

การดูดซับไฮโดรเจนไฮยาไนต์จากการเผาไหม้ไบโอบาสุบ



นางบุญธิดา แส่นบรรดิษฐ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ADSORPTION OF HYDROGEN CYANIDE FROM PYROLYSIS OF TOBACCO LEAVES

Mrs. Boonthida Sanbundit



A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์จากการเผาไหม้ไบโอบีโอดี
โดย	นางบุญธิดา แสนบรรดิษฐ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สีรุ้ง ปรีชานนท์)
.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช)
.....กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์วรรณ โชติพิทักษ์)
.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิจิตรา จงวิศาล)
.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.นุรักษ์ กฤษดานุรักษ์)

บุญธิดา แสนบรรดิษฐ์ : การดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์จากการเผาไหม้ใบยาสูบ
(ADSORPTION OF HYDROGEN CYANIDE FROM PYROLYSIS OF TOBACCO
LEAVES) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช, 181 หน้า.

การเผาไหม้แห้งใบยาสูบแห้ง ที่บรรจุใบยาสูบ 0.63-0.83 กรัม ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่มีความเข้มข้น 0.70-0.76 มิลลิกรัมต่อลิตร ครั้นของการเผาไหม้ถูกสูบเข้าสู่ระบบเพียง 245 มิลลิลิตร ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที เพื่อทดสอบการดูดซับด้วยเกลืออนินทรีย์ 14 ชนิด เกลือโลหะของสารประกอบอินทรีย์ 3 ชนิด และสารประกอบอินทรีย์ 6 ชนิด เกลือโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) และเกลือโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ในกลุ่มของเกลืออนินทรีย์ และแอลโพลิน ($\text{HNC}_4\text{H}_7\text{COOH}$) ในกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ สามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์แบบกายภาพ ณ อุณหภูมิห้อง และลดความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ลงเหลือต่ำกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการดูดซับมีค่าร้อยละ 35 30 และ 25 ตามลำดับ ส่วนการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วยคลอรามินที ($\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{NNaCl}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$) ในกลุ่มเกลือโลหะของสารประกอบอินทรีย์เป็นการดูดซับทางเคมีในสภาวะเดียวกัน สามารถลดความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ลงเหลือ 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีประสิทธิภาพการดูดซับร้อยละ 15

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา 2559

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

5471413021 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS: ADSORPTION / HYDROGEN CYANIDE / SODIUM CARBONATE / SODIUM BICARBONATE / POLINE / CHLORAMINE-T

BOONTHIDA SANBUNDIT: ADSORPTION OF HYDROGEN CYANIDE FROM PYROLYSIS OF TOBACCO LEAVES. ADVISOR: ASSOC. PROF.DEACHA CHATSIRIWECH, Ph.D., 181 pp.

Combustion of each pack of dried tobacco leaves, containing 0.63-0.83 g of dried leaves, provided hydrogen cyanide with concentration of 0.70-0.76 mg/dm³. Only 245 cm³ of smoke could be pumped through the system with flow rate of 17.5 cm³/s for adsorption investigation on 14 inorganic salts, 3 organo-metallic salts, and 6 organic compounds. Only sodium carbonate (Na₂CO₃) and sodium bicarbonate (NaHCO₃) of selected inorganic salts, and proline (HNC₄H₇COOH) of selected organic compounds could adsorb HCN physically at room temperature and could reduce the HCN concentration below 0.25 mg/dm³. Their adsorption efficiencies were 35%, 30%, and 25%, respectively. While the adsorption of HCN on chloramine T (CH₃C₆H₄SO₂NNaCl.3H₂O) was the chemical one under the same condition. It could reduce the concentration to 0.3 mg/dm³. The adsorption efficiency was 15%.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Department: Chemical Engineering Student's Signature

Field of Study: Chemical Engineering Advisor's Signature

Academic Year: 2016

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดีเป็นเพราะผู้วิจัยได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ท่านได้เสียสละเวลาอันมีค่า เพื่อให้คำปรึกษาแนะนำในการจัดทำงานวิจัยนี้ทุกขั้นตอน อีกทั้งทำให้ผู้วิจัยได้รับประสบการณ์ในการทำงานวิจัยด้านวิศวกรรมเคมี และรู้ถึงคุณค่าของงานวิจัยทางวิศวกรรมเคมีที่สามารถคิดแปลง การวิจัยให้เหมาะสมกับการทำงานในด้านวิศวกรรม และวิทยาศาสตร์เคมีได้อย่างมีคุณค่ามากขึ้น

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สีรุ้ง ปรีชานนท์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์วรรณ โชติพิฤกษ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิจิตรา จงวิศาล และรองศาสตราจารย์ ดร.นุรักษ์ กฤษดานุรักษ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ให้ข้อเสนอแนะ และอภิปรายผลจากงานวิจัยในปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณฝ่ายวิจัยและพัฒนา โรงงานยาสูบ กระทรวงการคลัง ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยมาโดยตลอด

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้แก่ผู้วิจัยในการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมเคมี ซึ่งทำให้ผู้วิจัยรู้ว่าการศึกษามีได้สิ้นสุดลงเพียงการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลงได้ หากผู้วิจัยได้ซึมซับเอากระบวนการเรียนรู้ที่ได้รับ ให้กลายเป็นการเรียนรู้ที่ต้องสืบเนื่องต่อไปอย่างไม่สิ้นสุด และนำเอาความรู้นั้นไปยังประโยชน์ให้แก่ผู้อื่นต่อ ๆ ไปอีกด้วย

ท้ายสุดผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา สามี พี่ น้อง เพื่อน และลูก ๆ ทุกคนที่ให้ทั้งกำลังกายและกำลังใจที่ดีเยี่ยมตลอดระยะเวลาที่ศึกษาและทำงานวิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีประวัติและความเป็นมา.....	4
2.1 ไฮโดรเจนไซยาไนด์	4
2.2 การศึกษาการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์.....	11
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	24
3.1 การดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ในควันที่เกิดจากการเผาไหม้ไบโอบาสุบ	24
3.1.1 ชุดอุปกรณ์ทดสอบการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์	24
3.1.2 การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Continuous Flow Analyzer.....	25
3.1.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	25
3.1.2.1 สารเคมี	26
3.1.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานและสารละลายที่ใช้ในการทดลอง	27
3.1.3.1 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไซยาไนด์ความเข้มข้น 1000 ppm CN	27

3.1.3.2 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	27
3.1.3.3 สารละลายบัฟเฟอร์.....	27
3.1.3.4 สารละลายคลอรามิน ที.....	28
3.1.3.5 สารละลายสำหรับทำปฏิกิริยาการเกิดสี	28
3.1.3.6 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์	28
3.1.3.7 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.625 โมลาร์	28
3.1.3.8 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์.....	28
3.1.3.9 สารที่ใช้ล้างระบบการดูดตัวอย่างและการปรับ Base line ใช้น้ำกลั่น	28
3.1.4 การเก็บก๊าซไฮโดรเจนไนโตรเจนไฮยาไนต์จากวันที่เกิดจากการเผาไหม้ไบโอบิว.....	28
3.1.4.1 การทดสอบต้องควบคุมสภาวะแวดล้อมห้องทดสอบ	28
3.1.4.2 ตั้งค่าอัตราการไหล.....	29
3.1.4.3 ประกอบชุดเก็บรวบรวมก๊าซไฮโดรเจนไฮยาไนต์	29
3.1.4.4 ประกอบตัลป์	29
3.1.4.5 ชุดอุปกรณ์ไบโอบิวที่ได้จากข้อ 3.2.1 จำนวน 1 ชุดต่อตัวอย่าง ต่อเข้ากับชุด อุปกรณ์ทดสอบการดูดซับ	29
3.1.4.6 หลังจากสูบลเสร็จในแต่ละชุดอุปกรณ์ไบโอบิว	29
3.1.4.7 นำเอากระดาศกรองออกจากตัลป์ใส่ในขวด Erlenmeyer flask ขนาด 150 มิลลิลิตรหรือเทียบเท่า	30
3.1.4.8 วิเคราะห์สารละลาย ด้วยเครื่อง Continuous Flow Analyzer	30
3.1.4.9 ค่าที่ได้นำมาคำนวณหาปริมาณไฮโดรเจนไฮยาไนต์ ตามสมการดังนี้.....	30
3.2 การเตรียมชุดอุปกรณ์ไบโอบิวสำหรับการเผาไหม้เพื่อให้สังเคราะห์ก๊าซไฮโดรเจนไฮยาไนต์.....	30
3.2.1 เตรียมแท่งไบโอบิว.....	30
3.2.2 ศึกษาผลของอัตราการไหล และปริมาณก๊าซต่อการสังเคราะห์ก๊าซไฮโดรเจน ไฮยาไนต์.....	31

3.2.2.1	ศึกษาปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ ที่ได้จากการสังเคราะห์ ด้วยอัตรา การไหลต่าง ๆ.....	31
3.2.2.2	ศึกษาผลของอัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อวินาที.....	32
3.2.2.3	ศึกษาผลของอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที	32
3.3	การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์จากการเผาไหม้ไบโয়াสุบด้วย สารประกอบชนิดต่าง ๆ.....	32
3.3.1	ทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์จากการเผาไหม้ไบโয়াสุบ ด้วยสารประกอบชนิดต่าง ๆ.....	32
3.3.1.1	สารประกอบที่ใช้ในการศึกษา แยกกลุ่มได้เป็น 3 กลุ่มคือ	32
3.3.1.2	เตรียมสารละลายของสารประกอบที่ความเข้มข้นประมาณ 0.01 โมลาร์ ด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร	34
3.3.1.3	อบกระดาศกรอง.....	36
3.3.1.4	จุ่มกระดาศกรองที่อบแล้วลงในสารละลายที่เตรียมไว้จนชุ่ม จากนั้นเอา วางลงบนกระดาษฟิคา.....	36
3.3.1.5	นำกระดาษฟิคาพร้อมกระดาศกรองที่จุ่มสารเรียบร้อยแล้วเข้าอบในตู้อบ ความชื้นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง นำออกมาใส่ใน desiccator จนกระทั่งกระดาศกรองมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง ซึ่ง น้ำหนักและบันทึก	36
3.3.1.6	คำนวณและบันทึกมวลสารที่เกาะติดอยู่บนกระดาศกรอง.....	36
3.3.1.7	ทดสอบโดยใช้ชุดอุปกรณ์ไบโয়াในการทดสอบ 1 ชุดต่อตัวอย่าง แต่ละการ ทดลอง ทดลองซ้ำ 10 ครั้ง ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ปริมาตรควัน 245 มิลลิลิตร	36
3.3.1.8	คำนวณประสิทธิภาพของตัวดูดซับเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยใช้สถิติ F- Test และ T-Test.....	36
3.3.2	การทดสอบการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ของสารประกอบที่ผ่านการคัดเลือก	36

3.3.2.1	ศึกษาผลของปริมาณสารประกอบตัวดูดซับต่อการดูดซับก๊าซไฮโดรเจน ไซยาไนด์ โดย	36
3.3.2.2	ศึกษาผลของปริมาณก๊าซเผาไหม้ต่อการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ ด้วยตัวดูดซับที่ผ่านการคัดเลือกจากขั้นตอนที่ผ่านมา	37
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....		38
4.1	การทดสอบการสังเคราะห์ไฮโดรเจนไซยาไนด์ จากแ่างไบยาสูบ.....	38
4.2	ผลของอัตราการไหล และปริมาณก๊าซต่อการสังเคราะห์ก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์	39
4.2.1	ผลของอัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อวินาที	41
4.2.2	ผลของอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที	42
4.2.3	ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ออกจากระบบการดูดซับ.....	43
4.3	การศึกษาการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วยสารประกอบชนิดต่าง ๆ.....	44
4.4	ประสิทธิภาพการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วย โซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมไบคาร์บอเนต แอล โพลิน และคลอรามินที่	48
4.4.1	ประสิทธิภาพการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วย โซเดียมคาร์บอเนต	48
4.4.2	ประสิทธิภาพการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วย โซเดียมไบคาร์บอเนต.....	51
4.4.3	ประสิทธิภาพการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วย แอลโพลิน	57
4.4.4	ประสิทธิภาพการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วย คลอรามินที่.....	61
บทที่ 5 สรุปผลการทดสอบ.....		71
รายการอ้างอิง.....		73
ภาคผนวก ก สารประกอบ		77
ภาคผนวก ข สารประกอบโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3).....		100
ภาคผนวก ค สารประกอบโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3).....		119
ภาคผนวก ง สารประกอบแอล โพลิน ($\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_2$).....		137
ภาคผนวก จ สารประกอบคลอรามินที่ ($\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{N}(\text{Na})\text{Cl}$).....		158

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 181



สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 สารที่ใช้รักษาพิษของสารประกอบไฮยาไนด์อย่างเฉียบพลัน [15]	9
ตารางที่ 2.2 ความเป็นพิษของก๊าซไฮโดรเจนไฮยาไนด์โดยการหายใจเข้าไป [15,18].....	10
ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพ กับ การดูดซับทางเคมี [28,29]	20
ตารางที่ 3.1 เตรียมสารละลายที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	27
ตารางที่ 3.2 เตรียมสารละลายของสารประกอบต่าง ๆ.....	34
ตารางที่ 3.3 เตรียมสารละลายของสารประกอบต่าง ๆ (ต่อ)	35
ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของชุดอุปกรณ์ใบยาสูบที่ใช้ในการทดลอง	38
ตารางที่ 4.2 ปริมาณไฮโดรเจนไฮยาไนด์ที่ถูกดูดซับในระบบดูดซับ ที่มีสารประกอบชนิดต่าง ๆ	45
ตารางที่ 4.3 ปริมาณไฮโดรเจนไฮยาไนด์ที่ถูกดูดซับในระบบดูดซับ ที่มีสารประกอบชนิดต่าง ๆ (ต่อ)	46
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของผลต่างปริมาณไฮโดรเจนไฮยาไนด์ที่ผ่านระบบดูดซับที่มีเพียงกระดาษกรองเท่านั้น กับระบบที่มีกระดาษกรอง เคลือบสารประกอบโซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมคาร์บอเนต คลอรามินที และแอล โพลีลีน ตามลำดับ	47

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างของไฮโดรเจนไซยาไนด์ [4].....	4
รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาในการวิเคราะห์ไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วยเทคนิค Colorimetric assays.....	11
รูปที่ 2.3 แสดงอัตราการดูดซับของสารกลุ่มโลหะ ออกไซด์ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ [22].....	14
รูปที่ 2.4 แสดงอัตราการดูดซับของสารกลุ่มเติมไททานี ที่อุณหภูมิต่าง ๆ [22].....	14
รูปที่ 2.5 แสดงอัตราการดูดซับของสารกลุ่มซีโอไลต์ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ [22].....	15
รูปที่ 2.6 แสดงอัตราการดูดซับของสารกลุ่มโลหะทรานซิชัน คะตะลิสต์ ที่อุณหภูมิต่าง [22]	16
รูปที่ 2.7 แสดงกลุ่มของสารมีขั้วที่เกาะบนผิวของคาร์บอน (a) a carboxyl group, (b) a hydroxyl group, และ (c) a carbonyl group [23]	16
รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะโครงสร้างของ Lamellar γ -AlOOH architectures.....	18
รูปที่ 2.9 กราฟแบบจำลองสมดุลการดูดซับของเฮนรี แลงเมียร์ และฟรุนดลิช	22
รูปที่ 3.1 แบบจำลองชุดเครื่องมือการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์จากการเผาไหม้ไบยาสูบ....	24
รูปที่ 3.2 การเตรียมชุดอุปกรณ์ไบยา.....	31
รูปที่ 4.1 ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่สังเคราะห์ได้จากแท่งไบยาสูบ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที	39
รูปที่ 4.2 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีปริมาณก๊าซ 10 มิลลิลิตร ไหลผ่านด้วยอัตราการไหลต่าง ๆ	41
รูปที่ 4.3 ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ในควันที่ไหลเข้าระบบการดูดซับ ด้วยอัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อวินาที	42
รูปที่ 4.4 ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ในควันที่ไหลผ่านระบบการดูดซับ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที	43
รูปที่ 4.5 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ ในควันที่ไหลผ่านระบบดูดซับ ณ เวลาต่าง ๆ	44

รูปที่ 4.6 ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ในควัน 245 มิลลิลิตร ที่ถูกดูดซับบนกระดาษกรองที่เคลือบด้วยโซเดียมคาร์บอเนต เมื่อใช้อัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที.....	48
รูปที่ 4.7 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ ที่ไหลผ่านระบบดูดซับที่บรรจุโซเดียมคาร์บอเนตในปริมาณต่าง ๆ	49
รูปที่ 4.8 ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ ที่ถูกดูดซับบนกระดาษกรองที่เคลือบด้วยโซเดียมคาร์บอเนต 10 มิลลิกรัม ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที	50
รูปที่ 4.9 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ ที่ไหลผ่านระบบดูดซับที่บรรจุโซเดียมคาร์บอเนต 10 มิลลิกรัมอย่างต่อเนื่อง ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที	51
รูปที่ 4.10 ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ในควัน 245 มิลลิลิตร ที่ถูกดูดซับบนกระดาษกรองที่เคลือบด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต เมื่อใช้อัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที.....	52
รูปที่ 4.11 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ ที่ไหลผ่านระบบดูดซับที่บรรจุโซเดียมไบคาร์บอเนตในปริมาณต่าง ๆ	53
รูปที่ 4.12 ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ถูกดูดซับบนกระดาษกรองที่เคลือบด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต 10 มิลลิกรัม ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที	54
รูปที่ 4.13 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ ที่ไหลผ่านระบบดูดซับที่บรรจุโซเดียมไบคาร์บอเนต 10 มิลลิกรัมอย่างต่อเนื่อง ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที	55
รูปที่ 4.14 ประสิทธิภาพของการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ของระบบดูดซับที่ใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนต.....	56
รูปที่ 4.15 โครงสร้างทางเคมีของโซเดียมไบคาร์บอเนต และโซเดียมคาร์บอเนต	56
รูปที่ 4.16 ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ในควัน 245 มิลลิลิตร ที่ถูกดูดซับบนกระดาษกรองที่เคลือบด้วยแอลโพลิน เมื่อใช้อัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที.....	57
รูปที่ 4.17 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ ที่ไหลผ่านระบบดูดซับที่บรรจุสารประกอบแอลโพลินในปริมาณต่าง ๆ.....	58
รูปที่ 4.18 ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ถูกดูดซับบนกระดาษกรองที่เคลือบด้วยแอลโพลิน 11 มิลลิกรัม ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที.....	59

รูปที่ 4.19 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ ที่ไหลผ่านระบบดูดซับที่บรรจุแอลโพลิน 11 มิลลิกรัมอย่างต่อเนื่อง ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที.....	59
รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมคาร์บอเนตและแอลโพลิน เมื่อเพิ่มปริมาณสารดูดซับ	60
รูปที่ 4.21 โครงสร้างทางเคมีของโพลิน.....	61
รูปที่ 4.22 แสดงปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ในควัน 245 มิลลิลิตร บนกระดาษกรองที่เคลือบด้วยคลอรามินที เมื่อใช้อัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที.....	62
รูปที่ 4.23 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ ที่ไหลผ่านระบบดูดซับที่บรรจุคลอรามินที ในปริมาณต่าง ๆ.....	62
รูปที่ 4.24 ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ถูกดูดซับบนกระดาษกรองที่เคลือบด้วยคลอรามินที 12 มิลลิกรัม ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที.....	64
รูปที่ 4.25 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ ที่ไหลผ่านระบบดูดซับที่บรรจุคลอรามินที 12 มิลลิกรัมอย่างต่อเนื่อง ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที.....	65
รูปที่ 4.26 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ของคลอรามินที เมื่อเพิ่มปริมาณสารดูดซับ	65
รูปที่ 4.27 ปฏิกริยาการเกิดไซยาโนเจนคลอไรด์และโซเดียมไซยาไนด์จากการทำปฏิกิริยาระหว่างคลอรามินทีกับไฮโดรเจนไซยาไนด์.....	66
รูปที่ 4.28 โครมาโตแกรมระหว่างกระดาษกรองที่เคลือบคลอรามินที (ก) และ กระดาษกรองเปล่า (ข) หลังจากผ่านการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในควันของการเผาใบยาสูบ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที.....	68
รูปที่ 4.29 โครมาโตแกรมระหว่างกระดาษกรองที่เคลือบคลอรามินทีหลังจากดูดซับควัน ปริมาณต่าง ๆ ปริมาณควัน 0 มิลลิลิตร (ก) ปริมาณควัน 245 มิลลิลิตร (ข) ปริมาณควัน 490 มิลลิลิตร (ค) และปริมาณควัน 735 มิลลิลิตร (ง).....	69
รูปที่ 4.30 ลักษณะแมสของคลอรามินที ที่ได้จากการทดสอบ.....	70
รูปที่ 4.31 ลักษณะแมสของ 4-Toluenesulfonamide ที่ได้จาก library mass ของ Wiley 275 .	70

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรทำให้เกิดการใช้เครื่องอุปโภคบริโภคและพลังงานเพิ่มขึ้น โรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ พยายามที่จะลดต้นทุน และค่าใช้จ่ายโดยการนำวัสดุเหลือใช้กลับมาใช้เป็นพลังงานและวัตถุดิบ เช่น เศษไม้ เปลือกไม้ ชานอ้อย แกลบ และ เศษวัสดุจากการเกษตร เป็นต้น ชาวไร่พยายามขยายเขตพื้นที่ในการทำการเกษตรโดยการเผาป่าในหน้าแล้ง ยิ่งไปกว่านั้นชาวนา ก็เผาซังข้าวเพื่อเร่งการเพาะปลูกให้เร็วขึ้น วัสดุเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นวัสดุ ชีวมวล มีสารประกอบไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบหลัก เช่น โปรตีน หรือสารจำพวกกรดอะมิโน เป็นต้น ซึ่งถ้าเกิดการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์จะทำให้เกิดก๊าซต่าง ๆ มากมายขึ้นกับส่วนประกอบของสารเคมีและอุณหภูมิที่เกิดจากการเผาไหม้นั้น เช่น ก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) กรดไอโซไซยานิก (HCNO) แอมโมเนีย (NH_3) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และสารกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เป็นต้น สารเหล่านี้เป็นสารที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ [1-3]

สารกลุ่ม ไซยาไนด์ ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแข็งไม่มีสี ซึ่งเป็นเกลือไซยาไนด์ เช่น โซเดียมไซยาไนด์ และโปแตสเซียมไซยาไนด์ เป็นต้น สำหรับไฮโดรเจนไซยาไนด์จะอยู่ในสถานะก๊าซที่อุณหภูมิสูงกว่า 25.6 องศาเซลเซียส เป็นก๊าซที่ไม่มีสี มีโครงสร้างเป็นเส้นตรง โดยมีพันธะสามระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจนและพันธะเดี่ยวระหว่างคาร์บอนกับไฮโดรเจน มีรายงานว่าสารกลุ่ม ไซยาไนด์จะมีลักษณะกลิ่นที่เหมือนอัลมอนด์ซึ่งเป็นกลิ่นที่อ่อนมากบางคนอาจไม่สามารถจับกลิ่นได้ ก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์อาจเกิดมาจากธรรมชาติ เช่น ภูเขาไฟ พืช แบคทีเรีย และกระบวนการเผาไหม้จากวัสดุต่าง ๆ เช่น น้ำมัน พืช โพลีเอทิลีน และ พีวีซี นอกจากนี้ยังเกิดจากการควั่นของเครื่องยนต์และควั่นบุหรีได้อีกด้วย สำหรับในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม ไฮโดรเจนไซยาไนด์ถูกใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การทำเหมืองแร่ การสังเคราะห์สารเคมี การผลิตสารจำพวกไฟเบอร์ พลาสติก สี และยาฆ่าแมลง สารประกอบไซยาไนด์เป็นสารที่เป็นพิษต่อร่างกายเพราะสามารถทำให้คนตายได้ภายในไม่กี่นาทีเมื่อสารนี้เข้าสู่ร่างกายในปริมาณที่มากพอ แม้ในปริมาณที่น้อยจะมีผล

ต่อผิวและตาได้เช่นกัน มีรายงานว่าไฮโดรเจนไซยาไนด์อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งแต่ยังไม่มีรายงานการศึกษาที่แน่ชัด

แม้ว่าปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่เกิดจากการเผาไหม้สารชีวมวลจะมีปริมาณต่ำ แต่สารนี้ก็มีอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ เพราะ ไอออนของไซยาไนด์จะไปทำให้ระบบการออกซิเดชันของระบบทางเดินหายใจทำงานไม่เป็นปกติยิ่งไปกว่านั้นอาจเป็นสาเหตุให้เป็นโรคมะเร็งอีกด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพัฒนาการป้องกันสารไฮโดรเจนไซยาไนด์เข้าสู่ร่างกาย เช่น การพัฒนาหน้ากากป้องกันก๊าซพิษ เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. คัดเลือกและทดสอบสารประกอบสำหรับเป็นตัวดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ไบยาสูบ
2. หาปริมาณสารประกอบที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์จากการเผาไหม้ไบยาสูบ

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ทดสอบการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ ด้วยสารประกอบอินทรีย์ จำนวน 14 ชนิด เพื่อคัดเลือกสำหรับการพัฒนาให้เป็นตัวดูดซับ
2. ทดสอบการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ ด้วยเกลือโลหะของสารประกอบอินทรีย์ จำนวน 3 ชนิด เพื่อคัดเลือกสำหรับการพัฒนาให้เป็นตัวดูดซับ
3. ทดสอบการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ ด้วยสารประกอบอินทรีย์ จำนวน 6 ชนิด เพื่อคัดเลือกสำหรับการพัฒนาให้เป็นตัวดูดซับ
4. ทดสอบปริมาณการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่เหมาะสมต่อสารประกอบ ที่คัดเลือกได้จากขั้นตอนข้างต้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้สารประกอบที่สามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ได้ข้อมูลการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์สำหรับการคำนวณออกแบบระบบดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์



บทที่ 2 ทฤษฎีประวัติและความเป็นมา

2.1 ไฮโดรเจนไซยาไนด์

ไฮโดรเจนไซยาไนด์มีลักษณะโครงสร้างโมเลกุลเป็นเส้นตรง โดยที่คาร์บอนจับกับไนโตรเจนด้วยพันธะสาม และจับกับไฮโดรเจนด้วยพันธะเดี่ยว ดังรูปที่ 2.1 มีมวลโมเลกุล 27.0253 กรัม



รูปที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างของไฮโดรเจนไซยาไนด์ [4]

โดยทั่วไปสารประกอบไซยาไนด์ที่เป็นของแข็งจะอยู่ในรูปของเกลือต่าง ๆ เช่น โพแทสเซียมไซยาไนด์ เป็นต้น แต่เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 25.6 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ ซึ่งเป็นสารที่ไม่มีสี แต่มีกลิ่นแสบจมูกคล้ายกลิ่นอัลมอนต์ ซึ่งเจือจางมากคนส่วนใหญ่ไม่สามารถจับกลิ่นได้ [4]

ไฮโดรเจนไซยาไนด์จัดเป็นสารที่ทำให้ร่างกายขาดออกซิเจน (Systemic asphyxiants หรือ Toxic asphyxiants หรือ Chemical asphyxiants) ซึ่งจะไปยังยังกระบวนการเมตาบอลิซึม ทำให้อวัยวะภายในร่างกายทำงานผิดปกติ ร่างกายเสมือนขาดออกซิเจนทั้งที่ปริมาณอากาศที่หายใจเข้ามีปริมาณออกซิเจนในระดับปกติ [5] ดังนั้นการสัมผัสกับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์อาจถึงแก่ชีวิตได้อย่างรวดเร็ว เพราะสารประกอบนี้จะมีผลต่อทุกอวัยวะของร่างกาย โดยเฉพาะมีผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง หัวใจและหลอดเลือด รวมถึงปอด อย่างรุนแรง

ในอดีตสารประกอบไฮโดรเจนไซยาไนด์เคยถูกใช้เป็นอาวุธสงคราม นอกจากนี้ยังถูกนำมาใช้งานในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมไฟฟ้า การรมควัน การทำเหมืองแร่ การสังเคราะห์สารเคมี การผลิตเส้นใยสังเคราะห์ ผลิตพลาสติก การทำสีย้อม และใช้เป็นส่วนผสมในยากำจัดศัตรูพืชและสัตว์ด้วย [4]

สารประกอบไฮโดรเจนไซยาไนด์สลายตัวได้ง่าย ด้วยความร้อน สารละลายต่าง และน้ำ และสามารถทำปฏิกิริยาได้ง่ายกับสารประกอบบางกลุ่ม เช่น สารประกอบกลุ่มเอมีน อนุพลอิสระ สารละลายกรด โซเดียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต และแอมโมเนีย เป็นต้น

สารประกอบไฮโดรเจนไซยาไนด์อาจเกิดปฏิกิริยารวมตัวเป็นโพลิเมอร์ได้ที่อุณหภูมิ 50 ถึง 60 องศาเซลเซียส และเกิดขึ้นได้อย่างรุนแรงในสภาวะที่มีความร้อน สภาพแวดล้อมเป็นด่าง หรือในสภาวะที่มีความชื้น

พืชบางชนิด เช่น มันสำปะหลัง จะพบว่ามีสารประกอบไซยาไนด์ อยู่ในรูปไซยาโนไกลโคไซด์ ได้แก่ ลินามาริน (linamarin) และ โลทอสตราลิน (lotaustralin) ร้อยละ 80-90 และที่เหลือพบในรูปของสารประกอบไซยาไนด์อิสระหรือไฮโดรเจนไซยาไนด์ ดังนั้นการรับประทานมันสำปะหลังโดยไม่ผ่านกระบวนการทำให้สุกจะทำให้ได้รับสารประกอบไซยาไนด์ ซึ่งจะมีผลต่อระบบหัวใจและหลอดเลือด ทำให้ความดันโลหิตลดลง มีผลต่อศูนย์ควบคุมการหายใจทำให้หยุดหายใจได้ นอกจากนี้ก็ยังมีพืชชนิดอื่น ๆ อีกเช่น สบู่ดำ หน่อไม้ ถั่วลิมา อัลมอนต์ชนิดขม เป็นต้น แต่ในขณะที่พืชชนิดอื่น ๆ ไม่มีสารประกอบไซยาโนไกลโคไซด์ แต่สามารถให้สารไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้ ด้วยกระบวนการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ ซึ่งสารประกอบไซยาไนด์นี้ จะอยู่ในรูปก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ นอกจากจะเป็นอันตรายต่อคนแล้วยังมีผลทำให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำได้ เมื่อเถ้าถ่านหรือควันละลายปนเปื้อนไปตามแหล่งน้ำ [6]

Alexandra (2004) ได้รายงานว่าก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์จะเกิดขึ้นในช่วงการเกิดไฟโรโรซิส วัสดุที่มีส่วนประกอบของไนโตรเจนในวัสดุสังเคราะห์ เช่นโพลิเมอร์ เมรามีน ไนรอนและสารประกอบกลุ่มโพลิอะไครโรไนไตร ส่วนในวัสดุธรรมชาติ เช่น ไหม ขนสัตว์ [7]

Karl-Martin (2004) รายงานว่าการเผาไหม้ขานอ้อย และเปลือกไม้ของต้นสน ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส จะมีสารประกอบไฮโดรเจนไซยาไนด์ปริมาณสูงโดยรายงานเป็นปริมาณไนโตรเจนได้ร้อยละ 54 และ 0.55-0.73 ตามลำดับ [8]

Johnson (1971) รายงานว่าไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่เกิดในช่วงการเผาไหม้สารชีวมวลจะไดมาจาก สารในกลุ่มกรดอะมิโน (amino acids), ไนโตรเจนเฮเทอโรไซเคิล (nitrogen heterocycles)

และกรดไดคาร์บอกซิลิก (dicarboxylic acids) นอกจากนี้ยังศึกษาการเผาไหม้แอสพาราจีน (asparagine, $C_4H_8N_2O_3$) โพรลีน (proline, $C_5H_9NO_2$) และทริปโตเฟน (tryptophan, $C_{11}H_{12}N_2O_2$) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของสารนั้น ๆ เช่น ถ้าเป็นไกลซีน (glycine, $C_2H_5NO_2$) ตรงส่วนที่เป็นกลุ่มแอลคิล (alkyl) จะให้ไฮโดรเจนไซยาไนด์ในช่วงร้อยละ 8-32 แต่ในกลุ่มไฮดรอกซีเมทิล (Hydroxymethyl) หรือ เบนซิล (benzyl) จะให้ไฮโดรเจนไซยาไนด์ในช่วงร้อยละ 32-45 สำหรับการศึกษากลไกการเกิดไฮโดรเจนไซยาไนด์จากการเผาไหม้กรดอะมิโน และไนโตรเจนเฮเทอโรไซเคิล ใน tube reactor ภายใต้สภาวะ inert atmosphere ที่อุณหภูมิ 700 ถึง 1000 องศาเซลเซียส พบว่าการตกตะกอน (glutamic acid, $C_5H_9NO_4$) กลูตามีน (glutamine, $C_5H_{10}N_2O_3$) กรดแอสพาร์ติก (aspartic acid, $C_4H_7NO_4$) และ แอสพาราจีน (asparagine, $C_4H_8N_2O_3$) จะให้ไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส แต่จะได้ในปริมาณที่แตกต่างกัน [9]

นอกจากนี้ Sieglar (1976) พบว่าการเผาไหม้อาจปลดปล่อยสารประกอบไซยาไนด์ มาจากไซยาโนเจนิกไกลโคไซด์ (cyanogenic glycosides) ซึ่งโดยทั่วไปมีความเข้มข้นมากในพืชหลายชนิด โดยเฉพาะต้นไม้พวกผลไม้ เช่นในตระกูล prunus [10]

Hua Lu Karlsson (2004) ได้ศึกษาปริมาณแอมโมเนีย ไนตรัสออกไซด์ และไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ในรถยนต์ พบว่า ไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ของรถยนต์ มีค่าประมาณ 0-11.69 มิลลิกรัมต่อกิโลเมตร [11]

Sung-Chul Yi (2005). ศึกษาการเกิดไฮโดรเจนไซยาไนด์จากการเผาไหม้พบว่ามีอุณหภูมิต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียส จะไม่เกิดไฮโดรเจนไซยาไนด์ ในขณะที่เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 350 องศาเซลเซียสไฮโดรเจนไซยาไนด์จะเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะไบยาเบอร์เลย์ที่มีปริมาณไนโตรเจนสูง [12]

สารประกอบไซยาไนด์จะเข้าสู่ร่างกายคนได้ด้วยการหายใจเข้าไปเป็นหลัก และก็ยังสามารถซึมผ่านผิวหนังได้บ้างเล็กน้อย ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่เข้าสู่เลือด ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในอากาศ ช่วงเวลาในการสูดดม และอัตราการหายใจ

การหายใจเอาก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์เข้าสู่เลือดจะทำให้ออกซิเจนในเลือดต่ำ และทำให้เกิดการขาดออกซิเจนของเซลล์ต่าง ๆ ในร่างกาย นอกจากนี้โปรตีนและเอนไซม์อื่น ๆ ก็ได้รับผลจาก

สารประกอบไฮยาไนต์ เช่น เอนไซม์ superoxide dismutase ซึ่งเป็นสารที่เป็นตัวป้องกันและต่อต้านโรคมะเร็ง เอนไซม์นี้จะถูกสารประกอบไฮยาไนต์ทำลาย ทำให้การต่อต้านอนุมูลอิสระลดลง ซึ่งอาจเป็นผลทำให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งในที่สุด นอกจากนี้เอนไซม์แซนทีนออกซิเดส (xanthine oxidase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนไฮโปแซนทีน (hypoxanthin) ไปเป็นแซนทีน (xanthine) และเปลี่ยนแซนทีน ไปเป็นยูริก (uric acid) ก็ถูกทำลายไปด้วย ลักษณะอาการของคนที่ได้รับพิษของสารประกอบไฮยาไนต์จะเริ่มจากการปวดหัว คลื่นไส้ อาเจียน อัตรการหายใจเร็วและหายใจลำบาก ชักหมดสติ และเสียชีวิตในที่สุด สำหรับผู้รอดชีวิตจะมีสภาพไม่ปกติเหมือนเดิม เช่น อาจเป็นโรค Parkinson คือโรคที่เกิดจากระบบประสาทเสื่อมสภาพไม่สามารถควบคุมอวัยวะบางส่วนได้ เช่น มือสั่น

เมตาโบลิซึมของสารประกอบไฮยาไนต์ในมนุษย์เกิดขึ้นได้เร็วมาก ซึ่งสามารถเกิดได้ 0.017 มิลลิกรัมต่อนาทีต่อกิโลกรัม และสามารถเกิดขึ้นหลายเส้นทางที่พบมากที่สุดคือการเปลี่ยนไปเป็น thiocyanate (SCN^-) โดยใช้ thiosulfate เป็นสารตั้งต้น จากนั้นจะขับออกมาทางไต โดยมีเอนไซม์ rhodanese เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหลัก ดังสมการ



แต่ยังมีเอนไซม์ β -mercaptopyruvate ที่ใช้เร่งปฏิกิริยาการย้ายสารประกอบไฮยาไนต์ได้ ถึงแม้ว่าเส้นทางจะแตกต่างกัน การเปลี่ยนไปเป็น SCN^- ขึ้นอยู่กับปริมาณของ thiosulfate การกำจัดด้วยวิธีอื่น ๆ คือการออกซิเดชัน HCN ให้เป็นสารประกอบไฮยาเนต (OCN) และการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบไฮยาไนต์กับ ซีสทีน (cysteine) ให้อยู่ในรูป 2-iminothiazoline-4-carboxylic acid

การรักษาพิษของสารประกอบไฮยาไนต์ คือการให้ยาแก้พิษเพื่อเข้าไปกำจัดสารประกอบไฮยาไนต์ในเลือด และกระตุ้นให้เกิดการสลายตัวของพันธะหมู่ไฮยาไนต์ โซเดียมไนไตรท์ (NaNO_2) และ 4-dimethyl aminophenol จะไปส่งเสริมให้เกิด methaemoglobin ซึ่งจะจับสารประกอบไฮยาไนต์ เพื่อไม่ให้สารประกอบไฮยาไนต์ไปยับยั้งการทำงานของ Cytochrome oxidase เพราะจะทำให้เกิดการยับยั้งการส่งทอดอิเล็กตรอน ส่งผลให้กระบวนการหายใจลดลง ขณะเดียวกัน methaemoglobin ก็ไม่สามารถไปจับกับออกซิเจนได้ ทำให้การขนส่งออกซิเจนไปยังเนื้อเยื่อได้เป็น

ปกติ สำหรับเอมีลไนไตรท์ (amyl nitrite, $C_5H_{11}ONO$) จะทำหน้าที่เป็น methaemoglobin อย่างไรก็ตามประโยชน์ของมันก็อาจทำให้เกิดการขยายของหลอดเลือด (vasodilation) ด้วย สำหรับ Cobalt(II) จะรวมกับสารประกอบไซยาไนด์เป็นสารประกอบที่ซับซ้อนซึ่งรวมถึง dicobalt ethylene diaminetetraacetate (Kelocyanor) ซึ่งมีความเป็นพิษสูง นอกจากนี้ก็ยังมียาตัวอื่นที่มีความเป็นพิษต่ำคือ hydroxycobalamin (Vitamin B12a) เมื่อรวมตัวกับสารประกอบไซยาไนด์จะกลายเป็น cyanocobalamin (Vitamin B12) [13]

แต่อย่างไรก็ตามในหลายประเทศก็ยังไม่อนุญาตให้ใช้วิธีนี้ โซเดียมไทโอซัลเฟต (Sodium thiosulfate, $Na_2S_2O_3$) ก็สามารถใช้ได้โดยที่กลุ่มซัลเฟอร์ (sulfur) จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบไซยาไนด์ได้เป็นโซเดียมไทโอไซยาเนต (Sodium thiocyanate, NaSCN) นอกจากนี้ในทางการแพทย์ก็ยังมีการใช้ เอมีลไนไตรท์ (amyl nitrite, $C_5H_{11}ONO$) ช่วยลดความเป็นพิษ โดยปริมาณที่ใช้ก็ขึ้นอยู่กับจากระดับของฮีโมโกลบินในเลือด ผู้ที่ได้รับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในปริมาณน้อยอาจแค่ได้รับออกซิเจนที่เพียงพอก็จะช่วยลดความเป็นพิษได้

มีรายงานจากการศึกษาหลายแห่งกล่าวว่าค่าระดับความเป็นพิษและตายจะอยู่ในช่วง 5-115 ไมโครโมลต่อลิตร และค่าที่กล่าวกันมากว่าเป็นค่าที่มีความเป็นพิษและตายคือ 38 ไมโครโมลต่อลิตร หรือ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับผู้ที่ไม่สูบบุหรี่จะพบก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในช่วง 0.13-2.9 ไมโครโมลต่อลิตร ส่วนผู้ที่สูบบุหรี่จะมีอยู่ในช่วง 0.27-6.8 ไมโครโมลต่อลิตร และเมื่อตรวจผู้ที่รอดชีวิตจากการถูกไฟไหม้จะมีปริมาณสารประกอบไซยาไนด์ตั้งแต่ตรวจไม่พบจนถึง 231 ไมโครโมลต่อลิตร และสำหรับผู้เสียชีวิตอาจมีระดับสูงถึง 400 ไมโครโมลต่อลิตร

ตารางที่ 2.1 สารที่ใช้รักษาพิษของสารประกอบไซยาไนด์อย่างเฉียบพลัน [14]

	สาร	ประเภทของยาและการรักษา
<i>Supportive therapy</i>	100% ออกซิเจน หรือ ออกซิเจนที่มีความดันสูง Sodium bicarbonate Diazepam Epinephrine	ออกซิเจนจะเพิ่มประสิทธิภาพการ รักษาด้วย nitrite-thiosulfate เป็นสารอัลคาไลน์ ป้องกันการเกิดกรดแลคติก ในเลือดสูง ช่วยต้านการชัก ช่วยกระตุ้นหัวใจ การไหลเวียนของเลือด
<i>Specific antidotal therapy</i>	Amyl nitrite Sodium nitrite 4-Dimethylaminophenol Sodium thiosulfate Dicobalt edetate Hydroxocobalamin	เปลี่ยน hemoglobin ไปเป็น methemoglobin ซึ่งจะรวมตัวกับ สารประกอบไซยาไนด์ กลายเป็น cyanmethemoglobin เอนไซม์จะเปลี่ยนกลุ่มซัลเฟอร์กับสารประกอบ ไซยาไนด์ทำให้เกิดเป็น Sodium thiocyanate Cobalt จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบ ไซยาไนด์กลายเป็นสารประกอบที่ซับซ้อน ระหว่าง Cobalt กับ cyanide

ค่ามาตรฐานในสถานที่ทำงานมีดังนี้

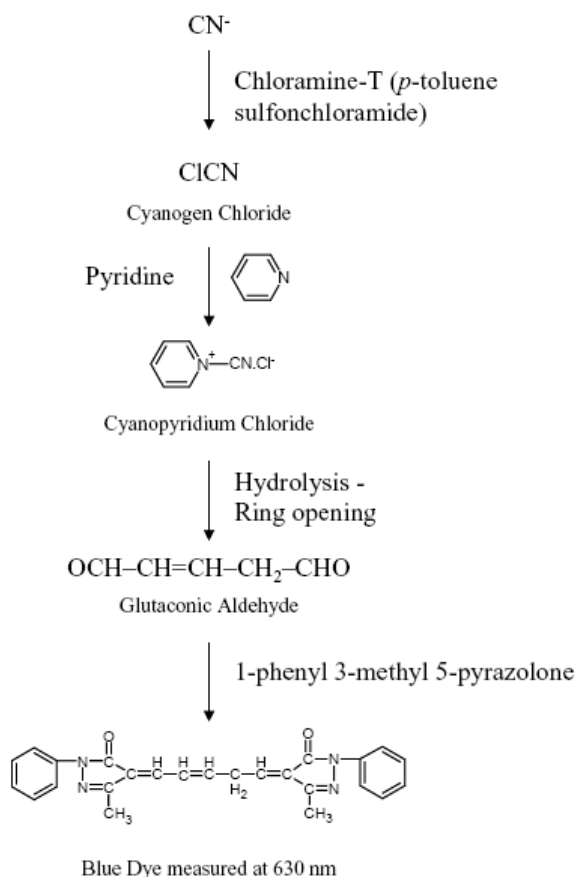
1. ACGIH TLV (2009) [American Conference of Industrial Hygienists, (ACGIH)] กำหนดให้มีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
2. NIOSH IDLH [The immediately dangerous to life or health (IDLH) values used by the National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)] กำหนดให้มีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ไม่เกิน 50 พีพีเอ็ม
3. OSHA PEL [The Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Permissible Exposure Limits (PEL)] กำหนดให้มีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ไม่เกิน 11 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
4. ตามมาตรฐานที่ประกาศโดยกระทรวงมหาดไทย เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี) พ.ศ. 2520 กำหนดไว้ว่าปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศของการทำงานตลอดระยะเวลาทำงานปกติโดยเฉลี่ยต้องไม่เกิน 10 พีพีเอ็มโดยปริมาตร หรือ 11 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร [15]

ผลของการได้รับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่มีความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ด้วยการหายใจ สรุปลไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความเป็นพิษของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์โดยการหายใจเข้าไป [14, 16]

ความเข้มข้น		ผลที่เกิด
มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	ส่วนในล้านส่วน	
20-40	18-36	มีอาการเล็กน้อยหลังจากผ่านไปหลายชั่วโมง
50-60	45-54	ทนได้ 20-60 นาที โดยไม่มีผลกระทบ
120-150	110-135	อันตรายมาก เสียชีวิตหลังจาก 30-60 นาที
150	135	ตายหลังจาก 30 นาที
200	181	ตายหลังจาก 10 นาที
300	270	ตายทันที

การวิเคราะห์ไฮโดรเจนไซยาไนด์สามารถทำได้หลายวิธี เช่น เทคนิคโครมาโตกราฟี ต่าง ๆ แต่วิธีที่นิยมใช้กันคือ Colorimetric assays [7, 17, 18] ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนไซยาไนด์กับ คลอรามีน ที (Chloramine-T, $C_7H_7ClNO_2S^+Na$) ได้สารที่มีชื่อว่า ไฮยาโนเจนคลอไรด์ (Cyanogen Chloride, CLCN) จากนั้นสารนี้จะทำปฏิกิริยากับ ไพริดีน (pyridine, C_5H_5N) ได้ผลิตภัณฑ์เป็น กลูทาโคนิก อัลดีไฮด์ (glutaconic aldehyde, $C_5H_6O_2$) และเกิดเป็นสารประกอบที่มีสีหลังจากทำปฏิกิริยากับ 1-ฟีนิล 3-เมทิล 5-ไพราโซลอน (1-phenyl 3-methyl 5-pyrazolone, $C_{10}H_{10}N_2O$) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาในการวิเคราะห์ไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วยเทคนิค

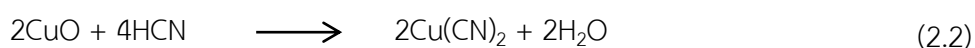
Colorimetric assays

2.2 การศึกษาการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์

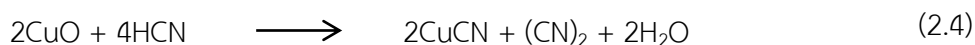
Rajakovic et al.; (1995) ได้พัฒนาผงถ่านกัมมันต์ที่เคลือบสารเคมี ซึ่งเป็นสารประกอบโลหะอินทรีย์ ในรูป acetates, oxalates, tartrates, citrates และ stearates ของโลหะ คอปเปอร์ ซิลเวอร์ เหล็ก แมกนีเซียม และอะลูมิเนียม ด้วยการล้างและไม่ล้างหลังจากการเคลือบด้วยสารประกอบเหล่านี้ จากนั้นนำไปศึกษา โครงสร้าง การดูดซับ และคุณสมบัติการดูดซับทางเคมี (chemisorption) โดยนำไปดูดซับเบนซีน และไฮโดรเจนไซยาไนด์ แล้วตรวจวัดด้วยเครื่องมือ gravimetric adsorption ซึ่งพบว่าถ่านกัมมันต์ที่เคลือบด้วย iron(III)-citrate มีประสิทธิภาพในการดูดซับทางเคมีได้ดีที่สุด รองลงมาคือ copper(II)-tartrate และ silver(I)-citrate ตามลำดับ ในขณะที่

สารประกอบของแมกนีเซียม และอะลูมิเนียมไม่มีประสิทธิภาพในการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์หรือประสิทธิภาพการดูดซับทางเคมี และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างสารประกอบอินทรีย์กับสารประกอบอนินทรีย์ พบว่าสารประกอบอินทรีย์ มีประสิทธิภาพในการดูดซับทางเคมี สูงกว่าสารประกอบอนินทรีย์ นอกจากนี้ยังพบว่าสารที่เคลื่อนที่กับสารที่ดูดซับจะทำปฏิกิริยากันได้เป็นตะกอนและสารประกอบ เช่น CuCN , $[\text{Cu}(\text{CN})_4]^{3-}$, $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ และ $[\text{Ag}(\text{CN})_6]^{4-}$ เป็นต้น ซึ่งอัตราการเกิดจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ และเมื่อทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส การดูดซับทางเคมีจะมีประสิทธิภาพดีกว่าการดูดซับทางกายภาพ ดังนั้น copper(II)-tartrate จึงมีประสิทธิภาพในการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 47 องศาเซลเซียส [19]

Oliver et al.; (2005) ศึกษาการใช้ activated carbon สังเคราะห์โดยการบรรจุคอปเปอร์และไม่บรรจุคอปเปอร์ลงบนรูพรุนของ sulfonated styrene/divinylbenzene resin ให้อยู่ในลักษณะที่เป็นรูปแบบที่มีคอปเปอร์ (CAC) และไฮโดรเจน (CAH) แล้วใช้เป็นตัวดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ภายใต้สภาวะอากาศเป็นตัวพาที่อุณหภูมิ 292 ± 1 เคลวิน ความชื้นสัมพัทธ์ 45 ± 5 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราการไหล 0.172 ลิตรต่อนาที โดยเปรียบเทียบกับตัวดูดซับคาร์บอนทางการค้า อาทิเช่น steam activated BPL (BPL) และ Chemviron Whetlerite (ASC Whetlerite) ที่ประกอบด้วยเกลือของโครเมียม คอปเปอร์ และซิลเวอร์ ขนาด 12–30 เมช ผลการศึกษาพบว่า คอปเปอร์ที่เติมลงไปจะลดพื้นที่ผิว และปริมาตรของรูพรุนของตัวดูดซับ แต่เพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ ผลการวัดด้วยเครื่อง X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) พบว่า เกิดการดูดซับที่สมบูรณ์บนพื้นผิวตัวดูดซับที่มีคอปเปอร์ ซึ่งยืนยันได้จากการที่ไม่พบ $(\text{CN})_2$ ช่วงการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ [20]



ในขณะที่ Whetlerite carbon จะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไซยาไนด์กลายเป็นตะกอนของคอปเปอร์ไซยาไนด์ และ $(\text{CN})_2$ ซึ่งเป็นสารที่เป็นพิษ ดังสมการ

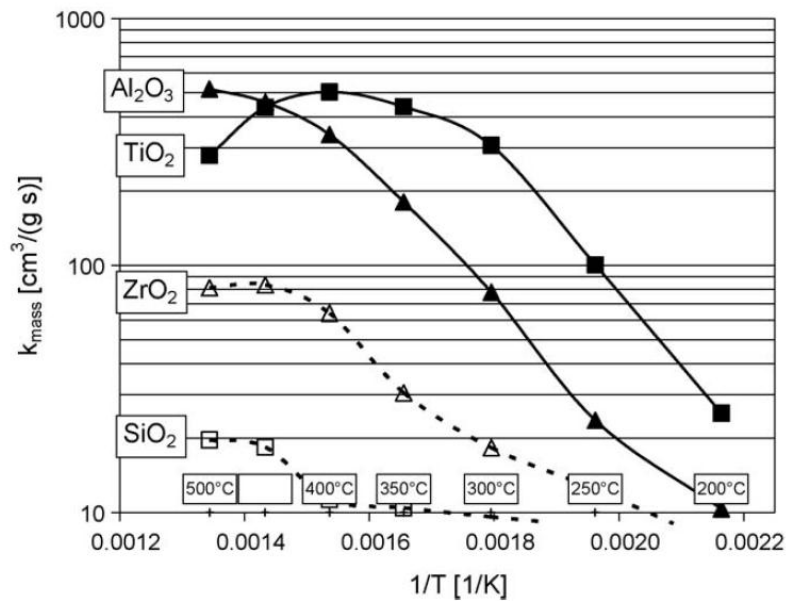


ดังนั้น CAC จึงมีประสิทธิภาพในการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้ดีกว่า CAH และมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับตัวดูดซับ ACS Whetlerite carbon แต่ไม่ก่อให้เกิดสารพิษ (CN)₂ สำหรับการศึกษาจำกัดปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อลิตร และก็ได้กล่าวถึงปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสม

Haibo Zhao et al.; (2006) ศึกษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา ในการจับไฮโดรเจนไซยาไนด์ ด้วย อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) ที่มีแพลทินัม (Pt) ร้อยละ 0.5 โดยเริ่มด้วยการให้อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส กับตัวเร่งปฏิกิริยา ภายใต้สภาวะที่มี ออกซิเจนร้อยละ 6 นาน 3 ชั่วโมง จากนั้นให้อยู่ในบรรยากาศ N₂ บริสุทธิ์เป็นเวลา 1 คืน นำมาทดลองการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ ด้วยการผสม ไฮโดรเจนไซยาไนด์ 30 ส่วนในล้านส่วน ไปพร้อมกับ N₂ โดยให้อุณหภูมิคงที่ 200 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที จากนั้นวัดปริมาณก๊าซต่าง ๆ อย่างต่อเนื่องด้วยเครื่อง FTIR โดยแยกเป็นสภาวะที่มี NO 35 ส่วนในล้านส่วน และ NO₂ 32 ส่วนในล้านส่วน ผลการศึกษาพบว่าหลังจากเวลาผ่านไปประมาณ 30 นาที ทั้งสองกรณีจะเหลือไฮโดรเจนไซยาไนด์น้อยกว่า 5 ส่วนในล้านส่วน โดยจะได้ CO₂ เพิ่มขึ้น [21]

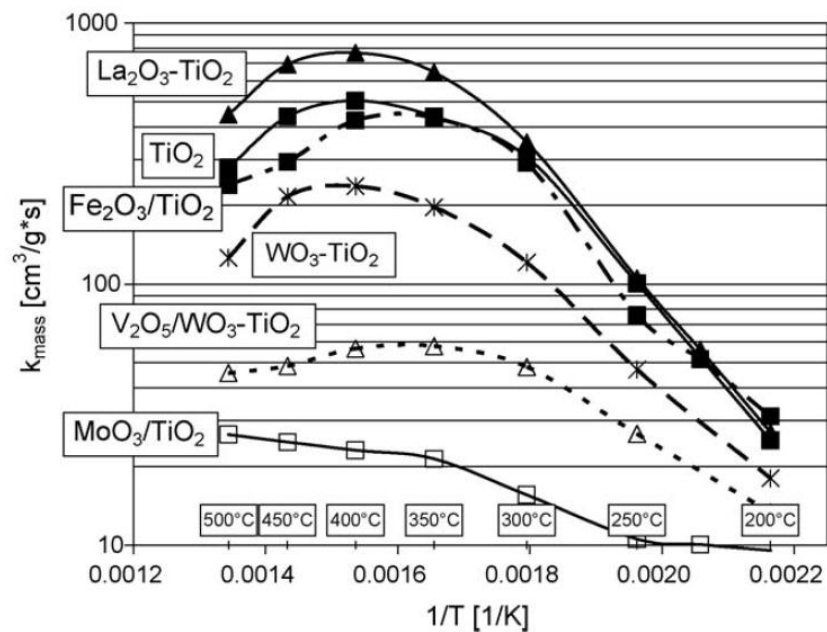
O. Kröcher, (2009). ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ของตัวเร่งปฏิกิริยาจำนวน 4 กลุ่มคือ กลุ่มโลหะ ออกไซด์ (metal oxides), ไททานีย (titania), ซีโอไลท์ (Zeolite) และ โลหะทรานซิชัน คะตะลิสต์ (Noble-metal cats.) กับ MnO_x-Nb₂O₅-CeO₂ โดยศึกษาตั้งแต่อุณหภูมิ 200-500 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่า [22]

1. กลุ่มออกไซด์ของโลหะ ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 400 องศาเซลเซียส ไททานียออกไซด์ (TiO₂) มีประสิทธิภาพในการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ดีกว่า อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) และเซอร์คอนเนียมไดออกไซด์ (ZrO₂) ตามลำดับ แต่ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) สามารถดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 400 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 2.3



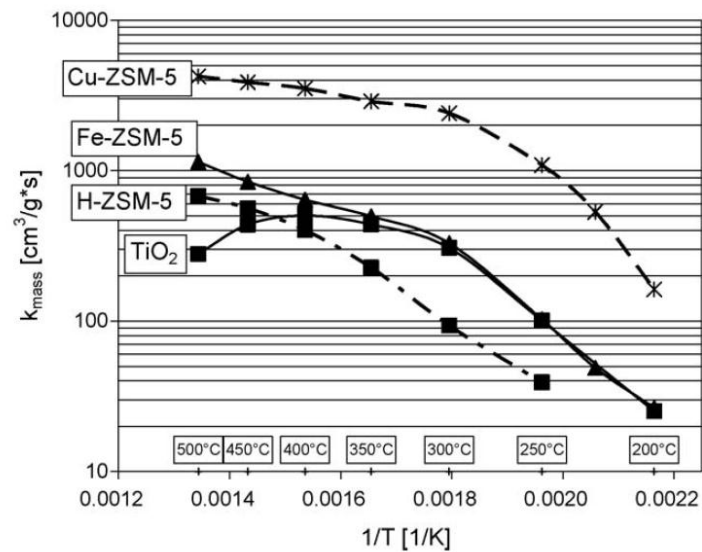
รูปที่ 2.3 แสดงอัตราการดูดซับของสารกลุ่มโลหะ ออกไซด์ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ [22]

2. กลุ่มไททาเนีย $\text{La}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ มีประสิทธิภาพต่อปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้ดีกว่าไททาเนียออกไซด์ เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 300 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิต่ำมี ประสิทธิภาพใกล้เคียงกันและใกล้เคียงกับ $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ ด้วย แต่มีประสิทธิภาพสูงกว่า $\text{WO}_3\text{-TiO}_2$, $\text{V}_2\text{O}_5/\text{WO}_3\text{-TiO}_2$ และ $\text{MoO}_3/\text{TiO}_2$ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงอัตราการดูดซับของสารกลุ่มเติมไททาเนีย ที่อุณหภูมิต่าง ๆ [22]

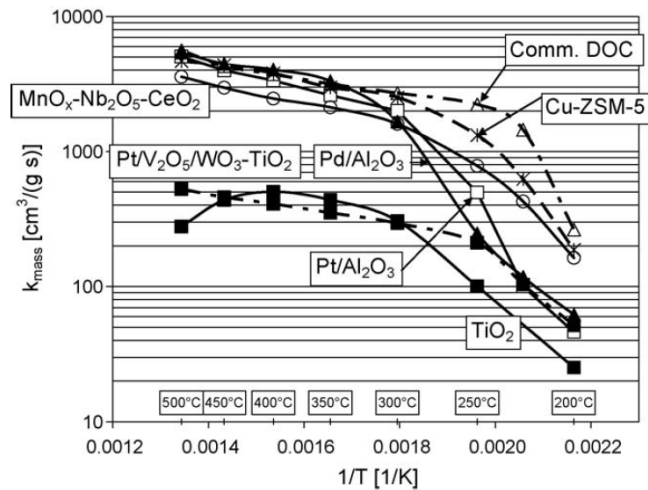
3. กลุ่มซีโอไลต์ (Zeolite) Cu-ZSM-5 มีประสิทธิภาพสูงกว่า TiO_2 ประมาณ 5-10 เท่า แต่เป็นการเกิดออกซิเดชัน สำหรับ Fe-ZSM-5 ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 300 องศาเซลเซียสจะมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับ TiO_2 แต่ที่อุณหภูมิสูงจะมีประสิทธิภาพดีกว่า ในขณะที่ H-ZSM-5 มีประสิทธิภาพต่ำสุดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 400 องศาเซลเซียส แต่ที่อุณหภูมิสูงจะมีประสิทธิภาพดีกว่า TiO_2 ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงอัตราการดูดซับของสารกลุ่มซีโอไลต์ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ [22]

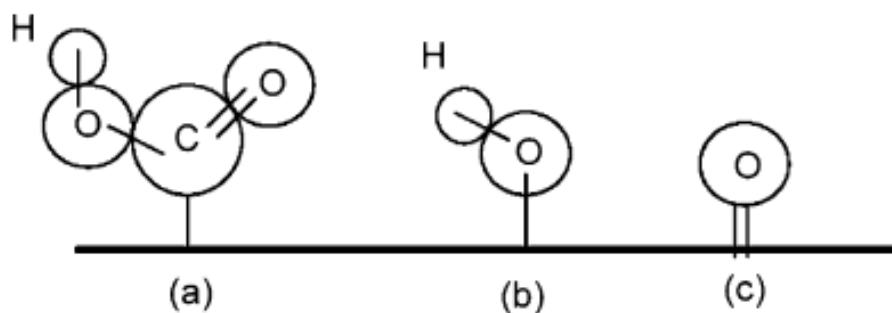
4. กลุ่มโลหะทรานซิชัน คะตะลิสต์ (Noble-metal cats.) กับ $\text{MnO}_x\text{-Nb}_2\text{O}_5\text{-CeO}_2$

การดูดซับด้วย commercial diesel oxidation catalyst (Comm. DOC) ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 300 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ตามด้วย Cu-ZSM-5 และ $\text{MnO}_x\text{-Nb}_2\text{O}_5\text{-CeO}_2$ ตามลำดับ ซึ่งเป็นสารประกอบที่ไม่ได้เติมไททานเนียม ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงอัตราการดูดซับของสารกลุ่มโลหะทรานซิชัน คะตะลิสต์ ที่อุณหภูมิต่าง [22]

R.R. Kotdawala, et al. (2008). ศึกษาลักษณะการดูดซับทางกายภาพของโมเลกุลที่มีขั้ว เช่น ไฮโดรเจนไซยาไนด์ และเมทิลเอทิลคีโตน (MEK) ด้วยซีโอไลต์ (Zeolite NaX) และถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีกลุ่มของสารมีขั้ว 3 ชนิด คือ กลุ่มไฮดรอกซิล (hydroxyl, H), คาร์บอกซิล (carboxyl, C) และ คาร์บอนิล carbonyl, Ca) เกาะอยู่บนผิวของคาร์บอน ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงกลุ่มของสารมีขั้วที่เกาะบนผิวของคาร์บอน (a) a carboxyl group, (b) a hydroxyl group, และ (c) a carbonyl group [23]

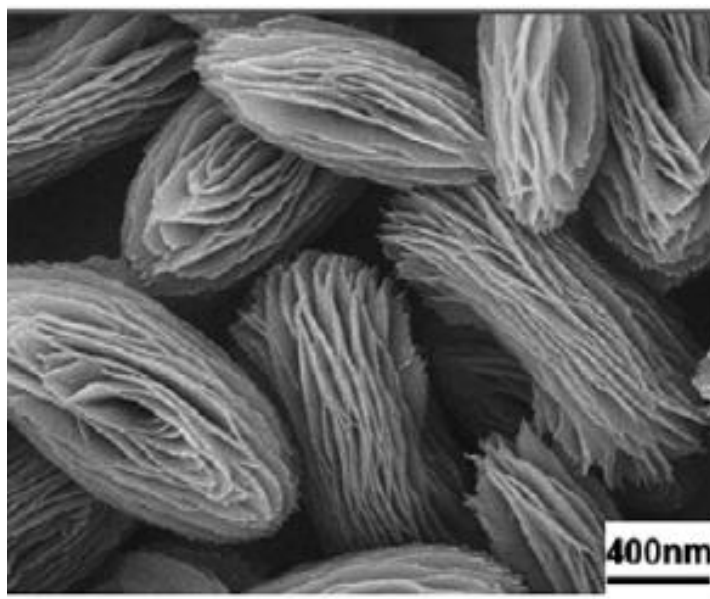
ผลการศึกษาพบว่า Zeolite NaX มีความสามารถในการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์สูงที่สุด ด้วยการดูดซับตามรูพรุน ตามมาด้วยกลุ่มของสารมีขั้ว carboxyl, hydroxyl และ carbonyl ตามลำดับ ซึ่งมีความหนาแน่นและความเป็นขั้วสูง (induced dipole and charge-dipole)

interactions) ที่ความดันต่ำกว่า 40 kPa ดังนั้นจึงมีส่วนทำให้ดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์เพิ่มขึ้นซึ่งเกิดจาก โมเลกุลมีความเป็นขั้วสูง ด้วย charge-dipole interaction [23]

Peter Branton, et al, (2009) ศึกษาการดูดซับสารที่ระเหยได้จากควันของการเผาไหม้ไบโอบายาสูบ โดยใช้ ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ที่มีขนาดรูพรุนต่างกัน พบว่าความสามารถในการกำจัดไฮโดรเจนไซยาไนด์ ฟอรัมาลดีไฮด์ และ อะซิโทลดีไฮด์ ต่ำกว่าร้อยละ 50 ซึ่งอาจเป็นเพราะการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ทางกายภาพ (physisorption) เพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอ ต้องใช้การดูดซับแบบเคมี (chemisorption) ร่วมด้วย [24]

Mykola Seresych, et al. (2009) ศึกษาการสังเคราะห์ ถ่านกัมมันต์ โดยผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส แล้วเคลือบด้วยยูเรียและไม่เคลือบยูเรีย ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีที่พื้นผิวและขนาดของรูพรุน เมื่อนำไปทดสอบการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ภายใต้สภาวะแวดล้อมของอากาศแห้ง พบว่าการให้ความร้อนกับถ่านกัมมันต์ ประสิทธิภาพในการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ลดลงร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์เริ่มต้น ในขณะที่การเติมยูเรียพร้อมกับให้ความร้อนทำให้ประสิทธิภาพของการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์สูงกว่าการให้ความร้อนเพียงอย่างเดียวร้อยละ 50-100 แสดงว่าฟังก์ชันของไนโตรเจนบนผิวของถ่านกัมมันต์หลังทำการปรับสภาพมีประสิทธิภาพในการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้สูงขึ้น [25]

Hongwei Hou, et al. (2012) ได้สังเคราะห์ Lamellar γ -ALOOH architectures ดังแสดงในรูปที่ 2.8 จาก 10 มิลลิโมล อลูมิเนียม ไนเตรท นาโนไฮดรท (aluminium nitrate nonahydrate, $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$) และ เฮกซะเดคซิล ไตรเมทิล แอมโมเนียมโบรไมด์ (Hexadecyl trimethyl ammonium bromide, $CH_3(CH_2)_{15}N(Br)(CH_3)_3$, CTAB) 4 มิลลิโมล ละลายด้วยน้ำบริสุทธิ์ 70 มิลลิลิตร จากนั้นถ่ายใส่ ท่อเทพรอน แล้วนำไปอบโอโตเกรฟ ปิดให้สนิทใส่ในตู้อบอุณหภูมิสูงกว่า 180 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นนำสารที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงแล้วล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์หลาย ๆ ครั้ง และล้างด้วยเอทานอล แล้วทำให้แห้งในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสนาน 12 ชั่วโมง [26] จากนั้นนำสารที่ได้ไปทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ ที่เกิดจากการเผาไหม้ไบโอบายาสูบพบว่า เมื่อใช้สารสังเคราะห์นี้ 0.03 มิลลิกรัมต่อกรัมไบโอบายาสูบ สามารถลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้ร้อยละ 8.12



รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะโครงสร้างของ Lamellar γ -AlOOH architectures

นอกจากวิธีการกำจัดไซยาไนด์ด้วยวิธีทางเคมีและกายภาพแล้ว วิธีย่อยสลายทางชีวภาพสามารถกำจัดไซยาไนด์ได้ [27] เช่น วิธีการย่อยสลายด้วยเอ็นไซม์ต่าง ๆ ได้แก่ Hydrolytic pathway, Oxidative pathway, Reductive pathway, Substitution/transfer pathway และ Syntheses pathway เป็นการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ รวมถึงการย่อยสลายสารประกอบไซยาไนด์ให้อยู่ในรูปของ กรดอะมิโน, thiocyanate, -cyanoalanine และ วิตามิน ด้วยจุลินทรีย์ และพืช สารประกอบไซยาไนด์จะสลายไปเป็นคาร์บอนและไนโตรเจนด้วยเอ็นไซม์ต่าง ๆ จากจุลินทรีย์ ซึ่งจะขึ้นกับความเข้มข้นเริ่มต้น pH อุณหภูมิ รวมถึงขึ้นกับการเจริญเติบโตของเซลล์ซึ่งต้องมีออกซิเจน แอมโมเนียและแร่ธาตุต่าง ๆ มาเกี่ยวข้องด้วย นอกจากนี้ยังมีวิธีการสังเคราะห์สาร L- β -cyanoalanine ด้วยจุลินทรีย์ โดยที่จุลินทรีย์จะใช้กรดอะมิโน เช่น Cysteine, Serine, asparagine เป็นต้น ไปทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไซยาไนด์ ได้ ดังนี้



หรือ glutamate หรือ glycine ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้สาร γ -Cyano- α -aminobutyric acid ซึ่งวิธีนี้ก็เป็นการกำจัดไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้อีกวิธีหนึ่ง

2.3 การดูดซับ

การดูดซับ (adsorption) คือกระบวนการหรือปรากฏการณ์ของ โมเลกุล หรือ ไอออนของ สารชนิดหนึ่งเป็นอย่างน้อยที่ยึดเหนี่ยวกับสารอีกชนิดหนึ่ง ที่บริเวณผิวร่วม (interface) ระหว่างวัฏภาค (phase) ซึ่งอาจเป็นผิวร่วมระหว่างวัฏภาคก๊าซกับวัฏภาคของแข็ง วัฏภาคก๊าซกับวัฏภาคของเหลว วัฏภาคของเหลวกับวัฏภาคของแข็ง เป็นต้น โดยสารที่ถูกดูดซับจะเรียกว่า สารถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนสารที่ทำหน้าที่ดูดซับเรียกว่า ตัวดูดซับ (adsorbent) ปัจจัยที่สำคัญในการดูดซับคือแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับ ดังนั้นจึงสามารถแยกประเภทการดูดซับได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. การดูดซับทางกายภาพ (physisorption) เป็นการดูดซับโดยใช้แรงดึงดูดระหว่างขั้ว ระหว่างโมเลกุล หรือระหว่างประจุ เช่นแรงดึงดูดแบบแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals Forces) ดังนั้นจึงมักคายพลังงานความร้อนต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล ทำให้สารถูกดูดซับหลุดออกจากสารดูดซับได้ง่ายซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า การคายซับ (desorption)
2. การดูดซับทางเคมี (chemisorption) เป็นการเกิดพันธะทางเคมีกันระหว่างสารถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับ ซึ่งจะเกิดได้ดีหรือเกิดขึ้นรวดเร็วที่อุณหภูมิสูง ๆ ดังนั้นค่าความร้อนของการดูดซับจึงมักมีค่าสูงกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล

ความแตกต่างสำคัญ ๆ ของการดูดซับทางกายภาพกับการดูดซับทางเคมี สรุปไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพ กับ การดูดซับทางเคมี [28, 29]

ตัวแปร	การดูดซับทางกายภาพ	การดูดซับทางเคมี
1. ค่าความร้อนของการดูดซับ	น้อยกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล	50-400 กิโลจูลต่อโมล
2. อุณหภูมิที่เกิดการดูดซับ	ต่ำ	สูง
3. แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล	แรงแวนเดอร์วาลส์	พันธะเคมี
4. การผันกลับของปฏิกิริยา	ผันกลับได้	ส่วนใหญ่ไม่ผันกลับ
5. การดูดซับบนก๊าซ-ของแข็ง	เกิดได้เกือบทุกชนิด	เกิดเฉพาะบางระบบ
6. พลังงานก่อกัมมันต์ในกระบวนการเกิด	ไม่เกี่ยวข้อง	เกี่ยวข้อง
7. รูปแบบชั้นของการดูดซับ	ชั้นเดียวและหลายชั้น	ชั้นเดียว

สมดุลดูดซับ คือสภาวะที่อัตราการดูดซับเท่ากับอัตราการคายซับ จึงมีผลให้ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับและปริมาณดูดซับจำเพาะในวัฏภาคดูดซับไม่เปลี่ยนแปลงอีกต่อไป ณ สภาวะที่ควบคุม ถึงแม้ว่าสารถูกดูดซับยังคงมีการถ่ายโอนกันอยู่ในระหว่างวัฏภาคของไหลกับวัฏภาคดูดซับ ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่า การดูดซับสารเข้าสู่สมดุล (equilibrium) ของการถ่ายโอนมวลสาร [30]

สมดุลดูดซับจำเพาะของสารถูกดูดซับชนิดใด ๆ กับตัวดูดซับชนิดหนึ่ง จะมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นสมดุล (C_i) หรือความดันสมดุล (P_i) ของสารถูกดูดซับชนิดนั้น และอุณหภูมิสมดุล (T) ของระบบดูดซับนั้น ดังนั้นแบบจำลองสมดุลการดูดซับจึงจำแนกออกเป็น 3 ประเภท ตามชนิดตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่ดังนี้

1. แบบจำลองสมดุลดูดซับอุณหภูมิคงที่ (adsorption isotherm)
2. แบบจำลองสมดุลดูดซับความดันคงที่ (adsorption isobar) หรือความเข้มข้นคงที่
3. แบบจำลองสมดุลดูดซับปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะคงที่ (adsorption isostere)

แบบจำลองสมดุลดูดซับก๊าซหรือไอ ซึ่งพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดูดซับจำเพาะ (q_i) และความเข้มข้นสมดุล (C_i) ถูกดูดซับ โดยที่ให้อุณหภูมิสมดุล (T) ของระบบดูดซับคงที่สามารถจำแนกย่อยตามลักษณะของระบบดูดซับ ได้ดังนี้

1. แบบจำลองสมดุลดูดซับของเฮนรี (Henry's adsorption equilibrium model) เป็นสมดุลดูดซับที่มีปริมาณการดูดซับสารถูกดูดซับจำเพาะ (q_i) เพียงเล็กน้อย ลักษณะนี้ปริมาณ

สมมูลดูดซับสารถูกดูดซับจำเพาะ (q_i) จะแปรเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นสมมูล (C_i) ของสารถูกดูดซับ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ในลักษณะเส้นตรงตามสมการดังนี้

$$q_i = K_H C_i \quad (2.6)$$

เมื่อกำหนดให้ K_H คือค่าคงที่สมมูลดูดซับของเฮนรี ซึ่งเป็นพารามิเตอร์กำหนดลักษณะเฉพาะของระบบการดูดซับก๊าซสารถูกดูดซับหรือไอสารถูกดูดซับเจือจาง

2. แบบจำลองสมมูลดูดซับของแลงเมียร์ (Langmuir's adsorption equilibrium model) เป็นการเลียนแบบปรากฏการณ์ของปฏิกิริยาเคมีแบบผันกลับได้ ระหว่างสารถูกดูดซับกับพื้นผิวของสารดูดซับซึ่งมีอยู่จำกัด ลักษณะนี้ปริมาณสมมูลดูดซับสารถูกดูดซับจำเพาะ (q_i) จะมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นสมมูล (C_i) ของสารถูกดูดซับ ในลักษณะกราฟโค้งคว่ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 นั่นคือ ปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะเพิ่มขึ้นน้อยกว่าการเพิ่มความเข้มข้นสมมูล (C_i) ของสารถูกดูดซับ และปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะจะลู่เข้าสู่ปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะสูงสุด (q_{max}) เมื่อความเข้มข้นของสารถูกดูดซับเพิ่มสูงขึ้นมาก ๆ ตามสมการดังนี้

$$q_i = \frac{q_{max} K_L C_i}{1 + K_L C_i} \quad (2.7)$$

เมื่อกำหนดให้ K_L คือค่าคงที่สมมูลดูดซับของแลงเมียร์ แบบจำลองสมมูลดูดซับจะมีลักษณะคล้ายกับแบบจำลองสมมูลดูดซับของเฮนรี เมื่อความเข้มข้นของสารดูดซับในระบบดูดซับดังกล่าวลดต่ำลงมาก ๆ ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับระบบดูดซับสารเจือจาง ดังนั้นสมการดังกล่าวสามารถแปลงให้เป็นความสัมพันธ์ระหว่างส่วนกลับของปริมาณสมมูลดูดซับสารถูกดูดซับจำเพาะ ($1/q_i$) กับส่วนกลับของความเข้มข้นสมมูลของสารถูกดูดซับ ($1/C_i$) ดังสมการ

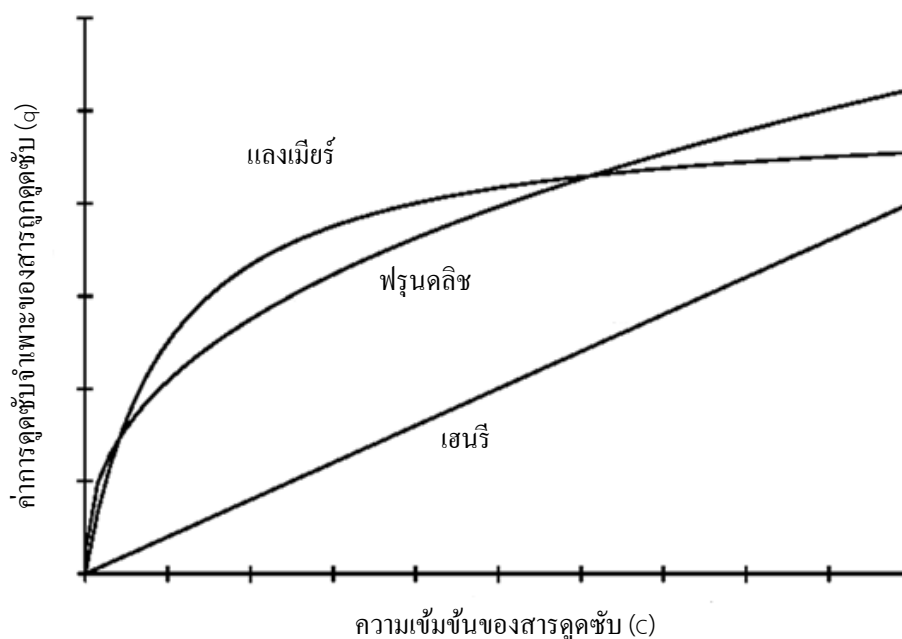
$$\frac{1}{q_i} = \left(\frac{1}{q_{max} K_L} \right) \frac{1}{C_i} + \frac{1}{q_{max}} \quad (2.8)$$

ความชันของ กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_i$ กับ $1/C_i$ จะเป็น ส่วนกลับของผลคูณของ q_{max} กับ K_L และส่วนกลับของ q_{max} คือจุดตัดแกนตั้ง

3. แบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรอนด์ลิช (Freundlich's adsorption equilibrium model) ลักษณะนี้ปริมาณสมดุลดูดซับสารถูกดูดซับจำเพาะ (q_i) เป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นสมดุล (C_i) ของสารถูกดูดซับยกกำลังค่าคงที่ (n) ดังสมการ

$$q_i = K_F C_i^n \quad (2.9)$$

เมื่อดัชนีชี้กำลัง (n) มีค่ามากกว่าหนึ่ง แบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรอนด์ลิชมีลักษณะเป็นเส้นโค้งสมดุลดูดซับชนิดหงาย แต่เมื่อดัชนีชี้กำลัง (n) มีค่าน้อยกว่าหนึ่งแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรอนด์ลิชจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งสมดุลดูดซับชนิดคว่ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 และแบบจำลองสมดุลดูดซับจะมีลักษณะคล้ายกับแบบจำลองสมดุลดูดซับของเฮนรี เมื่อดัชนีชี้กำลัง (n) มีค่าใกล้เคียง 1



รูปที่ 2.9 กราฟแบบจำลองสมดุลการดูดซับของเฮนรี แลงเมียร์ และฟรอนด์ลิช

การทดสอบสมดุลดูดซับ เป็นการทดสอบปริมาณสมดุลดูดซับ สารถูกดูดซับจำเพาะก่อนนำไปใช้งานจริง โดยจำลองการทดสอบให้ใกล้เคียงกับสภาวะที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

1. การวัดมวลสมดุลของสารถูกดูดซับ เป็นการวัดมวลของสารถูกดูดซับที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณของสารถูกดูดซับที่เปลี่ยนแปลงในระบบ วิธีนี้จึงต้องใช้เครื่องชั่งมวลแบบละเอียด

2. การวัดปริมาณสมมูลดูดซับคงเหลือ เป็นการวัดปริมาณสารถูกดูดซับที่เหลือจากการดูดซับในระบบ แทนการวัดปริมาณสมมูลดูดซับสารถูกดูดซับโดยตรง ปริมาณสมมูลดูดซับสารถูกดูดซับจำเพาะของตัวดูดซับ คำนวณได้จากผลต่างของปริมาณสารถูกดูดซับที่เติมเข้าสู่ระบบกับปริมาณสารถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในระบบ ดังนั้นจึงต้องรู้ปริมาณสารถูกดูดซับที่เติมเข้าระบบและสารดูดซับที่เหลือจากการดูดซับในการเติมสารถูกดูดซับ

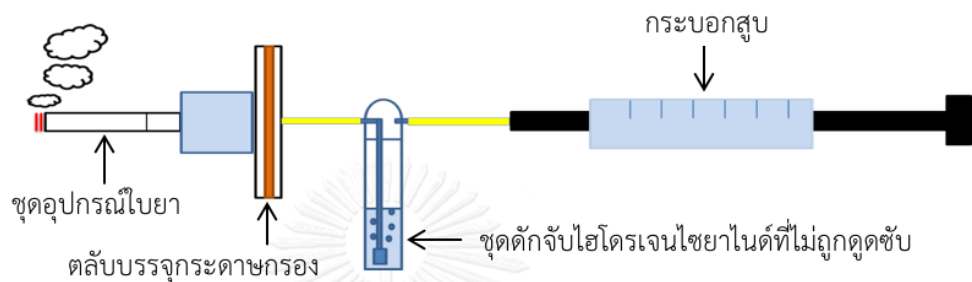
3. การวัดปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะแบบไหลผ่าน (breakthrough) เป็นการวัดปริมาณสารถูกดูดซับที่เหลือจากการดูดซับในระบบและไหลออกจากระบบ แทนการวัดปริมาณสมมูลดูดซับสารถูกดูดซับโดยตรง เช่นเดียวกับการวัดปริมาณสมมูลดูดซับคงเหลือ แต่วิธีนี้เป็นการทำงานอย่างต่อเนื่องโดยป้อนสารถูกดูดซับเข้ามาด้วยอัตราการไหลของก๊าซตามที่กำหนด แล้ววิเคราะห์ปริมาณสารถูกดูดซับที่ไหลออกจากระบบอย่างต่อเนื่อง ระบบนี้นอกจากจะได้ปริมาณสมมูลดูดซับสารถูกดูดซับจำเพาะแล้ว ยังทำให้ทราบถึงอัตราการดูดซับสารถูกดูดซับอีกด้วย

4. การทดสอบค่าคงที่สมมูลดูดซับ เป็นการทดสอบปริมาณสมมูลดูดซับสารถูกดูดซับจำเพาะของระบบดูดซับที่มีสารถูกดูดซับเป็นสารเจือปน ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในลักษณะนี้ มักมีค่าต่ำ ดังนั้นจึงเป็นการทดสอบค่าคงที่สมมูลดูดซับสารเจือปน แทนการทดสอบปริมาณสมมูลดูดซับสารเจือปนจำเพาะโดยตรง ซึ่งวิธีการคล้ายกับการวัดปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะแบบไหลผ่าน

บทที่ 3 วิธีการทดลอง

3.1 การดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ในควันที่เกิดจากการเผาไหม้ไบยาสูบ

3.1.1 ชุดอุปกรณ์ทดสอบการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์



รูปที่ 3.1 แบบจำลองชุดเครื่องมือการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์จากการเผาไหม้ไบยาสูบ

ส่วนประกอบหลักของชุดอุปกรณ์ทดสอบการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์

ประกอบด้วยชุดอุปกรณ์ไบยา ตลับบรรจุกระดาษกรองที่เป็นส่วนดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ได้จากการเผาไหม้ ชุดดักจับไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ไม่ถูกดูดซับ เป็นส่วนที่จับสารไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ไม่ถูกดูดซับด้วยกระดาษกรองและสารดูดซับบนกระดาษกรอง กระบอกสูบเป็นส่วนที่ควบคุมปริมาณการไหลของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ผ่านตลับบรรจุกระดาษกรอง เมื่อนำชุดอุปกรณ์ไบยาต่อกับตลับบรรจุกระดาษกรองที่ซับสารดูดซับไว้บนผิวหน้าของกระดาษกรอง และชุดดักจับไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ไม่ถูกดูดซับ จากนั้นจุดไฟที่ปลายแท่งไบยาสูบ กระบอกสูบจะดึงควันที่เกิดจากการเผาไหม้ผ่านตลับบรรจุกระดาษกรองและชุดดักจับไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ไม่ถูกดูดซับ ด้วยอัตราการไหลตามที่กำหนดไว้ ควันที่ผ่านชุด ดักจับไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ไม่ถูกดูดซับ ออกมาจะไม่มีก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ ซึ่งจะถูกขับออกจากระบบ แล้วเริ่มทำการสูบจนครบตามที่กำหนด ก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ได้จากการทดสอบจะถูกจับอยู่บน 2 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1 ก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ถูกดูดซับบนกระดาษกรองที่มีและไม่มีสารดูดซับ ซึ่งหลังจากทำการทดลองเสร็จกระดาษกรองนี้จะถูกนำไปละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.625 โมล จำนวน 40 มิลลิลิตร เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

กรองจนได้สารละลายใส จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วยเครื่อง Continuous Flow Analyzer

ส่วนที่ 2 ก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ผ่านกระดาษกรองและตัวดูดซับ ซึ่งจะถูกจับไว้ในชุดดักจับไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ไม่ถูกดูดซับ ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.625 โมลในปริมาณที่เหมาะสม ถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Continuous Flow Analyzer

3.1.2 การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Continuous Flow Analyzer

เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ด้วย Colorimetric assays [6,13] [Ref. Arista Lab., Uk and Skalar.] โดยใช้หลักการในการทำปฏิกิริยาระหว่างไซยาไนด์ไอออนกับสารละลาย chloramine-T ได้สารไซยาโนเจนคลอไรด์ จากนั้นสารนี้จะทำปฏิกิริยากับไพริดีน และกรดบาบิฟูริคได้เป็นสารประกอบที่มีสีน้ำเงินอมม่วง แล้ววัดความเข้มข้นแสงได้ที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร เทียบกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไซยาไนด์ โดยมีอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

3.1.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- ชุดเครื่องมือการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์จากการเผาไหม้ชีวมวล (LX20H Borgwaldt kc, Germany, and ancillary equipment)
- เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (XP1203S Mettler Toledo, Switzerland)
- เครื่องวิเคราะห์ไฮโดรเจนไซยาไนด์ Continuous Flow Analyzer (SKALAR, Netherland)
- เครื่องเขย่า (Gerhardt, Germany)
- เครื่องทำน้ำบริสุทธิ์ (Millipore, USA)
- ตู้อบความชื้น (Binder, Germany)
- กระดาษกรองขนาด 44 มิลลิเมตร พร้อมตลับใส่ (Cambridge 44 mm glass fiber filter pads (CFP) and holders)

- ขวด Erlenmeyer Flask ขนาด 150 มิลลิลิตรหรือเทียบเท่า
- ขวด Volumetric Flask ขนาด 100, 250, 500, และ 1,000 มิลลิลิตร
- ปีกเกอร์ ขนาด 50, 100, 250, 500, และ 1,000 มิลลิลิตร
- ชุด Impinger ขนาด 250 มิลลิลิตรหรือเทียบเท่า
- อุปกรณ์ดูดจ่ายอัตโนมัติ ขนาด 1 ถึง 5 มิลลิลิตร
- อุปกรณ์ดูดจ่ายอัตโนมัติ ขนาด 50 มิลลิลิตร
- หลอดทดลอง
- กรวยกรองและกระดาษกรอง whatman no.1

3.1.2.1 สารเคมี

- โพแทสเซียมไซยาไนด์ (KCN)
- โพแทสเซียม ไดไฮโดรเจน ฟอสเฟต (KH_2PO_4)
- ได โพแทสเซียม ไฮโดรเจน ฟอสเฟต (K_2HPO_4)
- คลอรามีน ที ($\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{N}(\text{Na})\text{Cl} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)
- กรด บาบิฟูริก ($\text{C}_4\text{H}_4\text{N}_2\text{O}_3$)
- ไพรีดีน ($\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$)
- กรดไฮโดรคลอริก (32 % HCl)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- Brij 35 (30 % w/v)
- น้ำกลั่น

3.1.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานและสารละลายที่ใช้ในการทดลอง

3.1.3.1 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮยาไนด์ความเข้มข้น 1000 ppm CN

ชั่งโพแทสเซียมไฮยาไนด์ 2.5 กรัม ที่ความบริสุทธิ์ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ของโพแทสเซียมไฮยาไนด์ ละลายด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิกรัมในน้ำ 800 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นให้เป็น 1000 มิลลิลิตร สารละลายนี้มีอายุการใช้งานไม่เกิน 3 เดือนเมื่อเก็บในตู้เย็น

3.1.3.2 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮยาไนด์ความเข้มข้นต่าง ๆ

ใช้สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮยาไนด์ความเข้มข้น 1000 ppm CN จากข้อ 3.1.3.1 ใส่ในขวด volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร ตามปริมาตรในตารางที่ 3.1 จากนั้นละลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.01 โมล จากข้อ 3.1.3.8 ผสมให้เข้ากัน สารละลายนี้ต้องเตรียมทุกก่อนการทดลอง

ตารางที่ 3.1 เตรียมสารละลายที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ลำดับที่	ปริมาตร 1000 ppm CN (ไมโครลิตร)	ขนาด Volume flask (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นสุดท้าย (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)
#1	0	100	0
#2	320	100	3.2
#3	640	100	6.4
#4	960	100	9.6
#5	1280	100	12.8
#6	1600	100	16.0

3.1.3.3 สารละลายบัฟเฟอร์

ชั่งโพแทสเซียม ไดไฮโดรเจน ฟอสเฟต 27.2 กรัม และ ไดโพแทสเซียม ไฮโดรเจน ฟอสเฟต 0.64 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน เติมน้ำ Brij 35 1 มิลลิลิตร ปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 5.2 ± 0.05 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ หรือสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ เก็บในตู้เย็นได้ 1 สัปดาห์

3.1.3.4 สารละลายคลอรามิน ที

ชั่งคลอรามิน ที 1 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน เก็บในขวดสีชาและเก็บในตู้เย็นได้นาน 3 วัน

3.1.3.5 สารละลายสำหรับทำปฏิกิริยาการเกิดสี

ชั่งกรดบัพูริค 13.6 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 800 มิลลิลิตร ที่มีกรดไฮโดรคลอริก 15 มิลลิลิตร และเติมโพโรติน 75 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น ผสมให้เข้ากัน ปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 5.5 ± 0.05 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ เก็บในตู้เย็นได้ 1 เดือน

3.1.3.6 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 กรัม ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1000 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

3.1.3.7 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.625 โมลาร์

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50 กรัม ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 2000 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

3.1.3.8 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์

ปิเปตสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ (จากข้อ 3.1.3.6) 10 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

3.1.3.9 สารที่ใช้ล้างระบบการดูดตัวอย่างและการปรับ Base line ใช้ น้ำกลั่น

3.1.4 การเก็บก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์จากควันที่เกิดจากการเผาไหม้ใบยาสูบ

3.1.4.1 การทดสอบต้องควบคุมสภาวะแวดล้อมห้องทดสอบ

ให้มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 22 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60 ± 5 ตาม ISO3308:2000 Analytical cigarette-smoking machine – Definitions and standard conditions

3.1.4.2 ตั้งค่าอัตราการไหล

อัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที สูบได้จำนวน 7 ครั้งต่อชุดอุปกรณ์ใบยา รวมปริมาตร 245 มิลลิลิตรต่อชุดอุปกรณ์ใบยา ตาม ISO4387:2000 Cigarettes – Determination of total and nicotine – free dry particulate matter using a routine analytical smoking machine

3.1.4.3 ประกอบชุดเก็บรวบรวมก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์

ซึ่งบรรจุสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.625 โมล (จากข้อ 3.1.3.7) จำนวน 40 มิลลิลิตร หรือตามความเหมาะสมของปริมาณสารไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่จะจับเข้ากับชุดอุปกรณ์ทดสอบการดูดซับ ดังรูปที่ 3.1

3.1.4.4 ประกอบกลับ

ประกอบกลับที่บรรจุกระดาศรองซึ่งมีปริมาณสารดูดซับที่ต้องการศึกษาเข้ากับชุดอุปกรณ์ทดสอบการดูดซับ ตรวจสอบเช็คไม่ให้เกิดการรั่วในระบบ จากนั้นปรับตั้งค่าปริมาตรของการสูบตามข้อ 3.1.4.2 ทุกช่องสูบ

3.1.4.5 ชุดอุปกรณ์ใบยาที่ได้จากข้อ 3.2.1 จำนวน 1 ชุดต่อตัวอย่าง ต่อเข้ากับชุดอุปกรณ์ทดสอบการดูดซับ

ในกรณีที่ทดสอบปริมาณการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ปริมาตรควันต่างๆ ในแต่ละชุดการทดสอบให้เพิ่มจำนวนมวนใบยาสูบเป็น 2, 3, 4, 5 และ 6 มวน

3.1.4.6 หลังจากสูบเสร็จในแต่ละชุดอุปกรณ์ใบยา

จะสูบอากาศเปล่าเข้าระบบจำนวน 1 ครั้ง และหลังจากสูบเสร็จในแต่ละชุดการทดสอบจะสูบอากาศเปล่าเข้าระบบอีก 5 ครั้ง

3.1.4.7 นำเอากระดาษกรองออกจากตลับใส่ในขวด Erlenmeyer flask ขนาด 150 มิลลิลิตรหรือเทียบเท่า

เซ็ดตลับด้วยกระดาษกรองใส่ในขวด Erlenmeyer flask เต็มโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.625 โมลาร์ 40 มิลลิลิตร เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที กรองเอาสารละลายส่วนที่ใสซึ่งเป็นสารละลายในส่วนที่ 1

3.1.4.8 วิเคราะห์สารละลาย ด้วยเครื่อง Continuous Flow Analyzer

นำสารละลายในชุดเก็บรวบรวมก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ซึ่งเป็นสารละลายในส่วนที่ 2 พร้อมด้วยสารละลายในข้อ 3.1.4.7 ส่วนที่ 1 ไปวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วยเครื่อง Continuous Flow Analyzer

3.1.4.9 ค่าที่ได้นำมาคำนวณหาปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ ตามสมการดังนี้

$$\text{ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ (ไมโครกรัม)} = A \times 1.039 \times B \quad (3.1)$$

A คือ ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง Continuous Flow Analyzer มีหน่วยเป็นไมโครกรัมไซยาไนด์ต่อ มิลลิลิตร

B คือ ปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.625 โมลาร์ที่ใช้ มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

3.2 การเตรียมชุดอุปกรณ์โบายาสำหรับการเผาไหม้เพื่อให้สังเคราะห์ก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์

3.2.1 เตรียมแท่งโบายาสูบ

โบายาสูบอเมริกัน พันธุ์เวอร์ยีนีเย กรด S5 ซึ่งเป็นโบายาแห่งที่ผ่านกระบวนการแยกก้าน คัดคุณภาพ และทำความสะอาด เรียบร้อยแล้ว ปรับความชื้นเพื่อไม่ให้โบายาแตกหักก่อนตัดโบายาด้วยมีดให้มีขนาดประมาณ 30 ชิ้นต่อนิว นำโบายาสูบแห้งแล้วบรรจุในชุดอุปกรณ์โบายาที่มีเซลล์โลสอะซิเตทบรรจุไว้ที่ปลาย โดยให้ความดันลด 280 มิลลิเมตรน้ำ



รูปที่ 3.2 การเตรียมชุดอุปกรณ์ใบยา

ชุดอุปกรณ์ใบยาจะถูกคัดเลือก ด้วยเครื่องมือสำหรับตัดตัวอย่าง จากการวัดน้ำหนักและความดันแตกต่างกัน ยี่ห้อ Borgwaldt kc ประเทศเยอรมนี โดยคัตน้ำหนักชุดอุปกรณ์ใบยาให้อยู่ในช่วง 920 ± 100 มิลลิกรัม และความดันแตกต่างกัน 90 ± 10 มิลลิเมตรน้ำ จากนั้นนำชุดอุปกรณ์ใบยาที่คัดเลือกแล้วเข้าตู้ปรับสภาพที่ควบคุมอุณหภูมิ 22 ± 1 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60 ± 2 ในชั่งเวลามากกว่า 48 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 10 วัน ซึ่งตัวอย่างที่ผ่านการปรับสภาพจะมีความชื้นประมาณ 10-12 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้ตัวอย่างมีความสม่ำเสมอ

3.2.2 ศึกษาผลของอัตราการไหล และปริมาณก๊าซต่อการสังเคราะห์ก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์

3.2.2.1 ศึกษาปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ ที่ได้จากการสังเคราะห์ ด้วยอัตรา การไหลต่าง ๆ

นำตลับสูบที่บรรจุกระดาษกรอง ชั่งน้ำหนักและประกอบเข้ากับเครื่องสูบ และประกอบกับชุดเก็บรวบรวมก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ จากนั้นตรวจสอบระบบของเครื่องสูบ โดยสูบชุดอุปกรณ์ใบยา ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปรับอัตราการไหล (Flow rate) เป็น 1-10 มิลลิลิตรต่อวินาที ทดลองซ้ำ 4 ครั้ง ทดสอบการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในกระดาษกรอง และไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ไม่ถูกดูด

ซัปดาห์ของแต่ละชุดการทดลอง จำนวนปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ถูกดูดซับด้วยกระดาษกรอง และที่ไม่ถูกดูดซับในชุดเก็บรวบรวมก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์

3.2.2.2 ศึกษาผลของอัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อวินาที

นำตลับสูบที่บรรจุกระดาษกรอง (ข้อ 3.1.2.7) ชั่งน้ำหนักและประกอบเข้ากับเครื่องสูบ และประกอบกับชุดเก็บรวบรวมก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ จากนั้นตรวจสอบระบบของเครื่องสูบ โดยใช้อัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อ 5 วินาที และสูบชุดอุปกรณ์โยธา จำนวน 1-15 ครั้ง ทดลองซ้ำ 4 ครั้ง ทดสอบการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในกระดาษกรอง และไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ไม่ถูกดูดซับ ของแต่ละชุดการทดลอง จำนวนปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ถูกดูดซับด้วยกระดาษกรอง และที่ไม่ถูกดูดซับในชุดเก็บรวบรวมก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์

3.2.2.3 ศึกษาผลของอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที

นำตลับสูบที่บรรจุกระดาษกรอง ชั่งน้ำหนักและประกอบเข้ากับเครื่องสูบ และประกอบกับชุดเก็บรวบรวมก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ จากนั้นเช็คระบบของเครื่องสูบ โดยใช้อัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที และสูบลำดับ 17 - 1470 มิลลิลิตร ทดลองซ้ำ 4 ครั้ง ทดสอบการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในกระดาษกรอง และไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ไม่ถูกดูดซับ ของแต่ละชุดการทดลอง จำนวนปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ถูกดูดซับด้วยกระดาษกรอง และที่ไม่ถูกดูดซับในชุดเก็บรวบรวมก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์

3.3 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์จากการเผาไหม้โยธาสูบลำดับด้วยสารประกอบชนิดต่าง ๆ

3.3.1 ทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์จากการเผาไหม้โยธาสูบลำดับด้วยสารประกอบชนิดต่าง ๆ

3.3.1.1 สารประกอบที่ใช้ในการศึกษา แยกกลุ่มได้เป็น 3 กลุ่มคือ

สารประกอบอนินทรีย์: จำนวน 14 ชนิด

- โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) (Loba Chemie, India)
- แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) (Ajax Finechem, Australia)
- ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) (Merck, Germany)

- โซเดียมไนเตรท (NaNO_3) (sigma aldrich, Germany)
- โซเดียมไนไตรท (NaNO_2) (sigma aldrich, Germany)
- แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) (Ajax Finechem, Australia)
- แลนทานัมคลอไรด์ (LaCl_3) (Fisher Chemicals, UK)
- เพอร์รัส ซัลเฟต (FeSO_4) (Ajax Finechem, Australia)
- โซเดียมไฮโอซัลเฟต เพนตะไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{O}_3\text{S}_5 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) (Merck, Germany)
- โซเดียมซัลเฟต แอนไฮดรัส (Na_2SO_4) (Fisher Chemicals, UK)
- โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) (Ajax Finechem, Australia)
- เพอร์ริคไนเตรท ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) (Ajax Finechem, Australia)
- โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) (Fisher Chemicals, UK)
- โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) (CARLO ERBA, Italy)

เกลือโลหะของสารประกอบอินทรีย์: จำนวน 3 ชนิด

- คลอรามีน ที ($\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{N}(\text{Na})\text{Cl} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) (Merck, Germany)
- โซเดียมซาลิไซเลต ($\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})\text{COONa}$) (Ajax Finechem, Australia)
- ลิเทียมซิเตรท ไตรเบสิค เตทตระไฮเดรต ($\text{C}_6\text{H}_5\text{Li}_3\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) (Fluka Analytical, Germany)

สารประกอบอินทรีย์: จำนวน 6 ชนิด

- แอล กลูตามิก แอซิด ไฮโดรคลอไรด์ ($\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_4\text{ClH}$) (sigma aldrich, France)
- แอล แอสพาราจีน ($\text{C}_4\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_3$) (ACROS organics, USA)
- แอล โพลีน ($\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_2$) (sigma aldrich, USA)
- กลูโคส ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) (sigma aldrich, USA)
- กรดแอสพาทิค ($\text{C}_4\text{H}_7\text{NO}_4$) (sigma aldrich, China)

- 2-อะมิโน-2-ไฮดรอกซีเมทิล-1,3-โพพานีไดออล ($C_4H_{11}NO_3$)
(sigma aldrich, Germany)

3.3.1.2 เตรียมสารละลายของสารประกอบที่ความเข้มข้นประมาณ 0.01 โมลาร์
ด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

ตารางที่ 3.2 เตรียมสารละลายของสารประกอบต่าง ๆ

ชื่อสาร	มวลโมเลกุล (กรัมต่อโมล)	ความเข้มข้นที่ เตรียม (โมล)	pH ของ สารละลาย
สารประกอบอินทรีย์			
แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl)	53.49	0.20**	6.09
เฟอร์ริกไนเตรท($Fe(NO_3)_3$)	241.86	0.10	1.61
เฟอร์รัส ซัลเฟต ($FeSO_4$)	151.91	0.05*	3.07
แลนทานัมคลอไรด์ ($LaCl_3$)	245.30	0.10	4.44
โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$)	294.20	0.10	3.88
แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$)	110.98	0.10	4.33
ไดโซเดียมไฮโดรเจน ฟอสเฟต (Na_2HPO_4)	141.96	0.10	9.10
โซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$)	158.11	0.10	6.41
โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4)	142.00	0.10	6.38
โซเดียมคลอไรด์ ($NaCl$)	58.40	0.20**	6.19
โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)	106.00	0.10	10.68

ตารางที่ 3.3 เตรียมสารละลายของสารประกอบต่าง ๆ (ต่อ)

ชื่อสาร	มวลโมเลกุล (กรัมต่อโมล)	ความเข้มข้นที่ เตรียม (โมล)	pH ของ สารละลาย
โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3)	84.00	0.10	8.92
โซเดียมไนเตรท (NaNO_3)	84.99	0.10	6.46
โซเดียมไนไตรท์ (NaNO_2)	68.99	0.10	6.34
เกลือโลหะของสารประกอบอินทรีย์			
ลิเทียมซีเตรท ไตรเบสิก ($\text{C}_6\text{H}_5\text{Li}_3\text{O}_7$)	209.90	0.10	8.45
โซเดียมซาลิไซเลต ($\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})\text{COONa}$)	160.11	0.10	6.47
คลอรามิน ที ($\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{N}(\text{Na})\text{Cl}$)	281.69	0.10	6.47
สารประกอบอินทรีย์			
แอล กลูตามิค แอซิด ไฮโดร คลอไรด์ ($\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_4\text{ClH}$)	183.59	0.10	1.67
แอล แอสพาราจีน ($\text{C}_4\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_3$)	132.10	0.10	7.32
แอล โพลีน ($\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_2$)	115.13	0.10	8.03
กลูโคส ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)	180.16	0.10	6.82
กรดแอสพาทิค ($\text{C}_4\text{H}_7\text{NO}_4$)	133.10	0.10	3.04
2-อะมิโน-2-ไฮดรอกซีเมทิล- 1,3-โพรพานี้ไดออล ($\text{C}_4\text{H}_{11}\text{NO}_3$)	121.10	0.10	10.56

หมายเหตุ *สารประกอบละลายน้ำได้น้อยกว่าความเข้มข้นที่กำหนด

** สารประกอบละลายน้ำได้สูงกว่าความเข้มข้นที่กำหนดมาก

3.3.1.3 อบกระดาษกรอง

ด้วยตู้อบความชื้นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง นำออกมาใส่ใน desiccator จนกระทั่งกระดาษกรองมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักและบันทึกไว้

3.3.1.4 จุ่มกระดาษกรองที่อบแล้วลงในสารละลายที่เตรียมไว้จนจุ่ม จากนั้นเอาวางลงบนกระดาษนาฬิกา

3.3.1.5 นำกระดาษนาฬิกาพร้อมกระดาษกรองที่จุ่มสารเรียบร้อยแล้วเข้าอบในตู้อบความชื้นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง นำออกมาใส่ใน desiccator จนกระทั่งกระดาษกรองมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักและบันทึก

3.3.1.6 คำนวณและบันทึกมวลสารที่เกาะติดอยู่บนกระดาษกรอง

นำกระดาษกรองที่ได้บรรจุในชุดอุปกรณ์ทดสอบการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ แต่ละชุดการทดลอง เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ซึ่งตัวอย่างควบคุมจะใช้น้ำแทนสารละลาย ตัวอย่าง และทำการทดลองเหมือนสารละลายตัวอย่างทุกขั้นตอน

3.3.1.7 ทดสอบโดยใช้ชุดอุปกรณ์ใบยาในการทดสอบ 1 ชุดต่อตัวอย่าง แต่ละการทดลอง ทดลองซ้ำ 10 ครั้ง ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ปริมาตรควัน 245 มิลลิลิตร

3.3.1.8 คำนวณประสิทธิภาพของตัวดูดซับเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยใช้สถิติ F-Test และ T-Test

3.3.2 การทดสอบการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ของสารประกอบที่ผ่านการคัดเลือก

3.3.2.1 ศึกษาผลของปริมาณสารประกอบตัวดูดซับต่อการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ โดย

เตรียมสารละลายตัวดูดซับที่ผ่านการคัดเลือกจากขั้นตอนที่ผ่านมา ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ จากนั้นดำเนินการตามขั้นตอน 3.3.1.3-3.3.1.6 และทดสอบโดยใช้ชุดอุปกรณ์ใบยาในการทดสอบ 1 ชุดต่อตัวอย่าง แต่ละการทดลอง ทดลองซ้ำ 10 ครั้ง

3.3.2.2 ศึกษาผลของปริมาณก๊าซเผาไหม้ต่อการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วย
ตัวดูดซับที่ผ่านการคัดเลือกจากขั้นตอนที่ผ่านมา

ที่มีปริมาณสารประกอบบนกระดาษกรองประมาณ 10 มิลลิกรัม จากนั้นดำเนินการตาม
ขั้นตอน 3.3.1.3-3.3.1.6 และทำการทดสอบโดยใช้ชุดอุปกรณ์โบายาในการทดสอบ 1- 6 ชุดต่อ
ตัวอย่าง แต่ละการทดลอง ทดลองซ้ำ 10 ครั้ง



บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบการสังเคราะห์ไฮโดรเจนไซยาไนด์ จากแก๊สไบยาสูบ

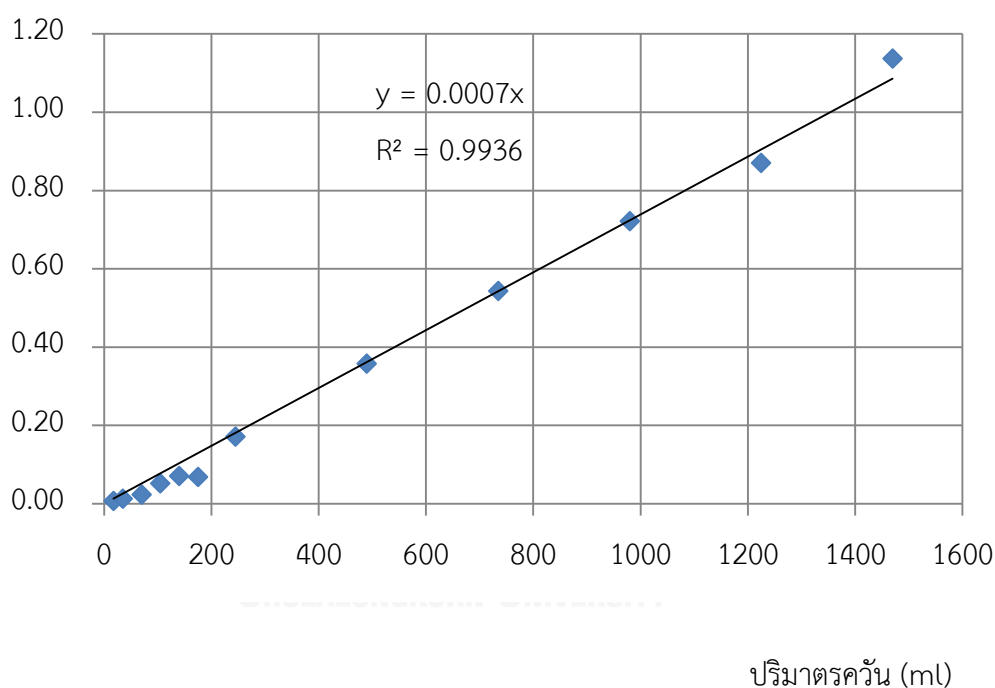
แหล่งกำเนิดของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์สำหรับการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ใช้ไบยาสูบเวอร์จิเนียจากประเทศสหรัฐอเมริกา นำมาบดและบดด้วยบดหยาบ โดยใช้ปริมาณไบยาสูบ 0.63-0.83 กรัม ต่อแก๊ส พันด้วยกระดาษชามบดหยาบ และต่อกับก้นกรองที่เป็นชนิดเซลลูโลสอะซิเตท ซึ่งจะช่วยให้ปริมาณควันที่ได้จากการเผาไหม้ไหลผ่านเข้าสู่ระบบดูดซับอย่างสม่ำเสมอ หลังจากบดไบยาสูบแล้ว ต้องคัดเลือกแก๊สที่มีลักษณะทางกายภาพสม่ำเสมอ เพื่อให้ได้ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในช่วงความเข้มข้นที่ต้องการ และสม่ำเสมอ เพราะความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่เกิดขึ้น มีผลต่อการทดลองเป็นอย่างมาก เกณฑ์การคัดเลือกแก๊สไบยาสูบที่สำคัญประกอบด้วย ผลต่างความดันของแก๊สไบยาสูบและมวลของแก๊สไบยาสูบ ดังที่สรุปในตารางที่ 4.1 แก๊สไบยาสูบที่ผ่านการคัดเลือกแล้วจะต้องนำมาควบคุมในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 60 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 48 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 240 ชั่วโมง เพื่อให้แก๊สไบยาสูบมีความชื้น 10-12 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะช่วยให้แก๊สไบยาสูบไม่ดับในขณะเผาไหม้ และได้ก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่สม่ำเสมอ

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของชุดอุปกรณ์ไบยาสูบที่ใช้ในการทดลอง

รายละเอียด	คุณสมบัติ
น้ำหนักแก๊สไบยาสูบ (กรัม)	0.92 ± 0.10
น้ำหนักไบยาสูบ (กรัมต่อแก๊ส)	0.73 ± 0.10
ความยาวแก๊สไบยาสูบ (มิลลิเมตร)	84 ± 1
เส้นรอบวงแก๊สไบยาสูบ (มิลลิเมตร)	24.8 ± 0.2
ความยาวกระดาษพันก้นกรอง (มิลลิเมตร)	30 ± 1
ความดันแตกต่างของแก๊สไบยาสูบ (มิลลิเมตร น้ำ)	90 ± 10
ความชื้นไบยาสูบ (เปอร์เซ็นต์)	12 ± 2
ปริมาตรของแก๊สไบยาสูบ (มิลลิลิตรต่อแก๊ส)	4.11 ± 0.07

เมื่อนำแห้งใบยาประกอบเข้ากับชุดทดสอบการดูดซับควันของการเผาไหม้แห้งใบยา ที่ไหลเข้าระบบดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ต่อเนื่องกัน 7 แห้งใบยาสูบ พบว่า ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่เก็บรวบรวมได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับปริมาตรควัน ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นทราบว่า ก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่สังเคราะห์จากแห้งใบยาเหล่านี้ เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอภายใต้สภาวะการทดสอบ

ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ (mg)



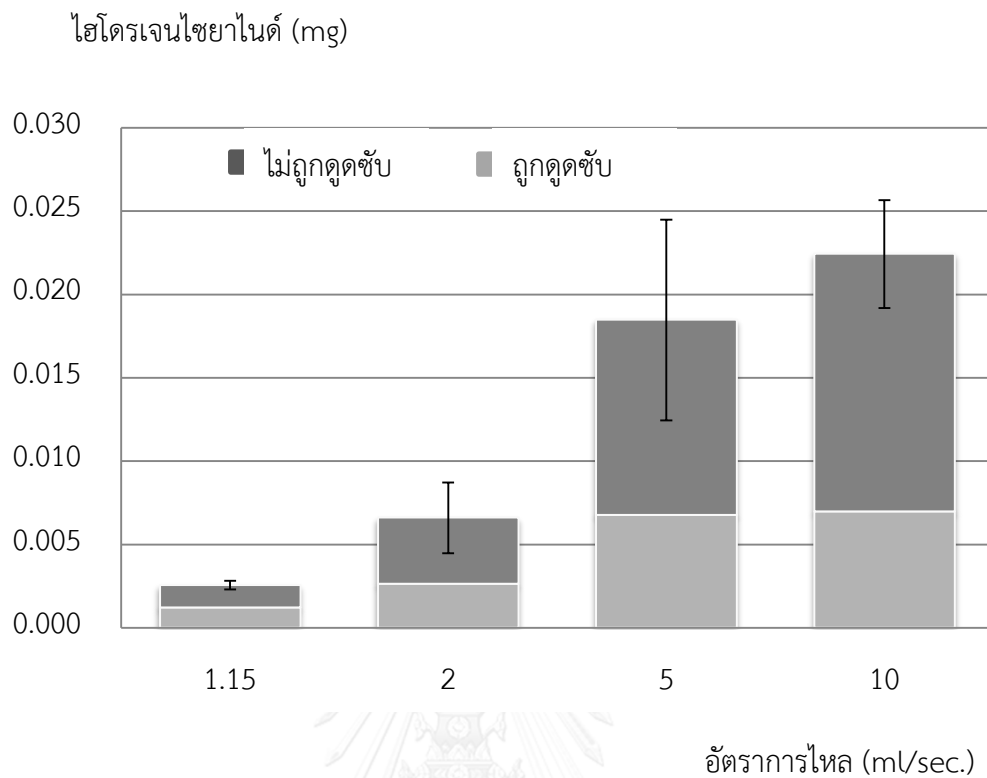
รูปที่ 4.1 ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่สังเคราะห์ได้จากแห้งใบยาสูบ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที

4.2 ผลของอัตราการไหล และปริมาณก๊าซต่อการสังเคราะห์ก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์

เมื่อเปลี่ยนอัตราการไหลของก๊าซในชุดอุปกรณ์ใบยา โดยมีปริมาตรรวม 10 มิลลิลิตร หรือ เทียบเท่ากัน ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่รวบรวมได้ในชุดอุปกรณ์ทดสอบการดูดซับ

เพิ่มขึ้นตามอัตราการไหล และปริมาณก๊าซรวมจะเริ่มคงที่ที่อัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อวินาทีขึ้นไป ดังแสดงในรูปที่ 4.2

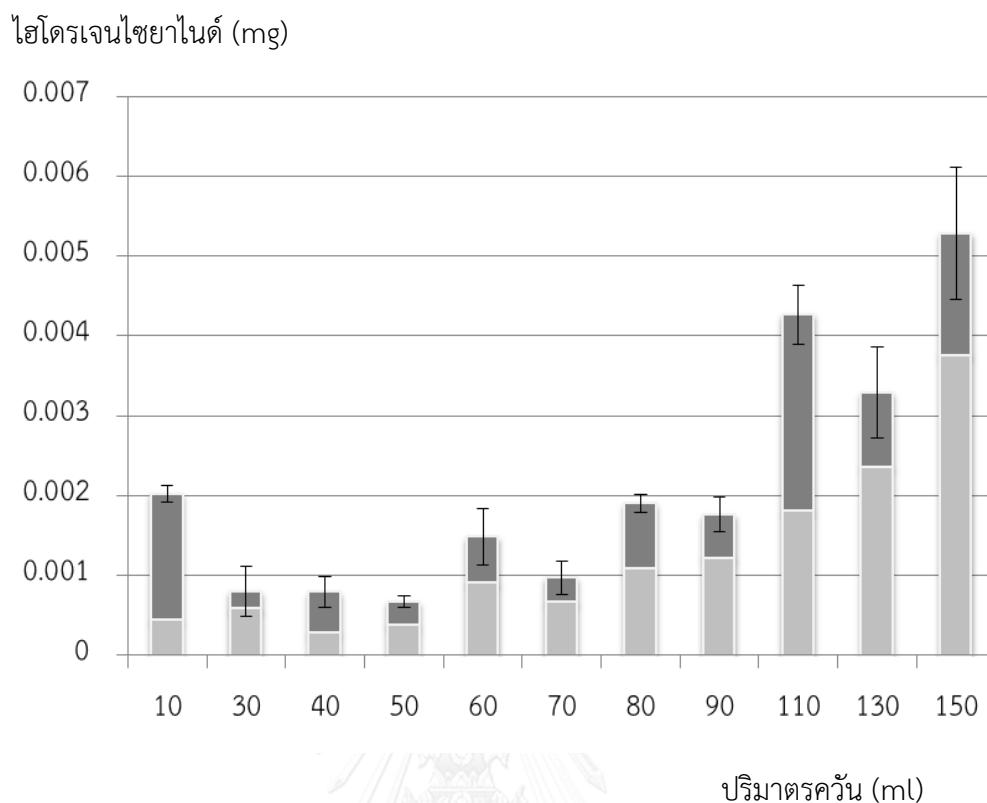
มาตรฐานในการสูบบุหรี่ตาม ISO3308:2000 Analytical cigarette-smoking machine – Definitions and standard conditions และ ISO4387:2000 Cigarettes – Determination of total and nicotine – free dry particulate matter using a routine analytical smoking machine กำหนดให้ใช้อัตราการไหล 35 มิลลิลิตรใน 2 วินาที และช่วงการหยุดพักในการสูบ (duration time) 58 วินาที ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมการสูบของการสูบบุหรี่ทั่วไป โดยการสูบแต่ละครั้งจะมีปริมาตร 35 มิลลิลิตรในเวลา 2 วินาที แล้วจะหยุดพักประมาณ 58 วินาที ดังนั้นเครื่องมือนี้จึงไม่สามารถเก็บรวบรวมก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในช่วงหยุดพักได้ วิธีการนี้เหมาะสมที่จะใช้กับการทดสอบที่อัตราการไหลสูง ๆ เพราะปริมาณก๊าซที่ได้จะค่อนข้างสม่ำเสมอ สำหรับอัตราการไหลต่ำมีผลต่อปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่รวบรวมได้ในชุดอุปกรณ์ทดสอบ เพราะระยะทางจากส่วนเผาไหม้แห่งยาสูบไปยังส่วนเก็บรวบรวมก๊าซมีระยะทางที่ทำให้ควันในปริมาณน้อยกว่า 5 มิลลิลิตร มีปริมาณน้อยกว่าแห่งใบยาสูบ ควันจึงไหลไปถึงชุดรวบรวมก๊าซได้น้อย จึงทำให้เกิดการสูญหายในระหว่างช่วงการสูบ



รูปที่ 4.2 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีปริมาณก๊าซ 10 มิลลิลิตร ไหลผ่านด้วยอัตราการไหลต่าง ๆ

4.2.1 ผลของอัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อวินาที

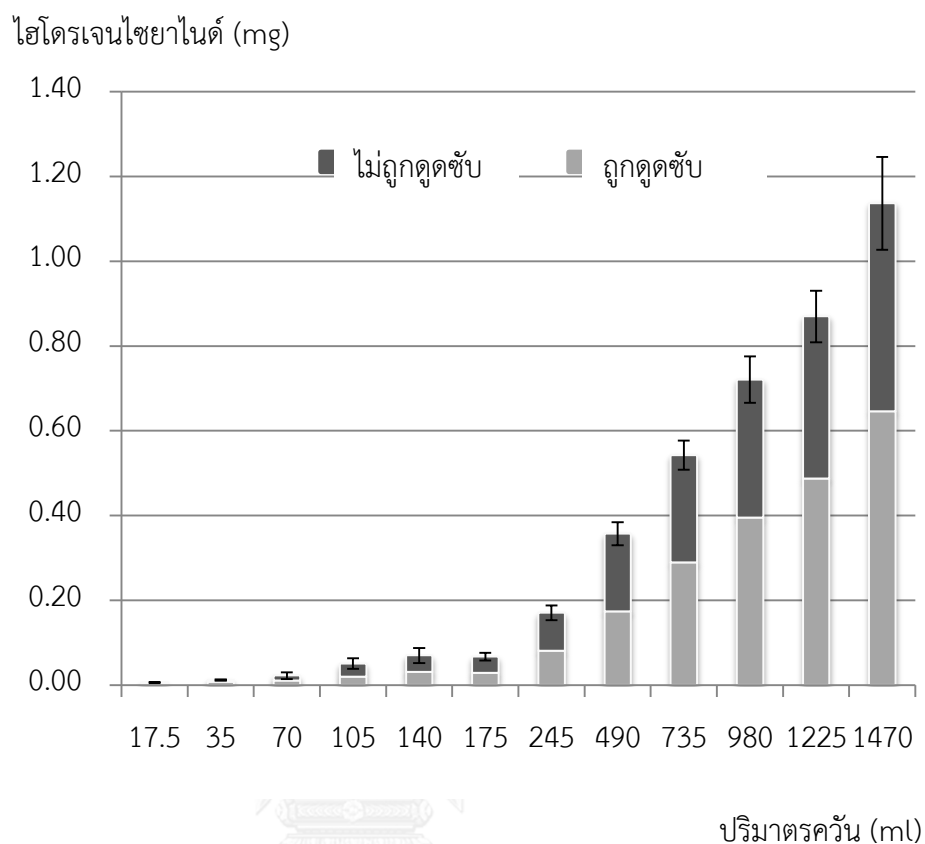
ด้วยปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่รวบรวมได้ในชุดอุปกรณ์ทดสอบการดูดซับ เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาตรคว้นเพิ่มขึ้น ด้วยอัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อวินาที ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ถูกดูดซับในกระดาศกรองเพิ่มขึ้นตามปริมาตรคว้นที่เพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ผ่านระบบดูดซับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกันแต่ไม่สม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ในควันที่ไหลเข้าระบบการดูดซับ ด้วยอัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อวินาที

4.2.2 ผลของอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที

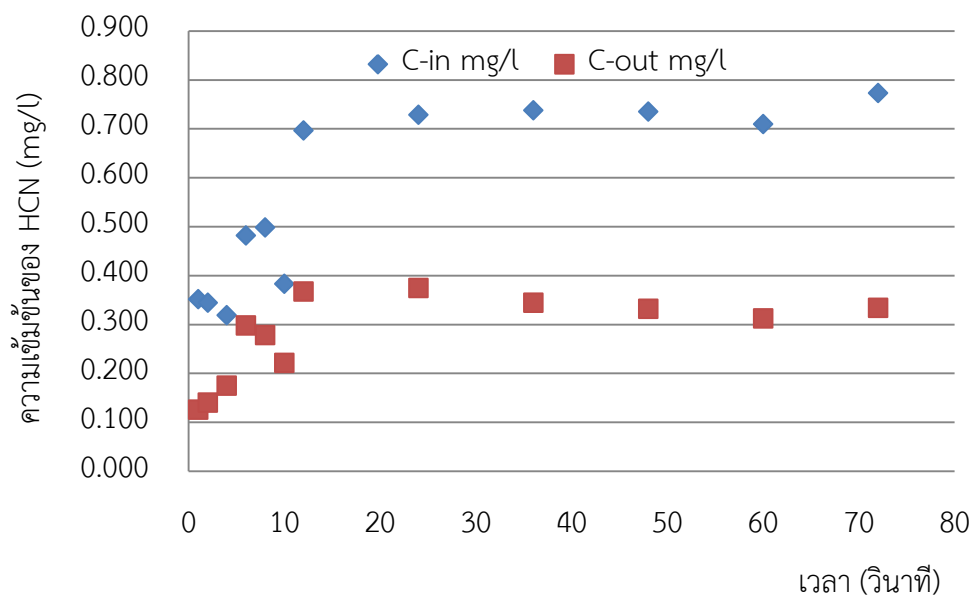
เมื่อควันไหลเข้าสู่ระบบดูดซับ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่รวบรวมได้ในชุดอุปกรณ์ทดสอบการดูดซับ เพิ่มขึ้นตามปริมาตรควัน ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ถูกดูดซับในกระดาศกรองและที่ไหลผ่านระบบดูดซับเพิ่มขึ้น ตามปริมาตรควันอย่างสม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 กระดาศกรองในระบบดูดซับยังคงสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในควันที่เพิ่มขึ้นได้



รูปที่ 4.4 ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ในควีนที่ไหลผ่านระบบการดูดซับ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที

4.2.3 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ออกจากระบบการดูดซับ

ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ไหลผ่านระบบที่ใช้กระดาษกรองเป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหลของก๊าซ 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ในช่วงเวลาที่ 10 วินาทีแรก จะค่อนข้างต่ำ เนื่องจากสถานะของแท่งยาสูบยังไม่คงตัว หลังจากนั้นความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ ในระบบเริ่มคงตัว (steady state) ที่ความเข้มข้นเฉลี่ย 0.73 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นที่ไหลผ่านจากระบบมีค่าเฉลี่ย 0.34 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ ในควันที่ไหลผ่านระบบดูดซับ ณ เวลาต่าง ๆ

4.3 การศึกษาการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วยสารประกอบชนิดต่าง ๆ

สารประกอบที่นำมาดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์จากการเผาไหม้ชีวมวล ในการศึกษาครั้งนี้ จำแนกออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ สารประกอบอินทรีย์ เกลือโลหะของสารประกอบอินทรีย์ และสารประกอบอินทรีย์ โดยละลายสารประกอบเหล่านี้ให้มีความเข้มข้นประมาณ 0.1 โมลาร์ จากนั้นนำกระดาษกรองจุ่มลงในสารละลายเหล่านี้จนทั่วแผ่นนำขึ้นวางบนกระดาษนาฬิกา แล้วอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วเก็บใน Desicator จนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง จากนั้นชั่งน้ำหนักกระดาษกรองจาก Desicator เพื่อคำนวณหาปริมาณสารประกอบที่เคลือบอยู่บนกระดาษกรอง แล้วนำกระดาษกรองเหล่านี้มาทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสรุปไว้ในตารางที่ 4.2 และ 4.3

ตารางที่ 4.2 ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ถูกดูดซับในระบบดูดซับ ที่มีสารประกอบชนิดต่าง ๆ

ชื่อสาร	มวลสารดูดซับ (mg)	HCN บนกระดาษกรอง (µg)		HCN ที่ไม่ถูกดูดซับ (µg)		HCN ที่ไม่ถูกดูดซับ (%)	
		ไม่มีสารดูดซับ	มีสารดูดซับ	ไม่มีสารดูดซับ	มีสารดูดซับ	ไม่มีสารดูดซับ	มีสารดูดซับ
สารประกอบอนินทรีย์							
NH ₄ Cl	15.6	73.58	59.53	90.76	99.34	55	60
Fe(NO ₃) ₃	8.1	73.58	57.8	90.76	111.26	55	68
FeSO ₄	17	73.58	50.45	90.76	120	55	73
LaCl ₃	21.7	73.58	48.93	90.76	118.26	55	72
K ₂ Cr ₂ O ₇	22.3	75.39	77.97	93.64	89.09	55	53
CaCl ₂	37.1	75.39	70.11	93.64	97.02	55	57
Na ₂ HPO ₄	18.9	75.39	82.07	93.64	101.77	55	60
Na ₂ O ₃ S ₅	18.4	67.3	72.24	80.27	71.84	54	49
Na ₂ SO ₄	12.8	67.3	68.22	80.27	86.56	54	59
NaCl	10.2	67.3	70.3	80.27	84.78	54	57
Na ₂ CO ₃	9.9	73.3	127.31	86.55	35.47	54	22
NaHCO ₃	10.2	67.09	123.95	82.96	51.79	55	35
NaNO ₃	16.6	70.64	69.15	83.48	87.31	54	57
NaNO ₂	16	84.53	93.79	92.93	99.97	52	56
เกลือโลหะของสารประกอบอินทรีย์							
C ₆ H ₅ Li ₃ O ₇	22.6	75.39	77.09	93.64	100.55	55	59
C ₆ H ₄ (OH)COO Na	18.8	75.39	78.38	93.64	111.5	55	66
CH ₃ C ₆ H ₄ SO ₂ N(Na)Cl	14.5	66.02	29.12	95.52	62.67	59	39

ตารางที่ 4.3 ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ถูกดูดซับในระบบดูดซับ ที่มีสารประกอบชนิด ต่าง ๆ (ต่อ)

ชื่อสาร	มวลสารดูดซับ (mg)	HCN บนกระดาษกรอง (µg)		HCN ที่ไม่ถูกดูดซับ (µg)		HCN ที่ไม่ถูกดูดซับ (%)	
		ไม่มีสารดูดซับ	มีสารดูดซับ	ไม่มีสารดูดซับ	มีสารดูดซับ	ไม่มีสารดูดซับ	มีสารดูดซับ
สารประกอบอินทรีย์							
C ₅ H ₅ NO ₄ ClH	17	75.39	51.98	93.64	127.01	55	75
C ₄ H ₈ N ₂ O ₃	14.5	70.64	59.6	83.48	90.75	54	59
C ₅ H ₉ NO ₂	12.9	73.3	103.82	86.55	53.08	54	33
C ₆ H ₁₂ O ₆	15.7	73.3	68.19	86.55	91.93	54	58
C ₄ H ₇ NO ₄	7.7	73.58	54.55	90.76	101.88	55	62
C ₄ H ₁₁ NO ₃	21.7	73.58	70.02	90.76	79.7	55	48

จากผลการทดสอบในตารางที่ 4.2 และ 4.3 พบว่าสารประกอบที่นำมาศึกษาทั้งหมด 23 สาร ซึ่งประกอบด้วยกลุ่ม สารประกอบอินทรีย์ กลุ่มสารประกอบอินทรีย์ และกลุ่มเกลือโลหะของสารประกอบอินทรีย์ สารประกอบในกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้มาก ได้แก่โซเดียมคาร์บอเนต (Na₂CO₃) และโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO₃) ส่วนสารประกอบในกลุ่มที่เหลือที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์สูงคือ แอล โพลีน (C₅H₉NO₂) และคลอรามิน ที (CH₃C₆H₄SO₂N(Na)Cl) ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาความแตกต่างของปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ไหลผ่านระบบดูดซับ ที่มีเพียงกระดาษกรองเท่านั้น กับระบบที่มีกระดาษกรองเคลือบสารประกอบโซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมไบคาร์บอเนต คลอรามินที และแอล โพลีน ประมาณ 10 มิลลิกรัม ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ของควันทันที่มีปริมาตร 245 มิลลิลิตร พบว่าปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ไหลผ่านระบบดูดซับมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยผลทดสอบทางสถิติมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังที่สรุปในตารางที่ 4.4 ดังนั้น จึงทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ของสารประกอบทั้ง 4 ชนิดนี้ เพิ่มเติมต่อไป

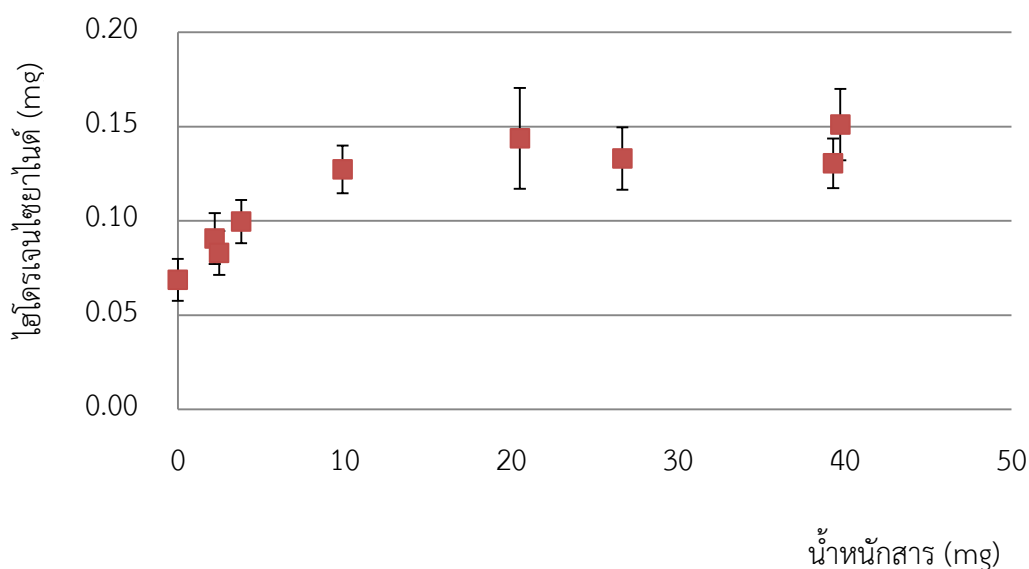
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของผลต่างปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ผ่านระบบดูดซับที่มีเพียงกระดาษกรองเท่านั้น กับระบบที่มีกระดาษกรอง เคลือบสารประกอบโซเดียมโบคาร์บอเนต โซเดียมคาร์บอเนต คลอรามินที และแอล โพลีน ตามลำดับ

	โซเดียมโบคาร์บอเนต	โซเดียมคาร์บอเนต	คลอรามินที	แอล โพลีน
น้ำหนักสาร (มิลลิกรัม)	10.2	9.9	14.5	12.9
Mean HCN (μg)	82.96	86.55	95.52	86.55
Mean HCN เมื่อใช้สารดูดซับ (μg)	44.21	35.47	62.67	53.08
Variance	169.51	125.54	190.17	125.54
Variance เมื่อใช้สารดูดซับ	53.79	52.59	75.41	51.23
Observation	10	9	10	9
Observation เมื่อใช้สารดูดซับ	10	10	10	10
Pooled Variance		86.92	132.79	86.2
Hypothesized Mean Difference	0	0	0	0
df	14	17	18	17
t Stat	8.2	11.92	6.37	7.85
P(T<=t) one-tail	5.12E-07	5.54E-10	2.64E-06	2.37E-07
t Critical one-tail	1.76	1.74	1.73	1.74
P(T<=t) two-tail	1.02E-06	1.11E-09	5.28E-06	4.75E-07
t Critical two-tail	2.14	2.11	2.1	2.11

4.4 ประสิทธิภาพการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วย โซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมไบคาร์บอเนต แอล โพลีน และคลอรามินที

4.4.1 ประสิทธิภาพการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วย โซเดียมคาร์บอเนต

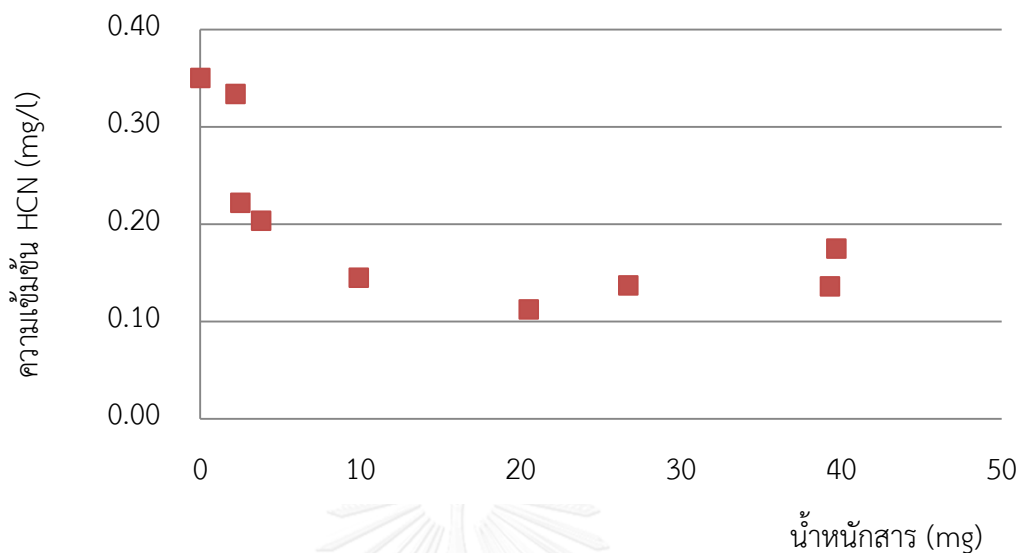
เมื่อใช้โซเดียมคาร์บอเนตในระบบดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในควัน 245 มิลลิลิตร ที่เกิดจากการเผาใบยาสูบ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ระบบสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้อย่างน้อย 0.07 ± 0.01 มิลลิกรัม และดูดซับเพิ่มมากขึ้นเป็นสัดส่วนกับปริมาณโซเดียมคาร์บอเนต ในระบบดูดซับที่บรรจุโซเดียมคาร์บอเนตไม่เกิน 10 มิลลิกรัม โดยสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้ 0.130 ± 0.01 มิลลิกรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.6 เมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตในระบบดูดซับมากกว่า 10 มิลลิกรัม ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ดูดซับได้เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยสามารถดูดซับได้เฉลี่ย 0.140 ± 0.02 มิลลิกรัม



รูปที่ 4.6 ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ในควัน 245 มิลลิลิตร ที่ถูกดูดซับบนกระดาษกรองที่เคลือบด้วยโซเดียมคาร์บอเนต เมื่อใช้อัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที

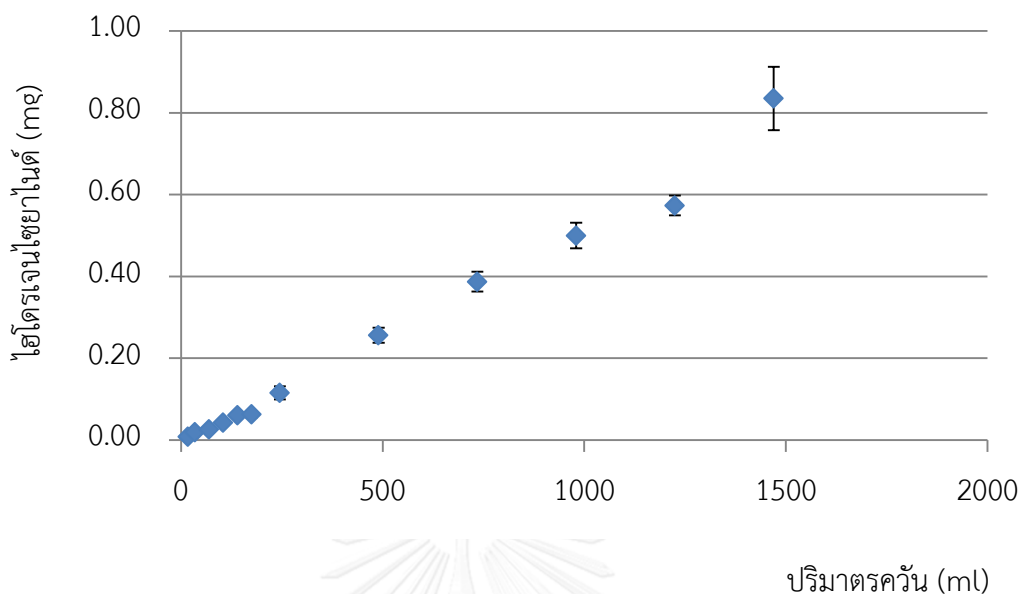
ส่วนความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ผ่านออกจากระบบดูดซับที่มีโซเดียมคาร์บอเนตมีค่าต่ำกว่า 0.35 มิลลิกรัมต่อลิตร และลดลงเหลือ 0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตในระบบดูดซับขึ้นเป็น 10 มิลลิกรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.7 แต่เมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตในระบบดูดซับขึ้นมากกว่า 10 มิลลิกรัม ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ผ่านออกจากระบบดูดซับลดลงต่ำกว่า 0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร เพียงเล็กน้อย ดังนั้นปริมาณโซเดียม

คาร์บอนเตในระบบดูดซับ 10 มิลลิกรัม จึงเป็นปริมาณที่เพียงพอกับปริมาตรควัน 245 มิลลิลิตร ที่มีความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ 0.70 ± 0.07 มิลลิกรัมต่อลิตร



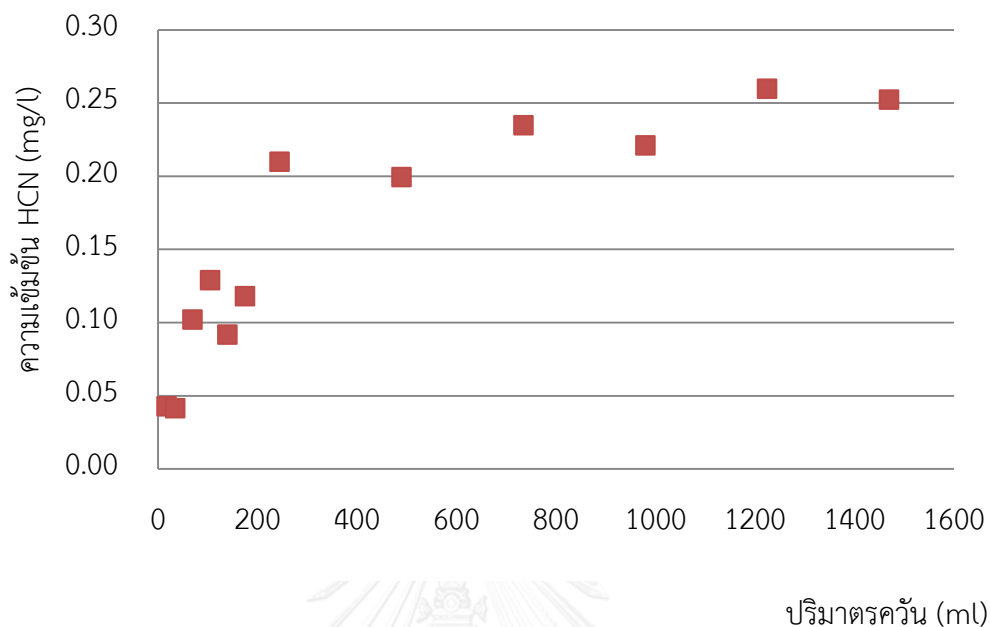
รูปที่ 4.7 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ ที่ไหลผ่านระบบดูดซับที่บรรจุโซเดียมคาร์บอนเตในปริมาณต่าง ๆ

เมื่อใช้โซเดียมคาร์บอนเต 10 มิลลิกรัม ในระบบดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในควันที่เกิดจากการเผาไยาสูบ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ระบบสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้อย่างน้อย 0.008 ± 0.002 มิลลิกรัม ในระยะเริ่มต้น ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และถูกดูดซับได้มากขึ้นเป็นสัดส่วนกับปริมาตรควันที่ผ่านเข้าสู่ระบบดูดซับนี้ โดยสามารถดูดซับได้ 0.84 ± 0.08 มิลลิกรัม จากปริมาตรควัน 1,470 มิลลิลิตร ที่ไหลผ่านระบบดูดซับอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 4.8 ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ ที่ถูกดูดซับบนกระดาษกรองที่เคลือบด้วยโซเดียมคาร์บอเนต 10 มิลลิกรัม ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที

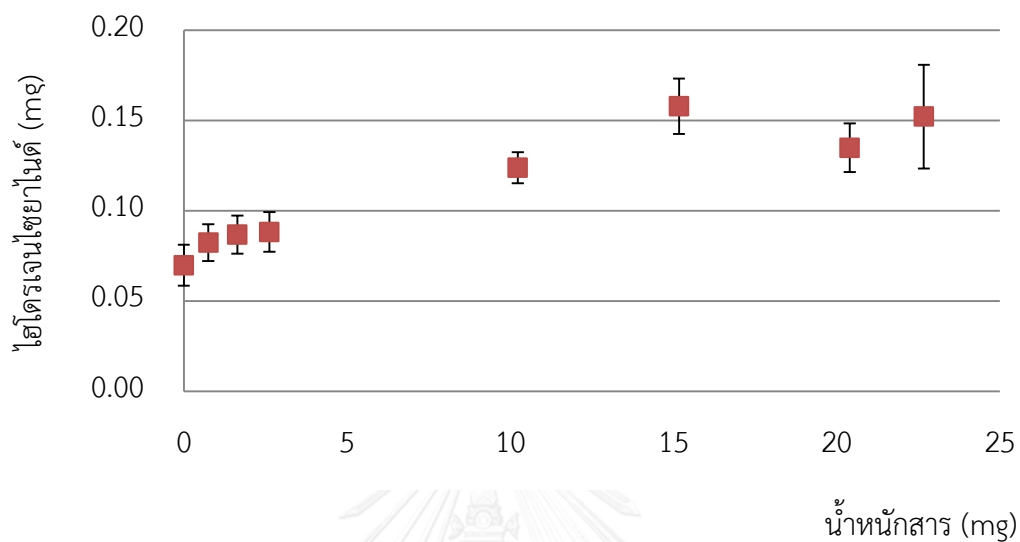
ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ผ่านออกจากระบบดูดซับที่มีโซเดียมคาร์บอเนต 10 มิลลิกรัมเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตรแรก โดยมีค่าน้อยกว่า 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเพิ่มปริมาตรคว้นที่ไหลผ่านระบบดูดซับมากกว่า 245 มิลลิลิตร จนถึง 1,470 มิลลิลิตร



รูปที่ 4.9 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ ที่ไหลผ่านระบบดูดซับที่บรรจุโซเดียมคาร์บอเนต 10 มิลลิกรัมอย่างต่อเนื่อง ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที

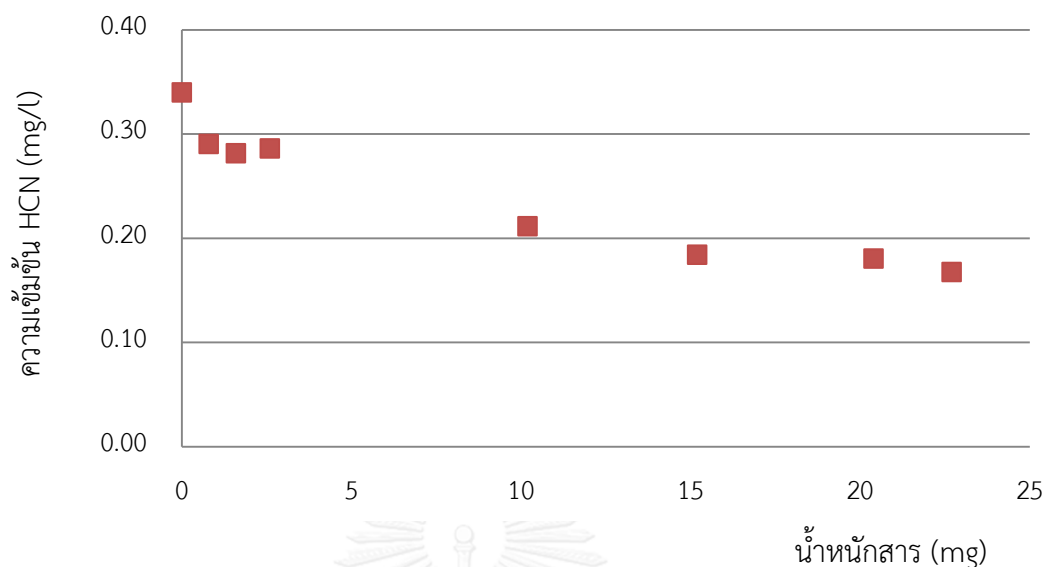
4.4.2 ประสิทธิภาพการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วย โซเดียมไบคาร์บอเนต

เมื่อใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตในระบบดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในควัน 245 มิลลิลิตร ที่เกิดจากการเผาใบยาสูบ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ระบบสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้อย่างน้อย 0.07 ± 0.01 มิลลิกรัม และดูดซับเพิ่มมากขึ้นเป็นสัดส่วนกับปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตในระบบดูดซับที่บรรจุโซเดียมไบคาร์บอเนตไม่เกิน 10 มิลลิกรัม โดยสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้ 0.130 ± 0.01 มิลลิกรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.10 เมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตในระบบดูดซับมากกว่า 10 มิลลิกรัม ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ดูดซับได้เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยสามารถดูดซับได้เฉลี่ย 0.150 ± 0.01 มิลลิกรัม



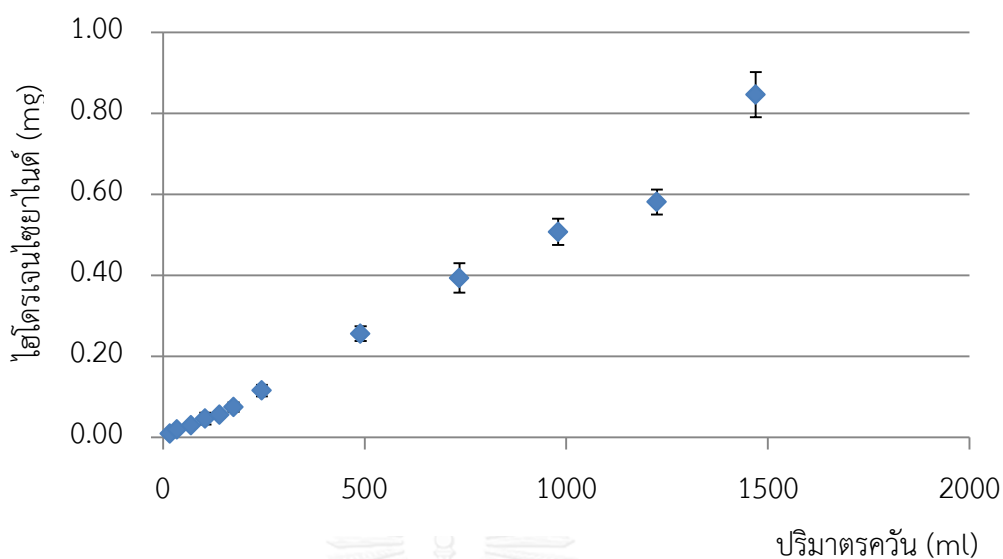
รูปที่ 4.10 ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ในควัน 245 มิลลิลิตร ที่ถูกดูดซับบนกระดาษกรองที่เคลือบด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต เมื่อใช้อัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที

ส่วนความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ผ่านออกจากระบบดูดซับที่มีโซเดียมไบคาร์บอเนตมีค่าต่ำกว่า 0.35 มิลลิกรัมต่อลิตร และลดลงเหลือ 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตในระบบดูดซับขึ้นเป็น 10 มิลลิกรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.11 แต่เมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตในระบบดูดซับขึ้นมากกว่า 10 มิลลิกรัม ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ผ่านออกจากระบบดูดซับลดลงต่ำกว่า 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร เพียงเล็กน้อย ดังนั้นปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตในระบบดูดซับ 10 มิลลิกรัม จึงเป็นปริมาณที่เพียงพอกับปริมาตรควัน 245 มิลลิลิตร ที่มี ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ 0.70 ± 0.07 มิลลิกรัมต่อลิตร

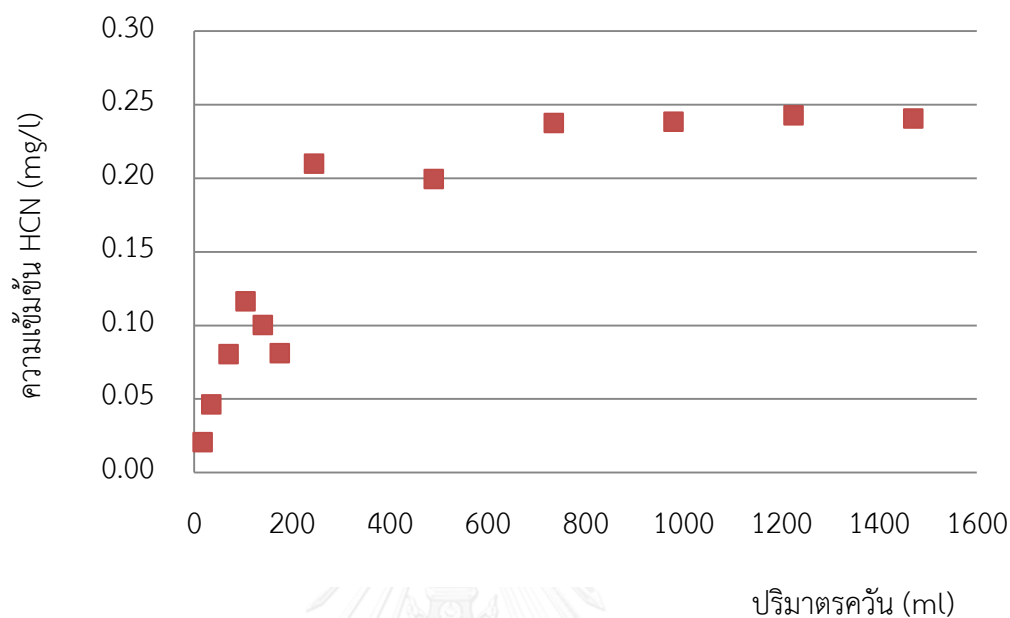


รูปที่ 4.11 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ ที่ไหลผ่านระบบดูดซับที่บรรจุโซเดียมไบคาร์บอเนตในปริมาณต่าง ๆ

เมื่อใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต 10 มิลลิกรัม ในระบบดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในควันที่เกิดจากการเผาใบยาสูบ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ระบบสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้อย่างน้อย 0.009 ± 0.003 มิลลิกรัม ในระยะเริ่มต้น ดังแสดงในรูปที่ 4.12 และถูกดูดซับได้มากขึ้นเป็นสัดส่วนกับปริมาตรควันที่ผ่านเข้าสู่ระบบดูดซับนี้ โดยสามารถดูดซับได้ 0.85 ± 0.06 มิลลิกรัม จากปริมาตรควัน 1,470 มิลลิลิตร ที่ไหลผ่านระบบดูดซับอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 4.12 ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ถูกดูดซับบนกระดาษกรองที่เคลือบด้วยโซเดียมโบคาร์บอเนต 10 มิลลิกรัม ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิตรต่อวินาที ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ผ่านออกจากระบบดูดซับที่มีโซเดียมโบคาร์บอเนต 10 มิลลิกรัม เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับปริมาณคว้น 245 มิลลิตรแรก โดยมีค่าน้อยกว่า 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเพิ่มปริมาตรคว้นที่ใหญ่ผ่านระบบดูดซับมากกว่า 245 มิลลิตร จนถึง 1,470 มิลลิตร



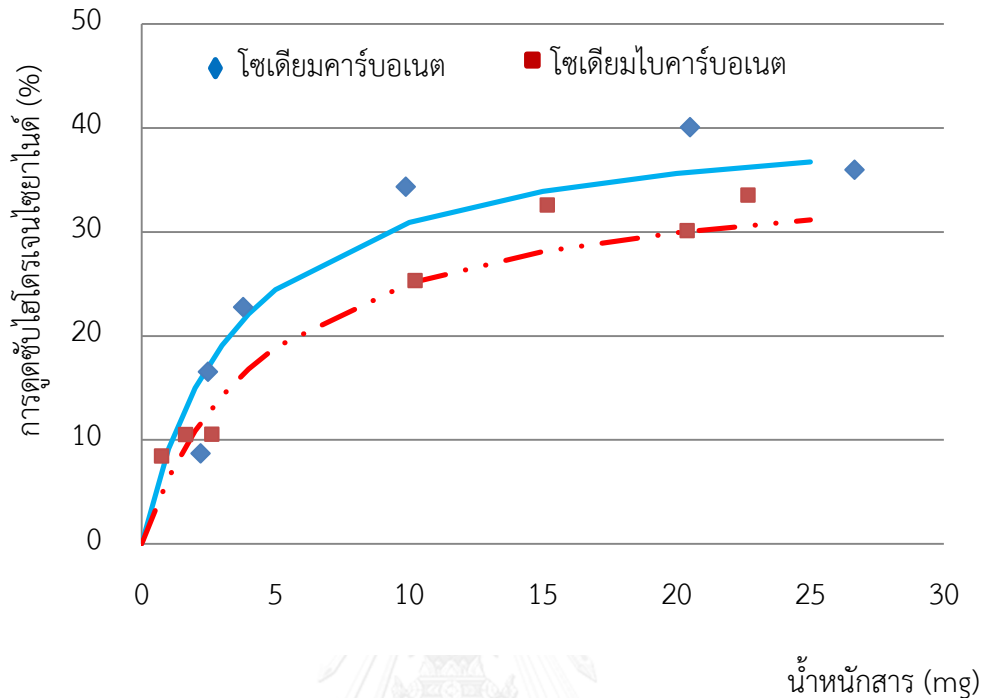
รูปที่ 4.13 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ ที่ไหลผ่านระบบดูดซับที่บรรจุโซเดียมไบคาร์บอเนต 10 มิลลิกรัมอย่างต่อเนื่อง ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที

ประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ของระบบดูดซับกำหนด ตามนิยามในสมการ 4.1

เปอร์เซ็นต์การดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ =

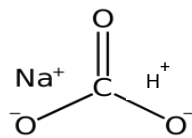
$$\frac{(\text{HCN ในกระตาศกรอง} - \text{HCN ในกระตาศกรองเปล่า}) \times 100}{\text{HCN ทั้งหมดที่เข้าระบบ}} \quad (4.1)$$

ระบบดูดซับที่ใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต มีประสิทธิภาพการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 30 ตามปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตที่เพิ่มขึ้น ส่วนระบบดูดซับที่ใช้โซเดียมคาร์บอเนต มีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบดูดซับที่ใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตประมาณร้อยละ 5 ดังแสดงในรูปที่ 4.14

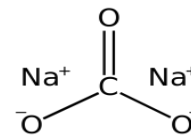


รูปที่ 4.14 ประสิทธิภาพของการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ของระบบดูดซับที่ใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนต

ประสิทธิภาพการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ของระบบที่ใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตกับระบบที่ใช้โซเดียมคาร์บอเนตมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากมีโครงสร้างโมเลกุลลักษณะเดียวกัน แต่การดูดซับด้วยโซเดียมคาร์บอเนตมีประสิทธิภาพมากกว่าเล็กน้อย เนื่องจากโซเดียมคาร์บอเนตสามารถดึงโปรตรอนได้ดีกว่าโซเดียมไบคาร์บอเนต ดังรูปที่ 4.15



ก. โซเดียมไบคาร์บอเนต

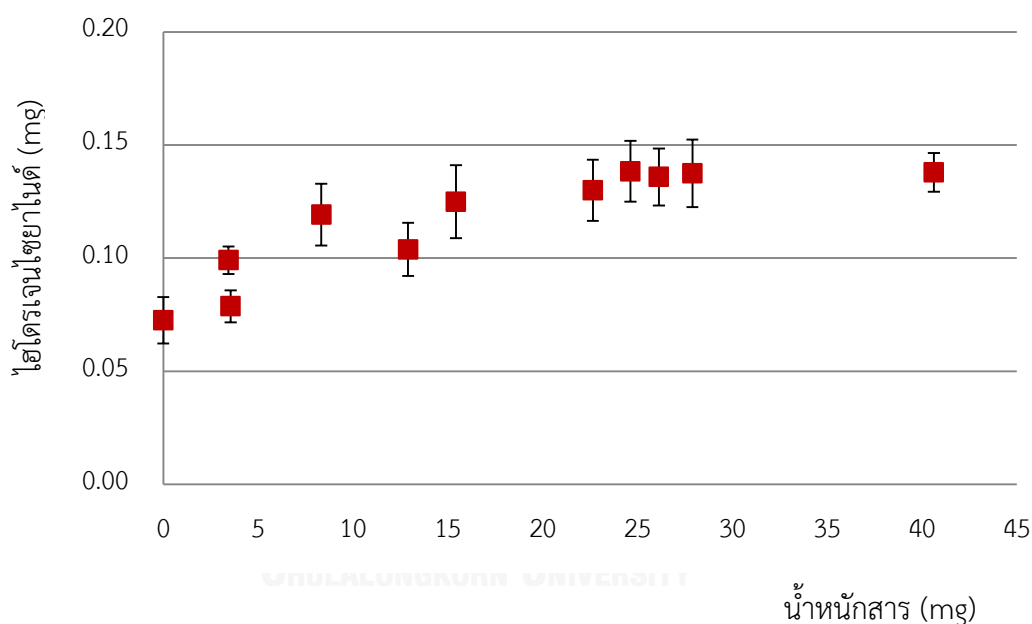


ข. โซเดียมคาร์บอเนต

รูปที่ 4.15 โครงสร้างทางเคมีของโซเดียมไบคาร์บอเนต และโซเดียมคาร์บอเนต

4.4.3 ประสิทธิภาพการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วย แอลโพลิน

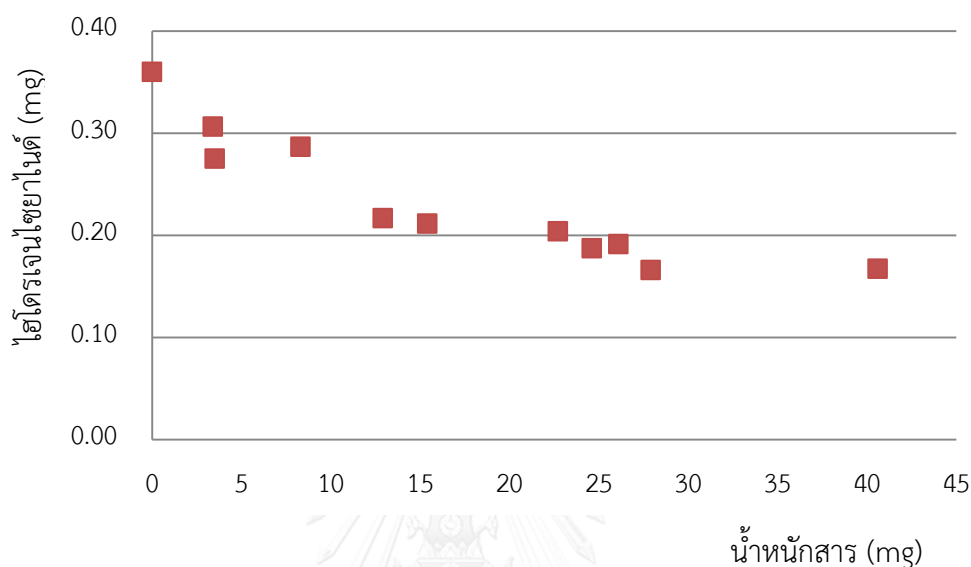
เมื่อใช้แอลโพลินในระบบดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในควัน 245 มิลลิลิตร ที่เกิดจากการเผาใบยาสูบ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ระบบสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้อย่างน้อย 0.07 ± 0.01 มิลลิกรัม และดูดซับเพิ่มมากขึ้นเป็นสัดส่วนกับปริมาณแอลโพลินในระบบดูดซับที่บรรจุแอลโพลินไม่เกิน 10 มิลลิกรัม โดยสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้ 0.120 ± 0.01 มิลลิกรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.16 เมื่อเพิ่มปริมาณแอลโพลินในระบบดูดซับมากกว่า 10 มิลลิกรัม ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ดูดซับได้เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยสามารถดูดซับได้เฉลี่ย 0.130 ± 0.01 มิลลิกรัม



รูปที่ 4.16 ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ในควัน 245 มิลลิลิตร ที่ถูกดูดซับบนกระดาษกรองที่เคลือบด้วยแอลโพลิน เมื่อใช้อัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที

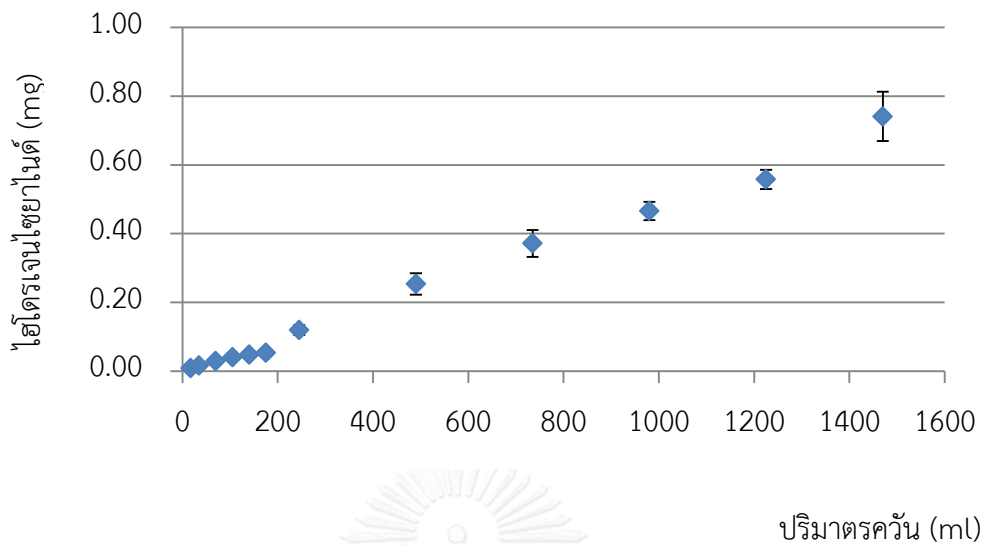
ส่วนความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ผ่านออกจากระบบดูดซับที่มีแอลโพลินมีค่าต่ำกว่า 0.35 มิลลิกรัมต่อลิตร และลดลงเหลือ 0.22 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเพิ่มปริมาณแอลโพลินในระบบดูดซับขึ้นเป็น 13 มิลลิกรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.17 แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแอลโพลินในระบบดูดซับขึ้นมากกว่า 13 มิลลิกรัม ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ผ่านออกจากระบบดูดซับลดลงต่ำกว่า 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร เพียงเล็กน้อย ดังนั้นปริมาณแอลโพลินในระบบดูดซับ 13 มิลลิกรัม จึงเป็น

ปริมาณที่เพียงพอกับปริมาตรควัน 245 มิลลิลิตร ที่มีความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ 0.70 ± 0.07 มิลลิกรัมต่อลิตร



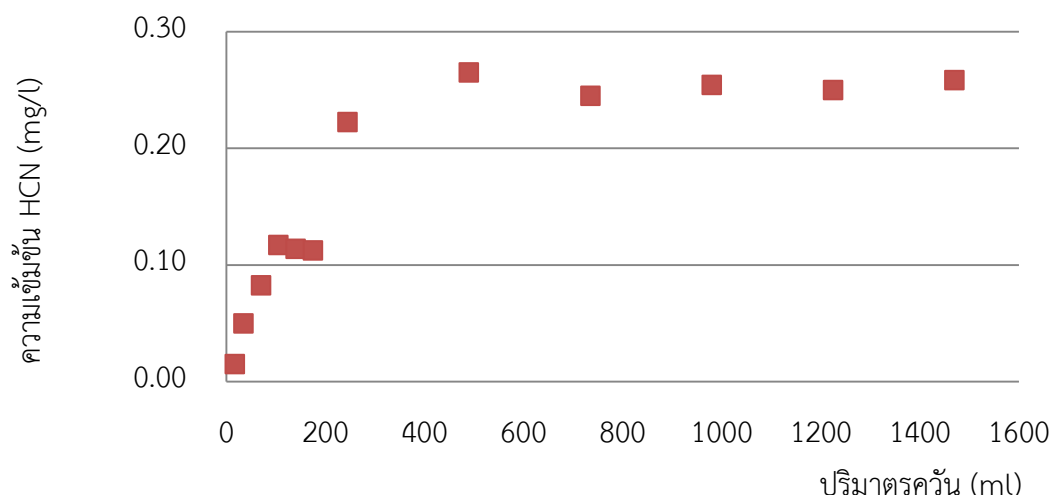
รูปที่ 4.17 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ ที่ไหลผ่านระบบดูดซับที่บรรจุสารประกอบแอลโพลินในปริมาณต่าง ๆ

เมื่อใช้แอลโพลิน 11 มิลลิกรัม ในระบบดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในควันที่เกิดจากการเผาใบยาสูบ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ระบบสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้อย่างน้อย 0.008 ± 0.001 มิลลิกรัม ในระยะเริ่มต้น ดังแสดงในรูปที่ 4.18 และถูกดูดซับได้มากขึ้นเป็นสัดส่วนกับปริมาตรควันที่ผ่านเข้าสู่ระบบดูดซับนี้ โดยสามารถดูดซับได้ 0.74 ± 0.07 มิลลิกรัม จากปริมาตรควัน 1,470 มิลลิลิตร ที่ไหลผ่านระบบดูดซับอย่างต่อเนื่อง



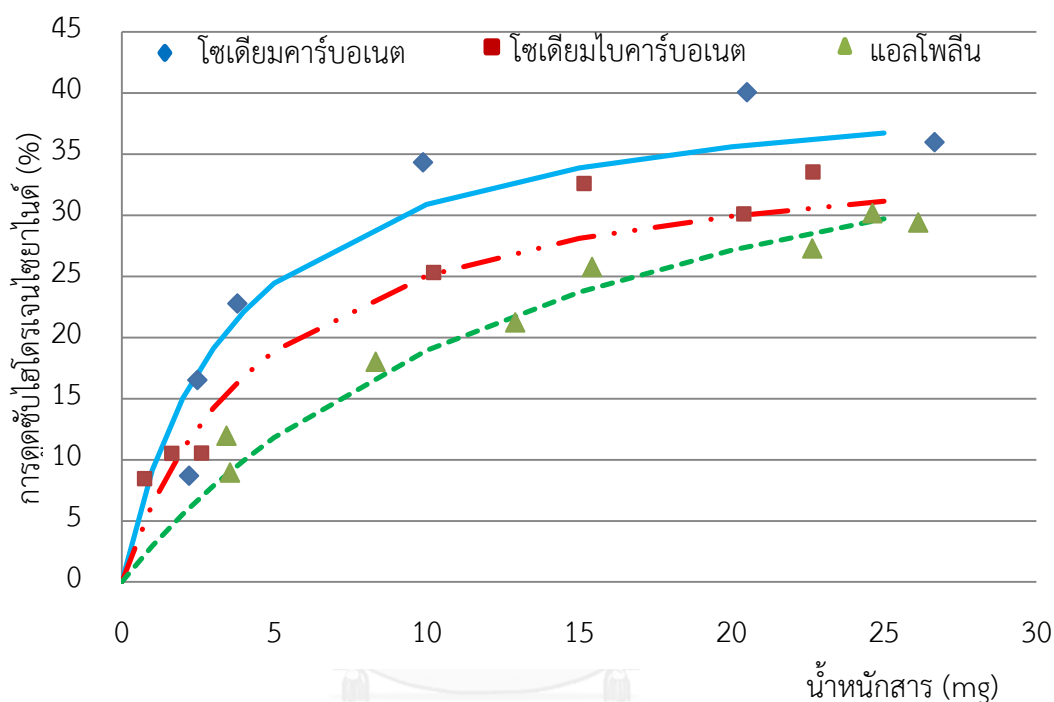
รูปที่ 4.18 ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ถูกดูดซับบนกระดาษกรองที่เคลือบด้วยแอลกอฮอล์ 11 มิลลิกรัม ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที

ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ผ่านออกจากระบบดูดซับที่มีแอลกอฮอล์ 11 มิลลิกรัม เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตรแรก โดยมีค่าน้อยกว่า 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในรูปที่ 4.19 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 0.21 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเพิ่มปริมาตรคว้นที่ไหลผ่านระบบดูดซับมากกว่า 245 มิลลิลิตร จนถึง 1,470 มิลลิลิตร



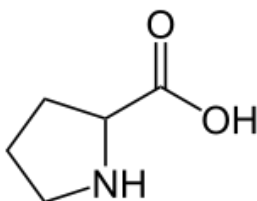
รูปที่ 4.19 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ ที่ไหลผ่านระบบดูดซับที่บรรจุแอลกอฮอล์ 11 มิลลิกรัมอย่างต่อเนื่อง ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที

ประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ของระบบดูดซับ กำหนดตามนิยาม สมการ 4.1 ระบบดูดซับที่ใช้แอลโพลินมีประสิทธิภาพการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 25 ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำกว่า โซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมไบคาร์บอเนต ร้อยละ 10 และ 5 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ระหว่าง โซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมคาร์บอเนตและแอลโพลิน เมื่อเพิ่มปริมาณสารดูดซับ

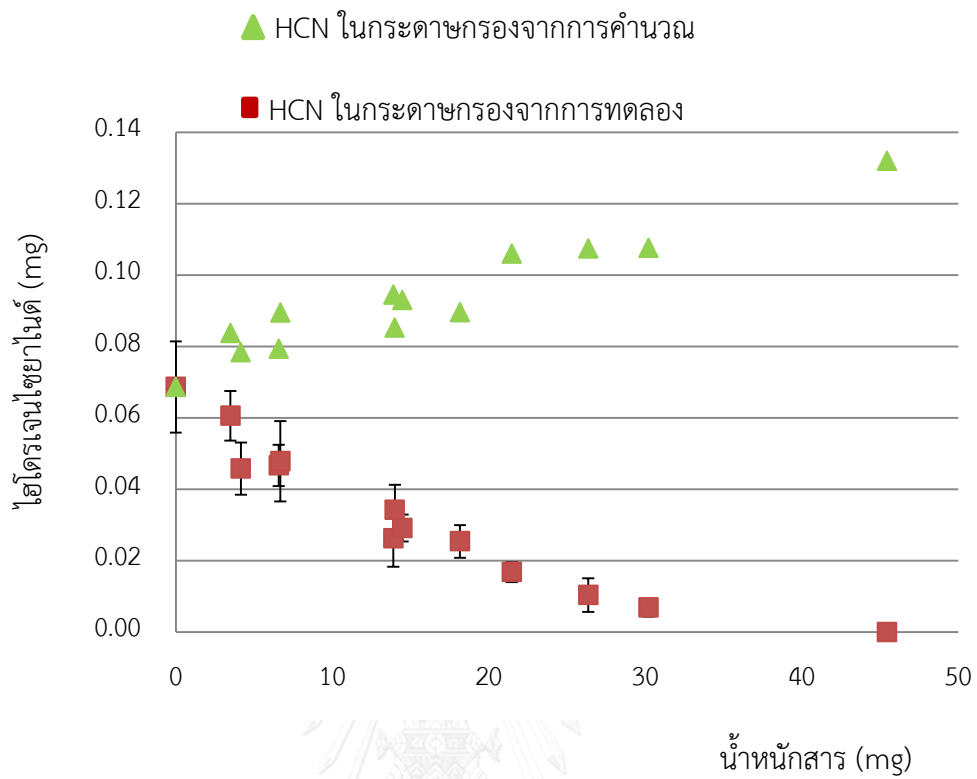
ประสิทธิภาพการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ของแอลโพลิน น้อยกว่าประสิทธิภาพการดูดซับของโซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 5 เมื่อใช้แอลโพลินน้อยกว่า 10 มิลลิกรัม ในระบบดูดซับ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแอลโพลินมากกว่า 10 มิลลิกรัม ประสิทธิภาพการดูดซับของระบบดูดซับแอลโพลิน เพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารประกอบแอลโพลิน และมีประสิทธิภาพการดูดซับใกล้เคียงกับระบบดูดซับที่ใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตในปริมาณเท่ากัน อันเป็นผลจากสารประกอบทั้งสองมีหมู่คาร์บอกซิลิกเหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.15 และ 4.21 ส่วนหมู่ฟังก์ชันอื่นที่แตกต่างกัน ทำให้แอลโพลินมีความเป็นขั้วน้อยกว่าโซเดียมไบคาร์บอเนต ดังนั้นการเพิ่มปริมาณของแอลโพลินในระบบดูดซับ จึงช่วยลดผลต่างของความเป็นขั้วได้



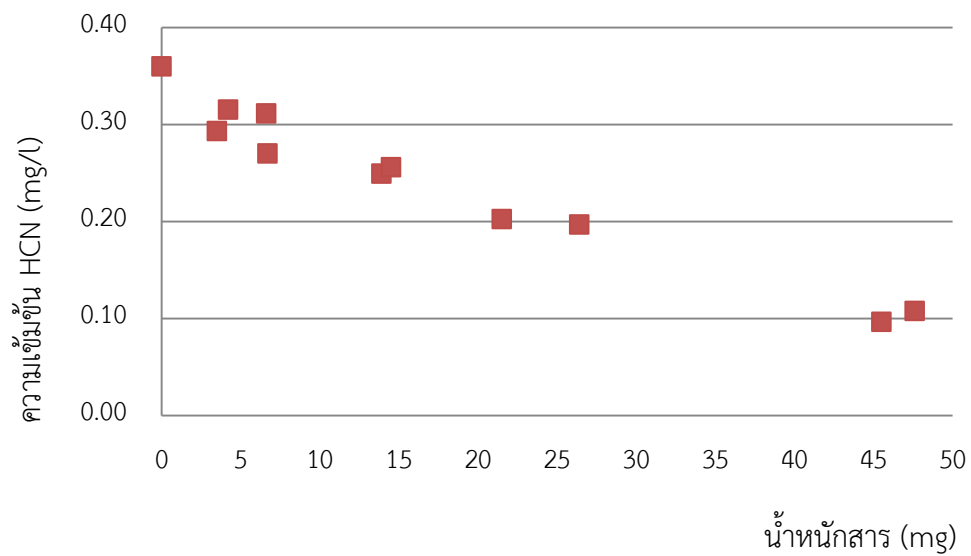
รูปที่ 4.21 โครงสร้างทางเคมีของโพลีน

4.4.4 ประสิทธิภาพการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วย คลอรามินที

เมื่อใช้คลอรามินทีในระบบดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในควัน 245 มิลลิลิตร ที่เกิดจากการเผาใบยาสูบ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบดูดซับที่ตรวจวิเคราะห์ได้น้อยกว่า 0.07 ± 0.01 มิลลิกรัม เมื่อเพิ่มปริมาณคลอรามินทีในระบบดูดซับ ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ตรวจวิเคราะห์ได้ในระบบดูดซับลดน้อยลงตามปริมาณคลอรามินทีที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.22 ในขณะที่ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ผ่านระบบดูดซับมีค่าลดลงต่ำกว่า 0.36 มิลลิกรัมต่อลิตร และลดต่ำลงถึง 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเพิ่มปริมาณคลอรามินทีในระบบดูดซับถึง 45 มิลลิกรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.23 ดังนั้นปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ถูกแยกออกจากควันที่ไหลผ่านระบบดูดซับ เพิ่มขึ้นจาก 0.07 มิลลิกรัมเป็น 0.13 มิลลิกรัม โดยการคำนวณคุณมวลของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ไหลผ่านระบบดูดซับที่บรรจุคลอรามินทีปริมาณต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.22



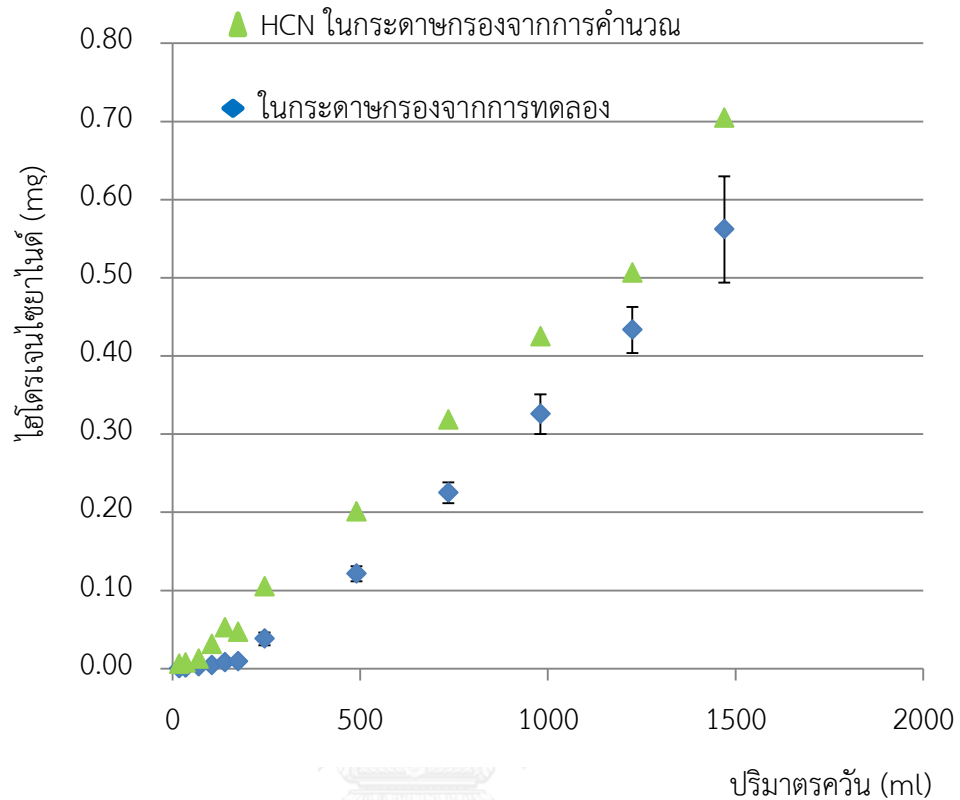
รูปที่ 4.22 แสดงปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ในควัน 245 มิลลิลิตร บนกระดาศกรองที่เคลือบด้วยคลอรามินที เมื่อใช้อัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที



รูปที่ 4.23 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ ที่ไหลผ่านระบบดูดซับที่บรรจุคลอรามินที ในปริมาณต่าง ๆ

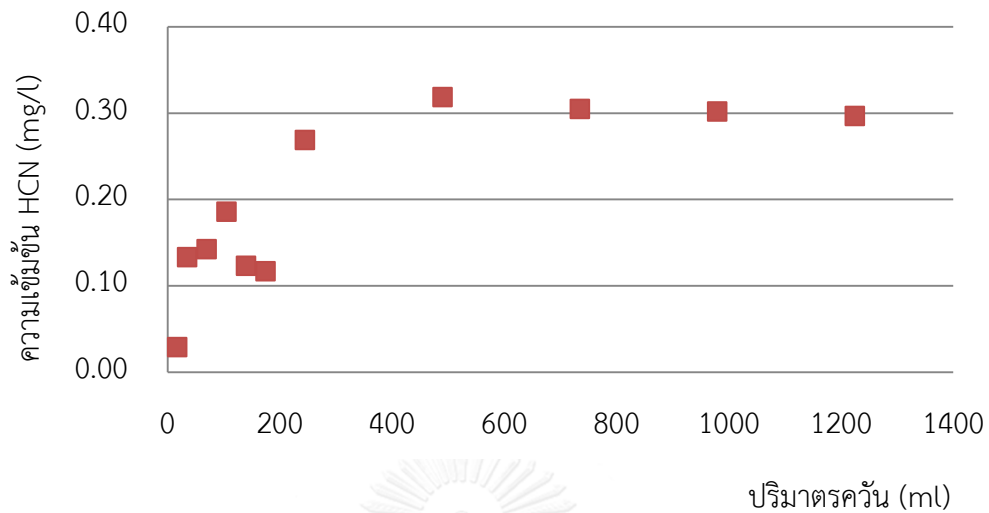
เมื่อใช้คลอรามินที่ 12 มิลลิกรัม ในระบบดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในควันที่เกิดจากการเผาใบยาสูบ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ระบบสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้ในช่วง 0.0003 มิลลิกรัม ถึง 0.04 มิลลิกรัม เมื่อปริมาตรควันน้อยกว่า 245 มิลลิลิตร ดังแสดงในรูปที่ 4.24 ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยกว่าผลต่างของปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่เข้าสู่ระบบดูดซับกับที่ไหลออกจากระบบดูดซับนี้ แต่เมื่อเพิ่มปริมาตรควันมากกว่า 245 มิลลิลิตร ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบดูดซับเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับปริมาตรควัน แต่ยังคงมีค่าน้อยกว่าผลต่างของปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่เข้าสู่ระบบดูดซับกับที่ไหลออกจากระบบดูดซับนี้ ดังนั้นปริมาณคลอรามินที่ในระบบดูดซับ 12 มิลลิกรัม สามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในควันที่มีปริมาตรไม่เกิน 245 มิลลิลิตร ได้ดี และมีผลให้ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบดูดซับเหลือเพียง 0.0003 ถึง 0.009 มิลลิกรัม





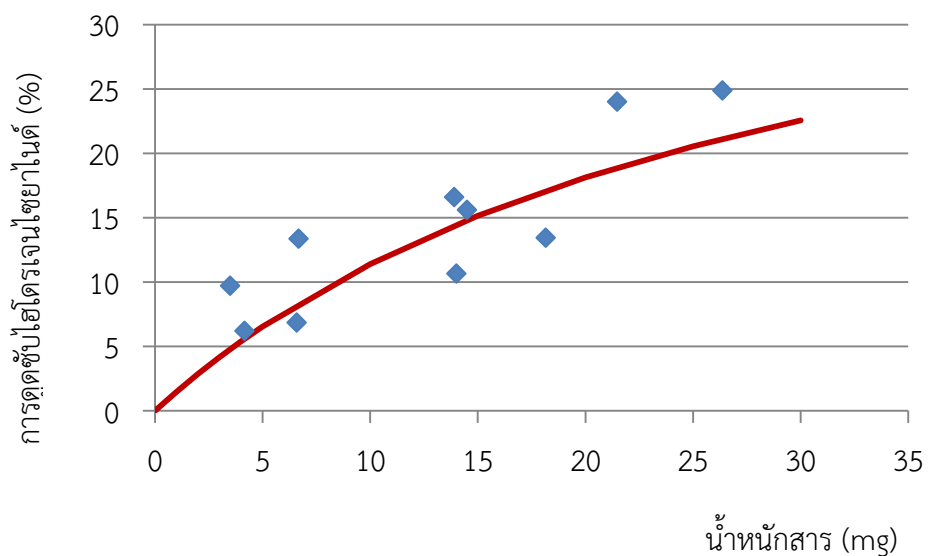
รูปที่ 4.24 ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ถูกดูดซับบนกระตาศกรองที่เคลือบด้วยคลอรามินที่ 12 มิลลิกรัม ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที

การดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในควัน 1,470 มิลลิลิตร ด้วยระบบดูดซับที่บรรจุคลอรามินที่ 12 มิลลิกรัม ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์เพิ่มขึ้นจาก 0.03 ถึง 0.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามปริมาตรควันที่เพิ่มขึ้นในช่วง 245 มิลลิลิตรแรก เมื่อเพิ่มปริมาตรควันมากกว่า 245 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ไหลผ่านระบบดูดซับมีค่าคงที่ที่ระดับ 0.30 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยไม่แปรผันกับปริมาตรควัน ดังแสดงในรูปที่ 4.25



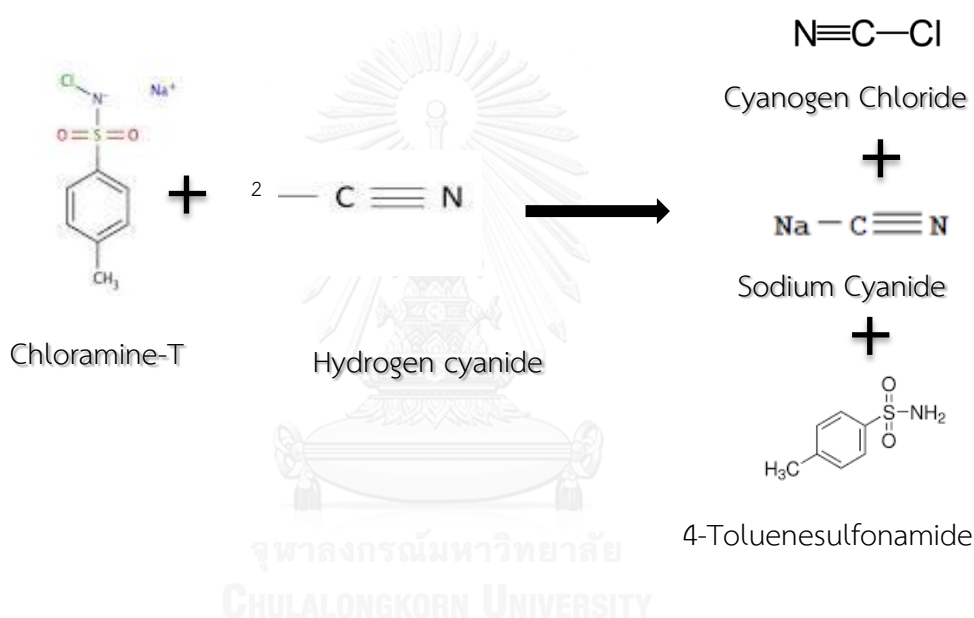
รูปที่ 4.25 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ ที่ไหลผ่านระบบดูดซับที่บรรจุคลอรามินที่ 12 มิลลิกรัมอย่างต่อเนื่อง ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที

ประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ของระบบดูดซับ กำหนดตามนิยามสมการ 4.1 ระบบดูดซับที่ใช้คลอรามินที่มีประสิทธิภาพการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณในการดูดซับ ดังแสดงในรูปที่ 4.26 โดยเมื่อใช้ปริมาณคลอรามินที่ประมาณ 12 มิลลิกรัม จะได้ประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ประมาณร้อยละ 15



รูปที่ 4.26 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ของคลอรามินที่เมื่อเพิ่มปริมาณสารดูดซับ

จากผลการทดสอบการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ ด้วยระบบดูดซับที่บรรจุคลอรามินที่ข้างต้น ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ผ่านระบบดูดซับลดลง การดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วยคลอรามินที่ เป็นการดูดซับทางเคมี โดยไฮโดรเจนไซยาไนด์ทำปฏิกิริยาเคมีกับคลอรามินที่เป็นสารประกอบอื่น ๆ ที่ไม่สามารถตรวจวัดปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วยวิธีที่กำหนดไว้ได้ การดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ทางเคมีด้วยคลอรามินที่ อาจทำให้เกิดสารประกอบไซยาโนเจนคลอไรด์ (Cyanogen Chloride) โซเดียมไซยาไนด์ (Sodium Cyanide) และ 4-โทลูอินซัลโฟนาไมด์ (4-Toluenesulfonamide) ดังแสดงในรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 ปฏิกิริยาการเกิดไซยาโนเจนคลอไรด์และโซเดียมไซยาไนด์จากการทำปฏิกิริยาระหว่างคลอรามินที่กับไฮโดรเจนไซยาไนด์

เนื่องจากสารประกอบไซยาโนเจนคลอไรด์ (NCCl) มีจุดเดือด 13.8 องศาเซลเซียส หมายความว่าความดันบรรยากาศ ในขณะที่การทดสอบการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส จึงไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบนี้ในระบบดูดซับได้

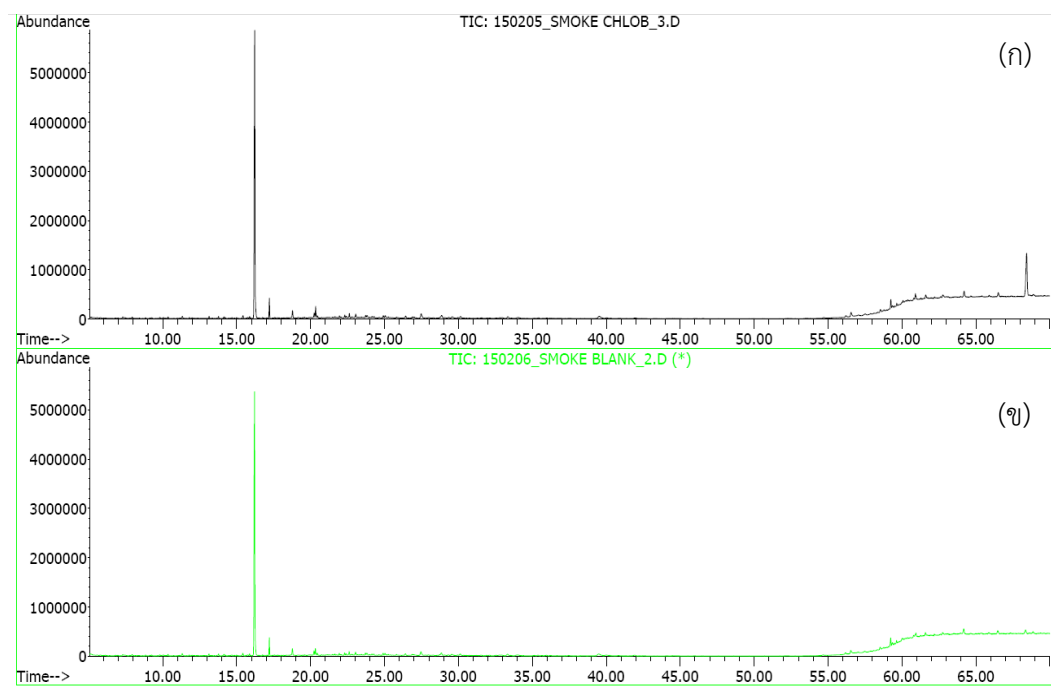
กรณีสารประกอบโซเดียมไซยาไนด์ (NaCN) เป็นสารที่สลายตัวยาก เนื่องจากมีจุดเดือดถึง 1,496 องศาเซลเซียส สามารถทดสอบได้ด้วยวิธี Colorimetric assays [6,13] [Ref. Arista Lab., Uk and Skalar.] โดยให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างไซยาไนด์ไอออนกับสารละลาย chloramine-T ได้สารไซยาโนเจนคลอไรด์ สารนี้จะทำปฏิกิริยากับไพริดีน และกรดบาบิฟูริกได้เป็นสารประกอบที่มีสีน้ำเงินอมม่วง แล้ววัดความเข้มข้นสีที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร เทียบกับสารละลายมาตรฐาน

โพแทสเซียมไซยาไนด์ซึ่งเป็นวิธีเดียวกับการทดสอบหาปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ ดังนั้นจึงไม่สามารถทดสอบหาปริมาณโซเดียมไซยาไนด์ด้วยวิธีนี้ได้

สารประกอบคลอรามินที่และอนุพันธ์ของสารประกอบคลอรามินที่ สามารถตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS โดยใช้เครื่อง GC รุ่น 6890 ยี่ห้อ Agilent และ mass selective detector (MSD) รุ่น 5973 พร้อม injector รุ่น 7638 สภาวะของเครื่อง GC/MS ที่ใช้ในการทดสอบ ดังนี้

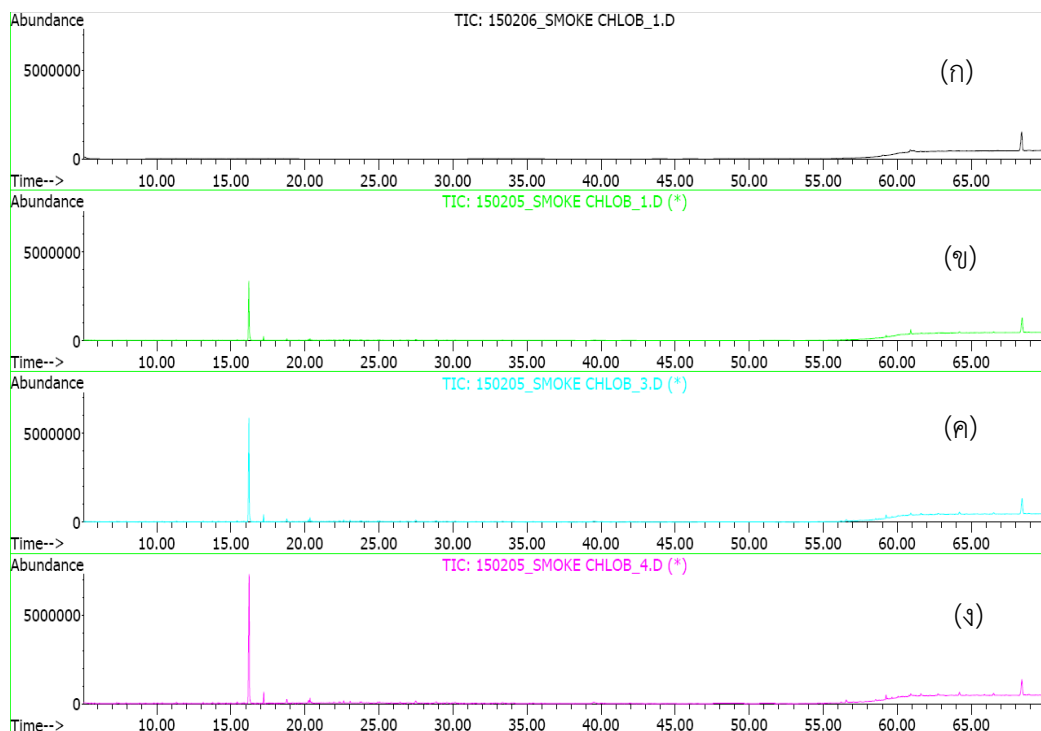
1. คอลัมน์ ใช้ HP-INNOWAX capillary column ขนาด 30m x 0.25mm x 0.25 μ m
2. ก๊าซที่ใช้เป็นตัวพา คือ Helium โดยใช้อัตราการไหลคงที่ 0.8 มิลลิลิตรต่อนาที
3. อุณหภูมิของ injector 290 องศาเซลเซียส
4. อุณหภูมิ oven เริ่มจากอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 นาที แล้วเพิ่มขึ้นเป็น 250 องศาเซลเซียส ในอัตรา 5 องศาเซลเซียสต่อนาที ซึ่งใช้เวลา 30 นาที และคงไว้ที่อุณหภูมิ 250 องศา
5. mass spectrometer ใช้ EI mode (70 eV) โดยทดสอบด้วย full scan mode จาก 50 ถึง 500 amu.
6. ใช้ library mass ของ Wiley 275

โครมาโตแกรมของกระดาษกรองเปล่าที่ใช้ในระบบดูดซับ เปรียบเทียบกับกระดาษกรอง ที่เคลือบด้วยคลอรามินที่ หลังจากดูดซับไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่เกิดจากการเผาใบยาสูบแล้ว พบว่าพีคที่เห็นได้ชัดเจนเกิดขึ้นที่ RT 16 และ 68.5 โดยพีคที่ RT 16 คือสารนิโคตินที่มีอยู่ในใบยาสูบ ส่วนพีคที่ RT 68.5 คือพีคที่เกิดจากสารประกอบคลอรามินที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.28 นอกจากนี้โครมาโตแกรมไม่แสดงพีคของสารไฮโดรเจนไซยาไนด์ เนื่องจากไฮโดรเจนไซยาไนด์มีจุดเดือดประมาณ 26-27 องศาเซลเซียส ซึ่งสลายตัวก่อนที่จะเข้าสู่ระบบของเครื่อง GC/MS



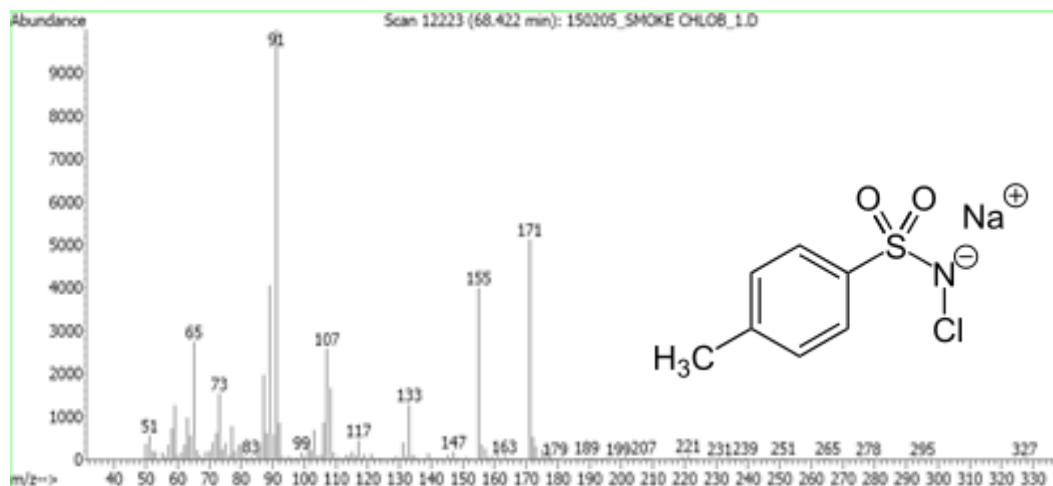
รูปที่ 4.28 โครมาโตแกรมระหว่างกระดาษกรองที่เคลือบคลอรามินที (ก) และกระดาษกรองเปล่า (ข) หลังจากผ่านการดูดซึบก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในควันของการเผาใบยาสูบด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที

เมื่อดูดซับปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์จากการเผาใบยาสูบเพิ่มมากขึ้น ปริมาณนิโคตินที่ RT 16 มีค่าสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.29 ในขณะที่พีคที่ RT 68.5 มีความสูงคงที่ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณคลอรามินทีที่ใช้ในระบบดูดซับและไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ เนื่องจากโครงสร้างหลักของโมเลกุลของสารประกอบคลอรามินที และสารประกอบที่เกิดขึ้นจากการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์มีลักษณะคงเดิม

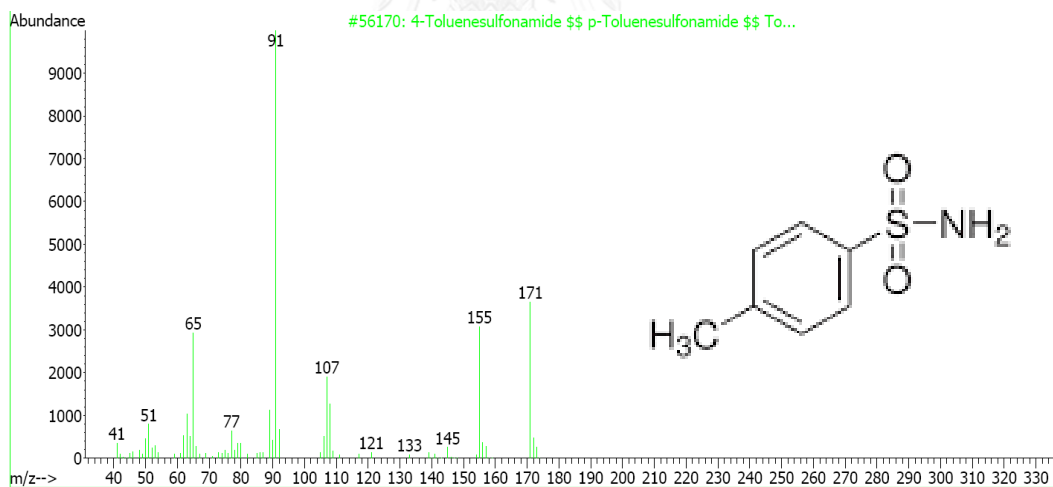


รูปที่ 4.29 โครมาโตแกรมระหว่างกระดาษกรองที่เคลือบคลอรามินที่หลังจากดูดซับควันปริมาณต่าง ๆ ปริมาณควัน 0 มิลลิลิตร (ก) ปริมาณควัน 245 มิลลิลิตร (ข) ปริมาณควัน 490 มิลลิลิตร (ค) และปริมาณควัน 735 มิลลิลิตร (ง)

เมื่อเปรียบเทียบสารประกอบที่ RT 68.5 กับฐานข้อมูลสารประกอบ ของ Wiley 275 พบว่าสารประกอบดังกล่าวมีลักษณะคล้าย 4-โทลูอินซัลโฟนาไมด์ (4-Toluenesulfonamide) ถึง 86 เปอร์เซ็นต์ สารประกอบนี้มีโครงสร้างคล้ายคลอรามินที่ โดยมี H^+ แทนตำแหน่ง Na^+ และ Cl เป็นหมู่ฟังก์ชัน ของเอมีน ดังรูปที่ 4.30 และ 4.31



รูปที่ 4.30 ลักษณะแมสของคลอรามินที ที่ได้จากการทดสอบ



รูปที่ 4.31 ลักษณะแมสของ 4-Toluenesulfonamide ที่ได้จาก library mass ของ Wiley 275

บทที่ 5

สรุปผลการทดสอบ

การเผาไหม้แห้งใบยาสูบ ที่บรรจุใบยาสูบแห้ง 0.63-0.83 กรัม แบบไร้เปลวไฟ และควันของการเผาไหม้ที่ไหลผ่านระบบดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที มีก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์เข้มข้น 0.73 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายหลังจากเริ่มต้นเพียง 10 วินาที

การทดสอบดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ใบยาด้วยสารประกอบอินทรีย์ 14 ชนิด แก๊สโลหะของสารประกอบอินทรีย์ 3 ชนิด และสารประกอบอินทรีย์ 6 ชนิด พบว่าสารประกอบที่มีประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์สูง ได้แก่ โซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมไบคาร์บอเนต คลอรามินที และแอลโพลิน ซึ่งเป็นสารประกอบในกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ แก๊สโลหะของสารประกอบอินทรีย์ และสารประกอบอินทรีย์ ตามลำดับ

การศึกษาการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วยโซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมไบคาร์บอเนต และแอลโพลิน เป็นการดูดซับแบบกายภาพ ระบบดูดซับบรรจุโซเดียมคาร์บอเนต หรือโซเดียมไบคาร์บอเนต 10 มิลลิกรัม หรือแอลโพลิน 13 มิลลิกรัม เพียงพอกับปริมาณควัน 245 มิลลิลิตร มีผลให้ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ ลดจาก 0.70 ± 0.07 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือต่ำกว่า 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อปริมาตรควัน 245-1470 มิลลิลิตร ไหลผ่านระบบดูดซับเหล่านี้ ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์จะสูงกว่า 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ยังคงต่ำกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพของโซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมไบคาร์บอเนต และแอลโพลิน เท่ากับร้อยละ 35 30 และ 25 ตามลำดับ

การดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วยคลอรามินที เป็นการดูดซับแบบเคมี โดยคลอรามินทีทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไซยาไนด์ เกิดไซยาโนเจนคลอไรด์ โซเดียมไซยาไนด์ และ 4-โทลูอินซัลโฟนาไมด์ คลอรามินที 12 มิลลิกรัม เป็นปริมาณที่เพียงพอกับปริมาตรควัน 245 มิลลิลิตร โดยมีผลให้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ลดจาก 0.70 ± 0.07 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 0.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพของคลอรามินที เท่ากับร้อยละ 15

จากการศึกษานี้เป็นการทดสอบการดูดซับโดยเคลือบสารประกอบลงบนกระดาษกรอง
ดังนั้นงานวิจัยต่อไป ควรจะศึกษาการนำสารประกอบเหล่านี้ไปใช้จริงเช่นอาจเคลือบลงบนก้นกรอง
บูหรี หรือเคลือบไว้ในหน้ากากอนามัย ซึ่งจะต้องศึกษาประสิทธิภาพ และปริมาณที่เหมาะสมต่อไป
นอกจากนี้อาจต้องศึกษาว่าหลังจากที่สารประกอบเหล่านี้ดูดซับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์แล้ว มีการ
เปลี่ยนรูปหรือเกิดปฏิกิริยาเป็นสารประกอบใด และเป็นอันตรายต่อมนุษย์หรือไม่



รายการอ้างอิง

1. J.C., J.W.R.K., *Mechanism of hydrogen cyanide formation from the pyrolysis of amino acids and related compounds*. J. Org. Chem., 1971. **36**(1): p. 189-192.
2. Tso TC, C.J., Adams JD & Hoffmann D., *Simple correlation and multiple regression among leaf and smoke characteristics of burley tobaccos*. Beiträge zur Tabakforschung International, 1982. **11**(3): p. 141-150.
3. Qiangqiang Ren, C.Z., Xiaoping Chen, Lunbo Duan, Yingjie Li & Chunyuan Ma, *NO_x and N₂O precursors (NH₃ and HCN) from biomass pyrolysis: Co-pyrolysis of amino acids and cellulose, hemicellulose and lignin*. Proceedings of the Combustion Institute 2011. **33**: p. 1715-1722.
4. Wikipedia, t.f.e. *Hydrogen_cyanide*. [cited 2013 October 29].
5. admin, P.b. สารหรือก๊าซที่ทำให้ร่างกายเกิดภาวะขาดออกซิเจน, สุขภาพ Tags: ภาวะขาดออกซิเจน, สารที่ทำให้เกิดภาวะขาดออกซิเจน. สารหรือก๊าซที่ทำให้ร่างกายเกิดภาวะขาดออกซิเจน, สุขภาพ 2013 [cited 2013 December 17].
6. Timothy R. Barber, C.C.L., Michiel R.J. Doorn, Phyllis C. Fuchsman , Hubert J. Timmenga & Robert L. Crouch, *Aquatic ecological risks due to cyanide releases from biomass burning*. Chemosphere 2003. **50**: p. 343-348.
7. Alexandra E. Lindsay, A.R.G.D.O.H., *Analytical techniques for cyanide in blood and published blood cyanide concentrations from healthy subjects and fire victims*. Analytica Chimica Acta, 2004. **511**: p. 185-195.
8. Karl-Martin Hansson, J.S., Claes Tullin & Lars-Erik Åmand, *Formation of HNCO, HCN, and NH₃ from the pyrolysis of bark and nitrogen-containing model compounds*. Combustion and Flame 2004. **137**: p. 265-277.
9. C., J.W.R.K.J., *Mechanisms of hydrogen cyanide formation from the pyrolysis of amino acids and related compounds*. J. Org. Chem. , 1971. **36**: p. 189-192.
10. Siegler, D.S., *Plants of the northeastern United States that produce cyanogenic compounds*. Econ. Bot. , 1976. **30**: p. 395-407.

11. Karlsson, H.L., *Ammonia, nitrous oxide and hydrogen cyanide emissions from five passenger vehicles*. *Science of the Total Environment* 2004. **334-335**: p. 125-132.
12. Sung-Chul Yi, M.R.H.S.H.J., *The prediction of the effects of tobacco type on smoke composition from the pyrolysis modeling of tobacco shreds*. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 2005. **74**: p. 181-192.
13. *The Emergency Response Safety and Health Database*. [cited 2013 October 2].
14. S., B.R.F.S.J., *Handbook of Toxicology of Chemical Warfare Agents*. *Handbook of Toxicology of Chemical Warfare Agents*. 2009: Elsevier Inc.
15. ฐานความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี; ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี) 1977 [cited 2013 October 1].
16. (WHO), W.H.O., *Hydrogen Cyanide and Cyanides: Human Health Aspects*. *Concise International Chemical Assessment Document*, 2004: p. 61.
17. Stockwell, W.S.R.P.B., *Automated determination of hydrogen cyanide acrolein and total aldehydes in the gas phase of tobacco smoke Labstat Incorporated, 262 Manitou Drive, Kitchener, Ontario, Canada, N2C 1L3*. *The Journal of Automatic Chemistry* 1979. **3**: p. 152-154.
18. Zi-Wei Zhanga, Y.-B.X., Cheng-Hui Wang, Kai-Bo Chec, Hong-Wu Tong & Shao-Min Liu, *Direct determination of hydrogen cyanide in cigarette mainstream smoke by ion chromatography with pulsed amperometric detection*. *Journal of Chromatography A* 2011. **1218**: p. 1016-1019.
19. Rajakovic L.J. V., I.M.R., Jovanic P. B. & Radosevic P. B, *Stoichiometric Analysis of Chemisorption of Hydrogen-Cyanide onto Activated Carbon Cloth*. *Carbon* 1995. **33**(10): p. 1433-1441.
20. Terzic M. Oliver, K.J.g., Popovic Aleksandar & Dogovic Nikola, *Synthetic activated carbons for the removal of hydrogen cyanide from air*. *Chemical Engineering and Processing* 2005. **44**: p. 1181-1187.
21. Haibo Zhao, R.G., Tonkyn, Stephan E. Barlow, Bruce E. Koel & Charles H.F. Peden, *Catalytic oxidation of HCN over a 0.5 % Pt/Al₂O₃ catalyst*. *Applied Catalysis B: Environmental* 2006. **65**: p. 282-290.

22. M., K.O.E., *Hydrolysis and oxidation of gaseous HCN over heterogeneous catalysts*. Applied Catalysis B: Environmental 2009. **92**: p. 75-89.
23. R.R. Kotdawala, N.K.a.R.W.T., *Molecular simulation studies of adsorption of hydrogen cyanide and methyl ethyl ketone on zeolite NaX and activated carbon*. Journal of Hazardous Materials 2008. **159**: p. 169–176.
24. Peter Branton, A.-H.L.F.S., *The effect of carbon pore structure on the adsorption of cigarette smoke vapor phase compounds*. CARBON 2009. **47**: p. 1005-1011.
25. Mykola Seredych, M.v.d.M.T.J.B., *Effects of surface chemistry on the reactive adsorption of hydrogen cyanide on activated carbons*. CARBON 2009. **47**: p. 2456-2465.
26. Hongwei Hou, Y.Z., Gangling Tang & Qing yuan Hu, *Lamellar γ -AlOOH architectures: Synthesis and application for the removal of HCN*. J. Material Characterization 2012. **68**: p. 33-41.
27. Neha Gupta, C.B.V.K.A., *Enzymatic mechanism and biochemistry for cyanide degradation: A review*. Journal of Hazardous Materials 2010. **176**: p. 1-13.
28. pradthana. กระบวนการดูดซับ (*Adsorption Process*). 2008 [cited 2014 march 25].
29. แผงนคร, น.ช.ม. เอกสารประกอบการสอน เคมีฟิสิกส์สำหรับเภสัชศาสตร์ เรื่อง *Interfacial phenomena*. 2012 [cited 2014 March 25].
30. ฉัตรศิริเวช, เ., กระบวนการดูดซับ (*Adsorption Processes*) 2009: กระบวนการดูดซับ (Adsorption Processes)



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

สารประกอบ

ตารางที่ ก-1 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีแอมโมเนียมคลอไรด์ 15.6 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลองซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Ammonium chloride (NH ₄ Cl) (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	73.13	97.41	170.54	0.0170	62.00	112.97	174.98
2	59.00	79.14	138.14	0.0159	57.31	103.27	160.58
3	76.90	93.02	169.91	0.0164	53.80	92.90	146.70
4	74.06	94.39	168.46	0.0157	66.50	105.38	171.88
5	74.84	83.59	158.44	0.0154	56.83	93.72	150.55
6	74.05	87.32	161.37	0.0153	61.54	93.95	155.49
7	75.14	91.87	167.01	0.0158	48.89	90.54	139.43
8	78.31	98.64	176.96	0.0146	54.70	97.36	152.06
9	70.55	88.44	158.99	0.0149	75.38	114.57	189.95
10	79.79	93.81	173.60	0.0146	58.31	88.74	147.06
ค่าเฉลี่ย	73.58	90.76	164.34	0.0156	59.53	99.34	158.87
SD	5.76	6.14	11.04	0.0008	7.40	9.22	15.60

ตารางที่ ก-2 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีเฟอร์ริกไนเตรท 8.1 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควีน 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Ferric nitrate ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	73.13	97.41	170.54	0.0080	63.03	113.71	176.74
2	59.00	79.14	138.14	0.0078	56.55	112.08	168.64
3	76.90	93.02	169.91	0.0079	55.04	105.63	160.67
4	74.06	94.39	168.46	0.0084	42.38	94.37	136.75
5	74.84	83.59	158.44	0.0081	55.91	110.16	166.07
6	74.05	87.32	161.37	0.0075	54.71	108.90	163.61
7	75.14	91.87	167.01	0.0077	67.22	128.97	196.19
8	78.31	98.64	176.96	0.0082	67.72	123.47	191.19
9	70.55	88.44	158.99	0.0087	64.19	120.93	185.12
10	79.79	93.81	173.60	0.0082	51.26	94.38	145.64
ค่าเฉลี่ย	73.58	90.76	164.34	0.0081	57.80	111.26	169.06
SD	5.76	6.14	11.04	0.0004	7.88	11.41	18.99

ตารางที่ ก-3 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีเฟอร์รัส ซัลเฟต 17.0 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Iron(II) sulphate heptahydrate ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	73.13	97.41	170.54	0.0167	48.25	104.77	153.02
2	59.00	79.14	138.14	0.0161	54.51	127.24	181.74
3	76.90	93.02	169.91	0.0173	67.21	151.89	219.11
4	74.06	94.39	168.46	0.0171	62.60	137.19	199.80
5	74.84	83.59	158.44	0.0173	32.84	98.92	131.76
6	74.05	87.32	161.37	0.0180	42.82	102.30	145.12
7	75.14	91.87	167.01	0.0168	49.90	125.65	175.55
8	78.31	98.64	176.96	0.0167	41.76	98.02	139.78
9	70.55	88.44	158.99	0.0169	60.85	145.28	206.13
10	79.79	93.81	173.60	0.0175	43.71	109.66	153.37
ค่าเฉลี่ย	73.58	90.76	164.34	0.0170	50.45	120.09	170.54
SD	5.76	6.14	11.04	0.0005	10.79	20.04	30.42

ตารางที่ ก-4 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีแลนทานัมคลอไรด์ 21.7 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควีน 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Lanthanum(III) chloride (LaCl_3) (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	73.13	97.41	170.54	0.0192	34.06	89.68	123.74
2	59.00	79.14	138.14	0.0206	44.29	99.95	144.24
3	76.90	93.02	169.91	0.0200	41.23	106.55	147.78
4	74.06	94.39	168.46	0.0205	52.48	124.02	176.50
5	74.84	83.59	158.44	0.0194	54.56	124.35	178.92
6	74.05	87.32	161.37	0.0225	45.88	123.05	168.93
7	75.14	91.87	167.01	0.0229	56.33	136.21	192.54
8	78.31	98.64	176.96	0.0216	50.14	121.29	171.43
9	70.55	88.44	158.99	0.0246	56.26	133.62	189.88
10	79.79	93.81	173.60	0.0253	54.12	123.89	178.01
ค่าเฉลี่ย	73.58	90.76	164.34	0.0217	48.93	118.26	167.20
SD	5.76	6.14	11.04	0.0021	7.40	14.84	21.89

ตารางที่ ก-5 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีโพแทสเซียมไดโครเมต 22.3 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Potassium dicromate ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	62.60	86.47	149.06	0.0222	79.24	94.91	174.15
2	70.75	89.40	160.15	0.0228	71.01	86.32	157.33
3	84.58	97.71	182.29	0.0226	78.89	88.94	167.83
4	64.86	75.73	140.59	0.0222	72.52	82.53	155.05
5	91.84	103.01	194.86	0.0222	80.24	88.47	168.72
6	82.09	106.96	189.05	0.0224	78.57	89.57	168.14
7	83.25	99.71	182.95	0.0219	71.06	82.98	154.04
8	78.61	99.89	178.50	0.0225	93.22	103.00	196.23
9	70.87	91.56	162.43	0.0219	88.24	93.47	181.71
10	64.47	85.96	150.44	0.0226	66.68	80.68	147.37
ค่าเฉลี่ย	75.39	93.64	169.03	0.0223	77.97	89.09	167.06
SD	10.04	9.49	18.86	0.0003	8.16	6.72	14.59

ตารางที่ ก-6 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีแคลเซียมคลอไรด์ 37.1 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Calcium chloride (CaCl_2) (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	62.60	86.47	149.06	0.0394	66.10	91.35	157.45
2	70.75	89.40	160.15	0.0379	68.14	105.32	173.46
3	84.58	97.71	182.29	0.0386	65.50	90.28	155.78
4	64.86	75.73	140.59	0.0371	67.73	95.48	163.21
5	91.84	103.01	194.86	0.0386	67.69	80.61	148.30
6	82.09	106.96	189.05	0.0338	74.89	101.57	176.47
7	83.25	99.71	182.95	0.0337	80.84	116.00	196.84
8	78.61	99.89	178.50	0.0346	66.62	97.13	163.75
9	70.87	91.56	162.43	0.0366	64.24	92.72	156.95
10	64.47	85.96	150.44	0.0405	79.33	99.76	179.10
ค่าเฉลี่ย	75.39	93.64	169.03	0.0371	70.11	97.02	167.13
SD	10.04	9.49	18.86	0.0394	5.99	9.57	14.38

ตารางที่ ก-7 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 18.9 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Disodium hydrogen phosphate (Na_2HPO_4) (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	62.60	86.47	149.06	0.0187	91.03	108.67	199.70
2	70.75	89.40	160.15	0.0190	85.43	104.09	189.53
3	84.58	97.71	182.29	0.0192	78.44	103.80	182.24
4	64.86	75.73	140.59	0.0193	69.96	80.92	150.88
5	91.84	103.01	194.86	0.0187	82.80	97.40	180.20
6	82.09	106.96	189.05	0.0192	73.96	98.94	172.90
7	83.25	99.71	182.95	0.0188	96.48	115.28	211.76
8	78.61	99.89	178.50	0.0184	59.21	85.53	144.73
9	70.87	91.56	162.43	0.0192	93.40	115.98	209.38
10	64.47	85.96	150.44	0.0182	89.96	107.10	197.06
ค่าเฉลี่ย	75.39	93.64	169.03	0.0189	82.07	101.77	183.84
SD	10.04	9.49	18.86	0.0004	11.73	11.52	22.71

ตารางที่ ก-8 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีโซเดียมไธโอซัลเฟต 18.4

มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย sodium thiosulphate ($\text{Na}_2\text{O}_3\text{S}_5$) (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	58.52	73.83	132.34	0.0195	84.57	90.86	175.43
2	73.29	94.08	167.37	0.0201	67.57	68.39	135.96
3	66.90	88.62	155.52	0.0171	121.82	114.19	236.00
4	65.99	83.25	149.24	0.0162	66.25	67.25	133.50
5	66.47	75.27	141.73	0.0170	69.50	67.11	136.61
6	66.38	86.37	152.75	0.0210	69.21	74.35	143.55
7	65.74	73.61	139.35	0.0190	69.59	70.03	139.62
8	75.83	80.80	156.62	0.0181	68.13	64.25	132.38
9	57.91	66.68	124.59	0.0181	47.77	47.38	95.15
10	75.93	80.17	156.11	0.0183	57.97	54.57	112.54
ค่าเฉลี่ย	67.30	80.27	147.56	0.0184	72.24	71.84	144.08
SD	6.27	8.18	12.91	0.0015	19.75	18.78	38.31

ตารางที่ ก-9 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีโซเดียมซัลเฟต 12.8 มิลลิกรัม
เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย sodium sulphate (Na_2SO_4) (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	58.52	73.83	132.34	0.0126	59.38	73.59	132.97
2	73.29	94.08	167.37	0.0136	79.49	93.21	172.70
3	66.90	88.62	155.52	0.0131	57.83	79.81	137.63
4	65.99	83.25	149.24	0.0134	55.62	77.13	132.74
5	66.47	75.27	141.73	0.0125	76.40	92.75	169.15
6	66.38	86.37	152.75	0.0125	72.28	91.92	164.20
7	65.74	73.61	139.35	0.0139	70.54	86.22	156.76
8	75.83	80.80	156.62	0.0106	80.87	105.19	186.07
9	57.91	66.68	124.59	0.0131	63.59	81.30	144.89
10	75.93	80.17	156.11	0.0123	66.26	84.48	150.74
ค่าเฉลี่ย	67.30	80.27	147.56	0.0128	68.22	86.56	154.78
SD	6.27	8.18	12.91	0.0009	9.11	9.39	18.16

ตารางที่ ก-10 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีโซเดียมคลอไรด์ 10.2 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 245 มิลลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย sodium chloride (NaCl) (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	58.52	73.83	132.34	0.0098	81.49	104.33	185.81
2	73.29	94.08	167.37	0.0110	56.09	79.41	135.51
3	66.90	88.62	155.52	0.0110	57.44	55.97	113.40
4	65.99	83.25	149.24	0.0103	68.78	86.71	155.49
5	66.47	75.27	141.73	0.0106	74.15	89.17	163.33
6	66.38	86.37	152.75	0.0106	80.27	96.30	176.58
7	65.74	73.61	139.35	0.0094	64.98	78.25	143.23
8	75.83	80.80	156.62	0.0096	68.22	91.16	159.38
9	57.91	66.68	124.59	0.0093	64.16	78.20	142.37
10	75.93	80.17	156.11	0.0103	87.38	88.25	175.63
ค่าเฉลี่ย	67.30	80.27	147.56	0.0102	70.30	84.78	155.07
SD	6.27	8.18	12.91	0.0006	10.39	13.06	21.95

ตารางที่ ก-11 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีโซเดียมคาร์บอเนต 9.9

มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Sodium carbonate (Na_2CO_3) (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	89.00	99.90	188.91	0.0085	127.12	40.65	167.77
2	71.34	77.40	148.74	0.0075	134.98	42.59	177.57
3	76.02	97.64	173.66	0.0065	116.43	47.72	164.14
4	56.16	68.70	124.86	0.0165	135.73	34.83	170.56
5	77.16	88.85	166.01	0.0100	125.12	28.17	153.29
6	79.06	86.71	165.77	0.0108	131.55	35.14	166.68
7	58.43	75.39	133.82	0.0102	128.69	31.26	159.95
8	74.15	84.82	158.97	0.0076	109.43	25.93	135.36
9	78.38	99.51	177.89	0.0103	111.79	27.88	139.67
10				0.0109	152.28	40.53	192.81
ค่าเฉลี่ย	73.30	86.55	159.85	0.0099	127.31	35.47	162.78
SD	10.29	11.20	20.80	0.0028	12.72	7.25	17.02

ตารางที่ ก-12 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีโซเดียมไบคาร์บอเนต 10.2 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Sodium bicarbonate (NaHCO_3) (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	89.99	104.75	194.74	0.0098	129.38	49.36	178.73
2	64.42	79.53	143.95	0.0103	127.10	45.57	172.67
3	69.58	87.50	157.09	0.0103	127.82	59.48	187.30
4	67.84	84.49	152.34	0.0101	125.50	50.60	176.10
5	49.25	59.43	108.68	0.0102	129.82	40.56	170.38
6	67.36	87.27	154.62	0.0112	127.84	48.66	176.50
7	50.80	64.57	115.37	0.0104	118.78	66.38	185.15
8	63.54	86.54	150.08	0.0101	128.65	52.77	181.41
9	73.31	82.98	156.29	0.0097	123.31	49.86	173.17
10	74.84	92.58	167.42	0.0102	101.31	54.65	155.96
ค่าเฉลี่ย	67.09	82.96	150.06	0.0102	123.95	51.79	175.74
SD	11.70	13.02	24.41	0.0004	8.62	7.20	8.82

ตารางที่ ก-13 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีโซเดียมไนเตรท 16.6 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Sodium nitrate (NaNO_3) (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	55.10	63.84	118.94	0.0162	68.62	85.10	153.72
2	71.96	80.51	152.46	0.0165	70.53	82.68	153.21
3	75.68	90.29	165.97	0.0169	78.62	93.89	172.51
4	57.38	70.62	128.00	0.0170	77.93	101.71	179.63
5	93.38	100.68	194.06	0.0166	64.61	92.87	157.48
6	85.44	96.83	182.27	0.0164	57.25	74.55	131.79
7	52.63	73.72	126.35	0.0166	66.65	83.55	150.20
8	80.99	97.63	178.62	0.0167	63.74	78.48	142.22
9	58.27	73.14	131.40	0.0166	66.97	84.11	151.08
10	75.61	87.52	163.13	0.0165	76.58	96.18	172.76
ค่าเฉลี่ย	70.64	83.48	154.12	0.0166	69.15	87.31	156.46
SD	14.10	12.91	26.71	0.0002	6.88	8.51	23.01

ตารางที่ ก-14 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีโซเดียมไนไตรท์ 16.0 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Sodium nitrite (NaNO_2) (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	78.91	80.51	159.42	0.0156	90.00	100.33	190.33
2	84.10	86.96	171.06	0.0159	71.40	74.28	145.68
3	66.57	77.11	143.68	0.0161	84.77	99.31	184.08
4	112.21	113.76	225.97	0.0159	97.37	99.08	196.45
5	73.31	84.77	158.08	0.0162	109.41	116.88	226.29
6	91.94	105.05	196.99	0.0159	88.64	91.79	180.43
7	74.72	76.76	151.48	0.0162	99.13	113.22	212.35
8	92.09	108.43	200.52	0.0162	105.59	116.14	221.73
9	88.67	98.04	186.71	0.0159	108.32	105.56	213.88
10	82.75	97.94	180.69	0.0161	83.23	83.15	166.38
ค่าเฉลี่ย	84.53	92.93	177.46	0.0160	93.79	99.97	193.76
SD	12.80	13.50	25.65	0.0002	12.34	14.01	25.70

ตารางที่ ก-15 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีลิเทียมซิเตรท ไตรเบสิก 22.6 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Lithium citrate (C ₆ H ₅ Li ₃ O ₇) (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	62.60	86.47	149.06	0.0226	90.36	121.21	211.57
2	70.75	89.40	160.15	0.0225	66.70	101.50	168.20
3	84.58	97.71	182.29	0.0224	64.32	90.35	154.66
4	64.86	75.73	140.59	0.0227	73.56	97.93	171.49
5	91.84	103.01	194.86	0.0224	89.75	105.32	195.07
6	82.09	106.96	189.05	0.0228	87.53	109.80	197.33
7	83.25	99.71	182.95	0.0226	64.84	88.77	153.60
8	78.61	99.89	178.50	0.0232	69.46	90.87	160.33
9	70.87	91.56	162.43	0.0222	80.38	100.35	180.73
10	64.47	85.96	150.44	0.0221	84.01	99.42	183.43
ค่าเฉลี่ย	75.39	93.64	169.03	0.0226	77.09	100.55	177.64
SD	10.04	9.49	18.86	0.0003	10.52	9.89	19.49

ตารางที่ ก-16 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีโซเดียมซาลิไซเลต 18.8

มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Sodium salicylate ($\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})\text{COONa}$) (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	62.60	86.47	149.06	0.0189	68.49	101.39	169.88
2	70.75	89.40	160.15	0.0190	73.61	106.47	180.09
3	84.58	97.71	182.29	0.0190	86.33	123.10	209.44
4	64.86	75.73	140.59	0.0203	75.47	106.38	181.85
5	91.84	103.01	194.86	0.0188	93.11	132.70	225.81
6	82.09	106.96	189.05	0.0173	66.42	95.63	162.06
7	83.25	99.71	182.95	0.0189	69.67	104.27	173.94
8	78.61	99.89	178.50	0.0188	89.17	118.46	207.63
9	70.87	91.56	162.43	0.0186	81.19	118.44	199.63
10	64.47	85.96	150.44	0.0187	80.27	108.13	188.40
ค่าเฉลี่ย	75.39	93.64	169.03	0.0188	78.38	111.50	189.87
SD	10.04	9.49	18.86	0.0007	9.17	11.30	20.21

ตารางที่ ก-17 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีคลอรามินที่ 14.5 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Chloramine-T ($\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{N}(\text{Na})\text{Cl}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$) (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	82.74	125.78	208.52	0.0141	26.26	72.91	99.18
2	67.19	95.49	162.68	0.0149	34.17	74.57	108.73
3	56.88	90.04	146.92	0.0149	25.53	60.06	85.59
4	55.93	75.90	131.83	0.0146	33.80	73.02	106.82
5	67.40	94.88	162.28	0.0146	26.03	49.77	75.80
6	60.02	81.13	141.15	0.0141	26.34	53.03	79.38
7	72.30	106.96	179.25	0.0147	25.78	59.80	85.58
8	56.54	90.67	147.21	0.0142	34.45	55.92	90.38
9	67.57	94.62	162.19	0.0144	28.21	62.68	90.89
10	73.60	99.78	173.38	0.0144	30.60	64.95	95.56
ค่าเฉลี่ย	66.02	95.52	161.54	0.0145	29.12	62.67	91.79
SD	8.78	13.79	22.06	0.0003	3.77	8.68	10.91

ตารางที่ ก-18 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีแอล กลูตามิก แอซิด ไฮโดรคลอไรด์ 17.0 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย L-glutamic acid hydrochloride ($\text{C}_5\text{H}_5\text{NO}_4\text{ClH}$) (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	62.60	86.47	149.06	0.0170	47.66	132.92	180.58
2	70.75	89.40	160.15	0.0166	66.89	162.62	229.51
3	84.58	97.71	182.29	0.0172	52.39	132.46	184.85
4	64.86	75.73	140.59	0.0173	46.45	111.53	157.98
5	91.84	103.01	194.86	0.0166	56.42	115.69	172.11
6	82.09	106.96	189.05	0.0173	49.85	126.06	175.91
7	83.25	99.71	182.95	0.0168	57.24	135.63	192.87
8	78.61	99.89	178.50	0.0166	49.49	113.46	162.94
9	70.87	91.56	162.43	0.0169	45.48	126.70	172.18
10	64.47	85.96	150.44	0.0174	47.90	113.05	160.94
ค่าเฉลี่ย	75.39	93.64	169.03	0.0170	51.98	127.01	178.99
SD	10.04	9.49	18.86	0.0003	6.57	15.47	20.84

ตารางที่ ก-19 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีแอล แอสพาราจิ้น 14.5 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลองซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย L-Asparagine (C ₄ H ₈ N ₂ O ₃) (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	55.10	63.84	118.94	0.0141	59.59	89.8	149.39
2	71.96	80.51	152.46	0.0149	58.05	96.55	154.60
3	75.68	90.29	165.97	0.0149	63.57	87.87	151.45
4	57.38	70.62	128.00	0.0146	63.91	94.09	158.00
5	93.38	100.68	194.06	0.0146	52.52	99.53	152.04
6	85.44	96.83	182.27	0.0141	62.81	94.45	157.26
7	52.63	73.72	126.35	0.0147	66.6	93.37	159.98
8	80.99	97.63	178.62	0.0142	67.35	89.52	156.86
9	58.27	73.14	131.4	0.0144	47.94	76.42	124.36
10	75.61	87.52	163.13	0.0144	53.66	85.9	139.56
ค่าเฉลี่ย	70.64	83.48	154.12	0.0145	59.6	90.75	150.35
SD	14.1	12.91	26.71	0.0003	6.48	6.51	10.83

ตารางที่ ก-20 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีแอล โพลีน 12.9 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Proline (C ₅ H ₉ NO ₂) (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	89.00	99.90	188.91	0.0129	92.35	47.69	140.04
2	71.34	77.40	148.74	0.0127	116.76	65.34	182.10
3	76.02	97.64	173.66	0.0122	123.85	62.13	185.98
4	56.16	68.70	124.86	0.0138	112.97	60.25	173.22
5	77.16	88.85	166.01	0.0120	87.03	45.21	132.24
6	79.06	86.71	165.77	0.0121	100.77	49.63	150.40
7	58.43	75.39	133.82	0.0134	97.87	48.38	146.25
8	74.15	84.82	158.97	0.0127	96.78	46.21	143.00
9	78.38	99.51	177.89	0.0140	98.61	51.36	149.97
10				0.0133	111.18	54.57	165.75
ค่าเฉลี่ย	73.30	86.55	159.85	0.0129	103.82	53.08	156.89
SD	10.29	11.20	20.80	0.0007	11.74	7.16	18.60

ตารางที่ ก-21 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีกลูโคส 15.7 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Glucose (C ₆ H ₁₂ O ₆) (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	89.00	99.90	188.91	0.0160	66.50	82.31	148.81
2	71.34	77.40	148.74	0.0203	56.95	80.84	137.79
3	76.02	97.64	173.66	0.0198	66.64	91.68	158.32
4	56.16	68.70	124.86	0.0204	69.73	92.55	162.29
5	77.16	88.85	166.01	0.0185	68.72	94.52	163.25
6	79.06	86.71	165.77	0.0175	68.15	93.95	162.10
7	58.43	75.39	133.82	0.0092	71.45	92.96	164.41
8	74.15	84.82	158.97	0.0083	67.62	98.20	165.81
9	78.38	99.51	177.89	0.0088	82.53	106.16	188.69
10				0.0182	63.61	86.16	149.76
ค่าเฉลี่ย	73.30	86.55	159.85	0.0157	68.19	91.93	160.12
SD	10.29	11.20	20.80	0.0050	6.43	7.48	13.43

ตารางที่ ก-22 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีกรดแอสพาทิก 7.7 มิลลิกรัม
เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Aspartic acid (C ₄ H ₇ NO ₄) (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	73.13	97.41	170.54	0.0072	50.28	101.53	151.80
2	59.00	79.14	138.14	0.0075	60.10	108.86	168.96
3	76.90	93.02	169.91	0.0076	50.32	99.40	149.73
4	74.06	94.39	168.46	0.0076	39.96	84.61	124.57
5	74.84	83.59	158.44	0.0078	57.02	98.92	155.94
6	74.05	87.32	161.37	0.0081	61.65	112.44	174.09
7	75.14	91.87	167.01	0.0080	45.39	95.27	140.65
8	78.31	98.64	176.96	0.0077	64.99	115.86	180.85
9	70.55	88.44	158.99	0.0078	52.80	99.87	152.67
10	79.79	93.81	173.60	0.0080	63.00	102.08	165.08
ค่าเฉลี่ย	73.58	90.76	164.34	0.0077	54.55	101.88	156.43
SD	5.76	6.14	11.04	0.0003	8.19	8.92	16.61

ตารางที่ ก-23 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีกรด2-อะมิโน-2-ไฮดรอกซีเมทิล-1,3-โพรพานไดออล 21.7 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย 2-Amino-2-(hydroxyl methyl)-1,3-propanediol (C ₄ H ₁₁ NO ₃) (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	73.13	97.41	170.54	0.0222	70.92	76.89	147.82
2	59.00	79.14	138.14	0.0219	65.86	74.65	140.50
3	76.90	93.02	169.91	0.0222	51.85	66.25	118.10
4	74.06	94.39	168.46	0.0218	88.17	100.63	188.79
5	74.84	83.59	158.44	0.0221	62.22	69.90	132.12
6	74.05	87.32	161.37	0.0230	71.00	78.94	149.94
7	75.14	91.87	167.01	0.0224	67.38	74.62	142.00
8	78.31	98.64	176.96	0.0219	74.65	80.26	154.91
9	70.55	88.44	158.99	0.0222	66.69	81.98	148.67
10	79.79	93.81	173.60	0.0173	81.45	92.78	174.24
ค่าเฉลี่ย	73.58	90.76	164.34	0.0217	70.02	79.69	149.71
SD	5.76	6.14	11.04	0.0016	10.05	10.28	20.04

ภาคผนวก ข

สารประกอบโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)

ตารางที่ ข-1 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่ปริมาตรควัน 10 มิลลิลิตร ไหลผ่านด้วยอัตราการไหล 1.15 มิลลิลิตรต่อวินาที

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Na_2CO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	1.30	1.25	2.54	0.0064	1.36	1.25	2.61
2	0.80	1.39	2.19	0.0103	1.55	0.98	2.52
3	1.13	1.58	2.71	0.0099	1.40	0.80	2.21
4	1.65	1.13	2.78	0.0099	1.11	0.71	1.82
ค่าเฉลี่ย	1.22	1.34	2.56	0.0091	1.36	0.93	2.29
SD	0.35	0.19	0.26	0.0018	0.18	0.24	0.36

ตารางที่ ข-2 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่ปริมาตรควัน 10 มิลลิลิตร ไหลผ่านด้วยอัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อวินาที

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Na_2CO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	2.05	3.20	5.25	0.0098	4.08	2.12	6.21
2	3.37	6.21	9.58	0.0099	6.23	2.75	8.98
3	2.76	3.93	6.69	0.0099	8.32	3.18	11.50
4	2.35	2.55	4.90	0.0099	5.59	2.62	8.21
ค่าเฉลี่ย	2.63	3.97	6.61	0.0099	6.06	2.67	8.72
SD	0.57	1.60	2.13	0.0001	1.76	0.43	2.19

ตารางที่ ข-3 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่ปริมาตรคว้น 10 มิลลิลิตร ไหลผ่าน
ด้วยอัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อวินาที

ทดลองซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Na_2CO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	7.66	12.91	20.56	0.0101	13.65	5.70	19.35
2	9.65	16.38	26.04	0.0100	8.87	3.52	12.39
3	4.62	8.73	13.35	0.0092	24.07	10.88	34.95
4	5.14	8.77	13.91	0.0096	10.44	4.07	14.51
ค่าเฉลี่ย	6.77	11.70	18.46	0.0097	14.26	6.04	20.30
SD	2.34	3.69	6.02	0.0004	6.84	3.35	10.19

ตารางที่ ข-4 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่ปริมาตรคว้น 10 มิลลิลิตร ไหลผ่าน
ด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อวินาที

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Na_2CO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	7.59	16.29	23.89	0.0108	17.06	6.47	23.54
2	7.11	16.18	23.30	0.0101	14.52	8.32	22.84
3	6.33	11.35	17.68	0.0098	18.98	6.67	25.65
4	6.90	17.95	24.86	0.0097	17.45	4.69	22.14
ค่าเฉลี่ย	6.98	15.44	22.43	0.0101	17.00	6.54	23.54
SD	0.52	2.85	3.23	0.0005	1.85	1.48	1.52

ตารางที่ ข-5 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 10 มิลลิลิตร

ทดลองซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Na ₂ CO ₃ (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	0.47	1.61	2.08	0.0101	0.50	1.42	1.92
2	0.45	1.56	2.01	0.0096	0.52	1.09	1.62
3	0.37	1.77	2.14	0.0102	0.12	0.61	0.73
4	0.48	1.40	1.88	0.0097	0.46	1.04	1.50
ค่าเฉลี่ย	0.44	1.58	2.03	0.0099	0.40	1.04	1.44
SD	0.05	0.15	0.11	0.0003	0.19	0.33	0.51

ตารางที่ ข-6 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 30 มิลลิลิตร

ทดลองซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Na ₂ CO ₃ (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	0.65	0.55	1.20	0.0106	0.64	0.13	0.78
2	0.44	0.08	0.51	0.0104	0.58	0.20	0.79
3	0.62	0.00	0.62	0.0103	0.53	0.11	0.64
4	0.61	0.24	0.85	0.0081	0.47	0.36	0.83
ค่าเฉลี่ย	0.58	0.22	0.80	0.0099	0.56	0.20	0.76
SD	0.10	0.24	0.31	0.0012	0.07	0.11	0.08

ตารางที่ ข-7 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 17.5 มิลลิลิตร

ทดลองซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Na ₂ CO ₃ (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	4.28	2.68	6.96	0.0100	8.19	0.84	9.03
2	2.89	1.31	4.20	0.0101	9.47	0.69	10.16
3	3.95	2.20	6.15	0.0100	5.53	0.55	6.08
4	4.65	2.67	7.32	0.0100	8.56	0.93	9.49
ค่าเฉลี่ย	3.94	2.21	6.16	0.0100	7.94	0.75	8.69
SD	0.76	0.64	1.39	0.0000	1.69	0.17	1.80

ตารางที่ ข-8 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 35 มิลลิลิตร

ทดลองซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Na ₂ CO ₃ (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	6.00	5.22	11.22	0.0095	18.92	1.49	20.41
2	8.46	5.29	13.75	0.0096	19.59	2.24	21.83
3	6.67	4.21	10.88	0.0101	19.14	0.91	20.05
4	7.39	4.98	12.37	0.0106	17.85	1.15	19.00
ค่าเฉลี่ย	7.13	4.92	12.05	0.0100	18.88	1.45	20.32
SD	1.05	0.50	1.30	0.0005	0.74	0.58	1.17

ตารางที่ ข-9 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 70 มิลลิลิตร

ทดลองซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Na_2CO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	9.47	12.13	21.60	0.0098	32.94	8.54	41.47
2	11.62	12.07	23.70	0.0101	26.95	6.45	33.40
3	6.29	6.13	12.42	0.0102	25.08	7.82	32.89
4	13.00	18.63	31.63	0.0100	18.94	5.74	24.68
ค่าเฉลี่ย	10.10	12.24	22.34	0.0100	25.98	7.14	33.11
SD	2.92	5.11	7.90	0.0002	5.76	1.27	6.86

ตารางที่ ข-10 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 175 มิลลิลิตร

ทดลองซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Na_2CO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	30.41	42.16	72.57	0.0097	61.21	21.99	83.20
2	22.23	32.00	54.24	0.0104	63.54	24.62	88.15
3	27.97	38.26	66.23	0.0098	73.42	22.72	96.14
4	32.52	42.57	75.08	0.0098	54.66	13.31	67.98
ค่าเฉลี่ย	28.28	38.75	67.03	0.0099	63.21	20.66	83.87
SD	4.44	4.90	9.31	0.0003	7.77	5.02	11.86

ตารางที่ ข-11 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตร ต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Na_2CO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	76.72	97.58	174.30	0.0085	115.26	61.54	176.80
2	101.37	107.03	208.40	0.0078	129.89	55.54	185.43
3	82.84	94.13	176.98	0.0092	127.71	52.42	180.13
4	83.80	82.52	166.32	0.0107	101.23	38.61	139.84
5	76.77	85.97	162.74	0.0086	102.85	64.19	167.04
6	84.74	98.14	182.88	0.0082	107.30	44.82	152.12
7	72.56	80.71	153.27	0.0083	111.61	43.27	154.89
8	83.28	76.12	159.40	0.0090	122.68	50.63	173.31
9	63.35	83.28	146.64	0.0090	91.53	48.57	140.10
10	81.57	94.20	175.77	0.0090	144.09	54.49	198.57
ค่าเฉลี่ย	80.70	89.97	170.67	0.0088	115.42	51.41	166.82
SD	9.80	9.69	17.45	0.0008	15.80	8.00	19.65

ตารางที่ ข-12 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตร ต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 490 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Na_2CO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	178.35	196.44	374.78	0.0095	253.85	87.02	340.86
2	171.09	183.18	354.27	0.0094	261.05	104.12	365.16
3	147.84	162.72	310.56	0.0098	247.38	104.12	351.50
4	180.92	180.65	361.57	0.0096	268.92	102.73	371.65
5	176.37	197.60	373.98	0.0099	243.78	87.85	331.62
6	193.50	192.49	385.99	0.0095	251.44	85.37	336.80
7	155.30	157.10	312.40	0.0101	225.65	88.33	313.98
8	189.81	186.22	376.02	0.0099	292.77	110.43	403.20
9	163.10	180.47	343.56	0.0095	269.43	96.83	366.26
10	177.22	200.18	377.40	0.0098	247.15	110.47	357.63
ค่าเฉลี่ย	173.35	183.70	357.05	0.0097	256.14	97.72	353.87
SD	14.41	14.45	27.03	0.0002	18.18	9.91	24.94

ตารางที่ ข-13 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการใช้ 17.5 มิลลิลิตร ต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 735 มิลลิลิตร

ทดลองซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Na_2CO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	308.46	259.63	568.09	0.0080	407.60	178.87	586.47
2	271.80	232.15	503.96	0.0097	406.39	161.78	568.18
3	265.99	247.05	513.04	0.0090	429.05	160.01	589.06
4	308.78	236.18	544.96	0.0095	374.99	159.23	534.22
5	281.18	269.19	550.37	0.0096	387.31	168.87	556.18
6	283.99	251.79	535.78	0.0094	377.68	173.47	551.15
7	270.55	234.37	504.92	0.0098	347.65	166.61	514.26
8	288.60	241.68	530.27	0.0094	361.67	170.16	531.84
9	287.86	265.15	553.00	0.0099	398.59	196.07	594.67
10	326.24	293.96	620.20	0.0096	382.61	191.22	573.83
ค่าเฉลี่ย	289.35	253.11	542.46	0.0094	387.35	172.63	559.98
SD	19.46	19.33	34.69	0.0005	23.90	12.68	27.18

ตารางที่ ข-14 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตร ต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 980 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Na_2CO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	416.62	344.97	761.59	0.0090	514.27	198.13	712.40
2	367.37	281.92	649.29	0.0095	455.41	170.73	626.14
3	381.44	300.28	681.72	0.0096	498.91	207.93	706.85
4	369.35	292.65	662.01	0.0093	515.22	200.83	716.05
5	417.00	341.88	758.87	0.0093	505.93	228.28	734.21
6	439.68	343.84	783.51	0.0094	473.09	218.23	691.32
7	380.49	307.74	688.22	0.0089	490.00	240.01	730.01
8	440.72	367.52	808.24	0.0088	464.73	243.77	708.51
9	355.97	331.42	687.40	0.0088	562.81	240.70	803.51
10	379.97	344.91	724.88	0.0091	518.63	218.40	737.03
ค่าเฉลี่ย	394.86	325.71	720.57	0.0092	499.90	216.70	716.60
SD	30.92	28.07	54.75	0.0003	31.30	23.04	44.05

ตารางที่ ข-15 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตร ต่อวินาที ที่ปริมาตรควีน 1225 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Na_2CO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	467.11	360.01	827.13	0.0099	559.28	318.96	878.24
2	491.54	399.72	891.26	0.0104	566.19	327.22	893.41
3	479.78	418.53	898.32	0.0102	613.87	351.94	965.81
4	456.75	342.17	798.92	0.0103	530.44	322.33	852.77
5	468.70	367.61	836.31	0.0098	555.52	290.09	845.61
6	463.68	325.66	789.34	0.0106	601.96	317.43	919.39
7	494.82	390.23	885.06	0.0101	583.67	294.29	877.96
8	469.71	378.36	848.06	0.0100	559.49	287.13	846.62
9	543.75	409.80	953.55	0.0101	587.80	336.54	924.33
10	532.99	434.74	967.73	0.0102	577.39	335.59	912.98
ค่าเฉลี่ย	486.88	382.68	869.57	0.0102	573.56	318.15	891.71
SD	29.74	34.53	60.58	0.0002	24.48	21.61	39.19

ตารางที่ ข-16 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตร ต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 1470 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Na_2CO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	743.88	506.06	1249.94	0.0103	966.81	401.43	1368.24
2	656.21	448.54	1104.75	0.0101	895.44	393.24	1288.68
3	696.88	457.05	1153.93	0.0099	855.45	350.21	1205.65
4	571.11	427.24	998.35	0.0100	814.18	336.82	1151.00
5	742.08	541.00	1283.07	0.0097	896.39	344.64	1241.03
6	687.43	502.01	1189.44	0.0097	868.30	344.16	1212.47
7	575.97	445.25	1021.23	0.0096	813.32	322.57	1135.88
8	513.37	452.67	966.04	0.0099	793.99	406.03	1200.02
9	646.73	553.80	1200.53	0.0098	728.90	404.57	1133.47
10	622.94	573.78	1196.72	0.0138	718.66	405.45	1124.11
ค่าเฉลี่ย	645.66	490.74	1136.40	0.0103	835.14	370.91	1206.06
SD	75.90	51.88	109.35	0.0013	77.24	33.87	77.72

ตารางที่ ข-17 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีโซเดียมคาร์บอเนต 2.2 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Na_2CO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	69.38	95.57	164.95	0.0018	84.00	74.94	158.94
2	54.74	76.19	130.93	0.0023	77.43	73.26	150.69
3	66.71	83.02	149.73	0.0022	63.09	59.82	122.92
4	66.01	94.22	160.23	0.0016	104.62	91.13	195.75
5	90.03	117.28	207.32	0.0016	85.61	74.86	160.47
6	56.47	75.81	132.28	0.0029	89.32	81.03	170.34
7	72.95	88.25	161.20	0.0020	103.13	99.18	202.31
8	58.75	75.96	134.71	0.0027	98.12	85.02	183.15
9	55.64	77.02	132.66	0.0019	96.27	83.85	180.13
10	70.98	110.50	181.48	0.0031	104.29	94.04	198.33
ค่าเฉลี่ย	66.17	89.38	155.55	0.0022	90.59	81.71	172.30
SD	10.75	14.98	25.02	0.0005	13.46	11.57	24.80

ตารางที่ ข-18 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีโซเดียมคาร์บอเนต 2.5 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Na_2CO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	48.35	66.13	114.48	0.0025	69.40	51.37	120.77
2	57.19	86.36	143.56	0.0023	93.74	62.62	156.36
3	67.52	89.19	156.71	0.0019	90.62	57.96	148.58
4	53.42	75.39	128.81	0.0021	61.20	39.74	100.94
5	77.11	104.44	181.55	0.0025	92.17	56.99	149.16
6	50.74	68.34	119.08	0.0025	85.19	56.01	141.20
7	57.71	81.89	139.59	0.0027	80.50	49.90	130.40
8				0.0028	96.64	66.75	163.40
9				0.0019	73.79	44.71	118.49
10				0.0036	86.46	57.78	144.24
ค่าเฉลี่ย	58.86	81.68	140.54	0.0025	82.97	54.38	137.35
SD	10.15	13.26	23.20	0.0005	11.60	8.11	19.36

ตารางที่ ข-19 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีโซเดียมคาร์บอเนต 3.8 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 245 มิลลิลิตร

ทดลองซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Na_2CO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	48.35	66.13	114.48	0.0036	92.21	43.26	135.47
2	57.19	86.36	143.56	0.0033	103.58	58.35	161.93
3	67.52	89.19	156.71	0.0041	102.07	53.57	155.64
4	53.42	75.39	128.81	0.0033	93.38	48.62	142.00
5	77.11	104.44	181.55	0.0038	109.90	50.70	160.60
6	50.74	68.34	119.08	0.0037	93.14	51.48	144.62
7	57.71	81.89	139.59	0.0037	89.55	39.33	128.87
8				0.0043	125.68	62.14	187.81
9				0.0042	98.27	50.47	148.74
10				0.0040	88.36	40.55	128.92
ค่าเฉลี่ย	58.86	81.68	140.54	0.0038	99.62	49.85	149.46
SD	10.15	13.26	23.20	0.0003	11.41	7.32	17.98

ตารางที่ ข-20 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีโซเดียมคาร์บอเนต 9.9 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Na_2CO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	89.00	99.90	188.91	0.0085	127.12	40.65	167.77
2	71.34	77.40	148.74	0.0075	134.98	42.59	177.57
3	76.02	97.64	173.66	0.0065	116.43	47.72	164.14
4	56.16	68.70	124.86	0.0165	135.73	34.83	170.56
5	77.16	88.85	166.01	0.0100	125.12	28.17	153.29
6	79.06	86.71	165.77	0.0108	131.55	35.14	166.68
7	58.43	75.39	133.82	0.0102	128.69	31.26	159.95
8	74.15	84.82	158.97	0.0076	109.43	25.93	135.36
9	78.38	99.51	177.89	0.0103	111.79	27.88	139.67
10				0.0109	152.28	40.53	192.81
ค่าเฉลี่ย	73.30	86.55	159.85	0.0099	127.31	35.47	162.78
SD	10.29	11.20	20.80	0.0028	12.72	7.25	17.02

ตารางที่ ข-21 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีโซเดียมคาร์บอเนต 20.5 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Na_2CO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	57.17	86.34	143.52	0.0212	107.27	21.67	128.93
2	75.51	102.50	178.02	0.0203	119.09	26.24	145.33
3	66.17	74.73	140.90	0.0201	150.58	23.03	173.61
4	82.56	105.47	188.03	0.0204	131.52	19.27	150.79
5	84.11	109.84	193.95	0.0208	141.34	21.98	163.31
6	75.56	101.72	177.28	0.0199	119.16	25.19	144.35
7	78.12	96.28	174.41	0.0216	134.61	24.59	159.20
8	73.26	88.96	162.22	0.0200	171.86	38.03	209.89
9	80.99	103.61	184.59	0.0199	178.59	33.74	212.33
10	58.52	82.33	140.85	0.0209	184.10	41.49	225.59
ค่าเฉลี่ย	74.83	95.18	171.43	0.0205	143.81	27.52	171.33
SD	8.55	11.50	18.84	0.0006	26.79	7.55	33.25

ตารางที่ ข-22 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีโซเดียมคาร์บอเนต 26.7

มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Na_2CO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	78.42	93.30	171.72	0.0270	167.80	43.39	211.19
2	58.67	75.81	134.47	0.0267	140.28	38.83	179.12
3	69.92	78.50	148.43	0.0271	117.93	25.46	143.38
4	53.72	66.30	120.02	0.0255	112.16	32.37	144.53
5	73.25	92.83	166.09	0.0265	116.58	32.09	148.67
6	66.24	76.41	142.65	0.0279	138.91	34.41	173.32
7	76.83	89.78	166.61	0.0268	123.31	25.53	148.84
8	77.31	98.09	175.40	0.0262	144.83	37.46	182.29
9	79.77	89.25	169.02	0.0263	134.89	36.01	170.90
10	91.30	101.47	192.77	0.0266	133.62	30.26	163.88
ค่าเฉลี่ย	72.54	86.18	158.72	0.0267	133.03	33.58	166.61
SD	10.92	11.31	21.80	0.0006	16.56	5.69	21.41

ตารางที่ ข-23 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีโซเดียมคาร์บอเนต 39.3

มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Na_2CO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	48.35	66.13	114.48	0.0394	132.36	31.70	164.07
2	57.19	86.36	143.56	0.0390	125.55	37.52	163.07
3	67.52	89.19	156.71	0.0408	117.90	29.43	147.33
4	53.42	75.39	128.81	0.0393	113.63	27.24	140.87
5	77.11	104.44	181.55	0.0381	144.36	25.82	170.17
6	50.74	68.34	119.08	0.0393	156.83	40.47	197.30
7	57.71	81.89	139.59	0.0387	128.14	31.17	159.31
8				0.0356	137.82	35.73	173.55
9				0.0396	129.35	40.00	169.35
10				0.0432	118.99	34.36	153.36
ค่าเฉลี่ย	58.86	81.68	140.54	0.0393	130.49	33.34	163.84
SD	10.15	13.26	23.20	0.0019	13.12	5.12	15.69

ตารางที่ ข-24 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีโซเดียมคาร์บอเนต 39.7

มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย Na_2CO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	78.42	93.30	171.72	0.0398	132.17	37.85	170.02
2	58.67	75.81	134.47	0.0408	147.40	40.66	188.06
3	69.92	78.50	148.43	0.0399	174.37	48.60	222.98
4	53.72	66.30	120.02	0.0408	137.52	45.81	183.34
5	73.25	92.83	166.09	0.0394	124.94	34.58	159.52
6	66.24	76.41	142.65	0.0390	138.91	40.61	179.53
7	76.83	89.78	166.61	0.0394	151.63	43.13	194.75
8	77.31	98.09	175.40	0.0394	164.30	45.08	209.38
9	79.77	89.25	169.02	0.0394	184.77	49.46	234.23
10	91.30	101.47	192.77	0.0394	154.77	42.27	197.03
ค่าเฉลี่ย	72.54	86.18	158.72	0.0397	151.08	42.81	193.88
SD	10.92	11.31	21.80	0.0006	19.01	4.64	23.16

ภาคผนวก ค

สารประกอบโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3)

ตารางที่ ค-1 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่ปริมาตรควัน 10 มิลลิลิตร ไหลผ่าน
ด้วยอัตราการไหล 1.15 มิลลิลิตรต่อวินาที

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบ NaHCO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	1.30	1.25	2.54	0.0107	1.54	1.29	2.83
2	0.80	1.39	2.19	0.0101	1.20	1.32	2.51
3	1.13	1.58	2.71	0.0101	1.11	0.89	1.99
4	1.65	1.13	2.78	0.0103	1.18	0.82	2.00
ค่าเฉลี่ย	1.22	1.34	2.56	0.0103	1.26	1.08	2.33
SD	0.35	0.19	0.26	0.0003	0.19	0.26	0.41

ตารางที่ ค-2 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่ปริมาตรควัน 10 มิลลิลิตร ไหลผ่าน
ด้วยอัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อวินาที

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบ NaHCO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	2.05	3.20	5.25	0.0104	4.58	2.44	7.02
2	3.37	6.21	9.58	0.0101	4.26	2.05	6.30
3	2.76	3.93	6.69	0.0102	4.25	1.84	6.09
4	2.35	2.55	4.90	0.0103	4.82	1.68	6.50
ค่าเฉลี่ย	2.63	3.97	6.61	0.0103	4.48	2.00	6.48
SD	0.57	1.60	2.13	0.0001	0.27	0.33	0.40

ตารางที่ ค-3 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่ปริมาตรคว้น 10 มิลลิลิตร ไหลผ่าน
ด้วยอัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อวินาที

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบ NaHCO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	7.66	12.91	20.56	0.0105	14.74	4.85	19.59
2	9.65	16.38	26.04	0.0099	11.11	6.41	17.52
3	4.62	8.73	13.35	0.0102	10.44	6.14	16.58
4	5.14	8.77	13.91				
ค่าเฉลี่ย	6.77	11.70	18.46	0.0102	12.10	5.80	17.90
SD	2.34	3.69	6.02	0.0003	2.31	0.83	1.54

ตารางที่ ค-4 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่ปริมาตรคว้น 10 มิลลิลิตร ไหลผ่าน
ด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อวินาที

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบ NaHCO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	7.59	16.29	23.89	0.0103	16.89	12.12	20.33
2	7.11	16.18	23.30	0.0101	12.64	8.89	9.04
3	6.33	11.35	17.68	0.0103	11.11	7.97	16.84
4	6.90	17.95	24.86	0.0101	10.62	3.24	11.98
ค่าเฉลี่ย	6.98	15.44	22.43	0.0102	12.82	8.06	14.55
SD	0.52	2.85	3.23	0.0001	2.85	3.67	5.02

ตารางที่ ค-5 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 10 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบ NaHCO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	0.47	1.61	2.08	0.0106	0.54	0.66	1.19
2	0.45	1.56	2.01	0.0108	0.52	0.76	1.28
3	0.37	1.77	2.14	0.0105	0.48	0.89	1.38
4	0.48	1.40	1.88	0.0107	0.49	1.16	1.65
ค่าเฉลี่ย	0.44	1.58	2.03	0.0107	0.51	0.87	1.37
SD	0.05	0.15	0.11	0.0001	0.02	0.22	0.20

ตารางที่ ค-6 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 30 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบ NaHCO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	0.65	0.55	1.20	0.0107	0.62	0.55	1.18
2	0.44	0.08	0.51	0.0109	0.57	0.65	1.21
3	0.62	0.00	0.62	0.0106	0.55	0.54	1.09
4	0.61	0.24	0.85	0.0107	0.74	0.35	1.09
ค่าเฉลี่ย	0.58	0.22	0.80	0.0107	0.62	0.52	1.14
SD	0.10	0.24	0.31	0.0001	0.08	0.12	0.06

ตารางที่ ค-7 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 17.5 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบ NaHCO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	4.28	2.68	6.96	0.0106	8.90	0.49	9.39
2	2.89	1.31	4.20	0.0103	5.70	0.13	5.84
3	3.95	2.20	6.15	0.0109	12.32	0.22	12.54
4	4.65	2.67	7.32	0.0095	10.38	0.59	10.97
ค่าเฉลี่ย	3.94	2.21	6.16	0.0103	9.33	0.36	9.68
SD	0.76	0.64	1.39	0.0006	2.79	0.22	2.87

ตารางที่ ค-8 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 35 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบ NaHCO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	6.00	5.22	11.22	0.0101	18.94	1.36	20.30
2	8.46	5.29	13.75	0.0123	20.92	1.51	22.44
3	6.67	4.21	10.88	0.0110	20.69	1.73	22.42
4	7.39	4.98	12.37	0.0100	19.53	1.88	21.41
ค่าเฉลี่ย	7.13	4.92	12.05	0.0109	20.02	1.62	21.64
SD	1.05	0.50	1.30	0.0011	0.94	0.23	1.02

ตารางที่ ค-9 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 70 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบ NaHCO ₃ (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	9.47	12.13	21.60	0.0100	36.79	6.61	43.40
2	11.62	12.07	23.70	0.0101	26.76	4.71	31.47
3	6.29	6.13	12.42	0.0101	23.25	5.80	29.05
4	13.00	18.63	31.63	0.0102	33.63	5.41	39.04
ค่าเฉลี่ย	10.10	12.24	22.34	0.0101	30.11	5.63	35.74
SD	2.92	5.11	7.90	0.0001	6.20	0.79	6.65

ตารางที่ ค-10 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 175 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบ NaHCO ₃ (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	30.41	42.16	72.57	0.0100	70.17	14.12	84.29
2	22.23	32.00	54.24	0.0099	64.66	11.38	76.04
3	27.97	38.26	66.23	0.0095	75.31	14.47	89.78
4	32.52	42.57	75.08	0.0104	91.22	16.81	108.03
ค่าเฉลี่ย	28.28	38.75	67.03	0.0100	75.34	14.19	89.53
SD	4.44	4.90	9.31	0.0004	11.44	2.22	13.56

ตารางที่ ค-11 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตร ต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบ NaHCO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	76.72	97.58	174.30	0.0101	118.15	50.66	168.81
2	101.37	107.03	208.40	0.0101	116.12	48.62	164.73
3	82.84	94.13	176.98	0.0098	124.34	44.03	168.37
4	83.80	82.52	166.32	0.0100	145.43	65.03	210.46
5	76.77	85.97	162.74	0.0091	111.63	46.50	158.12
6	84.74	98.14	182.88	0.0094	98.03	43.73	141.76
7	72.56	80.71	153.27	0.0100	103.97	38.95	142.92
8	83.28	76.12	159.40	0.0095	128.31	60.22	188.53
9	63.35	83.28	146.64	0.0097	100.63	54.55	155.17
10	81.57	94.20	175.77	0.0097	113.90	61.79	175.69
ค่าเฉลี่ย	80.70	89.97	170.67	0.0097	116.05	51.41	167.46
SD	9.80	9.69	17.45	0.0003	14.22	8.70	20.74

ตารางที่ ค-12 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตร ต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 490 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบ NaHCO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	178.35	196.44	374.78	0.0095	253.85	87.02	340.86
2	171.09	183.18	354.27	0.0094	261.05	104.12	365.16
3	147.84	162.72	310.56	0.0098	247.38	104.12	351.50
4	180.92	180.65	361.57	0.0096	268.92	102.73	371.65
5	176.37	197.60	373.98	0.0099	243.78	87.85	331.62
6	193.50	192.49	385.99	0.0095	251.44	85.37	336.80
7	155.30	157.10	312.40	0.0101	225.65	88.33	313.98
8	189.81	186.22	376.02	0.0099	292.77	110.43	403.20
9	163.10	180.47	343.56	0.0095	269.43	96.83	366.26
10	177.22	200.18	377.40	0.0098	247.15	110.47	357.63
ค่าเฉลี่ย	173.35	183.70	357.05	0.0097	256.14	97.72	353.87
SD	14.41	14.45	27.03	0.0002	18.18	9.91	24.94

ตารางที่ ค-13 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตร ต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 735 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบ NaHCO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	308.46	259.63	568.09	0.0098	357.57	153.57	511.14
2	271.80	232.15	503.96	0.0098	434.05	167.17	601.23
3	265.99	247.05	513.04	0.0099	377.04	137.20	514.24
4	308.78	236.18	544.96	0.0094	447.57	169.65	617.21
5	281.18	269.19	550.37	0.0100	404.59	183.81	588.41
6	283.99	251.79	535.78	0.0098	389.53	171.74	561.27
7	270.55	234.37	504.92	0.0103	437.39	182.47	619.87
8	288.60	241.68	530.27	0.0096	372.60	182.34	554.94
9	287.86	265.15	553.00	0.0082	383.75	200.85	584.60
10	326.24	293.96	620.20	0.0093	335.43	196.90	532.33
ค่าเฉลี่ย	289.35	253.11	542.46	0.0096	393.95	174.57	568.52
SD	19.46	19.33	34.69	0.0006	36.66	19.21	40.16

ตารางที่ ค-14 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตร ต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 980 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบ NaHCO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	416.62	344.97	761.59	0.0097	502.26	213.32	715.58
2	367.37	281.92	649.29	0.0099	457.72	205.65	663.37
3	381.44	300.28	681.72	0.0099	483.77	194.24	678.01
4	369.35	292.65	662.01	0.0098	551.61	230.86	782.47
5	417.00	341.88	758.87	0.0103	540.66	258.50	799.16
6	439.68	343.84	783.51	0.0104	516.79	245.37	762.16
7	380.49	307.74	688.22	0.0097	491.22	254.54	745.77
8	440.72	367.52	808.24	0.0098	488.63	251.64	740.27
9	355.97	331.42	687.40	0.0098	554.49	244.87	799.36
10	379.97	344.91	724.88	0.0098	489.06	236.62	725.69
ค่าเฉลี่ย	394.86	325.71	720.57	0.0099	507.62	233.56	741.18
SD	30.92	28.07	54.75	0.0002	32.27	22.13	46.97

ตารางที่ ค-15 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตร ต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 1225 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบ NaHCO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	467.11	360.01	827.13	0.0103	536.13	301.00	837.13
2	491.54	399.72	891.26	0.0100	609.84	315.15	924.99
3	479.78	418.53	898.32	0.0099	607.79	317.90	925.69
4	456.75	342.17	798.92	0.0102	558.95	304.85	863.80
5	468.70	367.61	836.31	0.0101	587.66	286.75	874.41
6	463.68	325.66	789.34	0.0103	592.58	271.80	864.38
7	494.82	390.23	885.06	0.0102	530.98	272.47	803.45
8	469.71	378.36	848.06	0.0103	573.88	296.39	870.27
9	543.75	409.80	953.55	0.0102	592.49	296.56	889.05
10	532.99	434.74	967.73	0.0102	623.35	310.30	933.65
ค่าเฉลี่ย	486.88	382.68	869.57	0.0102	581.36	297.32	878.68
SD	29.74	34.53	60.58	0.0001	31.10	16.20	41.34

ตารางที่ ค-16 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตร ต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 1470 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบ NaHCO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	743.88	506.06	1249.94	0.0099	899.60	343.46	1243.06
2	656.21	448.54	1104.75	0.0101	844.46	330.31	1174.76
3	696.88	457.05	1153.93	0.0098	881.88	356.23	1238.11
4	571.11	427.24	998.35	0.0090	935.40	353.74	1289.13
5	742.08	541.00	1283.07	0.0114	894.37	337.34	1231.71
6	687.43	502.01	1189.44	0.0101	788.22	314.43	1102.65
7	575.97	445.25	1021.23	0.0101	754.93	402.19	1157.12
8	513.37	452.67	966.04	0.0104	808.40	322.73	1131.13
9	646.73	553.80	1200.53	0.0106	822.85	407.74	1230.59
10	622.94	573.78	1196.72	0.0100	835.65	369.69	1205.34
ค่าเฉลี่ย	645.66	490.74	1136.40	0.0101	846.57	353.79	1200.36
SD	75.90	51.88	109.35	0.0006	55.96	31.54	57.65

ตารางที่ ค-17 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีโซเดียมไบคาร์บอเนต 0.8 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบ NaHCO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	89.99	104.75	194.74	0.0008	93.27	86.68	179.95
2	64.42	79.53	143.95	0.0009	78.16	69.37	147.53
3	69.58	87.50	157.09	0.0007	87.23	79.64	166.87
4	67.84	84.49	152.34	0.0007	80.83	72.56	153.40
5	49.25	59.43	108.68	0.0009	77.02	63.22	140.24
6	67.36	87.27	154.62	0.0009	79.51	70.92	150.42
7	50.80	64.57	115.37	0.0008	90.87	78.04	168.91
8	63.54	86.54	150.08	0.0005	72.58	59.30	131.88
9	73.31	82.98	156.29	0.0008	98.88	80.54	179.42
10	74.84	92.58	167.42	0.0005	65.33	51.51	116.84
ค่าเฉลี่ย	67.09	82.96	150.06	0.0008	82.37	71.18	153.55
SD	11.70	13.02	24.41	0.0002	10.17	10.77	20.60

ตารางที่ ค-18 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีโซเดียมไบคาร์บอเนต 1.6 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบ NaHCO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	89.99	104.75	194.74	0.0016	83.89	80.10	163.99
2	64.42	79.53	143.95	0.0016	73.70	61.08	134.78
3	69.58	87.50	157.09	0.0016	81.39	64.68	146.07
4	67.84	84.49	152.34	0.0011	90.69	83.42	174.11
5	49.25	59.43	108.68	0.0016	95.12	69.59	164.72
6	67.36	87.27	154.62	0.0017	79.90	60.01	139.91
7	50.80	64.57	115.37	0.0020	100.07	74.02	174.09
8	63.54	86.54	150.08	0.0018	75.87	57.20	133.07
9	73.31	82.98	156.29	0.0017	105.49	77.56	183.05
10	74.84	92.58	167.42	0.0017	81.89	62.35	144.23
ค่าเฉลี่ย	67.09	82.96	150.06	0.0016	86.80	69.00	155.80
SD	11.70	13.02	24.41	0.0002	10.60	9.28	18.25

ตารางที่ ค-19 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีโซเดียมไบคาร์บอเนต 2.6

มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบ NaHCO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	89.99	104.75	194.74	0.0023	89.66	75.77	165.42
2	64.42	79.53	143.95	0.0020	108.13	87.31	195.44
3	69.58	87.50	157.09	0.0035	91.06	74.08	165.14
4	67.84	84.49	152.34	0.0032	96.95	75.61	172.55
5	49.25	59.43	108.68	0.0028	76.19	58.51	134.70
6	67.36	87.27	154.62	0.0023	80.08	55.16	135.24
7	50.80	64.57	115.37	0.0028	74.32	68.75	143.08
8	63.54	86.54	150.08	0.0029	97.98	74.39	172.37
9	73.31	82.98	156.29	0.0022	78.51	60.64	139.15
10	74.84	92.58	167.42	0.0022	90.06	70.96	161.02
ค่าเฉลี่ย	67.09	82.96	150.06	0.0026	88.29	70.12	158.41
SD	11.70	13.02	24.41	0.0005	10.95	9.67	19.92

ตารางที่ ค-20 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีโซเดียมไบคาร์บอเนต 10.2 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบ NaHCO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	89.99	104.75	194.74	0.0098	129.38	49.36	178.73
2	64.42	79.53	143.95	0.0103	127.10	45.57	172.67
3	69.58	87.50	157.09	0.0103	127.82	59.48	187.30
4	67.84	84.49	152.34	0.0101	125.50	50.60	176.10
5	49.25	59.43	108.68	0.0102	129.82	40.56	170.38
6	67.36	87.27	154.62	0.0112	127.84	48.66	176.50
7	50.80	64.57	115.37	0.0104	118.78	66.38	185.15
8	63.54	86.54	150.08	0.0101	128.65	52.77	181.41
9	73.31	82.98	156.29	0.0097	123.31	49.86	173.17
10	74.84	92.58	167.42	0.0102	101.31	54.65	155.96
ค่าเฉลี่ย	67.09	82.96	150.06	0.0102	123.95	51.79	175.74
SD	11.70	13.02	24.41	0.0004	8.62	7.20	8.82

ตารางที่ ค-21 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีโซเดียมไบคาร์บอเนต 15.2 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบ NaHCO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	78.42	93.30	171.72	0.0151	184.27	51.72	235.98
2	58.67	75.81	134.47	0.0152	140.45	42.20	182.65
3	69.92	78.50	148.43	0.0151	139.40	41.94	181.34
4	53.72	66.30	120.02	0.0151	164.46	43.66	208.12
5	73.25	92.83	166.09	0.0156	143.95	41.91	185.86
6	66.24	76.41	142.65	0.0147	144.76	49.41	194.17
7	76.83	89.78	166.61	0.0149	168.96	47.20	216.16
8	77.31	98.09	175.40	0.0154	158.36	43.78	202.15
9	79.77	89.25	169.02	0.0154	162.88	46.26	209.14
10	91.30	101.47	192.77	0.0152	172.49	42.88	215.37
ค่าเฉลี่ย	72.54	86.18	158.72	0.0152	158.00	45.10	203.09
SD	10.92	11.31	21.80	0.0003	15.32	3.42	17.43

ตารางที่ ค-22 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีโซเดียมไบคาร์บอเนต 20.4 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบ NaHCO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	89.99	104.75	194.74	0.0198	141.04	53.72	194.76
2	64.42	79.53	143.95	0.0199	139.67	50.62	190.29
3	69.58	87.50	157.09	0.0204	139.42	43.30	182.72
4	67.84	84.49	152.34	0.0203	129.67	44.94	174.61
5	49.25	59.43	108.68	0.0206	157.27	52.04	209.31
6	67.36	87.27	154.62	0.0211	134.94	43.99	178.92
7	50.80	64.57	115.37	0.0201	145.07	42.10	187.18
8	63.54	86.54	150.08	0.0181	115.78	37.08	152.86
9	73.31	82.98	156.29	0.0249	111.16	28.93	140.10
10	74.84	92.58	167.42	0.0188	135.53	45.37	180.89
ค่าเฉลี่ย	67.09	82.96	150.06	0.0204	134.96	44.21	179.17
SD	11.70	13.02	24.41	0.0018	13.51	7.33	19.99

ตารางที่ ค-23 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีโซเดียมไบคาร์บอเนต 22.7 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบ NaHCO_3 (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	78.42	93.30	171.72	0.0225	135.14	40.35	175.49
2	58.67	75.81	134.47	0.0234	161.92	47.87	209.78
3	69.92	78.50	148.43	0.0231	157.66	43.16	200.82
4	53.72	66.30	120.02	0.0230	127.48	33.01	160.49
5	73.25	92.83	166.09	0.0226	200.65	50.26	250.90
6	66.24	76.41	142.65	0.0226	200.43	45.64	246.07
7	76.83	89.78	166.61	0.0224	144.99	42.64	187.64
8	77.31	98.09	175.40	0.0225	147.08	43.37	190.44
9	79.77	89.25	169.02	0.0221	122.32	28.74	151.06
10	91.30	101.47	192.77	0.0225	124.17	35.77	159.94
ค่าเฉลี่ย	72.54	86.18	158.72	0.0227	152.18	41.08	193.26
SD	10.92	11.31	21.80	0.0004	28.78	6.74	34.58

ภาคผนวก ง

สารประกอบแอล โพลีน ($C_5H_9NO_2$)

ตารางที่ ง-1 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่ปริมาตรควัน 10 มิลลิลิตร ไหลผ่านด้วยอัตราการไหล 1.15 มิลลิลิตรต่อวินาที

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $C_5H_9NO_2$ (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	1.30	1.25	2.54	0.0116	3.48	1.46	4.94
2	0.80	1.39	2.19	0.0112	1.27	0.62	1.89
3	1.13	1.58	2.71	0.0109	1.58	1.26	2.84
4	1.65	1.13	2.78	0.0109	2.15	1.00	3.14
ค่าเฉลี่ย	1.22	1.34	2.56	0.0112	2.12	1.08	3.20
SD	0.35	0.19	0.26	0.0003	0.98	0.36	1.27

ตารางที่ ง-2 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่ปริมาตรควัน 10 มิลลิลิตร ไหลผ่านด้วยอัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อวินาที

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $C_5H_9NO_2$ (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	2.05	3.20	5.25	0.0114	7.86	1.44	9.29
2	3.37	6.21	9.58	0.0117	8.92	1.33	10.25
3	2.76	3.93	6.69	0.0117	5.33	0.95	6.28
4	2.35	2.55	4.90	0.0116	4.61	0.83	5.44
ค่าเฉลี่ย	2.63	3.97	6.61	0.0116	6.68	1.14	7.82
SD	0.57	1.60	2.13	0.0001	2.04	0.29	2.32

ตารางที่ ง-3 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่ปริมาตรคว้น 10 มิลลิลิตร ไหลผ่าน ด้วยอัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อวินาที

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย C ₅ H ₉ NO ₂ (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	7.66	12.91	20.56	0.0117	17.25	0.47	17.72
2	9.65	16.38	26.04	0.0125	14.66	0.00	14.66
3	4.62	8.73	13.35	0.0106	13.93	0.00	13.93
4	5.14	8.77	13.91	0.0111	12.07	0.00	12.07
ค่าเฉลี่ย	6.77	11.70	18.46	0.0115	14.48	0.12	14.60
SD	2.34	3.69	6.02	0.0008	2.15	0.23	2.35

ตารางที่ ง-4 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่ปริมาตรคว้น 10 มิลลิลิตร ไหลผ่าน ด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อวินาที

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย C ₅ H ₉ NO ₂ (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	7.59	16.29	23.89	0.0118	18.06	2.27	20.33
2	7.11	16.18	23.30	0.0109	8.84	0.21	9.04
3	6.33	11.35	17.68	0.0109	15.47	1.37	16.84
4	6.90	17.95	24.86	0.0122	11.39	0.59	11.98
ค่าเฉลี่ย	6.98	15.44	22.43	0.0115	13.44	1.11	14.55
SD	0.52	2.85	3.23	0.0007	4.12	0.91	5.02

ตารางที่ ง-5 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 10 มิลลิลิตร

ทดลองซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย C ₅ H ₉ NO ₂ (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	0.47	1.61	2.08	0.0128	0.42	0.86	1.29
2	0.45	1.56	2.01	0.0135	0.31	0.75	1.06
3	0.37	1.77	2.14	0.0119	0.42	0.36	0.78
4	0.48	1.40	1.88	0.0131	0.47	0.63	1.09
ค่าเฉลี่ย	0.44	1.58	2.03	0.0128	0.41	0.65	1.06
SD	0.05	0.15	0.11	0.0007	0.07	0.22	0.21

ตารางที่ ง-6 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 30 มิลลิลิตร

ทดลองซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย C ₅ H ₉ NO ₂ (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	0.65	0.55	1.20	0.0126	0.83	0.42	1.24
2	0.44	0.08	0.51	0.0108	0.57	0.26	0.82
3	0.62	0.00	0.62	0.0130	0.32	0.55	0.87
4	0.61	0.24	0.85	0.0126	0.72	0.40	1.13
ค่าเฉลี่ย	0.58	0.22	0.80	0.0123	0.61	0.41	1.02
SD	0.10	0.24	0.31	0.0010	0.22	0.12	0.20

ตารางที่ ง-7 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 17.5 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_2$ (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	4.28	2.68	6.96	0.0118	7.64	0.38	8.02
2	2.89	1.31	4.20	0.0121	8.25	0.31	8.56
3	3.95	2.20	6.15	0.0121	7.45	0.15	7.60
4	4.65	2.67	7.32	0.0112	10.44	0.20	10.65
ค่าเฉลี่ย	3.94	2.21	6.16	0.0118	8.44	0.26	8.71
SD	0.76	0.64	1.39	0.0004	1.37	0.10	1.35

ตารางที่ ง-8 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 35 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_2$ (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	6.00	5.22	11.22	0.0112	19.59	2.82	22.41
2	8.46	5.29	13.75	0.0122	15.77	1.55	17.32
3	6.67	4.21	10.88	0.0100	10.62	1.21	11.84
4	7.39	4.98	12.37	0.0117	18.66	1.39	20.05
ค่าเฉลี่ย	7.13	4.92	12.05	0.0113	16.16	1.74	17.90
SD	1.05	0.50	1.30	0.0009	4.03	0.73	4.55

ตารางที่ ง-9 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 70 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย C ₅ H ₉ NO ₂ (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	9.47	12.13	21.60	0.0127	34.91	7.47	42.38
2	11.62	12.07	23.70	0.0123	24.98	4.47	29.45
3	6.29	6.13	12.42	0.0123	24.97	3.93	28.90
4	13.00	18.63	31.63	0.0110	29.62	7.27	36.89
ค่าเฉลี่ย	10.10	12.24	22.34	0.0121	28.62	5.78	34.40
SD	2.92	5.11	7.90	0.0007	4.73	1.84	6.45

ตารางที่ ง-10 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 175 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย C ₅ H ₉ NO ₂ (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	30.41	42.16	72.57	0.0111	53.69	20.02	73.71
2	22.23	32.00	54.24	0.0113	44.71	15.20	59.91
3	27.97	38.26	66.23	0.0112	51.52	22.52	74.04
4	32.52	42.57	75.08	0.0129	64.47	20.90	85.37
ค่าเฉลี่ย	28.28	38.75	67.03	0.0116	53.60	19.66	73.26
SD	4.44	4.90	9.31	0.0009	8.20	3.15	10.42

ตารางที่ ง-11 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_2$ (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	76.72	97.58	174.30	0.0119	106.73	43.78	150.51
2	101.37	107.03	208.40	0.0113	143.26	56.61	199.86
3	82.84	94.13	176.98	0.0114	132.25	52.05	184.30
4	83.80	82.52	166.32	0.0112	128.11	53.39	181.49
5	76.77	85.97	162.74	0.0110	118.10	62.77	180.87
6	84.74	98.14	182.88	0.0107	119.94	64.19	184.14
7	72.56	80.71	153.27	0.0106	130.09	65.03	195.12
8	83.28	76.12	159.40	0.0112	105.34	45.27	150.61
9	63.35	83.28	146.64	0.0107	97.09	46.39	143.48
10	81.57	94.20	175.77	0.0108	110.09	55.49	165.58
ค่าเฉลี่ย	80.70	89.97	170.67	0.0111	119.10	54.50	173.60
SD	9.80	9.69	17.45	0.0004	14.41	7.83	19.79

ตารางที่ ง-12 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 490 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_2$ (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	178.35	196.44	374.78	0.0110	252.72	114.15	366.87
2	171.09	183.18	354.27	0.0104	209.91	105.33	315.24
3	147.84	162.72	310.56	0.0106	246.75	142.85	389.59
4	180.92	180.65	361.57	0.0108	322.70	173.36	496.06
5	176.37	197.60	373.98	0.0116	287.63	146.99	434.62
6	193.50	192.49	385.99	0.0109	234.78	111.47	346.25
7	155.30	157.10	312.40	0.0113	256.07	122.01	378.08
8	189.81	186.22	376.02	0.0110	232.72	111.80	344.52
9	163.10	180.47	343.56	0.0112	242.71	137.63	380.34
10	177.22	200.18	377.40	0.0109	250.19	132.25	382.44
ค่าเฉลี่ย	173.35	183.70	357.05	0.0110	253.62	129.78	383.40
SD	14.41	14.45	27.03	0.0003	31.30	21.07	50.78

ตารางที่ ง-13 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 735 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_2$ (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	308.46	259.63	568.09	0.0110	387.10	190.09	577.20
2	271.80	232.15	503.96	0.0106	393.20	192.86	586.06
3	265.99	247.05	513.04	0.0109	390.92	179.77	570.69
4	308.78	236.18	544.96	0.0108	322.22	137.18	459.40
5	281.18	269.19	550.37	0.0108	348.68	153.65	502.34
6	283.99	251.79	535.78	0.0107	390.03	174.78	564.82
7	270.55	234.37	504.92	0.0112	340.31	171.55	511.86
8	288.60	241.68	530.27	0.0112	414.58	205.17	619.75
9	287.86	265.15	553.00	0.0105	307.73	173.09	480.82
10	326.24	293.96	620.20	0.0106	420.11	220.97	641.08
ค่าเฉลี่ย	289.35	253.11	542.46	0.0108	371.49	179.91	551.40
SD	19.46	19.33	34.69	0.0002	38.93	24.16	60.14

ตารางที่ ง-14 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 980 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_2$ (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	416.62	344.97	761.59	0.0114	496.95	242.52	739.46
2	367.37	281.92	649.29	0.0112	482.76	229.69	712.46
3	381.44	300.28	681.72	0.0111	459.70	236.72	696.41
4	369.35	292.65	662.01	0.0111	439.28	211.88	651.16
5	417.00	341.88	758.87	0.0108	492.17	283.88	776.04
6	439.68	343.84	783.51	0.0104	442.65	250.91	693.56
7	380.49	307.74	688.22	0.0109	491.85	272.02	763.86
8	440.72	367.52	808.24	0.0109	466.32	236.33	702.65
9	355.97	331.42	687.40	0.0110	416.25	245.41	661.66
10	379.97	344.91	724.88	0.0106	469.74	281.23	750.97
ค่าเฉลี่ย	394.86	325.71	720.57	0.0109	465.77	249.06	714.83
SD	30.92	28.07	54.75	0.0003	26.62	23.35	42.02

ตารางที่ ง-15 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 1225 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_2$ (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	467.11	360.01	827.13	0.0116	570.47	295.03	865.49
2	491.54	399.72	891.26	0.0110	507.63	317.75	825.38
3	479.78	418.53	898.32	0.0113	528.68	298.46	827.14
4	456.75	342.17	798.92	0.0114	540.59	282.84	823.43
5	468.70	367.61	836.31	0.0111	550.21	294.46	844.67
6	463.68	325.66	789.34	0.0111	604.44	337.44	941.88
7	494.82	390.23	885.06	0.0108	578.27	305.40	883.66
8	469.71	378.36	848.06	0.0114	580.70	263.64	844.34
9	543.75	409.80	953.55	0.0114	561.86	316.90	878.77
10	532.99	434.74	967.73	0.0111	556.69	347.46	904.15
ค่าเฉลี่ย	486.88	382.68	869.57	0.0112	557.95	305.94	863.89
SD	29.74	34.53	60.58	0.0002	27.92	24.96	38.79

ตารางที่ ง-16 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 1470 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_2$ (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	743.88	506.06	1249.94	0.0113	723.73	327.89	1051.62
2	656.21	448.54	1104.75	0.0119	846.35	388.38	1234.73
3	696.88	457.05	1153.93	0.0111	770.73	334.10	1104.83
4	571.11	427.24	998.35	0.0108	871.37	380.73	1252.11
5	742.08	541.00	1283.07	0.0109	688.47	386.83	1075.30
6	687.43	502.01	1189.44	0.0106	688.21	401.05	1089.26
7	575.97	445.25	1021.23	0.0122	711.38	400.89	1112.27
8	513.37	452.67	966.04	0.0116	715.58	411.21	1126.79
9	646.73	553.80	1200.53	0.0119	642.46	357.29	999.74
10	622.94	573.78	1196.72	0.0126	752.75	407.95	1160.70
ค่าเฉลี่ย	645.66	490.74	1136.40	0.0115	741.10	379.63	1120.74
SD	75.90	51.88	109.35	0.0007	723.73	29.98	77.95

ตารางที่ ง-17 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีแอลกอฮอล์ 3.4 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควีน 245 มิลลิลิตร

ทดลองซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_2$ (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	70.30	83.37	153.66	0.0038	112.26	84.11	196.37
2	75.30	86.56	161.85	0.0032	92.74	70.65	163.39
3	76.00	88.43	164.43	0.0035	94.76	67.93	162.69
4	75.44	73.22	148.66	0.0034	101.83	72.98	174.81
5	84.06	91.71	175.77	0.0033	95.72	68.72	164.44
6	89.61	97.78	187.39	0.0035	92.16	80.14	172.30
7	71.57	79.62	151.19	0.0034	98.47	79.14	177.61
8	77.63	87.01	164.64	0.0034	97.25	76.35	173.61
9	65.30	77.06	142.37	0.0035	102.62	76.01	178.64
10	90.29	102.02	192.31	0.0034	102.87	74.53	177.40
ค่าเฉลี่ย	77.55	86.68	164.23	0.0034	99.07	75.06	174.13
SD	8.17	8.95	16.55	0.0002	6.05	5.19	9.90

ตารางที่ ง-18 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีแอลกอฮอล์ 3.5 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควีน 245 มิลลิลิตร

ทดลองซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_2$ (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	69.38	95.57	164.95	0.0037	87.61	75.92	163.53
2	54.74	76.19	130.93	0.0036	67.45	62.46	129.90
3	66.71	83.02	149.73	0.0033	67.23	60.41	127.64
4	66.01	94.22	160.23	0.0034	82.47	72.30	154.76
5	90.03	117.28	207.32	0.0035	80.43	49.61	130.04
6	56.47	75.81	132.28	0.0036	77.96	68.60	146.56
7	72.95	88.25	161.20	0.0035	81.99	68.66	150.65
8	58.75	75.96	134.71	0.0035	81.40	67.02	148.43
9	55.64	77.02	132.66	0.0037	86.41	74.65	161.07
10	70.98	110.50	181.48	0.0037	73.97	73.87	147.84
ค่าเฉลี่ย	66.17	89.38	155.55	0.0035	78.69	67.35	146.04
SD	10.75	14.98	25.02	0.0001	7.11	8.06	12.88

ตารางที่ ง-19 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีแอลกอฮอล์ 8.3 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควีน 245 มิลลิลิตร

ทดลองซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_2$ (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	70.30	83.37	153.66	0.0091	114.14	71.33	185.47
2	75.30	86.56	161.85	0.0086	111.28	64.73	176.01
3	76.00	88.43	164.43	0.0087	126.03	68.40	194.43
4	75.44	73.22	148.66	0.0084	124.50	75.22	199.72
5	84.06	91.71	175.77	0.0089	139.48	85.76	225.24
6	89.61	97.78	187.39	0.0074	100.74	58.94	159.68
7	71.57	79.62	151.19	0.0080	142.49	74.65	217.14
8	77.63	87.01	164.64	0.0081	115.58	70.84	186.41
9	65.30	77.06	142.37	0.0086	107.14	66.64	173.79
10	90.29	102.02	192.31	0.0075	111.17	65.83	177.00
ค่าเฉลี่ย	77.55	86.68	164.23	0.0083	119.25	70.24	189.49
SD	8.17	8.95	16.55	0.0006	13.66	7.31	20.19

ตารางที่ ง-20 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีแอลกอฮอล์ 12.9 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_2$ (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	89.00	99.90	188.91	0.0129	92.35	47.69	140.04
2	71.34	77.40	148.74	0.0127	116.76	65.34	182.10
3	76.02	97.64	173.66	0.0122	123.85	62.13	185.98
4	56.16	68.70	124.86	0.0138	112.97	60.25	173.22
5	77.16	88.85	166.01	0.0120	87.03	45.21	132.24
6	79.06	86.71	165.77	0.0121	100.77	49.63	150.40
7	58.43	75.39	133.82	0.0134	97.87	48.38	146.25
8	74.15	84.82	158.97	0.0127	96.78	46.21	143.00
9	78.38	99.51	177.89	0.0140	98.61	51.36	149.97
10				0.0133	111.18	54.57	165.75
ค่าเฉลี่ย	73.30	86.55	159.85	0.0129	103.82	53.08	156.89
SD	10.29	11.20	20.80	0.0007	11.74	7.16	18.60

ตารางที่ ง-21 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีแอลกอฮอล์ 15.4 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_2$ (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	70.30	83.37	153.66	0.0151	110.07	38.36	148.43
2	75.30	86.56	161.85	0.0163	116.79	52.47	169.25
3	76.00	88.43	164.43	0.0154	108.57	51.49	160.06
4	75.44	73.22	148.66	0.0142	135.16	54.15	189.31
5	84.06	91.71	175.77	0.0169	150.34	63.23	213.57
6	89.61	97.78	187.39	0.0145	108.73	40.60	149.33
7	71.57	79.62	151.19	0.0145	118.06	52.09	170.14
8	77.63	87.01	164.64	0.0174	116.53	44.64	161.17
9	65.30	77.06	142.37	0.0141	147.15	64.75	211.90
10	90.29	102.02	192.31	0.0159	137.64	56.10	193.74
ค่าเฉลี่ย	77.55	86.68	164.23	0.0154	124.90	51.79	176.69
SD	8.17	8.95	16.55	0.0012	16.13	8.70	24.07

ตารางที่ ง-22 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีแอลกอฮอล์ 22.7 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_2$ (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	70.30	83.37	153.66	0.0226	119.11	43.71	162.82
2	75.30	86.56	161.85	0.0227	136.48	48.49	184.97
3	76.00	88.43	164.43	0.0238	122.77	47.86	170.64
4	75.44	73.22	148.66	0.0219	120.47	46.93	167.40
5	84.06	91.71	175.77	0.0221	122.23	50.52	172.74
6	89.61	97.78	187.39	0.0236	139.79	57.67	197.46
7	71.57	79.62	151.19	0.0223	124.56	41.16	165.72
8	77.63	87.01	164.64	0.0252	161.81	58.11	219.92
9	65.30	77.06	142.37	0.0196	133.29	56.62	189.92
10	90.29	102.02	192.31	0.0227	119.15	48.84	167.98
ค่าเฉลี่ย	77.55	86.68	164.23	0.0227	129.97	49.99	179.96
SD	8.17	8.95	16.55	0.0015	13.46	5.81	18.15

ตารางที่ ง-23 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีแอลกอฮอล์ 24.6 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_2$ (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	57.17	86.34	143.52	0.0243	135.71	50.55	186.26
2	75.51	102.50	178.02	0.0249	135.97	47.89	183.86
3	66.17	74.73	140.90	0.0245	137.43	45.00	182.43
4	82.56	105.47	188.03	0.0245	163.60	58.82	222.42
5	84.11	109.84	193.95	0.0251	156.41	50.24	206.65
6	75.56	101.72	177.28	0.0244	130.14	40.37	170.51
7	78.12	96.28	174.41	0.0241	125.50	38.88	164.38
8	73.26	88.96	162.22	0.0253	118.55	35.22	153.77
9	80.99	103.61	184.59	0.0244	137.13	46.24	183.37
10	58.52	82.33	140.85	0.0248	143.21	45.69	188.90
ค่าเฉลี่ย	74.83	95.18	171.43	0.0246	138.36	45.89	184.26
SD	8.55	11.50	18.84	0.0004	13.44	6.72	19.72

ตารางที่ ง-24 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีแอลกอฮอล์ 26.1 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_2$ (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	70.30	83.37	153.66	0.0278	139.11	42.90	182.01
2	75.30	86.56	161.85	0.0261	130.17	50.64	180.82
3	76.00	88.43	164.43	0.0257	120.60	48.00	168.60
4	75.44	73.22	148.66	0.0252	137.42	38.57	175.98
5	84.06	91.71	175.77	0.0255	136.62	43.59	180.21
6	89.61	97.78	187.39	0.0255	124.20	49.73	173.92
7	71.57	79.62	151.19	0.0263	153.02	63.59	216.61
8	77.63	87.01	164.64	0.0270	147.73	46.91	194.64
9	65.30	77.06	142.37	0.0261	151.83	45.15	196.99
10	90.29	102.02	192.31	0.0261	118.06	39.89	157.95
ค่าเฉลี่ย	77.55	86.68	164.23	0.0261	135.88	46.90	182.77
SD	8.17	8.95	16.55	0.0008	12.57	7.07	16.47

ตารางที่ ง-25 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีแอลกอฮอล์ 27.9 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_2$ (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	78.42	93.30	171.72	0.0319	122.14	34.71	156.84
2	58.67	75.81	134.47	0.0268	143.55	38.37	181.93
3	69.92	78.50	148.43	0.0268	130.89	41.00	171.89
4	53.72	66.30	120.02	0.0282	116.78	30.55	147.33
5	73.25	92.83	166.09	0.0275	122.95	37.01	159.96
6	66.24	76.41	142.65	0.0296	161.32	47.12	208.44
7	76.83	89.78	166.61	0.0268	147.66	42.20	189.86
8	77.31	98.09	175.40	0.0273	130.39	37.63	168.02
9	79.77	89.25	169.02	0.0267	145.30	49.11	194.41
10	91.30	101.47	192.77	0.0274	154.05	49.31	203.36
ค่าเฉลี่ย	72.54	86.18	158.72	0.0279	137.50	40.70	178.20
SD	10.92	11.31	21.80	0.0017	14.96	6.29	20.67

ตารางที่ ง-26 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีแอลกอฮอล์ 40.6 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_2$ (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	70.30	83.37	153.66	0.0395	144.59	45.16	189.75
2	75.30	86.56	161.85	0.0411	132.80	37.08	169.89
3	76.00	88.43	164.43	0.0420	149.45	39.43	188.88
4	75.44	73.22	148.66	0.0407	135.99	40.91	176.90
5	84.06	91.71	175.77	0.0409	136.10	41.61	177.71
6	89.61	97.78	187.39	0.0430	118.88	34.72	153.61
7	71.57	79.62	151.19	0.0399	137.11	42.04	179.14
8	77.63	87.01	164.64	0.0400	147.10	45.38	192.47
9	65.30	77.06	142.37	0.0394	139.87	45.92	185.79
10	90.29	102.02	192.31	0.0398	137.24	37.61	174.85
ค่าเฉลี่ย	77.55	86.68	164.23	0.0406	137.91	40.99	178.90
SD	8.17	8.95	16.55	0.0012	8.58	3.81	11.51

ภาคผนวก จ

สารประกอบคลอราไมน์ที ($\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{N}(\text{Na})\text{Cl}$)

ตารางที่ จ-1 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่ปริมาตรคว้น 10 มิลลิลิตร ไหลผ่านด้วยอัตราการไหล 1.15 มิลลิลิตรต่อวินาที

ทดลองซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{N}(\text{Na})\text{Cl}$ (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	1.30	1.25	2.54	0.0121	0.33	1.87	2.21
2	0.80	1.39	2.19	0.0132	0.55	1.62	2.16
3	1.13	1.58	2.71	0.0123	0.03	1.12	1.15
4	1.65	1.13	2.78	0.0125	0.54	1.61	2.15
ค่าเฉลี่ย	1.22	1.34	2.56	0.0125	0.36	1.55	1.92
SD	0.35	0.19	0.26	0.0005	0.24	0.31	0.51

ตารางที่ จ-2 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่ปริมาตรคว้น 10 มิลลิลิตร ไหลผ่านด้วยอัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อวินาที

ทดลองซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{N}(\text{Na})\text{Cl}$ (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	2.05	3.20	5.25	0.0124	0.46	1.68	2.13
2	3.37	6.21	9.58	0.0126	0.15	1.32	1.47
3	2.76	3.93	6.69	0.0123	0.54	1.36	1.90
4	2.35	2.55	4.90	0.0127	0.83	1.77	2.60
ค่าเฉลี่ย	2.63	3.97	6.61	0.0125	0.50	1.53	2.03
SD	0.57	1.60	2.13	0.0002	0.28	0.22	0.47

ตารางที่ จ-3 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่ปริมาตรคว้น 10 มิลลิลิตร ไหลผ่าน
ด้วยอัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อวินาที

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย CH ₃ C ₆ H ₄ SO ₂ N(Na)Cl (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	7.66	12.91	20.56	0.0126	2.09	4.19	6.28
2	9.65	16.38	26.04	0.0118	2.47	5.84	8.31
3	4.62	8.73	13.35	0.0125	2.97	10.03	13.00
4	5.14	8.77	13.91	0.0123	2.09	3.45	5.54
ค่าเฉลี่ย	6.77	11.70	18.46	0.0123	2.40	5.88	8.28
SD	2.34	3.69	6.02	0.0004	0.42	2.94	3.36

ตารางที่ จ-4 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่ปริมาตรคว้น 10 มิลลิลิตร ไหลผ่าน
ด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อวินาที

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย CH ₃ C ₆ H ₄ SO ₂ N(Na)Cl (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	7.59	16.29	23.89	0.0115	2.48	7.06	9.54
2	7.11	16.18	23.30	0.0122	1.13	5.10	6.23
3	6.33	11.35	17.68	0.0123	0.82	5.04	5.86
4	6.90	17.95	24.86	0.0123	0.00	3.45	3.45
ค่าเฉลี่ย	6.98	15.44	22.43	0.0121	1.11	5.16	6.27
SD	0.52	2.85	3.23	0.0004	1.03	1.48	2.50

ตารางที่ จ-5 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 10 มิลลิลิตร

ทดลองซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{N}(\text{Na})\text{Cl}$ (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	0.47	1.61	2.08	0.0119	0.38	0.66	1.03
2	0.45	1.56	2.01	0.0113	0.25	0.33	0.58
3	0.37	1.77	2.14	0.0119	0.30	0.77	1.07
4	0.48	1.40	1.88	0.0118	0.35	0.74	1.09
ค่าเฉลี่ย	0.44	1.58	2.03	0.0117	0.32	0.62	0.94
SD	0.05	0.15	0.11	0.0003	0.05	0.20	0.24

ตารางที่ จ-6 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 30 มิลลิลิตร

ทดลองซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{N}(\text{Na})\text{Cl}$ (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	0.65	0.55	1.20	0.0117	0.40	0.44	0.84
2	0.44	0.08	0.51	0.0119	0.30	0.29	0.59
3	0.62	0.00	0.62	0.0120	0.31	0.20	0.51
4	0.61	0.24	0.85	0.0120	0.21	0.37	0.58
ค่าเฉลี่ย	0.58	0.22	0.80	0.0119	0.30	0.33	0.63
SD	0.10	0.24	0.31	0.0001	0.08	0.10	0.14

ตารางที่ จ-7 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 17.5 มิลลิลิตร

ทดลองซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{N}(\text{Na})\text{Cl}$ (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	4.28	2.68	6.96	0.0116	0.30	0.68	0.98
2	2.89	1.31	4.20	0.0099	0.27	0.29	0.56
3	3.95	2.20	6.15	0.0110	0.05	0.69	0.75
4	4.65	2.67	7.32	0.0112	0.45	0.39	0.83
ค่าเฉลี่ย	3.94	2.21	6.16	0.0109	0.27	0.51	0.78
SD	0.76	0.64	1.39	0.0007	0.16	0.21	0.18

ตารางที่ จ-8 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 35 มิลลิลิตร

ทดลองซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{N}(\text{Na})\text{Cl}$ (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	6.00	5.22	11.22	0.0118	0.72	5.52	6.24
2	8.46	5.29	13.75	0.0120	0.94	4.31	5.25
3	6.67	4.21	10.88	0.0121	0.58	3.66	4.23
4	7.39	4.98	12.37	0.0094	1.31	5.18	6.49
ค่าเฉลี่ย	7.13	4.92	12.05	0.0113	0.89	4.67	5.55
SD	1.05	0.50	1.30	0.0013	0.32	0.84	1.03

ตารางที่ จ-9 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 70 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย CH ₃ C ₆ H ₄ SO ₂ N(Na)Cl (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	9.47	12.13	21.60	0.0117	2.46	8.94	11.40
2	11.62	12.07	23.70	0.0125	2.16	10.01	12.17
3	6.29	6.13	12.42	0.0127	2.39	8.63	11.03
4	13.00	18.63	31.63	0.0124	2.54	12.35	14.88
ค่าเฉลี่ย	10.10	12.24	22.34	0.0123	2.39	9.98	12.37
SD	2.92	5.11	7.90	0.0004	0.17	1.68	1.74

ตารางที่ จ-10 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 175 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย CH ₃ C ₆ H ₄ SO ₂ N(Na)Cl (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	30.41	42.16	72.57	0.0114	8.40	20.44	28.84
2	22.23	32.00	54.24	0.0118	8.55	20.61	29.16
3	27.97	38.26	66.23	0.0119	10.48	21.75	32.24
4	32.52	42.57	75.08	0.0119	8.81	19.03	27.84
ค่าเฉลี่ย	28.28	38.75	67.03	0.0118	9.06	20.46	29.52
SD	4.44	4.90	9.31	0.0002	0.97	1.12	1.90

ตารางที่ จ-11 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการใช้ 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย CH ₃ C ₆ H ₄ SO ₂ N(Na)Cl (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	76.72	97.58	174.30	0.0117	37.57	63.52	101.09
2	101.37	107.03	208.40	0.0121	35.89	60.89	96.78
3	82.84	94.13	176.98	0.0121	29.58	55.03	84.60
4	83.80	82.52	166.32	0.0120	23.94	42.31	66.25
5	76.77	85.97	162.74	0.0121	45.19	78.41	123.61
6	84.74	98.14	182.88	0.0121	52.72	80.81	133.53
7	72.56	80.71	153.27	0.0121	38.29	72.82	111.11
8	83.28	76.12	159.40	0.0119	42.88	76.10	118.98
9	63.35	83.28	146.64	0.0117	33.25	57.92	91.17
10	81.57	94.20	175.77	0.0111	41.48	70.60	112.08
ค่าเฉลี่ย	80.70	89.97	170.67	0.0119	38.08	65.84	103.92
SD	9.80	9.69	17.45	0.0003	8.17	12.12	20.06

ตารางที่ จ-12 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 490 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{N}(\text{Na})\text{Cl}$ (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	178.35	196.44	374.78	0.0111	120.59	154.21	274.81
2	171.09	183.18	354.27	0.0116	126.99	158.89	285.88
3	147.84	162.72	310.56	0.0105	116.80	162.67	279.47
4	180.92	180.65	361.57	0.0113	115.35	155.11	270.46
5	176.37	197.60	373.98	0.0114	114.85	140.94	255.79
6	193.50	192.49	385.99	0.0115	109.32	142.23	251.55
7	155.30	157.10	312.40	0.0116	119.21	177.72	296.94
8	189.81	186.22	376.02	0.0111	135.84	163.59	299.43
9	163.10	180.47	343.56	0.0106	138.24	164.93	303.18
10	177.22	200.18	377.40	0.0113	114.27	140.65	254.92
ค่าเฉลี่ย	173.35	183.70	357.05	0.0112	121.15	156.10	277.24
SD	14.41	14.45	27.03	0.0004	9.58	12.10	19.16

ตารางที่ จ-13 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 735 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{N}(\text{Na})\text{Cl}$ (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	308.46	259.63	568.09	0.0121	220.49	199.98	420.47
2	271.80	232.15	503.96	0.0121	214.76	209.65	424.41
3	265.99	247.05	513.04	0.0122	232.49	239.91	472.39
4	308.78	236.18	544.96	0.0120	216.22	218.41	434.63
5	281.18	269.19	550.37	0.0114	231.16	232.27	463.43
6	283.99	251.79	535.78	0.0121	200.42	219.75	420.17
7	270.55	234.37	504.92	0.0120	236.92	229.29	466.22
8	288.60	241.68	530.27	0.0114	242.57	239.30	481.87
9	287.86	265.15	553.00	0.0117	216.80	225.67	442.47
10	326.24	293.96	620.20	0.0119	237.10	227.10	464.19
ค่าเฉลี่ย	289.35	253.11	542.46	0.0119	224.89	224.13	449.03
SD	19.46	19.33	34.69	0.0003	13.19	12.60	23.24

ตารางที่ จ-14 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 980 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{N}(\text{Na})\text{Cl}$ (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	416.62	344.97	761.59	0.0124	308.88	266.76	575.64
2	367.37	281.92	649.29	0.0123	272.43	254.35	526.78
3	381.44	300.28	681.72	0.0121	342.73	304.63	647.36
4	369.35	292.65	662.01	0.0118	326.97	284.34	611.31
5	417.00	341.88	758.87	0.0124	316.88	314.75	631.63
6	439.68	343.84	783.51	0.0113	361.40	321.44	682.84
7	380.49	307.74	688.22	0.0122	350.12	335.01	685.14
8	440.72	367.52	808.24	0.0120	323.90	289.20	613.10
9	355.97	331.42	687.40	0.0113	341.13	299.14	640.27
10	379.97	344.91	724.88	0.0111	310.37	287.23	597.60
ค่าเฉลี่ย	394.86	325.71	720.57	0.0119	325.48	295.69	621.17
SD	30.92	28.07	54.75	0.0005	25.47	24.61	48.02

ตารางที่ จ-15 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 1225 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{N}(\text{Na})\text{Cl}$ (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	467.11	360.01	827.13	0.0116	489.31	402.43	891.74
2	491.54	399.72	891.26	0.0121	430.20	367.73	797.93
3	479.78	418.53	898.32	0.0114	388.67	352.55	741.21
4	456.75	342.17	798.92	0.0121	427.63	365.03	792.66
5	468.70	367.61	836.31	0.0117	438.46	363.04	801.50
6	463.68	325.66	789.34	0.0112	447.78	362.58	810.36
7	494.82	390.23	885.06	0.0112	414.82	320.72	735.54
8	469.71	378.36	848.06	0.0111	403.89	332.98	736.87
9	543.75	409.80	953.55	0.0115	466.40	392.29	858.70
10	532.99	434.74	967.73	0.0114	425.56	373.79	799.34
ค่าเฉลี่ย	486.88	382.68	869.57	0.0115	433.27	363.31	796.59
SD	29.74	34.53	60.58	0.0004	29.38	24.39	51.11

ตารางที่ จ-16 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 1470 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{N}(\text{Na})\text{Cl}$ (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	743.88	506.06	1249.94	0.0123	614.46	425.43	1039.89
2	656.21	448.54	1104.75	0.0124	624.83	438.46	1063.29
3	696.88	457.05	1153.93	0.0125	680.32	437.11	1117.43
4	571.11	427.24	998.35	0.0129	593.42	398.73	992.14
5	742.08	541.00	1283.07	0.0129	536.15	426.82	962.97
6	687.43	502.01	1189.44	0.0126	528.64	433.61	962.26
7	575.97	445.25	1021.23	0.0125	536.33	431.57	967.91
8	513.37	452.67	966.04	0.0123	539.92	433.77	973.69
9	646.73	553.80	1200.53	0.0123	436.06	406.65	842.71
10	622.94	573.78	1196.72	0.0121	529.27	486.64	1015.91
ค่าเฉลี่ย	645.66	490.74	1136.40	0.0125	561.94	431.88	993.82
SD	75.90	51.88	109.35	0.0003	67.94	23.28	73.47

ตารางที่ จ-17 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีคลอรามินที่ 3.5 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย CH ₃ C ₆ H ₄ SO ₂ N(Na)Cl (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	67.10	75.05	142.15	0.0037	59.29	73.25	132.54
2	76.45	84.35	160.79	0.0035	63.73	75.54	139.28
3	81.07	88.88	169.94	0.0034	55.78	73.19	128.97
4	68.91	79.85	148.76	0.0034	50.81	62.30	113.11
5	82.81	90.76	173.58	0.0037	50.64	67.26	117.90
6	103.14	106.70	209.84	0.0035	61.90	72.69	134.59
7	70.50	75.85	146.35	0.0035	60.29	69.12	129.41
8	75.54	91.95	167.49	0.0033	62.54	65.97	128.51
9	79.15	87.43	166.58	0.0034	71.85	82.51	154.36
10	82.61	93.46	176.06	0.0035	68.98	76.78	145.75
ค่าเฉลี่ย	78.73	87.43	166.15	0.0035	60.58	71.86	132.44
SD	10.26	9.40	19.37	0.0001	6.93	5.87	12.16

ตารางที่ จ-18 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีคลอรามินที่ 4.2 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (μg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{N}(\text{Na})\text{Cl}$ (μg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	96.77	75.38	212.40	0.0040	37.32	66.79	104.12
2	59.64	115.63	139.58	0.0042	34.54	64.52	99.06
3	66.43	79.94	160.21	0.0041	48.46	83.09	131.56
4	66.81	93.78	162.90	0.0046	55.02	82.31	137.33
5	55.65	96.10	138.81	0.0037	58.73	101.09	159.83
6	58.58	83.16	148.75	0.0040	47.98	76.29	124.27
7	48.02	90.17	115.04	0.0042	45.03	77.37	122.39
8	58.76	67.01	146.05	0.0046	44.81	84.20	129.00
9	55.30	87.28	139.44	0.0041	41.85	67.18	109.03
10	54.86	84.14	130.24	0.0041	44.21	70.07	114.28
ค่าเฉลี่ย	62.08	87.26	149.34	0.0042	45.80	77.29	123.09
SD	13.38	13.19	26.11	0.0003	7.32	11.06	17.87

ตารางที่ จ-19 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีคลอรามินที่ 6.6 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลองซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย CH ₃ C ₆ H ₄ SO ₂ N(Na)Cl (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	67.10	75.05	142.15	0.0066	36.43	65.00	101.43
2	76.45	84.35	160.79	0.0060	52.29	76.00	128.29
3	81.07	88.88	169.94	0.0072	46.02	81.06	127.07
4	68.91	79.85	148.76	0.0066	37.07	65.84	102.90
5	82.81	90.76	173.58	0.0064	49.30	69.72	119.02
6	103.14	106.70	209.84	0.0066	46.03	79.95	125.97
7	70.50	75.85	146.35	0.0066	50.65	75.63	126.28
8	75.54	91.95	167.49	0.0067	45.69	82.17	127.86
9	79.15	87.43	166.58	0.0065	50.65	88.09	138.75
10	82.61	93.46	176.06	0.0066	52.53	79.51	132.04
ค่าเฉลี่ย	78.73	87.43	166.15	0.0066	46.66	76.30	122.96
SD	10.26	9.40	19.37	0.0003	5.81	7.46	12.03

ตารางที่ จ-20 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีคลอรามินที่ 6.7 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควีน 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย CH ₃ C ₆ H ₄ SO ₂ N(Na)Cl (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	48.35	66.13	114.48	0.0060	47.80	64.71	112.50
2	57.19	86.36	143.56	0.0066	36.42	54.89	91.31
3	67.52	89.19	156.71	0.0066	55.30	76.26	131.56
4	53.42	75.39	128.81	0.0063	37.43	52.78	90.21
5	77.11	104.44	181.55	0.0065	51.85	69.88	121.72
6	50.74	68.34	119.08	0.0070	74.62	95.65	170.27
7	57.71	81.89	139.59	0.0071	46.58	66.30	112.88
8				0.0069	39.09	61.67	100.76
9				0.0069	47.28	63.78	111.06
10				0.0069	42.16	55.60	97.76
ค่าเฉลี่ย	58.86	81.68	140.54	0.0067	47.85	66.15	114.00
SD	10.15	13.26	23.20	0.0003	11.25	12.61	23.73

ตารางที่ จ-21 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีคลอรามินที่ 13.9 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย CH ₃ C ₆ H ₄ SO ₂ N(Na)Cl (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	67.10	75.05	142.15	0.0135	21.29	52.55	73.84
2	76.45	84.35	160.79	0.0137	22.26	51.41	73.67
3	81.07	88.88	169.94	0.0140	30.32	71.46	101.79
4	68.91	79.85	148.76	0.0139	18.06	51.93	69.99
5	82.81	90.76	173.58	0.0136	14.86	40.58	55.44
6	103.14	106.70	209.84	0.0130	37.11	64.86	101.97
7	70.50	75.85	146.35	0.0133	29.41	60.56	89.98
8	75.54	91.95	167.49	0.0148	26.92	72.77	99.70
9	79.15	87.43	166.58	0.0145	39.44	80.07	119.51
10	82.61	93.46	176.06	0.0147	22.76	64.99	87.75
ค่าเฉลี่ย	78.73	87.43	166.15	0.0139	26.24	61.12	87.36
SD	10.26	9.40	19.37	0.0006	7.95	12.04	19.16

ตารางที่ จ-22 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีคลอรามินที่ 14.0 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรควัน 245 มิลลิลิตร

ทดลองซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย CH ₃ C ₆ H ₄ SO ₂ N(Na)Cl (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	48.35	66.13	114.48	0.0138	40.03	58.72	98.75
2	57.19	86.36	143.56	0.0142	40.62	76.91	117.53
3	67.52	89.19	156.71	0.0142	31.66	64.04	95.70
4	53.42	75.39	128.81	0.0146	27.70	66.30	93.99
5	77.11	104.44	181.55	0.0128	25.66	61.20	86.86
6	50.74	68.34	119.08	0.0143	44.45	93.62	138.07
7	57.71	81.89	139.59	0.0140	32.18	70.83	103.01
8				0.0139	35.91	74.12	110.02
9				0.0142	39.90	77.84	117.74
10				0.0140	24.03	60.09	84.12
ค่าเฉลี่ย	58.86	81.68	140.54	0.0140	34.21	70.37	104.58
SD	10.15	13.26	23.20	0.0005	7.03	10.73	16.50

ตารางที่ จ-23 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีคลอรามินที่ 14.5 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลองซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย CH ₃ C ₆ H ₄ SO ₂ N(Na)Cl (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	82.74	125.78	208.52	0.0141	26.26	72.91	99.18
2	67.19	95.49	162.68	0.0149	34.17	74.57	108.73
3	56.88	90.04	146.92	0.0149	25.53	60.06	85.59
4	55.93	75.90	131.83	0.0146	33.80	73.02	106.82
5	67.40	94.88	162.28	0.0146	26.03	49.77	75.80
6	60.02	81.13	141.15	0.0141	26.34	53.03	79.38
7	72.30	106.96	179.25	0.0147	25.78	59.80	85.58
8	56.54	90.67	147.21	0.0142	34.45	55.92	90.38
9	67.57	94.62	162.19	0.0144	28.21	62.68	90.89
10	73.60	99.78	173.38	0.0144	30.60	64.95	95.56
ค่าเฉลี่ย	66.02	95.52	161.54	0.0145	29.12	62.67	91.79
SD	8.78	13.79	22.06	0.0003	3.77	8.68	10.91

ตารางที่ จ-24 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีคลอรามินที่ 18.2 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย CH ₃ C ₆ H ₄ SO ₂ N(Na)Cl (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	48.35	66.13	114.48	0.0171	28.89	71.92	100.81
2	57.19	86.36	143.56	0.0184	21.47	57.28	78.75
3	67.52	89.19	156.71	0.0186	27.82	75.76	103.59
4	53.42	75.39	128.81	0.0182	16.92	49.04	65.96
5	77.11	104.44	181.55	0.0182	22.20	55.92	78.13
6	50.74	68.34	119.08	0.0181	33.38	72.58	105.96
7	57.71	81.89	139.59	0.0179	24.25	62.76	87.01
8				0.0185	27.20	75.35	102.55
9				0.0185	26.58	75.10	101.67
10				0.0181	25.12	64.74	89.86
ค่าเฉลี่ย	58.86	81.68	140.54	0.0182	25.38	66.05	91.43
SD	10.15	13.26	23.20	0.0004	4.54	9.55	13.68

ตารางที่ จ-25 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีคลอรามินที่ 21.5 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลองซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย CH ₃ C ₆ H ₄ SO ₂ N(Na)Cl (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	67.10	75.05	142.15	0.0214	18.10	51.45	69.55
2	76.45	84.35	160.79	0.0216	10.97	34.51	45.48
3	81.07	88.88	169.94	0.0216	18.88	51.85	70.73
4	68.91	79.85	148.76	0.0216	17.99	56.26	74.25
5	82.81	90.76	173.58	0.0211	19.23	50.18	69.41
6	103.14	106.70	209.84	0.0213	13.51	37.47	50.98
7	70.50	75.85	146.35	0.0215	17.66	51.17	68.84
8	75.54	91.95	167.49	0.0213	18.98	54.87	73.85
9	79.15	87.43	166.58	0.0216	18.00	55.12	73.11
10	82.61	93.46	176.06	0.0217	14.60	53.22	67.82
ค่าเฉลี่ย	78.73	87.43	166.15	0.0215	16.79	49.61	66.40
SD	10.26	9.40	19.37	0.0002	2.79	7.47	9.90

ตารางที่ จ-26 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีคลอรามินที่ 26.4 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย CH ₃ C ₆ H ₄ SO ₂ N(Na)Cl (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	67.10	75.05	142.15	0.0266	17.39	72.13	89.52
2	76.45	84.35	160.79	0.0267	13.34	66.53	79.87
3	81.07	88.88	169.94	0.0266	7.95	37.55	45.50
4	68.91	79.85	148.76	0.0261	8.64	41.56	50.20
5	82.81	90.76	173.58	0.0268	10.78	46.44	57.22
6	103.14	106.70	209.84	0.0272	0.40	17.27	17.67
7	70.50	75.85	146.35	0.0261	10.44	59.02	69.46
8	75.54	91.95	167.49	0.0257	8.08	39.42	47.50
9	79.15	87.43	166.58	0.0257	11.06	51.44	62.50
10	82.61	93.46	176.06	0.0261	15.66	50.99	66.66
ค่าเฉลี่ย	78.73	87.43	166.15	0.0264	10.37	48.24	58.61
SD	10.26	9.40	19.37	0.0005	4.72	15.77	20.13

ตารางที่ จ-27 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีคลอรามินที่ 45.5 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลองซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย CH ₃ C ₆ H ₄ SO ₂ N(Na)Cl (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด
1	67.10	75.05	142.15	0.0461	0.00	19.51	19.51
2	76.45	84.35	160.79	0.0454	0.15	18.65	18.80
3	81.07	88.88	169.94	0.0467	0.33	28.53	28.86
4	68.91	79.85	148.76	0.0459	0.00	21.82	21.82
5	82.81	90.76	173.58	0.0452	0.00	24.74	24.74
6	103.14	106.70	209.84	0.0458	0.00	19.68	19.68
7	70.50	75.85	146.35	0.0443	0.00	26.85	26.85
8	75.54	91.95	167.49	0.0463	0.00	35.06	35.06
9	79.15	87.43	166.58	0.0453	0.00	24.59	24.59
10	82.61	93.46	176.06	0.0436	0.00	17.07	17.07
ค่าเฉลี่ย	78.73	87.43	166.15	0.0455	0.05	23.65	23.70
SD	10.26	9.40	19.37	0.0009	0.11	5.48	5.50

ตารางที่ จ-28 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในระบบการดูดซับที่มีคลอรามินที่ 47.6 มิลลิกรัม เป็นตัวดูดซับก๊าซ ด้วยอัตราการไหล 17.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ปริมาตรคว้น 245 มิลลิลิตร

ทดลอง ซ้ำ (ครั้ง)	HCN บนกระดาษกรองเปล่า (µg)			HCN บนกระดาษกรองเคลือบด้วย CH ₃ C ₆ H ₄ SO ₂ N(Na)Cl (µg)			
	ถูกดูดซับ	ไม่ถูกดูดซับ	ทั้งหมด	มวลสาร (g)	ถูกดูด ซับ	ไม่ถูกดูด ซับ	ทั้งหมด
1	55.10	63.84	118.94	0.0471	55.11	29.90	85.02
2	71.96	80.51	152.46	0.0472	74.65	24.80	99.45
3	75.68	90.29	165.97	0.0487	74.77	29.78	104.55
4	57.38	70.62	128.00	0.0479	55.85	34.48	90.32
5	93.38	100.68	194.06	0.0470	91.80	23.90	115.70
6	85.44	96.83	182.27	0.0480	83.96	21.18	105.14
7	52.63	73.72	126.35	0.0486	51.61	25.08	76.69
8	80.99	97.63	178.62	0.0469	81.34	25.28	106.63
9	58.27	73.14	131.40	0.0481	56.05	24.09	80.14
10	75.61	87.52	163.13	0.0467	74.72	25.69	100.40
ค่าเฉลี่ย	70.64	83.48	154.12	0.0476	69.99	26.42	96.40
SD	14.10	12.91	26.71	0.0007	14.22	3.86	12.76

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ ชื่อสกุล	นางบุญธิดา แสนบรรดิษฐ์
วันเดือนปีเกิด	24 พฤศจิกายน พ.ศ. 2509
สถานที่เกิด	นครปฐม
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	12/4 ม.9 ต.ไร่ขิง อ.สามพราน จ.นครปฐม
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ผู้ช่วยหัวหน้ากองวิเคราะห์สารจากการเผาไหม้บูหรี่
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	กองวิเคราะห์สารจากการเผาไหม้บูหรี่ ฝ่ายวิจัยและพัฒนา โรงงานยาสูบ กระทรวงการคลัง
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2527	มัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนสตรีวัดระฆัง
พ.ศ. 2531	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตบางแสน
พ.ศ. 2551	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมเคมี จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ