008) : 611– 618.
- Pollema, C.H., Hendrix, J.L., Milosavljevic, E.B., Solujic, L. and Nelson, J.H.; Photocatalytic oxidation of cyanide to nitrate at TiO<sub>2</sub> particles. Journal of photochemistry and photobiology. A, Chemistry 66(1992) : 235 – 244.
- Rader, W.S., Solujic, L., Milosavljevic, E.B., Hendrix, J.L. and Nelson, J.H. Photocatalytic detoxification of cyanide and metal cyano-species from precious-metal mill effluents. Environmental Pollution. 90(1995) :331- 334.
- Saqib, M., Abu, M., Tariq, M., Haque, M. and Muneer, M. Photocatalytic degradation of disperse blue 1 using UV/TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process. Journal of Environmental Management 88(2008) : 300- 306.
- Tyler, R.G., Maske, W., Westin, M.J. and Matthews, W. Ozonation of cyanide waste. SEWAGE IND. WASTE 23(1951) : 1150 – 1153.
- U.S. Environmental Protection Agency (US EPA), Treatment of Cyanide Heap Leaches and Tailings, EPA -625/R-99/009, Cincinnati Ohio, 2000.
- White, D.M., Pilon, T.A. and Woodland, C. Biological Treatment of Cyanide Containing Wastewater. Water Research. 34,7(2000):2105-2109.
- Young, C.A. and Jordan, T.S. Cyanide remediation: Current and Past Technologies, Proceedings of the 10th Conference on Hazardous Waste Research Kansas State University, Manhattan, Kansas, 1995.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก.

ผลการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ ผ1 ผลของพีเอช 9.5 ความเข้มข้นเริ่มต้นของไซยาไนด์ 100 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เฉลี่ย คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เฉลี่ย คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เฉลี่ย คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เฉลี่ย คงเหลือ ไนไตรท์
0	1	9.57	102.13	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	9.57	102.10	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00		
	3	9.57	102.11	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00		
5	1	9.57	52.78	51.68	51.82	47.11	46.13	45.73	2.24	2.19	2.45	0.00	0.00	0.00
	2	9.57	52.97	51.87		46.54	45.57		2.62	2.57		0.00	0.00	
	3	9.57	53.02	51.91		46.45	45.48		2.66	2.60		0.00	0.00	
10	1	9.56	40.46	39.62	39.28	58.89	57.66	58.16	2.78	2.72	2.56	0.00	0.00	0.00
	2	9.57	40.34	39.50		59.43	58.19		2.36	2.31		0.00	0.00	
	3	9.56	39.54	38.72		59.88	58.63		2.71	2.65		0.00	0.00	
15	1	5.57	23.74	23.24	23.09	76.89	75.29	75.47	1.50	1.47	1.44	0.00	0.00	0.00
	2	9.57	23.44	22.95		77.01	75.40		1.68	1.64		0.00	0.00	
	3	9.56	23.56	23.07		77.34	75.73		1.23	1.20		0.00	0.00	
20	1	9.56	16.20	15.86	15.85	84.01	82.26	82.50	1.92	1.88	1.65	0.00	0.00	0.00
	2	9.56	16.18	15.84		84.22	82.46		1.73	1.69		0.00	0.00	
	3	9.57	16.19	15.85		84.54	82.78		1.40	1.37		0.00	0.00	
30	1	9.57	4.30	4.21	4.21	95.79	93.79	94.02	2.04	2.00	1.77	0.00	0.00	0.00
	2	9.57	4.29	4.20		95.54	93.55		2.30	2.25		0.00	0.00	
	3	9.55	4.31	4.22		96.75	94.73		1.07	1.05		0.00	0.00	

ตารางที่ ผ1 ผลของพีเอช 9.5 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 100 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร (ต่อ)

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์
45	1	9.53	0.00	0.00	0.00	101.43	99.31	99.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	1	9.53	0.00	0.00		101.43	99.31		0.00	0.00		0.00	0.00	
	1	9.53	0.00	0.00		101.43	99.31		0.00	0.00		0.00	0.00	
60	1	9.53	0.00	0.00	0.00	101.43	99.31	99.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	9.54	0.00	0.00		101.43	99.31		0.00	0.00		0.00	0.00	
	3	9.53	0.00	0.00		101.43	99.31		0.00	0.00		0.00	0.00	
90	1	9.53	0.00	0.00	0.00	101.43	99.31	99.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	9.54	0.00	0.00		101.43	99.31		0.00	0.00		0.00	0.00	
	3	9.53	0.00	0.00		101.43	99.31		0.00	0.00		0.00	0.00	
120	1	9.53	0.00	0.00	0.00	101.43	99.31	99.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	9.54	0.00	0.00		101.43	99.31		0.00	0.00		0.00	0.00	
	3	9.53	0.00	0.00		101.43	99.31		0.00	0.00		0.00	0.00	
180	1	9.53	0.00	0.00	0.00	101.43	99.31	99.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	9.54	0.00	0.00		101.43	99.31		0.00	0.00		0.00	0.00	
	3	9.53	0.00	0.00		101.43	99.31		0.00	0.00		0.00	0.00	

ตารางที่ ๒ ผลของพีเอช 9.5 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เฉลี่ย คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เฉลี่ย คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เฉลี่ย คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เฉลี่ย คงเหลือ ไนไตรท์	
0	1	9.58	502.15	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	2	9.58	502.14	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.01		0.00
	3	9.58	502.14	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.01		0.00
5	1	9.57	494.33	98.44	98.33	7.82	1.56	1.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	2	9.57	493.89	98.36		8.26	1.64		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00
	3	9.57	493.02	98.18		9.13	1.82		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00
10	1	9.56	475.35	94.66	94.70	19.54	3.89	4.18	7.26	7.11	5.54	0.00	0.00	0.00	
	2	9.57	475.17	94.63		22.18	4.42		4.80	4.70		0.00	0.00		
	3	9.56	476.02	94.80		21.23	4.23		4.90	4.80		0.00	0.00		
15	1	5.57	465.12	92.63	92.43	35.87	7.14	7.43	0.00	0.00	0.00	1.16	1.14	0.67	
	2	9.57	464.38	92.48		36.89	7.35		0.00	0.00		0.88	0.86		
	3	9.56	462.91	92.19		39.24	7.81		0.00	0.00		0.00	0.00		
20	1	9.56	423.21	84.28	83.92	77.89	15.51	15.94	1.05	1.03	0.56	0.00	0.00	0.15	
	2	9.56	420.05	83.65		80.97	16.12		0.67	0.66		0.46	0.45		
	3	9.57	420.91	83.82		81.24	16.18		0.00	0.00		0.00	0.00		
30	1	9.57	386.34	76.94	76.95	115.81	23.06	22.89	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.06	
	2	9.57	386.46	76.96		114.72	22.85		0.81	0.16		0.16	0.03		
	3	9.56	386.41	76.95		114.28	22.76		0.72	0.14		0.74	0.15		

ตารางที่ ๒ ผลของพีเอช 9.5 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร (ต่อ)

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์
45	1	9.56	335.35	66.78	66.80	165.29	32.92	33.07	1.51	0.30	0.12	0.00	0.00	0.00
	2	9.57	335.19	66.75		166.96	33.25		0.00	0.00		0.00	0.00	
	3	9.56	335.82	66.88		165.99	33.06		0.34	0.07		0.00	0.00	
60	1	9.56	242.11	48.21	48.31	259.88	51.75	51.57	0.16	0.03	0.06	0.00	0.00	0.06
	2	9.55	243.05	48.40		258.19	51.42		0.00	0.00		0.91	0.18	
	3	9.54	242.65	48.32		258.77	51.53		0.73	0.15		0.00	0.00	
90	1	9.53	144.66	28.81	28.85	356.33	70.96	70.94	0.92	0.18	0.13	0.24	0.05	0.08
	2	9.53	144.89	28.85		355.49	70.79		0.78	0.16		0.99	0.20	
	3	9.52	145.04	28.88		356.91	71.08		0.20	0.04		0.00	0.00	
120	1	9.52	25.69	5.12	5.05	475.62	94.72	94.67	0.84	0.17	0.12	0.00	0.00	0.16
	2	9.52	25.22	5.02		475.29	94.65		0.11	0.02		1.53	0.30	
	3	9.52	25.21	5.02		475.19	94.63		0.89	0.18		0.86	0.17	
180	1	9.54	12.87	2.56	2.51	489.01	97.38	97.36	0.27	0.05	0.12	0.00	0.00	0.01
	1	9.54	12.56	2.50		488.95	97.37		0.64	0.13		0.00	0.00	
	1	9.53	12.34	2.46		488.79	97.34		0.91	0.18		0.11	0.02	

ตารางที่ ๓3 ผลของพีเอช 9.5 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 1,000 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์	
0	1	9.56	1011.34	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	2	9.56	1011.33	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00
	3	9.56	1011.30	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00
5	1	9.55	994.33	98.32	98.26	17.01	3.39	3.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	2	9.56	993.89	98.27		17.45	3.48		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00
	3	9.56	993.02	98.19		18.32	3.65		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00
10	1	9.54	881.22	87.13	87.01	130.12	25.91	26.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	2	9.55	879.02	86.92		132.32	26.35		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00
	3	9.56	879.81	86.99		131.53	26.19		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00
15	1	9.55	856.12	84.65	85.15	154.33	30.73	29.77	0.89	0.87	0.68	0.00	0.00	0.00	
	2	9.56	864.38	85.47		146.96	29.27		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00
	3	9.53	862.91	85.32		147.23	29.32		1.20	1.17		0.00	0.00		0.00
20	1	9.53	723.21	71.51	71.33	287.61	57.28	57.47	0.52	0.51	0.50	0.00	0.00	0.84	
	2	9.56	720.05	71.20		287.69	57.29		1.02	1.00		2.58	2.53		
	3	9.55	720.91	71.28		290.43	57.84		0.00	0.00		0.00	0.00		
30	1	9.56	670.45	66.29	66.28	339.87	33.61	33.66	1.02	0.10	0.06	0.00	0.00	0.00	
	2	9.55	669.96	66.24		341.38	33.76		0.00	0.00		0.00	0.00		
	3	9.55	670.52	66.30		339.89	33.61		0.93	0.09		0.00	0.00		

ตารางที่ ๓ ผลของพีเอช 9.5 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 1,000 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร (ต่อ)

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เฉลี่ย คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เฉลี่ย คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เฉลี่ย คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เฉลี่ย คงเหลือ ไนไตรท์
45	1	9.55	598.74	59.20	59.22	411.02	40.64	40.69	0.00	0.00	0.00	1.58	0.16	0.09
	2	9.54	599.37	59.26		410.81	40.62		0.00	0.00		1.16	0.11	
	3	9.53	598.77	59.21		412.57	40.79		0.00	0.00		0.00	0.00	
60	1	9.53	500.38	49.48	49.38	510.96	50.52	50.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	9.52	499.31	49.37		512.03	50.63		0.00	0.00		0.00	0.00	
	3	9.52	498.57	49.30		512.77	50.70		0.00	0.00		0.00	0.00	
90	1	9.51	425.67	42.09	42.10	584.89	57.83	57.79	0.78	0.08	0.10	0.00	0.00	0.00
	2	9.54	426.02	42.12		584.39	57.78		0.93	0.09		0.00	0.00	
	3	9.51	425.66	42.09		584.22	57.77		1.46	0.14		0.00	0.00	
120	1	9.50	412.83	40.82	40.73	598.51	59.18	59.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	9.51	410.92	40.63		600.42	59.37		0.00	0.00		0.00	0.00	
	3	9.51	411.99	40.74		599.35	59.26		0.00	0.00		0.00	0.00	
180	1	9.51	238.67	23.60	23.57	771.28	76.26	76.32	0.00	0.00	0.00	1.39	0.14	0.12
	1	9.50	237.99	23.53		771.18	76.25		0.00	0.00		2.17	0.21	
	1	9.50	238.37	23.57		772.97	76.43		0.00	0.00		0.00	0.00	



ตารางที่ ๘๔ ผลของพีเอช 10.5 ความเข้มข้นของโซเดียมไนด์ 100 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	โซเดียมไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซเดียมไนด์	% เจลลี่ คงเหลือ โซเดียมไนด์	โซเดียมไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซเดียมไนด์	% เจลลี่ คงเหลือ โซเดียมไนด์	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท		
0	1	10.61	103.23	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	10.61	103.20	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	10.61	103.25	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
5	1	10.61	57.23	55.44	55.55	45.02	43.61	43.35	0.98	0.95	0.39	0.00	0.00	0.00		
	2	10.61	56.88	55.10		45.12	43.71		0.13	0.13		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	10.61	57.92	56.11		44.12	42.74		0.09	0.09		0.00	0.00		0.00	0.00
10	1	10.61	43.56	42.20	42.41	58.23	56.41	56.29	0.34	0.33	0.24	0.00	0.00	0.00		
	2	10.61	43.76	42.39		58.01	56.19		0.36	0.35		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	10.61	44.01	42.63		58.09	56.27		0.03	0.03		0.00	0.00		0.00	0.00
15	1	10.61	35.45	34.34	34.68	65.89	63.83	63.53	0.79	0.77	0.73	0.00	0.00	0.00		
	2	10.61	35.92	34.80		65.88	63.82		0.33	0.32		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	10.61	36.02	34.89		64.98	62.95		1.13	1.09		0.00	0.00		0.00	0.00
20	1	10.61	30.45	29.50	29.24	70.89	68.67	68.53	0.79	0.77	1.17	0.00	0.00	0.00		
	2	10.60	30.22	29.27		70.56	68.35		1.35	1.31		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	10.60	29.87	28.94		70.78	68.57		1.48	1.43		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	10.59	22.15	21.46	21.01	79.54	77.05	76.99	0.44	0.43	0.94	0.00	0.00	0.00		
	2	10.59	21.40	20.73		79.11	76.63		1.62	1.57		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	10.59	21.51	20.84		79.78	77.28		0.84	0.81		0.00	0.00		0.00	0.00

ตารางที่ ๔ ผลของพีเอช 10.5 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 100 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร (ต่อ)

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์
45	1	10.58	4.73	4.58	4.55	97.22	94.18	93.78	0.18	0.17	0.60	0.00	0.00	0.00
	1	10.58	4.61	4.47		96.34	93.33		1.18	1.14		0.00	0.00	
	1	10.58	4.76	4.61		96.88	93.85		0.49	0.47		0.00	0.00	
60	1	10.56	1.01	0.98	0.98	100.23	97.09	96.63	0.89	0.86	1.33	0.00	0.00	0.00
	2	10.57	0.91	0.88		99.45	96.34		1.77	1.71		0.00	0.00	
	3	10.56	1.10	1.07		99.57	96.45		1.46	1.41		0.00	0.00	
90	1	10.55	0.47	0.46	0.47	100.34	97.20	97.41	1.32	1.28	1.05	0.00	0.00	0.00
	2	10.54	0.51	0.49		100.56	97.41		1.06	1.03		0.00	0.00	
	3	10.55	0.49	0.47		100.77	97.62		0.87	0.84		0.00	0.00	
120	1	10.54	0.00	0.00	0.00	103.23	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	10.54	0.00	0.00		103.23	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00	
	3	10.53	0.00	0.00		103.23	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00	
180	1	10.55	0.00	0.00	0.00	103.23	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	10.54	0.00	0.00		103.23	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00	
	3	10.54	0.00	0.00		103.23	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00	

ตารางที่ ๕ ผลของพีเอช 10.5 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์
0	1	10.54	512.21	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	10.54	512.15	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00		
	3	10.54	512.17	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00		
5	1	10.54	500.12	99.60	99.54	11.86	2.36	2.38	0.00	0.00	0.00	0.23	0.23	0.39
	2	10.54	499.38	99.45		12.01	2.39		0.00	0.00		0.82	0.80	
	3	10.54	500.09	99.59		11.98	2.39		0.00	0.00		0.14	0.14	
10	1	10.54	495.12	98.60	98.64	16.85	3.36	3.35	0.24	0.23	0.08	0.00	0.00	0.00
	2	10.54	495.23	98.62		16.98	3.38		0.00	0.00		0.00	0.00	
	3	10.54	495.61	98.70		16.60	3.31		0.00	0.00		0.00	0.00	
15	1	10.53	490.18	97.62	97.53	22.03	4.39	4.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	10.52	489.72	97.52		22.49	4.48		0.00	0.00		0.00	0.00	
	3	10.54	489.34	97.45		22.87	4.55		0.00	0.00		0.00	0.00	
20	1	10.53	482.14	96.02	95.92	30.07	5.99	6.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	10.53	481.42	95.87		30.79	6.13		0.00	0.00		0.00	0.00	
	3	10.52	481.49	95.89		30.72	6.12		0.00	0.00		0.00	0.00	
30	1	10.54	325.59	63.57	63.38	185.34	36.18	36.43	1.28	0.25	0.19	0.00	0.00	0.00
	2	10.53	321.52	62.77		189.02	36.90		1.67	0.33		0.00	0.00	
	3	10.53	326.78	63.80		185.43	36.20		0.00	0.00		0.00	0.00	

ตารางที่ ๕ ผลของพีเอช 10.5 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร (ต่อ)

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เฉลี่ย คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เฉลี่ย คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เฉลี่ย คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เฉลี่ย คงเหลือ ไนไตรท์
45	1	10.52	278.63	54.40	54.47	233.58	45.60	44.71	0.00	0.00	0.81	0.00	0.00	0.00
	2	10.52	279.88	54.64		231.11	45.12		1.22	0.24		0.00	0.00	
	3	10.52	278.56	54.38		222.39	43.42		11.26	2.20		0.00	0.00	
60	1	10.51	224.58	43.85	43.39	287.63	56.15	56.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	10.52	220.98	43.14		291.23	56.86		0.00	0.00		0.00	0.00	
	3	10.51	221.17	43.18		291.04	56.82		0.00	0.00		0.00	0.00	
90	1	10.50	145.10	28.33	28.47	367.11	71.67	71.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	10.50	144.05	28.12		368.16	71.88		0.00	0.00		0.00	0.00	
	3	10.52	148.39	28.97		363.82	71.03		0.00	0.00		0.00	0.00	
120	1	10.52	100.12	19.55	19.43	412.09	80.45	80.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	10.51	99.04	19.34		413.17	80.66		0.00	0.00		0.00	0.00	
	3	10.52	99.48	19.42		412.73	80.58		0.00	0.00		0.00	0.00	
180	1	10.50	30.22	5.90	5.98	481.99	94.10	94.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	1	10.50	30.45	5.94		481.76	94.06		0.00	0.00		0.00	0.00	
	1	10.51	31.29	6.11		480.92	93.89		0.00	0.00		0.00	0.00	

ตารางที่ ๘6 ผลของพีเอช 10.5 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 1,000 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์
0	1	10.57	999.29	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	10.57	999.48	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00		
	3	10.57	999.56	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00		
5	1	10.57	995.12	98.40	98.34	3.98	0.79	0.94	0.00	0.00	0.00	0.46	0.45	0.29
	2	10.57	994.21	98.31		5.03	1.00		0.00	0.00		0.32	0.31	
	3	10.57	994.33	98.32		5.12	1.02		0.00	0.00		0.11	0.11	
10	1	10.57	990.32	97.92	97.87	9.19	1.83	1.92	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	0.12
	2	10.56	989.02	97.79		10.21	2.03		0.00	0.00		0.33	0.32	
	3	10.57	990.11	97.90		9.45	1.88		0.00	0.00		0.00	0.00	
15	1	10.56	882.81	87.29	87.17	115.36	22.97	23.35	1.39	1.36	0.71	0.00	0.00	0.00
	2	10.56	880.29	87.04		118.99	23.70		0.28	0.27		0.00	0.00	
	3	10.55	881.71	87.18		117.35	23.37		0.50	0.49		0.00	0.00	
20	1	10.56	853.23	84.37	84.41	146.33	29.14	29.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	10.57	853.74	84.42		145.82	29.04		0.00	0.00		0.00	0.00	
	3	10.56	854.01	84.44		145.55	28.99		0.00	0.00		0.00	0.00	
30	1	10.55	700.23	70.05	69.84	298.88	29.90	30.11	0.45	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00
	2	10.56	698.44	69.87		300.13	30.03		0.99	0.10		0.00	0.00	
	3	10.57	695.52	69.58		304.04	30.42		0.00	0.00		0.00	0.00	

ตารางที่ ๖6 ผลของพีเอช 10.5 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 1,000 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร (ต่อ)

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เฉลี่ย คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เฉลี่ย คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เฉลี่ย คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เฉลี่ย คงเหลือ ไนไตรท์
45	1	10.55	665.28	66.56	66.69	334.28	33.44	33.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	10.54	664.39	66.47		335.17	33.53		0.00	0.00		0.00	0.00	
	3	10.53	670.15	67.04		329.41	32.96		0.00	0.00		0.00	0.00	
60	1	10.53	610.13	61.04	61.14	387.64	38.78	38.77	1.79	0.18	0.10	0.00	0.00	0.00
	2	10.52	611.16	61.14		387.88	38.81		0.52	0.05		0.00	0.00	
	3	10.51	611.97	61.22		387.01	38.72		0.58	0.06		0.00	0.00	
90	1	10.51	530.21	53.04	53.40	469.35	46.96	46.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	10.53	539.01	53.92		460.55	46.08		0.00	0.00		0.00	0.00	
	3	10.53	532.11	53.23		467.45	46.77		0.00	0.00		0.00	0.00	
120	1	10.51	449.32	44.95	45.08	550.24	55.05	54.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	10.52	451.85	45.20		547.71	54.80		0.00	0.00		0.00	0.00	
	3	10.54	450.54	45.07		549.02	54.93		0.00	0.00		0.00	0.00	
180	1	10.51	351.12	35.13	35.72	642.48	64.28	64.01	5.96	0.60	0.28	0.00	0.00	0.00
	1	10.51	359.84	36.00		637.33	63.76		2.39	0.24		0.00	0.00	
	1	10.50	360.04	36.02		639.52	63.98		0.00	0.00		0.00	0.00	

ตารางที่ ๗ ผลของพีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 100 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์
0	1	12.15	107.21	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	12.15	107.21	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00		
	3	12.15	107.21	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00		
5	1	12.15	67.34	62.81	63.14	37.88	35.33	35.31	1.99	1.86	1.55	0.00	0.00	0.00
	2	12.15	67.71	63.16		37.69	35.16		1.81	1.69		0.00	0.00	
	3	12.15	68.02	63.45		38.01	35.45		1.18	1.10		0.00	0.00	
10	1	12.15	50.11	46.74	47.62	56.07	52.30	51.90	1.03	0.96	0.48	0.00	0.00	0.00
	2	12.15	51.28	47.83		55.88	52.12		0.05	0.05		0.00	0.00	
	3	12.15	51.78	48.30		54.98	51.28		0.45	0.42		0.00	0.00	
15	1	12.14	46.63	43.49	43.99	59.31	55.32	55.23	1.27	1.18	0.78	0.00	0.00	0.00
	2	12.14	47.08	43.91		59.12	55.14		1.01	0.94		0.00	0.00	
	3	12.15	47.76	44.55		59.22	55.24		0.23	0.21		0.00	0.00	
20	1	12.13	41.65	38.85	39.04	64.43	60.10	60.02	1.13	1.05	0.94	0.00	0.00	0.00
	2	12.13	41.88	39.06		64.73	60.38		0.60	0.56		0.00	0.00	
	3	12.14	42.05	39.22		63.87	59.57		1.29	1.20		0.00	0.00	
30	1	12.11	35.65	33.25	34.52	69.44	64.77	64.50	2.12	1.98	0.98	0.00	0.00	0.00
	2	12.12	37.91	35.36		69.11	64.46		0.19	0.18		0.00	0.00	
	3	12.11	37.48	34.96		68.89	64.26		0.84	0.78		0.00	0.00	



ตารางที่ ๗ ผลของพีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 100 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร (ต่อ)

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาไนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์
45	1	12.14	24.39	22.75	23.03	81.67	76.18	75.77	1.15	1.07	1.21	0.00	0.00	0.00
	1	12.12	24.61	22.95		80.98	75.53		1.62	1.51		0.00	0.00	
	1	12.11	25.06	23.37		81.04	75.59		1.11	1.04		0.00	0.00	
60	1	12.11	13.08	12.20	12.77	92.89	86.64	86.47	1.24	1.16	0.76	0.00	0.00	0.00
	2	12.12	14.11	13.16		92.78	86.54		0.32	0.30		0.00	0.00	
	3	12.11	13.89	12.96		92.43	86.21		0.89	0.83		0.00	0.00	
90	1	11.89	5.67	5.29	5.14	100.34	93.59	93.76	1.20	1.12	1.09	0.00	0.00	0.00
	2	12.11	5.49	5.12		100.75	93.97		0.97	0.90		0.00	0.00	
	3	12.13	5.38	5.02		100.48	93.72		1.35	1.26		0.00	0.00	
120	1	12.11	1.34	1.25	1.49	104.56	97.53	97.51	1.31	1.22	1.00	0.00	0.00	0.00
	2	12.14	1.54	1.44		104.37	97.35		1.30	1.21		0.00	0.00	
	3	12.11	1.91	1.78		104.68	97.64		0.62	0.58		0.00	0.00	
180	1	12.10	1.23	1.15	1.17	105.02	97.96	98.04	0.96	0.90	0.79	0.00	0.00	0.00
	2	12.10	1.11	1.04		104.99	97.93		1.11	1.04		0.00	0.00	
	3	11.97	1.43	1.33		105.32	98.24		0.46	0.43		0.00	0.00	

ตารางที่ ๘ ผลของพีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์	
0	1	12.21	509.38	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	2	12.21	509.68	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00
	3	12.21	509.51	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00
5	1	12.21	500.12	99.60	99.60	9.01	1.79	1.85	0.00	0.00	0.00	0.55	0.54	0.23	
	2	12.20	500.22	99.62		9.46	1.88		0.00	0.00		0.00	0.00		
	3	12.21	500.09	99.59		9.44	1.88		0.00	0.00		0.15	0.15		
10	1	12.19	497.61	99.10	98.89	11.89	2.37	2.50	0.18	0.18	0.52	0.00	0.00	0.00	
	2	12.21	496.55	98.88		12.56	2.50		0.57	0.56		0.00	0.00		
	3	12.21	495.61	98.70		13.22	2.63		0.85	0.83		0.00	0.00		
15	1	12.21	491.18	97.82	97.87	18.50	3.68	3.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	2	12.20	492.04	97.99		17.64	3.51		0.00	0.00		0.00	0.00		
	3	12.19	491.11	97.80		18.57	3.70		0.00	0.00		0.00	0.00		
20	1	12.21	485.02	96.59	96.65	24.66	4.91	4.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	2	12.21	484.88	96.56		24.80	4.94		0.00	0.00		0.00	0.00		
	3	12.18	486.09	96.80		23.59	4.70		0.00	0.00		0.00	0.00		
30	1	12.21	367.81	72.16	72.09	141.87	27.84	27.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	2	12.21	366.98	72.00		142.70	28.00		0.00	0.00		0.00	0.00		
	3	12.21	367.56	72.12		142.12	27.88		0.00	0.00		0.00	0.00		

ตารางที่ ๘ ผลของพีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร (ต่อ)

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์
45	1	12.20	347.81	68.24	68.33	160.88	31.56	31.49	0.99	0.19	0.18	0.00	0.00	0.00
	2	12.19	348.19	68.32		160.47	31.48		1.02	0.20		0.00	0.00	
	3	12.19	348.77	68.43		160.14	31.42		0.77	0.15		0.00	0.00	
60	1	12.18	319.92	62.77	62.85	189.11	37.10	36.98	0.65	0.13	0.18	0.00	0.00	0.00
	2	12.17	320.16	62.82		188.05	36.90		1.47	0.29		0.00	0.00	
	3	12.17	320.88	62.96		188.23	36.93		0.57	0.11		0.00	0.00	
90	1	12.15	294.34	57.75	57.89	214.08	42.00	41.94	1.26	0.25	0.17	0.00	0.00	0.00
	2	12.16	295.06	57.89		214.11	42.01		0.51	0.10		0.00	0.00	
	3	12.15	295.83	58.04		213.08	41.81		0.77	0.15		0.00	0.00	
120	1	12.16	245.69	48.20	48.27	262.13	51.43	51.46	1.86	0.36	0.27	0.00	0.00	0.00
	2	12.15	246.02	48.27		262.63	51.53		1.03	0.20		0.00	0.00	
	3	12.16	246.33	48.33		262.11	51.43		1.24	0.24		0.00	0.00	
180	1	12.16	218.44	42.86	42.90	291.01	57.10	56.94	0.23	0.05	0.16	0.00	0.00	0.00
	1	12.14	219.06	42.98		289.87	56.87		0.75	0.15		0.00	0.00	
	1	12.14	218.44	42.86		289.74	56.85		1.50	0.29		0.00	0.00	

ตารางที่ ๘9 ผลของพีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 1,000 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เฉลี่ย คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เฉลี่ย คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เฉลี่ย คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เฉลี่ย คงเหลือ ไนไตรท์
0	1	12.19	1005.76	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	12.19	1005.11	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00	
	3	12.19	1005.26	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00	
5	1	12.19	996.71	98.55	98.49	8.76	1.74	1.77	0.00	0.00	0.00	0.29	0.28	0.75
	2	12.19	995.43	98.43		9.34	1.86		0.00	0.00		0.99	0.97	
	3	12.19	996.18	98.50		8.55	1.70		0.00	0.00		1.03	1.01	
10	1	12.19	991.11	98.00	98.07	14.65	2.92	2.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	12.17	993.21	98.21		12.55	2.50		0.00	0.00		0.00	0.00	
	3	12.18	991.22	98.01		14.54	2.90		0.00	0.00		0.00	0.00	
15	1	12.19	900.54	89.04	88.72	105.22	20.95	21.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	12.18	889.11	87.91		116.65	23.23		0.00	0.00		0.00	0.00	
	3	12.19	902.15	89.20		103.61	20.63		0.00	0.00		0.00	0.00	
20	1	12.17	882.18	87.23	86.32	123.58	24.61	26.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	12.18	882.91	87.30		122.85	24.46		0.00	0.00		0.00	0.00	
	3	12.19	854.01	84.44		151.75	30.22		0.00	0.00		0.00	0.00	
30	1	12.19	712.11	70.80	70.84	292.76	29.11	29.07	0.89	0.09	0.09	0.00	0.00	0.00
	2	12.19	713.21	70.91		292.11	29.04		0.44	0.04		0.00	0.00	
	3	12.19	712.22	70.81		292.19	29.05		1.35	0.13		0.00	0.00	

ตารางที่ ๘9 ผลของพีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 1,000 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร (ต่อ)

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เฉลี่ย คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เฉลี่ย คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เฉลี่ย คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เฉลี่ย คงเหลือ ไนไตรท์
45	1	12.17	670.96	66.71	66.64	334.42	33.25	33.22	0.38	0.04	0.13	0.00	0.00	0.00
	2	12.17	669.56	66.57		334.11	33.22		2.09	0.21		0.00	0.00	
	3	12.14	670.31	66.65		333.89	33.20		1.56	0.16		0.00	0.00	
60	1	12.15	645.45	64.18	64.73	354.12	35.21	35.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	12.12	654.32	65.06		351.25	34.92		0.00	0.00		0.00	0.00	
	3	12.12	653.22	64.95		351.87	34.99		0.00	0.00		0.00	0.00	
90	1	12.13	629.86	62.63	62.55	375.44	37.33	37.33	0.46	0.05	0.11	0.00	0.00	0.00
	2	12.15	628.71	62.51		375.68	37.35		1.37	0.14		0.00	0.00	
	3	12.11	628.88	62.53		375.31	37.32		1.57	0.16		0.00	0.00	
120	1	12.13	602.13	59.87	59.92	402.45	40.01	39.96	1.18	0.12	0.13	0.00	0.00	0.00
	2	12.13	603.11	59.97		401.32	39.90		1.33	0.13		0.00	0.00	
	3	12.11	602.57	59.91		401.89	39.96		1.30	0.13		0.00	0.00	
180	1	12.10	578.64	57.53	57.53	426.75	42.43	42.41	0.37	0.04	0.05	0.00	0.00	0.00
	1	12.13	578.23	57.49		426.66	42.42		0.87	0.09		0.00	0.00	
	1	12.11	579.05	57.57		426.36	42.39		0.35	0.03		0.00	0.00	

ตารางที่ ๑๑ ผลของอัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์
0	1	12.21	509.38	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	12.21	509.68	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00		
	3	12.21	509.51	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00		
30	1	12.21	367.81	72.16	72.09	141.87	27.84	27.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	12.21	366.98	72.00		142.70	28.00		0.00	0.00		0.00		
	3	12.21	367.56	72.12		142.12	27.88		0.00	0.00		0.00		
45	1	12.20	347.81	68.24	68.33	160.88	31.56	31.49	0.99	0.19	0.18	0.00	0.00	0.00
	2	12.19	348.19	68.32		160.47	31.48		1.02	0.20		0.00	0.00	
	3	12.19	348.77	68.43		160.14	31.42		0.77	0.15		0.00	0.00	
60	1	12.18	319.92	62.77	62.85	189.11	37.10	36.98	0.65	0.13	0.18	0.00	0.00	0.00
	2	12.17	320.16	62.82		188.05	36.90		1.47	0.29		0.00	0.00	
	3	12.17	320.88	62.96		188.23	36.93		0.57	0.11		0.00	0.00	
90	1	12.15	294.34	57.75	57.89	214.08	42.00	41.94	1.26	0.25	0.17	0.00	0.00	0.00
	2	12.16	295.06	57.89		214.11	42.01		0.51	0.10		0.00	0.00	
	3	12.15	295.83	58.04		213.08	41.81		0.77	0.15		0.00	0.00	
120	1	12.16	245.69	48.20	48.27	262.13	51.43	51.46	1.86	0.36	0.27	0.00	0.00	0.00
	2	12.15	246.02	48.27		262.63	51.53		1.03	0.20		0.00	0.00	
	3	12.16	246.33	48.33		262.11	51.43		1.24	0.24		0.00	0.00	
180	1	12.16	218.44	42.86	42.90	291.01	57.10	56.94	0.23	0.05	0.16	0.00	0.00	0.00
	2	12.14	219.06	42.98		289.87	56.87		0.75	0.15		0.00	0.00	
	3	12.14	218.44	42.86		289.74	56.85		1.50	0.29		0.00	0.00	

ตารางที่ ๘11 ผลของอัตราการเติมอากาศ 1.0 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เฉลี่ย คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เฉลี่ย คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เฉลี่ย คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เฉลี่ย คงเหลือ ไนไตรท์
0	1	12.18	511.76	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	12.18	509.12	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00		
	3	12.18	510.68	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00		
30	1	12.18	371.22	72.54	72.57	140.11	27.38	27.30	0.43	0.08	0.13	0.00	0.00	0.00
	2	12.18	371.14	72.52		139.43	27.25		1.19	0.23		0.00	0.00	
	3	12.18	371.78	72.65		139.55	27.27		0.43	0.08		0.00	0.00	
45	1	12.16	350.26	68.44	68.43	160.46	31.35	31.34	1.04	0.20	0.23	0.00	0.00	0.00
	2	12.16	349.88	68.37		160.95	31.45		0.93	0.18		0.00	0.00	
	3	12.15	350.52	68.49		159.68	31.20		1.56	0.30		0.00	0.00	
60	1	12.13	320.11	62.55	62.64	191.01	37.32	37.15	0.64	0.13	0.21	0.00	0.00	0.00
	2	12.13	319.67	62.46		189.87	37.10		2.22	0.43		0.00	0.00	
	3	12.12	321.99	62.92		189.47	37.02		0.30	0.06		0.00	0.00	
90	1	12.11	300.45	58.71	58.94	209.11	40.86	40.85	2.20	0.43	0.20	0.00	0.00	0.00
	2	12.12	302.64	59.14		208.87	40.81		0.25	0.05		0.00	0.00	
	3	12.11	301.84	58.98		209.24	40.89		0.68	0.13		0.00	0.00	
120	1	12.10	250.33	48.92	49.03	259.83	50.77	50.72	1.60	0.31	0.25	0.00	0.00	0.00
	2	12.09	251.22	49.09		258.84	50.58		1.70	0.33		0.00	0.00	
	3	12.12	251.18	49.08		260.01	50.81		0.57	0.11		0.00	0.00	
180	1	12.11	220.61	43.11	43.23	289.11	56.49	56.60	2.04	0.40	0.17	0.00	0.00	0.00
	2	12.11	221.38	43.26		290.13	56.69		0.25	0.05		0.00	0.00	
	3	12.13	221.67	43.32		289.77	56.62		0.32	0.06		0.00	0.00	



ตารางที่ ๘12 ผลของอัตราการเติมอากาศ 2.0 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์
0	1	12.22	508.91	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	12.22	503.34	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00	
	3	12.22	508.93	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00		
30	1	12.22	364.33	71.59	71.74	145.34	28.56	28.52	0.24	0.05	0.18	0.00	0.00	0.00
	2	12.22	365.49	71.82		145.68	28.63		0.59	0.12		0.00	0.00	
	3	12.22	365.48	71.82		144.39	28.37		1.89	0.37		0.00	0.00	
45	1	12.20	344.28	67.65	67.62	166.11	32.64	32.71	1.37	0.27	0.23	0.00	0.00	0.00
	2	12.20	343.18	67.43		166.45	32.71		2.13	0.42		0.00	0.00	
	3	12.19	344.87	67.77		166.82	32.78		0.07	0.01		0.00	0.00	
60	1	12.17	315.58	62.01	62.13	191.78	37.68	37.77	4.40	0.86	0.66	0.00	0.00	0.00
	2	12.17	316.87	62.26		192.01	37.73		2.88	0.57		0.00	0.00	
	3	12.18	316.04	62.10		192.88	37.90		2.84	0.56		0.00	0.00	
90	1	12.14	286.88	56.37	56.54	221.36	43.50	43.52	3.52	0.69	0.50	0.00	0.00	0.00
	2	12.14	289.78	56.94		220.89	43.40		1.09	0.21		0.00	0.00	
	3	12.13	286.56	56.31		222.13	43.65		3.07	0.60		0.00	0.00	
120	1	12.19	247.83	48.70	48.83	261.55	51.39	51.46	2.38	0.47	0.28	0.00	0.00	0.00
	2	12.18	248.62	48.85		262.19	51.52		0.95	0.19		0.00	0.00	
	3	12.18	249.01	48.93		261.84	51.45		0.91	0.18		0.00	0.00	
180	1	12.17	215.54	42.35	42.53	294.32	57.83	57.74	1.90	0.37	0.30	0.00	0.00	0.00
	2	12.16	216.92	42.62		293.28	57.63		1.56	0.31		0.00	0.00	
	3	12.19	216.79	42.60		293.89	57.75		1.08	0.21		0.00	0.00	

**ตารางที่ ผ13** ผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 0.1 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เฉลี่ย คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เฉลี่ย คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เฉลี่ย คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เฉลี่ย คงเหลือ ไนไตรท์
0	1	12.20	498.58	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	12.20	498.58	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00		
	3	12.20	498.58	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00		
30	1	12.20	456.89	91.64	91.63	40.32	8.09	8.16	1.37	0.27	0.21	0.00	0.00	0.00
	2	12.20	456.92	91.64		41.03	8.23		0.63	0.13		0.00	0.00	
	3	12.20	456.72	91.60		40.75	8.17		1.11	0.22		0.00	0.00	
45	1	12.19	445.32	89.32	89.38	51.27	10.28	10.30	1.99	0.40	0.32	0.00	0.00	0.00
	2	12.19	446.08	89.47		51.94	10.42		0.56	0.11		0.00	0.00	
	3	12.15	445.47	89.35		50.89	10.21		2.22	0.45		0.00	0.00	
60	1	12.16	418.93	84.02	84.02	78.88	15.82	15.83	0.77	0.15	0.15	0.00	0.00	0.00
	2	12.16	418.77	83.99		79.02	15.85		0.79	0.16		0.00	0.00	
	3	12.17	419.04	84.05		78.93	15.83		0.61	0.12		0.00	0.00	
90	1	12.13	399.87	80.20	80.26	98.04	19.66	19.64	0.67	0.13	0.10	0.00	0.00	0.00
	2	12.11	400.43	80.31		97.68	19.59		0.47	0.09		0.00	0.00	
	3	12.11	400.13	80.25		98.11	19.68		0.34	0.07		0.00	0.00	
120	1	12.15	387.65	77.75	77.67	110.68	22.20	22.22	0.25	0.05	0.12	0.00	0.00	0.00
	2	12.16	386.99	77.62		110.59	22.18		1.00	0.20		0.00	0.00	
	3	12.13	387.04	77.63		111.05	22.27		0.49	0.10		0.00	0.00	
180	1	12.18	373.21	74.85	75.36	122.75	24.62	24.23	2.62	0.53	0.42	0.00	0.00	0.00
	2	12.18	378.39	75.89		119.04	23.88		1.15	0.23		0.00	0.00	
	3	12.12	375.55	75.32		120.57	24.18		2.46	0.49		0.00	0.00	

**ตารางที่ ๑๔** ผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 0.5 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์
0	1	12.16	502.13	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	12.16	502.13	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00	
	3	12.16	502.13	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00		
30	1	12.16	423.35	84.31	84.39	78.01	15.54	14.90	0.77	0.15	0.23	0.00	0.00	0.00
	2	12.16	424.05	84.45		72.39	14.42		2.14	0.43		0.00	0.00	
	3	12.16	423.88	84.42		74.11	14.76		0.59	0.12		0.00	0.00	
45	1	12.14	412.23	82.10	82.14	85.99	17.13	16.99	0.36	0.07	0.16	0.00	0.00	0.00
	2	12.14	413.04	82.26		85.01	16.93		0.53	0.11		0.00	0.00	
	3	12.13	412.11	82.07		84.99	16.93		1.48	0.29		0.00	0.00	
60	1	12.15	387.65	77.20	77.06	110.67	22.04	22.03	0.26	0.05	0.21	0.00	0.00	0.00
	2	12.13	386.45	76.96		110.21	21.95		1.92	0.38		0.00	0.00	
	3	12.111	386.72	77.02		110.91	22.09		0.95	0.19		0.00	0.00	
90	1	12.10	364.94	72.68	72.71	133.27	26.54	26.43	0.37	0.07	0.15	0.00	0.00	0.00
	2	12.11	365.41	72.77		132.89	26.47		0.28	0.06		0.00	0.00	
	3	12.11	364.98	72.69		131.94	26.28		1.66	0.33		0.00	0.00	
120	1	12.09	341.39	67.99	67.72	156.78	31.22	31.30	0.41	0.08	0.27	0.00	0.00	0.00
	2	12.10	339.04	67.52		157.82	31.43		1.72	0.34		0.00	0.00	
	3	12.10	339.67	67.65		156.94	31.25		1.97	0.39		0.00	0.00	
180	1	12.09	311.23	61.98	62.08	186.98	37.24	37.12	0.37	0.07	0.09	0.00	0.00	0.00
	2	12.07	311.87	62.11		186.43	37.13		0.28	0.06		0.00	0.00	
	3	12.10	312.06	62.15		185.77	37.00		0.75	0.15		0.00	0.00	

ตารางที่ ๑๕ ผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เฉลี่ย คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เฉลี่ย คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เฉลี่ย คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เฉลี่ย คงเหลือ ไนไตรท์
0	1	12.21	509.68	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	12.21	509.68	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00	
	3	12.21	509.68	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00		
30	1	12.21	367.81	72.16	72.09	141.11	27.69	27.69	0.76	0.15	0.21	0.00	0.00	0.00
	2	12.21	366.98	72.00		141.10	27.68		1.60	0.31		0.00	0.00	
	3	12.21	367.56	72.12		141.21	27.71		0.91	0.18		0.00	0.00	
45	1	12.20	347.81	68.24	68.33	160.88	31.56	31.49	0.99	0.19	0.18	0.00	0.00	0.00
	2	12.19	348.19	68.32		160.47	31.48		1.02	0.20		0.00	0.00	
	3	12.19	348.77	68.43		160.14	31.42		0.77	0.15		0.00	0.00	
60	1	12.18	319.92	62.77	62.85	189.11	37.10	36.98	0.65	0.13	0.18	0.00	0.00	0.00
	2	12.17	320.16	62.82		188.05	36.90		1.47	0.29		0.00	0.00	
	3	12.17	320.88	62.96		188.23	36.93		0.57	0.11		0.00	0.00	
90	1	12.15	294.34	57.75	57.89	214.08	42.00	41.94	1.26	0.25	0.17	0.00	0.00	0.00
	2	12.16	295.06	57.89		214.11	42.01		0.51	0.10		0.00	0.00	
	3	12.15	295.83	58.04		213.08	41.81		0.77	0.15		0.00	0.00	
120	1	12.16	245.69	48.20	48.27	262.13	51.43	51.46	1.86	0.36	0.27	0.00	0.00	0.00
	2	12.15	246.02	48.27		262.63	51.53		1.03	0.20		0.00	0.00	
	3	12.16	246.33	48.33		262.11	51.43		1.24	0.24		0.00	0.00	
180	1	12.16	218.44	42.86	42.90	290.11	56.92	56.88	1.13	0.22	0.22	0.00	0.00	0.00
	1	12.14	219.06	42.98		289.87	56.87		0.75	0.15		0.00	0.00	
	1	12.14	218.44	42.86		289.74	56.85		1.50	0.29		0.00	0.00	

ตารางที่ ผ16 ผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.5 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์
0	1	12.25	504.87	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	12.25	504.87	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00	
	3	12.25	504.87	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00	
30	1	12.25	360.45	71.39	71.54	142.15	28.16	28.27	2.27	0.45	0.19	0.00	0.00	0.00
	2	12.25	361.23	71.55		143.22	28.37		0.42	0.08		0.00	0.00	
	3	12.25	361.87	71.68		142.75	28.27		0.25	0.05		0.00	0.00	
45	1	12.24	340.82	67.51	67.55	162.34	32.15	32.24	1.71	0.34	0.21	0.00	0.00	0.00
	2	12.24	341.51	67.64		163.01	32.29		0.35	0.07		0.00	0.00	
	3	12.23	340.78	67.50		162.91	32.27		1.18	0.23		0.00	0.00	
60	1	12.23	311.79	61.76	61.71	192.23	38.08	38.07	0.85	0.17	0.22	0.00	0.00	0.00
	2	12.22	311.97	61.79		192.56	38.14		0.34	0.07		0.00	0.00	
	3	12.23	310.84	61.57		191.87	38.00		2.16	0.43		0.00	0.00	
90	1	12.21	290.65	57.57	57.49	214.08	42.40	42.34	0.14	0.03	0.17	0.00	0.00	0.00
	2	12.21	289.66	57.37		214.11	42.41		1.10	0.22		0.00	0.00	
	3	12.21	290.48	57.54		213.08	42.20		1.31	0.26		0.00	0.00	
120	1	12.20	239.55	47.45	47.35	264.88	52.46	52.53	0.44	0.09	0.12	0.00	0.00	0.00
	2	12.21	238.89	47.32		265.48	52.58		0.50	0.10		0.00	0.00	
	3	12.21	238.67	47.27		265.29	52.55		0.91	0.18		0.00	0.00	
180	1	12.19	210.56	41.71	41.77	291.67	57.77	57.83	2.64	0.52	0.39	0.00	0.00	0.00
	2	12.20	211.78	41.95		292.18	57.87		0.91	0.18		0.00	0.00	
	3	12.19	210.38	41.67		292.11	57.86		2.38	0.47		0.00	0.00	

ตารางที่ ๑๗ ผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 2.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 500 ไมโครโมลาร์ ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์
0	1	12.23	503.85	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	12.23	503.85	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00		
	3	12.23	503.85	100.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00		
30	1	12.23	397.63	78.92	78.91	105.76	20.99	20.88	0.46	0.09	0.21	0.00	0.00	0.00
	2	12.23	397.12	78.82		104.78	20.80		1.95	0.39		0.00	0.00	
	3	12.23	398.01	78.99		105.13	20.87		0.71	0.14		0.00	0.00	
45	1	12.21	350.12	69.49	69.68	151.88	30.14	30.07	1.85	0.37	0.25	0.00	0.00	0.00
	2	12.21	351.13	69.69		152.31	30.23		0.41	0.08		0.00	0.00	
	3	12.20	352.01	69.86		150.35	29.84		1.49	0.30		0.00	0.00	
60	1	12.19	331.67	65.83	65.80	171.21	33.98	33.91	0.97	0.19	0.29	0.00	0.00	0.00
	2	12.19	330.98	65.69		170.88	33.91		1.99	0.39		0.00	0.00	
	3	12.18	331.89	65.87		170.54	33.85		1.42	0.28		0.00	0.00	
90	1	12.16	310.94	61.71	61.60	191.34	37.98	38.10	1.57	0.31	0.30	0.00	0.00	0.00
	2	12.16	309.56	61.44		192.03	38.11		2.26	0.45		0.00	0.00	
	3	12.16	310.66	61.66		192.55	38.22		0.64	0.13		0.00	0.00	
120	1	12.15	297.67	59.08	59.01	205.78	40.84	40.75	0.40	0.08	0.24	0.00	0.00	0.00
	2	12.16	295.48	58.64		205.46	40.78		2.91	0.58		0.00	0.00	
	3	12.15	298.77	59.30		204.73	40.63		0.35	0.07		0.00	0.00	
180	1	12.16	275.39	54.66	54.78	227.11	45.07	44.92	1.35	0.27	0.30	0.00	0.00	0.00
	2	12.14	277.61	55.10		225.89	44.83		0.35	0.07		0.00	0.00	
	3	12.14	274.98	54.58		226.01	44.86		2.86	0.57		0.00	0.00	

ตารางที่ ๘18 ผลของพีเอช 9.5 ความเข้มข้นของเฮกซะไซยานโนโคบอลเตต (รูปไซยาไนด์) 100 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เหลือ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยานเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยานเนต	% เหลือ คงเหลือ ไซยานเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เหลือ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เหลือ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	9.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	9.58	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	9.58	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	9.58	2.98	2.98	2.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	9.57	3.02	3.02		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	9.58	2.41	2.41		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
45	1	9.57	4.91	4.91	4.61	0.00	0.00	0.00	1.02	1.02	1.04	0.93	0.93	0.85		
	2	9.57	4.34	4.34		0.00	0.00		0.98	0.98		0.78	0.78			
	3	9.56	4.58	4.58		0.00	0.00		1.11	1.11		0.83	0.83			
60	1	9.54	9.04	9.04	9.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.93	1.93	1.86		
	2	9.57	9.11	9.11		0.00	0.00		0.00	0.00		1.89	1.89			
	3	9.54	9.04	9.04		0.00	0.00		0.00	0.00		1.77	1.77			
90	1	9.53	9.15	9.15	9.18	0.21	0.21	0.11	0.98	0.98	0.96	0.00	0.00	0.00		
	2	9.52	9.17	9.17		0.12	0.12		0.89	0.89		0.00	0.00			
	3	9.51	9.23	9.23		0.00	0.00		1.02	1.02		0.00	0.00			
120	1	9.54	10.23	10.23	10.30	0.02	0.02	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	9.53	10.32	10.32		0.21	0.21		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	9.52	10.36	10.36		0.24	0.24		0.00	0.00		0.00	0.00			
180	1	9.54	10.56	10.56	10.75	0.25	0.25	0.22	0.00	0.00	0.00	2.13	2.13	2.12		
	2	9.54	10.78	10.78		0.23	0.23		0.00	0.00		2.22	2.22			
	3	9.55	10.92	10.92		0.19	0.19		0.00	0.00		2.01	2.01			



**ตารางที่ ๘19** ผลของพีเอช 9.5 ความเข้มข้นของเฮกซะไซยานโนโคบอลเตต (รูปไซยาไนด์) 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนโตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนโตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนโตรท์		
0	1	9.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	9.51	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	9.51	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	9.51	2.88	0.58	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	9.51	3.05	0.61		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	9.51	2.51	0.50		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
45	1	9.50	5.01	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.02	0.02	0.11	0.11	0.11		
	2	9.51	5.12	1.02		0.00	0.00		0.13	0.03		0.23	0.23			
	3	9.50	4.92	0.98		0.00	0.00		0.10	0.02		0.00	0.00			
60	1	9.50	9.11	1.82	1.96	0.48	0.10	0.04	0.26	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00		
	2	9.50	10.34	2.07		0.11	0.02		0.24	0.05		0.00	0.00			
	3	9.50	10.02	2.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00			
90	1	9.49	20.14	4.03	4.11	0.41	0.08	0.04	1.01	0.20	0.19	0.00	0.00	0.00		
	2	9.49	20.47	4.09		0.21	0.04		0.96	0.19		0.00	0.00			
	3	9.49	21.03	4.21		0.00	0.00		0.89	0.18		0.00	0.00			
120	1	9.49	24.97	4.99	5.38	0.54	0.11	0.10	0.00	0.00	0.00	2.53	2.53	2.37		
	2	9.51	27.69	5.54		0.73	0.15		0.00	0.00		2.46	2.46			
	3	9.51	28.11	5.62		0.24	0.05		0.00	0.00		2.11	2.11			
180	1	9.49	29.99	6.00	6.08	0.89	0.18	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	9.48	30.54	6.11		0.87	0.17		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	9.48	30.65	6.13		0.21	0.04		0.00	0.00		0.00	0.00			

ตารางที่ ๒๒ ผลของพีเอช 9.5 ความเข้มข้นของเฮกซะไซยานโนโคบอลเตต (รูปไซยาไนด์) 1,000 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เหลือ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เหลือ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เหลือ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เหลือ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	9.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	9.59	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	9.59	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	9.59	12.34	1.23	1.28	1.22	0.12	0.16	0.23	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00		
	2	9.59	13.05	1.31		1.56	0.16		0.21	0.02		0.00	0.00			
	3	9.59	12.88	1.29		1.93	0.19		0.19	0.02		0.00	0.00			
45	1	9.52	20.14	2.01	2.38	2.03	0.20	0.23	0.00	0.00	0.00	2.11	0.21	0.23		
	2	9.52	25.65	2.57		2.11	0.21		0.00	0.00		2.31	0.23			
	3	9.51	25.74	2.57		2.71	0.27		0.00	0.00		2.41	0.24			
60	1	9.58	32.44	3.24	3.39	3.21	0.32	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	9.58	34.12	3.41		3.18	0.32		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	9.57	35.24	3.52		2.97	0.30		0.00	0.00		0.00	0.00			
90	1	9.56	38.94	3.89	3.89	3.21	0.32	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	9.56	38.59	3.86		3.42	0.34		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	9.57	39.02	3.90		3.59	0.36		0.00	0.00		0.00	0.00			
120	1	9.57	43.12	4.31	4.39	3.43	0.34	0.34	0.00	0.00	0.00	0.33	0.03	0.03		
	2	9.56	44.71	4.47		3.44	0.34		0.00	0.00		0.29	0.03			
	3	9.57	43.86	4.39		3.21	0.32		0.00	0.00		0.41	0.04			
180	1	9.54	45.54	4.55	4.58	4.21	0.42	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	9.53	45.61	4.56		4.92	0.49		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	9.51	46.11	4.61		3.77	0.38		0.00	0.00		0.00	0.00			

ตารางที่ ๒21 ผลของพีเอช 10.5 ความเข้มข้นของเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต (รูปไซยาไนด์) 100 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เหลือ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เหลือ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เหลือ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เหลือ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	10.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	10.54	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	10.54	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	10.54	3.23	3.23	3.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	10.54	3.12	3.12		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	10.54	2.85	2.85		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
45	1	10.54	4.92	4.92	4.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54	0.54	0.58		
	2	10.53	4.86	4.86		0.00	0.00		0.00	0.56		0.56	0.56			
	3	10.54	4.19	4.19		0.00	0.00		0.00	0.64		0.64	0.64			
60	1	10.53	9.14	9.14	9.11	0.09	0.09	0.07	1.02	1.02	1.18	0.00	0.00	0.00		
	2	10.53	9.20	9.20		0.11	0.11		1.22	1.22		0.00	0.00			
	3	10.52	8.99	8.99		0.00	0.00		1.31	1.31		0.00	0.00			
90	1	10.51	9.21	9.21	9.71	0.32	0.32	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	10.51	9.89	9.89		0.18	0.18		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	10.52	10.02	10.02		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00			
120	1	10.50	10.11	10.11	10.35	0.22	0.22	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	10.51	10.42	10.42		0.24	0.24		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	10.52	10.53	10.53		0.24	0.24		0.00	0.00		0.00	0.00			
180	1	10.50	10.75	10.75	10.85	0.25	0.25	0.22	0.71	0.71	0.69	0.22	0.22	0.22		
	2	10.50	10.93	10.93		0.21	0.21		0.69	0.69		0.19	0.19			
	3	10.50	10.88	10.88		0.19	0.19		0.68	0.68		0.26	0.26			

ตารางที่ ๒2 ผลของพีเอช 10.5 ความเข้มข้นของเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต (รูปไซยาไนด์) 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เหลือ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เหลือ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เหลือ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เหลือ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	10.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	10.58	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	10.58	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	10.58	2.01	0.40	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	10.58	3.21	0.64		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	10.58	3.22	0.64		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00			
45	1	10.58	5.11	1.02	1.04	0.31	0.06	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	10.57	5.12	1.02		0.22	0.04		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	10.57	5.31	1.06		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00			
60	1	10.56	10.85	2.17	2.08	0.33	0.07	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	10.56	10.34	2.07		0.11	0.02		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	10.57	10.02	2.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00			
90	1	10.55	21.02	4.20	4.31	0.52	0.10	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	10.55	21.11	4.22		0.21	0.04		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	10.55	22.45	4.49		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00			
120	1	10.54	27.81	5.56	5.68	0.67	0.13	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	10.53	28.53	5.71		0.73	0.15		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	10.52	28.91	5.78		0.32	0.06		0.00	0.00		0.00	0.00			
180	1	10.52	31.11	6.22	6.21	0.99	0.20	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	10.51	30.96	6.19		0.56	0.11		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	10.51	31.04	6.21		0.22	0.04		0.00	0.00		0.00	0.00			

ตารางที่ ผ23 ผลของพีเอช 10.5 ความเข้มข้นของเฮกซะไซยานโนโคบอลเตต (รูปไซยาไนด์) 1,000 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เหลือ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เหลือ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เหลือ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เหลือ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	10.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	10.51	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	10.51	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	10.51	12.11	1.21	1.27	1.43	0.14	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	10.51	13.23	1.32		1.59	0.16		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	10.51	12.78	1.28		1.88	0.19		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
45	1	10.50	23.89	2.39	2.42	2.75	0.28	0.26	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	10.51	24.18	2.42		2.31	0.23		0.08	0.01		0.00	0.00		0.00	
	3	10.51	24.59	2.46		2.84	0.28		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
60	1	10.51	34.67	3.47	3.47	3.63	0.36	0.34	0.00	0.00	0.00	0.34	0.03	0.04		
	2	10.50	34.37	3.44		3.43	0.34		0.00	0.00		0.41	0.04			
	3	10.50	34.99	3.50		3.12	0.31		0.00	0.00		0.38	0.04			
90	1	10.50	40.32	4.03	4.04	3.28	0.33	0.35	0.11	0.01	0.01	0.19	0.02	0.02		
	2	10.50	40.18	4.02		3.61	0.36		0.12	0.01		0.21	0.02			
	3	10.50	40.69	4.07		3.59	0.36		0.09	0.01		0.22	0.02			
120	1	10.49	44.12	4.41	4.42	4.01	0.40	0.38	0.08	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00		
	2	10.49	44.57	4.46		3.82	0.38		0.07	0.01		0.00	0.00			
	3	10.50	44.03	4.40		3.58	0.36		0.00	0.00		0.00	0.00			
180	1	10.49	47.01	4.70	4.70	4.87	0.49	0.46	0.11	0.01	0.01	0.78	0.08	0.06		
	2	10.49	46.81	4.68		4.99	0.50		0.04	0.00		0.67	0.07			
	3	10.49	47.19	4.72		3.85	0.39		0.00	0.00		0.33	0.03			

ตารางที่ ๒๒๔ ผลของพีเอช 12.0 ความเข้มข้นของเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต (รูปไซยาไนด์) 100 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	12.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.06	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.06	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.06	5.89	5.89	5.76	1.22	1.22	1.15	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.07		
	2	12.06	5.77	5.77		1.01	1.01		0.00	0.00		0.08	0.08			
	3	12.06	5.62	5.62		1.22	1.22		0.00	0.00		0.10	0.10			
45	1	12.04	9.05	9.05	9.20	0.99	0.99	0.82	0.06	0.06	0.09	0.00	0.00	0.00		
	2	12.04	9.24	9.24		0.89	0.89		0.11	0.11		0.00	0.00			
	3	12.05	9.32	9.32		0.57	0.57		0.09	0.09		0.00	0.00			
60	1	12.03	15.36	15.36	15.59	2.31	2.31	2.32	0.23	0.23	0.20	0.00	0.00	0.00		
	2	12.03	15.97	15.97		2.11	2.11		0.19	0.19		0.00	0.00			
	3	12.03	15.44	15.44		2.54	2.54		0.19	0.19		0.00	0.00			
90	1	12.01	20.06	20.06	20.03	1.87	1.87	1.54	0.00	0.00	0.00	1.08	1.08	0.98		
	2	12.01	20.17	20.17		1.76	1.76		0.00	0.00		0.97	0.97			
	3	12.02	19.87	19.87		0.98	0.98		0.00	0.00		0.88	0.88			
120	1	12.03	25.61	25.61	25.79	2.02	2.02	2.06	0.45	0.45	0.42	0.00	0.00	0.00		
	2	12.03	25.78	25.78		2.14	2.14		0.44	0.44		0.00	0.00			
	3	12.02	25.97	25.97		2.01	2.01		0.38	0.38		0.00	0.00			
180	1	12.01	31.37	31.37	31.76	3.21	3.21	3.15	1.22	1.22	1.52	1.78	1.78	1.55		
	2	12.01	32.01	32.01		3.22	3.22		1.32	1.32		1.07	1.07			
	3	12.00	31.89	31.89		3.01	3.01		2.01	2.01		1.80	1.80			

ตารางที่ ๒๕ ผลของพีเอช 12.0 ความเข้มข้นของเฮกซะไฮยานโนโคบอลเตต (รูปไฮยานโนด์) 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไฮยานโนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไฮยานโนด์	% เฉลี่ย คงเหลือ ไฮยานโนด์	ไฮยานเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไฮยานเนต	% เฉลี่ย คงเหลือ ไฮยานเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เฉลี่ย คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เฉลี่ย คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	12.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.05	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.05	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.05	2.54	0.51	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01		
	2	12.05	2.97	0.59		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.02
	3	12.05	3.02	0.60		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.01
45	1	12.03	10.54	2.11	2.11	0.00	0.00	0.00	0.10	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00		
	2	12.03	10.12	2.02		0.00	0.00		0.00	0.09		0.02	0.00		0.00	
	3	12.04	11.06	2.21		0.00	0.00		0.00	0.08		0.02	0.00		0.00	
60	1	12.02	15.68	3.14	3.15	0.09	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.66	0.13	0.14		
	2	12.02	15.73	3.15		0.09	0.02		0.00	0.00		0.00	0.71		0.14	
	3	12.01	15.82	3.16		0.12	0.02		0.00	0.00		0.00	0.68		0.14	
90	1	12.00	25.67	5.13	5.12	0.43	0.09	0.08	0.31	0.06	0.06	0.00	0.00	0.00		
	2	12.01	25.01	5.00		0.33	0.07		0.32	0.06		0.00	0.00			
	3	12.01	26.12	5.22		0.37	0.07		0.29	0.06		0.00	0.00			
120	1	12.00	30.11	6.02	6.13	0.51	0.10	0.11	0.12	0.02	0.03	0.11	0.02	0.02		
	2	12.00	31.03	6.21		0.57	0.11		0.11	0.02		0.12	0.02			
	3	12.00	30.87	6.17		0.54	0.11		0.18	0.04		0.09	0.02			
180	1	11.99	37.62	7.52	7.57	0.56	0.11	0.12	0.98	0.20	0.20	0.22	0.04	0.04		
	2	11.98	37.29	7.46		0.76	0.15		1.01	0.20		0.23	0.05			
	3	11.98	38.64	7.73		0.43	0.09		1.04	0.21		0.19	0.04			



ตารางที่ ๒๒๖ ผลของพีเอช 12.0 ความเข้มข้นของเฮกซะไซยานโนโคบอลเตต (รูปไซยาไนด์) 1,000 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	12.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.07	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.07	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.07	20.62	2.06	2.06	1.35	0.14	0.17	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00		
	2	12.07	20.95	2.10		1.97	0.20		0.00	0.00		0.04	0.00			
	3	12.07	20.32	2.03		1.76	0.18		0.00	0.00		0.03	0.00			
45	1	12.06	28.88	2.89	2.87	2.64	0.26	0.26	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00		
	2	12.06	29.01	2.90		2.25	0.23		0.06	0.01		0.00	0.00			
	3	12.05	28.11	2.81		2.86	0.29		0.04	0.00		0.00	0.00			
60	1	12.05	33.21	3.32	3.70	3.40	0.34	0.37	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.05	38.92	3.89		3.81	0.38		0.01	0.00		0.00	0.00			
	3	12.04	38.97	3.90		3.75	0.38		0.00	0.00		0.00	0.00			
90	1	12.03	46.99	4.70	4.74	3.85	0.39	0.37	0.00	0.00	0.00	0.21	0.02	0.02		
	2	12.03	47.35	4.74		3.28	0.33		0.00	0.00		0.19	0.02			
	3	12.03	47.77	4.78		3.99	0.40		0.00	0.00		0.23	0.02			
120	1	12.01	56.02	5.60	5.56	4.12	0.41	0.45	0.07	0.01	0.01	1.01	0.10	0.10		
	2	12.01	55.45	5.55		4.56	0.46		0.05	0.01		0.99	0.10			
	3	12.01	55.44	5.54		4.89	0.49		0.04	0.00		0.98	0.10			
180	1	12.00	68.32	6.83	6.88	4.61	0.46	0.47	0.02	0.00	0.00	1.01	0.10	0.12		
	2	12.00	69.02	6.90		4.59	0.46		0.02	0.00		1.23	0.12			
	3	12.00	69.11	6.91		4.78	0.48		0.01	0.00		1.27	0.13			

ตารางที่ ๒๗ ผลของอัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต (รูปไซยาไนด์) 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	12.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.05	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.05	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.05	2.54	0.51	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01		
	2	12.05	2.97	0.59		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.02
	3	12.05	3.02	0.60		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.01
45	1	12.03	10.54	2.11	2.11	0.00	0.00	0.00	0.10	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00		
	2	12.03	10.12	2.02		0.00	0.00		0.00	0.09		0.02	0.00		0.00	
	3	12.04	11.06	2.21		0.00	0.00		0.00	0.08		0.02	0.00		0.00	
60	1	12.02	15.68	3.14	3.15	0.09	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.66	0.13	0.14		
	2	12.02	15.73	3.15		0.09	0.02		0.00	0.00		0.00	0.00		0.14	
	3	12.01	15.82	3.16		0.12	0.02		0.00	0.00		0.00	0.00		0.14	
90	1	12.00	25.67	5.13	5.12	0.43	0.09	0.08	0.31	0.06	0.06	0.00	0.00	0.00		
	2	12.01	25.01	5.00		0.33	0.07		0.32	0.06		0.00	0.00			
	3	12.01	26.12	5.22		0.37	0.07		0.29	0.06		0.00	0.00			
120	1	12.00	30.11	6.02	6.13	0.51	0.10	0.11	0.12	0.02	0.03	0.11	0.02	0.02		
	2	12.00	31.03	6.21		0.57	0.11		0.11	0.02		0.12	0.02			
	3	12.00	30.87	6.17		0.54	0.11		0.18	0.04		0.09	0.02			
180	1	11.99	37.62	7.52	7.57	0.56	0.11	0.12	0.98	0.20	0.20	0.22	0.04	0.04		
	2	11.98	37.29	7.46		0.76	0.15		1.01	0.20		0.23	0.05			
	3	11.98	38.64	7.73		0.43	0.09		1.04	0.21		0.19	0.04			

**ตารางที่ ๒๘** ผลของอัตราการเติมอากาศ 1.0 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของเฮกซะไซยานโนโคบอลเตต (รูปไซยาไนด์) 500 ไมโครโมลาร์  
ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เฉลี่ย คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เฉลี่ย คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เฉลี่ย คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เฉลี่ย คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	12.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.05	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.05	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.05	3.93	0.79	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00		
	2	12.05	3.86	0.77		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.04		0.00	
	3	12.05	3.11	0.62		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.03		0.00	
45	1	12.03	11.85	2.37	2.40	0.00	0.00	0.00	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00		
	2	12.03	11.78	2.36		0.00	0.00		0.05	0.01		0.00	0.00			
	3	12.04	12.32	2.46		0.00	0.00		0.09	0.02		0.00	0.00			
60	1	12.02	15.48	3.10	3.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.11	0.21	0.21		
	2	12.02	16.03	3.21		0.00	0.00		0.02	0.00		2.09	0.21			
	3	12.01	15.69	3.14		0.00	0.00		0.01	0.00		2.12	0.21			
90	1	12.00	25.71	5.14	5.20	0.58	0.12	0.09	1.01	0.20	0.19	0.21	0.02	0.02		
	2	12.01	25.55	5.11		0.33	0.07		0.91	0.18		0.19	0.02			
	3	12.01	26.74	5.35		0.43	0.09		0.88	0.18		0.23	0.02			
120	1	12.00	31.48	6.30	6.23	0.52	0.10	0.11	0.00	0.00	0.00	1.01	0.10	0.10		
	2	12.00	32.01	6.40		0.49	0.10		0.00	0.00		0.98	0.10			
	3	12.00	29.99	6.00		0.58	0.12		0.00	0.00		0.99	0.10			
180	1	12.00	38.05	7.61	7.61	0.49	0.10	0.11	0.08	0.02	0.01	1.22	0.12	0.13		
	2	12.00	38.11	7.62		0.59	0.12		0.07	0.01		1.32	0.13			
	3	12.00	38.01	7.60		0.62	0.12		0.07	0.01		1.27	0.13			

ตารางที่ ๒๒๙ ผลของอัตราการเติมอากาศ 2.0 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของเฮกซะไซยานโคบอลเตต (รูปไซยาไนด์) 500 ไมโครโมลาร์  
ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	12.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.10	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.10	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.10	3.02	0.60	0.67	0.00	0.00	0.00	1.01	0.20	0.21	0.02	0.02	0.07		
	2	12.10	3.75	0.75		0.00	0.00		1.11	0.22		0.08	0.08			
	3	12.10	3.21	0.64		0.00	0.00		1.08	0.22		0.10	0.10			
45	1	12.10	11.03	2.21	2.20	0.00	0.00	0.00	0.97	0.19	0.20	0.00	0.00	0.00		
	2	12.09	10.98	2.20		0.00	0.00		0.98	0.20		0.00	0.00			
	3	12.10	11.01	2.20		0.00	0.00		1.01	0.20		0.00	0.00			
60	1	12.09	15.94	3.19	3.12	0.32	0.06	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.08	15.55	3.11		0.21	0.04		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	12.08	15.28	3.06		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00			
90	1	12.05	24.43	4.89	4.96	0.56	0.11	0.08	0.00	0.00	0.00	1.08	1.08	0.98		
	2	12.05	25.04	5.01		0.45	0.09		0.00	0.00		0.97	0.97			
	3	12.06	24.99	5.00		0.23	0.05		0.00	0.00		0.88	0.88			
120	1	12.04	30.12	6.02	6.00	0.51	0.10	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.02	30.97	6.19		0.53	0.11		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	12.05	28.88	5.78		0.55	0.11		0.00	0.00		0.00	0.00			
180	1	12.05	36.49	7.30	7.24	0.49	0.10	0.11	0.00	0.00	0.00	1.78	1.78	1.55		
	2	12.07	36.12	7.22		0.51	0.10		0.00	0.00		1.07	1.07			
	3	12.08	35.99	7.20		0.65	0.13		0.00	0.00		1.80	1.80			

ตารางที่ ๓30 ผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 0.1 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่ออนาที พีเอช 12.0

ความเข้มข้นของเฮกซะไซยาโนโคบอลเตต (รูปไซยาไนด์) 500 ไมโครโมลาร์ ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เหลือ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เหลือ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เหลือ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เหลือ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	12.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.05	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.05	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.05	1.23	0.25	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01		
	2	12.05	1.36	0.27		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.01
	3	12.05	1.45	0.29		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.01
45	1	12.04	3.78	0.76	0.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.03	4.01	0.80		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.03	5.42	1.08		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
60	1	12.03	7.81	1.56	1.54	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.01		
	2	12.03	8.02	1.60		0.03	0.01		0.00	0.00		0.00	0.00		0.03	0.01
	3	12.03	7.32	1.46		0.05	0.01		0.00	0.00		0.00	0.00		0.02	0.00
90	1	12.02	10.34	2.07	2.01	0.00	0.00	0.00	0.11	0.02	0.03	0.06	0.01	0.01		
	2	12.02	9.98	2.00		0.00	0.00		0.15	0.03		0.06	0.01			
	3	12.01	9.84	1.97		0.00	0.00		0.13	0.03		0.05	0.01			
120	1	12.01	14.34	2.87	2.95	1.21	0.24	0.15	0.00	0.00	0.00	0.06	0.01	0.00		
	2	12.01	15.05	3.01		0.98	0.20		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	12.04	14.88	2.98		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
180	1	12.04	19.01	3.80	3.79	2.01	0.40	0.39	0.21	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00		
	2	12.03	19.11	3.82		1.99	0.40		0.22	0.04		0.00	0.00			
	3	12.03	18.67	3.73		1.87	0.37		0.00	0.00		0.00	0.00			

ตารางที่ ผ31 ผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 0.5 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0

ความเข้มข้นของเฮกซะไซยานโคบอลเตต (รูปไซยาไนด์) 500 ไมโครโมลาร์ ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	12.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.12	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.12	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.12	1.34	0.27	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.12	1.45	0.29		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	12.12	2.67	0.53		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
45	1	12.11	4.58	0.92	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.12	4.78	0.96		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	12.11	5.06	1.01		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
60	1	12.10	8.02	1.60	1.69	0.00	0.00	0.00	0.10	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00		
	2	12.09	8.93	1.79		0.00	0.00		0.09	0.02		0.00	0.00			
	3	12.09	8.35	1.67		0.00	0.00		0.10	0.02		0.00	0.00			
90	1	12.10	11.48	2.30	2.46	0.00	0.00	0.12	0.97	0.19	0.20	0.00	0.00	0.00		
	2	12.1	12.45	2.49		0.79	0.16		1.01	0.20		0.00	0.00			
	3	12.1	13.02	2.60		1.08	0.22		1.00	0.20		0.00	0.00			
120	1	12.07	19.89	3.98	4.03	1.82	0.36	0.35	0.97	0.19	0.06	0.00	0.00	0.00		
	2	12.08	20.43	4.09		2.07	0.41		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	12.08	20.11	4.02		1.34	0.27		0.00	0.00		0.00	0.00			
180	1	12.07	23.44	4.69	4.73	2.78	0.56	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.07	23.96	4.79		2.07	0.41		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	12.07	23.56	4.71		2.56	0.51		0.00	0.00		0.00	0.00			

ตารางที่ ผ32 ผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของเฮกซะไฮยานโนโคบอลเตต (รูปไฮยานโนด์) 500 ไมโครโมลาร์ อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไฮยานโนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไฮยานโนด์	% เหลือ คงเหลือ ไฮยานโนด์	ไฮยานเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไฮยานเนต	% เหลือ คงเหลือ ไฮยานเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เหลือ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เหลือ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	12.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.05	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.05	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.05	2.54	0.51	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01		
	2	12.05	2.97	0.59		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.08	0.02
	3	12.05	3.02	0.60		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.07		0.01	
45	1	12.03	10.54	2.11	2.11	0.00	0.00	0.00	0.10	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00		
	2	12.03	10.12	2.02		0.00	0.00		0.00	0.09		0.02	0.00		0.00	
	3	12.04	11.06	2.21		0.00	0.00		0.00	0.08		0.02	0.00		0.00	
60	1	12.02	15.68	3.14	3.15	0.09	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.66	0.13	0.14		
	2	12.02	15.73	3.15		0.09	0.02		0.00	0.00		0.00	0.71		0.14	
	3	12.01	15.82	3.16		0.12	0.02		0.00	0.00		0.00	0.68		0.14	
90	1	12.00	25.67	5.13	5.12	0.43	0.09	0.08	0.31	0.06	0.06	0.00	0.00	0.00		
	2	12.01	25.01	5.00		0.33	0.07		0.32	0.06		0.00	0.00			
	3	12.01	26.12	5.22		0.37	0.07		0.29	0.06		0.00	0.00			
120	1	12.00	30.11	6.02	6.13	0.51	0.10	0.11	0.12	0.02	0.03	0.11	0.02	0.02		
	2	12.00	31.03	6.21		0.57	0.11		0.11	0.02		0.12	0.02			
	3	12.00	30.87	6.17		0.54	0.11		0.18	0.04		0.09	0.02			
180	1	11.99	37.62	7.52	7.57	0.56	0.11	0.12	0.98	0.20	0.20	0.22	0.04	0.04		
	2	11.98	37.29	7.46		0.76	0.15		1.01	0.20		0.23	0.05			
	3	11.98	38.64	7.73		0.43	0.09		1.04	0.21		0.19	0.04			



ตารางที่ ผ33 ผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.5 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0

ความเข้มข้นของเฮกซะไซยานโคบอลเตต (รูปไซยาไนด์) 500 ไมโครโมลาร์ ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนโตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนโตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนโตรท์		
0	1	12.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.11	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.11	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.11	3.34	0.67	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.11	3.71	0.74		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	12.11	3.52	0.70		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
45	1	12.10	11.23	2.25	2.33	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.11	11.63	2.33		0.07	0.01		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	12.10	12.03	2.41		0.09	0.02		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
60	1	12.07	16.71	3.34	3.44	0.56	0.11	0.05	0.18	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00		
	2	12.08	17.82	3.56		0.13	0.03		0.20	0.04		0.00	0.00			
	3	12.08	17.07	3.41		0.11	0.02		0.21	0.04		0.00	0.00			
90	1	12.07	27.81	5.56	5.60	0.54	0.11	0.08	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00		
	2	12.07	28.07	5.61		0.34	0.07		0.25	0.05		0.00	0.00			
	3	12.06	28.11	5.62		0.33	0.07		0.27	0.05		0.00	0.00			
120	1	12.04	32.91	6.58	6.45	0.56	0.11	0.12	0.00	0.00	0.00	0.31	0.06	0.06		
	2	12.04	31.99	6.40		0.62	0.12		0.00	0.00		0.33	0.07			
	3	12.07	31.78	6.36		0.61	0.12		0.00	0.00		0.29	0.06			
180	1	12.03	40.93	8.19	8.03	0.57	0.11	0.13	1.02	0.20	0.20	1.45	0.29	0.25		
	2	12.02	39.56	7.91		0.62	0.12		1.04	0.21		1.06	0.21			
	3	12.06	39.89	7.98		0.74	0.15		1.00	0.20		1.22	0.24			

ตารางที่ ผ34 ผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 2.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0

ความเข้มข้นของเฮกซะไซยานโคบอลเตต (รูปไซยาไนด์) 500 ไมโครโมลาร์ ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เหลือ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เหลือ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เหลือ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เหลือ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	12.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.16	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.16	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.16	3.21	0.64	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.16	3.23	0.65		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	12.16	3.02	0.60		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
45	1	12.14	10.54	2.11	2.07	0.11	0.02	0.01	0.17	0.03	0.04	0.00	0.00	0.00		
	2	12.14	10.35	2.07		0.06	0.01		0.20	0.04		0.00	0.00			
	3	12.15	10.09	2.02		0.04	0.01		0.18	0.04		0.00	0.00			
60	1	12.13	15.78	3.16	3.16	0.28	0.06	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.13	15.61	3.12		0.33	0.07		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	12.12	15.97	3.19		0.12	0.02		0.00	0.00		0.00	0.00			
90	1	12.13	25.49	5.10	5.14	0.44	0.09	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.11	25.76	5.15		0.38	0.08		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	12.10	25.88	5.18		0.58	0.12		0.00	0.00		0.00	0.00			
120	1	12.09	29.01	5.80	5.86	0.66	0.13	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.13	29.43	5.89		0.61	0.12		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	12.14	29.44	5.89		0.59	0.12		0.00	0.00		0.00	0.00			
180	1	12.14	36.78	7.36	7.27	1.88	0.38	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.13	36.32	7.26		1.76	0.35		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	12.12	35.88	7.18		2.06	0.41		0.00	0.00		0.00	0.00			

ตารางที่ ผ35 ผลของพีเอช 9.5 ความเข้มข้นของเตตระไฮยาโนนิกเกลเลต (รูปโซยานด์) 100 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	โซยานด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยานด์	% เหลือ คงเหลือ โซยานด์	โซยานด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยานด์	% เหลือ คงเหลือ โซยานด์	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เหลือ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เหลือ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	9.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	9.56	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	9.56	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	9.56	43.56	43.56	43.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	9.56	43.78	43.78		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	9.56	42.89	42.89		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
45	1	9.56	49.62	49.62	49.28	2.04	2.04	2.03	0.11	0.11	0.08	1.34	1.34	0.62		
	2	9.54	49.18	49.18		1.99	1.99		0.05	0.05		0.34	0.34			
	3	9.56	49.05	49.05		2.07	2.07		0.07	0.07		0.19	0.19			
60	1	9.55	53.38	53.38	53.37	3.39	3.39	3.25	0.09	0.09	0.10	0.00	0.00	0.00		
	2	9.56	26.68	53.68		3.43	3.43		0.13	0.13		0.00	0.00			
	3	9.55	54.06	53.06		2.94	2.94		0.08	0.08		0.00	0.00			
90	1	9.53	54.38	54.38	54.44	8.68	8.68	8.14	0.65	0.65	0.78	0.91	0.91	0.34		
	2	9.56	54.71	54.71		8.44	8.44		0.69	0.69		0.12	0.12			
	3	9.55	54.24	54.24		7.31	7.31		0.99	0.99		0.00	0.00			
120	1	9.55	55.41	55.41	55.68	14.34	14.34	16.14	0.66	0.66	0.67	0.00	0.00	0.75		
	2	9.56	55.82	55.82		18.45	18.45		0.65	0.65		0.86	0.86			
	3	9.54	55.82	55.82		15.64	15.64		0.71	0.71		1.38	1.38			
180	1	9.54	50.57	50.57	56.54	19.57	19.57	18.85	0.71	0.71	0.73	0.11	0.11	0.04		
	2	9.55	52.33	52.33		18.55	18.55		0.81	0.81		0.00	0.00			
	3	9.53	66.71	66.71		18.44	18.44		0.66	0.66		0.00	0.00			

ตารางที่ ผ36 ผลของพีเอช 9.5 ความเข้มข้นของเตตระไฮยาโนนิกเกลเลต (รูปไฮยาไนต์) 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไฮยาไนต์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไฮยาไนต์	% เจลลี่ คงเหลือ ไฮยาไนต์	ไฮยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไฮยาเนต	% เจลลี่ คงเหลือ ไฮยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	9.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	9.65	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	9.65	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	9.65	114.21	22.84	22.74	4.67	0.93	0.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	9.65	113.68	22.74		5.07	1.01		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	9.63	113.27	22.65		5.11	1.02		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
45	1	9.65	126.29	25.26	25.21	10.13	2.03	2.29	0.14	0.03	0.05	0.00	0.00	0.00		
	2	9.63	125.84	25.17		12.45	2.49		0.29	0.06		0.00	0.00			
	3	9.64	126.03	25.21		11.76	2.35		0.32	0.06		0.00	0.00			
60	1	9.65	131.03	26.21	26.56	14.31	2.86	2.84	1.97	0.39	0.28	0.18	0.04	0.08		
	2	9.62	133.49	26.70		13.99	2.80		0.99	0.20		1.04	0.21			
	3	9.64	133.82	26.76		14.33	2.87		1.23	0.25		0.00	0.00			
90	1	9.65	148.92	29.78	29.89	15.09	3.02	3.39	1.05	0.21	0.18	0.00	0.00	0.00		
	2	9.65	148.95	29.79		17.68	3.54		0.69	0.14		0.00	0.00			
	3	9.64	150.54	30.11		18.09	3.62		0.99	0.20		0.00	0.00			
120	1	9.62	181.23	36.25	36.65	18.53	3.71	3.55	0.67	0.13	0.23	3.03	0.61	0.30		
	2	9.63	184.33	36.87		19.09	3.82		1.79	0.36		1.54	0.31			
	3	9.63	184.18	36.84		15.66	3.13		0.99	0.20		0.00	0.00			
180	1	9.64	203.15	40.63	40.58	19.08	3.82	3.18	1.66	0.33	0.35	3.48	0.70	0.83		
	2	9.62	202.17	40.43		16.47	3.29		1.96	0.39		5.05	1.01			
	3	9.6	203.45	40.69		12.11	2.42		1.67	0.33		4.95	0.78			

ตารางที่ ๓37 ผลของพีเอช 9.5 ความเข้มข้นของเตตระไฮยาโนนิกเกิลเลต (รูปโซยานด์) 1,000 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	โซยานด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยานด์	% เหลือ คงเหลือ โซยานด์	โซยานด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยานด์	% เหลือ คงเหลือ โซยานด์	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เหลือ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เหลือ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	9.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	9.54	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	9.54	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	9.54	185.41	18.54	19.31	0.45	0.05	0.10	0.33	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00		
	2	9.53	195.56	19.56		1.68	0.17		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	9.54	198.32	19.83		0.99	0.10		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
45	1	9.54	210.41	21.04	21.02	0.44	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	9.52	210.56	21.06		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	9.51	209.64	20.96		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
60	1	9.53	231.29	23.13	23.16	0.97	0.10	0.09	0.46	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00		
	2	9.53	231.44	23.14		1.79	0.18		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	9.54	232.09	23.21		0.00	0.00		0.21	0.02		0.00	0.00		0.00	
90	1	9.54	253.19	25.32	25.35	2.34	0.23	0.08	0.00	0.00	0.00	0.56	0.06	0.18		
	2	9.53	254.26	25.43		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		2.75	0.28
	3	9.52	253.18	25.32		0.09	0.01		0.00	0.00		0.00	0.00		2.01	0.20
120	1	9.51	300.16	30.02	30.06	0.00	0.00	0.00	4.98	0.50	0.33	0.00	0.00	0.00		
	2	9.52	301.26	30.13		0.00	0.00		5.03	0.50		0.00	0.00		0.00	
	3	9.51	300.27	30.03		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
180	1	9.54	320.14	32.01	32.11	0.45	0.05	0.16	0.00	0.00	0.00	3.89	0.39	0.47		
	2	9.53	321.08	32.11		1.99	0.20		0.00	0.00		0.00	4.03		0.40	
	3	9.51	321.95	32.20		2.45	0.25		0.00	0.00		0.00	6.12		0.61	

ตารางที่ ผ38 ผลของพีเอช 10.5 ความเข้มข้นของเตตระไฮยาโนนิกเกิลเลต (รูปไฮยาโนต์) 100 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไฮยาโนต์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไฮยาโนต์	% เหลือ คงเหลือ ไฮยาโนต์	ไฮยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไฮยาเนต	% เหลือ คงเหลือ ไฮยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เหลือ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เหลือ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	10.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	10.57	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	10.57	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	10.57	25.67	25.67	25.61	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	10.56	26.64	26.64		0.00	0.00		0	0.00		0.00	0.00			
	3	10.57	24.53	24.53		0.00	0.00		0	0.00		0.00	0.00			
45	1	10.56	31.96	31.96	30.96	2.11	2.11	2.60	0.19	0.19	0.27	0.27	0.27	1.39		
	2	10.56	30.45	30.45		2.87	2.87		0.23	0.23		1.81	1.81			
	3	10.57	30.47	30.47		2.83	2.83		0.39	0.39		2.09	2.09			
60	1	10.55	34.84	34.84	35.13	3.44	3.44	3.87	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00		
	2	10.54	35.45	35.45		4.07	4.07		0.13	0.13		0.00	0.00			
	3	10.54	35.09	35.09		4.11	4.11		0.11	0.11		0.00	0.00			
90	1	10.53	37.26	37.26	37.91	9.23	9.23	10.20	0.62	0.62	0.44	0.00	0.00	0.00		
	2	10.53	38.59	38.59		10.93	10.93		0.69	0.69		0.00	0.00			
	3	10.53	37.88	37.88		10.45	10.45		0.00	0.00		0.00	0.00			
120	1	10.55	44.95	44.95	45.24	15.73	15.73	17.42	0.00	0.00	0.44	0.00	0.00	0.00		
	2	10.54	44.78	44.78		18.99	18.99		0.68	0.68		0.00	0.00			
	3	10.55	45.99	45.99		17.53	17.53		0.65	0.65		0.00	0.00			
180	1	10.54	56.71	56.71	55.99	20.65	20.65	21.15	0.91	0.91	0.83	3.79	3.79	4.21		
	2	10.54	54.56	54.56		21.47	21.47		0.81	0.81		4.27	4.27			
	3	10.53	56.71	56.71		21.33	21.33		0.78	0.78		4.56	4.56			

ตารางที่ ๓39 ผลของพีเอช 10.5 ความเข้มข้นของเตตระไฮยานอนิกเกิลเลต (รูปโซยานินด์) 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของ ไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	โซยานินด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยานินด์	% เหลือ คงเหลือ โซยานินด์	โซยานินด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยานินด์	% เหลือ คงเหลือ โซยานินด์	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เหลือ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เหลือ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	10.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	10.56	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	10.56	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	10.54	100.22	20.04	20.13	5.19	1.04	1.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	10.56	101.42	20.28		5.89	1.18		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	10.56	100.25	20.05		4.92	0.98		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
45	1	10.56	110.27	22.05	22.13	10.94	2.19	2.28	0.05	0.01	0.06	0.45	0.09	0.10		
	2	10.56	111.28	22.26		12.04	2.41		0.11	0.02		0.69	0.14			
	3	10.55	110.34	22.07		11.23	2.25		0.74	0.15		1.05	0.08			
60	1	10.55	124.02	24.80	24.80	14.11	2.82	2.86	2.05	0.41	0.20	0.00	0.00	0.00		
	2	10.54	123.89	24.78		14.05	2.81		0.99	0.20		0.00	0.00			
	3	10.54	124.02	24.80		14.68	2.94		0.00	0.00		0.00	0.00			
90	1	10.53	130.27	26.05	26.03	15.08	3.02	3.36	2.35	0.47	0.32	3.44	0.69	0.64		
	2	10.53	130.22	26.04		17.59	3.52		1.49	0.30		2.89	0.58			
	3	10.53	129.89	25.98		17.74	3.55		0.98	0.20		3.28	0.66			
120	1	10.55	146.28	29.26	29.63	18.79	3.76	3.59	0.59	0.12	0.19	0.00	0.00	0.00		
	2	10.54	149.33	29.87		19.03	3.81		2.31	0.46		0.00	0.00			
	3	10.55	148.91	29.78		16.02	3.20		0.00	0.00		0.00	0.00			
180	1	10.54	174.38	34.88	35.64	18.93	3.79	3.32	0.00	0.00	0.36	0.00	0.00	0.00		
	2	10.54	180.17	36.03		17.85	3.57		2.56	0.51		0.00	0.00			
	3	10.53	180.02	36.00		13.05	2.61		2.91	0.58		0.00	0.00			



ตารางที่ ๘40 ผลของพีเอช 10.5 ความเข้มข้นของเตตระไฮยาโนนิกเกิลเลต (รูปโซยานด์) 1,000 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	โซยานด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยานด์	% เหลือ คงเหลือ โซยานด์	โซยานด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยานด์	% เหลือ คงเหลือ โซยานด์	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เหลือ คงเหลือ ไนเตรท	ไนโตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนโตรท์	% เหลือ คงเหลือ ไนโตรท์		
0	1	10.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	10.55	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	10.55	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	10.55	156.02	15.60	15.68	2.13	0.21	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	10.54	157.03	15.70		1.99	0.20		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	10.55	157.22	15.72		3.24	0.32		0.00	0.00		0.00	0.00			
45	1	10.53	171.91	17.19	17.20	1.96	0.20	0.27	0.00	0.00	0.00	0.82	0.08	0.08		
	2	10.54	172.04	17.20		2.95	0.30		0.00	0.00		0.18	0.02			
	3	10.54	172.11	17.21		3.08	0.31		0.00	0.00		1.33	0.13			
60	1	10.54	190.37	19.04	19.05	2.45	0.25	0.29	0.87	0.09	0.05	0.00	0.00	0.00		
	2	10.54	190.01	19.00		2.89	0.29		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	10.53	191.01	19.10		3.27	0.33		0.63	0.06		0.00	0.00			
90	1	10.52	200.12	20.01	20.05	4.69	0.47	0.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	10.53	200.41	20.04		7.89	0.79		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	10.53	201.01	20.10		5.06	0.51		0.00	0.00		0.00	0.00			
120	1	10.52	241.56	24.16	24.13	10.89	1.09	1.20	8.85	0.89	0.84	5.94	0.59	0.55		
	2	10.52	241.01	24.10		12.04	1.20		8.28	0.83		5.37	0.54			
	3	10.52	241.22	24.12		13.01	1.30		8.13	0.81		5.18	0.52			
180	1	10.53	300.21	30.02	30.06	16.78	1.68	1.78	4.56	0.46	0.47	0.00	0.00	0.00		
	2	10.53	300.45	30.05		17.92	1.79		4.64	0.46		0.00	0.00			
	3	10.54	301.27	30.13		18.55	1.86		5.03	0.50		0.00	0.00			

ตารางที่ ๔41 ผลของพีเอช 12.0 ความเข้มข้นของเตตระไฮยาโนนิกเกลเลต (รูปไฮยาไนต์) 100 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไฮยาไนต์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไฮยาไนต์	% เจลลี่ คงเหลือ ไฮยาไนต์	ไฮยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไฮยาเนต	% เจลลี่ คงเหลือ ไฮยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	12.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.05	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.05	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.05	37.22	37.22	37.08	1.23	1.23	2.37	0.00	0.00	0.68	0.00	0.00	0.00		
	2	12.05	37.04	37.04		2.89	2.89		1.06	1.06		0.00	0.00			
	3	12.04	36.99	36.99		2.99	2.99		0.99	0.99		0.00	0.00			
45	1	12.04	43.67	43.67	43.58	5.64	5.64	6.03	3.54	3.54	3.96	2.48	2.48	2.88		
	2	12.04	43.56	43.56		5.67	5.67		4.34	4.34		3.05	3.05			
	3	12.03	43.51	43.51		6.79	6.79		3.99	3.99		3.11	3.11			
60	1	12.03	45.78	45.78	45.66	7.35	7.35	7.96	8.95	8.95	3.02	0.00	0.00	0.00		
	2	12.02	45.66	45.66		7.98	7.98		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	12.02	45.54	45.54		8.56	8.56		0.11	0.11		0.00	0.00			
90	1	12.01	48.61	48.61	48.74	15.73	15.73	16.33	0.43	0.43	0.14	1.56	1.56	1.77		
	2	12.00	48.56	48.56		16.39	16.39		0.00	0.00		1.72	1.72			
	3	12.01	49.04	49.04		16.88	16.88		0.00	0.00		2.03	2.03			
120	1	12.00	58.42	58.42	59.16	19.43	19.43	19.72	0.13	0.13	0.34	0.00	0.00	0.00		
	2	12.00	59.04	59.04		19.21	19.21		0.66	0.66		0.00	0.00			
	3	12.04	60.01	60.01		20.52	20.52		0.23	0.23		0.00	0.00			
180	1	12.04	66.78	66.78	66.12	22.49	22.49	23.74	0.56	0.56	0.46	0.81	0.81	0.94		
	2	12.03	65.49	65.49		23.04	23.04		0.61	0.61		1.04	1.04			
	3	12.03	66.08	66.08		25.69	25.69		0.22	0.22		0.98	0.98			

ตารางที่ ๔๒ ผลของพีเอช 12.0 ความเข้มข้นของเตตระไฮยานอนิกเกล็ด (รูปโซยานด์) 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	โซยานด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยานด์	% เจลลี่ คงเหลือ โซยานด์	โซยานด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยานด์	% เจลลี่ คงเหลือ โซยานด์	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท		
0	1	12.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.01	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.01	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.00	171.23	34.25	34.34	5.79	1.16	1.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.01	172.01	34.40		5.21	1.04		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	12.01	171.83	34.37		5.74	1.15		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
45	1	12.00	185.61	37.12	37.15	11.03	2.21	2.34	0.00	0.00	0.00	3.82	0.76	0.84		
	2	12.00	185.29	37.06		13.09	2.62		0.00	0.00		4.32	0.86			
	3	12.00	186.29	37.26		10.99	2.20		0.00	0.00		4.41	0.88			
60	1	11.99	191.61	38.32	38.19	14.68	2.94	2.90	1.96	0.39	0.40	0.00	0.00	0.00		
	2	11.99	190.36	38.07		14.29	2.86		2.11	0.42		0.00	0.00			
	3	11.98	190.83	38.17		14.55	2.91		1.94	0.39		0.00	0.00			
90	1	11.97	200.71	40.14	40.16	17.65	3.53	3.48	1.98	0.40	0.20	8.93	1.79	1.84		
	2	11.97	200.48	40.10		17.32	3.46		1.02	0.20		9.04	1.81			
	3	11.98	201.18	40.24		17.22	3.44		0.00	0.00		9.64	1.93			
120	1	11.98	226.78	45.36	45.47	17.64	3.53	3.61	1.78	0.36	0.39	0.00	0.00	0.11		
	2	11.98	227.09	45.42		18.88	3.78		2.13	0.43		0.78	0.16			
	3	11.98	228.11	45.62		17.64	3.53		2.01	0.40		0.83	0.17			
180	1	11.96	250.67	50.13	50.16	17.82	3.56	3.86	3.08	0.62	0.41	12.45	2.49	2.43		
	2	11.96	251.41	50.28		19.24	3.85		3.09	0.62		12.06	2.41			
	3	11.97	250.39	50.08		20.88	4.18		0.00	0.00		11.98	2.40			

ตารางที่ ๔43 ผลของพีเอช 12.0 ความเข้มข้นของเตตระไฮยานอนิกเกลเลต (รูปโซยานด์) 1,000 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของโทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	โซยานด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยานด์	% เจลลี่ คงเหลือ โซยานด์	โซยานด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยานด์	% เจลลี่ คงเหลือ โซยานด์	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	12.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.06	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.06	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.06	323.53	32.35	32.36	0.00	0.00	0.00	0.45	0.05	0.15	0.11	0.01	0.08		
	2	12.06	323.18	32.32		0.00	0.00		1.93	0.19		1.06	0.11			
	3	12.04	324.02	32.40		0.00	0.00		2.07	0.21		1.11	0.11			
45	1	12.05	324.51	32.45	32.93	0.49	0.05	0.02	6.04	0.60	0.63	0.00	0.00	0.00		
	2	12.05	326.77	32.68		0.00	0.00		6.11	0.61		0.00	0.00			
	3	12.04	336.49	33.65		0.00	0.00		6.71	0.67		0.00	0.00			
60	1	12.04	330.19	33.02	33.08	0.11	0.01	0.02	0.00	0.00	0.07	4.72	0.47	0.44		
	2	12.03	331.09	33.11		0.48	0.05		0.98	0.10		4.28	0.43			
	3	12.03	331.11	33.11		0.00	0.00		1.08	0.11		4.08	0.41			
90	1	12.03	352.86	35.29	35.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.04	352.91	35.29		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	12.03	352.18	35.22		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00			
120	1	12.00	400.14	40.01	40.06	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	10.45	1.05	1.07		
	2	12.00	400.67	40.07		0.00	0.00		0.00	0.00		10.67	1.07			
	3	12.01	401.03	40.10		2.97	0.30		0.00	0.00		11.04	1.10			
180	1	12.02	451.22	45.12	45.14	0.00	0.00	0.07	0.12	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00		
	2	12.02	451.68	45.17		0.92	0.09		0.24	0.02		0.00	0.00			
	3	12.01	451.23	45.12		1.09	0.11		0.18	0.02		0.00	0.00			

ตารางที่ ๔4 ผลของอัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของเตตระไฮยาโนนิกเกลเลต (รูปไฮยาไนต์) 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไฮยาไนต์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไฮยาไนต์	% เหลือ คงเหลือ ไฮยาไนต์	ไฮยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไฮยาเนต	% เหลือ คงเหลือ ไฮยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เหลือ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เหลือ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	12.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.01	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.01	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.00	171.23	34.25	34.34	5.79	1.16	1.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.01	172.01	34.40		5.21	1.04		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	12.01	171.83	34.37		5.74	1.15		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
45	1	12.00	185.61	37.12	37.15	11.03	2.21	2.34	0.00	0.00	0.00	3.82	0.76	0.84		
	2	12.00	185.29	37.06		13.09	2.62		0.00	0.00		4.32	0.86			
	3	12.00	186.29	37.26		10.99	2.20		0.00	0.00		4.41	0.88			
60	1	11.99	191.61	38.32	38.19	14.68	2.94	2.90	1.96	0.39	0.40	0.00	0.00	0.00		
	2	11.99	190.36	38.07		14.29	2.86		2.11	0.42		0.00	0.00			
	3	11.98	190.83	38.17		14.55	2.91		1.94	0.39		0.00	0.00			
90	1	11.97	200.71	40.14	40.16	17.65	3.53	3.48	1.98	0.40	0.20	8.93	1.79	1.84		
	2	11.97	200.48	40.10		17.32	3.46		1.02	0.20		9.04	1.81			
	3	11.98	201.18	40.24		17.22	3.44		0.00	0.00		9.64	1.93			
120	1	11.98	226.78	45.36	45.47	17.64	3.53	3.61	1.78	0.36	0.39	0.00	0.00	0.11		
	2	11.98	227.09	45.42		18.88	3.78		2.13	0.43		0.78	0.16			
	3	11.98	228.11	45.62		17.64	3.53		2.01	0.40		0.83	0.17			
180	1	11.96	250.67	50.13	50.16	17.82	3.56	3.86	3.08	0.62	0.41	12.45	2.49	2.43		
	2	11.96	251.41	50.28		19.24	3.85		3.09	0.62		12.06	2.41			
	3	11.97	250.39	50.08		20.88	4.18		0.00	0.00		11.98	2.40			

ตารางที่ ๔45 ผลของอัตราการเติมอากาศ 1.0 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของเตตระไฮยาโนนิกเกิลเลต (รูปไฮยาโนต์) 500 ไมโครโมลาร์  
ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไฮยาโนต์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไฮยาโนต์	% เหลือ คงเหลือ ไฮยาโนต์	ไฮยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไฮยาเนต	% เหลือ คงเหลือ ไฮยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เหลือ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เหลือ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	12.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.05	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.05	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.03	180.19	36.04	36.11	5.78	1.16	1.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.04	181.04	36.21		5.32	1.06		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	12.04	180.45	36.09		5.01	1.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
45	1	12.03	185.55	37.11	37.15	12.11	2.42	2.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.03	186.04	37.21		12.85	2.57		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	12.01	185.64	37.13		12.93	2.59		0.00	0.00		0.00	0.00			
60	1	12.04	200.12	40.02	40.14	14.99	3.00	3.01	0.86	0.17	0.18	0.00	0.00	0.00		
	2	12.04	200.65	40.13		15.04	3.01		0.93	0.19		0.00	0.00			
	3	12.05	201.31	40.26		15.11	3.02		0.89	0.18		0.00	0.00			
90	1	12.03	205.63	41.13	41.14	14.57	2.91	3.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42		
	2	12.02	206.12	41.22		15.99	3.20		0.00	0.00		3.16	0.63			
	3	12.02	205.33	41.07		17.82	3.56		0.00	0.00		3.21	0.64			
120	1	12.01	230.17	46.03	46.14	17.04	3.41	3.48	0.00	0.00	0.00	4.02	0.80	0.82		
	2	12.01	231.66	46.33		17.83	3.57		0.00	0.00		4.23	0.85			
	3	12.01	230.34	46.07		17.39	3.48		0.00	0.00		4.01	0.80			
180	1	12.01	261.29	52.26	52.44	17.38	3.48	3.62	0.00	0.00	0.00	7.11	1.42	1.44		
	2	12.01	262.17	52.43		17.99	3.60		0.00	0.00		7.25	1.45			
	3	12.00	263.16	52.63		18.93	3.79		0.00	0.00		7.29	1.46			

**ตารางที่ ๔๖** ผลของอัตราการเติมอากาศ 2.0 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของเตตระไฮยาโนนิกเกิลเลต (รูปโซยาไนต์) 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	โซยาไนต์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยาไนต์	% เฉลี่ย คงเหลือ โซยาไนต์	โซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยาเนต	% เฉลี่ย คงเหลือ โซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เฉลี่ย คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เฉลี่ย คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	12.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.10	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.10	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.09	175.43	35.09	35.13	5.89	1.18	1.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.10	175.62	35.12		5.43	1.09		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	12.10	175.92	35.18		5.78	1.16		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
45	1	12.09	185.38	37.08	37.07	12.01	2.40	2.41	0.00	0.00	0.00	0.62	0.12	0.11		
	2	12.09	185.49	37.10		12.10	2.42		0.00	0.00		0.52	0.10			
	3	12.10	185.23	37.05		11.99	2.40		0.00	0.00		0.45	0.09			
60	1	12.09	195.67	39.13	39.17	15.39	3.08	3.09	0.89	0.18	0.18	0.00	0.00	0.00		
	2	12.09	196.01	39.20		15.33	3.07		0.72	0.14		0.00	0.00			
	3	12.08	195.83	39.17		15.67	3.13		1.04	0.21		0.00	0.00			
90	1	12.08	201.21	40.24	40.20	18.93	3.79	3.58	0.00	0.00	0.00	1.03	0.21	0.18		
	2	12.08	200.83	40.17		16.91	3.38		0.00	0.00		0.72	0.14			
	3	12.08	200.89	40.18		17.81	3.56		0.00	0.00		0.91	0.18			
120	1	12.07	225.67	45.13	45.13	15.89	3.18	3.29	4.02	0.80	0.84	0.00	0.00	0.15		
	2	12.07	225.93	45.19		16.49	3.30		4.39	0.88		0.71	0.14			
	3	12.09	225.38	45.08		16.99	3.40		4.12	0.82		1.48	0.30			
180	1	12.08	255.04	51.01	51.10	17.39	3.48	3.47	0.81	0.16	0.17	5.18	1.04	1.01		
	2	12.09	255.38	51.08		16.88	3.38		0.82	0.16		5.04	1.01			
	3	12.10	256.01	51.20		17.83	3.57		0.91	0.18		4.89	0.98			



ตารางที่ ๗47 ผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 0.1 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของเตตระไฮยานอนิกเกลเลต (รูปโซยานินด์) 500 ไมโครโมลาร์ ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	โซยานินด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยานินด์	% เฉลี่ย คงเหลือ โซยานินด์	โซยานเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยานเนต	% เฉลี่ย คงเหลือ โซยานเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เฉลี่ย คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เฉลี่ย คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	12.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.08	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.08	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.08	98.34	19.67	19.71	2.11	0.42	0.46	0.00	0.00	0.00	0.33	0.07	0.03		
	2	12.07	99.03	19.81		2.73	0.55		0.00	0.00		0.19	0.04			
	3	12.08	98.26	19.65		1.99	0.40		0.00	0.00		0.00	0.00			
45	1	12.01	101.27	20.25	20.10	2.34	0.47	0.45	0.11	0.02	0.04	4.17	0.83	0.81		
	2	12.02	100.23	20.05		2.47	0.49		0.51	0.10		4.09	0.82			
	3	12.01	100.03	20.01		1.87	0.37		0.00	0.00		3.89	0.78			
60	1	12.07	116.38	23.28	23.28	3.76	0.75	0.76	1.33	0.27	0.25	0.00	0.00	0.02		
	2	12.07	116.49	23.30		3.68	0.74		2.03	0.41		0.28	0.06			
	3	12.06	116.38	23.28		4.01	0.80		0.42	0.08		0.00	0.00			
90	1	12.06	127.03	25.41	25.40	6.75	1.35	1.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.06	126.89	25.38		6.55	1.31		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	12.05	127.12	25.42		7.12	1.42		0.00	0.00		0.00	0.00			
120	1	12.02	137.84	27.57	27.47	7.89	1.58	1.82	0.91	0.18	0.26	6.98	1.40	1.23		
	2	12.03	137.21	27.44		8.45	1.69		1.56	0.31		5.89	1.18			
	3	12.04	136.99	27.40		10.91	2.18		1.36	0.27		5.58	1.12			
180	1	12.03	150.12	30.02	30.06	11.05	2.21	2.33	0.96	0.19	0.13	0.39	0.08	0.11		
	2	12.02	150.34	30.07		11.83	2.37		1.02	0.20		0.28	0.06			
	3	12.01	150.37	30.07		12.06	2.41		0.00	0.00		1.04	0.21			

ตารางที่ ๒48 ผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 0.5 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที่ พีเอช 12.0  
ความเข้มข้นของเตตระไฮยานอนิกเกิลเลต (รูปไฮยานินด์) 500 ไมโครโมลาร์ ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไฮยานินด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไฮยานินด์	% เหลือ คงเหลือ ไฮยานินด์	ไฮยานินด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไฮยานินด์	% เหลือ คงเหลือ ไฮยานินด์	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เหลือ คงเหลือ ไนเตรท	ไนโตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนโตรท์	% เหลือ คงเหลือ ไนโตรท์		
0	1	12.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.10	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.10	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.10	150.23	30.05	30.02	6.11	1.22	1.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.10	150.24	30.05		5.89	1.18		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	12.09	149.87	29.97		5.07	1.01		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
45	1	12.09	166.28	33.26	33.28	9.03	1.81	1.90	0.12	0.02	0.01	0.55	0.11	0.10		
	2	12.07	165.89	33.18		9.46	1.89		0.00	0.00		0.41	0.08			
	3	12.07	167.04	33.41		10.05	2.01		0.08	0.02		0.49	0.10			
60	1	12.08	171.74	34.35	34.34	11.23	2.25	2.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06		
	2	12.06	171.38	34.28		11.14	2.23		0.00	0.00		0.89	0.18			
	3	12.06	172.03	34.41		10.88	2.18		0.00	0.00		0.00	0.00			
90	1	12.03	176.88	35.38	35.39	15.49	3.10	3.03	0.22	0.04	0.04	1.01	0.20	0.21		
	2	12.03	176.98	35.40		14.89	2.98		0.17	0.03		0.99	0.20			
	3	12.02	177.03	35.41		15.04	3.01		0.19	0.04		1.21	0.24			
120	1	12.01	192.33	38.47	38.92	16.75	3.35	3.31	0.00	0.00	0.04	2.78	0.56	0.30		
	2	12.00	192.85	38.57		16.23	3.25		0.34	0.07		0.00	0.00			
	3	12.03	198.66	39.73		16.74	3.35		0.33	0.07		1.65	0.33			
180	1	12.04	211.44	42.29	42.31	18.27	3.65	3.61	0.00	0.00	0.00	0.98	0.20	0.14		
	2	12.02	211.87	42.37		18.76	3.75		0.00	0.00		1.04	0.21			
	3	12.01	211.36	42.27		17.09	3.42		0.00	0.00		0.11	0.02			

ตารางที่ ๗49 ผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0  
ความเข้มข้นของเตตระไฮยานอนิกเกลเลต (รูปไฮยานอนด์) 500 ไมโครโมลาร์ ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไฮยานอนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไฮยานอนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไฮยานอนด์	ไฮยานอนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไฮยานอนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไฮยานอนด์	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	12.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.01	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.01	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.00	220.81	44.16	44.21	5.79	1.16	1.12	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.05		
	2	12.01	219.98	44.00		5.21	1.04		0.00	0.00		0.81	0.16			
	3	12.01	222.43	44.49		5.74	1.15		0.00	0.00		0.00	0.00			
45	1	12.00	250.67	50.13	51.22	11.03	2.21	2.34	0.00	0.00	0.00	1.01	0.20	0.19		
	2	12.00	259.29	51.86		13.09	2.62		0.00	0.00		1.41	0.28			
	3	12.00	258.41	51.68		10.99	2.20		0.00	0.00		0.45	0.09			
60	1	11.99	243.29	48.66	48.96	14.68	2.94	2.90	1.96	0.39	0.13	0.00	0.00	0.03		
	2	11.99	248.31	49.66		14.29	2.86		0.00	0.00		0.38	0.08			
	3	11.98	242.83	48.57		14.55	2.91		0.00	0.00		0.12	0.02			
90	1	11.97	257.64	51.53	52.55	17.65	3.53	3.48	1.98	0.40	0.20	0.00	0.00	0.00		
	2	11.97	260.48	52.10		17.32	3.46		1.02	0.20		0.00	0.00			
	3	11.98	270.13	54.03		17.22	3.44		0.00	0.00		0.00	0.00			
120	1	11.98	289.54	57.91	58.07	17.64	3.53	3.61	0.78	0.16	0.19	3.15	0.63	0.60		
	2	11.98	290.34	58.07		18.88	3.78		2.13	0.43		2.89	0.58			
	3	11.98	291.11	58.22		17.64	3.53		0.00	0.00		3.01	0.60			
180	1	11.96	319.08	63.82	64.12	17.82	3.56	3.86	0.00	0.00	0.21	0.22	0.04	0.03		
	2	11.96	320.42	64.08		19.24	3.85		3.09	0.62		0.17	0.03			
	3	11.97	322.28	64.46		20.88	4.18		0.00	0.00		0.00	0.00			

ตารางที่ ๕50 ผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.5 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของเตตระไฮยานิกเกิลเลต (รูปไฮยาไนต์) 500 ไมโครโมลาร์ ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไฮยาไนต์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไฮยาไนต์	% เหลือ คงเหลือ ไฮยาไนต์	ไฮยานิต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไฮยานิต	% เหลือ คงเหลือ ไฮยานิต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เหลือ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เหลือ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	12.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.06	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.06	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.06	172.16	34.43	34.43	6.91	1.38	1.39	0.34	0.07	0.03	0.00	0.00	0.00		
	2	12.04	171.89	34.38		7.12	1.42		0.12	0.02		0.00	0.00			
	3	12.05	172.47	34.49		6.81	1.36		0.00	0.00		0.00	0.00			
45	1	12.05	192.61	38.52	38.46	12.59	2.52	2.45	0.81	0.16	0.12	0.12	0.02	0.05		
	2	12.04	191.78	38.36		12.31	2.46		1.01	0.20		0.56	0.11			
	3	12.05	192.56	38.51		11.78	2.36		0.00	0.00		0.00	0.00			
60	1	12.03	211.38	42.28	42.32	13.99	2.80	2.78	0.00	0.00	0.22	0.64	0.13	0.04		
	2	12.03	211.39	42.28		13.87	2.77		1.53	0.31		0.00	0.00			
	3	12.02	212.01	42.40		13.88	2.78		1.81	0.36		0.00	0.00			
90	1	12.02	217.88	43.58	43.48	16.91	3.38	3.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.02	217.03	43.41		16.33	3.27		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	12.01	217.27	43.45		16.82	3.36		0.00	0.00		0.00	0.00			
120	1	12.00	238.01	47.60	47.69	17.21	3.44	3.48	2.11	0.42	0.41	1.29	0.26	0.24		
	2	12.00	239.01	47.80		17.39	3.48		2.07	0.41		1.31	0.26			
	3	12.01	238.26	47.65		17.54	3.51		1.99	0.40		0.99	0.20			
180	1	12.04	261.28	52.26	52.34	22.1	4.42	4.23	0.48	0.10	0.06	0.97	0.19	0.13		
	2	12.05	261.89	52.38		20.43	4.09		0.45	0.09		1.02	0.20			
	3	12.03	261.95	52.39		20.88	4.18		0.00	0.00		0.00	0.00			

ตารางที่ ๕๕๑ ผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 2.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่ออนาที พีเอช 12.0  
ความเข้มข้นของเตตระไฮยานอนิกเกลเลต (รูปไฮยานอนด์) 500 ไมโครโมลาร์ ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไฮยานอนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไฮยานอนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไฮยานอนด์	ไฮยานอนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไฮยานอนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไฮยานอนด์	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	12.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.09	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.09	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.09	165.48	33.10	33.12	4.32	0.86	0.88	0.61	0.12	0.24	0.00	0.00	0.00		
	2	12.08	166.12	33.22		4.85	0.97		1.51	0.30		0.00	0.00			
	3	12.08	165.26	33.05		3.99	0.80		1.52	0.30		0.00	0.00			
45	1	12.06	186.34	37.27	37.34	6.98	1.40	1.10	2.01	0.40	0.27	1.01	0.20	0.13		
	2	12.07	187.03	37.41		6.34	1.27		0.00	0.00		0.93	0.19			
	3	12.06	186.78	37.36		3.21	0.64		2.11	0.42		0.00	0.00			
60	1	12.07	200.31	40.06	40.14	7.88	1.58	1.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.07	200.93	40.19		6.98	1.40		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	12.08	200.83	40.17		7.27	1.45		0.00	0.00		0.00	0.00			
90	1	12.05	216.28	43.26	43.16	8.99	1.80	1.99	1.01	0.20	0.19	0.51	0.10	0.08		
	2	12.05	215.89	43.18		10.38	2.08		0.96	0.19		0.62	0.12			
	3	12.06	215.22	43.04		10.44	2.09		0.91	0.18		0.00	0.00			
120	1	12.04	223.18	44.64	44.59	11.21	2.24	2.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.04	222.18	44.44		11.76	2.35		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	12.03	223.46	44.69		12.01	2.40		0.00	0.00		0.00	0.00			
180	1	12.01	241.09	48.22	48.21	12.31	2.46	2.52	2.46	0.49	0.32	1.01	0.20	0.21		
	2	12.01	240.89	48.18		12.48	2.50		2.31	0.46		1.11	0.22			
	3	12.02	241.21	48.24		13.04	2.61		0.00	0.00		0.98	0.20			

ตารางที่ ๕๒ ผลของพีเอช 9.5 ความเข้มข้นของสารประกอบผสม (รูปไซยาไนด์) 100 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	9.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	9.60	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	9.60	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	9.60	26.54	26.54	26.52	0.00	0.00	0.00	1.34	1.34	1.22	0.00	0.00	0.00		
	2	9.60	26.83	26.83		0.00	0.00		1.25	1.25		0.00	0.00			
	3	9.60	26.19	26.19		0.00	0.00		1.06	1.06		0.00	0.00			
45	1	9.59	31.03	31.03	31.36	0.65	0.65	0.64	2.03	2.03	2.03	0.00	0.00	0.00		
	2	9.59	32.05	32.05		0.71	0.71		2.10	2.10		0.00	0.00			
	3	9.56	31.01	31.01		0.56	0.56		1.95	1.95		0.00	0.00			
60	1	9.59	32.44	32.44	32.15	0.79	0.79	0.83	1.02	1.02	0.97	0.04	0.04	0.05		
	2	9.58	31.48	31.48		0.83	0.83		1.88	1.88		0.06	0.06			
	3	9.58	32.54	32.54		0.88	0.88		0.00	0.00		0.06	0.06			
90	1	9.57	34.39	34.39	34.35	1.76	1.76	1.66	2.77	2.77	2.68	0.00	0.00	0.00		
	2	9.57	33.98	33.98		1.88	1.88		2.58	2.58		0.00	0.00			
	3	9.57	34.67	34.67		1.34	1.34		2.68	2.68		0.00	0.00			
120	1	9.56	40.23	40.23	40.30	2.05	2.05	2.48	0.00	0.00	0.00	5.67	5.67	5.77		
	2	9.56	40.14	40.14		2.54	2.54		0.00	0.00		5.74	5.74			
	3	9.55	40.54	40.54		2.86	2.86		0.00	0.00		5.89	5.89			
180	1	9.53	44.13	44.13	44.45	3.06	3.06	3.34	4.33	4.33	4.35	2.32	2.32	2.20		
	2	9.54	44.87	44.87		3.78	3.78		4.38	4.38		2.11	2.11			
	3	9.53	44.36	44.36		3.19	3.19		4.35	4.35		2.16	2.16			

ตารางที่ ๕53 ผลของพีเอช 9.5 ความเข้มข้นของสารประกอบผสม (รูปโซయాไนต์) 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	โซయాไนต์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซయాไนต์	% เจลลี่ คงเหลือ โซయాไนต์	โซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยาเนต	% เจลลี่ คงเหลือ โซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	9.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	9.55	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	9.55	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	9.55	130.12	26.02	25.98	3.24	0.65	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	9.55	129.15	25.83		3.44	0.69		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	9.55	130.43	26.09		3.12	0.62		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
45	1	9.54	135.67	27.13	27.53	6.54	1.31	1.30	0.56	0.11	0.11	1.44	0.29	0.30		
	2	9.54	138.46	27.69		6.12	1.22		0.60	0.12		1.57	0.31			
	3	9.53	138.77	27.75		6.89	1.38		0.47	0.09		1.56	0.31			
60	1	9.53	143.32	28.66	28.75	10.21	2.04	2.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	9.53	144.01	28.80		10.43	2.09		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	9.53	143.89	28.78		10.96	2.19		0.00	0.00		0.00	0.00			
90	1	9.53	145.61	29.12	28.97	11.45	2.29	2.30	1.44	0.29	0.29	0.48	0.10	0.10		
	2	9.52	144.23	28.85		11.76	2.35		1.48	0.30		0.50	0.10			
	3	9.52	144.78	28.96		11.23	2.25		1.50	0.30		0.49	0.10			
120	1	9.51	149.05	29.81	29.67	12.33	2.47	2.49	0.58	0.12	0.08	0.00	0.00	0.00		
	2	9.51	147.66	29.53		12.67	2.53		0.55	0.11		0.00	0.00			
	3	9.50	148.39	29.68		12.41	2.48		0.00	0.00		0.00	0.00			
180	1	9.53	156.69	31.34	31.13	15.66	3.13	3.10	2.45	0.49	0.48	4.29	0.86	0.84		
	2	9.53	154.33	30.87		15.34	3.07		2.62	0.52		4.12	0.82			
	3	9.53	155.93	31.19		15.44	3.09		2.17	0.43		4.22	0.84			



ตารางที่ ๕๕๔ ผลของพีเอช 9.5 ความเข้มข้นของสารประกอบผสม (รูปโซยาไนต์) 1,000 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	โซยาไนต์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยาไนต์	% เจลลี่ คงเหลือ โซยาไนต์	โซยานेंट (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยานेंट	% เจลลี่ คงเหลือ โซยานेंट	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนโตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนโตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนโตรท์		
0	1	9.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	9.57	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	9.57	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	9.57	210.34	21.03	21.06	0.56	0.06	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	9.57	210.65	21.07		1.25	0.13		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	9.57	210.67	21.07		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
45	1	9.55	220.19	22.02	22.06	0.98	0.10	0.10	1.97	0.39	0.28	0.18	0.04	0.08		
	2	9.56	220.67	22.07		1.78	0.18		0.99	0.20		1.04	0.21			
	3	9.56	221.01	22.10		0.32	0.03		1.23	0.25		0.00	0.00			
60	1	9.53	230.16	23.02	23.06	1.22	0.12	0.13	1.05	0.21	0.18	0.00	0.00	0.00		
	2	9.54	230.45	23.05		1.26	0.13		0.69	0.14		0.00	0.00			
	3	9.54	231.04	23.10		1.27	0.13		0.99	0.20		0.00	0.00			
90	1	9.52	240.17	24.02	24.07	1.56	0.16	0.16	0.00	0.00	0.44	0.00	0.00	0.00		
	2	9.53	241.01	24.10		1.54	0.15		0.68	0.68		0.00	0.00			
	3	9.52	240.77	24.08		1.58	0.16		0.65	0.65		0.00	0.00			
120	1	9.53	240.25	24.03	24.12	1.99	0.20	0.20	0.91	0.91	0.83	3.79	3.79	4.21		
	2	9.53	241.28	24.13		2.01	0.20		0.81	0.81		4.27	4.27			
	3	9.51	242.19	24.22		2.00	0.20		0.78	0.78		4.56	4.56			
180	1	9.53	270.34	27.03	27.07	2.18	0.22	0.22	4.98	0.50	0.33	0.00	0.00	0.00		
	2	9.53	271.03	27.10		2.20	0.22		5.03	0.50		0.00	0.00			
	3	9.54	270.78	27.08		2.19	0.22		0.00	0.00		0.00	0.00			

ตารางที่ ๕55 ผลของพีเอช 10.5 ความเข้มข้นของสารประกอบผสม (รูปโซยานินด์) 100 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	โซยานินด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยานินด์	% เจลลี่ คงเหลือ โซยานินด์	โซยานินด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยานินด์	% เจลลี่ คงเหลือ โซยานินด์	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	10.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	10.60	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	10.60	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	10.60	18.94	18.94	18.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	10.60	18.88	18.88		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	10.60	19.01	19.01		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
45	1	10.59	26.89	26.89	27.28	0.23	0.23	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	10.60	27.92	27.92		0.18	0.18		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	10.60	27.04	27.04		0.21	0.21		0.00	0.00		0.00	0.00			
60	1	10.59	33.02	33.02	33.01	0.32	0.32	0.37	6.04	1.21	1.26	0.00	0.00	0.00		
	2	10.59	32.89	32.89		0.45	0.45		6.11	1.22		0.00	0.00			
	3	10.58	33.11	33.11		0.33	0.33		6.71	1.34		0.00	0.00			
90	1	10.58	35.67	35.67	35.52	0.54	0.54	0.57	0.00	0.00	0.14	4.72	0.47	0.44		
	2	10.57	35.02	35.02		0.58	0.58		0.98	0.20		4.28	0.43			
	3	10.57	35.88	35.88		0.59	0.59		1.08	0.22		4.08	0.41			
120	1	10.55	40.45	40.45	40.21	1.08	1.08	1.28	2.35	0.47	0.32	3.44	0.69	0.64		
	2	10.55	39.98	39.98		0.99	0.99		1.49	0.30		2.89	0.58			
	3	10.56	40.21	40.21		1.76	1.76		0.98	0.20		3.28	0.66			
180	1	10.54	44.23	44.23	44.74	2.89	2.89	3.05	0.59	0.12	0.19	0.00	0.00	0.00		
	2	10.54	44.97	44.97		3.01	3.01		2.31	0.46		0.00	0.00			
	3	10.55	45.03	45.03		3.25	3.25		0.00	0.00		0.00	0.00			

ตารางที่ ๕56 ผลของพีไอเอช 10.5 ความเข้มข้นของสารประกอบผสม (รูปโซยานินด์) 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีไอเอช	โซยานินด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยานินด์	% เจลลี่ คงเหลือ โซยานินด์	โซยานินด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยานินด์	% เจลลี่ คงเหลือ โซยานินด์	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	10.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	10.55	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	10.55	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	10.55	132.11	26.42	26.39	3.34	0.67	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	10.55	131.67	26.33		3.44	0.69		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	10.55	132.01	26.40		3.45	0.69		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
45	1	10.54	142.11	28.42	28.40	7.02	1.40	1.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	10.54	140.64	28.13		6.88	1.38		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	10.53	143.22	28.64		6.97	1.39		0.00	0.00		0.00	0.00			
60	1	10.53	145.82	29.16	29.22	10.67	2.13	2.14	3.54	3.54	3.96	2.48	2.48	2.88		
	2	10.52	146.54	29.31		10.56	2.11		4.34	4.34		3.05	3.05			
	3	10.52	145.98	29.20		10.87	2.17		3.99	3.99		3.11	3.11			
90	1	10.51	150.32	30.06	30.12	11.89	2.38	2.40	8.95	8.95	3.02	0.00	0.00	0.00		
	2	10.51	150.34	30.07		12.03	2.41		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	10.52	151.08	30.22		12.03	2.41		0.11	0.11		0.00	0.00			
120	1	10.51	156.34	31.27	30.95	12.78	2.56	2.58	0.43	0.43	0.14	1.56	1.56	1.77		
	2	10.51	152.11	30.42		13.04	2.61		0.00	0.00		1.72	1.72			
	3	10.51	155.83	31.17		12.89	2.58		0.00	0.00		2.03	2.03			
180	1	10.50	160.62	32.12	32.20	15.67	3.13	3.17	0.13	0.13	0.34	0.00	0.00	0.00		
	2	10.50	161.21	32.24		15.89	3.18		0.66	0.66		0.00	0.00			
	3	10.50	161.22	32.24		15.98	3.20		0.23	0.23		0.00	0.00			

ตารางที่ ๕๗ ผลของพีเอช 10.5 ความเข้มข้นของสารประกอบผสม (รูปไซยาไนด์) 1,000 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	10.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	10.57	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	10.57	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	10.57	339.24	33.92	33.91	0.13	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	10.57	338.93	33.89		0.33	0.03		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	10.57	339.05	33.91		0.41	0.04		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
45	1	10.56	343.07	34.31	34.36	0.46	0.05	0.03	0.34	0.03	0.08	0.01	0.00	0.01		
	2	10.55	344.03	34.40		0.56	0.06		1.01	0.10		0.22	0.02			
	3	10.55	343.72	34.37		0.00	0.00		1.03	0.10		0.00	0.00			
60	1	10.55	345.01	34.50	34.52	0.96	0.10	0.09	6.04	0.60	0.63	0.00	0.00	0.00		
	2	10.55	345.23	34.52		1.04	0.10		6.11	0.61		0.00	0.00			
	3	10.54	345.21	34.52		0.56	0.06		6.71	0.67		0.00	0.00			
90	1	10.53	351.20	35.12	35.13	1.05	0.11	0.12	0.00	0.00	0.07	4.72	0.47	0.44		
	2	10.53	351.33	35.13		1.22	0.12		0.98	0.10		4.28	0.43			
	3	10.54	351.23	35.12		1.21	0.12		1.08	0.11		4.08	0.41			
120	1	10.52	362.71	36.27	36.29	1.65	0.17	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	10.52	362.98	36.30		1.68	0.17		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	10.53	363.02	36.30		1.71	0.17		0.00	0.00		0.00	0.00			
180	1	10.53	365.53	36.55	36.57	2.03	0.20	0.21	0.00	0.00	0.00	10.45	1.05	1.07		
	2	10.53	365.48	36.55		2.11	0.21		0.00	0.00		10.67	1.07			
	3	10.54	366.03	36.60		2.15	0.22		0.00	0.00		11.04	1.10			

ตารางที่ ๕๕๘ ผลของพีเอช 12.0 ความเข้มข้นของสารประกอบผสม (รูปไซยาไนด์) 100 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	12.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.12	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.12	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.12	37.76	37.76	37.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.12	37.12	37.12		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	12.12	37.45	37.45		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
45	1	12.11	46.72	46.72	46.39	2.11	2.11	2.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.11	46.28	46.28		2.87	2.87		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	12.12	46.17	46.17		2.83	2.83		0.00	0.00		0.00	0.00			
60	1	12.10	50.12	50.12	50.27	3.44	3.44	3.87	0.00	0.00	0.07	4.72	0.47	0.44		
	2	12.10	50.28	50.28		4.07	4.07		0.98	0.10		4.28	0.43			
	3	12.09	50.41	50.41		4.11	4.11		1.08	0.11		4.08	0.41			
90	1	12.11	52.18	52.18	52.55	9.23	9.23	10.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.11	53.03	53.03		10.93	10.93		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	12.09	52.44	52.44		10.45	10.45		0.00	0.00		0.00	0.00			
120	1	12.09	58.22	58.22	58.10	15.73	15.73	17.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42		
	2	12.09	58.71	58.71		18.99	18.99		0.00	0.00		3.16	0.63			
	3	12.08	57.38	57.38		17.53	17.53		0.00	0.00		3.21	0.64			
180	1	12.08	59.03	59.03	59.23	20.65	20.65	21.15	0.00	0.00	0.00	4.02	0.80	0.82		
	2	12.10	59.23	59.23		21.47	21.47		0.00	0.00		4.23	0.85			
	3	12.09	59.42	59.42		21.33	21.33		0.00	0.00		4.01	0.80			

ตารางที่ ๕59 ผลของพีเอช 12.0 ความเข้มข้นของสารประกอบผสม (รูปไซยาไนด์) 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	12.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.16	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.16	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.16	150.23	30.05	30.38	1.98	0.40	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.16	151.21	30.24		2.01	0.40		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	12.16	154.33	30.87		2.07	0.41		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
45	1	12.16	173.28	34.66	35.57	6.78	1.36	1.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.15	179.44	35.89		6.49	1.30		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	12.15	180.81	36.16		6.94	1.39		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
60	1	12.14	185.16	37.03	37.36	10.57	2.11	2.18	0.33	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00		
	2	12.14	187.23	37.45		10.89	2.18		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	12.15	188.03	37.61		11.19	2.24		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
90	1	12.13	194.96	38.99	39.16	12.08	2.42	2.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.13	195.68	39.14		12.09	2.42		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	12.14	196.74	39.35		12.11	2.42		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
120	1	12.11	210.34	42.07	42.16	13.40	2.68	2.65	0.46	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00		
	2	12.11	211.29	42.26		13.11	2.62		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	12.13	210.77	42.15		13.21	2.64		0.21	0.02		0.00	0.00		0.00	
180	1	12.11	213.27	42.65	42.62	15.09	3.02	3.17	0.00	0.00	0.00	0.56	0.06	0.18		
	2	12.10	213.09	42.62		16.11	3.22		0.00	0.00		2.75	0.28			
	3	12.12	212.89	42.58		16.32	3.26		0.00	0.00		2.01	0.20			

ตารางที่ ๘60 ผลของพีเอช 12.0 ความเข้มข้นของสารประกอบผสม (รูปโซยานินด์) 1,000 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	โซยานินด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยานินด์	% เจลลี่ คงเหลือ โซยานินด์	โซยานินด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยานินด์	% เจลลี่ คงเหลือ โซยานินด์	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	12.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.15	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.15	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.15	358.56	35.86	35.88	0.45	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.15	358.94	35.89		0.51	0.05		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	12.15	359.03	35.90		0.63	0.06		0.00	0.00		0.00	0.00			
45	1	12.15	368.51	36.85	36.87	0.72	0.07	0.07	0.87	0.09	0.05	0.00	0.00	0.00		
	2	12.14	368.54	36.85		0.67	0.07		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	12.13	368.92	36.89		0.58	0.06		0.63	0.06		0.00	0.00			
60	1	12.12	371.48	37.15	37.17	0.99	0.10	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.13	371.56	37.16		1.23	0.12		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	12.12	372.07	37.21		1.24	0.12		0.00	0.00		0.00	0.00			
90	1	12.11	375.27	37.53	37.55	1.42	0.14	0.15	8.85	1.77	1.68	5.94	0.59	0.55		
	2	12.12	375.48	37.55		1.56	0.16		8.28	1.66		5.37	0.54			
	3	12.11	375.61	37.56		1.49	0.15		8.13	1.63		5.18	0.52			
120	1	12.10	378.41	37.84	37.87	1.96	0.20	0.23	4.56	0.46	0.47	0.00	0.00	0.00		
	2	12.10	378.91	37.89		2.04	0.20		4.64	0.46		0.00	0.00			
	3	12.10	378.65	37.87		2.82	0.28		5.03	0.50		0.00	0.00			
180	1	12.12	385.15	38.52	38.56	2.78	0.28	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.12	386.04	38.60		2.96	0.30		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	12.13	385.69	38.57		2.55	0.26		0.00	0.00		0.00	0.00			



ตารางที่ ๘61 ผลของอัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของสารประกอบผสม (รูปโซยาไนต์) 500 ไมโครโมลาร์ ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	โซยาไนต์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยาไนต์	% เจลลี่ คงเหลือ โซยาไนต์	โซยานेट (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยานेट	% เจลลี่ คงเหลือ โซยานेट	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	12.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.16	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.16	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.16	150.23	30.05	30.38	1.98	0.40	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.16	151.21	30.24		2.01	0.40		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	12.16	154.33	30.87		2.07	0.41		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
45	1	12.16	173.28	34.66	35.57	6.78	1.36	1.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.15	179.44	35.89		6.49	1.30		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	12.15	180.81	36.16		6.94	1.39		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
60	1	12.14	185.16	37.03	37.36	10.57	2.11	2.18	0.33	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00		
	2	12.14	187.23	37.45		10.89	2.18		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	12.15	188.03	37.61		11.19	2.24		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
90	1	12.13	194.96	38.99	39.16	12.08	2.42	2.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.13	195.68	39.14		12.09	2.42		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	12.14	196.74	39.35		12.11	2.42		0.00	0.00		0.00	0.00			
120	1	12.11	210.34	42.07	42.16	13.40	2.68	2.65	0.46	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00		
	2	12.11	211.29	42.26		13.11	2.62		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	12.13	210.77	42.15		13.21	2.64		0.21	0.02		0.00	0.00			
180	1	12.11	213.27	42.65	42.62	15.09	3.02	3.17	0.00	0.00	0.00	0.56	0.06	0.18		
	2	12.10	213.09	42.62		16.11	3.22		0.00	0.00		2.75	0.28			
	3	12.12	212.89	42.58		16.32	3.26		0.00	0.00		2.01	0.20			

ตารางที่ ๘62 ผลของอัตราการเติมอากาศ 1.0 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของสารประกอบผสม (รูปไซยาไนด์) 500 ไมโครโมลาร์  
ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	12.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.19	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.19	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.19	140.98	28.20	27.97	1.98	0.40	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.19	139.11	27.82		2.18	0.44		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	12.19	139.45	27.89		2.17	0.43		0.00	0.00		0.00	0.00			
45	1	12.17	143.21	28.64	28.61	6.78	1.36	1.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.17	143.09	28.62		6.98	1.40		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	12.18	142.89	28.58		7.34	1.47		0.00	0.00		0.00	0.00			
60	1	12.16	148.05	29.61	29.63	10.34	2.07	2.14	0.18	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00		
	2	12.16	147.89	29.58		10.78	2.16		0.20	0.04		0.00	0.00			
	3	12.15	148.55	29.71		11.04	2.21		0.21	0.04		0.00	0.00			
90	1	12.17	153.11	30.62	30.76	13.34	2.67	2.70	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00		
	2	12.17	154.23	30.85		13.45	2.69		0.25	0.05		0.00	0.00			
	3	12.16	154.09	30.82		13.77	2.75		0.27	0.05		0.00	0.00			
120	1	12.15	157.89	31.58	31.65	13.89	2.78	2.79	0.00	0.00	0.00	0.31	0.06	0.06		
	2	12.14	157.82	31.56		14.02	2.80		0.00	0.00		0.33	0.07			
	3	12.13	158.99	31.80		13.99	2.80		0.00	0.00		0.29	0.06			
180	1	12.14	162.21	32.44	32.53	14.78	2.96	3.03	1.02	0.20	0.20	1.45	0.29	0.25		
	2	12.13	163.09	32.62		15.03	3.01		1.04	0.21		1.06	0.21			
	3	12.15	162.67	32.53		15.67	3.13		1.00	0.20		1.22	0.24			

ตารางที่ ๘63 ผลของอัตราการเติมอากาศ 2.0 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของสารประกอบผสม (รูปไซยาไนด์) 500 ไมโครโมลาร์  
ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เหลือ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เหลือ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เหลือ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เหลือ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	12.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.17	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.17	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.17	112.47	22.49	22.73	1.89	0.38	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.17	114.52	22.90		1.97	0.39		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	12.17	113.89	22.78		2.06	0.41		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
45	1	12.16	126.76	25.35	25.31	7.03	1.41	1.36	0.18	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00		
	2	12.16	126.45	25.29		6.89	1.38		0.20	0.04		0.00	0.00		0.00	
	3	12.15	126.44	25.29		6.45	1.29		0.21	0.04		0.00	0.00		0.00	
60	1	12.14	136.69	27.34	27.34	10.22	2.04	2.08	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00		
	2	12.13	136.72	27.34		10.34	2.07		0.25	0.05		0.00	0.00		0.00	
	3	12.13	136.66	27.33		10.57	2.11		0.27	0.05		0.00	0.00		0.00	
90	1	12.11	141.38	28.28	28.36	13.13	2.63	2.68	0.00	0.00	0.00	0.31	0.06	0.06		
	2	12.11	142.09	28.42		13.29	2.66		0.00	0.00		0.33	0.07			
	3	12.12	141.88	28.38		13.83	2.77		0.00	0.00		0.29	0.06			
120	1	12.13	145.63	29.13	29.17	13.49	2.70	2.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.13	145.87	29.17		13.99	2.80		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	12.14	146.11	29.22		13.88	2.78		0.00	0.00		0.00	0.00			
180	1	12.15	147.32	29.46	29.49	14.58	2.92	3.02	0.10	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00		
	2	12.15	147.68	29.54		15.04	3.01		0.09	0.02		0.00	0.00			
	3	12.16	147.29	29.46		15.67	3.13		0.10	0.02		0.00	0.00			

ตารางที่ ๘64 ผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 0.1 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที่ พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของสารประกอบผสม (รูปโซยานินด์) 500 ไมโครโมลาร์ ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	โซยานินด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยานินด์	% เจลลี่ คงเหลือ โซยานินด์	โซยานินด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยานินด์	% เจลลี่ คงเหลือ โซยานินด์	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	12.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.14	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.14	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.14	116.51	23.30	23.32	0.43	0.09	0.22	0.00	0.00	0.00	0.66	0.13	0.14		
	2	12.14	117.14	23.43		1.96	0.39		0.00	0.00		0.71	0.14			
	3	12.14	116.21	23.24		0.98	0.20		0.00	0.00		0.68	0.14			
45	1	12.13	125.17	25.03	25.12	2.91	0.58	0.58	0.31	0.06	0.06	0.00	0.00	0.00		
	2	12.13	125.68	25.14		2.79	0.56		0.32	0.06		0.00	0.00			
	3	12.11	126.02	25.20		3.05	0.61		0.29	0.06		0.00	0.00			
60	1	12.11	131.04	26.21	26.26	5.86	1.17	1.18	0.12	0.02	0.03	0.11	0.02	0.02		
	2	12.10	130.98	26.20		5.76	1.15		0.11	0.02		0.12	0.02			
	3	12.10	131.86	26.37		6.02	1.20		0.18	0.04		0.09	0.02			
90	1	12.11	133.42	26.68	26.65	9.46	1.89	1.92	0.98	0.20	0.20	0.22	0.04	0.04		
	2	12.13	133.56	26.71		9.83	1.97		1.01	0.20		0.23	0.05			
	3	12.14	132.78	26.56		9.54	1.91		1.04	0.21		0.19	0.04			
120	1	12.11	134.20	26.84	26.84	10.82	2.16	2.10	8.85	0.89	0.84	5.94	0.59	0.55		
	2	12.09	134.97	26.99		10.38	2.08		8.28	0.83		5.37	0.54			
	3	12.10	133.39	26.68		10.23	2.05		8.13	0.81		5.18	0.52			
180	1	12.12	136.81	27.36	27.45	12.11	2.42	2.51	4.56	0.46	0.47	0.00	0.00	0.00		
	2	12.12	137.89	27.58		12.89	2.58		4.64	0.46		0.00	0.00			
	3	12.13	137.08	27.42		12.62	2.52		5.03	0.50		0.00	0.00			

ตารางที่ ๘65 ผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 0.5 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0  
ความเข้มข้นของสารประกอบผสม (รูปโซยานินด์) 500 ไมโครโมลาร์ ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	โซยานินด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยานินด์	% เจลลี่ คงเหลือ โซยานินด์	โซยานินด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยานินด์	% เจลลี่ คงเหลือ โซยานินด์	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท		
0	1	12.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.15	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.15	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.15	122.13	24.43	24.42	0.86	0.17	0.17	0.17	0.03	0.04	0.00	0.00	0.00		
	2	12.15	121.97	24.39		0.41	0.08		0.20	0.04		0.00	0.00			
	3	12.15	122.24	24.45		1.32	0.26		0.18	0.04		0.00	0.00			
45	1	12.14	136.47	27.29	27.31	1.98	0.40	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.14	136.28	27.26		2.04	0.41		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	12.13	136.85	27.37		2.89	0.58		0.00	0.00		0.00	0.00			
60	1	12.12	137.11	27.42	27.45	6.41	1.28	1.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.12	137.12	27.42		6.58	1.32		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	12.11	137.49	27.50		6.34	1.27		0.00	0.00		0.00	0.00			
90	1	12.12	141.01	28.20	28.31	10.58	2.12	2.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.11	141.67	28.33		10.93	2.19		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	12.11	142.03	28.41		10.55	2.11		0.00	0.00		0.00	0.00			
120	1	12.14	144.12	28.82	28.87	11.23	2.25	2.34	0.10	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00		
	2	12.12	144.13	28.83		12.01	2.40		0.09	0.02		0.00	0.00			
	3	12.12	144.87	28.97		11.86	2.37		0.10	0.02		0.00	0.00			
180	1	12.11	145.87	29.17	29.14	13.54	2.71	2.65	0.97	0.19	0.20	0.00	0.00	0.00		
	2	12.10	145.69	29.14		13.25	2.65		1.01	0.20		0.00	0.00			
	3	12.10	145.58	29.12		12.89	2.58		1.00	0.20		0.00	0.00			

ตารางที่ ๘66 ผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที่ พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของสารประกอบผสม (รูปไซยาไนด์) 500 ไมโครโมลาร์ ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	ไซยาไนด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาไนด์	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาไนด์	ไซยาเนต (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไซยาเนต	% เจลลี่ คงเหลือ ไซยาเนต	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	12.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.16	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.16	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.16	136.63	27.33	27.37	1.98	0.40	0.40	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.01		
	2	12.16	137.09	27.42		2.01	0.40		0.00	0.00		0.03	0.01			
	3	12.16	136.78	27.36		2.07	0.41		0.00	0.00		0.02	0.00			
45	1	12.16	144.53	28.91	28.97	6.78	1.36	1.35	0.11	0.02	0.03	0.06	0.01	0.01		
	2	12.15	145.04	29.01		6.49	1.30		0.15	0.03		0.06	0.01			
	3	12.15	144.98	29.00		6.94	1.39		0.13	0.03		0.05	0.01			
60	1	12.14	148.15	29.63	29.57	10.57	2.11	2.18	0.00	0.00	0.00	0.06	0.01	0.00		
	2	12.14	148.52	29.70		10.89	2.18		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	12.15	146.89	29.38		11.19	2.24		0.00	0.00		0.00	0.00			
90	1	12.13	152.35	30.47	30.59	12.08	2.42	2.42	0.31	0.06	0.06	0.00	0.00	0.00		
	2	12.13	153.23	30.65		12.09	2.42		0.32	0.06		0.00	0.00			
	3	12.14	153.29	30.66		12.11	2.42		0.29	0.06		0.00	0.00			
120	1	12.11	157.82	31.56	31.40	13.40	2.68	2.65	0.12	0.02	0.03	0.11	0.02	0.02		
	2	12.11	156.66	31.33		13.11	2.62		0.11	0.02		0.12	0.02			
	3	12.13	156.45	31.29		13.21	2.64		0.18	0.04		0.09	0.02			
180	1	12.11	161.21	32.24	32.21	15.09	3.02	3.17	0.98	0.20	0.20	0.22	0.04	0.04		
	2	12.10	160.12	32.02		16.11	3.22		1.01	0.20		0.23	0.05			
	3	12.12	161.81	32.36		16.32	3.26		1.04	0.21		0.19	0.04			

ตารางที่ ๘67 ผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.5 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของสารประกอบผสม (รูปโซยานินด์) 500 ไมโครโมลาร์ ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	โซยานินด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยานินด์	% เหลือ คงเหลือ โซยานินด์	โซยานินด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยานินด์	% เหลือ คงเหลือ โซยานินด์	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เหลือ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เหลือ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	12.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.13	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.13	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.13	136.54	27.31	27.12	0.56	0.11	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.13	135.61	27.12		0.34	0.07		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
	3	12.13	134.67	26.93		0.45	0.09		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	
45	1	12.12	144.76	28.95	29.19	2.78	0.56	0.59	0.46	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00		
	2	12.11	148.93	29.79		3.02	0.60		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	12.11	144.23	28.85		3.11	0.62		0.21	0.02		0.00	0.00			
60	1	12.10	146.98	29.40	29.45	5.97	1.19	1.14	0.00	0.00	0.00	0.56	0.06	0.18		
	2	12.10	147.84	29.57		5.68	1.14		0.00	0.00		2.75	0.28			
	3	12.11	146.88	29.38		5.48	1.10		0.00	0.00		2.01	0.20			
90	1	12.12	152.31	30.46	30.35	9.46	1.89	1.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.11	151.72	30.34		9.82	1.96		0.00	0.00		0.00	0.00			
	3	12.11	151.22	30.24		9.29	1.86		0.00	0.00		0.00	0.00			
120	1	12.13	155.43	31.09	31.04	11.23	2.25	2.30	0.18	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00		
	2	12.12	153.87	30.77		11.42	2.28		0.20	0.04		0.00	0.00			
	3	12.09	156.34	31.27		11.83	2.37		0.21	0.04		0.00	0.00			
180	1	12.09	160.44	32.09	32.39	13.11	2.62	2.69	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00		
	2	12.11	163.23	32.65		13.45	2.69		0.25	0.05		0.00	0.00			
	3	12.10	162.21	32.44		13.72	2.74		0.27	0.05		0.00	0.00			



ตารางที่ ๘68 ผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ 2.0 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที พีเอช 12.0 ความเข้มข้นของสารประกอบผสม (รูปโซยานินด์) 500 ไมโครโมลาร์ ปริมาตรสารละลาย 0.5 ลิตร

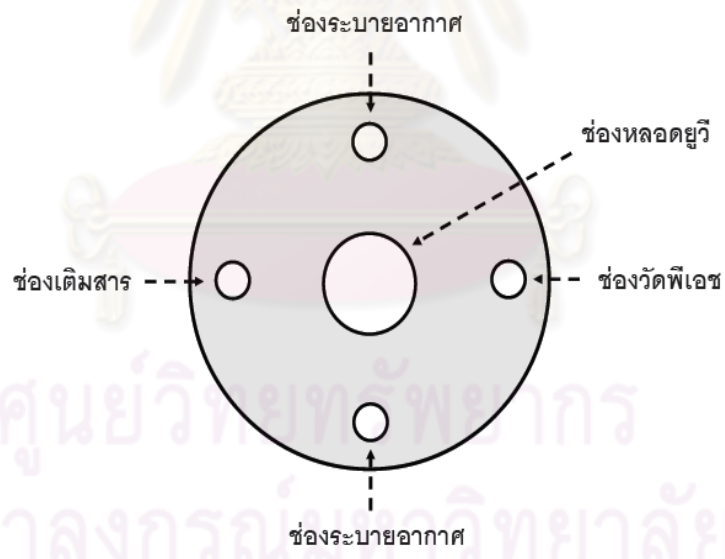
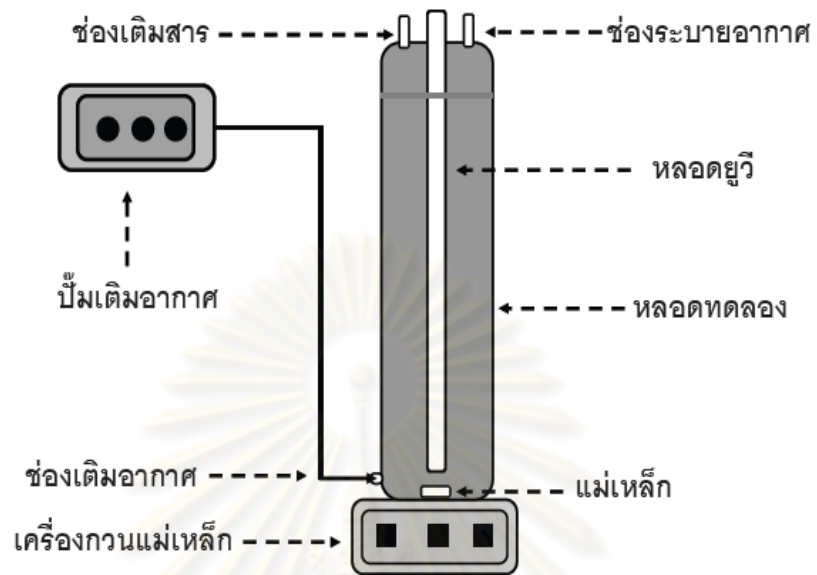
เวลา	ตัวอย่าง	พีเอช	โซยานินด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยานินด์	% เจลลี่ คงเหลือ โซยานินด์	โซยานินด์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ โซยานินด์	% เจลลี่ คงเหลือ โซยานินด์	ไนเตรท (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนเตรท	% เจลลี่ คงเหลือ ไนเตรท	ไนไตรท์ (ไมโครโมลาร์)	% คงเหลือ ไนไตรท์	% เจลลี่ คงเหลือ ไนไตรท์		
0	1	12.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	2	12.16	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
	3	12.16	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
30	1	12.16	134.23	26.85	26.59	0.00	0.00	0.02	1.02	1.02	1.04	0.93	0.93	0.85		
	2	12.16	132.66	26.53		0.11	0.02		0.98	0.98		0.78	0.78			
	3	12.16	132.01	26.40		0.12	0.02		1.11	1.11		0.83	0.83			
45	1	12.15	141.23	28.25	28.30	0.46	0.09	0.09	0.00	0.00	0.00	1.93	1.93	1.86		
	2	12.14	142.09	28.42		0.54	0.11		0.00	0.00		1.89	1.89			
	3	12.14	141.12	28.22		0.38	0.08		0.00	0.00		1.77	1.77			
60	1	12.13	145.38	29.08	29.00	0.56	0.11	0.13	0.98	0.98	0.96	0.00	0.00	0.00		
	2	12.12	144.96	28.99		0.78	0.16		0.89	0.89		0.00	0.00			
	3	12.11	144.67	28.93		0.67	0.13		1.02	1.02		0.00	0.00			
90	1	12.11	149.83	29.97	29.91	1.21	0.24	0.25	0.23	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00		
	2	12.10	149.78	29.96		1.32	0.26		0.21	0.02		0.00	0.00			
	3	12.11	148.97	29.79		1.24	0.25		0.19	0.02		0.00	0.00			
120	1	12.13	152.11	30.42	30.49	1.56	0.31	0.35	0.00	0.00	0.00	2.11	0.21	0.23		
	2	12.12	152.42	30.48		1.67	0.33		0.00	0.00		2.31	0.23			
	3	12.11	152.76	30.55		1.97	0.39		0.00	0.00		2.41	0.24			
180	1	12.11	155.68	31.14	31.06	2.01	0.40	0.41	0.00	0.00	0.00	3.89	0.78	0.94		
	2	12.09	155.93	31.19		2.01	0.40		0.00	0.00		4.03	0.81			
	3	12.09	154.34	30.87		2.11	0.42		0.00	0.00		6.12	1.22			

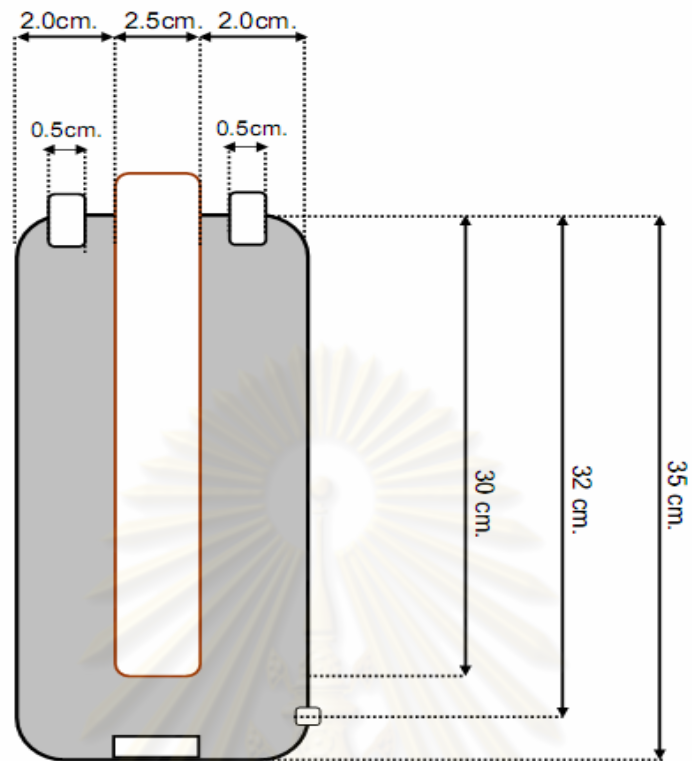
ภาคผนวก ข.

รูปแบบของถังปฏิกรณ์

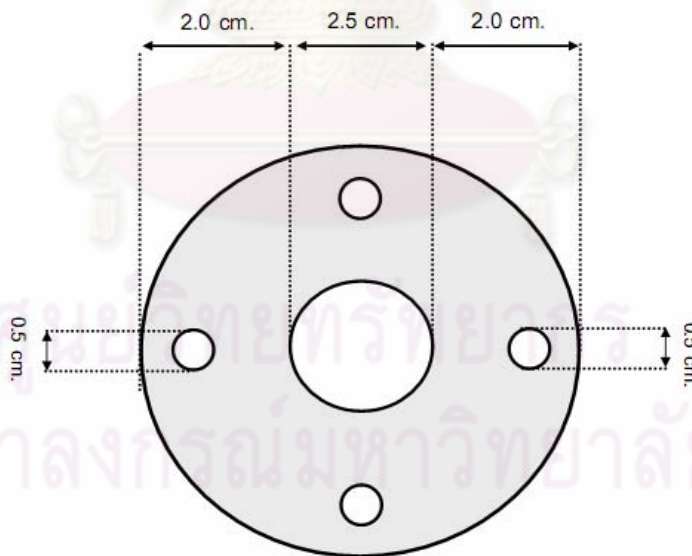


ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

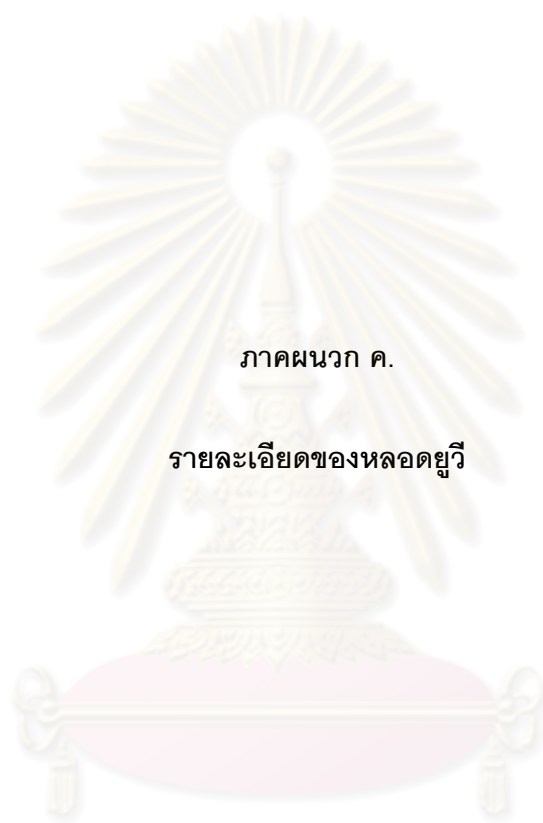




ขนาดของถังปฏิกรณ์ (Reactor)



ขนาดของฝาถังปฏิกรณ์



ภาคผนวก ค.

รายละเอียดของหลอดยูวี

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## CLEO Compact 15 W FAM

The tubular CLEO compact lamps, the so called spaghetti lamps, emit highly concentrated radiation between 300 and 400 nm.

The lamps are produced in two different UV-B/UV-A ratios, namely 1 % and 2 % (UV-B:280-315 nm).For a UV-B region of 280-320 nm the ratios are 2.1% and 3.5% respectively.

The higher UV-B/UV-A ratio is indicated by adding an -S (Super) to the lamp type.The -R (Reflector) types are equipped with an internal reflector of 200 degrees increasing the radiant intensity in front of the window by 70%.The compact single-ended PL-L lamp, which emits UV radiation between 300-400 nm, has two tubes melted together with a four-pin lamp base (2G11).

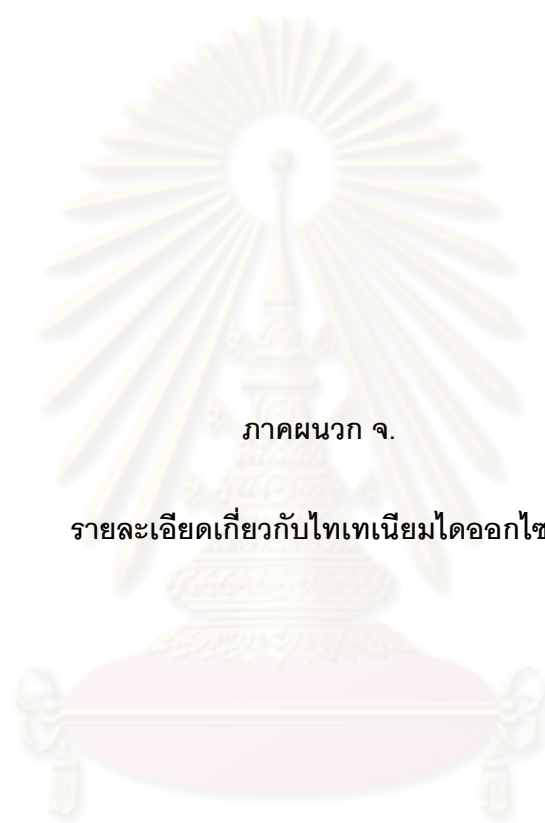
The lamp should be operated with a normal 36W/40W fluorescent lamp ballast combined with an CLEO starter.The UV-B/UV-A ratio of the PL-L lamp is 1.2% (UV-B: 280-315 nm) or 2.1% (UV-B: 280-320 nm).

### Warning

UV radiation, like solar radiation, can cause eye and skin injury if the appropriate safety measures are not observed. Always follow the manufacturer's instructions carefully when using any tanning product or system.When replacing tanning lamps in existing equipment, always adjust the tanning times according to the equipment manufacturer's instructions for the new lamp type.

### Applications

- Suntanning/pigmentation of the skin
- Insect traps
- Photochemical processes



ภาคผนวก จ.

รายละเอียดเกี่ยวกับไทเทเนียมไดออกไซด์

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



**A547-500 G**

LABORATORY

**UNILAB**

REAGENT

**TITANIUM DIOXIDE**

$\text{TiO}_2 = 79.90$

**B/NO. AF611545**

**500g NET**

ALSO REFER TO MSDS

**Risk**  
Not classified as hazardous according to criteria of NOHSC.

**Safety**  
Not classified as hazardous according to criteria of NOHSC.

A white or almost white powder; odourless.

	MIN	MAX	
Assay	99.0	100.5	%

**MAXIMUM LIMITS OF IMPURITIES**  
(per cent):

Clarity & colour of solution	passes test		
L.O.D. (@ 105°C)	0.5		
L.O.I. (@ 1000°C)	0.5		
Acid-soluble matter	0.5		
Water-soluble matter	0.25		
Acidity/alkalinity	1.0 mmol H or OH		
Sb	0.005		
As	0.0001		
Ba	passes test		
Fe	0.005		
Pb	0.002		
H.M (as Pb)	0.002		
Organic volatile impurities	passes test		

**EMERGENCY CONTACT NO:**  
AUS: 1800 022 037 (24 HRS)  
N.Z.: 0800 154 666 (24 HRS)

8 Abbott Road, Seven Hills  
NSW 2147 Australia  
Phone + 61 2 9839 4000

119 Carbine Road, Mt. Wellington  
Auckland 6 New Zealand  
Phone + 64 9 276 4019

**Ajax Finechem**  
A division of Nuplex Industries (Aust) Pty Ltd ABN 25 000 045 572

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก จ.

การคำนวณค่าสารประกอบไฮยาไนด์  
วิธีของ Rafael van Grieken

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## วิธีการคำนวณ

### 1. สารประกอบเฮกซะไซยานโคบอลเตต

$$A = B - C$$

- เมื่อ A = สารประกอบเฮกซะไซยานโคบอลเตต(รูปไซยาไนด์)ที่เข้า  
 B = สารประกอบเฮกซะไซยานโคบอลเตต (รูปไซยาไนด์)ที่ออก  
 C = ไซยาไนด์อิสระที่ตรวจพบ

### 2. สารประกอบเตตระไซยานิกเกิลเลต

$$A = B - C - D$$

- เมื่อ A = สารประกอบเตตระไซยานิกเกิล(รูปไซยาไนด์)ที่เข้า  
 B = สารประกอบเตตระไซยานิกเกิลเลต(รูปไซยาไนด์)ที่ออก  
 C = ไซยาไนด์อิสระที่ตรวจพบ  
 D = ไซยาเนต

### 3. สารประกอบผสม (เตตระไซยานิกเกิลเลตและเฮกซะไซยานโคบอลเตต)

$$A = B - C - D$$

- เมื่อ A = สารประกอบผสม(รูปไซยาไนด์)ที่เข้า  
 B = สารประกอบผสม(รูปไซยาไนด์)ที่ออก  
 C = ไซยาไนด์อิสระที่ตรวจพบ  
 D = ไซยาเนต

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายปิยะพงษ์ เรืองฤทธาทร เกิดเมื่อวันที่ 21 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2526 ที่จังหวัด สกลนคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สุขภาพ) จากคณะ สาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในปีการศึกษา 2547 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2550



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย