

การสร้างเครื่องมือเพื่อใช้สอนอักษรภาพ เกิดภาพไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนในสภาวะต่าง ๆ

ปริญญานิพนธ์

ของ

มานพ พรานมณีโชติ

THE LIBRARY
COLLEGE OF EDUCATION
BANGKOK, THAILAND

เสนอต่อวิทยาลัยวิชาการศึกษา
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าที่สำคัญ
ปริญญากิตติมศักดิ์

2 เมษายน 2514

คณะกรรมการที่ปรึกษาประจำคณะนิติศาสตร์ได้พิจารณาปฏิญานีพนธ์ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควร
รับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต ของวิทยาลัยวิชาการศึกษา
ได้

ผศ. ส. เกียรติยศ

ประธาน

สุกัญญา ทรัพย์

กรรมการ

๒๕๕๕

กรรมการ

2 เมษายน 2514

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้โดยดี โดยได้รับความแนะนำและความช่วยเหลืออย่างมาก
จากอาจารย์ ดร. นิดา สะเพียรชัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุนทรี พิริณกิจและอาจารย์โช ศาสดีฉัน
ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ทั้งสามเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ นายประสิทธิ์ สิงห์เดช นักศึกษาวิทยาลัยวิชาการศึกษาพิษณุโลก ที่ช่วย
ออกแบบวงจรการทำงานของเครื่องมือที่สร้างขึ้น อาจารย์บรรจง สุขเปรม ไชยวัฒนาปรับปรุง
แก้ไขวงจรการทำงานของเครื่องมือให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น อาจารย์สงวน จินนกร ที่ช่วยสร้าง
ส่วนประกอบของเครื่องมือ นายอุดม คงหมวกและนายสุคนธ์ พิทักษ์วงศ์ ที่ช่วยพิมพ์
ปริญญานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย

นอกจากนี้ ยังมีผู้มีส่วนช่วยเหลือในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้อีกหลายคน ซึ่งไม่
สามารถจะกล่าวนามได้ทั้งหมด ข้าพเจ้าจึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

มานพ พราหมณ์โชติ

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ	1
	ภูมิหลัง	1
	ความมุ่งหมายในการค้นคว้า	5
	ความสำคัญของการค้นคว้า	5
	นิยามศัพท์เฉพาะ	6
	ขอบเขตของการค้นคว้า	7
	วิธีดำเนินการค้นคว้า	8
	การวิเคราะห์ข้อมูล	8
2	เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาค้นคว้า	9
	เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาอัตราการเกิดกาช	9
	อัตราการเกิดกาชไฮโดรเจน	11
	อัตราการเกิดกาชออกซิเจน	17
3	การสร้างเครื่องมือ	26
	วิธีสร้างเครื่องมือ	26
	1. ภาชนะทดลอง	26
	ก. หลอดทดสอบ	27
	ข. กล้องควบคุมอุณหภูมิ	30
	2. เครื่องมือเก็บกาช	31
	3. เครื่องมือจับเวลา	33
	1. การสร้างตู้น้ำและการพันขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า	33
	2. การตรวจสอบการทำงานของเครื่องมือ	34

3.	การทดสอบการทำงานของเครื่องมือสำหรับใช้ศึกษา	
	อัตราการเกิดกาช 36	
	อธิบายการทำงานของวงจร 39	
	วิธีใช้เครื่องมือ 40	
4	วิธีดำเนินการทดลองและผลการทดลอง 42	
	วิธีดำเนินการทดลอง 42	
	การศึกษาอัตราการเกิดกาชไฮโดรเจน 42	
	1. เครื่องมือถึงอัตโนมัติสำหรับศึกษาอัตราการเกิดกาชที่สร้างขึ้น. 42	
	2. เครื่องมืออย่างง่ายที่มีในห้องปฏิบัติการ 45	
	ผลการทดลอง 45	
	การศึกษ้อัตราการเกิดกาชออกซิเจน 45	
	1. เครื่องมือถึงอัตโนมัติสำหรับศึกษาอัตราการเกิดกาชที่สร้างขึ้น. 45	
	2. เครื่องมืออย่างง่ายที่มีในห้องปฏิบัติการ 49	
	ผลการทดลอง 49	
5	ฉปรายผล 76	
	หลักการสร้างเครื่องมือ 76	
	1. ภาชนะทดลอง 76	
	ก. หลอดทดสอบ 76	
	ข. กล้องควบคุมอุณหภูมิ 82	
	2. เครื่องมือเก็บกาช 83	
	3. เครื่องมือจับเวลา 87	
	การศึกษ้อัตราการเกิดกาชไฮโดรเจน 93	
	1. เครื่องมือถึงอัตโนมัติสำหรับหาอัตราการเกิดกาชที่สร้างขึ้น. 94	
	2. เครื่องมืออย่างง่ายที่มีในห้องปฏิบัติการ 110	

การศึกษาศักยภาพ การเกิดกาชออกนิเจน	113
1. เครื่องมือกึ่งอัตโนมัติสำหรับหาอัตราการเกิดกาชที่สร้างขึ้น ..	114
2. เครื่องมืออย่างง่ายที่มีในห้องปฏิบัติการ	133
6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	135
การสร้างเครื่องมือกึ่งอัตโนมัติสำหรับหาอัตราการเกิดกาช	135
วิธีดำเนินการทดลอง	136
1. การศึกษาศักยภาพ การเกิดกาชไฮโดรเจน	136
2. การศึกษาศักยภาพ การเกิดกาชออกนิเจน	137
สรุปผลการทดลอง	137
1. การศึกษาศักยภาพ การเกิดกาชไฮโดรเจน	137
2. การศึกษาศักยภาพ การเกิดกาชออกนิเจน	138
ข้อเสนอแนะ	139
บรรณานุกรม	140
ภาคผนวก	145
ภาคผนวก ก. วงจรการทำงานของเครื่องมือ	146
ภาคผนวก ข. รูปภาพต่าง ๆ	150
ภาคผนวก ค. ข้อมูลจากการทดลอง	167

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	แสดงผลการวัดปริมาตรของก๊าซที่เกิดขึ้น ณ จุดต่าง ๆ	37
2.	แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจน ในเงื่อนไข การแปรผันความเข้มข้นของกรคาร์ลฟริก เมื่อน้ำหนักของโลหะ สังกะสีคงที่ ณ อุณหภูมิห้อง $25.0^{\circ} - 32.0^{\circ}\text{C}$	50
3	แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจน ในเงื่อนไข การแปรผันน้ำหนักของโลหะสังกะสี เมื่อปริมาณของกรคาร์ลฟริกคงที่ ณ อุณหภูมิห้อง $26.0^{\circ} - 33.4^{\circ}\text{C}$	52
4	แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจน ในเงื่อนไข การแปรผันปริมาณของทองแดงซัลเฟต ที่เติมลงไปเป็น กะตาลิสต์ เมื่อปริมาณของกรคาร์ลฟริกและโลหะสังกะสีคงที่ ณ อุณหภูมิห้อง $26.5^{\circ} - 32.2^{\circ}\text{C}$	54
5	แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจน ในเงื่อนไข การแปรผันปริมาณของเงินซัลเฟตที่เติมลงไปเป็นกะตาลิสต์ เมื่อปริมาณของกรคาร์ลฟริกและโลหะสังกะสีคงที่ ณ อุณหภูมิ ห้อง $26.2^{\circ} - 32.0^{\circ}\text{C}$	56
6	แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจน และการ เกิดก๊าซไฮโดรเจนต่อเวลา ในเงื่อนไขการแปรผันปริมาณ ของปรอทซัลเฟต(HgSO_4) ที่เติมลงไปเป็นกะตาลิสต์ เมื่อปริมาณของกรคาร์ลฟริกและโลหะสังกะสีคงที่ ณ อุณหภูมิห้อง $23.8^{\circ} - 34.0^{\circ}\text{C}$	58
7	แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจน ในเงื่อนไข การแปรผันอุณหภูมิ ($15^{\circ} - 40^{\circ}\text{C}$) เมื่อปริมาณของกรคาร์ลฟริกและโลหะสังกะสีคงที่ ณ อุณหภูมิ ห้อง $23.8^{\circ} - 30.3^{\circ}\text{C}$	60

8	แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาชไฮโครเจน ในเงื่อนไข การเก็บกาชโดยใช้วิธีแตกต่างกัน เมื่อปริมาณของกรกษัฟริก และโลหะสังกะสีคงที่ ณ อุณหภูมิห้อง $31.4^{\circ} - 33.5^{\circ} \text{C} \dots\dots$	62
9	แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาชไฮโครเจน ในเงื่อนไข การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการใช้เครื่องบดที่สร้างขึ้นกับเครื่องมือ อย่างง่ายที่มีในห้องปฏิบัติการ เมื่อปริมาณของกรกษัฟริก โลหะ สังกะสีและทองแดงวัดเฟตคงที่ ณ อุณหภูมิห้อง $28.9^{\circ} - 30.8^{\circ} \text{C} \dots\dots$	63
10	แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาชออกซิเจน ในเงื่อนไขการ แปรผันความเข้มข้นของไฮโครเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อปริมาณของ โปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ ณ อุณหภูมิห้อง $20.5^{\circ} - 30.8^{\circ} \text{C} \dots\dots$	65
11	แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาชออกซิเจน ในเงื่อนไขการ แปรผันความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต เมื่อปริมาณของ ไฮโครเจนเปอร์ออกไซด์คงที่ ณ อุณหภูมิห้อง $24.4^{\circ} - 31.7^{\circ} \text{C} \dots\dots$	67
12	แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาชออกซิเจน ในเงื่อนไขการ แปรผันความเข้มข้นของกรกษัฟริก เมื่อปริมาณของไฮโครเจน เปอร์ออกไซด์และโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ ณ อุณหภูมิห้อง $23.5^{\circ} - 33.4^{\circ} \text{C} \dots\dots\dots$	69
13	แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาชออกซิเจน ในเงื่อนไขการ แปรผันความเข้มข้นของกรกเกลือ เมื่อปริมาณของไฮโครเจน เปอร์ออกไซด์และโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ ณ อุณหภูมิห้อง $24.4^{\circ} - 31.6^{\circ} \text{C} \dots\dots\dots$	71

14	แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาซออกซิเจน ในเงื่อนไข การแปรผันอุณหภูมิ 5°C – 25°C เมื่อปริมาณของไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์และโพตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ ณ อุณหภูมิ ห้อง 21.6°C – 32.6°C	73
15	แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาซออกซิเจน ในเงื่อนไข การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้นกับ เครื่องมือที่มีในห้องปฏิบัติการ เมื่อปริมาณของไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์และโพตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ ณ อุณหภูมิห้อง 24.4°C – 27.6°C	75
16	แสดงผลการคำนวณความกดดันที่เปลี่ยนแปลงในขณะ ที่ทดลอง ซึ่งเป็นสัดส่วนกับปริมาตรของกาซที่เกิดขึ้น ณ อุณหภูมิห้อง 31.8°C	94
17	แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจน ในเงื่อนไข การแปรผันความเข้มข้นของกรรทซ์ฟูริก เมื่อน้ำหนักของ โลหะสังกะสีคงที่ ณ อุณหภูมิห้อง 25.0°C – 32.0°C	95
18	แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจน ในเงื่อนไข การแปรผันน้ำหนักของโลหะสังกะสี เมื่อปริมาณของ กรรทซ์ฟูริกคงที่ ณ อุณหภูมิห้อง 26.0°C – 33.4°C	96
19	แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนในเงื่อนไข การแปรผันปริมาณของทองแดงซัลเฟต ที่เติมลงไปเป็น คะตาลิสต์ เมื่อปริมาณของกรรทซ์ฟูริกและโลหะสังกะสี คงที่ ณ อุณหภูมิห้อง 26.5°C – 32.2°C	99

20	แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนในเงื่อนไข การแปรผันปริมาณของเงินซัลเฟตที่เติมลงไปเป็นกะตลิสต์ เมื่อปริมาณของกรกซัลฟูริกและโลหะสังกะสีคงที่ ณ อุณหภูมิ ห้อง $26.2^{\circ}\text{C} - 32.0^{\circ}\text{C}$	103
21	แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนในเงื่อนไข การแปรผันอุณหภูมิ ($15^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$) เมื่อปริมาณของกรก ซัลฟูริกและโลหะสังกะสีคงที่ ณ อุณหภูมิห้อง $23.0^{\circ}\text{C} -$ 30.3°C	107
22	แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนในเงื่อนไข การเก็บกาซโดยใช้วิธีที่แตกต่างกัน เมื่อปริมาณของกรก ซัลฟูริกและโลหะสังกะสีคงที่ ณ อุณหภูมิห้อง $31.4^{\circ}\text{C} -$ 33.5°C	109
23	แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนในเงื่อนไข การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้นกับ เครื่องมืออย่างง่าย ๆ ที่มีในห้องปฏิบัติการ เมื่อปริมาณ ของกรกซัลฟูริก โลหะสังกะสีและทองแดงซัลเฟตคงที่ ณ อุณหภูมิห้อง $28.9^{\circ}\text{C} - 31.4^{\circ}\text{C}$	112
24	แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาซออกซิเจนในเงื่อนไข การแปรผันความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อปริมาณของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ ณ อุณหภูมิห้อง $20.5^{\circ}\text{C} - 30.8^{\circ}\text{C}$	114
25	แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาซออกซิเจนในเงื่อนไข การแปรผันความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงที่ ณ อุณหภูมิ ห้อง $24.4^{\circ}\text{C} - 31.7^{\circ}\text{C}$	121

26	แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาซออกซิเจนในเงื่อนไข การแปรผันความเข้มข้นของกรกัลฟูริก เมื่อปริมาณของไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์และโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ ณ อุณหภูมิห้อง 23.5° – 33.4° C	126
27	แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาซออกซิเจน ในเงื่อนไขการ แปรผันความเข้มข้นของกรกัลฟูริก เมื่อปริมาณของไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์และโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ ณ อุณหภูมิ ห้อง 24.4° – 31.6° C	127
28	แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาซออกซิเจน ในเงื่อนไขการ แปรผันอุณหภูมิ 5° – 25° C เมื่อปริมาณของไฮโดรเจน – เปอร์ออกไซด์และโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ ณ อุณหภูมิ ห้อง 21.6° – 32.6° C	131
29	แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาซออกซิเจน ในเงื่อนไขการ เปรียบเทียบผลที่ได้จากการใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้นกับเครื่องมือ ที่มีในห้องปฏิบัติการ เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ ณ อุณหภูมิห้อง 24.4° – 27.6° C	133
30	แสดงค่าของอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจน ในเงื่อนไขการ แปรผันความเข้มข้นของกรกัลฟูริก เมื่อน้ำหนักของโลหะสังกะสี คงที่ ณ อุณหภูมิห้อง 25.0° – 32.0° C	168
31	แสดงค่าของอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจน ในเงื่อนไขการ แปรผันน้ำหนักของโลหะสังกะสี เมื่อปริมาณของกรกัลฟูริกคงที่ ณ อุณหภูมิห้อง 26.0° – 33.4° C	172

32	แสดงค่าของอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจน ในเงื่อนไขการ แปรผันปริมาณของทองแดงซัลเฟต (CuSO_4) ที่เติมลงไปเป็น กะตาลีสต์ เมื่อปริมาณของกรคาร์ลฟริกและโลหะสังกะสีคงที่ ณ อุณหภูมิห้อง $26.5^\circ - 32.2^\circ\text{C}$ 175
33	แสดงค่าของอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจน ในเงื่อนไขการ แปรผันปริมาณของเงินซัลเฟต (Ag_2SO_4) ที่เติมลงไปเป็น กะตาลีสต์ เมื่อปริมาณของกรคาร์ลฟริกและโลหะสังกะสีคงที่ ณ อุณหภูมิห้อง $26.2^\circ - 32.0^\circ\text{C}$ 178
34	แสดงการเกิดกาซไฮโดรเจนต่อเวลา ในเงื่อนไขการ แปรผันปริมาณของปรอทซัลเฟต (HgSO_4) ที่เติมลงไป เป็นกะตาลีสต์ เมื่อปริมาณของกรคาร์ลฟริกและโลหะสังกะสี คงที่ ณ อุณหภูมิห้อง $23.8^\circ - 34.0^\circ\text{C}$ 181
35	แสดงค่าของอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจน ในเงื่อนไขการ แปรผันอุณหภูมิ ($15^\circ - 40^\circ\text{C}$) เมื่อปริมาณของกรคาร์ลฟริก และโลหะสังกะสีคงที่ ณ อุณหภูมิห้อง $23.0^\circ - 30.3^\circ\text{C}$ 183
36	แสดงค่าของอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจน ในเงื่อนไขการ เก็บกาซโดยใช้วิธีที่แตกต่างกัน เมื่อปริมาณของกรคาร์ลฟริก และโลหะสังกะสีคงที่ ณ อุณหภูมิห้อง $31.1^\circ - 33.5^\circ\text{C}$ 186
37	แสดงค่าของอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจน ในเงื่อนไขการ เปรียบเทียบผลที่ได้จากการใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้นกับ เครื่องมืออย่างง่าย ๆ ที่มีในห้องปฏิบัติการ เมื่อปริมาณ ของกรคาร์ลฟริก โลหะสังกะสีและทองแดงซัลเฟตคงที่ 189

38	แสดงค่าของอัตราการเกิดกาซออกซิเจน ในเงื่อนไขการ แปรผันความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อ ปริมาณของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ ณ อุณหภูมิ $20.5^{\circ} - 30.8^{\circ} \text{C}$	191
39	แสดงค่าของอัตราการเกิดกาซออกซิเจน ในเงื่อนไขการ แปรผันความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต เมื่อ ปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงที่ ณ อุณหภูมิห้อง $24.4^{\circ} - 31.7^{\circ} \text{C}$	194
40	แสดงค่าของอัตราการเกิดกาซออกซิเจน ในเงื่อนไขการ แปรผันความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก เมื่อปริมาณของ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต คงที่ ณ อุณหภูมิห้อง $23.5^{\circ} - 33.4^{\circ} \text{C}$	197
41	แสดงค่าของอัตราการเกิดกาซออกซิเจน ในเงื่อนไขการ แปรผันความเข้มข้นของกรดเกลือ เมื่อปริมาณของ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต คงที่ ณ อุณหภูมิห้อง $24.4^{\circ} - 31.6^{\circ} \text{C}$	200
42	แสดงค่าของอัตราการเกิดกาซออกซิเจน ในเงื่อนไขการ แปรผันอุณหภูมิ ($5^{\circ} - 25.0^{\circ} \text{C}$) เมื่อปริมาณของ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต คงที่ ณ อุณหภูมิห้อง $21.6^{\circ} - 32.6^{\circ} \text{C}$	203
43	แสดงค่าของอัตราการเกิดกาซออกซิเจน ในเงื่อนไขการ เปรียบเทียบผลที่ได้จากการใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้นกับ เครื่องมือที่มีในห้องปฏิบัติการ เมื่อปริมาณของไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์และโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ ณ อุณหภูมิห้อง $24.4^{\circ} - 27.6^{\circ} \text{C}$	206

บัญชีภาพ

รูป		หน้า
1	Spinning syringe apparatus	10
2	เครื่องมือสำหรับใช้ศึกษาอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซออกซิเจน	26
3	หลอดทดสอบ (1) syringe(2) beaker(3)	27
4	จุดบางที่เจาะและตัดในลักษณะต่าง ๆ	28
5	แสดงส่วนประกอบของหลอดทดสอบและการบรรจุสารละลาย ในหลอดทดสอบ	29
6	แสดงการทำงานของกลองควบคุมอุณหภูมิ (ก) และเครื่องมือ เก็บก๊าซ(ข)	31
7	แสดงการพันขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า	34
8	ด้านหลังและด้านหน้าของเครื่องมือจับเวลา (แสดงการต่อ transistors การติดขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า การติด variable resistors และสวิตช์)	35
9	วงจรการทำงานของเครื่องมือกึ่งอัตโนมัติสำหรับหาอัตราการเกิดก๊าซ .	38
10	The Preparation of Hydrogen	77
11	The Hydrogen Equivalent of the Metals	78
12	Apparatus for measuring the volume of a gas.	78

รูป		หน้า
13	เครื่องมือเตรียมการออกซิเจน	79
14	แสดงลักษณะการแทนที่ของกาซที่เกิดขึ้น	84
15	แสดงวิธีปรับระดับน้ำใน buret ด้วยแท่นหมุนไม้	85
16	แสดงการหมุนของจักรกรอกและกลไกการบังคับจักรกรอก	89
17	เครื่องมือศึกษาอัตราการเกิดกาซ	91
18	แสดงอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนต่อเวลา	97
19	กราฟแสดงอัตราการเกิดกาซออกซิเจนต่อเวลาในเงื่อนไขการแปรผัน ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อปริมาณของโปตัสเซียม เปอร์มันกานेटคงที่	115
20	แสดงอัตราการเกิดกาซออกซิเจน (ml./min.)ต่อเวลา (min.) ในเงื่อนไขการแปรผันความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อ ความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มันกานेटคงที่	119
21	แสดงอัตราการเกิดกาซออกซิเจนต่อเวลา	123
22	แสดงอัตราการเกิดกาซออกซิเจนต่อเวลา	123
23	แสดงเปอร์เซ็นต์การสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเวลา (นาที) ในเงื่อนไข 9° , 25° , 40° และ 50° C เมื่อความเข้มข้น ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโปตัสเซียมเปอร์มันกานेटคงที่ ...	132

รูป		หน้า
24	วงจรการทำงานของเครื่องมือสำหรับหาอัตราการเกิดก๊าซ (วิธีที่ 1)	147
25	วงจรการทำงานของเครื่องมือสำหรับหาอัตราการเกิดก๊าซ (วิธีที่ 2)	148
26	วงจรการทำงานของเครื่องมือสำหรับหาอัตราการเกิดก๊าซ (วิธีที่ 3)	149
27	กราฟแสดงการเกิดก๊าซไฮโดรเจนต่อเวลาในเงื่อนไขการแปรผัน ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก เมื่อน้ำหนักของโลหะสังกะสีคงที่	151
28	กราฟแสดงอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนต่อเวลาในเงื่อนไขการแปรผัน ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก เมื่อน้ำหนักของโลหะสังกะสีคงที่	152
29	กราฟแสดงการเกิดก๊าซไฮโดรเจนต่อเวลาในเงื่อนไขการแปรผัน น้ำหนักของโลหะสังกะสี เมื่อปริมาณของกรดซัลฟิวริกคงที่	153
30	กราฟแสดงอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนต่อเวลาในเงื่อนไขการแปรผัน น้ำหนักของโลหะสังกะสี เมื่อปริมาณของกรดซัลฟิวริกคงที่	154
31	กราฟแสดงการเกิดก๊าซไฮโดรเจนต่อเวลาในเงื่อนไขการแปรผัน ปริมาณของ CuSO_4 ที่เติมลงไปเป็นกะตลิสต์ เมื่อปริมาณของ กรดซัลฟิวริกและโลหะสังกะสีคงที่	155
32	กราฟแสดงการเกิดก๊าซไฮโดรเจนต่อเวลาในเงื่อนไขการแปรผันปริมาณ ของ Ag_2SO_4 ที่เติมลงไปเป็นกะตลิสต์ เมื่อปริมาณของกรด ซัลฟิวริกและโลหะสังกะสีคงที่	156

รูป	หน้า
33	กราฟแสดงการเกิดกาซไฮโดรเจนต่อเวลาในเงื่อนไขการแปรผันอุณหภูมิ เมื่อปริมาณของกรดซัลฟูริกและโลหะสังกะสีคงที่ 157
34	กราฟแสดงการเกิดกาซออกซิเจนในเงื่อนไขการแปรผันความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อปริมาณของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ 158
35	กราฟแสดงอัตราการเกิดกาซออกซิเจนต่อส่วนกลับของความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในเงื่อนไขการแปรผันความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อปริมาณของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ 159
36	กราฟแสดงการเกิดกาซออกซิเจนต่อเวลาในเงื่อนไขการแปรผันความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงที่ 160
37	กราฟแสดงอัตราการเกิดกาซออกซิเจนต่อความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตในเงื่อนไขการแปรผันความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงที่ 161
38	กราฟแสดงการเกิดกาซออกซิเจนต่อเวลาในเงื่อนไขการแปรผันความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ , ... 162
39	กราฟแสดงอัตราการเกิดกาซออกซิเจนต่อส่วนกลับของความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกในเงื่อนไขการแปรผันความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก เมื่อปริมาณ

รูป		หน้า
	ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่	163
40	กราฟแสดงการเกิดกาซออกซิเจนต่อเวลาในเงื่อนไขการแปรผัน ความเข้มข้นของกรดเกลือ เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ ,.....	164
41	กราฟแสดงอัตราการเกิดกาซออกซิเจนต่อส่วนกลับของความเข้มข้น ของกรดเกลือในเงื่อนไขการแปรผันความเข้มข้นของกรดเกลือ เมื่อ ปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต คงที่	165
42	กราฟแสดงการเกิดกาซออกซิเจนต่อเวลาในเงื่อนไขการแปรผัน อุณหภูมิ เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโปตัสเซียม เปอร์มังกาเนตคงที่	166

ภูมิหลัง

ปัจจุบันนี้เป็นที่ยอมรับกันว่า ความเจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็วในทางวิทยาศาสตร์และการนำเอาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ การเกษตร การอุตสาหกรรม การคมนาคม ตลอดจนความก้าวหน้าทางอวกาศ ฯลฯ เป็นเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในชีวิตและความเป็นอยู่ของมนุษย์อย่างมากมาย จนความรู้สึกรู้สึกนึกคิดของมนุษย์เปลี่ยนแปลงตามไม่ทัน ความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์มีโค่นยุคนึงอยู่กับที่ มีการค้นคว้าและวิจัยอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์จึงต้องมีการเปลี่ยนแปลงปรับปรุงให้ทันกับเหตุการณ์ปัจจุบันอยู่เสมอ เพื่อให้ทันกับเหตุการณ์เปลี่ยนแปลงดังกล่าว พัทธัม รัชพลเดช¹ ได้ให้ความเห็นไว้ว่า "โดยเหตุที่วิทยาศาสตร์มีความสำคัญกับมนุษย์มากมาย เราทุกคนต้องใกล้ชิดตัวพันกับสิ่งประดิษฐ์ สิ่งของ และเรื่องราวต่าง ๆ ของวิทยาศาสตร์อยู่ตลอดเวลา ดังนั้น เราจึงต้องศึกษาหาความรู้และความเข้าใจในวิชาวิทยาศาสตร์กัน อย่างน้อยที่สุดเราจะต้องรู้และเข้าใจเรื่องราวของวิทยาศาสตร์อย่างทั่วไป เพื่อเป็นความรู้พื้นฐานสำหรับเราจะได้นำความรู้เหล่านี้ช่วยในการดำรงชีวิต..." โดยทั่วไปแล้ว การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์มีโค่นใหญ่เรียนทุกคนเป็นนักวิทยาศาสตร์ ตรงกันข้ามกลับมุ่งที่จะให้ทุกคนมีความรู้ความเข้าใจในวิทยาศาสตร์ตลอดจนงานที่นักวิทยาศาสตร์ทำ และวิธีการที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการศึกษาค้นคว้า สภาพการเรียนการสอนและหลักสูตรของวิทยาศาสตร์ในประเทศไทยยังคงยึดมั่นอยู่กับเนื้อหาวิชา ที่ไม่ทันกับเหตุการณ์เปลี่ยนแปลงใหม่ ๆ แต่ในขณะเดียวกันประเทศต่าง ๆ เกือบทั่วโลก เช่น สหรัฐอเมริกา อังกฤษ ออสเตรเลีย ญี่ปุ่น ไต้หวันถึงให้ความสำคัญในเรื่องนี้ จึงได้มีการเคลื่อนไหวปรับปรุงเกี่ยวกับวิธีสอนและเนื้อหาต่าง ๆ ในหลักสูตรของวิชาวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวิชาเคมี²

¹ พัทธัม รัชพลเดช นโยบายการศึกษาฝ่ายวิทยาศาสตร์ หน้า 11.

² G.H. Aylward, "Research in Chemistry Teaching", Approach to Chemistry 1969, pp. 64-80.

การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ตามแนวความคิดใหม่นี้ เน้นถึงวิธี Experimental approach ให้นักเรียนได้ทำการทดลองมากที่สุด โดยที่ครูเป็นผู้คอยให้ความช่วยเหลือแนะนำ ให้นักเรียนเข้าใจหลักสำคัญ ๆ นีดา สะเพียรชัย¹ ได้กล่าวถึงจุดมุ่งหมายในการเรียนการสอน วิทยาศาสตร์โดยวิธีการทดลองไว้ว่า "เพื่อให้นักเรียนเข้าใจซาบซึ้งถึงวิธีการที่นักวิทยาศาสตร์ เสาะแสวงหาความรู้ หลักการ ทฤษฎีหรือความคิดใหม่ ๆ ยิ่งกว่านักเรียนจะ "ค้นพบ" ทฤษฎีต่าง ๆ ควบตนเอง..."

ในการปรับปรุงวิธีการสอนวิทยาศาสตร์ให้บรรลุความสำเร็จตามความมุ่งหมายดังกล่าว จะต้องมีการสอนวิทยาศาสตร์ที่มีความรู้และสมรรถภาพในการสอนอย่างเพียงพอ นิวเบอรี² กล่าวว่า "ครูเคมีควรจะต้องได้รับการฝึกหัดอย่างมีระเบียบในทางวิทยาศาสตร์ และควรมีประสบการณ์ในการวิจัยบ้าง เพื่อที่จะให้ครูนักเรียนความอุดมคติของนักวิทยาศาสตร์..." แต่ในการที่จะให้ครูวิทยาศาสตร์ ที่มีประสิทธิภาพอย่างพอเพียงนั้นนับว่าเป็นเรื่องที่ทำได้ยากมาก ควบเหตุนี้ จึงต้องอาศัยความร่วมมือจากหลายฝ่าย ทั้งผู้เชี่ยวชาญและครูสอนในระดับนั้น ๆ มาช่วยกันเขียนตำรา ค้นคว้าหาเทคนิคใหม่ ๆ รวมทั้งประดิษฐ์หรือคิดสร้างอุปกรณ์การสอนอย่างง่าย ๆ ขึ้นใช้ อันเป็นการช่วยเหลือครูประจำการโดยตรงอีกทางหนึ่งด้วย ดังที่มหาวิทยาลัยนิวเซาท์เวลส์ ประเทศออสเตรเลีย ได้จัดให้มีการอบรมครูสอนวิชาเคมีในระดับมัธยมศึกษาในระหว่างปีภาคฤดูร้อน เป็นประจำแทบทุกปี นับตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960 เป็นต้นมา³

ในการวิจัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทางวิทยาศาสตร์ อุปกรณ์การวิจัยเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง และนอกจากนี้ยังต้องมีสิ่งประกอบการวิจัยอื่น ๆ เช่น โรงสร้างเครื่องมือ โรงสร้างเครื่องแก้ว โรงสร้างเครื่องอิเล็กทรอนิกส์อีกด้วย⁴ สำหรับในประเทศไทยนั้น อุปกรณ์และเครื่องมือ

¹ นีดา สะเพียรชัย "การเคลื่อนไหวเกี่ยวกับการปรับปรุงการสอนวิชาเคมี" วิสามัญศึกษา 3:58-62, กรกฎาคม 2509.

² เอ็น. เอฟ. นิวเบอรี การสอนเคมีสำหรับโรงเรียนมัธยมศึกษาในประเทศไทย หน้า 14.

³ G.H. Aylward, op.cit. p. 64.

⁴ สิบพันนุ เกตุทัต "การเตรียมงานการสอนและการวิจัยในระดับสูงกว่าระดับปริญญาตรี ทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ตามโครงการพัฒนามหาวิทยาลัย" วิทยาศาสตร์ 10:833-46, ตุลาคม 2511.

วิทยาศาสตร์ในโรงเรียนต่าง ๆ ยังขาดอีกมาก แต่สิ่งเหล่านี้เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อการเรียน การสอนวิทยาศาสตร์แผนใหม่ จึงสมควรที่จะส่งเสริมแนะนำให้ครูได้ศึกษาประดิษฐ์อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ ด้วยวัสดุที่หาง่ายขึ้นใช้สอนบ้าง จึงมุ่งหมายในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในระดับภาคนี้มัธยมศึกษาการศึกษาบางข้อ ได้กล่าวไว้ว่า "เพื่อยกย่องให้เกิดทักษะในการใช้อุปกรณ์วิทยาศาสตร์และส่งเสริมให้มีความคิดริเริ่มที่จะประดิษฐ์เครื่องมือวิทยาศาสตร์อย่างง่าย ๆ" ¹ และ พิมพ์ กลกิจ ² ได้ให้ความเห็นเกี่ยวกับการสร้างเครื่องมือวิทยาศาสตร์อย่างง่าย ๆ ไว้ว่า "ความจริงนั้นวิธีการสร้างเครื่องมืออย่างง่าย ๆ เป็นวิธีที่ดีสำหรับนักเรียนได้เข้าใจวิชาที่อยู่เสมอทุกสมัย เรียกได้ว่า เป็นประเพณีที่ดีที่สุดของการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ที่เดียว" ดังนั้นได้จากการคิดค้นพบของนักวิทยาศาสตร์ที่มีชื่อเสียงตลอดมาว่า ตอนต้นนั้น ค้นพบจากผลที่สังเกตจากอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ง่าย ๆ เป็นส่วนมาก"

เพื่อให้การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ได้ผลดังกล่าวนี้อาจกล่าวมาแล้วข้างต้น ครูวิทยาศาสตร์ ควรจะมีลักษณะดังต่อไปนี้ ³

1. ต้องศึกษาเนื้อหาวิชาวิทยาศาสตร์มาก ๆ
2. ต้องเรียนวิธีสอน
3. ต้องจัดหาหรือสร้างเครื่องมืออุปกรณ์การสอนและวัสดุที่จำเป็น

สำหรับวิชาเคมี ซึ่งเป็นวิทยาศาสตร์สาขาหนึ่งที่ตั้งอยู่บนรากฐานของการทดลอง เนื้อหาของวิชาเคมีมีความสัมพันธ์ต่อเนื่องกันโดยตลอด เพื่อที่จะอธิบายและทำนายพฤติกรรมของสารต่าง ๆ จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาให้ครอบคลุมเนื้อหาดังต่อไปนี้

1. การเกิดสารประกอบ (Compound formation)
2. โครงสร้าง (Structure)
3. สมดุลเคมี (Chemical equilibria)
4. อัตราของปฏิกิริยา (Rate of reaction)
5. กลไกของปฏิกิริยา (Reaction mechanism)

¹ กระทรวงศึกษาธิการ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาการศึกษา พุทธศักราช 2508 หน้า 27.

² พิมพ์ กลกิจ คู่มือการสอนวิทยาศาสตร์ หน้า ข - ค.

³ ค. หน้า 6.

ธรรมชาติของการเกิดปฏิกิริยาของสารแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน แม้แต่สารชนิดเดียวกัน ก็ยังเกิดปฏิกิริยาไม่เหมือนกัน เมื่อสภาวะต่างกัน จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาอัตราของปฏิกิริยา และ สภาวะต่าง ๆ ที่จะก่อให้เกิดปฏิกิริยานั้น เพื่อนำไปสู่การทำนายและการควบคุมปฏิกิริยา การศึกษา อัตราของปฏิกิริยาได้เริ่มศึกษากันมาตั้งแต่ศตวรรษที่ 19 เป็นต้นมา โดยที่สมัยนั้นมีการสนใจเกี่ยวกับสาร (โลหะ) ที่ช่วยเร่งให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น ใน ค.ศ. 1836 Jons Jakob Berzelius¹ ได้รวบรวมปฏิกิริยาชนิดนั้นไว้มากมาย และให้ชื่อสารเหล่านั้นว่า "คะตาลิสต์" และใน ค.ศ. 1850 L.F. Wilhelmy² ได้วัดอัตราของปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของน้ำตาล โดยใช้การวัดอย่างละเอียดถูกต้อง และการกำหนดสูตรทางคณิตศาสตร์ของอัตราของปฏิกิริยาขึ้น เป็นครั้งแรก การศึกษาอัตราของปฏิกิริยาได้พัฒนากว้างขึ้นเป็นลำดับ จนในปัจจุบันนี้ความเจริญ กว้างขวางของเครื่องมือมีมากขึ้น การศึกษาอัตราของปฏิกิริยาก็เจริญกว้างขึ้นเป็นเงาตามตัวด้วย จะเห็นได้จากใน ค.ศ. 1967 Manfred Eigen³ ได้รับรางวัลโนเบลในทางเคมี โดย ศึกษาและพัฒนาเทคนิคขึ้นวัดอัตราของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเร็ว (fast reaction) ได้สำเร็จ และการศึกษาอัตราของปฏิกิริยานี้เป็นบันไดที่จะนำไปสู่การศึกษากลไกของปฏิกิริยาอีกด้วย ดังนั้น การเรียนการสอนเคมีในปัจจุบัน จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องบรรจุเนื้อหาของอัตราของปฏิกิริยาเข้า ไว้ในหลักสูตรวิชาเคมี เพื่อช่วยให้นักเรียนได้เข้าใจการศึกษาทางเคมีโดยตลอด

จากการศึกษาอัตราของปฏิกิริยาต่าง ๆ พบว่า มีองค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่ออัตราของ ปฏิกิริยา 5 ประการ ดังต่อไปนี้⁴

1. ลักษณะของสารที่เริ่มต้นทำปฏิกิริยากัน
2. ความเข้มข้นของสารที่เริ่มต้นทำปฏิกิริยา

¹"Reaction Kinetics", Encyclopedia Britannica, Vol. 19, p. 3A - 3B.

²Ibid.

³"Research Reporter", Chemistry, 41(1), 30, January 1968.

⁴Pilot-Project for Chemistry Teaching in Asia, Unesco, "Rate of Chemical Reaction", Experiments on Rate of Chemical Reactions, pp. 1 - 7.

3. อุณหภูมิ
4. คะตาลีสต
5. ความกดดัน

สำหรับการศึกษาอัตราการเกิดกาชชนิดต่าง ๆ นั้น จุดประสงค์ที่สำคัญก็คือ ความต้องการที่จะวัดปริมาณของกาชที่เกิดขึ้นต่อหน่วยเวลาที่เปลี่ยนไปให้ได้น้อยที่สุดแน่นอนที่สุด มีฉะนั้นแล้ว ผลที่ได้รับจะคลาดเคลื่อนเชื่อถือไม่ได้ และปฏิกริยาบางปฏิกริยาเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจนไม่สามารถที่จะวัดปริมาณของกาชที่เกิดขึ้นด้วยสายตาได้ทัน ดังนั้น ในการศึกษาเรื่องนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการเตรียมเครื่องมือสำหรับวัดปริมาณของกาชและนาฬิกาจับเวลาที่ทำงานสัมพันธ์กัน โดยอาศัยการทำงานด้วยมือและสายตาให้น้อยที่สุด แต่เครื่องมือดังกล่าวยังไม่มี ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีความมุ่งหวังที่จะสร้างเครื่องมือเพื่อใช้ศึกษาอัตราการเกิดกาชขึ้น และจากผลการวิจัยนี้จะช่วยสนับสนุนการปรับปรุงการสอนเคมีตามแนวความคิดใหม่ให้ประสบผลสำเร็จด้วยประการหนึ่ง และอีกประการหนึ่ง ก็จะเป็นการช่วยเหลือครูสอนเคมีในระดับต่าง ๆ ในแง่เนื้อหาของการเกิดกาช และแนวความคิดในการสร้างเครื่องมืออีกด้วย

ความมุ่งหมายในการค้นคว้า

1. เพื่อสร้างเครื่องมือกึ่งอัตโนมัติสำหรับหาอัตราการเกิดกาช
2. เพื่อศึกษาอัตราการเกิดกาชไฮโดรเจนและกาชออกซิเจน โดยใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้นตามข้อ 1 กับเครื่องมืออย่างง่ายที่มีในห้องปฏิบัติการ
3. เพื่อศึกษาอัตราการเกิดกาชไฮโดรเจนและกาชออกซิเจน เมื่อแปรสภาวะต่าง ๆ
4. เพื่อทราบสภาวะที่เหมาะสมต่อการศึกษารate การเกิดกาชไฮโดรเจนและกาชออกซิเจนตามข้อ 3

ความสำคัญของการค้นคว้า

1. ผลจากการศึกษาค้นคว้าจะทำให้ครูผู้สอนวิชาเคมีในระดับต่าง ๆ ทราบถึงวิธีสร้างเครื่องมือกึ่งอัตโนมัติสำหรับหาอัตราการเกิดกาชไฮโดรเจนและกาชออกซิเจน

2. ผลจากการศึกษาค้นคว้าจะทำให้ทราบวิธีการทดลองและผลการทดลองหาอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนและกาซออกซิเจนที่ได้จากเครื่องมือ ตามความมุ่งหมายในการค้นคว้า ข้อ 2
3. ผลจากการศึกษาค้นคว้าจะเป็นแนวทางให้ครูผู้สอนวิชาเคมีในระดับต่าง ๆ นำเอาความรู้และวิธีการทดลองนี้ไปใช้ศึกษาค้นคว้าประกอบการสอนเกี่ยวกับอัตราการเกิดกาซชนิดอื่น ๆ
4. ผลจากการศึกษาค้นคว้าจะทำให้ทราบสภาวะที่เหมาะสมต่อการศึกษาอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนและกาซออกซิเจน
5. เทคนิคและวิธีการทดลองที่ได้จากการศึกษาค้นคว้านี้สามารถนำไปใช้สอนในวิชาเคมีในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายและอุดมศึกษาได้
6. ผลจากการศึกษาค้นคว้าจะเป็นแนวทางนำไปสู่การศึกษาลำดับที่ของปฏิกิริยา (order of reaction) และกลไกของปฏิกิริยา (reaction mechanism) ต่อไป

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. อัตราของปฏิกิริยา (rate of reaction) หมายถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในหนึ่งหน่วยเวลา โดยปกติขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารที่เริ่มต้นทำปฏิกิริยา (reactants) และลักษณะของสารนั้น อัตราของปฏิกิริยาแสดงได้ ในรูปของ moles per liter per sec.
2. ลำดับที่ของปฏิกิริยา (order of reaction) หมายถึงประเภทของของปฏิกิริยาใน chemical kinetics ซึ่งอาจจะกำหนดได้ตามจำนวนอะตอมหรือโมเลกุลในสมการของอัตรา (rate equation) และในบางกรณี ลำดับที่ของปฏิกิริยาอาจจะกำหนดได้จากจำนวนโมเลกุลของสารที่เข้าทำปฏิกิริยากัน (molecularity)
3. สภาวะ (conditions) หมายถึงเงื่อนไขต่าง ๆ ที่ทำการทดลอง เช่น การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาร การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิวของสาร การเติมคะตาไลสต์ ฯลฯ

ขอบเขตของการค้นคว้า

1. การศึกษาคนควาจะทำการทดลองโดยใช้เครื่องมือต่อไปนี้
 - 1.1 เครื่องมือถึงอัตโนมัติสำหรับหาอัตราการเกิดกาชและเครื่องมือนี้จะใช้ทำการทดลองทุกสภาวะ
 - 1.2 เครื่องมืออย่างง่ายที่มีในห้องปฏิบัติการ สำหรับเครื่องมือนี้จะใช้ทำการทดลองเฉพาะสภาวะที่เหมาะสมต่อการศึกษ้อัตราการเกิดกาชไฮโดรเจนและการออกซิเจน ตามความมุ่งหมายในการค้นควาขอ 4 และเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลที่ได้จากเครื่องมือตามขอ 1.1
2. การศึกษ้อัตราการเกิดกาชไฮโดรเจนจะทำการศึกษาดังนี้
 - 2.1 การศึกษาครั้งนี้จะศึกษาเฉพาะอัตราของปฏิกิริยาที่เกิดจากโลหะสังกะสีกับกรดซัลฟุริกเท่านั้น
 - 2.2 การแปรผันความเข้มข้นของกรดซัลฟุริก (น้ำหนักของโลหะสังกะสีคงที่) จะทำให้อัตราการเกิดกาชไฮโดรเจนเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่
 - 2.3 การแปรผันน้ำหนักของโลหะสังกะสี (ความเข้มข้นของกรดซัลฟุริกคงที่) จะทำให้อัตราการเกิดกาชไฮโดรเจนเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่
 - 2.4 การเติมทองแดงซัลเฟต เงินซัลเฟต และปรอทซัลเฟตที่ปริมาณต่าง ๆ กันลงไป เป็นคะตาลีสต์ จะทำให้อัตราการเกิดกาชไฮโดรเจนเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่
 - 2.5 การแปรผันอุณหภูมิ ตั้งแต่ช่วงอุณหภูมิ 15 - 40 องศาเซลเซียส จะมีอิทธิพลต่ออัตราของปฏิกิริยาหรือไม่
3. การศึกษ้อัตราการเกิดกาชออกซิเจนจะทำการศึกษาดังนี้
 - 3.1 การศึกษาครั้งนี้จะศึกษาเฉพาะอัตราของปฏิกิริยาที่เกิดจากโปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนตกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่านั้น
 - 3.2 การแปรผันความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนตกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะทำให้อัตราการเกิดกาชออกซิเจนเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่

- 3.3 การเติมกรดซัลฟริกกับกรดเกลือที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กันลงไป จะทำให้อัตราการเกิดกาซออกซิเจนเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่
- 3.4 การแปรผันอุณหภูมิตั้งแต่ช่วงอุณหภูมิ 5 - 25 องศาเซลเซียสเกรด จะมีอิทธิพลต่ออัตราของปฏิกิริยาหรือไม่

วิธีดำเนินการค้นคว้า

1. ทดลองหาอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนโดยใช้กรดซัลฟริกตามขอบเขตของการค้นคว้าวัด 2.2 ทำปฏิกิริยากับโลหะสังกะสี ณ อุณหภูมิห้อง (เพื่อค้นหาความเข้มข้นของกรดซัลฟริกที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยานี้)
2. ทดลองหาอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนโดยใช้ปริมาณของกรดซัลฟริกที่ค้นพบตามข้อ 1 คงที่ ทำปฏิกิริยากับโลหะสังกะสีที่มีน้ำหนักต่าง ๆ กัน (เพื่อค้นหาน้ำหนักของโลหะสังกะสีที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยานี้)
3. ทดลองหาอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนโดยใช้ปริมาณของกรดซัลฟริกและโลหะสังกะสีตามที่ค้นพบในข้อ 1 และ 2 และเติมทองแดงขี้เหล็ก เงินขี้เหล็ก และปรอทขี้เหล็ก ที่มีปริมาณต่าง ๆ กันลงไป เป็นคะตาลีสต์
4. ทดลองตามข้อ 3 และแปรผันอุณหภูมิตามขอบเขตของการค้นคว้าวัด 2.5
5. ทดลองหาอัตราการเกิดกาซออกซิเจน โดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของทั้งไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโพตัสเซียมเปอร์แมงกาเนต
6. ทดลองตามข้อ 5 และเติมกรดซัลฟริกและกรดเกลือที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กันลงไป
7. ทดลองตามข้อ 5 และแปรผันอุณหภูมิตามขอบเขตของการค้นคว้าวัด 3.4

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำผลที่ได้จากการทดลองในหมวดวิธีดำเนินการค้นคว้าวัดวิเคราะห์และตีความหมาย โดยแสดงให้เห็นว่า อัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนและออกซิเจนขึ้นอยู่กับอะไรบ้าง

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาคุณค่า

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาคุณค่าเรื่องการสร้างเครื่องมือเพื่อใช้สอนอัตราการเกิดกาชไฮโดรเจนและการออกซิเจนนี้ จะแบ่งเสนอออกเป็น 3 ตอนด้วยกันคือ เกี่ยวกับเครื่องมือที่ใช้ศึกษาอัตราการเกิดกาช อัตราการเกิดกาชไฮโดรเจน และอัตราการเกิดกาชออกซิเจน จึงมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เครื่องมือที่ใช้ศึกษาอัตราการเกิดกาช

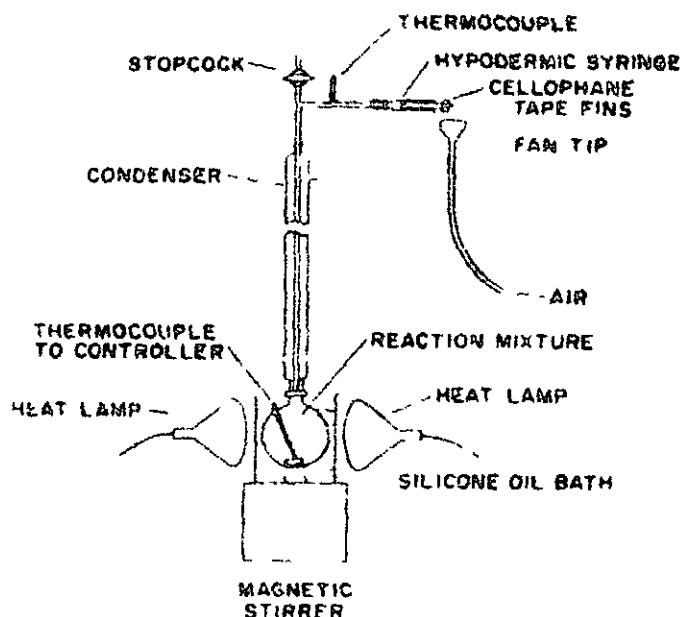
Lamplough¹ ได้ประดิษฐ์เครื่องมืออย่างง่ายที่มีความสะดวกสำหรับศึกษาอัตราของปฏิกิริยาการเกิดกาช โดยการวัดอัตราที่เกิดขึ้น จึงเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าความยากลำบากของการทดลองนี้ อยู่ที่การมีแนวโน้มที่จะละลายเกิดเป็นสารละลายอิ่มตัวอย่างยิ่งยวด (supersaturated solution) การทำให้อัตราการเกิดกาชมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ การคน ในบางกรณีพบว่า เมื่อสารละลายกลายเป็นสารละลายอิ่มตัวอย่างยิ่งยวดนั้น สามารถละลายเอากาชเข้าไว้ในสารละลายได้ถึง 100 เท่าของกาชตามปกติ และการหา rate constant ที่ถูกต้องจะเป็นไปได้อาจมีการคนอย่างแรง อย่างไรก็ตามการคนนั้นเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการศึกษาอัตราของปฏิกิริยาโดยตลอด

Lamplough ได้บรรยายถึงผลของการวัดอัตราโดยใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้น รวมทั้งผลของการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ด้วย และได้ใช้เครื่องมือนี้หาอัตราการเกิดกาชจากสารละลายอิ่มตัวอย่างยิ่งยวดอีก โดยใช้ทั้งวิธีที่มีการคนและไม่มีการคน แล้วสรุปว่าอัตราการเกิดกาชไม่ขึ้นอยู่กับ degree of supersaturation เปรียบ ความยุ่งยากทั้งหมดน่าจะขึ้นอยู่กับสิ่งเหล่านี้คือ ลักษณะของภาชนะ ที่ตีผิว และปริมาณของอากาศในสารละลาย

Steiner และ Hartzell² ได้ประดิษฐ์เครื่องมืออย่างง่ายสำหรับใช้วัดอัตราของปฏิกิริยาการเกิดกาชที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เพื่อใช้สอนวิชา Physical Chemistry

¹F.E.E.Lamplough, Proc.Camb.Phil.Soc., 14, 580-608(1909).

²Edwin C.Steiner and Gordon E.Hartzell, J.Chem.Educ., 42(10), 559-60(1965).



รูป 1' Spinning syringe apparatus.

Laboratory (ดังรูป) เครื่องมือนี้ใช้แปลง syringe มาใช้วัดปฏิกิริยาของก๊าซที่เกิดขึ้นจำนวนน้อย โดยที่ syringe นั้นมีลูกสูบอยู่ข้าง และที่ปลายลูกสูบมีแผ่น cellophane 3 แผ่นติดเป็นกรวย เพื่อให้ลูกสูบนั้นหมุนอยู่ตลอดเวลาและไม่มีความเร็ว เมื่อมีก๊าซเกิดขึ้นก็เกิดการแทนที่ภายใน syringe คนลูกสูบที่กำลังหมุนอยู่ออกไป อัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงพิจารณาได้จากการแทนที่ของก๊าซภายในลูกสูบที่กำลังหมุนอยู่ในช่วงเวลาอันสั้นนั้น

เครื่องมือนี้ได้นำไปใช้ทดสอบหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาไม่ตรงเจนจากการสลายตัวของ azobisisobutyronitrile (AIBN) ใน toluene และอัตราการเกิดปฏิกิริยามีเพนจากการสลายตัวของ α, α' -dimethoxy- α, α' -dimethylbibenzyl ใน dimethyl methane และพบว่าปฏิกิริยาทั้งสองเป็นปฏิกิริยาการสลายตัวแบบลำดับที่หนึ่ง ที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส และสูงกว่า 230 องศาเซลเซียสตามลำดับ

Ponyet¹ ได้สร้างเครื่องมือสำหรับศึกษา kinetics ของปฏิกิริยานี้ที่เร็วขึ้นด้วยการเปลี่ยนแปลง gas-phase ขึ้น โดยใช้ gas buret บรรจุด้วยปรอทเพื่อไว้วัดการเปลี่ยนแปลง

¹Bernard Ponyet, Bull. Soc. Chim. 1962, 1864-5.

ปริมาตรของก๊าซที่เกิดขึ้น โดยมีลวดปลาตีนที่แบ่งมาตราการวัดปริมาตรของก๊าซเรียบร้อยแล้วใส่ไว้ข้างใน gas buret ในขณะที่ปริมาตรของก๊าซเพิ่มขึ้นไป ความสูงของปรอทใน gas buret ก็เปลี่ยนแปลงตาม และทำให้ความต้านทานของลวดปลาตีนแปรผันตามไปด้วย ซึ่งสามารถบันทึกไว้ด้วยวิธีการทางไฟฟ้า โดยวิธีนี้ทำให้สามารถอ่านปริมาตรของก๊าซที่เกิดขึ้นได้โดยตรง

Birkhimer, Norup และ Bak¹ ได้ประดิษฐ์เครื่องมือสำหรับศึกษา kinetics ของปฏิกิริยาการเกิดก๊าซ โดยการอ่านค่าความกดดันของก๊าซจาก manometer ได้อย่างอัตโนมัติ และคนสารละลายด้วย magnetic stirrer ตลอดเวลา เครื่องมือนี้ได้ใช้ศึกษาการสลายตัวของ O-nitrophenylazide ในสารละลาย dibutylphthalate

Tinker, Craddock และ Paulik² ได้ปรับปรุงเครื่องมือสำหรับการวัดและการบันทึกการเกิดหรือการ absorb ก๊าซอย่างอัตโนมัติที่ความกดดันคงที่ เครื่องมือนี้ได้ใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางกับการศึกษา kinetics ในช่วงของสภาวะต่างๆดังนี้

- (ก) ความกดดันของปฏิกิริยาจาก 0.2 ถึง 20 บรรยากาศ
 - (ข) อุณหภูมิของปฏิกิริยาจาก 0 ถึง 120 องศาเซลเซียส
 - (ค) อัตราของการ absorb ก๊าซในช่วงจาก 0.5 ml.day^{-1} ถึง 5 ml.min^{-1}
- เครื่องมือนี้วางไว้กับการเปลี่ยนแปลงความกดดันมาก แม้จะมีความกดดันเพียงเท่ากับ 0.020 มม. ของปรอท ก็สามารถ detect ได้

อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจน

Bonsdorff³ ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราของปฏิกิริยาของโลหะแมกนีเซียมในกรดเกลือ ปรากฏว่าอัตราของปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงนัยยะมากจากอุณหภูมิ 0 ถึง -20 องศาเซลเซียส แต่อัตราของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากอุณหภูมิ 0 ถึง 20 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิสูงกว่า 20 องศาเซลเซียสขึ้นไป อัตราของปฏิกิริยาเกือบจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิ และเขาพบอีกว่า

¹ E. A. Birkhimer, Boerge Norup and Thor A. Bak, Acta. Chem. Scand., 14, 1894-8 (1960).

² H. Burnham Tinker, John H. Craddock and Frank E. Paulik, Rev. Sci. Instrum., 39(4), 590-2 (1968).

³ v. Bonsdorff, Medd. K. Vetenskapsakad. Nobelinstit., 3, No. 8, 34 pp. (1915).

ความเข้มข้นของกรดก็มีอิทธิพลต่ออัตราของปฏิกิริยาด้วย

Durdin และ Markevich¹ ได้ศึกษาอัตราของปฏิกิริยาของโลหะแมกนีเซียมในกรด โดยทำการศึกษาอัตราของปฏิกิริยาของโลหะแมกนีเซียมในสารละลายของกรดน้ำส้มที่มีความเข้มข้น 0.1 - 0.25 นอร์มัล ที่ใช้เป็น buffer และในสารละลายของกรดเกลือที่มีความเข้มข้น 0.1 และ 0.15 นอร์มัล ในอัตราการคน 0-700 รอบต่อนาที ผลปรากฏว่าในสารละลายของกรดเกลือ อัตราของปฏิกิริยาเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของกรดและความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน ส่วนในสารละลาย buffer ของกรดน้ำส้มอัตราของปฏิกิริยาเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของโมเลกุลของกรดแต่ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนและในตัวอย่างทั้งสอง อัตราของปฏิกิริยาไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ได้จากปฏิกิริยา

สัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ (temperature coefficient) สำหรับอัตราของปฏิกิริยา ซึ่งวัดที่ 0-15 , 15-30 และ 30-45 องศาเซลเซียส และด้วยการคน 250 และ 500 รอบต่อนาทีจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และไม่ขึ้นอยู่กับอัตราของการคนเลย ในกรดเกลือ อัตราของปฏิกิริยาของแมกนีเซียมกับอุณหภูมิเป็นสัดส่วนกับสภาพที่เป็นของเหลวของน้ำ (fluidity of water)

ในกรณีของโลหะโครเมียม อัตราของปฏิกิริยาจะไม่ขึ้นอยู่กับอัตราของการคนด้วย และสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิจะมีค่าสูงกว่าของโลหะแมกนีเซียม ซึ่งผลอันนี้ชี้ให้เห็นว่าขบวนการทางธรรมชาติทางเคมีของโลหะทั้งสองแตกต่างกัน

Iitaka² ได้ศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของกลุ่ม alkali metals กับ alkali earth metals ที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า 10^{-3} นอร์มัล พบว่า แทนที่ปฏิกิริยาจะเกิดเกล็ดของกรดกลับไปเกิดสารประกอบอื่นขึ้น แต่สำหรับในที่นี้จะกล่าวเฉพาะปฏิกิริยาของโลหะแมกนีเซียมในกรดเกลือเจือจางเท่านั้น โดยทำการศึกษาที่ความเข้มข้นของคลอไรด์ไอออนคงที่ที่ 10^{-2} นอร์มัล และความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนแปรผันอยู่ระหว่าง 0 - 10^{-13} นอร์มัล

ผลของการศึกษาสรุปได้ว่า อัตราของปฏิกิริยาตกลงเมื่อไฮโดรเจนไอออนลดลง แต่ถึงแม้ว่า

¹Ya.V.Durdin and A.M.Markevich, J. Gen. Chem., 6, 236-49 (1936).

²Ichiro Iitaka, Testu. to Hagane, 16, 1056-63 (1930).

ไฮโดรเจนออกไซด์จะหมดไป อัตราของปฏิกิริยาก็ยังคงมีอยู่ และอัตราที่เหลือน้อยก็จะมีค่าคงที่อยูระหว่างค่าไฮโดรเจนออกไซด์เท่ากับ 10^{-4} กับ 10^{-11} จึงแสดงว่าอัตราของปฏิกิริยาไม่ได้ขึ้นอยู่กับไฮโดรเจนออกไซด์เพียงอย่างเดียว ฉะนั้นปฏิกิริยาจะต้องมีไฮโดรลิซิสเกิดขึ้นควบคู่กับการถูกแทนที่ของไฮโดรเจนออกไซด์โดยโลหะมักเนเซียมด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อคนสารละลายอยู่ตลอดเวลา และผลของการคนนี้อธิบายได้โดย autocatalytic action ซึ่งก่อให้เกิดสารที่ยังไม่ทราบแน่นอน (unknown compound) ระหว่างโลหะมักเนเซียม น้ำ และคลอไรด์ออกไซด์

Khiew¹ ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาของมักเนเซียมกับกรดเกลือที่มีเกลือของโซเดียมคลอไรด์เติมลงไปด้วย และพบว่า การเติมโซเดียมคลอไรด์ ลงไปเพียงปริมาณเล็กน้อยในกรดเกลือ จะมีผลทำให้อัตราของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น และจุดสูงสุดของอัตราของปฏิกิริยานี้อยู่ตรงที่เติมโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 0.15 โมลาร์ลงไป และเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์มากกว่า 1 โมลาร์ จะทำให้อัตราของปฏิกิริยาลดลงตามลำดับ

Zecchini² ได้ศึกษาอัตราของปฏิกิริยาที่เกิดจากโลหะสังกะสีกับกรดเกลือและโลหะสังกะสีกับกรดซัลฟูริกโดยใช้ความเข้มข้นเท่ากันคือ 0.1 นอร์มัล ที่อุณหภูมิห้อง ผลปรากฏว่าอัตราโดยประมาณเกือบจะเท่ากัน และเขาพบว่าอัตราของการ attack เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของกรด แต่กรดเกลือ attack ได้เร็วกว่ากรดซัลฟูริก และผลของอุณหภูมิที่มีต่อกรดเกลือเข้มข้นกว่าที่มีต่อกรดซัลฟูริก ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 10-50 องศาเซลเซียส จะทำให้ความเร็วของการละลายของโลหะสังกะสีกับกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้น 0.1-0.5 นอร์มัลเพิ่มขึ้น 50-150 %

Berndt³ ได้ศึกษาพบว่าแม่เหล็กไม่มีอิทธิพลต่ออัตราของการละลายของโลหะสังกะสีในกรดเกลือ และเขาได้ศึกษาเกี่ยวกับความแตกต่างของ crystalline structure ของโลหะสังกะสีพบว่า rolled zinc ถูก attack ด้วยกรดได้เร็วกว่า cast zinc

Leipina และ Teter⁴ ได้ศึกษาอัตราของปฏิกิริยาของโลหะสังกะสีกับสารละลาย

¹Booy Chee Khiew, Newsletter, Vol.1, No.2, August 1967.

²J.W.Mellor, A Comprehensive Treatise on Inorganic and Theoretical Chemistry, Vol.IV, p.478.

³Ibid.

⁴L.Leipina and A.Teter, Doklady Akad. Nauk S.S.S.R., 111, 601-4 (1956).

ของกรดที่ 20, 40 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ผลปรากฏว่า kinetic curves ของกรดที่มีความเข้มข้น 0.001 - 1.0 นอร์มัล แสดงได้ดังสมการนี้

$$m_t = m_o [1 - \exp(-kt^n)]$$

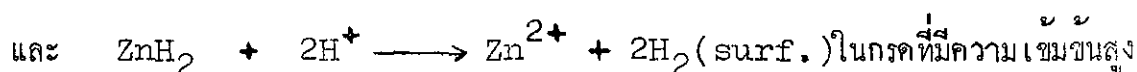
เมื่อ m_t คือมวลของโลหะสังกะสีที่ถูก oxidize ในเวลา t

m_o คือมวลเริ่มต้น

n คือค่าคงที่

และ k คือ reaction-velocity constant

เมื่อกรดเกลือมีความเข้มข้น 0.001 นอร์มัล โลหะสังกะสีถูก oxidize ได้ในอัตราที่ช้าลงเรื่อยๆ เมื่อกรดเกลือมีความเข้มข้นมากกว่า 0.001 นอร์มัล แตะขอบกว่า 0.01 นอร์มัล อัตราจะเพิ่มอย่างรวดเร็ว และเมื่อกรดเกลือมีความเข้มข้นเท่ากับ 0.01 นอร์มัลหรือมากกว่า โลหะสังกะสีครึ่งหนึ่งถูก oxidize ในเวลา 2 - 3 นาที ส่วนค่าคงที่ n นั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกรด แต่ที่มีความเข้มข้นสูง ๆ กลับมีค่าน้อยกว่า 0.5 ปฏิริยาที่เกิดขึ้นทั้งหมดนี้อาจจะเกิดขึ้นได้ใน 2 ลักษณะต่อไปนี้



W.Spring และ E.Van Aubel¹ ได้วัดอัตราการละลายของโลหะสังกะสีในกรดซัลฟูริก กรดเกลือ กรดโบรมิก และกรดไอโอดิก เขาพบว่าอัตราการละลายเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของกรด

W.Spring และ E.Van Aubel ยังได้แบ่งปฏิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างโลหะสังกะสีกับกรดออกเป็น 3 ระยะดังนี้

ระยะแรกเป็น period of induction² ซึ่งผิดปกติจากปฏิริยาธรรมดาและขึ้นอยู่กับ galvanic couples จำนวนมากมายบนพื้นผิวของโลหะ

¹J.W. Mellor, loc.cit.

²International Encyclopedia of Chemical Science, p.583
ได้ให้ความหมายคำว่า period of induction หมายถึงช่วงเวลาของอัตราเร่งของปฏิริยาเคมีจากอัตราเริ่มต้นถึงอัตราสูงสุด .

ระยะที่สองเป็นระยะที่ activity มีค่าสูงสุด

ระยะที่สามเป็นระยะที่ activity ลดลงขณะที่ความเข้มข้นของกรดน้อยลง

A.J.J.van de Velde¹ ได้พบว่า สำหรับทุก ๆ ความเข้มข้นของกรดเกิดขึ้น period of induction ที่เกิดขึ้นกับกรดเกลือยาวกว่าที่เกิดขึ้นกับกรดซัลฟูริก และ period of induction ที่เกิดขึ้นกับกรดซัลฟูริกก็ยิ่งยาวกว่าที่เกิดขึ้นกับกรดไนตริกตามลำดับ และเขายังพบว่า period of induction นี้จะสั้นลงไปอีกเมื่อมีการเติมเกลือของทองแดง (cupric salts)

A.A.de la Rice² ได้ศึกษาปฏิกิริยาระหว่างโลหะสังกะสีกับกรดซัลฟูริก พบว่าโลหะสังกะสีที่มีบริสุทธิ์มากแทบจะไม่ทำปฏิกิริยากับกรดเลย แต่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเร็วที่สุดนั้นเกิดจาก commercial zinc ทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริก 30 % และเขาได้ทดลองเติม คีบุก ตะกั่ว ทองแดง และเหล็ก ที่ทราบปริมาณลงในสังกะสีตามลำดับ พบว่าอัตราของปฏิกิริยาระหว่างโลหะสังกะสีที่มีคีบุก ตะกั่ว ทองแดง และเหล็ก ปนอยู่กับกรดซัลฟูริก มีค่าสูงกว่าอัตราของปฏิกิริยาระหว่างโลหะสังกะสีธรรมดา กับกรดซัลฟูริก

A.A.de la Rice ได้พิสูจน์ว่า สารละลายของกรดซัลฟูริกที่มีค่า conductivity ทางไฟฟ้าสูงสุดเกิด interact เร็วที่สุดกับ commercial zinc และกับโลหะสังกะสีที่มีเปอร์เซ็นต์ของเหล็กปนอยู่เล็กน้อย และเขาสรุปว่า interaction ระหว่างโลหะสังกะสีบริสุทธิ์กับกรดซัลฟูริก เจริญเป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยตรง แต่กับ commercial zinc ปฏิกิริยาสวนมากเป็นแบบ electrochemical

N.A.E.Mellon³ ได้ศึกษาปฏิกิริยาระหว่างโลหะสังกะสีกับกรด สรุปว่าโลหะสังกะสีที่มีบริสุทธิ์มาก เกิดปฏิกิริยากับกรดช้ากว่าโลหะสังกะสีธรรมดา แต่โลหะสังกะสีบริสุทธิ์เหล่านั้นจะละลายได้ในกรดถ้าสัมผัสกับโลหะปลายาคิณีหรือ electronegative metal อื่น ๆ บางตัว การละลายของโลหะสังกะสีกับกรดเกลือเข้มข้น 0.1 นอร์มัล เกิดกาซขึ้นได้ 39 ml. ในเวลา 300 นาที แต่เกิดกาซขึ้นได้ 78 ml. เมื่อโลหะสังกะสีสัมผัสกับโลหะปลายาคิณี และในเวลา 600 นาที เกิดกาซขึ้นได้ 68.4 ml. และ 103.3 ml. ตามลำดับ

¹J.W.Mellor, loc.cit.

²Ibid. p.477.

³Ibid.

H.C.Reynolds และ W.Ramsay¹ เสนอว่าโลหะสังกะสีที่บริสุทธิ์มากเกือบจะไม่ทำปฏิกิริยากับกรดเกลือ หรือกรดซัลฟิวริกเลย ปฏิกิริยาระหว่างโลหะสังกะสีกับกรดซัลฟิวริกเจือจางบางทีอาจเป็นแบบ electrolytic ซึ่งขึ้นอยู่กับที่เกิด local galvanic couples บนพื้นผิวของโลหะที่กำลังละลายอยู่ และเขาสรุปโลหะสังกะสีบริสุทธิ์ไม่ละลายในกรดบริสุทธิ์ แต่หาเติมสารที่สามลงไปโลหะหรือในกรด การละลายก็เกิดขึ้นได้โดยการเกิดวงจรไฟฟ้าขึ้น

J.M.Weeren² ศึกษาการละลายระหว่างโลหะสังกะสีกับกรด แล้วเสนอว่าความต้านทานที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาระหว่างโลหะสังกะสีบริสุทธิ์กับกรดนั้น เนื่องมาจากการเกิดฟิล์มของไฮโดรเจนหุ้มไว้โดยทันทีทันใด จึงกลายเป็นโลหะก้ำบังโลหะไม่ให้ถูก attack ด้วยกรด

P.Zecchini³ ได้ศึกษาการเติมสังกะสีอัลเฟดลงไปในปฏิกิริยาระหว่างโลหะสังกะสีกับกรดซัลฟิวริก ผลปรากฏว่า ทำให้อัตราการ attack ของกรดซัลฟิวริก ต่อโลหะสังกะสีลดลง

J.Ball⁴ ได้ศึกษาถึงผลของการเติมเกลืออัลเฟดที่ละลายได้ในน้ำ (soluble sulphates) ที่มีต่ออัตราการ attack โลหะสังกะสีโดยกรดซัลฟิวริกและเกลือคลอไรด์ที่ละลายได้ในน้ำ (soluble chlorides) ที่มีต่ออัตราการ attack โลหะสังกะสีโดยกรดเกลือ ผลปรากฏดังนี้

อัตราสูงสุดสัมพัทธ์ของโลหะสังกะสีกับเกลืออัลเฟด และกรดซัลฟิวริก กับอัตราสูงสุดที่ไม่ได้เติมเกลืออัลเฟดได้ผลดังนี้

	Mg	Al	Cr	Mn	Fe	Ag	Co	Cu	H ₂
Sulphates	0.98	1.02	1.66	2.06	2.34	9.36	18.09	21.7	37.87

อัตราสูงสุดสัมพัทธ์ระหว่างโลหะสังกะสีกับเกลือคลอไรด์และกรดเกลือ กับอัตราสูงสุดที่ไม่ได้เติมเกลือคลอไรด์ได้ผลดังนี้

	Mn	Pb	Sr	Cu	Co	Au	Pt	H ₂
Chlorides	1.62	3.15	5.07	10.96	30.68	38.90	42.19	45.48

¹Ibid.

²Ibid.

³Ibid., p.479.

⁴J.Ball, J.Chem.Soc., 71, 641 (1897).

F.Selmi¹ ได้ศึกษาพบว่าปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับกรดซัลฟูริกถูกเร่งให้เร็วขึ้นได้โดยการเติมเกลือดีเพคของแมงกานีส แมกนีเซียม หรือเหล็กลงไปเพียงเล็กน้อย แต่การเติมค่างหรืออะลูมิเนียมชนิดใดลงไปไม่มีผลมาก

อัตราการเกิดการออกซิเจน

Limanowski² ได้ศึกษาอัตราของปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับโปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่มีกรดซัลฟูริกอยู่ด้วย โดยใช้วิธี Duboscq colorimeter แต่แปรผันความเข้มข้นของสารละลายโดยขอบเขตจำกัดที่แคบคือ โปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.0005-0.0015 นอร์มัล ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.329-1.12 นอร์มัล และกรดซัลฟูริก 0.0536-0.1072 นอร์มัล โดยสังเกตสมการนี้

$$\frac{dx}{dt} = k_1 b(1-x) + k_2 ax(1-x)$$

เมื่อ a และ b คือความเข้มข้นเริ่มต้นของโปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนตและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ x คือส่วนของโปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่เปลี่ยนไป (และยังสัมพันธ์กับความเข้มข้นของแมงกานีสออกไซด์ ซึ่งเชื่อว่าเกิดขึ้นในขั้นที่หนึ่ง) ระหว่างการ reduce ของเปอร์แมงกาเนตออกไซด์ (MnO_4^-)

เขาพบอีกว่า การเพิ่มความเข้มข้นของไฮโดรเจนออกไซด์จะทำให้อัตราของปฏิกิริยาลดลง แต่แมงกานีสออกไซด์กลับส่งเสริมปฏิกิริยา และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูง ๆ จะเกิด inhibitory effect ซึ่งเขาลงความเห็นว่า มีการเกิด complex ขึ้นในแบบ Mn^{++} , $(H_2O_2)_4$ ซึ่งจะไม่ป้องกันการเกิดแมงกานีสจากการ interact กับเปอร์แมงกาเนตออกไซด์ สมการอัตราของ Limanowski นี้อาจจะใช้ได้สอดคล้องกับผลการทดลองในวงที่แคบ และใช้ไม่ได้ในปฏิกิริยาทั่ว ๆ ไป

Riesenfeld³ ได้ศึกษาอัตราของปฏิกิริยาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับโปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนต โดยการวัดอัตราของปฏิกิริยาจากเวลาที่สีของโปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนตจางหายไปอย่างสมบูรณ์ พบว่าเมื่อความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกและโปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนตคงที่ แต่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

¹J.W.Mellor, loc.cit.

²Wladyslaw Limanowski, Roezniki Chem., 12, 519-35 (1932).

³E.H.Riesenfeld, Z. anorg. allgem. Chem., 218, 257-66 (1934).

เพิ่มขึ้นจนถึงอัตราสูงสุด เมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีความเข้มข้นประมาณ 0.005 นอร์มัล แล้วอัตราลดค่าลงจนถึงอัตราต่ำสุด เมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีความเข้มข้นประมาณ 0.5 นอร์มัล และแล้วอัตราจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้สูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อความเข้มข้นของเปอร์มังกาเนตและกรดเปลี่ยนไป แต่ที่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้ค่าอัตราสูงสุดและต่ำสุดยังคงไม่เปลี่ยนแปลง การเพิ่มความเข้มข้นของเปอร์มังกาเนตก็จะเพิ่มอัตราของปฏิกิริยาด้วย ในทำนองเดียวกันการเพิ่มความเข้มข้นของกรดก็จะไปเพิ่มอัตราของปฏิกิริยาได้ในสภาพที่ใกล้เคียงกับอัตราสูงสุด และจะไปหน่วง (retard) ปฏิกิริยาได้ในสภาพที่ใกล้เคียงกับอัตราต่ำสุดอีกเช่นกัน

Riesensfeld ได้เสนอแนะว่า ที่ equilibrium สารละลายมีทั้ง H_2O_2 และ H_4O_4 ดังสมการ

$$2\text{H}_2\text{O}_2 \rightleftharpoons \text{H}_4\text{O}_4$$

เขาสันนิษฐานว่าที่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 0.005 นอร์มัล เปอร์ออกไซด์อยู่ในลักษณะเป็นโมเลกุลที่ไม่แตกตัวเลย และที่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 0.5 นอร์มัล เกิดมี polymerized molecule อยู่มาก อัตราของปฏิกิริยาของ polymerized molecule ได้รับการพิจารณาในแง่ที่ทำให้ปฏิกิริยาเกิดช้าลงมากเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราของปฏิกิริยาธรรมดา การหน่วงปฏิกิริยาของกรดซัลฟูริกที่มีสภาพใกล้เคียงกับอัตราต่ำสุดของปฏิกิริยานั้น มีการลงความเห็นว่าเกิด stabilising effect ของ polymerized molecule

Bailey และ Taylor¹ ได้ศึกษาการหน่วง (retardation) ของปฏิกิริยาเคมีในปฏิกิริยาระหว่างโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต กับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายของกรด ผลปรากฏว่าที่ความเข้มข้นต่ำ ๆ ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (0.0005-0.00125 นอร์มัล) อัตราการคนมีผลเพียงเล็กน้อยต่ออัตราของปฏิกิริยา และที่ความเข้มข้นสูง ๆ ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อัตราการคนมีผลอย่างมากมาย ความจริงข้างล่างนี้ได้มาจากการสังเกต แต่ยังไม่มีความหมายสิ่งเหล่านี้จนเป็นที่พอใจเลย เขาจึงเสนอความคิดเห็นดังนี้

- (1) เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตและกรดซัลฟูริกคงที่ แต่ความเข้มข้น

¹Kenneth C. Bailey and George T. Taylor, J. Chem. Soc., 994-999 (1937).

ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นทีละน้อย พบว่าอัตราของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจนถึงอัตราสูงสุดเมื่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 0.005 นอร์มัล แล้วอัตราของปฏิกิริยา ลดลงจนถึงอัตราต่ำสุดที่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 0.16 นอร์มัล และแล้วอัตราของปฏิกิริยา ก็เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ยังคงสูงขึ้นเรื่อยๆ

(2) เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (มีความเข้มข้นต่ำกว่า 0.001 นอร์มัล) คงที่ อัตราของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก แต่มีแนวโน้มว่าอัตราของปฏิกิริยาจะกลับมาคงที่ที่ความเข้มข้นสูงๆของกรดซัลฟิวริก

(3) เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (มีความเข้มข้นสูงกว่า 0.02 นอร์มัล) คงที่ อัตราของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจนถึงอัตราสูงสุดแล้วลดลงจนถึงอัตราต่ำสุดในขณะที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเพิ่มขึ้น และในที่สุดอัตราของปฏิกิริยาก็เพิ่มขึ้นอีกที่ความเข้มข้นสูงๆของกรดซัลฟิวริก

(4) มังกานีสไอออน (Mn^{++}) กระตุ้นปฏิกิริยาได้เมื่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์น้อยกว่า 0.005 นอร์มัล แต่มีผลเพียงเล็กน้อยที่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ประมาณ 0.16 นอร์มัล

(5) อัตราของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต แต่ (อย่างน้อยที่สุดที่ความเข้มข้นสูงๆของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์) ไม่เป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต

Fouinat¹ ได้ทำการศึกษานวลของ pH ที่มีต่อการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต เรื่องอัตราการสลายตัวนั้นติดตามได้โดยการวัดปริมาณของกรดอะซิเจนที่เกิดขึ้น เริ่มต้นด้วยการใช้สารละลายเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 0.056 โมลาร์ซึ่งเตรียมได้ด้วยการทำให้เจือจางลงด้วยน้ำกลั่นที่ stabilize ด้วยกรดซัลฟิวริก เติมสารละลายโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตเข้มข้น 1.15×10^{-4} โมลาร์ตามลงไป แล้วเติมกรดทรีป เบสตามลงไปอย่างรวดเร็วอีก ผลปรากฏว่า

ถ้าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีความเข้มข้นมากกว่า 1.2×10^{-2} โมลาร์ อัตราการสลายตัว

¹France Fouinat, Compt. Rend., 226, 1619-21 (1948).

ไม่ขึ้นอยู่กับโรเดียมไฮดรอกไซด์ t_{50} (เวลาที่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สลายตัวไปได้ 50 %) คือ 25 นาที และมีมังกานีสไดออกไซด์เกิดขึ้น

ถ้าโรเดียมไฮดรอกไซด์มีความเข้มข้นระหว่าง 1.2×10^{-2} กับ 0.318×10^{-2} โมลาร์ อัตราของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นในขณะที่ความเข้มข้นของโรเดียมไฮดรอกไซด์ลดลง t_{50} จะลดลงจาก 25 ถึง 4 นาที และมีมังกานีสไดออกไซด์หรือ ตะกอนสีเหลืองปนน้ำตาลเกิดขึ้นด้วย

ถ้าโรเดียมไฮดรอกไซด์มีความเข้มข้นน้อยกว่า 0.318×10^{-2} โมลาร์ และกรดลูปริกมีความเข้มข้นน้อยกว่า 1×10^{-4} โมลาร์ t_{50} คือ 2-4 นาที และมีมังกานีสไดออกไซด์ซึ่งเป็นตะกอนสีเหลืองปนน้ำตาลเกิดขึ้นด้วย

ถ้ากรดลูปริกมีความเข้มข้นในช่วง 1×10^{-4} ถึง 1.3×10^{-4} โมลาร์ t_{50} คือ 12 นาที การสลายตัวเป็นไปอย่างสมบูรณ์. pH สุดท้าย คือ 7-6.7 และไม่มีมังกานีสไดออกไซด์เกิดขึ้นเลย

เมื่อใช้กรดลูปริกที่มีความเข้มข้นมากกว่า 1.3×10^{-4} โมลาร์ การสลายตัวที่เกิดขึ้นจะไม่สมบูรณ์ ทั้ง degree ของการสลายตัวอย่างสมบูรณ์จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้น ถ้ากรดลูปริกมีความเข้มข้น 1.34×10^{-4} โมลาร์ การสลายตัวของปฏิกิริยาจะสมบูรณ์ได้ถึง 80 % แต่การสลายตัวจะเหลือเพียง 30 % ถ้าความเข้มข้นของกรดลูปริกเป็น 1.38×10^{-4} โมลาร์

ถ้าเติมกรดลูปริกลงไปก่อนสารละลายโปตัสเซียมเปอร์มังกานेटก็จะไปช่วยป้องกันการเกิดโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์โดยบาง และจากข้อมูลที่ได้เมื่อนำไปเขียนกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเวลา แสดงให้เห็นว่าคอนเริ่มต้นกราฟเป็นเส้นตรง ซึ่งแสดงถึงการสลายตัวอย่างรวดเร็วแบบปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) และตัวเริ่มต้นที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่นั้นเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากแล้วตั้งแต่วินาทีแรก และต่อมาเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย

Fouinat¹ ได้ศึกษาถึงผลของความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโปตัสเซียมเปอร์มังกานेटที่มีต่ออัตราการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ด้วยโปตัสเซียมเปอร์มังกานेटโดยการวัดปริมาตรของการออกซิเจนที่เกิดขึ้น จากการศึกษพบว่า เมื่อโปตัสเซียมเปอร์มังกานेट

¹France Fouinat, Compt. Rend., 228, 1593-5 (1949).

มีความเข้มข้นตั้งที่ 1.15×10^{-4} โมลาร์ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีความเข้มข้นแปรผัน
อยู่ในช่วง $0.0173 - 0.469$ โมลาร์ อัตราการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มี 2
period ที่แตกต่างกัน อัตราการสลายตัวในตอนเริ่มต้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงอัตราสูงสุด และ
หลังจากนั้นอัตราการสลายตัวก็จะลดลงอย่างสม่ำเสมอเกือบจะเป็นฟังก์ชันเส้นตรงของเวลา period
แรกอัตราการสลายตัวขึ้นกับความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต สำหรับ period ที่สอง
อัตราการสลายตัวสามารถนำมาสร้างสมการ kinetics ได้ 2 สมการดังนี้

(1) สำหรับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 0.053 โมลาร์

$$\frac{d[O_2]}{dt} = k [KMnO_4]^{3/2} [H_2O_2]^{1/2} [H_2O_2]_0$$

สมการนี้แสดงให้เห็นว่า อัตราการเกิดก๊าซออกซิเจนยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นเริ่มต้นของไฮโดรเจน
เปอร์ออกไซด์ $[H_2O_2]_0$ และ

(2) สำหรับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า 0.045 โมลาร์

$$\frac{d[O_2]}{dt} = k [H_2O_2]^{3/2} [(KMnO_4) - k]$$

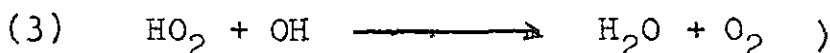
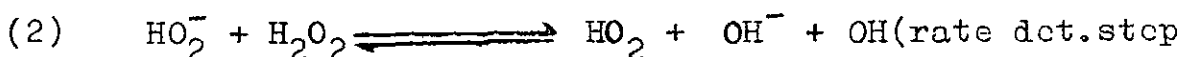
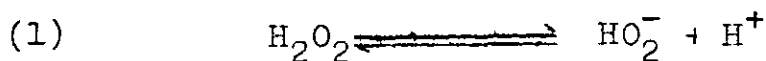
สมการทั้งสองนี้ไม่ได้แสดงว่าเป็นปฏิกิริยา heterogeneous ที่พื้นผิวของมังกานีสไดออกไซด์เลข

Fouinat และ Magat¹ ได้ศึกษาอัตราการเกิดก๊าซออกซิเจนจากสารละลายเจือจาง
ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นในช่วง $0.0177 - 0.59$ โมลาร์ ซึ่งมีโปตัสเซียม
เปอร์มังกาเนตเข้มข้น $0.211 \times 10^{-4} - 2.3 \times 10^{-4}$ โมลาร์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์
เข้มข้น $0 - 0.0187$ โมลาร์ หรือ กรดซัลฟูริก $0 - 2.0 \times 10^{-4}$ โมลาร์โดย
ทำการศึกษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่าอัตราการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีความแตกต่างอย่างมาก
สองช่วงคือ ในตอนเริ่มต้นอัตราการสลายตัวเกิดเร็วมาก และตามด้วยอัตราการสลายตัวที่ช้า จึงเชื่อว่า
มีปฏิกิริยา 2 ปฏิกิริยาเกิดขึ้นต่อเนื่องกัน ซึ่งจะสมมติเรียกชื่อว่าปฏิกิริยา A และปฏิกิริยา B ตาม
ลำดับ โดยที่ปฏิกิริยา A เกิดขึ้นเร็วมาก และเชื่อว่าเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่โดยมี free radical
เช่น HO_2 หรือ OH เกิดขึ้น Abel² เสนอกลไกการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

¹France Fouinat and Michel Magat, J.Chim.Phys., 47, 514-22, (1950).

²E. Abel, Monatsh., 83, 422-39 (1952).

ถึงขนาดนี้



จึงสันนิษฐานว่าเกิดขึ้นระหว่างปฏิกิริยา reduction ของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตโดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้มังกานีสไดออกไซด์ ภาวะออกซิเจนและโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ออกมา จำนวนก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้นโดยปฏิกิริยา A นี้ หลายครั้งปรากฏว่ามีจำนวนมากกว่าผลที่ได้จากการคำนวณทาง stoichiometry ของปฏิกิริยา reduction ของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต อัตราการเกิดก๊าซออกซิเจนสูงสุดของปฏิกิริยา A เป็นฟังก์ชันเส้นตรงของความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต และเมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.295-0.472 โมลาร์ อัตราการเกิดก๊าซออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นตามกำลังความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตซึ่งมีค่ามากกว่าหนึ่ง และเราอาจสรุปได้ว่าเมื่อทั้งโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีความเข้มข้นสูงๆ ปฏิกิริยาอาจจะเกิดขึ้น และจากการปฏิบัติจริงๆ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะสลายตัวไหมดม

ปฏิกิริยา B ที่เกิดขึ้นตามมา เกิดขึ้นช้ากว่าปฏิกิริยา A มาก ซึ่งคาดว่าปฏิกิริยานี้เกี่ยวข้องกับพื้นผิวของ colloid ของมังกานีสไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิกิริยา reduction ของมังกานีสไดออกไซด์ สำหรับในภาวะที่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีความเข้มข้นมากกว่า 0.059 โมลาร์ และโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตมีความเข้มข้นตามที่กำหนดให้ อัตราการเกิดก๊าซออกซิเจนของปฏิกิริยา B นี้เท่ากับ $k [\text{H}_2\text{O}_2]^{\frac{1}{2}}$ ซึ่ง k คือ ฟังก์ชันเส้นตรงของความเข้มข้นเริ่มต้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และอาจสรุปได้ว่า อัตราการเกิดก๊าซออกซิเจนนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไฮโดรเจนออกซิเจนที่เกิดขึ้นช้าๆ โดยทั่วไปแล้วอัตราจะถูกขัดขวาง (inhibit) อย่างแรงโดยไฮโดรเจนออกไซด์

Fouinat และ Walch¹ ได้ศึกษาการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยการวัดปริมาตรของก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้น หลังจากการเติมโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตลงไปในวุ้น

¹France Fouinat and Walch, J. Chim. Phys., 50, 527-44 (1953).

เวลาไม่ถึงวินาทีจะถูก reduce ไปเป็นมังกานีสไดออกไซด์ซึ่งเป็น colloidal oxide ของมังกานีส parameter ที่ศึกษาในครั้งนี้มีดังนี้

- (ก) ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
- (ข) ความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต
- (ค) ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือกรดซัลฟูริก
- (ง) อุณหภูมิ
- (จ) พื้นที่ผิว / ปริมาตรของแก้ว
- (ฉ) การคน

โดยศึกษาที่ 25.2 ± 0.05 องศาเซ็นติเกรดกับความเข้มข้นในช่วง

- (1) โซเดียมไฮดรอกไซด์คงที่ที่ 0.79×10^{-2} โมลาร์ หรือ 1.14×10^{-4} โมลาร์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ $1.77-0.59$ โมลาร์ โปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต $2.3 \times 10^{-4}-0.216$ โมลาร์หรือ
- (2) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ กับโซเดียมไฮดรอกไซด์ $0-1.87 \times 10^{-2}$ โมลาร์หรือ กับกรดซัลฟูริกปริมาณเล็กน้อยแทนโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตามสภาวะในข้อ (1) อัตราการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีโซเดียมไฮดรอกไซด์ตามความเข้มข้นที่กำหนดไว้โดยคงอัตรา การสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงในครั้งแรก ก็จะแปรผันไปเรื่อยๆจนถึงค่าคงที่ และก็ลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนอัตราการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่ำ มีความสัมพันธ์อย่างสูงกับการเริ่มต้นของการสลายตัว และในที่สุดการสลายตัวลดลงอย่างรวดเร็ว เวลาที่ใช้สำหรับการสลายครึ่งหนึ่งจะลดลงในขณะที่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น เป็นที่น่าสังเกตว่า induction period มีอยู่เฉพาะในกรณีที่โปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตมีความเข้มข้นต่ำเท่านั้น การสลายตัวจะสลายไบน้อยเมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีความเข้มข้นสูงแต่โปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตมีความเข้มข้นต่ำและสีของสารละลายจะจางหายไปพร้อมกับ colloid แล้วการสลายตัวก็จะหยุดลง ปฏิกริยาจะถูกเร่งให้เร็วมากในกรณีที่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีความเข้มข้นต่ำ ในส่วนที่โปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตมีความเข้มข้นสูงและโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความเข้มข้นต่ำ การสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงจะสลายตัวได้เร็วกว่าที่มีความเข้มข้นต่ำ

ตามสภาวะในข้อ (2) ปฏิริยาการสลายตัวถูกชักขวาง (inhibit) เป็นสัดส่วนกับปริมาณของไฮโดรเจนไฮดรอกไซด์หรือกรดซัลฟริกที่เติมลงไป อัตราการสลายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วง 9-50 องศา อัตราการคน (stirring rate) ในช่วง 45-120 รอบต่อนาทีไม่มีผลต่ออัตราการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้น 5.9×10^{-2} โมลาร์ ซึ่งมีไฮโดรเจนไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1.87×10^{-2} โมลาร์อยู่ด้วยเลย ในส่วนที่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีความเข้มข้นสูง การเปลี่ยนแปลงในอัตราการคนและพื้นที่ผิว (surface area) ไม่มีผลต่ออัตราการสลายตัวเลย แต่การเพิ่มอัตราการคนหรือพื้นที่ผิวจะมีผลต่อการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่ำเท่านั้น

จากข้อมูลของการทดลอง เมื่อนำมาเขียนกราฟแสดงการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเวลา ปรากฏว่าเป็นเส้นโค้ง (curve) ที่ไม่สม่ำเสมอและ induction period บางครั้งก็เกิดขึ้นและบางครั้งก็ไม่เกิดขึ้น ในบางเส้นโค้งพบว่ามีอัตราการสลายตัวแตกต่างกันเกิดขึ้นถึง 4 ช่วง (period) คือช่วงที่ 1 เป็น induction period ช่วงที่ 2 เป็นอัตราสูงสุด ช่วงที่ 3 เป็นเนิน (plateau) และช่วงที่ 4 เป็นส่วนที่ อัตราลดลงตามลำดับ ส่วนในการทดลองที่อุณหภูมิสูงๆ induction period ไม่เกิดขึ้น เพราะว่าที่อุณหภูมิสูงๆ นั้นเส้นโค้งเริ่มต้นที่จุดสูงสุดเมื่อเวลาเริ่มต้น

ลำดับที่ของปฏิกิริยา (order of reaction) สรุปได้ดังนี้คือ เมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีความเข้มข้นต่ำ ลำดับที่ของปฏิกิริยาที่วัดระหว่างเกิดการสลายตัวมากที่สุดเป็น 1.5 เมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีความเข้มข้นสูงที่สุด ลำดับที่ของปฏิกิริยาเป็น 0 และในช่วงที่อัตรากำลังลดลง ลำดับที่ของปฏิกิริยาเป็น 0.5 แต่ลำดับที่ของปฏิกิริยาที่วัดในตอนเริ่มต้นของปฏิกิริยาเมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีความเข้มข้นระหว่างความเข้มข้นสูงและต่ำจะมีค่ามากกว่า 2.5 แต่ไม่ถึง 4 และในช่วงที่อัตรากำลังลดลงจนถึงสิ้นสุดของปฏิกิริยาลำดับที่เป็น 0.5 แต่ในการศึกษาครั้งนี้ไม่สามารถคำนวณหาค่า rate constant ของปฏิกิริยาได้

การสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นอาจสรุปได้ว่า เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) ที่แตกต่างกัน 2 ปฏิกิริยา (อัตราการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในตอนเริ่มต้นเกิดเร็วมากและตามด้วยอัตราการสลายตัวที่ช้า) ซึ่งจะสมมุติว่าเป็นปฏิกิริยา A และ B ตามลำดับ โดยที่ปฏิกิริยา A เกิดขึ้นใน homogeneous phase เริ่มต้นด้วย

ผลของการ reduction ของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต ส่วนปฏิกิริยา B เกิดขึ้นใน heterogeneous phase ที่เกิดขึ้นติดต่อกับการสลายตัวของ colloid ของมังกานีส-ไดออกไซด์

Abel¹ ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีเปอร์มังกาเนตเป็นคะตาลิสต์ พบว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังสมการข้างล่างนี้



และอัตราการเกิดกาซออกซิเจนเป็นส่วนกับความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แต่สำหรับอัตราสูงสุดที่หาได้นั้น อยู่ในสภาวะที่มีความเข้มข้นของ เปอร์มังกาเนตเพิ่มขึ้นในขณะที่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นด้วย และการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะสิ้นสุดลงเมื่อเปอร์มังกาเนตถูกทำลายหมด

Baertschi² ได้ศึกษาจุดกำเนิดของกาซออกซิเจนในปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต โดยใช้ 0^{18} ซึ่งทำการศึกษาในช่วงอุณหภูมิ 0-45 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อยู่ในช่วง 0.13-0.4 โมลาร์ ผลการศึกษาพบว่า ในจำนวนของกาซออกซิเจนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาของ H_2O_2 , KMnO_4^{18} และ H_2O^{18} และจากปฏิกิริยาของ H_2O_2 , KMnO_4 และ H_2O ไม่มีความแตกต่างกันใน $0^{18}/0^{16}$ เลข บั้มแสดงให้เห็นว่ากาซออกซิเจนที่เกิดขึ้นโคมาจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

¹E. Abel, Monatsh., 81, 681-4 (1950).

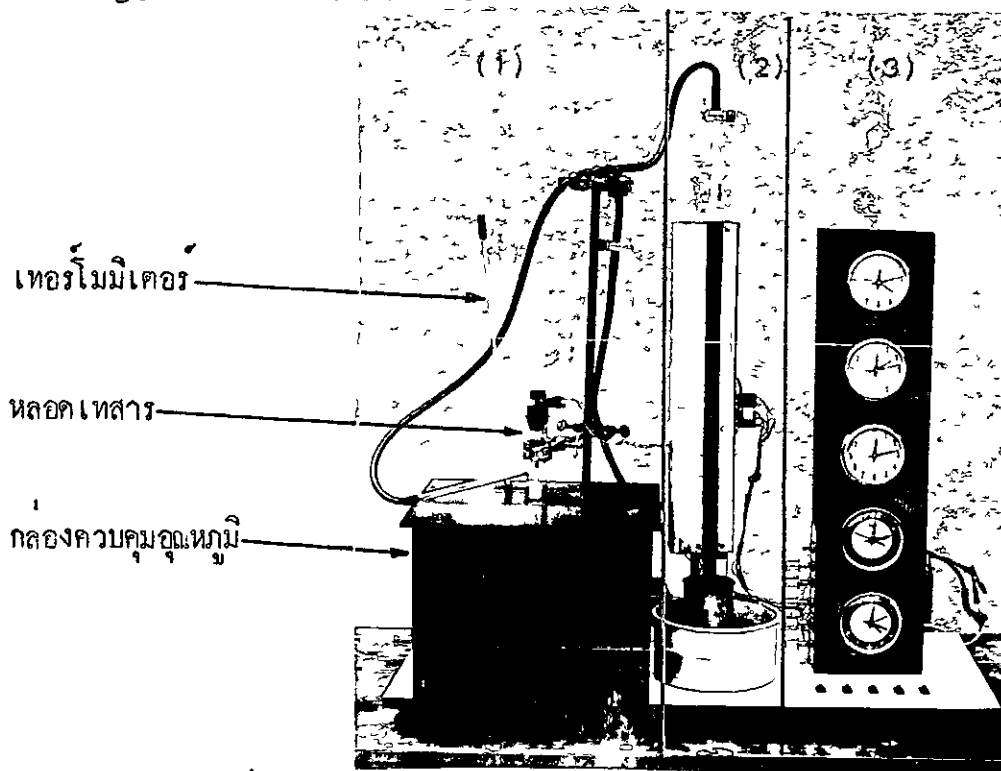
²P. Baertschi, Experientia, 7, 215-6 (1951).

การสร้างเครื่องมือ

วิธีสร้างเครื่องมือ

การสร้างเครื่องมือสำหรับใช้ศึกษาอัตราการเกิดกาซแบ่งออกเป็น 3 ส่วน (ดังรูป 2) ดังนี้

1. ภาชนะทดลอง
2. เครื่องมือเก็บกาซ
3. เครื่องมือรับเวลา



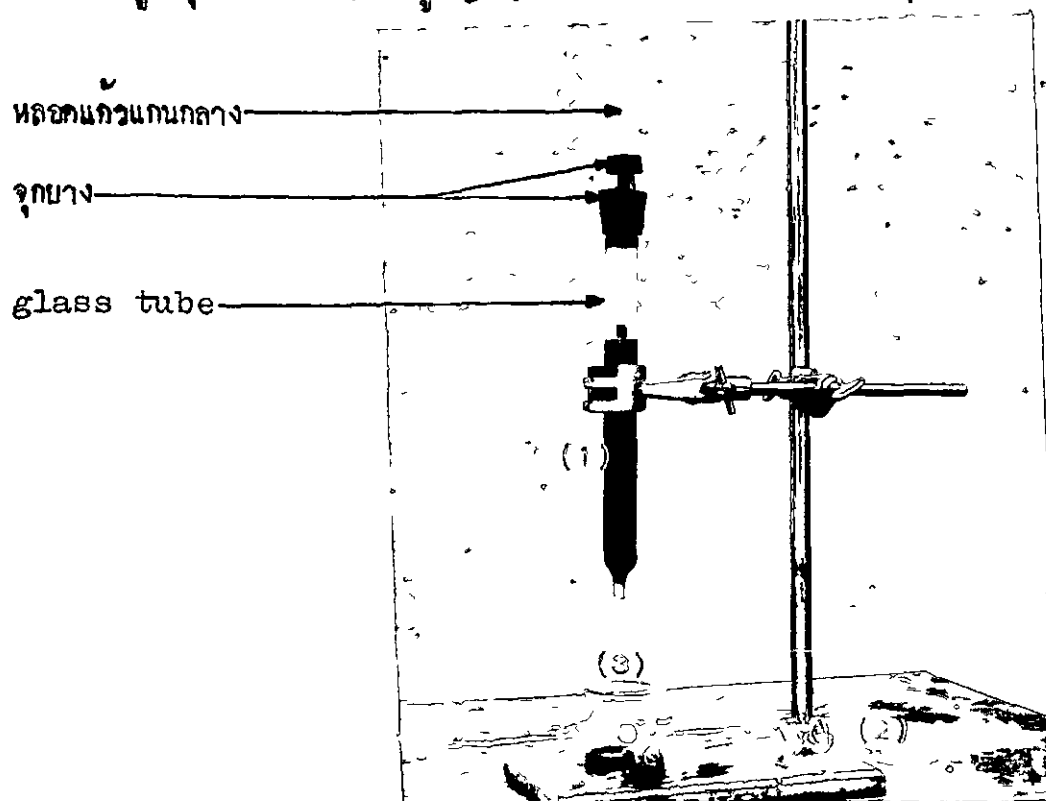
รูป 2 เครื่องมือสำหรับใช้ศึกษาอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนและกาซออกซิเจน

1. ภาชนะทดลอง ในส่วนนี้แบ่งการสร้างออกเป็นสองตอนคือ

ก. หลอดเทสาร

ข. กลองควบคุมอุณหภูมิ

ก. หลอดเตสาร หลอดเตสารนี้ประกอบด้วย glass tube ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.00 ซม. ยาว 21.50 ซม. สวมติดอยู่กับจุกยางที่มีหลอดแก้วสอดทะลุจุกยางโดยตลอด และมีสวิตช์ติดอยู่บนจุกยางด้วย (ตามรูป 3) ซึ่งดำเนินการสร้างเป็นขั้น ๆ ดังนี้



รูป 3 หลอดเตสาร (1) syringe (2) beaker (3)

(1) เจาะจุกยาง No.11¹ ตรงจุกกึ่งกลางให้ทะลุด้วยเครื่องมือเจาะจุกยาง (rubber borer) No.3 นำสายยางขนาด No.201² ใส่เข้าไปตามรูที่เจาะนี้จนทะลุเหลือให้โผล่ทางด้านบนและด้านล่างของจุกยางเล็กน้อยดังรูป 4 ก. เจาะด้านล่างของจุกยางด้วยเครื่องมือเจาะจุกยาง No.12 ให้ลึกเข้าไปประมาณ 0.25 นิ้ว แล้วใช้มีดตัดรอบจุกยางตรงรอยเจาะดังรูป 4 ข.

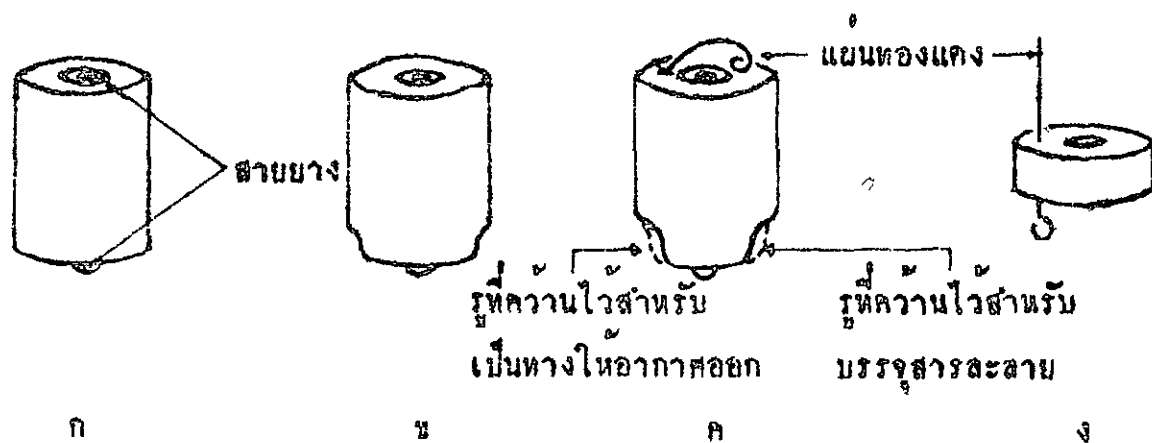
ใช้มีดคว้านด้านล่างสุดของจุกยางทั้งสองข้าง ให้ข้างหนึ่งมีรูขนาดใหญ่กว่าอีกข้างหนึ่งเล็กน้อย (ดูรูป 4 ค. ประกอบด้วย) ซึ่งรูใหญ่มีไว้สำหรับบรรจุสารละลาย รูเล็กสำหรับเป็นทางให้อากาศออก

¹ จุกยาง No.11 ของบริษัทประณีตอุตสาหกรรม.

² สายยาง (latex surgical tubing) No.201 ของบริษัท Reichhold Chemical Inc., Ohio, U.S.A.

เสียบแผ่นทองแดงขนาดกว้าง 0.25 นิ้ว ยาว 1.25 นิ้ว บนจุกยางให้เหล็กลายแผ่นทองแดง
อีกข้างหนึ่งมัดไว้กับจุกยางดังรูป 4 ค.

ตัดจุกยางที่มีขนาดเท่าเดิมอีกจุกหนึ่ง หน้า 0.50 นิ้ว แล้วเสียบด้วยแผ่นทองแดงขนาดเท่า
กับรูป 4 ค. และเจาะรูตรงจุกกึ่งกลางของจุกยางนี้ให้ทะลุด้วยเครื่องมือเจาะจุกยาง No.2 ดังรูป
4 ง.

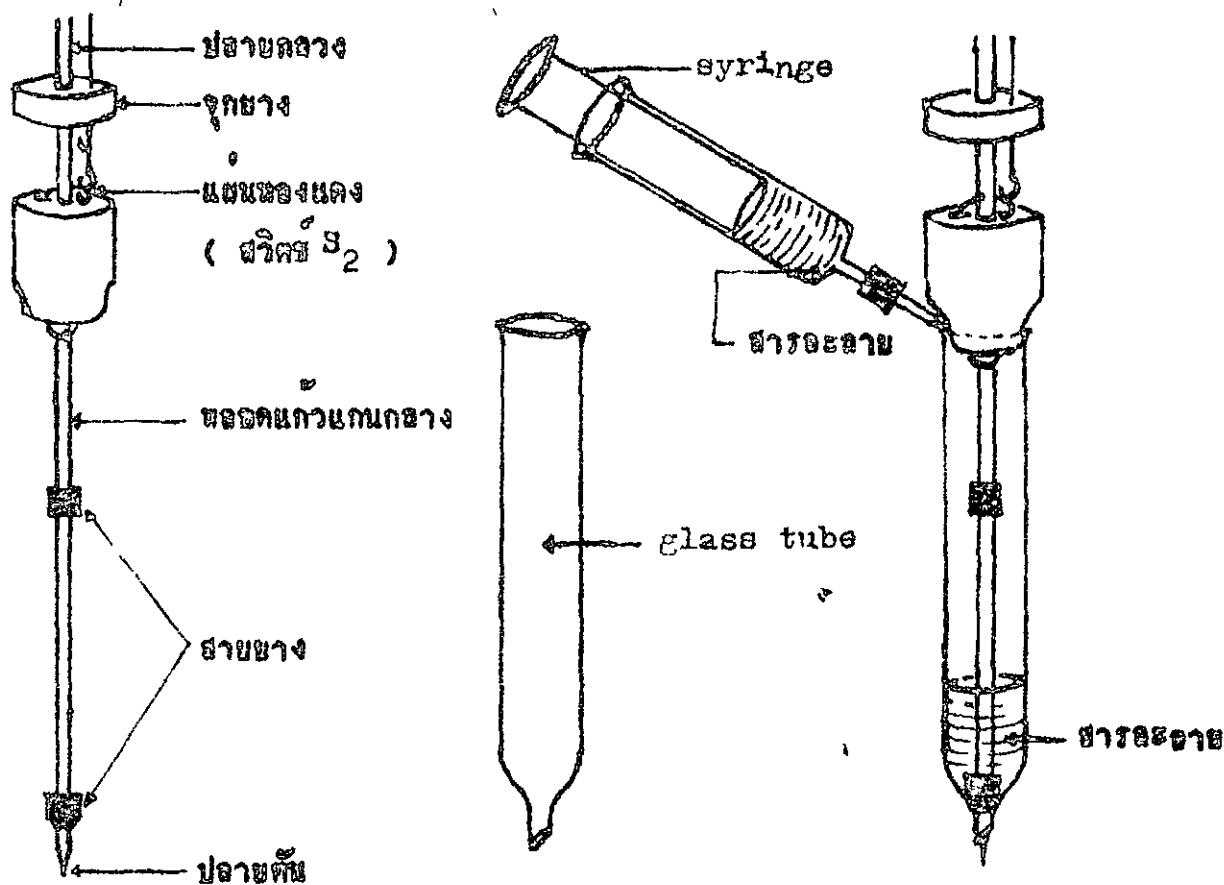


รูป 4 จุกยางที่เจาะและตัดในลักษณะต่างๆ

(2) นำหลอดแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.30 ซม. ยาว 36.00 ซม. ทำให้
ปลายด้านหนึ่งโค้งด้วย bunsen burner แล้วนำไปสวมจุกยางตามรูป 4 ง. ให้ปลายด้านกลวง
ซึ่งเป็นด้านบนอยู่ห่างจากจุกยาง 3.00 นิ้ว แล้วนำจุกยางที่สวมหลอดแก้วแล้วนี้ ไปสวมรูของจุกยาง
ตามรูป 4 ค. ให้แผ่นทองแดงที่จุกยางทั้งสองด้านติดกันพอดี ใช้สายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.05
นิ้ว ยาว 0.50 นิ้ว 2 ท่อน สวมหลอดแก้วนี้ (ดูรูป 5 ก. ประกอบด้วย) ให้ปลายหนึ่งอยู่ตรงจุก
กึ่งกลางหลอดแก้ว ส่วนอีกท่อนหนึ่งสวมติดกับปลายหลอดแก้วด้านบน (หลอดแก้วด้านบน) นำหลอดแก้ว
ดังกล่าวสวมเข้าไปใน glass tube ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.00 ซม. ยาว 23.50 ซม.
ให้จุกยางด้านล่างเป็นจุกอุดปาก glass tube พอดี และให้ปลายหลอดแก้วด้านบนนี้ยังมีสายยาง
สวมอยู่ที่ปลายจุกปลาย glass tube สนิท ดังรูป 5 ค.

(3) นำสายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.05 นิ้ว ยาว 1.00 นิ้ว สวมต่อกับปลาย
syringe ขนาด 20 ml. อีกปลายหนึ่งของสายยางก็ต่อกับหลอดแก้วด้านบนเส้นผ่าศูนย์กลาง

0.30 ซม. สำหรับใช้เป็นเครื่องมือวัดการละลายของสารละลายในหลอดทดสอบที่ความไวทางรังของจุกยางในรูป 4 ค.



ก. การประกอบหลอดแก้วกั้นกลาง ข. glass tube ค. การบรรจุสารละลายลงในหลอดทดสอบ

รูป 5 แสดงส่วนประกอบของหลอดทดสอบและการบรรจุสารละลายลงในหลอดทดสอบ

(4) ทดสอบการรั่วของของเหลวในหลอดทดสอบและการรั่วของอากาศจากภายนอก จักหลอดทดสอบให้อยู่ในลักษณะดังรูป 5 ค. แล้วใช้ syringe บรรจุน้ำลงไปหลอดทดสอบประมาณ 25.0 ml. ตามรูที่ความไว น้ำที่รั่วของแก๊สที่สายยางสวมปลายหลอดแก้วด้านที่บนน้ำไม่รั่วแล้วนำหลอดทดสอบนี้ไปขยกลงไปในคนโท ให้จุกยางปิดปากคนโทสนิท และจกเครื่องมือให้ดังรูป 2 หน้า 26 คณสั่งแยกกระดืบน้ำใน buret ด้านที่น้ำลดลงแสดงว่าอากาศจากภายนอกรั่วเข้าไปแทนที่น้ำใน buret หากปากคนโทหรือทางรูของจุกยางที่สวมหลอดแก้วได้ ค้องแก้ไขให้ใช้การได้ก็สามารถนำ

เอาหลอดทดสอบนี้ไปใช้ทดลองต่อไปได้

(5) ทดสอบแบ่งมาตรการการวัดปริมาตรของของเหลวที่จะบรรจุลงในหลอดทดสอบบน glass tube โดยใช้ syringe คำนวณมาบรรจุในหลอดทดสอบประมาณ 25 ml. ชีดเส้นระดับน้ำในหลอดทดสอบไว้บน glass tube ทุกครั้ง แล้วจึงหลอดแก้วแกนกลางขึ้น น้ำก็จะไหลออกจาก glass tube ลงไปใน beaker ที่จัดรองรับไว้ (ดังรูป 3 หน้า 27) วัดปริมาตรของน้ำด้วยกระบอกวงขนาด 50 ml. แล้วใช้ตะไบขีดเส้นบน glass tube ตามปริมาตรที่ต้องการ แต่เมื่อนำไปทดสอบหาปริมาตรซ้ำอีก ผลปรากฏว่า ปริมาตรของของเหลวที่ไหลออกมาจากหลอดทดสอบเป็น 25.5 ml.

(6) ทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของ ของเหลวภายใน buret อันเนื่องมาจากการทดสอบจากหลอดทดสอบลงไปที่ภาชนะกับอีกสารหนึ่งในคอนโท เริ่มต้นด้วยการบรรจุน้ำ 25.5 ml. ลงไปในหลอดทดสอบและจัดเครื่องมือ ดังรูป 2 หน้า 26 บันทึกปริมาตรภายใน buret ไว้แล้วเริ่มจึงหลอดแก้วแกนกลางของหลอดทดสอบขึ้น น้ำก็จะไหลลงไปในคอนโท บันทึกปริมาตรของน้ำใน buret อีกครั้งหนึ่ง แล้วนำมาเปรียบเทียบกับที่บันทึกไว้ครั้งแรก ผลปรากฏว่าการทดสอบจากหลอดทดสอบลงไปในคอนโททำให้ปริมาตรของของเหลวภายใน buret เปลี่ยนไป 0.2 ml.

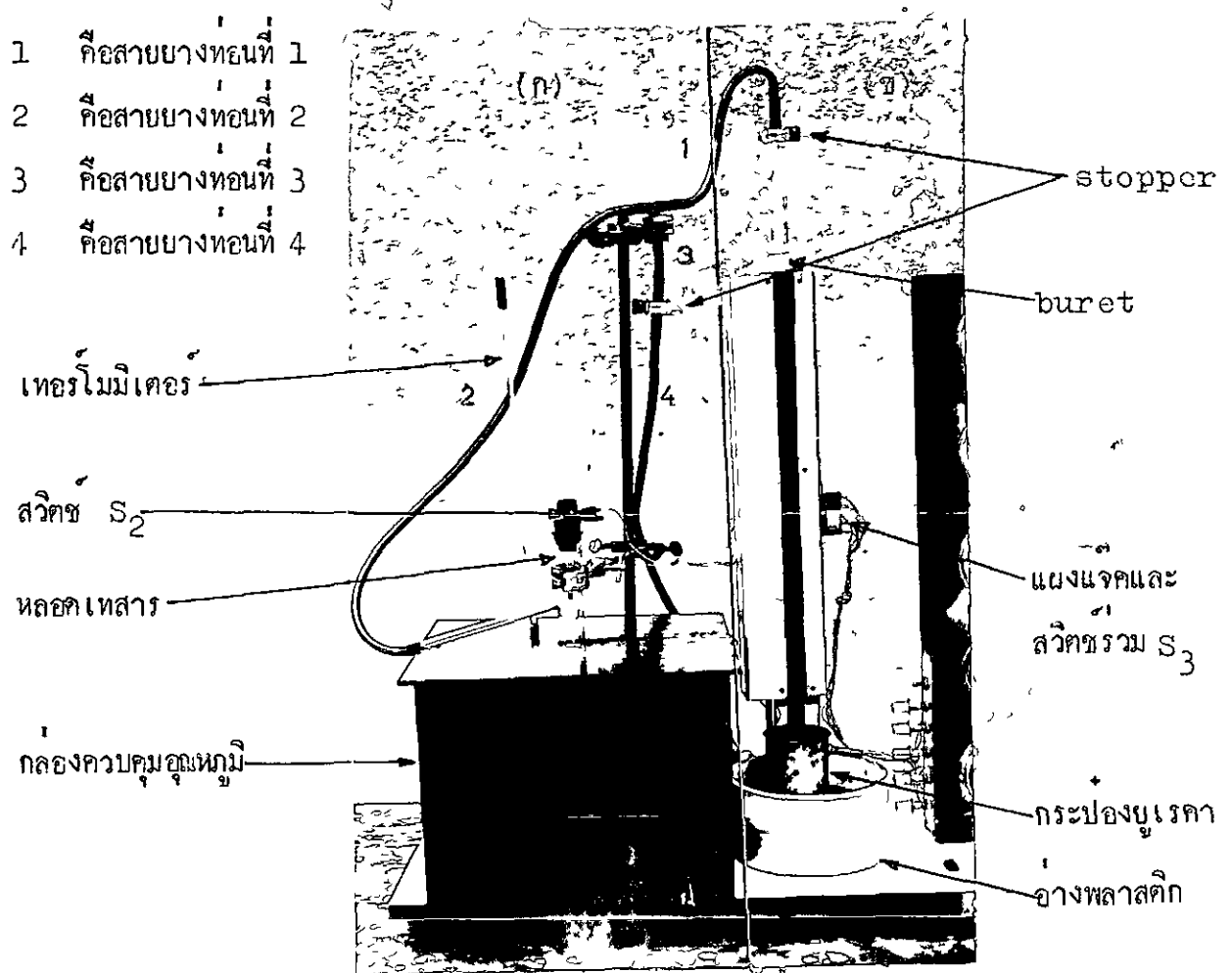
(7) ทดสอบการปฏิบัติงานของสวิทช์ S_2 (รูป 9 หน้า 38 ประกอบด้วย) โดยจัดเครื่องมือดังรูป 2 หน้า 26 ณ จุดนี้แผ่นทองแดงบนจุกยางทั้งสองที่ทำหน้าที่เป็นสวิทช์จะต้องแตะกันพอดี พอเปิดสวิทช์ S_1-S_8 นาฬิกาทุกเรือนจะต้องหยุดพร้อมกันหมด แล้วจึงหลอดแก้วแกนกลางของหลอดทดสอบขึ้น (เพื่อทดสอบลงไปในคอนโท) แผ่นทองแดงที่เคยแตะกันอยู่ก็จะแยกออกจากกันทันที ทำให้กระแสไฟฟ้าไม่ไหลที่จะทำงานได้ (ดูคำอธิบายประกอบวงจรในหน้า 39-40) นาฬิกาทุกเรือนเริ่มต้นเดินพร้อมกันและทดลองซ้ำอีกจนแน่ใจว่าสวิทช์ S_2 ทำงานได้ผลดี

ข. ทดลองควบคุมอุณหภูมิ

(1) ตัดแผ่นโพลีโพรไพลีนขนาดหนา 1.50 นิ้ว กว้าง 11.50 นิ้ว ยาว 11.50 นิ้ว 6 แผ่น ใช้ไม้ค้ำวางตรงกึ่งกลางแผ่นโพลีโพรไพลีนออกเป็นวงกลม ให้มีขนาดพอดีกับก้นถังพลาสติก ขนาดจุน้ำ 1 แกลลอน จำนวน 5 แผ่น จัดแผ่นโพลีโพรไพลีนทั้ง 5 แผ่นด้วยกาว latex แล้วใช้ของหนักๆ ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง ส่วนแผ่นโพลีโพรไพลีนที่เหลืออีกแผ่นหนึ่งนำมาใช้เป็นฝาปิด โดยใช้ไม้ค้ำค้ำจากขอบด้านหนึ่งให้มีขนาดกว้าง เท่ากับความกว้างของคอนโทจนถึงจุดกึ่งกลางของแผ่น

โพลีโพรไพลีน แล้วความจุที่กลางออกเป็นวงกลมขนาดเท่ากับคอนโทและเจาะรูบนแผ่นโพลีโพรไพลีนด้วยเครื่องเจาะจุดกรวด No.2 1 รู สำหรับเสียบเทอร์โมมิเตอร์

ตัดไม้ฉัตรชนิดบางให้มีขนาดกว้างยาวกว่าแผ่นโพลีโพรไพลีนเล็กน้อยจำนวน 6 แผ่นมาประกบเป็นกล่องไม้หุ้มโพลีโพรไพลีนอีกชั้นหนึ่ง ตัดและเจาะรูตามบนเช่นเดียวกับฝาของแผ่นโพลีโพรไพลีน แล้วอัดกล่องโพลีโพรไพลีนเข้ากับกล่องไม้ด้วยกาว latex โดยแยกอัดเป็นสองส่วนคือ ตัวกล่องและฝากล่องตามลำดับ (ดังรูป)



รูป 6 แสดงการทำงานของกล่องควบคุมอุณหภูมิ (ก) และเครื่องมือเก็บก๊าซ (ข)

2. เครื่องมือเก็บก๊าซ ใช้วิธีเก็บก๊าซที่เกิดขึ้นโดยการแทนที่น้ำใน buret จากข้างบน

ลงไป (ตามรูป 6 หน้า 31) ซึ่งมีลักษณะการร่างดังนี้

(1) นำไม้ลักษณะหนา 2.00 นิ้ว กว้าง 2.00 นิ้ว ยาว 19.00 นิ้ว ไปเจาะรูตรงกึ่งกลางตามความหนาของไม้ขนาดกว้าง 0.75 นิ้ว ลึก 1.10 นิ้ว ตัดความยาวของไม้ เพื่อนำเอา buret ขนาด 100 ml. มาไว้ในรูนี้ เจาะรูด้านข้างของไม้ควบลอก ส่วนขนาด 0.05 นิ้ว 5 รู ผ่านรูที่เจาะไว้ทะลุทั้งสองข้าง โดยที่จุดแรกอยู่ห่างจากขอบ ด้านบน 5.50 นิ้ว จุดที่ 2-5 ห่างกันจุดละ 3.00 นิ้ว แล้วคว้านรูที่เจาะไว้ทางด้านซ้ายมือเข้าไปอีกครึ่งหนึ่งของความหนาของไม้ที่เหลือสำหรับติดตั้งหลอดไฟ และคว้านรูด้านขวามือเพื่อฝัง LDR. (light dependent resistor) ไว้ทุกรูอีกเช่นกัน

ปิดท่อนไม้กับไม้สักอีกแผ่นหนึ่งที่มีขนาดหนา 0.50 นิ้ว กว้าง 5.00 นิ้ว ยาว 6.00 นิ้ว และปิดแผ่นไม้กับเสา stand เหล็กซึ่งเสา stand เหล็กยึดอยู่กับฐานไม้ อีกคอกหนึ่ง ฐานไม้เป็นไม้ลักษณะหนา 0.60 นิ้ว กว้าง 15.00 นิ้ว ยาว 32.00 นิ้ว และปูพื้นทับด้วยแผ่นฟอไมกาสีขาวอีกชั้นหนึ่ง

(2) เจาะรูขนาด 0.30 นิ้วบนฐานไม้มีระยะห่าง 17.00 นิ้วและ 6.00 นิ้ว จากขอบด้านขวามือและด้านหน้าตามลำดับ ฝังแป้นเกลียวเหล็กรูปหกเหลี่ยม (nut) 2 ตัวไว้บน ฐานไม้ด้านกลางตรงกับรูที่เจาะเพื่อใช้ยึดและเป็นทางเลื่อนขึ้นลงของเหล็กเกลียว (bolt) ที่ใช้ ยึดแผ่นไม้หมุน ซึ่งแผ่นไม้สร้างขึ้นโดยฝังเหล็กเกลียวขนาด 0.30 นิ้ว ยาว 2.50 นิ้ว ไว้บน ไม้แปดเหลี่ยมด้านเท่ากว้างด้านละ 2.00 นิ้ว

(3) ติดและเดินสายไฟกับหลอดไฟขนาด 6 โวลต์ 1.5 วัตต์ จำนวน 5 หลอด แบบขนานกันตามวงจรหลอดไฟในรูป 9 หน้า 38 ซึ่งได้รับกระแสจากหม้อแปลงไฟโดยตรงและ ฝัง LDR กับเดินสายไฟ (ตามวงจรในรูป 9 เช่นกัน) ไปรวมกันที่แผงแจกทั้ง 5 ตัว ต่อสวิตช์ S_2 และสวิตช์รวม S_3 ไว้บนแผงนี้ด้วย แล้วใช้แผ่นอะลูมิเนียมที่มีความยาวเท่ากับไม้ที่เจาะรูตามข้อ (1) หักเป็นรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้ามุมบนไม้ด้านข้างทั้งสองด้านและใช้แผ่นอะลูมิเนียมเล็กๆ อีก แผ่นหนึ่งหักเป็นรูปตัวยูนิตกับไม้ที่เจาะรูตรงกลางเพื่อปิด buret และยื่นตัวลงไปจมอยู่ในกระป๋อง บุเรคา¹ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.75 นิ้ว สูง 5 นิ้ว ซึ่งตั้งอยู่ในอ่างน้ำพลาสติกขนาดเส้นผ่า ศูนย์กลาง 7 นิ้วบนฐานไม้อีกคอกหนึ่ง

¹ กระป๋องบุเรคาของบริษัท W.M. Welch' Chicago, U.S.A.

(4) ตัดสายยาง No.203¹ มา 4 ท่อนมีความยาวดังนี้ 12.00 นิ้ว, 2 พุค 5.00 นิ้ว, 4.00 นิ้ว และ 1 พุค 8.00 นิ้ว ตามลำดับ โดยเอาสายยางท่อนที่ 1-3 ตอกกับแต่ละด้านของหลอดแก้วรูปตัวที (T tube) ส่วนสายยางที่เหลืออีกข้างหนึ่งของแต่ละท่อน ตอกกับแขนของคอนโท ปลาย buret และตอกกับ stopper (stopper ในที่นี้ใช้ stopper ของ buret ที่แตกหรือชำรุดส่วนอื่นมาดัดใช้แทน) ส่วนสายยางท่อนที่เหลือข้างหนึ่งตอกกับอีกปลายหนึ่งของ stopper และอีกข้างหนึ่งเหลือไว้ สำหรับใช้คูก้นน้ำให้เข้าไปใน buret (ตามรูป 6 หน้า 31) และทดสอบสายยางทั้งสี่ท่อนว่ามีการรั่วหรือซึมของอากาศที่จุดใดบ้างโดยจับเครื่องมือ ตามรูป 6 แล้วใช้สายยางท่อนที่สี่คูก้นน้ำให้เข้าไปใน buret พร้อมกับปรับระดับน้ำใน buret ให้อยู่ที่ขีดปริมาตรหนึ่ง ปล่อยทิ้งไว้ 5-10 นาที ถ้าระดับน้ำใน buret ยังคงเดิมอยู่แสดงว่า ไม่มีการรั่วหรือซึมที่จุดใดเลย

3. เครื่องมือจับเวลา แบ่งการสร้างและการทดสอบออกเป็นสามส่วนดังนี้

- 1 การสร้างคูก้นน้ำและการพันขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า
- 2 การตรวจสอบการทำงานของเครื่องมือ
- 3 การทดสอบการทำงานของเครื่องมือสำหรับใช้ศึกษาอัตราการเกิดกาซ โดยแยก

อธิบายการสร้างและการทดสอบแต่ละส่วนดังนี้

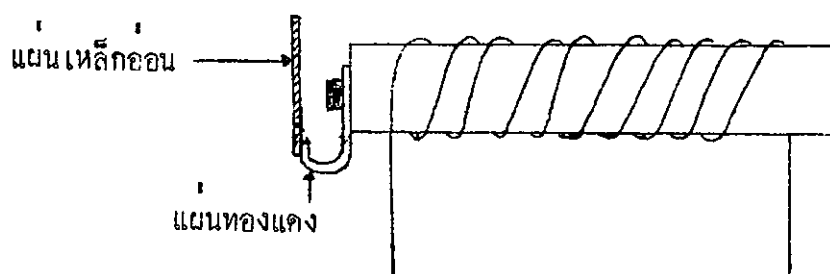
1. การสร้างคูก้นน้ำและการพันขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

นำไม้สักขนาดหนา 1.00 นิ้ว กว้าง 5.00 นิ้ว ยาว 6.00 นิ้ว มา 5 แผ่นใช้เครื่องกลึงคว้านตรงกลางให้ทะลุทั้งสองข้างเป็นรูวงกลมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.50 นิ้ว 3 แผ่น และ 3.75 นิ้ว 2 แผ่นตามลำดับ ทาขอบไม้ทั้ง 5 แผ่นด้วยกาว latex ฉัดต่อกันโดยใช้แม่แรงจับไว้คันทิ้งหนึ่ง แล้วนำมาประกบเป็นคูก้นน้ำที่มีขนาดกว้าง 6.00 นิ้ว ยาว 25.00 นิ้ว ลึก 3.00 นิ้ว ตั้งไว้บนฐานไม้ และที่ด้านข้างแถบกลางของคูก้นน้ำตัดไม้ขอกแล้วติดแผ่นอะลูมิเนียม ขนาดกว้าง 2.50 นิ้ว ยาว 8.00 นิ้ว ซึ่งเจาะรูไว้สำหรับติดตั้งตัวและ variable resistor จำนวน 5 ตัวเข้าไปแทน

ใช้ตะปูเกลียวขนาดยาว 0.75 นิ้ว เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.15 นิ้ว เป็นแกนเหล็กแล้ว

¹ สายยาง (latex surgical tubing) No.203 ของบริษัท Ricchhold Chemical Inc., Ohio, U.S.A.

พันด้วยลวดทองแดงเบอร์ 34 จำนวน 500 รอบ ตัดแผ่นทองแดงบางๆมาโค้งดังรูป 7 แล้วติดแผ่นเหล็กอ่อนกับแผ่นทองแดงด้วยกาว sony อีกตอหนึ่ง



รูป 7 แสดงการพันขลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

2. การต่อวงจรการทำงานของเครื่องมือ

ลำดับการต่อวงจรการทำงานของเครื่องมือมีดังนี้

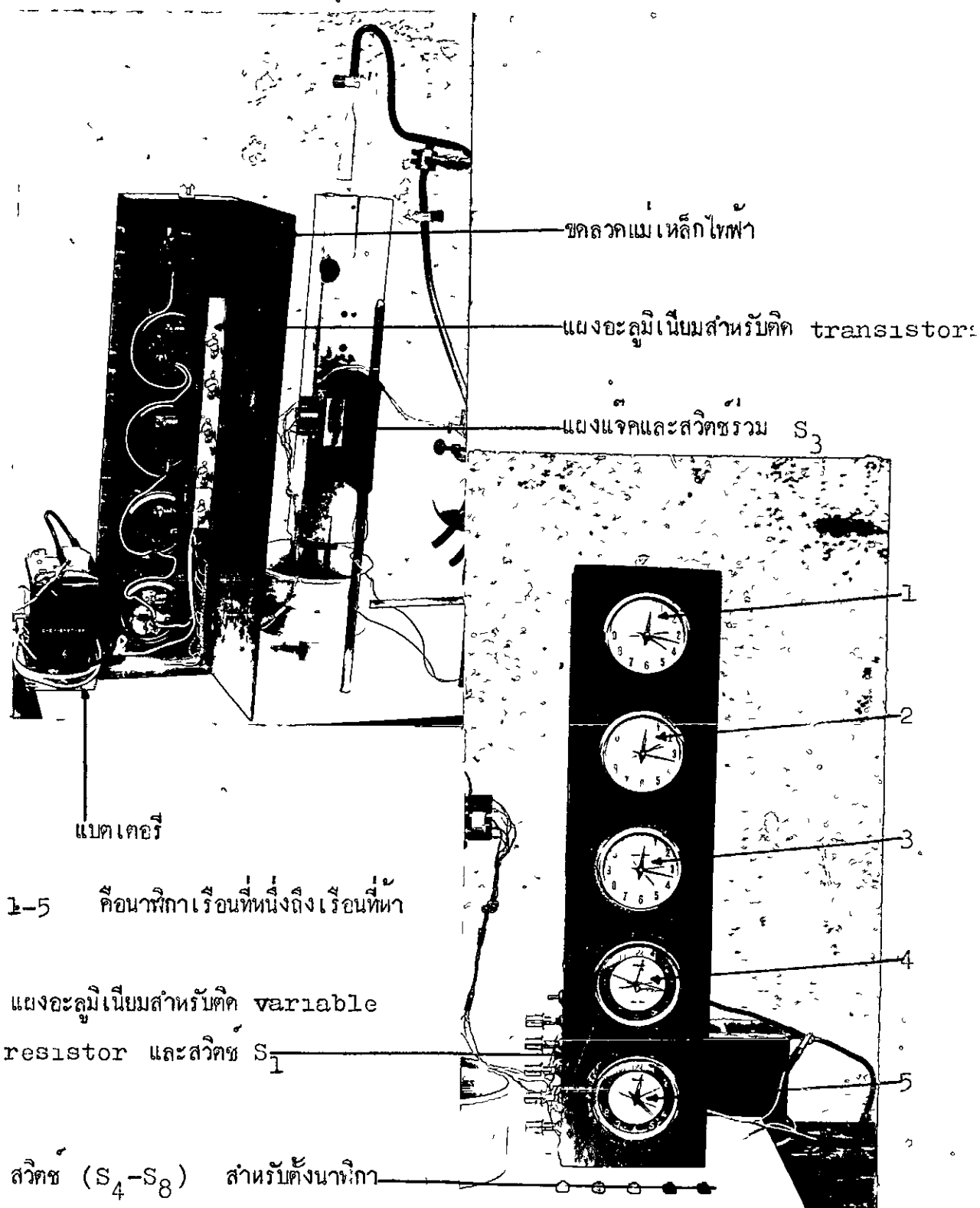
(1) ต่อ transistor 2SB 364 กับ transistor 2SC 490 แบบ direct coupling (ตามวงจรในรูป 9 หน้า 38) โดยใช้ collector ของ transistor 2SB 364 ต่อกับ base ของ transistor 2SC 490 และ emitter ของ transistor 2SB 364 ต่อกับ collector ของ transistor 2SC 490 การต่อทั้ง 5 จุดเหมือนกันหมด คือ transistors เหล่านี้ไว้นบนแผ่นอะลูมิเนียม แล้วติดไว้นบนของตู้ไม้ (ดังรูป 8 หน้า 35)

(2) ติดขลวดแม่เหล็กไฟฟ้าไว้นบนแท่นเครื่องจักรคานบนของนาฬิกาปลุกชนิดที่มีเข็มวินาที ในตำแหน่งที่แผ่นเหล็กสปริงอยู่ห่างจากตัวจักรกรอกเพียงเล็กน้อย ติดเหมือนกันทั้ง 5 เรือน แล้วติดนาฬิกาทั้งหมดไว้กับตู้ไม้ (ดังรูป 8)

(3) ติด variable resistor ขนาด 5 กิโลโห์มจำนวน 5 ตัว กับสวิตช์ S_1 ไว้นบนแผ่นอะลูมิเนียมซึ่งติดไว้กับตู้ไม้คานข้าง (ดังรูป 8)

(4) ติดสวิตช์ S_4-S_8 ไว้นบนฐานไม้นบนตู้ไม้

(5) เดินสายไฟต่อจุดต่างๆที่เหลือให้ครบวงจรตามรูป 9 หน้า 38



รูป 8 ด้านหลังและด้านหน้าของเครื่องมือจับเวลา (แสดงการคิต transistor การคิตขลวคแม่เหล็กไฟฟ้า , การคิต variable resistors และสวิตช)

3. การทดสอบการทำงานของเครื่องมือสำหรับใช้ศึกษาอัตราการเกิดภาพ

จัดเครื่องมือดังรูป 2 หน้า 26 (ดูวงจรรูป 9 หน้า 38 ประกอบด้วย) เปิดสวิตช์ S_1-S_8 ณ จุดนี้นาฬิกาควรจะหยุดเดินหมดทุกเรือน แต่ถ้านาฬิกาเรือนใดยังเดินต่อไปไม่หยุด ต้องปิดสวิตช์รวม S_3 ก่อน แล้วจัดวางตำแหน่งของขลวดแม่เหล็กไฟฟ้า แผ่นทองแดง และแผ่นเหล็กขอนใหม่ แล้วเปิดสวิตช์รวม S_3 ตรวจสอบใหม่อีกจนกระทั่งนาฬิกาหยุดหมด การหยุดเดินของนาฬิกาในลักษณะนี้เรียกว่า ถูกบังคับด้วยสวิตช์รวม (S_3) ส่วนในลักษณะที่ถูกบังคับด้วยแสงนั้น ทดสอบได้โดยการปิดสวิตช์ S_2 และ S_3 แต่สวิตช์ตัวอื่นๆเปิดหมด แสงก็จะผ่าน buret ที่ไม่มีอะโรมาซีนไปกระทบ LDR นาฬิกาทุกเรือนก็จะถูกบังคับให้หยุดเดินพร้อมกันหมดเช่นเดียวกันอีกและทดสอบซ้ำอีกหลายครั้งจนแน่ใจว่าการบังคับให้นาฬิกาหยุดเดินนั้นใช้ได้ แล้วปิดสวิตช์ S_1 และ S_9 เมื่อเลิกการทดลอง

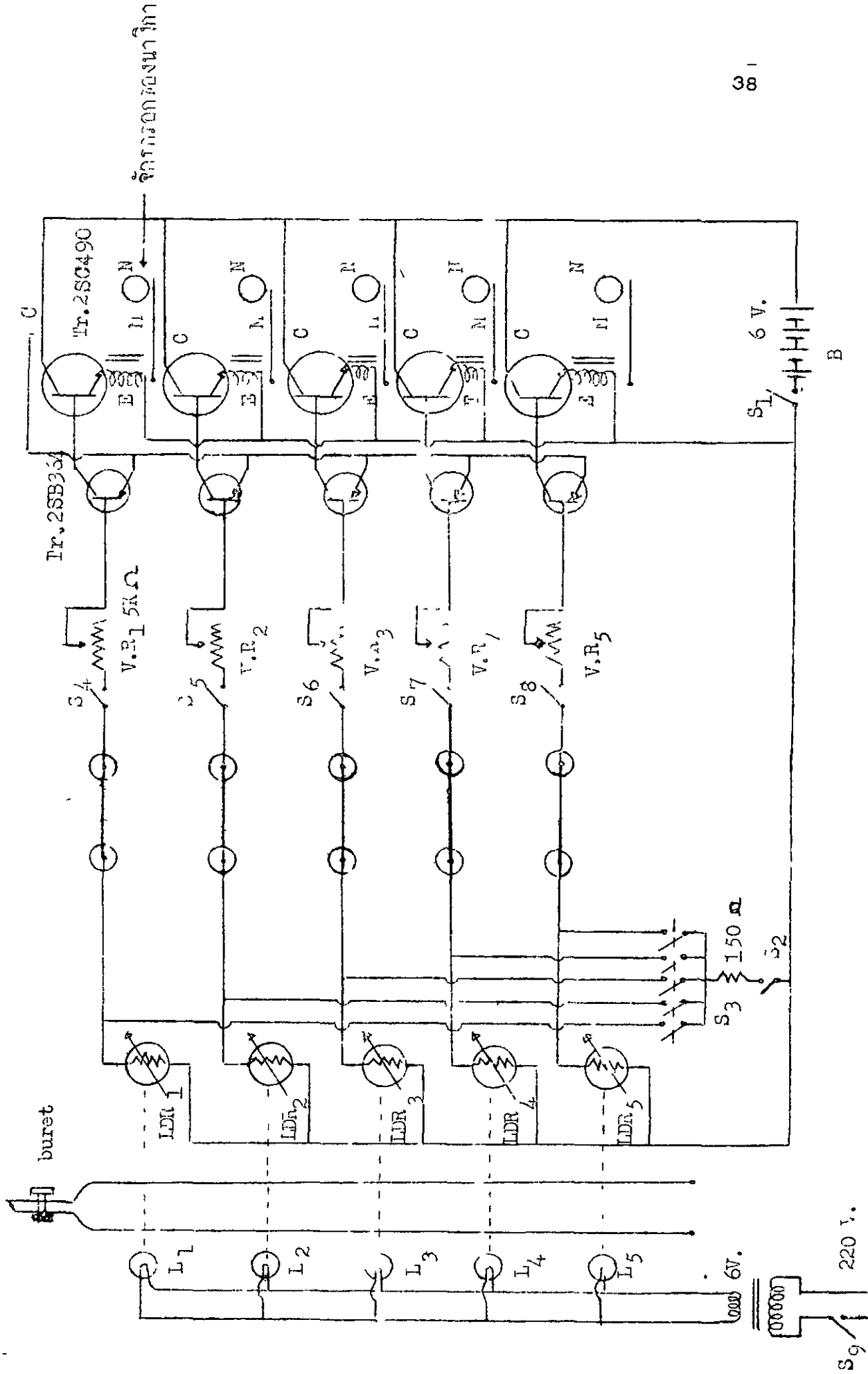
การผสมน้ำกับหมึกสีดำเพื่อกันแสง เหน้าใส่ลงในอ่างแล้วค่อยๆหยดน้ำหมึกสีดำ (pilot) ลงไปด้วย eye-dropper คุ้ณเอาน้ำผสมน้ำหมึกเข้าไปใน buret แล้วเปิดสวิตช์ S_1, S_4-S_8 และ S_9 ตามลำดับ ถ้านาฬิกาหยุดเดินแสดงว่าแสงผ่านน้ำใน buret ไปกระทบ LDR ได้มากจนสามารถทำงานได้ คือบังคับให้นาฬิกาหยุดเดิน ต้องปิดสวิตช์ S_1 และ S_9 ก่อนแล้วหยดหมึกสีดำเพิ่มลงไปอีกและทดสอบซ้ำเหมือนเดิมจนกระทั่งเปิดสวิตช์ S_1 และ S_9 แล้วนาฬิกาไม่หยุดเดินแสดงว่าจุดนี้น้ำผสมหมึกสีดำมีความเข้มข้นที่จะใช้กันแสงมิให้ผ่านไปกระทบ LDR จนทำงานได้ จากการทดลองพบว่าปริมาณน้ำหมึกที่จะใช้กันแสงได้ดีจะต้องใช้หมึกสีดำ 10 ml. ค่อน้ำครึ่งลิตร

ทดสอบการวัดปริมาตร ณ จุดที่แสงไฟจากหลอดไฟผ่านไปกระทบ LDR โดยได้กำหนดไว้ว่าในการศึกษารั้งนี้จะเก็บการที่เกิดขึ้น 75 ml. จาก buret ขนาด 100 ml. โดยแบ่งการวัดปริมาตรออกเป็น 5 จุด จุดละ 15 ml. และทำการทดสอบโดยการจัดเครื่องมือดังรูป 2 หน้า 26 เปิดสวิตช์ S_1-S_9 แล้วค่อยๆปล่อยให้น้ำใน buret ลดลงทีละน้อย โดยปล่อยให้อากาศภายนอกผ่าน stopper เข้าไปตามสายยางท่อที่ 4 (ดูรูป 6 หน้า 31 ประกอบด้วย) สังเกตจุดที่แสงผ่านไปกระทบ LDR ทำให้นาฬิกาหยุดเดินว่าตรงกับขีดปริมาตรใด ผลการทดลองครั้งตารางต่อไปนี้

ตาราง 1 แสดงผลการวัดปริมาตรของแก๊สที่เกิดขึ้น ณ จุดต่างๆ

ลำดับที่	ปริมาตร (ml.) จุดที่วัดด้วย แสงตามมาตรของ buret	ปริมาตรที่เกิดขึ้น (ml.)	ΔV (ml.)
ปริมาตร เริ่มต้น	80.0	0	14.9
1	65.1	14.9	14.8
2	50.3	29.7	15.3
3	35.0	45.0	14.9
4	20.1	59.9	14.9
5	5.2	74.8	

รูป ๑ วงจรการทำงานของเครื่องเรียงพิมพ์อัตโนมัติสำหรับวิชาการเกษตร



อธิบายการทำงานของวงจร

เมื่อเปิดสวิตช์ S_1, S_4-S_8 กระแสไฟจะไหลครบวงจร ที่ emitter ของ transistor 2SC 490 จะมีกระแสประมาณ 50-80 มิลลิแอมแปร์ ขดลวดแม่เหล็ก ไฟฟ้าที่ต่ออย่างอนุกรมอยู่ในวงจรนี้จะเกิดอำนาจแม่เหล็กบางอย่างอ่อนๆ ไม่พอที่จะดูดแผ่นเหล็กสปริง M ให้มาแตะจิกกรอก N ได้ การบังคับปริมาณของกระแสทำได้โดยการปรับค่าความต้านทานของ variable resistor ที่ต่ออนุกรมอยู่กับ base ของ transistor 2SB 364 แต่ละตัว ความต่างศักย์ที่ collector กับ emitter ของ transistor 2SC 490 แต่ละตัวจะมีค่าประมาณ 5.2 โวลต์ ความต่างศักย์ที่ LDR แต่ละตัวมีค่า 2.2 โวลต์ กระแสที่ collector ของ transistor 2SB 364 มีน้อยมากจนวัดไม่ได้

LDR เมื่อยังไม่ได้รับแสงจากหลอดไฟจะมีความต้านทานเกือบ infinity เมื่อได้รับแสงจากหลอดไฟจะมีค่าประมาณ 6-8 กิโลโอห์ม หลอดไฟ L_1-L_5 เป็นหลอดไฟขนาด 6 โวลต์ 1.5 วัตต์ เมื่อแสงจากหลอดไฟส่องถูก LDR จะทำให้กระแสที่ผ่าน LDR เพิ่มขึ้น 0.4-0.5 มิลลิแอมแปร์ เป็นผลให้กระแสที่ collector ของ transistor 2SB 364 เพิ่มขึ้นเป็น 2-3.5 มิลลิแอมแปร์ กระแสที่เปลี่ยนแปลงนี้จะเป็นผลต่อเนื่องให้กระแสที่ emitter ของ transistor 2SC 490 เพิ่มขึ้นเป็น 400-500 มิลลิแอมแปร์ และมีมากพอจนทำให้แผ่นเหล็กสปริง M ถูกดูดเข้ามาแตะจิกกรอก N ทำให้นาฬิกาหยุดเดิน

ในขณะที่เริ่มต้นทดลอง เราต้องจัดให้ระดับน้ำสีใน buret อยู่สูงและบังแสงจากหลอดไฟไว้ การตรวจสอบความเรียบร้อยของวงจรจึงทำไม่ได้ จำเป็นต้องออกแบบวงจรพิเศษเพื่อใช้แทนวงจร LDR ขณะเมื่อได้รับแสงจากหลอดไฟ วงจรนี้ประกอบด้วยสวิตช์ S_2 ความต้านทาน 150 โอห์ม ซึ่งต่ออย่างขนานกับ LDR และสวิตช์รวม S_3 (band switch) เมื่อเปิดสวิตช์ S_2 และ S_3 กระแสจะไหลผ่านความต้านทาน 150 โอห์ม ไปรวมกับกระแสเดิมที่ไหลผ่าน LDR ทำให้กระแสที่ไหลเข้าสู่ base ของ transistor 2SB 364 สูงขึ้นเป็นผลให้กระแสที่ไหลผ่านขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าสูงพอที่จะดึงดูดแผ่นเหล็กสปริง M เข้ามาแตะจิกกรอก N ได้

วงจรที่ทำงานได้สมบูรณ์นั้น เมื่อเปิดสวิตช์ S_2 และ S_3 แล้วนาฬิกาจะเดินทันที และเมื่อเปิดสวิตช์ นาฬิกาจะหยุด ถ้าวางวงจรของนาฬิกาเรือนใดชุดหนึ่ง ให้ปรับที่ variable

resistor หรือปรับตำแหน่งของแผ่นเหล็กสปริงของนาฬิกาเรือนนั้นๆ

ในการเริ่มต้นของการทดลองเราต้องการให้นาฬิกาเริ่มต้นเดินพร้อมกันกับเวลาที่สารเริ่มทำปฏิกิริยา จึงได้กดสวิทช์ S_2 ไว้ที่จุดบางของหลอดทดสอบ ซึ่งสวิทช์ S_2 จะปิดทันทีที่เราถึงหลอดแก้วแกนกลางของหลอดทดสอบเพื่อให้สารทำปฏิกิริยากัน นาฬิกาทุกเรือนจะเริ่มเดินพร้อมกัน ทำให้การจับเวลาถูกต้องยิ่งขึ้น เมื่อนาฬิกาเริ่มเดินแล้วเราต้องปิดสวิทช์รวม S_3 เสียด้วย เพราะวงจรพิเศษนี้เราไม่จำเป็นต้องใช้ต่อไป ถ้าเราไม่ปิดสวิทช์รวม S_3 จะทำให้ไฟในวงจรของนาฬิกาเรือนที่หนึ่งลัดวงจรของนาฬิกาเรือนอื่นๆ เป็นเหตุให้นาฬิกาทุกเรือนหยุดเดินพร้อมกับนาฬิกาเรือนที่หนึ่ง ทำให้เราไม่สามารถจับเวลาที่การเกิดขึ้นตามจุดทั้ง 5 ที่กำหนดไว้ได้ จึงต้องปิดสวิทช์รวม S_3 เสียด้วยทุกครั้ง ก่อนที่จะคั่นน้ำใน buret จะลดลงถึงจุดที่หนึ่งของนาฬิกาเรือนที่หนึ่ง

การตั้งนาฬิกาให้เริ่มต้นที่ถูกต้องเดียวกัน เราใช้วิธีเปิด-ปิดสวิทช์ S_4-S_8 ของนาฬิกาแต่ละเรือน

วิธีใช้เครื่องมือ

ก่อนที่จะนำเครื่องมือนี้ไปทดลอง ควรจะได้มีการตรวจสอบการทำงานของเครื่องมือแต่ละส่วนให้ดีเสียก่อนดังต่อไปนี้

- (1) ลานนาฬิกาต้องชี้ได้เต็มทุกเรือนและไม่ควรทดลองในขณะที่ลานอ่อน
 - (2) กระแสไฟจากแบตเตอรี่ต้องใช้ multimeter วัดดูแรงเคลื่อนไฟว่าว่ามีถึง 6 โวลต์หรือไม่ และไม่ควรทดลองในขณะที่มีแรงเคลื่อนไฟว่าไม่ถึง 5 โวลต์
 - (3) น้ำที่ผสมน้ำหมึกในอ่างน้ำต้องมีความเข้มข้นพอที่จะกันแสงไฟในจุดเริ่มต้นได้
 - (4) กลไกการบังคับการเดินการหยุดของนาฬิกา ต้องทดสอบทั้งการบังคับด้วยแสงไฟโดยตรงและสวิทช์รวม S_3
 - (5) สวิทช์ต่างๆต้องทำงานได้ทั้งหมดทุกตัว
- ถ้ามีส่วนหนึ่งส่วนใดของเครื่องมือทำงานไม่ได้ผลดีเต็มที่ควรปรับแก้ไขให้เรียบร้อยเสียก่อน

การใช้เครื่องมือมีลำดับขั้นตอนการปฏิบัติดังนี้ (ดูวงจรรูป 9 หน้า 38 และเครื่องมือ

รูป 2 หน้า 26 ประกอบด้วย)

(1) บรรจุสารที่หนึ่งลงในคณโท และบรรจุสารที่สองลงในหลอดเตสสาร สารทั้งสองนี้ยังไม่เหมาะสมกันจนกว่าจะจัดเตรียมเครื่องมือเสร็จเรียบร้อยตามรูป 2

(2) คัดน้ำที่มีน้ำหมึกสีดำผสมขึ้นบรรจุใน buret แล้วปรับระดับน้ำใน buret ให้มีปริมาตรตามที่ต้องการ

(3) นำปากคีมที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ S_2 ไปจับแผ่นทองแดงบนจุกบางที่หลอดเตสสาร เปิดสวิตช์ S_1, S_3-S_5 นาฬิกาหยุดเดินหมดทุกเรือน

(4) ตั้งเวลาของนาฬิกาใหม่ให้มีเวลาเริ่มต้นจุดเกิดวกันโดยเปิด-เปิดสวิตช์ S_1-S_8

(5) เตสสารได้เข้าผสมทาบฏิกิริยากัน สวิตช์ S_2 ถูกกดทันที (แผ่นทองแดงที่จุกบางแยกห่างออกจากกัน) นาฬิกาที่ถูกบังคับให้หยุดไว้จะเริ่มต้นเดินพร้อมกันหมด เวลา ณ จุดนี้จึงเป็นเวลาเริ่มต้นของการทำฏิกิริยากัน แล้วปิดสวิตช์รวม S_3 อีก กระทั่งเกิดขึ้นไอลจากคณโทเข้าไปแทนที่น้ำใน buret

(6) เมื่อปริมาตรของก๊าซที่เกิดขึ้นแทนที่น้ำใน buret และที่น้ำลดลงถึงจุดแรก-ที่ติด LDR และหลอดไฟไว้ แสงไฟก็จะผ่านเข้าไปกระทบ LDR ทันที ทำให้ LDR ลดความต้านทานในตัวลง ทำให้กระแสไฟไหลผ่าน LDR ได้มากขึ้น เป็นผลให้กระแสที่ collector ของ transistor 2SB 364 เพิ่มขึ้น และเป็นผลต่อเนื่องทำให้กระแสที่ emitter ของ transistor 2SC 490 เพิ่มขึ้นมากพอจนทำให้หลอดแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ปริงมาและจักรกรอกทำให้นาฬิกาเรือนที่หนึ่งหยุดทันที ดังนั้นจึงทำให้ทราบเวลาที่ก๊าซจำนวนนั้นเกิดขึ้นได้อย่างถูกต้องแน่นอนและการหยุดเดินของนาฬิกาเรือนอื่นๆก็เกิดขึ้นเช่นเดียวกัน

(7) บันทึกเวลากับปริมาตรของก๊าซที่วัดได้ไว้

(8) ปิดสวิตช์ S_1 และ S_9 ตามลำดับ

(9) นำผลที่ได้ไปคำนวณหาอัตราการเกิดก๊าซต่อไป

วิธีดำเนินการทดลองและผลการทดลอง

วิธีดำเนินการทดลอง

การศึกษ้อัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนและกาซออกซิเจนในครั้งนี ห้ทำการทดลองโดยใช้เครื่องมือดังต่อไปนี้

1. เครื่องมือกึ่งอัตโนมัติสำหรับศึกษ้อัตราการเกิดกาซที่สร้างขึ้น
2. เครื่องมืออย่างง่ายที่มีในห้องปฏิบัติการ

การศึกษ้อัตราการเกิดกาซไฮโดรเจน

1. เครื่องมือกึ่งอัตโนมัติสำหรับศึกษ้อัตราการเกิดกาซที่สร้างขึ้น ใช้ทำการทดลองในเงื่อนไขดังต่อไปนี้

(1) การแปรผันความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก จาก 1.07-4.17 โมลาร์¹ เมื่อ

¹ การเตรียมกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้นต่างๆเตรียมจาก sulphuric acid conc.

(B.P. grade บริษัทอุตสาหกรรมภัณฑ์ พระนคร) เข้มข้น 17.234 โมลาร์ มาทำให้เจือจางลงดังนี้

(1) เตรียมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 4.00 โมลาร์ 1.0 ลิตร โดยใช้ sulphuric acid conc. เข้มข้น 17.234 โมลาร์ 232.0 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 1.0 ลิตร

(2) เตรียมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 3.50 โมลาร์ 500.0 มิลลิลิตร โดยนำเอากรดซัลฟูริกเข้มข้น 4.00 โมลาร์ (ในข้อ (1)) มา 437.50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 500.0 มิลลิลิตร

(3) เตรียมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 3.00 โมลาร์ 3.0 ลิตร โดยใช้ sulphuric acid conc เข้มข้น 17.234 โมลาร์ 522.0 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร เป็น 3.0 ลิตร

(4) เตรียมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2.50, 2.00, 1.50 และ 1.00 โมลาร์ อย่างละ 500.0 มิลลิลิตรตามลำดับ โดยนำเอากรดซัลฟูริกเข้มข้น 3.00 โมลาร์ (ในข้อ (3)) มา 416.67 333.33, 250.00 และ 166.67 มิลลิลิตร ตามลำดับ แล้วเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 500.0 มิลลิลิตร

(5) นำเอากรดซัลฟูริกความเข้มข้นต่างๆตามข้อ (1) - (4) มาไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.196 โมลาร์ โดยใช้ bromthymol blue เป็น indicator แล้วคำนวณหาความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกใหม่ได้เป็น 4.17, 3.70, 3.11, 2.62 2.13, 1.60 และ 1.07 โมลาร์ ตามลำดับ

น้ำหนักของโลหะสังกะสีคงที่ โดยใช้การชั่งฟริกและความเป็นบรรจุลงในหลอดทดสอบ 25.5 มิลลิลิตร
 ชั่งโลหะสังกะสี¹ (L.C.)หนัก 0.50 กรัม ใส่ลงในคอนโท และดำเนินการทดลองตามการใช้
 เครื่องมือหน้า 40-41

(2) การแปรผันน้ำหนักของโลหะสังกะสีจาก 0.25-1.50 กรัม เมื่อปริมาณของกรด
 ซัลฟริกคงที่ โดยใช้โลหะสังกะสีปริมาณต่างๆกันใส่ลงในคอนโท บรรจุกรดซัลฟริก 3.11 โมลาร์
 25.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดสอบ และดำเนินการทดลองตามการใช้เครื่องมือหน้า 40-41

(3) การแปรผันปริมาณของทองแดงซัลเฟต เงินซัลเฟต และปรอทซัลเฟตที่เติมลงไป
 เป็นค่าวิสกี้ เมื่อปริมาณของกรดซัลฟริกและโลหะสังกะสีคงที่

ก. ชั่งโลหะสังกะสีหนัก 0.50 กรัม ใส่ลงในคอนโท หยดสารละลายของทองแดงซัลเฟต
 (L.C.) เข้มข้น 0-1.0 โมลาร์² ครั้งละ 0.50 มิลลิลิตร ด้วย micropipet ขนาด 1
 มิลลิลิตร (1/100) ตามลงไปอีก บรรจุกรดซัลฟริกเข้มข้น 3.11 โมลาร์ 25.5 มิลลิลิตร
 ลงในหลอดทดสอบและดำเนินการทดลองตามการใช้เครื่องมือหน้า 40-41

ข. ชั่งโลหะสังกะสีหนัก 0.50 กรัม และเงินซัลเฟต³ (L.C.) ในปริมาณต่างๆกัน

¹ Zinc powder (L.C.), May & Baker Ltd., Dagenham, England.

² การเตรียมสารละลายทองแดงซัลเฟต เตรียมจาก cupric sulphate gran.
 "CuSO₄ · 5H₂O" (L.C. grade, May & Baker Ltd., Dagenham, England) ดังนี้

(1) เตรียมสารละลายทองแดงซัลเฟตเข้มข้น 1.00 โมลาร์ 100.0 มิลลิลิตร
 โดยใช้ทองแดงซัลเฟตหนัก 24.9690 กรัม ละลายในน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 100.0
 มิลลิลิตร

(2) เตรียมสารละลายทองแดงซัลเฟตเข้มข้น 0.50 โมลาร์ 50.0 มิลลิลิตร โดย
 ใช้สารละลายทองแดงซัลเฟตเข้มข้น 1.00 โมลาร์ มา 25.0 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร
 เป็น 50.0 มิลลิลิตร

(3) เตรียมสารละลายทองแดงซัลเฟตเข้มข้น 0.10, 0.05 และ 0.01 โมลาร์
 อย่างละ 25.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ โดยทำให้เจือจางลงเช่นเดียวกับข้อ (2)

³ Silver sulphate "Ag₂SO₄" (L.C.), May & Baker Ltd., Dagenham,
 England.

ตั้งแต่ 0-0.1559 กรัม (± 0.0002) ใส่ลงในคณโฑ บรรจุกรดซัลฟูริกเข้มข้น 3.11 โมลาร์ 25.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดสอบ และดำเนินการทดลองตามการใช้เครื่องมือหน้า 40-41

ค. ชั่งโลหะสังกะสีหนัก 0.50 กรัม และปรอทคลอไรด์¹ (L.C.) ในปริมาณต่างกันตั้งแต่ 0-0.1483 กรัม (± 0.0002) ใส่ลงในคณโฑ บรรจุกรดซัลฟูริกเข้มข้น 3.11 โมลาร์ 25.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดสอบ และดำเนินการทดลองตามการใช้เครื่องมือหน้า 40-41

(4) การแปรผันอุณหภูมิจาก 15-40°C เมื่อปริมาณของกรดซัลฟูริกและโลหะสังกะสีคงที่ โดยชั่งโลหะสังกะสี 0.50 กรัม ใส่ลงในคณโฑ บรรจุกรดซัลฟูริกเข้มข้น 3.11 โมลาร์ 25.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดสอบ และปรับอุณหภูมิในกล่องควบคุมอุณหภูมิที่สร้างขึ้น แล้วดำเนินการทดลองตามการใช้เครื่องมือหน้า 40-41

(5) การเปลี่ยนแปลงวิธีการเก็บก๊าซโดยที่ยังคงใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้น ทดสอบ ปริมาตรของก๊าซที่เกิดขึ้น และจับเวลา เมื่อปริมาณของกรดซัลฟูริกและโลหะสังกะสีคงที่ โดยชั่งโลหะสังกะสีหนัก 0.50 กรัม ใส่ลงในคณโฑ บรรจุกรดซัลฟูริกเข้มข้น 3.11 โมลาร์ 25.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดสอบ และเก็บก๊าซที่เกิดขึ้นโดยวิธีต่างๆ ดังต่อไปนี้

ก. วิธีแทนที่น้ำจากข้างบนและปรับระดับน้ำใน buret ให้มีความสูงคงที่ โดยปล่อยให้อากาศดันเข้าไปปรับระดับน้ำทาง stopper และน้ำที่ถูกแทนที่ผ่านออกไปทางกรวยของกระป๋องบูเรตา (ดูรูป 6 หน้า 31 ประกอบ) เพื่อรักษาให้ความมกดันของน้ำใน buret เท่ากันทุกครั้ง (วิธีนี้เป็นวิธีที่เครื่องมืออื่นใช้ปฏิบัติอยู่)

ข. วิธีแทนที่น้ำจากข้างบนและปรับระดับน้ำใน buret ด้วยการเลื่อนแท่นหมุนให้อ่างน้ำเลื่อนขึ้น - ลง (ดูรูป 15 หน้า 85 ประกอบ) เพื่อปรับระดับน้ำใน buret ให้คงคนเท่ากันทุกครั้ง

ค. วิธีแทนที่น้ำจากข้างบนและไม่มีการปรับระดับน้ำใน buret แต่ระดับน้ำที่จุดเริ่มต้นใน buret แตกต่างกับ 2 วิธีที่กล่าวมาแล้วไม่มาก (ระดับน้ำใน buret สูง - ต่ำกว่ากันไม่เกิน 1.5 มิลลิลิตร)

¹ Mercuric sulphate " HgSO_4 " (L.C.), The British Drug Houses Ltd., Laboratory Chemicals Division, Poole, England.

ง. วิธีแทนที่น้ำจากข้างล่างและปรับระดับน้ำใน buret ที่จุดเริ่มต้นให้มีปริมาตรเท่ากับวิธี ก และ ข

แล้วดำเนินการทดลองตามการใช้เครื่องมือหน้า 40-41

2. เครื่องมืออย่างง่ายที่มีในห้องปฏิบัติการ (buret และนาฬิกาข้อมือ) เครื่องมือนี้ทำการศึกษาโดยการเทสารลงไปทำปฏิกิริยากันผ่านกรวยผักบิว (thistle funnel) เก็บการที่เกิดขึ้น (ในปริมาณเท่ากับวิธีอื่นๆ) ด้วยวิธีการแทนที่น้ำจากข้างล่าง และจับเวลาด้วยนาฬิกาข้อมือ ซึ่งจะใช้ทำการทดลองในเงื่อนไขต่อไปนี้

(1) การทดลองที่ใช้โลหะสังกะสีทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริกซึ่งมีทองแดงซัลเฟตเป็นตะกาดิสต์อยู่ด้วย โดยชั่งโลหะสังกะสีหนัก 0.50 กรัม ใส่ลงในคอนโท หยดสารละลายทองแดงซัลเฟตเข้มข้น 0.01 โมลาร์ 0.50 มิลลิลิตร ด้วย micropipet ขนาด 1 มิลลิลิตร (1/100) ตามลงไปและเทกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3.11 โมลาร์ 25.0 มิลลิลิตร ผ่านกรวยผักบิวลงไปทำปฏิกิริยากัน

(2) การทดลองที่ใช้ปริมาณของโลหะสังกะสี กรดซัลฟิวริกและทองแดงซัลเฟตเท่ากับการทดลองข้อ (1) แต่ใช้วิธีการศึกษาในบางส่วนแตกต่างกันเพื่อนำผลมาเปรียบเทียบกันดังนี้

ก. เก็บการโดยการแทนที่น้ำจากข้างล่าง เทสารลงไปทำปฏิกิริยาผ่านกรวยผักบิว (เหมือนกับการทดลองข้อ(1)) แต่จับเวลาด้วยเครื่องมือจับเวลาที่สร้างขึ้น

ข. เก็บการโดยการแทนที่น้ำจากข้างล่าง (เหมือนกับการทดลองข้อ(1)) แต่เทสารลงไปทำปฏิกิริยาคับหลอดทดสอบ และจับเวลาด้วยเครื่องมือที่สร้างขึ้น

ค. ทำการทดลองโดยใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้นทั้งหมด

ผลการทดลอง

ผลการทดลองแบ่งเสนอตามเงื่อนไขในการทดลอง ดังตาราง 2-9 หน้า 50-64 และรูปภาพแสดงการเกิดก๊าซไฮโดรเจนต่อเวลา, อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนต่อเวลา ดังรูป 27-33 หน้า 151-157

การศึกษ้อัตราการเกิดก๊าซออกซิเจน

1. เครื่องมือถึงอัตโนมัติสำหรับศึกษ้อัตราการเกิดก๊าซที่สร้างขึ้น ใช้ทำการทดลองใน

เงื่อนไขข้อต่อไปนี

(1) การแปรผันความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จาก 0.12 - 0.51 โมลาร์¹ เมื่อปริมาณของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ โดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แต่ละความเข้มข้นบรรจุลงในหลอดทดสอบ 40.0 มิลลิลิตร และใช้ pipet ขนาด 25 มิลลิลิตร

¹การเตรียมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ เตรียมจากสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% (Hayashi Pure Chemical Industries Ltd., Japan) มาทำให้เจือจางลงดังนี้

(1) เตรียมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 0.50 โมลาร์ 500.0 มิลลิลิตร โดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% 25.50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น (ที่กลั่นใหม่ ๆ 2 ครั้ง) จนมีปริมาตรเป็น 500.0 มิลลิลิตร

(2) เตรียมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 0.375 โมลาร์ 1.0 ลิตร โดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% 38.25 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น (ที่กลั่นใหม่ ๆ 2 ครั้ง) จนมีปริมาตรเป็น 1.0 ลิตร

(3) เตรียมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 0.30 โมลาร์ 500.0 มิลลิลิตร โดยนำเอาสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 0.375 โมลาร์ (ในข้อ(2)) มา 400.0 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น (ที่กลั่นใหม่ ๆ 2 ครั้ง) จนมีปริมาตรเป็น 500.0 มิลลิลิตร

(4) เตรียมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 0.25 โมลาร์ 2.0 ลิตร โดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% 51.0 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น (ที่กลั่นใหม่ ๆ 2 ครั้ง) จนมีปริมาตรเป็น 2.0 ลิตร

(5) เตรียมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 0.125 โมลาร์ 500.0 มิลลิลิตร โดยนำเอาสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 0.25 โมลาร์ (ในข้อ(4)) มา 250.0 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น (ที่กลั่นใหม่ ๆ 2 ครั้ง) จนมีปริมาตรเป็น 500.0 มิลลิลิตร

(6) นำเอาสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ตามข้อ(1) - (5) มาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตเข้มข้น 4.9×10^{-3} โมลาร์ แล้วนำมาคำนวณหาความเข้มข้นใหม่ได้เป็น 0.119, 0.253, 0.295, 0.382 และ 0.510 โมลาร์ ตามลำดับ

คูลสารละลายโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตเข้มข้น 5.0×10^{-3} โมลาร์ 75.0 มิลลิลิตร ใส่ลงใน
 คนโท แล้วดำเนินการทดลองตามการใช้เครื่องมือหน้า 40-41

(2) การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตจาก 5.0×10^{-4} -
 2.5×10^{-2} โมลาร์¹ เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงที่ โดยใช้ pipet ขนาด 25
 มิลลิลิตรคูลสารละลายโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตแต่ละความเข้มข้น 75.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในคนโท
 บรรจุน้ำกลั่นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เข้มข้น 0.25 โมลาร์ 40.0 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดสอบ
 และดำเนินการทดลองตามการใช้เครื่องมือหน้า 40-41

¹ การเตรียมสารละลายโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต ที่ความเข้มข้นต่างๆ เตรียมจาก
 potassium permanganate (L.C. Grade, The British Drug Houses Ltd.,
 Laboratory Chemical Division, Poole, England) ดังต่อไปนี้

(1) เตรียมสารละลายโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตเข้มข้น 2.5×10^{-2} โมลาร์ 1.0
 ลิตร โดยชั่งโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตหนัก 3.9510 กรัม มาละลายในน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น
 1.0 ลิตร

(2) เตรียมสารละลายโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตเข้มข้น 1.0×10^{-2} โมลาร์ 1.0
 ลิตร โดยชั่งโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตหนัก 1.5804 กรัม มาละลายในน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น
 1.0 ลิตร

(3) เตรียมสารละลายโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตเข้มข้น 5.0×10^{-3} โมลาร์ 3.5
 ลิตร โดยชั่งโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตหนัก 2.7657 กรัม มาละลายในน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น
 3.50 ลิตร

(4) เตรียมสารละลายโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตเข้มข้น 1.0×10^{-3} และ
 5.0×10^{-4} โมลาร์ อย่างละ 1.0 ลิตร ตามลำดับ โดยนำเอาสารละลายโปตัสเซียม
 เปอร์มังกาเนต เข้มข้น 1.0×10^{-2} และ 5.0×10^{-3} โมลาร์ (ในข้อ (2) และ (3))
 มาอย่างละ 100.0 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 1.0 ลิตร ตามลำดับ

(3) การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกจาก $0 - 5.0 \times 10^{-2}$ โมลาร์¹ และกรดเกลือจาก $0 - 5.0 \times 10^{-2}$ โมลาร์² เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ โดยใช้ pipet ขนาด 25 มิลลิลิตร คูณสารละลายโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตเข้มข้น 5.0×10^{-3} โมลาร์ 75.0 มิลลิลิตร กรดซัลฟิวริกและกรดเกลือแต่ละความเข้มข้นในปริมาณ 25.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในคอนโท บรรจุสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 0.25 โมลาร์ 40.0 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดสอบ และดำเนินการทดลองตามการใช้เครื่องมือหน้า 40 - 41

¹การเตรียมกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้นต่างๆ เตรียมสารละลายมาตรฐานของกรดซัลฟิวริก

(sulphuric acid N/10, The British Drug Houses Ltd., Laboratory Chemicals Division, Poole, England) มาทำให้เจือจางลงดังนี้

(1) เตรียมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5.0×10^{-2} โมลาร์ 500.0 มิลลิลิตร โดยนำเอา sulphuric acid N/10 มามาตรฐานมา 50.0 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 500.0 มิลลิลิตร

(2) เตรียมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2.5×10^{-2} , 1.75×10^{-2} , 1.0×10^{-2} และ 5.0×10^{-3} โมลาร์ อย่างละ 250.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ โดยนำเอากรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5.0×10^{-2} โมลาร์ (ในข้อ (1)) มา 125.0, 87.5, 50.0 และ 25.0 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 250.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ

²การเตรียมกรดเกลือที่มีความเข้มข้นต่างๆ เตรียมจากสารละลายมาตรฐานของกรดเกลือ

(hydrochloric acid N/10, The British Drug Houses Ltd., Laboratory Chemicals Division, Poole, England) มาทำให้เจือจางลงดังนี้

(1) เตรียมกรดเกลือเข้มข้น 1.0×10^{-1} โมลาร์ 500.0 มิลลิลิตร โดยนำเอา hydrochloric acid N/10 มามาตรฐานมา 50.0 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 500.0 มิลลิลิตร

(2) เตรียมกรดเกลือเข้มข้น 5.0×10^{-2} , 2.5×10^{-2} , 1.75×10^{-2} และ 1.0×10^{-2} โมลาร์ อย่างละ 250.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ โดยนำเอากรดเกลือเข้มข้น 1.0×10^{-1} โมลาร์ (ในข้อ (1)) มา 125.0, 62.5, 43.75 และ 25.0 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 250.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ

(3) เตรียมกรดเกลือเข้มข้น 5.0×10^{-3} โมลาร์ 250.0 มิลลิลิตร โดยนำเอากรดเกลือเข้มข้น 5.0×10^{-2} โมลาร์ (ในข้อ (2)) มา 25.0 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 250.0 มิลลิลิตร

(4) การแปรผันอุณหภูมิจาก 5° – 25° C เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโพตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ โดยใช้ pipet ขนาด 25 มิลลิลิตร คูลสารละลายโพตัสเซียมเปอร์มังกาเนตเข้มข้น 5.0×10^{-3} โมลาร์ 75.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในคอนโท บรรจุสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 0.25 โมลาร์ 40.0 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดสอบ ปรับอุณหภูมิในกล่องควบคุมอุณหภูมิที่สร้างขึ้น ตามที่ต้องการ และดำเนินการทดลองตามการใช้เครื่องมือ หน้า 40–41

2. เครื่องมืออย่างง่ายที่มีในห้องปฏิบัติการ (buret และนาฬิกาข้อมือ) เครื่องมือนี้ทำการศึกษาโดยการทดสอบผ่านกรวยผักบัว (thistle funnel) เก็บกาชที่เกิดขึ้น (ในปริมาณเท่ากับวิธีอื่นๆ) ด้วยการแทนที่น้ำจากข้างล่าง และจับเวลาด้วยนาฬิกาข้อมือ ซึ่งใช้ทำการทดลองในเงื่อนไขของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทำปฏิกิริยากับโพตัสเซียมเปอร์มังกาเนต โดยใช้ pipet ขนาด 25 มิลลิลิตร คูลสารละลายโพตัสเซียมเปอร์มังกาเนตเข้มข้น 5.0×10^{-4} โมลาร์ 75.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในคอนโท และทดสอบละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 0.25 โมลาร์ 40.0 มิลลิลิตร ผ่านกรวยผักบัวลงไปทำปฏิกิริยากัน

ผลการทดลอง

ผลการทดลองแบ่งเสนอตามเงื่อนไขในการทดลอง ดังตาราง 10–15 หน้า 65–75 และรูปภาพแสดงการเกิดกาชออกซิเจนต่อเวลา อัตราการเกิดกาชออกซิเจนต่อความเข้มข้นของโพตัสเซียมเปอร์มังกาเนต และอัตราการเกิดกาชออกซิเจนต่อส่วนกลับของความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กราฟลูปรีก และกราฟเกลียว ตามลำดับ ดังรูป 34–42 หน้า 158–166

ตาราง 2 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจน ในเงื่อนไขการแปรผันความเข้มข้นของ กรดซัลฟูริก เมื่อน้ำหนักของโลหะสังกะสีคงที่ * ณ อุณหภูมิห้อง $25.0^{\circ} - 32.0^{\circ} \text{ C}$

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา(t) (sec.)	Δt (sec.)	ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)
1.07 M H ₂ SO ₄ 25.5 ml.	0.0	40.3	0.0	14.9	3.70×10^{-1}
	40.3	43.7	14.9	14.8	3.39×10^{-1}
	84.0	58.6	29.7	15.3	2.61×10^{-1}
	142.6	82.8	45.0	14.9	1.80×10^{-1}
	225.4	121.4	59.9	14.9	1.22×10^{-1}
	346.8		74.8		
1.60 M H ₂ SO ₄ 25.5 ml.	0.0	23.7	0.0	14.9	6.29×10^{-1}
	23.7	27.9	14.9	14.8	5.30×10^{-1}
	51.6	34.9	29.7	15.3	4.38×10^{-1}
	86.5	44.2	45.0	14.9	3.37×10^{-1}
	130.7	54.5	59.9	14.9	2.73×10^{-1}
	185.2		74.8		
2.13 M H ₂ SO ₄ 25.5 ml.	0.0	22.0	0.0	14.9	6.78×10^{-1}
	22.0	26.4	14.9	14.8	5.61×10^{-1}
	48.4	32.9	29.7	15.3	4.65×10^{-1}
	81.3	37.1	45.0	14.9	4.02×10^{-1}
	118.4	42.9	59.9	14.9	3.47×10^{-1}
	161.3		74.8		

* 0.50 g. Zn คงที่ : ข้อมูลละเอียดอยู่ในภาคผนวก ตาราง 30 หน้า 168-171

ตาราง 2 (ต่อ)

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา(t) (sec.)	Δt (sec.)	ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)
2.62 M H ₂ SO ₄ 25.5 ml.	0.0	19.8	0.0	14.9	7.52×10^{-1}
	19.8	23.4	14.9	14.8	6.32×10^{-1}
	43.2	26.2	29.7	15.3	5.84×10^{-1}
	69.4	29.4	45.0	14.9	5.07×10^{-1}
	98.8	33.0	59.5	14.9	4.51×10^{-1}
	131.8		74.8		
3.11 M H ₂ SO ₄ 25.5 ml.	0.0	17.0	0.0	14.9	8.76×10^{-1}
	17.0	19.4	14.9	14.8	7.63×10^{-1}
	36.4	22.6	29.7	15.3	6.77×10^{-1}
	59.0	23.7	45.0	14.9	6.29×10^{-1}
	82.7	25.6	59.9	14.9	5.82×10^{-1}
	108.3		74.8		
3.70 M H ₂ SO ₄ 25.5 ml.	0.0	15.8	0.0	14.9	9.43×10^{-1}
	15.8	18.0	14.9	14.8	8.22×10^{-1}
	33.8	18.9	29.7	15.3	8.09×10^{-1}
	52.7	19.6	45.0	14.9	7.60×10^{-1}
	72.3	22.0	59.9	14.9	6.77×10^{-1}
	94.3		74.8		
4.17 M H ₂ SO ₄ 25.5 ml.	0.0	16.8	0.0	14.9	8.87×10^{-1}
	16.8	16.8	14.9	14.8	8.81×10^{-1}
	33.6	18.0	29.7	15.3	8.50×10^{-1}
	51.6	19.4	45.0	14.9	7.68×10^{-1}
	71.0	19.7	59.9	14.9	7.56×10^{-1}
	90.7		74.8		

ตาราง 3 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจน ในเงื่อนไขการแปรผันน้ำหนักของโลหะสังกะสี เมื่อปริมาณของกรดซัลฟริกคงที่ * ณ อุณหภูมิห้อง 26.0–33.4 °C

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา(t) (sec.)	Δt (sec.)	ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)
0.25 g. Zn (0.2502–0.2517 g.)	0.0	32.3	0.0	14.9	4.61×10^{-1}
	32.3	37.3	14.9	14.8	3.97×10^{-1}
	69.6	44.2	29.7	15.3	3.46×10^{-1}
	113.8	53.4	45.0	14.9	2.79×10^{-1}
	167.2	89.7	59.9	14.9	1.66×10^{-1}
	256.9		74.8		
0.50 g. Zn (0.5001–0.5008 g.)	0.0	17.0	0.0	14.9	8.76×10^{-1}
	17.0	19.4	14.9	14.8	7.62×10^{-1}
	36.4	22.6	29.7	15.3	6.77×10^{-1}
	59.0	23.7	45.0	14.9	6.29×10^{-1}
	82.7	25.6	59.9	14.9	5.82×10^{-1}
	108.3		74.8		
0.75 g. Zn (0.7500–0.7538 g.)	0.0	13.2	0.0	14.9	1.13
	13.2	13.7	14.9	14.8	1.08
	26.9	14.2	29.7	15.3	1.08
	41.1	16.1	45.0	14.9	9.25×10^{-1}
	57.2	16.9	59.9	14.9	8.81×10^{-1}
	74.1		74.8		

* 3.11 M H₂SO₄ 25.5 ml. คงที่ : ข้อมูลละเอียดอยู่ในภาคผนวก ตาราง 31 หน้า

ตาราง 3 (ต่อ)

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา(t) (sec.)	Δt (sec.)	ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)
1.00 g. Zn (1.0001-1.0015 g.)	0.0	10.8	0.0	14.9	1.38
	10.8	10.2	14.9	14.8	1.45
	21.0	10.9	29.7	15.3	1.40
	31.9	11.9	45.0	14.9	1.25
	43.8	12.7	59.9	14.9	1.17
	56.5		74.8		
1.25 g. Zn (1.2500-1.2503 g.)	0.0	10.1	0.0	14.9	1.48
	10.1	9.3	14.9	14.8	1.59
	19.4	9.1	29.7	15.3	1.68
	28.5	10.0	45.0	14.9	1.49
	38.5	9.9	59.9	14.9	1.51
	48.4		74.8		
1.50 g. Zn (1.5001-1.5004 g.)	0.0	9.4	0.0	14.9	1.59
	9.4	8.0	14.9	14.8	1.85
	17.4	7.7	29.7	15.3	1.99
	25.1	9.0	45.0	14.9	1.66
	34.1	9.0	59.9	14.9	1.66
	43.1		74.8		

ตาราง 4 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจน ในเงื่อนไขการแปรผันปริมาณของ
ทองแดงซัลเฟต ที่เติมลงไปเป็นกะตาลีสต์ เมื่อปริมาณของกรรขัลฟริกและโลหะ
สังกะสีคงที่* ณ อุณหภูมิห้อง $26.5 - 32.2^{\circ}\text{C}$

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา (t) (sec.)	Δt (sec.)	ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)
ไม่มี CuSO_4	0.0	17.0	0.0	14.9	8.76×10^{-1}
	17.0	19.4	14.9	14.8	7.63×10^{-1}
	36.4	22.6	29.7	15.3	6.77×10^{-1}
	59.0	23.7	45.0	14.9	6.29×10^{-1}
	82.7	25.6	59.9	14.9	5.82×10^{-1}
	108.3		74.8		
0.01 M CuSO_4 0.50 ml.	0.0	14.8	0.0	14.9	1.01
	14.8	13.3	14.9	14.8	1.11
	28.1	13.6	29.7	15.3	1.12
	41.7	14.0	45.0	14.9	1.06
	55.7	15.3	59.9	14.9	9.74×10^{-1}
	71.0		74.8		
0.05 M CuSO_4 0.50 ml.	0.0	10.9	0.0	14.9	1.37
	10.9	9.9	14.9	14.8	1.49
	20.8	9.3	29.7	15.3	1.65
	30.1	10.2	45.0	14.9	1.46
	40.3	10.7	59.9	14.9	1.39
	51.0		74.8		

* 0.50 g. Zn และ 3.11 M H_2SO_4 25.5 ml. คงที่ : ข้อมูลละเอียดอยู่ในภาคผนวก
ตาราง 32 หน้า 175-177

ตาราง 4 (ต่อ)

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา(t) (sec.)	Δt (sec.)	ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)
0.10 M CuSO ₄ 0.50 ml.	0.0	8.3	0.0	14.9	1.80
	8.3	7.3	14.9	14.8	2.03
	15.6	7.9	29.7	15.3	1.94
	23.5	8.2	45.0	14.9	1.82
	31.7	9.2	59.9	14.9	1.62
	40.9		74.8		
0.50 M CuSO ₄ 0.50 ml.	0.0	4.8	0.0	14.9	3.10
	4.8	4.1	14.9	14.8	3.61
	8.9	4.8	29.7	15.3	3.19
	13.7	5.3	45.0	14.9	2.81
	19.0	5.6	59.9	14.9	2.66
	24.6		74.8		
1.0 M CuSO ₄ 0.50 ml.	0.0	3.7	0.0	14.9	4.03
	3.7	2.6	14.9	14.8	5.69
	6.3	3.1	29.7	15.3	4.94
	9.4	3.5	45.0	14.9	4.26
	12.9	4.6	59.9	14.9	3.24
	17.5		74.8		

ตาราง 5 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจน ในเงื่อนไขการแปรผันปริมาณของ
เงินซัลเฟตที่เติมลงไปเป็นกะตาลีสต์ เมื่อปริมาณของกรดซัลฟูริกและโลหะสังกะสีคงที่ *
ณ อุณหภูมิห้อง 26.2-32.0 °C.

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา(t) (sec.)	Δt (sec.)	ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)
ไม่มี Ag_2SO_4	0.0	17.0	0.0	14.9	8.76×10^{-1}
	17.0	19.4	14.9	14.8	7.63×10^{-1}
	36.4	22.6	29.7	15.3	6.77×10^{-1}
	59.0	23.7	45.0	14.9	6.29×10^{-1}
	82.7	25.6	59.9	14.9	5.82×10^{-1}
	108.3		74.8		
0.0016 g Ag_2SO_4	0.0	17.5	0.0	14.9	8.51×10^{-1}
	17.5	19.9	14.9	14.8	7.44×10^{-1}
	37.4	22.0	29.7	15.3	6.95×10^{-1}
	59.4	23.4	45.0	14.9	6.37×10^{-1}
	82.8	25.5	59.9	14.9	5.84×10^{-1}
	108.3		74.8		
0.0078 g. Ag_2SO_4	0.0	15.8	0.0	14.9	9.43×10^{-1}
	15.8	16.1	14.9	14.8	9.19×10^{-1}
	31.9	17.9	29.7	15.3	8.55×10^{-1}
	49.8	19.5	45.0	14.9	7.64×10^{-1}
	69.3	21.0	59.9	14.9	7.09×10^{-1}
	90.3		74.8		

* 0.50 g. Zn และ 3.11 M H_2SO_4 25.5 ml. คงที่ : ข้อมูลละเอียดอยู่ใน
ภาคผนวก ตาราง 33 หน้า 178-180

ตาราง 5 (ต่อ)

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา(t) (sec.)	Δt (sec.)	ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)
0.0156 g. Ag ₂ SO ₄	0.0	13.8	0.0	14.9	1.08
	13.8	14.5	14.9	14.8	1.02
	28.3	15.3	29.7	15.3	1.00
	43.6	16.3	45.0	14.9	9.14×10^{-1}
	59.9	18.8	59.9	14.9	7.94×10^{-1}
	78.7		74.8		
0.0780 g. Ag ₂ SO ₄	0.0	9.8	0.0	14.9	1.52
	9.8	9.1	14.9	14.8	1.63
	18.9	9.9	29.7	15.3	1.55
	28.8	9.7	45.0	14.9	1.54
	38.5	10.9	59.9	14.9	1.37
	49.4		74.8		
0.1559 g. Ag ₂ SO ₄	0.0	7.1	0.0	14.9	2.10
	7.1	6.9	14.9	14.8	2.14
	14.0	7.1	29.7	15.3	2.15
	21.1	7.4	45.0	14.9	2.01
	28.5	8.0	59.9	14.9	1.86
	36.5		74.8		

ตาราง 6 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจน และการเกิดก๊าซไฮโดรเจนต่อเวลา
 ในเงื่อนไขการแปรผันปริมาณของปรัสซิก (HgSO₄) ที่เติมลงไปเป็นกะตาลีสต์
 เมื่อปริมาณของกรคาร์บอเนตและโลหะสังกะสีคงที่ * ณ อุณหภูมิห้อง 23.8-34.0 °C

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา (t) (sec.)	Δt (sec.)	ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)
ไม่มี HgSO ₄	0.0	17.0	0.0	14.9	8.76 x 10 ⁻¹
	17.0	19.4	14.9	14.8	7.63 x 10 ⁻¹
	36.4	22.6	29.7	15.3	6.77 x 10 ⁻¹
	59.0	23.7	45.0	14.9	6.29 x 10 ⁻¹
	82.7	25.6	59.9	14.9	5.82 x 10 ⁻¹
	108.3		74.8		

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา (t) (sec.)				ปริมาตรที่เกิดขึ้น (V) (ml.)				หมายเหตุ
	การทดลองครั้งที่				การทดลองครั้งที่				
	1	2	3	4	1	2	3	4	
0.0015g. HgSO ₄	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	มีของแข็ง
	28.5	26.0	32.5	41.0	14.9	14.9	14.9	14.9	สีเทาลักษณะ
	133.5	97.0	184.0	413.5	29.7	29.7	29.7	29.7	เป็นเงาลอย
	1080.0	1080.0	1080.0	1080.0	37.4	42.0	34.6	28.8	อยู่บน surface
0.0075g. HgSO ₄	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	ของสารละลาย
	110.0	131.0	131.0	105.0	14.9	14.9	14.9	14.9	เมื่อตั้งทิ้งไว้
	780.0	780.0	780.0	780.0	22.0	20.6	22.4	18.8	จะค่อยๆ
	1080.0	1080.0	1080.0	1080.0	22.0	20.6	22.0	19.0	ละลายหายไป

* 0.50 g. Zn และ 3.11 M H₂SO₄ 25.5 ml. คงที่

ตาราง 6 (ต่อ)

เงื่อนไข การทดลอง	เวลา (t) (sec.)				ปริมาตรที่เกิดขึ้น (V) (ml.)				หมายเหตุ
	การทดลองครั้งที่				การทดลองครั้งที่				
	1	2	3	4	1	2	3	4	
0.0148 g. HgSO ₄	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	420.0	420.0	420.0	420.0	12.4	10.8	5.0	9.0	
	780.0	780.0	780.0	780.0	13.6	13.0	5.0	10.4	
	1080.0	1080.0	1080.0	1080.0	14.4	13.6	5.2	11.6	
	1500.0	1500.0	1500.0	1500.0	15.0	14.2	5.2	12.6	
0.0742 g. HgSO ₄	0.0	0.0	0.0	—	0.0	0.0	0.0	—	
	420.0	420.0	420.0	—	3.2	3.4	3.6	—	
	780.0	780.0	780.0	—	4.2	4.8	5.2	—	
	1080.0	1080.0	1080.0	—	6.4	6.6	7.2	—	
	1500.0	1500.0	1500.0	—	8.2	8.0	10.6	—	
0.1483 g. HgSO ₄	0.0	0.0	0.0	—	0.0	0.0	0.0	—	
	420.0	420.0	420.0	—	4.0	4.6	4.0	—	
	780.0	780.0	780.0	—	5.4	7.0	6.4	—	
	1080.0	1080.0	1080.0	—	6.4	8.8	8.4	—	
	1500.0	1500.0	1500.0	—	8.0	11.2	12.0	—	

ตาราง 7 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจน ในเงื่อนไขการแปรผันอุณหภูมิ
(15° - 40° C) เมื่อปริมาณของกรดซัลฟูริกและโลหะสังกะสีคงที่ * ณ อุณหภูมิห้อง
23.0° - 30.3° C

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา (t) (sec.)	Δt (sec.)	ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)
15° C (14.9-15.2° C)	0.0	28.7	0.0	14.9	5.19×10^{-1}
	28.7	30.8	14.9	14.8	4.80×10^{-1}
	59.5	31.4	29.7	15.2	4.84×10^{-1}
	90.9	34.0	44.9	15.0	4.41×10^{-1}
	124.9	36.6	59.9	14.9	4.07×10^{-1}
	161.5		74.8		
20° C (19.8-20.1° C)	0.0	26.7	0.0	14.9	5.58×10^{-1}
	26.7	28.2	14.9	14.8	5.25×10^{-1}
	54.9	29.4	29.7	15.2	5.17×10^{-1}
	84.3	31.4	44.9	15.0	4.78×10^{-1}
	115.7	34.0	59.9	14.9	4.38×10^{-1}
	149.7		74.8		
25° C (25.0-25.3° C)	0.0	25.6	0.0	14.9	5.82×10^{-1}
	25.6	25.9	14.9	14.8	5.71×10^{-1}
	51.5	26.3	29.7	15.2	5.78×10^{-1}
	77.8	29.1	44.9	15.0	5.15×10^{-1}
	106.9	32.2	59.9	14.9	4.63×10^{-1}
	139.1		74.8		

* 0.50 g. Zn และ 3.11 M H₂SO₄ 25.5 ml. คงที่ : ข้อมูลละเอียดอยู่ใน

ตาราง 7 (ต่อ)

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา(t) (sec.)	Δt (sec.)	ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)
30 °C (30.2°-30.3 °C)	0.0	19.8	0.0	14.9	7.52×10^{-1}
	19.8	22.0	14.9	14.8	6.73×10^{-1}
	41.8	23.9	29.7	15.2	6.36×10^{-1}
	65.7	26.5	44.9	15.0	5.66×10^{-1}
	92.2	28.3	59.9	14.9	5.26×10^{-1}
	120.5		74.8		
35 °C (34.6°-35.2 °C)	0.0	15.4	0.0	14.9	9.67×10^{-1}
	15.4	17.6	14.9	14.8	8.41×10^{-1}
	33.0	20.6	29.7	15.2	7.38×10^{-1}
	53.6	23.2	44.9	15.0	6.47×10^{-1}
	76.8	25.2	59.9	14.9	5.91×10^{-1}
	102.0		74.8		
40 °C (39.7°-40.1 °C)	0.0	12.8	0.0	14.9	1.16
	12.8	15.2	14.9	14.8	9.74×10^{-1}
	28.0	18.0	29.7	15.2	8.44×10^{-1}
	46.0	20.6	44.9	15.0	7.28×10^{-1}
	66.6	23.1	59.9	14.9	6.45×10^{-1}
	89.7		74.8		

ตาราง 8 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจน ในเงื่อนไขการเก็บกาซโดยใช้วิธีที่แตกต่างกัน
เมื่อปริมาณของกรดซัลฟูริกและโลหะสังกะสีคงที่* ณ อุณหภูมิห้อง 31.4 - 33.5 °C

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา(t) (sec.)	Δt (sec.)	ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)
วิธี ก. วิธีแทนที่น้ำจากข้างบนและ ปรับระดับน้ำใน buret ให้มีความสูง คงที่ โดยปล่อยให้อากาศผ่านเข้าไปทาง stopper และน้ำที่ถูกแทนที่ผ่านออก ไปทางกรวยของกระป๋องยูเรคา (วิธีนี้ เป็นวิธีที่เครื่องมือใช้ปฏิบัติอยู่)	0.0	17.0	0.0	14.9	8.76×10^{-1}
	17.0	19.4	14.9	14.8	7.63×10^{-1}
	36.4	22.6	29.7	15.3	6.77×10^{-1}
	59.0	23.7	45.0	14.9	6.29×10^{-1}
	82.7	25.6	59.9	14.9	5.82×10^{-1}
	108.3		74.8		
วิธี ข. วิธีแทนที่น้ำจากข้างบนและ ปรับระดับน้ำใน buret ด้วยการเลื่อน แท่นหมุนไม้ให้อ่างน้ำเลื่อนขึ้น-ลง	0.0	17.2	0.0	14.9	8.66×10^{-1}
	17.2	19.6	14.9	14.8	7.55×10^{-1}
	36.8	21.2	29.7	15.2	7.17×10^{-1}
	58.0	23.0	44.9	15.0	6.52×10^{-1}
	81.0	25.0	59.9	14.9	5.96×10^{-1}
	106.0		74.8		
วิธี ค. **					
วิธี ง. วิธีแทนที่น้ำจากข้างล่าง	0.0	22.9	0.0	14.9	6.51×10^{-1}
	22.9	12.0	14.9	14.8	1.23
	34.9	16.7	29.7	15.2	9.10×10^{-1}
	51.6	16.8	44.9	15.0	8.93×10^{-1}
	68.4	17.6	59.9	14.9	8.46×10^{-1}
	86.0		74.8		

* 0.50 g. Zn และ 3.11 M H₂SO₄ 25.5 ml. คงที่ : ข้อมูลละเอียดอยู่ใน
ภาคผนวก ตาราง 36 หน้า 186-188

** วิธี ค. ข้อมูลอยู่ในภาคผนวก ตาราง 36 หน้า 187

ตาราง 9 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจน ในเงื่อนไขการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้นกับเครื่องมืออย่างง่าย ๆ ที่มีในห้องปฏิบัติการ เมื่อปริมาณของกรดซัลฟริก, โลหะสังกะสี และทองแดงซัลเฟตคงที่* ณ อุณหภูมิห้อง $28.9 - 30.8^{\circ}\text{C}$

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา (t) (sec.)	Δt (sec.)	ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)
(1) ผลที่ได้จากเครื่องมืออย่างง่าย ๆ ที่มีในห้องปฏิบัติการ (เทสารยานกรวย แก้ว เก็บกักที่เกิดขึ้นด้วยวิธีการแทนที่น้ำจากข้างล่าง และจับเวลาด้วยนาฬิกาข้อมือ)	0.0	5.3	0.0	4.7	8.87×10^{-1}
	5.3	10.2	4.7	15.2	1.49
	15.5	10.5	19.9	15.0	1.43
	26.0	10.8	34.9	14.9	1.38
	36.8		49.8		
(2) ก. ผลที่ได้จากเครื่องมือที่เทสารและเก็บกักเหมือนกับ (1) แต่จับเวลาด้วยเครื่องมือที่สร้างขึ้น	0.0	4.1	0.0	4.7	1.15
	4.1	10.2	4.7	15.2	1.49
	14.3	10.2	19.9	15.0	1.47
	24.5	9.9	34.9	14.9	1.50
	34.4		49.8		
(2) ข. ผลที่ได้จากเครื่องมือที่เก็บกักเหมือน(1) แต่การเทสารและการจับเวลา ใช้ของเครื่องมือที่สร้างขึ้น	0.0	13.9	0.0	14.9	1.07
	13.9	8.6	14.9	14.8	1.72
	22.5	10.6	29.7	15.2	1.49
	33.1	10.8	44.9	15.0	1.39
	43.9	10.1	59.9	14.9	1.48
	54.0		74.8		

* 0.50 g. Zn; 3.11 M H_2SO_4 25.5 ml. และ 0.01 M CuSO_4 0.50 ml.
 คงที่ : ข้อมูลละเอียดอยู่ในภาคผนวก ตาราง 37 หน้า 189-190

ตาราง 9 (ต่อ)

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา (t) (sec.)	Δt (sec.)	ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)
(2) ค. ผลที่ได้จากเครื่องมือ ที่สร้างขึ้น	0.0	14.8	0.0	14.9	1.01
	14.8	13.3	14.9	14.8	1.11
	28.1	13.6	29.7	15.3	1.12
	41.7	14.0	45.0	14.9	1.06
	55.7	15.3	59.9	14.9	9.74×10^{-1}
	71.0		74.8		

ตาราง 10 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดก๊าซออกซิเจน ในเงื่อนไขการแปรผันความเข้มข้นของ
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อปริมาณของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ * ณ อุณหภูมิ
ห้อง 20.5° - 30.8 °C

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา (t)		Δt		ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)
	(min.)	(sec.)	(min.)	(sec.)			
0.12 M H ₂ O ₂ 40.0 ml.	0	0.0	4	44.0	0.0	15.2	3.21
	4	44.0	13	16.0	15.2	14.6	1.10
	18	0.0	27	0.0	29.8	10.2	3.78 x 10 ⁻¹
	45	0.0			40.0		
0.25 M H ₂ O ₂ 40.0 ml.	0	0.0	0	4.2	0.0	15.2	2.17 x 10 ²
	0	4.2	0	18.1	15.2	14.6	4.84 x 10 ⁻¹
	0	22.3	1	4.5	29.8	15.2	1.41 x 10
	1	26.8	2	30.2	45.0	14.8	5.91
	3	57.0	6	27.5	59.8	14.8	2.29
	10	24.5			74.6		
0.29 M H ₂ O ₂ 40.0 ml.	0	0.0	0	4.0	0.0	15.2	2.28 x 10 ²
	0	4.0	0	29.5	15.2	14.6	2.97 x 10
	0	33.5	1	8.0	29.8	15.2	1.34 x 10
	1	41.5	2	4.3	45.0	14.8	7.14
	3	45.8	3	56.5	59.8	14.8	3.88
	7	42.3			74.6		

* 5.0 x 10⁻³ M KMnO₄ 75.0 ml. คงที่ : ข้อมูลละเอียดอยู่ในภาคผนวก ตาราง 38
หน้า 191-193

ตาราง 10 (ต่อ)

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา (t)		Δt		ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)
	(min.)	(sec.)	(min.)	(sec.)			
0.38 M H ₂ O ₂ 40.0 ml.	0	0.0	0	3.0	0.0	15.2	3.04×10^2
	0	3.0	0	6.5	15.2	14.6	1.35×10^2
	0	9.5	0	22.0	29.8	15.2	4.15×10
	0	31.5	0	39.5	45.0	14.8	2.24×10
	1	11.0	1	4.8	59.8	14.8	1.37×10
	2	15.8			74.6		
0.51 M H ₂ O ₂ 40.0 ml.	0	0.0	0	2.3	0.0	15.2	3.97×10^2
	0	2.3	0	0.5	15.2	14.6	2.92×10^3
	0	2.8	0	0.8	29.8	15.2	1.14×10^3
	0	3.6	0	0.9	45.0	14.8	9.87×10^2
	0	4.5	0	1.6	59.8	14.8	5.55×10^2
	0	6.1			74.6		

ตาราง 11 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาซออกซิเจน ในเงื่อนไขการแปรผันความเข้มข้นของ
 โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงที่ * ๗ อุณหภูมิ
 หอง 24.4° - 31.7° C

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา (t)		Δt		ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)
	(min.)	(sec.)	(min.)	(sec.)			
5.0 x 10 ⁻⁴ M KMnO ₄ 75.0 ml.	0	0.0	2	26.0	0.0	15.2	6.25
	2	26.0	2	51.5	15.2	14.6	5.11
	5	17.5	5	9.5	29.8	15.2	2.95
	10	27.0	9	38.5	45.0	14.8	1.53
	20	5.5	20	58.0	59.8	14.8	7.06 x 10 ⁻¹
	41	3.5			74.6		
1.0 x 10 ⁻³ M KMnO ₄ 75.0 ml.	0	0.0	1	6.3	0.0	15.2	1.38 x 10
	1	6.3	1	17.2	15.2	14.6	1.13 x 10
	2	23.5	2	26.3	29.8	15.2	6.23
	4	49.8	5	3.0	45.0	14.8	2.93
	9	52.8	12	0.2	59.8	14.8	1.23
	21	53.0			74.6		
5.0 x 10 ⁻³ M KMnO ₄ 75.0 ml.	0	0.0	0	4.2	0.0	15.2	2.17 x 10 ²
	0	4.2	0	18.1	15.2	14.6	4.84 x 10
	0	22.3	1	4.5	29.8	15.2	1.41 x 10
	1	26.8	2	30.2	45.0	14.8	5.91
	3	57.0	6	27.5	59.8	14.8	2.29
	10	24.5			74.6		

* 0.25 M H₂O₂ 40.0 ml. คงที่ : ข้อมูลละเอียดอยู่ในภาคผนวก ตาราง 39 หน้า 194-196

ตาราง 11 (ต่อ)

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา (t)		Δt		ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)
	(min.)	(sec.)	(min.)	(sec.)			
1.0 x 10 ⁻² M KMnO ₄ 75.0 ml.	0	0.0	0	2.8	0.0	15.2	3.26 x 10 ²
	0	2.8	0	10.0	15.2	14.6	8.76 x 10
	0	12.8	1	5.5	29.8	15.2	1.39 x 10
	1	18.3	2	14.7	45.0	14.8	6.59
	3	33.0	4	32.8	59.8	14.8	3.26
	8	5.8			74.6		
2.5 x 10 ⁻² M KMnO ₄ 75.0 ml.	0	0.0	0	2.5	0.0	37.2	8.93 x 10 ²
	0	2.5	0	0.6	37.2	14.6	1.46 x 10 ³
	0	3.1	0	0.5	51.8	15.2	1.82 x 10 ³
	0	3.6	0	20.7	67.0	14.8	4.29 x 10
	0	24.3	4	49.5	81.8	14.8	3.07
	5	14.8			96.6		

ตาราง 12 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาซออกซิเจน ในเงื่อนไขการแปรผันความเข้มข้นของ
กรดซัลฟูริก เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และปอดัสเซียมเปอร์มังกาเนต
คงที่ * ณ อุณหภูมิห้อง $23.5^{\circ} - 33.4^{\circ} \text{C}$

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา (t)		Δt		ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)
	(min.)	(sec.)	(min.)	(sec.)			
ไม่มี H_2SO_4	0	0.0	0	4.2	0.0	15.2	2.17×10^2
	0	4.2	0	18.1	15.2	14.6	4.84×10
	0	22.3	1	4.5	29.8	15.2	1.41×10
	1	26.8	2	30.2	45.0	14.8	5.91
	3	57.0	6	27.5	59.8	14.8	2.29
	10	24.5			74.6		
$5.0 \times 10^{-3} \text{ M}$ H_2SO_4 25.0 ml.	0	0.0	0	33.3	0.0	15.2	2.74×10
	0	33.3	1	1.5	15.2	14.6	1.42×10
	1	34.8	2	3.7	29.8	15.2	7.37
	3	38.5	4	9.8	45.0	14.8	3.55
	7	48.3	10	32.7	59.8	14.8	1.40
	18	21.0			74.6		
$1.0 \times 10^{-2} \text{ M}$ H_2SO_4 25.0 ml.	0	0.0	1	0.0	0.0	15.2	1.52×10
	1	0.0	1	35.5	15.2	14.6	9.17
	2	35.5	2	58.0	29.8	15.2	5.12
	5	33.5	5	36.3	45.0	14.8	2.64
	11	9.8	11	58.0	59.8	14.8	1.24
	23	7.8			74.6		

* $0.25 \text{ M H}_2\text{O}_2$ 40.0 ml. และ $5.0 \times 10^{-3} \text{ M KMnO}_4$ 75.0 ml. คงที่ :
ข้อมูลละเอียดอยู่ในภาคผนวก ตาราง 40 หน้า 197-199

ตาราง 12 (ต่อ)

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา (t)		Δt		ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)
	(min.)	(sec.)	(min.)	(sec.)			
1.75 x 10 ⁻² M H ₂ SO ₄ 25.0 ml.	0	0.0	1	11.8	0.0	15.2	1.27 x 10
	1	11.8	1	15.5	15.2	14.6	1.16 x 10
	2	27.3	2	51.5	29.8	15.2	5.32
	5	18.8	6	19.7	45.0	14.8	2.34
	11	38.5	16	4.3	59.8	14.8	9.21 x 10 ⁻¹
	27	42.8			74.6		
2.5 x 10 ⁻² M H ₂ SO ₄ 25.0 ml.	0	0.0	5	0.0	0.0	2.0	4.0 x 10 ⁻¹
	5	0.0	15	40.0	2.0	2.3	1.5 x 10 ⁻¹
	20	40.0	10	20.0	4.3	1.2	1.2 x 10 ⁻¹
	31	0.0			5.5		
5.0 x 10 ⁻² M H ₂ SO ₄ 25.0 ml.	0	0.0	6	26.7	0.0	2.0	3.1 x 10 ⁻¹
	6	26.7	8	33.3	2.0	1.1	1.3 x 10 ⁻¹
	15	0.0	15	0.0	3.1	0.9	6.0 x 10 ⁻²
	30	0.0			4.0		

ตาราง 13 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาซออกซิเจน ในเงื่อนไขการแปรผันความเข้มข้นของ
กรดเกลือ เมื่อปริมาตรของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโพตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่*
ณ อุณหภูมิห้อง 24.4° - 31.6 °C

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา (t)		Δt		ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)
	(min.)	(sec.)	(min.)	(sec.)			
ไม่มี HCl	0	0.0	0	4.2	0.0	15.2	2.17×10^2
	0	4.2	0	18.1	15.2	14.6	4.84×10
	0	22.3	1	4.5	29.8	15.2	1.41×10
	1	26.8	2	30.2	45.0	14.8	5.91
	3	57.0	6	27.5	59.8	14.8	2.29
	10	24.5			74.6		
5.0 x 10 ⁻³ M HCl 25.0 ml.	0	0.0	0	12.0	0.0	15.2	7.60×10
	0	12.0	0	30.5	15.2	14.6	2.87×10
	0	42.5	1	14.5	29.8	15.2	1.22×10
	1	57.0	2	49.0	45.0	14.8	5.25
	4	46.0	8	36.8	59.8	14.8	1.72
	13	22.8			74.6		
1.0 x 10 ⁻² M HCl 25.0 ml.	0	0.0	0	32.0	0.0	15.2	2.85×10
	0	32.0	1	3.3	15.2	14.6	1.38×10
	1	35.3	2	9.5	29.8	15.2	7.04
	3	44.8	4	13.2	45.0	14.8	3.51
	7	58.0	9	59.3	59.8	14.8	1.48
	17	57.3			74.6		

* 0.25 M H₂O₂ 40.0 ml. และ 5.0 10⁻³ M KMnO₄ 75.0 ml. คงที่ :
ข้อมูลละเอียดอยู่ในภาคผนวก ตาราง 41 หน้า 200-202

ตาราง 13 (ต่อ)

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา (t)		Δt		ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)
	(min.)	(sec.)	(min.)	(sec.)			
1.75 x 10 ⁻² M HCl 25.0 ml.	0	0.0	0	24.3	0.0	15.2	3.75 x 10
	0	24.3	0	34.2	15.2	14.6	2.56 x 10
	0	58.5	1	41.0	29.8	15.2	9.03
	2	39.5	5	30.5	45.0	14.8	2.69
	8	10.0	18	46.5	59.8	14.8	7.88 x 10 ⁻¹
	26	56.5			74.6		
2.5 x 10 ⁻² M HCl 25.0 ml.	0	0.0	0	49.8	0.0	15.2	1.83 x 10
	0	49.8	1	17.0	15.2	14.6	1.14 x 10
	2	6.8	2	59.7	29.8	15.2	5.07
	5	6.5	7	15.8	45.0	14.8	2.04
	12	22.3	19	29.0	59.8	14.8	7.60 x 10 ⁻¹
	31	51.3			74.6		
5.0 x 10 ⁻² M HCl 25.0 ml.	0	0.0	4	10.7	0.0	2.0	4.8 x 10 ⁻¹
	4	10.7	11	32.3	2.0	1.5	1.3 x 10 ⁻¹
	15	43.0	8	37.0	3.5	1.3	1.5 x 10 ⁻¹
	24	20.0	5	40.0	4.8	0.6	1.0 x 10 ⁻¹
	30	0.0			5.4		

ตาราง 14 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาซออกซิเจน ในเงื่อนไขการแปรผันอุณหภูมิ
 $5^{\circ} - 25^{\circ} \text{C}$ เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโพตัสเซียมเปอร์มันกานेट
 คงที่ * ณ อุณหภูมิห้อง $21.6^{\circ} - 32.6^{\circ} \text{C}$

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา (t)		Δt		ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)
	(min.)	(sec.)	(min.)	(sec.)			
5°C (4.5° - 5.0°C)	0	0.0	0	42.3	0.0	15.2	2.16 x 10
	0	42.3	2	54.2	15.2	14.6	5.03
	3	36.5	7	33.8	29.8	15.2	2.01
	11	10.3	13	58.2	45.0	14.8	1.06
	25	8.5	35	3.0	59.8	14.8	4.22 x 10 ⁻¹
	60	11.5			74.6		
10°C (9.8° - 10.2°C)	0	0.0	0	40.0	0.0	15.2	2.28 x 10
	0	40.0	3	42.0	15.2	14.6	3.95
	4	22.0	7	36.3	29.8	15.2	2.00
	11	58.3	12	36.7	45.0	14.8	1.17
	24	35.0	21	58.5	59.8	14.8	6.74 x 10 ⁻¹
	46	33.5			74.6		
15°C (14.7° - 15.1°C)	0	0.0	0	39.0	0.0	15.2	2.34 x 10
	0	39.0	2	57.8	15.2	14.6	4.93
	3	36.8	5	37.0	29.8	15.2	2.71
	9	13.8	9	7.7	45.0	14.8	1.62
	18	21.5	16	40.5	59.8	14.8	8.87 x 10 ⁻¹
	35	2.0			74.6		

* 0.25 M H₂O₂ 40.0 ml. และ 5.0 10⁻³ M KMnO₄ 75.0 ml. คงที่:
 ข้อมูลละเอียดอยู่ในภาคผนวก ตาราง 42 หน้า 203-205

ตาราง 14 (ต่อ)

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา (t)		Δt		ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)
	(min.)	(sec.)	(min.)	(sec.)			
20° C (19.7°-20.1° C)	0	0.0	0	38.0	0.0	15.2	2.40 x 10
	0	38.0	1	51.0	15.2	14.6	7.89
	2	29.0	3	50.3	29.8	15.2	3.96
	6	19.3	7	35.0	45.0	14.8	1.95
	13	54.3	15	12.2	59.8	14.8	9.73 x 10 ⁻¹
	29	6.5			74.6		
25° C (25.0°-25.6° C)	0	0.0	0	7.0	0.0	15.2	1.30 x 10 ²
	0	7.0	1	10.3	15.2	14.6	1.25 x 10
	1	17.3	2	18.7	29.8	15.2	6.57
	3	36.0	4	41.3	45.0	14.8	3.16
	8	17.3	10	3.0	59.8	14.8	1.47
	18	20.3			74.6		

ตาราง 15 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดก๊าซออกซิเจน ในเงื่อนไขการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้นกับเครื่องมือที่มีในห้องปฏิบัติการ เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโพตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่* ณ อุณหภูมิห้อง $24.4^{\circ} - 27.6^{\circ}\text{C}$

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา (t)		Δt		ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)
	(min.)	(sec.)	(min.)	(sec.)			
(1) ผลที่ได้จากการใช้เครื่องมืออย่างง่ายที่มีในห้องปฏิบัติการ	0	0.0	0	34.0	0.0	5.0	8.82
	0	34.0	1	14.8	5.0	14.8	1.19×10
	1	48.8	1	38.7	19.8	14.8	9.00
	3	27.5			34.6		
(2) ผลที่ได้จากการใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้น	0	0.0	2	26.0	0.0	15.2	6.25
	2	26.0	2	51.5	15.2	14.6	5.11
	5	17.5	5	9.5	29.8	15.2	2.95
	10	27.0	9	38.5	45.0	14.8	1.53
	20	5.5	20	58.0	59.8	14.8	7.06×10^{-1}
	41	3.5			74.6		

* 0.25 M H_2O_2 40.0 ml. และ 5.0×10^{-4} M KMnO_4 75.0 ml. คงที่ :
ข้อมูลละเอียดอยู่ในภาคผนวก ตาราง 43 หน้า 206

ฉบับร่าง

หลักการสร้างเครื่องมือ

อัตราของปฏิกิริยาเคมีโดยทั่วไปแสดงได้จากการลดจำนวนของสารใดสารหนึ่งหรือการเพิ่มจำนวนของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลานั้น¹ องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อการศึกษาอัตราของปฏิกิริยามีหลายประการด้วยกัน อาทิ ความเข้มข้นของสารที่เข้าทำปฏิกิริยา ลักษณะของสารที่เข้าทำปฏิกิริยา อุณหภูมิ คATALYST ฯลฯ² ดังนั้นการศึกษาอัตราของปฏิกิริยาจึงแบ่งแยกออกได้มากมายหลายวิธี และมีเครื่องมือสำหรับศึกษามากมายตามลักษณะและความจำเป็นในการศึกษานั้นๆ สำหรับการศึกษาคนควานี้ ผู้วิจัยมีจุดมุ่งหมายที่จะสร้างเครื่องมือแบบกึ่งอัตโนมัติสำหรับศึกษาอัตราการเกิดกาช ให้เป็นเครื่องมือชนิดที่มีประสิทธิภาพสูง และใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางพอควร แต่ราคาไม่แพงนัก แลวนำมาศึกษาอัตราการเกิดกาชไฮโดรเจนและกาชออกซิเจน จึงได้นำเอาหลักการทางอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาช่วยในการสร้างเพื่อให้ได้เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงตามที่ไดวางจุดมุ่งหมายไว้ โดยมีหลักเกณฑ์ในการสร้างเครื่องมือดังนี้

- 1 เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูง
- 2 เป็นเครื่องมือที่ราคาถูก
- 3 เป็นเครื่องมือที่สร้างขึ้นจากวัสดุอุปกรณ์ที่หาง่าย
- 4 เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ ใช้ศึกษาอัตราการเกิดกาชชนิดอื่นได้อีก

วิธีสร้างเครื่องมือ

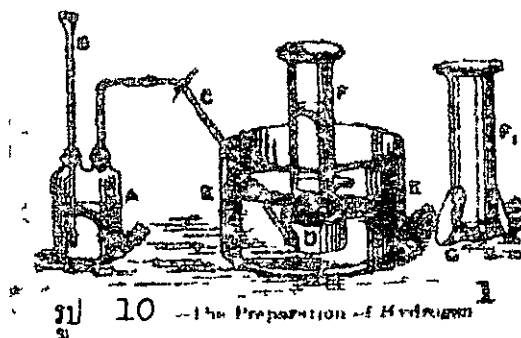
1 ภาชนะทดลอง

ก. หลอดทดลอง ในการศึกษาอัตราการเกิดกาชนี้ สิ่งสำคัญที่สุดที่ต้องการคือ

¹Gordon M.Barrow, Physical Chemistry, p.455.

²Pilot-Project for Chemistry Teaching in Asia, Unesco, Experiments on Rate of Chemical Reactions, pp.1-7.

การวัดปริมาตรของก๊าซที่เกิดขึ้นคือเวลาที่ไฮโดรเจนไดออกไซด์ของแอมโมเนีย คังนั้นการทดสอบเชื้อเพลิงปฏิบัติวิบากกันจึงมีความสำคัญมาก เพราะว่าเราจะเริ่มวัดปริมาตรของก๊าซที่เกิดขึ้นต่อเวลาที่ไฮโดรเจนไดออกไซด์เริ่มเข้าทำปฏิกิริยากัน และผลของทดสอบที่สร้างขึ้นได้คำนึงถึงสิ่งเหล่านี้ จึงได้ข้อสรุปว่าเราหาข้ออ่านด้วยความสะดวกในการจับเวลาให้โดยตลอดของบั้งขึ้น การสร้างหลอดทดสอบในลักษณะนี้ นอกจากจะได้รับการประโยชน์ทั้งกล่าวแล้วยังช่วยป้องกันมิให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของของเหลวภายในหลอดเก็บก๊าซอันเกิดขึ้นจากการทดสอบละลายชนิดหนึ่งจากหลอดทดสอบลงไปทำปฏิกิริยากับอีกสารหนึ่งที่อยู่ในคนโทด้วย จะเป็นได้จากเครื่องมือที่ใช้เตรียมการอย่างง่ายใช้การแทนที่น้ำจากข้างล่างขึ้นไป มักจะทดสอบผ่านครอบปิดมีวาล์วลงไปทำปฏิกิริยากับอีกสารหนึ่งในคนโท (คังรูป 10) ซึ่งการทดสอบแบบนี้จะทำให้ปริมาตรของของเหลวภายในหลอดเก็บก๊าซไม่ขึ้นเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงความกดดัน เริ่มต้นภายในหลอดเก็บก๊าซ ปริมาตรของก๊าซที่วัดได้ก็จะผิดความไปด้วย กล่าวคือ เมื่อก่อนทดสอบผ่านครอบปิดมีวาล์วลงไป ปริมาตรของของเหลวในหลอดเก็บก๊าซอยู่ที่ระดับหนึ่ง ครั้นทดสอบจำนวนหนึ่งลงไป สารจำนวนนั้นจะไปไล่ที่อากาศภายในคนโททำให้อากาศไปแทนที่น้ำในหลอดเก็บก๊าซ และเมื่อมีการเกิดขึ้นก็จะไปแทนที่น้ำในเวลาต่อเนื่องกันไป จึงทำให้ไม่ทราบว่ปริมาตรของก๊าซแทนที่น้ำ ๑ จุดใด

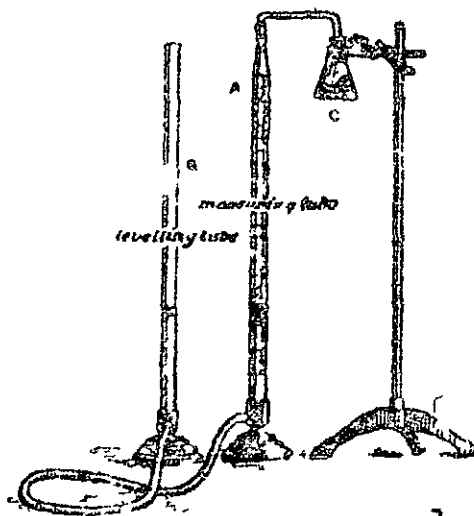


รูป 10 - The Preparation of Hydrogen

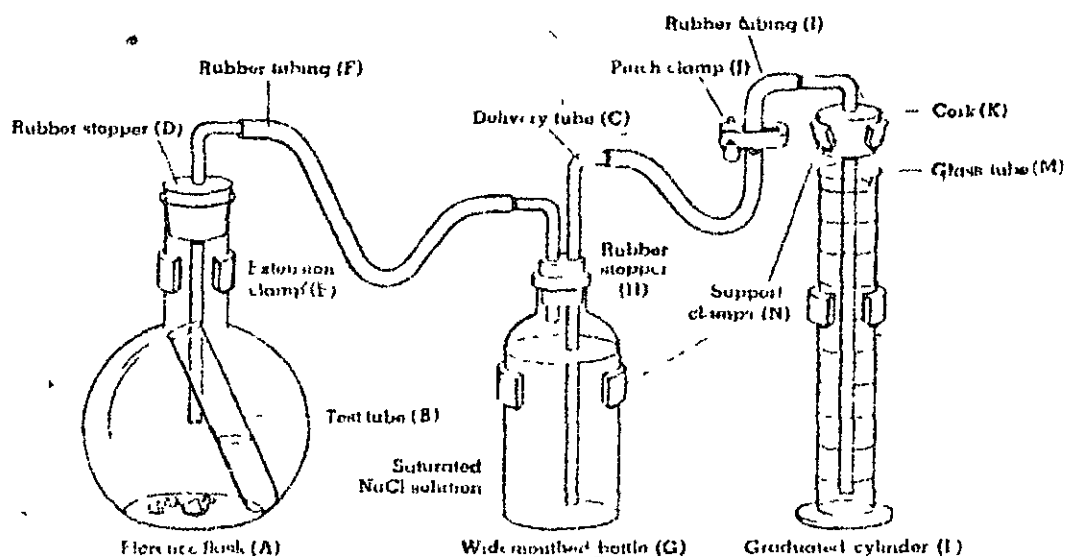
การทดสอบอีกลักษณะหนึ่งอาจจะใช้วิธีบรรจุสารที่ต้องการลงไปในหลอดแก้วแล้ววางลงไปในหลอดข้อหรือ คังไว้ในคนโท (คังรูป 11 และ 12) ต่อจากนั้นก็เร้าหรือเขย่าคนโทให้สารทั้งสองทำปฏิกิริยากัน การทดสอบโดยวิธีนี้ปริมาตรของของเหลวภายในหลอดเก็บก๊าซไม่เปลี่ยนแปลง

¹J.W.Mellor, Modern Inorganic Chemistry, p.58.

ในขณะที่สารทั้งสองเข้าทำปฏิกิริยากัน เพราะไม่มีอากาศจากภายนอกเข้าไปในคอนโทได้ แต่ต้องใช้สารจำนวนน้อยบรรจุในหลอดแก้วที่มีขนาดเล็ก เพื่อให้สามารถห่อหุ้มลงไปในคอนโทได้สะดวก และวิธีการเหล่านี้ให้เข้าทำปฏิกิริยากันแบบนี้ไม่สะดวกแก่การปฏิบัติอีกด้วย



รูป 11 The Hydrogen Equivalent of the Metals.¹



รูป 12 Apparatus for measuring the volume of a gas²

¹Ibid. p.115.

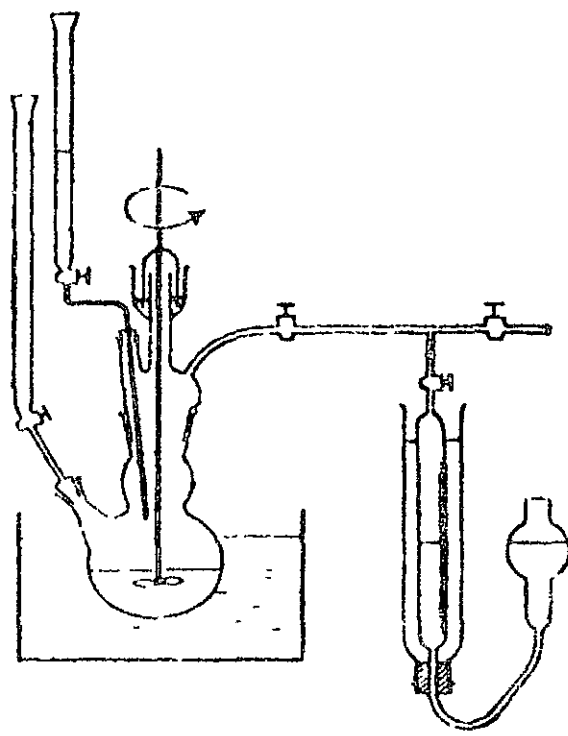
²Chemical Bond Approach Project, Investigating Chemical Systems, p.48.

ผลผลิตเตสสารในลักษณะที่สร้างขึ้น (รูป 3 หน้า 27 ประกอบด้วย) ช่วยแก้ปัญหานี้และ
อำนวยความสะดวกในการควบคุมกัน ประการแรก ช่วยป้องกันมิให้อากาศภายนอกเข้าไปภายใน
คนโท ประการที่สอง ช่วยให้การบรรจุสารได้มากขึ้นกว่าแบบที่สอง และประการที่สามยังช่วยให้น้ำ
เชื้อเพลิงไหลเข้าที่จุดเริ่มต้นของการเตสสารกับการเดินของนาฬิกาได้อีกด้วย ดังนั้นการใช้เครื่องมือนี้
วัดปริมาณการของอากาศที่เกิดขึ้นกับเวลาที่ใช้นั้นจึงได้ผลถูกต้องแน่นอนกว่าสองแบบที่กล่าวมาแล้ว แต่
ผลผลิตเตสสารนี้ก็ยังมีข้อจำกัดอีกเช่น

(1) ใช้น้ำมันสารได้ไม่เกิน 40 ml.

(2) การบรรจุสารยังยุ่งยากอยู่

การที่ได้ออกแบบผลผลิตเตสสารในลักษณะนี้ เพราะจะต้องเลือกใช้อุปกรณ์ต่างๆ เท่านั้นอยู่ในห้องปฏิบัติการ
ให้เป็นประโยชน์มากที่สุด จึงเป็นผลให้ผลผลิตเตสสารมีข้อจำกัดดังกล่าวไม่เหมือนกับในต่างประเทศ ซึ่ง
มีผู้นำแบบนั้นมาดัดแปลงบ้างที่ Fournat และ Magat¹ ได้ออกแบบเครื่องมือเตสสารขึ้น
เพื่อใช้กับเครื่องมือสำหรับศึกษาอัตราการเกิดก๊าซออกซิเจนโดยเฉพาะ ดังรูป



รูป 13 เครื่องมือเตรียมก๊าซออกซิเจน

¹France Fournat and Michel Magat, *J. Chim. Phys.* 47, 514-22 (1950).

หลอดเตสที่สร้างขึ้นตามที่กล่าวมานั้นประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดที่เลือกมาใช้ได้พิจารณาถึงประโยชน์และความเหมาะสมเป็นสำคัญ ซึ่งจะได้อธิบายเป็นส่วนๆ ดังต่อไปนี้

(1) จุกยาง ตามปกติแล้วใช้ประโยชน์ในการอุดหรือปิดคนโท และบางกรณีการจัดเครื่องมือสำหรับเตรียมภาชนะที่จะต้องใช้จุกยางเจาะรูสำหรับยึดก้านกรวยฉักบัวอีก แต่จุกยางในที่นี้ใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางกว่าที่กล่าวมาแล้ว (ดูรูป 4-5 หน้า 28-29 ประกอบ)

- ก. ใช้เป็นจุกอุดคนโท
- ข. ใช้เป็นที่ปิดปาก glass tube
- ค. ใช้เป็นที่ปิดหลอดแก้วสำหรับเลื่อนชั้นลงเมื่อต้องการทดสอบ
- ง. ใช้เป็นที่ปิดสวิตช์ไฟฟ้าซึ่งทำหน้าที่ควบคุมให้นาฬิกาเดินและหยุดพร้อมกัน
- จ. ใช้เป็นรูสำหรับบรรจุสารลงไปในหลอดเตสด้วย syringe

การเสียบแผ่นทองแดงลงบนจุกยางเพื่อใช้เป็นสวิตช์ไฟฟ้าควบคุมให้นาฬิกาหยุดและเดินพร้อมกันคือ เมื่อเปิดสวิตช์ (แผ่นทองแดงติดกัน) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านแผ่นทองแดงโคมากพอที่จะบังคับให้นาฬิกาหยุดพร้อมกันเพื่อตั้งเวลาเริ่มต้น และเมื่อหลอดลงไปที่ทำปฏิกิริยากันโดยดึงหลอดแก้วขึ้น แผ่นทองแดงที่ติดกันอยู่แยกห่างจากกัน สวิตช์ถูกตัดออก กระแสไฟน้อยไม่พอที่จะบังคับให้นาฬิกาหยุดอยู่ได้ นาฬิกาทุกเรือนจึงเริ่มต้นเดินพร้อมกัน

(2) หลอดแก้วที่สอดเข้าไปเป็นแกนกลางในจุกยางใช้สำหรับกั้นสารและทดสอบละลาย การเลือกวัสดุที่ใช้เป็นแกนกลาง ความจริงแล้วจะใช้เป็นโลหะหรืออะไรก็ได้ตามความเหมาะสม แต่ในที่นี้เลือกใช้หลอดแก้วเป็นแกนกลาง เพราะแก้วมีสมบัติที่ไม่ค่อยไวกับสารเคมีที่ใช้ แต่ถ้าใช้โลหะ เป็นแกนกลางอาจจะทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่จะทดลองได้ (เช่น สารที่จะทดลองไปเป็นกรด) ทำให้ความเข้มข้นของสารนั้นเปลี่ยนแปลงไปและผลของอัตราการเกิดปฏิกิริยาก็ย่อมผิดตามไปด้วย สายยางที่สวมอยู่กับหลอดแก้วก็ได้ทดสอบแล้วว่าไม่ค่อยไวกับสารเคมีที่จะทดลองไปด้วย โดยทดสอบสายยางกับกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3 โมลาร์ เป็นเวลา 17 ชั่วโมง และกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์เป็นเวลา 15 ชั่วโมง ปรากฏว่าสายยางไม่ถูกทำลายเลย ดังนั้นจึงใช้สายยางเป็นตัวอุดสารละลายที่ปลาย glass tube ได้เป็นอย่างดี

(3) การบรรจุสารที่ต้องการใช้ทำปฏิกิริยา ลงไปในหลอดเตส อาจจะใช้เครื่องมือใดหลายชนิดตามความเหมาะสมกับหลอดเตส แต่ในที่นี้ใช้ syringe เป็นเครื่องมือบรรจุ

สารผ่านรูที่ความไวความข้างของจุกยางลงไปในหลอดทดสอบ ก่อนที่จะบรรจุสารลงไปในหลอดทดสอบ จะต้อง set เครื่องมือให้เรียบร้อยและคงที่ สายยางท่อนล่างต้องอุบลาย glass tube พอดี กันไม่ให้ของเหลวไหลผ่านไปก่อน แผ่นทองแดงบนจุกยางต้องสัมผัสกันพอดีแล้วจึงบรรจุสารลงไปในหลอดทดสอบทางรูเล็กๆ ที่ความไวความข้างของจุกยาง ดังนั้นเครื่องมือที่ใช้บรรจุสารลงไปในหลอดทดสอบจึงต้องมีลักษณะปลายเล็กแหลม และใช้ทดลองใช้เข็มฉีดยาสวมต่อเข้ากับปลาย syringe เพื่อใช้ทดสอบปรากฏว่าไขไม่ได้ เพราะเมื่อแช่เข็มฉีดยาลงไปในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3 โมลาร์ เข็มฉีดยาจะทำปฏิกิริยากับกรดเกิดฟองก๊าซขึ้น และเมื่อแช่เป็นเวลา 16 ชั่วโมง ปรากฏว่าโครเมียมที่ชุบไว้ลอกไปหมด ดังนั้นของที่จะใช้แทนเข็มฉีดยาจึงควรมีลักษณะคล้ายๆ กัน แต่ต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่ใช้ จึงได้คิดแปลงหลอดแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.3 ซม. ให้มีปลายแหลมมาใช้ต่อกับสายยางแทนเข็มฉีดยา

(4) การทดสอบการรั่วของสารเคมีที่บรรจุไว้ภายในหลอดทดสอบมีความจำเป็นมากเพราะ การทดลองคงทดสอบให้เขาไปทำปฏิกิริยากันตามเวลาที่ต้องการ เมื่อทดสอบลงไปแล้วก็จะเริ่มต้นเดินพร้อมกัน ดังนั้นถ้าแกนหลอดแก้วกับสารละลายไขไม่ได้ก็จะมี การรั่วไหลซึมผ่านสายยางที่อุดไปได้ สารละลายจะหยดลงไปทำปฏิกิริยากันก่อนการจับเวลาเป็นผลให้การทดลองนั้นไขไม่ได้ ดังนั้นจึงต้องจัดทำสายยางที่อุบลาย glass tube ให้มีขนาดพอดีกัน

การซึมของอากาศจากภายนอกเข้าไปในหลอดทดสอบมีความสำคัญมากเช่นเดียวกับการรั่ว ของของเหลวจากหลอดทดสอบดังกล่าว เพราะการรั่วหรือซึมมีผลกระทบกระเทือนโดยตรงกับการ ทดลอง ถ้ามีการรั่วเกิดขึ้นความกดดันของบรรยากาศภายนอกกับภายในจะไม่เท่ากัน อากาศจาก ภายนอกจะซึมไหลผ่านเข้าไปในคอนโทแล้วไหลลงไปในแท่งน้ำใน buret เป็นผลให้การวัดปริมาตรของ ก๊าซที่เกิดขึ้นผิดไปเพราะไม่ทราบปริมาตรเริ่มต้นของน้ำใน buret ที่แน่นอน

(5) ปริมาตรของของเหลวในหลอดทดสอบเท่ากับ 25.5 ml. แต่ปริมาตรอาจ จะผิดไปจากนี้ได้ซึ่งเกิดขึ้นได้ในลักษณะต่างๆ ดังนี้

ก. บรรจุสารเกินขีดกำหนดปริมาตร

ข. บรรจุสารไม่ถึงขีดกำหนดปริมาตร

ค. ปริมาตรของสารละลายที่เกาะอยู่กับหลอดทดสอบ

(6) ปริมาตรของน้ำใน buret ที่เปลี่ยนแปลงไปอันเนื่องมาจากการทดสอบจาก หลอดทดสอบลงไปแล้วทำปฏิกิริยากับอีกสารหนึ่งในคอนโท เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความกดดันของอากาศ

ภายในคนโท เพราะว่าคนที่จะเทสารลงไปทำปฏิกิริยากันจะต้องปรับระดับน้ำใน buret ให้เท่ากันทุกครั้ง ณ จุดนี้ความกดดันของอากาศภายนอกจะเท่ากับความกดดันของอากาศภายในคนโท รวมกับความกดดันของน้ำใน buret (ความกดดันของของเหลวแปรผันตามความสูงของของเหลว) แต่เมื่อถึงแกนวัดแล้วขึ้นเพื่อเทสารลงไปทำปฏิกิริยากัน ทำให้ความกดดันของอากาศภายในคนโท ลดลง ความสูงของน้ำใน buret จะสูงขึ้นอีกเล็กน้อย เพื่อปรับความกดดันภายในทั้งหมดให้เท่ากับความกดดันภายนอก การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของน้ำนี้มีผลทำให้การวัดปริมาตรของการจุ่มแรกผิดไป 0.2 ml. แต่ปริมาตรของการจุ่มอื่นๆคงเดิม

(7) สวิตช์บนจุกยาง สร้างขึ้นเพื่อช่วยให้ง่ายต่อการทดลองถูกต้องยิ่งขึ้น ถ้าไม่มีสวิตช์ตัวนี้แล้ว การเทสารกับเวลาที่นาฬิกาเริ่มต้นเดินจะหาพร้อมกันไม่ได้ และเวลาที่วัดได้แต่ละจุดนั้น จะไม่ใช่เวลาที่แท้จริง เวลาที่แท้จริงคงมากกว่าเวลาที่วัดได้ เพราะว่าการทดลองเริ่มต้นจากการเทสารแล้วจึงไปปิดสวิตช์รวมให้นาฬิกาหยุดอยู่ เริ่มต้นเดินพร้อมกัน เวลาที่ผิดไปคือช่วงเวลาจากการเทสารจนถึงปิดสวิตช์ ดังนั้นการนำเอาสวิตช์ไปติดไว้ที่จุกยางอีกอันหนึ่งจึงช่วยให้ การเทสารกับเวลาที่นาฬิกาเริ่มต้นเดินทำได้พร้อมกัน เพราะว่าเมื่อยังไม่เทสารลงไปทำปฏิกิริยากัน แฉกทองแดงบนจุกยางจะสัมผัสกันอยู่ กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้มากจนบังคับให้นาฬิกาหยุดเดินหมดทุกเรือน พอเริ่มต้นถึงแกนวัดแล้วขึ้นเพื่อเทสารลงไปทำปฏิกิริยากัน แฉกทองแดงบนจุกยางแยกออกจากกัน เป็นผลให้กระแสในวงจรลดลงมากจนไม่พอที่จะบังคับให้นาฬิกาหยุดได้ นาฬิกาทุกเรือนจึงเริ่มเดินพร้อมกัน

ข. กล่องควบคุมอุณหภูมิ

การสร้างกล่องควบคุมอุณหภูมิในที่นี้ใช้วิธีอย่างง่ายโดยใช้ถังพลาสติกอีกอยู่ข้างใน คุมด้วยโพลีโธมและไม้ฉันทัน ตามปกติเครื่องมือที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิให้ได้ผลดีเช่น ขวดเทอร์มอส (thermos bottle) ต้องสามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนได้พร้อมกันทั้งสามวิธีคือ

1. การนำความร้อน
2. การพาความร้อน
3. การแผ่รังสี

¹ พงษ์ พันธุกุล, พ.อ. และคณะ อินจันทร รงค์ วิชาความร้อนประโยชน์เคมีศึกษา
ตอนปลาย หน้า 274.

การใช้ถังพลาสติกใส่ลงไปในโพลีโพรไพลีนที่มีกลองไม้มืออีกชั้นหนึ่งจะช่วยป้องกันการถ่ายเทความร้อนได้ดีพอควร กล่าวคือถังพลาสติกและโพลีโพรไพลีนเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดี จะช่วยป้องกันการนำความร้อนได้มากและโพลีโพรไพลีนกับกลองไม้ที่หุ้ม ถังพลาสติกไว้จะช่วยป้องกันมิให้อากาศภายนอกเข้าไปสัมผัสกับถังพลาสติกได้มาก การพาความร้อนจึงเกิดขึ้นได้น้อยมาก ดังนั้นกลองควบคุมอุณหภูมิที่สร้างขึ้นจึงมีคุณสมบัติที่จะใช้เป็นกลองควบคุมอุณหภูมิได้และผลการทดลองใช้กลองควบคุมอุณหภูมิ ณ อุณหภูมิต่างๆ ปรากฏว่าเมื่ออุณหภูมิเข้าสู่ thermal equilibrium แล้วใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง อุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงไปประมาณ $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$

2. เครื่องมือเก็บกาช

เครื่องมือเก็บกาชนี้เก็บกาชที่เกิดขึ้นโดยการแทนที่น้ำใน buret ซึ่งจุ่มอยู่ในกระป๋องยูเรคา จากข้างบนลงไปตามความสูงของ buret น้ำที่ถูกแทนที่จะไหลออกไปทางกรวยของกระป๋องยูเรคา (ดังรูป 14) การสร้างเครื่องมือแบบนี้มีหลักการเกิดในการปรับความกดดันของน้ำใน buret ให้คงที่หรือเท่ากันทุกครั้งซึ่งความกดดันของของเหลว ณ จุดใดๆ แสดงได้ดังสูตรข้างล่างนี้¹

$$P = \rho gh$$

เมื่อ P คือความกดดันสัมบูรณ์ (absolute pressure)

ρ คือความหนาแน่นของน้ำหรือของของเหลวใน buret หรือหลอดเก็บกาช

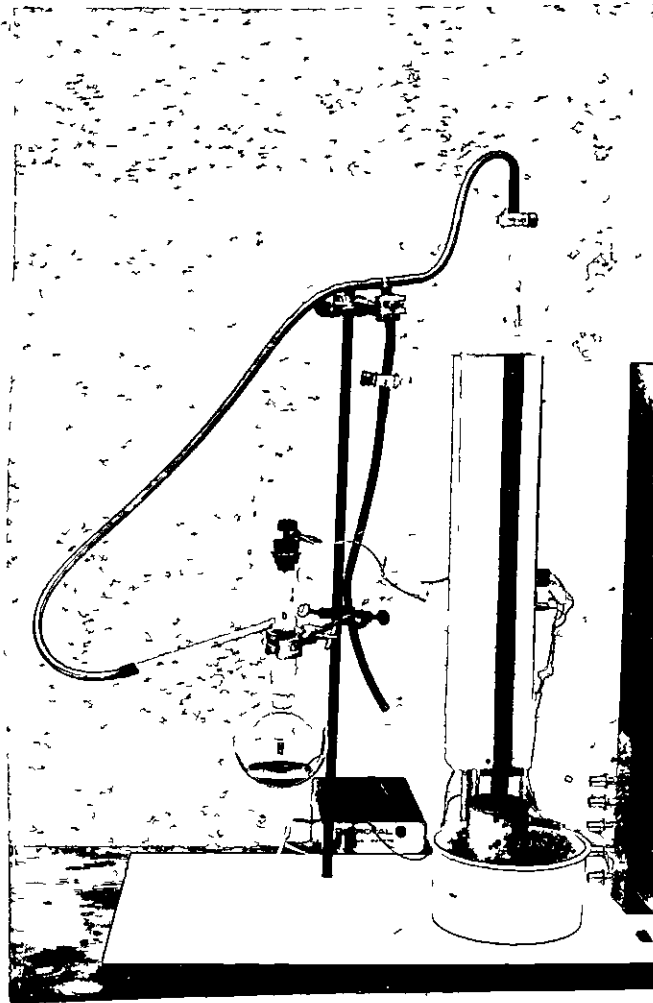
g คืออัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

h คือความสูงของน้ำใน buret

ในการทดลองทุกครั้ง ρ และ g มีค่าคงที่ ความกดดันของน้ำ ณ จุดใดๆ ใน buret จึงแปรผันตามความสูงของน้ำใน buret ดังนั้นในการทดลองแต่ละครั้งถ้าความสูงของระดับน้ำใน buret ไม่เท่ากัน ความกดดันของน้ำก็ไม่เท่ากันด้วย อัตราการเกิดกาชที่ได้ นำมาเปรียบเทียบกับไม่ได้ อัตราการเกิดกาชจะนำมาเปรียบเทียบกับได้ก็ต่อเมื่อการทดลองทุกครั้งเริ่มต้นด้วย ความกดดันเท่ากันหรือคงที่ เปลี่ยนแปลงเฉพาะเงื่อนไขในการทดลองเท่านั้น และโดยทั่วไป

¹Francis Weston Sears and Mark W. Zemansky, College Physics, p.242.

เครื่องมือเก็บก๊าซมักจะออกแบบให้มีการแทนที่ก๊าซที่เกิดขึ้นจากข้างบนลงไปและปรับความกดดันทุกครั้ง
เช่นเดียวกัน เช่นเครื่องมือในรูป 11 , 12 หน้า 78



รูป 14 แสดงลักษณะการแทนที่ของก๊าซที่เกิดขึ้น

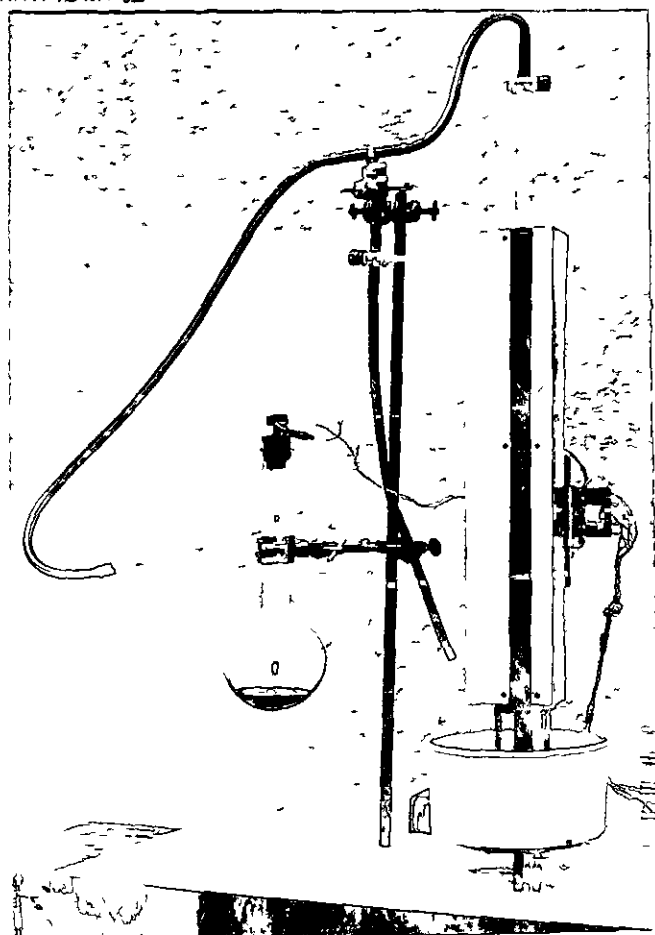
จากการทดลองสร้างเครื่องมือเก็บก๊าซ ได้ประสบปัญหาและแก้ไขดัดแปลงมาหลายวิธี
ตามลำดับดังนี้

1. เครื่องมือเก็บก๊าซโดยวิธีแทนที่น้ำจากข้างล่าง buret ขึ้นไป การเก็บก๊าซ
โดยวิธีนี้เมื่อนำมาประกอบกับเครื่องมือจับเวลาที่ทำงานด้วยแสงและอิเล็กทรอนิกส์แล้วปรากฏว่า
พองก๊าซที่ผ่านขึ้นไปนั้น แสงจากหลอดไฟสามารถส่องผ่านพองก๊าซไปกระทบ LDR ทำให้เกิดอำนาจ
แม่เหล็กขึ้นที่ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดแผ่นเหล็กสปริงเข้าไปแตะจักรกรอกของนาฬิกา เป็นผลให้นาฬิกา
หยุดเดิน แต่พอพองก๊าซผ่านไปแล้วนาฬิกากลับเดินตามปกติอีก ในบางครั้งเกิดอำนาจแม่เหล็กน้อย

ไม่ถึงกับจะทำให้หน้าพิกาศหยุดเดิน แต่ทำให้หน้าพิกาศเกิดการหยุดชะงัก ทำให้เวลาที่วัดได้จริงๆผิดไป การเกิดอำนาจแม่เหล็กจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของฟองการที่ผ่านขึ้นไป โดยทั่วไปฟองการที่ผ่านขึ้นไปมักจะไม่สม่ำเสมอและมีขนาดไม่เท่ากันจึงทำให้การจับเวลาจากเครื่องมือชนิดพลาสติกไม่คงที่ เวลาที่วัดได้จึงเชื่อถือไม่ได้

2. เครื่องมือเก็บก๊าซโดยวิธีแทนที่น้ำใน buret จากข้างบนลงไปและไม่มีการปรับระดับน้ำใน buret ให้เท่ากันทุกครั้ง (เมื่อเปิดคนโท ระดับน้ำใน buret ที่ตกลงมาไม่เท่ากันทุกครั้งทำให้ความสูงของน้ำใน buret ไม่เท่ากัน) การเก็บก๊าซโดยวิธีนี้ไม่เกิดปัญหาในเรื่องการเกิดอำนาจแม่เหล็กที่ขัดขวางแม่เหล็กไฟฟ้าก่อนถึงปริมาตรที่ต้องการวัดจริง แต่มีปัญหในเรื่องความกดดันของน้ำใน buret ไม่คงที่ เพราะระดับน้ำใน buret ก่อนการทดลองแต่ละครั้งมีความสูงไม่เท่ากันความกดดันของน้ำที่จุดเริ่มต้นจึงไม่เท่ากัน (ความกดดันของน้ำเป็นส่วนสำคัญกับความสูงของน้ำ) ซึ่งจะมีผลทำให้การวัดอัตราการเกิดก๊าซผิดไป

3. เครื่องมือเก็บก๊าซโดยวิธีแทนที่น้ำใน buret จากข้างบนลงไปและมีการปรับระดับน้ำใน buret ที่จุดเริ่มต้นเท่ากันทุกครั้งด้วยแท่นหมุนไม้ เลื่อนอาจน้ำขึ้นลงตามที่ต้องการ การเก็บก๊าซวิธีนี้เกิดปัญหาเช่นเดียวกับวิธีที่สอง คือความกดดันของน้ำภายใน buret ไม่คงที่หรือไม่เท่ากันทุกครั้ง เพราะว่าการปรับระดับน้ำใน buret ให้จุดตั้งต้นเท่ากันทุกครั้งนั้นจะต้องเลื่อนแท่นหมุนไม้ขึ้นหรือลงจึงทำให้ความสูงของน้ำใน buret ไม่เท่ากันทุกครั้ง ความกดดันของน้ำใน buret ก็จะไม่เท่ากันทุกครั้งด้วยดังรูป



รูป 15 แสดงวิธีการปรับระดับน้ำใน buret ด้วยแท่นหมุนไม้

ลำดับการสร้างเครื่องมือเก็บกาชแต่ละส่วนมีดังนี้

1. การเจาะรูงอไม้ตลอดความยาวของไม้เพื่อใช้เป็นร่องไว้ buret และป้องกันแสงสว่างจากภายนอกมากระทบ buret มาก ซึ่งอาจจะทำให้สะท้อนเข้าไปกระทบกับ LDR เกิดการทำงานที่ LDR ก่อนที่จะได้รับแสงจริงๆ และยังช่วยให้เครื่องมือเก็บกาชนี้กระตือรือร้น โดยรวมส่วนประกอบอื่นๆไว้ที่เดียวกันหมด ส่วนการเจาะรูเล็กๆ ด้านข้างของไม้ และการคว้านรูให้กว้างขึ้นและลึกเข้าไปด้านละประมาณครึ่งหนึ่งของความหนาของไม้สำหรับติดหลอดไฟและฝัง LDR เพื่อใช้เป็นที่ยึดกับหลอดไฟที่ออกไปจากหลอดไฟเป็นลำแสงที่ตีบเล็ก พุ่งเป็นเส้นตรงทะลุรูไปยังด้านตรงข้ามซึ่งติด LDR ไว้ ทำให้ LDR ได้รับแสงมาจากแหล่งเดียวในปริมาณที่เพียงพอกับการทำงานตามวงจรได้อย่างมีประสิทธิภาพ การฝัง LDR ยังช่วยป้องกันมิให้แสงสว่างจากภายนอกไปกระทบด้านหน้าหรือด้านข้างของ LDR อีกด้วย เพราะถ้ามีแสงปริมาณที่มากพอจะทำให้ LDR ทำงานได้ทั้งๆที่ยังไม่ได้รับแสงมาจากแหล่งแสงจริงๆ

2. การเจาะรูบนฐานไม้เพื่อฝังแป้นเกลียวเหล็กหกเหลี่ยม (nut) ลงไปให้เหล็กเกลียว (bolt) ที่ยึดแผ่นไม้รูปแปดเหลี่ยมรองรับอ่างน้ำจิ้งรูป 15 หน้า 85 ทำให้รับระดับน้ำใน buret อยู่ที่ระดับเดียวกันทุกครั้ง (แผ่นหมุนเลื่อนไม้ขึ้นลงได้ประมาณ 5 ซม.) แต่การปรับระดับน้ำโดยวิธีนี้ยังทำให้ความกดดันของน้ำใน buret ไม่เท่ากันทุกครั้ง การสร้างเครื่องมือขึ้นขึ้นเพื่อใช้ทดลองเปรียบเทียบกับเครื่องมือชนิดที่วัดความกดดันของน้ำใน buret ให้เท่ากันทุกครั้งโดยการปรับระดับน้ำใน buret ให้มีความสูงเท่ากันทุกครั้งซึ่งทำได้โดยให้ปาก buret จมอยู่ในกระป๋องยูเรคา เมื่อปรับระดับน้ำใน buret ได้ที่แล้ว ต้องเติมน้ำลงไปในกระป๋องยูเรคาจนถึงปากกรวยพอดี เมื่อมีกาชเกิดขึ้นไปแทนที่น้ำใน buret น้ำจะไหลออกไปทางกรวยของกระป๋องยูเรคา โดยวิธีนี้ความสูงของน้ำใน buret จากจุดสูงสุดถึงปากกรวยกระป๋องยูเรคา จึงเท่ากันทุกครั้ง

3. การต่อวงจรหลอดไฟแบบขนานจะช่วยให้ได้รับแสงไฟจากหม้อแปลงสว่างที่สุด เพื่อให้แสงพุ่งตรงไปกระทบ LDR มากที่สุด การต่อวงจรภาคการทำงานของ LDR เท่าที่ตัดไปรวมกันที่แผงปลั๊ก (plug) นั้น ยังไม่ครบวงจร จะครบวงจรเมื่อนำเอาแจ็คจากเครื่องมือจับเวลาไปเสียบปลั๊ก ส่วนการต่อสวิตช์รวม S_3 ใช้ประโยชน์ในการบังคับให้น้ำฟิคาทุกเรือนหยุดเดินพร้อมกัน และสวิตช์ S_2 ต่อกับกรวยกับสวิตช์รวม S_3 ไปยังจุดบางเพื่อใช้ควบคุมการไหลของหลอดไหลกับการเริ่มต้นเดินของนาฬิกาทุกเรือน สวิตช์ S_2 และสวิตช์รวม S_3 จะทำงานร่วมกัน

ในขณะที่เปิดสวิตช์รวม S_3 และสวิตช์ S_2 กระแสไฟไหลครบวงจร (ดูรูป 9 หน้า 38 ประกอบด้วย) เกิดอำนาจแม่เหล็กที่ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดแผ่นเหล็กสปริงเข้าไปแตะจักรกรอกของนาฬิกา ทำให้นาฬิกาหยุดเดินพร้อมกันหมด แต่เมื่อเริ่มดึงแกนหลอดแก้วที่หลอดเตสารขึ้น สวิตช์ S_2 ถูกตัด ทำให้นาฬิกาเริ่มเดินพร้อมกันอีกครั้งและจะต้องปิดสวิตช์รวมด้วย เพราะถ้าไม่มีสวิตช์รวมแล้วเมื่อ LDR ตัวที่หนึ่งได้รับแสงจะมีกระแสไฟเดินผ่านสวิตช์รวมไปยังคัมมนาฬิกาทุกเรือนแทนที่จะทำงานเพียงเรือนที่หนึ่งเท่านั้น ทำให้การทดลองนั้นใช้ไม่ได้ การออกแบบอะลูมิเนียมเป็นรูปตัวบับกับด้านล่างของไม้เพื่อใช้เป็นที่ยึดรับปาก buret ให้จมอยู่ในกระป๋องยูเรคาในตำแหน่งที่ตั้งที่เสมอ

4. การทดสอบบางครั้งที่ 2(4) หน้า 33 เพื่อให้มีความสะดวกต่อการปรับระดับน้ำใน buret ให้มีปริมาตรตามที่ต้องการ โดยเริ่มต้นจากการค่นน้ำจากกระป๋องยูเรคาเข้าไปใน buret ให้มีปริมาตรเกินกว่าที่ต้องการเล็กน้อย แล้วปรับระดับน้ำโดยการเปิด stopper ให้อากาศไหลเข้าไปตามสายยางตอนที่ 4 (ดูรูป 6 หน้า 31 ประกอบด้วย) แล้วปิด stopper เมื่อปรับระดับน้ำใน buret ได้ถึงขีดปริมาตรที่ต้องการ (stopper ในที่นี้ใช้ stopper ของ buret ที่แตกหรือชำรุดส่วนอื่นมาดัดใช้แทน) ส่วนการทดสอบการรั่วหรือการซึมของอากาศตามจุดต่างๆมีความสำคัญมาก เพราะว่าถ้ามีการรั่วหรือการซึมเกิดขึ้นอากาศจากภายนอกก็จะไปช่วยค่นน้ำใน buret ให้ลดลงได้ ทำให้ผลการทดลองผิดพลาดไป จึงควรมีการทดสอบการรั่วหรือการซึมอยู่เสมอ

3. เครื่องมือจับเวลา

1. การสร้างคู่มือจุดประสงค์ 2 ประการดังนี้

(1) เพื่อรวบรวมอุปกรณ์ต่างๆที่จะนำมาประกอบเป็นเครื่องมือจับเวลาไว้ที่เดียวกัน เช่น นาฬิกา transistors ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า variable resistors และสวิตช์

(2) เพื่อให้เป็นเครื่องมือจับเวลาที่มีความมั่นคงแข็งแรงและสวยงามเหมาะสมที่จะใช้เป็นเครื่องมือวิทยาศาสตร์

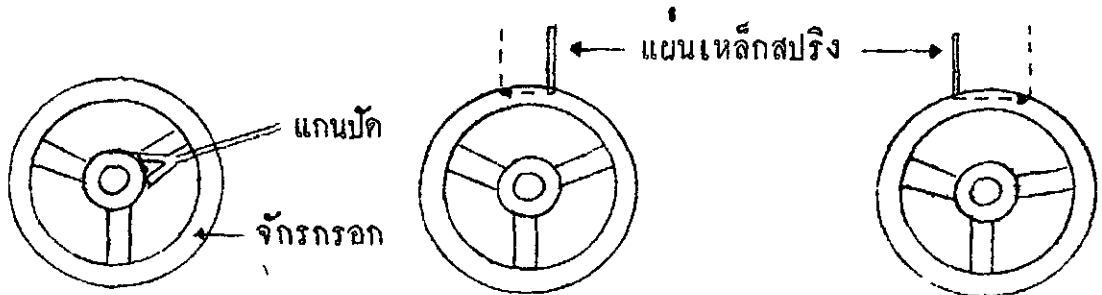
2. การตรวจสอบการทำงาน of เครื่องมือ ส่วนที่อยู่ในเครื่องมือจับเวลานี้ยังไม่สมบูรณ์พร้อมที่จะทำงานได้จะต้องตรวจดูกับแผงปลั๊กในเครื่องมือเก็บถายอีก จึงจะทำงานได้ตามรูป 9 หน้า 38 "วงจรการทำงาน of เครื่องมือถึงอัตโนมัติสำหรับหาอัตราการเกิดกาซ"

3. การทดสอบการทำงานของเครื่องมือสำหรับหาอัตราการเกิดกาช เครื่องมือสำหรับหาอัตราการเกิดกาชนี้ทำงานด้วยแสงและอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้มีความไวและถูกต้องแน่นอนในการทำงาน มีความผิดพลาดเพียงเล็กน้อย การพิจารณาการทำงานของเครื่องมือโดยส่วนรวมพิจารณาที่ กลไกการบังคับให้นาฬิกาหยุด — เดิน ได้ตามที่ต้องการ ซึ่งเป็นผลที่เกิดขึ้นขั้นสุดท้าย แต่ความจริงแล้วต้องพิจารณาเรียงตามลำดับขั้นดังนี้ (รูป 9 หน้า 38 ประกอบด้วย)

- (1) การรับแสงไฟของ LDR จากหลอดไฟมีความเข้มเพียงพอหรือไม่
- (2) การขยายสัญญาณในวงจรของ transistor โดยมี variable resistor เป็นตัวปรับให้มีกระแสเหมาะสมพอเหมาะและทำงานได้ไวที่สุด
- (3) กระแสที่ไหลในวงจร ทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กที่ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า มีปริมาณเพียงพอหรือไม่
- (4) กลไกการบังคับให้นาฬิกาหยุด — เดิน ทำงานด้วยอำนาจแม่เหล็ก ดังนั้นการวางตำแหน่งของแผ่นเหล็กสปริงบนแกนเหล็กของขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าจึงมีความสำคัญที่สุด ต้องอยู่ในตำแหน่งที่พอเหมาะ เมื่อเกิดอำนาจแม่เหล็กให้ดึงแผ่นเหล็กสปริงเข้าไปแตะจักรกรอกของนาฬิกามีมุมและเล็กน้อย และ เมื่อหมดอำนาจแม่เหล็ก แผ่นเหล็กสปริงก็จะคืนตัวออกไปพร้อม กับจักรกรอกเป็นมุมเท่าเดิม เป็นการกระตุ้นให้นาฬิกาเดินทุกครั้งด้วย ปัญหาที่เกิดขึ้นกับกลไกการบังคับนาฬิกาแบบนี้คือ เมื่อนาฬิกาถูกบังคับให้หยุดเดินแล้วจะไม่คอยยอมเดินอีกเมื่อหมดอำนาจแม่เหล็ก สาเหตุที่เกิดขึ้นนี้เพราะว่าการเดินของนาฬิกามีการหมุนของจักรกรอกและสายใบของนาฬิกาเป็นตัวควบคุมอยู่ และกลไกการบังคับของเครื่องมือนี้ใช้บังคับที่การหมุนของจักรกรอก คือ ถ้าต้องการให้นาฬิกาหยุดเดินก็มีกลไกยื่นเข้าไปกดจักรกรอก และเมื่อต้องการให้นาฬิกาเดินต่อไปก็ให้กลไกคืนตัวออก แต่การหมุนของจักรกรอกนั้นจะมีความคล่องตัวมากหรือน้อยขึ้นโดยตรงกับลานนาฬิกาซึ่งจะส่งกำลังมาตามตัวจักรตามลำดับจนถึงจักรตัวที่บังคับแกนปัดที่ขึ้นไปปิดจักรกรอกให้หมุนอยู่ตลอดเวลา โดยที่ด้านข้างของจักรกรอกมีแกนเป็นเดือยเล็ก ๆ ติดอยู่ 2 อัน สำหรับให้แกนปัดปิดจักรกรอกให้หมุน ทำให้นาฬิกาเดินตลอดเวลา ดังนั้นถ้าต้องการให้นาฬิกาหยุดเดินกลไกการบังคับจะต้องไปแตะจักรกรอกทันที แต่ถ้ากลไกการบังคับไม่ไปแตะจักรกรอกให้หยุดหมุนทันทีจะทำให้จักรกรอกเคลื่อนตัวหมุนต่อไปอีกเล็กน้อย จนทำให้เดือยที่ด้านข้างของจักรกรอกไปหยุดคร่อมอยู่ในแกนปัด

ตามลักษณะดังรูปข้างล่าง การหยุดหมุนของจักรกรอกในลักษณะนี้นาฬิกาจะไม่เดินต่อไป เมื่อกลไกการบังคับหมดอำนาจแม่เหล็ก แต่กลไกการบังคับเข้าไปแตะจักรกรอกเกิดขึ้นทันทีเมื่อได้รับอำนาจแม่เหล็กแล้ว โอกาสที่เคียบของจักรกรอกจะไม่หยุดคร่อมอยู่กับแกนปัดก็ลดน้อยลง ดังนั้นวิธีแก้ไขจะให้หน้าที่การบังคับให้หยุดแล้วเดินต่อทุกครั้งเมื่อไม่ได้ถูกบังคับ จะต้องแก้ที่กลไกที่จะไปบังคับการหมุนของจักรกรอกให้มีลักษณะยึดหยุ่นเหมือนแผ่นสปริงและวางอยู่ในตำแหน่งที่พอเหมาะ เมื่อขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดอำนาจแม่เหล็กขึ้นให้ดึงแผ่นเหล็กสปริงเข้าแตะจักรกรอกโดยมีมุมสัมผัสพอดีสมควรดังรูป 16 ข และเมื่อขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าหมดอำนาจแม่เหล็กลง แผ่นเหล็กสปริงก็จะดึงตัวออกไปจากจักรกรอกในลักษณะที่มีมุมปัดจักรกรอกเท่ากันด้วย การปัดจักรกรอกตอนนี้จะเป็นการช่วยกระตุ้นให้จักรกรอกมีแรงเหวี่ยงในตอนต้นอย่างเพียงพอถึงแม่เคียบของจักรกรอกกับแกนปัดจะหยุดคร่อมกันอยู่ ก็จะหลุดออกไปได้

จากการทดสอบกลไกการบังคับการ "เดิน" - "หยุด" ของนาฬิกาของเครื่องมือนี้ปรากฏว่าเครื่องมือทำงาน (บังคับการเดิน-หยุด) ได้ผลดีถึง 85 - 90 %



ก. การหมุนของจักรกรอก ข. กลไกบังคับการหยุดของนาฬิกา ค. กลไกบังคับการเดินของนาฬิกา

รูป 16 แสดงการหมุนของจักรกรอกและกลไกการบังคับจักรกรอก

การสร้างเครื่องมือสำหรับหาอัตราการเกิดกาสนี้ ผู้วิจัยได้คิดวิธีการควบคุมการทำงานพร้อมทั้งการแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นมาหลายวิธีด้วยกันก่อนที่จะตัดสินใจสร้างเครื่องมือตามแบบที่ใช้ศึกษาอยู่นี้ พอจะสรุปลำดับการสร้างและการแก้ปัญหาแต่ละวิธีได้ดังต่อไปนี้

วิธีที่ 1 วงจรการทำงานของเครื่องมือดังรูป 24 ในภาคผนวกหน้า 147 วงจรนี้ใช้ transistors 2 ชนิดคือ transistor 2SD 63 และ transistor 2SB 364 มาต่อแบบ direct coupling กัน ลักษณะการทำงานโดยทั่วไปเหมือนกับ

วงจรรูป 9 หน้า 38 ทุกประการ ปัญหาการสร้างเครื่องมือตามวิธีนี้คือ เครื่องมือมีประสิทธิภาพในการทำงานต่ำ กลไกการบังคับให้นาฬิกา หยุด-เดิน ทำงานไม่ค่อยดี กล่าวคือ กำลังขยายสัญญาณของ transistor ที่จะทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กมีไม่พอ เมื่อมีอำนาจแม่เหล็กเกิดขึ้น แผ่นเหล็กถูกดูดเข้าไปแตะจักรกรอกของนาฬิกา ไม่ทำให้นาฬิกาหยุดทันที ทำให้เดือยของจักรกรอกเลื่อนไปหยุดคร่อมอยู่ในแกนขัดจักรกรอก ซึ่งการหยุดในลักษณะนี้จะต้องมีแรงเหวี่ยงมาช่วยกระตุ้นให้เดือยของจักรกรอกหลุดออกจากแกนขัดเมื่อหมดอำนาจแม่เหล็ก นาฬิกาจึงจะเดินต่อไปได้ แต่จากการทดลองพบว่าเมื่อนาฬิกาหยุดเดินแล้วมักไม่ค่อยเดิน และใช้งานได้เพียง 2-3 นาที transistor ร้อนมากและเสื่อมคุณภาพอยู่เสมอๆ ดังนั้นจึงพอจะสรุปได้ว่าควรจะแก้ไขเครื่องมือดังนี้

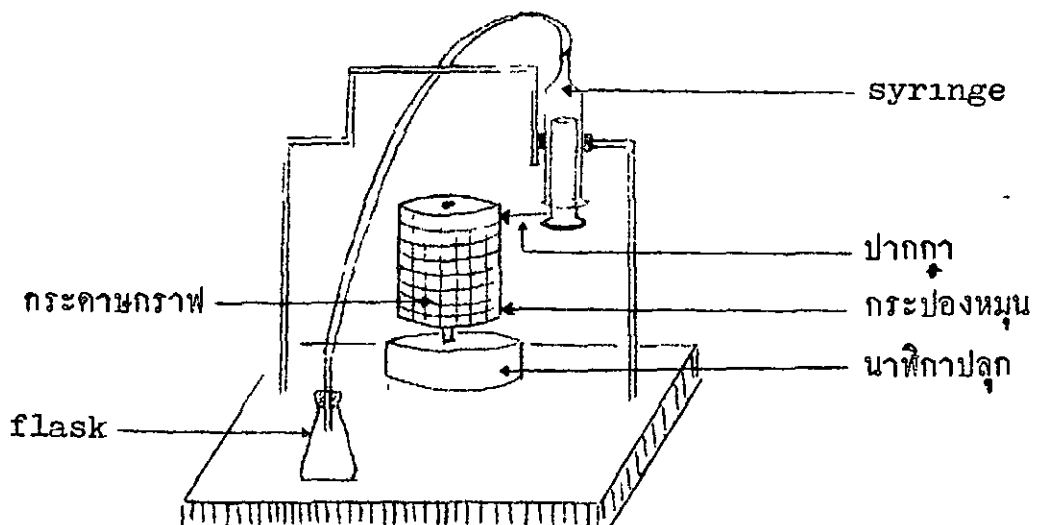
- (1) เพิ่มกำลังขยายของ transistor ที่สามารถทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กได้มากยิ่งขึ้น
- (2) แผ่นเหล็กที่แตะจักรกรอกควรมีลักษณะที่บีบคั้นได้ คล้ายแผ่นสปริง เพื่อจะได้ช่วยกระตุ้นให้จักรกรอกมีแรงเหวี่ยงในการหมุนตอนเริ่มต้น

วิธีที่ 2 วงจรการทำงานของเครื่องมือดังรูป 25 ในภาคผนวกหน้า 148 วงจรนี้ ได้พยายามแก้ไขข้อบกพร่องของวิธีที่ 1 โดยนำเอามอเตอร์ที่มีกลีบ rotor (ลักษณะเหมือนร่ม) อยู่ควมติดเข้าไปแทนขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อช่วยให้จักรกรอกมีแรงเหวี่ยงในการหมุนตัวตอนเริ่มต้น การเดิน-หยุด ของนาฬิกาจะได้เป็นไปตามที่ต้องการ ลักษณะการทำงานของวงจรนี้ก็คือ เมื่อเริ่มมีกระแสไหลในวงจร แต่ LDR ยังไม่ได้รับแสง มอเตอร์จะเริ่มหมุนยกกลีบ rotor ลอยขึ้น ในขณะที่กลีบ rotor ยกตัวลอยขึ้น (มีทั้งหมด 8 กลีบ) กลีบ rotor จะขัดจักรกรอกให้หมุนตามไปด้วย แต่พอ LDR ได้รับแสงลดค่าความต้านทานลงมีกระแสไหลผ่าน LDR ไปที่ base ของ transistor 2SD 63 ได้มากขึ้น ทำให้มีศักย์บวกที่ base น้อยลงมากเกินจุด cut off ไป จนทำให้วงจรนี้ไม่สามารถทำงานได้ มอเตอร์หยุดหมุนทันที กลีบ rotor ที่เคยกางอยู่หุบลงมาแตะจักรกรอกให้หยุดหมุนทันที การกางและการหุบของกลีบ rotor อันเนื่องมาจากการหมุนของมอเตอร์ช่วยให้การเดิน-หยุด ของนาฬิกาดีขึ้น แต่มีปัญหามาอีกคือการหมุนของมอเตอร์เร็วมากทำให้การกางและการหุบของกลีบ rotor แรงมากตามไปด้วย จนเหวี่ยงไปปิดเส้นใบของนาฬิกาได้ไป ซึ่งจะทำให้นาฬิกาเดินไม่เที่ยงตรง และถ้าสายใบบิดไปมากๆ นาฬิกาก็จะไม่เดินเลย

วิธีที่ 3 วงจรการทำงานของเครื่องมือดังรูป 26 ในภาคผนวกหน้า 149 วงจรนี้ ออกแบบขึ้นเพื่อแก้ปัญหาของวงจรที่ 2 คือ รื้อเอาลวดและจิกของนาฬิกาออกหมด ให้เหลือแต่ จิกตัวที่หมุนเข็มนาฬิกา แล้วคีมอเคอร์เข้าไปให้หมุนเข็มนาฬิกา การจับเวลาจึงไม่ เป็นรูปวินาที นาที และชั่วโมง แต่กลายเป็นการนับจำนวนรอบของการหมุนของมอเตอร์คือนาที ปัญหาที่เกิดขึ้นมากก็คือ จำนวนรอบในการหมุนของมอเตอร์แต่ละตัวไม่คงที่ ทำให้ไม่ทราบเวลาที่แน่นอน

วิธีที่ 4 เครื่องมือที่สร้างขึ้นมีลักษณะการทำงานคล้ายกับ Barograph ซึ่งสามารถ บันทึกการเปลี่ยนแปลงความกดอากาศบนกระดาษกราฟได้ทันที เครื่องมือนี้เก็บก๊าซที่เกิดขึ้นไว้ใน syringe ซึ่งที่ก้นลูกสูบของ syringe มีปากกาขึ้นไปขีดกระดาษกราฟที่ติดอยู่ ด้านข้างของกระป๋องที่หมุนอยู่บนแกนเข็มนาฬิกาปลุก (ดังรูป 17) กระป๋องนี้จะหมุนอยู่ตลอดเวลา รอบละ 1 ชั่วโมง การแบ่งมาตราการวัดบนกระดาษกราฟแบ่งดังนี้ แกนตั้ง (ordinate axis) แทน ปริมาตรของก๊าซที่เกิดขึ้น แกนนอน (abscissa axis) แทน เวลา เมื่อมี ก๊าซเกิดขึ้น ก๊าซจะไปดันลูกสูบของ syringe ให้ลอยลงมา ปากกาก็จะขีดเส้นบนกระดาษ กราฟทันที การทดลองโดยวิธีนี้สามารถหาค่าอัตราการเกิดก๊าซได้ทุกๆจุด แต่เครื่องมือนี้มีข้อบกพร่อง อยู่หลายประการด้วยกันดังนี้

(1) การหมุนของกระป๋องช้าเกินไป การศึกษาอัตราการเกิดก๊าซจึงอยู่ในขอบเขต จำกัด ใช้ได้เฉพาะปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นๆเท่านั้น ส่วนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเร็วๆ ไม่สามารถจะแยกความ แตกต่างออกได้เลย เพราะกราฟออกมาเกือบเป็นเส้นตรงหรือเป็นเส้นตรงเลย



รูป 17 เครื่องมือศึกษาอัตราการเกิดก๊าซ

(2) ก่อนการเริ่มต้นที่สารจะเข้าทำปฏิกิริยาทุกครั้งต้องเปิดจุกเพื่อเหลารลงไปทำปฏิกิริยากับอีกสารหนึ่งในคอนโถแล้วจึงปิดจุก เป็นผลให้เกิดข้อผิดพลาดในสิ่งเหล่านี้คือ

ก. ไม่ทราบปริมาตรของการที่เกิดขึ้นจริงๆเป็นเท่าใด

ข. อัตราการเกิดกฏในคอน เริ่มต้นวัดไม่ได้

(3) การทดลองต้องใช้สารจำนวนน้อยมาก เพราะ syringe วัดได้ 20 ml. เท่านั้น

วิธีที่ 5 เครื่องมือที่สร้างขึ้นยังคงมีลักษณะการทำงานคล้ายวิธีที่ 4 อยู่ คือ วัดปริมาตรของการที่เกิดขึ้นโดยใช้ syringe และเขียนกราฟแสดงปริมาตรต่อเวลาบนกระดาษกราฟเหมือนเดิม แต่ได้นำเอาข้อบกพร่องในวิธีที่ 4 มาแก้ไขดังนี้

(1) ให้กระป๋องกราฟหมุนเร็วขึ้นเป็นรอบละ 10 นาที โดยยังใช้แกนเข็มนาฬิกาของนาฬิกาปลุกเหมือนเดิม แต่หาโครงของแท่นนาฬิกาปลุกจากเรือนอื่นมารื้อเอาตัวจักรออกให้เหลือเพียงตัวจักรลานนาฬิกากับตัวจักรที่อยู่ติดไปเท่านั้น แล้วนำเอาแกนจักรลานนาฬิกามาต่อกับแกนเข็มนาฬิกา จากแกนเข็มนาฬิกาจะถายกำลังมาสู่จักรลานนาฬิกา แล้วส่งกำลังต่อไปยังจักรอีกตัวหนึ่งโดยวิธีนี้สามารถครอบให้หมุนเร็วขึ้นกว่าวิธีที่ 4 ถึง 6 เท่า และหากระป๋องที่จะใช้หมุนให้มีขนาดใหญ่ขึ้น แต่มิฉะนั้นก็เบา ซึ่งจะช่วยให้ได้กราฟที่ละเอียดขึ้นอีกมาก

(2) การเหลารเข้าทำปฏิกิริยาโดยไม่ต้องเปิดจุกก่อนเหมือนเดิม โดยดัดแปลง syringe ขนาด 20 ml. มาใช้เป็นเครื่องมือเหลาร เจาะรูที่ด้านข้างของ syringe 1 รู และเจาะรองตามความยาวของลูกสูบของ syringe แล้วสวม syringe เข้ากับหลอดยางอีกอันหนึ่งซึ่งจะใส่ทั้ง syringe และหลอดยางเป็นจุกปิดคอนโถ เมื่อต้องการเหลารจาก syringe ก็หมุนลูกสูบให้รองตรงกับรูด้านข้างของ syringe สารจะไหลไปทำปฏิกิริยากับอีกสารหนึ่งในคอนโถได้ตามที่ต้องการ

การทดสอบการหมุนของ กระป๋องกราฟ ปรากฏว่าการหมุนในแต่ละรอบใช้เวลาไม่คงที่ ถึงแม้จะแก้ไขน้ำหนักของกระป๋อง การสมดุลของกระป๋อง การหมุนก็ยังไม่คงที่อีก เพราะว่าน้ำหนักของกระป๋องที่ใช้หนักเกินไปกว่าที่กำลังของนาฬิกาจะรับไว้ได้

ส่วนผลการทดสอบการใช้น้ำผสมกับน้ำหมึกสีดำกันแสงพบว่า ปริมาณน้ำหมึกที่จะใช้กันแสงได้ดี ต้องใช้หมึกสีดำ 10 ml. ต่อน้ำครึ่งลิตร การเลือกใช้น้ำหมึกสีดำมาผสมกับน้ำเพราะว่าหมึกสีอื่นเมื่อถูกกับอากาศอาจจะถูก oxidize เปลี่ยนสีไปได้ทำให้กระทบกระเทือนต่อการศึกษา

อัตราการเกิดกาชออกมีเงินโดยตรงเช่น หมึกสีน้ำเงิน¹ ซึ่งเป็นของผสมของ tannic acid, gallic acid, ferrous sulphate, preservative และ soluble blue dye ละลายในน้ำ เมื่อตั้งทิ้งไว้ในอากาศ สีน้ำเงินจะค่อยๆเปลี่ยนเป็นสีดำที่ละน้อยๆ เพราะว่า ferrous sulphate ถูก oxidize ไปเป็น ferric gallotannate ดังนั้นการใช้หมึกสีน้ำเงินกับน้ำเพื่อใช้กันแสงจึงเหมาะกว่าการใช้หมึกสีอื่น

การศึกษ้อัตราการเกิดกาชไฮโดรเจน

การศึกษ้อัตราการเกิดกาชไฮโดรเจน ใช้วิธีคิดตามวัดปริมาณของกาชที่เกิดขึ้นต่อเวลา ทั้งอัตราส่วนข้างล่างนี้

$$\text{อัตราการเกิดกาชไฮโดรเจน} = \frac{\text{ปริมาณของกาชที่เกิดขึ้น (มิลลิลิตร)}}{\text{เวลา (วินาที)}}$$

เครื่องมือสำหรับหาอัตราการเกิดกาชที่สร้างขึ้น แบ่งการวัดปริมาณของกาชออกเป็น 5 จุด โดยการแทนที่น้ำจากข้างบนลงไปตามความสูงของ buret และปล่อยให้กาชแทนที่ไหลออกไปทางกรวยของกระป๋องบูเรตา เมื่อเริ่มต้นทำการทดลอง กับในขณะที่กำลังเกิดกาชขึ้น ความกดดันภายในจะเปลี่ยนแปลงไป แต่ความกดดันที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นเป็นสัดส่วนกับปริมาณของกาชที่เกิดขึ้น ดังรายละเอียดในตารางต่อไปนี้

¹"Ink" Collier's Encyclopedia, Vol.13,p.19.

"Ink" Compton's Pictured Encyclopedia, Vol.7,p.190.

ตาราง 16 แสดงผลการคำนวณ ความกดดันที่เปลี่ยนแปลงในขณะที่ยกหลอด ซึ่งเป็น
สัดส่วนกับปริมาตรของก๊าซที่เกิดขึ้น ณ อุณหภูมิห้อง 31.8°C

เงื่อนไข	P ¹ อากาศ (mm. of Hg)	P ² น้ำใน buret (mm. of Hg)	P _{ก๊าซ} + ไอน้ำ + H ₂	P ³ ไอน้ำ	P _{ก๊าซ} + H ₂	ΔP	V _{H₂} ที่เกิดขึ้น (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta P}{\Delta V}$
จุดเริ่มต้น	753.26	35.33	717.93	35.26	682.67	5.70	0.0	15.2	0.375
จุดที่ 1		29.63	723.63		688.37	5.54	15.2	14.6	0.379
จุดที่ 2		24.09	729.17		693.91	5.70	29.8	15.2	0.375
จุดที่ 3		18.39	734.87		699.61	5.62	45.0	14.9	0.377
จุดที่ 4		12.77	740.49		705.23	5.62	59.9	14.9	0.377
จุดที่ 5		7.15	746.11		710.85		74.8		

$$^1 P_{\text{อากาศ}} = P_{\text{ก๊าซภายใน}} + P_{\text{น้ำ}}$$

$$^2 P_{\text{น้ำ}} = \rho gh$$

³ Charles D. Hodgman editor, Handbook of Chemistry and Physics,
p.2142.

จากตาราง 16 ข้างบน จะเห็นว่าความกดดันภายในที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละจุดเป็น
สัดส่วนกับปริมาตรของก๊าซที่เกิดขึ้น และมีค่าคงที่ ดังนั้นอัตราการเกิดก๊าซแต่ละจุดที่คำนวณได้
จึงนำไปเปรียบเทียบกันได้เลย

การศึกษาอัตราการเกิด ก๊าซไฮโดรเจนทั้งหมด ได้แยกห่าการศึกษาโดยใช้เครื่องมือทั้ง
อัตโนมัติ สำหรับหาอัตราการเกิดก๊าซที่สร้างขึ้น กับเครื่องมืออย่างง่าย ๆ ที่มีในห้องปฏิบัติการ คง
มีรายละเอียดต่อไปนี้

1. เครื่องมือทั้งอัตโนมัติสำหรับหาอัตราการเกิดก๊าซที่สร้างขึ้น ใช้ศึกษาอัตราการเกิด
ก๊าซไฮโดรเจนในเงื่อนไขต่างๆ ได้ผลดังต่อไปนี้

(1) การแปรผันความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก จาก 1.07-4.17 โมลาร์ เมื่อ

น้ำหลักของโลหะสังกะสีดังนี้ แปรภาพว่าอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนสูงขึ้น เมื่อความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกสูงขึ้น ดังตารางข้างล่างนี้

ตาราง 17 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจน ในเงื่อนไขการแปรผัน
ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกเมื่อนำหนักของโลหะสังกะสีคงที่ * ณ อุณหภูมิ
ห้อง $25.0^{\circ} - 32.0^{\circ} \text{C}$

อัตราการเกิดกาซไฮโดรเจน : dV/dt (ml./sec.)						
1.07 M	1.60 M	2.13 M	2.62 M	3.11 M	3.70 M	4.17 M
3.70×10^{-1}	6.29×10^{-1}	6.78×10^{-1}	7.52×10^{-1}	8.76×10^{-1}	9.43×10^{-1}	8.87×10^{-1}
3.39×10^{-1}	5.30×10^{-1}	5.61×10^{-1}	6.32×10^{-1}	7.63×10^{-1}	8.22×10^{-1}	8.81×10^{-1}
2.61×10^{-1}	4.38×10^{-1}	4.65×10^{-1}	5.84×10^{-1}	6.77×10^{-1}	8.09×10^{-1}	8.50×10^{-1}
1.80×10^{-1}	3.37×10^{-1}	4.02×10^{-1}	5.07×10^{-1}	6.29×10^{-1}	7.60×10^{-1}	7.68×10^{-1}
1.22×10^{-1}	2.73×10^{-1}	3.47×10^{-1}	4.51×10^{-1}	5.82×10^{-1}	6.77×10^{-1}	7.56×10^{-1}

* 0.50 g. Zn : H_2SO_4 25.5 ml.

เมื่อนำเอาข้อมูลจากตาราง 2 หน้า 50-51 ไปเขียนกราฟระหว่างปริมาณของกาซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นต่อเวลา จะได้เส้นโค้ง ดังรูป 27 หน้า 151 ซึ่งสรุปได้ว่าอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกสูงขึ้น เวลาที่ใช้สำหรับการเก็บกาซในปริมาตรเท่าเดิมจะน้อยลงตามลำดับ และจากรูป 28 หน้า 152 "กราฟแสดงอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนต่อเวลา" จะพบความจริงอย่างหนึ่งคือ อัตราการเกิดกาซในแต่ละเงื่อนไข จะเริ่มต้นจากอัตราสูงสุด แล้วลดต่ำลงตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบอัตราการเกิดกาซในจุดเดียวกันของแต่ละเงื่อนไข จะพบว่าอัตราการเกิดกาซในจุดนั้นๆ จะมีค่าสูงขึ้นตามลำดับตามความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกที่เพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจน เปรียบเทียบในแต่ละความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก จากความเข้มข้นต่ำไปหาสูง (ตามแนวตั้งของตาราง 17) จะพบว่าอัตราการเกิดกาซในคอนเริ่มต้นของทุกเงื่อนไข เป็นอัตราสูงสุด แล้วลดต่ำลงตามลำดับ เพราะว่าที่จุดเริ่มต้นมีปริมาณสารเข้าทำ

ปฏิกิริยามากที่สุด และเมื่อสารเริ่มทำปฏิกิริยากันไป ปริมาณของสารที่เข้าทำปฏิกิริยาลดลงตามลำดับ อัตราการเกิดกาชจุดสุดท้ายจึงมีค่าอัตราต่ำสุดด้วย ซึ่งสอดคล้องกับ Wilhelmy's Law¹ หรือ Law of Mass Action² กล่าวว่ "อัตราของปฏิกิริยาเคมีเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารที่เข้าทำปฏิกิริยากัน"

(2) การแปรผันน้ำหนักของโลหะสังกะสี จาก 0.25-1.50 กรัม เมื่อปริมาณของกรดซัลฟุริกคงที่ ผลปรากฏว่ อัตราการเกิดกาชไฮโดรเจนแปรผันตามปริมาณของโลหะสังกะสีที่ใช้ เมื่อปริมาณของโลหะสังกะสีเพิ่มขึ้น อัตราการเกิดกาชก็มีค่าสูงขึ้นตามด้วย ดังตารางข้างล่างนี้

ตาราง 18 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาชไฮโดรเจน ในเงื่อนไขการแปรผันน้ำหนักของโลหะสังกะสี เมื่อปริมาณของกรดซัลฟุริกคงที่* ณ อุณหภูมิห้อง 26.0°-33.4°C

อัตราการเกิดกาชไฮโดรเจน : dv/dt (ml./sec.)					
0.25 g.	0.50 g.	0.75 g.	1.00 g.	1.25 g.	1.50 g.
4.61×10^{-1}	8.76×10^{-1}	1.13	1.38	1.45	1.59
3.97×10^{-1}	7.62×10^{-1}	1.08	1.45	1.59	1.85
3.46×10^{-1}	6.77×10^{-1}	1.08	1.40	1.68	1.99
2.79×10^{-1}	6.29×10^{-1}	9.25×10^{-1}	1.25	1.49	1.66
1.66×10^{-1}	5.82×10^{-1}	8.81×10^{-1}	1.17	1.51	1.66

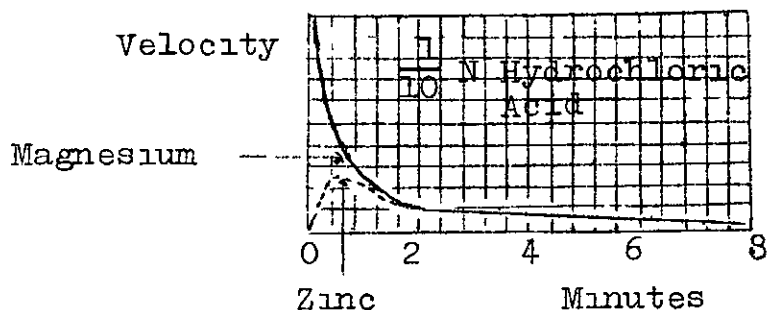
* 3.11 M H_2SO_4 25.5 ml.

เมื่อนำเอาข้อมูลจากตาราง 3 หน้า 52-53 ไปเขียนกราฟระหว่างปริมาตรของกาชไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นต่อเวลา ตามเงื่อนไขต่างๆ ปรากฏว่จะได้เป็นเส้นโค้ง ดังรูป 29 หน้า 153 จากเส้นโค้งเหล่านั้นจะเห็นชัดว่ เมื่อปริมาณของโลหะสังกะสีเพิ่มมากขึ้น เวลาที่ใช้สำหรับวัดปริมาตรของกาชในปริมาตรเท่าเดิมจะน้อยลงตามลำดับ แสดงว่ เมื่อปริมาณของโลหะสังกะสีเพิ่มขึ้น อัตรา

¹J.W.Mellor, Modern Inorganic Chemistry, p.117.

²Jurgon M.Honig, The Van Nostrand Chemist's Dictionary, p.426.

การเกิดกาซไฮโดรเจนจะเพิ่มสูงขึ้นตามควบ และจากรูป 30 หน้า 154 "กราฟแสดงอัตรา
การเกิดกาซไฮโดรเจนต่อเวลา" พบว่า เมื่อปริมาณของโลหะสังกะสีที่ใช้มีปริมาณต่ำกว่า 1.00
กรัม อัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนเริ่มต้นควบอัตราสูงสุดแล้วลดต่ำลงตามลำดับ แต่ในเงื่อนไขที่
มีปริมาณของโลหะสังกะสีมากกว่า 1.00 กรัมขึ้นไป อัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนไม่ได้เริ่มต้น
ควบอัตราสูงสุด อัตราการเกิดกาซยังคงมีค่าสูงขึ้นต่อไปอีกในจุดที่สองหรือจุดที่สามแล้วแต่กรณี
อัตราการเกิดกาซในลักษณะเช่นนี้ ดูเหมือนว่าจะมีอัตราเร่งเข้ามาเกี่ยวกับของระหว่างที่ปฏิกิริยาทำสิ่ง
ดำเนินอยู่ควบ กล่าวคือ อัตราการเกิดกาซจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงอัตราสูงสุด แล้วจึงลดต่ำ
ลงตามลำดับ ซึ่งตามปกติแล้วอัตราการเกิดกาซในจุดเริ่มต้นควรมีค่าสูงสุด เพราะว่าที่จุดนั้น
มีปริมาณของสารเข้าทำปฏิกิริยากันมากที่สุด แล้วอัตราการเกิดกาซที่จุดอื่นก็ควรจะมีค่าลดลงตาม
ลำดับ ช่วงอัตราการเกิดกาซตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงจุดสูงสุดนี้ เรียกว่า "period of
induction"¹ ซึ่งพฤติกรรมเช่นนี้ไม่เกิดขึ้นกับทุก ๆ ปฏิกิริยา แต่สำหรับปฏิกิริยาของโลหะ
สังกะสีกับกรดนั้น J.W.Mellor² ได้รายงานไว้ว่าจะมี period of induction
เกิดขึ้นควบ ดังรูปข้างล่างนี้



รูป 18 แสดงอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนต่อเวลา

¹International Encyclopedia of Chemical Science, p.583 ได้ให้ความหมายคำว่า period of induction หมายถึง ช่วงเวลาของอัตราเร่งของปฏิกิริยาเคมีจากอัตราเริ่มต้นจนถึงอัตราสูงสุด.

²J.W.Mellor, Modern Inorganic Chemistry, p.118.

ซึ่งสอดคล้องกับข้อสรุปของ W.Spring และ E.Van Aubel¹ ซึ่งได้แบ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างโลหะสังกะสีกับกรดออกเป็น 3 ระยะด้วยกันดังนี้

ระยะแรกเป็น period of induction ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาธรรมชาติ และขึ้นอยู่กับ galvanic couples จำนวนมากมายบนพื้นผิวของโลหะ

ระยะที่สอง เป็นระยะที่ activity มีค่าสูงสุด

ระยะที่สาม เป็นระยะที่ activity ลดลงขณะที่ความเข้มข้นของกรดน้อยลง

จากลักษณะอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจน ดังรูป 30 หน้า 154 จะเห็นว่า เส้นโค้งทั้งหมดแบ่งออกได้เป็น 2 พวก พวกแรกเป็น system ที่มีปริมาณของโลหะสังกะสีน้อยกว่า 1.00 กรัม เส้นโค้งมีลักษณะเป็นอัตราลดลงตามลำดับ พวกที่สองเป็น system ที่มีปริมาณของโลหะสังกะสีมากกว่า 1.00 กรัม ขึ้นไป เส้นโค้งมีลักษณะเป็นอัตราที่เพิ่มขึ้นก่อนแล้วจึงลดลงตามลำดับ (มี period of induction เกิดขึ้น) จากข้อมูลที่ทดลองได้ในแต่ละ system มีค่าอัตราการเกิดก๊าซเพียง 5 จุดเท่านั้น ซึ่งนับว่ามีน้อยเกินไปที่จะนำไปสรุปลักษณะเส้นโค้งที่มี period of induction เกิดขึ้น ดังนั้นใน system เหล่านี้จึงควรจะต้องขยายช่วงของการวัดอัตราการเกิดก๊าซให้ละเอียดขึ้น เพื่อที่จะได้ทราบถึงลักษณะเส้นโค้งในช่วงที่มี period of induction เกิดขึ้นได้ถูกต้องมากกว่าที่เสนอในรูป 30 หน้า 154

¹J.W.Mellor, A Comprehensive Treatise on Inorganic and Theoretical Chemistry, Vol.IV, p.478.

(3) การแปรผันปริมาณของทองแดงซัลเฟต เงินซัลเฟต และปรอทซัลเฟต ที่เติมลงไปเป็นคะตาลีสต์ เมื่อปริมาณของกรดซัลฟูริกและโลหะสังกะสีคงที่ ผลปรากฏว่า การเติมทองแดงซัลเฟตและเงินซัลเฟตลงไปในปริมาณต่างๆกัน มีผลทำให้อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนสูงขึ้นตามลำดับ แต่การเติมปรอทซัลเฟตลงไปในปริมาณต่างๆกันจะทำให้การเกิดก๊าซไฮโดรเจนลดลงตามลำดับ ดังนั้นรายละเอียดต่อไปนี้

(ก) การแปรผันความเข้มข้นของทองแดงซัลเฟตจาก 0-1.0 โมลาร์ เมื่อปริมาณของกรดซัลฟูริกและโลหะสังกะสีคงที่ ปรากฏว่า อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนสูงขึ้นตามความเข้มข้นของทองแดงซัลเฟตที่เติมลงไปดังตารางข้างล่างนี้

ตาราง 19 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนในเงื่อนไขการแปรผันความเข้มข้นของทองแดงซัลเฟต ที่เติมลงไปเป็นคะตาลีสต์ เมื่อปริมาณของกรดซัลฟูริกและโลหะสังกะสีคงที่* ณ อุณหภูมิห้อง $26.5^{\circ} - 32.2^{\circ} \text{C}$

อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจน . dv/dt (ml./sec.)					
ไม่มี CuSO_4	0.01 M	0.05 M	0.01 M	0.50 M	1.0 M
8.76×10^{-1}	1.01	1.37	1.80	3.10	4.03
7.63×10^{-1}	1.11	1.49	2.03	3.61	5.69
6.77×10^{-1}	1.12	1.65	1.94	3.19	4.94
6.29×10^{-1}	1.06	1.46	1.82	2.81	4.26
5.82×10^{-1}	9.74×10^{-1}	1.39	1.62	2.66	3.24

* 3.11 M H_2SO_4 25.5 ml.: 0.50 g. Zn: CuSO_4 0.50 ml.

เมื่อนำเอาข้อมูลแสดงค่าอัตราการเกิดกาไฮโดรเจนในตาราง 4 หน้า 54-55 ไปเขียนกราฟระหว่างปริมาตรของกาไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นต่อเวลาดังรูป 31 หน้า 155 พบว่าในเงื่อนไขที่ไม่ได้เติมทองแดงซัลเฟตลงไป การวัดปริมาตรของกาไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น 75.0 มิลลิลิตร ต้องใช้เวลานานถึง 108 วินาที ส่วนในเงื่อนไขที่เติมทองแดงซัลเฟตที่มีความเข้มข้นต่างลงไป เวลาที่ใช้สำหรับวัดปริมาตรของกาไฮโดรเจนจะน้อยลงตามลำดับ และในเงื่อนไขสุดท้าย (เติมทองแดงซัลเฟตเข้มข้น 1.0 โมลาร์) เวลาที่ใช้จะลดลงเหลือเพียง 17.5 วินาทีเท่านั้น แสดงว่ากาไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นแปรผันตามความเข้มข้นของทองแดงซัลเฟตที่เติมลงไป เมื่อพิจารณากราฟแต่ละเส้นแล้ว ปรากฏว่า ในเงื่อนไขที่เติมทองแดงซัลเฟตลงไปในความเข้มข้นต่างๆกัน เป็นกราฟเส้นตรงทั้งสิ้น มีแต่เฉพาะเงื่อนไขที่ไม่ได้เติมทองแดงซัลเฟตลงไปเท่านั้นที่กราฟเกือบเป็นเส้นตรง

จากการหา order ของปฏิกิริยา ประเภท zero order¹ เป็นไปตามสมการข้างล่างนี้

$$\frac{dx}{dt} = k' \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{และ } x = k't + \text{constant} \dots\dots\dots(2)$$

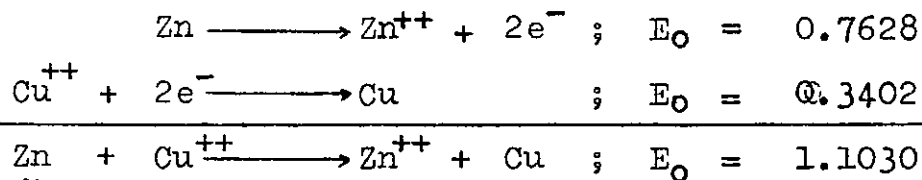
จากสมการ (2) ถ้าเขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ได้จากปฏิกิริยา กับเวลา จะเป็นเส้นตรง

ดังนั้น จากการหา order ของปฏิกิริยาโดยวิธีกราฟนี้ จึงสรุปได้ว่า ปฏิกิริยาการเกิดกาไฮโดรเจนที่ศึกษานี้ เป็น zero order with respect to CuSO_4 เพราะว่าเมื่อเขียนกราฟระหว่างปริมาตรของกาไฮโดรเจนกับเวลาแล้ว ได้กราฟเป็นเส้นตรง

¹Farrington Daniels and Robert A. Albery, Physical Chemistry, pp. 328-30.

จากตาราง 19 หน้า 99 จะเห็นว่าอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนเพิ่มสูงขึ้นมาก เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของทองแดงซัลเฟตสูงขึ้น อัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนแปรผันตามความเข้มข้นของทองแดงซัลเฟตที่เติมลงไป กล่าวคือ เมื่อมีปริมาณของทองแดงซัลเฟตมากขึ้น อัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนก็จะมีค่าสูงขึ้นตามด้วย ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่าทองแดงซัลเฟตที่เติมลงไปเข้าไปช่วยเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเร็วขึ้น การเติมสารละลายของทองแดงซัลเฟตลงไปในโลหะสังกะสีก่อนเทกรดซัลฟูริกลงไปทำปฏิกิริยากันนั้น มีผลทำให้สียาบนอกของโลหะสังกะสี เปลี่ยนจากสีเทาไปเป็นสีน้ำตาลปนดำ และสีน้ำตาลปนดำนี้จะเข้มข้น เมื่อสารละลายของทองแดงซัลเฟตที่เติมลงไปมีความเข้มข้นสูงขึ้น โลหะสังกะสีในลักษณะดังกล่าวนี้เกิดปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริกได้รวดเร็วกว่าโลหะสังกะสีธรรมดา

เมื่อใช้ค่า oxidation potential¹ ทำนายปฏิกิริยาระหว่างโลหะสังกะสีกับทองแดงซัลเฟต ผลปรากฏว่า ได้ค่า positive potential แสดงว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ง่าย



แสดงว่า เมื่อใช้โลหะสังกะสี (zinc powder) ผสมกับทองแดงซัลเฟต จะเกิด species ของ "zinc-copper" ขึ้น ซึ่งคาดว่า species นี้ active กว่าโลหะสังกะสีธรรมดาอย่างแน่นอน เพราะอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนมีค่าสูงกว่าในเงื่อนไขที่ไม่ได้เติมทองแดงซัลเฟตลงไปมาก การทดลองนี้ สอดคล้องกับผลที่ J.W.Mellor² ได้รายงานไว้ว่า ถ้าจุ่มขึ้นโลหะสังกะสี หรือ โลหะสังกะสีผง (zinc dust) ลงในสารละลาย 1 % ของทองแดงซัลเฟต โลหะของทองแดงจะไปเกาะเป็นชั้นบนโลหะสังกะสี กลายเป็น "copper-zinc couple" ซึ่งมีความว่องไวในปฏิกิริยาเคมีแตกต่างกับโลหะสังกะสีธรรมดา และสอดคล้องกับการทดลองของ J.Priestley และ A.von Humbolt³ ซึ่งสรุปไว้ว่า โลหะสังกะสี

¹Robert C.Weast, editor, Handbook of Chemistry and Physics 48th ed., D-86.

²J.W.Mellor, (vol.IV) op.cit. p.490.

³Ibid. p.478.

จะถูก attack ได้เร็วมาก ถ้ามี ชั้นของทองแดงอบควบ

จากการติดตามสังเกต residue ที่เหลืออยู่ในสารละลาย เมื่อปฏิบัติวิธาสันสุดท้าย ซึ่งมีลักษณะเป็นตะกอนสีน้ำตาลลอยอยู่ (ตะกอนนี้จะมีปริมาณมากขึ้นตามความเข้มข้นของทองแดงซัลเฟตที่เติมลงไป) จากนั้น รินสารละลายใสทิ้งจนเกือบหมด เหลือเก็บไว้เฉพาะตะกอนสีน้ำตาลกับสารละลายเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แล้วทิ้งสารละลายไว้ให้ระเหยไป ตะกอนสีน้ำตาลจะค่อยๆ ละลายหายไป เหลือลอยตามลำดับ ในขณะที่ตัวก้นสีของสารละลายจะค่อยๆ เปลี่ยนจากไม่มีสีไปเป็นสีน้ำตาลอ่อน และเข้มข้นเรื่อยๆ เมื่อทิ้งทิ้งไว้ต่อไป ในที่สุดสารละลายนั้นจะตกผลึกของทองแดงซัลเฟตออกมา

(ข) การแปรผันปริมาณของเงินซัลเฟตจาก 0-0.1599 กรัม เมื่อปริมาณของกรดซัลฟูริก และโลหะสังกะสีคงที่ การเติมปริมาณของเงินซัลเฟตในครั้งนี้ เติมน้อยลงในรูปของแข็งที่มีปริมาณเท่ากับทองแดงซัลเฟต เพราะว่าเงินซัลเฟตละลายน้ำได้น้อยมาก จึงทำให้เป็นสารละลายที่มีความเข้มข้นตามที่ต้องการได้ยาก ดังที่ K. Drucker¹ ได้รายงานไว้ว่า ที่อุณหภูมิ 25°C น้ำ 100 ml. สามารถละลายเงินซัลเฟตได้เพียง 0.801 กรัม หรือ 0.0257 mole per liter และ W.D. Harkins² ก็ได้พบว่าที่ อุณหภูมิ 25°C เช่นกัน สารละลายอิ่มตัวของเงินซัลเฟตมีเงินซัลเฟต 0.02676 mole per liter ซึ่งละลายได้มากกว่าผลการทดลองของ K. Drucker (0.0257 mole per liter) 4 % ผลการทดลองปรากฏว่า อัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนสูงขึ้นตามปริมาณของเงินซัลเฟตที่เติมลงไป ดังตาราง 20

เมื่อนำเอาข้อมูลที่แสดงอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนในตาราง 5 หน้า 56-57 ไปเขียนกราฟ ระหว่างปริมาตรของกาซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น กับ เวลา ดังรูป 32 หน้า 156 จะเห็นว่าในเงื่อนไขที่ไม่ได้เติมเงินซัลเฟตลงไป การวัดปริมาตรของกาซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น 75.0 มิลลิลิตร ต้องใช้เวลาจนถึง 108 วินาที ส่วนในเงื่อนไขที่เติมเงินซัลเฟตลงไป ในปริมาณต่างๆ กัน เวลาที่ใช้สำหรับการวัดปริมาตรของกาซในปริมาณเท่าเดิม จะน้อยลงตามลำดับ (ยกเว้นเงื่อนไขที่เติมเงินซัลเฟต 0.0016 กรัม ลงไป ซึ่งให้ผลออกมาไม่แตกต่างกับเงื่อนไขที่ไม่ได้เติมเงินซัลเฟตเลย ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่า ปริมาณของเงินซัลเฟตที่เติมลงไปมีน้อยมากจนไม่สามารถที่จะช่วยเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเร็วขึ้นได้) และในเงื่อนไขสุดท้าย (เติมเงินซัลเฟต

¹ J. W. Mellor, A Comprehensive Treatise on Theoretical and Theoretical Chemistry Vol. III, p. 457.

² Ibid p. 452.

ลงไป 0.1559 กรัม) จะใช้เวลาลดลงเหลือเพียง 36.5 วินาที เท่านั้น แสดงว่า การไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นแปรผันตามปริมาณของเงินซัลเฟตที่เติมลงไป

ตาราง 20 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนในเงื่อนไขการแปรผันปริมาณของเงินซัลเฟตที่เติมลงไปเป็น คะตาลีสต์ เมื่อปริมาณของกรรณซัลฟูริกและโลหะสังกะสีคงที่ * ณ อุณหภูมิห้อง $26.2^{\circ} - 32.0^{\circ}\text{C}$

อัตราการเกิดกาซไฮโดรเจน : dv/dt (ml./sec.)					
wt. of Ag_2SO_4					
0.0000 g.	0.0016 g.	0.0078 g.	0.0156 g.	0.0780 g.	0.1559 g.
8.76×10^{-1}	8.51×10^{-1}	9.43×10^{-1}	1.08	1.52	2.10
7.63×10^{-1}	7.44×10^{-1}	9.19×10^{-1}	1.02	1.63	2.14
6.77×10^{-1}	6.95×10^{-1}	8.55×10^{-1}	1.00	1.55	2.15
6.29×10^{-1}	6.37×10^{-1}	7.64×10^{-1}	9.14×10^{-1}	1.54	2.01
5.82×10^{-1}	5.84×10^{-1}	7.09×10^{-1}	7.94×10^{-1}	1.37	1.86

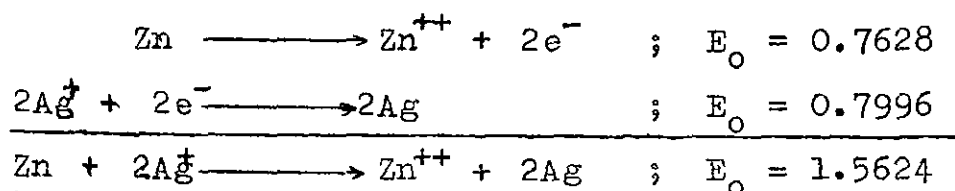
* 0.50 g. Zn: 3.11 M H_2SO_4 25.5 ml: Ag_2SO_4 (0-0.1559 g.)

เมื่อพิจารณากราฟแต่ละเส้นแล้ว ปรากฏว่า ในเงื่อนไขที่เติมเงินซัลเฟตลงไปไม่มากนัก (0.0780 กรัม และ 0.1559 กรัม) กราฟเป็นเส้นตรง ส่วนเงื่อนไขที่ไม่ได้เติมเงินซัลเฟตกับเงื่อนไขที่เติมเงินซัลเฟตลงไปปริมาณน้อย กราฟเกือบเป็นเส้นตรง ตามความจริงแล้วกราฟที่ได้จากในเงื่อนไขการเติมเงินซัลเฟตลงไปทั้งหมดควรจะเป็นเส้นตรง เพราะว่าเงินซัลเฟตที่เติมลงไปช่วยเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเร็วขึ้นได้ เช่นเดียวกับการเติมทองแดงซัลเฟตลงไป ซึ่งถ้าเขียนกราฟระหว่างปริมาตรของไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นต่อเวลาแล้ว ควรจะเป็นเส้นตรงด้วย ซึ่งก็จะสรุปได้ว่า order ของปฏิกิริยานี้เป็น zero order with respect to Ag_2SO_4 แต่ผลที่กราฟปรากฏออกมา ไม่เป็นเส้นตรง ในเงื่อนไขที่เติมเงินซัลเฟตลงไปปริมาณน้อยนั้น น่าจะเป็นเพราะความผิดพลาดจากการทดลองมากกว่าอย่างอื่น เพราะว่าเงินซัลเฟตที่เติมลงไปเป็นของแข็ง

และมีปริมาณน้อยด้วย อนุภาคของเงินซัลเฟตจึงไม่สามารถจะแทรกกระจายอยู่ทั่วไปในโลหะสังกะสี เหมือนอย่างการเติมสารละลายของทองแดงซัลเฟตลงไปได้ ดังนั้นผลการทดลองนี้จึงน่าจะสรุปได้ว่า ปฏิริยาการเกิดกาซไฮโดรเจนที่ศึกษานี้ เป็น zero order with respect to Ag_2SO_4 เพราะกราฟที่เขียนระหว่างปริมาตรของไฮโดรเจนต่อเวลาเป็นเส้นตรง กับ เกือบจะเป็นเส้นตรง ทั้งสิ้น

จากการวาง 20 หน้า 103 พบว่า อัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนเพิ่มสูงขึ้น เมื่อ ปริมาณของเงินซัลเฟตที่เติมลงไปมีปริมาณมากขึ้น อัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนจึงแปรผันตาม ปริมาณของเงินซัลเฟตที่เติมลงไป ซึ่งเงินซัลเฟตที่เติมลงไปจะเข้าไปช่วยเร่งปฏิริยาให้เกิดเร็วขึ้น อัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนจึงสูงขึ้นตามด้วย

เมื่อใช้ค่า oxidation potential¹ ทำนายปฏิริยาระหว่าง โลหะสังกะสีกับ เงินซัลเฟต ผลปรากฏว่าได้ค่า positive potential แสดงว่าปฏิริยาเกิดขึ้นดังสมการ



แสดงว่าเมื่อใช้โลหะสังกะสี (zinc powder) ผสมกับเงินซัลเฟต จะเกิด species ของ "zinc-silver" ขึ้น ซึ่งค่าความเป็น species ที่ active กว่าโลหะสังกะสี ธรรมดาอย่างแน่นอน เพราะอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนมีค่าสูงกว่าในเงื่อนไขที่ไม่ได้เติมเงินซัลเฟต ลงไป

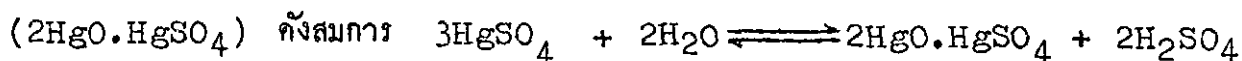
ดังนั้น จากผลการทดลอง และการแปลผลด้วยกราฟดังกล่าวแล้ว ควรจะสรุปได้ว่า เงินซัลเฟตที่เติมลงไปไม่ปฏิริยาของโลหะสังกะสีกับกรดซัลฟูริก ใช้เป็นแคตาลิสต์ได้ แต่ไม่เหมาะ กับการใช้ทองแดงซัลเฟตเป็นแคตาลิสต์

(ก) การแปรผันปริมาณของปรอทซัลเฟต จาก 0-0.1483 กรัม เมื่อปริมาณของ โลหะสังกะสีกับกรดซัลฟูริกคงที่ การเติมปรอทซัลเฟตลงไปไม่ปฏิริยาของโลหะสังกะสีกับกรดซัลฟูริก เติมลงไปในลักษณะที่เป็นของแข็งเช่นเดียวกับการเติมเงินซัลเฟต เพราะว่าปรอทซัลเฟตเมื่อละลาย น้ำแล้วจะสลายตัวกลายเป็นสารอื่น ดังที่ R. Phillips² ได้ศึกษาพบว่าปรอทซัลเฟต

¹Robert C. Weast, editor, loc. cit.

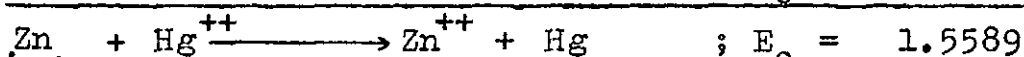
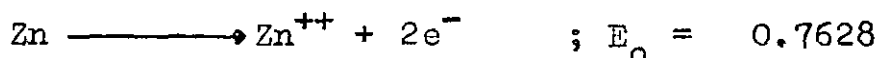
²J. W. Mellor, (Vol. IV), op. cit. p. 969.

(mercuric sulphate) เมื่ออยู่ในน้ำจะสลายตัวกลายเป็น basic salt



ผลการทดลองปรากฏว่าการเกิดกาซไฮโดรเจนมีปริมาณลดลงตามลำดับ เมื่อปรอทซัลเฟตที่เติมลงไปมีปริมาณมากขึ้น ดังนั้นการเสนอสมมุติจึงเปลี่ยนแบบตารางใหม่ โดยเสนอในรูปปริมาณของกาซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นกับเวลา (ยกเว้นในเงื่อนไขแรก ที่ไม่ได้เติมปรอทซัลเฟตลงไป ยังคงเสนอตารางในแบบเดิมเปรียบเทียบกันอยู่) จึงเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลองโดยตรง มิได้ใกล้เคียงเหมือนตารางอื่นๆ ดังตาราง 6 หน้า 58-59 แสดงว่าปรอทซัลเฟตที่เติมลงไปมีปริมาณต่าง ๆ กัน มีผลโดยตรงต่อการยับยั้งการเกิดกาซไฮโดรเจนให้มีปริมาณน้อยลงตามลำดับ

เมื่อใช้ oxidation potential¹ ทำนายปฏิกิริยาระหว่างโลหะสังกะสี กับปรอทซัลเฟต ผลปรากฏว่าค่า positive potential แสดงว่า ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ดังสมการ



แสดงว่าเมื่อใช้โลหะสังกะสี (zinc powder) ผสมกับปรอทซัลเฟต (HgSO_4) จะเกิด "zinc-mercury" ขึ้น และมีปรอทเกิดขึ้นอย่างเป็นอิสระ ปรอทจะไปเกาะหุ้มเป็นชั้นบนโลหะสังกะสี และคาดว่า ขบวนการตอนนี้ จะเกิด zinc amalgam ขึ้น ซึ่งคาดว่าจะ เป็น species ที่ไม่ active เมื่อเปรียบกับโลหะสังกะสีธรรมดา เพราะว่าการเกิดกาซไฮโดรเจนจะลดปริมาณลงตามลำดับตามปริมาณของปรอทซัลเฟตที่เติมลงไป และผลการทดลองนี้ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ W.R.Grove และ J.C.d'Almeida² ในปฏิกิริยาระหว่างโลหะสังกะสีกับกรดซัลฟูริกเจือจาง และ zinc amalgam กับกรดซัลฟูริกเจือจาง ผลปรากฏว่า โลหะสังกะสีละลายได้ในกรดซัลฟูริกเจือจาง แต่ zinc amalgam ไม่ถูก attack ด้วยกรดนี้เลย

ในการทดลอง สังเกตพบว่า เมื่อปฏิกิริยาเกิดขึ้นแล้ว จะมีของแข็งสีเทา ลักษณะเป็นเงา ลอยอยู่บนผิวหน้าของสารละลาย แต่เมื่อตั้งทิ้งไว้ ของแข็งเหล่านั้นจะค่อยๆ ละลายหายไปหมด

¹Robert C. Weast, editor, loc. cit.

²J.W. Mellor, (Vol. IV), op. cit. p. 480.

การเติมปรอทซัลเฟตลงไปนี้ ให้ผลเป็นตรงกันข้ามกับการเติมทองแดงซัลเฟตและเงินซัลเฟต ดังนั้นจึงน่าจะเรียกปรอทซัลเฟตว่าเป็น inhibitor สำหรับปฏิกิริยานี้

จากการศึกษาการแปรผันปริมาณของทองแดงซัลเฟต เงินซัลเฟต และปรอทซัลเฟต ที่เติมลงไปเป็นคะตอลิสต์ในปฏิกิริยาระหว่างโลหะสังกะสีกับกรดซัลฟูริก ผลปรากฏว่า ทองแดงซัลเฟตใช้เป็นคะตอลิสต์ได้ดีที่สุด และเงินซัลเฟตใช้เป็นคะตอลิสต์ได้รองลงมา ส่วนปรอทซัลเฟตกลับได้ผลเป็นตรงกันข้าม คือเป็น inhibitor ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ J. Ball¹ ที่ได้ศึกษาถึงผลของการเติมเกลือซัลเฟตที่ละลายได้ในน้ำ (soluble sulphates) ที่มีต่ออัตราการ attack โลหะสังกะสีโดยกรดซัลฟูริก ผลปรากฏว่า อัตราสูงสุดสัมพัทธ์ของโลหะสังกะสีกับเกลือซัลเฟตและกรดซัลฟูริก กับอัตราสูงสุดที่ไม่ได้เติมเกลือซัลเฟต ได้ผลดังนี้

	Mg	Al	Cr	Mn	Fe	Ag	Co	Cu	Ni
sulphates	0.98	1.02	1.66	2.06	2.34	9.36	18.09	21.17	37.87

(4) การแปรผันอุณหภูมิจาก $15^{\circ} - 40^{\circ} \text{C}$ เมื่อปริมาณของกรดซัลฟูริกและโลหะสังกะสีคงที่ การควบคุมอุณหภูมิ ใจกลางควบคุมอุณหภูมิที่สร้างขึ้น ซึ่งมีประสิทธิภาพ $\pm 0.5^{\circ} \text{C}$ (เมื่ออุณหภูมิเข้าสู่ thermal equilibrium แล้วจับเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง อุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงไปประมาณ $\pm 0.5^{\circ} \text{C}$) การปรับอุณหภูมิทำอย่างง่าย ๆ คือ อุณหภูมิใดที่ต้องการถ้าสูงกว่าอุณหภูมิห้องก็ใช้น้ำร้อนค่อยๆ เติมลงไปผสมกับน้ำ ในถังพลาสติก และใช้น้ำแข็งเติมลงไปแทนในกรณีที่ต้องการลดอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง ในขณะที่ศึกษาต้องปรับอุณหภูมิของสารละลายและภาชนะที่ใช้ทั้งหมดให้มีอุณหภูมิเท่าที่ต้องการควบคุม ผลการทดลองในเรื่องอัตราการแปรผันอุณหภูมินี้ปรากฏว่า อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนแปรผันตามอุณหภูมิ กล่าวคือ อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังตาราง 21 หน้า 107

จากตาราง จะพบว่าอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น Bronsdorff² ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราของปฏิกิริยาของโลหะสังกะสีกับกรดเกลือ ซึ่งได้ผลเหมือนกัน คือ อัตราของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก $0^{\circ} - 20^{\circ} \text{C}$ และเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 20°C ขึ้นไป อัตราของปฏิกิริยาเกือบจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิ

¹J. Ball, J. Chem. Soc., 71, 641 (1897).

²W. Bronsdorff, Medd. K. Vetenskapsakad. Nobelinst., 3, No. 8, 34pp. (1915).

และได้ผลสอดคล้องกับการทดลองของ Zecchini¹ ที่ว่าถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 10-50° C จะทำให้ อัตราการละลายของโลหะสังกะสีกับกรดซัลฟริก (ความเข้มข้น 0.1-0.5 N) เพิ่มขึ้น 50-150 %

ตาราง 21 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาซไฮโดรเจน ในเงื่อนไขการแปรผัน อุณหภูมิ เมื่อปริมาณของกรดซัลฟริกและโลหะสังกะสีคงที่ ณ อุณหภูมิห้อง 23.0° - 30.3° C

อัตราการเกิดกาซไฮโดรเจน : dv/dt (ml./sec.)					
15° C	20° C	25° C	30° C	35° C	40° C
5.19×10^{-1}	5.58×10^{-1}	5.82×10^{-1}	7.52×10^{-1}	9.67×10^{-1}	1.16
4.80×10^{-1}	5.52×10^{-1}	5.71×10^{-1}	6.73×10^{-1}	8.41×10^{-1}	9.74×10^{-1}
4.84×10^{-1}	5.17×10^{-1}	5.78×10^{-1}	6.36×10^{-1}	7.38×10^{-1}	8.44×10^{-1}
4.41×10^{-1}	4.78×10^{-1}	5.15×10^{-1}	5.66×10^{-1}	6.47×10^{-1}	7.28×10^{-1}
4.07×10^{-1}	4.38×10^{-1}	4.63×10^{-1}	5.26×10^{-1}	5.91×10^{-1}	6.45×10^{-1}

* 3.11 M H_2SO_4 25.5 ml. : 0.50 g. Zn

(5) การเปลี่ยนแปลงวิธีการเก็บกาซแบบต่าง ๆ แต่ยังคงใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้นทดสอบวัด ปริมาตรของกาซที่เกิดขึ้น และจับเวลาอยู่ เมื่อปริมาณของกรดซัลฟริกและโลหะสังกะสีคงที่ วิธีการ เก็บกาซแบบต่าง ๆ ที่ใช้ทดลองมีดังนี้

ก. วิธีแทนที่น้ำจากข้างบน โดยปรับระดับน้ำใน buret ให้มีความสูงคงที่ ด้วยการ ปล่อยให้อากาศผานเข้าไประดับน้ำใน buret ทาง stopper และน้ำที่ถูกอากาศแทนที่ ไหลผ่านออกไปทางกรวยของกรรปองยูเรคา (ดูรูป 6 หน้า 31 ประกอบด้วย) วิธีนี้เป็นวิธีที่ เครื่องมือนี้ใช้ปฏิบัติอยู่

ข. วิธีแทนที่น้ำจากข้างบน เช่นเดียวกับวิธี ก. แต่เปลี่ยนวิธีปรับระดับน้ำใหม่ โดยการ ปรับระดับน้ำใน buret ด้วยการเลื่อนแท่นหมุนไม้ให้อ่างเลื่อนขึ้น - ลง (ดูรูป 15 หน้า 85 ประกอบด้วย) เพื่อปรับระดับน้ำใน buret ให้ตั้งคนเท่ากันทุกครั้ง

ค. วิธีแทนที่น้ำจากข้างบน (เช่นเดียวกับวิธี ก.) โดยไม่มีการปรับระดับน้ำใน buret ให้จุดเริ่มต้นคงที่เหมือนกับวิธี ก. และ ข. แต่ระดับน้ำที่จุดเริ่มต้นใน buret แตกต่างกับวิธี ก. และ ข. ที่กล่าวมาแล้วไม่มาก (ระดับน้ำใน buret สูงกว่ากว่ากันไม่เกิน 1.5 ml. หรือเป็นความสูงเท่ากับ 0.75 ซม.)

ง. วิธีแทนที่น้ำจากข้างล่าง และปรับระดับน้ำใน buret ที่จุดเริ่มต้นให้มีปริมาตรเท่ากับวิธี ก. และ ข.

จากการทดลองทั้ง 4 วิธี (วิธี ก. ถึงวิธี ง.) แยกลักษณะการแทนที่น้ำของก๊าซที่เกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ คือ การแทนที่น้ำจากข้างบน (วิธี ก., ข. และ ค.) และการแทนที่น้ำจากข้างล่าง (วิธี ง.) ในวิธี ก., ข. และ ค. เป็นวิธีที่มีลักษณะการแทนที่น้ำเหมือนกัน (จากข้างบน) แตกต่างกันด้วยวิธีปรับระดับน้ำใน buret ในการทดลองแต่ละครั้ง ตามวิธี ก. ความสูงของระดับน้ำใน buret คงที่ โดยวิธีนี้ ทำให้ความกดดันของน้ำใน buret เท่ากันทุกครั้ง (ความกดดันของน้ำใน buret คำนวณจากสูตร $P = \rho gh$ โปรดดูคำอธิบายภาค "เครื่องมือเก็บก๊าซ" หน้า 83 ประกอบด้วย) ส่วนวิธี ข. และ ค. ความสูงของระดับน้ำใน buret ไม่คงที่ การทดลองแต่ละครั้งความสูงของระดับน้ำจะเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย แตกต่างไปจากวิธี ก. ไม่มาก (แตกต่างกันไม่เกิน 1.5 ml. หรือเป็นความสูงเท่ากับ 0.75 ซม.) ดังนั้นการปรับระดับน้ำในวิธี ข. และ ค. จึงทำให้ความกดดันของน้ำภายใน buret ไม่คงที่เหมือนวิธี ก. แต่มีผลกระทบกระเทือนไม่มาก ซึ่งแสดงการคิดได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความกดดันภายนอก (P ภายนอก)} &= \text{ความกดดันภายใน (P ภายใน)} \\ &= P \text{ อากาศภายในทั้งหมด} + P \text{ น้ำใน buret} \end{aligned}$$

$$\text{แต่ } P \text{ น้ำใน buret} = \rho gh$$

ตามการทดลองในวิธี ข. และ ค. ค่า h (ความสูงของระดับน้ำใน buret) เปลี่ยนแปลงไป จึงทำให้ความกดดันของน้ำใน buret ไม่คงที่ ส่วนวิธี ก. h คงที่ สำหรับวิธี ง. นั้น เป็นการแทนที่น้ำของก๊าซที่เกิดขึ้นจากข้างล่าง ในขณะที่มีการเกิดขึ้นความกดดันจะเปลี่ยนแปลงมาก เพราะวาก๊าซที่เกิดขึ้นจะต้องใช้แรงดันดันความสูงของน้ำใน buret ขึ้นไป และ แรงดันในจุดต่างๆ ยังแตกต่างกันมากอีกด้วย

ผลการทดลองทั้ง 4 วิธีนี้ ปรากฏว่า อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนใน 3 วิธีแรก

(ก., ข. และ ค.) ให้ผลใกล้เคียงกัน ส่วนวิธีที่ 4 (วิธี ง.) อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนแตกต่างจาก 3 วิธี ดังกล่าวมาก ดังตารางข้างล่างนี้

ตาราง 22 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจน ในเงื่อนไขการเก็บก๊าซโดยวิธีที่แตกต่างกัน เมื่อปริมาตรของกรดซัลฟิวริกและโลหะสังกะสีคงที่ *

ณ อุณหภูมิห้อง $31.4^{\circ} - 33.5^{\circ} \text{C}$

อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจน : dv/dt (ml./sec.)			
วิธี ก.	วิธี ข.	วิธี ค.	วิธี ง.
8.76×10^{-1}	8.66×10^{-1}	8.52×10^{-1}	6.51×10^{-1}
7.63×10^{-1}	7.55×10^{-1}	7.40×10^{-1}	1.23
6.77×10^{-1}	7.17×10^{-1}	7.24×10^{-1}	9.10×10^{-1}
6.29×10^{-1}	6.52×10^{-1}	6.67×10^{-1}	8.93×10^{-1}
5.82×10^{-1}	5.96×10^{-1}	5.84×10^{-1}	8.46×10^{-1}

* $3.11 \text{ M H}_2\text{SO}_4$ 25.5 ml. : 0.50 g. Zn

จากตารางข้างบนจะพบว่า อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนที่ทดลองตามวิธี ง. มีค่าแตกต่างกับ 3 วิธีแรกอย่างเห็นได้ชัด อัตราการเกิดก๊าซในคอนเริ่มต้นมีค่าต่ำกว่าจุดอื่นๆมาก เมื่อเปรียบเทียบกับผลของอีก 3 วิธี ซึ่งได้ผลเป็นตรงกันข้าม คือ อัตราการเกิดก๊าซในคอนต้นมีค่าสูงสุด ส่วนอัตราการเกิดก๊าซในจุดอื่นๆที่เหลือ กลับมีค่าสูงกว่าจุดแรกและมีผลตรงกันข้ามกับทั้ง 3 วิธี อีกเช่นกัน ผลที่เกิดขึ้นในลักษณะเช่นนี้อาจจะเป็นเพราะว่า ประการแรก ในจุดเริ่มต้น เมื่อมีก๊าซเกิดขึ้นแล้ว จะต้องใช้แรงดันจำนวนหนึ่งเพื่อที่จะดันก๊าซจำนวนนั้นให้ผ่านน้ำใน buret จากข้างล่างขึ้นไปแทนที่น้ำจากข้างบนลงมา ดังนั้นจุดเริ่มแรก ก๊าซจึงต้องใช้แรงดันมากกว่าจุดอื่นๆ ประการที่สอง ในลักษณะที่ก๊าซที่เกิดขึ้นจะต้องใช้แรงดันจำนวนหนึ่งตามที่กล่าวนั้น จะสังเกตเห็นได้ชัดว่า ก๊าซที่เกิดขึ้นไปแทนที่น้ำ มีเป็นช่วงๆ ไม่ต่อเนื่องกันเหมือนอย่างวิธีที่แทนที่น้ำจากข้างบนลงไป ประการสุดท้าย ก๊าซที่เกิดขึ้นมีขนาดฟองก๊าซไม่เท่ากัน ในขณะที่ฟองก๊าซผ่านน้ำขึ้นไป

บ่อยครั้งมากที่ทำให้หน้าพิกาดินหยุดชะงักหรือ เดินๆหยุดๆ (ดูคำอธิบายปัญหาในการสร้างเครื่องมือเก็บกาช ข้อ " 1 เครื่องมือเก็บกาชโดยวิธีแทนที่น้ำจากข้างล่าง buret ขึ้นไป" หน้า 84-85 ประกอบด้วย) เป็นผลให้เวลาที่วัดได้น้อยลงไปกว่าที่ควร และเมื่อนำเอาเวลาที่วัดได้นี้ไปหาอัตราการเกิดกาช โดยนำไปหารปริมาณของกาชที่เกิดขึ้น จึงทำให้ค่าอัตราการเกิดกาชสูงถึงที่ปรากฏในตารางที่ผ่านมาแล้ว ดังนั้น จึงอาจสรุปได้ว่า สาเหตุที่ทำให้อัตราการเกิดกาชที่ทดลองตามวิธี ง. มีค่าแตกต่างไปจากวิธีอื่นมาก อาจจะเนื่องมาจากเหตุ 2 ประการ ดังนี้

- (1) ความกดดันของกาช
- (2) ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากเครื่องมือ

2. เครื่องมืออย่างง่ายที่มีในห้องปฏิบัติการ ใช้ศึกษาอัตราการเกิดกาชไฮโดรเจนในเงื่อนไขต่อไปนี้

(1) การทดลองที่ใช้โลหะสังกะสีทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริกซึ่งมีทองแดงขั้วพิเศษเป็นแคตอลิสดูด้วย โดยทำการศึกษาค้นคว้าการไหลของกาชผ่านกรวยผกผัน เก็บกาชที่เกิดขึ้นด้วยวิธีแทนที่น้ำจากข้างล่าง และจับเวลาด้วยนาฬิกาข้อมือ

(2) การทดลองที่ใช้ปริมาณสารต่างๆ เท่ากับข้อ (1) แต่ใช้วิธีการศึกษาในบางส่วนแตกต่างกัน เพื่อนำมาเปรียบเทียบกันดังนี้

ก. การเก็บกาชที่เกิดขึ้นและการไหลเข้าทำปฏิกิริยา ยังคงเหมือนกับข้อ (1) แต่การจับเวลา ใช้การจับเวลาด้วยเครื่องมือที่สร้างขึ้น

ข. การเก็บกาชที่เกิดขึ้นยังคงใช้เหมือนกับในข้อ (1) แต่การไหลและการจับเวลาใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้น

ค. ทำการทดลองโดยใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้นทั้งหมด

การศึกษาในภาคนี้ได้กำหนดไว้ในขอบเขตของการศึกษาค้นคว้าไว้ว่า จะทำการทดลองเฉพาะสภาวะที่เหมาะสมต่อการศึกษ้อัตราการเกิดกาช ไฮโดรเจนแล้วนำผลการทดลองไปเปรียบเทียบกันผลที่ได้จากการทดลองด้วยเครื่องมือที่สร้างขึ้น

สภาวะที่เหมาะสมต่อการศึกษ้อัตราการเกิดกาช ไฮโดรเจนที่เลือกมาทำการทดลองกับเครื่องมืออย่างง่ายที่มีในห้องปฏิบัติการคือ กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3.11 โมลาร์ 25.0 มิลลิลิตร โลหะสังกะสีหนัก 0.50 กรัม และทองแดงขั้วพิเศษเข้มข้น 0.50 โมลาร์ 0.50 มิลลิลิตร

แต่เมื่อนำมาทดลองกับเครื่องมืออย่างง่าย (เครื่องมือนี้ใช้วิธีเก็บก๊าซจากข้างล่าง เสรียนานกรวย ผักบัว และจับเวลาคำนวณหาปริมาตร) ปรากฏว่าใช้ไม่ได้ผล เพราะว่าการเสรียนานกรวย ผักบัว นั้น สารที่หลงไปทั้งหมด จะไปแทนที่อากาศภายในคนโทในปริมาตรที่เท่ากัน ซึ่งอากาศจำนวนนั้น จะไปแทนที่น้ำใน buret อีกคือนั่น ในการทดลองครั้งนี้ต้องการเก็บก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น 75.0 มิลลิลิตร และเทเกอร์คัลฟริกผ่านกรวยผักบัวลงไปในคนโท 25.0 มิลลิลิตร เป็นผลทำให้ ระดับน้ำใน buret ลดปริมาตรลงมาจากเดิม 25.0 มิลลิลิตร ปริมาตรที่เหลือใน buret สำหรับให้ก๊าซไฮโดรเจนแทนที่จึงเหลืออีกประมาณ 50.0 มิลลิลิตร การเก็บก๊าซโดยวิธีนี้จึง วัดปริมาตรของก๊าซที่เกิดขึ้นได้เพียง 4 จุด เท่านั้น (จุดแรก 5.0 มิลลิลิตร อีก 3 จุด วัด ห่างกันจุดละ 15.0 มิลลิลิตร) แต่จากการทดลองจริงๆพบว่า พอเทเกอร์คัลฟริกลงไปในคนโท ก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้นทันที ทั้งปริมาตรของอากาศที่ถูกกรดแทนที่กับปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น จึงเคลื่อนที่ไปแทนที่น้ำใน buret พร้อมกัน การจับเวลาในจุดที่ 1-2 ยาวไปเร็วมาก จนจับเวลาไม่ทัน ดังนั้นจึงต้องเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขในการทดลองใหม่ให้เหมาะสมกับการทดลอง ด้วยเครื่องมืออย่างง่าย โดยลดความเข้มข้นของทองแดงซัลเฟตที่ใช้เป็นแคตาลิสต์ลงจาก 0.50 โมลาร์ เป็น 0.01 โมลาร์ ส่วนปริมาณของเกอร์คัลฟริกและโลหะสังกะสียังคงใช้เท่าเดิม ผลการทดลองปรากฏดังตารางที่ 23 หน้า 112

จากการวางจะเห็นได้อย่างเด่นชัดว่าผลของอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนที่ได้จากเครื่องมือ คนละชนิดมีความแตกต่างกันมาก ดังผลใน (1) และ (2) ค. ใน (1) เป็นอัตราการเกิดก๊าซ ที่ได้จากเครื่องมืออย่างง่ายที่มีในห้องปฏิบัติการ ซึ่งทั้งคน ณ จุดเดียวกัน แต่ผลสืบเนื่องมาจากการ เสรียนานกรวย ผักบัวดังกล่าวแล้วจึงวัดอัตราการเกิดก๊าซได้เพียง 4 จุด เท่านั้น และแต่ละจุด มีค่าแตกต่างกันใน (2) ค. มาก (ผลที่วัดได้จากเครื่องมือที่สร้างขึ้น) แต่เมื่อพิจารณาอัตราการ เกิดก๊าซโดยส่วนรวมทั้งใน (1) และ (2) ค. จะพบว่าลักษณะของอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจน เหมือนกัน คืออัตราการเกิดก๊าซจะเพิ่มขึ้นจากจุดแรกจนถึงจุดสูงสุด แล้วจึงลดต่ำลง จากความ มุ่งหมายและขอบเขตของการค้นคว้าทดลองที่จะเปรียบเทียบผลของอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจน ที่ ได้จากเครื่องมือทั้งสองให้เห็นว่าเครื่องมือแตกต่างกัน จะให้ผลแตกต่างกันหรือไม่ ดังนั้นจึงพอจะสรุป ได้ว่า อัตราการเกิดก๊าซใน (1) ถึงแม้ผลจะแตกต่างกันใน (2) ค. มากก็ตาม ก็ยังให้แนวโน้ม ในอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนได้ตรงกันคือ เมื่อมี แคตาลิสต์อยู่ด้วยจะช่วยให้ปฏิกิริยาให้เกิด

เร็วขึ้น นับว่าได้ผลสมตามความมุ่งหมาย ส่วนใน (2) ก. และ (2) ข เป็นวิธีการเก็บกษ

ตาราง 23 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาไฮโดรเจน ในเงื่อนไขการเปรียบเทียบที่ได้จากการใช้เครื่องมืออย่างง่ายที่มีในห้องปฏิบัติการ กับเครื่องมือที่สร้างขึ้น เมื่อปริมาณของกรดซัลฟริกและโลหะสังกะสีคงที่* อุณหภูมิห้อง $28.9^{\circ} - 31.4^{\circ} \text{C}$

อัตราการเกิดกาไฮโดรเจน : dv/dt (ml./sec.)			
** ผลจาก (1)	** ผลจาก (2) ก.	** ผลจาก (2) ข.	** ผลจาก (2) ค.
8.87×10^{-1}	1.15	1.07	1.01
1.49	1.49	1.72	1.11
1.43	1.47	1.43	1.12
1.38	1.50	1.39	1.06
		1.48	9.74×10^{-1}

* 0.50 g. Zn : 3.11 M H_2SO_4 25.5 ml. : 0.01 M CuSO_4 0.5 ml

** คูณ 110

ที่ใช้เครื่องมือทั้งสองแบบมาสมกัน เมื่อพิจารณาอัตราการเกิดกาในตารางข้างบนปรากฏว่า ค่าอัตราการเกิดกาไฮโดรเจนแต่ละจุดแตกต่างกัน (1) และ 2 (ค) มากจนไม่สามารถจะสรุปได้ว่า อัตราการเกิดกาไฮโดรเจนในเงื่อนไขนี้มีลักษณะเป็นอย่างไร ทั้งนี้ก็เพราะว่า การนำเอาวิธีการเก็บกษและจับเวลาของเครื่องมือ 2 ชนิดมาใช้สมกัน ก่อให้เกิดข้อผิดพลาดมากขึ้นกว่าที่จะใช้เครื่องมือชนิดใดชนิดหนึ่ง ทำการทดลองโดยตลอด ซึ่งเครื่องมือที่ใช้แต่ละชนิด มีข้อบกพร่องดังนี้

ผลใน (1) เกิดข้อผิดพลาดเพียงประการเดียวคือ ความกดคัน

ผลใน 2 (ก) และ 2 (ข) เกิดข้อผิดพลาดถึง 2 ประการคือ ความกดคันและจากการวัดของเครื่องมือ

ผลใน 2 (ค) ไม่เกิดข้อผิดพลาดดังกล่าวเลย

ดังนั้นจึงพอที่จะสรุปได้ว่า การใช้เครื่องมืออย่างง่ายที่มีในห้องปฏิบัติการหาอัตราการเกิด ก๊าซไฮโดรเจน ก็พอใช้ได้ เพราะว่ายังให้แนวโน้มในอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนได้ตรงกับการ ทดลองด้วยเครื่องมือที่สร้างขึ้น และถ้าจะให้ได้ค่าอัตราการเกิดก๊าซที่ถูกต้องจริงๆ ก็ควรจะใช้ เครื่องมือที่สร้างขึ้นโดยตรงเลย และไม่ควรจะใช้วิธีผสมทั้งใน (2) ก. และ (2) ข. เพราะ จะทำให้เกิดข้อผิดพลาดมากขึ้น ดังได้กล่าวมาแล้ว

การศึกษาอัตราการเกิดก๊าซออกซิเจน

การศึกษาอัตราการเกิดก๊าซออกซิเจน ใช้วิธีคิดตามวัฏพริมาตรของก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้น ต่อเวลา ดังอัตราส่วนข้างล่างนี้

$$\text{อัตราการเกิดก๊าซออกซิเจน} = \frac{\text{ปริมาตรของก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้น (มิลลิลิตร)}}{\text{เวลา (นาทิจ)}$$

อัตราการเกิดก๊าซออกซิเจน ทำการศึกษาจากปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับ โพตัสเซียมเปอร์มังกาเนต และเติมกรดซัลฟูริกหรือกรดเกลือในบางเงื่อนไข ในการศึกษาครั้งนี้ สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เตรียมโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% มาทำให้เจือจาง ด้วยน้ำกลั่นที่กลั่นใหม่ 2 ครั้ง เพื่อให้ได้น้ำกลั่นที่ใช้เป็นกลาง เพราะว่า pH ของสารละลายมีผล โดยตรงต่อการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นั้นเก็บไว้ในอ่างน้ำที่อุณหภูมิ 25°C ($\pm 5^\circ\text{C}$) ตลอดเวลา และจะใช้ทำการทดลองไม่เกิน 1 สัปดาห์ วิธีการเช่นนี้ Fouinat กับ Magat¹ ได้เคยใช้มาก่อนแล้ว โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 90% ซึ่งมีกรดซัลฟูริกอยู่เล็กน้อยมาทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นที่กลั่นมาแล้ว 3 ครั้ง และสารละลาย ใช้ทำการทดลองไม่เกิน 1 สัปดาห์ และ Fouinat² ได้เคยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่ทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นที่ stabilize ด้วยกรดฟอสฟอริกอีกด้วย

อัตราการเกิดก๊าซออกซิเจนที่ทำการศึกษาครั้งนี้ทั้งหมด แยกทำการศึกษาโดยใช้เครื่องมือ กึ่งอัตโนมัติสำหรับหาอัตราการเกิดก๊าซที่สร้างขึ้น กับเครื่องมืออย่างง่ายที่มีในห้องปฏิบัติการ ทั้งมี รายละเอียดต่อไปนี้

¹France Fouinat and Michel Magat, J. Chim. Phys., 47, 514 (1950).

²France Fouinat, Compt. Rend., 226, 1619 (1948).

1. เครื่องมือกึ่งอัตโนมัติสำหรับหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่สร้างขึ้น ใช้ศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเจนในเงื่อนไขต่างๆ ได้ผลดังต่อไปนี้

(1) การแปรผันความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จาก 0.12–0.51 โมลาร์ เมื่อปริมาณของโพตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ ผลปรากฏว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเจนแปรผันตามความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เมื่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเจนจะเพิ่มสูงขึ้นตามด้วย ดังตารางข้างล่างนี้

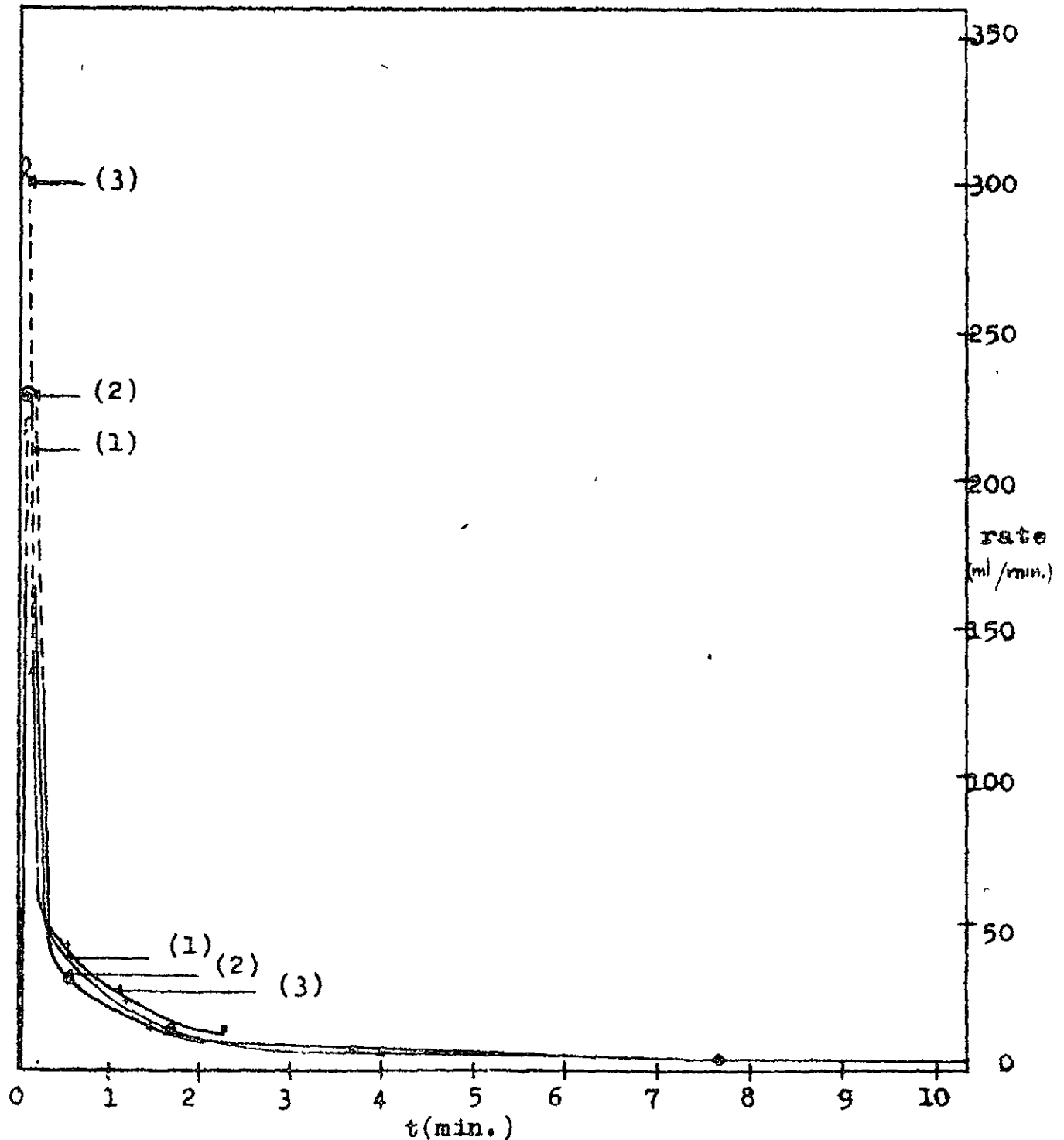
ตาราง 24 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเจน ในเงื่อนไขการแปรผันความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อปริมาณของโพตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ *
ณ อุณหภูมิห้อง $20.5^{\circ} - 30.8^{\circ} \text{C}$

อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเจน : dv/dt (ml./min.)				
0.12 M	0.25 M	0.29 M	0.38 M	0.51 M
3.21	2.17×10^2	2.28×10^2	3.04×10^2	3.97×10^2
1.10	4.84×10	2.97×10	1.35×10^2	2.92×10^3
3.78×10^{-1}	1.41×10	1.34×10	4.15×10	1.14×10^3
	5.91	7.14	2.24×10	9.87×10^2
	2.29	3.88	1.37×10	5.55×10^2

* $5.0 \times 10^{-3} \text{ M KMnO}_4$ 75.0 ml. H_2O_2 40.0 ml.

จากรูป 34 หน้า 158 กราฟแสดงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเจนต่อเวลา จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าความเข้มข้นต่างๆของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (0.12 M) ปฏิกิริยาออกซิเจนเกิดขึ้นช้ามากและมีปริมาณน้อยด้วย แต่เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น (0.25–0.51 M) ปฏิกิริยาออกซิเจนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อนำเอาค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเจนไปเขียนกราฟระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเจนกับเวลา (ดูค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเจนและเวลาที่ใช้ในตาราง 10 หน้า 65 ประกอบด้วย) จะได้กราฟออกมาเป็นเส้นโค้งดังรูป หน้า 115

รูป 19 กราฟแสดงอัตราการเกิดออกซิเจนต่อเวลา ในเงื่อนไขการแปรผันความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อปริมาณของโพตัสเซียมเปอร์แมงกาเนตคงที่



$5.0 \times 10^{-3} \text{ M KMnO}_4$ คงที่

(1) $0.25 \text{ M H}_2\text{O}_2$ (2) $0.29 \text{ M H}_2\text{O}_2$ (3) $0.38 \text{ M H}_2\text{O}_2$

จากกราฟจะเห็นว่าอัตราการเกิดการออกซิเจนในแต่ละเงื่อนไขมีลักษณะแตกต่างกันมาก 2 ช่วง คือ อัตราการเกิดการเกิดในช่วงแรกมีค่าสูงมาก การออกซิเจนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในเวลาสั้น ส่วนอัตราการเกิดการเกิดในช่วงที่สองมีค่าต่ำกว่าช่วงแรกมากและลดลงตามลำดับ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สูงขึ้น (ดูอัตราอัตราการเกิดการออกซิเจนในตาราง 24 หน้า 114 ประกอบด้วย) ลักษณะความแตกต่างของอัตราการเกิดการเกิดดังกล่าว ยิ่งปรากฏชัดขึ้นและอัตราการเกิดการเกิดในช่วงแรกจะขยายช่วงของปริมาณการเกิดการเกิดกว้างขึ้นอีกตามลำดับ ในเงื่อนไขการทดลองที่ 1-4 (ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 0.12-0.38 โมลาร์) มีลักษณะอัตราการเกิดการเกิดแบบเดียวกัน คืออัตราการเกิดการเกิดครั้งแรกเป็นอัตราสูงสุด อัตราการเกิดการเกิดจะลดลงตามลำดับ ส่วนในเงื่อนไขสุดท้าย (ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 0.51 โมลาร์) อัตราการเกิดการเกิดแตกต่างไปจากเงื่อนไขที่กล่าวมา อัตราการเกิดการเกิดครั้งแรกมีอัตราสูงสุดของปฏิกิริยา อัตราการเกิดการเกิดยังคงเพิ่มสูงขึ้นจนถึงอัตราสูงสุดซึ่งปรากฏในจุดที่สองของการวัดแล้วจึงลดลงตามลำดับ ความแตกต่างในสิ่งเหล่านี้ยังบอกไม่ได้แน่นอนว่าผิดถูกเพียงไร เพราะว่าเครื่องมือที่สร้างขึ้นแบ่งการวัดปริมาตรของก๊าซออกเป็น 5 จุด แต่ละจุดห่างกัน 15 ml. ห่างกันเกินไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดการออกซิเจนตอนเริ่มกันเกิดเร็วมาก ควรจะได้ติดตามวัดปริมาตรในช่วงแรกๆ เพื่อจะได้ทราบลักษณะของการเกิดการออกซิเจนที่ถูกต้องยิ่งขึ้น แต่เครื่องมือวัดปริมาตรของก๊าซได้ไม่ละเอียดพอจึงทำให้ไม่ทราบว่าจุดที่ 1 หรือ 2 ที่ปรากฏในตาราง 24 หน้า 114 เป็นอัตราการเกิดการเกิดสูงสุดจริงหรือไม่ ความความจริงแล้วจุดที่เราวัดได้นั้นอาจจะ เป็นจุดที่อัตราการเกิดการเกิดกำลังอยู่ในช่วงที่เพิ่มขึ้น หรือกำลังอยู่ในช่วงที่ลดลง หรืออยู่ที่อัตราการเกิดการเกิดสูงสุดพอดีก็ได้ และเราไม่สามารถที่จะคาดคะเนได้ว่าอัตราการเกิดการเกิดสูงสุดมีค่าเท่าไรด้วย ดังนั้นจากข้อมูลในตาราง 24 หน้า 114 จึงบอกได้เพียงกว้างๆถึงแนวโน้มของอัตราการเกิดการออกซิเจนว่ามีลักษณะแตกต่างกัน 2 ช่วง จึงในช่วงแรกมีค่าสูงมาก ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และตามด้วยในช่วงที่ 2 อัตราการเกิดการเกิดลดลงอย่างรวดเร็วตามลำดับ ด้วยเหตุผลดังกล่าวการเสนอกราฟ ระหว่างอัตราการเกิดการออกซิเจนกับเวลา ดังรูป 19 หน้า 115 จึงเป็นเพียงความพยายามที่จะเสนอให้เห็นถึงลักษณะของอัตราการเกิดการออกซิเจนเท่านั้น แต่ค่าไม่อาจจะถูกต้องนัก เพราะการวัดอัตราการเกิดการออกซิเจนไม่ละเอียดพอ เส้นไขปลาที่ใช้ในรูปแสดงถึงความไม่แน่นอนของอัตราสูงสุด ด้วยการลากเส้นคาดคะเนค่าอัตราสูงสุดไว้ในลักษณะเช่นเดียวกันหมด และในเงื่อนไขแรก กับเงื่อนไขสุดท้าย ไม่น่ามาเขียนแสดงเป็น

กราฟไว้ เพราะว่าอัตราการเกิดกาออกซิเจนในเงื่อนไขแรกที่มีค่าค่ามาก ส่วนเงื่อนไขสุดท้ายมีค่าสูงมากไม่สามารถที่จะนำมาแสดงให้เห็นชัดเจนในที่นี้ได้ ซึ่งถ้าจะนำมาเขียนกราฟรวมกันไว้ในรูปเดียวกันก็จะทำให้เส้นโค้งที่เขียนไว้สังเกตความแตกต่างได้ไม่ชัดเจน

Bailey และ Taylor¹ ได้เสนออัตราของปฏิกิริยาระหว่างโพตัสเซียมเปอร์มังกาเนตกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายของกรดกำมะถัน

$$v = \frac{k_1 [\text{H}_2\text{O}_2] [\text{H}_2\text{SO}_4] [\text{KMnO}_4]}{(k_2 + k_3 [\text{H}_2\text{O}_2]^2 [\text{H}_2\text{SO}_4]^2)} \dots\dots\dots (1)$$

เมื่อ v คือ velocity of reaction และพบว่าปริมาณของเลขในสมการ (1) เป็นตัวส่งเสริม (promote) ปฏิกิริยาในขณะที่ปริมาณของส่วนเป็นตัวหน่วง (retard) ปฏิกิริยา จึงปรับสมการข้างบนให้ง่ายขึ้นและสอดคล้องกับการทดลองเมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีความเข้มข้นต่ำและสูงตามลำดับดังนี้

ที่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีความเข้มข้นต่ำ (มีความเข้มข้นไม่เกิน 0.00075 N)

$$v = \frac{k_1}{k_2} [\text{H}_2\text{O}_2] [\text{H}_2\text{SO}_4] [\text{KMnO}_4] \dots\dots\dots (2)$$

ที่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีความเข้มข้นสูง (มีความเข้มข้นไม่เกิน 0.100 N)

$$v = \frac{k_1 [\text{KMnO}_4]}{k_3 [\text{H}_2\text{O}_2] [\text{H}_2\text{SO}_4]} \dots\dots\dots (3)$$

ในการทดลองนี้ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีความเข้มข้นแปรผันระหว่าง 0.12 - 0.51 M ซึ่งมีความเข้มข้นสูงกว่าที่ Bailey และ Taylor เสนอไว้ ดังนั้นถ้าอนุโลมเอาสมการ (3) มาเป็นเกณฑ์ในการศึกษาครั้งนี้ด้วย การเขียนกราฟระหว่าง rate vs. $[\text{KMnO}_4]$, rate vs. $[\text{H}_2\text{O}_2]^{-1}$ และ rate vs. $[\text{H}_2\text{SO}_4]^{-1}$ ก็ควรจะไดกราฟเป็นเส้นตรง

¹Kenneth C. Bailey and George T. Taylor, J. Chem. Soc., 999, (1939).

จากข้อมูลของการทดลองในเงื่อนไขการแปรผันความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($0.12-0.51\text{ M}$) เมื่อปริมาณของโพตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ ($5.0 \times 10^{-3}\text{ M}$) ณ อุณหภูมิห้อง $20.5-30.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ เมื่อนำไปเขียนกราฟระหว่างอัตราการเกิดก๊าซออกซิเจน กับ ส่วนกลับของความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ $[\text{H}_2\text{O}_2]^{-1}$ ดังรูป 35 หน้า 159 ผลกลับปรากฏได้เป็นเส้นโค้ง แต่ curve (1) ซึ่งเป็นกราฟที่เขียนระหว่างอัตราการเกิดก๊าซออกซิเจนจุดที่ 1 (คิดอัตราการเกิดก๊าซจาก O_2 ที่เกิดขึ้น 15 ml แรก) ของทุกความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กับ $[\text{H}_2\text{O}_2]^{-1}$ มีแนวโน้มที่จะเป็นเส้นตรง เพราะว่าอัตราการเกิดก๊าซจุดแรกนั้นความเข้มข้นของทั้งไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโพตัสเซียมเปอร์มังกาเนตมีมากเกินพอ สำหรับอัตราการเกิดก๊าซ จุดอื่นๆ ความเข้มข้นของสารทั้งสองลดน้อยลงตามลำดับ จึงอาจจะทำให้กราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้งมากขึ้น อย่างไรก็ตามจากการทดลองเท่านั้นยังไม่อาจจะสรุปได้ว่าไดโนลสอดคล้องหรือไม่ สอดคล้องกับข้อเสนอของ Bailey และ Taylor เพราะว่าเงื่อนไขในการทดลองแตกต่างกันมากหลายประการ เช่น ประการแรกความเข้มข้นของทั้งไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโพตัสเซียมเปอร์มังกาเนตแตกต่างกัน ประการที่สอง การทดลองของ Bailey และ Taylor มีกริดฟริกอยู่ควบ แต่ในที่นี้ไม่มีกริดฟริกอยู่เลย

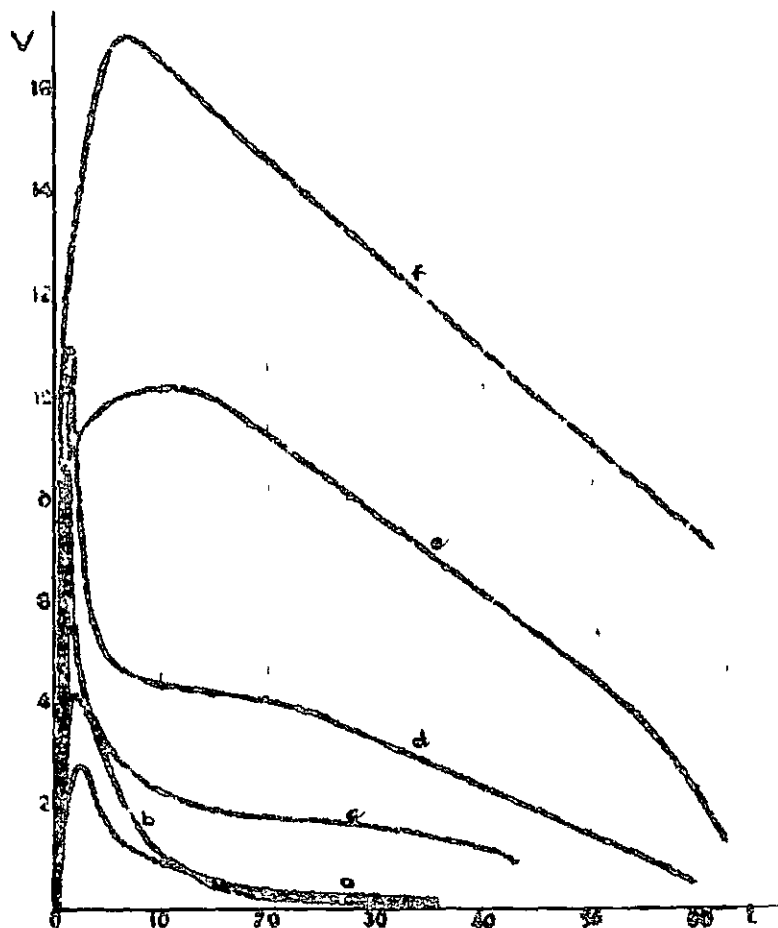
ผลการทดลองดังกล่าวข้างต้นไดโนลสอดคล้องกับการศึกษาของ Fournat¹ ที่ทำการศึกษาถึงผลของความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโพตัสเซียมเปอร์มังกาเนตที่มีต่ออัตราการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับโพตัสเซียมเปอร์มังกาเนตโดยการวัดปริมาตรของก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้นเช่นเดียวกัน สรุปผลไว้ว่า อัตราการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีสองช่วง (period) ที่แตกต่างกัน ในตอนแรกอัตราการเกิดก๊าซเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงอัตราสูงสุด จากนั้นอัตราการสลายตัวลดลงอย่างสม่ำเสมอเป็นฟังก์ชันเส้นตรงของเวลา ดังรูปหน้า 119

อัตราการเกิดก๊าซออกซิเจนดังรูปในหน้า 119 Fournat ได้ทำการทดลองในเงื่อนไขที่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีความเข้มข้นระหว่าง $0.0137-0.469\text{ mole/liter}$ เมื่อโพตัสเซียมเปอร์มังกาเนตมีความเข้มข้นคงที่ ที่ $1.15 \times 10^{-4}\text{ โมลาร์}$ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้ดังรูป 19 หน้า 115 ผลปรากฏว่าอัตราการเกิดก๊าซออกซิเจนที่ทดลองได้ มีแนวโน้มว่าจะมีอัตราการเกิดก๊าซสูงกว่า ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากเงื่อนไขในการทดลองแตกต่างกัน ทั้งความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโพตัสเซียมเปอร์มังกาเนตที่ใช้แตกต่างกัน

¹ France Fournat, Compt. Rend., 228, 1593-5 (1949).

กัณ

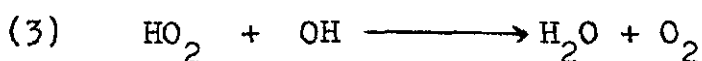
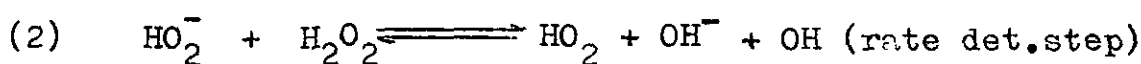
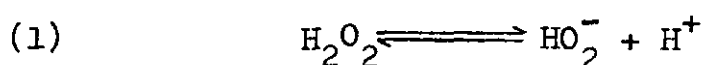
ในการทดลองนี้ใช้ ความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ ที่ $5.0 \times 10^{-3} M$
และความเข้มข้นของไดโครเจนเปอร์ออกไซด์แปรผัน จาก 0.12-0.51 M



รูป 20 แสดงอัตราการเกิดกาออกซิเจน (ml./min.) ต่อเวลา (min.)
ในเงื่อนไขการแปรผันความเข้มข้นของไดโครเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อความ
เข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต คงที่

Fouinat ทำการทดลองโดยใช้ความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต คงที่ ที่ 1.15×10^{-4} M และความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แปรผันจาก 0.0173-0.469 M จะเห็นว่าความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตแตกต่างกันมาก และมีผลกระทบกระเทือนโดยตรงต่ออัตราการเกิดการออกซิเจนอย่างมาก ดังที่ Fouinat¹ ได้รายงานไว้อีกเช่นกันว่า อัตราการสลายตัวในช่วงแรกขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต

Fouinat และ Magat² ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมอีกจากปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กับโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต แล้วสรุปว่า อัตราการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความแตกต่างกัน 2 ช่วงนั้น (ในตอนเริ่มต้น อัตราการสลายตัว เกิดเร็วมาก ตามด้วยอัตราการสลายตัวที่ช้าลง) เขาเชื่อว่า มีปฏิกิริยา 2 ปฏิกิริยา เกิดขึ้นต่อเนื่องกัน ซึ่งสมมุติเรียกชื่อว่า ปฏิกิริยา A และ B ตามลำดับ โดยที่ปฏิกิริยา A เกิดขึ้นเร็วมาก และเชื่อว่าเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ โดยมี free radical เช่น HO_2 หรือ OH เกิดขึ้นดังสมการ³



จึงเขาสันนิษฐานว่าเกิดขึ้นระหว่างปฏิกิริยา reduction ของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้มังกานีสไดออกไซด์ ก๊าซออกซิเจน และโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ และปฏิกิริยา B ที่เกิดขึ้นตามมาเกิดช้ากว่าปฏิกิริยา A มาก ซึ่งคาดว่าปฏิกิริยานี้เกี่ยวข้องกับพื้นผิวของ colloid ของมังกานีสไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิกิริยา reduction ของมังกานีสไดออกไซด์ แต่ Fouinat และ Magat ไม่ได้เสนอกลไกของปฏิกิริยาทั้ง A และ B ไว้เลย

(2) การแปรผันความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต จาก 5.0×10^{-4} - 2.5×10^{-2} M เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงที่ ผลปรากฏว่า อัตราการเกิดการออกซิเจนแปรผันตามความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต กล่าวคือ เมื่อโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตมีความเข้มข้นสูงขึ้น อัตราการเกิดการออกซิเจนจะมีค่าสูงขึ้นตามลำดับ ดังตาราง 25 หน้า 121

¹Ibid.

²France Fouinat and Michel Magat, *op.cit.* pp.514-512.

³E. Abel, *Monatsh*, 83, 422-39 (1952).

ตาราง 25 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาซออกซิเจน ในเงื่อนไขการแปรผัน
ความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงที่ *
ณ อุณหภูมิห้อง $24.4^{\circ} - 31.7^{\circ} \text{C}$

อัตราการเกิดกาซออกซิเจน : dv/dt (ml./min.)				
$5.0 \times 10^{-4} \text{M}$	$1.0 \times 10^{-3} \text{M}$	$5.0 \times 10^{-3} \text{M}$	$1.0 \times 10^{-2} \text{M}$	$2.5 \times 10^{-2} \text{M}$
6.25	1.38×10	2.17×10^2	3.26×10^2	8.93×10^2
5.11	1.13×10	4.84×10	8.76×10	1.46×10^3
2.95	6.23	1.41×10	1.39×10	1.82×10^3
1.53	2.93	5.91	6.59	4.29×10
7.06×10^{-1}	1.23	2.29	3.26	3.07

* $0.25 \text{ M H}_2\text{O}_2$ 40.0 ml: K^+MnO_4 75.0 ml.

จากรูป 36 หน้า 160 กราฟแสดงปริมาตรของการเกิดกาซออกซิเจนกับเวลา จะเห็น
ได้อย่างชัดเจนว่า ที่ความเข้มข้นต่ำๆของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต ($5.0 \times 10^{-4} \text{M}$) กาซออกซิเจน
เกิดได้ช้ามาก (กาซออกซิเจนเกิดขึ้น 74.6 ml. ใช้เวลานานถึง 41.03 นาที)
เมื่อความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตสูงขึ้น ($1.0 \times 10^{-3} \text{M} - 5.0 \times 10^{-2} \text{M}$) กาซ
ออกซิเจนเกิดขึ้นได้เร็วขึ้น ตามลำดับ

จากตารางข้างบนพบว่า อัตราการเกิดกาซออกซิเจนเพิ่มสูงขึ้นมาก เมื่อเพิ่มความเข้มข้น
ของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตขึ้น ในแต่ละเงื่อนไข อัตราการเกิดกาซยังคงมีลักษณะเช่นเดียวกัน
กับในเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต
คงที่ ดังรูป 19 หน้า 115 ที่กล่าวมาแล้ว คือ อัตราการเกิดกาซที่เกิดขึ้นมีลักษณะแตกต่างกันมาก
2 ช่วง ในช่วงแรกอัตราการเกิดกาซเพิ่มขึ้นรวดเร็วมาก ช่วงที่สองอัตราลดต่ำลงมาก เมื่อเพิ่ม
ความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตสูงขึ้นลักษณะความแตกต่างดังกล่าวปรากฏชัดยิ่งขึ้น
อัตราการเกิดกาซในช่วงแรกจะขยายช่วงปริมาณการเกิดกาซกว้างขึ้นตามลำดับ ในเงื่อนไขที่มี
ความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตสูงๆ (ตั้งแต่ $5.0 \times 10^{-3} \text{M}$ ขึ้นไป) อัตราการเกิดกาซ

ในตอนต้นมีค่าสูงมาก หลังจากนั้นอัตราการเกิดการปลดปล่อย ส่วนในเงื่อนไขที่ปัสตีสเริ่มเปอร่มังกาเนก มีความเข้มข้นต่ำ (5.0×10^{-4} M และ 1.0×10^{-3} M) อัตราการเกิดการเกิดออกซิเจนในช่วงแรกกับช่วงที่สองไม่ปรากฏเห็นความแตกต่างอย่างเด่นชัดเหมือนในเงื่อนไขอื่น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าในเงื่อนไขดังกล่าว ปัสตีสเริ่มเปอร่มังกาเนกมีความเข้มข้นต่ำ การออกซิเจนที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกอาจจะอยู่ในช่วงสั้น เครื่องมือที่สร้างไม่สามารถที่จะวัดได้ละเอียด (เครื่องมือวัดปริมาตรทางกันช่วงละ 15 มิลลิลิตร) จึงทำให้อัตราการเกิดการเกิดออกซิเจนที่วัดได้ในจุดแรก อาจจะไม่ใช่อัตราสูงสุด ส่วนในเงื่อนไขอื่นๆก็เช่นเดียวกัน การเกิดการออกซิเจนในจุดแรกกับจุดที่สองอาจจะไม่ใช่อัตราสูงสุด ดังนั้นถ้าเราสามารถวัดปริมาตรของการเกิดการเกิดออกซิเจนในตอนแรกๆ จนถึงจุดสูงสุดให้ละเอียดขึ้น จะทำให้การเสนอค่าอัตราการเกิดการเกิดออกซิเจนมากขึ้น

ผลการทดลองดังกล่าวข้างบน ได้ผลสอดคล้องกับการศึกษาของ Fournat และ Fournat กับ Margot ในการศึกษาอัตราการเกิดการเกิดออกซิเจนจากสารละลายเจือจางของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กับปัสตีสเริ่มเปอร่มังกาเนก ดังรูปในหน้า 123

จากรูปทั้งสองเป็นเส้นกราฟที่แสดงถึงอัตราการเกิดการเกิดออกซิเจนต่อเวลาที่มีความเข้มข้นของปัสตีสเริ่มเปอร่มังกาเนก (คงที่) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แตกต่างกัน รูป 21 เป็นผลการทดลองของ Fournat ทำการทดลองที่

ความเข้มข้นของปัสตีสเริ่มเปอร่มังกาเนกคงที่ ที่ 1.15×10^{-4} M

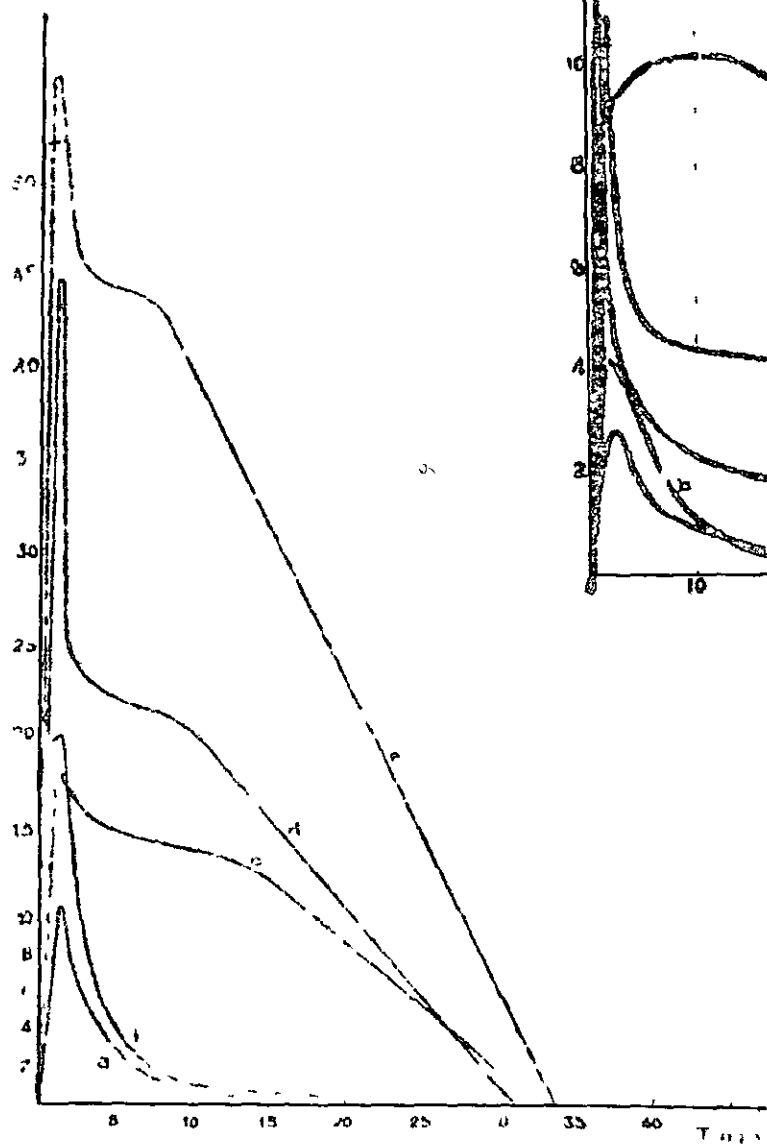
ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อยู่ระหว่าง 0.0173-0.469 M

รูป 22 เป็นผลการทดลองของ Fournat กับ Margot ทำการทดลองที่

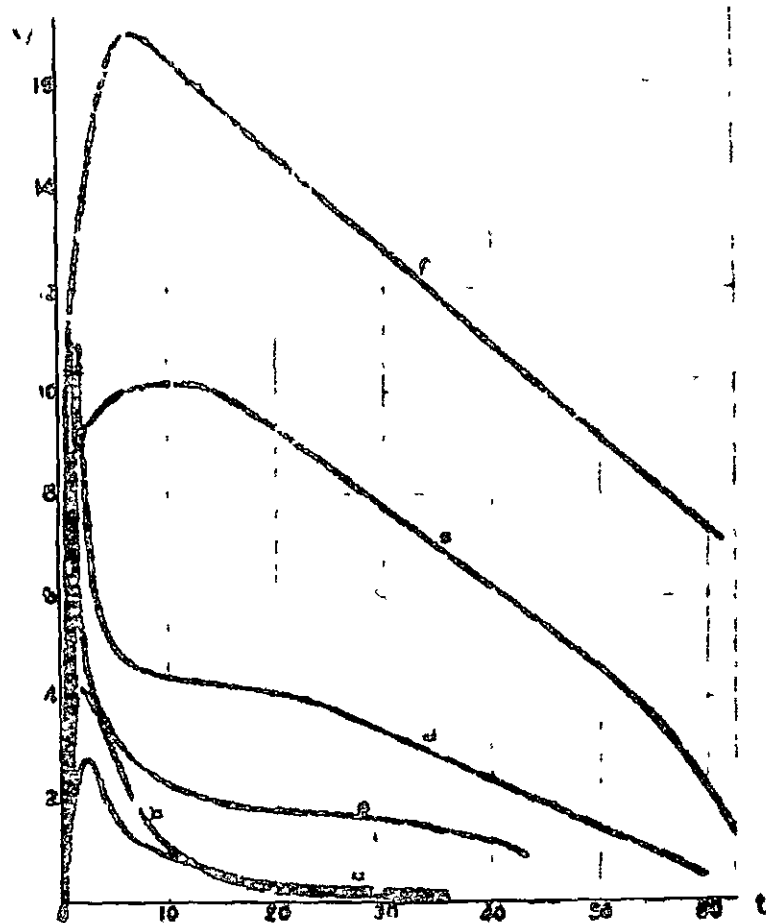
ความเข้มข้นของปัสตีสเริ่มเปอร่มังกาเนก คงที่ ที่ 2.3×10^{-4} M

ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อยู่ระหว่าง 0.026-0.533 M

จะเห็นว่า ลักษณะของอัตราการเกิดการเกิดออกซิเจนที่เกิดขึ้น ส่วนใหญ่มีลักษณะคล้ายกัน คือ อัตราการเกิดการเกิดออกซิเจนเริ่มต้นจนถึงจุดสูงสุดเกิดเร็วมาก จากนั้นอัตราการลดลงตามลำดับ เมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีความเข้มข้นต่ำๆ หลังจากจุดสูงสุดแล้ว จะติดตามมาด้วยการลดลงอย่างรวดเร็วในตอนแรกๆ จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงตามลำดับ (ดัง curve a และ b ในรูป 21 และ 22) เมื่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น จะสังเกตเห็นการลดลงอย่างรวดเร็วของ curve แล้วจะมีการหักเป็นรูปเนิน (plateau) ซึ่งมีความแตกต่างกันไป และช่วงความยาวของเนินเหล่านั้นก็แตกต่างกันไป โดยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของปัสตีสเริ่มเปอร่มังกาเนก จากนั้น curve



รูป 21 แสดงอัตราการเกิดภาพ
ของทริเจนอเวลา



รูป 22 แสดงอัตราการเกิดภาพ
ของทริเจนอเวลา

จะค่อยๆลดลง สำหรับพวกที่มีอัตราส่วนของความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต ($H_2O_2/KMnO_4$) สูงมากที่สุด (curve e และ f รูป 21) จุดสูงสุดของเนินจะปนกับจุดสูงสุดของอัตราการเกิดกาซแทนที่จะสังเกตเห็นเป็นยอดแหลม กลับพบว่าจุดสูงสุดเป็นโค้งกลมๆจากนั้น curve ก็ลดลงตามปกติ ปรากฏการณ์ของ curves เหล่านี้ใหม่ลบลดคล่องกับสมมติฐานที่เราวางไว้เกี่ยวกับปฏิกิริยา 2 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเองกันอย่างเห็นได้ชัด คือ ปฏิกิริยาที่หนึ่งเกิดขึ้นเร็วมากเนื่องจากการ reduction ของเปอร์มังกาเนตอิสระ และปฏิกิริยาที่สองซึ่งเกิดช้ากว่าที่แสดงถึง induction period ซึ่งเกิดขึ้นโดยเฉพาะเมื่อมี colloidal MnO_2

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบ curves ต่างๆในรูป 21 และ 22 จะเห็นว่าอัตราการเกิดการออกซิเจนในคอนเริ่มต้นจนถึงจุดสูงสุดของ curves รูป 22 มีค่าสูงกว่าในรูป 21 มาก ทั้งๆที่ผลการศึกษาดังกล่าวใช้ความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ แตกต่างกันไม่มาก (curves ในรูป 21 และ 22 ใช้ $KMnO_4$ คงที่ ที่ $1.15 \times 10^{-4}M$ และ $2.3 \times 10^{-4}M$ ตามลำดับ) และ Fournet¹ ได้สรุปเกี่ยวกับอัตราการเกิดกาซออกซิเจนในคอนเริ่มต้นจนถึงจุดสูงสุดไว้ว่า อัตราการเกิดกาซเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต แต่ไม่มีรายละเอียดเพิ่มเติมให้อีกเลย และเมื่อย้อนกลับไปพิจารณาเปรียบเทียบกับผลที่ทดลองได้ตามตาราง 25 หน้า 121 ปรากฏว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตสูงขึ้นอัตราการเกิดกาซในคอนเริ่มต้นมีค่าสูงมากขึ้นตามลำดับและมีค่าสูงมากกว่าอัตราการเกิดกาซจาก curves ในรูป 21 และ 22 มาก ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากการเพิ่มความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตสูงขึ้นเรื่อยๆดังที่ Fournet ได้สรุปไว้แล้วนั่นเอง

จากสมการ (3) หน้า 117 แสดงว่า ถ้าเขียนกราฟระหว่าง rate vs. $[KMnO_4]$ จะได้กราฟเส้นตรง แต่จากข้อมูลของการทดลองในเงื่อนไขการแปรผันความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต ($5.0 \times 10^{-4}M - 2.5 \times 10^{-2}M$) เมื่อปริมาตรของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงที่ (0.25 M) ณ อุณหภูมิห้อง $24.4^\circ - 31.7^\circ C$ เมื่อเขียนกราฟระหว่างอัตราการเกิดกาซออกซิเจนกับความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต $[KMnO_4]$ ดังรูป 37 หน้า 161 ผลปรากฏว่าได้กราฟเป็นเส้นตรงในช่วงแรกที่มีโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตมีความเข้มข้นสูงไม่เกิน 1.0×10^{-2} โมลาร์ และกราฟจะเริ่มเป็นเส้นโค้งเมื่อโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตมีความเข้มข้นสูงกว่า $1.0 \times 10^{-2}M$

¹France Fournet, op.cit. p.1953.

จากกราฟ (1) - (4) ในรูป 37 หน้า 161 จะเห็นว่ากราฟที่เขียนจาก 4 จุดแรกเป็นเส้นตรงเหมือนกันหมด แตกต่างกันเฉพาะจุดที่ 5 เท่านั้น ซึ่งทำให้กราฟที่ต่อยออกไปเป็นเส้นโค้ง (ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากโปคัสเซียมเปอร์มังกาเนตมีความเข้มข้นสูง ในปฏิกิริยาจึงมีปริมาณของโปคัสเซียมเปอร์มังกาเนตมากเกินไป) ทำให้อัตราการเกิดก๊าซมีค่าสูงแทบทุกจุด) สำหรับกราฟ (1) ที่เป็นเส้นตรงนั้นความจริงแล้วจุดสุดท้ายควรจะเป็นเส้นโค้งเหมือนกับกราฟ (2) - (4) ด้วย แต่เนื่องจากโปคัสเซียมเปอร์มังกาเนตมีความเข้มข้นสูงกว่าในเงื่อนไขอื่นๆมาก การทดลองจึงพบว่าก๊าซออกซิเจนเกิดขึ้นเร็วมากจนจับเวลาเกือบไม่ทัน ดังนั้นการเกิดก๊าซที่เกิดขึ้นสำหรับในเงื่อนไขนี้จึงขยายปริมาตรออกไปจาก 75.0 ml. ไปเป็น 97.0 ml. อัตราการเกิดก๊าซในจุดแรกจึงเปลี่ยนจาก 15.0 ml ไปเป็น 37.0 ml ตามด้วย (ดังตาราง 11 หน้า 68) ดังนั้นถ้าจุดแรกเกิดก๊าซเท่ากับจุดแรกในเงื่อนไขอื่นๆแล้ว อัตราการเกิดก๊าซจะมีค่าสูงกว่าที่ปรากฏ และเมื่อนำไปเขียนกราฟก็จะได้กราฟในช่วงสุดท้ายเป็นเส้นโค้งเหมือนกันด้วย

ดังนั้นจึงอาจจะสรุปได้ว่าผลการทดลองนี้สอดคล้องกับข้อเสนอของ Bailey และ Taylor เฉพาะในเงื่อนไขที่โปคัสเซียมเปอร์มังกาเนตมีความเข้มข้นต่ำเท่านั้น (มีความเข้มข้นไม่เกิน $1.0 \times 10^{-2} M$) ส่วนในเงื่อนไขที่โปคัสเซียมเปอร์มังกาเนตมีความเข้มข้นสูง ($2.5 \times 10^{-2} M$) ผลเริ่ม deviate ไปจากข้อเสนอดังกล่าว

(3) การแปรผันความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก และกรดเกลือ จาก $0-5.0 \times 10^{-2} M$ เช่นเดียวกัน เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโปคัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ ปรากฏว่า การเติมกรดซัลฟูริกหรือกรดเกลือที่มีความเข้มข้นต่างๆกันลงไป ทำให้อัตราการเกิดก๊าซออกซิเจนลดต่ำลงตามลำดับกว่าในเงื่อนไขที่ไม่ได้เติมกรด ดังตาราง 26-27 หน้า 126-127

จากข้อมูลในตาราง 12 และ 13 หน้า 69-72 จะเห็นว่าปฏิกิริยาการเกิดก๊าซออกซิเจนในเงื่อนไขธรรมดา (ไม่ได้เติมกรด) สังเกตเห็นได้อย่างชัดเจกว่ามีความแตกต่างเกิดขึ้น 2 ตอน ค่อนข้างกัน ในตอนแรกปฏิกิริยาเกิดขึ้นเร็วมาก และตอนที่สองเกิดขึ้นช้าลงตามลำดับ ซึ่งปรากฏการณ์เช่นนี้แทบจะสังเกตไม่เห็นความแตกต่างเลยเมื่อเติมกรดซัลฟูริกหรือกรดเกลือที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นไปตามลำดับ ก๊าซออกซิเจนจะเกิดขึ้นช้าลงและมีปริมาณน้อยลงตามลำดับด้วย ซึ่งจะได้ขยายชัดเจนจากรูปกราฟแสดงการเกิดก๊าซออกซิเจนต่อเวลา ดังรูป 38 และ 40 หน้า 162

เมื่อกรดซัลฟูริกหรือกรดเกลือที่เติมลง ไม่มีความเข้มข้นสูงขึ้นตามลำดับจะทำให้ก๊าซออกซิเจนเกิดขึ้นช้าลงและมีปริมาณน้อยลง เช่นในเงื่อนไขที่เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2.5×10^{-2} โมลาร์ และ 5.0×10^{-2} โมลาร์ และกรดเกลือเข้มข้น 5.0×10^{-2} โมลาร์ มีก๊าซออกซิเจนเกิดขึ้นประมาณ 5.5 มิลลิลิตร ในเวลา 30 นาที

ตาราง 26 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดก๊าซออกซิเจน ในเงื่อนไขการแปรผันความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ *
ณ อุณหภูมิห้อง $23.5-33.4^{\circ}\text{C}$

อัตราการเกิดก๊าซออกซิเจน : dv/dt (ml./min.)					
ไม่มี H_2SO_4	5.0×10^{-3} M	1.0×10^{-2} M	1.75×10^{-2} M	2.5×10^{-2} M	5.0×10^{-2} M
2.17×10^2	2.74×10	1.52×10	1.27×10	4.0×10^{-1}	3.1×10^{-1}
4.84×10	1.42×10	9.17	1.16×10	1.5×10^{-1}	1.3×10^{-1}
1.41×10	7.37	5.12	5.32	1.2×10^{-1}	6.0×10^{-1}
5.91	3.55	2.64	2.34		
2.29	1.40	1.24	9.21×10^{-1}		

* $0.25 \text{ M } \text{H}_2\text{O}_2$ 40.0 ml : $5.0 \times 10^{-3} \text{ M } \text{KMnO}_4$ 75.0 ml. และ H_2SO_4 25.0 ml.

ตาราง 27 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาซออกซิเจน ในเงื่อนไขการแปรผันความเข้มข้นของกรดเกลือ เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ * ณ อุณหภูมิห้อง 24.4° - 31.6° C

อัตราการเกิดกาซออกซิเจน : dv/dt (ml./min.)					
ไม่มี HCl	$5.0 \times 10^{-3} M$	$1.0 \times 10^{-2} M$	$1.75 \times 10^{-2} M$	$2.5 \times 10^{-2} M$	$5.0 \times 10^{-2} M$
2.17×10^2	7.60×10^1	2.85×10^1	3.75×10^1	1.83×10^1	4.8×10^{-1}
4.84×10^1	2.87×10^1	1.38×10^1	2.56×10^1	1.14×10^1	1.3×10^{-1}
1.41×10^1	1.22×10^1	7.04	9.03	5.07	1.5×10^{-1}
5.91	5.25	3.51	2.69	2.04	1.0×10^{-1}
2.29	1.72	1.48	7.88×10^{-1}	7.60×10^{-1}	

* $0.25 M H_2O_2$ 40.0 ml. : $5.0 \times 10^{-3} M KMnO_4$ 75.0 ml. และ HCl 25.0 ml.

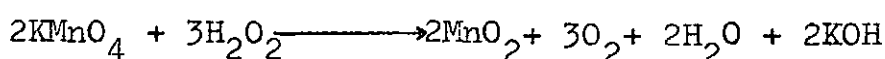
จากตารางข้างบนจะพบว่าอัตราการเกิดกาซออกซิเจนลดต่ำลงมากตามลำดับ เมื่อเติมกรดซัลฟริกหรือกรดเกลือที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นเรื่อยๆ ลงไปในสารละลายของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต ซึ่ง Founat และ Walch¹ ก็ได้พบปรากฏการณ์เช่นนี้เหมือนกันจากการศึกษาในเงื่อนไขของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตที่มีความเข้มข้นคงที่กับการแปรผันปริมาณของกรดซัลฟริก แล้วสรุปว่า "ปฏิกิริยาการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ถูกขัดขวาง (inhibit) เป็นสัดส่วนกับปริมาณของกรดซัลฟริกที่เติมลงไป"

ในเงื่อนไขที่ไม่ได้เติมกรดลงไป ปรากฏว่าอัตราการเกิดกาซในตอนแรกมีค่าสูงมาก จากนั้นอัตราการเกิดกาซเริ่มลดต่ำลงตามลำดับ เมื่อปฏิกิริยาลิ้นสุดลง สังเกตพบว่าสารละลายที่เหลือเป็นสีน้ำตาลและมีตะกอนสีน้ำตาลของมังกานีสไดออกไซด์เกิดขึ้นด้วย ซึ่งตรงกับที่ Founat² ได้สรุปจากผลการทดลองในเงื่อนไขที่ความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ ที่ 1.15×10^{-4} โมลาร์ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แปรผันอยู่ระหว่าง 0.0173 - 0.469 โมลาร์

¹ France Founat and Walch, *J. Chim. Phys.*, 50, 527-44 (1953).

² France Founat, *op. cit.* p. 1593.

ไว้ว่า "อัตราการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีสองช่วงที่แตกต่างกัน(รูป 20 หน้า 119 ประกอบด้วย) ในช่วงแรกอัตราการเกิดก๊าซ เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงอัตราสูงสุด จากนั้นช่วงที่สองอัตราการเกิดก๊าซจะลดต่ำลงตามลำดับ ซึ่งอัตราการเกิดก๊าซออกซิเจนในช่วงแรกนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต" Fouinat และ Magat¹ ได้ตั้งข้อสันนิษฐานไว้ว่า ปฏิกริยาในช่วงแรกที่เกิดขึ้นเร็วมากนั้นเกิดขึ้นระหว่างปฏิกริยา reduction ของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตโดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้มังกานีสไดออกไซด์ ก๊าซออกซิเจน และโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์เกิดขึ้นดังสมการ



ในเงื่อนไขที่เติมกรดซัลฟริกหรือกรดเกลือลงไป พบว่าอัตราการเกิดก๊าซออกซิเจนลดต่ำลงตามลำดับตามความเข้มข้นของกรดที่เติมลงไป(ดังผลในตาราง 26 และ 27 หน้า 126-7) เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองในเงื่อนไขเหล่านี้กับเงื่อนไขที่ไม่ได้เติมกรด จะเห็นความแตกต่างกันอย่างชัดเจน เกี่ยวกับอัตราการเกิดก๊าซในช่วงแรกและการเกิดตะกอนสีน้ำตาลเมื่อปฏิกริยาสิ้นสุดลง กล่าวคือในเงื่อนไขที่ไม่ได้เติมกรดลงไป อัตราการเกิดก๊าซช่วงแรกมีค่าสูงมากแล้วลดลงตามลำดับ และเมื่อปฏิกริยาสิ้นสุดลงสารละลายที่เหลือเป็นสีน้ำตาลและมีตะกอนสีน้ำตาลเกิดขึ้นด้วย ส่วนในเงื่อนไขที่เติมกรดลงไปอัตราการเกิดก๊าซในช่วงแรกที่เคยเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่าสูงนั้นกลับช้าลงอย่างเห็นได้ชัดพอที่จะแบ่งเสนอตามปฏิกริยาที่เกิดขึ้นแตกต่างกันได้ 3 ประเภทดังนี้

(1) การเติมกรดซัลฟริกและกรดเกลือเข้มข้น 5.0×10^{-3} โมลาร์กับ 1.0×10^{-2} โมลาร์ลงไป ทำให้อัตราการเกิดก๊าซในช่วงแรกลดต่ำลงมาก สารละลายที่เหลือเป็นสีน้ำตาลและมีตะกอนของมังกานีสไดออกไซด์เกิดขึ้นด้วย

(2) การเติมกรดซัลฟริกเข้มข้น 1.75×10^{-2} โมลาร์ และกรดเกลือเข้มข้น 1.75×10^{-2} โมลาร์ กับ 2.5×10^{-2} โมลาร์ลงไป ทำให้อัตราการเกิดก๊าซออกซิเจนในช่วงแรกมีค่าลดต่ำลงมาก สารละลายที่เหลือไม่มีสีแต่ยังคงมีตะกอนของมังกานีสไดออกไซด์เกิดขึ้นในปริมาณเล็กน้อย

(3) การเติมกรดซัลฟริกเข้มข้น 2.5×10^{-2} โมลาร์ กับ 5.0×10^{-2} โมลาร์

¹ France Fouinat and Michel Magat, op.cit. pp.514-20.

และกรดเกลือเข้มข้น 5.0×10^{-2} โมลาร์ ลงไป ทำให้สารละลายกลายเป็นไม่มีสีทันที มีกาซออกซิเจนเกิดขึ้นน้อยมาก (ดูผลในตาราง 12 และ 13 หน้า 69-72 ประกอบด้วย) และไม่มีตะกอนของมังกานีสไดออกไซด์เกิดขึ้นเลย

ผลการทดลองดังกล่าวได้ผลสอดคล้องกับการศึกษาของ Fouinat และ Magat¹ ที่ทำการศึกษายัตราการเกิดกาซออกซิเจนจากสารละลายของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นในช่วง $0.0177 - 0.59$ โมลาร์ กับโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตเข้มข้นระหว่าง $0.211 \times 10^{-4} - 2.3 \times 10^{-4}$ โมลาร์ และมีกรดซัลฟูริกเข้มข้น $0 - 2.0 \times 10^{-4}$ โมลาร์อยู่ด้วย

๓ อุณหภูมิห้อง ($25.28 \pm 0.05^{\circ} \text{C}$) สรุปผลได้ดังนี้

1) ถ้ามีกรดมากเกินพอจำนวนหนึ่ง (2.0×10^{-4} mole/liter) พบว่า การสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เกิดขึ้นได้ช้า และจะหยุดหลังจากเกิดปฏิกิริยาไปได้ระยะเวลาหนึ่ง ปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่แตกตัวมี 20 % และไม่มีมังกานีสไดออกไซด์เกิดขึ้นเลย

2) เมื่อปริมาณของกรดลดลง เช่นในกรณีของกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1.42×10^{-4} mole/liter ปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่สลายตัวจะเพิ่มขึ้นถึง 75 %

3) เมื่อใกล้จุดที่สารละลายจะเป็นกลาง (สารละลายยังคงเป็นกรดเล็กน้อย) การสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สลายตัวได้ถึง 100 % เมื่อเวลาผ่านไปได้ 1 ชั่วโมง

4) เมื่อสารละลายกลายเป็นด่าง (ไม่มีการเติมกรดหรือด่าง) ปฏิกิริยากลับมาเกิดขึ้นเร็วมาก ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 50 % สลายตัวได้ในเวลา 2 นาที 30 วินาที

จากสมการ (3) หน้า 117 แสดงว่า ถ้าเขียนกราฟ rate vs. $[\text{H}_2\text{SO}_4]^{-1}$ จะได้กราฟเส้นตรง แต่จากข้อมูลของการทดลองในเงื่อนไขการแปรผันความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกและกรดเกลือ เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ เมื่อนำไปเขียนกราฟระหว่างอัตราการเกิดกาซออกซิเจนกับส่วนกลับของความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกและกรดเกลือ $[\text{H}_2\text{SO}_4]^{-1}$, $[\text{HCl}]^{-1}$ ดังรูป 39 และ 41 หน้า 163 และ 165 ตามลำดับ ผลปรากฏว่าเป็นเส้นโค้งลักษณะเดียวกันหมด คือ ตอนแรก กราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และ ตอนปลายกราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง สำหรับกราฟตอนแรกที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงนั้น จะพบว่ามีช่วงสั้นลง

¹Ibid. p. 518.

ตามลำดับตามจุดที่วัดอัตราการเกิดก๊าซของทุกๆความเข้มข้นของกรดจากจุดที่ 1-4 กล่าวคือ กราฟที่เขียนระหว่าง "อัตราการเกิดก๊าซออกซิเจนจุดที่ 1 (อัตราการเกิดก๊าซออกซิเจนที่เกิดจาก ก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้น 15 ml. แรก) ของทุกๆความเข้มข้นของกรด กับส่วนกลับของความเข้มข้น ของกรดนั้น" ($[H_2SO_4]^{-1}$, $[HCl]^{-1}$) กราฟจะมีช่วงที่เป็นเส้นตรงกว้างที่สุด ทั้งกราฟ (1) ในรูป 39 และ 41 หน้า 163 และ 165 ตามลำดับ เพราะว่า ณ จุดนี้ปริมาณของ ทั้งไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต(ซึ่งในการเขียนกราฟนี้ถือว่ามีความคงที่) ที่เข้าทำปฏิกิริยากันมีปริมาณมากเกินไปพอ ส่วนกราฟ (2) - (4) ช่วงที่เป็นเส้นตรงสั้นลงตาม ลำดับ เพราะว่าปริมาณของทั้งไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต และกรด ถูก ใช้อย่างไม่ปฏิกิริยาเหลือปริมาณน้อยลงไปเรื่อยๆ

ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าผลการทดลองนี้มีแนวโน้มสอดคล้องกับข้อเสนอของ Bailey และ Taylor ด้วย แต่การที่กราฟเป็นเส้นโค้งนั้นอาจจะเนื่องจากสาเหตุหลายประการด้วยกัน เช่น เงื่อนไขในการทดลอง, ความเข้มข้นของสารที่ใช้ทำปฏิกิริยากัน, วิธีการติดตามอัตราของปฏิกิริยา ฯลฯ แตกต่างกันไป

(4) การแปรผันอุณหภูมิ จาก $5^{\circ}C - 25^{\circ}C$ เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ ผลปรากฏว่า การเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นมีผลทำให้อัตราการเกิด ก๊าซออกซิเจนเพิ่มขึ้นตามลำดับ นั่นคือ อัตราการเกิดก๊าซออกซิเจนแปรผันตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น(ดัง ตาราง 28 หน้า 131) จากกราฟแสดงการเกิดก๊าซออกซิเจนต่อเวลา ดังรูป 42 หน้า 166 จะเห็น ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเวลาที่ใช้สำหรับการเก็บก๊าซออกซิเจนน้อยลงตามลำดับ

จากตาราง 28 จะพบว่าอัตราการเกิดก๊าซออกซิเจนเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในเงื่อนไขที่ 1-4 ($5^{\circ}C - 20^{\circ}C$) อัตราการเกิดก๊าซ เริ่มต้นด้วยอัตราสูงสุดแล้วลดลงตามลำดับ ส่วนในเงื่อนไขสุดท้าย ($25^{\circ}C$) อัตราการเกิดก๊าซออกซิเจนมีค่าสูงมากในตอนต้น เริ่มสังเกต เห็นความแตกต่างของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเองกัน คือ อัตราการเกิดก๊าซในช่วงแรกมีค่าสูงมาก แสดงถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วนอัตราการเกิดก๊าซในช่วงค่อยๆไปมีค่าลดลงตามลำดับ (ปฏิกิริยาเกิดช้ากว่าช่วงแรกมาก)

ตาราง 28 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาชออกซิเจน ในเงื่อนไขการแปรผันอุณหภูมิ
จาก $5^{\circ} - 25^{\circ}\text{C}$ เมื่อปริมาตรของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับโพตัสเซียมเปอร์มังกาเนต
คงที่ * อุณหภูมิห้อง $21.6^{\circ} - 32.6^{\circ}\text{C}$

อัตราการเกิดกาชออกซิเจน : dV/dt (ml./min.)				
5°C	10°C	15°C	20°C	25°C
2.16×10	2.28×10	2.34×10	2.40×10	1.30×10^2
5.03	3.95	4.93	7.89	1.25×10
2.01	2.00	2.71	3.96	6.57
1.06	1.17	1.62	1.95	3.16
4.22×10^{-1}	6.74×10^{-1}	8.87×10^{-1}	9.73×10^{-1}	1.47

* $0.25\text{ M H}_2\text{O}_2$ 40.0 ml. : 5.0×10^{-3} M KMnO_4 75.0 ml.

ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองของ Fouinat กับ Walch¹ ที่ทำการ
ศึกษาถึงผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับโพตัสเซียมเปอร์มังกาเนต
ในช่วงอุณหภูมิ $9^{\circ} - 50^{\circ}\text{C}$ สรุปผลได้ว่า อัตราการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น
อย่างรวดเร็ว ดังรูปในหน้าต่อไป

¹ France Fouinat and Walch, op.cit. p. 530.

2 เครื่องมืออย่างง่าย ๆ ที่มีในห้องปฏิบัติการ ใช้ศึกษาอัตราการเกิดกาซออกซิเจน

ในเงื่อนไขการทดลองของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำปฏิกิริยากับโพตัสเซียมเปอร์มังกาเนต โดยทำการทดลองด้วยการเทสารลงไปทำปฏิกิริยากันผ่านกรวยผกผัน เก็บกาซที่เกิดขึ้นด้วยวิธีการแทนที่จากข้างล่าง buret ขึ้นไป และจับเวลาด้วยนาฬิกาข้อมือ ซึ่งทำการทดลองเฉพาะสภาวะที่เหมาะสมต่อการศึกษาอัตราการเกิดกาซออกซิเจน คือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เข้มข้น 0.25 โมลาร์ 40.0 มิลลิลิตร และโพตัสเซียมเปอร์มังกาเนต เข้มข้น 5.0×10^{-4} โมลาร์ 75.0 มิลลิลิตร แล้วนำผลไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการทดลองด้วยเครื่องมือที่สร้างขึ้น ในเงื่อนไขเดียวกัน ผลการทดลองทั้งสองวิธี ปรากฏคัมการางข้างล่างนี้

ตาราง 29 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดกาซออกซิเจน ในเงื่อนไขการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการใช้เครื่องมืออย่างง่าย ๆ ที่มีในห้องปฏิบัติการ กับเครื่องมือที่สร้างขึ้น เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโพตัสเซียมเปอร์มังกาเนต คงที่ *

ณ อุณหภูมิห้อง $24.4^{\circ} - 27.6^{\circ} \text{C}$

อัตราการเกิดกาซออกซิเจน : dV/dt (ml./min.)	
ผลที่ได้จากเครื่องมืออย่างง่าย ๆ	ผลที่ได้จากเครื่องมือที่สร้างขึ้น
8.82	6.25
1.19×10	5.11
9.00	2.95
	1.53
	7.06×10^{-1}

* $0.25 \text{ M H}_2\text{O}_2$ 40.0 ml. : $5.0 \times 10^{-4} \text{ M KMnO}_4$ 75.0 ml.

จากตารางจะเห็นอย่างเด่นชัดว่า ผลจากการใช้เครื่องมือที่แตกต่างกัน ให้ค่าอัตราการเกิดกาซออกซิเจนแตกต่างกันมากจนไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ ก่อนที่จะฉีกใบรายชื่อผลการทดลองต่อไป ควรจะไต่พิจารณาถึงสิ่งต่างๆ เหล่านี้ก่อน

(1) การเกิดกาออกซิเจน จากปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต มีลักษณะการเกิดปฏิกิริยาแตกต่างกัน 2 ปฏิกิริยา ต่อเนื่องกัน คือ ปฏิกิริยาแรกเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และปฏิกิริยาที่สอง เกิดช้ามาก

(2) เครื่องมือที่สร้างขึ้น แม้ว่าจะสามารถวัดปริมาตรของกาที่เกิดขึ้นรวดเร็วได้อย่างถูกต้อง แต่ช่วงของการวัดปริมาตร (โดยเฉพาะในช่วงแรกๆ หางกันเกินไป) ไม่ละเอียดพอที่จะแยกลักษณะการเกิดกาออกซิเจนดังกล่าวได้อย่างถูกต้อง (วัดปริมาตรหางกันช่วงละ 15 มิลลิลิตร)

(3) เครื่องมืออย่างง่ายที่มีในหองปฏิบัติการ ในระหว่างการทดลองจะประสบปัญหาเกี่ยวกับปริมาตรสำหรับเก็บกาใน buret ลดลง ทั้งๆ ที่ก่อนการทดลองได้ปรับระดับน้ำใน buret ให้เท่ากันแล้ว เพราะว่าการเสารานกรวยดักน้ำจะทำให้เกิดการแทนที่ต่อเนื่องกัน เริ่มจากของเหลวที่ไหลไปแทนที่อากาศในคนโท แล้วอากาศจำนวนนั้นก็จะไปแทนที่น้ำใน buret อีกต่อหนึ่ง ในการทดลองนี้ต้องการเสารละลายของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 40.0 มิลลิลิตร ลงไปหาปฏิกิริยากับสารละลายของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต ปริมาตรของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 40.0 มิลลิลิตร จะไปไล่อากาศในคนโทให้ไปแทนที่น้ำใน buret ในจำนวนเท่ากัน ดังนั้นปริมาตรที่เหลือสำหรับการออกซิเจนแทนที่เพียง 35.0 มิลลิลิตร อัตราการเกิดกาออกซิเจนจึงวัดได้ 3 จุดเท่านั้น (เมื่อกาออกซิเจนเกิดขึ้น 5, 15, 15 มิลลิลิตรตามลำดับ ส่วนเครื่องมือที่สร้างขึ้นวัดปริมาตรหางกันจุดละ 15 มิลลิลิตร 5 จุด)

เมื่อพิจารณาถึงขอบเขตการทำงานของเครื่องมือที่ใช้กับลักษณะการเกิดปฏิกิริยาของกาออกซิเจน จะเห็นได้ว่าอัตราการเกิดกาออกซิเจนจากเครื่องมืออย่างง่าย มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากเครื่องมือที่สร้างขึ้นมาก ความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้ยังไม่อาจจะสรุปได้ว่าเกิดจากสาเหตุดังกล่าวข้างต้นเท่านั้น ซึ่งอาจจะมีส่วนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องอีก เช่น ความกดดันในขณะที่การกำลังเกิดขึ้น โดยเฉพาะกับวิธีการเก็บกา ของเครื่องมืออย่างง่าย ฯลฯ

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษาเรื่องการสร้างเครื่องมือเพื่อใช้สอนอัตราการเกิดกาชไฮโดรเจนและกาชออกซิเจนในสภาวะต่างๆนี้ มีความมุ่งหมายที่จะสร้างเครื่องมือกึ่งอัตโนมัติสำหรับหาอัตราการเกิดกาช เพื่อนำไปใช้หาอัตราการเกิดกาชไฮโดรเจนและกาชออกซิเจนในสภาวะต่างๆ และเมื่อทราบสภาวะที่เหมาะสมต่อการศึกษ้อัตราการเกิดกาชทั้งสองแล้วนำไปทดลองด้วยเครื่องมืออย่างง่ายๆ เปรียบเทียบผลกันอีกครั้งหนึ่ง

การสร้างเครื่องมือกึ่งอัตโนมัติสำหรับหาอัตราการเกิดกาช

เครื่องมือกึ่งอัตโนมัติ สำหรับหาอัตราการเกิดกาชที่สร้างขึ้น ได้นำเอาหลักการทางอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาช่วย เพื่อให้ได้เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูง ราคาถูก และมีประโยชน์ใช้ศึกษ้อัตราการเกิดกาชชนิดอื่นได้อีก เครื่องมือนี้ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ภาชนะทดลอง เครื่องมือเก็บกาช และเครื่องมือจับเวลา (สรุปเครื่องมือหน้า 25 ประกอบด้วย)

ส่วนที่ 1: ภาชนะทดลอง ประกอบด้วยคนโท หลอดเหลว และกลองควบคุมอุณหภูมิ หลอดเหลวสร้างขึ้นเพื่อให้เหลวให้เข้าทำปฏิกิริยากันโดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความกดดันภายใน และไม่มีอากาศจากภายนอกเข้าไปรบกวนภายในภาชนะทดลอง อันจะเป็นสาเหตุทำให้ปริมาตรเริ่มต้นในหลอดเก็บกาชเปลี่ยนแปลงไป และในขณะเดียวกันหลอดเหลวนี้ ยังใช้เป็นจุดบังคับ (มีสวิตซ์ที่จุดบางบนหลอดเหลว) นาฬิกาทุกเรือนให้เริ่มต้นเดินพร้อมกันทันทีเมื่อเหลวละลายจากหลอดเหลวลงไม่ทำปฏิกิริยากัน ส่วนกลองควบคุมอุณหภูมินั้นสร้างขึ้นโดยใช้ถังพลาสติกขนาด 1 แกลลอน อัดยั้งไว้ในแผ่นโพลีโพรไพลีนที่หุ้มด้วยกลองไม้อีกชั้นหนึ่ง และปรับระดับอุณหภูมิตามที่ต้องการด้วยการใช้น้ำร้อนและน้ำแข็งเติมลงไป เมื่ออุณหภูมิเข้าสู่ thermal equilibrium แล้วจับเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง อุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงไปประมาณ 0.50°C

ส่วนที่ 2: เครื่องมือเก็บกาช ใช้วิธีเก็บกาชที่เกิดขึ้นโดยให้แทนที่น้ำใน buret (หลอดเก็บกาช) ซึ่งจุ่มอยู่ในกระป๋องยูเรคา จากข้างบนลงไปตามความสูงของ buret โดยปรับระดับน้ำใน buret ที่จุดตั้งต้นโดยให้ความสูงคงที่ทุกครั้ง และน้ำที่ถูกกาชแทนที่จะไหลออกไป

ทางกรวยของกระป๋องยูเรก การเก็บการโตด้วยวิธีรักษาความกลั่นของน้ำใน buret ให้คงที่ หรือเท่ากันทุกครั้งได้

ส่วนที่ 3: เครื่องมือจับเวลา ทำงานด้วยแสงและอิเล็กทรอนิกส์ การวัดปริมาตรของกาซที่เกิดขึ้นสัมพันธ์กับเวลาที่ใช่ไป การวัดปริมาตรแต่ละจุดใช้แสงจากหลอดไฟส่องลำแสงพุ่งตรงไปกระทบ LDR (light dependent resistor) ในขณะที่กาซเกิดขึ้นยังไม่ถึงจุดที่ต้องการวัดปริมาตร แสงผ่านน้ำ (น้ำผสมน้ำหมักสีค่า) ใน buret ไปกระทบ LDR โทนเข้มมากจนไม่สามารถทำงานได้ แต่เมื่อกาซแทนที่น้ำไปถึงจุดที่กำหนดไว้ LDR ได้รับแสงเต็มที่ จะลดความต้านทานในตัวเอง ทำให้กระแสไฟไหลผ่าน LDR ได้มากขึ้น เป็นผลให้กระแสไฟในวงจรเพิ่มขึ้นมากพอจนทำให้แม่เหล็กไฟฟ้าดูดแผ่นเหล็กสปริงมาแตะจัมเปอร์ของนาฬิกา ทำให้นาฬิกาเรือนนั้นหยุดเดินทันที ดังนั้นจึงทำให้ทราบเวลาที่กาซจำนวนนั้นเกิดขึ้นได้อย่างถูกต้องแน่นอน (ดูวงจรรูป 9 หน้า 38 และคำอธิบายการทำงานของวงจรหน้า 39-40 ประกอบด้วย)

เครื่องมือกึ่งอัตโนมัติสำหรับหาอัตราการเกิดกาซทำงานต่อเนื่องกันดังนี้ เริ่มต้นด้วยการเขาสารจากหลอดเขาสารลงไปที่ปฏิกรณ์ในกบโท นาฬิกาทุกเรือนเริ่มต้นเดินพร้อมกันทันทีที่กาซที่เกิดขึ้นจะไปแทนที่น้ำใน buret เมื่อปริมาตรของกาซที่เกิดขึ้นแทนที่น้ำใน buret จนถึงจุดที่ต้องการวัดปริมาตร นาฬิกาเรือนที่หนึ่งก็จะหยุดเดินทันที การเดินและหยุดของนาฬิกาเรือนอื่นๆ ก็เกิดขึ้นเช่นเดียวกัน บันทึกเวลา กับปริมาตรของกาซที่วัดได้แต่ละจุดเมื่อปฏิบัติวิธียสิ้นสุดลง แล้วนำไปคำนวณหาอัตราการเกิดกาซต่อไป

วิธีดำเนินการทดลอง

การศึกษ้อัตราการเกิดกาซไฮโดรเจนและกาซออกซิเจน ทำการทดลองโดยใช้เครื่องมือกึ่งอัตโนมัติสำหรับหาอัตราการเกิดกาซที่สร้างขึ้นในเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1. การศึกษ้อัตราการเกิดกาซไฮโดรเจน

- (1) การแปรผันความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก เมื่อปริมาตรของโลหะสังกะสีคงที่
 - (2) การแปรผันน้ำหนักของโลหะสังกะสี เมื่อปริมาตรของกรดซัลฟูริกคงที่
 - (3) การแปรผันปริมาตรของทองแดงอัลเฟด เงินอัลเฟด และปรอทอัลเฟดที่เติมลงใน
- เป็นกะตาลีสต

- (4) การแปรผันอุณหภูมิ ในช่วงอุณหภูมิ $15^{\circ} - 40^{\circ} \text{C}$

2. การศึกษาอัตราการเกิดกาชออกซิเจน

- (1) การแปรผันความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เมื่อปริมาณของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่
- (2) การแปรผันความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ คงที่
- (3) การเติมกรดซัลฟิวริก หรือ กรดเกลือ ที่มีความเข้มข้นต่างๆกันลงไป
- (4) การแปรผันอุณหภูมิ $5^{\circ} - 25^{\circ} \text{C}$

การศึกษายัตราการเกิดกาชไฮโดรเจนและกาชออกซิเจน โดยใช้เครื่องมืออย่างง่าย ๆ ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ทำการทดลองเฉพาะสภาวะที่เหมาะสมต่อการศึกษายัตราการเกิดกาชเท่านั้น

สรุปผลการทดลอง

1. การศึกษายัตราการเกิดกาชไฮโดรเจน ทำการศึกษาจากปฏิกิริยาของกรดซัลฟิวริกกับโลหะสังกะสี ได้ผลดังต่อไปนี้

(1) ในเงื่อนไขการแปรผันความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก จาก 1.07-4.17 โมลาร์ เมื่อปริมาณของโลหะสังกะสีคงที่ ปรากฏว่ายัตราการเกิดกาชไฮโดรเจนเพิ่มสูงขึ้นตามความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่สูงขึ้นตามลำดับ

(2) ในเงื่อนไขการแปรผันน้ำหนักของโลหะสังกะสีจาก 0.25-1.50 กรัม เมื่อปริมาณของกรดซัลฟิวริกคงที่ ผลปรากฏว่ายัตราการเกิดกาชไฮโดรเจนเพิ่มสูงขึ้น เมื่อปริมาณของโลหะสังกะสีมากขึ้น และในเงื่อนไขที่มีปริมาณของโลหะสังกะสีมากๆ อัตราการเกิดกาชไฮโดรเจนจะมีอัตราเร่งเข้ามาเกี่ยวข้องกับควม

(3) ในเงื่อนไขการแปรผันปริมาณของทองแดงซัลเฟต เงินซัลเฟต และปรอทซัลเฟต ที่เติมลงไปเป็นคะตาลีสต์ เมื่อปริมาณของกรดซัลฟิวริกและโลหะสังกะสีคงที่ปรากฏว่า

(ก) ทองแดงซัลเฟตหรือเงินซัลเฟตที่เติมลงไปเป็นปริมาณต่างๆกัน ช่วยเร่งปฏิกิริยาให้เกิดกาชได้เร็วขึ้น อัตราการเกิดกาชไฮโดรเจนเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าในเงื่อนไขที่ไม่ได้เติมเกลือดังกล่าวลงไปมาก และอัตราการเกิดกาชไฮโดรเจนเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของเกลือที่เติมลงไป

(ข) ปรอทซัลเฟตที่เติมลงไปเป็นปริมาณต่างๆกัน ได้ผลเป็นตรงกันข้ามกับการ

เกมทองแดงซัลเฟตและเงินซัลเฟต คือ แทนที่จะช่วยเร่งปฏิกิริยาให้เกิดกาไฮโดรเจนได้เร็วขึ้น กลับไปทำให้ปฏิกิริยาเกิดช้าลงมาก และปริมาณของกาไฮโดรเจนก็ลดลงตามลำดับ residue ที่เหลือมีลักษณะเป็นผงแข็งสีเทาเป็นเงาสวยขลุ่ย และในที่สุดจะละลายหายไปหมด

(4) ในเงื่อนไขการแปรผันอุณหภูมิ จาก $15^{\circ} - 40^{\circ} \text{C}$ เมื่อปริมาณของกรดซัลฟูริก และโลหะสังกะสีคงที่ ผลปรากฏว่า อัตราการเกิดกาไฮโดรเจนเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

(5) ในเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงวิธีการเก็บกาซึ่งมีวิธีต่างๆดังต่อไปนี้

(ก) วิธีแทนที่น้ำจากข้างบน และปล่อยให้กาที่ถูกแทนที่ไหลผ่านออกไม่ทางกรวยของกระป๋องยูเรคา

(ข) วิธีแทนที่น้ำจากข้างบนและปรับระดับน้ำใน buret ด้วยการเลื่อนแท่นหมุนไม้ให้อ่างน้ำเลื่อนขึ้น ลง

(ค) วิธีแทนที่น้ำจากข้างบนเช่นเดียวกัน แต่ไม่มีการปรับระดับน้ำใน buret lev

(ง) วิธีแทนที่น้ำจากข้างล่างและปรับระดับน้ำใน buret ให้เท่ากับวิธี ก.

และ ข.

จากการทดลองทั้ง 4 วิธี วิธี ก., ข., และ ค. เป็นวิธีที่ไหลกาแทนที่น้ำใน buret จากข้างบนลงไปเหมือนกัน ส่วนวิธี ง. เป็นวิธีแทนที่น้ำจากข้างล่าง ผลการทดลองปรากฏว่า อัตราการเกิดกาไฮโดรเจนที่ได้จาก 3 วิธีแรก มีค่าใกล้เคียงกัน แต่วิธี ก. เป็นวิธีที่ดีกว่าวิธีอื่นๆ เพราะการกีดกันของน้ำใน buret คงที่ทุกครั้ง

2. การศึกษาอัตราการเกิดกาออกซิเจน ทำการศึกษาจากปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต โดยดัดแปลงไปดังนี้

(1) ในเงื่อนไขการแปรผัน ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จาก $0.12 - 0.51$ โมลาร์ เมื่อปริมาณของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ ปรากฏว่า อัตราการเกิดกาออกซิเจนเริ่มสูงขึ้นตามความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่สูงขึ้น ลักษณะของอัตราการเกิดกา มีความแตกต่างกันมาก 2 ช่วงคือ อัตราการเกิดกาในต้นเริ่มต้นมีค่าสูงมาก และในช่วงที่ 2 อัตราการเกิดการมีค่าต่ำลงตามลำดับ

(2) ในเงื่อนไขการแปรผัน ความเข้มข้นของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต จาก $5.0 \times 10^{-4} - 2.5 \times 10^{-2}$ โมลาร์ เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงที่ ปรากฏว่า

อัตราการเกิดกาออกซิเจนเพิ่มขึ้นเมื่อโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตมีความเข้มข้นสูงขึ้น ลักษณะอัตราการเกิดกาที่มีความแตกต่างกันมาก 2 ช่วงคือ ในตอนเริ่มต้น อัตราการเกิดกาที่มีค่าสูงมาก ในช่วงต่อไป อัตราการเกิดกาต่ำลงตามลำดับ

(3) ในเงื่อนไขการแปรผัน ความเข้มข้นของกรดซัลฟริก หรือกรดเกลือ จาก $0-5.0 \times 10^{-2}$ โมลาร์ เช่นเดียวกัน เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ ผลปรากฏว่า อัตราการเกิดกาออกซิเจนและปริมาณของการออกซิเจนที่เกิดขึ้น ลดลงตามลำดับ ตามปริมาณของกรดที่เติมลงไป

(4) ในเงื่อนไขการแปรผันอุณหภูมิ จาก $5^{\circ}-25^{\circ} \text{C}$ เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ ผลปรากฏว่า อัตราการเกิดกาออกซิเจน เพิ่มขึ้นตามลำดับ ตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. เครื่องมือกึ่งอัตโนมัติ สำหรับหาอัตราการเกิดกาที่สร้างขึ้น ควรจะได้ปรับปรุง ขยายช่วงการวัดอัตราการเกิดกาให้มากขึ้นกว่า 5 จุด โดยเฉพาะในช่วงแรกๆของการเกิดกา
2. นำเอาเครื่องมือที่ปรับปรุงใหม่ตามข้อ (1) มาทำการศึกษาอัตราการเกิดกาออกซิเจน จากปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตในเงื่อนไขต่างๆใหม่อีก เพื่อจะได้เสนอลักษณะของอัตราการเกิดกาออกซิเจนให้ถูกต้องยิ่งขึ้น
3. จากการศึกษาอัตราการเกิดกาไฮโดรเจนและการออกซิเจนที่ผ่านมา ส่วนใหญ่ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งมีช่วงอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงกว้างถึง 10°C และเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า อัตราการเกิดกาแปรผันตามอุณหภูมิ ดังนั้นการศึกษารัตราการเกิดกาชนิดต่างๆ จึงควรจะต้องควบคุมอุณหภูมิที่ทำการทดลองให้คงที่ตลอดเวลา ผลการทดลองจะได้ถูกต้อง เชื่อถือได้มากยิ่งขึ้น (ถ้าไม่มีการควบคุมอุณหภูมิแล้ว ผลการทดลองที่ได้ก็จะมีอุณหภูมิเป็นตัวแปรเพิ่มมาอีกตัวหนึ่งด้วย)

બગીચાના રોડ

บรรณานุกรม

0

- นิตา สะเพียรชัย "การเคลื่อนไหวเกี่ยวกับการปรับปรุงการสอนเคมี" วิสามนิตศึกษา 3:58-62, กรกฎาคม 2509.
- นิวเบอรี่ เอ็น. เอ็ม. การสอนเคมีสำหรับโรงเรียนมัธยมศึกษาในประเทศไทย ประณีต โกมารกุล ณ นคร และคณะแปล, สำนักงานเลขาธิการคณะกรรมการแห่งชาติว่าด้วยการศึกษา วิทยาศาสตร์และวัฒนธรรมแห่งสหประชาชาติ, กระทรวงศึกษาธิการ, 2508, 301 หน้า.
- พิทักษ์ รัชพลเดช นโยบายการศึกษาฝ่ายวิทยาศาสตร์ ม.ป.ท., 2507, 71 หน้า (วิทยานิพนธ์).
- พงษ์ พันธุกุล และ คณิต อินจันทร์ณรงค์ วิชาความรู้รอบประโยชน์มัธยมศึกษาตอนปลาย อักษรเจริญทัศน์, พระนคร, 2510, 328 หน้า.
- ศึกษาธิการ, กระทรวง หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาการศึกษา พุทธศักราช 2508 โรงพิมพ์การศาสนา กรมการศาสนา, 2508, 57 หน้า.
- ศึกษาวิทยาศาสตร์และวัฒนธรรมแห่งสหประชาชาติ, องค์การ คู่มือการสอนวิทยาศาสตร์ พิมพ์ แปล, สำนักงานเลขาธิการคณะกรรมการแห่งชาติว่าด้วยการศึกษาวิทยาศาสตร์และวัฒนธรรมแห่งสหประชาชาติ, กระทรวงศึกษาธิการ, 2508, 461 หน้า.
- สีปนนท์ เกตุทัต "การเตรียมงานการสอนและวิจัยในระดับสูงกว่าปริญญาตรีทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ตามโครงการพัฒนามหาวิทยาลัย" วิทยาศาสตร์ 10: 833-46, ตุลาคม 2511.
- Abel, E., Monatsh., 81, 681-4 (1950).
- Abel, E., Monatsh., 83, 422-39 (1952).
- Bailey, Kenneth C., and Taylor, George T., J. Chem. Soc., 994-999, (1937).
- Ball, J., J. Chem. Soc., 71, 641 (1897).
- Barrow, Gordon M., Physical Chemistry, McGraw-Hill Book Company, New York, 1961, 843 pp.

Baertschi, P., Experientia 7, 215-6 (1951).

Birkhimer, E. A., Norup, Boerge, and Bak, Thor A., Acta. Chem. Scand., 14, 1894-8 (1960).

Bonsdorff, W., Medd. K. Vetenskapsakad Nobelinst, 3, No. 8, 34 pp. (1915).

Chemical Bond Approach Project, Investigating Chemical Systems, Webster Division, McGraw-Hill Book Company, New York, 1963, 135 pp.

Compton's Picture Encyclopedia, Vol. 7, p. 190, F. E. Compton & Company, Chicago, 1960.

Collier's Encyclopedia, Vol. 13, p. 19, The Crowell-Collier Publishing Company, 1962.

Daniels, Farrington and Alberty, Robert A., Physical Chemistry, John Wiley & Sons, Inc., Tokyo, 1955, 671 pp.

Durbin, Ya. V., and Markevich, A.M., J. Gen. Chem., 6, 236-49 (1936).

Foon, Ruby and Graddon, D.P., ed., Approach to Chemistry 1969, The University of New South Wales, Sydney, Australia, 1969, 248 pp.

Fouinat, France, Compt. Rend., 226, 1619-21 (1948).

Fouinat, France, Compt. Rend., 228, 1593-5 (1949).

Fouinat, France and Maget, Michel, J. Chim. Phys., 47, 514-22 (1950).

Fouinat, France and Walch, J., J. Chim. Phys., 50, 527-44 (1953).

Hodgman, Charles D., editor, Handbook of Chemistry and Physics, 36th ed., Chemical Rubber Publishing Co., Ohio, 1954, 3173 pp.

Honig, Jurgen M., The Van Nostrand Chemist's Dictionary,

D. Van Nostrand Company, Inc., New York, 1953, 761 pp.

Iitaka, Ichiro, Tetsu. to Hagane, 16, 1056-63 (1930).

International Encyclopedia of Chemical Science, p.583, D. Van Nostrand Company, Inc., Princeton, New Jersey, 1964.

Khiew, Boey Chee, "Effect of the addition of sodium chloride to hydrochloric acid on the rate of reaction of hydrochloric acid with magnesium ribbon," Newsletter Vol.1, No.2, August 1967.

Lamplough, F.E.E., Proc. Camb. Phil. Soc., 14, 580-608 (1909).

Leipina, L., and Tetera, A., Doklady Akad. Nauk S.S.S.R., 111, 601-4 (1956).

Limanowski, Wladyslaw, Roczniki Chem., 12, 519-35 (1932).

Mellor, J.W., A Comprehensive Treatise on Inorganic and Theoretical Chemistry, Vol.II, Longmans Green and Co., London, 1922, 894 pp.

Mellor, J.W., A Comprehensive Treatise on Inorganic and Theoretical Chemistry, Vol.III, Longmans Green and Co., London, 1923, 927 pp.

Mellor, J.W., A Comprehensive Treatise on Inorganic and Theoretical Chemistry, Vol.IV, Longmans Green and Co., London, 1923, 1074 pp.

Mellor, J.W., Modern Inorganic Chemistry, Longmans Green and Co., London, 1934, 1111 pp.

Pilot-Project for Chemistry Teaching in Asia, Unesco, Experiments on Rate of Chemical Reactions, Bangkok, Thailand, 1969, 52 pp.

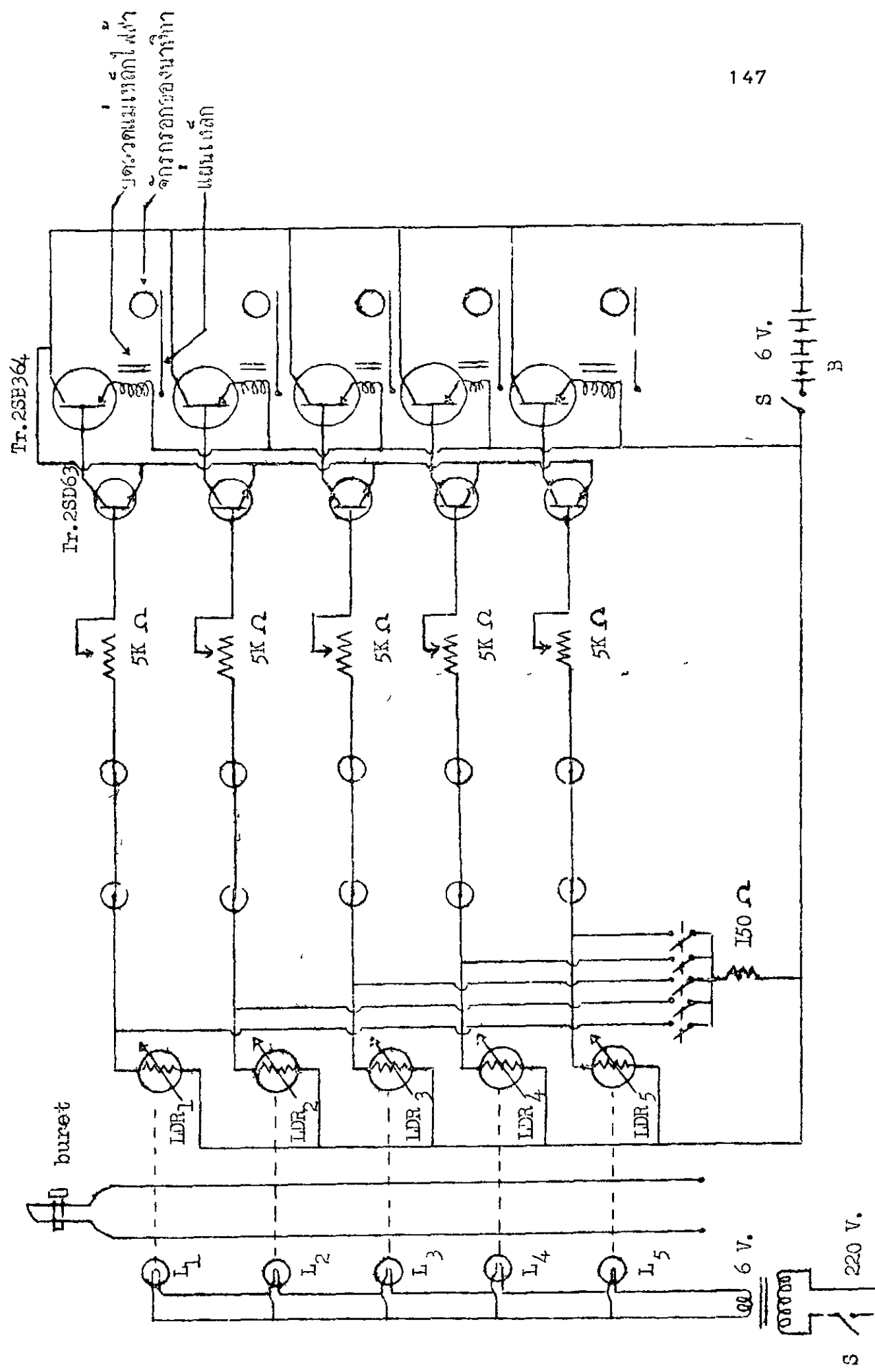
- Pilot-Project for Chemistry Teaching in Asia, Unesco, Rate of Reaction Laboratory Guide, Bangkok, Thailand, 1970, 35 pp.
- Ponyet, Bernard, Bull. Soc. Chim., 1962, 1864-5.
- "Reaction Kinetics" Encyclopedia Britannica, Vol. 19, pp. 3A-3B, Encyclopedia Britannica Ltd., William Benton, London, 1964.
- "Research Reporter" Chemistry, 41(1), 30, January 1968.
- Riesenfeld, E.H., Z. anorg. allgem. Chem., 218, 257-66 (1934).
- Sears, Francis Weston and Zemansky, Mark W., College Physics, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., Massachusetts, 1963, 1024 pp.
- Sneed, M. Cannon, Magnard, J. Lewis and Brasted, Robert C., Comprehensive Inorganic Chemistry, Vol. IV, D. Van Nostrand Company, Inc., 1955, 193 pp.
- Sneed, M. Cannon, Magnard, J. Lewis and Brasted, Robert C., Comprehensive Inorganic Chemistry, Vol. II, D. Van Nostrand Company, Inc., 1954, 248 pp.
- Steiner, Edwin C. and Hartzell, Gordon E., J. Chem. Educ., 42(10), 559-60 (1965).
- Tinker, H. Burnham, Craddock, John H. and Paulik, Frank E., Rev. Sci. Instrum., 39(4), 590-2 (1968).
- Tzentnershver, M., Z. Elektrochem., 37, 603-10 (1931).
- Weast, Robert C., editor, Handbook of Chemistry and Physics, 48th ed. D-86, The Chemical Rubber Co., 1967.

תוצאות

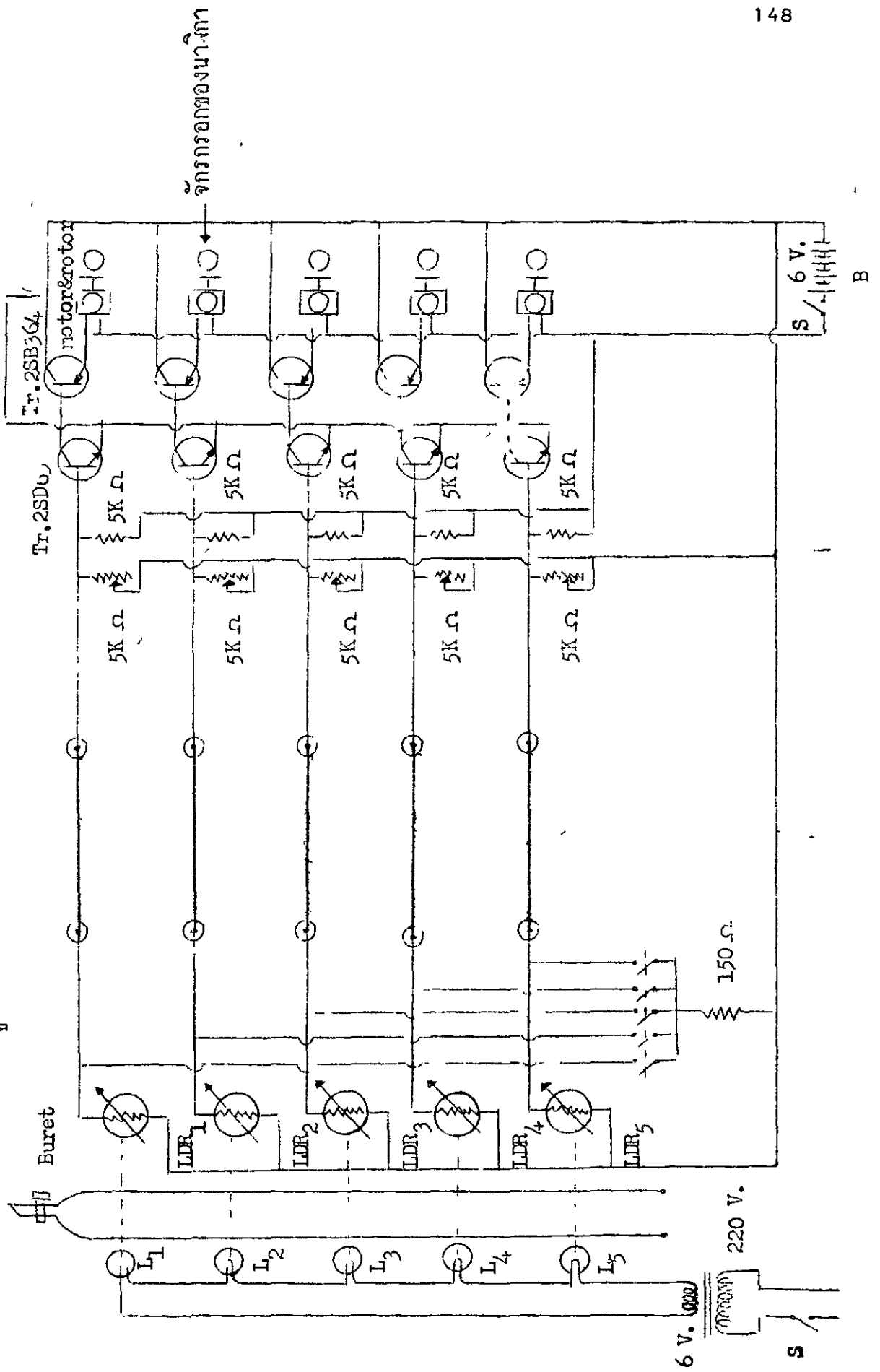
ภาคผนวก ก.

วงจรการทำงานของเครื่องมือ

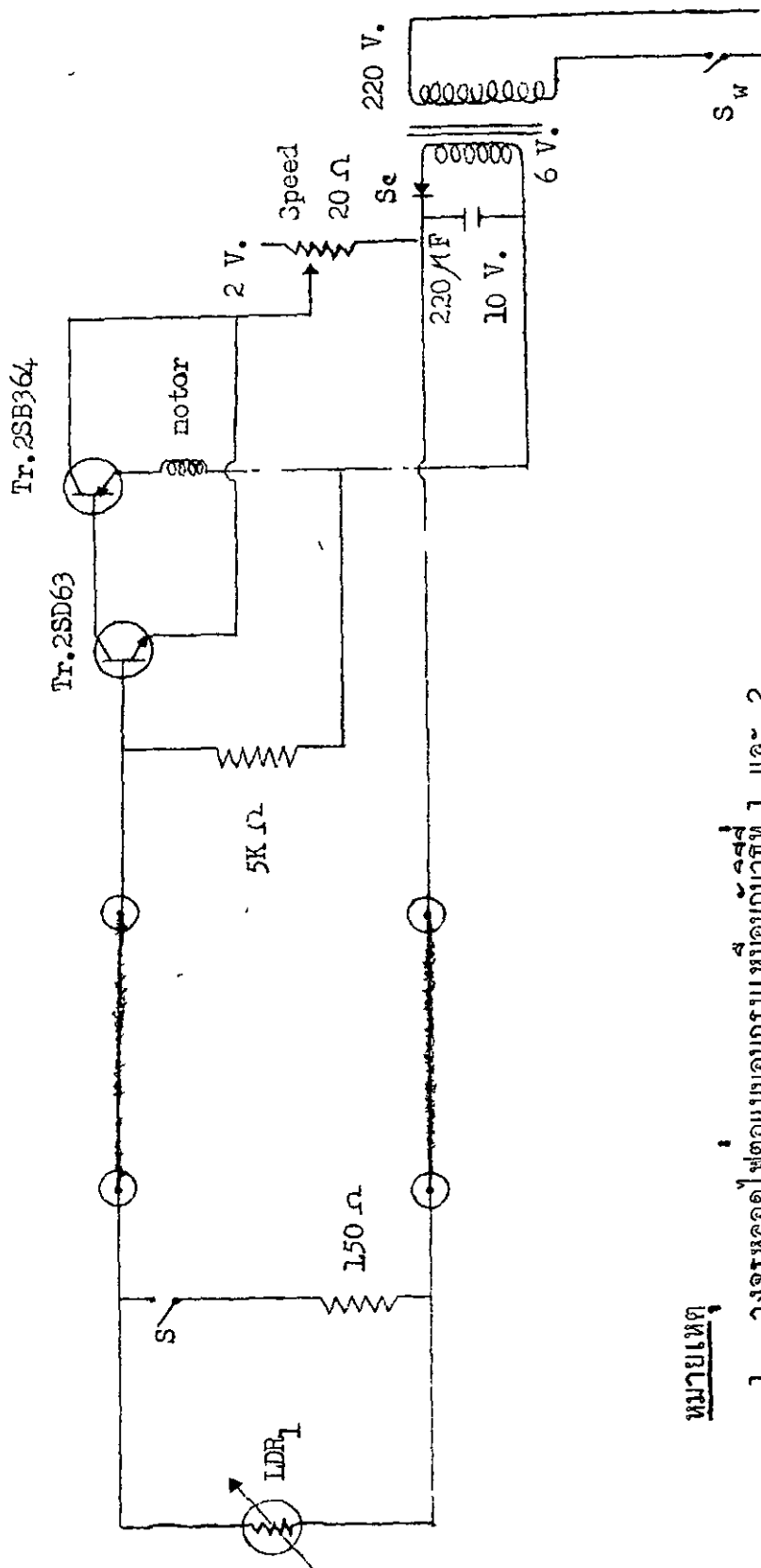
รูป 24 วงจรการนำงานของเครื่องสำหรับวัดอัตราการเกิดก๊าซ (รูป 1)



รูป 25 วงจรการทำงานของเครื่องมือสำหรับวัดอัตราการเกิดพิษ (วิธีที่ 2)



รูป 26 วงจรการทำงานของเครื่องมือสำหรับทดสอบการเกิดภาวะ (วิธีที่ 3)



หมายเหตุ

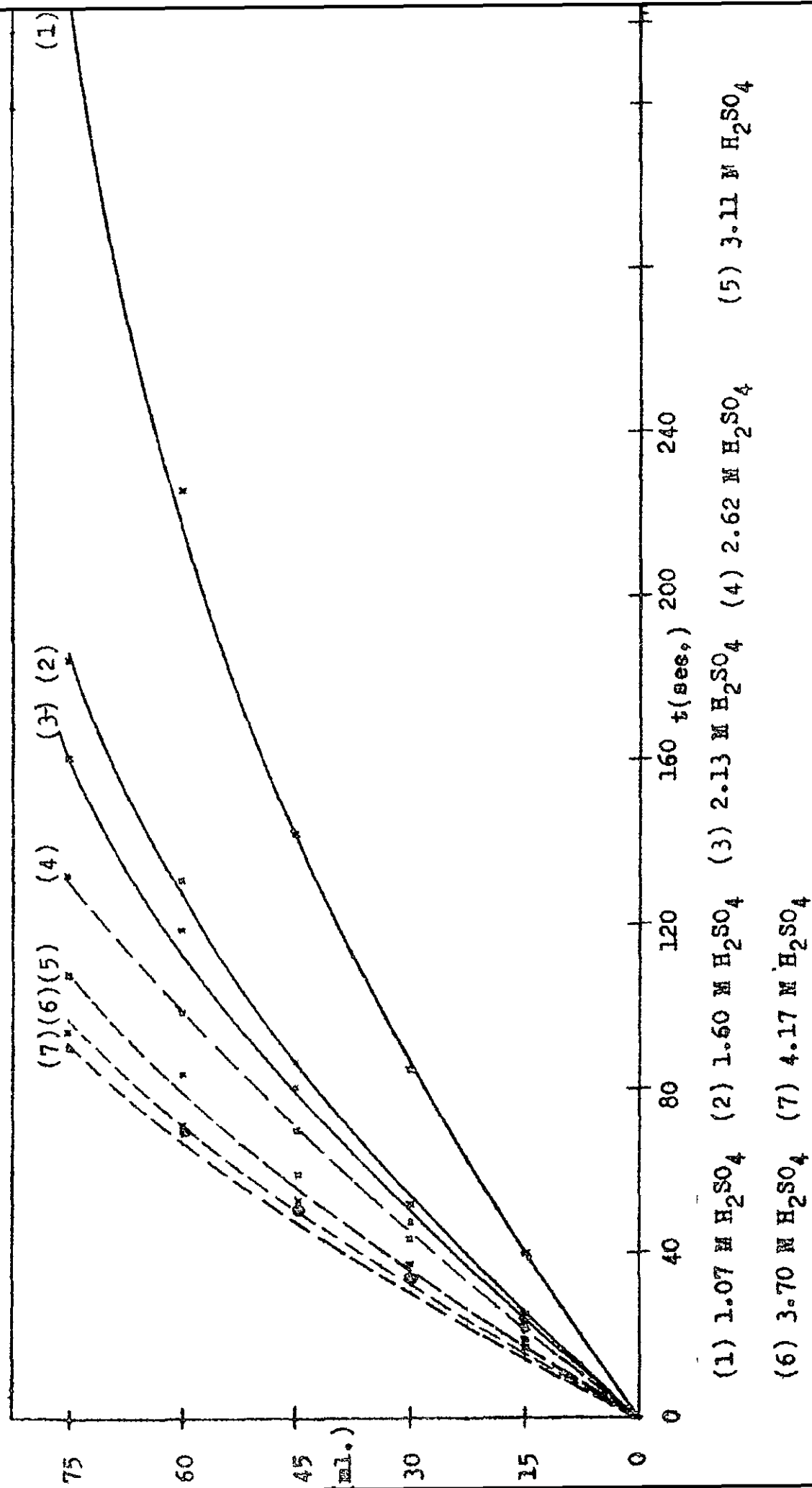
1. วงจรหลอดไฟทดสอบแบบกรูมเหมือนกาววิธี 1 และ 2
2. วงจรการบังคับที่เหลืออีก 4 จุดต่อเหมือนกาววงจรข้างบนนี้

ภาคผนวก ข.

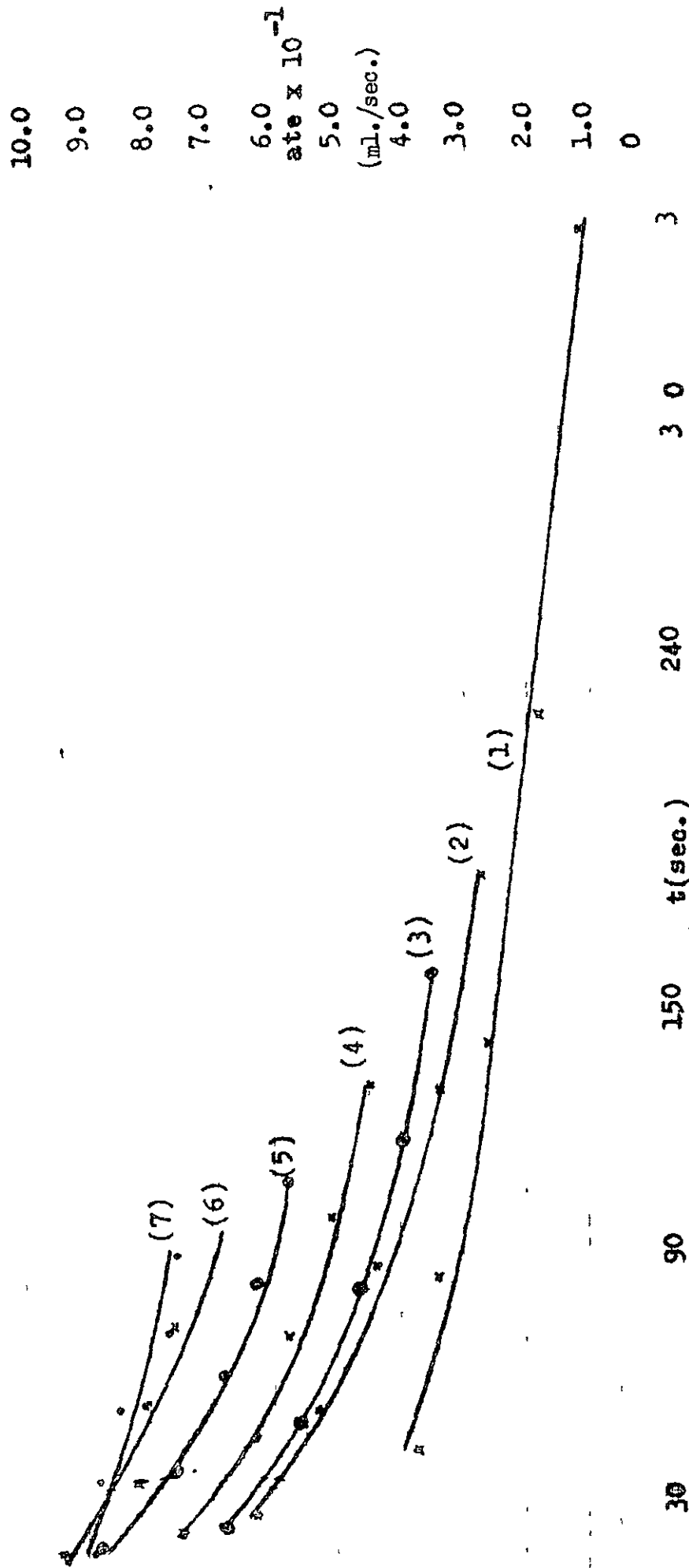
รูปกราฟต่างๆ

;

รูป 27 กราฟแสดงการเกิดพิษไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในแง่ของการแปรผันความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก เมื่อผ่านเครื่องกรองไฮโดรเจนซัลไฟด์



รูป 28 ภาพแสดงอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในแง่ของการแปรผันความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก เมื่อผ่านปฏิกิริยาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

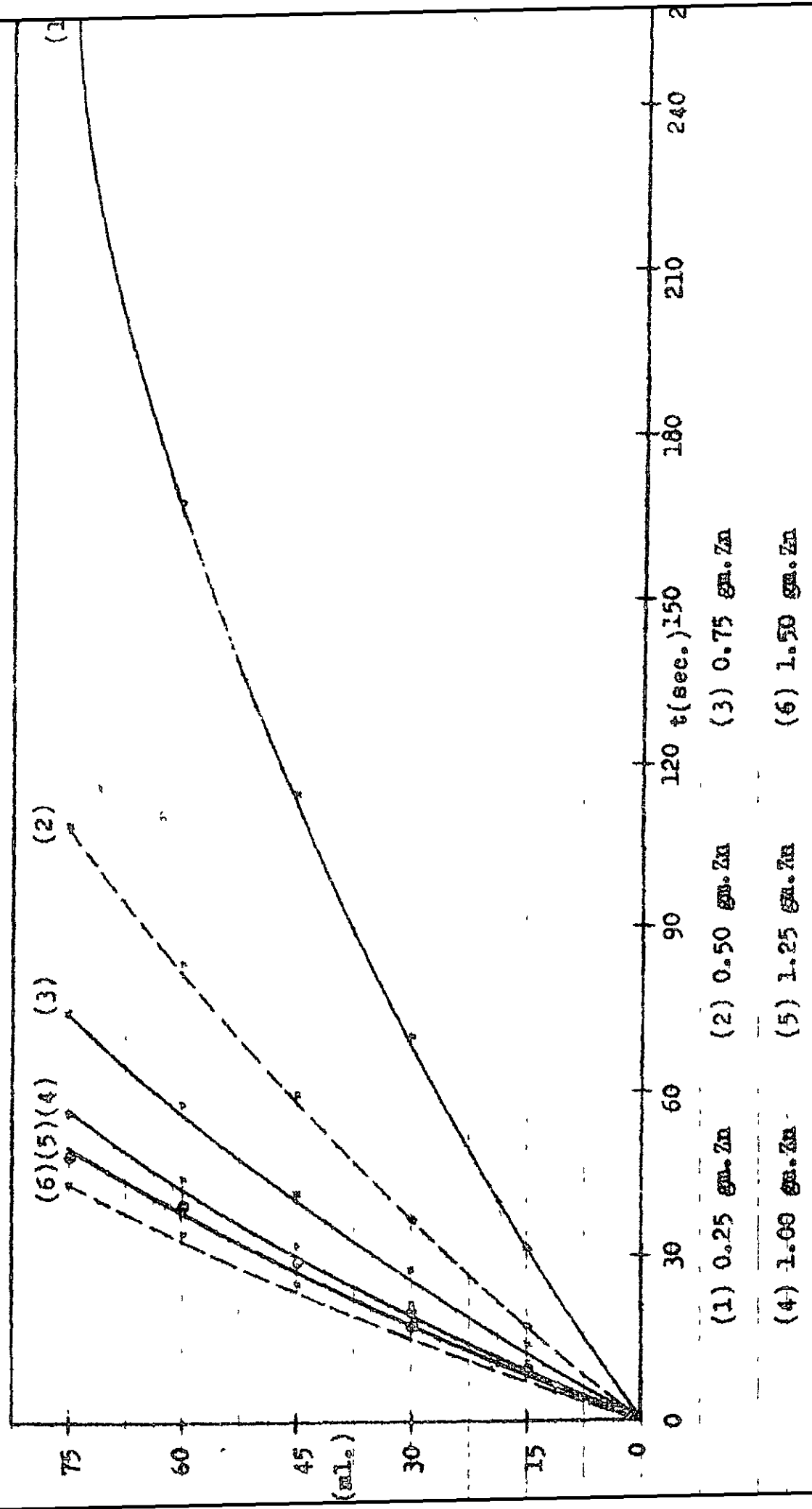


0.50 g. Zn กับ : H_2SO_4 ผสมกัน

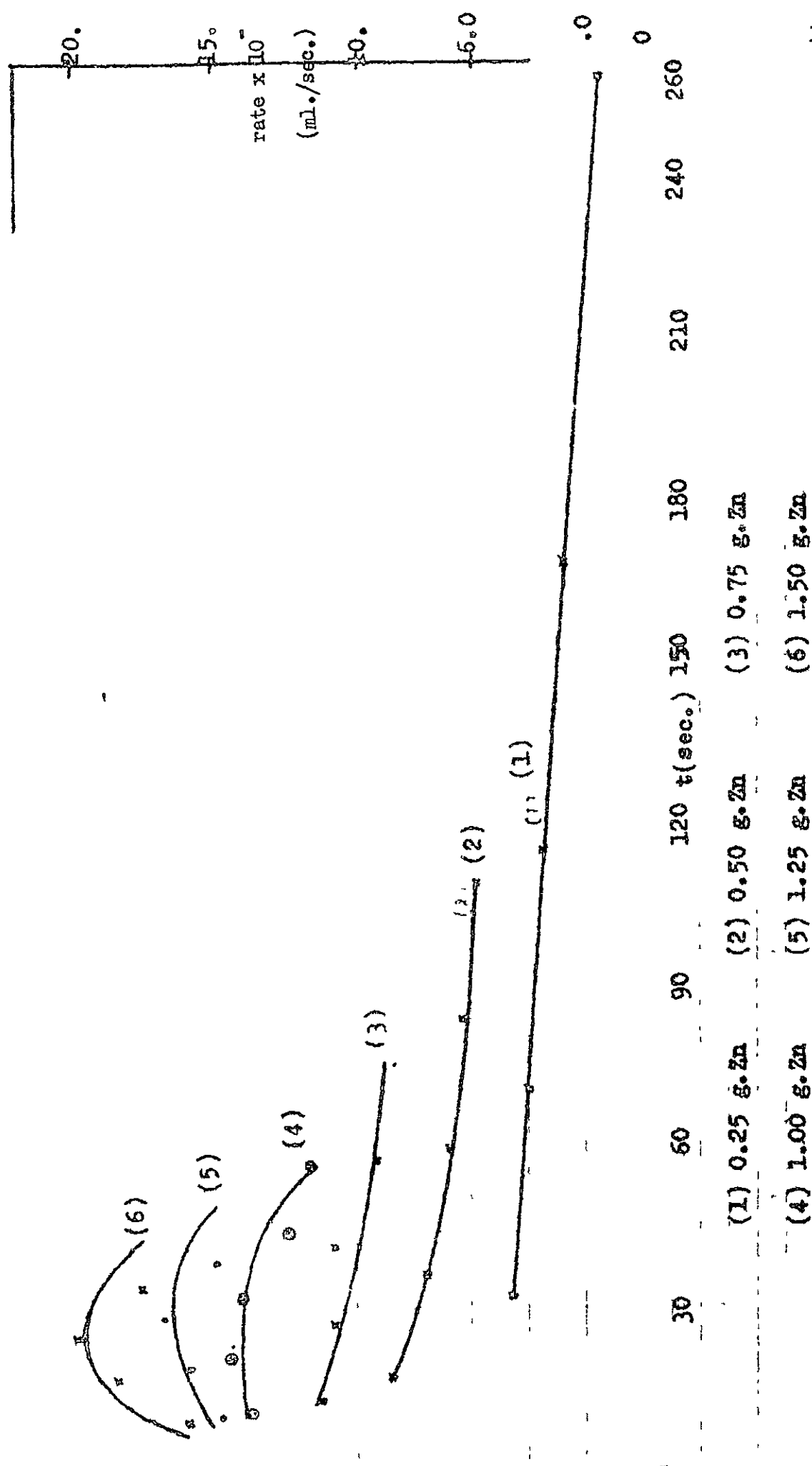
(1) 1.07 M H_2SO_4 (2) 1.06 M H_2SO_4 (3) 2.13 M H_2SO_4 (4) 2.62 M H_2SO_4

(5) 3.11 M H_2SO_4 (6) 3.70 M H_2SO_4 (7) 4.17 M H_2SO_4

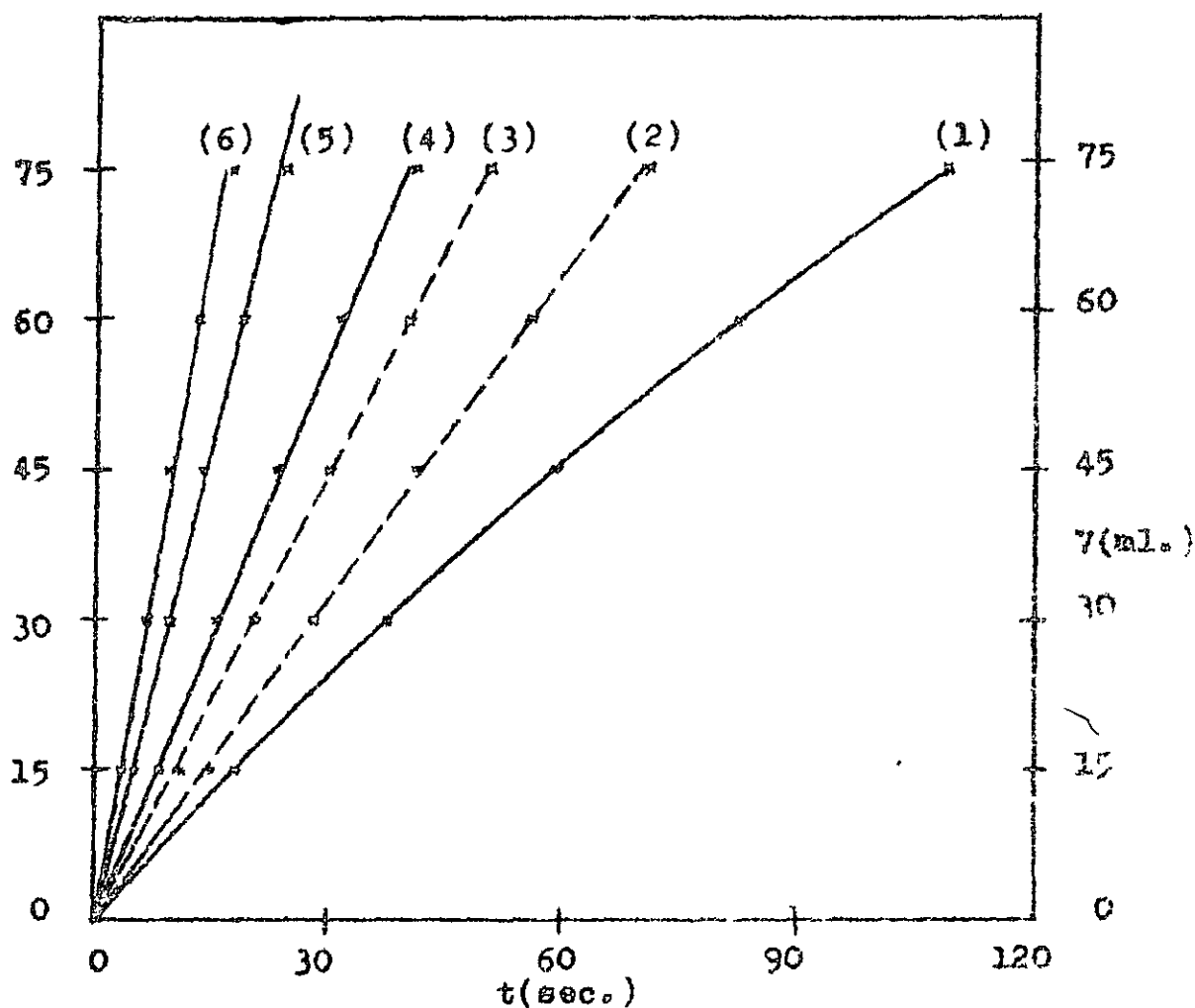
รูป 29 ความสามารถในการเกิดพิษได้โดยเร็วของยา ในแง่ของการแพร่ผ่านเยื่อของโอสติของกระดูก
เมื่อเปรียบเทียบกับความสามารถของกระดูก



รูป 30 การเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วในการแปรสภาพของโลหะสังกะสี เมื่อปริมาณของกรดซัลฟิวริกที่

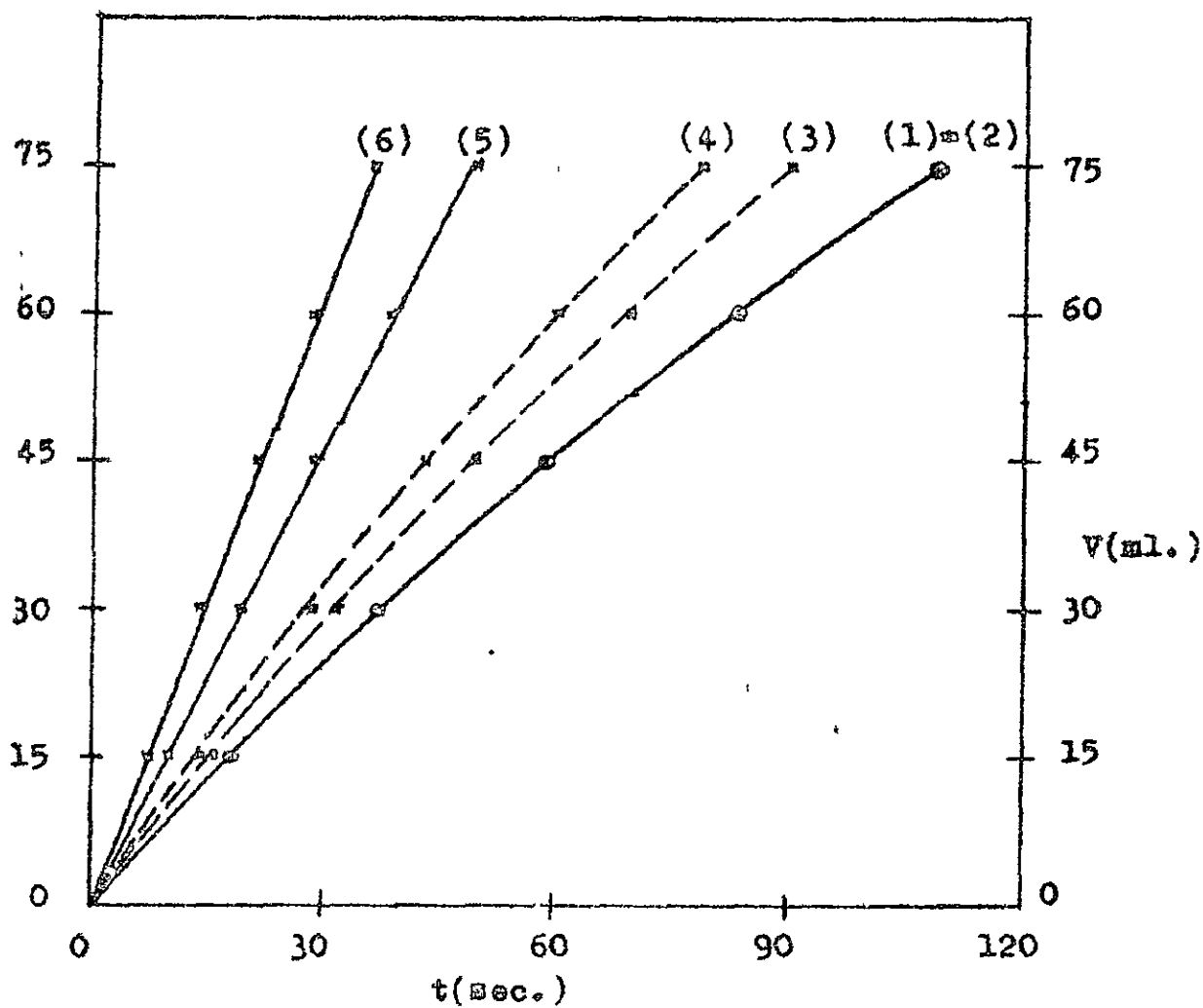


รูป 31 การแสดงการเกิดกาซไฮโดรเจนต่อเวลา ในเงื่อนไขการแปรผันปริมาณของ CuSO_4 ที่เติมลงไปเป็นระยะๆ เป็นปริมาณของกรรณรีกซ์และโลหะสังกะสี



- (1) ไม่เติม CuSO_4 (2) 0.01 M CuSO_4 0.5 ml.
 (3) 0.05 M CuSO_4 0.5 ml. (4) 0.1 M CuSO_4 0.5 ml.
 (5) 0.5 M CuSO_4 0.5 ml. (6) 1.0 M CuSO_4 0.5 ml.

รูป 32 การแสดงการเกิดกาโซโครเจนต่อเวลา ในเงื่อนไขการแปรผันปริมาณของ Ag_2SO_4 ที่เปลี่ยนไปเป็นละอองสี เมื่อปริมาณของกรดซัลฟูริกและโลหะสังกะสีคงที่



(1) ไม่ใส่ Ag_2SO_4

(2) 0.0016 g. Ag_2SO_4

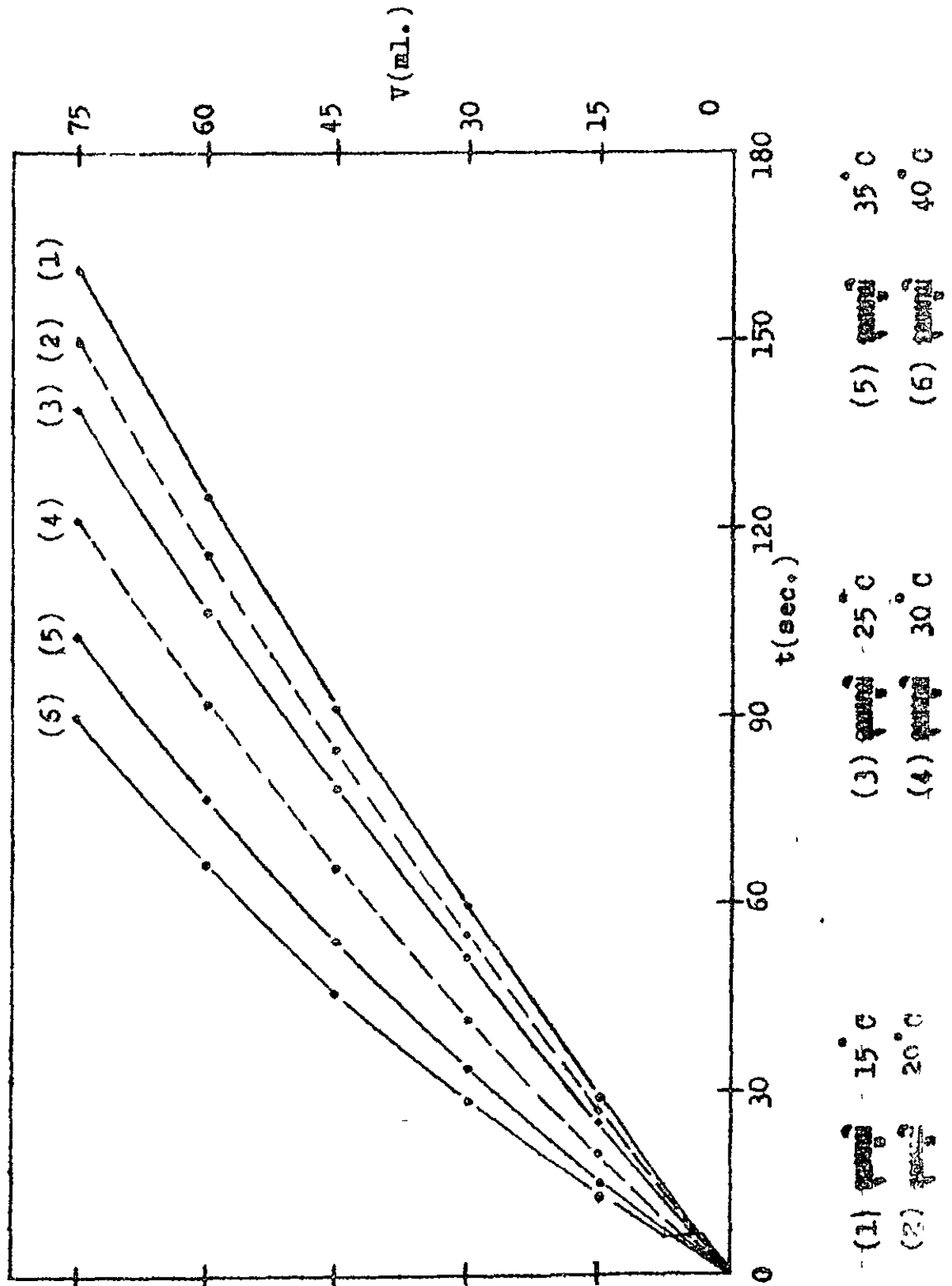
(3) 0.0078 g. Ag_2SO_4

(4) 0.0156 g. Ag_2SO_4

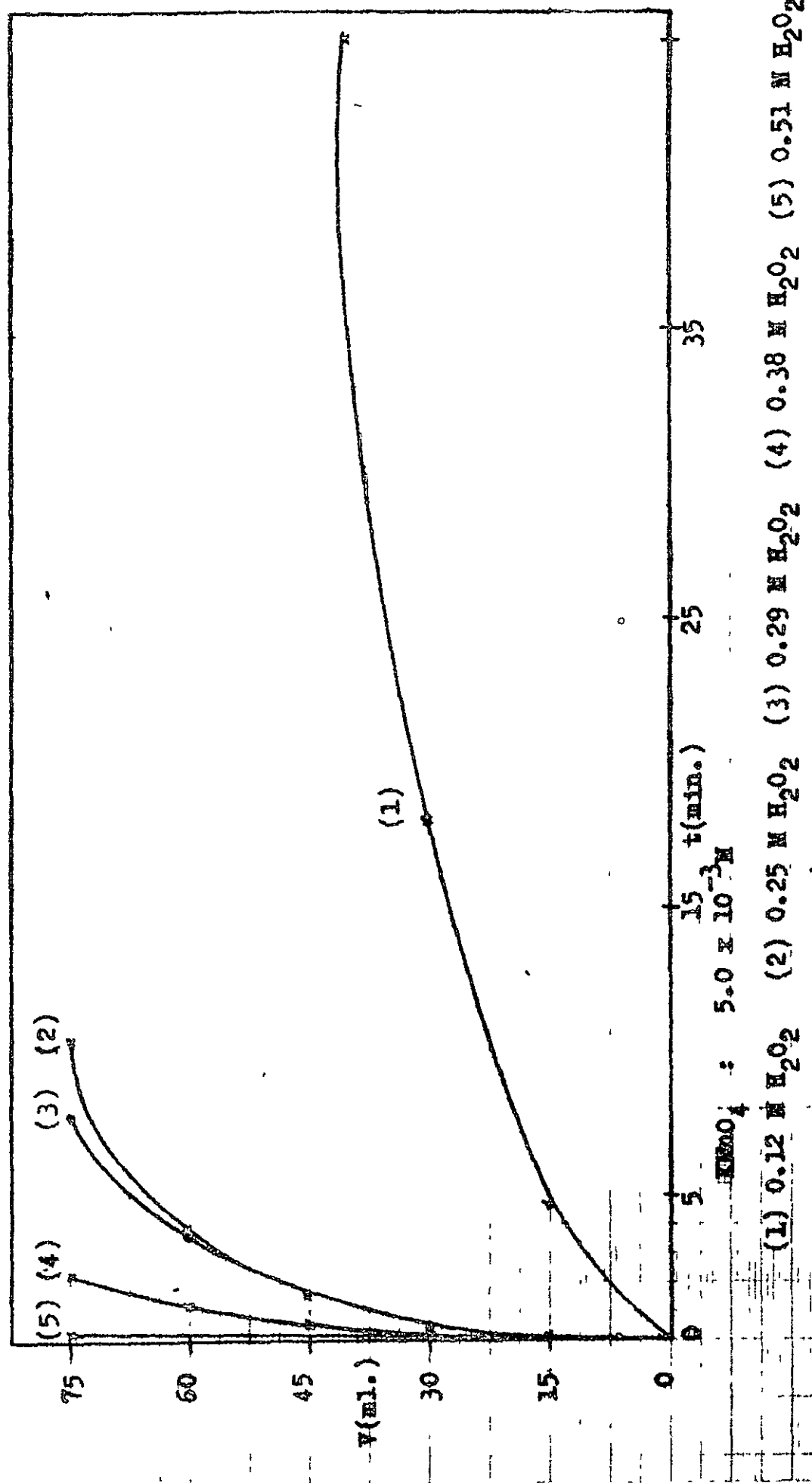
(5) 0.0780 g. Ag_2SO_4

(6) 0.1559 g. Ag_2SO_4

รูป 33 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรไอโซเทอรัลในแง่ของการแปรเปลี่ยนอุณหภูมิ เมื่อปริมาณของกรดซัลฟูริก และไฮดรอกไซด์คงที่

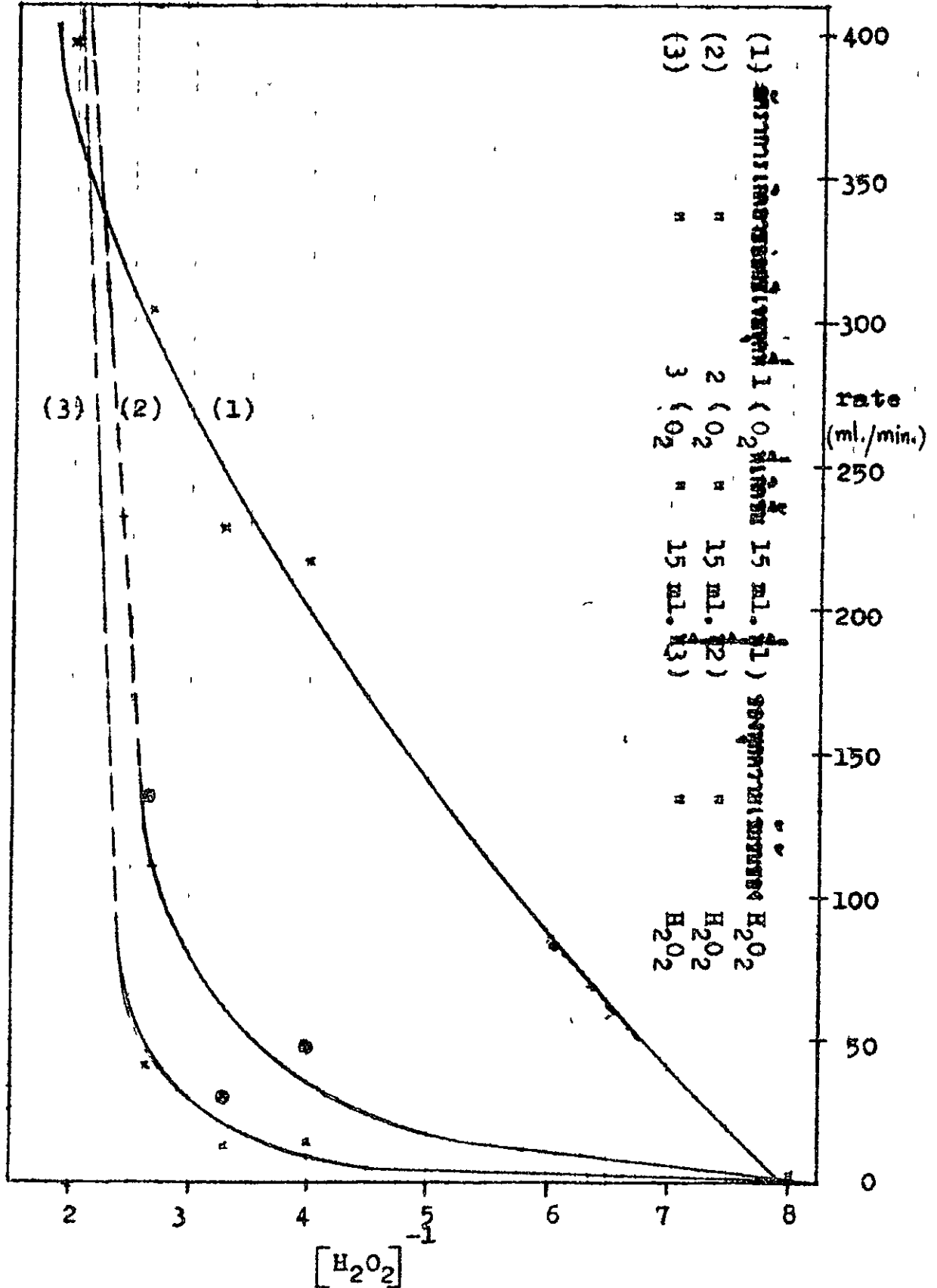


รูป 3.4 กราฟแสดงการเกิดก๊าซออกซิเจน ในเงื่อนไขการแปรผันความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
เมื่อปริมาณของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตคงที่

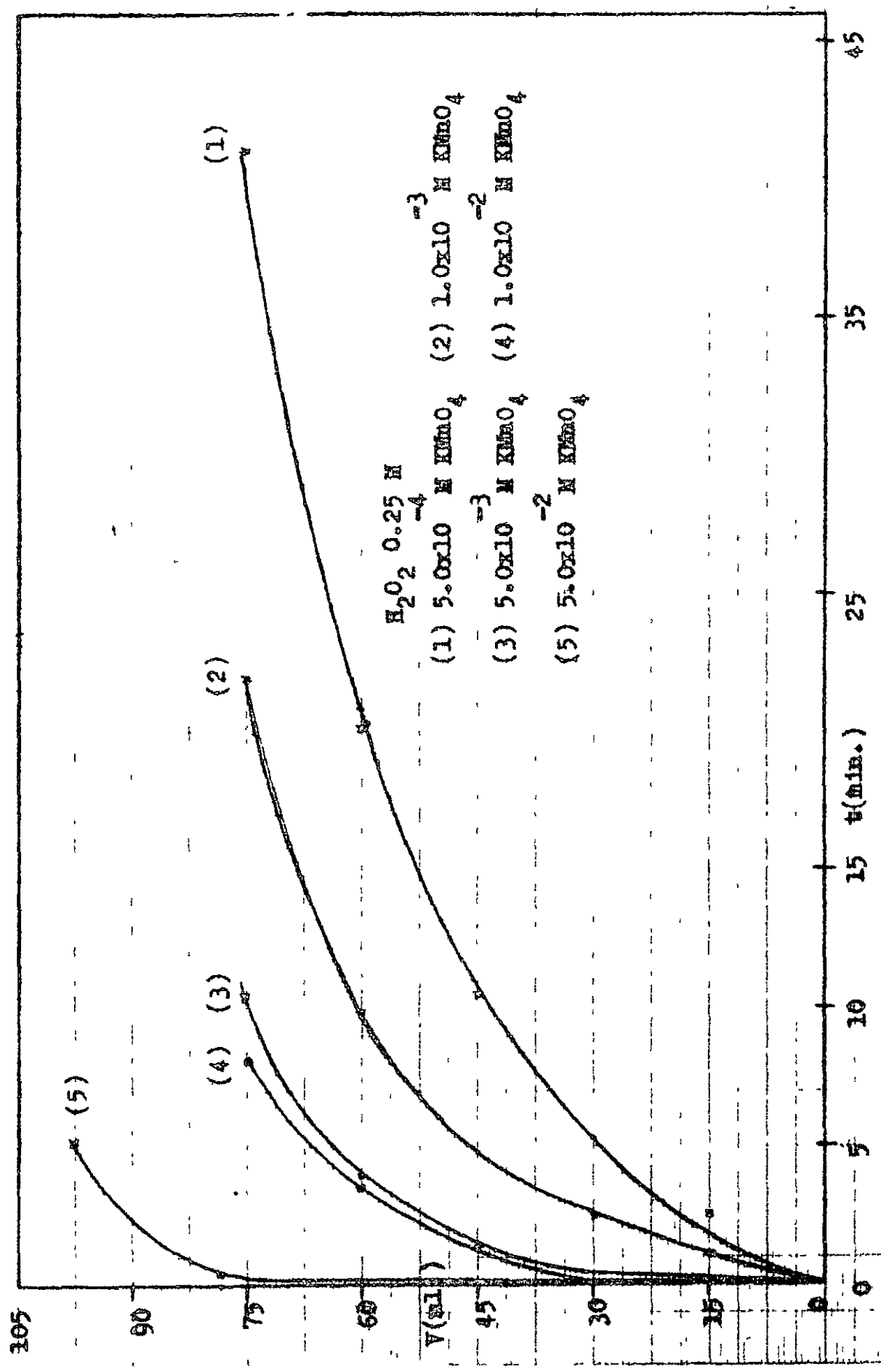


รูป 35 กราฟแสดงอัตราการเกิดออกซิเจนจากปฏิกิริยาของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
 ในเงื่อนไขการแปรผันความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อปริมาณของโพแทสเซียม
 เปอร์แมงกาเนตคงที่

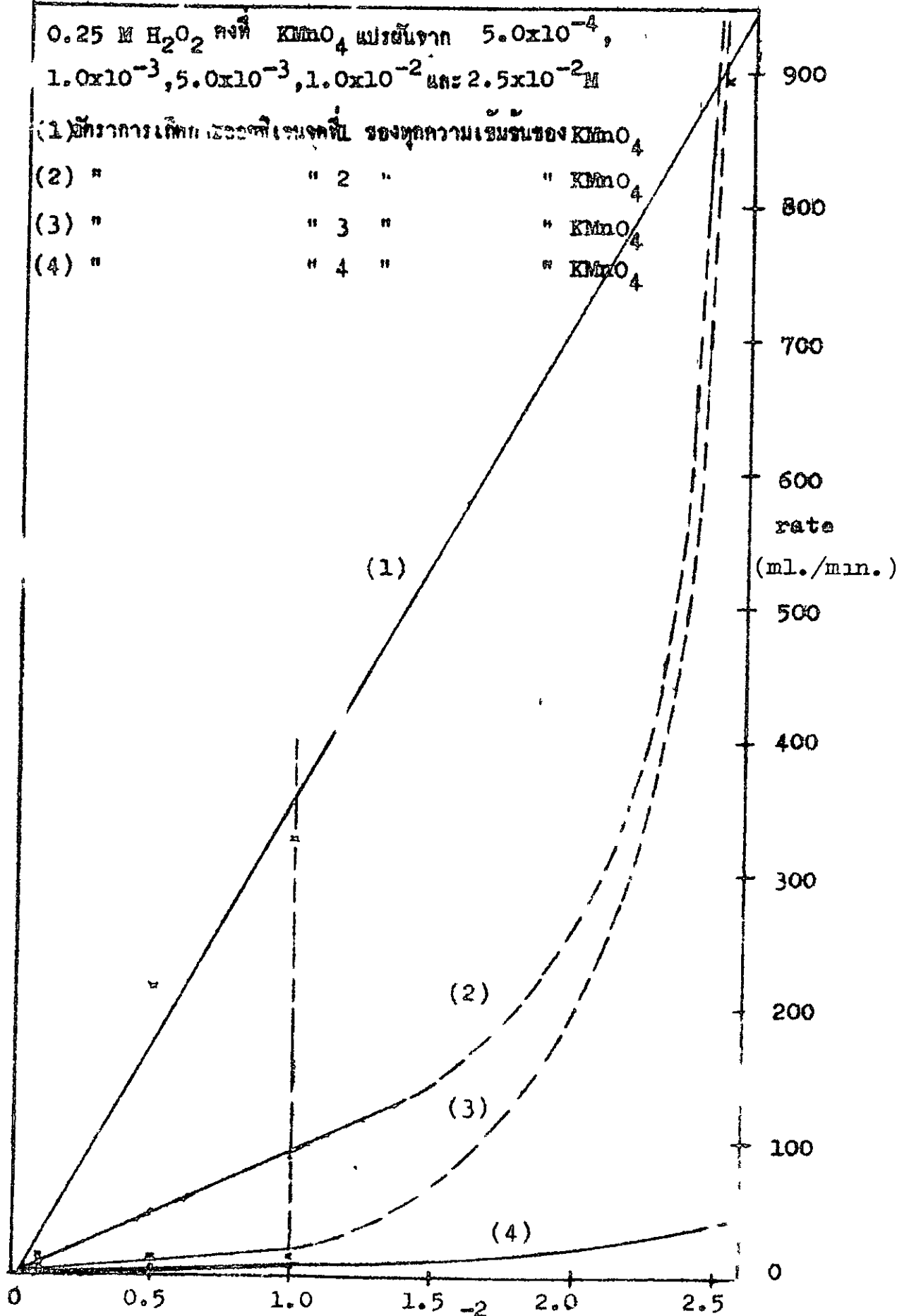
KMnO_4 คงที่: H_2O_2 แปรผัน : 0.12, 0.25, 0.29, 0.38, และ 0.51 M



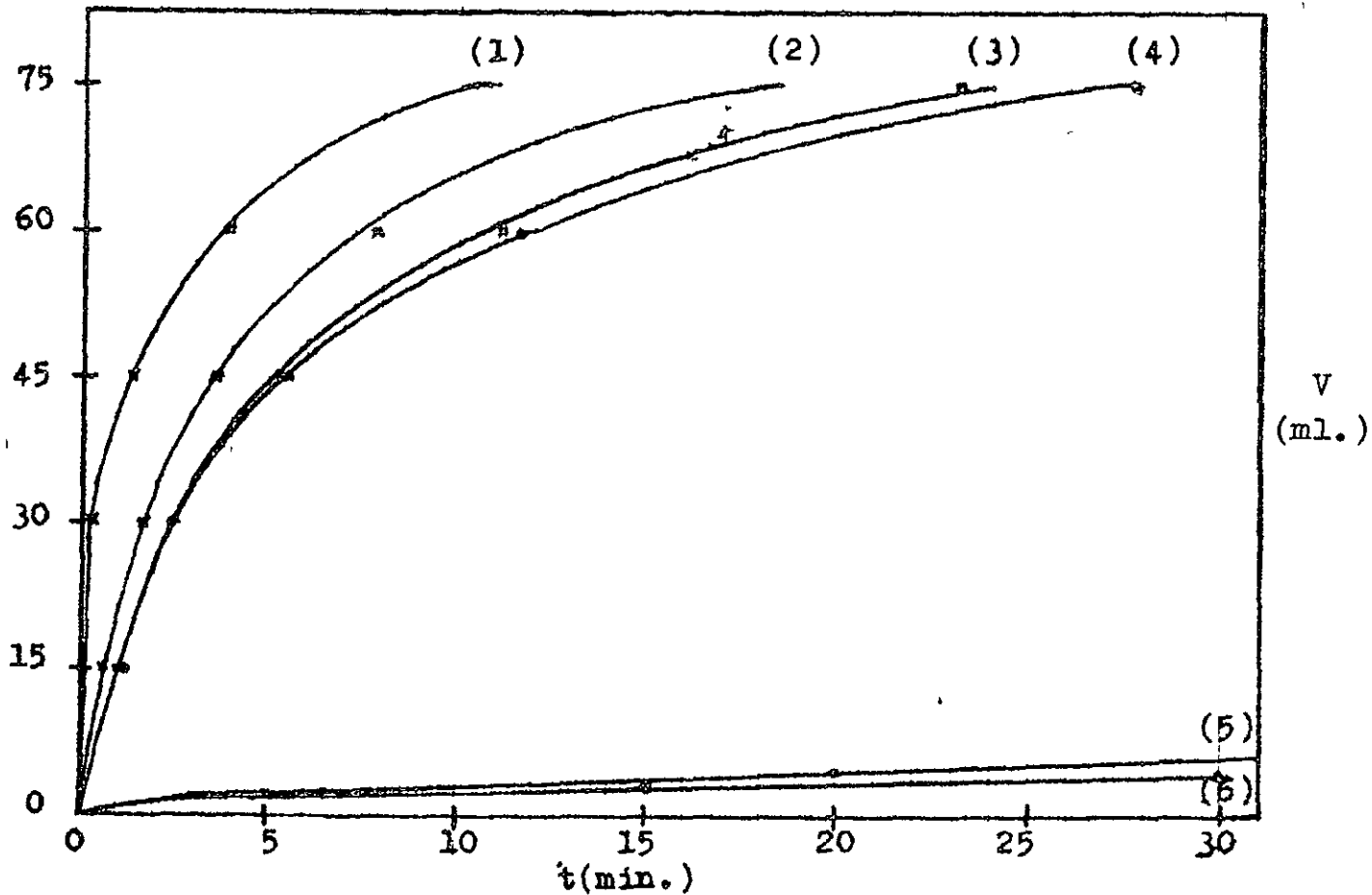
รูป 36 ความเร็วของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็กในแง่ของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงที่



รูปที่ 37 อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ในปฏิกิริยา
การผ. น. วามเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต เมื่อปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงที่



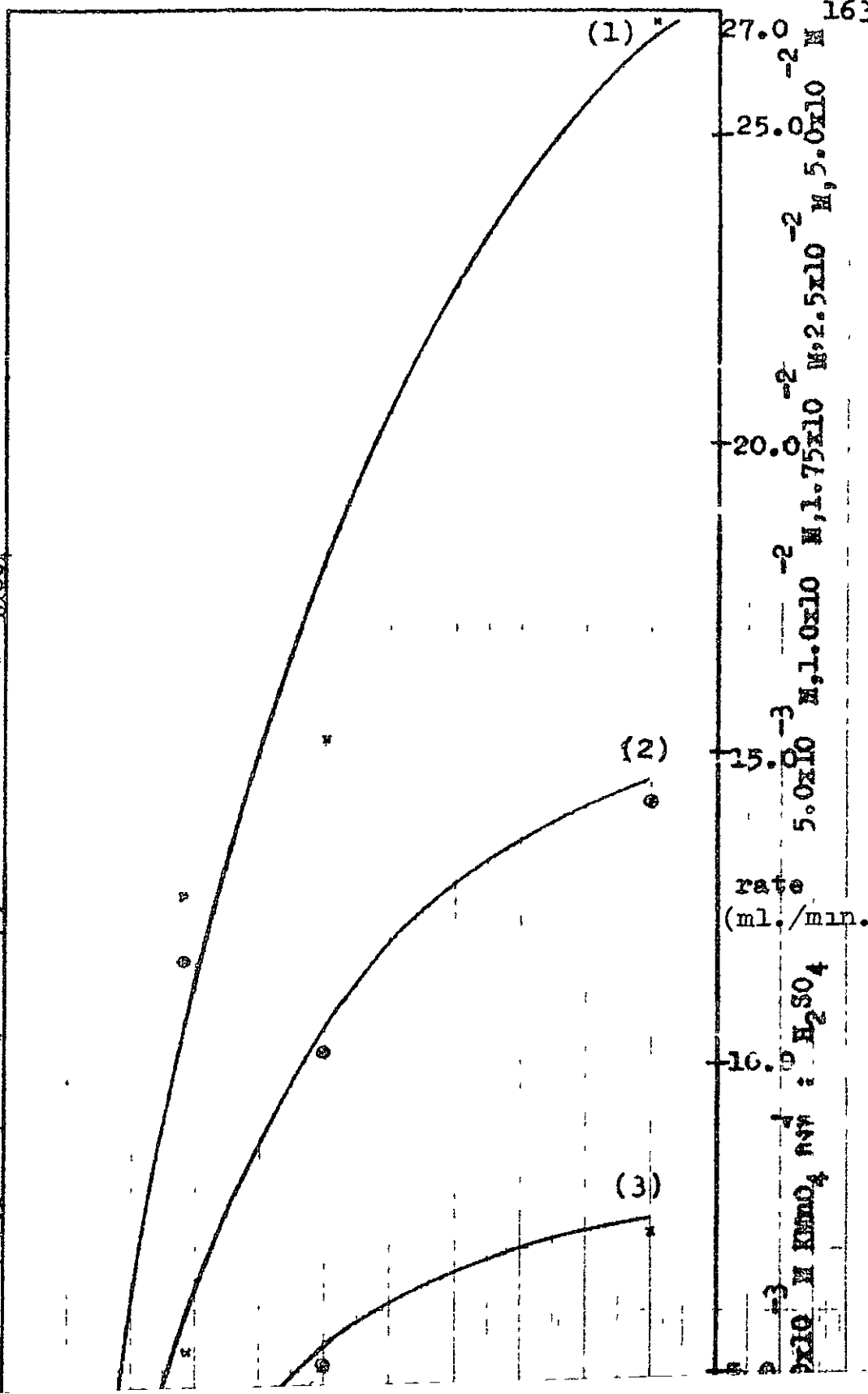
รูป 38 กราฟแสดงการเกิดแก๊สออกซิเจนต่อเวลา ในเงื่อนไขการแปรผันความเข้มข้นของ
 กรดซัลฟูริก เป็นปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และปฏิกิริยาเคมีเปลี่ยนเป็นกรด
 กรด



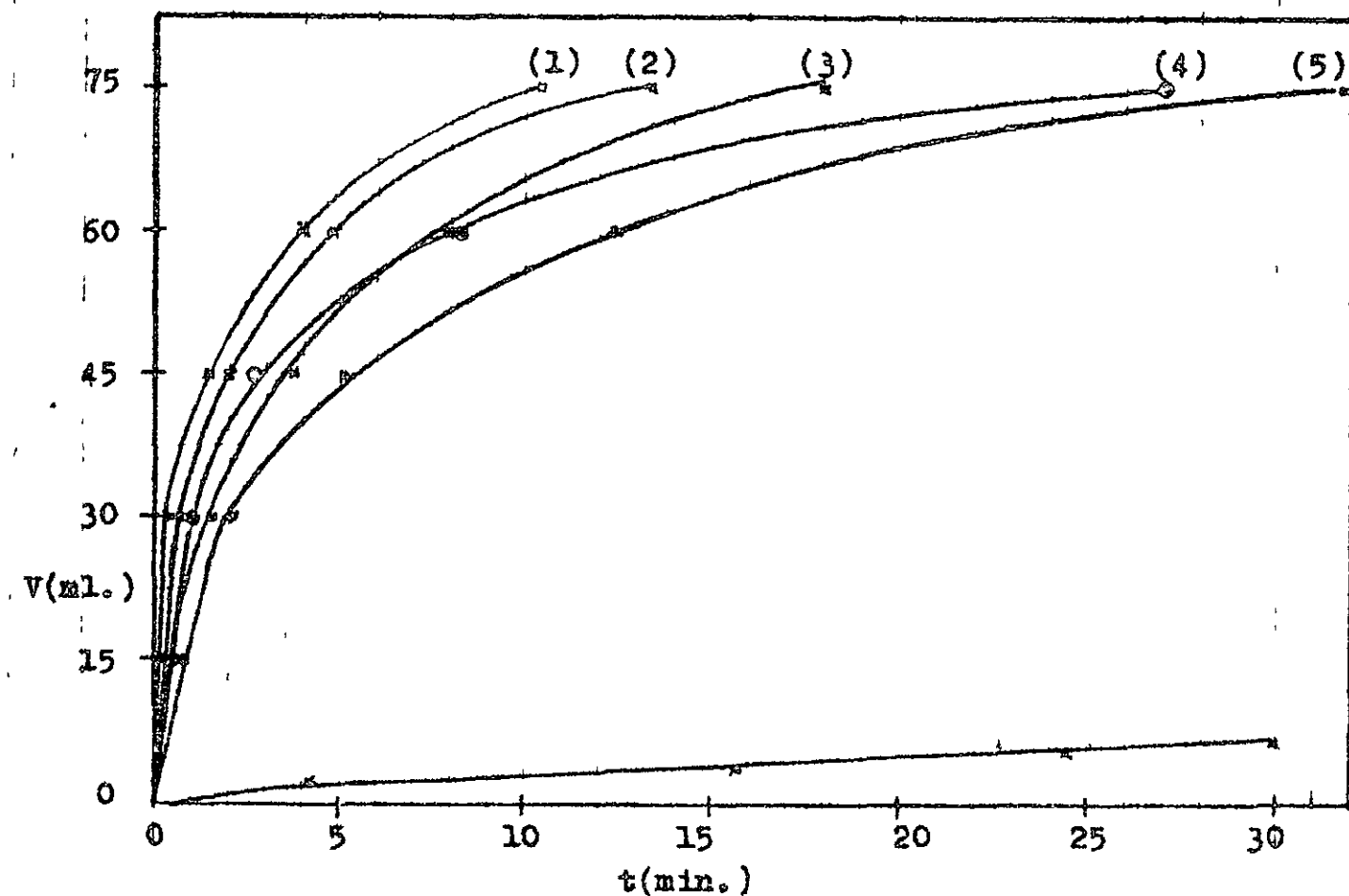
H_2O_2 0.25 M : KMnO_4 5.0×10^{-3} M
 (1) 1.00×10^{-2} M H_2SO_4 (2) 5.00×10^{-3} M H_2SO_4
 (3) 1.00×10^{-2} M H_2SO_4 (4) 1.75×10^{-2} M H_2SO_4
 (5) 2.50×10^{-2} M H_2SO_4 (6) 5.00×10^{-2} M H_2SO_4

การทดลองนี้ จะหาผลของปริมาณของสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาในแง่ของเวลาและอุณหภูมิของสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต

ลำดับ	เลขที่	สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต (ml.)	สารละลายกรดซัลฟิวริก (ml.)	สารละลายกรดซัลฟิวริก (M)
1	1	10	10	0.1
2	2	10	10	0.2
3	3	10	10	0.3
4	4	10	10	0.4



รูป 40 กราฟแสดงการเกิดของออกซิเจนต่อเวลา ในเงื่อนไขการปฏิกิริยาความเข้มข้นของ
กรดเกลือ เป็นปริมาณคงได้โดยเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตลงทีละ



H_2O_2 0.25 M : KMnO_4 5.0×10^{-3} M

(1) 1.00 M HCl

(2) 5.00×10^{-3} M HCl

(3) 1.00×10^{-2} M HCl

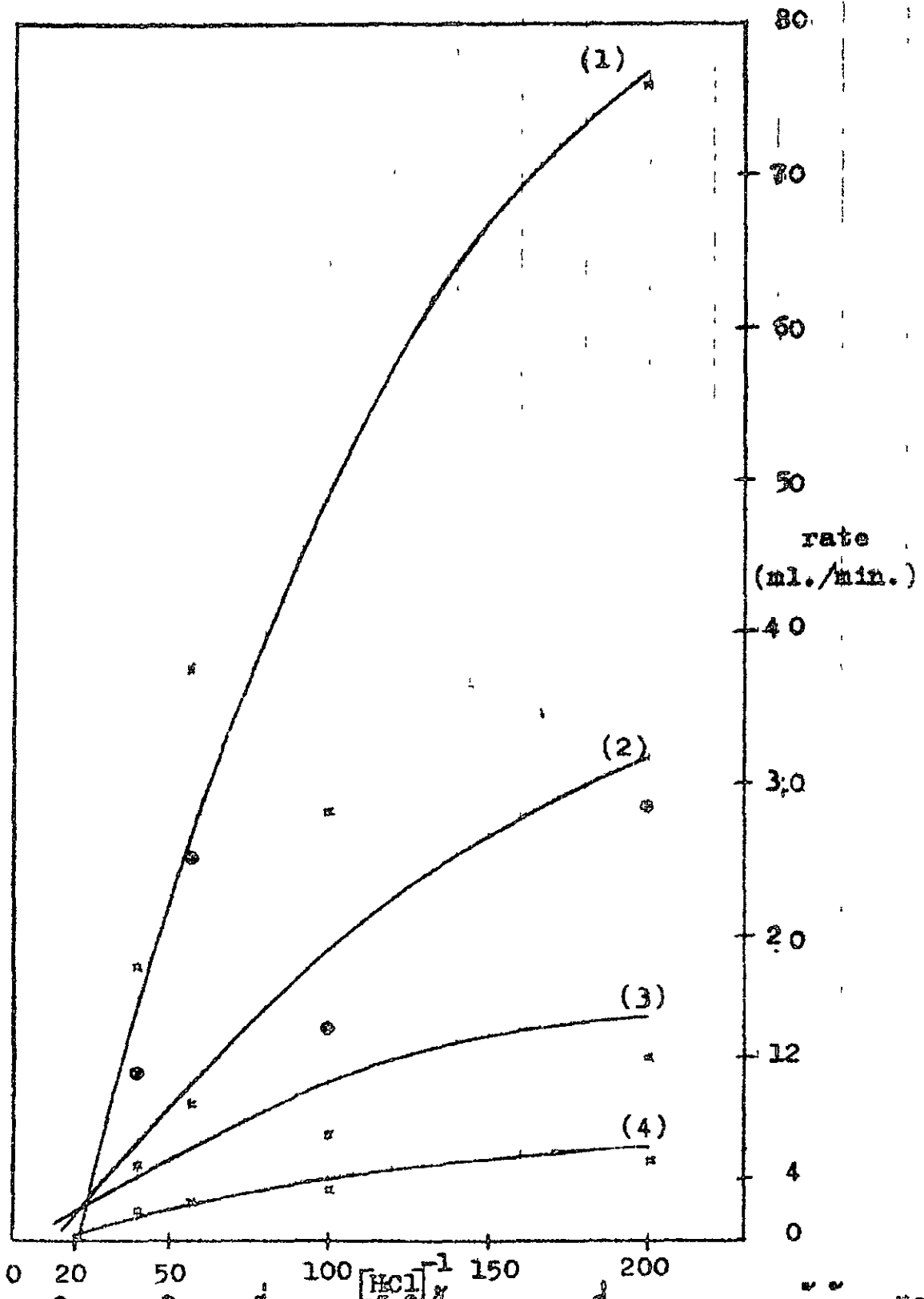
(4) 1.75×10^{-2} M HCl

(5) 2.50×10^{-2} M HCl

(6) 5.00×10^{-2} M HCl

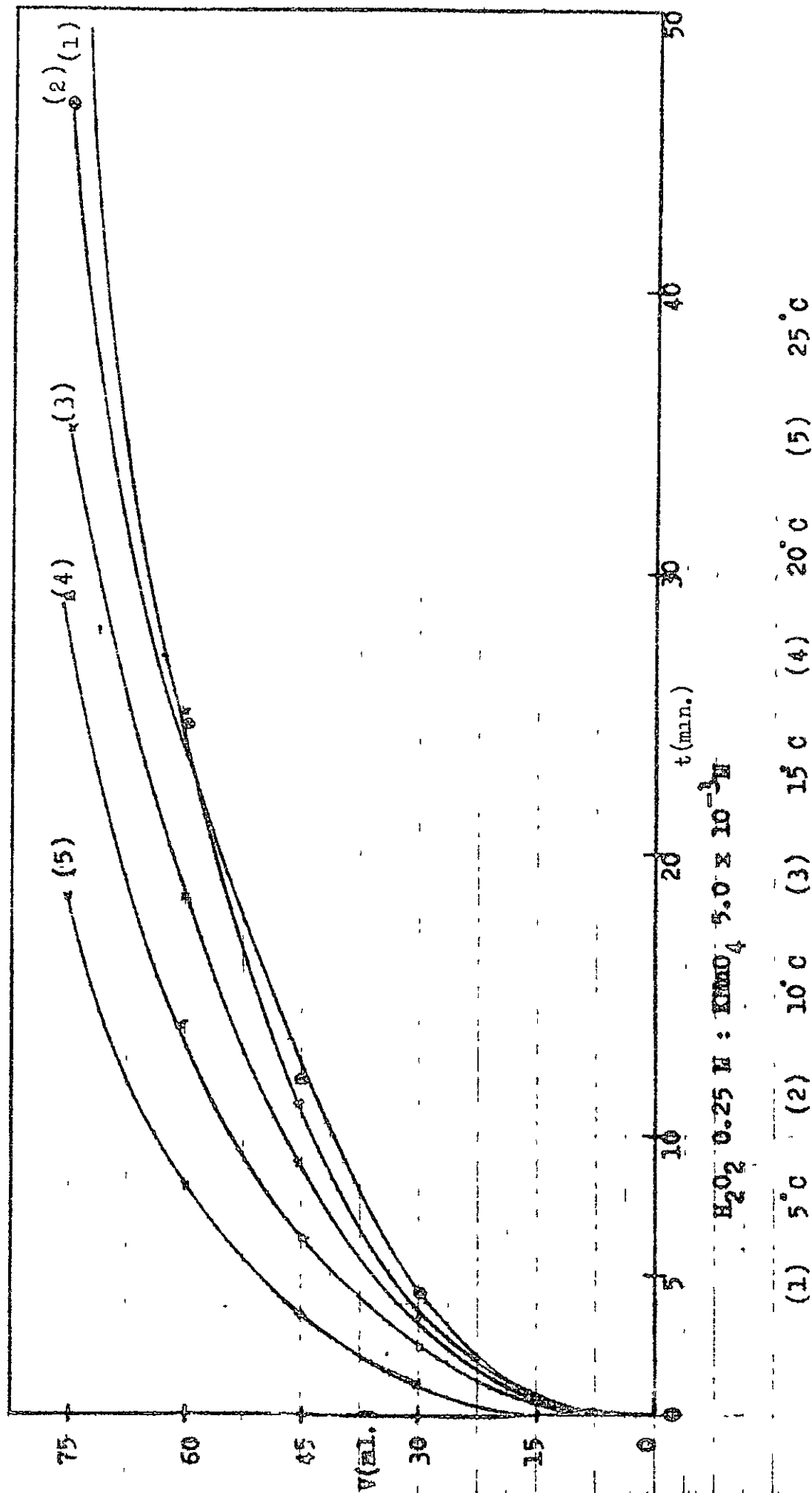
รูป 41 กราฟแสดงอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเจนกับของเหลวเข้มข้นของกรดเกลือ ในเงื่อนไข
 การแปรผันความเข้มข้นของกรดเกลือ เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโพแทสเซียม
 เปอร์มิกันคงที่

HCl มีค่า 5.0×10^{-3} M, 1.0×10^{-2} M, 1.75×10^{-2} M, 2.5×10^{-2} M, 5.0×10^{-2} M



(1) อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเจน กับ H_2O_2 ที่เกิดขึ้น 15 ml. (1) ของทุกความเข้มข้นของ HCl
 (2) " " 2 (2) " " HCl
 (3) " " 3 (3) " " HCl

ฏ 42 กราฟแสดงการเกิดของสารออกซิเจนต่อเวลา ในเงื่อนไขการแปรผันอุณหภูมิ เมื่อพิจารณาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
 และไปศึกษาปฏิกิริยาการเกิดออกซิเจน



ภาคผนวก ค.

✓
ข้อมูลจากการทดลอง

ตาราง 30 แสดงค่าของอัตราการเกิดกาไฮโดรเจน ในเงื่อนไขการแปรผันความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก เมื่อน้ำหนักของโลหะสังกะสีคงที่
ณ อุณหภูมิห้อง $25.0^{\circ} - 32.0^{\circ}\text{C}$

เงื่อนไข การทดลอง	เวลา(t) (sec.)					Δt (sec.)					ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)				
	การทดลองครั้งที่...					การทดลองครั้งที่...							การทดลองครั้งที่...				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
1.07 M H ₂ SO ₄ 25.5 ml.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	37.5	42.0	42.0	40.0	0.0	14.9	3.72x10 ⁻¹	3.97x10 ⁻¹	3.55x10 ⁻¹	3.55x10 ⁻¹	3.72x10 ⁻¹
	40.0	37.5	42.0	42.0	40.0	43.0	42.5	45.5	41.5	46.0	14.9	14.8	3.44x10 ⁻¹	3.48x10 ⁻¹	3.25x10 ⁻¹	3.57x10 ⁻¹	3.22x10 ⁻¹
	83.0	80.0	87.5	83.5	86.0	61.5	57.0	61.5	56.5	56.5	29.7	15.3	2.49x10 ⁻¹	2.68x10 ⁻¹	2.49x10 ⁻¹	2.71x10 ⁻¹	2.71x10 ⁻¹
	144.5	137.0	149.0	140.0	142.5	91.5	79.0	89.0	80.0	74.5	45.0	14.9	1.63x10 ⁻¹	1.89x10 ⁻¹	1.67x10 ⁻¹	1.86x10 ⁻¹	2.00x10 ⁻¹
	236.0	216.0	238.0	220.0	217.0	130.0	115.0	134.0	118.0	110.0	59.9	14.9	1.15x10 ⁻¹	1.30x10 ⁻¹	1.11x10 ⁻¹	1.26x10 ⁻¹	1.35x10 ⁻¹
	366.0	331.0	372.0	338.0	327.0						74.8						
1.60 M H ₂ SO ₄ 25.5 ml.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.5	22.5	24.0	25.0	23.5	0.0	14.9	6.34x10 ⁻¹	6.62x10 ⁻¹	6.21x10 ⁻¹	5.96x10 ⁻¹	6.34x10 ⁻¹
	23.5	22.5	24.0	25.0	23.5	28.0	27.5	27.0	28.0	29.0	14.9	14.8	5.29x10 ⁻¹	5.38x10 ⁻¹	5.48x10 ⁻¹	5.29x10 ⁻¹	5.10x10 ⁻¹
	51.5	50.0	51.0	53.0	52.5	36.0	35.5	34.5	35.0	33.5	29.7	15.3	4.25x10 ⁻¹	4.31x10 ⁻¹	4.43x10 ⁻¹	4.37x10 ⁻¹	4.57x10 ⁻¹
	87.5	85.5	85.5	88.0	86.0	44.5	43.5	42.5	44.0	46.5	45.0	14.9	3.35x10 ⁻¹	3.42x10 ⁻¹	3.51x10 ⁻¹	3.39x10 ⁻¹	3.20x10 ⁻¹
	132.0	129.0	128.0	132.0	132.5	53.0	54.5	54.0	53.0	58.5	59.9	14.9	2.81x10 ⁻¹	2.73x10 ⁻¹	2.76x10 ⁻¹	2.81x10 ⁻¹	2.55x10 ⁻¹
	185.0	183.0	182.0	185.0	191.0						74.8						

* 0.50 g. Zn คงที่

เงื่อนไข การทดลอง	เวลา (t) (sec.)					Δt (sec.)					ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)				
	การทดลองครั้งที่...					การทดลองครั้งที่...							การทดลองครั้งที่...				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
2.13 M H ₂ SO ₄ 25.5 ml.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.0	23.0	22.0	22.0	22.0	0.0	14.9	7.09x10 ⁻¹	6.48x10 ⁻¹	6.77x10 ⁻¹	6.77x10 ⁻¹	6.77x10 ⁻¹
	21.0	23.0	22.0	22.0	22.0	25.0	27.0	25.5	27.0	27.5	14.9	14.8	5.92x10 ⁻¹	5.48x10 ⁻¹	5.80x10 ⁻¹	5.48x10 ⁻¹	5.38x10 ⁻¹
	46.0	50.0	47.5	49.0	49.5	32.0	34.0	31.0	34.0	33.5	29.7	15.3	4.78x10 ⁻¹	4.50x10 ⁻¹	4.93x10 ⁻¹	4.50x10 ⁻¹	4.57x10 ⁻¹
	78.0	84.0	78.5	83.0	83.0	38.5	39.0	36.5	36.5	35.0	45.0	14.9	3.87x10 ⁻¹	3.82x10 ⁻¹	4.08x10 ⁻¹	4.08x10 ⁻¹	4.26x10 ⁻¹
	116.5	123.0	115.0	119.5	118.0	44.0	44.0	42.0	42.5	42.0	59.9	14.9	3.39x10 ⁻¹	3.39x10 ⁻¹	3.55x10 ⁻¹	3.51x10 ⁻¹	3.55x10 ⁻¹
	160.5	167.0	157.0	162.0	160.0						74.8						
2.62 M H ₂ SO ₄ 25.5 ml.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.0	21.0	19.0	20.0	20.0	0.0	14.9	7.84x10 ⁻¹	7.09x10 ⁻¹	7.84x10 ⁻¹	7.45x10 ⁻¹	7.45x10 ⁻¹
	19.0	21.0	19.0	20.0	20.0	23.0	24.0	23.0	23.0	24.0	14.9	14.8	6.43x10 ⁻¹	6.17x10 ⁻¹	6.43x10 ⁻¹	6.43x10 ⁻¹	6.17x10 ⁻¹
	42.0	45.0	42.0	43.0	44.0	26.0	26.5	25.5	26.0	27.0	29.7	15.3	5.88x10 ⁻¹	5.77x10 ⁻¹	6.00x10 ⁻¹	5.88x10 ⁻¹	5.67x10 ⁻¹
	68.0	71.5	67.5	69.0	71.0	29.0	29.5	28.5	30.0	30.0	45.0	14.9	5.14x10 ⁻¹	5.05x10 ⁻¹	5.23x10 ⁻¹	4.97x10 ⁻¹	4.97x10 ⁻¹
	97.0	101.0	96.0	99.0	101.0	34.0	34.0	33.0	32.5	31.5	59.9	14.9	4.38x10 ⁻¹	4.38x10 ⁻¹	4.51x10 ⁻¹	4.58x10 ⁻¹	4.73x10 ⁻¹
	131.0	135.0	129.0	131.5	132.5						74.8						

ตาราง 30 (ก)

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา (t) (sec.)					Δt (sec.)					ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)				
	การทดลองครั้งที่...					การทดลองครั้งที่...							การทดลองครั้งที่...				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
3.11 M H_2SO_4 25.5 ml.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	0.0	14.9	8.76×10^{-1}	8.76×10^{-1}	8.76×10^{-1}	8.76×10^{-1}	8.76×10^{-1}
	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	20.0	20.0	19.0	19.0	19.0	14.9	14.8	7.40×10^{-1}	7.40×10^{-1}	7.79×10^{-1}	7.79×10^{-1}	7.79×10^{-1}
	37.0	37.0	36.0	36.0	36.0	22.0	22.5	22.5	22.5	23.5	29.7	15.3	6.95×10^{-1}	6.80×10^{-1}	6.80×10^{-1}	6.80×10^{-1}	6.51×10^{-1}
	59.0	59.5	58.5	58.5	59.5	23.0	23.0	23.5	23.5	24.5	45.0	14.9	6.18×10^{-1}	6.48×10^{-1}	6.34×10^{-1}	6.08×10^{-1}	6.08×10^{-1}
	82.0	82.5	82.0	83.0	84.0	24.0	26.5	25.5	26.0	26.0	59.9	14.9	6.21×10^{-1}	5.62×10^{-1}	5.84×10^{-1}	5.73×10^{-1}	5.73×10^{-1}
	106.0	109.0	107.5	109.0	110.0						71.8						
3.70 M H_2SO_4 25.5 ml.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.0	16.0	16.5	14.0	17.0	0.0	14.9	9.31×10^{-1}	9.31×10^{-1}	9.03×10^{-1}	1.60	8.76×10^{-1}
	16.0	16.0	16.5	14.0	17.0	18.5	17.0	18.0	18.0	18.0	14.9	14.8	8.00×10^{-1}	8.71×10^{-1}	8.22×10^{-1}	8.22×10^{-1}	8.22×10^{-1}
	34.5	33.0	34.5	32.0	35.0	18.5	19.0	19.0	19.0	19.0	29.7	15.3	8.27×10^{-1}	8.05×10^{-1}	8.05×10^{-1}	8.05×10^{-1}	8.05×10^{-1}
	53.0	52.0	53.5	51.0	54.0	21.0	20.0	20.5	20.5	21.0	45.0	14.9	7.09×10^{-1}	7.45×10^{-1}	7.27×10^{-1}	7.27×10^{-1}	7.09×10^{-1}
	74.0	72.0	74.0	71.5	75.0	21.0	20.5	21.0	21.5	21.0	59.9	14.9	7.09×10^{-1}	7.27×10^{-1}	7.09×10^{-1}	6.93×10^{-1}	7.09×10^{-1}
	95.0	92.5	95.0	93.0	96.0						74.8						

ตาราง 30 (ต่อ)

เงื่อนไข การทดลอง	เวลา (t) (sec.)					Δt (sec.)					ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)				
	การทดลองครั้งที่...					การทดลองครั้งที่...							การทดลองครั้งที่...				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
4.17 M H ₂ SO ₄ 25.5 ml.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.0	16.0	17.0	17.0	17.0	0.0	14.9	8.76x10 ⁻¹	9.31x10 ⁻¹	8.76x10 ⁻¹	8.76x10 ⁻¹	8.76x10 ⁻¹
	17.0	16.0	17.0	17.0	17.0	17.0	16.5	17.0	16.5	17.0	14.9	14.8	8.71x10 ⁻¹	8.97x10 ⁻¹	8.71x10 ⁻¹	8.97x10 ⁻¹	8.71x10 ⁻¹
	34.0	32.5	34.0	33.5	34.0	18.0	18.0	18.5	18.0	17.5	29.7	15.3	8.50x10 ⁻¹	8.50x10 ⁻¹	8.27x10 ⁻¹	8.50x10 ⁻¹	8.74x10 ⁻¹
	52.0	50.5	52.5	51.5	51.5	19.0	19.5	19.5	19.5	19.5	45.0	14.9	7.84x10 ⁻¹	7.64x10 ⁻¹	7.64x10 ⁻¹	7.64x10 ⁻¹	7.64x10 ⁻¹
	71.0	70.0	72.0	71.0	71.0	19.0	20.0	20.0	20.0	19.5	59.9	14.9	7.84x10 ⁻¹	7.45x10 ⁻¹	7.45x10 ⁻¹	7.45x10 ⁻¹	7.64x10 ⁻¹
	90.0	90.0	92.0	91.0	90.5						74.8						

ตาราง 31 ผลของการวัดอัตราการเกิดไฮโดรเจนในเหล็ก
 กงที่ ๑ อุณหภูมิห้อง 26.0 - 33.4 °C

เงื่อนไข การทดลอง	เวลา (t) (sec.)					Δt (sec.)					ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)				
	การทดลองครั้งที่...					การทดลองครั้งที่...							การทดลองครั้งที่...				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
0.25 g. Zn (0.2500 - 0.2517 g.)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.5	34.5	31.5	32.0	30.0	0.0	14.9	4.45×10^{-1}	4.32×10^{-1}	4.73×10^{-1}	4.66×10^{-1}	4.97×10^{-1}
	33.5	34.5	31.5	32.0	30.0	39.5	38.5	37.0	36.5	35.0	11.9	14.8	3.75×10^{-1}	3.84×10^{-1}	4.00×10^{-1}	4.05×10^{-1}	4.21×10^{-1}
	73.0	73.0	68.5	68.5	65.0	46.5	44.5	43.5	43.5	43.0	29.7	15.3	3.29×10^{-1}	3.44×10^{-1}	3.52×10^{-1}	3.52×10^{-1}	3.56×10^{-1}
	119.5	117.5	112.0	112.0	108.0	55.5	54.5	53.0	54.0	50.0	45.0	14.9	2.68×10^{-1}	2.73×10^{-1}	2.81×10^{-1}	2.76×10^{-1}	2.98×10^{-1}
	175.0	172.0	165.0	166.0	158.0	90.0	92.0	88.0	92.0	86.5	59.9	14.9	1.65×10^{-1}	1.62×10^{-1}	1.69×10^{-1}	1.62×10^{-1}	1.72×10^{-1}
	265.0	264.0	253.0	258.0	244.5						74.8						
0.50 g. Zn (0.5001 - 0.5008 g.)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	0.0	14.9	8.76×10^{-1}	8.76×10^{-1}	8.76×10^{-1}	8.76×10^{-1}	8.76×10^{-1}
	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	20.0	20.0	19.0	19.0	19.0	14.9	14.8	7.40×10^{-1}	7.40×10^{-1}	7.79×10^{-1}	7.79×10^{-1}	7.79×10^{-1}
	37.0	37.0	36.0	36.0	36.0	22.0	22.5	22.5	22.5	23.5	29.7	15.3	6.95×10^{-1}	6.86×10^{-1}	6.80×10^{-1}	6.80×10^{-1}	6.51×10^{-1}
	59.0	59.5	58.5	58.5	59.5	23.0	23.0	23.5	24.5	24.5	45.0	14.9	6.48×10^{-1}	6.48×10^{-1}	6.34×10^{-1}	6.08×10^{-1}	6.08×10^{-1}
	82.0	82.5	82.0	83.0	84.0	24.0	26.5	25.5	26.0	26.0	59.9	14.9	6.21×10^{-1}	5.62×10^{-1}	5.84×10^{-1}	5.73×10^{-1}	5.73×10^{-1}
	106.0	109.0	107.5	109.0	110.0						74.8						

* 3.11 M H₂SO₄ 25.5 ml. กงที่

ตาราง 31 (ต่อ)

เงื่อนไข การทดลอง	เวลา(t) (sec.)					Δt (sec.)					ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)				
	การทดลองครั้งที่...					การทดลองครั้งที่...							การทดลองครั้งที่...				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
0.75 g. Zn (0.7500 - 0.7538 g.)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	13.5	13.0	11.5	16.0	0.0	14.9	1.24	1.10	1.15	1.30	9.32x10 ⁻¹
	12.0	13.5	13.0	11.5	16.0	14.0	13.5	13.5	11.5	16.0	14.9	14.8	1.06	1.11	1.10	1.29	9.25x10 ⁻¹
	26.0	27.0	26.5	23.0	32.0	14.0	15.0	15.5	12.5	14.0	29.7	15.3	1.09	1.20	9.87x10 ⁻¹	1.22	1.09
	40.0	42.0	42.0	35.5	46.0	17.0	17.0	17.0	13.5	16.0	45.0	14.9	8.76x10 ⁻¹	8.76x10 ⁻¹	8.76x10 ⁻¹	1.10	9.31x10 ⁻¹
	57.0	59.0	59.0	49.0	62.0	17.0	17.0	18.0	16.0	16.5	59.9	14.9	8.76x10 ⁻¹	8.76x10 ⁻¹	8.28x10 ⁻¹	9.31x10 ⁻¹	9.03x10 ⁻¹
	74.0	76.0	77.0	65.0	78.5						74.8						
1.00 g. Zn (1.0001 - 1.0015 g.)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	11.0	11.0	11.0	10.0	0.0	14.9	1.35	1.35	1.35	1.35	1.49
	11.0	11.0	11.0	11.0	10.0	10.5	10.5	10.5	10.5	9.0	14.9	14.8	1.41	1.41	1.41	1.41	1.64
	21.5	21.5	21.5	21.5	19.0	11.0	11.0	11.0	11.5	10.0	29.7	15.3	1.39	1.39	1.39	1.33	1.53
	32.5	32.5	32.5	33.0	29.0	12.0	12.0	11.0	13.0	11.5	45.0	14.9	1.24	1.24	1.35	1.15	1.30
	44.5	44.5	43.5	46.0	40.5	13.5	13.0	12.5	13.0	11.5	59.9	14.9	1.10	1.15	1.19	1.15	1.30
	58.0	57.5	56.0	59.0	52.0						74.8						

ตาราง 51 (ต่อ)

เงื่อนไข การทดลอง	(t). (sec.)					Δt (sec.)					ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)				
	การทดลองครั้งที่...					การทดลองครั้งที่...							การทดลองครั้งที่...				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
1.25 g. Zn (1.2500 - 1.2503 g.)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	11.0	9.0	10.0	10.5	0.0	14.9	1.49	1.35	1.66	1.49	1.42
	10.0	11.0	9.0	10.0	10.5	9.0	9.0	9.0	9.5	10.0	14.9	14.8	1.64	1.64	1.64	1.56	1.48
	19.0	20.0	18.0	19.5	20.5	9.0	9.0	8.5	9.0	10.0	29.7	15.3	1.70	1.70	1.80	1.70	1.53
	28.0	29.0	26.5	28.5	30.5	10.0	10.0	10.5	10.0	9.5	45.0	14.9	1.49	1.49	1.41	1.49	1.57
	38.0	39.0	37.0	38.5	40.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.5	59.9	14.9	1.49	1.49	1.49	1.49	1.57
	48.0	49.0	47.0	48.5	49.5						74.8						
1.50 g. Zn (1.5001 - 1.5004 g.)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.5	11.0	8.5	8.5	8.5	0.0	14.9	1.42	1.35	1.75	1.75	1.75
	10.5	11.0	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	7.0	8.0	8.0	14.9	14.8	1.74	1.74	2.11	1.85	1.85
	19.0	19.5	15.5	16.5	16.5	8.0	8.5	8.0	7.0	7.0	29.7	15.3	1.91	1.80	1.91	2.19	2.19
	27.0	28.0	23.5	23.5	23.5	9.0	9.5	9.5	8.5	8.5	45.0	14.9	1.66	1.57	1.57	1.75	1.75
	36.0	37.5	33.0	32.0	32.0	8.5	9.0	9.5	9.5	8.5	59.9	14.9	1.75	1.66	1.57	1.57	1.75
	44.5	46.5	42.5	41.5	40.5						74.8						

ตาราง 32 แสดงการของอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรเจน ไม่เกี่ยวข้องการแปรผันปริมาณของ H_2SO_4 เป็นค่าเฉลี่ย เมื่อปริมาณของกรดซัลฟูริกและโลหะสังกะสีคงที่ * ณ อุณหภูมิคง 26.5 - 32.2 °C

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา (t) (sec.)					Δt (sec.)					ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)				
	การทดลองครั้งที่...					การทดลองครั้งที่...							การทดลองครั้งที่...				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
ไม่มี CuSO ₄	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	0.0	14.9	8.76x10 ⁻¹	8.76x10 ⁻¹	8.76x10 ⁻¹	8.76x10 ⁻¹	8.76x10 ⁻¹
	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	20.0	20.0	19.0	19.0	19.0	14.9	14.8	7.40x10 ⁻¹	7.40x10 ⁻¹	7.79x10 ⁻¹	7.79x10 ⁻¹	7.79x10 ⁻¹
	37.0	37.0	36.0	36.0	36.0	22.0	22.5	22.5	22.5	23.5	29.7	15.3	6.95x10 ⁻¹	6.80x10 ⁻¹	6.80x10 ⁻¹	6.80x10 ⁻¹	6.51x10 ⁻¹
	59.0	59.5	58.5	58.5	59.5	23.0	23.0	23.5	24.5	24.5	45.0	14.9	6.48x10 ⁻¹	6.48x10 ⁻¹	6.34x10 ⁻¹	6.08x10 ⁻¹	6.08x10 ⁻¹
	82.0	82.5	82.0	83.0	84.0	24.0	26.5	25.5	26.0	26.0	59.9	14.9	6.21x10 ⁻¹	5.62x10 ⁻¹	5.84x10 ⁻¹	5.73x10 ⁻¹	5.73x10 ⁻¹
	106.0	109.0	107.5	109.0	110.0						74.8						
0.01 M CuSO ₄ 5.50 ml.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	15.0	15.0	15.5	14.5	0.0	14.9	1.06	9.93x10 ⁻¹	9.93x10 ⁻¹	9.61x10 ⁻¹	1.03
	14.0	15.0	15.0	15.5	14.5	13.0	13.0	13.5	13.5	13.5	14.9	14.8	1.14	1.14	1.10	1.10	1.10
	27.0	28.0	28.5	29.0	28.0	12.0	14.0	14.0	14.0	14.0	29.7	15.3	1.27	1.09	1.09	1.09	1.09
	39.0	42.0	42.5	43.0	42.0	13.5	14.0	14.5	13.5	14.5	45.0	14.9	1.10	1.06	1.03	1.10	1.03
	52.5	56.0	57.0	56.5	56.5	14.5	16.0	15.0	15.5	15.5	59.9	14.9	1.03	9.31x10 ⁻¹	9.93x10 ⁻¹	9.61x10 ⁻¹	9.61x10 ⁻¹
	67.0	72.0	72.0	72.0	72.0						74.8						

* 3.11 M H_2SO_4 25.5 ml. และ 0.50 g. Zn คงที่

ตาราง 2 (ต่อ)

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา (t) (sec.)					Δt (sec.)					ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)				
	การทดลองครั้งที่...					การทดลองครั้งที่...							การทดลองครั้งที่....				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
0.05 M CuSO ₄ 0.50 ml.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	10.5	12.0	11.0	11.0	0.0	14.9	1.49	1.41	1.24	1.35	1.35
	10.0	10.5	12.0	11.0	11.0	9.0	9.5	10.0	11.0	10.0	14.9	14.8	1.64	1.56	1.48	1.34	1.48
	19.0	20.0	22.0	22.0	21.0	8.0	9.0	9.5	9.5	10.5	29.7	15.3	1.91	1.70	1.61	1.61	1.46
	27.0	29.0	31.5	31.5	31.5	8.5	10.0	10.5	10.5	11.5	45.0	14.9	1.75	1.49	1.42	1.42	1.30
	35.5	39.0	42.0	42.0	43.0	10.5	10.0	10.0	11.0	12.0	59.9	14.9	1.42	1.49	1.49	1.35	1.24
	46.0	49.0	52.0	53.0	55.0						74.8						
0.10 M CuSO ₄ 0.50 ml.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	7.5	9.0	7.0	10.0	0.0	14.9	1.86	1.99	1.66	2.13	1.49
	8.0	7.5	9.0	7.0	10.0	7.0	6.5	8.0	6.0	9.0	14.9	14.8	2.11	2.28	1.85	2.47	1.64
	15.0	14.0	17.0	13.0	19.0	8.0	7.5	8.5	6.5	9.0	29.7	15.3	1.91	2.04	1.80	2.35	1.70
	23.0	21.5	25.5	19.5	28.0	9.0	7.0	9.5	6.5	9.0	45.0	14.9	1.66	2.13	1.57	2.29	1.66
	32.0	28.5	35.0	26.0	37.0	10.0	7.5	9.5	8.0	11.0	59.9	14.9	1.49	1.99	1.57	1.86	1.35
	42.0	36.0	44.5	34.0	48.0						74.8						

ตาราง 32 (ต่อ)

เงื่อนไข การทดลอง	เวลา (t) (sec.)					Δt (sec.)					ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)				
	การทดลองครั้งที่...					การทดลองครั้งที่...							การทดลองครั้งที่...				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
0.50 M CuSO ₄ 0.50 ml.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	4.5	5.0	4.5	4.5	0.0	14.9	2.17	3.31	2.98	3.31	3.31
	5.5	4.5	5.0	4.5	4.5	4.5	4.5	4.0	3.5	4.0	14.9	14.8	3.29	3.29	3.70	4.23	3.70
	10.0	9.0	9.0	8.0	8.5	5.0	5.5	4.0	5.0	4.5	29.7	15.3	3.06	2.78	3.82	3.06	3.40
	15.0	14.5	13.0	13.0	13.0	5.0	5.5	5.0	6.0	5.0	45.0	14.9	2.98	2.71	2.98	2.48	2.98
	20.0	20.0	18.0	19.0	18.0	5.5	6.0	5.0	6.0	5.5	59.9	14.9	2.71	2.48	2.98	2.48	2.71
	25.5	26.0	23.0	25.0	23.5						74.8						
1.00 M CuSO ₄ 0.50 ml.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	3.5	3.5	4.5	3.5	0.0	14.9	4.26	4.26	4.26	3.31	4.26
	3.5	3.5	3.5	4.5	3.5	2.5	3.0	2.5	2.5	2.5	14.9	14.8	5.92	4.93	5.92	5.92	5.92
	6.0	6.5	6.0	7.0	6.0	3.5	3.5	2.0	3.0	3.5	29.7	15.3	4.37	4.37	7.65	5.10	4.37
	9.5	10.0	8.0	10.0	9.5	3.5	4.0	3.5	3.0	3.5	45.0	14.9	4.26	3.72	4.26	4.97	4.26
	13.0	14.0	11.5	13.0	13.0	4.0	5.0	5.0	5.0	4.0	59.9	14.9	3.72	2.98	2.98	2.98	3.72
	17.0	19.0	16.5	18.0	17.0						74.8						

ตาราง 33 แสดงการสังเกตการเกิดก๊าซไฮโดรเจน ในเงื่อนไขการประจุปริมาณเงินไอออน (Ag_2SO_4) ที่เติมลงไป
เป็นกะตาดิสก์ เมื่อปริมาณของกรดซัลฟิวริกและโลหะสังกะสีคงที่* ณ อุณหภูมิห้อง $26.2^\circ - 32.0^\circ C$

เงื่อนไข การทดลอง	เวลา (t) (sec.)					Δt (sec.)					ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)				
	การทดลองครั้งที่...					การทดลองครั้งที่...							การทดลองครั้งที่...				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
ไม่มี Ag ₂ SO ₄	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	0.0	14.9	8.76x10 ⁻¹	8.76x10 ⁻¹	8.76x10 ⁻¹	8.76x10 ⁻¹	8.76x10 ⁻¹
	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	20.0	20.0	19.0	19.0	19.0	14.9	14.8	7.40x10 ⁻¹	7.40x10 ⁻¹	7.79x10 ⁻¹	7.79x10 ⁻¹	7.79x10 ⁻¹
	37.0	37.0	36.0	36.0	36.0	22.0	22.5	22.5	22.5	23.5	29.7	15.3	6.95x10 ⁻¹	6.80x10 ⁻¹	6.80x10 ⁻¹	6.80x10 ⁻¹	6.51x10 ⁻¹
	59.0	59.5	58.5	58.5	59.5	23.0	23.0	23.5	24.5	24.5	45.0	14.9	6.48x10 ⁻¹	6.48x10 ⁻¹	6.34x10 ⁻¹	6.08x10 ⁻¹	6.08x10 ⁻¹
	82.0	82.5	82.0	83.0	84.0	24.0	26.5	25.5	26.0	26.0	59.9	14.9	6.21x10 ⁻¹	5.62x10 ⁻¹	5.84x10 ⁻¹	5.73x10 ⁻¹	5.73x10 ⁻¹
	106.0	109.0	107.5	109.0	110.0						74.8						
0.0016 g Ag ₂ SO ₄	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.0	18.0	17.5	17.0	17.0	0.0	14.9	8.28x10 ⁻¹	8.28x10 ⁻¹	8.51x10 ⁻¹	8.76x10 ⁻¹	8.76x10 ⁻¹
	18.0	18.0	17.5	17.0	17.0	20.0	20.0	20.0	20.0	19.5	14.9	14.8	7.40x10 ⁻¹	7.40x10 ⁻¹	7.40x10 ⁻¹	7.40x10 ⁻¹	7.59x10 ⁻¹
	38.0	38.0	37.5	37.0	36.5	23.0	22.0	21.5	21.0	22.5	29.7	15.3	6.65x10 ⁻¹	6.95x10 ⁻¹	7.12x10 ⁻¹	7.29x10 ⁻¹	6.80x10 ⁻¹
	61.0	60.0	59.0	58.0	59.0	24.0	22.0	24.0	23.0	24.0	45.0	14.9	6.21x10 ⁻¹	6.77x10 ⁻¹	6.21x10 ⁻¹	6.48x10 ⁻¹	6.21x10 ⁻¹
	85.0	82.0	83.0	81.0	83.0	26.0	24.0	24.5	26.5	26.0	59.9	14.9	5.73x10 ⁻¹	6.21x10 ⁻¹	6.08x10 ⁻¹	5.62x10 ⁻¹	5.73x10 ⁻¹
	111.5	106.0	107.5	107.5	109.0						74.8						

* 3.11 M H_2SO_4 25.5 ml. และ 0.50 g. Zn คงที่

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา (t) (sec.)					Δt (sec.)					ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)				
	การทดลองครั้งที่...					การทดลองครั้งที่...							การทดลองครั้งที่...				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
0.0078 g. Ag_2SO_4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.5	15.5	16.0	16.0	16.0	0.0	14.9	9.61×10^{-1}	9.61×10^{-1}	9.31×10^{-1}	9.31×10^{-1}	9.31×10^{-1}
	15.5	15.5	16.0	16.0	16.0	16.5	16.0	16.0	16.5	16.0	14.9	14.8	8.90×10^{-1}	9.25×10^{-1}	9.25×10^{-1}	8.97×10^{-1}	9.25×10^{-1}
	32.0	31.5	32.0	32.5	32.0	18.0	18.5	17.5	17.0	18.0	29.7	15.3	8.50×10^{-1}	8.27×10^{-1}	8.74×10^{-1}	9.07×10^{-1}	8.50×10^{-1}
	50.0	50.0	49.5	49.5	50.0	19.0	20.5	19.5	19.5	19.0	45.0	14.9	7.84×10^{-1}	7.27×10^{-1}	7.64×10^{-1}	7.64×10^{-1}	7.84×10^{-1}
	69.0	70.5	69.0	69.0	69.0	21.0	21.5	20.5	21.0	21.0	59.9	14.9	7.07×10^{-1}	6.93×10^{-1}	7.29×10^{-1}	7.09×10^{-1}	7.09×10^{-1}
	90.0	92.0	89.5	90.0	90.0						74.8						
0.0156 g Ag_2SO_4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	14.0	14.0	13.5	13.5	0.0	14.9	9.93×10^{-1}	1.06	1.06	1.10	1.10
	15.0	14.0	14.0	13.5	13.5	15.0	14.0	14.5	13.5	14.5	14.9	14.8	9.87×10^{-1}	1.06	1.02	1.10	1.02
	30.0	28.0	28.5	27.0	28.0	16.0	15.0	15.5	15.0	15.0	29.7	15.3	9.56×10^{-1}	1.02	9.87×10^{-1}	1.02	1.02
	46.0	43.0	44.0	42.0	43.0	17.5	16.0	16.0	15.0	17.0	45.0	14.9	8.51×10^{-1}	9.31×10^{-1}	9.31×10^{-1}	9.93×10^{-1}	8.76×10^{-1}
	63.5	59.0	60.0	57.0	60.0	19.5	18.0	20.0	18.5	18.0	59.9	14.9	7.64×10^{-1}	8.28×10^{-1}	7.45×10^{-1}	8.05×10^{-1}	8.28×10^{-1}
	83.0	77.0	80.0	75.5	78.0						74.8						

ตาราง 13 (ต่อ)

เงื่อนไข การทดลอง	เวลา (t) (sec.)					Δt (sec.)					ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)				
	การทดลองครั้งที่...					การทดลองครั้งที่...							การทดลองครั้งที่...				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
0.0780 g. Ag_2SO_4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5	10.0	10.0	10.0	10.5	0.0	14.9	1.75	1.49	1.49	1.49	1.41
	8.5	10.0	10.0	10.0	10.5	7.5	10.0	9.0	9.0	10.0	14.9	14.8	1.97	1.48	1.64	1.64	1.48
	16.0	20.0	19.0	19.0	20.5	9.0	10.0	9.5	10.5	10.5	29.7	15.3	1.70	1.53	1.64	1.46	1.46
	25.0	30.0	28.5	29.5	31.0	8.5	10.0	10.0	10.0	10.0	45.0	14.9	1.75	1.49	1.49	1.49	1.49
	33.5	40.0	38.5	39.5	41.0	9.5	12.0	10.5	11.0	11.5	59.9	14.9	1.57	1.24	1.42	1.35	1.30
	43.0	52.0	49.0	50.5	52.5						74.8						
0.1559 g. Ag_2SO_4	0.0	0.0	0.0	0.0	-	7.0	7.0	6.5	8.0	-	0.0	14.9	2.13	2.13	2.29	1.86	-
	7.0	7.0	6.5	8.0	-	6.5	6.5	6.5	8.0	-	14.9	14.8	2.28	2.28	2.28	1.85	-
	13.5	13.5	13.0	16.0	-	7.5	6.5	6.5	8.0	-	29.7	15.3	2.04	2.35	2.35	1.91	-
	21.0	20.0	19.5	24.0	-	7.0	7.0	6.5	9.0	-	45.0	14.9	2.13	2.13	2.29	1.66	-
	28.0	27.0	26.0	33.0	-	8.5	7.5	7.5	9.0	-	59.9	14.9	1.75	1.99	1.99	1.66	-
	36.5	34.5	33.5	42.0	-					-	74.8						

ตาราง 34 แสดงการเกิดกาซไฮโดรเจนต่อเวลา ในเงื่อนไขการแปรผันปริมาณของปรอทซัลเฟต (HgSO_4) ที่เติมลงไปเป็นกะตลิสต์ เมื่อปริมาณของกรรณัลฟริกและโลหะสังกะสี คงที่* ณ อุณหภูมิห้อง $23.8^\circ - 34.0^\circ \text{C}$

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา (t) (sec.)				ปริมาตรที่เกิดขึ้น (V) (ml.)				หมายเหตุ
	การทดลองครั้งที่ ...				การทดลองครั้งที่ ...				
	1	2	3	4	1	2	3	4	
0.0015 g. HgSO ₄	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	มีของแข็งสีเทา ลักษณะเป็นเง ลอยอยู่บน surface ของสารละลาย เมื่อตั้งทิ้งไว้ จะค่อยๆละลาย หายไป
	28.5	26.0	32.5	41.0	14.9	14.9	14.9	14.9	
	133.5	97.0	184.0	413.5	29.7	29.7	29.7	29.7	
	780.0	780.0	780.0	780.0	38.0	42.6	35.6	29.8	
	1080.0	1080.0	1080.0	1080.0	37.4	42.0	34.6	28.8	
0.0075 g. HgSO ₄	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	110.0	131.0	131.0	130.0	14.9	14.9	14.9	14.9	
	420.0	420.0	420.0	420.0	20.8	19.8	21.8	18.6	
	780.0	780.0	780.0	780.0	22.0	20.6	22.4	18.8	
	1080.0	1080.0	1080.0	1080.0	22.0	20.6	22.0	19.0	
0.0148 g. HgSO ₄	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	420.0	420.0	420.0	420.0	12.4	10.8	5.0	9.0	
	780.0	780.0	780.0	780.0	13.6	13.0	5.0	10.4	
	1080.0	1080.0	1080.0	1080.0	14.4	13.6	5.2	11.6	
	1500.0	1500.0	1500.0	1500.0	15.0	14.2	5.2	12.6	

* 3.11 M H_2SO_4 25.5 ml. และ 0.50 g. Zn คงที่

ตาราง 34 (ต่อ)

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา (t) (sec.)			ปริมาตรที่เกิดขึ้น(V) (ml.)			หมายเหตุ
	การทดลองครั้งที่ ...			การทดลองครั้งที่ ...			
	1	2	3	1	2	3	
0.0742 g. HgSO ₄	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	420.0	420.0	420.0	3.2	3.4	3.6	
	780.0	780.0	780.0	4.2	4.8	5.2	
	1080.0	1080.0	1080.0	6.4	6.6	7.2	
	1500.0	1500.0	1500.0	8.2	8.0	10.6	
0.1483 g HgSO ₄	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	420.0	420.0	420.0	4.0	4.6	4.0	
	780.0	780.0	780.0	5.4	7.0	6.4	
	1080.0	1080.0	1080.0	6.4	8.8	8.4	
	1500.0	1500.0	1500.0	8.0	11.2	12.0	

ตาราง 35 แสดงค่าของอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรเจน ในเงื่อนไขการแปรผันอุณหภูมิ (15 - 40° C) เมื่อปริมาณของ
กรดซัลฟริกและโลหะสังกะสีคงที่* ณ อุณหภูมิห้อง 23.0° - 30.3° C

เงื่อนไข การทดลอง	เวลา (t) (sec.)					Δt (sec.)					ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)				
	การทดลองครั้งที่...					การทดลองครั้งที่...							การทดลองครั้งที่...				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
15° C (14.9° - 15.2 °C)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.5	26.5	27.0	29.5	30.0	0.0	14.9	4.88x10 ⁻¹	5.62x10 ⁻¹	5.52x10 ⁻¹	5.05x10 ⁻¹	4.97x10 ⁻¹
	30.5	26.5	27.0	29.5	30.0	31.0	29.5	30.0	31.0	32.5	14.9	14.8	4.77x10 ⁻¹	5.02x10 ⁻¹	4.93x10 ⁻¹	4.77x10 ⁻¹	4.55x10 ⁻¹
	61.5	56.0	57.0	60.5	62.5	31.0	30.5	32.5	31.5	31.5	29.7	15.2	4.90x10 ⁻¹	4.98x10 ⁻¹	4.68x10 ⁻¹	4.82x10 ⁻¹	4.82x10 ⁻¹
	92.5	86.5	89.5	92.0	94.0	32.5	34.0	34.5	34.0	35.0	44.9	15.0	4.61x10 ⁻¹	4.41x10 ⁻¹	4.35x10 ⁻¹	4.41x10 ⁻¹	4.29x10 ⁻¹
	125.0	120.5	124.0	126.0	129.0	37.0	36.5	38.0	36.0	35.5	59.9	14.9	4.03x10 ⁻¹	4.08x10 ⁻¹	3.92x10 ⁻¹	4.14x10 ⁻¹	4.20x10 ⁻¹
	162.0	157.0	162.0	162.0	164.5						74.8						
20° C (19.8° - 20.1 °C)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.0	26.0	28.0	26.5	27.0	0.0	14.9	5.73x10 ⁻¹	5.73x10 ⁻¹	5.32x10 ⁻¹	5.62x10 ⁻¹	5.57x10 ⁻¹
	26.0	26.0	28.0	26.5	27.0	27.5	27.0	29.0	28.5	29.0	14.9	14.8	5.38x10 ⁻¹	5.48x10 ⁻¹	5.10x10 ⁻¹	5.19x10 ⁻¹	5.10x10 ⁻¹
	53.5	53.0	57.0	55.0	56.0	28.5	30.0	30.0	29.5	29.0	29.7	15.2	5.33x10 ⁻¹	5.07x10 ⁻¹	5.07x10 ⁻¹	5.15x10 ⁻¹	5.24x10 ⁻¹
	82.0	83.0	87.0	84.5	85.0	30.0	32.0	31.0	31.5	32.0	44.9	15.0	5.00x10 ⁻¹	4.69x10 ⁻¹	4.84x10 ⁻¹	4.76x10 ⁻¹	4.69x10 ⁻¹
	112.0	115.5	118.0	116.0	117.0	33.0	33.5	34.0	35.5	34.0	59.9	14.9	4.51x10 ⁻¹	4.45x10 ⁻¹	4.38x10 ⁻¹	4.20x10 ⁻¹	4.38x10 ⁻¹
	145.0	149.0	152.0	151.5	151.0						74.8						

* 3.11 M H₂SO₄ 25.5 ml. และ 0.50 g. Zn คงที่

ตาราง 35 (ต่อ)

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา (t) (sec.)					Δt (sec.)					ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)				
	การทดลองครั้งที่...					การทดลองครั้งที่...							การทดลองครั้งที่...				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
25 °C (25.0 ° - 25.3 °C)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.5	26.0	25.5	24.5	26.5	0.0	14.9	5.84×10^{-1}	5.73×10^{-1}	5.84×10^{-1}	6.08×10^{-1}	5.62×10^{-1}
	25.5	26.0	25.5	24.5	26.5	25.5	26.0	25.0	25.0	26.0	14.9	14.8	5.80×10^{-1}	5.69×10^{-1}	5.92×10^{-1}	5.92×10^{-1}	5.69×10^{-1}
	51.0	52.0	50.5	49.5	52.5	27.0	27.0	26.5	27.0	26.0	29.7	15.2	5.63×10^{-1}	5.63×10^{-1}	5.74×10^{-1}	5.63×10^{-1}	5.85×10^{-1}
	78.0	79.0	77.0	76.5	78.5	29.5	29.0	29.0	29.0	29.0	44.9	15.0	5.08×10^{-1}	5.17×10^{-1}	5.17×10^{-1}	5.17×10^{-1}	5.17×10^{-1}
	107.5	108.0	106.0	105.5	107.5	32.5	32.5	31.0	32.5	32.5	59.9	14.9	4.58×10^{-1}	4.58×10^{-1}	4.81×10^{-1}	4.58×10^{-1}	4.58×10^{-1}
	140.0	140.5	137.0	138.0	140.0						74.8						
30 °C (30.2 ° - 30.3 °C)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	19.0	20.0	20.0	20.0	0.0	14.9	7.45×10^{-1}	7.84×10^{-1}	7.45×10^{-1}	7.45×10^{-1}	7.45×10^{-1}
	20.0	19.0	20.0	20.0	20.0	21.0	22.5	22.0	22.0	22.5	14.9	14.8	7.05×10^{-1}	6.58×10^{-1}	6.73×10^{-1}	6.73×10^{-1}	6.58×10^{-1}
	41.0	41.5	42.0	42.0	42.5	22.5	24.5	25.0	23.5	24.0	29.7	15.2	6.76×10^{-1}	6.20×10^{-1}	6.08×10^{-1}	6.47×10^{-1}	6.33×10^{-1}
	63.5	66.0	67.0	65.5	66.5	25.0	26.0	27.5	26.5	27.5	44.9	15.0	6.00×10^{-1}	5.77×10^{-1}	5.45×10^{-1}	5.66×10^{-1}	5.45×10^{-1}
	88.5	92.0	94.5	92.0	94.0	26.5	28.5	29.5	28.0	29.0	59.9	14.9	5.62×10^{-1}	5.23×10^{-1}	5.05×10^{-1}	5.32×10^{-1}	5.14×10^{-1}
	115.0	120.5	124.0	120.0	123.0						74.8						

ตาราง 35 (ต่อ)

เงื่อนไข การทดลอง	เวลา (t) (sec.)					Δt (sec.)					ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)				
	การทดลองครั้งที่...					การทดลองครั้งที่...							การทดลองครั้งที่...				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
35 °C (34.6 - 35.2 °C)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	15.5	15.0	17.0	14.5	0.0	14.9	9.93×10^{-1}	9.61×10^{-1}	9.93×10^{-1}	8.76×10^{-1}	1.03
	15.0	15.5	15.0	17.0	14.5	17.5	17.5	18.5	18.0	16.5	14.9	14.8	8.46×10^{-1}	8.46×10^{-1}	8.00×10^{-1}	8.22×10^{-1}	8.97×10^{-1}
	32.5	33.0	33.5	35.0	31.0	21.5	21.5	21.5	20.5	18.0	29.7	15.2	7.07×10^{-1}	7.07×10^{-1}	7.07×10^{-1}	7.41×10^{-1}	8.41×10^{-1}
	54.0	54.5	55.0	55.5	49.0	23.0	24.0	24.0	22.5	22.5	44.9	15.0	6.52×10^{-1}	6.25×10^{-1}	6.25×10^{-1}	6.67×10^{-1}	6.67×10^{-1}
	77.0	78.5	79.0	78.0	71.5	26.0	26.5	26.0	24.0	23.5	59.9	14.9	5.73×10^{-1}	5.62×10^{-1}	5.73×10^{-1}	6.21×10^{-1}	6.34×10^{-1}
	103.0	105.0	105.0	102.0	95.0						74.8						
40 °C (39.7 - 40.1 °C)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.0	12.5	13.5	12.5	12.5	0.0	14.9	1.15	1.19	1.10	1.19	1.19
	13.0	12.5	13.5	12.5	12.5	15.5	15.5	15.5	14.5	15.0	14.9	14.8	9.55×10^{-1}	9.55×10^{-1}	9.55×10^{-1}	1.02	9.87×10^{-1}
	28.5	28.0	29.0	27.0	27.5	17.5	18.0	19.0	18.0	17.5	29.7	15.2	8.69×10^{-1}	8.44×10^{-1}	8.00×10^{-1}	8.44×10^{-1}	8.69×10^{-1}
	46.0	46.0	48.0	45.0	45.0	20.5	21.0	21.0	20.0	20.5	44.9	15.0	7.32×10^{-1}	7.14×10^{-1}	7.14×10^{-1}	7.50×10^{-1}	7.32×10^{-1}
	66.5	67.0	69.0	65.0	65.5	23.0	24.0	23.0	22.0	23.5	59.9	14.9	6.48×10^{-1}	6.21×10^{-1}	6.48×10^{-1}	6.77×10^{-1}	6.34×10^{-1}
	89.5	91.0	92.0	87.0	89.0						74.8						

ตาราง 36 แสดงการเองอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจน ในเงื่อนไขการ กับภาวะโดยวิธีที่แตกต่างกัน เมื่อปริมาตรของ
กรดซัลฟริกและโลหะสังกะสีคงที่* ณ อุณหภูมิห้อง 31.1° - 33.5° C

เงื่อนไข การทดลอง	เวลา (t) (sec.)					Δt (sec.)					ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)				
	การทดลองครั้งที่...					การทดลองครั้งที่...							การทดลองครั้งที่...				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
วิธี ก. วิธีแทน	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	0.0	14.9	8.76×10^{-1}	8.76×10^{-1}	8.76×10^{-1}	8.76×10^{-1}	8.76×10^{-1}
น้ำจากข้างบน	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	20.0	20.0	19.0	19.0	19.0	14.9	14.8	7.40×10^{-1}	7.40×10^{-1}	7.79×10^{-1}	7.79×10^{-1}	7.79×10^{-1}
และปรับระดับน้ำ	37.0	37.0	36.0	36.0	36.0	22.0	22.5	22.5	22.5	23.5	29.7	15.3	6.95×10^{-1}	6.80×10^{-1}	6.80×10^{-1}	6.80×10^{-1}	6.51×10^{-1}
ใน buret	59.0	59.5	58.5	58.5	59.5	23.0	23.0	23.5	24.5	24.5	45.0	14.9	6.48×10^{-1}	6.48×10^{-1}	6.34×10^{-1}	6.08×10^{-1}	6.08×10^{-1}
ใหม่มีความสูงคงที่	82.0	82.5	82.0	83.0	84.0	24.0	26.5	25.5	26.0	26.0	59.9	14.9	6.21×10^{-1}	5.62×10^{-1}	5.84×10^{-1}	5.73×10^{-1}	5.73×10^{-1}
ด้วยกระป๋อง ยวเรคา	106.0	109.0	107.5	109.0	110.0						74.8						
วิธี ข. วิธีแทน	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.5	17.5	17.0	17.0	17.0	0.0	14.9	8.51×10^{-1}	8.51×10^{-1}	8.76×10^{-1}	8.76×10^{-1}	8.76×10^{-1}
น้ำจากข้างบน	17.5	17.5	17.0	17.0	17.0	19.5	20.5	20.0	19.0	19.0	14.9	14.8	7.59×10^{-1}	7.22×10^{-1}	7.40×10^{-1}	7.79×10^{-1}	7.79×10^{-1}
และปรับระดับน้ำ	37.0	38.0	37.0	36.0	36.0	21.5	22.0	21.5	21.0	20.0	29.7	15.2	7.07×10^{-1}	6.91×10^{-1}	7.07×10^{-1}	7.24×10^{-1}	7.60×10^{-1}
ใน buret	58.5	60.0	58.5	57.0	56.0	23.5	23.0	22.5	24.0	22.5	44.9	15.0	6.38×10^{-1}	6.52×10^{-1}	6.66×10^{-1}	6.25×10^{-1}	6.66×10^{-1}
ด้วยการเลื่อน	82.0	83.0	80.5	81.0	78.5	24.0	25.5	25.5	25.0	25.0	59.9	14.9	6.21×10^{-1}	5.84×10^{-1}	5.84×10^{-1}	5.96×10^{-1}	5.96×10^{-1}
แทนหมุนไม้	106.0	108.5	106.0	106.0	103.5						74.8						

* 3.11 M H₂SO₄ 25.5 ml. และ 0.50 g. Zn คงที่

ตาราง 36 (ต่อ)

เงื่อนไขในการทดลอง วิธี ค. วิธีแทนที่น้ำจากข้างบน โดยไม่มีการปรับระดับน้ำใน buret*

เวลา (t) (sec.)					Δt (sec.)					ปริมาตร (V) (ml.)					ΔV (ml.)					$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)				
การทดลองครั้งที่...					การทดลองครั้งที่...					การทดลองครั้งที่...					การทดลองครั้งที่...					การทดลองครั้งที่...				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.5	17.0	17.5	19.5	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.1	14.9	15.5	16.1	14.9	8.63	8.76	8.86	8.26	8.28
																				$\times 10^{-1}$	$\times 10^{-1}$	$\times 10^{-1}$	$\times 10^{-1}$	$\times 10^{-1}$
17.5	17.0	17.5	19.5	18.0	19.5	20.0	20.5	20.5	20.0	15.1	14.9	15.5	16.1	14.9	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	7.59	7.40	7.22	7.22	7.40
																				$\times 10^{-1}$	$\times 10^{-1}$	$\times 10^{-1}$	$\times 10^{-1}$	$\times 10^{-1}$
37.0	37.0	38.0	40.5	38.0	21.5	21.0	21.0	21.5	21.0	29.9	29.7	30.3	30.9	29.7	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	7.07	7.24	7.24	7.07	7.24
																				$\times 10^{-1}$	$\times 10^{-1}$	$\times 10^{-1}$	$\times 10^{-1}$	$\times 10^{-1}$
58.5	58.0	59.0	61.5	59.0	22.0	23.0	22.5	22.5	22.0	45.1	44.9	45.5	46.1	44.9	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	6.82	6.52	6.66	6.66	6.82
																				$\times 10^{-1}$	$\times 10^{-1}$	$\times 10^{-1}$	$\times 10^{-1}$	$\times 10^{-1}$
80.5	81.0	81.5	84.0	81.0	24.0	26.0	25.0	25.5	25.0	60.1	59.9	60.5	61.1	59.9	14.9	14.9	14.9	14.9	14.9	6.21	5.73	5.96	5.84	5.96
																				$\times 10^{-1}$	$\times 10^{-1}$	$\times 10^{-1}$	$\times 10^{-1}$	$\times 10^{-1}$
104.5	107.0	106.5	109.5	106.0						75.0	74.8	75.4	76.0	74.8										

* การเสนอตารางนี้แตกต่างไปจากตารางอื่น เนื่องจากไม่มีการปรับระดับน้ำใน buret ทำให้ปริมาตรที่วัดได้ในจุดแรกไม่เท่ากัน

ตาราง 36 (ต่อ)

เงื่อนไข การทดลอง	เวลา (t) (sec.)					Δt (sec.)					ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)				
	การทดลองครั้งที่...					การทดลองครั้งที่...							การทดลองครั้งที่...				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
วิธี ง. วิธี แทนที่น้ำจาก ข้างล่าง	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	23.0	29.5	21.0	21.0	0.0	14.9	7.45×10^{-1}	6.48×10^{-1}	5.05×10^{-1}	7.09×10^{-1}	7.09×10^{-1}
	20.0	23.0	29.5	21.0	21.0	10.0	7.0	21.0	12.0	10.0	14.9	14.8	1.48	2.11	7.05×10^{-1}	1.23	1.48
	30.0	30.0	50.5	33.0	31.0	17.5	18.0	21.0	16.0	11.0	29.7	15.2	8.68×10^{-1}	8.44×10^{-1}	7.24×10^{-1}	9.50×10^{-1}	1.38
	47.5	48.0	71.5	49.0	42.0	14.0	17.0	19.5	13.0	20.5	44.9	15.0	1.07	8.82×10^{-1}	7.69×10^{-1}	1.15	7.32×10^{-1}
	61.5	65.0	91.0	62.0	62.5	13.5	14.0	24.0	18.0	18.5	59.9	14.9	1.10	1.06	6.21×10^{-1}	8.28×10^{-1}	8.05×10^{-1}
	75.0	79.0	115.0	80.0	81.0						74.8						

ตาราง 27 แสดงค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาไอโอดีน โดยใช้แว่นเวลาเมื่อเกิดปฏิกิริยาจากไอโอดีนที่มีสารละลาย
เครื่องมืออย่างง่ายที่มีในห้องปฏิบัติการ เมื่อปริมาณของกรดซัลฟูริก โทละสงกะสี และทองแดงวัด คงที่ *

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา (t) (sec.)				Δt (sec.)				ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	ΔV / Δt (ml.-sec. ⁻¹)			
	การทดลองครั้งที่...				การทดลองครั้งที่...						การทดลองครั้งที่...			
	1	2	3	4	1	2	3	4			1	2	3	4
(1) ผลที่ได้จากเครื่องมืออย่างง่ายที่มีในห้องปฏิบัติการ	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	6.0	5.0	5.0	0.0	4.7	9.40x10 ⁻¹	7.83x10 ⁻¹	9.40x10 ⁻¹	9.40x10 ⁻¹
	5.0	6.0	5.0	5.0	10.0	9.0	11.0	11.0	4.7	15.2	1.52	1.69	1.38	1.38
	15.0	15.0	16.0	16.0	8.0	9.0	10.0	10.0	19.9	15.0	1.87	1.67	1.50	1.50
	23.0	29.0	26.0	26.0	10.0	13.0	9.0	11.0	34.9	14.9	1.49	1.15	1.66	1.35
	33.0	42.0	35.0	37.0					49.8					
(2) ก. ผลที่ได้จากเครื่องมือทดสอบและเก็บการเหมือนกับข้อ (1) แต่จับเวลาด้วยเครื่องมือที่สร้างขึ้น	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	4.5	4.0	4.0	0.0	4.7	1.17	1.04	1.17	1.17
	4.0	4.5	4.0	4.0	9.0	9.5	9.0	11.0	4.7	15.2	1.69	1.60	1.69	1.38
	13.0	14.0	15.0	15.0	9.0	13.0	9.5	9.5	19.9	15.0	1.67	1.15	1.58	1.58
	22.0	27.0	24.5	24.5	8.0	11.5	9.5	10.5	34.9	14.9	1.86	1.30	1.57	1.42
	30.0	38.5	34.0	35.0					49.8					

* 3.11 M H₂SO₄ 25.5 ml., 0.50 g. Zn และ 0.01 M CuSO₄ 0.50 ml. คงที่

ตาราง 37 (ต่อ)

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา (t) (sec.)					Δt (sec.)					ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)				
	การทดลองครั้งที่...					การทดลองครั้งที่...							การทดลองครั้งที่...				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
(2) ข. ผลที่ได้จากเครื่องมือเก็บการเหมือนขอ (1) แต่การทดสอบและการจับเวลาไว้ของเครื่องมือที่สร้างขึ้น	0.0	0.0	0.0	0.0	-	12.5	12.0	15.0	16.0	-	0.0	14.9	1.19	1.24	9.93x10 ⁻¹	9.31x10 ⁻¹	-
	12.5	12.0	15.0	16.0	-	7.5	8.5	9.5	9.0	-	14.9	14.8	1.97	1.74	1.56	1.64	-
	20.0	20.5	24.5	25.0	-	11.0	10.5	9.5	11.5	-	29.7	15.2	1.38	1.44	1.60	1.32	-
	31.0	31.0	34.0	36.5	-	10.0	11.5	10.0	11.5	-	44.9	15.0	1.50	1.30	1.50	1.30	-
	41.0	42.5	44.0	48.0	-	10.0	9.0	9.5	12.0	-	59.9	14.9	1.49	1.66	1.57	1.24	-
	51.0	51.5	53.5	60.0	-						74.8						
(2) ค. ผลที่ได้จากเครื่องมือที่สร้างขึ้น	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	15.0	15.0	15.5	14.5	0.0	14.9	1.06	9.93x10 ⁻¹	9.93x10 ⁻¹	9.61x10 ⁻¹	1.03
	14.0	15.0	15.0	15.5	14.5	13.0	13.0	13.5	13.5	13.5	14.9	14.8	1.14	1.14	1.10	1.10	1.10
	27.0	28.0	28.5	29.0	28.0	12.0	14.0	14.0	14.0	14.0	29.7	15.3	1.27	1.09	1.09	1.09	1.09
	39.0	42.0	42.5	43.0	42.0	13.5	14.0	14.5	13.5	14.5	45.0	14.9	1.10	1.06	1.03	1.10	1.03
	52.5	56.0	57.0	56.5	56.5	14.5	16.0	15.0	15.5	15.5	59.9	14.9	1.03	9.31x10 ⁻¹	9.93x10 ⁻¹	9.61x10 ⁻¹	9.61x10 ⁻¹
	67.0	72.0	72.0	72.0	72.0						74.8						

ตาราง 38 แสดงค่าของอัตราการเกิดกาซออกซิเจน ในเงื่อนไขการแปรผันความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อปริมาณของโปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนต

คงที่ * ณ อุณหภูมิห้อง $20.5^{\circ} - 30.8^{\circ}\text{C}$

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา (t) (min., sec.)								Δt (min., sec.)								ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-min. ⁻¹)			
	การทดลองครั้งที่...								การทดลองครั้งที่...										การทดลองครั้งที่...			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4						
0.25 M H ₂ O ₂ 40.0 ml.	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	4.0	0	5.0	0	4.0	0	4.0	0.0	15.2	2.28x10 ²	1.82x10 ²	2.28x10 ²	2.28x10 ²
	0	4.0	0	5.0	0	4.0	0	4.0	0	30.0	0	23.0	0	12.0	0	7.0	15.2	14.6	2.92x10	3.81x10	7.30x10	1.25x10 ²
	0	34.0	0	28.0	0	16.0	0	11.0	1	22.0	1	14.0	0	56.0	0	46.0	29.8	15.2	1.11x10	1.23x10	1.63x10	1.98x10
	1	56.0	1	42.0	1	12.0	0	57.0	2	37.0	2	52.0	2	13.0	2	19.0	45.0	14.8	5.66	5.16	6.68	6.39
	4	33.0	4	34.0	3	25.0	3	16.0	5	47.0	7	19.0	5	37.0	7	7.0	59.8	14.8	2.56	2.02	2.63	2.08
	10	20.0	11	53.0	9	2.0	10	23.0									74.6					
0.29 M H ₂ O ₂ 40.0 ml.	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	4.0	0	4.0	0	4.0	0	4.0	0.0	15.2	2.28x10 ²	2.28x10 ²	2.28x10 ²	2.28x10 ²
	0	4.0	0	4.0	0	4.0	0	4.0	0	18.0	0	17.0	0	49.0	0	34.0	15.2	14.6	4.87x10	5.15x10	1.79x10	2.58x10
	0	22.0	0	21.0	0	53.0	0	38.0	0	44.0	0	50.0	1	47.0	1	11.0	29.8	15.2	2.07x10	1.82x10	8.52	1.28x10
	1	6.0	1	11.0	2	40.0	1	49.0	1	23.0	1	51.0	2	59.0	2	4.0	45.0	14.8	1.07x10	8.00	4.96	7.16
	2	29.0	3	2.0	5	39.0	3	53.0	3	2.0	3	58.0	5	15.0	3	31.0	59.8	14.8	4.88	3.73	2.82	4.21
	5	31.0	7	0.0	10	54.0	7	24.0									74.6					

* 5.0×10^{-3} M KMnO_4 75.0 ml. คงที่

ตาราง 38 (ต่อ)

เงื่อนไข การทดลอง	เวลา (t) (min., sec.)								Δt (min., sec.)								ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-min. ⁻¹)			
	การทดลองครั้งที่...								การทดลองครั้งที่...										การทดลองครั้งที่...			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4						
0.38 M H ₂ O ₂ 40.0 ml.	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	3.0	0	3.0	0	3.0	0	3.0	0.0	15.2	3.04x10 ²	3.04x10 ²	3.04x10 ²	3.04x10 ²
	0	3.0	0	3.0	0	3.0	0	3.0	0	5.0	0	4.0	0	11.0	0	6.0	15.2	14.6	1.75x10 ²	2.19x10 ²	7.96x10	1.09x10 ²
	0	8.0	0	7.0	0	14.0	0	9.0	0	13.0	0	14.0	0	37.0	0	24.0	29.8	15.2	7.02x10	6.51x10	2.46x10	3.80x10
	0	21.0	0	21.0	0	51.0	0	33.0	0	28.0	0	26.0	1	0.0	0	44.0	45.0	14.8	3.17	3.42x10	1.48x10	2.02x10
	0	49.0	0	47.0	1	51.0	1	17.0	0	53.0	0	46.0	1	31.0	1	9.0	59.8	14.8	1.68x10	1.93x10	9.67	1.29x10
	1	42.0	1	33.0	3	22.0	2	26.0									74.6					
0.51 M H ₂ O ₂ 40.0 ml.	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	2.5	0	2.0	0	2.5	0	2.0	0.0	15.2	3.65x10 ²	4.56x10 ²	3.65x10 ²	4.56x10 ²
	0	2.5	0	2.0	0	2.5	0	2.0	0	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	15.2	14.6	1.75x10 ³	1.75x10 ³	1.75x10 ³	1.75x10 ³
	0	3.0	0	2.5	0	3.0	0	2.5	0	1.0	0	1.0	0	1.0	0	0.5	29.8	15.2	9.12x10 ²	9.12x10 ²	9.12x10 ²	1.82x10 ³
	0	4.0	0	3.5	0	4.0	0	3.0	0	1.0	0	1.0	0	1.0	0	0.5	45.0	14.8	8.88x10 ²	8.88x10 ²	5.88x10 ²	1.78x10 ³
	0	5.0	0	4.5	0	5.0	0	3.5	0	1.5	0	2.0	0	2.0	0	1.0	59.8	14.8	5.15x10	4.44x10 ²	4.44x10 ²	8.88x10 ²
	0	6.5	0	6.5	0	7.0	0	4.5									74.6					

ตาราง 38 (ต่อ) เงื่อนไขในการทดลอง 0.12 M H₂O₂ 40.0 ml.* ณ อุณหภูมิห้อง 28.8° - 30.2°C

เวลา (t) (min., sec.)								Δt (min., sec.)								ปริมาตร (V) (ml.)				ΔV (ml.)				$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-min. ⁻¹)							
การทดลองครั้งที่...								การทดลองครั้งที่... --								การทดลองครั้งที่...				การทดลองครั้งที่...				การทดลองครั้งที่...							
1		2		3		4		1		2		3		4		1		2		3		4		1		2		3		4	
0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	4	23.0	5	34.0	4	33.0	4	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.2	15.2	15.2	15.2	3.47	2.73	3.34	3.44				
4	23.0	5	34.0	4	33.0	4	25.0	11	26.0	14	14.0	14	13.0	13	10.0	15.2	15.2	15.2	15.2	14.6	14.6	14.6	14.6	1.28	1.03	1.03	1.11				
15	49.0	19	48.0	18	46.0	17	35.0	29	11.0	25	12.0	26	14.0	27	25.0	29.8	29.8	29.8	29.8	11.4	9.6	10.2	9.8	3.91	3.81	3.89	3.57				
45	0.0	45	0.0	45	0.0	45	0.0									41.2	39.4	40.0	39.6					x10 ⁻¹	x10 ⁻¹	x10 ⁻¹	x10 ⁻¹				

* การเสนอตารางนี้ แตกต่างไปจากตารางอื่น เนื่องจากปริมาตรที่วัดในจุดที่ 3 ไม่เท่ากัน

ตาราง 39 แสดงค่าของอัตราการเกิดการออกซิเจน ในเงื่อนไขการแปรผันความเข้มข้นของโพตัสเซียมเปอร์แมงกาเนต เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ คงที่ * ณ อุณหภูมิห้อง 24.4° - 31.7°C

เงื่อนไข การทดลอง	เวลา (t) (min., sec.)								Δt (min., sec.)								$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-min. ⁻¹)			
	การทดลองครั้งที่...								การทดลองครั้งที่...								การทดลองครั้งที่...			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
5.0x10 ⁻⁴ M KMnO ₄ 75.0 ml.	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	2 11.0	2 29.0	2 26.0	2 39.0	0.0	15.2	6.91	6.12	6.25	5.74						
	2 11.0	2 29.0	2 26.0	2 39.0	2 23.0	2 42.0	2 34.0	3 46.0	15.2	14.6	6.13	5.41	5.69	3.88						
	4 34.0	5 11.0	5 0.0	6 25.0	5 3.0	4 32.0	4 19.0	6 44.0	29.8	15.2	3.01	3.35	3.52	2.26						
	9 37.0	9 43.0	9 19.0	13 9.0	11 3.0	8 12.0	8 3.0	11 16.0	45.0	14.8	1.34	1.80	1.84	1.31						
	20 40.0	17 55.0	17 22.0	24 25.0	24 10.0	17 11.0	20 17.0	24 14.0	59.8	14.8	6.12x10 ⁻¹	8.61x10 ⁻¹	7.30x10 ⁻¹	6.11x10 ⁻¹						
	44 50.0	35 6.0	37 39.0	48 39.0					74.6											
1.0x10 ⁻³ M KMnO ₄ 75.0 ml.	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	1 6.0	1 27.0	0 50.0	1 2.0	0.0	15.2	1.38x10	1.05x10	1.82x10	1.47x10						
	1 6.0	1 27.0	0 50.0	1 2.0	1 18.0	1 49.0	0 50.0	1 12.0	15.2	14.6	1.12x10	8.04	1.75x10	1.22x10						
	2 24.0	3 16.0	1 40.0	2 14.0	2 38.0	2 55.0	1 59.0	2 13.0	29.8	15.2	5.77	5.21	7.66	6.86						
	5 2.0	6 11.0	3 39.0	4 27.0	5 39.0	5 32.0	4 48.0	4 13.0	45.0	14.8	2.62	2.67	3.08	3.51						
	10 41.0	11 43.0	8 27.0	8 40.0	12 42.0	12 34.0	12 8.0	10 37.0	59.8	14.8	1.17	1.18	1.22	1.39						
	23 23.0	24 17.0	20 35.0	19 17.0					74.6											

* 0.25 M H₂O₂ 40.0 ml. คงที่

ตาราง 39 (ต่อ)

เงื่อนไข การทดลอง	เวลา (t) (min., sec.)								Δt (min., sec.)								ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-min. ⁻¹)			
	การทดลองครั้งที่...								การทดลองครั้งที่...										การทดลองครั้งที่...			
	1		2		3		4		1		2		3		4				1	2	3	4
5.0x10 ⁻³ M KMnO ₄ 75.0 ml.	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	4.0	0	5.0	0	4.0	0	4.0	0.0	15.2	2.28x10 ²	1.82x10 ²	2.28x10 ²	2.28x10 ²
	0	4.0	0	5.0	0	4.0	0	4.0	0	30.0	0	23.0	0	12.0	0	7.0	15.2	14.6	2.92x10	3.81x10	7.30x10	1.25x10
	0	34.0	0	28.0	0	16.0	0	11.0	1	22.0	1	14.0	0	56.0	0	46.0	29.8	15.2	1.11x10	1.23x10	1.63x10	1.98x10
	1	56.0	1	42.0	1	12.0	0	57.0	2	37.0	2	52.0	2	13.0	2	19.0	45.0	14.8	5.66	5.16	6.68	6.39
	4	33.0	4	34.0	3	25.0	3	16.0	5	47.0	7	19.0	5	37.0	7	7.0	59.8	14.8	2.56	2.02	2.63	2.08
	10	20.0	11	53.0	9	2.0	10	23.0									74.6					
1.0x10 ⁻² M KMnO ₄ 75.0 ml.	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	3.0	0	3.0	0	2.0	0	3.0	0.0	15.2	3.04x10 ²	3.04x10 ²	4.56x10 ²	3.04x10 ²
	0	3.0	0	3.0	0	2.0	0	3.0	0	13.0	0	13.0	0	7.0	0	7.0	15.2	14.6	6.74x10	6.74x10	1.25x10 ²	1.25x10 ²
	0	16.0	0	16.0	0	9.0	0	10.0	1	12.0	1	24.0	1	9.0	0	37.0	29.8	15.2	1.27x10	1.09x10	1.32x10	2.46x10
	1	28.0	1	40.0	1	18.0	0	47.0	2	18.0	2	47.0	2	11.0	1	43.0	45.0	14.8	6.43	5.32	6.78	8.62
	3	46.0	4	27.0	3	29.0	2	30.0	4	40.0	5	30.0	4	23.0	3	38.0	59.8	14.8	3.17	2.69	3.38	4.07
	8	26.0	9	57.0	7	52.0	6	8.0									74.6					

ตาราง 39 (ต่อ)

เงื่อนไขใน	เวลา (t) (min., sec.)								Δt (min., sec.)								ปริมาตร	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-min. ⁻¹)			
การทดลอง	การทดลองครั้งที่...								การทดลองครั้งที่...								(V)		การทดลองครั้งที่...			
	1		2		3		4		1		2		3		4		(ml.)		1	2	3	4
2.5x10 ⁻² M KMnO ₄ 75.0 ml.	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	2.5	0	2.5	0	2.5	0	2.5	0.0	37.2	8.93x10 ²	8.93x10 ²	8.93x10 ²	8.93x10 ²
	0	2.5	0	2.5	0	2.5	0	2.5	0	1.0	0	0.5	0	0.5	0	0.5	37.2	14.6	8.76x10 ²	1.75x10 ³	1.75x10 ³	1.75x10 ³
	0	3.5	0	3.0	0	3.0	0	3.0	0	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	51.8	15.2	1.82x10 ³	1.82x10 ³	1.82x10 ³	1.82x10 ³
	0	4.0	0	3.5	0	3.5	0	3.5	0	16.0	0	21.5	0	21.5	0	23.5	67.0	14.8	5.55x10	4.13x10	4.13x10	3.78x10
	0	20.0	0	25.0	0	25.0	0	27.0	2	51.0	3	54.0	5	37.0	7	0.0	81.8	14.8	5.19	3.79	2.63	2.11
	3	11.0	4	19.0	6	2.0	7	27.0									96.6					

ตาราง 40 แสดงค่าของอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเจน ในเงื่อนไขการแปรผันความเข้มข้นของกรดซัลฟริก เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และโพตัสเซียมเปอร์แมงกาเนตคงที่ * ณ อุณหภูมิห้อง 23.5 - 33.4 °C

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา (t) (min., sec.)								Δt (min., sec.)								ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-min. ⁻¹)			
	การทดลองครั้งที่...								การทดลองครั้งที่...										การทดลองครั้งที่...			
	1		2		3		4		1		2		3		4				1	2	3	4
ไม่มี H ₂ SO ₄	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	4.0	0	5.0	0	4.0	0	4.0	0.0	15.2	2.28x10 ²	1.82x10 ²	2.28x10 ²	2.28x10 ²
	0	4.0	0	5.0	0	4.0	0	4.0	0	30.0	0	23.0	0	12.0	0	7.0	15.2	14.6	2.29x10	3.81x10	7.30x10	1.25x10 ²
	0	34.0	0	28.0	0	16.0	0	11.0	1	22.0	1	14.0	0	56.0	0	46.0	29.8	15.2	1.11x10	1.23x10	1.63x10	1.98x10
	1	56.0	1	42.0	1	12.0	0	57.0	2	37.0	2	52.0	2	13.0	2	19.0	45.0	14.8	5.66	5.16	6.68	6.39
	4	33.0	4	34.0	3	25.0	3	16.0	5	47.0	7	19.0	5	37.0	7	7.0	59.8	14.8	2.56	2.02	2.63	2.08
	10	20.0	11	53.0	9	2.0	10	23.0									74.6					
5.0x10 ⁻³ M H ₂ SO ₄ 25.0 ml.	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	52.0	0	23.0	0	30.0	0	28.0	0.0	15.2	1.75x10	3.97x10	3.04x10	3.26x10
	0	52.0	0	23.0	0	30.0	0	28.0	1	22.0	0	57.0	0	50.0	0	57.0	15.2	14.6	1.07x10	1.54x10	1.75x10	1.54x10
	2	14.0	1	20.0	1	20.0	1	25.0	2	24.0	2	0.0	1	50.0	2	1.0	29.8	15.2	6.33	7.60	8.24	7.54
	4	38.0	3	20.0	3	10.0	3	26.0	4	30.0	4	6.0	3	57.0	4	6.0	45.0	14.8	3.29	3.61	3.75	3.61
	9	8.0	7	26.0	7	7.0	7	32.0	10	34.0	10	16.0	10	52.0	10	29.0	59.8	14.8	1.40	1.44	1.36	1.41
	19	42.0	17	42.0	17	59.0	18	1.0									74.6					

* 0.25 M H₂O₂ 40.0 ml. และ 5.0x10⁻³ M KMnO₄ 75.0 ml. คงที่

ตาราง 40 (ต่อ)

เงื่อนไข	เวลา (t) (min., sec.)								Δt (min., sec.)								ปริมาตร (V)	ΔV	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-sec. ⁻¹)			
การทดลอง	การทดลองครั้งที่ ...								การทดลองครั้งที่...										การทดลองครั้งที่...			
	1		2		3		4		1		2		3		4		(ml.)	(ml.)	1	2	3	4
1.0x10 ⁻² M H ₂ SO ₄ 25.0 ml.	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	20.0	0	29.0	1	27.0	0	44.0	0.0	15.2	1.14x10	3.14x10	1.05x10	2.07x10
	1	20.0	0	29.0	1	27.0	0	44.0	2	15.0	0	29.0	2	24.0	1	14.0	15.2	14.6	6.49	3.02x10	6.08	1.18x10
	3	35.0	0	58.0	3	51.0	1	58.0	3	32.0	1	17.0	3	51.0	3	12.0	29.8	15.2	4.30	1.18x10	3.95x10	4.75
	7	7.0	2	15.0	7	42.0	5	10.0	5	19.0	3	46.0	5	56.0	7	24.0	45.0	14.8	2.78	3.93	2.49	2.00
	12	26.0	6	1.0	13	38.0	12	34.0	9	39.0	15	18.0	11	1.0	11	54.0	59.8	14.8	1.53	9.67x10 ⁻¹	1.34	1.24
	22	5.0	21	19.0	24	39.0	24	28.0									74.6					
1.75x10 ⁻² M H ₂ SO ₄ 25.0 ml.	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	13.0	1	1.0	1	12.0	1	21.0	0.0	15.2	1.25x10	1.50x10	1.27x10	1.13x10
	1	13.0	1	1.0	1	12.0	1	21.0	1	13.0	0	56.0	0	59.0	1	54.0	15.2	14.6	1.20x10	1.56x10	1.48x10	7.68
	2	26.0	1	57.0	2	11.0	3	15.0	2	48.0	2	21.0	2	22.0	3	55.0	29.8	15.2	5.43	6.47	6.42	3.88
	5	14.0	4	18.0	4	33.0	7	10.0	6	14.0	6	25.0	5	29.0	7	11.0	45.0	14.8	2.37	2.31	2.70	2.06
	11	28.0	10	43.0	10	2.0	14	21.0	16	0.0	16	30.0	16	41.0	15	6.0	59.8	14.8	9.25x10 ⁻¹	8.70x10 ⁻¹	8.87x10 ⁻¹	9.80x10 ⁻¹
	27	28.0	27	13.0	26	43.0	29	27.0									74.6					

ตาราง 40 (ต่อ)

เงื่อนไข การทดลอง	เวลา (t) (min., sec.)						Δt (min., sec.)						ปริมาตร (V) (ml.)			ΔV (ml.)			$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-min. ⁻¹)		
	การทดลองครั้งที่...						การทดลองครั้งที่...						การทดลองครั้งที่...			การทดลองครั้งที่...			การทดลองครั้งที่...		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2.5x10 ⁻² M H ₂ SO ₄ 25.0 ml.	0	0.0	0	0.0	0	0.0	7	0.0	3	0.0	5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	2.0	2.0	2.86x10 ⁻¹	6.67x10 ⁻¹	4.00x10 ⁻¹
	7	0.0	3	0.0	5	0.0	14	30.0	18	30.0	14	0.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	2.0	1.38x10 ⁻¹	1.62x10 ⁻¹	1.43x10 ⁻¹
	21	30.0	21	30.0	19	0.0	11	30.0	8	30.0	11	0.0	4.0	5.0	4.0	1.0	1.2	1.4	8.69x10 ⁻²	1.41x10 ⁻¹	1.27x10 ⁻¹
	33	0.0	30	0.0	30	0.0							5.0	6.2	5.4						
5.0x10 ⁻² M H ₂ SO ₄ 25.0 ml.	0	0.0	0	0.0	0	0.0	5	30.0	7	30.0	6	20.0	0.0	0.0	0.0	2.0	2.0	2.0	3.64x10 ⁻¹	2.67x10 ⁻¹	3.16x10 ⁻¹
	5	30.0	7	30.0	6	20.0	9	30.0	7	30.0	8	40.0	2.0	2.0	2.0	1.2	1.0	1.0	1.26x10 ⁻¹	1.33x10 ⁻¹	1.15x10 ⁻¹
	15	0.0	15	0.0	15	0.0	15	0.0	15	0.0	15	0.0	3.2	3.0	3.0	1.0	0.8	1.0	6.67x10 ⁻²	5.33x10 ⁻²	6.67x10 ⁻²
	30	0.0	30	0.0	30	0.0							4.2	3.8	4.0						

ตาราง 41 แสดงค่าของอัตราการเกิดกาออกซิเจน ในเงื่อนไขการแปรผันความเข้มข้นของกรดเกลือ เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และโปตัสเซียมเปอร์มันกาเนตคงที่ * ณ อุณหภูมิห้อง 24.4 - 31.6 °C

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา (t) (min., sec.)								Δt (min., sec.)								ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-min. ⁻¹)			
	การทดลองครั้งที่...								การทดลองครั้งที่...										การทดลองครั้งที่...			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4						
ไม่มี HCl	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	4.0	0	5.0	0	4.0	0	4.0	0.0	15.2	2.28x10 ²	1.82x10 ²	2.28x10 ²	2.28x10 ²
	0	4.0	0	5.0	0	4.0	0	4.0	0	30.0	0	23.0	0	12.0	0	7.0	15.2	14.6	2.92x10	3.81x10	7.30x10	1.25x10 ²
	0	34.0	0	28.0	0	16.0	0	11.0	1	22.0	1	14.0	0	56.0	0	46.0	29.8	15.2	1.11x10	1.23x10	1.63x10	1.98x10
	1	56.0	1	42.0	1	12.0	0	57.0	2	37.0	2	52.0	2	13.0	2	19.0	45.0	14.8	5.66	5.16	6.68	6.39
	4	33.0	4	34.0	3	25.0	3	16.0	5	47.0	7	19.0	5	37.0	7	7.0	59.8	14.8	2.56	2.02	2.63	2.08
	10	20.0	11	53.0	9	2.0	10	23.0									74.6					
5.0x10 ⁻³ M HCl 25.0 ml.	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	12.0	0	13.0	0	11.0	0	12.0	0.0	15.2	7.60x10	7.02x10	8.29x10	7.60x10
	0	12.0	0	13.0	0	11.0	0	12.0	0	30.0	0	34.0	0	25.0	0	33.0	15.2	14.6	2.92x10	2.58x10	3.50x10	2.65x10
	0	42.0	0	47.0	0	36.0	0	45.0	1	19.0	1	19.0	1	0.0	1	20.0	29.8	15.2	1.15x10	1.15x10	1.52x10	1.14x10
	2	1.0	2	6.0	1	36.0	2	5.0	3	0.0	2	54.0	2	27.0	2	55.0	45.0	14.8	4.93	5.10	6.04	5.07
	5	1.0	5	0.0	4	3.0	5	0.0	9	4.0	8	50.0	7	33.0	9	0.0	59.8	14.8	1.63	1.68	1.96	1.64
	14	5.0	13	50.0	11	36.0	14	0.0									74.6					

* 0.25 M H₂O₂ 40.0 ml. และ 5.0x10⁻³ M KMnO₄ 75.0 ml. คงที่

ตาราง 41 (ต่อ)

เงื่อนไข การทดลอง	เวลา (t) (min., sec.)								Δt (min., sec.)								ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-min. ⁻¹)			
	การทดลองครั้งที่...								การทดลองครั้งที่...										การทดลองครั้งที่...			
	1		2		3		4		1		2		3		4				1	2	3	4
1.0×10^{-2} M	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	41.0	0	32.0	0	30.0	0	25.0	0.0	15.2	2.22×10	2.85×10	3.04×10	3.65×10
HCl 25.0 ml	0	41.0	0	32.0	0	30.0	0	25.0	1	15.0	1	7.0	1	6.0	0	45.0	15.2	14.6	1.17×10	1.31×10	1.33×10	1.95×10
	1	56.0	1	39.0	1	36.0	1	10.0	2	21.0	2	13.0	2	15.0	1	49.0	29.8	15.2	6.47	6.86	6.76	8.37
	4	17.0	3	52.0	3	51.0	2	59.0	4	22.0	4	17.0	4	14.0	4	0.0	45.0	14.8	3.39	3.46	3.50	3.70
	8	39.0	8	9.0	8	5.0	6	59.0	10	16.0	10	16.0	10	15.0	9	10.0	59.8	14.8	1.44	1.44	1.44	1.61
	18	55.0	18	25.0	18	20.0	16	9.0									74.6					
1.75×10^{-2} M HCl 25.0 ml.	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	24.0	0	24.0	0	30.0	0	19.0	0.0	15.2	3.80×10	3.80×10	3.04×10	4.80×10
	0	24.0	0	24.0	0	30.0	0	19.0	0	33.0	0	24.0	0	56.0	0	24.0	15.2	14.6	2.65×10	3.65×10	1.56×10	3.65×10
	0	57.0	0	48.0	1	26.0	0	43.0	1	37.0	1	39.0	1	58.0	1	30.0	29.8	15.2	9.40	9.21	7.73	1.01×10
	2	34.0	2	27.0	3	24.0	2	13.0	4	41.0	5	56.0	5	33.0	5	52.0	45.0	14.8	3.16	2.49	2.67	2.52
	7	15.0	8	23.0	8	57.0	8	5.0	18	42.0	19	17.0	18	20.0	18	47.0	59.8	14.8	7.91×10^{-1}	7.67×10^{-1}	8.07×10^{-1}	7.88×10^{-1}
	25	57.0	27	40.0	27	17.0	26	52.0									74.6					

ตาราง 41 (ต่อ)

เงื่อนไข การทดลอง	เวลา (t) (min., sec.)								Δt (min., sec.)								ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-min. ⁻¹)			
	การทดลองครั้งที่...								การทดลองครั้งที่...										การทดลองครั้งที่...			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4						
2.5x10 ⁻² M HCl 25.0 ml.	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	18.0	0	33.0	0	32.0	0	56.0	0.0	15.2	1.17x10	1.04x10	2.85x10	1.63x10
	1	18.0	0	33.0	0	32.0	0	56.0	2	1.0	0	59.0	0	40.0	1	28.0	15.2	14.6	7.24	1.48x10	2.19x10	9.95
	3	19.0	1	32.0	1	12.0	2	24.0	4	1.0	3	6.0	1	50.0	3	2.0	29.8	15.2	3.78	4.90	8.29	5.01
	7	20.0	4	38.0	3	2.0	5	26.0	8	39.0	8	37.0	5	36.0	6	11.0	45.0	14.8	1.71	1.72	2.64	2.39
	15	59.0	13	15.0	8	38.0	11	22.0	18	4.0	23	8.0	18	37.0	18	7.0	59.8	14.8	8.19x10 ⁻¹	6.40x10 ⁻¹	7.95x10 ⁻¹	8.17x10 ⁻¹
	34	3.0	36	23.0	27	15.0	29	44.0									74.6					
5.0x10 ⁻² M HCl 25.0 ml.	(t) (min., sec.)				t (min., sec.)				V (ml.)			V (ml.)			V/ t (ml.-min. ⁻¹)							
	1	2	3		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3						
	0	0.0	0	0.0	0	0.0	4	15.0	4	0.0	4	17.0	0.0	0.0	0.0	2.0	2.0	2.0	4.71x10 ⁻¹	5.00x10 ⁻¹	4.67x10 ⁻¹	
	4	15.0	4	0.0	4	17.0	10	55.0	13	0.0	10	43.0	2.0	2.0	2.0	2.2	1.0	1.4	2.02x10 ⁻¹	7.69x10 ⁻²	1.31x10 ⁻¹	
	15	10.0	17	0.0	15	0.0	7	50.0	8	0.0	10	0.0	4.2	3.0	3.4	1.8	0.6	1.4	2.30x10 ⁻¹	7.50x10 ⁻²	1.40x10 ⁻¹	
	23	0.0	25	0.0	25	0.0	7	0.0	5	0.0	5	0.0	6.0	3.6	4.8	1.0	0.4	0.4	1.43x10 ⁻¹	8.00x10 ⁻²	8.00x10 ⁻²	
	30	0.0	30	0.0	30	0.0							7.0	4.0	5.2							

ตาราง 42 แสดงค่าของอัตราการเกิดกาออกซิเจน ในเงื่อนไขการแปรผันอุณหภูมิ ($5^{\circ} - 25.0^{\circ} \text{C}$) เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตคงที่ * ณ อุณหภูมิห้อง $21.6^{\circ} - 32.6^{\circ} \text{C}$

เงื่อนไข การทดลอง	เวลา (t) (min., sec.)								Δt (min., sec.)								ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-min. ⁻¹)			
	การทดลองครั้งที่ ...								การทดลองครั้งที่...										การทดลองครั้งที่...			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4						
5 °C (4.5°-5.0° C)	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	48.0	0	36.0	0	45.0	0	40.0	0.0	15.2	1.90x10	2.53x10	2.03x10	2.28x10
	0	48.0	0	36.0	0	45.0	0	40.0	3	20.0	2	30.0	2	55.0	2	52.0	15.2	14.6	4.38	5.84	5.01	5.09
	4	8.0	3	6.0	3	40.0	3	32.0	7	56.0	7	27.0	7	17.0	7	35.0	29.8	15.2	1.92	2.04	2.09	2.00
	12	4.0	10	33.0	10	57.0	11	7.0	15	10.0	13	6.0	13	16.0	14	21.0	45.0	14.8	9.76x10 ⁻¹	1.13	1.12	1.03
	27	14.0	23	39.0	24	13.0	25	28.0	34	47.0	36	6.0	33	31.0	35	48.0	59.8	14.8	4.25x10 ⁻¹	4.10x10 ⁻¹	4.42x10 ⁻¹	4.13x10 ⁻¹
	62	1.0	59	45.0	57	44.0	61	16.0									74.6					
10 °C (9.8°-10.2° C)	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	39.0	0	22.0	0	56.0	0	43.0	0.0	15.2	2.34x10	4.15x10	1.63x10	2.12x10
	0	39.0	0	22.0	0	56.0	0	43.0	3	23.0	4	24.0	3	26.0	3	35.0	15.2	14.6	4.32	3.33	4.25	4.07
	4	2.0	4	46.0	4	22.0	4	18.0	7	25.0	7	46.0	7	58.0	7	16.0	29.8	15.2	2.05	1.96	1.91	2.09
	11	27.0	12	32.0	12	20.0	11	34.0	12	31.0	12	36.0	12	59.0	12	21.0	45.0	14.8	1.18	1.17	1.14	1.20
	23	58.0	25	8.0	25	19.0	23	55.0	21	45.0	21	14.0	23	51.0	21	4.0	59.8	14.8	6.80x10 ⁻¹	6.97x10 ⁻¹	6.20x10 ⁻¹	7.02x10 ⁻¹
	45	43.0	46	22.0	49	10.0	44	59.0									74.6					

* $0.25 \text{ M H}_2\text{O}_2$ 40.0 ml. และ $5.0 \times 10^{-3} \text{ M KMnO}_4$ 75.0 ml. คงที่

ตาราง 42 (ต่อ)

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา (t) (min., sec.)								Δt (min., sec.)								ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-min. ⁻¹)			
	การทดลองครั้งที่...								การทดลองครั้งที่...										การทดลองครั้งที่...			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4						
15 °C (14.7-15.1 °C)	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	1.0	0	29.0	0	27.0	0	39.0	0.0	15.2	1.50x10	3.14x10	3.34x10	2.34x10
	1	1.0	0	29.0	0	27.0	0	39.0	3	56.0	2	10.0	2	31.0	3	14.0	15.2	14.6	3.71	6.74	5.80	4.52
	4	57.0	2	39.0	2	58.0	3	53.0	7	10.0	4	44.0	5	12.0	5	22.0	29.8	15.2	2.12	3.21	2.92	2.83
	12	7.0	7	23.0	8	10.0	9	15.0	9	21.0	8	53.0	8	58.0	9	19.0	45.0	14.8	1.58	1.67	1.65	1.59
	21	28.0	16	16.0	17	8.0	18	34.0	14	19.0	16	43.0	17	14.0	18	26.0	59.8	14.8	1.03	8.85x10 ⁻¹	8.59x10 ⁻¹	8.03x10 ⁻¹
	35	47.0	32	59.0	34	22.0	37	0.0									74.6					
20 °C (19.7-20.1 °C)	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	31.0	0	51.0	0	35.0	0	35.0	0.0	15.2	2.94x10	1.79x10	2.61x10	2.61x10
	0	31.0	0	51.0	0	35.0	0	35.0	1	37.0	1	48.0	2	16.0	2	19.0	15.2	14.6	9.03	8.11	6.44	6.30
	2	8.0	2	3.0	2	51.0	2	54.0	3	21.0	4	5.0	4	9.0	3	46.0	29.8	15.2	4.54	3.72	3.66	4.04
	5	29.0	6	8.0	7	0.0	6	40.0	7	43.0	7	42.0	7	38.0	7	17.0	45.0	14.8	1.92	1.92	1.94	2.03
	13	12.0	13	50.0	14	38.0	13	57.0	15	39.0	15	48.0	14	41.0	14	41.0	59.8	14.8	9.46x10 ⁻¹	9.37x10 ⁻¹	1.07	1.01
	28	51.0	29	38.0	29	19.0	28	38.0									74.6					

ตาราง 42 (ต่อ)

เงื่อนไข การทดลอง	เวลา (t) (min., sec.)								Δt (min., sec.)								ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-min. ⁻¹)			
	การทดลองครั้งที่...								การทดลองครั้งที่...										การทดลองครั้งที่...			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4						
25 °C (25.0-25.6 °C)	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	8.0	0	8.0	0	5.0	0	7.0	0.0	15.2	1.14x10 ²	1.14x10 ²	1.82x10 ²	1.30x10 ²
	0	8.0	0	8.0	0	5.0	0	7.0	1	19.0	0	56.0	0	27.0	1	59.0	15.2	14.6	1.11x10	1.56x10	3.24x10	7.36
	1	27.0	1	4.0	0	32.0	2	6.0	2	25.0	1	54.0	1	28.0	3	28.0	29.8	15.2	6.29	8.00	1.04x10	4.38
	3	52.0	2	58.0	2	0.0	5	34.0	4	38.0	3	49.0	4	2.0	6	16.0	45.0	14.8	3.19	3.88	3.67	2.36
	8	30.0	6	47.0	6	2.0	11	50.0	11	32.0	8	34.0	11	36.0	8	30.0	59.8	14.8	1.28	1.73	1.28	1.74
	30	2.0	15	21.0	17	38.0	20	20.0									74.6					

ตาราง 43 แสดงค่าของอัตราการเกิดกาซออกซิเจน ในเงื่อนไขการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้นกับเครื่องมือที่มีในห้องปฏิบัติการ เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโพตัสเซียมเปอร์มันกานेटคงที่ * ณ อุณหภูมิห้อง 24.4 - 27.6 °C

เงื่อนไขในการทดลอง	เวลา (t) (min., sec.)								Δt (min., sec.)								ปริมาตร (V) (ml.)	ΔV (ml.)	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ (ml.-min. ⁻¹)			
	การทดลองครั้งที่.....								การทดลองครั้งที่.....										การทดลองครั้งที่.....			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4						
(1) ผลที่ได้จากการใช้เครื่องมืออย่างง่ายที่มีในห้องปฏิบัติการ	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	26.0	0	44.0	0	46.0	0	20.0	0.0	5.0	1.15x10	6.82	6.52	1.50x10
	0	26.0	0	44.0	0	46.0	0	20.0	1	19.0	1	16.0	1	9.0	1	15.0	5.0	14.8	1.12x10	1.11x10	1.29x10	1.18x10
	1	45.0	2	0.0	1	55.0	1	35.0	1	32.0	1	38.0	1	55.0	1	30.0	19.8	14.8	9.65	9.06	7.72	9.87
	3	17.0	3	38.0	3	50.0	3	5.0									34.6					
(2) ผลที่ได้จากการใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้น		0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	2	11.0	2	29.0	2	26.0	2	39.0	0.0	15.2	6.96	6.12	6.25	5.74
	2	11.0	2	29.0	2	26.0	2	39.0	2	23.0	2	42.0	2	34.0	3	46.0	15.2	14.6	6.13	5.41	5.69	3.88
	4	34.0	5	11.0	5	0.0	6	25.0	5	3.0	4	32.0	4	19.0	6	44.0	29.8	15.2	3.01	3.35	3.52	2.26
	9	37.0	9	43.0	9	19.0	13	9.0	11	3.0	8	12.0	8	3.0	11	16.0	45.0	14.8	1.34	1.80	1.84	1.31
	20	40.0	17	55.0	17	22.0	24	25.0	24	10.0	17	11.0	20	17.0	24	14.0	59.8	14.8	6.12x10 ⁻¹	8.61x10 ⁻¹	7.30x10 ⁻¹	6.11x10 ⁻¹
	44	50.0	35	6.0	37	39.0	48	39.0									74.6					

* 5.0x10⁻⁴ M KMnO₄ 75.0 ml. และ 0.25 M H₂O₂ 40.0 ml. คงที่

การสร้างเครื่องมือเพื่อใช้สอนอัตราการเกิดกาชไฮโดรเจนและการออกซิเจนในสภาวะต่าง ๆ
มีจุดมุ่งหมายที่จะสร้างเครื่องมือกึ่งอัตโนมัติสำหรับหาอัตราการเกิดกาชเพื่อนำไปใช้หาอัตราการเกิดกาช
ไฮโดรเจนและการออกซิเจนในเงื่อนไขต่าง ๆ

เครื่องมือกึ่งอัตโนมัติสำหรับหาอัตราการเกิดกาชที่สร้างขึ้น เก็บกาชที่เกิดขึ้นโดยการแทนที่
น้ำในหลอดเก็บกาชซึ่งจมอยู่ในกระป๋องยูเรคา จากข้างบนลงไปตามความสูงของหลอดเก็บกาช วัดอัตรา
การเกิดของกาชด้วยแสงและอิเล็กทรอนิกส์ และเทสารเข้าหาปฏิริยาที่กันด้วยหลอดเทสารที่สร้างขึ้น
โดยเฉพาะซึ่งใช้เทสารได้โดยไม่ทำให้ความกดดันของน้ำในหลอดเก็บกาชเปลี่ยนแปลงและใช้เป็นจุด
บังคับเริ่มต้นของการวัดปริมาตรของกาชและการจับเวลาด้วย

อัตราการเกิดกาชไฮโดรเจน ศึกษาจากปฏิริยาของโลหะสังกะสีกับกรดซัลฟริก ผลปรากฏว่า

(1) อัตราการเกิดกาชไฮโดรเจนแปรผันตามปริมาณของทั้งโลหะสังกะสีและกรดซัลฟริก

(2) การเติมทองแดงซัลเฟตหรือเงินซัลเฟตลงไป เป็นคะตาลีส ช่วยเร่งปฏิริยาให้เกิดกาช
ได้เร็วขึ้น อัตราการเกิดกาชไฮโดรเจนเพิ่มสูงขึ้นกว่าในเงื่อนไขที่ไม่ได้เติมเกลือดังกล่าวลงไปมาก
และอัตราการเกิดกาชไฮโดรเจนเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของเกลือที่เติมลงไปด้วย ส่วนการเติมปรอท
ซัลเฟตลงไปทำให้ปฏิริยาเกิดช้าลงมากรวมทั้งปริมาณของกาชไฮโดรเจนลดลงตามลำดับด้วย

(3) อัตราการเกิดกาชไฮโดรเจนเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจาก $15^{\circ} - 40^{\circ} \text{C}$

อัตราการเกิดกาชออกซิเจน ศึกษาจากปฏิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับโปตัสเซียม
เปอร์มังกาเนต ปรากฏผลดังนี้

(1) อัตราการเกิดกาชออกซิเจน แปรผันตามปริมาณของทั้งไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และ
โปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต ซึ่งมีลักษณะอัตราการเกิดกาชแตกต่างกันมาก 2 ช่วงคือ อัตราการเกิด
กาชในช่วงแรกมีค่าสูงมากและในช่วงที่ 2 อัตราการเกิดกาชมีค่าต่ำลงตามลำดับ

(2) การเติมกรดซัลฟริกหรือกรดเกลือลงไป ทำให้อัตราการเกิดกาชออกซิเจนและปริมาณ
ของกาชออกซิเจนที่เกิดขึ้นลดลงตามลำดับตามปริมาณของกรดที่เติมลงไป

(3) อัตราการเกิดกาชออกซิเจนเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ ตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจาก $5^{\circ} - 25^{\circ} \text{C}$