

การศึกษาเกี่ยวกับการศึกษารุ่นและการป้องกันการศึกษา
ของโลหะเหล็ก อลูมิเนียมและทองแดง

ปริญญานิพนธ์

ของ

สุเทพ อู่สาหะ

THE LIBRARY
COLLEGE OF EDUCATION
BANGKOK, THAILAND

เสนอต่อวิทยาลัยวิชาการศึกษา
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต

12 มีนาคม 2514

คณะกรรมการที่ปรึกษาประจำตัวนิติได้พิจารณาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว เห็น
สมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต ของวิทยาลัย
วิชาการศึกษาได้

พ่อกุญ ส. เก่งรอบ ประธาน

สุกัญญา ทรัพย์ กรรมการ

(อริณ) (อริณ) (อริณ) กรรมการ

12 มีนาคม 2514

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือแนะนำอย่างดีจากอาจารย์ คร.นิกา สะเพียรชัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนทรี พิริยะกิจ—และผู้ช่วยศาสตราจารย์เจริญ เครือวัลย์ ทั้งในด้านการทดลองและการตีความจากผลการทดลอง ตลอดจนการตรวจแก้เพิ่มเติม จนเสร็จเรียบร้อย ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณท่านที่ได้กล่าวนามมาแล้วทั้งสามเป็นอย่างสูง

ผู้เขียนขอขอบพระคุณอาจารย์พวงสิน ชูวรรณรัฐ และอาจารย์เกษร เสนีวงศ์ ณ อยุธยา แห่งกองโลหกรรม กรมทรัพยากรธรณี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์โลหะตัวอย่างด้วย The Vreeland Direct Reading Spectroscope พร้อมทั้งกรุณาช่วยจัดการถ่ายภาพโครงสร้างของโลหะให้ทั้งหมดด้วย และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายปฏิบัติการโรงงานเหล็กสยามที่ได้กรุณาวิเคราะห์หาส่วนประกอบของโลหะตัวอย่าง

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่กองวิทยาศาสตร์กรมสรรพาวุธทหารบก ที่กรุณาให้ยืมถึงบรรจุภาชนะตลอดการทดลอง และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่กรมอุณิษยวิทยา ที่กรุณาให้ข้อมูลเกี่ยวกับความชื้นสัมพัทธ์ในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา

ผู้เขียนขอขอบพระคุณอาจารย์ คร.พนธ์ สะเพียรชัย ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

นอกจากนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณอาจารย์อีกหลายท่านที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่มีส่วนให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงไปด้วยดี

สุเทพ อู่สาหะ

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
ภูมิหลัง	1
ความมุ่งหมายในการค้นคว้า	6
ความสำคัญของการค้นคว้า	6
ขอบเขตของการค้นคว้า	7
คำจำกัดความศัพท์เฉพาะ	8
2 เอกสารและผลงานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	9
ทฤษฎีเบื้องต้นหลังการทดลอง	9
การสีกรร่อนและการป้องกันการสีกรร่อนของเหล็ก	15
การสีกรร่อนและการป้องกันการสีกรร่อนของอลูมิเนียม	19
การสีกรร่อนและการป้องกันการสีกรร่อนของทองแดง	22
3 วิธีดำเนินการทดลองและผลการทดลอง	26
การสีกรร่อนของโลหะในอากาศ	26
วิธีเตรียมโลหะและการทำความสะอาด	26
การเคลือบสารที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกรร่อน	27
ภาชนะที่ใช้เก็บโลหะระหว่างการทดลองและการบรรจุโลหะ	27
วิธีการทดลอง	27
ผลการทดลองการสีกรร่อนของโลหะในอากาศ	29
การสีกรร่อนของโลหะในสารละลายของกรด	42
การเตรียมโลหะและการทำความสะอาดชิ้นโลหะ	42
สารละลายที่ใช้ในการทดลอง	42

วิธีการทดลอง	43
การวิเคราะห์การสีกรรอน	43
การวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1 (gravimetric method)	43
ผลการทดลอง	44
การวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2 (complexometric method)	53
เหล็ก	53
ผลการทดลอง	54
อลูมิเนียม	57
ผลการทดลอง	59
ทองแดง	62
ผลการทดลอง	63
4 อภิปราย	67
การสีกรรอนของโลหะในกาช	70
อภิปรายวิธีดำเนินการทดลอง	70
อภิปรายผลการสีกรรอนของโลหะในกาช	73
เหล็ก	75
อลูมิเนียม	80
ทองแดง	83
การสีกรรอนของโลหะในสารละลายของกรด	86
อภิปรายวิธีดำเนินการทดลอง	86
การวิเคราะห์หาอัตราการสีกรรอน	89
การวิเคราะห์หาปริมาณของเหล็ก	89
อภิปรายผลการสีกรรอนของเหล็ก	91
การวิเคราะห์หาปริมาณของอลูมิเนียม	101

บทที่	หน้า
อภิปรายผลการศึกษาก่อนของอดุมิ เนียม	102
การวิเคราะห์หาปริมาณของทองแดง	106
อภิปรายผลการศึกษาก่อนของทองแดง	107
5 สรุปผลการค้นคว้า	114
วิธีดำเนินการทดลอง	115
วิธีการวิเคราะห์	115
ผลการทดลอง	116
บรรณานุกรม	118
ภาคผนวก	123
ภาคผนวก ก.	124
ภาคผนวก ข.	138
ภาคผนวก ค.	211
ภาคผนวก ง.	216

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1. น้ำหนักของเหล็กที่ได้จากการทดลองในบรรยากาศปกติ	30
2. น้ำหนักของเหล็กที่ได้จากการทดลองในบรรยากาศปกติ โดยใช้ 3-quinoline เป็นสารป้องกันการสึกกร่อน	30
3. น้ำหนักของเหล็กที่ได้จากการทดลองในกาซออกซิเจน	31
4. น้ำหนักของเหล็กที่ได้จากการทดลองในกาซออกซิเจน โดยใช้ 1-quinoline เป็นสารป้องกันการสึกกร่อน	31
5. น้ำหนักของเหล็กที่ได้จากการทดลองในกาซคาร์บอนไดออกไซด์	32
6. น้ำหนักของเหล็กที่ได้จากการทดลองในกาซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้ 1-quinoline เป็นสารป้องกันการสึกกร่อน	32
7. น้ำหนักของเหล็กที่ได้จากการทดลองกาซไนโตรเจน	33
8. น้ำหนักของเหล็กที่ได้จากการทดลองในกาซไนโตรเจน โดยใช้ 1-quinoline เป็นสารป้องกันการสึกกร่อน	33
9. น้ำหนักของอลูมิเนียมที่ได้จากการทดลองในบรรยากาศปกติ	34
10. น้ำหนักของอลูมิเนียมที่ได้จากการทดลองในบรรยากาศปกติ โดยใช้ 1-quinoline เป็นสารป้องกันการสึกกร่อน	34
11. น้ำหนักของอลูมิเนียมที่ได้จากการทดลองในกาซออกซิเจน	35
12. น้ำหนักของอลูมิเนียมที่ได้จากการทดลองในกาซออกซิเจน โดยใช้ 1-quinoline เป็นสารป้องกันการสึกกร่อน	35

ตาราง	หน้า
13. น้ำหนักของอลูมิเนียมที่ได้จากการทดลองในก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	36
14. น้ำหนักของอลูมิเนียมที่ได้จากการทดลองในก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้ 1-quinoline เป็นสารป้องกันการสึกกร่อน	36
15. น้ำหนักของอลูมิเนียมที่ได้จากการทดลองในก๊าซไนโตรเจน	37
16. น้ำหนักของอลูมิเนียมที่ได้จากการทดลองในก๊าซไนโตรเจน โดยใช้ 1-quinoline เป็นสารป้องกันการสึกกร่อน	37
17. น้ำหนักของทองแดงที่ได้จากการทดลองในบรรยากาศปกติ	38
18. น้ำหนักของทองแดงที่ได้จากการทดลองในบรรยากาศปกติ โดยใช้ 1-quinoline เป็นสารป้องกันการสึกกร่อน	38
19. น้ำหนักของทองแดงที่ได้จากการทดลองในก๊าซออกซิเจน	39
20. น้ำหนักของทองแดงที่ได้จากการทดลองในก๊าซออกซิเจน โดยใช้ 1-quinoline เป็นสารป้องกันการสึกกร่อน	39
21. น้ำหนักของทองแดงที่ได้จากการทดลองในก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	40
22. น้ำหนักของทองแดงที่ได้จากการทดลองในก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้ 1-quinoline เป็นสารป้องกันการสึกกร่อน	40
23. น้ำหนักของทองแดงที่ได้จากการทดลองในก๊าซไนโตรเจน	41
24. น้ำหนักของทองแดงที่ได้จากการทดลองในก๊าซไนโตรเจน โดยใช้ 1-quinoline เป็นสารป้องกันการสึกกร่อน	41

25. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ aniline เป็นตัว
ป้องกันการสีกกร่อนของเหล็กใน hydrochloric acid ซึ่งวิเคราะห์
ด้วยวิธีที่ 1 44
26. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ phenylhydrazine
เป็นตั้ป้องกันการสีกกร่อนของเหล็กใน hydrochloric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1 44
27. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ pyridine
เป็นตั้ป้องกันการสีกกร่อนของเหล็กใน hydrochloric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1 45
28. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ aniline
เป็นตั้ป้องกันการสีกกร่อนของเหล็กใน sulfuric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1 45
29. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ phenylhydrazine
เป็นตั้ป้องกันการสีกกร่อนของเหล็กใน sulfuric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1 46
30. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ pyridine
เป็นตั้ป้องกันการสีกกร่อนของเหล็กใน sulfuric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1 46
31. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ aniline
เป็นตั้ป้องกันการสีกกร่อนของอลูมิเนียมใน hydrochloric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1 47

ตาราง	หน้า
32. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ phenylhydrazine เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของอลูมิเนียมใน hydrochloric acid ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1	47
33. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ pyridine เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของอลูมิเนียมใน hydrochloric acid ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1	48
34. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ aniline เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของอลูมิเนียมใน sulfuric acid ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1	48
35. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ phenylhydrazine เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของอลูมิเนียมใน sulfuric acid ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1	49
36. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ pyridine เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของอลูมิเนียมใน sulfuric acid ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1	49
37. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ aniline เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของทองแดงใน hydrochloric acid ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1	50
38. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ histidine เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของทองแดงใน hydrochloric acid ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1	50

39. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ pyridine
เป็นตัวยับยั้งการสลายตัวของทองแดงใน hydrochloric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1 51
40. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ aniline
เป็นตัวยับยั้งการสลายตัวของทองแดงใน sulfuric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1 51
41. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ histidine
เป็นตัวยับยั้งการสลายตัวของทองแดงใน sulfuric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1 52
42. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ pyridine
เป็นตัวยับยั้งการสลายตัวของทองแดงใน sulfuric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1 52
43. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ aniline
เป็นตัวยับยั้งการสลายตัวของเหล็กใน hydrochloric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2 54
44. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ phenylhydrazine
เป็นตัวยับยั้งการสลายตัวของเหล็กใน hydrochloric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2 54
45. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ pyridine
เป็นตัวยับยั้งการสลายตัวของเหล็กใน hydrochloric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2 55

46. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ aniline
เป็นตัวยับยั้งการสีกกรอนของเหล็กใน sulfuric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2 55
47. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ phenylhydrazine
เป็นตัวยับยั้งการสีกกรอนของเหล็กใน sulfuric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2 55
48. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ pyridine
เป็นตัวยับยั้งการสีกกรอนของเหล็กใน sulfuric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2 56
49. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ aniline
เป็นตัวยับยั้งการสีกกรอนของอลูมิเนียมใน hydrochloric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2 59
50. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ phenylhydrazine
เป็นตัวยับยั้งการสีกกรอนของอลูมิเนียมใน hydrochloric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2 59
51. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ pyridine
เป็นตัวยับยั้งการสีกกรอนของอลูมิเนียมใน hydrochloric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2 60
52. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ aniline
เป็นตัวยับยั้งการสีกกรอนของอลูมิเนียมใน sulfuric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2 60

53. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ phenylhydrazine
เป็นตัวยับยั้งการสลายตัวของอะลูมิเนียมใน sulfuric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2 61
54. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ pyridine
เป็นตัวยับยั้งการสลายตัวของอะลูมิเนียมใน sulfuric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2 61
55. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ aniline
เป็นตัวยับยั้งการสลายตัวของทองแดงใน hydrochloric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2 63
56. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ histidine
เป็นตัวยับยั้งการสลายตัวของทองแดงใน hydrochloric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2 63
57. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ pyridine
เป็นตัวยับยั้งการสลายตัวของทองแดงใน hydrochloric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2 64
58. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ aniline
เป็นตัวยับยั้งการสลายตัวของทองแดงใน sulfuric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2 64
59. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ histidine
เป็นตัวยับยั้งการสลายตัวของทองแดงใน sulfuric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2 65

ตาราง	หน้า
60. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการใช้ pyridine เป็นตัวป้องกันการสีกกรอนของทองแดงใน sulfuric acid ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2	65
61. ส่วนประกอบของเหล็ก	67
62. ส่วนประกอบของอลูมิเนียม	68
63. ส่วนประกอบของทองแดง	69
64. ค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของเหล็กในกาซต่าง ๆ ใน ช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงครั้งสุดท้ายของการทดลอง	75
65. ส่วนประกอบของเหล็กและอัตราการสีกกรอนของเหล็กในสถานที่ ที่แตกต่างกัน	77
66. ค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของอลูมิเนียมในกาซต่าง ๆ ในช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงครั้งสุดท้ายของการทดลอง	80
67. ค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของทองแดงในกาซต่าง ๆ ตั้งแต่ชั่วโมงแรกถึงชั่วโมงสุดท้ายของการทดลอง	83
68. การสีกกรอนของโลหะผสม	85
69. น้ำหนักของสารที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกกรอนเมื่อคำนวณตามทฤษฎี	88
70. อัตราการสีกกรอนของเหล็กใน hydrochloric acid และ sulfuric acid	92

ตาราง	หน้า
71. ตัวอย่างเปรียบเทียบประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ระหว่างวิธีการข้าง กับ complexometric method.	101
72. อัตราการสีกกรอนของอูมิเนียมใน hydrochloric acid และ sulfuric acid	104
73. อัตราการสีกกรอนของทองแดงใน hydrochloric acid และ sulfuric acid	109
74. อัตราการสีกกรอนของทองแดงใน hydrochloric acid และ sulfuric ที่ Rabald เสนอไว้	110
75. Ionic strength ของ hydrochloric acid และ sulfuric acid ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	113
76. น้ำหนักของเหล็กที่ได้จากการทดลองในบรรยากาศปกติ	126
77. น้ำหนักของเหล็กที่ได้จากการทดลองในบรรยากาศปกติโดยมี เป็นตัวป้องกันการสีกกรอน	127
78. น้ำหนักของเหล็กที่ได้จากการทดลองในกาซออกซิเจน	128
79. น้ำหนักของเหล็กที่ได้จากการทดลองในกาซออกซิเจนโดยมี เป็นตัวป้องกันการสีกกรอน	129

ตาราง	หน้า
80. น้ำหนักของเหล็กที่ได้จากการทดลองในก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	130
81. น้ำหนักของเหล็กที่ได้จากการทดลองในก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยมี 1-quinoline เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อน	131
82. น้ำหนักของเหล็กที่ได้จากการทดลองในก๊าซไนโตรเจน	132
83. น้ำหนักของเหล็กที่ได้จากการทดลองในก๊าซไนโตรเจน โดยมี 1-quinoline เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อน	133
84. น้ำหนักของอลูมิเนียมที่ได้จากการทดลองในบรรยากาศปกติ	134
85. น้ำหนักของอลูมิเนียมที่ได้จากการทดลองในบรรยากาศปกติ โดยมี 1-quinoline เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อน	135
86. น้ำหนักของอลูมิเนียมที่ได้จากการทดลองในก๊าซออกซิเจน	136
87. น้ำหนักของอลูมิเนียมที่ได้จากการทดลองในก๊าซออกซิเจน โดยมี 1-quinoline เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อน	137
88. น้ำหนักของอลูมิเนียมที่ได้จากการทดลองในก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	138
89. น้ำหนักของอลูมิเนียมที่ได้จากการทดลองในก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยมี 1-quinoline เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อน	139
90. น้ำหนักของอลูมิเนียมที่ได้จากการทดลองในก๊าซไนโตรเจน	140
91. น้ำหนักของอลูมิเนียมที่ได้จากการทดลองในก๊าซไนโตรเจน โดยมี 1-quinoline เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อน	141
92. น้ำหนักของทองแดงที่ได้จากการทดลองในบรรยากาศปกติ	142

ตาราง	หน้า
93. น้ำหนักของทองแดงที่ได้จากการทดลองในบรรยากาศปกติ โดยมี 1-quinoline เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อน	143
94. น้ำหนักของทองแดงที่ได้จากการทดลองในก๊าซออกซิเจน	144
95. น้ำหนักของทองแดงที่ได้จากการทดลองในก๊าซออกซิเจน โดยมี 1-quinoline เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อน	145
96. น้ำหนักของทองแดงที่ได้จากการทดลองในก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	146
97. น้ำหนักของทองแดงที่ได้จากการทดลองในก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยมี 1-quinoline เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อน	147
98. น้ำหนักของทองแดงที่ได้จากการทดลองในก๊าซไนโตรเจน	148
99. น้ำหนักของทองแดงที่ได้จากการทดลองในก๊าซไนโตรเจน โดยมี 1-quinoline เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อน	149
100. ผลการวิเคราะห์เหล็กโดยการชั่งใน hydrochloric acid เมื่อมี aniline เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อน	151
101. ผลการวิเคราะห์เหล็กโดยการชั่งใน hydrochloric acid เมื่อมี phenylhydrazine เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อน	152
102. ผลการวิเคราะห์เหล็กโดยการชั่งใน hydrochloric acid เมื่อมี pyridine เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อน	153
103. ผลการวิเคราะห์เหล็กโดยการชั่งใน sulfuric acid เมื่อมี aniline เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อน	154

ตาราง	หน้า
104. ผลการวิเคราะห์เหล็กโดยการชั่งใน sulfuric acid เมื่อมี phenylhydrazine เป็นตัวป้องกันการสีกร่อน	155
105. ผลการวิเคราะห์เหล็กโดยการชั่งใน sulfuric acid เมื่อมี pyridine เป็นตัวป้องกันการสีกร่อน	156
106. ผลการวิเคราะห์ลอมิเนียมโดยการชั่งใน hydrochloric acid เมื่อมี aniline เป็นตัวป้องกันการสีกร่อน	157
107. ผลการวิเคราะห์ลอมิเนียมโดยการชั่งใน hydrochloric acid เมื่อมี phenylhydrazine เป็นตัวป้องกันการสีกร่อน	158
108. ผลการวิเคราะห์ลอมิเนียมโดยการชั่งใน hydrochloric acid เมื่อมี pyridine เป็นตัวป้องกันการสีกร่อน	159
109. ผลการวิเคราะห์ลอมิเนียมโดยการชั่งใน sulfuric acid เมื่อมี aniline เป็นตัวป้องกันการสีกร่อน	160
110. ผลการวิเคราะห์ลอมิเนียมโดยการชั่งใน sulfuric acid เมื่อมี phenylhydrazine เป็นตัวป้องกันการสีกร่อน	161
111. ผลการวิเคราะห์ลอมิเนียมโดยการชั่งใน sulfuric acid เมื่อมี pyridine เป็นตัวป้องกันการสีกร่อน	162
112. ผลการวิเคราะห์ทองแดงโดยการชั่งใน hydrochloric acid เมื่อมี aniline เป็นตัวป้องกันการสีกร่อน	163
113. ผลการวิเคราะห์ทองแดงโดยการชั่งใน hydrochloric acid เมื่อมี histidine เป็นตัวป้องกันการสีกร่อน	164

124.	ผลการวิเคราะห์หัตถ์นิยมใน hydrochloric acid เมื่อมี aniline เป็นตัวป้องกันการสีกกรอนโดย complexometric method	176
125.	ผลการวิเคราะห์หัตถ์นิยมใน hydrochloric acid เมื่อมี phenylhydrazine เป็นตัวป้องกันการสีกกรอนโดย complexometric method	177
126.	ผลการวิเคราะห์หัตถ์นิยมใน hydrochloric acid เมื่อมี pyridine เป็นตัวป้องกันการสีกกรอนโดย complexometric method	178
127.	ผลการวิเคราะห์หัตถ์นิยมใน sulfuric acid เมื่อมี aniline เป็นตัวป้องกันการสีกกรอนโดย complexometric method	179
128.	ผลการวิเคราะห์หัตถ์นิยมใน sulfuric acid เมื่อมี phenylhydrazine เป็นตัวป้องกันการสีกกรอนโดย complexometric method	180
129.	ผลการวิเคราะห์หัตถ์นิยมใน sulfuric acid เมื่อมี pyridine เป็นตัวป้องกันการสีกกรอนโดย complexometric method	181
130.	ผลการวิเคราะห์หัตถ์นิยมใน hydrochloric acid เมื่อมี aniline เป็นตัวป้องกันการสีกกรอนโดย complexometric method	182
131.	ผลการวิเคราะห์หัตถ์นิยมใน hydrochloric acid เมื่อมี histidine เป็นตัวป้องกันการสีกกรอนโดย complexometric method	183
132.	ผลการวิเคราะห์หัตถ์นิยมใน hydrochloric acid เมื่อมี pyridine เป็นตัวป้องกันการสีกกรอนโดย complexometric method	184
133.	ผลการวิเคราะห์หัตถ์นิยมใน sulfuric acid เมื่อมี aniline เป็นตัวป้องกันการสีกกรอนโดย complexometric method	185

ตาราง	หน้า
134. ผลการวิเคราะห์ทองแดงใน sulfuric acid เมื่อมี histidine เป็นตัว ป้องกันการสีกกร่อนโดย complexometric method	186
135. ผลการวิเคราะห์ทองแดงใน sulfuric acid เมื่อมี pyridine เป็นตัว ป้องกันการสีกกร่อนโดย complexometric method	187
136. ปริมาณของ aniline ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อน ของเหล็กใน hydrochloric acid	217
137. ปริมาณของ aniline ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อน ของเหล็กใน sulfuric acid	217
138. ปริมาณของ phenylhydrazine ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อน ของเหล็กใน hydrochloric acid	217
139. ปริมาณของ phenylhydrazine ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อน ของเหล็กใน sulfuric acid	218
140. ปริมาณของ pyridine ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของเหล็ก ใน hydrochloric acid	218
141. ปริมาณของ pyridine ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของเหล็ก ใน sulfuric acid	218
142. ปริมาณของ aniline ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของอลูมิเนียม ใน hydrochloric acid	219
143. ปริมาณของ aniline ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของอลูมิเนียม ใน sulfuric acid	219

ตาราง	หน้า
144. ปริมาณของ phenylhydrazine ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกร่อนของ อลูมิเนียมใน hydrochloric acid	219
145. ปริมาณของ phenylhydrazine ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกร่อนของ อลูมิเนียมใน sulfuric acid	220
146. ปริมาณของ pyridine ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกร่อนของอลูมิเนียม ใน hydrochloric acid	220
147. ปริมาณของ pyridine ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกร่อนของอลูมิเนียม ใน sulfuric acid	220
148. ปริมาณของ aniline ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกร่อนของทองแดง ใน hydrochloric acid	221
149. ปริมาณของ aniline ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกร่อนของทองแดง ใน sulfuric acid	221
150. ปริมาณของ histidine ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกร่อนของทองแดง ใน hydrochloric acid	221
151. ปริมาณของ histidine ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกร่อนของทองแดง ใน sulfuric acid	222
152. ปริมาณของ pyridine ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกร่อนของทองแดง ใน hydrochloric acid	222
153. ปริมาณของ pyridine ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกร่อนของทองแดง ใน sulfuric acid	222

บัญชีกราฟ

กราฟ	หน้า
1 เปรียบเทียบน้ำหนักของเหล็กที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเกิดอ็อกไซด์เคลือบ i-quinoline	190
2 แสดงการสึกกร่อนของอลูมิเนียมในบรรยากาศปกติ	191
3 ประสิทธิภาพของสารที่ป้องกันการสึกกร่อนของเหล็กใน hydrochloric acid 0.02 M	193
4 ประสิทธิภาพของสารที่ป้องกันการสึกกร่อนของเหล็กใน hydrochloric acid 0.10 M	194
5 ประสิทธิภาพของสารที่ป้องกันการสึกกร่อนของเหล็กใน hydrochloric acid 0.50 M	195
6 ประสิทธิภาพของสารที่ป้องกันการสึกกร่อนของเหล็กใน sulfuric acid 0.02 M	196
7 ประสิทธิภาพของสารที่ป้องกันการสึกกร่อนของเหล็กใน sulfuric acid 0.10 M	197
8 ประสิทธิภาพของสารที่ป้องกันการสึกกร่อนของเหล็กใน sulfuric acid 0.50 M	198
9 ประสิทธิภาพของสารที่ป้องกันการสึกกร่อนของอลูมิเนียมใน hydrochloric acid 0.02 M	199
10 ประสิทธิภาพของสารที่ป้องกันการสึกกร่อนของอลูมิเนียมใน hydrochloric acid 0.10 M	200
11 ประสิทธิภาพของสารที่ป้องกันการสึกกร่อนของอลูมิเนียมใน hydrochloric acid 0.50 M	201
12 ประสิทธิภาพของสารที่ป้องกันการสึกกร่อนของอลูมิเนียมใน sulfuric acid 0.02 M	202

13	ประสิทธิภาพของสารที่สกัดจากรากของถั่วเขียวใน sulfuric acid 0.10 M	203
14	ประสิทธิภาพของสารที่สกัดจากรากของถั่วเขียวใน sulfuric acid 0.50 M	204
15	ประสิทธิภาพของสารที่สกัดจากดอกของทองแดงใน hydrochloric acid 0.02 M	205
16	ประสิทธิภาพของสารที่สกัดจากดอกของทองแดงใน hydrochloric acid 0.10 M	206
17	ประสิทธิภาพของสารที่สกัดจากดอกของทองแดงใน hydrochloric acid 0.50 M	207
18	ประสิทธิภาพของสารที่สกัดจากดอกของทองแดงใน sulfuric acid 0.02 M	208
19	ประสิทธิภาพของสารที่สกัดจากดอกของทองแดงใน sulfuric acid 0.10 M	209
20	ประสิทธิภาพของสารที่สกัดจากดอกของทองแดงใน sulfuric acid 0.50 M	210

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 แสดงสัณนิของเหล็กในสารละลายของเกลือที่ร่อยคอกับทองแดง	11
2 แสดงการเกิดสนิมของแท่งเหล็กที่จุ่มส่วนหนึ่งลงไปในสารละลายของเกลือ	11
3 แสดงภาชนะที่ใช้เก็บโลหะตัวอย่าง	28
4 แสดงโครงสร้างของเหล็ก	213
5 แสดงการเกิด oxide ของเหล็ก	213
6 แสดงโครงสร้างของอลูมิเนียม	214
7 แสดงการเกิด oxide ของอลูมิเนียม	214
8 แสดงโครงสร้างของทองแดง	215
9 แสดงการเกิด oxide ของทองแดง	215

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ปัจจุบันทั่วโลกได้ยอมรับกันแล้วว่า วิทยาศาสตร์มีความสำคัญอย่างยิ่ง วิทยาศาสตร์ช่วยเพิ่มพูนกำลัง อำนาจ เศรษฐกิจ และอื่น ๆ แก่มนุษย์ นอกจากนี้ยังช่วยอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในการทำงาน ช่วยก่อให้เกิดความสุขสบายทั้งกายและใจ เหล่านี้เป็นผลจากผลิตภัณฑ์ทางวิทยาศาสตร์อันได้มาจากการค้นคว้าวิจัยทั้งสิ้น ขณะนี้ประเทศต่าง ๆ กำลังพยายามทำการค้นคว้าและวิจัยอย่างมาก เพื่อที่จะเป็นทางสำคัญอย่างหนึ่งในการสร้างความเจริญให้กับประเทศ เซาวันเคอร์กล่าวว่า "... การจักวิชาวิทยาศาสตร์ไว้ในหลักสูตรมีใช้อิทธิพลอันใหญ่หลวงของวิทยาศาสตร์ต่ออารยธรรมในปัจจุบันเท่านั้น ธรรมชาติของวิชานี้เองก็มีค่าสมกับที่จะอยู่ในหลักสูตร เพราะเป็นวิชาที่สอนระเบียบวิธีอันจะสามารถสรุปรวมหลักทั่วไปจากข้อมูลมากมายได้ เป็นการใช้เวลาและความคิดของมนุษย์อย่างประหยัดและให้ประโยชน์มากที่สุด... ล้วนเป็นสิ่งช่วยในการเจริญเติบโตของเด็กในค่านิสิตปัญญา และอารมณ์ซึ่งจะขาดเสียไม่ได้" ¹

วัตถุประสงค์ในการจัดการศึกษามีเหตุผลข้อหนึ่งที่เราได้ชี้ชัดคือ ต้องการให้นักเรียนมีความรู้เกี่ยวกับโลกที่เราอาศัยอยู่ ซึ่งการศึกษาจะจักให้เด็กได้รับในวิชาวิทยาศาสตร์ สิ่งเหล่านี้ จำเป็นต้องจกรวมเข้าเป็นความรู้เป็นระเบียบ และให้เห็นว่า ปรัชญาการต่าง ๆ ที่เด็กคุ้นเคยอยู่ทุกวันนี้ เป็นไปตามระบบในวิชาวิทยาศาสตร์ เซาวันเคอร์กล่าวว่า

ไอช. เอ็น. เซาวันเคอร์ การสอนวิทยาศาสตร์ทั่วไปสำหรับโรงเรียน
มัธยมศึกษาในประเทศอื่น หน้า 12.

"วัตถุประสงค์ที่สำคัญที่สุดในการสอนวิทยาศาสตร์ คือสอนให้นักเรียนรู้จักระเบียบ วิธี และทัศนคติของนักวิทยาศาสตร์ คือสอนให้นักเรียนพยายามใช้ระเบียบ วิธีของวิทยาศาสตร์ ให้เป็นประโยชน์ต่อกันอื่น ๆ ของชีวิต..."¹

พิทักษ์ รัชพลเดช² ได้กล่าวไว้เกี่ยวกับการจัดวิชาวิทยาศาสตร์ไว้ในหลักสูตรว่า ควรจัดให้นักเรียนได้มีโอกาสเรียนวิทยาศาสตร์มาก ๆ คือให้เรียนตั้งแต่เมื่อเริ่มเข้าเรียน ในชั้นประถมศึกษา และเล่าเรียนไปจนกระทั่งจบชั้นมัธยมศึกษา เพื่อให้นักเรียนได้รับความรู้ ทักษะ วิธีวิทยาศาสตร์ และทัศนคติทางวิทยาศาสตร์ เพื่อเป็นพลเมืองที่สามารถ

ตามหลักสูตรประโยคมัธยมศึกษาตอนปลายพุทธศักราช 2503³ ได้กำหนดความ มุ่งหมายของการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ไว้ดังนี้ คือ

1. ให้ความรู้ ความเข้าใจในหลักและทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ สำหรับเป็นพื้นฐาน ที่จะศึกษาในชั้นสูงต่อไป
2. ให้เป็นพื้นฐานที่จะประกอบอาชีพ
3. ให้ความรู้ความเข้าใจในสิ่งแวดล้อม และหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่เป็น ประโยชน์ต่อชีวิต และความสงบสุขของสังคม พร้อมทั้งให้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์จนสามารถ นำไปใช้ในการปรับปรุงความเป็นอยู่ได้
4. ปลุกฝังให้เกิดทักษะในการแก้ปัญหาโดยระเบียบวิธีทางวิทยาศาสตร์
5. ให้มีทัศนคติทางวิทยาศาสตร์
6. ให้รู้จักสงวนรักษาทรัพยากรธรรมชาติ

¹ค.

²พิทักษ์ รัชพลเดช นโยบายการศึกษาฝ่ายวิทยาศาสตร์ หน้า 12.

³กระทรวงศึกษาธิการ หลักสูตรประโยคมัธยมศึกษาตอนปลายพุทธศักราช 2503
หน้า 23.

"... การที่จะบรรลุเป้าหมายสำคัญของการสอนวิทยาศาสตร์นั้น จำเป็นต้องมีการปฏิบัติกร ..." ¹ นอกจากนั้นการปฏิบัติกรยังมีคุณค่าในตัวเองอีกด้วย ดังจะเห็นได้ชัดว่านักเรียนบางคนมีความสามารถเป็นพิเศษโดยธรรมชาติ โรงเรียนจะต้องรับผิดชอบในการฝึกทักษะที่จำเป็นในการใช้เครื่องมือต่าง ๆ ของนักเรียนในห้องปฏิบัติการอันจะเป็นแนวทางในการปฏิบัติงานในอนาคต

แม้ว่าการปฏิบัติกรทางวิทยาศาสตร์เป็นสิ่งที่ขาดเสียมิได้ แต่ก็เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปแล้วว่า สภาพการศึกษาของประเทศไทยยังขาดครูที่มีประสิทธิภาพอยู่มาก รวมทั้งพวกเครื่องมือและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ ดังจะพิจารณาได้จากผลการสำรวจของ คงศักดิ์ พร่อมเทพ ² ซึ่งได้ทำการสำรวจเกี่ยวกับการสอนวิทยาศาสตร์ในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นของครูในโรงเรียนรัฐบาล จังหวัดพระนครเมื่อปี พ.ศ. 2511 จากการสำรวจพบว่า มีครูเป็นจำนวนมากที่สอนวิชาวิทยาศาสตร์โดยไม่เคยใช้ห้องวิทยาศาสตร์เลย และจากผลการสำรวจนี้เป็นเครื่องชี้ได้เป็นอย่างดีว่า โรงเรียนต่าง ๆ ที่ห่างไกลออกไปในชนบทจะอยู่ในสภาพที่ขาดแคลนเครื่องมือและอุปกรณ์มากเพียงใด

วิชาเคมีเป็นสาขาหนึ่งของวิทยาศาสตร์ที่มีความสำคัญไม่น้อยกว่าสาขาอื่น ๆ ในปัจจุบันนี้อาจกล่าวได้ว่า วิชาเคมี มีบทบาทอย่างยิ่งในด้านต่าง ๆ เช่น ในด้านการแพทย์ การเกษตร และการอุตสาหกรรม เป็นต้น นิตา สะเพียรชัย ³ ได้กล่าวว่า "การสอนวิชาเคมีนั้นควรจะมีการทดลองเป็นสำคัญเพื่อให้นักเรียนเข้าใจ และซาบซึ้งถึงวิธีการที่นักวิทยาศาสตร์

¹ เอช. เอ็น. เซาว์เคอร์ ล.ค. หน้า 13.

² คงศักดิ์ พร่อมเทพ การศึกษาเกี่ยวกับการสอนวิทยาศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษาตอนต้นของครูในโรงเรียนรัฐบาล จังหวัดพระนคร พ.ศ. 2511 หน้า 41.

³ นิตา สะเพียรชัย "การเคลื่อนไหวเกี่ยวกับการปรับปรุงการสอนวิชาเคมี" วิสามัญศึกษา 3 : 58 - 62, กรกฎาคม 09.

เสาะแสวงหาความรู้ หลักการ ทฤษฎี หรือความคิดใหม่ ๆ ยิ่งไปกว่านั้นนักเรียนจะได้ "ค้นพบ" ทฤษฎีต่าง ๆ ด้วยตนเองจากการทดลอง โดยวิธีนี้นักเรียนจะรู้สึกตื่นเต้น สนใจ และกระหายที่จะค้นคว้า และศึกษาต่อไป. " ในสภาพที่ความก้าวหน้าทางวิชาการดำเนินไปอย่างกว้างขวางนี้ "...วิชาเคมีเป็นสาขาหนึ่งที่รวมอยู่ในพวกเหล่านั้นด้วย ความก้าวหน้าของวิชาเคมีรู้หน้าไปค่อนข้างจะเร็วกว่าสาขาอื่น..."¹ ดังนั้น ทั้งเนื้อหาที่จะจัดในหลักสูตร และผู้สอนก็ควรจะได้รับ การปรับปรุงให้ทันกับความก้าวหน้าดังกล่าว การปรับปรุงหลักสูตรวิชาเคมีนี้ได้เริ่มแล้วในต่างประเทศแม้แต่ในเอเชีย เช่น ญี่ปุ่น² อินเีย³ เป็นต้น จากเหตุผลดังกล่าว เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกับการขาดแคลนอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ด้วยแล้ว จะเห็นได้ว่าในวงการการศึกษาของประเทศไทยเราควรจะเริ่มส่งเสริมการวิจัยในค่านเนื้อหาวิชา (content research) เพื่อหาวิธีการ หรือประดิษฐ์เครื่องมืออย่างง่าย ๆ สำหรับนำไปสอนในโรงเรียนต่าง ๆ

เมื่อพิจารณาถึงการสอนวิชาเคมีในปัจจุบัน กับความมุ่งหมายของวิชาที่ได้อำหนดไว้ในหลักสูตรแล้วจะเห็นว่า การสอนวิชาเคมียังไม่ใกล้เคียงเท่าที่ควร ทองสุข พงศทัต กล่าวว่า "การสอนวิชาเคมีในชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายนี้ ข้าพเจ้ามีความเห็นว่าค่อนข้างจะล้าหลังเอามากๆ ไม่ทันสมัยกับเขาเอาเสียเลย และวิธีสอนที่ใช้ก็อีกว้ามาก..."⁴ ทั้งนี้เพราะการสอนวิชาเคมีในปัจจุบันนี้เน้นหนักในค่านรายละเอียดปลีกย่อยเกินไปด้วยการท่องจำ มองข้ามการนำหลักการไปประยุกต์เพื่อใช้ในวิถีชีวิตประจำวัน ทำให้การเรียนวิชานี้ขาดคุณค่าไป ดังนั้นจะเห็นได้ว่า

¹S.J. Angyal, "Chemistry Change All the Time; Approach to Chemistry 1969, p. 1.

²นิภา สะเพียรชัย, น.ค.

³กระทรวงศึกษาธิการ กรมวิชาการ กองการวิจัย รายงานการปรับปรุงหลักสูตร และการสอนวิทยาศาสตร์ในโรงเรียนมัธยมของประเทศอินเีย ภาคที่ 1 หน้า 11.

⁴ทองสุข พงศทัต "การสอนวิชาเคมีในชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย" วิทยาศาสตร์ 6 : 520 - 527, มิถุนายน 10.

ทั้งในค่านเนื้อหาวิชา และวิธีสอนของวิชาเคมี ควรจะได้รับการปรับปรุงให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

แบบเรียนวิชาเคมีที่ใช้ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายในปัจจุบันนี้มีเนื้อหาหลายตอน ที่เกี่ยวข้องกับโลหะ และเน้นหนักไปทางวิทยาศาสตร์บริสุทธิ์มากเกินไป เนื้อหาวิชาที่เกี่ยวข้องกับโลหะนั้น ควรจะได้อวดแทรกสิ่งที่เกี่ยวข้องกับโลหะอีกประการหนึ่ง ซึ่งมักจะเกิดขึ้นกับโลหะเสมอ สิ่งนั้นคือ "การสึกกร่อน" (corrosion) ในชีวิตประจำวันของเรานั้น ต้องเกี่ยวข้องกับโลหะในรูปของเครื่องมือเครื่องใช้นานาชนิด เครื่องมือเหล่านี้มีโอกาสที่จะเกิดการสึกกร่อนได้เสมอ ปัญหาเรื่องการสึกกร่อนจึงมีความสำคัญมากทั้งผู้ผลิต และผู้ใช้ นักเรียนควรจะได้มีโอกาสเรียนรู้เกี่ยวกับการสึกกร่อนและการป้องกันการสึกกร่อนบ้างพอสมควร

ปัญหาการสึกกร่อนได้เริ่มมีขึ้นมาหลายปีแล้ว การสูญเสียเปลืองอันเนื่องมาจากการสึกกร่อนนี้เป็นปัญหาสำคัญของวิศวกร จากการประเมินค่าของการสูญเสียจากการสึกกร่อนของเหล็กกล้า ในการนำไปทำสิ่งของต่าง ๆ นั้นนับเป็นจำนวนมหาศาลทีเดียว ในปี ค.ศ. 1940 สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าของสหรัฐอเมริกา ได้ประมาณไว้ว่า ค.ศ. 1854 สหรัฐอเมริกาใช้เหล็กเป็นจำนวน 1760 ล้านตัน แต่ที่เหล็กใช้มาถึงปี 1940 มีเพียง 1200 ล้านตันเท่านั้น นอกนั้นเป็นส่วนที่เสียหายอันเกิดจากการสึกกร่อน ¹

เท่าที่กล่าวมานี้จะเห็นว่าการสึกกร่อนมีบทบาทต่อโลหะอย่างมาก ดังนั้น การศึกษาเกี่ยวกับการสึกกร่อน และการป้องกันการสึกกร่อนจึงควรจะได้รวมอยู่ในบทเรียนของวิชาเคมีด้วย

การสึกกร่อนเป็นสิ่งที่อาจจะเกิดขึ้นได้เสมอ องค์ประกอบสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการสึกกร่อนนั้นมีอยู่มากมาย ซึ่งพอจะสรุปได้ดังต่อไปนี้ ²

1. องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับโลหะ

1.1 Electrode potential ของโลหะในสารละลาย

1.2 Over voltage ของไฮโดรเจนบนแท่งโลหะ

¹F.N. Speller, Corrosion Causes and Prevention, p. 3.

²Ibid. p. 17.

- 1.3 ลักษณะความเป็นเอกพันธ์ทางเคมีและทางกายภาพของผิวโลหะ
- 1.4 ความสามารถของโลหะในการเกิด film ป้องกันการสึกกร่อน
2. องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับสภาวะแวดล้อม
 - 2.1 Hydrogen ion activity (pH) ในสารละลาย
 - 2.2 อิทธิพลของออกซิเจนในสารละลายที่สัมผัสกับโลหะ
 - 2.3 ความเข้มข้น สภาพธรรมชาติ และการแพร่กระจายของ ions อื่น ๆ

ในสารละลาย

- 2.4 อัตราการไหลของสารละลายที่สัมผัสกับโลหะ
- 2.5 ความสามารถในการสร้างผลิตภัณฑ์ป้องกันการสึกกร่อนบนโลหะ
- 2.6 อุณหภูมิ
- 2.7 ความเค้น (static or cyclic stress)
- 2.8 การสัมผัสกันระหว่างโลหะต่างชนิดหรือวัตถุอื่น ๆ อันจะเป็นผลต่อการสึกกร่อน

ความมุ่งหมายในการค้นคว้า

1. เพื่อศึกษาการสึกกร่อนของโลหะ เหล็ก อลูมิเนียม และทองแดง ภายใต้สภาวะต่าง ๆ
2. เพื่อศึกษาสารบางชนิดที่มีสมบัติชะขวางการสึกกร่อน
3. เพื่อค้นคว้าหาการทดลองง่าย ๆ เพื่อใช้สอนเรื่องการสึกกร่อน

ความสำคัญของการค้นคว้า

1. ผลจากการศึกษา เรื่องนี้จะทำให้ผู้สอนวิชา เคมีในระดับมัธยมศึกษาทราบถึงวิธีการทดลองเกี่ยวกับการสึกกร่อนและการป้องกันอย่างง่าย ๆ
2. ผลจากการศึกษา เรื่องนี้จะ เป็นแนวทางให้ครูผู้สอนวิชา เคมีรู้จักใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ค้นคว้าหาความจริงบางประการประกอบการสอนได้

3. ผลจากการศึกษาค้นคว้าเรื่องนี้เมื่อนำไปสอนจะทำให้ผู้เรียนนำความรู้ที่ได้รับไปใช้ในชีวิตประจำวันได้

ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า

1. การศึกษาครั้งนี้จะศึกษาทั้งในด้านคุณภาพวิเคราะห์ (qualitative analysis) และในด้านปริมาณวิเคราะห์ (quantitative analysis) เฉพาะเหล็ก อลูมิเนียม และทองแดง เท่านั้น

2. สภาวะแวดล้อมที่จะใช้ในการศึกษามีดังนี้คือ

2.1 การศึกษาการร่อนในบรรยากาศปกติ และในกาซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจนที่ปราศจากความชื้น

2.2 การเคลือบโลหะด้วย 1-quinoline ซึ่งเป็นสารป้องกันการสึกกร่อน
ในข้อ 2.1

2.3 การศึกษาการร่อนของโลหะในสารละลายของ hydrochloric acid และ sulfuric acid ที่มีความเข้มข้น 0.02M, 0.10M และ 0.50M

2.4 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อเติมสารที่เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อนคือ aniline, phenylhydrazine, pyridine และ histidine ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กันลงไปในสารละลายข้อ 2.3

3. เทคนิคที่ใช้ในการค้นคว้า

3.1 ด้านคุณภาพวิเคราะห์

3.1.1 การวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1 ใช้ chemical method

3.1.2 การวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2 ใช้ inspection method

3.2 ด้านปริมาณวิเคราะห์

3.2.1 การวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1 ใช้ gravimetric method

3.2.2 การวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2 ใช้ complexometric method

คำจำกัดความที่เฉพาะ

1. การสึกกร่อน (corrosion) หมายถึงการที่โลหะถูกทำลายโดยปฏิกิริยาทางเคมีหรือปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี (electrochemical reaction) จากสภาวะแวดล้อม
2. สภาวะแวดล้อม (environment) หมายถึงสิ่งที่อยู่รอบ ๆ โลหะประกอบด้วย อุณหภูมิ ก๊าซ ประเภทของสารละลาย hydrogen ion activity-pH และความเข้มข้นของสารละลาย
3. สารป้องกันการสึกกร่อน (inhibitor-applied to corrosion) หมายถึงสารเคมีหรือของผสมที่เติมลงไปในสภาวะแวดล้อมนั้นเพียงเล็กน้อยแล้วมีผลทำให้การสึกกร่อนลดน้อยลง

บทที่ 2

เอกสารและผลงานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ตามความมุ่งหมายของการศึกษา เกี่ยวกับการสึกกร่อน และการ ป้องกันการ
สึกกร่อนของโลหะที่กล่าวไว้ในบทที่ 1 นั้น ผู้เขียนจะขออ้างอิงเอกสารและการทดลอง
ที่เกี่ยวข้องโดยจะแบ่งเป็นประเภท ๆ ไป ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎีเบื้องหลังการทดลอง

ในปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นนั้นหากเรานำข้อมูลทาง **Thermodynamics**
มาพิจารณาแล้วจะพบว่าค่า **free energy change** จะลดลงเสมอ ¹ ปฏิกิริยาของโลหะ
ซึ่งตามปกติมักจะ เกิดขึ้นกับออกซิเจนหรือน้ำก็เป็นไปตามกฎเกณฑ์อันนี้เช่นเดียวกัน ²
สำหรับอัตราเร็วของปฏิกิริยาโดยทั่วไปจะพิจารณาจาก **reaction kinetics** ³
แต่การสึกกร่อนจะช้าหรือเร็วขึ้นขึ้นกับ **film** ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยา ⁴
ตามปกติแล้ว **film** มักจะเป็นตัวกีดกันโลหะให้แยกออกจากสารที่เป็นตัวที่ทำให้เกิดการ
สึกกร่อนของโลหะบางชนิดบางมากจนมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น การสึกกร่อนจะเกิดขึ้น
อย่างรวดเร็วก็ต่อเมื่อ **film** ที่เกิดขึ้นนั้นไม่เป็นตัวกีดขวางในการทำปฏิกิริยาของโลหะ
หรือละลายได้ในของเหลวนั้น ๆ ในบางกรณีโลหะอาจจะละลายได้ในรูปของ **oxide**
หรือ **hydroxide** เป็นต้นว่า เหล็ก เมื่อใส่ลงไปใต้น้ำกลั่นภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน

¹L.A. Haller Jr., and R.H. Herber, Principle of Chemistry, p. 585.

²H.H. Uhlig, Corrosion Handbook, p. 3.

³S. Glasstone and D. Lewis, Elements of Physical Chemistry, p. 601.

⁴H.H. Uhlig, loc. cit.

จำนวนจำกัด เหล็กจะละลายน้ำได้ในรูปของ ferrous hydroxide แล้วอาจจะมีส่วนกลายไปเป็น ferric oxide (สนิมสีน้ำตาล) ¹ สนิมที่เกิดขึ้นอาจจะตกตะกอนหรือเกาะติดอยู่บนชิ้นเหล็กนั้นได้ ในกรณีที่มีสนิมเกาะที่ชิ้นเหล็กมันไม่สามารถป้องกันการสึกกร่อนได้ ทั้งนี้เพราะ film ที่เกาะอยู่กับชิ้นเหล็กนั้นไม่สม่ำเสมอ การทดลองดังกล่าวนี้หากมีออกซิเจนมากพอแล้ว สนิมจะมีโอกาสเกิดขึ้นมากกว่านี้อีกหลายเท่า

ปฏิกิริยาการสึกกร่อนของโลหะส่วนใหญ่ สามารถอธิบายได้ในแง่ของเคมีไฟฟ้า (electrochemistry) ซึ่งเกี่ยวกับการถ่ายเท electron เพื่อที่จะเข้าใจการไหลของกระแสไฟฟ้าในแท่งโลหะได้ง่ายขึ้น จะขออธิบายเกี่ยวกับ ขั้วบวกและ

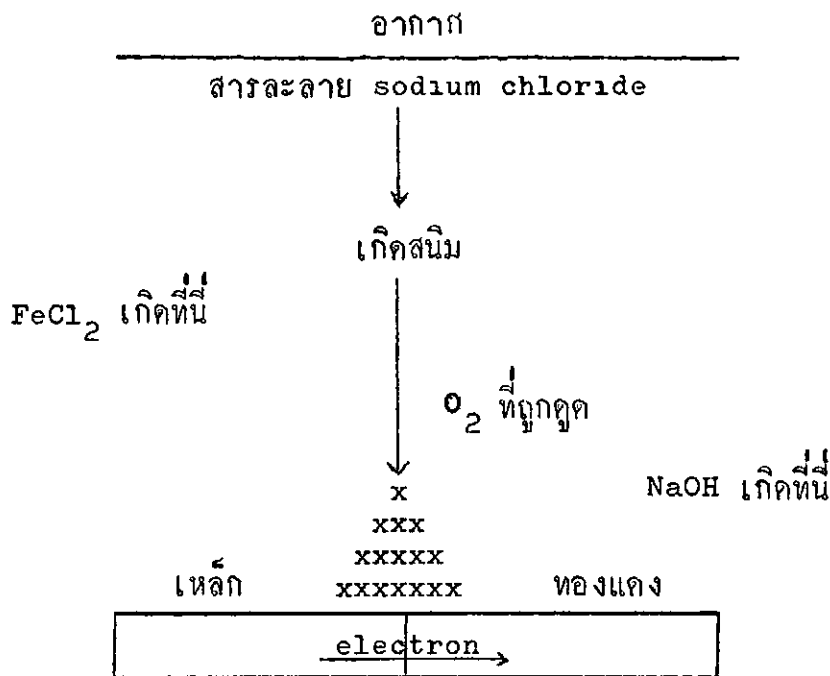
ขั้วลบ โดยพิจารณาจากตัวอย่างต่อไปนี้ ² เมื่อนำแท่งเหล็กที่ต่อกับทองแดง ไปจุ่มในสารละลายของ sodium chloride ภายใต้บรรยากาศปกติ (ดังภาพ 1) จะมีการไหลของกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น electron จะไหลจากแท่งเหล็กซึ่งทำหน้าที่เป็น ขั้วบวก ไปยังแท่งทองแดงซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วลบ ปฏิกิริยานี้ขึ้นกับอัตราการดูดซึมของออกซิเจนด้วย ออกซิเจนจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขั้วลบ ในขั้นแรกจะมี ferrous chloride เกิดขึ้นที่ขั้วบวกและ sodium hydroxide ที่ขั้วลบ บริเวณตรงกลางซึ่งเป็นรอยต่อของโลหะทั้งสองนั้น จะมีผลิตภัณฑ์ทั้งสองปนกันทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อไปได้ ferrous hydroxide ผลิตภัณฑ์ใหม่นี้จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนต่อไปได้ hydrated ferric oxide ซึ่งเป็นสนิมสีน้ำตาล

ในทำนองเดียวกันถ้าใช้แท่งเหล็กจุ่มลงในสารละลายของ sodium chloride ในแนวดิ่ง โดยให้บางส่วนของแท่งเหล็กอยู่เหนือสารละลาย electron จะวิ่งจากส่วนล่างซึ่งทำหน้าที่เป็น ขั้วบวก ขึ้นไปข้างบนซึ่งทำหน้าที่เป็น ขั้วลบ

¹G.D. Bengough and others, Proc. Roy. Soc., 116 (A), 449 (1927).

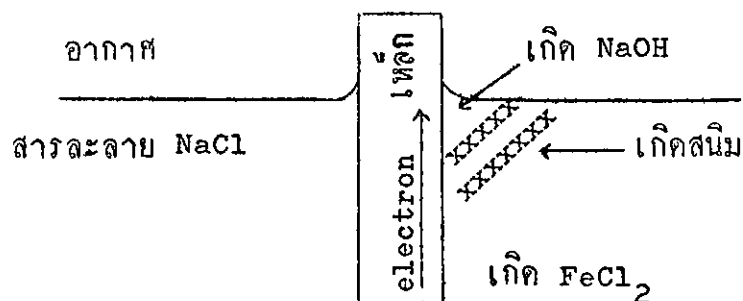
²H.H. Uhlig, op. cit. pp. 3-6.

เมื่อปฏิกิริยาเกิดขึ้นก็จะได้ผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกัน (ดังภาพ 2)¹



ภาพ 1. แสดงสนิมของเหล็กในสารละลายของเกลือที่รอยต่อกับทองแดง

เมื่อปล่อยไว้นาน ๆ ก็จะมีเกิด ขี้ขาว และ ขี้ขาว เป็นหย่อม ๆ ทั่วไปบนผิวของโลหะทำให้โลหะในแต่ละส่วนมีสมบัติแตกต่างไปจากเดิม เหตุที่เป็นดังนี้เนื่องจากออกซิเจนส่วนใหญ่ถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาที่ขี้ขาว และก็มีเพียงบริเวณที่ใกล้ ๆ

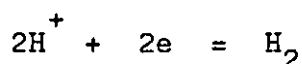


ภาพ 2. แสดงการเกิดสนิมของแท่งเหล็กที่จุ่มส่วนหนึ่งลงในสารละลายของเกลือ

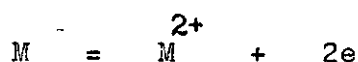
¹Ibid.

กับระดับน้ำเท่านั้นที่ได้รับออกซิเจนเต็มที่ ดังนั้น cathodic area ซึ่งเป็นบริเวณที่ได้รับออกซิเจนไม่เต็มที่จึงเปลี่ยนสภาพจากขั้วลบมาเป็นขั้วบวก ทำให้เกิดรอยรูลทั่วทั้งไปตามพื้นผิวของโลหะ

การสึกกร่อนของโลหะในสารละลายของกรดที่ไม่เป็นตัวออกซิไดซ์¹ นั้นสามารถดำเนินไปได้ด้วยดีแม้ว่าไม่มีออกซิเจนเลย ปฏิริยาที่ cathodic area เป็นการลดก๊าซไฮโดรเจนออกมาดังสมการ



สมการนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงโดยทั่ว ๆ ไปที่ขั้วลบ ในปฏิริยาดังกล่าวจะทำให้ค่า pH สูงขึ้น สำหรับปฏิริยาที่ขั้วบวกก็จะเป็นไปตามสมการดังนี้ (สมมติว่าโลหะเป็นพวก divalent)



Palmaer และคณะ² ได้ศึกษาปฏิริยาระหว่างเหล็กหล่อ (cast iron) กับกรด เขาพบว่าเมื่อกาแฟไฟฟ้าเล็ก ๆ ที่ปนอยู่ในเหล็กนั้นจะทำหน้าที่เป็นขั้วลบ ผลการทดลองของเขาครั้งนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Hoar และคณะ³ ซึ่งพบว่าในปฏิริยาระหว่างเหล็กกับพวกกรดอินทรีย์นั้น จะมีซีเมนไตต์เป็นขั้วลบ ในกรณีที่เหล็กมีกำมะถันปนอยู่มากจะมีอิทธิพลอย่างมากในการทำปฏิริยากับกรด ทั้งนี้เนื่องจาก hydrogen sulfide จะไปกระตุ้นปฏิริยาที่ขั้วบวก

¹Ibid. pp. 8-9.

²W. Palmaer and others, Ing. Vetenskaps. Akad: Handl, 108, 98 (1931).

³T.P. Hoar and D. Havenhand, J. Iron Steel Inst. (London), 9, 27 pp. (1936).

การสึกกร่อนที่เกิดขึ้นในกรณีนั้น หากผลิตภัณฑ์ละลายในสารละลายกรดได้น้อยแล้ว ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมักจะเกาะอยู่กับชิ้นโลหะซึ่งเป็นการป้องกันการสึกกร่อนไปด้วย ความต้านทานการสึกกร่อนของโลหะพวก trivalent ในสารละลายของ nitric acid นั้นเป็นผลมาจาก sesquioxide ของโลหะที่เกิดขึ้นละลายได้ชั้นนั้นเอง เมื่อลองแยก film ของ ferric oxide มาจากแท่งโลหะแล้วนำไปใส่ในสารละลายของ sulfuric acid เจือจาง โดยอุ่นไฟให้ร้อนเป็นเวลาหลายชั่วโมงก็พบว่ายังไม่ละลาย¹ หาก film อันเดียวกันนี้เมื่อเกาะอยู่ที่แท่งเหล็กแล้วนำไปจุ่มในสารละลาย sulfuric acid อันเข้มข้น film นี้จะละลายหมดภายใน 1 นาที ทั้งนี้เพราะเกิดเป็น cell $Fe:Acid:Fe_2O_3$ ขึ้นที่ film ซึ่งทำให้ Fe_2O_3 ถูกรีดิวซ์ไปเป็น ferrous form ที่ละลาย พวก ferrous นี้ละลายน้ำได้ กระบวนการทำลาย film ของ ferric oxide ดังกล่าวนี้อาจหลีกเลี่ยงได้โดยการใช้วิธีป้องกันมิให้ถูก reduce ไปเป็น ferrous form เป็นต้นว่า การป้องกันที่ขั้วบวกหรือการเติมสารประกอบพวก oxidising agent ในกรด (เช่น chromic acid) สำหรับ nitric acid มีสมบัติเป็นทั้ง oxidising agent และกรด เมื่อมีความเข้มข้นมาก ๆ สมบัติ oxidising agent จะเด่นกว่า มันจะ oxidise ผิวของเหล็กให้เกิด film ที่สามารถป้องกันการสึกกร่อนได้ แต่เมื่อมีความเข้มข้นต่ำสมบัติเป็นกรดจะเด่นทำให้เกิดการสึกกร่อนได้

การที่ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากขั้วบวกละลายได้เป็นจำนวนน้อยก็จะเป็นผลให้อัตราการสึกกร่อนลดลงได้ ทานองเดียวกันผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบก็จะมีพฤติกรรมในลักษณะเดียวกันได้ ดังนั้นตัวป้องกันการสึกกร่อนจึงแยกออกได้เป็นสองประเภท² คือตัวป้องกันการสึกกร่อนที่ขั้วบวก (anodic inhibitor) และตัวป้องกันการสึกกร่อนที่ขั้วลบ (cathodic inhibitor) , ตัวป้องกันการสึกกร่อนที่ขั้วบวกมีประสิทธิภาพดีมาก Uhlig³ กล่าวว่า

¹ U.R. Evan, Nature, 126, 130 - 131 (1929).

² L.L. Sheir, Corrosion, Vol. 2, p. 13.13.

³ H.H. Uhlig, op. cit. p. 9.

เมื่อเติมตัวป้องกันนี้ในปริมาณที่เหมาะสมแล้วจะสามารถป้องกันการสึกกร่อนของเหล็กได้ดี แต่ถ้าเติมไม่เพียงพอแล้วปฏิกิริยาจะเกิดตรงกันข้าม กล่าวคือจะเร่งปฏิกิริยาให้เร็วกว่าเดิม ดังนั้นตัวป้องกันการสึกกร่อนที่ชั่ววอกจึงอาจเป็นอันตรายต่อโลหะได้ สารประเภทนี้ได้แก่ sodium carbonate, sodium phosphate และพวก silicate หรือพวก chromate สำหรับสารสามตัวแรกจะทำปฏิกิริยากับเหล็กเกิดสารประกอบที่ละลายน้ำได้น้อย และเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากชั่ววอกโดยตรง ส่วน chromate จะทำปฏิกิริยา (interact) กับเกลือของพวก ferrous ต่าง ๆ แล้วจึงรวมกับพวก ferric และ chromic (hydrated) oxide เหล็กที่คั่งทิ้งไว้ในอากาศนั้นก็เกิด film ขึ้นได้เหมือนกัน หากแต่ว่า film ที่เกิดขึ้นนี้มีลักษณะไม่ต่อเนื่องกันและต่างกับ film ที่เกิดขึ้นในน้ำ

ตัวป้องกันการสึกกร่อนที่ชั่วลบ สารที่ทำหน้าที่ประเภทนี้ไม่สามารถทำหน้าที่ได้สมบูรณ์เท่าประเภทแรก แต่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยกว่า และแม้ว่าจะใช้ไม่เพียงพอก็ไม่ทำให้เกิดผลเสียหายแก่โลหะแต่อย่างใด ตัวป้องกันการสึกกร่อนที่ชั่วลบของท่อเหล็ก ซึ่งใช้ในการระบายน้ำตามธรรมชาติก็คือ calcium bicarbonate ท่อนี้จะเคลือบด้วย calcium carbonate ซึ่งได้จากปฏิกิริยาที่ชั่วลบ สำหรับ pH จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย calcium carbonate ทำปฏิกิริยาที่ชั่ววอกเกิดผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติเป็นตัวป้องกันสนิม ตัวป้องกันสนิมนี้จะค้างอยู่ได้อย่างเสถียรก็ต่อเมื่อมี carbonic acid มากพอที่จะทำให้ calcium carbonate เสถียร¹ การที่มี carbonic acid มากเกินไปพอจะป้องกันการสลายตัวของ calcium carbonate ได้ ตามปกติแล้วน้ำกระด้างตามธรรมชาติ มักจะมีปริมาณ carbonic acid ไม่มากพอ จึงทำให้เกิดการสึกกร่อนในท่อน้ำดังกล่าวได้

¹ J.R. Baylis, J. Am. Water Work Assoc., 27, 220(1935).

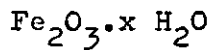
2.2 การสีกกร่อนและการป้องกันการสีกกร่อนของเหล็ก

✓ Mears และ Evans ¹ ได้ทดลองโดยการหยดน้ำสงไปบนแผ่นเหล็กที่อยู่ในบรรยากาศของก๊าซผสมระหว่างออกซิเจน และ ไนโตรเจน โดยแปรผันอัตราส่วนของก๊าซทั้งสองให้แตกต่างกันไปทุก ๆ การทดลอง ปรากฏว่าเหล็กที่อยู่ในสภาวะที่มีออกซิเจนมากกว่าจะเกิดการสีกกร่อนได้เร็วกว่า สำหรับเหล็กที่อยู่ในบรรยากาศที่มีออกซิเจนน้อยจะเกิดการสีกกร่อนได้ช้ามาก ผลงานของเขาคั้งนี้สอดคล้องกับ Brown และคณะ ² ที่ได้ศึกษาไว้แล้ว โดยใช้ชิ้นเหล็กแฉ่งในน้ำที่มีออกซิเจนละลายอยู่ จากการทดลองพบว่า น้ำกลั่นที่มีออกซิเจนละลายอยู่น้อยจะเกิดสนิมขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และละลายน้ำได้เกือบหมด ส่วนชิ้นเหล็กที่แฉ่งในน้ำกลั่นที่มีออกซิเจนละลายอยู่จะเกิดสนิมของ hydrated ferric oxide ที่มีลักษณะเป็นเจาหินจำนวนมากเกาะติดกับชิ้นเหล็กนั้น Sienko และ Plane ³ ก็ได้กล่าวไว้ในทำนองเดียวกันว่า ออกซิเจนและน้ำเป็นสิ่งจำเป็นในการเกิดสนิมเหล็ก สนิมจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว เมื่อเหล็กอยู่ในที่ที่มีกรดปนอยู่ หรือมีความเครียดมาก ๆ หรือค่ออยู่กับตัวที่ active น้อยกว่า หรือชิ้นเหล็กนั้นอยู่ในที่ที่มีสนิมอยู่แล้ว (autocatalyst) เขากล่าวต่อไปอีกว่า สนิมเหล็กเกิดขึ้นในรูปของ hydrated ferric oxide มีส่วนประกอบทางเคมี ซึ่งเขียนเป็นสูตรได้ $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ คือประกอบด้วยน้ำ 3 โมล. และ ferric oxide อีก 2 โมล. อย่างไรก็ตามเนื่องจากปริมาณของน้ำที่ปนอยู่นั้นไม่เท่ากันเสมอไป จึงนิยมเขียนสูตรเป็น

¹ R.B. Mears and U.R. Evans, Trans. Faraday Soc., 13, 527(1935).

² R.H. Brown and others, Ind. Eng. Chem., 23, 350 - 650, 190 - 1012 (1931).

³ M.J. Sienko and R.A. Plane, Chemistry, p. 444.



✓ Hudson และคณะ¹ ได้ศึกษาโดยใช้ coal-tar-base เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อนของโลหะในสารละลายของ hydrochloric และ sulfuric acid จากการทดลองพบว่า coal-tar-base fraction บางประเภทเหมาะสมที่จะใช้ป้องกันการสึกกร่อนของเหล็ก (low-C-steel) การทดลองครั้งนี้ใช้สารละลาย sulfuric acid 2 N และ 4 N โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 100° F และ 150° F เขาสรุปว่า quinoline ทั้งที่กลั่นแล้วและยังไม่กลั่นใช้เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อนได้ดี สำหรับการสึกกร่อนของเหล็กในสารละลายของ sulfuric acid 2 N ที่อุณหภูมิ 100° F นั้น quinoline ก็ใช้เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อนที่ไคยล แต่ในสารละลายของ sulfuric acid ที่อุณหภูมิ 200° F การป้องกันการสึกกร่อนจะไคยลเพียง 78 % เท่านั้น

จากการศึกษาทราบว่า sodium chloride, sodium bromide และ sodium iodide เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อนที่ไคยลนอยมากในสารละลายของ acid ที่อุณหภูมิ 200° F ส่วนพวก halide ที่มีความเข้มข้นต่ำ เมื่อนำมาผสมกันจะเป็นตัวป้องกันการสึกกร่อนของเหล็กในสารละลายของ sulfuric acid ได้ดีกว่าการใช้เกลือ halide หรือ coal-tar-base เพียงอย่างเดียว ในสารละลายของ hydrochloric acid สามารถใช้ coal-tar-base ได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เพราะมี chloride ion ปนอยู่ด้วย อย่างไรก็ตาม การใช้ coal-tar-base ร่วมกับพวก halide นี้จำกัดการละลายของเหล็กที่อุณหภูมิ 200° F ได้ดีกว่าตัวป้องกันอื่น ๆ อีกหลายชนิด quinoline ทั้งที่กลั่นแล้วและที่ยังไม่กลั่นจะใช้ไคยลดีก็ต่อเมื่อมี sodium chloride ปนอยู่ด้วย นอกจากนี้ยังมี coal-tar-base ตัวอื่น ๆ ที่ใช้ร่วมกับพวก halide อย่างไคยล จะเห็นได้ว่าตัวป้องกันการสึกกร่อนที่พบนี้ใช้ไคยลดีและมีราคาต่ำด้วย ขณะเดียวกันก็สามารถหาปริมาณของตัวป้องกันการสึกกร่อนที่ใช้กับสารละลายของ sulfuric acid ที่มีความเข้มข้นถึง 10 N ได้ด้วย

¹R.A. Hudson and others, Br. Corros. J., 2, 81 - 86 (1967).

✓ Shropshire¹ ได้ทำการทดลองศึกษาการป้องกันการสึกกร่อนของเหล็ก ในกรดด้วย ion ของพวกโลหะหนัก ๆ เขาพบว่า ion ของพวก ตะกั่ว คีบิก แคดเมียม เป็นตัวป้องกันการละลายของเหล็กกล้าใบกรดได้ อธิบายได้ว่า **sulphide ion** ในเหล็ก ที่เกิดขึ้นจากการละลายของโลหะจะไปรวมกับ ion ของโลหะหนัก ๆ เหล่านั้น ต่อไปจึง เกิดการฉาบ (coating) ขึ้นที่ผิวของโลหะซึ่งเป็นการป้องกันการละลายของโลหะ จากการศึกษาค้นคว้าพบว่า ion ของตะกั่ว และของคีบิกจะมาเกาะที่เหล็ก ความสามารถในการป้องกันการสึกกร่อนของ ion ดังกล่าวจะเป็นไปตามลำดับความสามารถในการละลาย ของ sulphide ของโลหะเหล่านั้น

✓ Eoroulis และ Uhlig² ได้ศึกษาการสึกกร่อนของเหล็กที่มีโลหะอื่นปนอยู่ ในสารละลายของกรด พบว่าการสึกกร่อนของเหล็กบริสุทธิ์ที่อบแล้ว (annealed) ในสารละลายของ hydrochloric acid 0.12 N (deaerated) จะเพิ่มขึ้นเมื่อเจือด้วย โบรอน ไนโตรเจน อาร์เซนิก คาร์บอน กำมะถัน และ ฟอสฟอรัส เมื่อเพิ่ม ไนโตรเจนขึ้นอีก 0.2 % จะเพิ่มอัตราการสึกกร่อน 13 เท่า แต่เมื่อเพิ่มกำมะถัน 0.02 % หรือฟอสฟอรัสอีก 0.02 % แล้ว อัตราการสึกกร่อนจะเพิ่มถึง 23 หรือ 31 เท่าของ ๆ เดิม ตามลำดับ สำหรับอาร์เซนิก เมื่อเพิ่มในปริมาณเล็กน้อยจนถึง 0.1 % จะทำให้อัตรา การสึกกร่อนเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มให้มากขึ้นอีกจนถึง 0.27 % แล้ว อัตราการสึกกร่อน จะลดลง ส่วนคีบิกเมื่อเพิ่มปริมาณเป็น 0.1 % หรือมากกว่านี้ จะทำให้อัตราการสึกกร่อน ลดลงเช่นเดียวกัน อัตราการสึกกร่อนที่ลดลงนี้จะต่ำกว่าการสึกกร่อนของเหล็กบริสุทธิ์ ในทำนองเดียวกันคีบิกจะลดอัตราการสึกกร่อนของเหล็กใน citric acid และ malic acid ได้ด้วย การทดลองในสภาวะที่มีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำจะมีผลต่ออัตราการสึกกร่อน น้อยมาก

¹ J.A. Shropshire, J. Electrochem. Soc., 107 (A), 740 - 744, (1960).

² J.A. Eoroulis and H.H. Uhlig, J. Electrochem. Soc., 112 (12), 1170 - 1180 (1965).

Anoschenko ¹ ได้ศึกษาการป้องกันการสึกกร่อนของเหล็กในกรดสมระหว่าง hydrochloric กับ sulfuric acid ที่อุณหภูมิ 20°C พบว่าอัตราการสึกกร่อนเกือบจะคงที่คือ 2.5 g. / m² / hr. เมื่อมีความเข้มข้นของ sulfuric acid แปรไปตั้งแต่ 0.0 N - 1.0 N (โดยที่ความเข้มข้นของกรดทั้งสองรวมกันเป็น 1.0 N ทุกกรณี) โดยเติม aluminium sulfate [Al₂(SO₄)₃ · 18 H₂O] จำนวน 2.0 g. และ thiourea 0.5 g. ต่อกรด 1 l. จากการทดลองพบว่าอัตราการสึกกร่อนจะลดลงเหลือ 1.5 ถึง 0.5 g. / m² / hr. เมื่อความเข้มข้นของ sulfuric acid แปรผันจาก 1.0-0.0N

อัตราการสึกกร่อนของเหล็กในกรดสมระหว่าง sulfuric กับ nitric acid (โดยที่ความเข้มข้นของกรดทั้งสองรวมกันเป็น 1.0 N ทุกกรณี) ที่อุณหภูมิ 20°C เกือบเป็นศูนย์เมื่อความเข้มข้นของ sulfuric acid แปรผันเป็น 0.7 N อัตราการสึกกร่อนของเหล็กจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึง 160 g. / m² / hr. เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของ sulfuric acid ให้สูงขึ้นจนเป็น 1.0 N ก็พบว่าอัตราการสึกกร่อนจะลดลงตามลำดับ และเมื่อทดลองใส่สารที่เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อนลงไปในการผสมคู่นี้ พบว่าไม่มีกรณีใดเลยที่ได้ผลการทดลองที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (insignificant)

Stevens และ Board ² ได้ศึกษาการสึกกร่อนของเหล็กในบรรยากาศของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความชื้น จากการทดลองสรุปได้ว่า เหล็กเกือบทุกชนิดจะมีอัตราในการถูก oxidise เพิ่มขึ้นตามปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น บรรยากาศของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ทดลองนั้นมี คาร์บอนมอนนอกไซด์ปนอยู่ 5 % ความดัน 200 psi โดยทำการทดลองที่ 500°C และ 550°C สำหรับโลหะที่อยู่ในความชื้นระดับปานกลาง จะเกิดการสึกกร่อนบริเวณขอบ ๆ ของโลหะถึง 70 % เหล็กที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันจะมีความต้านทานต่อการ oxidise ใกล้เคียงกัน เมื่อมี cerium ปนอยู่ด้วยแล้วจะช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการ oxidise ได้ดีขึ้น

¹I.P. Anoschenko, Zashch. Metal, 3(2), 231 - 232 (1967).

²C.G. Stevens and J. Board, Br. Corros. J., 4, 80 - 85 (1969).

2.3 การสึกกร่อนและการป้องกันการสึกกร่อนของอลูมิเนียม

Talati ¹ ได้ศึกษาผลของ cations และตัว oxidise ที่มีต่อการสึกกร่อนของอลูมิเนียมใน sulfuric acid จากการทดลองพบว่าอลูมิเนียมจะสึกกร่อนมากขึ้น เมื่อกรดมีความเข้มข้นสูงขึ้น หรือใช้เวลาในการจุ่มโลหะในกรดมากขึ้น ตัว oxidise ที่ใช้ศึกษาจะเพิ่มอัตราการสึกกร่อนตามลำดับดังนี้คือ sodium nitrite, potassium persulfate, potassium dichromate ถ้าเปรียบ potassium permanganate จะลดอัตราการสึกกร่อนได้ราว 20 % ส่วนพวก cations ให้ผลแตกต่างกันไปดังนี้คือ ทองแดงจะเพิ่มอัตราการสึกกร่อนให้สูงขึ้น สำหรับ เหล็ก นิเกิล แมกนีเซียม และแมงกานีสจะมีผลต่อการสึกกร่อนเพียงเล็กน้อย ส่วน สังกะสี โคบอลต์ โครเมียม และ แคดเมียมจะลดอัตราการสึกกร่อนให้ช้าลง สำหรับสังกะสีและโคบอลต์ เมื่อเพิ่มปริมาณให้มากขึ้นก็จะมีผลทำให้การสึกกร่อนมีอัตราช้าลงอีก

Eldredge และ Mears ² ได้ศึกษาเกี่ยวกับสารที่เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อนของอลูมิเนียม จากการทดลองพบว่า สารที่ป้องกันการสึกกร่อนของอลูมิเนียมจะมีพฤติกรรมแตกต่างกันตามชนิดของกรด chromate ซึ่งเป็นตัวป้องกันการสึกกร่อนของเหล็กที่มีประสิทธิภาพ เมื่อนำมาใช้กับอลูมิเนียมก็จะได้ผลดียิ่งขึ้น ตามปกติแล้ว chromate จะป้องกันการสึกกร่อนของอลูมิเนียมในสารละลายของ hydrochloric acid ได้ดีกว่า sulfuric acid อลูมิเนียมเมื่ออยู่ในน้ำอาจจะใช้พวก chromate, silicate และ soluble oil เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อนได้ ในการป้องกันเกี่ยวกับ galvanic corrosion ของอลูมิเนียม กระทำได้โดยการ contact กับทองแดง วิธีนี้จะได้ผลดี

¹J.D. Talati, Indian J. of Technol., 1 (6), 254 - 255 (1963).

²G.C. Eldredge and R.B. Mears, J. Ind. Eng. Chem., 37 (8), 736 - 741 (1945).

เมื่อมี sodium chloride อยู่ในปริมาณต่ำกว่าอุณหภูมิเยือก เมื่ออยู่ในสารประกอบอินทรีย์บางชนิดที่มีสมบัติเกือบเป็นพวก anhydrous สามารถใช้น้ำเป็นตัวป้องกันการสึกกร่อนได้เป็นต้นว่า พวกกรดอินทรีย์ phenol และ alcohol

Vaivads และ Liepina¹ ได้ทำการศึกษาการสึกกร่อนของอุณหภูมิเยือกที่ pH ต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 20°C โดยใช้อุณหภูมิเยือกทำปฏิกิริยากับสารละลายของ hydrochloric acid, potassium hydroxide หรือ potassium iodide ที่มีความเข้มข้นระหว่าง 0.0001 - 1.0 N จากการทดลองพบว่าที่ pH 4 - 10 อัตราการสึกกร่อนไม่ขึ้นกับค่า pH ที่ pH ต่ำกว่า 10 อัตราการสึกกร่อนจะขึ้นกับความเข้มข้นของเกลือหาก pH สูงกว่านี้แล้ว อัตราการสึกกร่อนจะเพิ่มอย่างรวดเร็ว ในช่วง pH 4 - 10 นี้จะเกิด oxide film ขึ้นที่ผิวของโลหะทำให้อัตราการสึกกร่อนลดลง oxide film จะถูกทำลายที่ pH ต่ำกว่า 2 หรือสูงกว่า 12 เมื่อ pH น้อยกว่า 2 จะเกิด oxychloride film ซึ่งมีสมบัติป้องกันการสึกกร่อนได้ดีกว่า hydroxide film ที่เกิดขึ้นเมื่อ pH สูงกว่า 12

Unni และ Char² ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้ butylamine เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อนของอุณหภูมิเยือกบริสุทธิ์ใน hydrochloric acid จากการทดลองสรุปได้ว่า butylamine เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อนของอุณหภูมิเยือกที่ดี เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารให้สูงขึ้นก็จะเป็นผลให้อัตราการสึกกร่อนลดลงมากยิ่งขึ้น แต่จะคงที่ ณ ที่จุด ๆ หนึ่ง เมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มสูงเป็น 1.25 N ความเข้มข้นของตัวป้องกันการสึกกร่อนก็จะเพิ่มเป็น 0.5 g. ต่อกรดที่มีความเข้มข้น 1 N จำนวน 1 l. อัตราส่วนนี้เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดมีประสิทธิภาพในการป้องกันการสึกกร่อนราว 63 - 68 % ภายใต้สภาวะเดียวกันนี้อาจจะใช้ di-n-butylamine หรือ tri-n-butylamine เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าตัวอื่นอีกมากมาย สำหรับ n-butylamine

¹A. Vaivads and L. Liepina, Latvijas. P S R Zinaturo Akad. Vestis., (3), 363 - 367 (1962).

²V.K.V. Unni and T.L.R. Char, J. Electrochem. Soc. India, 15 (1), 13 - 15 (1966).

เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อนของเหล็กใน sulfuric acid ที่ 1 มีประสิทธิภาพในการป้องกันการสึกกร่อนประมาณ 45 %

Ertel และคณะ¹ ได้ศึกษาเกี่ยวกับตัวป้องกันการสึกกร่อนของอลูมิเนียมจากการทดลองพบว่า เมื่อเติมพวก calcium salt ลงใน hydrochloric acid จะทำให้อัตราการสึกกร่อนลดลง ความเข้มข้นของเกลือ onium ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อนในสารละลายของกรดนั้นประมาณ $(0.1 - 0.50) \times 10^{-5}$ M ซึ่งจะใช้ได้ผลดีที่ความเข้มข้นเท่ากับ 5×10^{-4} M ส่วนในสารละลายของด่างเมื่อเติมเกลือ onium ลงไปจะทำให้การละลายของอลูมิเนียมลดลงไ้มาก

Subramajan และ Sundaram² ได้ทำการทดลองศึกษาการสึกกร่อนของอลูมิเนียมในกรดอินทรีย์บางชนิด ในการศึกษาครั้งนี้ เขาใช้ acetic, lactic, tartaric, oxalic และ citric acid โดยนำกรดแต่ละชนิดมาผสมกับ sodium chloride พบว่าอัตราการสึกกร่อนในกรดอินทรีย์ที่ผสมกับ sodium chloride จะสูงกว่าอัตราการสึกกร่อนในกรดอินทรีย์หรือ sodium chloride แต่เพียงอย่างเดียว

Murray และ Penn³ ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของสารที่มีฤทธิ์เป็นกรดต่ออลูมิเนียม เขารายงานว่าพวกอาหารที่มีลักษณะเป็นเจลาตินและมีฤทธิ์เป็นกรดเมื่อเก็บไว้ในภาชนะที่เป็นอลูมิเนียม มันจะเกิดปฏิกิริยากับอลูมิเนียมอย่างรวดเร็ว เขายืนยันโดยการเตรียมอาหารประเภทนั้นขึ้นแล้วทำการทดลอง จากการทดลองพบว่า การสึกกร่อนของอลูมิเนียมขึ้นอยู่กับชนิดของกรด pH ของอาหาร และความเข้มข้นของเจลาตินด้วย แต่กียังไม่สามารถหา mechanism ของปฏิกิริยาได้

¹H. Ertel and others, Werkstoffe und Korrosion, 16 (1), 36 - 37 (1965).

²N. Subramajan and M. Sundaram, Indian J. Technol., 2 (2), 64 - 66 (1964).

³J.H. Penn and G.A.W. Murray, Br. Corros. J., 2, 193 - 194 (1967).

2.4 การสึกกร่อนและการป้องกันการสึกกร่อนของทองแดง

Cotton และ Scholes ¹ ได้ศึกษาสารประกอบพวก benzotriazole ซึ่งเป็นตัวป้องกันการสึกกร่อนของทองแดง พบว่าเมื่อใช้ benzotriazole เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อนจะเกิดสาร complex ขึ้น สารประกอบอื่น ๆ ที่มีลักษณะโครงสร้างคล้าย benzotriazole ก็จะสามารถทำปฏิกิริยากับ Cu^+ และ Cu^{++} เกิดสาร complex ขึ้นได้เช่นเดียวกัน ทั้งนี้ แสดงให้เห็นถึง film ที่เกิดขึ้นบนผิวของทองแดงเป็น polymeric structure กล่าวคือ มันเกิด chemical bond กับโลหะหรือโลหะออกไซด์บนผิวของโลหะ

ความหนาของ film ที่เกิดขึ้นบนผิวของโลหะนั้นจะน้อยกว่า 50 Å โครงสร้างของ film ซับซ้อนมาก จากการทดลองวิเคราะห์ copper benzotriazole complex พบว่าสาร complex นี้จะประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำ หรือ hydroxyl ion โครงสร้างของมันจะเปลี่ยนแปลงเมื่อมี anion อื่น ๆ เข้ามาเกี่ยวข้องกับตัวสารประกอบอินทรีย์พวก heterocyclic ที่มีไนโตรเจนอยู่ด้วยก็จะเกิด polymeric complex กับทองแดงได้เช่นเดียวกัน ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นไบนพื้นผิวของโลหะ ไม่ว่าจะเป็นในบรรยากาศหรือในสารละลาย แต่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นก็ยังไม่มากเท่า benzotriazole

Barrera-Rueda และ Perra-Mejia ² ได้ศึกษาการสึกกร่อนของทองแดงในสารละลายของ nitric acid พบว่าอัตราการสึกกร่อนของทองแดงจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรด เมื่อกรดมีความเข้มข้น 3 N น้ำหนักของทองแดงจะลดลง 30 mdd ($\text{mg.} / \text{dm}^2 / \text{day}$) ทั้งนี้ จะเกิด passivity อย่างสมบูรณ์เมื่อเติม chromic oxide ลงไปจำนวน 0.118 g. ต่อ nitric acid 1.0 N ต่อ 1.

¹J.B. Cotton and I.R. Scholes, Br. Corros. J., 2, 1 - 15 (1967).

²R.A. Barrera and M.E. Perra, Rev. Univ. Ind. Santander, 5 (2), 273 - 476 (1963).

อัตราการลดน้ำหนักของทองแดงจะน้อยลงเมื่อความเข้มข้นของ **nitric acid** มากขึ้น การเติม **chromic oxide** เพื่อให้เกิด **passivity** นี้หากเติมไม่เพียงพอแล้วจะทำให้ อัตราการสึกกร่อนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

Cross และ Damon ¹ ได้ศึกษาเกี่ยวกับการสึกกร่อนของทองแดงใน **sulfuric acid** พบว่าอัตราการสึกกร่อนของทองแดงจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปิ. ณ ของออกซิเจนที่อยู่ในกรดซึ่งมีความเข้มข้นน้อยกว่า 25 N ลงมา เมื่อความเข้มข้นของ **sulfuric acid** เกิน 25 N แล้ว การ oxidise ของ **sulfuric acid** จะมีผลต่อการสึกกร่อนด้วย ในสารละลายของ **sulfuric acid** ที่มีความเข้มข้นต่ำ ๆ อัตราการแพร่ของกาซออกซิเจนจากอากาศเข้าไปยังสารละลายจะเป็นองค์ประกอบสำคัญ ที่มีผลต่ออัตราการสึกกร่อนทั้งนี้ยกเว้นกรณีที่สารละลายกรดนั้นมีพื้นที่ผิวมากเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ผิวของโลหะ ดังนั้นวิธีการศึกษาการสึกกร่อนที่รัดกุมจะต้องพิจารณาเกี่ยวกับพื้นที่ผิวของสารละลายด้วย อัตราการสึกกร่อนสูงสุดของทองแดงใน **sulfuric acid** 0.2 N (un-aerated) ประมาณ 40 mdd จากการทดลองครั้งนี้ แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบต่าง ๆ ที่จะใช้ควบคุมอัตราการสึกกร่อนของโลหะอื่น ๆ นั้น ขึ้นอยู่กับ oxygen depolarization

Smol' yaninov ² ได้ศึกษาการสึกกร่อนของทองแดงและพฤติกรรมของทองแดงทางเคมีไฟฟ้าใน **sulfuric acid** และ **hydrochloric acid** เมื่อมี halide ion ปนอยู่ด้วย พบว่าทองแดงบริสุทธิ์ในสารละลายของ **sulfuric acid** 1 N ที่อุณหภูมิ 20 °C จะเกิดการสึกกร่อนได้อย่างรวดเร็วเมื่อเติม **sodium chloride** **sodium bromide** หรือ **sodium fluoride** ลงไปให้มีความเข้มข้นถึง 1 N เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเกลือเหล่านี้จนถึง 1 N แล้วเติม **sodium iodide** ลงไปอีกให้จนถึง 0.1 N ในทุกกรณีพบว่าอัตราการสึกกร่อนของทองแดงจะลดลง สำหรับการสึกกร่อนของ

¹G.H. Damon and R.C. Cross, Ind. Eng. Chem., **28** (2), 231-233 (1963).

²I.S. Smol' yaninov, Izv. Vysshikh Uchebn. Zavedenii, Khim. i. Teknol., **7** (4), 588-593 (1964).

ทองแดงใน hydrochloric acid 1 N เมื่อเติม halide ion ดังกล่าวแล้วจะมี อัตราเร็วลดลงเช่นกัน ผลการทดลองเมื่อเติม halide ลงไปในกรดทั้งสองซึ่งจะทำให้เกิดการสึกกร่อนได้มากขึ้น สามารถจัดลำดับได้ดังนี้คือ chloride , bromide , fluoride , iodide การที่อัตราการสึกกร่อนลดลงนั้น คาดว่ามันไปทำปฏิกิริยา แล้วเกิดเป็น film เกาะอยู่ที่ผิวของทองแดง

Cotton ¹ แห่งบริษัท Imperial Chemical Industries ได้ศึกษา เกี่ยวกับสารที่เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อนของทองแดง โดยสังเคราะห์ขึ้นชนิดหนึ่งขึ้น และใช้ขึ้นที่ทาทองแดงหรือโลหะเจือของทองแดง ซึ่งจะสามารถป้องกันการสึกกร่อน ได้ทั้งในบรรยากาศและในสารละลาย สารสำคัญที่ผสมอยู่ในชนิดดังกล่าวคือ benzotriazole ซึ่งอาจนำไปดัดแปลงใช้ในรูปอื่น ๆ ได้สารที่เป็นองค์ประกอบอื่น ๆ ได้แก่ white spirit 17 % , paraffin 7 % , benzotriazole 5 % , bee wax 2 % และ dimethyl polysiloxane 2 % โดยน้ำหนัก

การศึกษาเกี่ยวกับการสึกกร่อนของโลหะนี้จะเห็นได้ว่าเมื่ออยู่ในสารละลาย ของกรด จะเกิดการสึกกร่อนได้มาก สำหรับกรดที่มีสมบัติเป็น oxidising agent นั้น เมื่อมีความเข้มข้นมาก ๆ สมบัติของการเป็น oxidising agent จะเด่น ปฏิกิริยา ที่เกิดขึ้นมักจะ oxidise โลหะทำให้เกิด passivity บนพื้นผิวของโลหะทั่วไปซึ่งจะเป็นเหตุให้อัตราการสึกกร่อนลดลง สำหรับตัวป้องกันการสึกกร่อนของโลหะในสารละลาย ของกรดมักจะใช้ได้เป็นกรณี ๆ ไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมและชนิดของกรดด้วย เชนอดูมิเนียมอาจจะใช้สารประกอบพวก chromate เหล็กอาจจะใช้ coal-tar-base fraction หรือทองแดงอาจจะใช้พวก benzotriazole หรือพวก related compound เป็นต้น

¹ Imperial Chemical Industries Ltd., Brit., 957, 115, May 6, (1964).

ส่วนการสึกกร่อนของโลหะในบรรยากาศนั้น จะขึ้นอยู่กับปริมาณของความชื้น ชนิดของก๊าซ และ อุณหภูมิ ตามปกติแล้ว เมื่อบรรยากาศนั้นมีความชื้นสูง และอุณหภูมิสูงแล้ว การสึกกร่อนจะเป็นไปอย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตามการสึกกร่อนของโลหะในบรรยากาศปกติมักจะเกิด *oxide film* บนพื้นผิวของโลหะ *oxide film* ของโลหะบางชนิด เช่น อลูมิเนียม จะทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อนให้กับโลหะได้อีกด้วย

วิธีดำเนินการทดลองและผลการทดลอง

ตอนที่ 1 การสกัดของโหระในยาง

1. วิธีเตรียมโหระและการทำความสะอาด

เหล็ก โหระเหล็กตัวอย่างที่นำมาทดลองนี้ซื้อได้จากร้านค้าทั่วไป โหระตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองนี้คือ เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีขนาดประมาณ 1.2 ถึง 2.7 x 5.0 ถึง 6.7 cm. จากนั้นนำไปเจาะด้วยสว่านประเภท high speed ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.16 cm. ตรงบริเวณขอบ ๆ นำแผ่นโหระเหล็กไปกรอบบริเวณขอบด้วยเครื่องชัก

ขั้นต่อไปนำโหระเหล็กตัวอย่างไปทำความสะอาดโดยชักสนิมออกด้วยเครื่องชักที่เป็นแปรงลวด แล้วนำไปแช่ใน ammonium nitrate 20 % (w/w) 300 ml. ที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำชิ้นโหระตัวอย่างไปชักด้วยแปรงไนลอนกับผงชักฟอกล้างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น 4 ครั้ง ขั้นสุดท้ายล้างด้วย ethanol แล้วนำไปทำให้แห้งใน reduced pressure

อลูมิเนียม โหระตัวอย่างที่นำมาทดลองนี้ซื้อได้จากร้านค้าทั่วไป โหระตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองนี้คือเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีขนาดประมาณ 1.2 ถึง 2.7 x 5.0 ถึง 6.7 cm. จากนั้นนำไปเจาะด้วยสว่านประเภท high speed ตรงบริเวณขอบ ๆ ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.16 cm.

ขั้นต่อไปนำโหระอลูมิเนียมตัวอย่างไปทำความสะอาดโดยแช่ใน nitric acid เข้มข้น จำนวน 200 ml. ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 2 – 3 นาที แล้วนำไปชักด้วยแปรงไนลอนขนอ่อนกับผงชักฟอก ล้างด้วยน้ำกลั่น 4 ครั้ง ขั้นสุดท้ายล้างด้วย ethanol แล้วนำไปทำให้แห้งใน reduced pressure

ทองแดง โหระตัวอย่างที่นำมาทดลองนี้ซื้อได้จากร้านค้าทั่วไป โหระตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองนี้คือเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีขนาดประมาณ 1.2 ถึง 2.7 x 5.0 ถึง 6.7 cm. จากนั้นนำไปเจาะตรงบริเวณขอบด้วยดอกสว่านประเภท high speed

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.16 cm.

ขั้นตอนให้นำโลหะทองแดงตัวอย่างไปทำความสะอาดโดยนำไปแช่ใน hydrochloric acid 18% (w/w) จำนวน 250 ml. ที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 2 – 3 นาที นำไปซักด้วยแปรงไนลอนจนอ่อนกับผงซักฟอก ล้างด้วยน้ำกลั่น 4 ครั้ง ขั้นสุดท้ายล้างด้วย ethanol นำไปทำให้แห้งใน reduced pressure เมื่อเตรียมและทำความสะอาดเรียบร้อยแล้วนำโลหะตัวอย่างเล็ก อลูมิเนียม และทองแดงดังกล่าวไปเก็บไว้ใน dessiccator เพื่อทำการทดลองขั้นต่อไป

2. การเคลือบสารที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อน

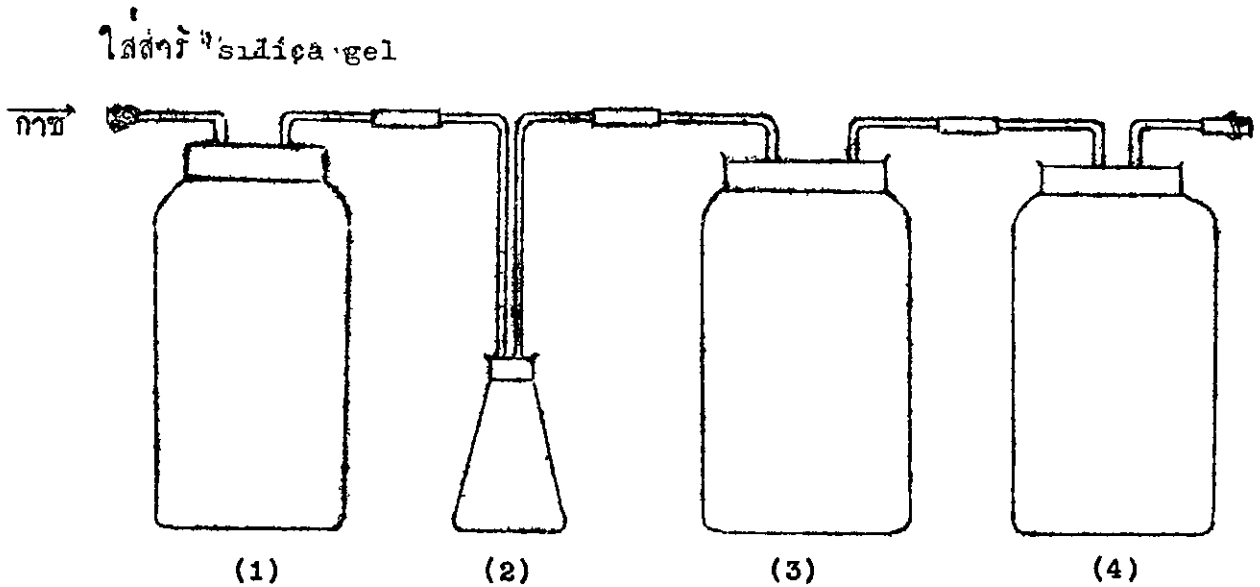
โลหะตัวอย่างเล็ก อลูมิเนียมและทองแดง มีกระบวนการเคลือบสาร i-quinoline ซึ่งใช้เป็นสารป้องกันการสึกกร่อนเหมือนกันดังนี้ นำโลหะตัวอย่างแต่ละชนิดไปแช่ใน i-quinoline จำนวน 100 ml. ที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำโลหะตัวอย่างแต่ละชนิดไปทำให้แห้งใน reduced pressure

3. ภาชนะที่ใช้เก็บโลหะระหว่างการทดลองและการบรรจุโลหะ

ภาชนะที่ใช้เก็บภาชนะในการทดลองครั้งนี้ใช้ขวดแก้วหนาที่สามารถใช้กับความกดดันสูง ๆ ได้ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.0 cm. สูง 14.0 cm. นำมาอุดด้วยจุกยางที่เสียบหลอดแก้วซึ่งงอไว้แล้วสองหลอดต่อสายยางกับหลอดแก้วที่เสียบอยู่นั้นเป็นอนุกรมดังภาพที่ 3

4. วิธีการทดลอง

4.1 นำโลหะตัวอย่างมาวัดความกว้างยาวด้วย vernier caliper แล้วนำไปชั่ง จากนั้นนำไปชั่งด้วยเส้นด้าย (เบอร์ 40) ในภาชนะแต่ละขวดจะบรรจุโลหะตัวอย่าง 5 ชิ้น ขวด (1) จะบรรจุโลหะเหล็กตัวอย่าง ขวด (3) จะบรรจุโลหะทองแดงตัวอย่าง และขวด (4) จะบรรจุโลหะอลูมิเนียมตัวอย่าง สำหรับ flask (2) นั้น



ภาพ 3. เครื่องมือสำหรับการทดลองการสีกร่อนของโลหะในก๊าซต่าง ๆ

4.2 การบรรจุก๊าซเข้าเครื่องมือทดลองนั้นทำได้โดยใช้เครื่องทำสุญญากาศ (vacuum pump) ดูดอากาศออกจากภาชนะที่ถือเป็นอนุกรมดังภาพ 3 แล้วปล่อยก๊าซที่จะใช้ทดลองจากถังเข้าไปแทนโดยการต่อท่อให้ก๊าซที่จะใช้ทดลองจากถังดังกล่าวผ่าน pressure gauge เพื่อปรับความดัน แล้วให้ก๊าซผ่าน drying tower เพื่อดูดความชื้นอีกชั้นหนึ่งก่อน ทำซ้ำวิธีนี้ตามวิธีดังกล่าวทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีก๊าซอื่นเจือปนอยู่ แล้วปิดสายยางทั้งสองข้าง เก็บไว้รอการวิเคราะห์ต่อไป

สำหรับการทดลองในบรรยากาศปกติก็นำไปใส่ในภาชนะดังกล่าวเช่นเดียวกัน แต่คอยหลอกลอดแก้วเปิดเข้าบรรยากาศภายนอก

การทดลองทั้งหมดนี้กระทำ ณ อุณหภูมิของห้องประมาณ $32 \pm 4^{\circ}\text{C}$ และมีความชื้นสัมพัทธ์โดยเฉลี่ย 80.2 %

4.3 การวิเคราะห์ชิ้นโลหะตัวอย่างทำได้โดยการนำเอาโลหะมาชั่งด้วย analytical balance ($\pm 0.0001\text{ g.}$) เพื่อหาน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงระยะเวลาประมาณ 100 ชั่วโมง เมื่อชั่งเสร็จเรียบร้อยแล้วจึงนำชิ้นโลหะตัวอย่างทั้งหมดไปไว้ในภาชนะอันเดิมปิดจุกขวดให้แน่น แล้วบรรจุก๊าซที่ต้องการเข้าไปใหม่โดยใช้วิธีการ

ดังได้กล่าวมาแล้วในข้อ 4.2 ทำดังนี้เรื่อย ๆ ในทุก ๆ ช่วงระยะเวลาประมาณ 100 ชั่วโมงจนเสร็จสิ้นการทดลอง ซึ่งใช้เวลาประมาณ 1500 ชั่วโมง

นำชิ้นโลหะตัวอย่างที่เก็บไว้ในบรรยากาศไปวิเคราะห์ทาง metallurgy เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโลหะโดยเปรียบเทียบโครงสร้างของโลหะระหว่างก่อนทดลองและหลังการทดลอง ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ค.

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองกระทำโดยค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป หน่วย $\text{mg.} / \text{dm}^2$ และอัตราการสึกกร่อนของโลหะในกาซต่าง ๆ นั้น จะแสดงในหน่วย mdd ($\text{mg.} / \text{dm}^2 / \text{day}$)

5. ผลการทดลองการสึกกร่อนของโลหะในกาซต่าง ๆ

¹คำว่าน้ำหนัก (weight) ที่ใช้ทั้งหมดหมายถึงมวล (mass)

ตาราง 1. น้ำหนักของเหล็กที่ได้จากการทดลองในบรรยากาศปกติ

ตัวโม่งที่	0	150	392	657	874	1010	1080	1227	1419	1681	1828
น.น.ที่เปลี่ยน, mg./dm. ²	0	3.05	6.97	8.24	9.26	10.06	10.16	10.47	10.68	10.88	10.98

ตาราง 2. น้ำหนักของเหล็กที่ได้จากการทดลองในบรรยากาศปกติ โดยใช้ 1-quinoline เป็นสารป้องกัน
การสึกกร่อน

ตัวโม่งที่	0	194	328	524	620	716	874	981	1122	1221	1442
น.น.ที่เปลี่ยน, mg./dm. ²	0	1.28	1.62	2.26	2.26	2.85	3.05	2.99	3.16	3.20	3.14

ตาราง 3. น้ำหนักของเหล็กที่ไดจากการทดลองในภาซออกซิเจน

ชั่วโมงที่	0	141	230	321	422	509	684	825	966	1062	1273
น.น.ที่เปลี่ยน, mg./dm. ²	0	0.48	-0.21	0.46	0.31	0.12	0.42	0.39	0.16	0.25	0.44

ตาราง 4. น้ำหนักของเหล็กที่ไดจากการทดลองในภาซออกซิเจน โดยใช้ 1-quinoline เป็นสารป้องกัน
การสึกกร่อน

ชั่วโมงที่	0	42	154	250	348	544	713	857	989	1157	1331
น.น.ที่เปลี่ยน, mg./dm. ²	0	-0.44	-0.78	-0.75	-0.69	-0.71	-0.69	-0.69	-0.71	-0.44	-0.55

ตาราง 5. น้ำหนักของเหล็กที่ได้จากการทดลองในการคาร์บอนไดออกไซด์

ชั่วโมงที่	0	140	232	328	424	518	687	826	967	1158	1305
น.น.ที่เปลี่ยน, mg./dm. ²	0	-0.06	-0.64	-0.52	-0.60	-0.61	-0.48	-0.67	-0.61	-0.36	-0.30

ตาราง 6. น้ำหนักของเหล็กที่ได้จากการทดลองในการคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้ 1-quinoline เป็นสารป้องกันกรลิกกรอน

ชั่วโมงที่	0	60	152	244	348	443	515	611	899	1055	1228
น.น.ที่เปลี่ยน, mg./dm. ²	0	0.25	0.30	0.24	0.12	0.30	0.42	0.36	0.24	0.29	0.36

ตาราง 7. น้ำหนักของเหล็กที่ได้จากการทดลองในกาชไนโตรเจน

ตัวโม่งที่	0	148	237	341	438	532	603	868	1004	1176	1294
น.น.ที่เปลี่ยน, mg./dm. ²	0	-0.06	-0.06	-0.07	-0.13	-0.06	-0.18	-0.31	-0.51	0.51	0.63

ตาราง 8. น้ำหนักของเหล็กที่ได้จากการทดลองในกาชไนโตรเจนโดยใช้ 1-quinoline เป็นสารป้องกัน
การสึกกร่อน

ตัวโม่งที่	0	57	144	242	341	475	501	621	766	911	1199
น.น.ที่เปลี่ยน, mg./dm. ²	0	-0.01	0.11	0.11	0.07	0.36	0.61	0.49	0.54	0.54	0.18

ตาราง 9. น้ำหนักของอนุมีเนียมที่ได้จากการทดลองในบรรยากาศปกติ

ชั่วโมงที่	0	391	656	873	1009	1204	1296	1396	1536	1658	1945
น.น.ที่เปลี่ยน , mg./dm ²	0	0.60	0.98	0.89	0.88	0.98	0.89	0.98	0.98	0.89	1.08

ตาราง 10. น้ำหนักของอนุมีเนียมที่ได้จากการทดลองในบรรยากาศปกติ โดยใช้ 1-quinoline เป็นสาร
ป้องกันการศึกษากรอน

ชั่วโมงที่	0	215	330	525	626	719	875	981	1128	1357	1577
น.น.ที่เปลี่ยน , mg./dm ²	0	-0.30	0.11	0.11	0.00	0.30	0.51	0.11	0.21	0.30	0.30

ตาราง 11. น้ำหนักของอนุมีเนียมที่ได้จากการทดลองในกาซออกซีเจน

ชั่วโมงที่	0	141	230	321	422	592	684	825	966	1062	1273
น.น.ที่เปลี่ยน, mg./dm. ²	0	0.32	0.25	0.11	-0.01	-0.13	-0.07	0.05	0.21	0.21	0.38

ตาราง 12. น้ำหนักของอนุมีเนียมที่ได้จากการทดลองในกาซออกซีเจน โดยให้ 1-quinoline เป็นสาร
ป้องกันการสึกกร่อน

ชั่วโมงที่	0	42	154	250	348	544	616	857	989	1157	1331
น.น.ที่เปลี่ยน, mg./dm. ²	0	0.12	0.12	-0.12	-0.06	0.00	-0.06	-0.18	0.00	0.06	0.18

ตาราง 13. น้ำหนักของอูมิเนียมที่ไดจากการทดลองในการคาร์บอนไดออกไซด์

ชั่วโมงที่	0	140	232	328	424	518	590	687	826	967	1305
น.น.ที่เปลี่ยน, mg./dm. ²	0	0.13	0.13	0.07	0.13	0.00	0.12	0.00	-0.06	-0.06	0.06

ตาราง 14. น้ำหนักของอูมิเนียมที่ไดจากการทดลองในการคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้ 1-quinoline เป็นสารป้องกันการสึกกร่อน

ชั่วโมงที่	0	60	152	244	348	515	611	755	899	1055	1228
น.น.ที่เปลี่ยน, mg./dm. ²	0	-0.06	-0.06	-0.24	-0.11	-0.25	-0.25	-0.23	0.13	-0.17	-0.06

ตาราง 15. น้ำหนักของอิมิเนียมที่ได้จากการทดลองในก๊าซไนโตรเจน

หัวโม่งที่	0	149	237	341	438	532	603	863	1004	1176	1294
น.น.ที่เปลี่ยน, mg./dm. ²	0	-0.38	-0.32	-0.32	-0.26	-0.13	-0.05	-0.19	0.17	0.04	-0.03

ตาราง 16. น้ำหนักของอิมิเนียมที่ได้จากการทดลองในก๊าซไนโตรเจนโดยใช้ 1-quinoline เป็นสารป้องกันการสึกกร่อน

หัวโม่งที่	0	57	144	242	341	475	501	621	766	911	1199
น.น.ที่เปลี่ยน, mg./dm. ²	0	0.12	0.12	0.12	0.12	-0.12	0.12	0.00	-0.06	0.12	-0.31

ตาราง 17. น้ำหนักของผงที่ได้จากการทดลองในบรรยากาศปกติ

ชั่วโมงที่	0	392	657	874	1010	1205	1292	1390	1508	1659	1799
น.น.ที่เปลี่ยน, mg./dm. ²	0	0.10	0.19	0.10	0.40	-0.20	-0.00	-0.10	-0.10	0.00	0.00

ตาราง 18. น้ำหนักของผงที่ได้จากการทดลองในบรรยากาศปกติโดยใช้ 1-quinoline
เป็นสารป้องกันการสึกกร่อน

ชั่วโมงที่	0	215	330	525	622	719	875	981	1128	1357	1577
น.น.ที่เปลี่ยน, mg./dm. ²	0	0.21	-0.39	-0.29	-0.19	-0.29	0.00	-0.19	-0.38	0.11	0.01

ตาราง 19. น้ำหนักของทองแดงที่ได้จากการทดลองในการออกซิเจน

น้ำหนัก น.น.ที่เปลี่ยน, mg. / dm. ²	0	141	230	321	422	592	684	825	966	1062	1273
0	0	0.00	-0.07	0.00	-0.00	-0 15	0.00	-0.19	-0.19	-0.01	0.07

ตาราง 20. น้ำหนักของทองแดงที่ได้จากการทดลองในการออกซิเจนโดยโซ่ 3-quinoline
เป็นสารป้องกันกรรลีกรอน

น้ำหนัก น.น.ที่เปลี่ยน, mg. / dm. ²	0	42	154	250	348	544	616	713	857	989	1331
0	0	0.06	0.06	0.12	0.19	-0.13	0.00	0.00	0.13	0.12	0.06

ตาราง 21. น้ำหนักของทองแดงที่ได้จากการทดลองในการสลายคาร์บอนไดออกไซด์

ชั่วโมงที่	0	140	232	328	424	590	687	826	967	1158	1305
น.น.ที่เปลี่ยน, mg. / dm. ²	0	0.00	0.07	0.00	0.07	0.08	0.00	0.07	-0.06	-0.07	0.01

ตาราง 22. น้ำหนักของทองแดงที่ได้จากการทดลองในการสลายคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ i-quinoline
เป็นสารป้องกันการสึกกร่อน

ชั่วโมงที่	0	60	152	244	348	443	515	755	899	1055	1228
น.น.ที่เปลี่ยน, mg. / dm. ²	0	0.18	0.18	0.12	-0.11	-0.23	-0.58	-0.46	-0.17	-0.41	-0.29

ตาราง 23. น้ำหนักของทองแดงที่ได้จากการทดลองในกาชไนโตรเจน

ชั่วโมงที่	0	149	237	341	438	532	603	713	863	1176	1294
น.น.ที่เปลี่ยน, mg. / dm. ²	0.00	0.06	0.12	0.06	0.18	0.23	0.35	0.17	0.24	0.50	0.48

ตาราง 24. น้ำหนักของทองแดงที่ได้จากการทดลองในกาชไนโตรเจนโดยใช้ i-quinoline
เป็นสารป้องกันการสึกกร่อน

ชั่วโมงที่	0	57	144	242	341	475	621	766	911	1086	1199
น.น.ที่เปลี่ยน, mg. / dm. ²	0.00	0.00	-0.06	-0.19	-0.25	-0.19	-0.19	-0.19	-0.31	-0.50	-0.31

ผลการทดลองการสีกร่อนในบรรยากาศโดยละเอียดนั้นผู้ทดลองได้รวบรวมข้อมูลไว้ในภาคผนวก ก. และนำข้อมูลไปเขียนกราฟ ดังแสดงในรูป ในภาคผนวก ข.

ตอนที่ 2 การสีกร่อนของโลหะในสารละลายของกรด

1. การเตรียมและการทำความสะอาดชิ้นโลหะ

ตัดโลหะตัวอย่างเป็นรูปกลม คล้ายเหรียญมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.56 cm. เท่ากันหมดโดยใช้เครื่องเจาะ แผ่นโลหะมีพื้นที่ผิวเท่ากับ 3.82 cm². นำโลหะตัวอย่างทั้งหมดไปทำความสะอาดด้วยวิธีการที่กล่าวมาแล้ว หน้า 26

2. สารละลายที่ใช้ในการทดลอง

2.1 ในการทดลองครั้งนี้ใช้ hydrochloric acid ซึ่งมีความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับคือ 0.50 M [เตรียมโดยใช้กรดเข้มข้น 10.19 M (B.P.) 736.0 ml. ทำเป็นสารละลาย 15.0 l.] 0.10 M [เตรียมโดยใช้กรดเข้มข้น 10.19 M (B.P.) 147.2 ml. ทำเป็นสารละลาย 15.0 l.] และ 0.02 M [เตรียมโดยใช้กรดเข้มข้น 10.19 M (B.P.) 29.4 ml. ทำเป็นสารละลาย 15.0 l.] กับ sulfuric acid ซึ่งมีความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับคือ 0.50 M [เตรียมโดยใช้กรดเข้มข้น 16.91 M (B.P.) 443.5 ml. ทำเป็นสารละลาย 15.0 l.] 0.10 M [เตรียมโดยใช้กรดเข้มข้น 16.91 M (B.P.) 88.7 ml. ทำเป็นสารละลาย 15.0 l.] และ 0.02 M [เตรียมโดยใช้กรดเข้มข้น 16.91 M (B.P.) 17.7 ml. ทำเป็นสารละลาย 15.0 l.]

2.2 สำหรับสารที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกร่อนนั้นมีอยู่ 4 สารคือ aniline, phenylhydrazine, pyridine และ histidine ปริมาณของสารที่เป็นตัวป้องกันการสีกร่อน คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน (%N)¹ ซึ่งมีดังนี้ 0.00 %, 0.03 %, 0.06 %, 0.12 %, 0.24 %, 0.48 %, 0.96 %, 1.92 %, 3.84 %, 7.68 %, 15.36 %, 30.72 %, 61.44 %, 122.88 %, 245.76 %, 491.52 %, 983.04 %, 1966.08 %, 3932.16 %, 7864.32 %, 15728.64 %, 31457.28 %, 62914.56 %, 125829.12 %, 251658.24 %, 503316.48 %, 1006632.96 %, 2013265.92 %, 4026531.84 %, 8053063.68 %, 16106127.36 %, 32212254.72 %, 64424509.44 %, 128849018.88 %, 257698037.76 %, 515396075.52 %, 1030792151.04 %, 2061584302.08 %, 4123168604.16 %, 8246337208.32 %, 16492674416.64 %, 32985348833.28 %, 65970697666.56 %, 131941395333.12 %, 263882790666.24 %, 527765581332.48 %, 1055531162664.96 %, 2111062325329.92 %, 4222124650659.84 %, 8444249301319.68 %, 16888498602639.36 %, 33776997205278.72 %, 67553994410557.44 %, 135107988821114.88 %, 270215977642229.76 %, 540431955284459.52 %, 1080863910568919.04 %, 2161727821137838.08 %, 4323455642275676.16 %, 8646911284551352.32 %, 17293822569102704.64 %, 34587645138205409.28 %, 69175290276410818.56 %, 138350580552821637.12 %, 276701161105643274.24 %, 553402322211286548.48 %, 1106804644422573096.96 %, 2213609288845146193.92 %, 4427218577690292387.84 %, 8854437155380584775.68 %, 17708874310761169551.36 %, 35417748621522339102.72 %, 70835497243044678205.44 %, 141670994486089356410.88 %, 283341988972178712821.76 %, 566683977944357425643.52 %, 1133367955888714851287.04 %, 2266735911777429702574.08 %, 4533471823554859405148.16 %, 9066943647109718810296.32 %, 18133887294219437620592.64 %, 36267774588438875241185.28 %, 72535549176877750482370.56 %, 145071098353755500964741.12 %, 290142196707511001929482.24 %, 580284393415022003858964.48 %, 1160568786830044007717928.96 %, 2321137573660088015435857.92 %, 4642275147320176030871715.84 %, 9284550294640352061743431.68 %, 18569100589280704123486863.36 %, 37138201178561408246973726.72 %, 74276402357122816493947453.44 %, 148552804714245632987894906.88 %, 297105609428491265975789813.76 %, 594211218856982531951579627.52 %, 1188422437713965063903159255.04 %, 2376844875427930127806318510.08 %, 4753689750855860255612637020.16 %, 9507379501711720511225274040.32 %, 19014759003423441022450548080.64 %, 38029518006846882044901096161.28 %, 76059036013693764089802192322.56 %, 152118072027387528179604384645.12 %, 304236144054775056359208769290.24 %, 608472288109550112718417538580.48 %, 1216944576219100225436835077160.96 %, 2433889152438200450873670154321.92 %, 4867778304876400901747340308643.84 %, 9735556609752801803494680617287.68 %, 19471113219505603606989361234575.36 %, 38942226439011207213978722469150.72 %, 77884452878022414427957444938301.44 %, 155768905756044828855914889876602.88 %, 311537811512089657711829779753205.76 %, 623075623024179315423659559506411.52 %, 1246151246048358630847319119012823.04 %, 2492302492096717261694638238025646.08 %, 4984604984193434523389276476051292.16 %, 9969209968386869046778552952102584.32 %, 19938419936773738093557105904205168.64 %, 39876839873547476187114211808410337.28 %, 79753679747094952374228423616820674.56 %, 159507359494189904748456847233641349.12 %, 319014718988379809496913694467282698.24 %, 638029437976759618993827388934565396.48 %, 1276058875953519237987654777869130792.96 %, 2552117751907038475975309555738261585.92 %, 5104235503814076951950619111476523171.84 %, 10208471007628153903901238222953046343.68 %, 20416942015256307807802476445906092687.36 %, 40833884030512615615604952891812185374.72 %, 81667768061025231231209905783624370749.44 %, 163335536122050462462419811567248741498.88 %, 326671072244100924924839623134497482997.76 %, 653342144488201849849679246268994965995.52 %, 1306684288976403699699358492537989931991.04 %, 2613368577952807399398716985075979863982.08 %, 5226737155905614798797433970151959727964.16 %, 10453474311811229597594867940303919455928.32 %, 20906948623622459195189735880607838911856.64 %, 41813897247244918390379471761215677823713.28 %, 83627794494489836780758943522431355647426.56 %, 167255588988979673561517887044862711294853.12 %, 33451117797795934712303577408972542258970.64 %, 66902235595591869424607154817945084517941.28 %, 133804471191183738849214309635890169035882.56 %, 267608942382367477698428619271780338071765.12 %, 53521788476473495539685723854356067614353.04 %, 107043576952946991079371447708712135228706.08 %, 214087153905893982158742895417424270457412.16 %, 428174307811787964317485790834848540914824.32 %, 85634861562357592863497158166969708182964.64 %, 171269723124715185726994316333939416365929.28 %, 342539446249430371453988632667878832731858.56 %, 685078892498860742907977265335757665463717.12 %, 137015778499772148581595453067151533092743.44 %, 274031556999544297163190906134303066185486.88 %, 54806311399908859432638181226860613237097.36 %, 109612622799817718865276362453721226474194.72 %, 219225245599635437730552724907442452948389.44 %, 438450491199270875461105449814884905896778.88 %, 876900982398541750922210899629769811793557.76 %, 1753801964797083501844421799259539623587115.52 %, 350760392959416700368884359851907924717423.04 %, 701520785918833400737768719703815849434846.08 %, 140304157183766680147553743940763169886969.12 %, 280608314367533360295107487881526339773938.24 %, 56121662873506672059021497576305267954787.68 %, 112243325747013344118042995152610535909575.36 %, 224486651494026688236085990305221071819150.72 %, 448973302988053376472171980610442143638301.44 %, 89794660597610675294434396122088428727660.28 %, 179589321195221350588868792244176857455320.56 %, 359178642390442701177737584488353714910641.12 %, 71835728478088540235547516897670742982128.24 %, 143671456956177080471095033795341485964256.48 %, 287342913912354160942190067590682971928512.96 %, 57468582782470832188438013518136594385702.56 %, 114937165564941664376876027036273188771405.12 %, 229874331129883328753752054072546377542810.24 %, 459748662259766657507504108145092755085620.48 %, 91949732451953331501500821629018551017124.08 %, 183899464903906663003001643258037102034248.16 %, 36779892980781332600600328651607420406849.68 %, 73559785961562665201200657303214840813699.36 %, 147119571923125330402401314606429681627398.72 %, 294239143846250660804802629212859363254797.44 %, 588478287692501321609605258425718726509594.88 %, 117695657538500264321921051685143745301918.96 %, 235391315077000528643842103370287490603837.92 %, 470782630154001057287684206740574981207675.84 %, 941565260308002114575368413481149962415351.68 %, 188313052061600422915073682696229992483070.32 %, 376626104123200845830147365392459984966140.64 %, 75325220824640169166029473078491996993228.12 %, 150650441649280338332058946156983993986456.24 %, 301300883298560676664117892313967987972912.48 %, 60260176659712135332823578462793597594582.48 %, 120520353319424270665647156925587195189164.96 %, 241040706638848541331294313851174390378329.92 %, 48208141327769708266258862770234878075665.92 %, 96416282655539416532517725540469756151331.84 %, 192832565311078833065035451080939512302663.68 %, 385665130622157666130070902161879024605327.36 %, 77133026124431533226014180432375804921065.44 %, 154266052248863066452028360864751609842130.88 %, 308532104497726132904056721729503219684261.76 %, 61706420899545226580811344345900643936852.32 %, 123412841799090453161622688691801287873704.64 %, 246825683598180906323245377383602575747409.28 %, 49365136719636181264649075476720515149481.76 %, 98730273439272362529298150953441030298963.52 %, 197460546878544725058596301906882060597927.04 %, 394921093757089450117192603813764121195854.08 %, 78984218751417890023438520762752824239170.88 %, 157968437502835780046877041525505648478341.76 %, 315936875005671560093754083051011296956683.52 %, 63187375001134312018750816610202259391336.72 %, 126374750002268624037501633220404518782673.44 %, 252749500004537248075003266440809037565346.88 %, 505499000009074496150006532881618075130693.76 %, 101099800001814899230001306576323615026138.72 %, 202199600003629798460002613152647230052277.44 %, 404399200007259596920005226305294460104554.88 %, 808798400014519193840010452610588920209109.76 %, 161759680002903938768002090522117784041821.92 %, 323519360005807877536004181044235568083643.84 %, 647038720011615755072008362088471136167287.68 %, 129407744002323151014401672417694227233457.52 %, 258815488004646302028803344835388454466915.04 %, 517630976009292604057606689670776908933830.08 %, 103526195201858520811521337934155381786766.08 %, 207052390403717041623042675868310763573532.16 %, 414104780807434083246085351736621527147064.32 %, 82820956161486816649217070347324305429412.88 %, 165641912322973633298434140694648610858825.76 %, 33128382464594726659686828138929722171765.12 %, 66256764929189453319373656277859444343530.24 %, 132513529858378906638747312555718888687060.48 %, 265027059716757813277494625111437777374120.96 %, 53005411943351562655498925022287555474824.16 %, 106010823886703125310997850044575110949648.32 %, 212021647773406250621995700089150221899296.64 %, 424043295546812501243991400178300443798593.28 %, 84808659109362500248798280035660088759718.56 %, 169617318218725000497596560071320177519437.12 %, 339234636437450000995193120142640355038874.24 %, 67846927287490000199038624028528071007774.88 %, 135693854574980000398077248057056142015549.76 %, 271387709149960000796154496114112284031099.52 %, 54277541829992000159230899222822456806219.04 %, 108555083659984000318461798445644913612438.08 %, 217110167319968000636923596891289827224876.16 %, 43422033463993600127384719378257965444975.28 %, 86844066927987200254769438756515930889950.56 %, 173688133855974400509538877513031861779901.12 %, 34737626771194880101907775502606372355980.24 %, 69475253542389760203815551005212744711960.48 %, 138950507084779520407631102010425489423920.96 %, 27790101416955904081526220402085097884784.16 %, 55580202833911808163052440804170195769568.32 %, 111160405667823616326104881608340391539136.64 %, 222320811335647232652209763216680783078273.28 %, 44464162267129446530441952643336156615654.56 %, 88928324534258893060883905286672313231309.12 %, 17785664906851778612176781057334462646261.84 %, 35571329813703557224353562114668925292523.68 %, 71142659627407114448707124229337850585047.36 %, 142285319254814228897414248458675701170094.72 %, 28457063850962845779482849691735140234018.96 %, 56914127701925691558965699383470280468037.92 %, 113828255403851383117931398766940560936075.84 %, 227656510807702766235862797533881121872151.68 %, 455313021615405532471725595067762243744303.36 %, 91062604323081106494345119013552448748860.72 %, 182125208646162212988690238027104897497721.44 %, 36425041729232442597738047605420979499544.28 %, 72850083458464885195476095210841958999088.56 %, 145700166916929770390952190421683917998177.12 %, 29140033383385954078190438084336783599635.44 %, 58280066766771908156380876168673567199270.88 %, 116560133533543816312761752337347134398541.76 %, 23312026706708763262552350467469426879708.32 %, 46624053413417526525104700934938853759416.64 %, 93248106826835053050209401869877707518833.28 %, 18649621365367010610041880373975541503766.56 %, 37299242730734021220083760747951083007533.12 %, 74598485461468042440167521495902166015066.24 %, 14919697092293608488033504299180433203013.28 %, 29839394184587216976067008598360866406026.56 %, 59678788369174433952134017196721732812053.12 %, 119357576738348867904268034393443465624106.24 %, 238715153476697735808536068786886931248212.48 %, 47743030695339547161707213757377386249642.56 %, 95486061390679094323414427514754772499285.12 %, 19097212278135818864682885502950954499857.04 %, 38194424556271637729365771005901908999714.08 %, 76388849112543275458731542011803817999428.16 %, 15277769822508655091746308402360763599885.68 %, 30555539645017310183492616804721527199771.36 %, 61111079290034620366985233609443054399542.72 %, 12222215858006924073397046721888610879908.56 %, 24444431716013848146794093443777221759817.12 %, 48888863432027696293588186887554443519634.24 %, 97777726864055392587176373775108887039268.48 %, 19555545372811078517435274755021777407853.68 %, 39111090745622157034870549510043554815707.36 %, 78222181491244314069741099020087109631414.72 %, 156444362982488628139482198040174219262829.44 %, 31288872596497725627896439608034843852565.88 %, 62577745192995451255792879216069687705131.76 %, 125155490385990902511585758432139375410263.52 %, 25031098077198180502317151686427875082052.72 %, 50062196154396361004634303372855750164105.44 %, 10012439230879272200926

0.15 % และ 0.25 % ดังมีรายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ง.

2.3 การผสมสารที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อนในสารละลายของกรด มีวิธีการดังนี้คือ ตวงกรดจำนวน 764.8 มล. ลงไปไว้ในภาชนะที่จะทดลอง แล้วเติมสารที่จะใช้เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อนในอัตราส่วนที่ต้องการลงไป ดังมีรายละเอียดในภาคผนวก ง. จากนั้นเขย่าให้เข้ากันแล้วนำไปทดลองในขั้นตอนต่อไป

3. วิธีการทดลอง

นำชิ้นโลหะที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้วมาชั่ง ญกด้วยเส้นใยในลอน นำไปแขวนให้ชิ้นโลหะตัวอย่างจุ่มตอนกลาง ๆ ของสารละลาย จากนั้นทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดแล้วนำชิ้นโลหะตัวอย่างออกจากภาชนะ นำไปทำความสะอาดด้วยแปรงไนลอนขนอ่อนกับผงซักฟอก จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นอีก 4 ครั้ง ขึ้นสูกท้ายล้างด้วย ethanol อีกครั้งหนึ่ง นำไปทำให้แห้งใน reduced pressure

4. การวิเคราะห์การสึกกร่อน

4.1 การวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1 (gravimetric method) กระทำได้โดยนำชิ้นโลหะตัวอย่างที่ได้จากการทดลองในข้อ 3 มาชั่งเพื่อที่จะหาน้ำหนักของโลหะที่สูญเสียไปต่อพื้นที่ผิว ในการทดลองครั้งนี้ได้ใช้หน่วยแสดงอัตราการสึกกร่อนของโลหะเป็น $g. / cm^2 / day$ ซึ่งแตกต่างจากหน่วยที่แสดงอัตราการสึกกร่อนของโลหะในบรรยากาศ ทั้งนี้เพราะการสึกกร่อนในบรรยากาศนั้นเป็นไปอย่างช้าจึงจำเป็นต้องใช้หน่วยที่เล็กเพื่อให้เห็นขนาดของตัวเลขได้เด่นชัดขึ้น ผลการทดลองการสึกกร่อนของโลหะในสารละลายของกรดมีรายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ก.

ผลการทดลอง

ตาราง 25. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์¹ ที่ได้จากการใช้ aniline
เป็นตัวป้องกันการสีกร่อนของเหล็กใน hydrochloric acid ซึ่งวิเคราะห์
ด้วยวิธีที่ 1

กรรค, M	% N				
		0.03	0.08	0.15	0.25
0.02		40.40	34.34	35.35	37.37
0.10		17.16	39.18	47.76	62.69
0.50		12.36	17.49	39.35	40.49

ตาราง 26. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์¹ ที่ได้จากการใช้ phenylhydrazine
เป็นตัวป้องกันการสีกร่อนของเหล็กใน hydrochloric acid ซึ่งวิเคราะห์
ด้วยวิธีที่ 1

กรรค, M	% N				
		0.03	0.08	0.15	0.25
0.02		60.00	68.57	77.14	77.14
0.10		31.27	58.22	59.84	74.93
0.50		39.08	60.21	67.61	70.42

¹ ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์มีค่าเท่ากับอัตราการสีกร่อนของโลหะในกรรคลบ
ด้วยอัตราการสีกร่อนของโลหะในกรรคที่ปนสารป้องกันการสีกร่อนทั้งหมดหารด้วยอัตรา
การสีกร่อนของโลหะในกรรคแล้วคูณด้วย 100

ตาราง 27. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ pyridine
เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของเหล็กใน hydrochloric acid ซึ่งวิเคราะห์
ด้วยวิธีที่ 1

$\% N$ กรก, M	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	50.00	67.74	71.77	74.19
0.10	58.99	65.08	68.25	70.90
0.50	33.54	59.21	62.32	63.98

ตาราง 28. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ aniline
เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของเหล็กใน sulfuric acid ซึ่งวิเคราะห์ด้วย
วิธีที่ 1

$\% N$ กรก, M	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	16.08	39.80	50.00	49.02
0.10	4.67	34.24	40.27	43.87
0.50	6.46	16.49	27.81	38.50

ตาราง 29. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ phenylhydrazine
เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของเหล็กใน sulfuric acid ซึ่งวิเคราะห์ด้วย
วิธีที่ 1

$\% N$ กรด, M	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	51.67	68.75	75.63	75.63
0.10	50.42	60.52	71.98	74.27
0.50	53.40	58.94	60.62	69.40

ตาราง 30. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ pyridine
เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของเหล็กใน sulfuric acid ซึ่งวิเคราะห์ด้วย
วิธีที่ 1

$\% N$ กรด, M	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	20.40	43.43	62.83	65.25
0.10	22.80	49.75	61.27	65.42
0.50	20.74	39.59	50.19	55.18

ตาราง 31. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ aniline
เป็นตัวยับยั้งการสีกกรอนของอนุมิเียนใน hydrochloric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1

$\% N$ กรด, M	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	21.21	84.85	87.88	72.73
0.10	23.81	66.67	50.02	52.38
0.50	4.58	12.50	19.17	16.25

ตาราง 32. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ phenylhydrazine
เป็นตัวยับยั้งการสีกกรอนของอนุมิเียนใน hydrochloric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1

$\% N$ กรด, M	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	48.15	96.30	100.00	100.00
0.10	9.52	28.57	52.38	74.43
0.50	20.37	26.85	28.70	50.00

ตาราง 33. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซนต์ที่ได้จากการใช้ pyridine
เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของอลูมิเนียมใน hydrochloric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1

$\% N$ กรด, M	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	26.32	52.63	68.42	100.00
0.10	-4.76	4.76	14.29	23.81
0.50	41.11	50.00	53.23	61.38

ตาราง 34. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซนต์ที่ได้จากการใช้ aniline
เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของอลูมิเนียมใน sulfuric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1

$\% N$ กรด, M	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	9.09	36.36	100.00	90.91
0.10	-3.45	0.00	6.90	13.79
0.50	-2.13	10.64	17.02	14.83

ตาราง 35. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ phenylhydrazine
เป็นตัวยับยั้งการสีกกร่อนของอลูมิเนียมใน sulfuric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1

% N กรก. M				
	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	46.43	67.86	82.14	75.00
0.10	14.29	23.81	35.71	57.14
0.50	14.29	16.33	22.45	24.49

ตาราง 36. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ pyridine
เป็นตัวยับยั้งการสีกกร่อนของอลูมิเนียมใน sulfuric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1

% N กรก. M				
	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	17.86	78.57	82.14	82.14
0.10	13.89	25.00	30.56	52.78
0.50	7.41	11.11	14.81	20.37

ตาราง 37. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ aniline
เป็นตัวป้องกันการสีกกรอนของทองแดงใน hydrochloric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1

$\frac{\% \text{ N}}{\text{กรก, M}}$	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	-19.35	11.83	46.24	65.59
0.10	8.94	11.38	26.02	51.22
0.50	0.85	7.63	8.47	11.02

ตาราง 38. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ histidine
เป็นตัวป้องกันการสีกกรอนของทองแดงใน hydrochloric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1

$\frac{\% \text{ N}}{\text{กรก, M}}$	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	12.90	18.28	21.51	—
0.10	7.32	—	19.51	—
0.50	—	—	—	—

ตาราง 39. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ pyridine
เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของทองแดงใน hydrochloric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1

$\frac{\% \text{ N}}{\text{กรด, M}}$	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	17.86	78.57	82.14	82.14
0.10	13.89	25.00	30.56	52.78
0.50	7.41	11.11	14.81	20.37

ตาราง 40. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ aniline
เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของทองแดงใน sulfuric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1

$\frac{\% \text{ N}}{\text{กรด, M}}$	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	12.77	61.70	63.83	74.47
0.10	9.80	13.73	27.45	64.71
0.50	19.61	23.53	25.49	31.37

ตาราง 41. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ histidine
เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของทองแดงใน sulfuric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1

$\% N$ กรด, M	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	8.51	14.89	14.89	—
0.10	—	—	—	—
0.50	—	—	—	—

ตาราง 42. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ pyridine
เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของทองแดงใน sulfuric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1

$\% N$ กรด, M	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	-3.38	-36.17	-57.45	-119.15
0.10	17.65	29.41	39.22	49.02
0.50	13.73	19.61	31.37	41.18

4.2 การวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2 (complexometric method) โดยการนำสารละลายที่ได้จากการทดลองในข้อ 3 มาวิเคราะห์หาค่าความหนืดที่สูญเสียไปต่อหน่วยพื้นที่ในการทดลองครั้งนี้ได้ใช้หน่วยแสดงอัตราการสึกกร่อนของโลหะเป็น $\text{g.} / \text{cm}^2 / \text{day}$ ดังนั้นวิธีการวิเคราะห์ทั้งข้อต่อไปนี้

เหล็ก

ใช้ pipet ขนาด 25 ml. ตูตสารละลายตัวอย่างมา 25.0 ml. ใส่ลงไปใน conical flask ขนาด 125 ml. เติม hydrogen peroxide เข้มข้น (B.P.) ลงไป 5.0 ml. เติมสารละลาย ammonia เข้มข้น (B.P.) ลงไปจนเป็นค่าซึ่งมี pH ประมาณ 10 นำไปอุ่นที่อุณหภูมิ $80^\circ - 100^\circ \text{C}$ เป็นเวลา 20 นาที หากมีเหล็กละลายอยู่จะตกตะกอน กรองตะกอนของเหล็กด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นที่เจือด้วย ammonia เล็กน้อย ขึ้นต่อไปละลายตะกอนบนกระดาษกรองด้วย hydrochloric acid 10 % (v/v) จำนวน 25.0 ml. นำสารละลายตัวอย่างไปปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 2 - 3 ด้วย sodium hydroxide 1 M (B.P.) เติม salicylic acid { เตรียมโดยละลาย salicylic acid (A.R.) จำนวน 2.0 g. ละลายใน methanol (B.P.) เล็กน้อย แล้วเจือจางด้วย methanol เป็น 100.0 ml. } จำนวน 2.0 ml. นำไปเคี่ยวด้วยสารละลายมาตรฐาน EDTA 0.0083 M จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นไม่มีสีหรือสีเหลืองซีด ศึกษการทดลองอย่างละเอียดในภาคผนวก ก.

หมายเหตุ ในกรณีที่สารละลายตัวอย่างมีตะกอนหรือมีน้ำมันต่าง ๆ ก่อนที่จะนำมาทดลอง ควรกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1

ผลการทดลอง

ตาราง 43. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ aniline
เป็นตัวยับยั้งการสีกกรอนของเหล็กใน hydrochloric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธี 2

$\% N$ กรก, M	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	29.91	51.28	58.97	56.41
0.10	22.18	44.74	50.38	68.05
0.50	21.93	21.93	39.89	41.78

ตาราง 44. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ phenylhydrazine
เป็นตัวยับยั้งการสีกกรอนของเหล็กใน hydrochloric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธี 2

$\% N$ กรก, M	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	66.96	71.30	78.26	76.52
0.10	14.75	49.64	51.44	74.46
0.50	47.68	61.59	63.91	71.85

ตาราง 45. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ pyridine
เป็นตัวยับยั้งการสีกกร่อนของเหล็กใน hydrochloric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2

$\% N$ กรด, M	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	58.47	73.73	81.36	83.05
0.10	49.65	56.09	58.10	69.37
0.50	41.81	61.93	67.46	66.27

ตาราง 46. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ aniline
เป็นตัวยับยั้งการการสีกกร่อนของเหล็กใน sulfuric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2

$\% N$ กรด, M	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	23.93	45.61	54.21	53.27
0.10	2.02	33.00	41.30	43.02
0.50	2.40	13.68	24.54	35.50

ตาราง 47. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ phenylhydrazine
เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของเหล็กใน sulfuric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2

$\% N$ กรก, M	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	52.80	67.34	72.48	72.93
0.10	53.06	63.89	74.52	76.53
0.50	40.57	47.74	48.36	60.26

ตาราง 48. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ pyridine
เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของเหล็กใน sulfuric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2

$\% N$ กรก, M	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	16.40	38.80	62.82	63.74
0.10	1.12	35.12	50.45	55.26
0.50	3.70	27.55	39.58	45.72

อูมิเนียม

ใช้ pipet ขนาด 25 ml. ทรูสารละลายตัวอย่างของอูมิเนียมมา 25.0 ml. ใส่ลงไปใน conical flask ขนาด 150 ml. เติมสารละลายอิมตัวของ ammonium chloride 3.0 ml. เติม methyl red [เตรียมโดยละลาย methyl red (A.R.) 0.1 g. ใน sodium hydroxide 0.02 M เล็กน้อยแล้วเจือจางเป็น 250.0 ml] 0.5 ml. แล้วนำไปอุ่นบน thermoplate 5 นาที จากนั้นปล่อยให้เย็นแล้วนำมาเติมสารละลาย ammonia 50 % (v/v) จาก buret ครึ่งละหยดจนกระทั่งสีเปลี่ยนจากแดงเป็นเหลืองอย่างถาวร นำสารละลายตัวอย่างนี้ไปอุ่นบน thermoplate อีกครึ่งหนึ่ง อีกครึ่งหนึ่งเป็นเวลา 10 นาที ในขั้นนี้สารละลายตัวอย่างอื่นใดหากมีอูมิเนียมละลายอยู่ จะมีตะกอนลักษณะเจลาคินเกิดขึ้น เมื่อสารละลายตัวอย่างเย็นแล้วจึงนำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ล้างตะกอนบนกระดาษกรองด้วยสารละลาย ammonium chloride 2 % (w/w) จากนั้นละลายตะกอนบนกระดาษกรองด้วย hydrochloric acid 10 % (v/v) 25.0 ml.

ขั้นต่อไปเติมสารละลายมาตรฐาน EDTA 0.0083 M ให้มากเกินไปตามอัตราส่วนดังนี้

ทดลองการสีกร่อนกับกรด 0.02 M ใช้ EDTA จำนวน 5.0 ml.

ทดลองการสีกร่อนกับกรด 0.10 M ใช้ EDTA จำนวน 5.0 ml.

ทดลองการสีกร่อนกับกรด 0.50 M ใช้ EDTA จำนวน 10.0 ml.

นำสารละลายตัวอย่างมาปรับ pH ให้อยู่ระหว่าง 3.0 – 3.5 ด้วย sodium hydroxide 1 M (B.P.) โดยการทดสอบกับกระดาษ pH นำไปอุ่นบน thermoplate ให้เดือดอีกครั้งหนึ่งเป็นเวลา 5 นาที เมื่อสารละลายตัวอย่างเย็นแล้วปรับ pH อีกครั้งหนึ่งให้อยู่ในระหว่าง 5.0 – 5.5 ด้วยสารละลาย acetic buffer [เตรียมโดยละลาย sodium acetate (B.P.) 136.0 g. เติม glacial acetic acid (A.R.) ลงไปอีก 26.0 g. แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นเป็น 1.0 l.]

เติม xlenol orange [เตรียมโดยนำ xlenol orange (A.R.) จำนวน 0.1 g. มาละลายในน้ำเล็กน้อย เติม sodium hydroxide 1M คงไป 0.2 ml. นำไปเจือจางด้วยน้ำกลั่นเป็น 100.0 ml.] ลงไป 0.2 ml. นำสารละลายตัวอย่างไปวิเคราะห์กับสารละลาย lead nitrate มาตรฐาน จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากเหลืองไปเป็นม่วงแกมผลการทดลองอย่างละเอียดได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก.

หมายเหตุ ในกรณีที่มีผ้าหรือตะกอนปนอยู่ในสารละลายตัวอย่าง จะต้องนำสารละลายตัวอย่างนั้นไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ก่อนแล้วนำไปทดลองต่อไป

ผลการทดลอง

ตาราง 49. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ aniline
เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของอลูมิเนียมใน hydrochloric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2

% N กรด, M				
	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	33.33	96.30	92.59	92.59
0.10	18.75	50.00	56.25	93.75
0.50	2.95	12.60	17.72	16.03

ตาราง 50. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ phenylhydrazine
เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของอลูมิเนียมใน hydrochloric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2

% N กรด, M				
	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	28.57	41.67	41.67	85.67
0.10	6.25	43.75	68.75	81.25
0.50	19.52	27.62	28.57	49.52

ตาราง 51. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ pyridine
เป็นตัวยับยั้งการสีกกร่อนของอลูมิเนียมใน hydrochloric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2

$\frac{\% \text{ N}}{\text{กรด, M}}$	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	29.41	82.35	76.47	82.35
0.10	5.88	00.00	11.76	23.53
0.50	39.57	50.64	52.34	60.85

ตาราง 52. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ aniline
เป็นตัวยับยั้งการสีกกร่อนของอลูมิเนียมใน sulfuric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2

$\frac{\% \text{ N}}{\text{กรด, M}}$	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	5.26	31.58	84.21	84.21
0.10	-3.70	3.70	00.00	18.52
0.50	11.11	13.33	20.00	17.78

ตาราง 53. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ phenylhydrazine
เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของอลูมิเนียมใน sulfuric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2

$\% N$ กรก, M	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	40.91	68.18	81.82	95.45
0.10	2.50	22.50	35.00	67.50
0.50	17.78	17.78	24.00	26.67

ตาราง 54. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ pyridine
เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของอลูมิเนียมใน sulfuric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2

$\% N$ กรก, M	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	20.00	88.00	88.00	96.00
0.10	25.00	30.56	33.33	94.44
0.50	17.65	9.85	13.75	19.61

ทองแดง

ใช้ pipet ขนาด 25 ml. ดูดสารละลายตัวอย่างมา 25.0 ml. ใส่น้ำลงใน conical flask ขนาด 100 ml. ปรับ pH ของสารละลายให้อยู่ที่ประมาณ 8 ด้วยสารละลาย ammonia (B.P.) 1 M โดยการทดสอบด้วยกระดาษ pH เทม ammonium chloride (B.P.) 1 M ลงไปประมาณ 10 % ของสารละลายใน flask นั้น หยด murexide indicator [เตรียมโดยนำ murexide (A.R.) 0.5 g. ละลายในน้ำกลั่น 2 – 3 ml. เขย่าแรง ๆ ปล่อยให้ส่วนที่ยังไม่ละลายตกตะกอนอยู่ข้างล่าง แล้วใช้สารละลายอิ่มตัวข้างบนนั้นเป็น indicator] ลงไปราว 0.2 ml. นำไปตีเทรด้วยสารละลายมาตรฐาน EDTA 0.0083 M จนถึงสารละลายเปลี่ยนจากเหลืองไปเป็นชมพูแกมม่วง ในการทดลองครั้งนี้แสดงอัตราการสึกกร่อนในหน่วย $\text{g.} / \text{cm}^2 / \text{day}$ ดังมีผลละเอียดซึ่งแสดงอยู่ในภาคผนวก ก.

หมายเหตุ ในกรณีที่สารละลายตัวอย่างมีตะกอนหรือฝ้าปนอยู่ควรกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ก่อน แล้วจึงนำไปวิเคราะห์

ตาราง 55. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ aniline
เป็นตัวยับยั้งการสลายตัวของทองแดงใน hydrochloric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2

$\frac{\% \text{ N}}{\text{กรด, M}}$	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	-9.68	32.26	47.19	94.62
0.10	13.01	10.57	28.46	64.23
0.50	5.41	13.68	11.97	13.68

ตาราง 56. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ histidine
เป็นตัวยับยั้งการสลายตัวของทองแดงใน hydrochloric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2

$\frac{\% \text{ N}}{\text{กรด, M}}$	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	12.90	22.58	36.56	—
0.10	26.83	—	30.08	—
0.50	—	—	—	—

ตาราง 57. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ pyridine
เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของทองแดงใน hydrochloric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2

% N กรก, M	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	-18.28	-4.30	-25.81	-29.03
0.10	5.69	7.32	11.38	2.44
0.50	4.27	5.98	11.11	0.85

ตาราง 58. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ aniline
เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของทองแดง sulfuric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2

% N กรก, M	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	30.36	64.29	78.57	73.21
0.10	1.92	16.98	43.24	52.83
0.50	26.09	28.26	34.78	43.48

ตาราง 59. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ histidine
เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของทองแดงใน sulfuric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2

% N กรด, M				
	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	12.50	14.29	30.36	—
0.10	—	—	—	—
0.50	—	—	—	—

ตาราง 60. ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการใช้ pyridine
เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของทองแดงใน sulfuric acid
ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2

% N กรด, M				
	0.03	0.08	0.15	0.25
0.02	-1.78	-7.14	-62.50	-92.86
0.10	49.06	71.70	58.49	71.70
0.50	67.39	73.91	58.70	78.26

ผลการทดลองการสีก่อนในสารละลายของกรณี ผู้ทดลองได้รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดลองไว้ในภาคผนวก ก. และนำข้อมูลไปเขียนกราฟทังแสดงไว้ในภาคผนวก ข. ข้อมูลที่ได้จากการทดลองได้คำนวณออกมาในรูปประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ (percent effectiveness) ซึ่งจะทำให้เห็นประสิทธิภาพของสารแต่ละชนิดแตกต่างกันอย่างชัดเจนยิ่งขึ้น

บทที่ 4

อภิปราย

ข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้รวบรวมไว้ก่อนที่จะเริ่มดำเนินงานวิจัยนั้นได้ช่วยให้ผู้ทดลองสามารถคาดคะเนผลการทดลองได้พอสมควร การทดลองครั้งนี้ใช้ชิ้นโลหะเหล็ก อลูมิเนียม และทองแดงตัวอย่าง 1278 ชิ้น โดยใช้ทำการทดลองในบรรยากาศของก๊าซ 108 ชิ้น และทดลองในสารละลายของกรด 1170 ชิ้น โลหะเหล็ก อลูมิเนียมและทองแดง ที่นำมาเป็นโลหะตัวอย่างนั้นมีส่วนประกอบดังนี้

ตาราง 61. ส่วนประกอบของเหล็ก ¹

ธาตุ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
คาร์บอน	0.04
ซิลิกอน	ไม่พบ
แมงกานีส	0.29
ฟอสฟอรัส	0.004
กำมะถัน	0.018

¹วิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง Emission Quantovac, Model, 31000-101
ของโรงงานเหล็กสยาม สระบุรี

ตาราง 61. (ต่อ)

ธาตุ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ทองแดง	0.07
โครเมียม	0.02
นิกเกิล	0.02
โมลิบดีนัม	0.005
อลูมิเนียม	0.001

ตาราง 62. ส่วนประกอบของอลูมิเนียม ¹

ธาตุ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ซิลิกอน	0.047
ตะกั่ว	0.021
สังกะสี	0.010

¹ ไก่ดจากการวิเคราะห์โลหะตัวอย่างควยวิธีการทางเคมีที่โรงงานเหล็กสยาม
สระบุรี

ตาราง 62. (ต่อ)

ธาตุ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
คีนุก	0.002
เหล็ก	0.42
อลูมิเนียม	99.45
แมกนีเซียม	เล็กน้อย ¹
แคลเซียม	เล็กน้อย ¹

ตาราง 63. ส่วนประกอบของทองแดง ²

ธาตุ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ตะกั่ว	0.014
สังกะสี	0.012
คีนุก	0.023

¹ ได้จากการวิเคราะห์ด้วย The Vreeland Direct Reading Spectroscope, Model 6 A กองโลหกรรม กรมทรัพยากรธรณี

² ได้จากการวิเคราะห์โลหะตัวอย่างด้วยวิธีการทางเคมีที่โรงงานเหล็กสยาม
สระบุรี

ตาราง 63. (ต่อ)

ธาตุ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
อลูมิเนียม	0.011
เหล็ก	0.196
ทองแดง	99.71
สังกะสี	เล็กน้อย ¹
ปรอท	เล็กน้อย ¹

ตอนที่ 1 การสีกร่อนของโลหะในภาวะ

อภิปรายวิธีดำเนินการทดลอง

1. การทำความสะอาดชิ้นโลหะตัวอย่าง โลหะที่เตรียมอยู่ในรูปร่างและขนาดที่ต้องการแล้วนั้นมีรอยเปื้อนสิ่งต่าง ๆ อยู่มาก ดังนั้นการทำความสะอาดจึงเป็นขั้นที่สำคัญขั้นหนึ่งที่มีผลต่อการทดลองโดยตรง เพราะสิ่งที่เปื้อนโลหะนั้นอาจจะเป็นได้ทั้งสารที่เร่งให้เกิดการสีกร่อนมากขึ้นหรือสารที่ชลออัตราการสีกร่อนให้ช้าลงได้ ในการทดลองการสีกร่อนในบรรยากาศนี้ โลหะที่มีปัญหาเกี่ยวกับการทำความสะอาดก่อนนำไปทดลองมากที่สุดคือเหล็ก เนื่องจากเหล็กมีสนิมเกิดขึ้นในบริเวณทั่ว ๆ ไปจึงจำเป็นต้องกำจัดเสียก่อน วิธีกำจัดขั้นแรกที่ย่างที่สุดคือ ชัดด้วยกระดาษทรายสำหรับขัดเหล็ก ตามปกติกระดาษทรายที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมีความละเอียดปานกลางถึงมาก เมื่อทดลอง

¹ ได้มาจากการวิเคราะห์ด้วย The Vreeland Direct Reading Spectroscope, Model 6 A. ของกองโลหกรรม กรมทรัพยากรธรณี

นำกระดาษทรายเบอร์ศูนย์ซึ่งเป็นเบอร์ที่ละเอียดที่สุดมาขัดเหล็กแล้วพบว่า ชื่นเหล็กตัวอย่างมีรอยใหญ่มาก อีกประการหนึ่งการขัดด้วยกระดาษทรายนี้จะไม่สามารถขัดได้ทั่วถึงและสิ้นเปลืองแรงงานมากไม่เหมาะสมที่จะนำมา เป็นวิธีทำความสะอาดเหล็กจำนวนมาก ๆ ปัญหานี้แก้ไขได้โดยการใช้เครื่องขัดที่เป็นแปรงลวด การขัดด้วยเครื่องนี้แม้ว่าจะทำให้เกิดรอยบนแผ่นเหล็กขนาดเล็กก็เนื่องกับการใช้กระดาษทรายแต่ก็สะดวกกว่ามากและใช้ระยะเวลาเพียงเล็กน้อยเท่านั้น นอกจากนี้การขัดด้วยเครื่องยังขัดได้ทั่วถึงและสม่ำเสมออีกด้วย

อย่างไรก็ตามการขัดด้วยเครื่องนี้เมื่อขัดเสร็จแล้วสนิมก็ยังมีโอกาสเกาะติดอยู่อีก ดังนั้นขั้นต่อไปจึงนำชิ้นเหล็กตัวอย่างไปล้างสนิม ครั้งแรกทดลองใช้ sulfuric acid เจือจางเป็นตัวละลายสนิมโดยแช่โลหะเหล็กไว้ในกรดเป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นเมื่อล้างให้สะอาดแล้วพบว่า มีพื้นผิวของโลหะเหล็กตัวอย่างมีผลิตภัณฑ์เกาะเป็นจำนวนมาก เมื่อทิ้งไว้ให้แห้งแล้วจะมีสนิมเกิดขึ้นใหม่อย่างรวดเร็ว จึงเปลี่ยนวิธีการล้างสนิมใหม่โดยใช้ ammonium nitrate 20 % (w / w) ที่อุณหภูมิ 100 °C แทน เมื่อนำไปล้างน้ำกลั่นให้สะอาดแล้วจึงนำไปล้างด้วย ethanol แล้วนำไปทำให้แห้งใน reduced pressure วิธีนี้โดยเฉลี่ยดีกว่าวิธีแรกมาก

2. ก๊าซที่ใช้ทดลอง ครั้งแรกผู้ทดลองได้เตรียมก๊าซต่าง ๆ เพื่อทดลองการสึกกร่อน ปรากฏว่าปัญหาที่ตามมาคือ ก๊าซที่เตรียมได้ไม่บริสุทธิ์พอ เป็นอันว่าการเตรียมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้หินปูนกับ hydrochloric acid เจือจาง¹ ผ่านก๊าซที่เกิดขึ้นไปยัง drying tower ที่บรรจุ silica gel และ anhydrous calcium chloride ตามลำดับ จากการเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาทดสอบด้วยกระดาษลิตมัสสีน้ำเงินที่ขึ้นเล็กน้อย พบว่าก๊าซได้เปลี่ยนสีของกระดาษจากน้ำเงินเป็นแดง ซึ่งแสดงว่ามีไฮดรอกเจนออกมาด้วย

¹ G.D. Parkes, Mellor's Modern Inorganic Chemistry, p. 390.

ก๊าซไนโตรเจนเตรียมได้ด้วยการอุ่นให้ ammonium nitrite สลายตัว ammonium nitrite นี้ได้จาก ammonium chloride ทำปฏิกิริยากับ sodium nitrite ¹ จากการเตรียมก๊าซไนโตรเจนครั้งนี้พบว่า มี nitric oxide เกิดขึ้น ก๊าซที่เกิดขึ้นนี้จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในบรรยากาศกลายเป็นก๊าซ nitrogen dioxide สีเหลืองปนน้ำตาลแดง ² ก๊าซ nitrogen dioxide ที่เกิดขึ้นนี้จะละลายน้ำได้ nitric acid และ nitrous acid

เนื่องจาก nitrogen dioxide ละลายน้ำแล้วโดยผลิตภัณฑ์ใหม่เป็นกรด จึงทำให้สามารถกำจัด nitrogen dioxide ได้โดยการผ่านก๊าซทั้งหมดไปในสารละลาย potassium hydroxide เข้มข้น

ผ่านก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมดไปยัง sulfuric acid เข้มข้น เพื่อดูดความชื้นแล้ว ผ่านก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมดไปยัง drying tower ที่บรรจุ anh. calcium chloride อีกชั้นหนึ่ง อย่างไรก็ตามก๊าซที่ออกมายังมีสีเหลืองอยู่อีกแสดงว่ามี nitric oxide ปนออกมาในรูปของ nitrogen dioxide อีก

จากที่กล่าวมาทั้งหมดนี้เป็นตัวอย่างแสดงให้เห็นถึงความยุ่งยากในการทำก๊าซ ไบบริสุทธิ อีกประการหนึ่งการเตรียมก๊าซเหล่านี้ในห้องปฏิบัติการเป็นการลงทุนที่แพงเกินไปและไม่สะดวก ดังนั้นผู้ทดลองจึงเปลี่ยนมาใช้ก๊าซที่เกิดขึ้นจากโรงงานของกอง วิทยาศาสตร์ กรมสรรพาวุธทหารบก ราคาของก๊าซดังกล่าวก็อยู่ในระดับปานกลาง ใกล้เคียงกับราคาที่จำหน่ายในท้องตลาด ก๊าซที่ใช้ทั้งหมดนั้นทางโรงงานบรรจุถึงขนาด 1 กิโลกรัม มีความดัน 2100 psi (pound per square inch) เนื่องจากก๊าซ ไบบริจุ่มานี้มีความดันสูงมาก การที่จะปล่อยก๊าซออกมาใช้ในแต่ละครั้ง ๆ นั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้เครื่องวัดความดัน (pressure gauge) สำหรับตัวอย่าง

¹ Ibid. p. 423.

² H.H., Sisler and others, College Chemistry, p. 384.

ประเภทที่ใช้กับก๊าซดังกล่าวนี้เป็นท่อที่มีโครงภายใน (hose) ซึ่งเป็นท่ออย่างที่จะนำมาใช้กับก๊าซที่มีความกดดันสูงโดยเฉพาะ ก๊าซที่ออกจากถังนี้จะต้องกำจัดความชื้นเสียก่อน โดยผ่านก๊าซที่จะใช้ในการทดลองไปยัง drying tower ซึ่งบรรจุ silica gel และ anhydrous calcium chloride ตามลำดับ

3. ภาชนะที่ใช้บรรจุก๊าซในการทดลอง ครั้งแรกที่ทำทำการทดลองได้ใช้ถุงพลาสติกชนิดต่าง ๆ บรรจุก๊าซที่จะทดลอง ผลปรากฏว่าถุงพลาสติกทุกประเภทไม่สามารถป้องกันการแพร่กระจายของก๊าซได้ นอกจากก๊าซแล้วยังมีไอน้ำในอากาศสามารถแพร่กระจายผ่านถุงพลาสติกได้ก็อีกด้วย จึงทำให้การทดลองไม่ได้ผล จากประสบการณ์ดังกล่าวทำให้ผู้ทดลองต้องเปลี่ยนวิธีการใหม่ใช้ขวดแก้วแทน โดยเจาะรูอย่างเดียว หลอดแก้ว แล้วอุดปากขวดให้แน่น ต่อด้วยสายยางให้เป็นอนุกรมกันภาพที่ 3 หน้า 28

4. การวิเคราะห์หาอัตราการสีกกร่อนของโลหะ วิธีการวิเคราะห์หาอัตราการสีกกร่อนในก๊าซต่าง ๆ นั้น อาจจะหาได้ทั้งในรูปน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่หายไป ในการทดลองครั้งนี้หาอัตราการสีกกร่อนในรูปของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น การชั่งหาน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของโลหะนี้ควรจะใช้ตาชั่งที่มีความเที่ยงตรงมากอย่างน้อยที่สุดก็ควรจะเป็น ± 0.0005 กรัม ในการทดลองครั้งนี้มีความเที่ยงตรงเท่ากับ ± 0.0001 กรัม สำหรับข้อมูลที่ได้รับนั้นจะนำมาคำนวณหาการสีกกร่อนเป็น $\text{mg.} / \text{dm}^2$

อภิปรายผลการสีกกร่อนของโลหะในก๊าซ

การศึกษาความเปลี่ยนแปลงของโลหะในก๊าซต่าง ๆ นั้นวิเคราะห์โดยการนำไปชั่งด้วย analytical balance (± 0.0001 กรัม) เพื่อหาน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง การสีกกร่อนของโลหะนี้คำนวณออกมาในหน่วย $\text{mg.} / \text{dm}^2$ สำหรับอัตราการสีกกร่อนนั้นก็แสดงในหน่วย mdd ($\text{mg.} / \text{dm}^2 / \text{day}$) การสีกกร่อนของโลหะตามปกติมันมักจะดำเนินไปอย่างช้า ๆ ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยการชั่งนั้นบางครั้งไม่สามารถตัดสินใจได้ว่า น้ำหนักที่ได้มานั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของโลหะหรือไม่ แม้ว่าตัวเลขจะเปลี่ยนแปลงไปก็จริง แต่การเปลี่ยนแปลงไปภายในขอบเขตความผิดพลาด (error)

ของเครื่องมือ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้สถิติเข้ามาวิเคราะห์ข้อมูลอีกชั้นหนึ่งก่อน สถิติที่นำมาใช้วิเคราะห์ข้อมูลมีดังนี้

$$1. \text{ ค่าเฉลี่ย } (\bar{X}) = \frac{\sum X}{N} \quad (1)$$

$$2. \text{ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการชั่ง } = \sqrt{\frac{\sum x^2}{N}} \quad (2)$$

เมื่อ x คือความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยกับน้ำหนักที่ได้จากการชั่งแต่ละครั้ง หรือ

$$x = \bar{X} - X$$

สำหรับเกณฑ์ในการพิจารณาว่า โลหะในภาซโคจะเกิดการสึกกร่อนหรือไม่นั้น ในบางกรณีข้อมูลที่ได้จากการทดลองไม่สามารถบอกได้ว่าเกิดการสึกกร่อน จึงจำเป็นต้องพิจารณาจากความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการชั่ง (standard deviation) หรือการกระจายของข้อมูลที่ได้รับนั่นเอง เนื่องจากข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เป็นน้ำหนักของโลหะที่เปลี่ยนแปลงไปโดยคิดเปรียบเทียบจากน้ำหนักที่ได้จากการชั่งครั้งแรกกับครั้งสุดท้าย อีกประการหนึ่งค่าซึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นมีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ ± 0.0001 กรัม เพราะฉะนั้นความคลาดเคลื่อนที่อาจจะเกิดขึ้นจากการชั่งจะเป็น ± 0.0002 กรัม ดังนั้นเกณฑ์ที่จะใช้ในการพิจารณาว่าโลหะจะเกิดการสึกกร่อนหรือไม่นั้น ก็คือ ในการทดลองชุดใดหากมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานมากกว่า 0.0002 ก็คือตั้งแต่ 0.0003 ขึ้นไป จะถือว่าการทดลองในชุดนั้นเกิดการสึกกร่อน และหากการทดลองชุดใดมีความคลาดเคลื่อนเท่ากับหรือน้อยกว่า 0.0002 แล้วจะถือว่าการทดลองในชุดนั้น ๆ ไม่เกิดการสึกกร่อน อย่างไรก็ตามค่าที่นำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาว่าเกิดการสึกกร่อนหรือไม่ก็มาจากความคลาดเคลื่อนของค่าซึ่งเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เพราะโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดได้มากที่สุดก็นำมาจากการชั่ง สิ่งที่จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนอื่นๆ

¹ H.E. Garrett, Statistics in Psychology and Education, p. 27.

² Ibid. p. 50.

ยังมีอีกได้แก่ การวัด ประสิทธิภาพของเครื่องมือที่ใช้ทดลอง ตลอดจนความผิดพลาดอันอาจจะเกิดจากตัวผู้ทดลองเอง ซึ่งสิ่งเหล่านี้ก็อาจจะมีผลอยู่บ้างเล็กน้อย

ผลการทดลองของเหล็ก

1. ก๊าซต่าง ๆ ที่ใช้ทดลองกับเหล็กมีอยู่ 4 ชนิดด้วยกันคือ บรรยากาศปกติ ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจน ในก๊าซแต่ละชนิดยังแบ่งการทดลองออกเป็นสองประเภทคือ ประเภทหนึ่งมีโคเคลือบสารชนิดใด อีกประเภทหนึ่งเคลือบสารป้องกันการสึกกร่อน สารป้องกันการสึกกร่อนในการทดลองครั้งนี้คือ *i-quinoline* จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเหล็กตัวอย่างที่ทำการทดลองในบรรยากาศปกติทั้งที่เคลือบและไม่เคลือบ *i-quinoline* นั้นเกิดสึกกร่อนได้ แต่ผลการทดลองของเหล็กในก๊าซอื่น ๆ นั้น จากข้อมูลที่ได้รับยังไม่สามารถแยกได้ว่าเกิดการสึกกร่อนหรือไม่ ทั้งนี้จะต้องพิจารณาจากค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนของการทดลองประกอบด้วย สำหรับค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน(*standard deviation*) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 64 ดังนี้

ตาราง 64. แสดงค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของเหล็กในก๊าซต่าง ๆ ในช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงครั้งสุดท้ายของการทดลอง

ก๊าซที่ใช้ทดลอง	ไม่เคลือบ <i>i-quinoline</i>		เคลือบ <i>i-quinoline</i>	
	ค่าเฉลี่ย, mg./dm. ²	ความคลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย, mg./dm. ²	ความคลาดเคลื่อน มาตรฐาน
บรรยากาศปกติ	8.25	0.00230	2.35	0.00210
ออกซิเจน	0.28	0.00021	0.64	0.00011
คาร์บอนได ออกไซด์	-0.47	0.00027	0.29	0.00011
ไนโตรเจน	0.24	0.00022	0.30	0.00023

จากตารางที่ 64 จะเห็นว่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของเหล็กในชุดที่ทำการทดลองในบรรยากาศที่เคลือบด้วย i-quinoline และมีไอคลื่อนั้น มีค่าเท่ากับ 0.00210 และ 0.00230 ตามลำดับจะเห็นว่าความกระจกระยะจ่ายของข้อมูลดังกล่าวมีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้คือ 0.0003 ซึ่งแสดงว่าเกิดการสึกกร่อน นอกจากนี้จะเห็นว่าไม่มีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการทดลองชุดใดมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.0003 เลย แต่ผลการทดลองของเหล็กในภาชนะรอบนอกออกไซด์นั้นมีแนวโน้มที่จะเกิดการสึกกร่อนได้ ทั้งนี้เนื่องจากความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของผลการทดลองเป็น 0.00027 แต่อย่างไรก็ตาม สิ่งที่จะทำให้การเกิดผลลานั้นนอกจากจะมีการขังแล้วยังมีอย่างอื่นอีก เพราะฉะนั้นในกรณีเช่นนี้จึงสรุปให้แน่นอนลงไปไม่ได้ ในกรณีของการทดลองในภาชนะออกซิเจนและไนโตรเจนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานยังไม่สูงพอที่จะสรุปว่าเกิดการสึกกร่อนได้

2. เหล็กที่ทำการทดลองในบรรยากาศปกติใช้เวลาทั้งหมด 1828 ชั่วโมง หรือ 76 วัน อัตราการสึกกร่อนของเหล็กในบรรยากาศปกติเท่ากับ 0.14 อัตราการสึกกร่อนของเหล็กนี้ไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญ 3 ประการด้วยกันคือ ส่วนประกอบของโลหะ ลักษณะของก๊าซที่ใช้ทดลองและเวลาที่ใช้ทำการทดลอง¹ ทั้งนี้จะเปรียบเทียบได้จากข้อมูลของ Union Carbide and Carbon Research Laboratories² ดังตาราง 65 จะเห็นว่าแม้ส่วนประกอบของโลหะจะเหมือนกัน หากทดลองต่างสถานที่กันแล้วอัตราการสึกกร่อนก็จะแตกต่างกันไป หรือถ้าทดลองในที่แห่งเดียวกันแต่ใช้เวลาแตกต่างกันไปก็จะมีผลให้อัตราการสึกกร่อนแตกต่างกันไปด้วย

¹H.H. Uhlig, Handbook of Corrosion, p. 120.

²Union Carbide and Carbon Research Laboratories, (Citing Handbook of Corrosion, p. 149, by H.H. Uhlig)

ตาราง ๒๕. ส่วนประกอบของเหล็กและอัตราการสึกกร่อนของเหล็กในสถานที่ที่แตกต่างกัน

สถานที่	ส่วนประกอบของโลหะ %				อัตราการสึกกร่อน, mdd	
	คาร์บอน	โครเมียม	แมงกานีส	ซิลิกอน		
ชายทะเลเมือง Wilmington, N.C.	0.074	—	0.39	0.30	7.74 [*]	6.46 ^{**}
	0.060	1.02	0.35	0.23	6.78 [*]	5.43 ^{**}
ย่านอุตสาหกรรมใกล้ น้ำตกไนแอการา, N.Y.	0.074	—	0.39	0.30	5.36 ^{***}	
	0.060	1.02	0.35	0.23	4.45 ^{***}	

* ใช้เวลาทำการทดลอง 540 วัน

** ใช้เวลาทำการทดลอง 1320 วัน

*** ใช้เวลาทำการทดลอง 600 วัน

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้อจากการทดลองกับข้อมูลที่ยกมาจาก Union Carbide and Carbon Research Laboratories นี้จะเห็นว่าข้อมูลที่ได้อจากการทดลองครั้งนี้มีอัตราการสึกกร่อนต่ำกว่ามาก ทั้งนี้เพราะการทดลองครั้งนี้ทดลองในที่ร่มในห้องปฏิบัติการ แต่การทดลองที่ยกมานี้เป็นการทดลองกลางแจ้ง การที่ทั้งโลหะให้อบู่กลางแจ้งย่อมมีโอกาสที่จะเกิดสึกกร่อนได้มากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากในที่กลางแจ้งอุณหภูมิจะมีช่วงการเปลี่ยนแปลงมากกว่า ในเวลากลางวันอุณหภูมิจะสูงกว่าในห้องปฏิบัติการ ส่วนในเวลากลางคืนอุณหภูมิจะต่ำกว่า ถ้าหากชิ้นโลหะมีโอกาสถูกน้ำค้างหรือน้ำฝนด้วยแล้วก็จะเท่ากับถูกเร่ง

ให้มีอัตราการสึกกร่อนสูงขึ้นเรื่อย ๆ อีกประการหนึ่งส่วนประกอบของอากาศที่ทำการทดลองนั้นก็มีส่วนอยู่มากดังจะพิจารณาได้จากตารางที่ 66 แม้โลหะจะเป็นโลหะชนิดเดียวกัน หากทดลองต่างสถานที่กันก็พบว่า มีอัตราการสึกกร่อนแตกต่างกันแต่เป็นที่น่าสนใจเกี่ยวกับอัตราการสึกกร่อนของโลหะที่ทำการทดลองที่ชายทะเลนั้นมีอัตราการสึกกร่อนสูงกว่าที่ทดลองในย่านอุตสาหกรรม แม้ว่าในย่านอุตสาหกรรมนั้นจะมีก๊าซต่าง ๆ ที่เป็นพิษอยู่มากก็ตาม เป็นต้นว่า คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ส่วนอากาศที่ใช้ทำการทดลองครั้งนี้มีลักษณะเหมือนกับอากาศในชนบทเพียงแต่อยู่ในห้องปฏิบัติการ เท่านั้นเอง

สำหรับความชื้นในช่วงที่ทำการทดลองประมาณ 3 เดือนนั้น โดยเฉลี่ยค่อนข้างสูง คือมีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 80.2 % ตัวเลขดังกล่าวนี้เป็นข้อมูลของสถานีกรุงเทพฯ ในช่วงเดือนมกราคม - มีนาคม พ.ศ. 2513 ส่วนความชื้นสัมพัทธ์โดยเฉลี่ยในแต่ละเดือน ๆ จะเป็น 75.7, 81.3 และ 73.7 % ตามลำดับ¹ หากจะพิจารณาความชื้นในแต่ละวัน ๆ ก็ยิ่งแตกต่างกันมากกว่านี้อีก บางวันฝนตกความชื้นสัมพัทธ์จะสูงถึง 100 % ในขณะที่บางวันอากาศหนาวจัดซึ่งจะมีความชื้นสัมพัทธ์เพียง 30 % เท่านั้น สิ่งเหล่านี้ล้วนมีอิทธิพลต่อการสึกกร่อนทั้งสิ้น เกี่ยวกับธาตุอื่นที่ปนอยู่ในเหล็กนั้น ก็มีอิทธิพลต่อการสึกกร่อนทั้งสิ้น เกี่ยวกับธาตุอื่นที่ปนอยู่ในเหล็กนั้นก็มีอิทธิพลต่อการสึกกร่อนอยู่มาก เป็นต้นว่า คาร์บอน เมื่อมีปริมาณอยู่ระหว่าง 0.02 ถึง 0.04 % จะช่วยต่อต้านการสึกกร่อนในบรรยากาศได้² ซิลิกอนก็เป็นอีกธาตุหนึ่งที่มักจะพบในเหล็กเสมอ ถ้ามีปริมาณสูงถึง 14 - 15 % จะช่วยต่อต้านการสึกกร่อนของเหล็กได้³

¹ ข้อมูลนี้ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา

² G.T. Bakhvalov and A.V. Turkovskaya, Corrosion and Protection of Metals, p. 61.

³ H.H. Uhlig, op. cit. p. 140.

จากข้อมูลที่ยกขึ้นมานั้นจะเห็นได้ว่า เหล็กมักมีการสึกกร่อนในปริมาณสูงเสมอ การที่เหล็กเกิดสนิมได้คือนั้นเนื่องจากสนิมที่เกิดขึ้นมักจะเกิดขึ้นอย่างไม่สม่ำเสมอ และมักจะเกิดขึ้นมากเป็นพิเศษตามบริเวณขอบหรือส่วนที่แหลมคม การที่สนิมของเหล็กเกิดขึ้นอย่างนี้ ไม่สม่ำเสมอนี้ทำให้ออกซิเจนในบรรยากาศเข้าไปทำปฏิกิริยากับเหล็กส่วนในได้ สนิมจึงเกิดต่อเนื่องมากขึ้นตามลำดับ ลักษณะการเกิดสนิมของเหล็กที่ไม่สม่ำเสมอจะเห็นได้จากภาพถ่ายโครงสร้างของโลหะเหล็กตัวอย่างซึ่งเปรียบเทียบกันระหว่างก่อนและหลังการสึกกร่อนในภาพที่ 4 และ 5 ในภาคผนวก ค.

3. สำหรับการสึกกร่อนของเหล็กในอากาศโดยเกลือ 1-quinoline นั้น ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าสารนี้สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้การสึกกร่อนของเหล็กในบรรยากาศได้ เพราะจะลดการสึกกร่อนอย่างเห็นได้ชัด จะเห็นว่าเมื่อทดลองถึงชั่วโมงที่ 1400 การสึกกร่อนของเหล็กจะเท่ากับ 3.20 mg. / dm^2 ในขณะที่เหล็กในชุดการทดลองที่ได้เกลือ 1-quinoline มีการสึกกร่อนถึง 10.65 mg. / dm^2 คือจะลดการสึกกร่อนลงเหลือน้อยกว่า 1 ใน 3 ของเหล็กที่มีได้เกลือสาร 1-quinoline ดังจะพิจารณาได้จากกราฟที่ 1 ในภาคผนวก ข.

4. ในกรณีการสึกกร่อนของเหล็กภายใต้บรรยากาศของคาร์บอนไดออกไซด์ นั้นใช้เวลาทั้งหมด 1305 ชั่วโมง จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติพบว่า มีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ 0.00027 ซึ่งมีแนวโน้มที่แสดงว่าอาจจะเกิดการสึกกร่อนขึ้นได้ Steven และ Board¹ ได้เคยทดลองไว้แล้วแต่ทำการทดลองที่อุณหภูมิสูงๆ ตั้งแต่ 500°C ขึ้นไปโดยแปรผันปริมาณความชื้น เขาพบว่าในสภาวะที่มีปริมาณความชื้นต่ำ ๆ เหล็กจะสึกกร่อนได้น้อยมาก ในบางสภาวะเหล็กก็เกิด film ขึ้นได้เหมือนกัน แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าเหล็กที่ทดลองภายใต้บรรยากาศของคาร์บอนไดออกไซด์นี้มีความชื้นปนอยู่เลย เพราะฉะนั้นจึงเป็นการยากแก่การสรุปว่าเกิดการสึกกร่อน นอกจากจะทำการทดลองซ้ำใหม่โดยใช้เวลานานกว่านี้

¹C.G. Steven and J. Board, Br. Corros. J., 4, 80 - 85 (1969).

ผลการทดลองของอูมิเนียม

1. ก๊าซต่าง ๆ ที่ใช้ทดลองกับอูมิเนียมมีอยู่ 4 ชนิดคือ บรรยากาศปกติ ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจน ในก๊าซแต่ละชนิดยังแยกการทดลอง ออกเป็นสองประเภท คือประเภทหนึ่งโลหะมีไคเคลือบสาร *i*-quinoline และอีกประเภทหนึ่งนั้นเคลือบด้วย *i*-quinoline ข้อมูลที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า อูมิเนียมในบรรยากาศปกติในสภาวะที่มีไคเคลือบ *i*-quinoline เกิดการสึกกร่อน ส่วนชุดการทดลองของอูมิเนียมในก๊าซอื่น ๆ นั้นยังไม่สามารถแยกได้ว่าเกิดการสึกกร่อนหรือไม่ ทั้งนี้ จะต้องพิจารณาจากผลเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐานประกอบด้วย สำหรับผลเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแสดงไว้แล้วในตารางที่ 67

ตาราง 67. ค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของอูมิเนียมในก๊าซต่าง ๆ ในช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงครั้งสุดท้ายของการทดลอง

ก๊าซที่ใช้ทดลอง	ไม่ไคเคลือบ <i>i</i> -quinoline		เคลือบ <i>i</i> -quinoline	
	ค่าเฉลี่ย, mg./dm. ²	ความคลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย, mg./dm. ²	ความคลาดเคลื่อน มาตรฐาน
บรรยากาศปกติ	0.53 *	0.00020		
ออกซิเจน	0.95 **	0.00006	0.17	0.00020
คาร์บอนไดออกไซด์	0.01	0.00010	0.13	0.00016
ไนโตรเจน	0.01	0.00008	-0.12	0.00009
	-0.13	0.00018	0.02	0.00013

* คำนวณจากข้อมูลในช่วงชั่วโมงที่เริ่มต้นถึงชั่วโมงที่ 656

** คำนวณจากข้อมูลในช่วงชั่วโมงที่ 656 ถึงชั่วโมงที่ 1945

จากตารางที่ 67 จะเห็นว่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของข้อมูลที่ได้จากการทดลองอลูมิเนียมในบรรยากาศในช่วงชั่วโมงที่เริ่มจนถึงชั่วโมงที่ 656 นั้น มีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ 0.00020 พอดี ซึ่งยังอยู่ในขอบข่ายที่แสดงว่ายังไม่เกิดปฏิกิริยา แต่เมื่อพิจารณาจากแนวโน้มของน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงในกราฟที่ 2 จากภาคผนวก ข. จะเห็นว่า จะเกิดการสึกกร่อนในช่วงนี้ นอกจากนี้จะเห็นว่าไม่มีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการทดลองชุดใดมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.0003 จากหลักฐานทางสถิตินั้นแสดงว่าอลูมิเนียมในบรรยากาศปกติในช่วงชั่วโมงที่ 656 ถึงชั่วโมงที่ 1945 ไม่เกิดการสึกกร่อนเพิ่มขึ้น สำหรับข้อมูลของการทดลองในบรรยากาศชุดที่อลูมิเนียมเคลือบ *i*-quinoline นั้น เมื่อพิจารณาแค่เพียงผิวเผินแล้วก็เข้าใจว่า จะมีการสึกกร่อนเกิดขึ้น แต่ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของข้อมูลชุดนี้เพียง 0.0002 ยังไม่ถึง 0.0003 จึงยังไม่สามารถสรุปได้ว่าเกิดการสึกกร่อน สำหรับข้อมูลจากการทดลองในกาซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจน เมื่อพิจารณาความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแล้วยังไม่สามารถถือว่าเกิดการสึกกร่อนได้

2. อลูมิเนียมที่ทำการทดลองในบรรยากาศปกติใช้เวลาทดลอง 1945 ชั่วโมง หรือ 81 วันเกิดการสึกกร่อน 1.08 mg. / dm^2 มีอัตราการสึกกร่อนเท่ากับ 0.013 mdd จากกราฟที่ 2 จะเห็นว่าน้ำหนักของอลูมิเนียมจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงชั่วโมงที่ 640 ต่อไปจากนั้นน้ำหนักของอลูมิเนียมจะคงที่เสมอ แสดงว่าชั่วโมงที่ 640 นั้นเกิด oxide film อย่างสมบูรณ์ที่สุด การสึกกร่อนของอลูมิเนียมที่สมบูรณ์ที่สุดนั้นจะเป็น 0.95 mg. / dm^2 Oxide film ที่เกิดขึ้นนี้จะเคลือบบริเวณผิวหน้าของโลหะทั้งหมดอย่างสม่ำเสมอ¹ เนื่องจาก oxide film ที่เกิดขึ้นมีลักษณะสม่ำเสมอนี้เอง ทำให้ออกซิเจนในอากาศไม่สามารถผ่านเข้าไปทำปฏิกิริยากับอลูมิเนียมในชั้นถัดไปได้ การเกิด oxide film นี้จะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโลหะ ดังจะสังเกตเห็นได้จากภาพถ่ายโครงสร้างของอลูมิเนียมซึ่งถ่ายไววก่อนเกิดการสึกกร่อนและเมื่อเกิดการสึกกร่อนแล้ว

¹E.S. Hedge, Protective Film on Metals, p. 86.

ซึ่งแสดงไว้ในภาพที่ 6 และ 7 Hedge¹ ได้กล่าวไว้ว่า oxide ของอลูมิเนียมนั้น อยู่ในรูปที่ไม่แน่นอน พร้อมกันนั้นเขาก็คาดว่ามันควรจะอยู่ในรูป Al_2O_3 กับ $Al_2O_3 \cdot 2H_2O$ และ film ของอลูมิเนียมก็ควรจะหนาอยู่ในระหว่าง 1.04×10^{-6} ถึง 1.35×10^{-6} cm. ตามลำดับ แต่ Shreir² กล่าวว่า oxide ของอลูมิเนียมจะต้องมีน้ำปนอยู่ด้วยเสมอ และการที่ oxide film ของอลูมิเนียมสามารถป้องกันการสึกกร่อนได้นี้ เนื่องจากมันทำหน้าที่เป็น anodic inhibitor ใต้นั้นเอง

เกี่ยวกับการสึกกร่อนของอลูมิเนียมนี้ Mears³ ได้รายงานไว้ว่าโลหะอลูมิเนียมนี้เคยมีผู้นำไปทำวัสดุประกอบการก่อสร้าง แล้วปล่อยทิ้งไว้ ณ ที่นั้นซึ่งมีอุณหภูมิราว $50^{\circ}C$ เมื่อทิ้งไว้ 5 ปีแล้วพบว่า ไม่เกิดการสึกกร่อนเพียงแต่เกิดเป็นริ้วรอยบ้างเล็กน้อยเท่านั้น สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อการสึกกร่อนของอลูมิเนียมนี้ก็ได้กล่าวมาแล้วในการอภิปรายเกี่ยวกับการสึกกร่อนของเหล็กในกาซ ในกรณีของอลูมิเนียมนี้เมื่อมีความบริสุทธิ์มากขึ้น จะต่อต้านการสึกกร่อนในบรรยากาศปกติได้ดี⁴

¹ Ibid. p. 58.

² L.L. Shreir, Corrosion, Vol 2, p. 13.13.

³ H.H. Uhlig, op. cit. p. 53.

⁴ G.T. Bakhvalov and A.V. Turkovskaya, op. cit., p. 81.

ผลการทดลองของทองแดง

1. ก๊าซต่าง ๆ ที่ใช้ทดลองกับทองแดงมีอยู่ 4 ชนิดคือ บรรยากาศปกติ ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจน การทดลองในก๊าซแต่ละชนิดยังแบ่งออกเป็น 2 พวกคือ พวกแรกทองแดงที่ใช้ทดลองไม่ต้องเคลือบสารป้องกันการสึกกร่อน อีกพวกหนึ่งทองแดงที่ใช้ทดลองเคลือบสารป้องกันการสึกกร่อน ในการทดลองครั้งนี้สารที่ป้องกันการสึกกร่อนคือ 1-quinoline ค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard deviation) ของการซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 67. ดังต่อไปนี้

ตาราง 67. ค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของทองแดงในก๊าซต่างๆ ตั้งแต่ชั่วโมงแรกจนถึงชั่วโมงสุดท้ายของการทดลอง

ก๊าซที่ใช้ทดลอง	ไม่เคลือบ 1-quinoline		เคลือบ 1-quinoline	
	ค่าเฉลี่ย, mg. / dm. ²	ความคลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย, mg. / dm. ²	ความคลาดเคลื่อน มาตรฐาน
บรรยากาศปกติ	0.06	0.00015	-0.14	0.00019
ออกซิเจน	-0.04	0.00012	0.00	0.00010
คาร์บอนไดออกไซด์	0.02	0.00005	-0.18	0.00025
ไนโตรเจน	0.24	0.00016	-0.22	0.00014

จากตารางที่ 67 จะเห็นว่าไม่มีการทดลองชุดใดเลยมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานถึง 0.0003 แม้แต่ชุดการทดลองของทองแดงภายใต้บรรยากาศปกติซึ่งมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ 0.00015 เท่านั้น อย่างไรก็ตามจากการคำนวณหาความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของชุดการทดลองของทองแดงนั้นมีอยู่ชุดหนึ่งที่มีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานใกล้เคียง 0.0003 คือชุดการทดลองที่เคลือบด้วย 1-quinoline

ภายใต้การคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ 0.00025 เมื่อพิจารณาจากความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแล้วก็น่าจะมีการสึกกร่อนเกิดขึ้น แต่เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของผลการทดลองในชุดนี้ก็พบว่ามีความเท่ากับ -0.18 mg. / dm^2 นั้นอาจจะแสดงว่ามีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นกับทองแดง แต่การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้มีได้หมายถึงการสึกกร่อนของทองแดงเนื่องจากน้ำหนักของทองแดงลดลง ทั้งนี้อาจจะแสดงว่าทองแดงซึ่งเคลือบด้วย 1-quinoline นั้นยังไม่แห้งสนิทก่อนนำมาทดลอง เมื่อปล่อยให้แห้งทำให้ 1-quinoline บางส่วนระเหยไปเป็นผลให้น้ำหนักของโลหะตัวอย่างลดลง

2. จากหลักฐานทางสถิติที่แสดงไว้ในตาราง 67 แสดงว่าทองแดงภายใต้บรรยากาศปกติไม่เกิดการสึกกร่อนหลักฐานที่แสดงไว้แล้วนี้เป็นหลักฐานที่อยู่ภายใต้ขอบเขตหรือขีดความสามารถของตาราง ทั้งจะพิจารณาได้จากภาพที่ 8 และ ภาพที่ 9 ในภาคผนวก ค. หน้า 255 ซึ่งถ้าเปรียบเทียบระหว่างก่อนการสึกกร่อนและเมื่อเกิดการสึกกร่อนแล้วจะเห็นว่าต่างกันมาก ในภาพซึ่งถ่ายก่อนทำการทดลองนั้นจะเห็นลักษณะเม็ด (grain) ของโลหะโคบอลต์เจน และในบางแห่งจะมีจุดดำ ๆ เล็กอยู่ทั่วไป จุดเหล่านี้เกิดขึ้นเพราะลักษณะเนื้อของโลหะไม่เรียบสม่ำเสมอ บางจุดก็จะเป็นเม็ดของ impurities ที่ปนอยู่ สำหรับภาพที่เกิดการสึกกร่อนแล้วนั้นพบว่าจะมีจุดดำ ๆ เกิดขึ้นเหมือนกันแต่มีขนาดใหญ่กว่าของเดิมหลายเท่า จุดดำ ๆ เหล่านี้เป็น oxide ของทองแดง ดังนั้นการที่จะกล่าวว่าทองแดงที่นำมาทดลองในบรรยากาศปกติไม่เกิดการสึกกร่อนหลังจากนำข้อมูลนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติแล้วนั้น จึงเป็นไปได้ที่ว่าภายใต้สภาวะดังกล่าวนี้ในช่วงเวลา 1799 ชั่วโมงที่ใช้ทำการทดลอง โดยวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยตารางที่มีขอบข่ายของความผิดพลาด $\pm 0.0001 \text{ g.}$ นั้นยังไม่สามารถทดสอบได้ว่าเกิดการสึกกร่อน แต่สามารถทดสอบได้โดยภาพถ่ายที่แสดงถึงความเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโลหะในบริเวณพื้นผิว ทั้งนี้ย่อมหมายความว่าในสภาวะเช่นนี้หากยืดเวลาการทดลองให้นานออกไปกว่านี้อีกก็อาจจะสามารถทดสอบได้โดยการซึ่ง

ตามปกติทองแดงจะเกิด oxide ขึ้นได้เมื่อปล่อยทิ้งไว้ในบรรยากาศที่มีความชื้น¹ oxide film ของทองแดงที่เกิดขึ้นจะบางมากจนมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น² oxide นี้หากปล่อยไว้ให้เกิดมาก ๆ จะสังเกตเห็นโคซัคโดยจะมีสีคล้ำจนถึงสีเขียว oxide นี้เกี่ยวกับองค์ประกอบสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการสึกกร่อนของทองแดงก็เช่นเดียวกับในกรณีของเหล็กกล้า คือจะมีชนิดและปริมาณของธาตุอื่นที่ปนอยู่ในทองแดง ระยะเวลาที่ใช้ทำการทดลองและสภาพหรือส่วนประกอบของก๊าซที่ไหลทดลอง ทั้งนี้จะพิจารณาได้จากข้อมูลที่ไดจากการทดลองของ A.S.T.M.³ ซึ่งใช้เวลาทดลองถึง 10 ปี ดังข้อมูลในตาราง 68 ดังนี้

ตาราง 68. การสึกกร่อนของโลหะผสม (ทองแดง 92 % กับดีบุก 8 %)

สถานที่	ประเภทของบรรยากาศ	อัตราการสึกกร่อน, ipy
Altoona, Pa.	ย่านอุตสาหกรรมหรือกิ่งอุตสาหกรรม	0.000058
New York, N.Y.	ย่านอุตสาหกรรมหรือกิ่งอุตสาหกรรม	0.000072
Sandy Hook, N.J.	บริเวณชายทะเล	0.000050
La Jolla, Calif.	บริเวณชายทะเล	0.000081
State Colledge, Pa.	ชนบท	0.000031
Phoenix, Ariz.	ชนบท	0.000006

* ipy คือ inch per year

¹The Institution of Metallurgists, Corrosion and Protection of Metals, p.88.

²E.S. Hedge, op. cit. p. 83.

³A.S.T.M., Proc. Am. Soc. Testing Materials, 44, 224-239 (1944).

ตอนที่ 2 การสีกร่อนของโลหะในสารละลายของกรด

อภิปรายวิธีดำเนินการทดลอง

1. รูปร่างและขนาดของโลหะตัวอย่าง ตามปกติรูปร่างและขนาดของโลหะตัวอย่างจะเปลี่ยนแปลงไปได้ตามวัตถุประสงค์และวิธีการทดลอง การทดลองการสีกร่อนของโลหะ อลูมิเนียมและทองแดงในสารละลายของกรดครั้งนี้ได้นำชิ้นโลหะตัวอย่างให้มีลักษณะกลมคล้ายเหรียญเท่ากันหมดทุกอัน ทั้งนี้เพื่อชั่งความยุ่งยากเกี่ยวกับการคำนวณพื้นที่ผิวของโลหะตัวอย่าง ชิ้นโลหะตัวอย่างที่เจาะแล้วจะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.56 cm . และมีพื้นที่ผิวเท่ากับ 3.82 cm^2

2. การทำความสะอาด การทำความสะอาดนี้ก็มีผลต่อการสีกร่อนเช่นเกี่ยวกับการสีกร่อนในบรรยากาศ จากประสบการณ์ที่ได้รับแสดงว่าโลหะใด ๆ ที่ได้รับการ etching มาแล้วเมื่อนำมาทดลองการสีกร่อนพบว่าโลหะที่ etched แล้วจะมีอัตราการสีกร่อนสูงกว่าพวกที่ไม่ได้ etch มาก ดังนั้นการทดลองการสีกร่อนในสารละลายของกรดนี้จึงไม่ควรนำชิ้นโลหะตัวอย่างที่ผ่านการทดลองมาแล้วครั้งหนึ่งมาทดลองซ้ำอีก การทดลองซ้ำควรจะใช้ชิ้นโลหะตัวอย่างอันใหม่

การทำความสะอาดชิ้นโลหะตัวอย่างหลังจากการทดลองแล้วเพื่อขจัดผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่เกาะอยู่บนนั้นก็มีความสำคัญอยู่ไม่น้อยเลยทีเดียวที่เคียว หากล้างออกไม่หมดจะทำให้หน้าหนักที่ได้จากการชั่งโลหะนั้นมากกว่าที่ควรจะเป็น จะเป็นผลให้การตีความจากผลการทดลองผิดพลาดไปคืบ วิธีการล้างโลหะที่ได้ผลดีที่สุดนิยมใช้ในการทดลองการสีกร่อนส่วนใหญ่เป็นวิธีการทางเชิงกล เป็นต้นว่า การขัดด้วยกระดาษทราย การขัดด้วยแปรงลวด การขัดด้วยแปรงในล่อนกับผงซักฟอก ในการทดลองครั้งนี้ผู้ทดลองได้ใช้วิธีสุดท้าย ทำความสะอาดโลหะตัวอย่าง อย่างไรก็ตามการใช้วิธีการทางเชิงกลเหล่านี้ก็มีจุดบกพร่องอยู่ 2 ประการคือ

1. การขจัดผลิตภัณฑ์ที่เกาะอยู่กับชิ้นโลหะนั้น มักจะขัดได้ไม่หมด อาจจะมีบางส่วนเหลืออยู่บ้าง

2. การแปรงหรือชักโลหะมาก ๆ อาจจะทำให้เนื้อโลหะบางส่วนหลุดล่อนไปด้วย ข้อบกพร่องเล็ก ๆ น้อยเหล่านี้ก็พอที่จะหลีกเลี่ยงได้โดยทำการชักหรือแปรงโลหะตัวอย่างแต่ละชิ้นให้เท่า ๆ กัน โดยแปรงหรือชักด้วยความเร็วและความแรงที่เท่ากัน ในเวลาที่เท่ากัน ทั้งนี้เพื่อที่ปรับความผิดพลาดอันอาจจะเกิดขึ้นให้เป็นความผิดพลาดที่มีระบบ

3. สารละลายที่ใช้ทดสอบ สารละลายที่จะใช้จะต้องมากพอเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ผิวของโลหะ ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันผลึกกัดที่เกิดขึ้นอันอาจจะมีผลต่ออัตราการสึกกร่อน ดังนั้นสารละลายที่ใช้จะต้องมากพอ อัตราส่วนระหว่างปริมาตรของสารละลายต่อพื้นที่ผิวของโลหะที่ใช้ทดสอบส่วนใหญ่จะเป็น 250 ml. ต่อพื้นที่ผิว 1 ตารางนิ้วหรือ 4 1. ต่อพื้นที่ผิว 1 dm² (1) ในการทดสอบการสึกกร่อนของโลหะในสารละลายของกรดครั้งนี้ก็ใช้อัตราส่วนนี้เช่นเดียวกัน เนื่องจากโลหะตัวอย่างแต่ละชิ้นมีพื้นที่ผิวเท่ากัน 3.82 cm² เพราะฉะนั้นโลหะตัวอย่างแต่ละชิ้นจะใช้สารละลาย 153.0 ml. ในการทดสอบครั้งนี้ใช้ชิ้นโลหะตัวอย่าง 5 ชิ้น จุ่มลงไปในสารละลายในภาชนะเดียวกัน เพราะฉะนั้นในภาชนะหนึ่งจะต้องใช้สารละลาย 764.8 ml.

อนึ่งการทดสอบการสึกกร่อนของโลหะในสารละลายนั้นมักจะใช้เวลาาน บางส่วนของน้ำในสารละลายที่ใช้ก็อาจจะระเหยไป ทำให้สารละลายมีความเข้มข้นมากขึ้น เมื่อสารละลายมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นก็จะมีผลต่ออัตราการสึกกร่อนของโลหะ ดังนั้นในการทดสอบที่ใช้เวลานาน ๆ จึงจำเป็นจะต้องหลีกเลี่ยงเหตุการณ์ดังกล่าวนี้ โดยการทำเครื่องหมายระดับของสารละลายไว้ เมื่อสังเกตเห็นว่าน้ำระเหยไปก็เติมน้ำ น้ำกลั่นให้อยู่ในระดับเดิม ตามปกติแล้วระดับของสารละลายควรจะอยู่ใน $\pm 1\%$ ของสารละลายเดิม ²

¹ American Society for Testing Materials, 1958 Book of ASTM Standard, pt. 3., p. 269.

² Ibid.

สำหรับสารที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนมีอยู่ 4 สารคือ aniline, phenylhydrazine, pyridine และ histidine ปริมาณของสารที่ใช้นั้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนที่มีอยู่ในโมเลกุลของสารนั้น ๆ ทั้งนี้คิดโดยใช้น้ำหนักของไนโตรเจนเป็นกรัมที่มีอยู่ในสารนั้นต่อปริมาตรของกรด 100 ml. การแปลงค่าเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนไปเป็นน้ำหนักของสารนั้นจริง ๆ จะคำนวณได้ดังนี้คือ

$$\text{น้ำหนักของสาร เป็นกรัม} = \frac{\text{เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจน} \times \text{น้ำหนักโมเลกุล} \times 764.8}{100 \times 14}$$

อัตราส่วนเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนในสารที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้ คือ 0.00 %, 0.03 %, 0.08 %, 0.15 % และ 0.25 % น้ำหนักของสารเหล่านี้ที่ใช้ทดลองจริง ๆ นั้นแสดงไว้ในภาคผนวก ง.

ตาราง ๑๑. น้ำหนักของสารที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนเมื่อคำนวณตามทฤษฎี

% N สาร	0.00	0.03	0.08	0.15	0.25
aniline, g.	0.0000	1.5262	4.0698	7.6309	12.7182
phenylhydrazine, g.	0.0000	0.8863	2.3634	4.4313	7.3655
pyridine, g.	0.0000	1.2964	3.4571	6.4820	10.8034
histidine, g.	0.0000	0.8477	2.2604	4.2383	7.0638

การวิเคราะห์หาอัตราการสึกกร่อน

การวิเคราะห์หาอัตราการสึกกร่อนของโลหะในสารละลายของกรดแบ่งออกเป็น 2 วิธีดังนี้คือ

วิธีที่ 1 การหาอัตราการสึกกร่อนของโลหะด้วยวิธีชั่ง

วิธีที่ 2 การหาอัตราการสึกกร่อนของโลหะด้วยวิธี complexometric titration

การหาอัตราการสึกกร่อนของโลหะด้วยวิธีการชั่ง ในกรณีที่ทำการศึกษาทดลองในสารละลายของกรดเช่นนี้มักจะหาอัตราการสึกกร่อนในรูปของน้ำหนักที่หายไป การชั่งน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงนี้ควรใช้ตาชั่งที่มีความเที่ยงตรงสูงอย่างน้อยก็ควรจะเป็น ± 0.0005 g. สำหรับในการทดลองครั้งนี้มีความเที่ยงตรงเป็น ± 0.0001 g. แล้วคำนวณหาอัตราการสึกกร่อนของโลหะในหน่วย g. / cm² / day

การหาอัตราการสึกกร่อนของโลหะด้วยวิธี complexometric ครั้งแรกเลยที่เคียวผู้ทดลองจะใช้วิธีการทาง volumetric analysis ขรรมคา แต่พบว่ามีปัญหาหลายประการซึ่งจะนำมาอภิปรายดังนี้

การวิเคราะห์หาปริมาณของเหล็ก

โดยใช้ potassium permanganate เป็น titrant ในการหาปริมาณของ ferrous ion การหาปริมาณของ ferrous ion วิธีนี้เป็นการ oxidise เหล็กจาก ferrous form ให้ไปอยู่ใน ferric form วิธีนี้ใช้หาปริมาณของโลหะในสารละลายกรดได้ เมื่อไม่มีสารป้องกันการสึกกร่อนปนอยู่ และจะใช้ได้ผลดีเมื่อทดลองในสารละลาย sulfuric acid สำหรับในกรณีของ hydrochloric acid จะไม่ได้ผลเท่าที่ควร เนื่องจาก potassium permanganate ซึ่งเป็น oxidising agent จะไป oxidise chloride ion ให้กลายเป็นก๊าซคลอรีน ¹

¹ A.I. Vogel, A Text-Book of Quantitative Inorganic Analysis, p. 285.

จากปัญหาที่กล่าวมานี้จะเห็นได้ว่าวิธีนี้ไม่เหมาะสมที่จะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก นอกจากนี้แล้ววิธีการนี้ยังมีข้อบกพร่อง 2 ประการคือ

1. ไม่สามารถหาปริมาณของโลหะที่มีอยู่น้อย ๆ ได้
2. แม้ว่าเหล็กส่วนใหญ่ในสารละลายจะอยู่ใน ferrous form แต่ก็มีบางส่วนถูก oxidise จากออกซิเจนในอากาศและในสารละลายกลายเป็น ferric form ซึ่งไม่อยู่ในขอบข่ายที่วิธีนี้จะหาได้

จากหลักฐานดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การหาปริมาณเหล็กที่จะได้ผลถูกต้องมากที่สุดนั้นจะต้องหาในรูป ferric form จากการค้นคว้าทราบว่าวิธีที่ใช้หาปริมาณของเหล็กในรูปของ ferric ได้ดีที่สุดนั้นคือ complexometric titration แต่ยังมีปัญหาที่ตามมาคือ เนื่องจากจะต้อง oxidise เหล็กจาก ferrous form ไปเป็น ferric form การเติม oxidising agent ลงไปในสารละลายนั้นพบว่ามันจะไป oxidise สารที่เป็นตัวป้องกันการสีกร่อนเกิดผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ หลายชนิดซึ่งไม่อาจทราบได้¹ ขั้นแรก oxidise เหล็กโดยการเติม potassium persulfate แล้วอุ่นเล็กน้อย พบว่าจะมีบางส่วนกลายเป็นตะกอน สีของสารละลายก็จะเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูแกมม่วง เมื่อนำสารละลายดังกล่าวนี้ไปกรองก็พบว่า สารละลายที่ได้จากการกรองนั้นยังมีสีเหมือนเดิมอีก การที่สารละลายยังมีสีเหมือนเดิมเช่นนี้ทำให้ไม่สามารถสังเกต end-point ได้ แม้ว่าจะได้ทดลองทำ blank เปรียบเทียบแล้วก็ตาม

เมื่อเปลี่ยน oxidising agent จาก potassium persulfate ไปเป็น potassium permanganate ผลการทดลองก็จะออกมาในรูปเดียวกันทุกประการ

ข้อมูลที่ได้รับจากการพยายาม oxidise เหล็กจาก ferrous form ให้อยู่ใน ferric form โดยที่ไม่ได้แยกสารที่เป็นตัวป้องกันการสีกร่อนออกก่อนนั้นทำให้ต้องปรับปรุงวิธีการใหม่โดยการ oxidise เหล็กให้อยู่ใน ferric form

¹ R.Q. Brewster and W.E. Mc Ewen, Organic Chemistry, p. 564.

ด้วย hydrogen peroxide แล้วทำให้เหล็กตกตะกอนในรูป ferric hydroxide ferric hydroxide มี solubility product ¹ เท่ากับ 1.1×10^{-36} ซึ่งจะเห็นว่าเหล็กตกตะกอนได้เกือบสมบูรณ์ทีเดียว จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 เพื่อให้ได้ตะกอนของเหล็กมากที่สุด แล้วละลายตะกอนดังกล่าวด้วย hydrochloric acid 10 % (v / v) นำไปปรับ pH ให้ได้ประมาณ 3 ทั้งนี้เพราะเป็นช่วงที่ ferric ion ทำปฏิกิริยากับ EDTA ที่ต่ำสุด เติม salicylic acid indicator นำไปตีเทรตกับสารละลายมาตรฐาน EDTA ต่อไป วิธีนี้ใช้วิเคราะห์หาปริมาณของเหล็กตลอดทุกการทดลอง ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย complexometric titration นี้จะนำไปคำนวณหาอัตราการสึกกร่อนของเหล็กในหน่วย g. / cm² / day ต่อไป

อภิปรายผลการสึกกร่อนของเหล็ก

1. อัตราการสึกกร่อนของเหล็กในสารละลายของ hydrochloric acid และ sulfuric acid ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการข้างและ complexometric titration นำมาเปรียบเทียบกันได้ดังนี้

¹ L.F. Hamilton and S.G. Simpson, Calculation of Analytical Chemistry, p. 316.

ตาราง 70. อัตราการสึกกร่อนของเหล็กในสารละลาย hydrochloric acid
sulfuric acid

กรด	ความเข้มข้น, M	อัตราการสึกกร่อน ที่ได้จากการชั่ง g. / cm ² / day	อัตราการสึกกร่อนที่ได้จาก complexometric, g. / cm ² / day
HCl	0.02	0.00107	0.00117
	0.10	0.00339	0.00276
	0.50	0.00431	0.00446
H ₂ SO ₄	0.02	0.00495	0.00472
	0.10	0.01056	0.00960
	0.50	0.02093	0.01764

อัตราการสึกกร่อนของเหล็กในสารละลาย hydrochloric acid นั้นได้มีผู้
เคยศึกษาไว้แล้ว แต่ทำการทดลองในกรดที่มีความเข้มข้น 1 M ที่อุณหภูมิ 15°C พบว่า
อัตราการสึกกร่อนของเหล็กนั้น (low-metalloid iron) เป็น 0.2 ipy¹ ซึ่งจะ
คำนวณออกมาให้อยู่ในหน่วย g. / cm² / day ได้ดังนี้²

¹F.N. Speller, Corrosion Cause and Prevention, p. 510.

²American Society for Testing Materials, 1958 Book of ASTM Standards, pt 3, p. 283.

$$\text{ipy} = \text{mdd} \times \frac{0.001437}{d}$$

เมื่อ d คือความหนาแน่นของเหล็ก mdd คือ อัตราการสึกกร่อน 1 mdd จะเท่ากับ 100,000 คูณด้วย $\text{g. / cm}^2 / \text{day}$ ความหนาแน่นของเหล็กตัวอย่าง เท่ากับ 7.79 g. / ml . เมื่อเอาอัตราการสึกกร่อนของเหล็กใน 0.50 M HCl มาคำนวณ จะได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ipy} &= 4310 \times \frac{0.001437}{7.79} \\ &= 0.08 \end{aligned}$$

นั่นคือ อัตราการสึกกร่อนของเหล็กใน 0.50 M hydrochloric acid ในหน่วย ipy มีค่าเท่ากับ 0.08 ipy ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการวิเคราะห์วิธีซึ่ง ส่วนอัตราการสึกกร่อน 0.50M hydrochloric acid ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ด้วย complexometric titration นั้นจะเป็น 0.10 ipy จะเห็นว่าอัตราการสึกกร่อนของเหล็กตัวอย่างที่โซลทดลองนี้ช้ากว่ามากประมาณหนึ่งเท่าตัวเลยทีเดียว ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสาเหตุใหญ่ ๆ 3 ประการด้วยกัน คือ ประการแรกเกี่ยวกับอุณหภูมิที่โซลทดลองกับเหล็กตัวอย่างในสารละลายของกรด ดังนั้นเมื่อนำข้อมูลมาคำนวณหาอัตราการสึกกร่อนจึงมีค่าไม่เท่ากัน ประการที่สองขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกรดและความบริสุทธิ์ของกรด อัตราการสึกกร่อนที่ speller รายงานไว้นั้นได้ทำการทดลองใน hydrochloric acid ที่มีความเข้มข้น 1M ซึ่งมากกว่าความเข้มข้นหนึ่งเท่าตัว และกรดที่โซลทดลองครั้งนี้ก็อยู่ใน grade B.P. เท่านั้นเอง พวก impurity ที่ปนอยู่อาจจะส่งผลต่ออัตราการสึกกร่อนด้วย ประการสุดท้ายเกี่ยวกับส่วนประกอบของโลหะ ชาติต่าง ๆ ที่ปนอยู่ในเหล็กนั้นล้วนแต่มีผลต่ออัตราการสึกกร่อนทั้งสิ้น เป็นต้นว่า คาร์บอน คาร์บอนเมื่อปนอยู่กับเหล็กนั้นผลของมันค่อนข้างจะซับซ้อน แต่ตามปกติแล้วอัตราการสึกกร่อนของเหล็กจะสูงขึ้น

เมื่อคาร์บอนมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ^{1, 2} คาร์บอนที่มีปริมาณอยู่ในระหว่าง 0.02 – 0.04% จะช่วยต่อต้านการสึกกร่อนในสารละลายของกรดได้ ³ แมงกานีส กำมะถันและ ฟอสฟอรัสก็มีแนวโน้มที่จะเพิ่มอัตราการสึกกร่อนของเหล็กในสารละลายของกรดด้วย แต่สำหรับแมงกานีสนั้นจะมีผลน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกำมะถันและฟอสฟอรัส ⁴

สำหรับการสึกกร่อนของเหล็กใน sulfuric acid นั้น Whitman และคณะ ⁵ ได้ทำการทดลองหาอัตราการสึกกร่อนของเหล็ก (mild steel – 0.12 % คาร์บอน) ใน sulfuric acid จากการทดลองพบว่า อัตราการสึกกร่อนของเหล็กใน sulfuric acid จะเป็น 0.03240 และ 0.02280 mdd ในกรดเข้มข้น 0.79 M และ 0.17 M ตามลำดับ จะเห็นว่าผลการทดลองของ Whitman และคณะนี้มีค่าสูงกว่าเล็กน้อย ทั้งนี้อาจจะมีสาเหตุที่สำคัญ 3 ประการดังต่อไปนี้มาข้างต้นแล้ว

2. สารที่ใช้เป็นตัวยับยั้งการสึกกร่อนของเหล็กมี 3 สาร คือ aniline, phenylhydrazine และ pyridine ประสิทธิภาพของสารเหล่านี้คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (percent effectiveness) การคำนวณหาประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์คำนวณได้ โดยการนำอัตราการสึกกร่อนในสารละลายของกรดที่มีสารยับยั้งการสึกกร่อนปนอยู่ (b) ไปลบออกจากอัตราการสึกกร่อนในสารละลายของกรดที่ไม่มีสารยับยั้งการสึกกร่อนปนอยู่ (a) แล้วหารด้วยอัตราการสึกกร่อนของโลหะในสารละลายของกรดที่ไม่มีสารยับยั้งการสึกกร่อนปนอยู่ (a) แล้วคูณด้วย 100

¹ F.N. Speller, op. cit. p. 64.

² J. Thomson and H. Cleaves, The Metal Iron, p. 326.

³ G.T. Bakhvalov and A.V. Turkovskaya, loc. cit.

⁴ H.H. Uhlig, op. cit. p. 140.

⁵ W. Whitman and others, Ind. Eng. Chem., 15, 672 (1923).

$$\text{ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์} = \frac{(a - b) \times 100}{a}$$

จากกราฟที่ 3, 4 และ 5 ในภาคผนวก ข. จะเห็นว่าประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ของ aniline ใน hydrochloric acid ต่ำกว่า phenylhydrazine และ pyridine สำหรับประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ของ phenylhydrazine และ pyridine นั้นใกล้เคียงกันมาก แต่ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ของ phenylhydrazine มีแนวโน้มที่จะสูงกว่า pyridine เล็กน้อย ในการเปรียบเทียบครั้งนี้พิจารณาเส้นกราฟที่ได้จากข้อมูลทีวิเคราะห์โดยวิธีที่ 1 (โดยการชั่งเป็นเกณฑ์) เพราะเป็นวิธีการที่ผู้ศึกษาโดยทั่วไปใช้กันเป็นมาตรฐาน

สำหรับประสิทธิภาพในการป้องกันการสึกกร่อนของเหล็กในสารละลาย sulfuric acid จะพิจารณาได้จากกราฟที่ 6, 7 และ 8 ประสิทธิภาพของสารทั้งสามดังกล่าวจะเรียงตามลำดับได้เช่นเดียวกับในสารละลาย hydrochloric acid คือ aniline, pyridine และ phenylhydrazine การพิจารณานั้นถือเส้นกราฟที่ได้จากข้อมูลทีวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1 เป็นต้นว่า sulfuric acid 0.50 M ที่จุดที่มีเปอร์เซ็นต์ในโครเจนเท่ากับ 0.20 ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ของ aniline, pyridine และ phenylhydrazine จะเท่ากับ 35.00, 53.25 และ 66.75 ตามลำดับ การสึกกร่อนของเหล็กในสารละลาย sulfuric acid นี้ Mann¹ ได้เคยทดลองไว้แล้วโดยใช้ aniline และ phenylhydrazine เป็นสารป้องกันการสึกกร่อนด้วยเหมือนกัน แต่ใช้กรเข้มข้น 0.5 M ทำการทดลองที่อุณหภูมิ $25 \pm 2^\circ \text{C}$ สำหรับเหล็กที่ใช้ทดลองนั้นเป็นพวก mild steel ซึ่งไม่ได้บอกรายละเอียดของส่วนประกอบเอาไว้ ผลการทดลองที่จุดซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ในโครเจนเป็น 0.20 aniline และ phenylhydrazine จะมีประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 34 และ 82 ตามลำดับ แม้ว่าประสิทธิภาพเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์แล้วจะมีค่าแตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบอื่น ๆ

¹ C.A. Mann and others, Ind. Eng. Chem., 28 (9), 1048 - 1051 (1936).

ที่มีอิทธิพลต่อการสึกกร่อนเป็นต้นว่า ส่วนประกอบของโลหะ ออกซิเจน และความเข้มข้นของกรดแล้วก็ยังนับว่าใกล้เคียงกับผลงานของ Mann และคณะ¹ ที่โคทคลองไวพอสสมควร สำหรับ pyridine นั้นยังไม่พบว่ามีผู้ใดใช้ทดลองเป็นสารป้องกันการสึกกร่อนของเหล็กใน sulfuric acid มาก่อน

3. สารที่ทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อนของโลหะครั้งนี้เป็นพวก amine สารพวกนี้เมื่ออยู่ในสารละลายของกรดจะอยู่ในรูปของเกลือซึ่งไอออนไนส์ได้อิออนบวก¹ พฤติกรรมของสารที่ทำหน้าที่ป้องกันการสึกกร่อนนี้ Mann และคณะ² ได้เสนอว่าอิออนบวกนี้จะเข้าไปเกาะที่พื้นผิวของโลหะตรงบริเวณที่เป็นขั้วลบ (cathode) การเข้าไปเกาะของพวกอิออนเหล่านี้จะเข้าไปเกาะในลักษณะที่ต่างจากกับพื้นผิวของโลหะเป็นส่วนใหญ่ ลักษณะเช่นนี้ทำให้ไฮโดรเจนอิออนมีโอกาที่จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับโลหะในชั้นถัดไปได้น้อยลง สารป้องกันการสึกกร่อนที่มีพฤติกรรมเช่นนี้เรียกว่า "สารป้องกันการสึกกร่อนที่ขั้วลบ" (cathodic inhibitor) พร้อมกันนี้เขาก็ได้เสนอต่อไปว่ากลุ่มอะตอมที่มาต่อกับอะตอมของไนโตรเจนที่ทำหน้าที่เป็น functional group นั้นมีอิทธิพลอย่างยิ่งในการป้องกันการสึกกร่อน กลุ่มอะตอมที่มีขนาดใหญ่กว่าย่อมสามารถปกคลุมพื้นที่ผิวของโลหะได้มากกว่า ดังนั้นประสิทธิภาพของสารในการป้องกันการสึกกร่อนก็จะสูงกว่า

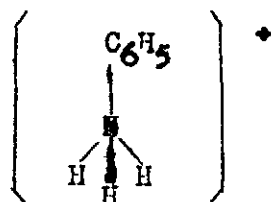
ได้กล่าวมาแล้วในการศึกษาการสึกกร่อนของเหล็กในสารละลายของกรดนั้น สารที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อนมี 3 ชนิดคือ aniline, phenylhydrazine และ pyridine ก่อนอื่นมาพิจารณา aniline และ phenylhydrazine ก่อน เมื่อพิจารณาจากโครงสร้างแล้วก็คล้ายกับว่า phenylhydrazine เป็นอนุพันธ์ของ aniline โดยที่โมเลกุลของ ammonia มาต่อกับโมเลกุลของ aniline ที่อะตอมของไนโตรเจน

¹C.A. Mann and others, Ind. Eng. Chem., 28(2), 159-163 (1936).

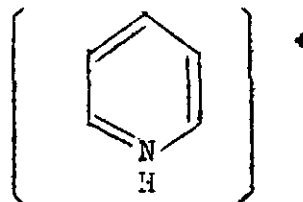
²C.A. Mann and others, loc. cit.

แล้วปล่อยไฮโดรเจนออกไป 1 โมเลกุล เมื่อ phenylhydrazine มีขนาดของโมเลกุลใหญ่กว่า aniline โอกาสที่โมเลกุลของ phenylhydrazine จะครอบคลุมพื้นที่นั้นจึงมีมากกว่า เพราะฉะนั้น phenylhydrazine จึงมีประสิทธิภาพในการป้องกันการสีกกร่อนสูงกว่า aniline ดังจะพิจารณาได้จากกราฟที่ 3 - 8 ในภาคผนวก ข.

สำหรับ aniline เมื่อเทียบกับ pyridine แล้วจะเห็นว่า pyridine มีประสิทธิภาพสูงกว่า aniline มาก และในขณะเดียวกันก็มีค่าใกล้เคียงกับประสิทธิภาพของ phenylhydrazine ด้วย ทั้ง ๆ ที่ pyridine เป็น 6-membered ring เช่นเดียวกับ benzene ring ของ aniline ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องพิจารณาถึงการจัดเรียงตัวของสารทั้งสอง aniline ที่อยู่ในรูปของ anilinium กับ pyridine ที่อยู่ในรูปของ pyridinium นั้นมีการจัดเรียงตัวแตกต่างกันดังนี้



Anilinium



Pyridinium

anilinium มีการจัดเรียงตัวแบบ tetrahedral ส่วน pyridinium นั้นมีการจัดเรียงตัวแบบ planar

ลักษณะโครงสร้างของสารนี้มีอิทธิพลต่อการจัดเรียงตัวในการเกาะผิวโลหะอย่างยิ่ง การเข้าไปเกาะของ anilinium ในลักษณะมีโครงสร้างเป็นแบบ tetrahedral นี้คงจะไม่สม่ำเสมอเท่ากับ pyridinium ซึ่งมีการจัดเรียงตัวแบบ planar ดังนั้นประสิทธิภาพของ pyridine จึงสูงกว่า aniline

นอกจากจะพิจารณาประสิทธิภาพของสารที่ใช้ป้องกันการสีกกร่อนของโลหะในแง่โครงสร้างแล้ว อาจพิจารณาในแง่ของ basicity ของสารเหล่านี้ก็ได้ basicity ของสารแต่ละตัวจะเป็นดังนี้¹

¹ C.R. Noller, Chemistry of Organic Compounds, pp. 986 - 987.

เมื่อเติม EDTA ลงไป EDTA จะไปรวมตัวกับโลหะเกิดเป็น metal-EDTA complex กัน



ดังนั้น stability constant (K) ของ M-EDTA เมื่อเปรียบเทียบกับ M-In แล้ว M-EDTA จะต้องมีความมากกว่า ยิ่ง M-EDTA มีค่ามากเท่าใดก็จะทำให้การสังเกต end-point ชัดเจนมากขึ้นเท่านั้น ในกรณีนี้ Fe-EDTA มีค่า K ถึง $10^{25.1}$ ซึ่งแสดงว่าเหล็กกับ EDTA นี้รวมตัวกันเกิดเป็น complex ได้อย่างดี

5.2 สารละลายที่จะวิเคราะห์หาปริมาณโลหะนั้นเชื่อได้อย่างแน่ชัดว่า ยังมีสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อนปนอยู่อีก การที่ประสิทธิภาพที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย complexometric สูงกว่าการชั่งนั้น ทำให้คาดว่าสาเหตุที่ทำให้ได้รับผลเช่นนั้น อาจจะเป็นเนื่องมาจากกรณีใดกรณีหนึ่งดังต่อไปนี้ กรณีแรกสารที่ทำหน้าที่ป้องกันการสึกกร่อนที่ปนอยู่นั้นอาจจะเป็นตัวช่วยให้ M-In สลายตัวให้ M ได้ช้าลง (จนเป็น rate determining step) ทำให้ M ที่จะมารวมตัวกับ EDTA น้อยลง ดังนั้นการ titrate จะถึง end-point เร็วกว่าปกติทำให้หาปริมาณของโลหะได้น้อยกว่าปกติ อีกกรณีหนึ่ง สารที่ป้องกันการสึกกร่อนซึ่งเหลืออยู่ในสารละลายนั้นอาจจะรวมตัวกับโลหะ เกิดเป็น complex ที่เสถียรขึ้นทำให้การวิเคราะห์พบเหล็กในจำนวนน้อยกว่าปกติ ทั้งนี้ ในระหว่างการทดลองก็มีหลักฐานที่พอจะสังเกตได้คือ บางครั้งสารละลายโลหะที่ทำการ titrate กับ EDTA เสร็จเรียบร้อยแล้ว เมื่อปล่อยทิ้งไว้สักครู่กลับเปลี่ยนเหมือนกับตอนที่ยังไม่ถึง end-point อีกซึ่งแสดงว่าในช่วงเวลาที่ทิ้งทิ้งไว้นั้นมีโลหะอิสระเกิดขึ้นอีก ดังนั้น เมื่อนำข้อมูลไปคำนวณหาประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์จึงได้ตัวเลขที่มีขนาดมากกว่าที่ได้จากวิธีชั่ง

5.3 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี complexometric นั้นพบว่าสามารถหาปริมาณของโลหะในสารละลายได้ใกล้เคียงกับวิธีชั่งพอสมควร แต่เนื่องจากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสารแต่ละชนิดนั้นจะต้องคำนวณออกมาในรูปของประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ (percent effectiveness) เมื่อคำนวณออกมาในรูปนั้นจะทำให้ผลที่ได้ต่างกันมากขึ้นอีก

ดังนั้นผลที่แสดงในรูปของควมมีประสิทธิภาพที่ได้จากวิธี complexometric จึงแตกต่าง
กับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีซึ่งเล็กน้อย ดังจะเห็นได้จากตัวเลขที่ยกมาเป็นตัวอย่าง
ในการวางข้างล่างนี้

ตาราง 74. ตัวอย่างเปรียบเทียบประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ระหว่างวิธีซึ่ง
กับ complexometric method

วิธี	โลหะ	กรด	ความ เข้มข้น M	สารป้องกัน การสีกร่อน	% N	อัตราการ สีกร่อน g./cm ² /day	ประสิทธิภาพ* %
การซึ่ง	เหล็ก	H ₂ SO ₄	0.02	-	-	0.00495	-
การซึ่ง	เหล็ก	H ₂ SO ₄	0.02	aniline	0.25	0.00210	57.59
complexometric	เหล็ก	H ₂ SO ₄	0.02	-	-	0.00472	-
complexometric	เหล็ก	H ₂ SO ₄	0.02	aniline	0.25	0.00250	47.03
การซึ่ง	ทองแดง	HCL	0.10	-	-	0.00123	-
การซึ่ง	ทองแดง	HCL	0.10	histidine	0.15	0.00114	19.51
complexometric	ทองแดง	HCL	0.10	-	-	0.00123	-
complexometric	ทองแดง	HCL	0.10	histidine	0.15	0.00093	30.08

* แสดงวิธีคำนวณไว้ในหน้า 44

จากข้อมูลดังกล่าวมาทั้งหมดนี้พอจะชี้ให้เห็นสาเหตุต่าง ๆ ที่ทำผลการวิเคราะห์
ด้วยวิธี complexometric มีแนวโน้มที่จะสูงกว่าผลที่ได้จากการซึ่ง

การวิเคราะห์หาปริมาณของอลูมิเนียม

จากข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์หลักเป็นแนวทางมาใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณของอลูมิเนียมด้วย กล่าวคือ

1. ใช้ complexometric titration ในการวิเคราะห์หาปริมาณของอลูมิเนียม

2. แยกแอสารที่เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนออกจากอลูมิเนียมเสียก่อนโดยการเติม ammonium hydroxide ให้ตกตะกอนในรูปของ aluminium hydroxide ซึ่งมีค่า solubility product เท่ากับ 3.7×10^{-15} แม้ว่าค่า solubility product จะไม่สูงมากนักแต่อลูมิเนียมก็ตกตะกอนได้เกือบสมบูรณ์ แยก aluminium hydroxide โดยการกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ทั้งนี้เพื่อที่จะกรองตะกอนของ aluminium hydroxide ให้ได้มากที่สุด จากนั้นละลายตะกอนด้วย hydrochloric acid 10 % (v / v) แล้วนำไปวิเคราะห์ต่อไป

อันที่จริงแล้วการวิเคราะห์หาปริมาณอลูมิเนียมในสารละลายนี้ไม่จำเป็นต้องแยกสารที่ป้องกันการสีกกร่อนออกก็ได้เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการหาปริมาณเหล็ก ในกรณีของเหล็กมีความจำเป็นต้องแยกสารออกเนื่องจากเหล็กที่สีกกร่อนนั้นอยู่ในรูป ferrous form และในขณะเดียวกันก็มีบางส่วนถูก oxidise โดยออกซิเจนในอากาศกลายเป็น ferric form เพราะฉะนั้นในการหาปริมาณเหล็กจึงจำเป็นต้องทำในรูปของ ferric form จึงจะได้ผลถูกต้องมากที่สุด ดังนั้นการที่จะให้ ferrous form เปลี่ยนไป ferric form นั้นจะต้องผ่านกระบวนการ oxidation การ oxidise เหล็กนั้นจะ oxidise สารที่เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนด้วย สารพวกนี้เมื่อถูก oxidise แล้วจะมีสีเข้มจึงจำเป็นต้องแยกออกจากเหล็กเพื่อที่จะทำการวิเคราะห์ได้สะดวก ในกรณีอลูมิเนียมไม่ต้องผ่านการ oxidise สารที่ปนอยู่ก็就不用มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องแยกก็ได้

อีกประการหนึ่งในการтитเรตอลูมิเนียมต้องปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 5.0 – 5.5 ซึ่งยังมีสภาพเป็นกรดอยู่จะถูก oxidise ได้ยาก ดังนั้นการтитเรตโดยไม่แยกสารป้องกันการสึกกร่อนออกจึงไม่มีปัญหาอะไร

การтитเรตหาปริมาณของอลูมิเนียมครั้งนี้ใช้ back titration ทั้งนี้เนื่องจาก Pb-EDTA complex เสถียรมากกว่า Al-EDTA complex เมื่อถึง end-point ของ back titration จะเกิดปฏิกิริยาแทนที่ดังสมการ ¹



นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์หาคำนวณหาอัตราการสึกกร่อนของอลูมิเนียม
ในหน่วย g. / cm.² / day

อภิปรายผลการสึกกร่อนของอลูมิเนียม

1. อัตราการสึกกร่อนของอลูมิเนียมในสารละลายของ hydrochloric acid และ sulfuric acid ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการชั่งและ complexometric titration นำมาเปรียบเทียบกันได้ดังนี้

¹G. Schwarzenbach and H. Flaschka, Complexometric Titration, p. 192.

ตาราง 72. อัตราการสึกกร่อนของอลูมิเนียมใน hydrochloric acid
และ sulfuric acid

กรด	ความเข้มข้น, M	อัตราการสึกกร่อนจาก การชั่ง, g. / cm. ² /day	อัตราการสึกกร่อนจาก complexometric, g. / cm. ² / day
HCl	0.02	0.00026	0.00019
	0.10	0.00021	0.00016
	0.50	0.00234	0.00227
H ₂ SO ₄	0.02	0.00028	0.00022
	0.10	0.00038	0.00034
	0.50	0.00052	0.00047

อัตราการสึกกร่อนของอลูมิเนียมในสารละลาย hydrochloric acid นั้นเคยมี
ผู้ศึกษาแล้ว ¹ แต่อลูมิเนียมที่ใช้ศึกษานั้นมีความบริสุทธิ์ 99.5 % ทำการทดลองที่
อุณหภูมิห้อง ใน hydrochloric acid เข้มข้น 0.04 % อัตราการสึกกร่อนของ
อลูมิเนียมจะสูงกว่า 0.0072 g. / cm.² / day อัตราการสึกกร่อนของอลูมิเนียม
ที่มีความบริสุทธิ์ 99.3 % ที่อุณหภูมิ 25°C ใน hydrochloric acid 0.4 % จะเป็น
0.0060 g. / cm.² / day และใน hydrochloric acid 4.0 % อัตราการ
สึกกร่อนจะสูงกว่า 0.0030 g. / cm.² / day สำหรับอัตราการสึกกร่อนของ

¹E. Rabald, Corrosion Guide, 2nd. revised ed., p. 395.

อลูมิเนียมใน sulfuric acid ก็มีรายงานไว้ด้วยเหมือนกัน¹ อลูมิเนียมที่ใช้ศึกษาใน sulfuric acid มีความบริสุทธิ์ 99.5 % ดังมีผลการทดลองดังนี้ ใน sulfuric acid 1 % อัตราการสึกกร่อนของอลูมิเนียมที่ 20° C และ 50° C จะเป็น 0.00011 และ 0.0012 g. / cm² /day ตามลำดับ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ sulfuric acid เป็น 10 % อัตราการสึกกร่อนของอลูมิเนียมจะเป็น 0.00016 และ 0.0024 g. / cm² /day ตามลำดับ จากข้อมูลที่ยกมาเปรียบเทียบนี้ แม้ว่าอัตราการสึกกร่อนของโลหะอลูมิเนียมค่อนข้างจะแตกต่างกัน แต่ทำให้มองเห็นอิทธิพลสำคัญอันหนึ่งที่มีผลต่อการสึกกร่อน สิ่งนั้นคือความบริสุทธิ์ เมื่ออลูมิเนียมมีความบริสุทธิ์สูงอัตราการสึกกร่อนจะลดลง ผลที่สำคัญอีกประการหนึ่งทำให้ทราบว่า อลูมิเนียมสึกกร่อนใน hydrochloric acid ใต้ออกกว่าใน sulfuric acid เมื่อมีความเข้มข้นน้อย ๆ ที่เท่ากัน แต่เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นอลูมิเนียมจะสึกกร่อนใน hydrochloric ใต้ออกกว่าใน sulfuric acid

2. สารที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อนของอลูมิเนียม 3 ชนิดคือ aniline, phenylhydrazine และ pyridine ประสิทธิภาพของสารเหล่านี้คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (percent effectiveness) เช่นเดียวกับเหล็ก วิธีการคิดนั้นเช่นเดียวกับที่ได้อธิบายมาแล้ว

จากกราฟที่ 9, 10 และ 11 ในภาคผนวก ข. จะเห็นว่า ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ของสารเหล่านี้ใน hydrochloric acid เจือจางจะมีประสิทธิภาพสูง ถึงอย่างไรก็ตาม phenylhydrazine ก็ยังมีแนวโน้มที่แสดงให้เห็นว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่าสารอื่น ๆ เมื่อกรดมีความเข้มข้นสูงขึ้นประสิทธิภาพของสารก็จะแตกต่างกันมากขึ้นเป็นต้นว่าใน hydrochloric acid 0.10 M ที่จุดเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนเท่ากับ 0.25 ประสิทธิภาพของสารดังกล่าวจะเรียงลำดับเป็น aniline และ phenylhydrazine ซึ่งจะมีประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 23.81 52.38 และ 74.43 ตามลำดับ จากแผนภาพในภาพทั้ง 3 นี้จะเห็นว่าลำดับประสิทธิภาพจะไม่ค่อยเรียงกันเหมือนในกรณีของเหล็ก อย่างไรก็ตามหากเราจะถือว่าลักษณะโครงสร้าง

¹ Ibid. p. 811.

ของสารจะมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของสารนั้นแล้วก็จะพิจารณาได้จากกราฟที่ 9 และถ้าหากถือว่า basicity เป็นตัวการสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของสารนั้น ก็จะพิจารณาได้จากกราฟที่ 11 ซึ่งเป็นการยากที่จะตัดสินใจแน่ชัดลงไปว่า องค์ประกอบในข้อใดที่ส่งผลต่อความมีประสิทธิภาพของสารอย่างแท้จริง

สำหรับประสิทธิภาพของ aniline, phenylhydrazine และ pyridine ในการป้องกันการสึกกร่อนของอลูมิเนียมใน sulfuric acid จะพิจารณาได้จากกราฟ 12, 13 และ 14 จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมของสารเหล่านี้คล้ายคลึงกับใน hydrochloric acid กล่าวคือในกรดที่เจือจางมาก ๆ ประสิทธิภาพของ aniline, phenylhydrazine และ pyridine จะใกล้เคียงกันมากเช่นใน sulfuric acid 0.02 M ที่มีเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 0.25 ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์จะมีค่าเท่ากับ 90.00, 84.25 และ 83.50 ตามลำดับ เมื่อกรดมีความเข้มข้นสูงขึ้นประสิทธิภาพของสารเหล่านี้จะลดลง ใน sulfuric acid 0.50 M นั้นประสิทธิภาพของสารทั้งสามที่มีต่อการสึกกร่อนของอลูมิเนียมมีลักษณะคล้ายกับเหล็กมากโดยที่ phenylhydrazine มีประสิทธิภาพสูงสุด ส่วน pyridine นั้นมีประสิทธิภาพสูงกว่า aniline เล็กน้อย จากกราฟทั้งสามนี้ ก็พอจะพิจารณาเห็นได้ว่า สารที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดคือ phenylhydrazine รองลงไปก็คือ pyridine กับ aniline ตามลำดับ

3. ในการพิจารณาประสิทธิภาพของสารที่ป้องกันการสึกกร่อนของอลูมิเนียมนี้เท่าที่ได้อภิปรายไปแล้วนั้นพิจารณาได้จากผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยการชั่งเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากวิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันแพร่หลายมากที่สุด

การวิเคราะห์หาปริมาณของทองแดง

Complexometric titration แบบที่นำมาใช้วิเคราะห์หาปริมาณของทองแดงนี้จะใช้ได้ก็เมื่อมีทองแดงอยู่ประมาณ 20 mg. ต่อสารละลาย 100 ml.¹ จากประสบการณ์ที่ใช้ complexometric titration ในการหาปริมาณของเหล็กและอลูมิเนียมมาแล้ว ทำให้ผู้ทดลองหันมาลองใช้วิธีการไม่แยกสารที่เป็นตัวป้องกันการลิกนด์ร่อนออก นำสารละลายตัวอย่างมาปรับ pH ด้วย ammonia solution เลย์ที่เคียว เติม ammonium chloride ลงไปเพื่อให้ทำหน้าที่เป็นสารละลาย buffer เติม murexide indicator ลงไปแล้วนำไปติเทรตกับสารละลายมาตรฐาน EDTA พบว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจ เมื่อลองเปรียบเทียบผลกับการวิเคราะห์ทองแดง ตามวิธีการแยกสารป้องกันก่อน พบว่าได้ผลเหมือนกัน ผู้ทดลองจึงเลือกใช้วิธีแรกวิเคราะห์ทองแดงตลอดการทดลอง

การวิเคราะห์ทองแดงด้วยวิธี complexometric titration โดยแยกสารที่ป้องกันการลิกนด์ร่อนออกก่อนมีวิธีการดังนี้ คือ ทำให้ทองแดงตกตะกอนในรูปของ cupric hydroxide โดยการเติม sodium hydroxide ลงไป เหตุที่ไม่ใช้ ammonia solution นั้นเพื่อที่จะป้องกันการเกิดเกลือ complex เมื่อ ammonia solution มากเกินไปพอ

solubility product ของ cupric hydroxide² มีค่าเท่ากับ 6×10^{-20} ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าพอที่จะทำให้ cupric hydroxide ตกตะกอนได้อย่างสมบูรณ์ที่เคียว นำตะกอนไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ละลายตะกอนบนกระดาษกรองด้วย hydrochloric acid 10 % แล้วนำไปปรับ pH ให้เป็น 8 ขึ้นต่อไปก็มีวิธีการเหมือนวิธีแรกทุกประการ

¹ G. Schwarzenbach and H. Flaschka, op. cit. p. 256.

² A.I. Vogel, op. cit. p. 1166.

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ของทองแดงนั้น นำไปคำนวณอัตราการสึกกร่อน
ในหน่วย $\text{g. / cm}^2 \text{ / day}$

การ titrate หาปริมาณของทองแดงโดยใช้ EDTA เป็น titrant นั้นต้องปรับ pH
ให้อยู่ที่ระดับประมาณ 8 ที่ pH นี้สารละลายตัวอย่างจะมีฤทธิ์เป็นด่างเล็กน้อย สารที่เป็น
ตัวป้องกันการสึกกร่อนจะถูก oxidise ได้ดีเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นด่าง ทางแก้ไขคือ
ทำการ titrate ต่อไปเลยทีเดียวโดยมีทองตั้งไว้ หากตั้งไว้นาน ๆ สารที่เป็นตัวป้องกันการ
สึกกร่อนจะถูก oxidise เกิดเป็นตะกอนมีลักษณะคล้ายเจลาตินขึ้น ทั้งนี้ย่อมจะทำให้
การสังเกต end-point ลำบากเคลื่อนได้

อีกประการหนึ่งสิ่งที่จำเป็นก็คือ murexide indicator นั้นในการนำมาใช้
แต่ละครั้งนั้นควรจะเตรียมไว้ใช้ครั้งละน้อย ๆ ทั้งนี้เพราะว่าเมื่อเตรียมตั้งไว้เกิน 24
ชั่วโมง indicator นี้จะไม่ทำปฏิกิริยาได้รวดเร็วเท่าที่ควร

อภิปรายผลการสึกกร่อนของทองแดง

1. อัตราการสึกกร่อนของทองแดงในสารละลายของ hydrochloric acid
และ sulfuric acid ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการชั่งและ complexometric
titration นำมาเปรียบเทียบกันได้ดังนี้

ตาราง 23. อัตราการสึกกร่อนของทองแดงในสารละลาย hydrochloric acid และ sulfuric acid

กรด	ความเข้มข้น ของกรด, M	อัตราการสึกกร่อนที่ได้จาก การชั่ง, g. / cm ² / day	อัตราการสึกกร่อนที่ได้จาก complexometric, g. / cm ² / day
HCl	0.02	0.00093	0.00093
	0.10	0.00123	0.00123
	0.50	0.00118	0.00117
H ₂ SO ₄	0.02	0.00047	0.00056
	0.10	0.00051	0.00053
	0.50	0.00051	0.00046

อัตราการสึกกร่อนของทองแดงในสารละลาย hydrochloric acid และ sulfuric acid นั้น Rabald¹ ได้เคยรวบรวมข้อมูลและรายงานอัตราการสึกกร่อนของทองแดงในสภาวะต่าง ๆ ดังนี้

ตาราง 74. อัตราการสึกกร่อนของทองแดงใน hydrochloric acid และ sulfuric acid ที่ Rabald เสนอไว้

กรด	ความเข้มข้น ของกรด, M	อุณหภูมิ, °C	อัตราการสึกกร่อน ของทองแดง g. / cm. ² / day	หมายเหตุ
HCl	2.92	20	0.0002	ไม่มีออกซิเจนปนในสารละลาย
	6.02	20	0.0006	ไม่มีออกซิเจนปนในสารละลาย
	6.02	20	0.0120	ผ่านกาซออกซิเจนในกรด
H ₂ SO ₄	0.64	20	0.0092	ผ่านกาซออกซิเจนในกรด
	0.64	20	0.0002	ผ่านกาซไฮโดรเจนในกรด
	2.93	20	0.0084	ผ่านกาซออกซิเจนในกรด
	2.93	20	0.0004	ผ่านกาซไฮโดรเจนในกรด
	0.64	50	0.0270	ผ่านกาซออกซิเจนในกรด
	0.64	50	0.0008	ผ่านกาซไฮโดรเจนในกรด
	2.93	50	0.0060	ผ่านกาซออกซิเจนในกรด
	2.93	50	0.0006	ผ่านกาซไฮโดรเจนในกรด

¹E. Rabald, op. cit. p. 359, p. 813.

จากข้อมูลของ Rabald ที่เสนอเปรียบเทียบไว้นั้นจะเห็นได้ว่า ทองแดง จะเกิดการสึกกร่อนได้มากหรือน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของ oxidising agent ที่ปนอยู่ oxidising agent ที่ปนอยู่ในการทดลองครั้งนี้คือ ออกซิเจน ที่ละลายปนอยู่ในสารละลายของกรคนั่นเอง ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นเมื่อมีออกซิเจนปนอยู่ด้วย จะเป็นดังนี้



อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้อจากการทดลองครั้งนี้กับข้อมูลที่ Rabald เสนอไว้ จะเห็นว่าข้อมูลที่ได้อจากการทดลองมีอัตราการสึกกร่อนสูงกว่า ทั้งนี้เพราะใน กระบวนการทดลองการสึกกร่อนของทองแดงนี้ ผู้ทดลองมิได้กำจัด ออกซิเจนที่ปนอยู่ ให้หมดไป นอกจากนั้นในระหว่างการทดลองสารละลายกรดที่ใช้นั้นก็สัมผัสกับอากาศ อีกด้วย ทั้งนี้แม้ว่าบนภาชนะที่ทดลองนั้นจะมีกระจกปิดอยู่ก็ตาม ภาชนะที่ใช้ทดลองเป็น โหลแก้วมีลักษณะเป็นรูปกระบอก มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 14.5 cm. เพราะฉะนั้นในจำนวน สารละลาย 764.8 ml. นั้นจะมีโอกาสสัมผัสกับอากาศอยู่ถึง 165.2 cm² นอกจากนี้ ก็ยังมีองค์ประกอบอื่น ๆ อีกที่มีผลต่อการสึกกร่อนของทองแดง ได้แก่ อุณหภูมิ ความเข้มข้น ของกรด และส่วนประกอบหรือความบริสุทธิ์ของทองแดง ข้อมูลของ Rabald ที่เสนอไว้ นั้นมิได้บอกรายละเอียดในส่วนประกอบของโลหะไว้ตามปกติแล้ว ส่วนประกอบของโลหะ มักจะมีอิทธิพลต่ออัตราการสึกกร่อนของมันด้วย

2. สารที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อนของทองแดงมี aniline, histidine และ pyridine ประสิทธิภาพของสารเหล่านี้คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (percent effectiveness) เช่นเดียวกับเหล็ก วิธีการคำนวณนั้นได้แสดงไว้แล้วในหน้า 94

จากกราฟที่ 15, 16, และ 17 ในภาคผนวก ข. จะเห็นว่าประสิทธิภาพ เป็นเปอร์เซ็นต์ของสารเหล่านี้ใน hydrochloric acid จะมี aniline และ histidine เท่านั้นที่ใช้ได้คือ แต่ว่า aniline เท่านั้นที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด แต่ในกรณี ของ pyridine ประสิทธิภาพใน hydrochloric acid 0.02 M จะมีผลในทางลบ

เมื่อ pyridine อยู่ในกรดที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น pyridine จะมีประสิทธิภาพสูงขึ้น แต่ก็ได้ผลดีในช่วงหนึ่งเท่านั้น เมื่อ pyridine มีปริมาณสูงขึ้นประสิทธิภาพจะกลับลดลงอีก ประสิทธิภาพของ aniline, histidine และ pyridine ใน hydrochloric acid 0.02 M ที่จุดซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนเท่ากับ 0.15 จะมีค่าเท่ากับ 45.00, 21.95 และ -18.00 สำหรับ pyridine ใน hydrochloric 0.50 M ที่จุดเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนเท่ากับ 0.15 ประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์จะเท่ากับ 12 แต่เมื่อเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเป็น 0.25 ประสิทธิภาพของ pyridine จะลดลงเหลือเพียง 2.5 เท่านั้น

สำหรับประสิทธิภาพของ aniline, histidine และ pyridine ในการป้องกันการสึกกร่อนของทองแดงใน sulfuric acid จะพิจารณาได้จากกราฟที่ 18, 19 และ 20 จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมของสารแต่ละชนิดนั้นคล้ายคลึงกับใน hydrochloric acid โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ระดับความเข้มข้น 0.02 M sulfuric acid สารที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือ aniline และต่ำที่สุดนั้นคือ pyridine ซึ่งมีประสิทธิภาพในทางลบ แต่ในกรณีของ pyridine ใน sulfuric acid 0.02 M นี้ ประสิทธิภาพเป็นลบมากกว่าใน hydrochloric acid 0.02 M มาก ที่จุดเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนเท่ากับ 0.25 ใน sulfuric acid 0.02 M pyridine จะมีประสิทธิภาพลดลงถึง -119.15 เมื่อ sulfuric acid มีความเข้มข้นมากขึ้นเป็น 0.10 M และ 0.50 M pyridine จะมีประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 49.02 และ 41.18 ตามลำดับ

3. ในการที่สารเหล่านี้ป้องกันการสึกกร่อนของทองแดงได้นั้น เข้าใจว่าคงจะมีพฤติกรรมเช่นเดียวกับ benzotriazole¹ กล่าวคือ ระหว่างสารที่เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อนกับทองแดงนั้นจะเกิด film ของทองแดง aniline complex หรือทองแดง histidine complex ขึ้น เมื่อใช้สารที่ทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อนมากขึ้น

¹J.B. Cotton and I.R. Scholes, Brit. Corros. J., 2, 1 - 5 (1967).

ประสิทธิภาพในการป้องกันการสึกกร่อนจะสูงขึ้นเช่นเดียวกัน

สำหรับการสึกกร่อนของทองแดงใน hydrochloric และ sulfuric acid 0.02 M เมื่อมี pyridine ปนอยู่พบว่าอัตราการสึกกร่อนจะสูงขึ้นเมื่อเติม pyridine มากขึ้นเป็นลำดับ ตามปกติไม่ว่าในสารละลายกรดหรือด่าง ทองแดงละลายได้มากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณ oxidising agent ที่ปนอยู่เท่านั้น¹ ในการทดลองครั้งนี้ oxidising agent คือออกซิเจนที่ละลายอยู่ในกรดนั่นเอง อีกประการหนึ่ง pyridine สามารถเกิด complex กับทองแดงได้ทั้งในรูป Cu^+ และ Cu^{2+} แต่การที่จะเกิด complex ในลักษณะใดและมากน้อยเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับ ionic strength และปริมาณของ pyridine ด้วย

พฤติกรรมของ pyridine ที่เติมลงไปในการทดลองจะแบ่งได้เป็น 2 ตอนด้วยกันคือ ตอนแรก pyridine ในรูปของ pyridinium คงจะไปเกาะพื้นผิวของทองแดงโดยทำหน้าที่เป็น cathodic inhibitor ตอนที่สอง pyridine อาจจะทำปฏิกิริยากับ Cu^{2+} ที่ถูกกัดกร่อนออกมาเกิดเป็นสารประกอบ complex $[\text{Cu}(\text{Pyr})_x]^{2+}$ ขึ้น ดังนั้นการสึกกร่อนจะมากน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับการแข่งขันของปฏิกิริยาทั้งสองนั่นเอง

สารละลาย hydrochloric acid และ sulfuric acid ซึ่งใช้ทดลองที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ จะมีค่า ionic strength ดังแสดงไว้ในตาราง 75

ตาราง 75. Ionic strength ของ hydrochloric acid และ sulfuric acid ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

กรด	Ionic strength ของกรด		
	0.02 M	0.10 M	0.50 M
HCl	0.02	0.10	0.50
H_2SO_4	0.06	0.30	1.50

¹G.T. Balchavolov and A.V. Turkovskaya, loc. cit.

การเกิด complex ของ Cu^{2+} กับ pyridine นี้ได้เคยมีผู้ศึกษาไว้แล้ว โดยทำการทดลองในสถานะที่มี ionic strength เท่ากับ 0.50 ซึ่งมีค่า Inseability constant, K ของแบบต่าง ๆ ดังนี้

$$\text{Cu Pyr}^{2+} \quad K = 3.02 \times 10^{-3}$$

$$\text{Cu (Pyr)}^{2+} \quad K = 4.16 \times 10^{-5}$$

$$\text{Cu (Pyr)}_3^{2+} \quad K = 2.04 \times 10^{-6}$$

$$\text{Cu (Pyr)}_4^{2+} \quad K = 2.88 \times 10^{-7}$$

อย่างไรก็ตาม ปฏิกริยาทั้งสองที่กล่าวมาแล้วนี้เป็นปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในสารละลายของกรด ดังนั้น anion คือ choride ion และ sulfate ion ก็น่าจะมีผลต่อปฏิกริยาดว้ย จากกราฟ 15 และ 18 จะเห็นว่าในกรด 0.02 M นั้น อัตราการสีกร่อนจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อ pyridine มีปริมาณมากขึ้น นั้นย่อมแสดงว่าปฏิกริยาการเกิด complex ในสถานะดังกล่าวดำเนินไปโดยดว้ย ทำให้ pyridine ที่ไปเกาะทองแดงมีน้อย เมื่อเปรียบเทียบอัตราการสีกร่อนของทองแดงระหว่างใน hydrochloric acid กับใน sulfuric acid แล้วจะเห็นว่าอัตราการสีกร่อนใน sulfuric acid สูงกว่า ดังนั้นจึงทำให้คาดว่า ภายใต้สภาวะนี้คงจะเป็นภาวะที่เหมาะสมในการเกิด complex ใน sulfuric acid มากกว่าใน hydrochloric acid สำหรับ hydrochloric acid 0.10 M และ 0.50 M นั้นกลับพบว่า ในช่วงต้น ๆ ของการเพิ่มปริมาณ pyridine นั้นจะช่วยลดอัตราการสีกร่อนได้ ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากอยู่ในสถานะที่ pyridine ไปเกาะพื้นผิวของทองแดงได้ดี การเกิด complex มีน้อย แต่เมื่อปริมาณของ pyridine เพิ่มมากขึ้น คือเพิ่มเป็น 0.25% ในโตรเจน อัตราการสีกร่อนจะเพิ่มขึ้นแสดงว่า ในสถานะดังกล่าวสามารถเกิด complex ได้ดี เพราะฉะนั้นประสิทธิภาพในการป้องกันการสีกร่อนจึงลดลงส่วนในสารละลาย sulfuric acid 0.10 M และ 0.50 M pyridine และ aniline มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน

¹K.B. Yatsimirskii and V.P. Vasil'ev Instability Constants of Complex Compounds, p. 143.

สรุปผลการค้นคว้า

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มุ่งที่จะศึกษาการสีกกร่อนของโลหะเหล็ก อลูมิเนียม และทองแดงในสภาวะต่าง ๆ ซึ่งมีวิธีการและผลการทดลองดังต่อไปนี้

วิธีดำเนินการทดลอง

1. การทดลองการสีกกร่อนของโลหะในกาซ ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจนที่ปราศจากความชื้นและบรรยากาศปกติ โดยนำโลหะไปวัดส่วนกว้างและ ส่วนยาวด้วย vernier caliper เพื่อนำไปคำนวณพื้นที่ผิวของโลหะตัวอย่าง จากนั้น นำไปซั่งแล้วนำไปเก็บในภาชนะที่เตรียมไว้ ขึ้นต่อไปลดความดันภายในภาชนะนั้นแล้ว ปลอยกาซแห้งที่ต้องการเข้าไป สำหรับชิ้นโลหะตัวอย่างที่จะทดลองในบรรยากาศปกติ ก็เก็บไว้ในภาชนะที่มีคซิคเพื่อป้องกันฝุ่นละออง ส่วนชิ้นโลหะตัวอย่างที่เคลือบด้วยสาร ป้องกันการสีกกร่อนได้แก่ 1-quinoline ก็ปฏิบัติเช่นเดียวกัน

2. การทดลองการสีกกร่อนในสารละลายของกรด ทดลองโดยหาพื้นที่ผิวของ ชิ้นโลหะตัวอย่างก่อน นำไปซั่งแล้วนำไปแช่ในสารละลายของ hydrochloric acid และ sulfuric acid ซึ่งมีความเข้มข้น 0.02 M , 0.10 M และ 0.50 M โดยใช้ เวลาแช่ชิ้นโลหะตัวอย่างในสารละลายเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

สำหรับการทดลองในสภาวะที่มีสารป้องกันการสีกกร่อนปนอยู่ด้วยก็กระทำได้ เช่นเดียวกันเพียงแต่เติมสารนั้น ๆ ลงไปในสารละลายของกรดแล้วจึงแช่ชิ้นโลหะตัวอย่าง

วิธีการวิเคราะห์

1. การทดลองการสีกกร่อนของโลหะในกาซต่าง ๆ นั้น การวิเคราะห์ปริมาณ การสีกกร่อนนั้นกระทำโดยหาน้ำหนักที่เปลี่ยนเป็น $\text{mg.} / \text{dm}^2$ โดยนำโลหะตัวอย่างมาซั่ง ในทุก ๆ ระยะเวลาประมาณ 100 ชั่วโมง ตลอดการทดลองซึ่งใช้เวลาประมาณ 1500 ชั่วโมง

2. การทดลองการสึกกร่อนในสารละลายของกรด การวิเคราะห์แบ่งออกเป็น

2 ทอมคือ

2.1 การวิเคราะห์ด้วยการชั่งโดยนำชิ้นโลหะตัวอย่างไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักที่ลดลง แล้วคำนวณอัตราการสึกกร่อนออกมาในหน่วย $\text{g}/\text{cm}^2/\text{year}$

2.2 การวิเคราะห์ด้วยวิธี complexometric โดยใช้เกลือ disodium ของ ethylenediaminetetra-acetate (EDTA)

ผลการทดลอง

1. ผลการทดลองการสึกกร่อนของโลหะในกาซต่าง ๆ

1.1 เหล็ก การสึกกร่อนในบรรยากาศปกติจะดำเนินไปอย่างรวดเร็วในช่วงต้น ๆ จนถึงชั่วโมงที่ 400 ถึง 500 จากนั้นอัตราการสึกกร่อนจะช้ามากจนเกือบจะคงที่ ในการทดลองของเหล็กที่เคลือบด้วย 1-quinoline อัตราการสึกกร่อนจะลดลงประมาณ 3 เท่า

สำหรับการทดลองในกาซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจนทั้งในสภาวะที่เคลือบด้วย 1-quinoline และไม่ได้เคลือบ เมื่อนำข้อมูลที่ได้รับไปวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ จากหลักฐานทางสถิติ แสดงว่าเหล็กที่ทดลองในสภาวะดังกล่าวนี้ไม่เกิดการสึกกร่อน

1.2 อลูมิเนียม การสึกกร่อนของอลูมิเนียมจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในช่วงต้น ๆ ของการทดลอง การสึกกร่อนของอลูมิเนียมจะคงที่ที่ชั่วโมงที่ 650 ที่จุดนี้จะมีอัตราการสึกกร่อน $0.98 \text{ mg}/\text{dm}^2$ จากนั้นการสึกกร่อนจะไม่เพิ่มขึ้นอีก ทั้งนี้แสดงว่าให้เห็นว่าในช่วงชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 650 อลูมิเนียมจะเกิด oxide ซึ่งมีลักษณะเป็น film ซึ่งสามารถป้องกันการสึกกร่อนของอลูมิเนียมในขั้นถัดไปได้

สำหรับการทดลองอลูมิเนียมในสภาวะอื่น ๆ ซึ่งมี ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจนทั้งในสภาวะที่เคลือบด้วย 1-quinoline และไม่ได้เคลือบรวมทั้งในบรรยากาศปกติที่เคลือบด้วย 1-quinoline เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติพบว่า อลูมิเนียมที่ทดลองในสภาวะเหล่านี้ไม่เกิดการสึกกร่อน

1.3 ทองแดง ข้อมูลที่ได้รับจากการทดลองของทองแดงในสภาวะต่าง ๆ อันมีบรรยากาศปกติ ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจน ทั้งในสภาวะที่เคลือบด้วย 1-quinoline และไม่ได้เคลือบ เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์ด้วยวิธีการ

ทางสถิติพบว่า ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าเกิดการ สึกกร่อน สำหรับการทดลองการสึกกร่อนของ ทองแดงในบรรยากาศปกตินั้น เมื่อนำชิ้นโลหะที่ทดลองแล้วไปศึกษาด้วยวิธีการทาง metallurgy พบว่าทองแดงเกิด oxide ขึ้นเหมือนกันแต่น้อยมาก จนไม่สามารถหา ด้วยวิธีการซึ่งได้

การทดลองของโลหะต่าง ๆ ที่ได้นำมาทั้งหมดนี้สามารถใช้ค่า เปลาต์สังเกตได้เพียง อย่างเดียวคือเหล็ก สำหรับอลูมิเนียมและทองแดงนั้น oxide ที่เกิดขึ้นน้อยมากจนไม่สามารถ สังเกตเห็นได้ควยตาเปล่า ในกรณีของทองแดงนั้นถ้าปล่อยให้เกิด oxide มาก ๆ ก็ จะ สังเกตเห็นได้เหมือนกัน

2. การทดลองการสึกกร่อนในสารละลายของกรด การสึกกร่อนของโลหะเหล็กและ อลูมิเนียมจะสึกกร่อนไ้่น้อยเมื่อกรดมีความเข้มข้นต่ำ อัตราการสึกกร่อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อกรดมี ความเข้มข้นสูงขึ้น ระหว่าง hydrochloric acid และ sulfuric acid เมื่อมีความ เข้มข้นเท่ากับเหล็กจะสึกกร่อนใน sulfuric acid ไ้มากกว่า แต่อลูมิเนียมในกรดที่มี ความเข้มข้น 0.50 M จะมีอัตราการสึกกร่อนใน hydrochloric acid สูงกว่าใน sulfuric acid สำหรับทองแดงนั้นการสึกกร่อนมีได้ขึ้นกับความเข้มข้นของกรด แต่ขึ้นกับปริมาณของ oxidising agent ที่ปนอยู่ในสารละลายนั้น ๆ ดังนั้นอัตราการสึกกร่อนของทองแดงในกรด ชนิดเดียวกันแต่มีความเข้มข้นต่างกันจึงใกล้เคียงกันมาก จากผลการทดลองพบว่าทองแดงมีอัตรา การสึกกร่อนใน hydrochloric acid สูงกว่าใน sulfuric acid เมื่อความเข้มข้นเท่ากัน สำหรับสารที่ใช้เป็นตัวยับยั้งการสึกกร่อนนั้นได้ผลดังนี้คือ

2.1 เหล็ก ประสิทธิภาพของสารที่ใช้เป็นตัวยับยั้งการสึกกร่อนจะเรียงลำดับจาก มากไปหาน้อย ดังนี้ phenylhydrazine, pyridine และ aniline

2.2 อลูมิเนียม สารที่ใช้เป็นตัวยับยั้งการสึกกร่อนนั้น จะเรียงลำดับความมี ประสิทธิภาพจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ phenylhydrazine, pyridine และ aniline

2.3 ทองแดง สารที่ใช้เป็นตัวยับยั้งการสึกกร่อนของทองแดง 0.02 M คือ aniline, histidine และ pyridine จากการทดลองพบว่า aniline ได้ผลดีที่สุด รองลงไปเป็น histidine สำหรับ pyridine นั้นจะเร่งการสึกกร่อนให้สูงขึ้น แต่สำหรับ ที่ระดับความเข้มข้นเป็น 0.10 M และ 0.50 M นั้นสามารถใช้ pyridine เป็นตัวยับยั้ง

การสีกร่อนได้ใน sulfuric acid ประสิทธิภาพของ aniline กับ pyridine
ใกล้เคียงกันมาก ส่วนใน hydrochloric acid นั้นจะใช้ได้เพียงบางสภาวะเท่านั้น

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี complexometric นั้นพบว่า สามารถหาปริมาณของโลหะ
ในสารละลายได้ใกล้เคียงกับวิธีซึ่งพอสมควร การวิเคราะห์ความสามารถป้องกันการสีกร่อน
ของสารแต่ละชนิดนั้นจะต้องคำนวณออกมาในรูปของประสิทธิภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ (percent
effectiveness) จากข้อมูลที่ได้รับนั้นแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพที่ได้จากการวิเคราะห์
ด้วยวิธี complexometric นั้นมีแนวโน้มที่จะสูงกว่าประสิทธิภาพที่ได้จากการซึ่งเล็กน้อย

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- คงศักดิ์ พรหมเทพ การศึกษาเกี่ยวกับการสอนวิทยาศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษาตอนต้นของครู
ในโรงเรียนรัฐบาล จังหวัดพระนคร พ.ศ. 2511 ^{ปริทัศน์ฉบับ ๑๙๘๘} วิทยาลัยวิชาการศึกษา ประสานมิตร
 พระนคร 2512, 126 หน้า.
- เชาน์เกอร์, เอช. เอ็น. การสอนวิทยาศาสตร์ทั่วไปสำหรับโรงเรียนมัธยมศึกษาในประเทศร้อน
 ประณีต โกมารกุล ณ นคร และคณะแปล สำนักงานเลขาธิการคณะกรรมการแห่งชาติ
 ว่าด้วย การศึกษา วิทยาศาสตร์และวัฒนธรรมแห่งสหประชาชาติ พระนคร 2507,
 503 หน้า.
- ทองสุข พงศทัต "การสอนวิชาเคมีในชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย" วิทยาศาสตร์ 6 : 520 - 527
 มิถุนายน 2510.
- นิตา สะเพียรชัย "การเคลื่อนไหวเกี่ยวกับการปรับปรุงการสอนวิชาเคมี" วิธานศึกษา
 3 : 48 - 62 กรกฎาคม 2509..
- พิทักษ์ รักชลเดช นโยบายการศึกษาฝ่ายวิทยาศาสตร์ ม.ป.ท. 2507, 71 หน้า.
 (วิทยานิพนธ์)
- ศึกษาธิการ, กระทรวง กรมวิชาการ กองการวิจัย รายงานการปรับปรุงหลักสูตรและ
การสอนวิทยาศาสตร์ในโรงเรียนมัธยมของประเทศอินเดีย ภาคที่ 1 โรงพิมพ์การ
 ศาสนา พระนคร 2509, 95 หน้า.
- ศึกษาธิการ, กระทรวง หลักสูตรมัธยมศึกษาตอนปลาย พุทธศักราช 2503 กรุงเทพมหานคร
 พระนคร 2503, 50 หน้า.
- Angyal, S.J., Approach to Chemistry 1969, William H. Sellen Pty. Ltd.,
 Sydney, p.1.
- Anoshchenko, I.P. Zashch. Metal., 3 (2), 231 - 232 (1967).
- A.S.T.M., Proc. Am. Soc. Testing Material, 44, 224 - 239 (1944).
- A.S.T.M., 1958 Book of ASTM Standards, Pt. 3, American Society for
 Testing Materials, Philadelphia, 1958, 974 pp.

- Bakhvalov, G.T., and A.V. Turkovskaya, Corrosion and Protection of Metal, Permon Press, Oxford, 1965, 322 pp.
- Barrer - Rueda, A. and Faria - Mejia, E., Revista de la Universidad Industrial de Santander, 5 (2), 273 - 476 (1963).
- Baylis, J.R., J. Am. Water Works Assoc., 27, 220 (1935).
- Bengough, G.D. and others, Proc. Roy. Soc., 116 (A), 449 (1927).
- Brewster, R.Q. and McEwen, W.E., Organic Chemistry, 3rd. ed., Prentice-Hall of Japan, Inc., Tokyo, 1961, 854 pp.
- Brown, R.H. and others, Ind. Eng. Chem., 23, 350 - 650, 1010 - 1012, (1931).
- Cotton, J.B. and Scholes, I.R., Br. Corros. J., 2, 1 - 5 (1967).
- Dammon, G.H. and Cross, R.C., Ind. Eng. Chem., 28 (2), 231 - 233 (1936).
- Eldrege, G.G., and Mears, R.B., Ind. Eng. Chem., 37 (8), 736 - 741 (1945).
- Eoroulies, Z.A. and Uhlig, H.H., J. Electrochem. Soc., 112 (12), 1170 - 1180 (1965).
- Ertel, H. and others, Workstoffe und Korrosion, 16 (1), 36 - 37 (1965).
- Evans, U.R., Nature, 126, 130 - 131 (1929).
- Garrett, H.E., Statistics in Psychology and Education, 5th. Indian ed., Vakils, Feffer and Simons Private Ltd., Bombay, 1969, 491 pp.
- Glasstone, S. and Lewis, D., Elements of Physical Chemistry, Maruzen Company Ltd., Tokyo, 1960, p. 601.
- Hamilton, L.F. and Simpson, S.G., Calculation of Analytical Chemistry, 6th. ed., Kogakusha Company, Ltd., Tokyo, 1960, p. 317.
- Hedge, E.S., Protective Film on Metals, Chapman & Hall Ltd., London, 1932, 276 pp.
- Hiller Jr., L.A. and Herber, R.H., Principles of Chemistry, McGraw - Hill Book Company, Inc., New York, 1960., p. 585.
- Hoar, T.I. and Havenhand, D., J. Iron Steel Inst., 133, 239 (1936).
- Hudson, R.M. and others, Br. Corros. J., 2, 81 - 86 (1967).

- Imperial Chemical Industries Ltd., Brit. 957, 115, May, 6, 1964.
- Institute of Metallurgists, Corrosion and Protection of Metals, London
Iliffe Books Ltd., London, 1964, 103 pp.
- Mann, C.A. and others, J. Ind. Eng. Chem., 28 (2), 159 - 163 (1936).
- Mann, C.A. and others, J. Ind. Eng. Chem., 28 (9), 1048 - 1051, (1936).
- Mears, R.B. and Evans, U.R., Trans. Faraday Soc., 31, 527 (1935).
- Moller, C.R., Chemistry of Organic Compounds, 3rd ed., W.B. Saunders
Company, Philadelphia, 1965, pp. 986 - 987.
- Palmaer, W. and others, Ing. Vetenskaps. Akad : Handl, 108, 98 (1931).
- Parker, G.D., Mellor's Modern Inorganic Chemistry, Longmans Green and
co, Ltd., London, 1961, 990 pp.
- Penn, J.H. and Murray, G.A.W., Br. Corros. J., 2, 193 - 194 (1967).
- Rabald, E., Corrosion Guide, 2nd. revised ed., Elsevier Publishing
Company, New York, 1968, 900 pp.
- Russel, R.P. and White, I., J. Ind. Eng. Chem., 19, 116 - 118 (1927).
- Schwarzenbach, G. and Flaschka, H., Complexometric titration, 2nd. ed.,
Methuen & Co Ltd., 1969, 490 pp.
- Shreir, L.L., Corrosion, Vol.1, George Newnes Ltd., London, 1963, 954 pp.
- Shreir, L.L., Corrosion, Vol.2, George Newnes Ltd., London, 1963,
22.18 pp.
- Shropshire, J.A., J. Electrochem. Soc., 107 (9), 740 - 744 (1960).
- Sienko, J.J., Chemistry, 3rd. ed., Kogakusha Co. Ltd., Tokyo, 1966,
564 pp.
- Sisler, H.H. and others, College Chemistry, 2nd - ed., Maruzen Company
Limited, Tokyo, 1953, p. 384.
- Smol' Yaninov, I.S., Izv. Vysshikh Uchebn. Zavedenii, Khim. i. Teknol.,
7 (4), 588 - 593 (1964).
- Speller, F.W., Corrosion Cause and Prevention, 3rd., McGraw - Hill Book
Company, Inc., New York, 1951, 686 pp.
- Stevens, C.G. and Board, J, Br. Corros. J., 4, 80 - 85 (1969).
- Subramajam, H. and Sundaram, M., Indian J. Technol., 2 (2), 64 - 66
(1964).

- Talali, J.D., Indian J. Technol., 1 (6), 254 - 255 (1963).
- Thomson, J. and Cleaves H., The Metal Iron, McGraw - Hill Book Company, New York, 1935, p 326.
- Uhlig, H.H., Editor, Corrosion Handbook, John Wiley & sons, Inc., New York, 1961., 1188 pp.
- Unni, V.K.Y. and Rama Char, T.L., J. of Electrochem. Soc. India., 15 (1), 13 - 15 (1966).
- Vaivads, A and Liepina, L., Latvijas PSR Zinatnu Akad. Vestis, (3), 363 - 367 (1962).
- Vogel, A.I., A Text Book of Quantitative Inorganic Analysis, 3rd., Longmans, Green & Co. Ltd., London, 1961, 1216 pp.
- Whitman, W. and others, Ind. Eng. Chem., 15, 672 (1923).
- Yatsimirskii, K.B. and Vasil'ev, V.P., Instability Constants of Complex Compounds, D. Van Nostrand Company, Inc., New York, 1960., pp. 214.

ពាក្យស្នើសុំ

៤

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

ตอนที่ 1

ผลการทดลองการสีกรรอนในกาชต่าง ๆ

二
三
四

น้ำหนักมาตรฐาน, mg./dm.²

ตาราง 77. น้ำหนักของเหล็กที่ไดจากการทดลองในบรรยากาศปกติ โดยมี $\lambda = \mu \sin \theta$ เป็นตัวป้องกันการเลี้ยวเบน

ลำดับ ที่	มุม 2θ , cm.	น้ำหนัก, กรัม	0	194	328	524	620	716	874	981	1122	1221	1442
1	33.41	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเบ็ดเบน, g. น้ำหนักเบ็ดเบน, mg./dm. ²	8.4680	8.4772 0.0004 1.20	8.4774 0.0006 1.80	8.4776 0.0008 2.40	8.4776 0.0008 2.40	8.4777 0.0009 3.76	8.4778 0.0010 2.99	8.4779 0.0011 3.29	8.4779 0.0011 3.30	8.4778 0.0010 2.99	8.4779 0.0011 3.29
2	23.61	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเบ็ดเบน, g. น้ำหนักเบ็ดเบน, mg./dm. ²	6.0048	6.0051 0.0003 1.27	6.0052 0.0004 1.70	6.0054 0.0006 2.54	6.0054 0.0006 2.54	6.0055 0.0007 2.97	6.0056 0.0008 3.39	6.0056 0.0008 3.39	6.0055 0.0007 2.97	6.0056 0.0008 3.39	6.0056 0.0008 3.39
3	21.74	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเบ็ดเบน, g. น้ำหนักเบ็ดเบน, mg./dm. ²	5.4894	5.4897 0.0003 1.38	5.4897 0.0003 1.38	5.4898 0.0004 1.84	5.4898 0.0004 1.84	5.4898 0.0004 1.84	5.4900 0.0006 2.76	5.4899 0.0005 2.30	5.4901 0.0007 3.22	5.4901 0.0007 3.22	5.4900 0.0006 2.76
น้ำหนักเบ็ดเบนแปลงโดยเจดบ, mg./dm. ²			1.28	1.63	2.26	2.26	2.26	2.86	3.05	2.99	3.16	3.20	3.15
ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.07	0.18	0.30	0.30	0.30	0.79	0.26	0.24	0.14	0.16	0.28

ตาราง 78. น้ำหนักของเหล็กที่ไดจากการทดลองในทางออกซีเจน

ส.ท.	พ.ท.วิน. ๓๘.	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, กรัม. น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm. ²	0	141	230	321	422	509	648	825	966	1062	1273
1	36.77	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, กรัม. น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm. ²	9.0590	9.0592 0.0002 0.54	9.0589 0.0001 0.27	9.0592 0.0002 0.54	9.0591 0.0001 0.27	9.0590 0.0000 0.00	9.0591 0.0001 0.27	9.0591 0.0001 0.27	9.0589 -0.0001 -0.27	9.0590 0.0000 0.00	9.0591 0.0001 0.27
2	25.99	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, กรัม. น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm. ²	6.4223	6.4224 0.0001 0.38	6.4221 -0.0002 -0.77	6.4223 0.0000 0.00	6.4224 0.0001 0.39	6.4223 0.0000 0.00	6.4224 0.0001 0.39	6.4225 0.0002 0.77	6.4225 0.0002 0.77	6.4224 0.0001 0.39	6.4225 0.0002 0.77
3, 34.39		น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, กรัม. น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm. ²	8.7710	8.7711 0.0001 0.29	8.7707 -0.0003 -0.87	8.7712 0.0002 0.58	8.7711 0.0001 0.29	8.7710 0.0000 0.00	8.7711 0.0001 0.29	8.7710 0.0000 0.00	8.7709. -0.0001 -0.29	8.7710 0.0000 0.00	8.7709 -0.0001 -0.29
4	33.89	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, กรัม. น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm. ²	8.3078	8.3081 0.0003 0.89	8.3079 0.0001 0.30	8.3081 0.0003 0.89	8.3080 0.0002 0.59	8.3080 0.0002 0.59	8.3081 0.0003 0.89	8.3081 0.0003 0.89	8.3080 0.0002 0.59	8.3081 0.0003 0.89	8.3082 0.0004 1.18
5	35.50	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, กรัม. น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm. ²	8.8181	8.8182 0.0001 0.28	8.8181 0.0000 0.00	8.8182 0.0001 0.28	8.8181 0.0000 0.00	8.8181 0.0000 0.00	8.8182 0.0001 0.28	8.8181 0.0000 0.00	8.8181 0.0000 0.00	8.8181 0.0000 0.00	8.8182 0.0001 0.28
น้ำหนักเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ย, mg./dm. ²				0.48	-0.21	0.46	0.31	0.12	0.42	0.39	0.16	0.26	0.44

ตาราง 70. น้ำหนักของผลิตภัณฑ์จากการทดลองในการออกซิเจนโดยมี i-quinoline เป็นตัวป้องกันการสีกกรวน

ส.พ.ปีว. cm.	น้ำหนัก กรัม	0	42	154	250	348	544	713	857	989	1157	1331
1 34.47	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเบ็ด, กรัม. น้ำหนักเบ็ด, mg./dm. ²	8.6111	8.6112 0.0001 0.29	8.6110 -0.0001 -0.29	8.6111 0.0000 0.00	8.6110 -0.0001 -0.29	8.6111 0.0000 0.00	8.6111 0.0000 0.00	8.6110 -0.0001 -0.29	8.6110 -0.0001 -0.29	8.6111 0.0000 0.00	8.6111 0.0000 0.00
2 27.05	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเบ็ด, กรัม. น้ำหนักเบ็ด, mg./dm. ²	6.8919	6.8916 -0.0003 -1.11	6.8915 -0.0004 -1.48	6.8915 -0.0004 1.48	6.8915 -0.0004 -1.48	6.8914 -0.0005 -1.85	6.8915 -0.0004 -1.48	6.8915 -0.0004 -1.48	6.8914 -0.0005 -1.85	6.8915 -0.0004 -1.48	6.8915 -0.0004 -1.48
3 24.23	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเบ็ด, กรัม. น้ำหนักเบ็ด, mg./dm. ²	6.1116	6.1114 -0.0002 -0.83	6.1115 -0.0001 -0.41	6.1114 -0.0002 -0.83	6.1114 -0.0002 -0.83	6.1114 -0.0002 -0.83	6.1114 -0.0002 -0.83	6.1114 -0.0002 -0.83	6.1114 -0.0002 -0.83	6.1115 -0.0001 -0.41	6.1115 -0.0001 -0.41
4 33.61	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเบ็ด, กรัม. น้ำหนักเบ็ด, mg./dm. ²	8.4926	8.4925 -0.0001 -0.30	8.4923 -0.0003 -0.89	8.4924 -0.0002 -0.60	8.4925 -0.0001 -0.30	8.4924 -0.0002 -0.60	8.4924 -0.0002 -0.60	8.4925 -0.0001 -0.30	8.4924 -0.0002 -0.59	8.4925 -0.0001 -0.30	8.4925 -0.0001 -0.30
5 35.61	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเบ็ด, กรัม. น้ำหนักเบ็ด, mg./dm. ²	9.0426	9.0425 -0.0001 -0.28	9.0423 -0.0003 -0.84	9.0423 -0.0003 -0.84	9.0424 -0.0002 -0.56	9.0425 -0.0001 -0.28	9.0424 -0.0002 -0.56	9.0424 -0.0002 -0.56	9.0426 -0.0000 -0.00	9.0426 0.0000 0.00	9.0424 -0.0002 -0.56
น้ำหนักเบ็ดแปลงโดยเฉลี่ย, mg./dm. ²			-0.45	-0.78	-0.75	-0.61	-0.71	-0.69	-0.69	-0.71	-0.46	-0.55

ตาราง 80. น้ำหนักของเหล็กที่โครงการทดลองในภาชนะแบบไดออกไซด์

น้ำหนัก, กรัม	น้ำหนัก, กรัม	0	140	232	328	424	518	687	826	967	1158	1305
1 34.33	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเบ็ดขม, กรัม ² น้ำหนักเบ็ดขม, กรัม ² /dm ²	8.3237	8.3237 0.0000 0.00	8.3235 -0.0002 -0.058	8.3236 -0.0001 -0.29	8.3236 -0.0001 -0.29	8.3237 0.0000 0.00	8.3237 0.0000 0.00	8.3237 0.0000 0.00	8.3236 -0.0001 -0.29	8.3237 0.0000 0.00	8.3238 0.0001 0.29
2 31.38	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเบ็ดขม, กรัม ² น้ำหนักเบ็ดขม, กรัม ² /dm ²	7.7770	7.7770 0.0000 0.00	7.7768 -0.0002 -0.64	7.7769 -0.0001 -0.32	7.7769 -0.0001 -0.32	7.7768 -0.0002 -0.64	7.7768 -0.0002 -0.64	7.7768 -0.0002 -0.64	7.7768 -0.0002 -0.64	7.7769 -0.0001 -0.32	7.7770 0.0000 0.00
3 32.66	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเบ็ดขม, กรัม ² น้ำหนักเบ็ดขม, กรัม ² /dm ²	8.4313	8.4313 0.0000 0.00	8.4309 -0.0004 -0.23	8.4309 -0.0004 -0.23	8.4310 -0.0003 -0.92	8.4311 -0.0002 -0.61	8.4312 -0.0001 -0.31	8.4311 -0.0002 -0.61	8.4311 -0.0002 -0.61	8.4312 -0.0001 -0.31	8.4312 -0.0001 -0.31
4 33.12	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเบ็ดขม, กรัม ² น้ำหนักเบ็ดขม, กรัม ² /dm ²	8.4744	8.4743 -0.0001 -0.30	8.4741 -0.0003 -0.91	8.4741 -0.0003 -0.91	8.4742 -0.0002 -0.60	8.4741 -0.0003 -0.91	8.4742 -0.0002 -0.60	8.4740 -0.0004 -1.21	8.4741 -0.0003 -0.91	8.4742 -0.0002 -0.60	8.4742 -0.0002 -0.60
5 34.48	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเบ็ดขม, กรัม ² น้ำหนักเบ็ดขม, กรัม ² /dm ²	8.6975	8.6975 0.0000 0.00	8.6972 -0.0003 -0.87	8.6972 -0.0003 -0.87	8.6972 -0.0003 -0.87	8.6972 -0.0003 -0.87	8.6972 -0.0003 -0.87	8.6972 -0.0003 -0.87	8.6973 -0.0002 -0.58	8.6973 -0.0002 -0.58	8.6974 -0.0001 -0.29
น้ำหนักเบ็ดขมแบบไดออกไซด์, กรัม ² /dm ²			-0.06	-0.65	-0.52	-0.60	-0.61	-0.48	-0.67	-0.61	-0.36	-0.18

ตาราง 81. น้ำหนักของเมล็ดที่ได้จากการทดลองในภาชนะบอยโดยออกไซค์โดยมี i-quinoline เป็นตัวป้องกันสารสีกรรณ

ส.ท.	พ.ท.ปีว. -cm.	น้ำหนัก, กรัม	0	60	152	244	348	443	515	611	899	1055	1228
1	32.73	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเมล็ด, กรัม น้ำหนักเปลือก, mg./dm. ²	8.2890	8.2891 0.0001 0.31	8.2890 0.0000 0.00	8.2890 0.0000 0.00	8.2890 0.0000 0.00	8.2890 0.0000 0.00	8.2890 0.0000 0.00	8.2890 0.0000 0.00	8.2890 0.0000 0.00	8.2890 0.0000 0.00	8.2890 0.0000 0.00
2	33.92	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเมล็ด, กรัม น้ำหนักเปลือก, mg./dm. ²	8.4121	8.4121 0.0000 0.00	8.4122 0.0001 0.30	8.4122 0.0001 0.30	8.4122 0.0001 0.30	8.4123 0.0002 0.59	8.4123 0.0002 0.59	8.4123 0.0002 0.59	8.4122 0.0001 0.30	8.4122 0.0001 0.30	8.4122 0.0001 0.30
3	35.81	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเมล็ด, กรัม น้ำหนักเปลือก, mg./dm. ²	8.9578	8.9578 0.0000 0.00	8.9578 0.0000 0.00	8.9577 -0.0001 -0.23	8.9577 -0.0001 -0.23	8.9578 0.0000 0.00	8.9578 0.0000 0.00	8.9578 0.0000 0.00	8.9577 -0.0001 -0.23	8.9578 0.0000 0.00	8.9578 0.0000 0.00
4	31.53	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเมล็ด, กรัม น้ำหนักเปลือก, mg./dm. ²	6.6108	6.6110 0.0002 0.63	6.6110 0.0002 0.63	6.6110 0.0002 0.63	6.6109 0.0001 0.32	6.6109 0.0001 0.32	6.6111 0.0003 0.95	6.6110 0.0002 0.53	6.6109 0.0001 0.32	6.6109 0.0001 0.32	6.6110 0.0002 0.63
5	34.79	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเมล็ด, กรัม น้ำหนักเปลือก, mg./dm. ²	8.8188	8.8189 0.0001 0.29	8.8190 0.0002 0.57	8.8190 0.0002 0.58	8.8189 0.0001 0.29	8.8190, 0.0002 0.57	8.8190 0.0002 0.58	8.8190 0.0002 0.58	8.8190 0.0003 0.86	8.8191 0.0003 0.86	8.8190 0.0002 0.86
น้ำหนักเปลือกเมล็ดโดยเฉลี่ย, mg./dm. ²				0.25	0.30	0.25	0.13	0.30	0.42	0.36	0.24	0.30	0.36

ตาราง 8.2 น้ำหนักของเหล็กที่กระจายการทดลองในภาชนะไนโตรเจน

ส.ท.นิว. cm. ²	น้ำหนัก, กรัม	0	149	237	341	438	532	603	863	1004	1176	1294
1 31.39	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, g. น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm. ²	7.7572	7.7569 -0.0003 -0.96	7.7571 -0.0001 -0.32	7.7570 -0.0002 -0.64	7.7571 -0.0001 -0.32	7.7570 -0.0002 -0.64	7.7571 -0.0001 -0.32	7.7572 0.0000 0.00	7.7573 0.0001 0.32	7.7573 0.0001 0.32	7.7573 0.0001 0.32
2 32.48	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, g. น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm. ²	8.2989	8.2989 0.0000 0.00	8.2989 0.0000 0.00	8.2989 0.0000 0.00	8.2990 0.0001 0.31	8.2991 0.0002 0.62	8.2990 0.0001 0.31	8.2991 0.0002 0.62	8.2990 0.0001 0.31	8.2990 0.0001 0.31	8.2991 0.0002 0.62
3 30.58	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, g. น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm. ²	7.6285	7.6286 0.0001 0.33	7.6285 0.0000 0.00	7.6287 0.0002 0.65	7.6286 0.0001 0.33	7.6286 0.0001 0.33	7.6285 0.0000 0.00	7.6285 0.0000 0.00	7.6287 0.0002 0.65	7.6287 0.0002 0.65	7.6287 0.0002 0.65
4 31.36	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, g. น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm. ²	7.8572	7.8573 0.0001 0.32	7.8572 0.0000 0.00	7.8573 0.0001 0.32	7.8573 0.0001 0.32	7.8572 0.0000 0.00	7.8583 0.0001 0.32	7.8574 0.0002 0.64	7.8574 0.0002 0.64	7.8574 0.0002 0.64	7.8575 0.0003 0.96
5 32.78	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, g. น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm. ²	8.2306	8.2306 0.0000 0.00	8.2306 0.0000 0.00	8.2306 0.0000 0.00	8.2306 0.0000 0.00	8.2306 0.0000 0.00	8.2308 0.0002 0.61	8.2307 0.0001 0.31	8.2308 0.0002 0.61	8.2308 0.0002 0.61	8.2308 0.0002 0.61
น้ำหนักเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ย, mg./dm. ²			-0.06	-0.06	0.07	0.26	0.06	0.18	0.31	0.51	0.51	0.63

ตาราง 83. น้ำหนักของเหล็กต่อโหลจากการทดลองในทางไมโคร เจริญโดยมี 1-quinoline เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อน

ส.ท. cm.	น้ำหนักของเหล็ก, กรัม	0	57	144	242	341	475	501	621	766	911	1199
1	30.38	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, กรัม ² น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm. ²	7.6295 -0.0001 -0.33	7.6294 -0.0001 -0.33	7.6294 -0.0001 -0.33	7.6294 -0.0001 -0.33	7.6295 0.0000 0.00	7.6296 0.0001 0.33	7.6296 0.0001 0.33	7.6295 0.0000 0.00	7.6295 0.0000 0.00	7.6294 -0.0001 -0.33
2	33.59	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, กรัม ² น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm. ²	8.2351 0.0000 0.00	8.2351 0.0001 0.30	8.2352 0.0001 0.30	8.2351 0.0000 0.00	8.2354 0.0003 0.90	8.2354 0.0003 0.90	8.2354 0.0003 0.90	8.2354 0.0003 0.90	8.2354 0.0003 0.90	8.2352 0.0001 0.30
3	33.87	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, กรัม ² น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm. ²	8.4695 0.0001 0.30	8.4696 0.0001 0.30	8.4696 0.0001 0.30	8.4696 0.0001 0.30	8.4696 0.0001 0.30	8.4697 0.0002 0.59	8.4697 0.0002 0.59	8.4697 0.0002 0.59	8.4697 0.0002 0.59	8.4696 0.0001 0.30
4	32.27	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, กรัม ² น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm. ²	8.0632 0.0001 0.31	8.0633 0.0001 0.31	8.0633 0.0001 0.31	8.0634 0.0002 0.62	8.0534 0.0002 0.62	8.0634 0.0002 0.62	8.0633 0.0001 0.31	8.0634 0.0002 0.62	8.0634 0.0002 0.62	8.0634 0.0002 0.62
5	32.76	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, กรัม ² น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm. ²	7.9196 -0.0001 -0.31	7.9195 0.0001 0.00	7.9196 0.0000 0.00	7.9195 -0.0001 -0.31	7.9196 0.0000 0.00	7.9198 0.0002 0.61	7.9197 0.0001 0.31	7.9198 0.0002 0.61	7.9198 0.0002 0.61	7.9196 0.0000 0.00
น้ำหนักเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ย, mg./dm. ²			-0.01	0.12	0.13	0.07	0.36	0.61	0.49	0.54	0.54	0.18

ตาราง 84. น้ำหนักของออกซิเจนเป็นผลได้จากทางทดลองในบรรยากาศปกติ

ส.ท. cm ²	น้ำหนัก, กรัม	0	391	656	873	1009	1204	1296	1396	1536	1658	1945
1 32.58	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยน, กรัม น้ำหนักเปลี่ยน, mg./dm. ²	3.1045	3.1047 0.0002 0.61	3.1048 0.0003 0.92	3.1047 0.0002 0.61	3.1047 0.0002 0.61	3.1048 0.0003 0.92	3.1047 0.0002 0.61	3.1048 0.0003 0.92	3.1048 0.0003 0.92	3.1047 0.0002 0.61	3.1048 0.0003 0.92
2 33.07	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยน, กรัม น้ำหนักเปลี่ยน, mg./dm. ²	3.2012	3.2015 0.0003 0.91	3.2016 0.0004 1.21	3.2017 0.0005 1.51	3.2016 0.0004 1.21	3.2016 0.0004 1.21	3.2017 0.0005 1.51	3.2016 0.0004 1.21	3.2016 0.0004 1.21	3.2017 0.0005 1.51	3.2017 0.0005 1.51
3 36.66	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยน, กรัม น้ำหนักเปลี่ยน, mg./dm. ²	3.5487	3.5488 0.0001 0.27	3.5490 0.0003 0.82	3.5489 0.0002 0.55	3.5490 0.0003 0.82	3.5490 0.0003 0.82	3.5489 0.0002 0.55	3.5490 0.0003 0.82	3.5490 0.0003 0.82	3.5489 0.0002 0.55	3.5490 0.0003 0.82
น้ำหนักเปลี่ยนเฉลี่ยโดยเฉลี่ย, mg./dm. ²			0.60	0.98	0.89	0.88	0.98	0.89	0.98	0.98	0.89	1.08
ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.26	0.17	0.14	0.25	0.17	0.14	0.17	0.17	0.14	0.30

ตาราง ๘5. น้ำหนักของอนุพันธ์เบสไพโรไลนีนที่ได้จากการสลายตัวของ i-quinoline เป็นตัวประกอบการสลาย

ส.ท.	ว.ท.นิว. cm. ²	น้ำหนัก กรัม	0	215	330	525	626	719	875	981	1128	1357	1577
1	34.10	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเบส, กรัม น้ำหนักเบส, mg./dm. ²	3.2920	3.2919 -0.0001 -0.29	3.2920 0.0000 0.00	3.2920 0.0000 0.00	3.2920 0.0000 0.00	3.2921 0.0001 0.29	3.2921 0.0001 0.29	3.2919 -0.0001 -0.29	3.2920 0.0000 0.00	3.2921 0.0001 0.29	3.2921 0.0001 0.29
2	31.69	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเบส, กรัม น้ำหนักเบส, mg./dm. ²	3.0565	3.0564 -0.0001 -0.32	3.0566 0.0001 0.32	3.0566 0.0001 0.32	3.0565 0.0000 0.00	3.0566 0.0001 0.32	3.0568 0.0003 0.94	3.0566 0.0001 0.32	3.0566 0.0001 0.32	3.0566 0.0001 0.32	3.0566 0.0001 0.32
3	33.10	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเบส, กรัม น้ำหนักเบส, mg./dm. ²	3.2410	3.2409 -0.0001 -0.30	3.2410 0.0000 0.00	3.2410 0.0000 0.00	3.2410 0.0000 0.00	3.2411 0.0001 0.30	3.2411 0.0001 0.30	3.2411 0.0001 0.30	3.2411 0.0001 0.30	3.2411 0.0001 0.30	3.2411 0.0001 0.30
น้ำหนักเบสเฉลี่ยโดยเฉลี่ย, mg./dm. ²			-0.30	0.11	0.11	0.11	0.00	0.30	0.51	0.11	0.21	0.30	0.30

ตาราง 86. น้ำหนักของอนุสมเมนต์ได้จากกาการทดลองในการออกซิเจน

ส.ท.	น้ำหนัก, กรัม	น้ำหนัก, กรัม	0	141	230	321	422	592	684	825	966	1062	1273
1	30.59	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยน, กรัม น้ำหนักเปลี่ยน, mg./dm. ²	3.0153	3.0153 0.0000 0.00	3.0153 0.0000 0.00	3.0152 -0.0001 -0.33	3.0152 -0.0001 -0.33	3.0152 -0.0001 -0.33	3.0152 -0.0001 -0.33	3.0153 0.0000 0.00	3.0153 0.0000 0.00	3.0154 0.0001 0.33	3.0155 0.0002 0.65
2	29.20	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยน, กรัม น้ำหนักเปลี่ยน, mg./dm. ²	3.4952	3.4953 0.0001 0.34	3.4953 0.0001 0.34	3.4952 0.0000 0.00	3.4952 0.0000 0.00	3.4951 -0.0001 -0.34	3.4951 -0.0001 -0.34	3.4951 -0.0001 -0.34	3.4952 0.0000 0.00	3.4952 0.0000 0.00	3.4952 0.0000 0.00
3	27.29	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยน, กรัม น้ำหนักเปลี่ยน, mg./dm. ²	2.6792	2.6793 0.0001 0.37	2.6792 0.0000 0.00	2.6792 0.0000 0.00	2.6792 0.0000 0.00	2.6792 0.0000 0.00	2.6792 0.0000 0.00	2.6792 0.0000 0.00	2.6794 0.0002 0.73	2.6794 0.0002 0.73	2.6793 0.0001 0.37
4	33.04	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยน, กรัม น้ำหนักเปลี่ยน, mg./dm. ²	3.2522	3.2523 0.0001 0.30	3.2523 0.0001 0.30	3.2523 0.0001 0.30	3.2522 0.0000 0.00	3.2522 0.0000 0.00	3.2523 0.0001 0.30	3.2524 0.0002 0.61	3.2524 0.0002 0.61	3.2523 0.0001 0.30	3.2523 0.0001 0.30
5	34.11	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยน, กรัม น้ำหนักเปลี่ยน, mg./dm. ²	3.3252	3.3254 0.0002 0.59	3.3254 0.0002 0.59	3.3254 0.0002 0.59	3.3253 0.0001 0.29	3.3252 0.0000 0.00	3.3252 0.0000 0.00	3.3252 0.0000 0.00	3.3251 -0.0001 -0.29	3.3251 -0.0001 -0.29	3.3254 0.0002 0.59
น้ำหนักเปลี่ยนเฉลี่ยโดยเฉลี่ย, mg./dm. ²				0.32	0.25	0.11	-0.01	-0.13	-0.07	0.05	0.21	0.21	0.38

ตาราง 87. น้ำหนักของอนุพันธ์เป็นผลที่ได้จากการทดลองในทางออกซิเจนโดยมี i-quinnoline เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อน

ส.ท.	พ.น. 2 cm.	น้ำหนัก, กรัม	น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm. ²	0	42	154	250	348	544	616	857	989	1157	1331
1	33.43	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm. ²		3.2910	3.2911 0.0001 0.30	3.2911 0.0001 0.30	3.2910 0.0000 0.00	3.2911 0.0001 0.30	3.2910 0.0000 0.00	3.2910 0.0000 0.00	3.2910 0.0000 0.00	3.2911 0.0001 0.30	3.2911 0.0001 0.30	3.2911 0.0001 0.30
2	33.00	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm. ²		3.1691	3.1691 0.0000 0.00	3.1691 0.0000 0.00	3.1690 -0.0001 -0.30	3.1690 -0.0001 -0.30	3.1691 0.0000 0.00	3.1690 -0.0001 -0.30	3.1690 -0.0001 -0.30	3.1690 -0.0001 -0.30	3.1691 0.0000 0.00	3.1691 0.0000 0.00
3	33.51	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm. ²		3.2625	3.2625 0.0000 0.00	3.2625 0.0000 0.00	3.2624 -0.0001 -0.30	3.2624 -0.0001 -0.30	3.2625 0.0000 0.00	3.2625 0.0000 0.00	3.2624 -0.0001 -0.30	3.2625 0.0000 0.00	3.2625 0.0000 0.00	3.2626 0.0001 0.30
4	33.43	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm. ²		3.3032	3.3033 0.0001 0.30	3.3033 0.0001 0.30	3.3033 0.0001 0.30	3.3032 0.0000 0.00	3.3033 0.0001 0.30	3.3033 0.0001 0.30	3.3032 0.0001 0.30	3.3032 -0.0001 -0.30	3.3032 0.0001 0.30	3.3033 0.0001 0.30
5	34.12	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm. ²		3.3614	3.3614 0.0000 0.00	3.3614 0.0000 0.00	3.3613 -0.0001 -0.29	3.3614 0.0000 0.00	3.3613 -0.0001 -0.29	3.3613 -0.0001 -0.29	3.3613 -0.0001 -0.29	3.3614 0.0000 0.00	3.3614 0.0000 0.00	3.3614 0.0000 0.00
		น้ำหนักเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ย, mg./dm. ²			0.12	0.12	-0.12	-0.06	0.00	-0.06	-0.18	0.00	0.06	0.18

ตาราง ๑๘. น้ำหนักของดรัมมีเยยที่ไถจากการทดลองในภาชนะบอยโคอกโซค

ส.ท.	พ.ท.นิว, cm. ²	น้ำหนัก กรัม	0	140	232	328	424	518	590	687	826	967	1305
1	28.39	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเบ็ดย, กรัม น้ำหนักเบ็ดย, mg./dm. ²	2.7767	2.7768 0.0001 0.35	2.7768 0.0001 0.35	2.7768 0.0001 0.35	2.7768 0.0001 0.35	2.7767 0.0000 0.00	2.7767 0.0000 0.00	2.7767 0.0000 0.00	2.7767 0.0000 0.00	2.7767 0.0000 0.00	2.7767 0.0000 0.00
2	33.33	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเบ็ดย, กรัม น้ำหนักเบ็ดย, mg./dm. ²	3.2505	3.2505 0.0000 0.00	3.2505 0.0000 0.00	3.2505 0.0000 0.00	3.2505 0.0000 0.00	3.2505 0.0000 0.00	3.2505 0.0000 0.00	3.2504 -0.0001 -0.30	3.2505 0.0000 0.00	3.2504 -0.0001 -0.30	3.2505 0.0000 0.00
3	33.05	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเบ็ดย, กรัม น้ำหนักเบ็ดย, mg./dm. ²	3.2504	3.2504 0.0000 0.00	3.2504 0.0000 0.00	3.2504 0.0000 0.00	3.2504 0.0000 0.00	3.2504 0.0000 0.00	3.2505 0.0001 0.30	3.2505 0.0001 0.30	3.2505 0.0001 0.30	3.2504 0.0000 0.00	3.2504 0.0000 0.00
4	36.07	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเบ็ดย, กรัม น้ำหนักเบ็ดย, mg./dm. ²	3.5580	3.5581 0.0001 0.28	3.5581 0.0001 0.28	3.5581 0.0001 0.28	3.5581 0.0001 0.28	3.5580 0.0000 0.00	3.5581 0.0001 0.28	3.5581 0.0001 0.28	3.5581 0.0001 0.28	3.5581 0.0001 0.28	3.5581 0.0001 0.28
5	35.51	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเบ็ดย, กรัม น้ำหนักเบ็ดย, mg./dm. ²	3.2600	3.2600 0.0000 0.00	3.2600 0.0000 0.00	3.2599 -0.0001 -0.28	3.2600 0.0000 0.00	3.2600 0.0000 0.00	3.2600 0.0000 0.00	3.2599 -0.0001 -0.28	3.2599 -0.0001 -0.28	3.2599 -0.0001 -0.28	3.2600 0.0000 0.00
น้ำหนักเบ็ดยแปลงโดยเจดิม, mg./dm. ²				0.13	0.13	0.07	0.13	0.00	0.12	0.00	-0.06	-0.06	0.06

ตาราง 89. น้ำหนักของอนุพันธ์ในสมมติฐานการทดลองใน การคำนวณโดยการใช้โปรแกรม เป็นตัวอิงการศึกษาค้น

ส.ท.	เลข.ตัว, dm^2	น้ำหนัก	0	60	152	244	348	515	611	755	899	1055	1228
1	35.27	น้ำหนัก, g. น้ำหนักเบ็ดขม, g. น้ำหนักเบ็ดขม, mg./dm ²	3.4135	3.4134 -0.0001 -0.28	3.4134 -0.0001 -0.28	3.4133 -0.0002 -0.57	3.4133 -0.0002 -0.57	3.4134 -0.0001 -0.28	3.4134 -0.0001 -0.28	3.4133 -0.0002 -0.57	3.4134 -0.0001 -0.28	3.4133 -0.0002 -0.57	3.4134 -0.0001 -0.28
2	33.20	น้ำหนัก, g. น้ำหนักเบ็ดขม, g. น้ำหนักเบ็ดขม, mg./dm ²	3.2519	3.2519 0.0000 0.00	3.2519 0.0000 0.00	3.2518 -0.0001 -0.30	3.2519 0.0000 0.00	3.2518 -0.0001 -0.30	3.2518 -0.0001 -0.30	3.2517 -0.0002 -0.60	3.2519 0.0000 0.00	3.2518 -0.0001 -0.30	3.2518 -0.0001 -0.30
3	33.90	น้ำหนัก, g. น้ำหนักเบ็ดขม, g. น้ำหนักเบ็ดขม, mg./dm ²	3.3174	3.3174 0.0000 0.00	3.3174 0.0000 0.00	3.3174 0.0000 0.00	3.3174 0.0000 0.00	3.3174 0.0000 0.00	3.3174 0.0000 0.00	3.3174 0.0000 0.00	3.3175 0.0001 0.30	3.3174 0.0000 0.00	3.3175 0.0001 0.30
4	29.70	น้ำหนัก, g. น้ำหนักเบ็ดขม, g. น้ำหนักเบ็ดขม, mg./dm ²	2.9437	2.9437 0.0000 0.00	2.9437 0.0000 0.00	2.9437 0.0000 0.00	2.9437 0.0000 0.00	2.9436 -0.0001 -0.34	2.9436 -0.0001 -0.34	2.9437 0.0000 0.00	2.9438 0.0001 0.34	2.9437 0.0000 0.00	2.9437 0.0000 0.00
5	32.51	น้ำหนัก, g. น้ำหนักเบ็ดขม, g. น้ำหนักเบ็ดขม, mg./dm ²	3.2083	3.2083 0.0000 0.00	3.2083 0.0000 0.00	3.2082 -0.0001 -0.31	3.2083 0.0000 0.00	3.2082 -0.0001 -0.31	3.2082 -0.0001 -0.31	3.2083 0.0000 0.00	3.2084 0.0001 0.31	3.2083 0.0000 0.00	3.2083 0.0000 0.00
น้ำหนักเบ็ดขมในสมมติฐานการทดลอง, mg./dm ²				-0.06	-0.06	-0.24	-0.11	-0.25	-0.25	-0.23	0.13	-0.17	-0.06

ตาราง 90. น้ำหนักของอนุภาคนิยมที่ได้จากการทดลองในกาซีโนโตรเจน

ส.ท.	พ.ท.ยว	ตัวโม่งที่	0	149	237	341	438	532	603	863	1004	1176	1294
1	27.35	น้ำหนัก, g.	2.6676	2.6675	2.6675	2.6675	2.6675	0.6676	2.6676	2.6676	2.6676	2.6675	2.6675
		น้ำหนักเปลี่ยน, g.	-0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0001	-0.0001
		น้ำหนักเปลี่ยน, mg./dm. ²	-0.37	-0.37	-0.37	-0.37	-0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.37	-0.37
2	30.83	น้ำหนัก, g.	3.0364	3.0362	3.0362	3.0362	3.0362	3.0363	3.0364	3.0363	3.0365	3.0363	3.0363
		น้ำหนักเปลี่ยน, g.	-0.0002	-0.0002	-0.0002	-0.0002	-0.0002	-0.0001	0.0000	-0.0001	0.0001	-0.0001	-0.0001
		น้ำหนักเปลี่ยน, mg./dm. ²	-0.65	-0.65	-0.65	-0.65	-0.65	-0.32	0.00	-0.32	-0.32	-0.32	-0.32
3	35.21	น้ำหนัก, g.	3.4818	3.4817	3.4817	3.4817	3.4818	3.4818	3.4818	3.4818	3.4820	3.4818	3.4820
		น้ำหนักเปลี่ยน, g.	-0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0002
		น้ำหนักเปลี่ยน, mg./dm. ²	-0.28	-0.28	-0.28	-0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.57	0.00	0.57
4	35.47	น้ำหนัก, g.	3.4424	3.4424	3.4424	3.4424	3.4424	3.4425	3.4426	3.4425	3.4426	3.4427	3.4425
		น้ำหนักเปลี่ยน, g.	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0002	0.0001	0.0002	0.0003	0.0001
		น้ำหนักเปลี่ยน, mg./dm. ²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.56	0.28	0.56	0.85	0.28
5	33.82	น้ำหนัก, g.	3.2396	3.2394	3.2395	3.2395	3.2395	3.2394	3.2395	3.2393	3.2394	3.2397	3.2395
		น้ำหนักเปลี่ยน, g.	-0.0002	-0.0002	-0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0002	-0.0001	-0.0003	-0.0002	0.0001	-0.0001
		น้ำหนักเปลี่ยน, mg./dm. ²	-0.59	-0.59	-0.30	-0.30	-0.30	-0.59	-0.30	-0.89	-0.59	0.30	-0.30
น้ำหนักเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ย, mg./dm. ²			-0.38	-0.32	-0.32	-0.32	-0.26	-0.13	0.05	-0.19	0.17	0.08	-0.03

ตาราง 91. น้ำหนักของอนุกรมเป็นผลจากการทดลองในทางไมโครเจมิโกลิน เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อน

ส.ป.น. 2	0	57	144	242	341	475	501	621	766	911	1199
1	3.1933	3.1933	3.1933	3.1933	3.1933	3.1932	3.1933	3.1933	3.1933	3.1933	3.1931
2	3.2249	3.2249	3.2249	3.2249	3.2249	3.2248	3.2249	3.2248	3.2248	3.2249	3.2248
3	3.0925	3.0925	3.0925	3.0925	3.0925	3.0925	3.0925	3.0925	3.0925	3.0925	3.0923
4	3.4038	3.4049	3.4049	3.4049	3.4049	3.4048	3.4049	3.4048	3.4048	3.4049	3.4047
5	3.1582	3.1583	3.1583	3.1583	3.1583	3.1582	3.1583	3.1583	3.1582	3.1583	3.1581
น้ำหนักเบ็ดขมแดงโดยเฉลี่ย, mg./dm. ²											

ตาราง ๑๒. น้ำหนักของทองแดงที่ได้จากการทดลองในบรรยากาศปกติ

ส.ท.	พ.ท.ผิว cm ²	ตัวโน้ต	0	392	657	874	1010	1205	1292	1390	1538	1659	1799
1	33.60	น้ำหนัก, g. น้ำหนักเปียก, g. น้ำหนักเปียก, mg./dm. ²	4.5695	4.5695 0.0000 0.00	4.5696 0.0001 0.30	4.5695 0.0000 0.00	4.5697 0.0002 0.60	4.5694 -0.0001 -0.30	4.5695 0.0000 0.00	4.5695 0.0000 0.00	4.5695 0.0000 0.00	4.5695 0.0000 0.00	4.5695 0.0000 0.00
2	33.35	น้ำหนัก, g. น้ำหนักเปียก, g. น้ำหนักเปียก, mg./dm. ²	4.9493	4.9494 0.0001 0.30	4.9494 0.0001 0.30	4.9494 0.0001 0.30	4.9495 0.0002 0.60	4.9493 0.0000 0.00	4.9494 0.0001 0.30	4.9494 0.0001 0.30	4.9493 0.0000 0.00	4.9494 0.0001 0.30	4.9494 0.0001 0.30
3	32.52	น้ำหนัก, g. น้ำหนักเปียก, g. น้ำหนักเปียก, mg./dm. ²	4.4229	4.4229 0.0000 0.00	4.4229 0.0000 0.00	4.4229 0.0000 0.00	4.4229 0.0000 0.00	4.4228 -0.0001 0.31	4.4228 -0.0001 -0.31	4.4229 0.0000 0.00	4.4228 -0.0001 -0.31	4.4228 -0.0001 -0.31	4.4228 -0.0001 -0.31
น้ำหนักเปียกเฉลี่ยโดยเฉลี่ย, mg./dm. ²				0.10	0.20	0.10	0.40	-0.20	0.00	0.10	-0.10	0.00	0.00

ตาราง ๑๓. น้ำหนักของทองแดงที่วิเคราะห์จากสารทดลองในบรรณภาพโดยมี i-quinoline เป็นตัวป้องกันภาวะผิดปกติ

ลำดับ	พ.ท.ปีว. cm.	จำนวน ท่อน	0	215	330	525	622	719	875	981	1128	1357	1577
1	31.30	น้ำหนัก, g. น้ำหนักเปียดยน, g. น้ำหนักเปียดยน, mg./dm. ²	4.6083	4.6085 0.0002 0.64	4.6082 -0.0001 -0.32	4.6083 0.0000 0.00	4.6083 0.0000 0.00	4.6082 -0.0001 -0.32	4.6083 0.0000 0.00	4.6083 0.0000 0.00	4.6083 0.0000 0.00	4.6084 0.0001 0.32	4.6083 0.0000 0.00
2	35.08	น้ำหนัก, g. น้ำหนักเปียดยน, g. น้ำหนักเปียดยน, mg./dm. ²	5.1401	5.1401 0.0000 0.00	5.1399 -0.0002 -0.57	5.1399 -0.0002 -0.57	5.1399 -0.0002 -0.57	5.1398 -0.0003 -0.86	5.1400 -0.0001 -0.29	5.1399 -0.0002 -0.57	5.1399 -0.0002 -0.57	5.1400 -0.0001 -0.29	5.1400 -0.0001 -0.57
3	34.42	น้ำหนัก, g. น้ำหนักเปียดยน, g. น้ำหนักเปียดยน, mg./dm. ²	5.0556	5.0556 0.0000 0.00	5.0555 -0.0001 -0.29	5.0555 -0.0001 -0.29	5.0556 0.0000 0.00	5.0557 0.0001 -0.29	5.0557 0.0001 0.29	5.0556 0.0000 0.00	5.0558 -0.0002 -0.53	5.0557 0.0001 0.29	5.0556 0.0000 0.00
น้ำหนักเปียดยนแปลงโดยเฉลี่ย mg./dm. ²				0.21	-0.39	-0.29	-0.19	-0.30	0.00	-0.19	-0.38	0.11	0.01

ตาราง 94. น้ำหนักของทองแดงที่ได้จากการทดลองในการสกัดสีเงิน

ลำดับที่	น้ำหนัก กรัม	น้ำหนัก กรัม	0	141	230	321	422	592	684	825	966	1062	1273
1	31.31	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm. ²	4.7889	4.7889 0.0000 0.00	4.7889 0.0000 0.00	4.7889 0.0000 0.00	4.7890 0.0001 0.32	4.7889 0.0000 0.00	4.7889 0.0000 0.00	4.7888 -0.0001 -0.32	4.7888 -0.0001 -0.32	4.7889 0.0000 0.00	4.7891 0.0000 0.00
2	29.56	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm. ²	4.9619	4.9619 0.0000 0.00	4.9619 0.0000 0.00	4.9619 0.0000 0.00	4.9619 0.0000 0.00	4.9618 -0.0001 -0.34	4.9619 0.0000 0.00	4.9618 -0.0001 -0.34	4.9618 -0.0001 -0.34	4.9619 0.0000 0.00	4.9619 0.0000 0.00
3	26.75	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm. ²	4.7122	4.7122 0.0000 0.00	4.7123 0.0001 0.37	4.7122 0.0000 0.00	4.7122 0.0000 0.00	4.7121 -0.0001 -0.37	4.7123 0.0001 0.37	4.7122 0.0000 0.00	4.7122 0.0000 0.00	4.7123 0.0001 0.37	4.7123 0.0001 0.37
4	27.89	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm. ²	5.2686	5.2686 0.0000 0.00	5.2686 0.0000 0.00	5.2686 0.0000 0.00	5.2685 -0.0001 -0.36	5.2685 -0.0001 -0.36	5.2685 -0.0001 -0.36	5.2686 0.0000 0.00	5.2586 0.0000 0.00	5.2586 0.0000 0.00	5.2587 0.0001 0.36
5	32.00	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm. ²	3.3445	3.3445 0.0000 0.00	3.3445 0.0000 0.00	3.3445 0.0000 0.00	3.3445 0.0000 0.00	3.3444 -0.0001 -0.31	3.3445 0.0000 0.00	3.3444 -0.0001 -0.31	3.3444 -0.0001 -0.31	3.3444 -0.0001 -0.31	3.3445 0.0000 0.00
น้ำหนักเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ย, mg./dm. ²			0.00	0.00	0.07	0.00	-0.01	-0.28	0.00	-0.19	-0.19	0.01	0.15

ตาราง 95. น้ำหนักของทองแดงที่ได้จากการทดลองในการออกซิเจนโดยมี i-quinoline เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อน

ส.ท.	พ.ท.ผิว, cm^2	น้ำหนัก, กรัม ผิวในทอง	0	42	154	250	348	544	616	713	857	989	1331
1	31.21	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm^2	4.7746	4.7746 0.0000 0.00	4.7746 0.0000 0.00	4.7746 0.0000 0.00	4.7746 0.0000 0.00	4.7744 -0.0002 -0.64	4.7745 -0.0001 -0.32	4.7745 -0.0001 -0.32	4.7746 0.0000 0.00	4.7744 -0.0002 -0.64	4.7744 -0.0002 -0.64
2	33.33	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm^2	4.7776	4.7778 0.0002 0.60	4.7777 0.0001 0.30	4.7776 0.0000 0.00	4.7777 0.0001 0.30	4.7778 0.0002 0.60	4.7778 0.0002 0.60	4.7778 0.0002 0.60	4.7778 0.0002 0.60	4.7778 0.0002 0.60	4.7779 0.0003 0.90
3	30.29	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm^2	3.9028	3.9028 0.0000 0.00	3.9028 0.0000 0.00	3.9027 -0.0001 -0.33	3.9027 -0.0001 -0.33	3.9028 0.0000 0.00	3.9028 0.0000 0.00	3.9029 0.0001 0.33	3.9029 0.0001 0.33	3.9029 0.0001 0.33	3.9029 0.0001 0.33
4	32.38	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm^2	3.7830	3.7829 -0.9991 -0.31	3.7830 0.0000 0.00	3.7830 0.0000 0.00	3.7830 0.0000 0.00	3.7829 -0.0001 -0.31	3.7830 0.0000 0.00	3.7830 0.0000 0.00	3.7830 0.0000 0.00	3.7829 -0.0001 -0.31	3.7830 0.0000 0.00
5	34.32	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, กรัม น้ำหนักเปลี่ยนแปลง, mg./dm^2	3.8893	3.8893 0.0000 0.00	3.8893 0.0000 0.00	3.8892 -0.0001 -0.29	3.8891 -0.0002 -0.58	3.8892 -0.0001 -0.29	3.8892 -0.0001 -0.29	3.8891 -0.0002 -0.58	3.8892 -0.0001 -0.29	3.8891 -0.0002 -0.58	3.8892 -0.0001 -0.29
น้ำหนักเปลี่ยนแปลงเฉลี่ย, mg./dm^2				0.06	0.06	-0.12	-0.19	-0.13	0.00	0.00	0.13	0.12	0.06

ตาราง ๑๖. น้ำหนักของทองแดงที่ได้จากการทดสอบในภาชนะปิดสนิท

ส.พ.ม. ๒๕๖๒	น้ำหนัก, กรัม	0	140	232	328	424	590	687	826	967	1158	1305
1	30.23	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยน, กรัม น้ำหนักเปลี่ยน, mg./dm.^2	4.5904 0.0001 0.33	4.5904 0.0001 0.33	4.5904 0.0001 0.33	4.5903 0.0000 0.00	4.5903 0.0000 0.00	4.5903 0.0000 0.00	4.5903 0.0000 0.00	4.5903 0.0000 0.00	4.5902 -0.0001 -0.33	4.5903 0.0000 0.00
2	29.86	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยน, กรัม น้ำหนักเปลี่ยน, mg./dm.^2	4.6810 0.0000 0.00	4.6811 0.0001 0.34	4.6810 0.0000 0.00	4.6810 0.0000 0.00	4.6810 0.0000 0.00	4.6811 0.0001 0.34	4.6811 0.0001 0.34	4.6810 0.0000 0.00	4.6810 0.0000 0.00	4.6810 0.0000 0.00
3	26.75	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยน, กรัม น้ำหนักเปลี่ยน, mg./dm.^2	4.1377 0.0000 0.00	4.1377 0.0000 0.00	4.1377 0.0000 0.00	4.1377 0.0000 0.00	4.1378 0.0001 0.37	4.1377 0.0000 0.00	4.1377 0.0000 0.00	4.1377 0.0000 0.00	4.1377 0.0000 0.00	4.1378 0.0001 0.37
4	27.89	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยน, กรัม น้ำหนักเปลี่ยน, mg./dm.^2	4.4014 0.0000 0.00	4.4014 0.0000 0.00	4.4014 0.0000 0.00	4.4014 0.0000 0.00	4.4015 0.0001 0.36	4.4014 0.0000 0.00	4.4014 0.0000 0.00	4.4014 0.0000 0.00	4.4014 0.0000 0.00	4.4014 0.0000 0.00
5	32.00	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปลี่ยน, กรัม น้ำหนักเปลี่ยน, mg./dm.^2	4.9264 -0.0001 -0.31	4.9263 -0.0001 -0.31	4.9263 -0.0001 -0.31	4.9263 -0.0001 -0.31	4.9263 -0.0001 -0.31	4.9263 -0.0001 -0.31	4.9264 0.0000 0.00	4.9263 -0.0001 -0.31	4.9264 0.0000 0.00	4.9263 -0.0001 -0.31
น้ำหนักเปลี่ยนเฉลี่ยโดยเฉลี่ย, mg./dm.^2			0.00	0.07	0.00	0.07	0.08	0.01	0.07	-0.06	-0.07	0.01

ตาราง ๑๗. น้ำหนักของของแข็งที่ได้จากการทดลองในภาชนะรบอนไดออกไซด์โดยมี i-quinoline เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อน

ส.ท.ผิว cm ²	น้ำหนัก กรัม	0	60	152	244	348	443	515	755	899	1055	1228
1	36.04	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปียก, กรัม น้ำหนักเปียก, mg./dm ²	5.2315 0.0001 0.28	5.2316 0.0001 0.28	5.2315 0.0000 0.00	5.2315 0.0000 0.00	5.2314 -0.0001 -0.28	5.2314 -0.0001 -0.28	5.2314 -0.0001 -0.28	5.2315 0.0000 0.00	5.2314 -0.0001 -0.28	5.2315 0.0000 0.00
2	34.97	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปียก, กรัม น้ำหนักเปียก, mg./dm ²	5.0891 0.0000 0.00	5.0891 0.0000 0.00	5.0891 0.0000 0.00	5.0890 -0.0001 -0.29	5.0887 -0.0004 -1.14	5.0888 -0.0003 -0.86	5.0888 -0.0003 -0.86	5.0888 -0.0003 -0.86	5.0889 -0.0002 -0.57	5.0889 -0.0002 -0.57
3	33.27	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปียก, กรัม น้ำหนักเปียก, mg./dm ²	3.7861 0.0001 0.30	3.7862 0.0001 0.30	3.7862 0.0001 0.30	3.7861 0.0000 0.00	3.7860 -0.0001 -0.30	3.7859 -0.0002 -0.60	3.7859 -0.0002 -0.60	3.7861 0.0000 0.30	3.7860 -0.0001 -0.30	3.7860 -0.0001 -0.30
4	32.33	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปียก, กรัม น้ำหนักเปียก, mg./dm ²	3.7657 0.0001 0.31	3.7658 0.0001 0.31	3.7658 0.0001 0.31	3.7657 0.0000 0.00	3.7657 0.0000 0.00	3.7656 -0.0001 -0.31	3.7657 0.0000 0.00	3.7657 0.0000 0.00	3.7657 0.0000 0.00	3.7657 0.0000 0.00
5	35.37	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเปียก, กรัม น้ำหนักเปียก, mg./dm ²	4.4525 0.0000 0.00	4.4525 0.0000 0.00	4.4525 0.0000 0.00	4.4524 -0.0001 -0.28	4.4524 -0.0001 -0.28	4.4523 -0.0002 -0.57	4.4523 -0.0002 -0.57	4.4525 0.0000 0.00	4.4523 -0.0002 -0.57	4.4524 -0.0001 -0.28
น้ำหนักเปียกแสดงโดยเฉลี่ย, mg./dm ²			0.18	0.18	0.12	-0.11	-0.23	-0.58	-0.46	-0.17	-0.41	-0.29

ตาราง ๑๕๔ น้ำหนักของของแข็งที่ได้จากการทดลองในภาชนะไนโตรเจน

ส.ท. ผู้ชั่ง	น้ำหนัก	0	149	237	341	438	532	603	713	863	1176	1294
1	30.07	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเบ็ดขม, กรัม น้ำหนักเบ็ดขม, mg./dm. ²	4.5581 0.0000 0.00	4.5581 0.0000 0.00	4.5581 0.0000 0.00	4.5581 0.0000 0.00	4.5581 0.0000 0.00	4.5581 0.0000 0.00	4.5581 0.0000 0.00	4.5580 -0.0001 -0.33	4.5582 0.0001 0.33	4.5583 0.0002 0.67
2	32.94	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเบ็ดขม, กรัม น้ำหนักเบ็ดขม, mg./dm. ²	3.9591 0.0001 0.30	3.9592 0.0002 0.61	3.9593 0.0002 0.61	3.9593 0.0002 0.61	3.9593 0.0002 0.61	3.9593 0.0002 0.61	3.9594 0.0002 0.61	3.9594 0.0003 0.91	3.9594 0.0003 0.91	3.9594 0.0003 0.91
3	31.83	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเบ็ดขม, กรัม น้ำหนักเบ็ดขม, mg./dm. ²	4.8457 0.0000 0.00	4.8457 0.0000 0.00	4.8457 0.0000 0.00	4.8457 0.0000 0.00	4.8458 0.0001 0.31	4.8459 0.0002 0.63	4.8458 0.0001 0.31	4.8458 0.0001 0.31	4.8459 0.0002 0.63	4.8458 0.0001 0.31
4	24.68	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเบ็ดขม, กรัม น้ำหนักเบ็ดขม, mg./dm. ²	3.7848 0.0000 0.00	3.7848 0.0000 0.00	3.7848 0.0000 0.00	3.7848 0.0000 0.00	3.7847 -0.0001 -0.41	3.7847 -0.0001 -0.41	3.7847 -0.0001 -0.41	3.7848 0.0000 0.00	3.7848 0.0000 0.00	3.7847 -0.0001 -0.41
5	32.38	น้ำหนัก, กรัม น้ำหนักเบ็ดขม, กรัม น้ำหนักเบ็ดขม, mg./dm. ²	4.5155 0.0000 0.00	4.5155 0.0000 0.00	4.5155 0.0000 0.00	4.5155 0.0000 0.00	4.5156 0.0001 0.31	4.5157 0.0002 0.63	4.5156 0.0001 0.31	4.5156 0.0001 0.31	4.5157 0.0002 0.62	4.5158 0.0003 0.93
น้ำหนักเบ็ดขมแปดงโยเบ็ดขม, mg./dm. ²			0.06	0.12	0.06	0.18	0.23	0.35	0.16	0.24	0.50	0.48

/

ตอนที่ ๒

การวิเคราะห์โลหะโดยการชั่ง

ตาราง 100. ผลการวิเคราะห์หาค่าคงที่โดยการชั่งใน hydrochloric acid เมื่อมี aniline เป็นตัวป้องกันการศึกษา
อัตราการศึกษา
โดยเฉลี่ย,
g./cm.²/day

ของกรด, M	%	น้ำหนักของชิ้นโลหะตัวอย่าง, g.										อัตราการสึกกร่อน โดยเฉลี่ย, g./cm. ² /day
		1		2		3		4		5		
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
0.02	0.00	1.0712	1.0674	1.0385	1.0342	1.0646	1.0615	1.0632	1.0595	1.0738	1.0697	0.00092
	0.03	1.0817	1.0781	1.0642	1.0603	1.0873	1.0832	1.0511	1.0477	1.0642	1.0605	0.00095
	0.08	1.0293	1.0368	1.0812	1.0783	1.0591	1.0566	1.0695	1.0673	1.0790	1.0765	0.00065
	0.15	1.0767	1.0743	1.0636	1.0609	1.0374	1.0352	1.0741	1.0717	1.0755	1.0730	0.00064
	0.25	1.0659	1.0635	1.0759	1.0732	1.0311	1.0290	1.0748	1.0724	1.0423	1.0400	0.00062
0.10	0.00	1.0897	1.0772	1.0629	1.0551	1.0722	1.0596	1.0550	1.0454	1.0651	1.0563	0.00268
	0.03	1.0863	1.0779	1.0813	1.0726	1.0803	1.0720	1.0598	1.0506	1.0768	1.0690	0.00222
	0.08	1.0540	1.0478	1.0715	1.0649	1.0605	1.0543	1.0645	1.0585	1.0826	1.0764	0.00163
	0.15	1.0620	1.0566	1.0815	1.0757	1.0485	1.0431	1.0729	1.0682	1.0236	1.0181	0.00140
	0.25	1.0697	1.0659	1.0533	1.0493	1.0717	1.0679	1.0834	1.0792	1.0783	1.0750	0.00100
0.50	0.00	1.0680	1.0553	1.0743	1.0534	1.0629	1.0425	1.0568	1.0340	1.0714	1.0476	0.00526
	0.03	1.0899	1.0623	1.0977	1.0800	1.0552	1.0377	1.0511	1.0337	1.0722	1.0543	0.00461
	0.08	1.0487	1.0321	1.0297	1.0130	1.0372	1.0207	1.0774	1.0610	1.0819	1.0651	0.00434
	0.15	1.0720	1.0598	1.0717	1.0593	1.0911	1.0785	1.0661	1.0541	1.0590	1.0472	0.00319
	0.25	1.0211	1.0094	1.0633	1.0511	1.0640	1.0517	1.0345	1.0224	1.0729	1.0614	0.00313

ค่าเฉลี่ย ของกรณ, M	%	น้ำหนักของชั้นโหลหะทวอยาง, g.										อัตราการสักรอน โดยเจลดย, g./cm. ² /day
		1		2		3		4		5		
		กอน	หลัง	กอน	หลัง	กอน	หลัง	กอน	หลัง	กอน	หลัง	
0.02	0.00	1.0620	1.0533	1.0780	1.0737	1.0602	1.0568	1.0752	1.0727	1.0826	1.0774	0.00105
	0.03	1.0269	1.0253	1.0803	1.0786	1.0906	1.0888	1.0818	1.0803	1.0136	1.0121	0.00042
	0.08	1.0598	1.0583	1.0749	1.0736	1.0749	1.0737	1.0647	1.0634	1.0829	1.0819	0.00033
	0.15	1.0757	1.0746	1.0831	1.0823	1.0803	1.0295	1.0710	1.0700	1.0713	1.0704	0.00024
	0.25	1.0617	1.0608	1.0736	1.0726	1.0890	1.0879	1.0493	1.0485	1.0828	1.0820	0.00024
0.10	0.00	1.0836	1.0637	1.0710	1.0576	1.0888	1.0753	1.0665	1.0524	1.0843	1.0694	0.00370
	0.03	1.0813	1.0716	1.0395	1.0296	1.0530	1.0433	1.0237	1.0142	1.0780	1.0680	0.00255
	0.08	1.0896	1.0837	1.0720	1.0641	1.0828	1.0771	1.0749	1.0690	1.0787	1.0727	0.00155
	0.15	1.0632	1.0578	1.0802	1.0745	1.0797	1.0737	1.0746	1.0698	1.0716	1.0660	0.00149
	0.25	1.0672	1.0637	1.0839	1.0810	1.0091	1.0053	1.0832	1.0799	1.0927	1.0893	0.00093
0.50	0.00	1.0531	1.0425	1.0584	1.0435	1.0205	1.0105	1.0709	1.0587	1.0617	1.0501	0.00284
	0.03	1.0673	1.0593	1.0651	1.0535	1.0332	1.0285	1.0544	1.0471	1.0695	1.0640	0.00173
	0.08	1.0753	1.0710	1.0723	1.0678	1.0828	1.0782	1.0647	1.0605	1.0683	1.0642	0.00113
	0.15	1.0706	1.0676	1.0673	1.0640	1.0818	1.0778	1.0619	1.0582	1.0292	1.0257	0.00092
	0.25	1.0602	1.0574	1.0579	1.0549	1.0734	1.0698	1.0686	1.0652	1.0682	1.0650	0.00034

ตาราง 102. ผลการวิเคราะห์หาผลึกโดยการชั่งใน hydrochloric acid เมื่อมี pyridine เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อน

ความเข้มข้น ของกรก, M	%N	น้ำหนักของหินโลหะตัวอย่าง, g.										อัตราการสึกกร่อน โดยเฉลี่ย, g./cm ² /day
		1		2		3		4		5		
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
0.02	0.00	1.0558	1.0515	1.0668	1.0615	1.0511	1.0475	1.0492	1.0439	1.0384	1.0332	0.00124
	0.03	1.0395	1.0368	1.0467	1.0442	1.0701	1.0679	1.0456	1.0436	1.0613	1.0589	0.00062
	0.08	1.0820	1.0607	1.0155	1.0135	1.0446	1.0434	1.0556	1.0542	1.0625	1.0607	0.00040
	0.15	1.0627	1.0614	1.0484	1.0474	1.0202	1.0195	1.0329	1.0317	1.0567	1.0552	0.00035
	0.25	1.0431	1.0419	1.0404	1.0394	1.0778	1.0763	1.0205	1.0192	1.0366	1.0355	0.00032
0.10	0.00	1.0676	1.0466	1.0580	1.0321	1.0572	1.0315	1.0811	1.0496	1.0812	1.0499	0.00378
	0.03	1.0691	1.0535	1.0234	1.0176	1.0503	1.0443	1.0563	1.0501	1.0652	1.0592	0.00155
	0.08	1.0453	1.0400	1.0599	1.0547	1.0597	1.0549	1.0595	1.0546	1.0196	1.0146	0.00132
	0.15	1.0693	1.0659	1.0463	1.0423	1.0647	1.0599	1.0541	1.0584	1.0730	1.0684	0.00120
	0.25	1.0587	1.0544	1.0559	1.0541	1.0521	1.0484	1.0620	1.0582	1.0065	1.0025	0.00110
0.50	0.00	1.0280	1.0118	1.0121	0.9958	1.0590	1.0382	1.0633	1.0443	1.0676	1.0412	0.00483
	0.03	1.0610	1.0439	1.0550	1.0424	1.0712	1.0587	1.0550	1.0430	1.0091	0.9969	0.00321
	0.08	1.0543	1.0465	1.0677	1.0604	1.0439	1.0365	1.0464	1.0387	1.0402	1.0327	0.00197
	0.15	1.0421	1.0354	1.0338	1.0270	1.0605	1.0532	1.0463	1.0397	1.0306	1.0237	0.00182
	0.25	1.0731	1.0667	1.0439	1.0374	1.0027	0.9959	1.0749	1.0680	1.0211	1.0144	0.00174

ตาราง 103. ผลการวิเคราะห์หาค่าคงที่โดยการชั่งใน **sulfuric acid** เมื่อมี aniline เป็นตัวป้องกันการสลายตัว

ความเข้มข้น ของกรด, M	gN	น้ำหนักของชิ้นโลหะตัวอย่าง, g.										อัตราการสึกกร่อน โดยเฉลี่ย, g./cm. ² /day
		1		2		3		4		5		
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
0.02	0.00	1.0789	1.0561	1.0635	1.0467	1.0393	1.0244	1.0657	1.0458	1.0637	1.0461	0.00510
	0.03	1.0646	1.0482	1.0707	1.0544	1.0903	1.0742	1.0771	1.0605	1.0830	1.0666	0.00432
	0.08	1.0761	1.0644	1.0759	1.0644	1.0965	1.0846	1.0735	1.0617	1.0747	1.0629	0.00307
	0.15	1.0595	1.0497	1.0214	1.0117	1.0885	1.0786	1.0655	1.0559	1.0501	1.0420	0.00255
	0.25	1.0623	1.0524	1.0615	1.0513	1.0624	1.0527	1.0318	1.0217	1.0697	1.0599	0.00210
0.10	0.00	1.0453	1.0033	1.0651	1.0249	1.0203	0.9811	1.0771	1.0272	1.0753	1.0352	0.01028
	0.03	1.0781	1.0406	1.0708	1.0318	1.0705	1.0340	1.0458	1.0077	1.0534	1.0175	0.00980
	0.08	1.0684	1.0327	1.0694	1.0434	1.0700	1.0442	1.0645	1.0384	1.0671	1.0414	0.00676
	0.15	1.0905	1.0670	1.0895	1.0662	1.0740	1.0503	1.0656	1.0418	1.0613	1.0382	0.00614
	0.25	1.0655	1.0432	1.0363	1.0143	1.0434	1.0209	1.0697	1.0475	1.0687	1.0474	0.00577
0.50	0.00	1.0587	0.9732	1.0591	0.9682	1.0550	0.9779	1.0526	0.9629	1.0567	0.9708	0.02244
	0.03	1.0513	0.9711	1.0901	1.0094	1.0786	0.9981	1.0659	0.9855	1.0559	0.9763	0.02099
	0.08	1.0661	0.9948	1.0723	1.0007	1.0563	0.9845	1.0572	0.9853	1.0577	0.9860	0.01847
	0.15	1.0474	0.9858	1.0533	0.9914	1.0652	1.0032	1.0486	0.9868	1.0286	0.9661	0.01620
	0.25	1.0517	0.9988	1.0631	1.0104	1.0513	0.9983	1.0329	0.9803	1.0579	1.0052	0.01380

ตาราง 104. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบใน sulfuric acid เมื่อมี phenylhydrazine เป็นตัวบ่งชี้การสลายตัว

ความเข้มข้น ของกรด, M	N	น้ำหนักของชิ้นโลหะตัวอย่าง, g.										อัตราการสึกกร่อน โดยเฉลี่ย, g./cm. ² /day
		1		2		3		4		5		
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
0.02	0.00	1.0676	1.0512	1.0475	1.0323	1.0734	1.0524	1.0574	1.0367	1.0626	1.0441	0.00430
	0.03	1.0647	1.0567	1.0717	1.0628	1.0779	1.0720	1.0442	1.0342	1.0345	1.0247	0.00232
	0.08	1.0402	1.0362	1.0561	1.0502	1.0466	1.0404	1.0700	1.0630	1.0671	1.0615	0.00150
	0.15	1.0548	1.0513	1.0822	1.0774	1.0846	1.0794	1.0562	1.0513	1.0801	1.0761	0.00117
	0.25	1.0877	1.0439	1.0661	1.0619	1.0615	1.0567	1.0748	1.0698	1.0530	1.0484	0.00117
0.10	0.00	1.0854	1.0442	1.0375	1.0034	1.0468	1.0098	1.0722	1.0351	1.0634	1.0293	0.00960
	0.03	1.0289	1.0114	1.0698	1.0518	1.0247	1.0057	1.0441	1.0253	1.0530	1.0353	0.00476
	0.08	1.0428	1.0282	1.0435	1.0291	1.0551	1.0403	1.0505	1.0355	1.0366	1.0229	0.00379
	0.15	1.0363	1.0265	1.0078	0.9972	1.0447	1.0340	1.0057	0.9954	1.0751	1.0650	0.00269
	0.25	1.0432	1.0394	1.0726	1.0634	1.0668	1.0575	1.0892	1.0796	1.0515	1.0412	0.00247
0.50	0.00	1.0818	1.0047	1.0695	0.9983	1.0515	0.9792	1.0625	0.9899	1.0619	0.9896	0.01912
	0.03	1.0249	0.9911	1.0233	0.9892	1.0371	1.0026	0.9942	0.9606	0.9976	0.9632	0.00891
	0.08	1.0152	0.9857	1.0410	1.0111	1.0255	0.9949	1.0381	1.0073	1.0392	1.0099	0.00785
	0.15	1.0294	1.0014	1.0348	1.0063	1.0262	0.9973	1.0388	1.0093	1.0251	0.9960	0.00753
	0.25	1.0410	1.0195	1.0414	1.0196	1.0327	1.0105	1.0266	1.0040	1.0297	1.0059	0.00535

ตาราง 105. ผลการวิเคราะห์หลักโดยการทิ้งใน sulfuric acid เมื่อมี pyridine เป็นตัวบ่งชี้การสกัด
การสกัด

ความเข้มข้น ของกรด, M	%N	น้ำหนักของชิ้นโลหะตัวอย่าง, g.										อัตราการสกัด โดยเฉลี่ย, g./cm. ² /day
		1		2		3		4		5		
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
0.02	0.00	1.0267	1.0104	1.0314	1.0619	1.0736	1.0504	1.0356	1.0635	1.0757	1.0573	0.00495
	0.03	1.0313	1.0669	1.0761	1.0608	1.0921	1.0770	1.0893	1.10746	1.0564	1.0416	0.00394
	0.08	1.0501	1.0392	1.0232	1.0174	1.0700	1.0595	1.0559	1.0453	1.1023	1.0016	0.00230
	0.15	1.0633	1.0620	1.0729	1.0653	1.0694	1.0621	1.0472	1.0402	1.0693	1.0624	0.00134
	0.25	1.0349	1.0234	1.0456	1.0391	1.0303	1.0239	1.0631	1.0615	1.0202	1.0133	0.00172
0.10	0.00	1.0617	1.0132	1.0333	1.0333	1.0565	1.0096	1.0693	1.0273	1.0692	1.0255	0.01130
	0.03	1.0721	1.0331	1.0652	1.0307	1.0340	0.9955	1.0302	1.0451	1.0654	1.0298	0.00911
	0.08	1.0721	1.0492	1.0700	1.0476	1.0552	1.0325	1.0775	1.0550	1.0347	1.0619	0.00593
	0.15	1.0925	1.0725	1.0599	1.0427	1.0746	1.0570	1.0693	1.0514	1.0613	1.0452	0.00457
	0.25	1.0564	1.0412	1.0706	1.0551	1.0306	1.0647	1.0679	1.0517	1.0149	0.9997	0.00403
0.50	0.00	1.0636	0.9370	1.0623	0.9774	1.0366	0.9642	1.0500	0.9760	1.0926	1.0003	0.02122
	0.03	1.0467	0.9810	1.0476	0.9326	1.0437	0.9343	1.0537	0.9397	1.0752	1.0127	0.01632
	0.08	1.0513	1.0015	1.0654	1.0159	1.0170	0.9630	1.0353	0.9365	1.0100	1.0059	0.01232
	0.15	1.0515	1.0105	1.0592	1.0137	1.0355	0.9954	1.0603	1.0209	1.0253	0.9359	0.01053
	0.25	1.0532	1.0172	1.0601	1.0239	1.0300	0.9935	1.0420	1.0053	1.0527	1.0163	0.00951

ตาราง 106. ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนโดยวิธีการใน hydrochloric acid เมื่อมี aniline เป็นตัวบ่งชี้การสีกร่อน

ความเข้มข้น ของกรด, M	gN	น้ำหนักของชิ้นโลหะตัวอย่าง, g.										อัตราการสึกกร่อน โดยเฉลี่ย, g./cm. ² /day
		1		2		3		4		5		
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
0.02	0.00	0.4139	0.4128	0.4162	0.4151	0.4120	0.4109	0.4160	0.4141	0.4133	0.4123	0.00033
	0.03	0.4148	0.4139	0.4164	0.4155	0.4102	0.4092	0.4168	0.4159	0.4154	0.4141	0.00026
	0.08	0.4179	0.4179	0.4112	0.4108	0.4106	0.4104	0.4134	0.4132	0.4183	0.4180	0.00005
	0.15	0.4179	0.4177	0.4075	0.4074	0.4009	0.4007	0.4078	0.4077	0.4201	0.4199	0.00004
	0.25	0.4194	0.4191	0.4091	0.4090	0.4174	0.4173	0.4172	0.4169	0.4181	0.4172	0.00009
0.10	0.00	0.4135	0.4127	0.4128	0.4120	0.4163	0.4154	0.4174	0.4166	0.4083	0.4075	0.00021
	0.03	0.4090	0.4085	0.4156	0.4150	0.4086	0.4081	0.4106	0.4100	0.4080	0.4074	0.00016
	0.08	0.4092	0.4088	0.4175	0.4170	0.4083	0.4080	0.4136	0.4131	0.4102	0.4098	0.00007
	0.15	0.4099	0.4095	0.4162	0.4159	0.4122	0.4113	0.4182	0.4177	0.4163	0.4159	0.00010
	0.25	0.4100	0.4098	0.4184	0.4182	0.4154	0.4154	0.4176	0.4175	0.4136	0.4133	0.00005
0.50	0.00	0.4085	0.3993	0.4052	0.3966	0.4109	0.4039	0.4110	0.4000	0.4148	0.4047	0.00240
	0.03	0.4282	0.4184	0.4116	0.4017	0.4194	0.4126	0.4256	0.4172	0.4242	0.4153	0.00229
	0.08	0.4256	0.4171	0.4179	0.4099	0.4151	0.4083	0.4152	0.4071	0.4116	0.4028	0.00210
	0.15	0.4144	0.4064	0.4126	0.4043	0.4086	0.4017	0.4157	0.4093	0.4107	0.4036	0.00194
	0.25	0.4053	0.3985	0.4061	0.3996	0.4174	0.4104	0.4167	0.4072	0.4139	0.4057	0.00201

ตาราง 107. ผลการวิเคราะห์หาค่าความเป็นพิษของกรดไฮโดรคลอริกใน phenylhydrazine เป็นตัวบ่งชี้การเสื่อมสภาพ

ความเข้มข้น ของกรด, M	%N	น้ำหนักของชิ้นโลหะตัวอย่าง, g.										อัตราการสึกกร่อน โดยเฉลี่ย, g./cm. ² /day
		1		2		3		4		5		
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
0.02	0.00	0.4117	0.4107	0.4170	0.4156	0.4195	0.4186	0.4152	0.4143	0.4184	0.4174	0.00027
	0.03	0.4140	0.4135	0.4177	0.4173	0.4161	0.4152	0.4135	0.4130	0.4137	0.4134	0.00014
	0.08	0.4171	0.4171	0.4208	0.4208	0.4143	0.4143	0.4123	0.4122	0.4124	0.4124	0.00001
	0.15	0.4168	0.4168	0.4177	0.4177	0.4142	0.4142	0.4130	0.4130	0.4104	0.4104	0.00000
	0.25	0.4134	0.4134	0.4154	0.4154	0.4136	0.4136	0.4160	0.4160	0.4156	0.4156	0.00000
0.10	0.00	0.4136	0.4130	0.4154	0.4147	0.4113	0.4105	0.4137	0.4137	0.4178	0.4178	0.00021
	0.03	0.4155	0.4148	0.4205	0.4196	0.4140	0.4135	0.4156	0.4147	0.4196	0.4190	0.00019
	0.08	0.4182	0.4178	0.4193	0.4188	0.4138	0.4130	0.4133	0.4127	0.4176	0.4171	0.00015
	0.15	0.4137	0.4134	0.4092	0.4086	0.4148	0.4144	0.4207	0.4204	0.4177	0.4174	0.00010
	0.25	0.4157	0.4155	0.4200	0.4196	0.4135	0.4132	0.4136	0.4125	0.4123	0.4121	0.00005
0.50	0.00	0.4162	0.4068	0.4152	0.4050	0.4055	0.3970	0.4138	0.4039	0.4190	0.4137	0.00216
	0.03	0.4190	0.4115	0.4195	0.4114	0.4120	0.4060	0.4083	0.4045	0.4159	0.4084	0.00172
	0.08	0.4087	0.4050	0.4196	0.4149	0.4026	0.3961	0.4093	0.3999	0.4151	0.4093	0.00158
	0.15	0.4159	0.4038	0.4169	0.4134	0.4139	0.4126	0.4154	0.4087	0.4131	0.4078	0.00154
	0.25	0.4131	0.4095	0.4116	0.4080	0.4133	0.4136	0.4171	0.4133	0.4143	0.4073	0.00108

ตาราง 108. ผลการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวใน hydrochloric acid เมื่อมี pyridine เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อน

ความเข้มข้น ของกรด, M	XN	น้ำหนักของชิ้นโลหะตัวอย่าง, g.										อัตราการสึกกร่อน โดยเฉลี่ย, g./cm. ² /day
		1		2		3		4		5		
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
0.02	0.00	0.4173	0.4173	0.4169	0.4163	0.4184	0.4176	0.4126	0.4115	0.4116	0.4109	0.00019
	0.03	0.4132	0.4125	0.4158	0.4152	0.4128	0.4124	0.4139	0.4135	0.4152	0.4143	0.00014
	0.03	0.4153	0.4155	0.4098	0.4095	0.4162	0.4157	0.4091	0.4087	0.4143	0.4145	0.00009
	0.15	0.4087	0.4086	0.4128	0.4126	0.4186	0.4133	0.4183	0.4172	0.4135	0.4131	0.00006
	0.25	0.4176	0.4176	0.4146	0.4146	0.4133	0.4133	0.4193	0.4193	0.4126	0.4126	0.00000
0.10	0.00	0.4175	0.4167	0.4183	0.4176	0.4170	0.4162	0.4171	0.4163	0.4078	0.4070	0.00021
	0.03	0.4183	0.4180	0.4155	0.4147	0.4144	0.4136	0.4166	0.4157	0.4125	0.4116	0.00022
	0.03	0.4137	0.4130	0.4153	0.4144	0.4145	0.4133	0.4098	0.4092	0.4133	0.4129	0.00020
	0.15	0.4194	0.4183	0.4155	0.4148	0.4091	0.4084	0.4155	0.4147	0.4139	0.4132	0.00013
	0.25	0.4175	0.4170	0.4113	0.4110	0.4175	0.4170	0.4160	0.4152	0.4003	0.4003	0.00016
0.50	0.00	0.4079	0.3984	0.4132	0.4073	0.4171	0.4106	0.4101	0.4016	0.4060	0.3996	0.00246
	0.03	0.4093	0.4045	0.4198	0.4137	0.4179	0.4124	0.4166	0.4103	0.4180	0.4030	0.00145
	0.03	0.4145	0.4087	0.4166	0.4118	0.4096	0.4059	0.4190	0.4137	0.4162	0.4124	0.00123
	0.15	0.4170	0.4110	0.4174	0.4120	0.4120	0.4096	0.4190	0.4149	0.4192	0.4151	0.00115
	0.25	0.4101	0.4053	0.4155	0.4122	0.4121	0.4086	0.4125	0.4039	0.4036	0.4067	0.00095

ตาราง 109. ผลการวิเคราะห์หาค่าโมเมนต์โดยการไทเทรตด้วย aniline เป็นตัวบ่งชี้การสักรวน

ความเข้มข้น ของกรด, M	%N	น้ำหนักของชิ้นโลหะตัวอย่าง, กรัม										อัตราการสึกกร่อน โดยเฉลี่ย, g./cm. ² /day
		1		2		3		4		5		
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
0.02	0.00	0.4031	0.4023	0.4193	0.4183	0.4113	0.4101	0.4125	0.4112	0.4136	0.4125	0.00028
	0.03	0.4198	0.4189	0.4120	0.4112	0.4098	0.4089	0.4149	0.4139	0.4183	0.4180	0.00023
	0.08	0.4178	0.4175	0.4125	0.4122	0.4182	0.4180	0.4130	0.4123	0.4156	0.4155	0.00006
	0.15	0.4195	0.4192	0.4168	0.4167	0.4159	0.4158	0.4156	0.4155	0.4114	0.4110	0.00005
	0.25	0.4101	0.4093	0.4138	0.4137	0.4144	0.4142	0.4140	0.4138	0.4177	0.4176	0.00005
0.10	0.00	0.4155	0.4138	0.4140	0.4127	0.4144	0.4132	0.4196	0.4181	0.4200	0.4187	0.00036
	0.03	0.4192	0.4130	0.4158	0.4147	0.4156	0.4145	0.4164	0.4151	0.4183	0.4170	0.00031
	0.08	0.4127	0.4115	0.4148	0.4137	0.4168	0.4159	0.4118	0.4103	0.4186	0.4176	0.00027
	0.15	0.4140	0.4130	0.4187	0.4117	0.4180	0.4172	0.4144	0.4133	0.4119	0.4110	0.00025
	0.25	0.4162	0.4152	0.4183	0.4177	0.4186	0.4181	0.4154	0.4149	0.4198	0.4191	0.00017
0.50	0.00	0.4163	0.4143	0.4199	0.4178	0.4149	0.4130	0.4066	0.4045	0.4182	0.4160	0.00054
	0.03	0.4190	0.4170	0.4150	0.4129	0.4190	0.4173	0.4279	0.4190	0.4178	0.4160	0.00050
	0.08	0.4190	0.4172	0.4133	0.4115	0.4177	0.4153	0.4120	0.4099	0.4076	0.4060	0.00043
	0.15	0.4140	0.4122	0.4124	0.4108	0.4161	0.4144	0.4146	0.4127	0.4097	0.4069	0.00046
	0.25	0.4177	0.4160	0.4140	0.4123	0.4112	0.4095	0.4194	0.4173	0.4132	0.4116	0.00043

ตาราง 110. ผลการวิเคราะห์กลุ่มนิยมโดยการหาค่าใน sulfuric acid 0.5% phenylhydrazine เป็นตัวบ่งชี้การสีกกรณ

ความเข้มข้น ของกรด, M	%	น้ำหนักของรังสีโดยทั่วๆไป, g.										อัตราการสีกกรณ โดยเฉลี่ย, g./cm. ² /day
		1		2		3		4		5		
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
0.02	0.00	0.4197	0.4165	0.4190	0.4179	0.4124	0.4115	0.4088	0.4077	0.4129	0.4119	0.00028
	0.03	0.4078	0.4073	0.4143	0.4137	0.4184	0.4178	0.4183	0.4179	0.4103	0.4095	0.00015
	0.08	0.4140	0.4137	0.4174	0.4168	0.4132	0.4129	0.4118	0.4115	0.4098	0.4096	0.00009
	0.15	0.4197	0.4196	0.4110	0.4108	0.4078	0.4076	0.4168	0.4166	0.4172	0.4170	0.00005
	0.25	0.4165	0.4164	0.4127	0.4125	0.4101	0.4098	0.4102	0.4100	0.4099	0.4094	0.00007
0.10	0.00	0.4174	0.4159	0.4169	0.4154	0.4144	0.4123	0.4143	0.4128	0.4149	0.4132	0.00042
	0.03	0.4173	0.4158	0.4201	0.4189	0.4140	0.4128	0.4151	0.4138	0.4189	0.4173	0.00036
	0.08	0.4186	0.4174	0.4199	0.4186	0.4137	0.4125	0.4140	0.4128	0.4165	0.4152	0.00032
	0.15	0.4116	0.4106	0.4173	0.4164	0.4185	0.4174	0.4102	0.4091	0.4153	0.4142	0.00027
	0.25	0.4168	0.4160	0.4193	0.4184	0.4154	0.4145	0.4159	0.4159	0.4124	0.4116	0.00018
0.50	0.00	0.4099	0.4080	0.4102	0.4086	0.4154	0.4134	0.4077	0.4058	0.4192	0.4173	0.00049
	0.03	0.4196	0.4180	0.4093	0.4075	0.4181	0.4165	0.4083	0.4068	0.4125	0.4110	0.00042
	0.08	0.4205	0.4189	0.4018	0.4002	0.4181	0.4164	0.4110	0.4095	0.4173	0.4160	0.00041
	0.15	0.4159	0.4144	0.4158	0.4144	0.4106	0.4093	0.4146	0.4131	0.4194	0.4179	0.00038
	0.25	0.4159	0.4142	0.4154	0.4137	0.4203	0.4195	0.4128	0.4113	0.4145	0.4125	0.00037

ตาราง 111. ผลการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของสารละลายกรดซัลฟิวริกใน pyridine เป็นตัวทำละลาย

ความเข้มข้น ของกรด, M	%N	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง, g.										อัตราการสลาย, โดยเฉลี่ย, g./cm. ² /day
		1		2		3		4		5		
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
0.02	0.00	0.4031	0.4023	0.4193	0.4133	0.4113	0.4101	0.4125	0.4112	0.4136	0.4125	0.00023
	0.03	0.4193	0.4189	0.4120	0.4112	0.4093	0.4039	0.4149	0.4139	0.4133	0.4130	0.00023
	0.03	0.4173	0.4175	0.4125	0.4122	0.4132	0.4130	0.4130	0.4123	0.4156	0.4155	0.00006
	0.15	0.4195	0.4192	0.4163	0.4167	0.4159	0.4153	0.4156	0.4155	0.4114	0.4110	0.00005
	0.25	0.4101	0.4093	0.4133	0.4137	0.4144	0.4142	0.4140	0.4138	0.4177	0.4170	0.00005
0.10	0.00	0.4155	0.4133	0.4140	0.4127	0.4144	0.4132	0.4196	0.4131	0.4200	0.4137	0.00036
	0.03	0.4192	0.4130	0.4153	0.4147	0.4156	0.4145	0.4164	0.4151	0.4133	0.4170	0.00031
	0.03	0.4127	0.4115	0.4143	0.4137	0.4163	0.4150	0.4111	0.4103	0.4136	0.4176	0.00027
	0.15	0.4140	0.4130	0.4127	0.4117	0.4130	0.4172	0.4144	0.4123	0.4119	0.4110	0.00025
	0.25	0.4162	0.4152	0.4133	0.4177	0.4136	0.4131	0.4154	0.4149	0.4193	0.4191	0.00017
0.50	0.00	0.4163	0.4143	0.4199	0.4173	0.4149	0.4130	0.4066	0.4045	0.4132	0.4160	0.00054
	0.03	0.4190	0.4170	0.4150	0.4129	0.4190	0.4173	0.4209	0.4190	0.4173	0.4160	0.00050
	0.03	0.4190	0.4172	0.4133	0.4115	0.4177	0.4153	0.4120	0.4099	0.4076	0.4060	0.00043
	0.15	0.4140	0.4122	0.4124	0.4103	0.4161	0.4144	0.4146	0.4127	0.4037	0.4069	0.00046
	0.25	0.4177	0.4160	0.4140	0.4123	0.4112	0.4095	0.4194	0.4173	0.4132	0.4116	0.00043

ตาราง 112. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของ hydrochloric acid และ aniline เป็นตัวบ่งชี้การสลายตัว

ความเข้มข้นของกรด, M	XN	น้ำหนักของชิ้นโลหะตัวอย่าง, g.										อัตราการสลายตัว โดยเฉลี่ย, g./cm. ² /day
		1		2		3		4		5		
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
0.02	0.00	0.6513	0.6474	0.6454	0.6419	0.6463	0.6430	0.6442	0.6408	0.6429	0.6181	0.00093
	0.03	0.6398	0.6354	0.6300	0.6254	0.4703	0.4663	0.6412	0.6372	0.6445	0.6402	0.00111
	0.08	0.6487	0.6461	0.6457	0.6424	0.5456	0.5424	0.6419	0.6381	0.6462	0.6432	0.00082
	0.15	0.6307	0.6293	0.6407	0.6493	0.6451	0.6426	0.6499	0.6430	0.6472	0.6443	0.00050
	0.25	0.6434	0.6420	0.6342	0.6329	0.6264	0.6205	0.6457	0.6441	0.6391	0.6382	0.00032
0.10	0.00	0.6417	0.6376	0.6464	0.6416	0.6438	0.6327	0.6477	0.6433	0.5764	0.5712	0.00123
	0.03	0.3542	0.5499	0.6421	0.6376	0.5151	0.5111	0.6418	0.6374	0.6313	0.6270	0.00112
	0.08	0.4741	0.4699	0.6443	0.6404	0.6278	0.6236	0.6452	0.6404	0.6438	0.6400	0.00109
	0.15	0.6424	0.6390	0.6408	0.6374	0.4546	0.4510	0.6423	0.6388	0.6418	0.6380	0.00091
	0.25	0.6464	0.6400	0.6426	0.6403	0.6513	0.6490	0.6391	0.6369	0.5124	0.5101	0.00060
0.50	0.00	0.6385	0.6342	0.6330	0.6286	0.6309	0.6268	0.6448	0.6403	0.6369	0.6367	0.00118
	0.03	0.6318	0.6269	0.6437	0.6394	0.6472	0.6430	0.6160	0.6115	0.6437	0.6395	0.00117
	0.08	0.6398	0.6355	0.6473	0.6431	0.6414	0.6376	0.6398	0.6356	0.6438	0.6393	0.00109
	0.15	0.6437	0.6397	0.6393	0.6350	0.6484	0.6440	0.6332	0.6293	0.4927	0.4886	0.00109
	0.25	0.6200	0.6161	0.6398	0.6350	0.6375	0.6336	0.6448	0.6410	0.6081	0.6039	0.00105

ตาราง 113. ผลการวิเคราะห์แดงโดยการซึ่งใน hydrochloric acid เมื่อมี histidine เป็นตัวป้องกันการสีกกรวน

ความเข้มข้น ของกรก.	สี	น้ำหนักของชิ้นโลหะตัวอย่าง, g.										อัตราการสึกกร่อน โดยเฉลี่ย, g./cm ² /day
		1		2		3		4		5		
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
0.02	0.00	0.6513	0.6474	0.6454	0.6419	0.6463	0.6430	0.6442	0.6408	0.6429	0.6181	0.00093
	0.03	0.5260	0.5230	0.5092	0.5062	0.6364	0.6329	0.6471	0.6438	0.6504	0.6476	0.00081
	0.08	0.6127	0.6100	0.6497	0.6468	0.6041	0.6012	0.6446	0.6416	0.6115	0.6080	0.00076
	0.15	0.6422	0.6395	0.6460	0.6432	0.6349	0.6320	0.6406	0.6377	0.6411	0.6385	0.00073
0.10	0.00	0.6417	0.6376	0.6464	0.6416	0.6438	0.6327	0.6477	0.6433	0.5764	0.5712	0.00123
	0.03	0.6455	0.6412	0.6400	0.6360	0.6340	0.6392	0.6494	0.6451	0.6439	0.6395	0.00114
	0.15	0.6324	0.6285	0.6386	0.6348	0.6096	0.6059	0.6371	0.6332	0.6410	0.6370	0.00099

ตาราง 114. ผลการวิเคราะห์ทางแสงโดยการขังใน hydrochloric acid เมื่อมี pyridine เป็นตัวป้องกันการสลาย

ความเข้มข้น ของกรรณ, M	λ _m	น้ำหนักของหินโลหะตัวอย่าง, g.												อัตราการสึกกร่อน โดยเฉลี่ย, g./cm ² /day						
		1				2				3					4				5	
		หน้า		หลัง		หน้า		หลัง		หน้า		หลัง			หน้า		หลัง		หน้า	หลัง
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		ก่อน	หลัง				
0.02	0.00	0.6513	0.6474	0.6454	0.6419	0.6463	0.6430	0.6442	0.6408	0.6429	0.6181	0.00093								
	0.03	0.6335	0.6299	0.6464	0.6424	0.6448	0.6408	0.6419	0.6378	0.6433	0.6392	0.00104								
	0.08	0.6502	0.6462	0.6467	0.6426	0.6479	0.6437	0.6174	0.6134	0.6484	0.6445	0.00106								
	0.15	0.6446	0.6408	0.6342	0.6306	0.6463	0.6417	0.6508	0.6465	0.6358	0.6312	0.00109								
	0.25	0.6400	0.6355	0.6400	0.6356	0.6455	0.6412	0.6389	0.6347	0.6422	0.6377	0.00115								
0.10	0.00	0.6417	0.6376	0.6464	0.6416	0.6438	0.6327	0.6477	0.6433	0.5764	0.5712	0.00123								
	0.03	0.6419	0.6370	0.6391	0.6342	0.6440	0.6395	0.6441	0.6395	0.5076	0.5028	0.00123								
	0.08	0.6392	0.6349	0.6451	0.6403	0.6308	0.6268	0.6436	0.6399	0.6461	0.6419	0.00107								
	0.15	0.6139	0.6103	0.6372	0.6337	0.6137	0.6104	0.6451	0.6414	0.6452	0.6415	0.00094								
	0.25	0.6387	0.6346	0.4699	0.4655	0.6474	0.6432	0.6380	0.6337	0.6327	0.6289	0.00109								
0.50	0.00	0.6385	0.6342	0.6330	0.6286	0.6309	0.6268	0.6448	0.6403	0.6369	0.6317	0.00118								
	0.03	0.6415	0.6376	0.6391	0.6348	0.6063	0.6021	0.6479	0.6376	0.6400	0.6352	0.00112								
	0.08	0.6429	0.6385	0.6479	0.6434	0.6446	0.6400	0.6374	0.6335	0.6335	0.6291	0.00109								
	0.15	0.6453	0.6410	0.6383	0.6343	0.6454	0.6421	0.4377	0.4337	0.5423	0.5384	0.00102								
	0.25	0.6458	0.6415	0.6204	0.6155	0.6052	0.6010	0.6425	0.6380	0.6168	0.6167	0.00115								

ตาราง 115. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยวิธีการต่าง ๆ ใน sulfuric acid เมื่อนำ amline เป็นตัวบ่งชี้การสกัด

ความเข้มข้น ของกรก, M	%N	น้ำหนักของดินโดยวิธีต่าง, g.										อัตราการสกัด, โดยเฉลี่ย, g./cm. ² /day
		1		2		3		4		5		
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
0.02	0.00	0.6449	0.6430	0.6465	0.6449	0.6373	0.6353	0.6395	0.6376	0.6166	0.6150	0.00047
	0.03	0.6454	0.6440	0.6424	0.6409	0.6323	0.6304	0.6377	0.6361	0.6420	0.6405	0.00041
	0.08	0.6399	0.6393	0.6167	0.6162	0.6108	0.6102	0.4342	0.4333	0.6109	0.6100	0.00018
	0.15	0.6389	0.6383	0.5807	0.5800	0.6441	0.6435	0.6375	0.6369	0.5090	0.5082	0.00017
	0.25	0.6487	0.6483	0.6425	0.6422	0.6356	0.6347	0.6441	0.6437	0.6413	0.6409	0.00012
0.10	0.00	0.6125	0.6105	0.6368	0.6347	0.6405	0.6427	0.6436	0.6416	0.6362	0.6343	0.00051
	0.03	0.6404	0.6385	0.6430	0.6413	0.6322	0.6304	0.6174	0.6157	0.6378	0.6361	0.00046
	0.08	0.4672	0.4655	0.5205	0.5188	0.6085	0.6066	0.6434	0.6418	0.6378	0.6363	0.00044
	0.15	0.6411	0.6401	0.4502	0.4484	0.6457	0.6424	0.6258	0.6243	0.6472	0.6460	0.00057
	0.25	0.7339	0.6333	0.6172	0.6163	0.6300	0.6291	0.6450	0.6444	0.6364	0.6361	0.00018
0.50	0.00	0.6405	0.6385	0.6441	0.6422	0.6453	0.6434	0.6437	0.6418	0.5516	0.5396	0.00051
	0.03	0.6350	0.6335	0.6448	0.6432	0.6418	0.6400	0.5975	0.5960	0.6080	0.6066	0.00041
	0.08	0.6102	0.6087	0.6284	0.6268	0.6429	0.6415	0.6427	0.6413	0.6089	0.6073	0.00039
	0.15	0.6320	0.6305	0.6099	0.6085	0.6414	0.6401	0.6136	0.6122	0.6269	0.6255	0.00038
	0.25	0.6134	0.6121	0.6426	0.6413	0.6343	0.6330	0.6459	0.6445	0.6443	0.6432	0.00035

ตาราง 116. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดซัลฟูริก (sulfuric acid) และกรดฮิสติดีน (histidine) เป็นตัวแบ่งกับการศึกษา

ความเข้มข้น ของกรด, M	%N	น้ำหนักของชิ้นโลหะตัวอย่าง, g.										อัตราการสึกกร่อน โดยเฉลี่ย, g./cm. ² /day
		1		2		3		4		5		
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
0.02	0.00	0.6489	0.6430	0.6465	0.6449	0.6373	0.6353	0.6395	0.6376	0.6166	0.6150	0.00047
	0.03	0.6447	0.6431	0.4986	0.4975	0.6099	0.6080	0.6130	0.6115	0.5111	0.5095	0.00040
	0.08	0.4592	0.4578	0.6440	0.6426	0.6405	0.6390	0.6338	0.6321	0.6143	0.6129	0.00040
	0.15	0.6419	0.6403	0.6360	0.6344	0.6351	0.6334	0.5201	0.5185	0.5471	0.6454	0.00043

ตาราง ๑๗. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยวิธีการซึ่งใน sulfuric acid เมื่อมี pyridine เป็นตัวป้องกันการสลายตัว

ความเข้มข้น ของกรด, M	%	น้ำหนักของดินโลหะตัวอย่าง, g.										อัตราการสลาย โดยเฉลี่ย, g./cm ² /day
		1		2		3		4		5		
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
0.02	0.00	0.6449	0.6430	0.6465	0.6449	0.6373	0.6353	0.6395	0.6376	0.6166	0.6150	0.00047
	0.03	0.6277	0.6202	0.6352	0.6332	0.4160	0.4147	0.6080	0.6057	0.6437	0.6423	0.00050
	0.08	0.6456	0.6431	0.6140	0.6114	0.6059	0.6044	0.6440	0.6411	0.6346	0.6318	0.00064
	0.15	0.6326	0.6318	0.6365	0.6329	0.6392	0.6358	0.6699	0.6665	0.6460	0.6429	0.00074
	0.25	0.6423	0.6385	0.6084	0.6040	0.6458	0.6420	0.6128	0.6090	0.6413	0.6373	0.00103
0.10	0.00	0.6125	0.6105	0.6368	0.6347	0.6405	0.6427	0.6436	0.6316	0.6362	0.6343	0.00051
	0.03	0.6394	0.6379	0.6371	0.6356	0.6445	0.6421	0.6498	0.6487	0.6416	0.6400	0.00042
	0.08	0.6421	0.6407	0.6404	0.6386	0.6071	0.6060	0.5162	0.5150	0.6420	0.6406	0.00036
	0.15	0.6410	0.6393	0.5356	0.5342	0.6344	0.6334	0.4681	0.4671	0.6450	0.6441	0.00031
	0.25	0.6431	0.6419	0.6416	0.6409	0.6446	0.6434	0.6460	0.6449	0.6440	0.6433	0.00025
0.50	0.00	0.6405	0.6385	0.6441	0.6422	0.6453	0.6434	0.6437	0.6418	0.5516	0.5396	0.00051
	0.03	0.5757	0.5741	0.6137	0.6120	0.5721	0.5703	0.6454	0.6437	0.6434	0.6417	0.00044
	0.08	0.6437	0.6422	0.6469	0.6453	0.6386	0.6370	0.4772	0.4757	0.6322	0.6306	0.00041
	0.15	0.6367	0.6353	0.6445	0.6432	0.6410	0.6397	0.6474	0.6460	0.6424	0.6412	0.00035
	0.25	0.6401	0.6389	0.6382	0.6370	0.6076	0.6066	0.6457	0.6445	0.6394	0.6382	0.00030

ตอนที่ 3

หลักการวิเคราะห์โลหะโดย complexometric method

ตาราง 11๘. ผลการวิเคราะห์หาปริมาณ hydrochloric acid เมกมิล aniline เป็นตัวบ่งชี้การสีกรรณโดย complexometric method

ความเข้มข้นของกรรณ, M	N	ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโดยกรรณ EDTA 0.0083 M										อัตราการสีกรรณโดยเฉลี่ย, g./cm. ² /day
		1		2		3		4		5		
		ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	
0.02	0.00	1.100	0.00117	1.050	0.00112	1.000	0.00106	1.050	0.00112	1.300	0.00139	0.00117
	0.03	0.800	0.00035	0.750	0.00030	0.675	0.00072	0.825	0.00033	0.775	0.00033	0.00032
	0.03	0.575	0.00061	0.550	0.00059	0.475	0.00051	0.525	0.00056	0.525	0.00056	0.00057
	0.15	0.500	0.00053	0.475	0.00051	0.425	0.00045	0.375	0.00040	0.400	0.00043	0.00043
	0.25	0.500	0.00053	0.525	0.00056	0.450	0.00043	0.475	0.00051	0.425	0.00045	0.00051
0.10	0.00	2.350	0.00243	2.650	0.00283	2.450	0.00261	2.550	0.00272	2.475	0.00264	0.00266
	0.03	2.025	0.00216	1.900	0.00203	1.975	0.00211	1.975	0.00211	1.825	0.00195	0.00207
	0.03	1.375	0.00147	1.275	0.00136	1.400	0.00150	1.425	0.00152	1.425	0.00152	0.00147
	0.15	1.300	0.00139	1.250	0.00133	1.325	0.00141	1.125	0.00120	1.175	0.00125	0.00132
	0.25	0.850	0.00091	0.775	0.00083	0.750	0.00080	0.825	0.00083	0.800	0.00035	0.00035
0.50	0.00	4.875	0.00520	4.975	0.00531	5.000	0.00534	5.125	0.00547	4.800	0.00512	0.00529
	0.03	4.100	0.00437	3.975	0.00424	3.925	0.00419	4.175	0.00445	4.125	0.00440	0.00413
	0.03	3.800	0.00405	3.925	0.00419	3.950	0.00421	3.875	0.00413	3.825	0.00403	0.00413
	0.15	3.075	0.00323	2.975	0.00317	2.875	0.00307	2.975	0.00317	3.025	0.00323	0.00313
	0.25	2.900	0.00309	3.025	0.00323	2.850	0.00304	2.725	0.00291	2.950	0.00315	0.00303

ความเข้มข้น ของกรร, M	%N	ผลการวิเคราะห์ได้โดย EDTA 0.0083 M										อัตราการสีกรรณ โดยเฉลี่ย, g./cm. ² /day
		1		2		3		4		5		
		ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	
0.02	0.00	1.150	0.00123	1.050	0.00112	1.100	0.00117	1.000	0.00106	1.100	0.00117	0.00115
	0.03	0.475	0.00051	0.300	0.00032	0.325	0.00035	0.275	0.00029	0.425	0.00045	0.00038
	0.08	0.225	0.00024	0.325	0.00035	0.275	0.00029	0.375	0.00040	0.325	0.00035	0.00033
	0.15	0.250	0.00027	0.200	0.00021	0.150	0.00016	0.325	0.00035	0.225	0.00024	0.00025
	0.25	0.175	0.00019	0.150	0.00016	0.125	0.00013	0.275	0.00029	0.250	0.00027	0.00021
0.10	0.00	2.450	0.00261	2.575	0.00275	2.600	0.00277	2.650	0.00283	2.750	0.00293	0.00278
	0.03	2.375	0.00253	2.075	0.00221	2.325	0.00248	2.225	0.00238	2.125	0.00227	0.00237
	0.08	1.275	0.00136	1.225	0.00131	1.425	0.00152	1.325	0.00141	1.325	0.00141	0.00140
	0.15	1.300	0.00139	1.200	0.00128	1.100	0.00117	1.350	0.00144	1.375	0.00147	0.00135
	0.25	0.675	0.00072	0.750	0.00080	0.625	0.00067	0.775	0.00083	0.475	0.00051	0.00071
0.50	0.00	2.900	0.00309	2.950	0.00315	2.800	0.00299	2.750	0.00293	2.775	0.00296	0.00302
	0.03	1.525	0.00163	1.350	0.00144	1.375	0.00147	1.550	0.00165	1.600	0.00171	0.00158
	0.08	1.250	0.00133	1.075	0.00114	1.150	0.00123	0.925	0.00099	1.025	0.00109	0.00116
	0.15	1.050	0.00112	1.125	0.00120	0.875	0.00093	1.000	0.00106	1.050	0.00112	0.00109
	0.25	0.700	0.00075	0.650	0.00069	0.825	0.00088	0.950	0.00101	0.850	0.00091	0.00085

ตาราง 120. ผลการวิเคราะห์หาเหล็กใน hydrochloric acid เมื่อมี pyridino เป็นตัวป้องกันการสีกรวนโดย complexometric method

ความเข้มข้นของกรก, M	N	ผลการวิเคราะห์หาเหล็กโดย EDTA 0.0083 M										อัตราการสีกรวน, โดยเฉลี่ย, g./cm. ² /day
		1		2		3		4		5		
		ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	
0.02	0.00	1.150	0.00123	1.025	0.00109	1.050	0.00112	1.200	0.00128	1.125	0.00120	0.00118
	0.03	0.575	0.00061	0.350	0.00037	0.400	0.00043	0.525	0.00056	0.450	0.00043	0.00049
	0.08	0.375	0.00040	0.225	0.00024	0.250	0.00027	0.350	0.00037	0.275	0.00029	0.00031
	0.15	0.175	0.00019	0.225	0.00024	0.275	0.00029	0.220	0.00021	0.150	0.00016	0.00022
	0.25	0.075	0.00003	0.175	0.00019	0.150	0.00016	0.225	0.00024	0.300	0.00032	0.00020
0.10	0.00	2.450	0.00261	2.750	0.00293	2.700	0.00283	0.675	0.00235	2.725	0.00291	0.00234
	0.03	1.250	0.00133	1.400	0.00150	1.325	0.00141	1.425	0.00152	1.300	0.00139	0.00143
	0.08	1.275	0.00136	1.025	0.00109	1.175	0.00125	1.225	0.00131	1.050	0.00112	0.00123
	0.15	1.025	0.00109	1.200	0.00128	1.125	0.00120	1.075	0.00114	1.150	0.00123	0.00119
	0.25	0.925	0.00099	0.900	0.00096	0.725	0.00077	0.750	0.00080	0.800	0.00085	0.00087
0.50	0.00	4.300	0.00459	5.000	0.00534	4.625	0.00493	4.975	0.00531	4.850	0.00517	0.00507
	0.03	3.025	0.00323	2.575	0.00275	2.700	0.00283	2.700	0.00283	2.800	0.00299	0.00295
	0.08	1.675	0.00179	1.825	0.00195	1.900	0.00203	1.875	0.00200	1.750	0.00187	0.00193
	0.15	1.325	0.00141	1.575	0.00163	1.475	0.00157	1.625	0.00173	1.725	0.00184	0.00165
	0.25	1.750	0.00137	1.650	0.00176	1.600	0.00171	1.625	0.00173	1.400	0.00150	0.00171

ตาราง 121. ผลการวิเคราะห์เหล็กใน sulfuric acid เมื่อมี aniline เป็นตัวบ่งชี้การสีกรณโดย complexometric method

ความเข้มข้น ของกรร, M	gN	ผลการวิเคราะห์ได้โดยวิธี EDTA 0.0083 M										อัตราการสีกรร โดยเฉลี่ย, g./cm. ² /day
		1		2		3		4		5		
		ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	
0.02	0.00	4.850	0.00517	4.950	0.00528	5.100	0.00544	5.150	0.00550	5.000	0.00534	0.00535
	0.03	4.025	0.00429	3.850	0.00411	3.600	0.00384	3.775	0.00400	3.875	0.00413	0.00407
	0.08	2.575	0.00275	2.850	0.00304	2.575	0.00275	2.725	0.00291	2.900	0.00309	0.00291
	0.15	2.450	0.00261	2.275	0.00243	2.250	0.00240	2.350	0.00251	2.150	0.00230	0.00245
	0.25	2.375	0.00253	2.400	0.00256	2.275	0.00243	2.300	0.00245	2.375	0.00250	0.00250
0.10	0.00	9.475	0.01011	8.925	0.00952	9.475	0.01011	8.825	0.00942	9.575	0.01022	0.00988
	0.03	9.225	0.00984	8.950	0.00955	9.125	0.00974	8.900	0.00950	9.175	0.00979	0.00968
	0.08	6.125	0.00654	6.275	0.00670	6.075	0.00649	6.225	0.00664	6.300	0.00672	0.00662
	0.15	5.250	0.00560	5.400	0.00576	5.450	0.00582	5.525	0.00590	5.525	0.00590	0.00580
	0.25	5.375	0.00574	5.400	0.00576	5.150	0.00550	5.200	0.00555	5.225	0.00558	0.00563
0.50	0.00	20.025	0.02136	19.875	0.02121	19.950	0.02129	19.890	0.02118	19.975	0.02131	0.02127
	0.03	19.300	0.02159	19.450	0.02075	19.400	0.02070	19.575	0.02089	19.550	0.02086	0.02076
	0.08	17.075	0.01822	17.250	0.01841	17.150	0.01830	17.350	0.01851	17.225	0.01838	0.01836
	0.15	15.125	0.01614	15.050	0.01606	15.000	0.01600	15.100	0.01611	14.950	0.01575	0.01605
	0.25	12.850	0.01371	12.775	0.01363	12.900	0.01376	12.950	0.01382	12.800	0.01366	0.01372

ตาราง 122, ผลการวิเคราะห์ใน sulfuric acid เมื่อมี phenylhydrazine เป็นตัวบ่งชี้การสีกรวยโดย complexometric method

ความเข้มข้น ของกรก, M	%	ผลการวิเคราะห์ที่ได้โดยวิธี EDTA 0.0083 M										อัตราการสีกรก โดยเฉลี่ย, g./cm. ² /day
		1		2		3		4		5		
		ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	
0.02	0.00	4.000	0.00427	4.200	0.00443	4.300	0.00459	4.275	0.00456	4.150	0.00443	0.00447
	0.03	1.975	0.00211	1.900	0.00203	2.025	0.00238	1.950	0.00208	1.850	0.00197	0.00211
	0.08	1.375	0.00147	1.400	0.00150	1.275	0.00136	1.300	0.00139	1.475	0.00157	0.00146
	0.15	1.225	0.00131	1.125	0.00120	1.150	0.00123	1.075	0.00115	1.075	0.00115	0.00123
	0.25	1.100	0.00117	1.175	0.00125	1.150	0.00123	1.200	0.00123	1.050	0.00112	0.00121
0.10	0.00	9.500	0.01014	9.150	0.00976	9.050	0.00965	9.125	0.00974	9.425	0.01006	0.00997
	0.03	4.425	0.00472	4.325	0.00461	4.400	0.00470	4.425	0.00472	4.375	0.00675	0.00463
	0.08	3.450	0.00368	3.375	0.00360	3.400	0.00363	3.300	0.00352	3.325	0.00355	0.00360
	0.15	2.525	0.00269	2.275	0.00243	2.450	0.00261	2.325	0.00243	2.350	0.00251	0.00254
	0.25	2.250	0.00240	2.175	0.00232	2.150	0.00230	2.125	0.00227	2.250	0.00240	0.00234
0.50	0.00	13.625	0.01454	13.700	0.01462	13.500	0.01440	12.750	0.01360	13.750	0.01467	0.01437
	0.03	7.800	0.00332	8.150	0.00370	7.950	0.00343	8.100	0.00364	8.025	0.00356	0.00354
	0.08	7.550	0.00306	7.300	0.00279	7.275	0.00276	7.150	0.00263	7.325	0.00282	0.00281
	0.15	6.925	0.00239	7.000	0.00247	6.875	0.00234	7.025	0.00250	6.950	0.00242	0.00242
	0.25	5.150	0.00250	5.425	0.00279	5.300	0.00266	5.525	0.00290	5.325	0.00263	0.00271

ตาราง 123. ผลการวิเคราะห์เหล็กใน sulfuric acid เมื่อมี pyridine เป็นตัวบ่งชี้การสีกรรณโดย complexometric method

ความเข้มข้น ของกรรณ, M	%N	ผลการวิเคราะห์โดยวิธี EDTA 0.0083 M										อัตราการสีกรรณ โดยเฉลี่ย, g./cm. ² /day
		1		2		3		4		5		
		ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	
0.02	0.00	4.125	0.00440	4.000	0.00427	3.825	0.00408	4.225	0.00451	4.125	0.00440	0.00433
	0.03	3.150	0.00360	3.325	0.00355	3.375	0.00360	3.600	0.00384	3.525	0.00376	0.00362
	0.08	2.650	0.00283	2.500	0.00267	2.425	0.00259	2.525	0.00269	2.325	0.00248	0.00265
	0.15	1.325	0.00141	1.525	0.00163	1.625	0.00173	1.425	0.00152	1.650	0.00176	0.00161
	0.25	1.275	0.00136	1.575	0.00168	1.475	0.00157	1.500	0.00160	1.525	0.00163	0.00157
0.10	0.00	8.150	0.00870	8.475	0.00904	8.125	0.00867	8.475	0.00904	8.675	0.00926	0.00894
	0.03	8.200	0.00875	8.400	0.00896	8.150	0.00870	8.225	0.00878	8.450	0.00902	0.00884
	0.08	5.900	0.00630	5.200	0.00555	5.325	0.00568	5.300	0.00566	5.425	0.00579	0.00580
	0.15	4.375	0.00467	4.025	0.00429	4.150	0.00443	4.075	0.00435	4.125	0.00440	0.00443
	0.25	3.875	0.00413	3.825	0.00401	3.675	0.00392	3.725	0.00397	3.600	0.00384	0.00400
0.50	0.00	15.275	0.01630	16.950	0.01809	16.250	0.01734	16.900	0.01803	15.600	0.01665	0.01728
	0.03	15.775	0.01683	15.475	0.01651	15.550	0.01659	15.500	0.0165	15.700	0.01675	0.01664
	0.08	11.950	0.01275	11.625	0.01240	11.723	0.01251	11.525	0.01230	11.850	0.01264	0.01252
	0.15	10.175	0.01086	9.775	0.01043	9.675	0.01032	9.725	0.01038	9.575	0.01022	0.01044
	0.25	8.850	0.00944	8.875	0.00947	8.800	0.00939	8.850	0.00944	8.575	0.00915	0.00938

ตาราง 124. ผลการวิเคราะห์แบบไม่ ¹hydrochloric acid เมื่อ aniline เป็นตัวบอกการสีกรวยโดย complexometric method

ความเข้มข้น ของกรด, M	N	ผลการวิเคราะห์พบได้โดยวิธี EDTA 0.0083 M และ Pb(NO ₃) ₂ 0.010 M										อัตราการสึกกร่อน โดยเฉลี่ย, g./cm. ² /day
		1		2		3		4		5		
		ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	
0.02	0.00	3.150	0.00029	3.125	0.00030	3.175	0.00027	3.200	0.00026	3.225	0.00025	0.00027
	0.03	3.350	0.00019	3.350	0.00019	3.375	0.00013	3.425	0.00015	3.400	0.00017	0.00013
	0.08	3.675	0.00004	3.700	0.00002	3.675	0.00004	3.700	0.00002	3.725	0.00001	0.00001
	0.15	3.750	0.00000	3.725	0.00001	3.700	0.00002	3.650	0.00005	3.675	0.00004	0.00002
	0.25	3.675	0.00004	3.725	0.00001	3.750	0.00000	3.700	0.00002	3.765	0.00004	0.00002
0.10	0.00	3.425	0.00015	3.425	0.00015	3.400	0.00017	3.450	0.00014	3.375	0.00013	0.00016
	0.03	3.475	0.00013	3.450	0.00014	3.475	0.00013	3.500	0.00012	3.525	0.00011	0.00013
	0.08	3.575	0.00013	3.600	0.00007	3.575	0.00008	3.625	0.00006	3.550	0.00010	0.00008
	0.15	3.600	0.00007	3.575	0.00008	3.575	0.00008	3.525	0.00008	3.625	0.00006	0.00007
	0.25	3.750	0.00000	3.700	0.00002	3.750	0.00000	3.725	0.00001	3.725	0.00001	0.00001
0.50	0.00	2.550	0.00235	2.450	0.00040	2.500	0.00238	2.550	0.00235	2.500	0.00233	0.00237
	0.03	2.750	0.00257	2.750	0.00257	2.800	0.00235	2.800	0.00235	2.800	0.00235	0.00244
	0.08	3.100	0.00209	3.200	0.00205	3.150	0.00207	3.100	0.00239	3.150	0.00207	0.00207
	0.15	3.400	0.00195	3.600	0.00186	3.500	0.00190	3.550	0.00188	3.500	0.00190	0.00195
	0.25	3.250	0.00202	3.350	0.00197	3.300	0.00200	3.350	0.00197	3.300	0.00200	0.00199

ตาราง 125. ผลการวิเคราะห์หาคู่มีเบสใน hydrochloric acid เมื่อมี phenylhydrazine เป็นตัวบอกผลการสีกรบนโดย complexometric method

ความเข้มข้น ของกรด, M	N	ผลการวิเคราะห์หาคู่โดยวิธี EDTA 0.0083 M และ Pb(NO ₃) ₂ 0.0110 M										อัตราการสีกรบน โดยเฉลี่ย, g./cm. ² /day
		1		2		3		4		5		
		ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	
0.02	0.00	3.475	0.00013	3.425	0.00015	3.400	0.00017	3.550	0.00010	3.400	0.00017	0.00014
	0.03	3.575	0.00008	3.600	0.00007	3.525	0.00011	3.475	0.00013	3.500	0.00012	0.00010
	0.08	3.650	0.00005	3.650	0.00005	3.600	0.00007	3.725	0.00001	3.750	0.00000	0.00004
	0.15	3.600	0.00007	3.675	0.00004	3.675	0.00004	3.600	0.00007	3.750	0.00000	0.00004
	0.25	3.700	0.00002	3.750	0.00000	3.750	0.00000	3.700	0.00002	3.675	0.00004	0.00002
0.10	0.00	3.350	0.00019	3.400	0.00017	3.425	0.00015	3.475	0.00013	3.425	0.00015	0.00016
	0.03	3.425	0.00015	3.550	0.00010	3.400	0.00017	3.400	0.00017	3.425	0.00015	0.00015
	0.08	3.525	0.00011	3.600	0.00007	3.550	0.00010	3.575	0.00008	3.600	0.00007	0.00009
	0.15	3.600	0.00007	3.625	0.00005	3.650	0.00005	3.625	0.00005	3.700	0.00002	0.00005
	0.25	3.750	0.00000	3.650	0.00005	3.675	0.00004	3.675	0.00004	3.700	0.00002	0.00003
0.50	0.00	3.000	0.00214	3.150	0.00207	2.975	0.00215	3.000	0.00209	3.150	0.00207	0.00210
	0.03	3.900	0.00171	3.950	0.00169	3.925	0.00170	4.000	0.00167	3.975	0.00168	0.00169
	0.08	4.300	0.00154	4.250	0.00155	4.300	0.00154	4.250	0.00150	4.400	0.00148	0.00152
	0.15	4.300	0.00154	4.250	0.00155	4.400	0.00148	4.400	0.00148	4.350	0.00150	0.00150
	0.25	5.250	0.00107	5.225	0.00109	5.275	0.00106	5.325	0.00104	5.300	0.00105	0.00106

ตาราง 126. ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีใน hydrochloric acid เมื่อ pyridine เป็นตัวป้องกันการสีกรรณโดย complexometric method

ความเข้มข้น ของกรรณ, M	%	ผลการวิเคราะห์ที่ได้โดยวิธี EDTA 0.0083 M และ Pb(NO ₃) ₂ 0.0110 M										อัตราการสีกรรณ โดยเฉลี่ย, g./cm ² /day
		1		2		3		4		5		
		ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	
0.02	0.00	3.350	0.00012	3.500	0.00012	3.400	0.00017	3.375	0.00018	3.375	0.00018	0.00017
	0.03	3.575	0.00008	3.475	0.00013	3.450	0.00014	3.475	0.00013	3.550	0.00010	0.00012
	0.08	3.725	0.00001	3.600	0.00007	3.700	0.00002	3.750	0.00000	3.625	0.00005	0.00003
	0.15	3.650	0.00005	3.625	0.00005	3.700	0.00002	3.650	0.00005	3.725	0.00001	0.00001
	0.25	3.650	0.00005	3.700	0.00002	3.725	0.00001	3.750	0.00000	3.650	0.00005	0.00003
0.10	0.00	3.350	0.00019	3.400	0.00017	3.400	0.00017	3.350	0.00019	3.525	0.00011	0.00017
	0.03	3.350	0.00019	3.375	0.00018	3.375	0.00018	3.400	0.00017	3.550	0.00010	0.00016
	0.08	3.400	0.00017	3.375	0.00018	3.325	0.00018	3.350	0.00019	3.525	0.00011	0.00017
	0.15	3.375	0.00018	3.525	0.00011	3.400	0.00017	3.425	0.00015	3.425	0.00015	0.00015
	0.25	3.400	0.00017	3.450	0.00014	3.500	0.00012	3.600	0.00007	3.425	0.00015	0.00013
0.50	0.00	2.450	0.00240	2.500	0.00238	2.250	0.00234	2.700	0.00228	2.550	0.00204	0.00235
	0.03	4.550	0.00141	4.450	0.00145	4.500	0.00143	4.550	0.00141	4.600	0.00138	0.00142
	0.08	4.975	0.00120	5.000	0.00119	5.100	0.00115	5.025	0.00118	5.200	0.00110	0.00116
	0.15	5.075	0.00116	5.150	0.00112	5.150	0.00112	5.175	0.00111	5.225	0.00109	0.00102
	0.25	5.500	0.00096	5.600	0.00091	5.600	0.00091	5.475	0.00097	5.750	0.00084	0.00092

ตาราง 127. ผลการวิเคราะห์หาคู่ไอออนใน sulfuric acid เมื่อมี aniline เป็นตัวบ่งชี้การสีกรรณโดย complexometric method

ความเข้มข้น ของกรรณ, M	%N	ผลการวิเคราะห์หาคู่ไอออนโดยใช้ EDTA 0.0083 M และ Pb(NO ₃) ₂ 0.0110 M										อัตราการสีกรรณ โดยเฉลี่ย, g./cm. ² /day
		1		2		3		4		5		
		ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	
0.02	0.00	3.400	0.00017	3.325	0.00020	3.375	0.00018	3.350	0.00019	3.325	0.00020	0.00019
	0.03	3.325	0.00020	3.350	0.00019	3.400	0.00017	3.400	0.00017	3.375	0.00018	0.00018
	0.08	3.450	0.00014	3.475	0.00013	3.550	0.00009	3.425	0.00015	3.500	0.00012	0.00013
	0.15	3.700	0.00002	3.625	0.00004	3.750	0.00000	3.650	0.00005	3.700	0.00002	0.00003
	0.25	3.625	0.00005	3.750	0.00000	3.725	0.00001	3.750	0.00000	3.600	0.00007	0.00003
0.10	0.00	3.150	0.00029	3.175	0.00027	3.175	0.00027	3.150	0.00029	3.250	0.00024	0.00027
	0.03	3.150	0.00029	3.175	0.00027	3.150	0.00029	3.200	0.00026	3.175	0.00027	0.00028
	0.08	3.225	0.00025	3.200	0.00026	3.150	0.00029	3.200	0.00026	3.275	0.00023	0.00026
	0.15	3.200	0.00026	3.175	0.00027	3.125	0.00030	3.200	0.00026	3.225	0.00025	0.00027
	0.25	3.325	0.00020	3.275	0.00023	3.300	0.00021	3.250	0.00024	3.275	0.00023	0.00022
0.50	0.00	6.575	0.00056	6.625	0.00042	6.600	0.00044	6.605	0.00042	6.700	0.00039	0.00045
	0.03	6.625	0.00042	6.600	0.00044	6.600	0.00044	6.675	0.00040	6.700	0.00039	0.00040
	0.08	6.625	0.00042	6.700	0.00039	6.750	0.00036	6.700	0.00039	6.650	0.00041	0.00039
	0.15	6.800	0.00034	6.700	0.00039	6.750	0.00036	6.750	0.00036	6.750	0.00041	0.00036
	0.25	6.675	0.00040	6.650	0.00041	6.775	0.00035	6.800	0.00034	6.775	0.00035	0.00037

ตาราง 128. ผลการวิเคราะห์ปริมาณใน sulfuric acid เมื่อมี phenylhydrazine เป็นตัวบ่งชี้การสีกรรณโดย complexometric method

ความเข้มข้น ของกรรณ, M	N	ผลการวิเคราะห์ไทเทรตโดยวิธี EDTA 0.0083 M และ Pb(NO ₃) ₂ 0.0110 M										อัตราการสีกรรณ, โดยเฉลี่ย, g./cm. ² /day
		1		2		3		4		5		
		ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	
0.02	0.00	3.325	0.00020	3.150	0.00029	3.175	0.00027	3.400	0.00017	3.375	0.00018	0.00022
	0.03	3.450	0.00014	3.500	0.00012	3.475	0.00013	3.425	0.00015	3.550	0.00010	0.00013
	0.08	3.575	0.00034	3.600	0.00072	3.625	0.00053	3.650	0.00043	3.600	0.00072	0.00063
	0.15	3.700	0.00002	3.650	0.00005	3.700	0.00002	3.600	0.00007	3.700	0.00002	0.00004
	0.25	3.750	0.00000	3.700	0.00002	3.750	0.00000	3.675	0.00004	3.725	0.00001	0.00001
0.10	0.00	2.850	0.00043	3.000	0.00036	2.900	0.00040	2.875	0.00042	2.975	0.00037	0.00040
	0.03	3.025	0.00035	3.075	0.00032	3.025	0.00035	3.100	0.00031	3.050	0.00034	0.00033
	0.08	3.125	0.00030	3.125	0.00030	3.000	0.00036	3.075	0.00032	3.150	0.00029	0.00031
	0.15	3.175	0.00028	3.175	0.00028	3.275	0.00023	3.275	0.00023	3.150	0.00029	0.00026
	0.25	3.375	0.00013	3.425	0.00015	3.425	0.00015	3.500	0.00012	3.600	0.00007	0.00013
0.50	0.00	6.475	0.00049	6.500	0.00043	6.500	0.00043	6.700	0.00039	6.625	0.00042	0.00045
	0.03	6.700	0.00039	6.650	0.00041	6.675	0.00040	6.525	0.00033	6.600	0.00034	0.00037
	0.08	6.700	0.00039	6.650	0.00041	6.800	0.00034	6.850	0.00032	6.675	0.00040	0.00037
	0.15	6.600	0.00034	6.850	0.00032	6.775	0.00035	6.750	0.00036	6.775	0.00036	0.00034
	0.25	6.775	0.00035	6.775	0.00035	6.800	0.00034	6.750	0.00036	6.950	0.00027	0.00033

ตาราง 129, ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไทเทรตด้วยกรดซัลฟูริกใน pyridine เป็นตัวบ่งชี้การสีกลกรมโดย complexometric method

ความเข้มข้นของกรด, M	%N	ผลการวิเคราะห์ไทเทรตด้วย EDTA 0.0083 N และ Pb(NO ₃) ₂ 0.0110 M										อัตราการสีกลรวม, g./cm ² /day
		1		2		3		4		5		
		ml.	g./cm ² /day	ml.	g./cm ² /day	ml.	g./cm ² /day	ml.	g./cm ² /day	ml.	g./cm ² /day	
0.02	0.00	3.200	0.00026	3.175	0.00027	3.225	0.00025	3.250	0.00024	3.225	0.00025	0.00025
	0.03	3.350	0.00019	3.325	0.00020	3.275	0.00024	3.400	0.00017	3.325	0.00020	0.00020
	0.08	3.750	0.00000	3.650	0.00005	3.675	0.00004	3.650	0.00005	3.700	0.00002	0.00003
	0.15	3.650	0.00005	3.675	0.00004	3.700	0.00002	3.725	0.00001	3.650	0.00005	0.00003
	0.25	3.675	0.00004	3.700	0.00002	3.725	0.00001	3.750	0.00000	3.750	0.00000	0.00001
0.10	0.00	2.900	0.00041	2.975	0.00037	3.025	0.00035	3.100	0.00031	3.000	0.00036	0.00036
	0.03	3.200	0.00026	3.250	0.00024	3.125	0.00030	3.200	0.00026	3.125	0.00030	0.00027
	0.08	3.300	0.00022	3.175	0.00027	3.225	0.00025	3.200	0.00026	3.175	0.00027	0.00025
	0.15	7.025	0.00023	7.050	0.00022	7.000	0.00025	7.000	0.00025	6.975	0.00026	0.00024
	0.25	3.725	0.00001	3.700	0.00002	3.700	0.00002	3.750	0.00000	3.675	0.00004	0.00002
0.50	0.00	6.450	0.00051	6.450	0.00051	6.400	0.00053	6.475	0.00049	6.475	0.00049	0.00051
	0.03	6.625	0.00042	6.475	0.00049	6.600	0.00044	6.500	0.00048	6.525	0.00047	0.00042
	0.08	6.600	0.00044	6.475	0.00049	6.575	0.00045	6.525	0.00047	6.550	0.00046	0.00046
	0.15	6.250	0.00060	6.550	0.00046	6.575	0.00045	6.600	0.00044	6.600	0.00044	0.00044
	0.25	6.750	0.00036	6.700	0.00039	6.625	0.00042	6.600	0.00044	6.625	0.00042	0.00041

ตาราง 130. ผลการวิเคราะห์แอมโมเนียมไฮโดรคลอริก เป็นตัวบ่งชี้การศึกษารวมโดย complexometric method

ความเข้มข้น ของกรก, M	N	ผลการวิเคราะห์ได้โดย EDT. 0.0083 M										อัตราการสึกกร่อน โดยเฉลี่ย, g./cm ² /day
		1		2		3		4		5		
		ml.	g./cm ² /day	ml.	g./cm ² /day	ml.	g./cm ² /day	ml.	g./cm ² /day	ml.	g./cm ² /day	
0.02	0.00	1.050	0.00088	1.075	0.00090	1.075	0.00100	1.100	0.00092	1.125	0.00094	0.00093
	0.03	1.200	0.00101	1.250	0.00105	1.200	0.00101	1.225	0.00103	1.200	0.00101	0.00102
	0.08	0.725	0.00061	0.775	0.00065	0.800	0.00067	0.750	0.00063	0.725	0.00061	0.00063
	0.15	0.225	0.00019	0.275	0.00023	0.300	0.00025	0.300	0.00025	0.325	0.00027	0.00024
	0.25	0.100	0.00003	0.075	0.00006	0.025	0.00002	0.050	0.00004	0.075	0.00006	0.00005
0.10	0.00	1.525	0.00128	1.425	0.00120	1.450	0.00122	1.475	0.00124	1.425	0.00120	0.00123
	0.03	1.225	0.00103	1.225	0.00103	1.325	0.00111	1.300	0.00109	1.275	0.00107	0.00107
	0.08	1.350	0.00113	1.500	0.00126	1.245	0.00103	1.250	0.00105	1.225	0.00103	0.00110
	0.15	0.975	0.00082	1.075	0.00090	1.075	0.00090	1.075	0.00090	1.050	0.00088	0.00088
	0.25	0.525	0.00044	0.550	0.00046	0.500	0.00042	0.550	0.00046	0.525	0.00044	0.00044
0.50	0.00	1.325	0.00111	1.425	0.00120	1.400	0.00117	1.425	0.00120	1.375	0.00115	0.00117
	0.03	1.400	0.00117	1.350	0.00113	1.275	0.00107	1.275	0.00107	1.300	0.00109	0.00111
	0.08	1.125	0.00094	1.200	0.00101	1.300	0.00110	1.125	0.00094	1.250	0.00105	0.00105
	0.15	1.250	0.00105	1.350	0.00113	1.175	0.00098	1.200	0.00101	1.175	0.00098	0.00103
	0.25	1.200	0.00101	1.250	0.00105	1.200	0.00101	1.150	0.00096	1.200	0.00101	0.00101

ตาราง 131. ผลการวิเคราะห์ของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ใน histidine เป็นตัวอย่างการวิเคราะห์โดย complexometric method

ความเข้มข้น ของกรด, M	ค่า	ผลการวิเคราะห์ที่ได้โดยใช้ EDTA 0.0083 M										อัตราการสกัดรวม โดยเฉลี่ย, g./cm. ² /day
		1		2		3		4		5		
		ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	
0.02	0.00	1.050	0.00088	1.075	0.00090	1.175	0.00100	1.100	0.00092	1.125	0.00094	0.00093
	0.03	1.000	0.00084	0.900	0.00075	0.975	0.00082	0.950	0.00080	0.975	0.00082	0.00081
	0.08	0.825	0.00069	0.800	0.00067	0.975	0.00082	0.975	0.00073	0.850	0.00071	0.00072
	0.15	0.775	0.00065	0.650	0.00063	0.750	0.00063	0.650	0.00063	0.650	0.00063	0.00059
0.10	0.00	1.525	0.00128	1.425	0.00120	1.450	0.00122	1.475	0.00124	1.425	0.00120	0.00123
	0.03	1.050	0.00088	1.150	0.00096	1.225	0.00103	1.075	0.00090	1.075	0.00090	0.00093
	0.15	1.000	0.00084	1.000	0.00084	1.100	0.00092	1.025	0.00086	1.000	0.00084	0.00086

ตาราง 132. ผลการวิเคราะห์ทองคำแดงใน hydrochloric acid มีผลมี pyridine ที่ช่วยป้องกันการสีการขโมย complexometric method

ความเข้มข้น ทองคำ, M	%N	ผลการวิเคราะห์ทองคำแดงใน EDTA 0.0083 M										อัตราการสีการดูด, โดยเฉลี่ย, g./cm. ² /day
		1		2		3		4		5		
		ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	
0.02	0.00	1.050	0.00088	1.075	0.00090	1.175	0.00100	1.100	0.00092	1.125	0.00094	0.00093
	0.03	1.225	0.00103	1.350	0.00113	1.275	0.00107	1.375	0.00115	1.325	0.00111	0.00110
	0.08	1.150	0.00096	1.200	0.00101	1.125	0.00094	1.150	0.00096	1.150	0.00096	0.00097
	0.15	1.375	0.00115	1.350	0.00113	1.450	0.00122	1.400	0.00117	1.425	0.00120	0.00117
	0.25	1.500	0.00126	1.400	0.00117	1.375	0.00115	1.425	0.00120	1.450	0.00122	0.00120
0.10	0.00	1.525	0.00128	1.425	0.00120	1.450	0.00122	1.475	0.00124	1.425	0.00120	0.00123
	0.03	1.400	0.00117	1.475	0.00124	1.350	0.00113	1.325	0.00111	1.375	0.00115	0.00116
	0.08	1.350	0.00113	1.350	0.00113	1.450	0.00122	1.325	0.00111	1.350	0.00113	0.00114
	0.15	1.225	0.00103	1.350	0.00113	1.300	0.00109	1.300	0.00109	1.350	0.00113	0.00109
	0.25	1.400	0.00117	1.350	0.00113	1.550	0.00130	1.400	0.00117	1.450	0.00122	0.00120
0.50	0.00	1.325	0.00111	1.425	0.00120	1.400	0.00117	1.425	0.00120	1.375	0.00115	0.00117
	0.03	1.375	0.00115	1.325	0.00111	1.400	0.00117	1.275	0.00107	1.325	0.00111	0.00112
	0.08	1.275	0.00107	1.400	0.00117	1.325	0.00111	1.300	0.00109	1.275	0.00107	0.00110
	0.15	1.225	0.00103	1.275	0.00107	1.225	0.00103	1.250	0.00105	1.200	0.00101	0.00104
	0.25	1.375	0.00115	1.425	0.00120	1.375	0.00115	1.375	0.00115	1.400	0.00117	0.00116

ตาราง 133. ผลการวิเคราะห์ ⁴ กรดกำมะถันใน ⁵ sulfuric acid เมื่อมี ⁴ aniline เป็นตัวบ่งชี้การสีกรรอนโดย complexometric method

ความเข้มข้น ของกรร, M	%	ผลการวิเคราะห์พบได้โดยวิธี EDTA 0.0083 M										อัตราการสีกรรอน โดยเฉลี่ย, g./cm. ² /day
		1		2		3		4		5		
		ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	
0.02	0.00	0.575	0.00048	0.775	0.00065	0.675	0.00057	0.675	0.00057	0.650	0.00055	0.00056
	0.03	0.400	0.00034	0.450	0.00038	0.500	0.00042	0.475	0.00040	0.500	0.00042	0.00039
	0.08	0.350	0.00029	0.250	0.00021	0.200	0.00017	0.175	0.00015	0.200	0.00017	0.00020
	0.15	0.175	0.00015	0.150	0.00013	0.150	0.00013	0.125	0.00010	0.125	0.00010	0.00012
	0.25	0.150	0.00013	0.200	0.00017	0.200	0.00017	0.175	0.00015	0.150	0.00013	0.00015
0.10	0.00	0.600	0.00050	0.700	0.00059	0.600	0.00050	0.650	0.00055	0.625	0.00052	0.00053
	0.03	0.675	0.00057	0.575	0.00048	0.600	0.00050	0.625	0.00052	0.650	0.00055	0.00052
	0.08	0.550	0.00046	0.500	0.00042	0.500	0.00042	0.525	0.00044	0.550	0.00046	0.00044
	0.15	0.450	0.00038	0.450	0.00038	0.400	0.00034	0.425	0.00036	0.450	0.00038	0.00037
	0.25	0.325	0.00027	0.275	0.00023	0.300	0.00025	0.275	0.00023	0.300	0.00025	0.00025
0.50	0.00	0.675	0.00057	0.525	0.00044	0.525	0.00044	0.525	0.00044	0.500	0.00042	0.00046
	0.03	0.450	0.00038	0.400	0.00034	0.425	0.00036	0.450	0.00038	0.450	0.00038	0.00034
	0.08	0.450	0.00038	0.400	0.00034	0.350	0.00029	0.375	0.00031	0.400	0.00034	0.00033
	0.15	0.400	0.00034	0.325	0.00027	0.375	0.00031	0.375	0.00031	0.350	0.00029	0.00030
	0.25	0.300	0.00025	0.375	0.00031	0.275	0.00023	0.300	0.00025	0.325	0.00027	0.00026

ตาราง 134. ผลการวิเคราะห์หาปริมาณ sulfuric acid เมื่อมี histidine เป็นตัวป้องกันการสีกกรอนโดย complexometric method

ความเข้มข้น ของกรด, M	%N	ผลการวิเคราะห์หาปริมาณ EDTA 0.0083 M										อัตราการสีกกรอน โดยเฉลี่ย, %/cm ² /day
		1		2		3		4		5		
		ml.	g./cm ² /day	ml.	g./cm ² /day	ml.	g./cm ² /day	ml.	g./cm ² /day	ml.	g./cm ² /day	
0.02	0.00	0.575	0.00048	0.775	0.00065	0.675	0.00057	0.675	0.00057	0.650	0.00055	0.00056
	0.03	0.600	0.00050	0.450	0.00037	0.600	0.00050	0.650	0.00055	0.625	0.00052	0.00049
	0.08	0.650	0.00055	0.600	0.00050	0.550	0.00046	0.525	0.00044	0.525	0.00046	0.00048
	0.15	0.375	0.00031	0.450	0.00037	0.550	0.00046	0.500	0.00042	0.450	0.00037	0.00039

ตาราง 135. ผลการวิเคราะห์หาปริมาณ sulfuric acid เมื่อมี pyridine เป็นตัวบ่งชี้การสีกรอมโดย complexometric method

ความเข้มข้น ของกรด, M	%N	ผลการวิเคราะห์พบได้โดยวิธี EDTA 0.0083 M										อัตราการสีกรอม โดยเฉลี่ย, g./cm. ² /day
		1		2		3		4		5		
		ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	ml.	g./cm. ² /day	
0.02	0.00	0.575	0.00048	0.775	0.00065	0.675	0.00057	0.675	0.00057	0.650	0.00055	0.00056
	0.03	0.725	0.00061	0.700	0.00059	0.675	0.00057	0.625	0.00052	0.650	0.00055	0.00057
	0.08	0.725	0.00061	0.750	0.00063	0.650	0.00055	0.775	0.00065	0.675	0.00057	0.00060
	0.15	1.075	0.00090	1.150	0.00096	1.050	0.00088	1.125	0.00094	1.050	0.00088	0.00091
	0.25	1.250	0.00105	1.450	0.00122	1.325	0.00111	1.275	0.00107	1.150	0.00096	0.00108
0.10	0.00	0.600	0.00050	0.700	0.00059	0.600	0.00050	0.650	0.00055	0.625	0.00052	0.00053
	0.03	0.350	0.00029	0.375	0.00031	0.275	0.00023	0.375	0.00033	0.250	0.00021	0.00027
	0.08	0.150	0.00013	0.200	0.00017	0.175	0.00015	0.150	0.00013	0.175	0.00015	0.00015
	0.15	0.200	0.00012	0.250	0.00021	0.325	0.00027	0.275	0.00023	0.275	0.00023	0.00022
	0.25	0.225	0.00019	0.125	0.00010	0.225	0.00019	0.100	0.00008	0.250	0.00021	0.00015
0.50	0.00	0.675	0.00057	0.525	0.00044	0.525	0.00044	0.525	0.00044	0.500	0.00042	0.00046
	0.03	0.200	0.00017	0.225	0.00019	0.250	0.00021	0.125	0.00010	0.100	0.00008	0.00015
	0.08	0.150	0.00013	0.100	0.00008	0.150	0.00013	0.125	0.00010	0.175	0.00015	0.00012
	0.15	0.200	0.00017	0.250	0.00021	0.225	0.00019	0.250	0.00021	0.225	0.00019	0.00019
	0.25	0.100	0.00008	0.125	0.00010	0.150	0.00013	0.125	0.00010	0.100	0.00008	0.00010

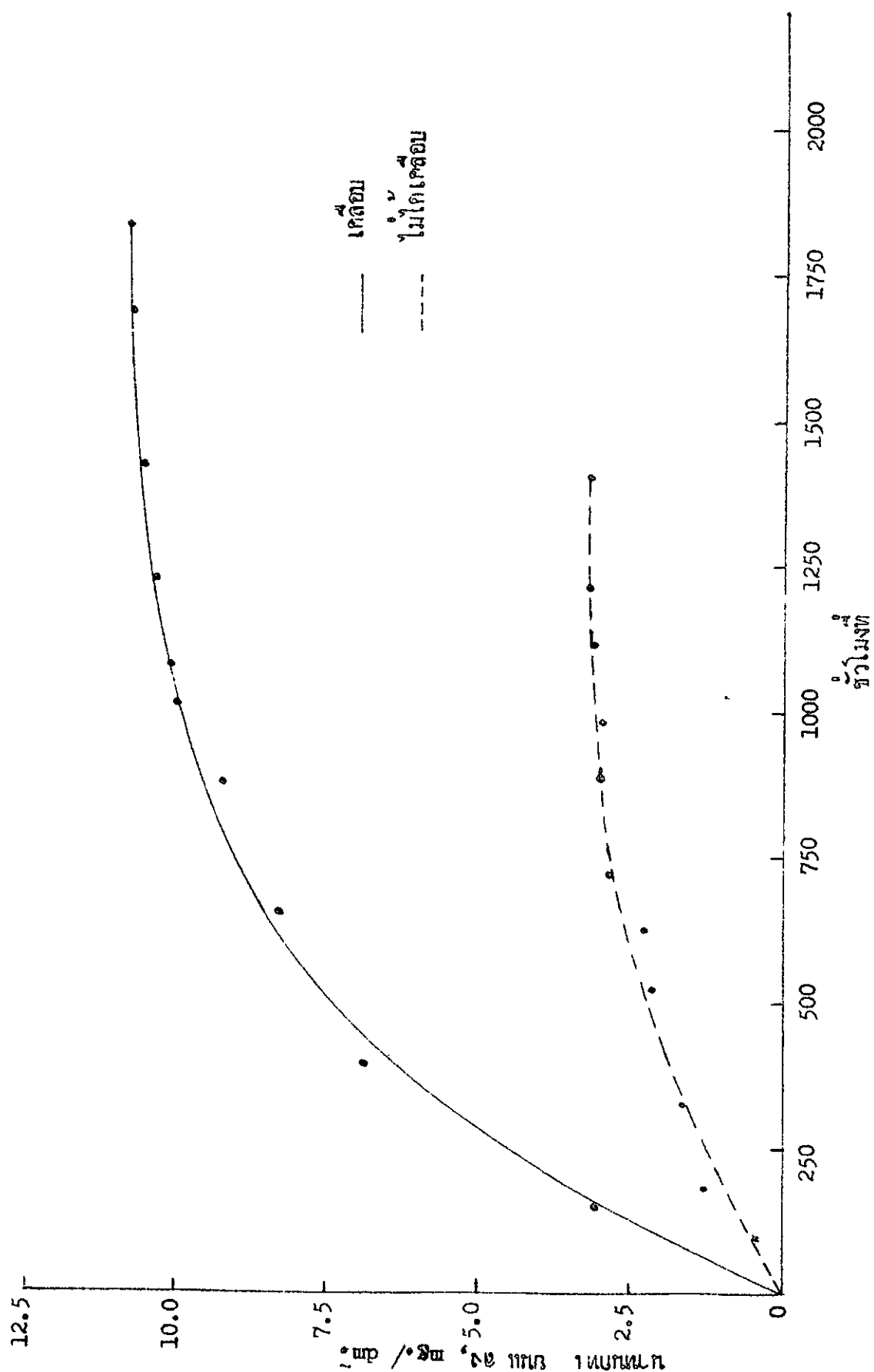
ภาคผนวก ข.

กราฟเปรียบเทียบผลการทดลอง

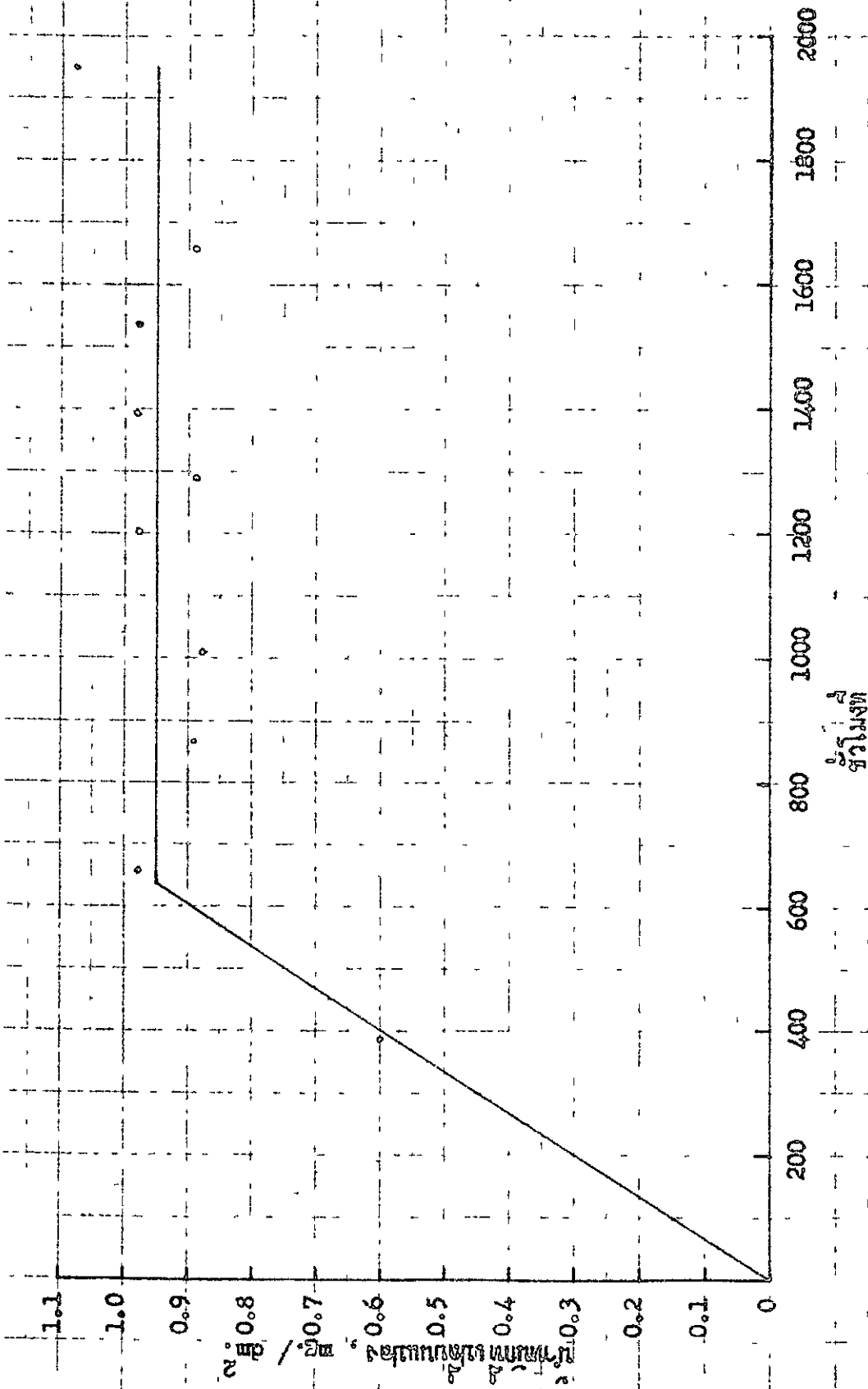
ตอนที่ ๑

เปรียบเทียบน้ำหนักโมเลกุลระหว่างสารที่เกิดด้วย i - quinoline กับ

การไม่เกิด



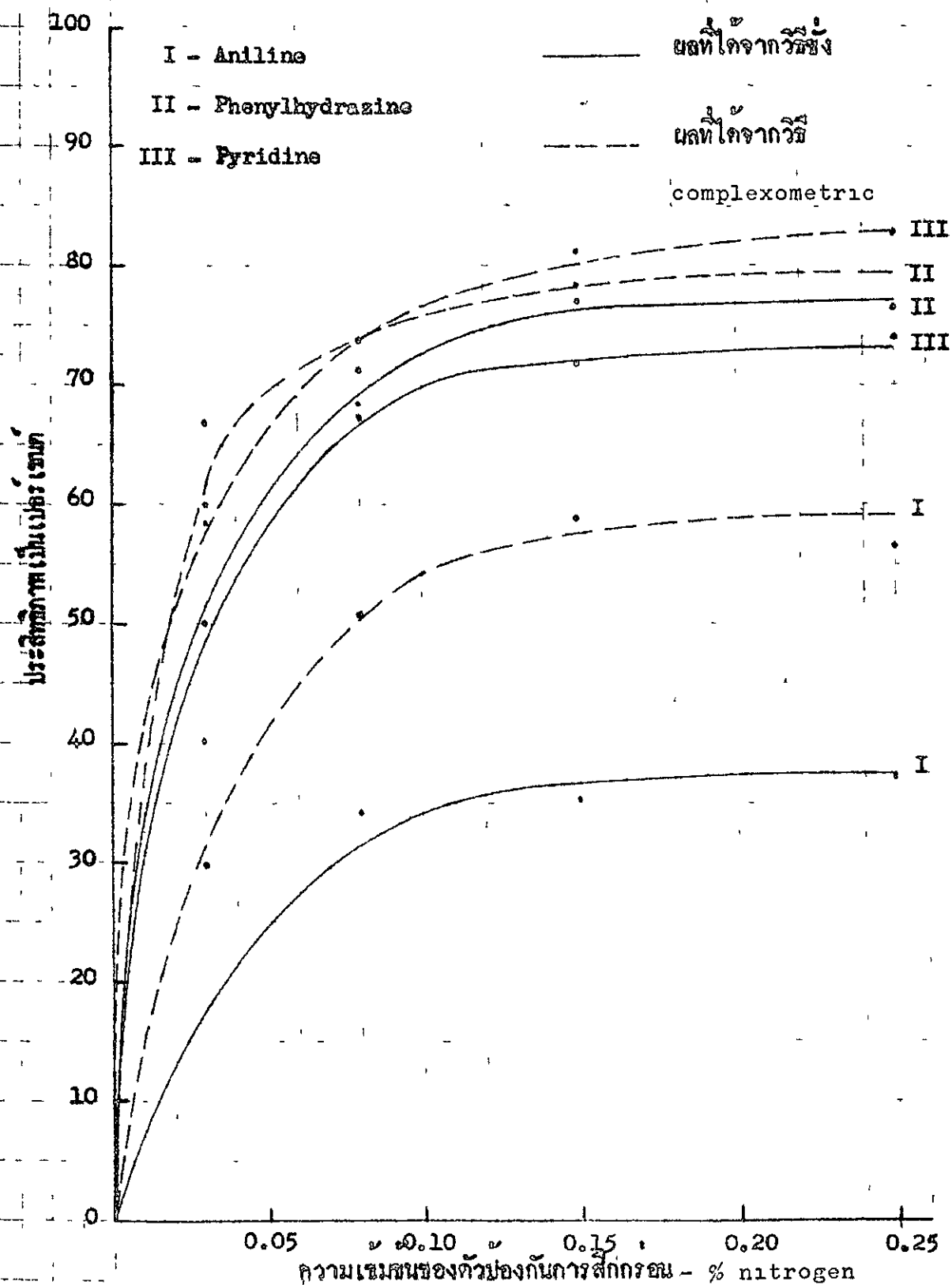
กราฟ 1. เปรียบเทียบค่าดัชนีหักเหของแสงที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ระหว่างการเคเลียมและไม่ได้เคเลียมด้วย 1-quinoline ในเบรียลควาสปท



กราฟ 2. แสดงการสังเกตการณ์ของผู้นับจำนวนผู้เข้าชม

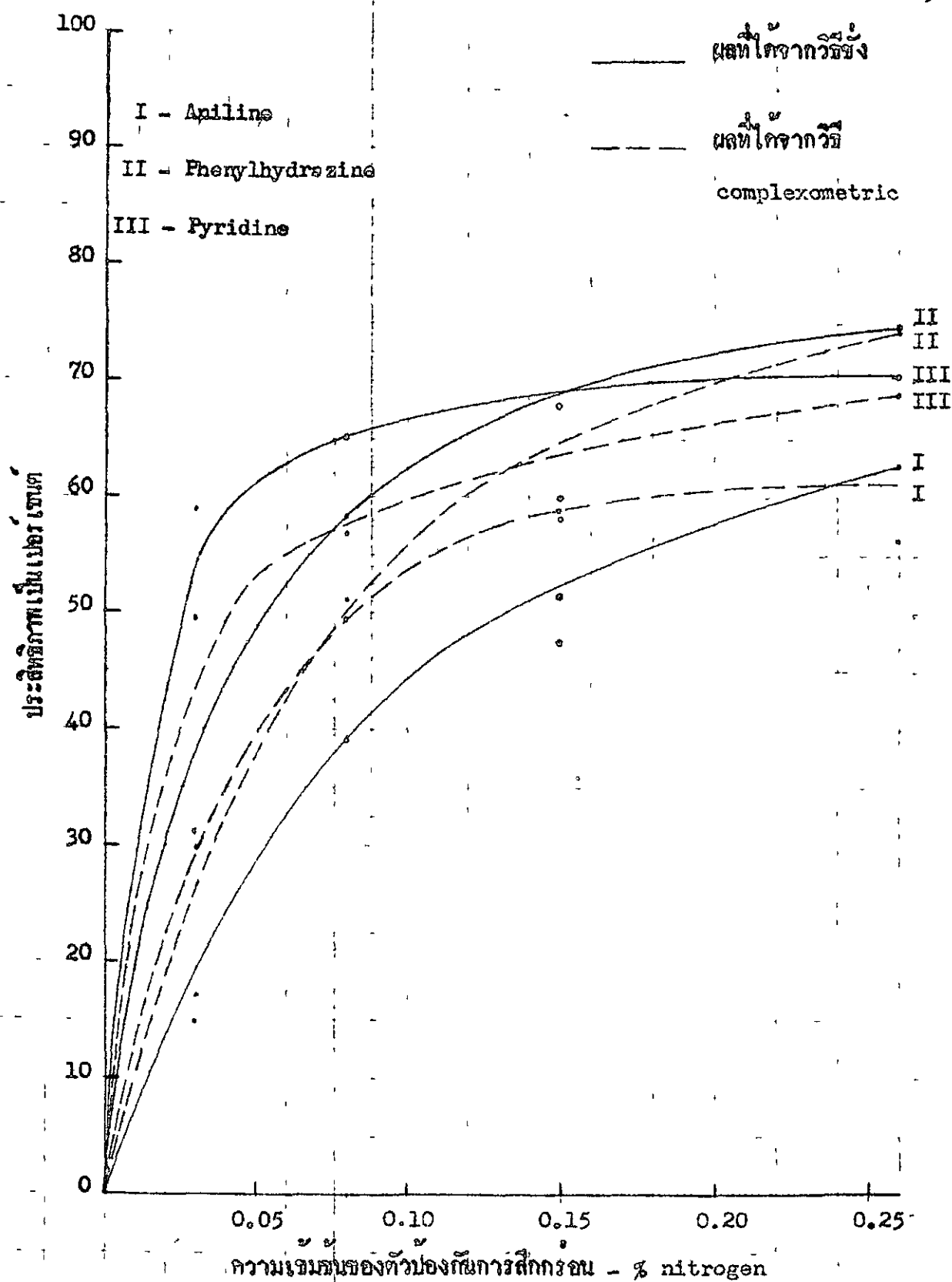
ตอนที่ 2

เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกร่อนในสารละลายของกรด

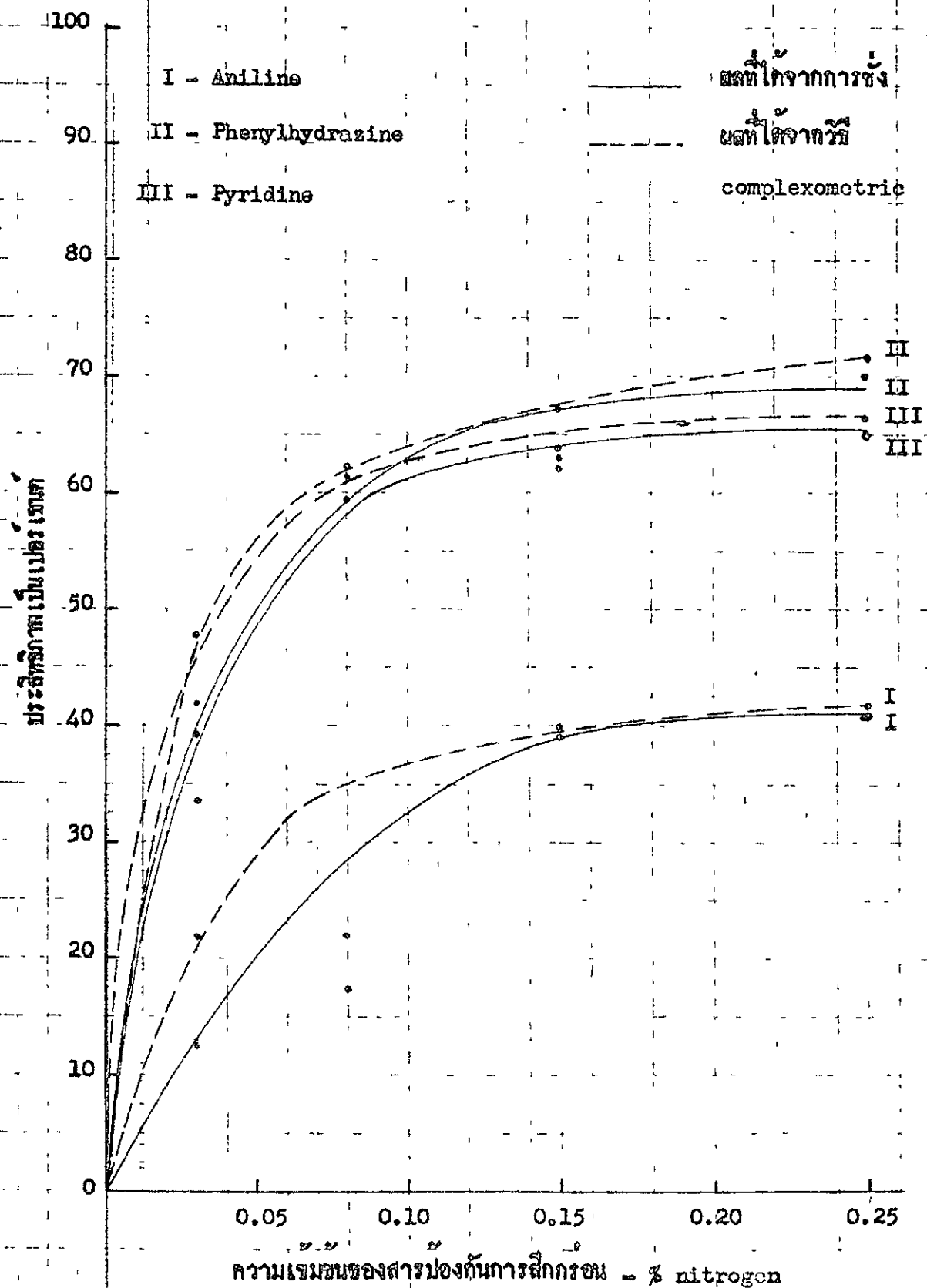


กราฟ 3. ประสิทธิภาพของสารที่ก่อกำการสีกกรณของเหล็กใน

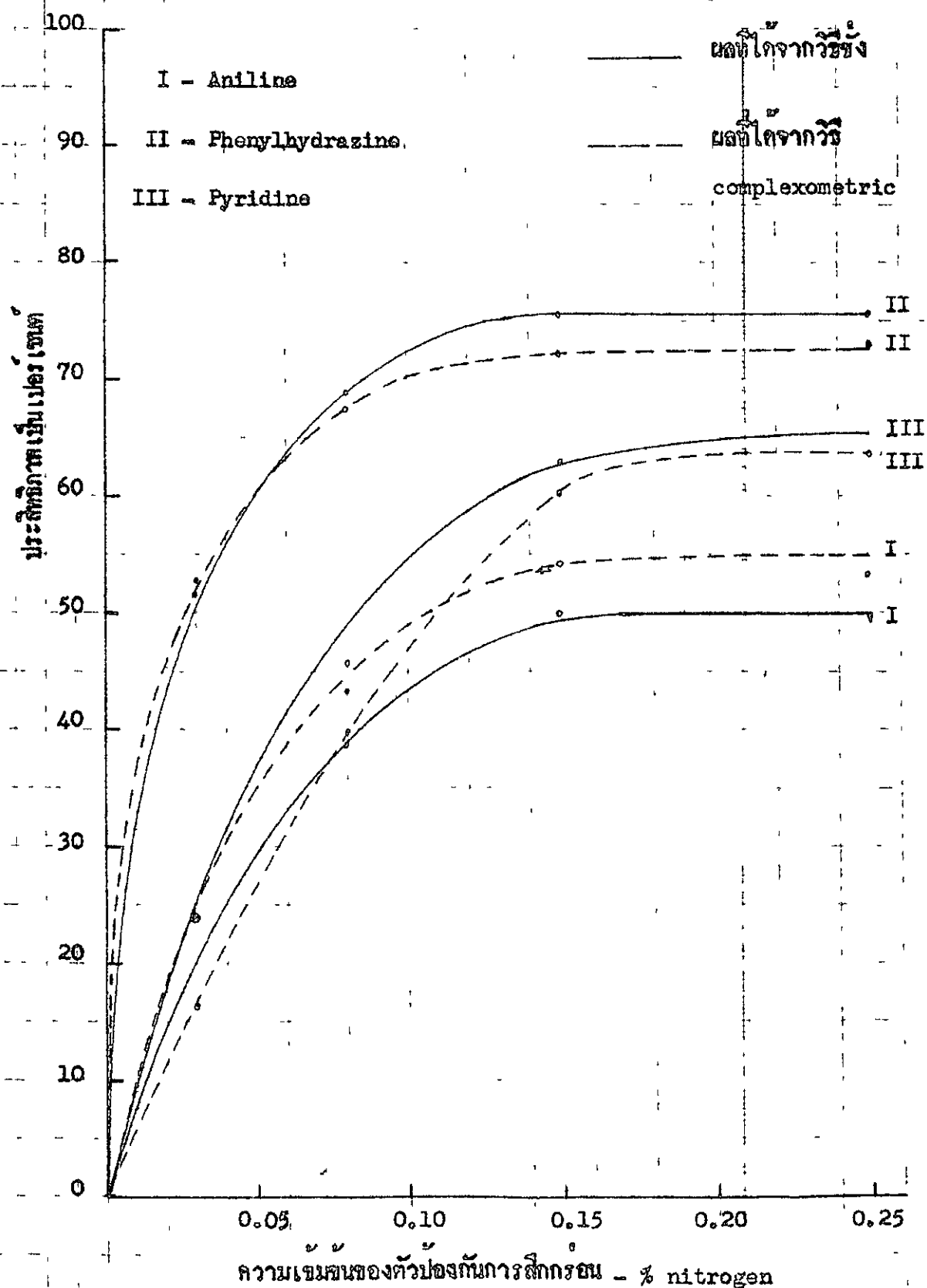
hydrochloric acid 0.02 N



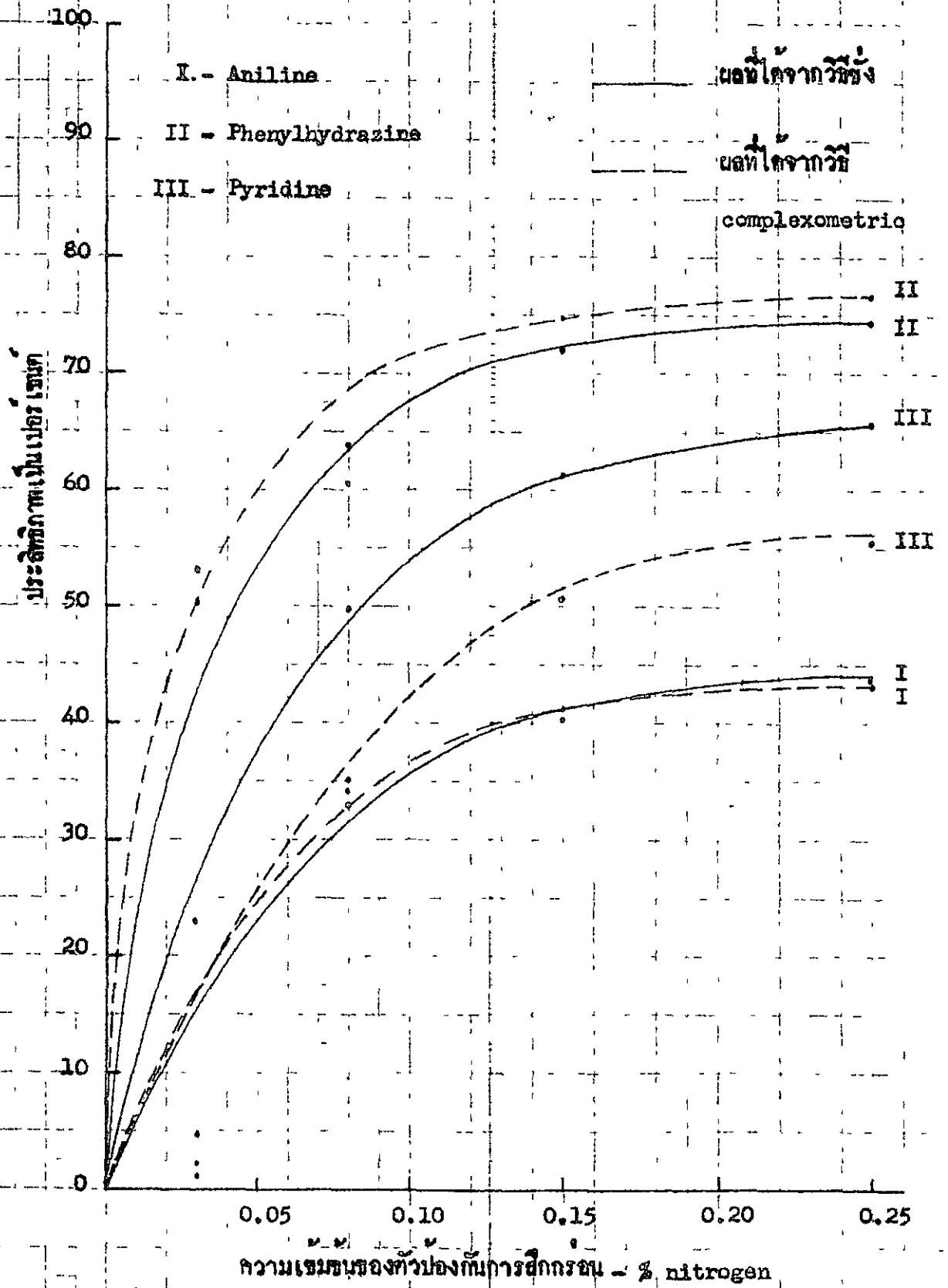
กราฟ 4. ประสิทธิภาพของสารที่ก่อการสีกกรณของเหล็กใน :
hydrochloric acid 0.10 M



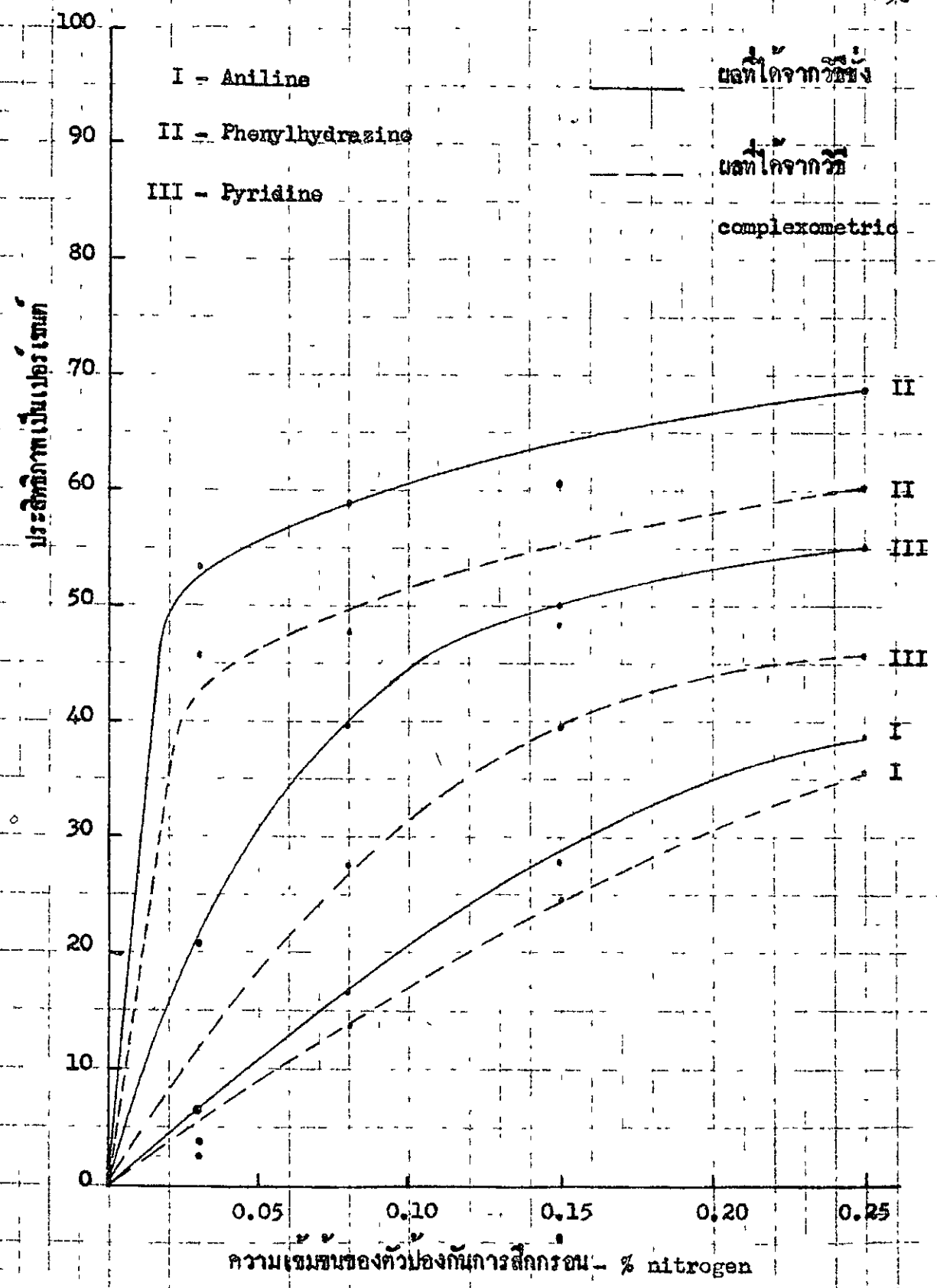
กราฟ 5. ประสิทธิภาพของสารป้องกันสารพิษต่อการสกัดของเหล็กใน
hydrochloric acid 0.50 M



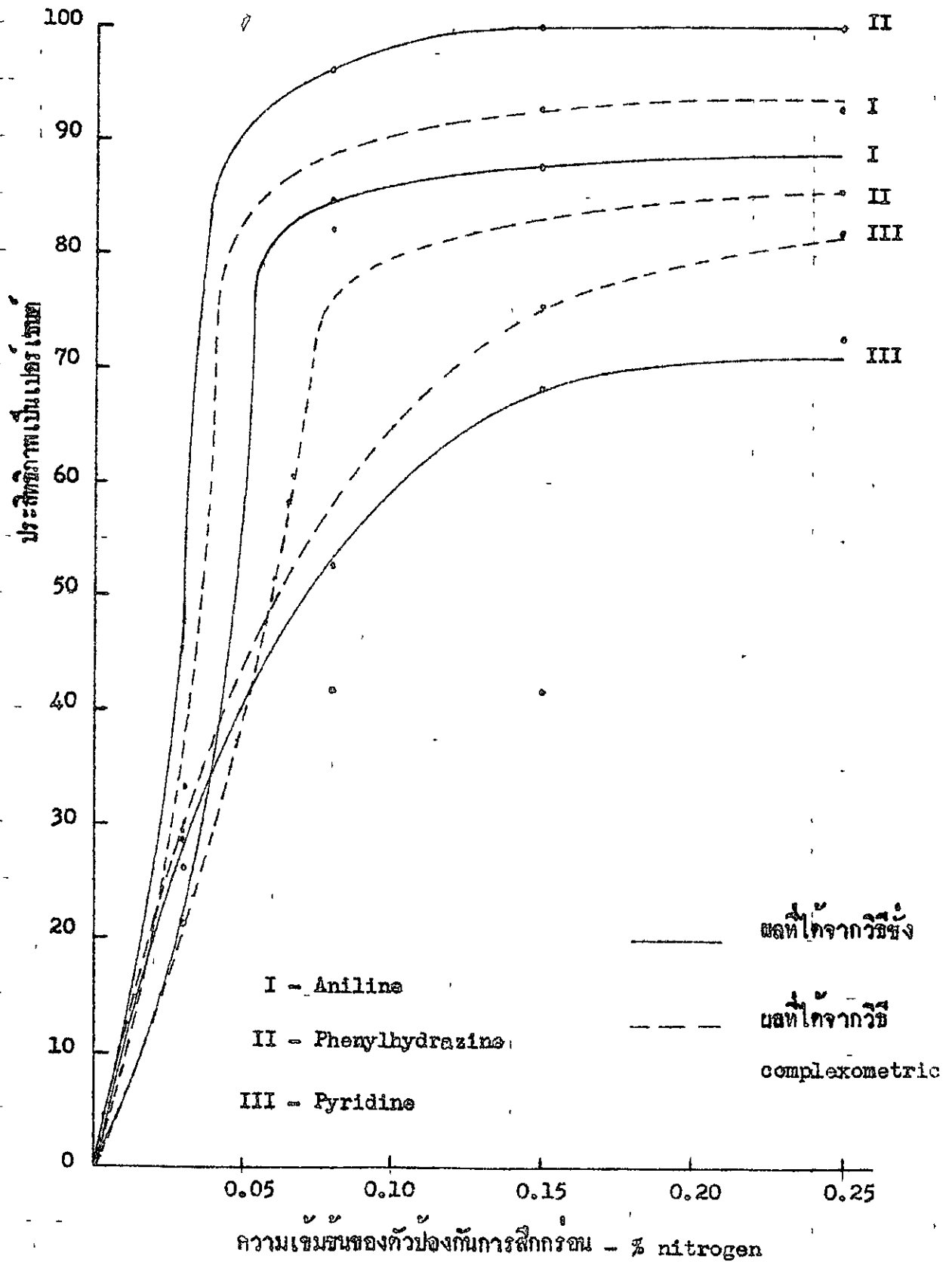
กราฟ 6. ประสิทธิภาพของสารที่ทำการดูดซับของเหล็กใน
sulfuric acid 0.02 M



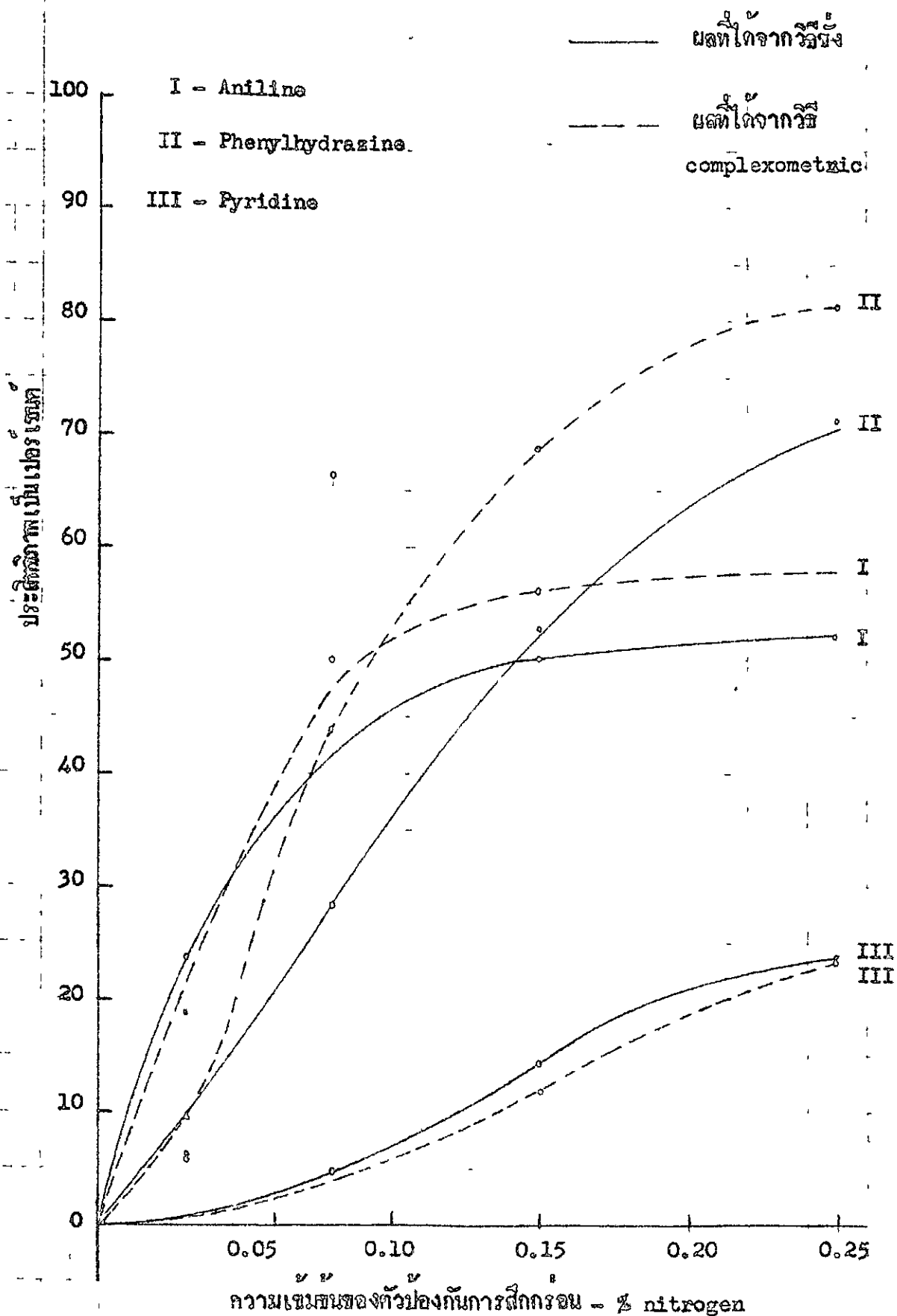
กราฟที่ 7. ปริมาณไนโตรเจนของสารที่เหลือจากการสกัดของเหล็กใน
sulfuric acid 0.10 M



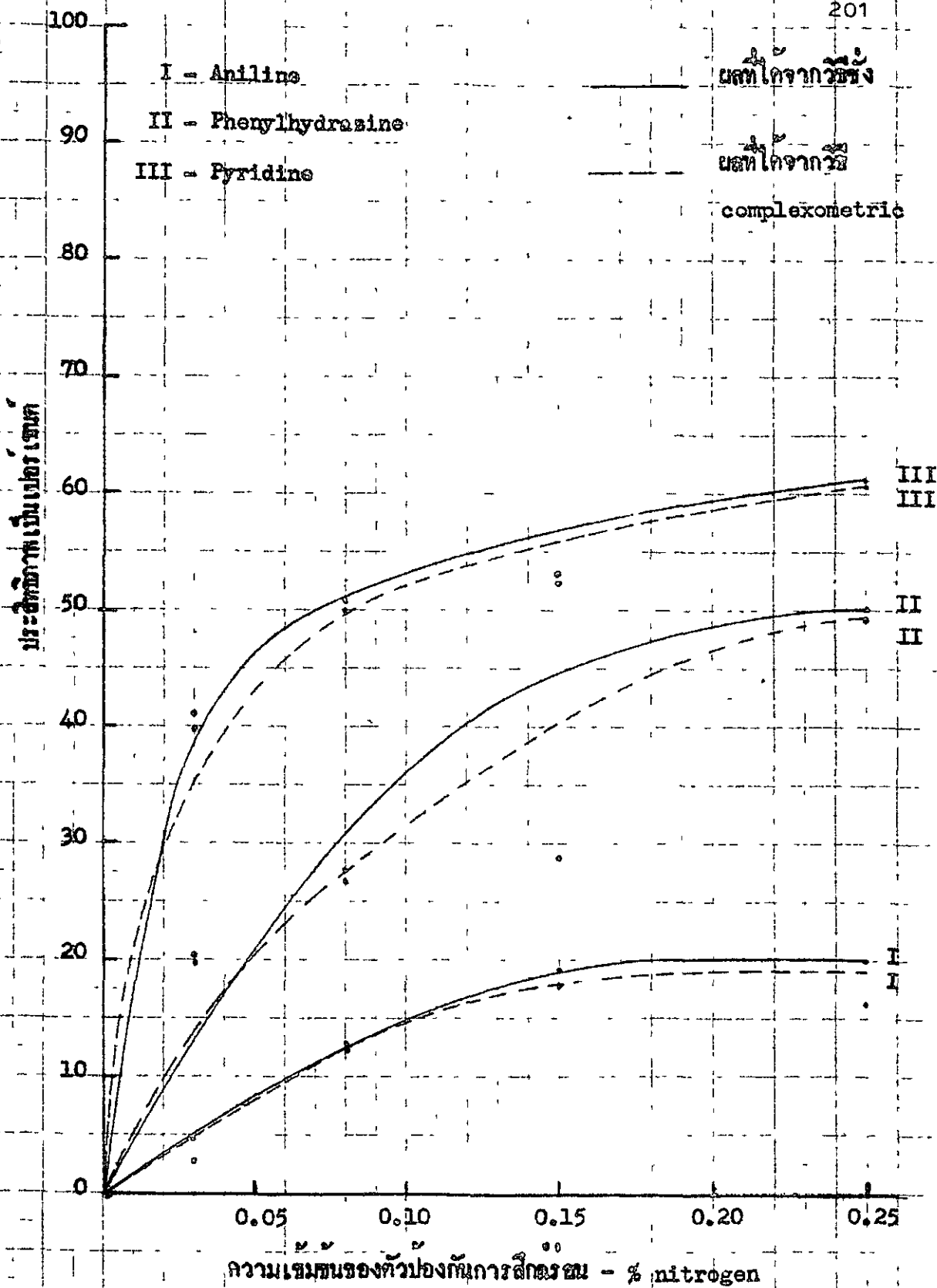
กราฟ 8. ประสิทธิภาพของสารที่ป้องกันการสักรวนของเหล็กใน
sulfuric acid 0.50 M



กราฟ 9. ประสิทธิภาพของสารที่นำการตรึงไนโตรเจนใน
hydrochloric acid 0.02 M

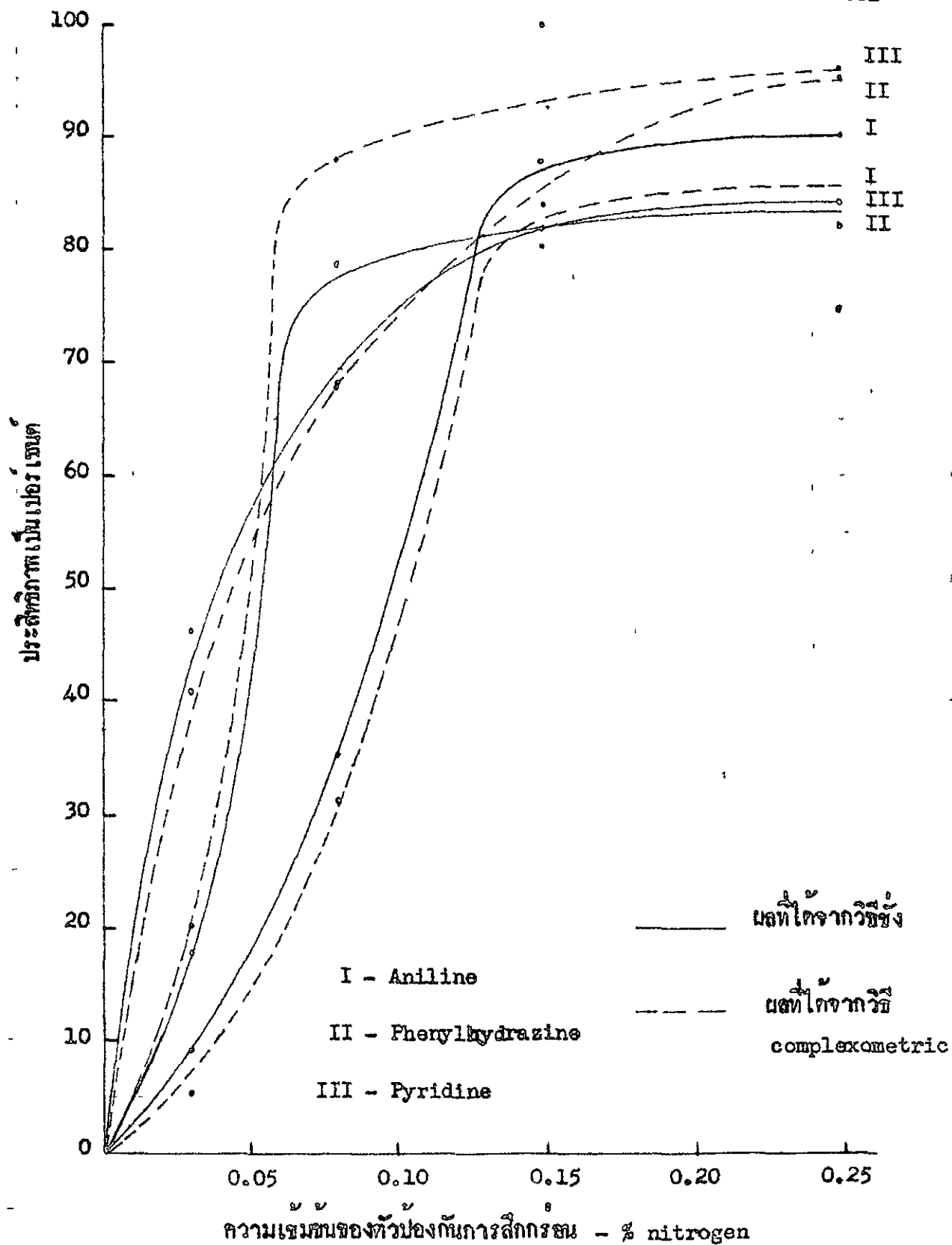


กราฟ 10. ประสิทธิภาพของสารที่ป้องกันการสีกกรอนของยูนิเนนใน
hydrochloric acid 0.10 M

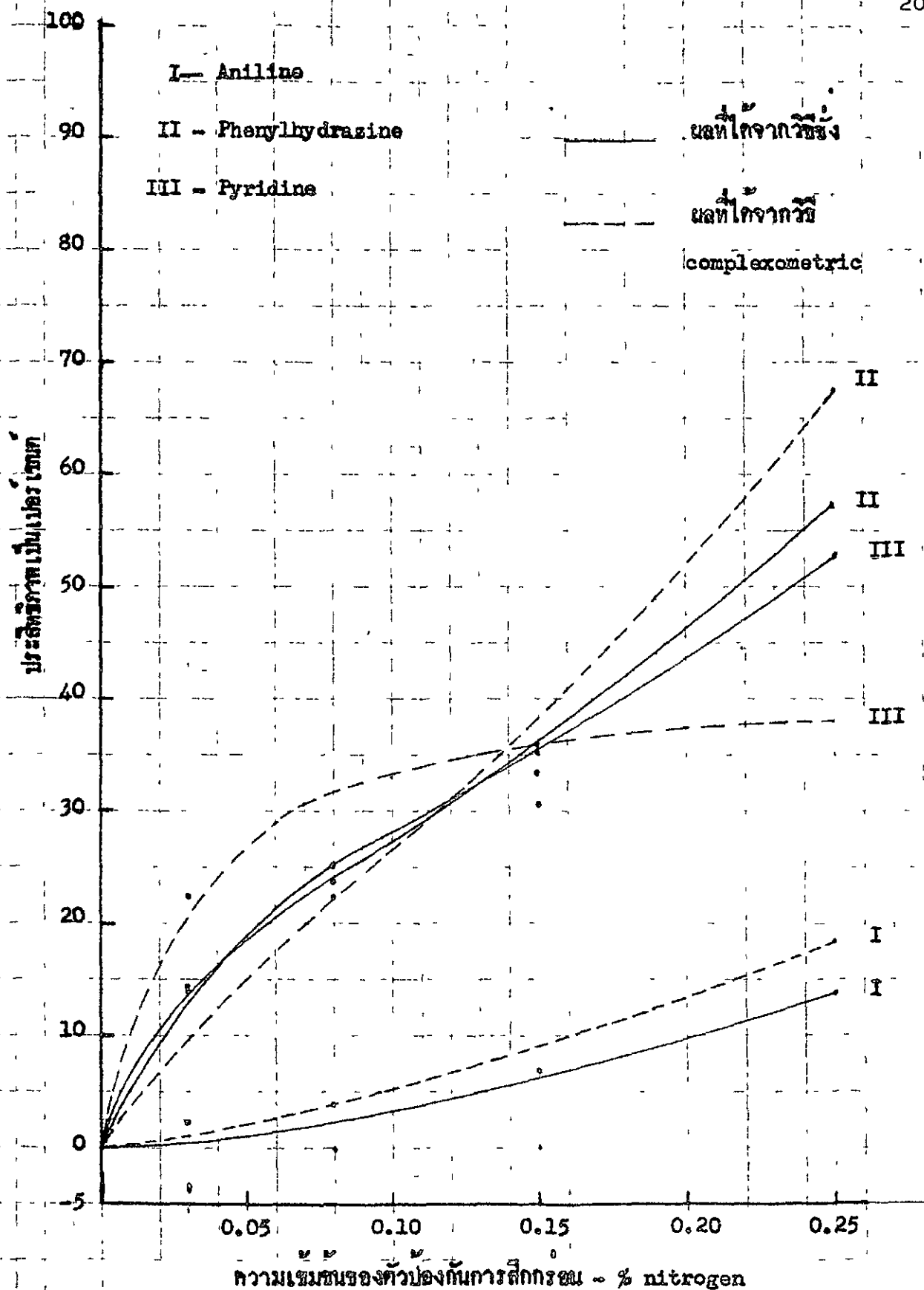


กราฟ 11. ประสิทธิภาพของสารที่ใช้ในการสีกรองของอนุพันธ์ใน

hydrochloric acid 0.50 M

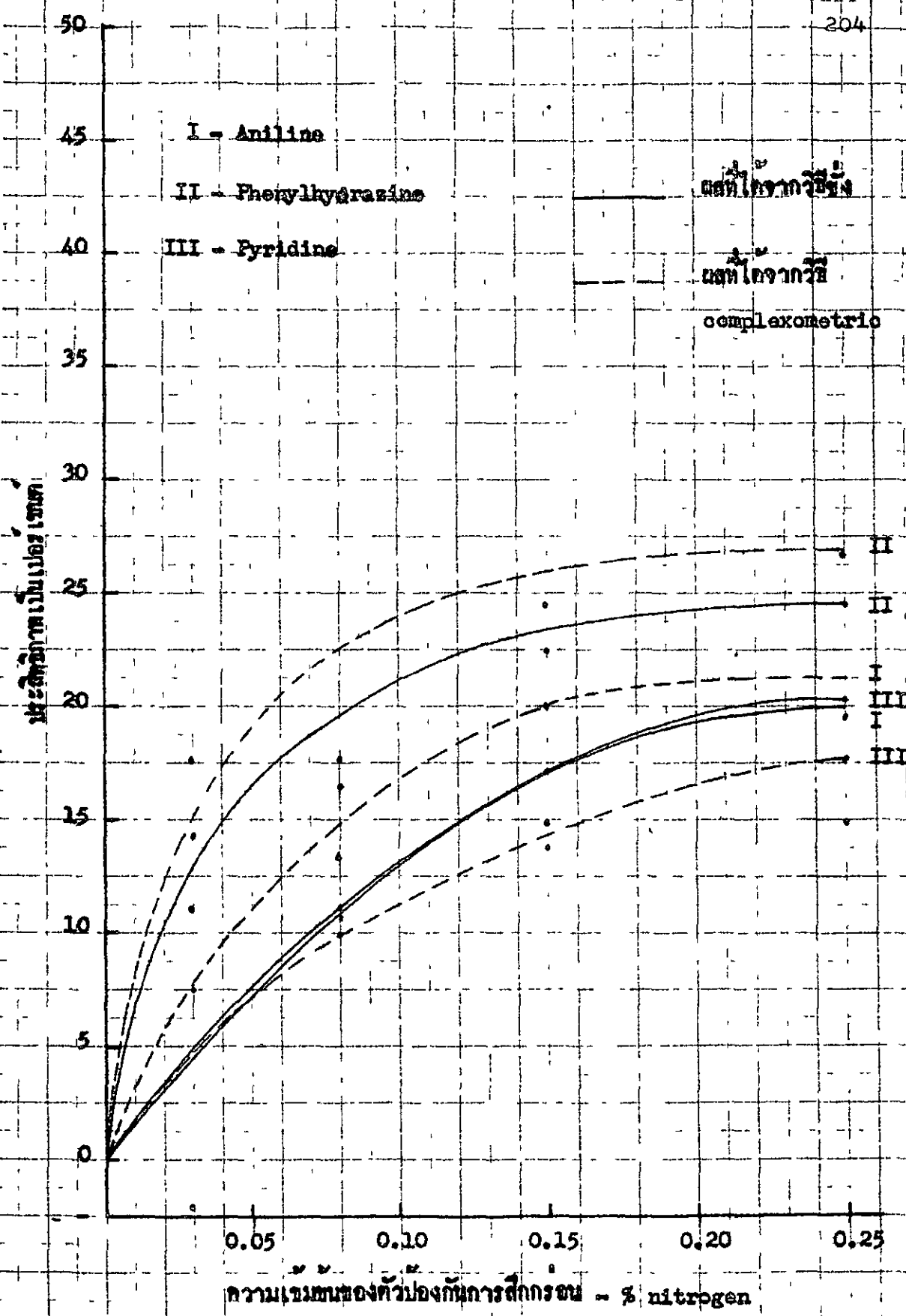


กราฟ 12. ประสิทธิภาพของสารที่บอกการสีกรรณของอะลูมิเนียมใน
sulfuric acid 0.02 M

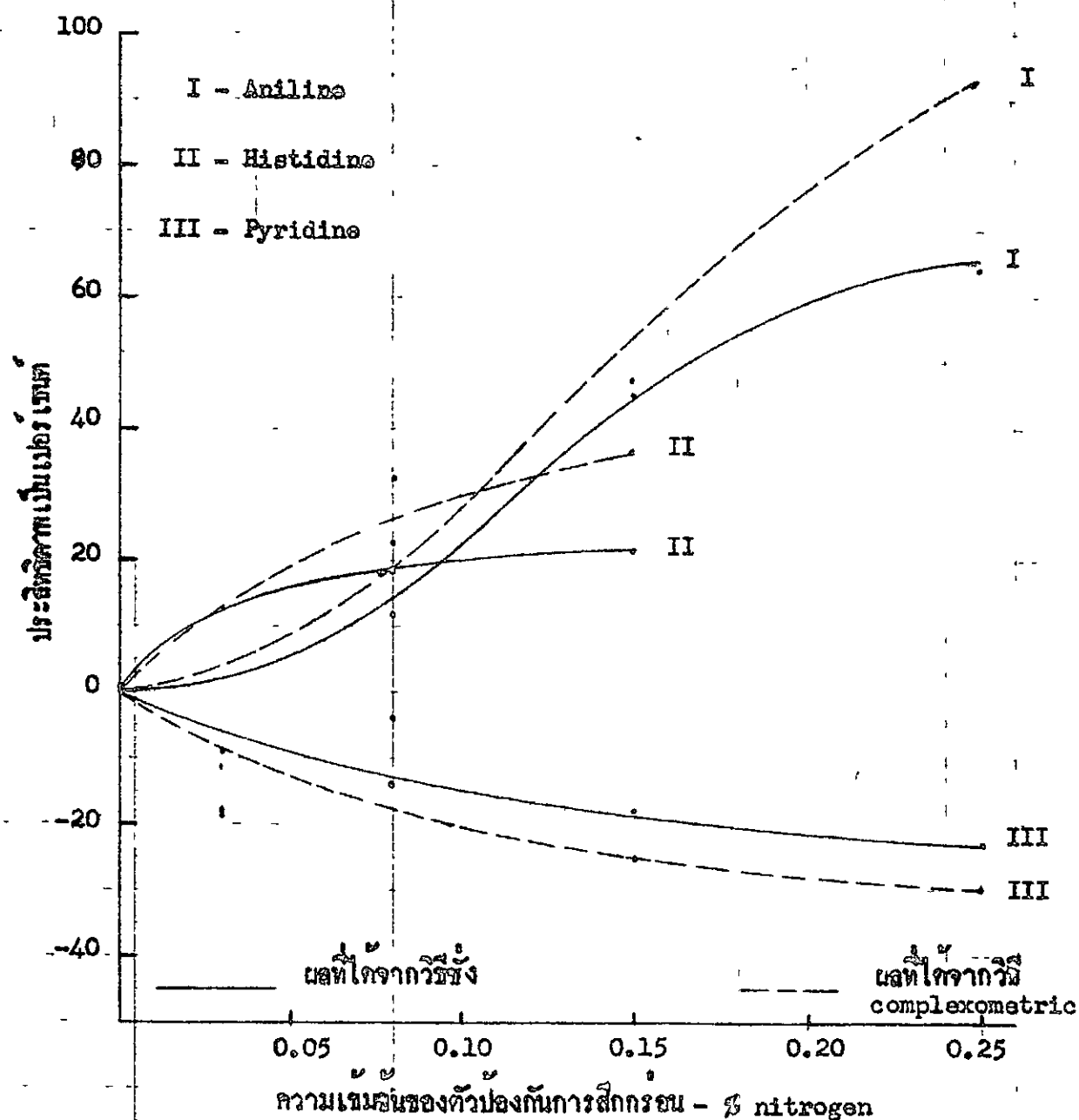


กราฟ 13. ประสิทธิภาพของสารที่ป้องกันการสึกกร่อนของอลูมิเนียมใน

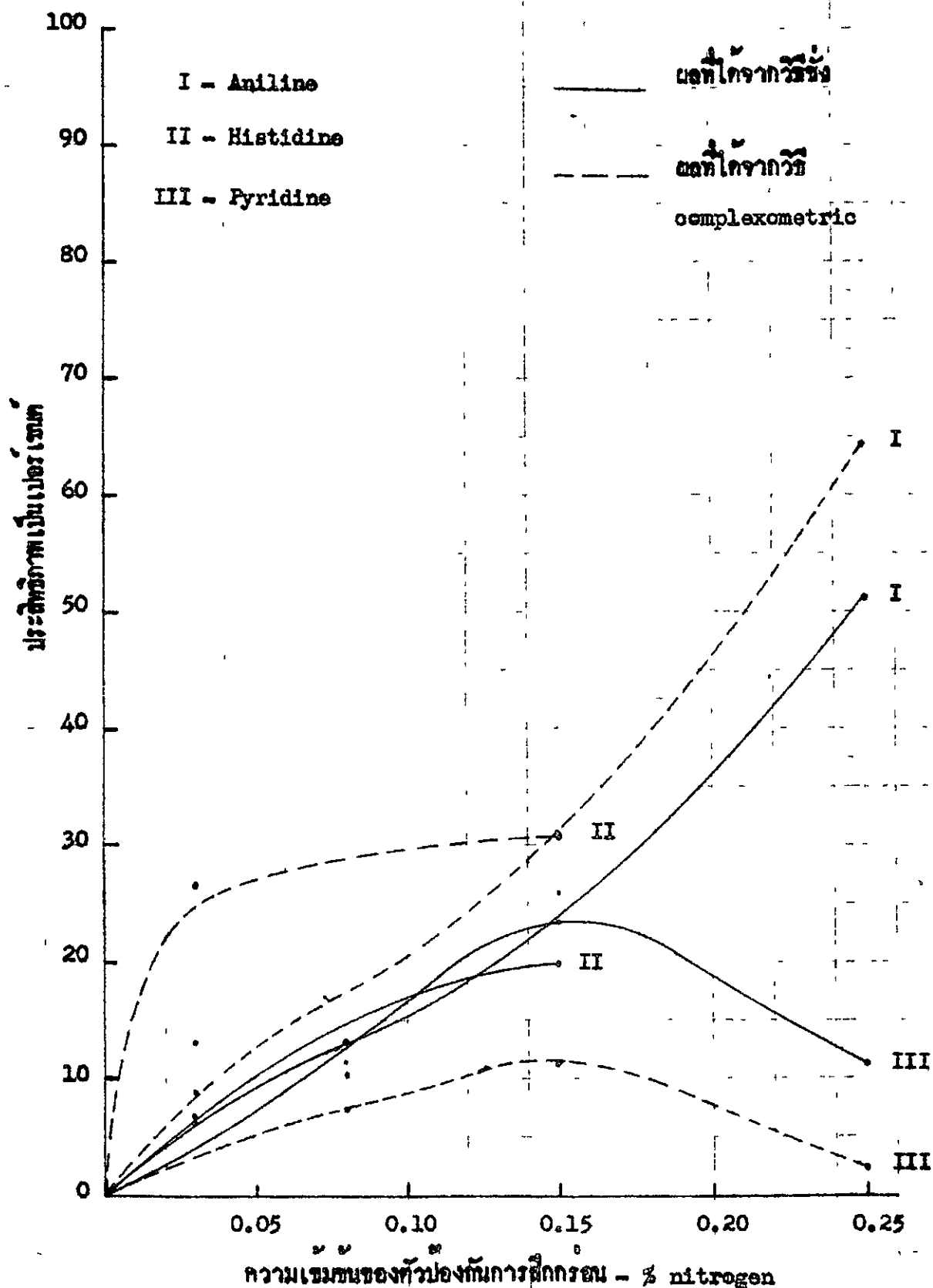
sulfuric acid 0.10 M



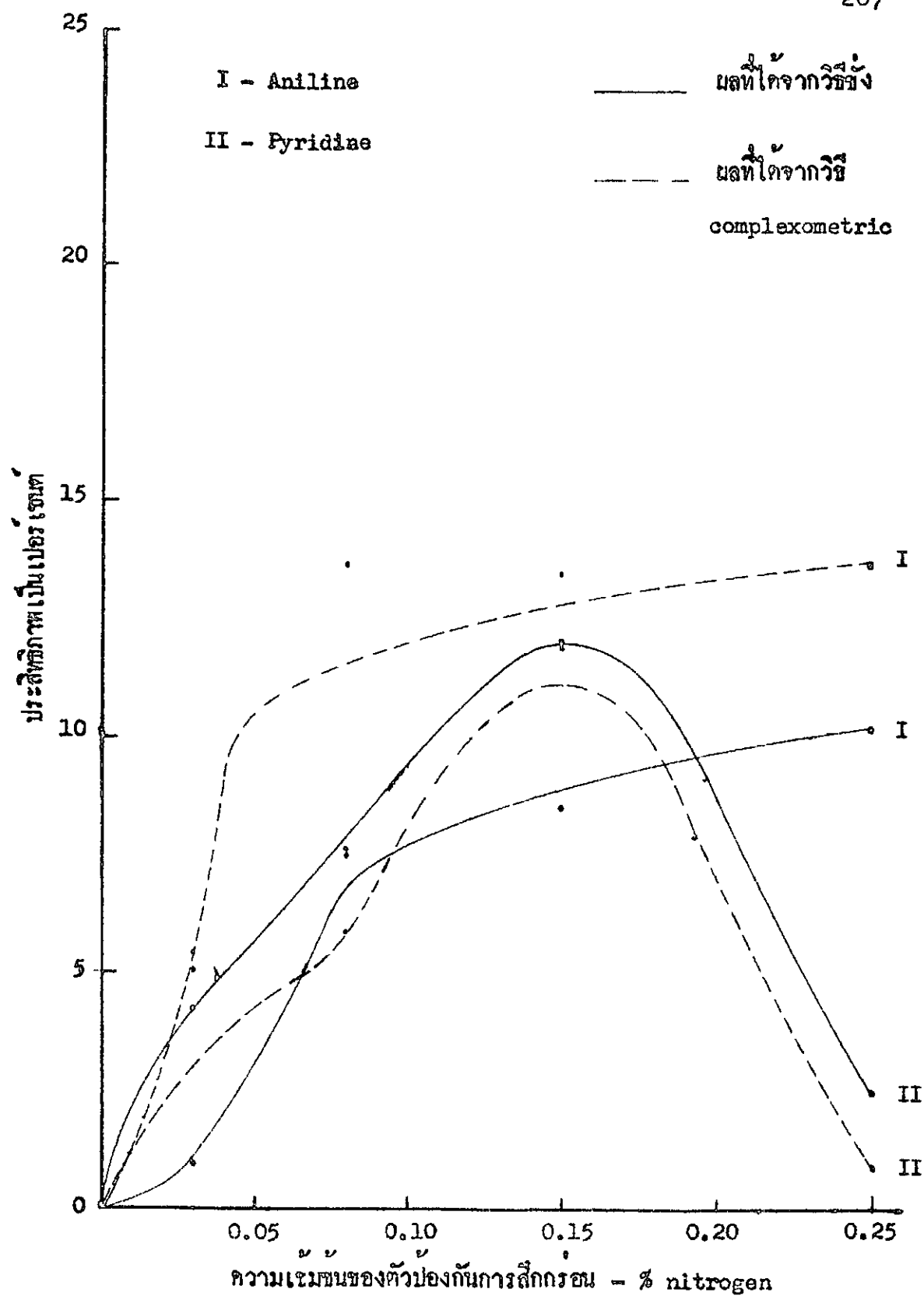
กราฟ 14. ประสิทธิภาพของสารที่ทำการสกัดของยูนิเบนิลใน
sulfuric acid 0.50 M



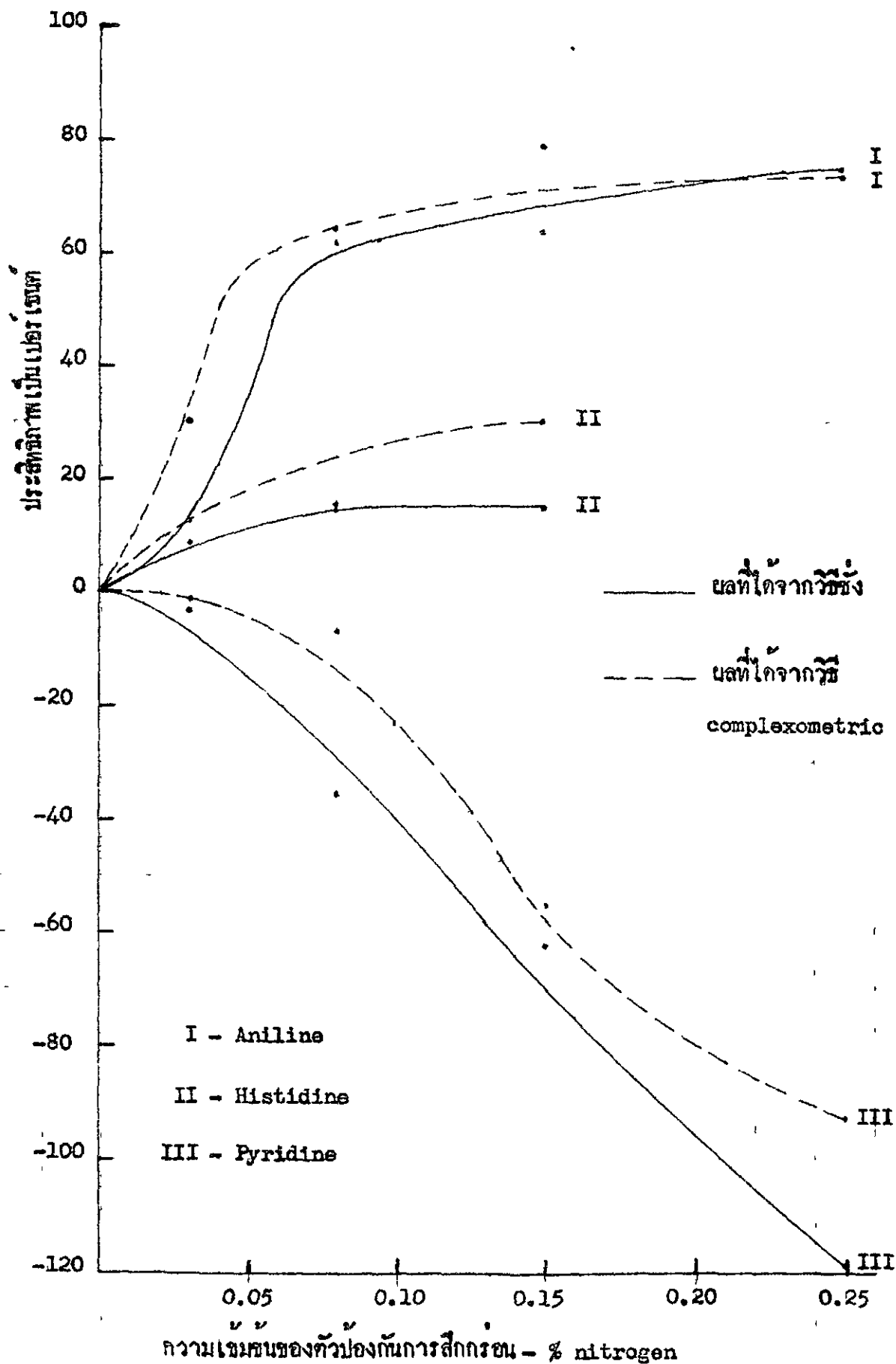
กราฟ 15. ประสิทธิภาพของสารที่มีต่อการตรึงไนโตรเจนของทองแดงใน
hydrochloric acid 0.02 M



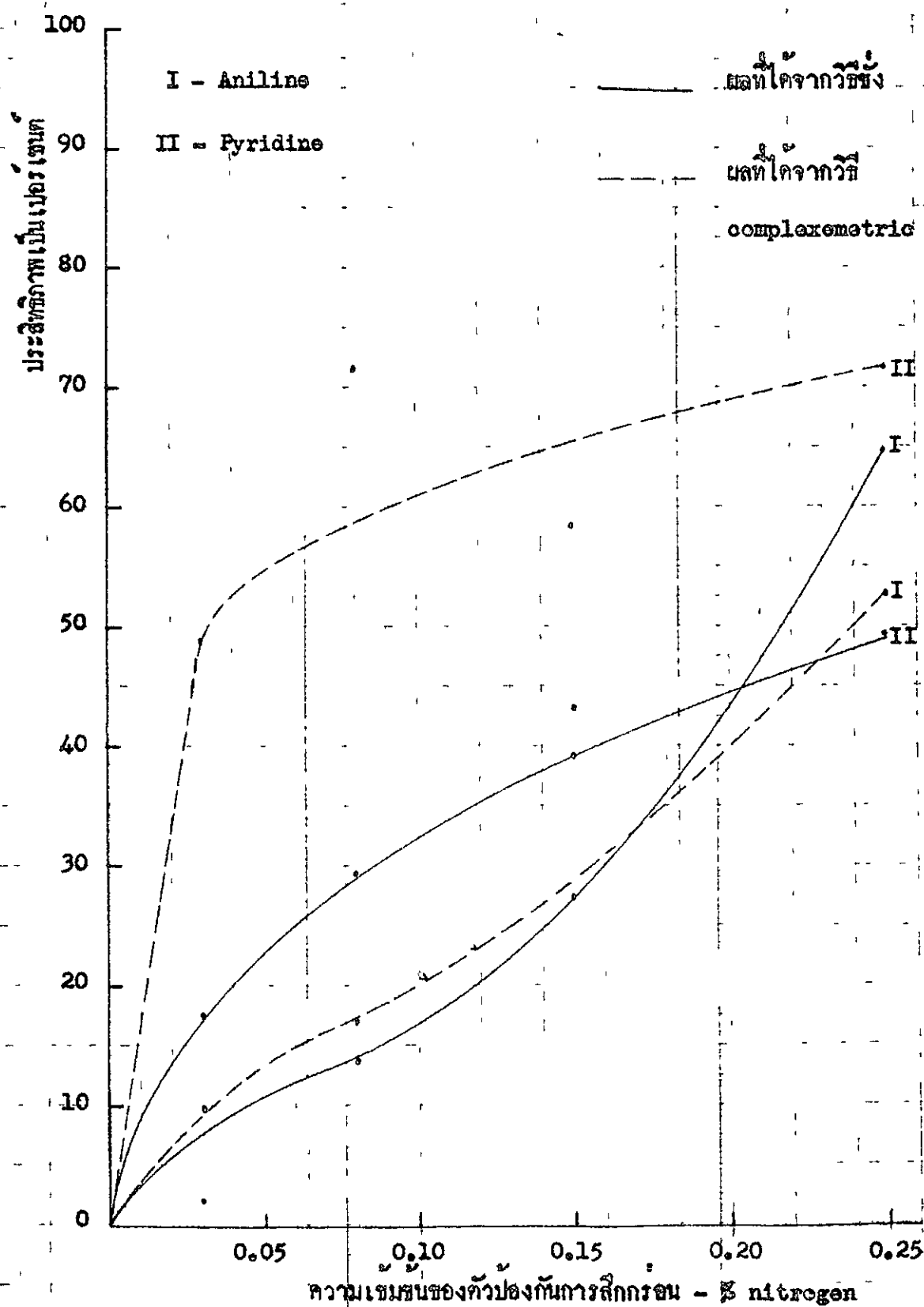
กราฟ 16. ประสิทธิภาพของสารที่ป้องกันการสึกกร่อนของทองแดงใน
hydrochloric acid 0.10 M



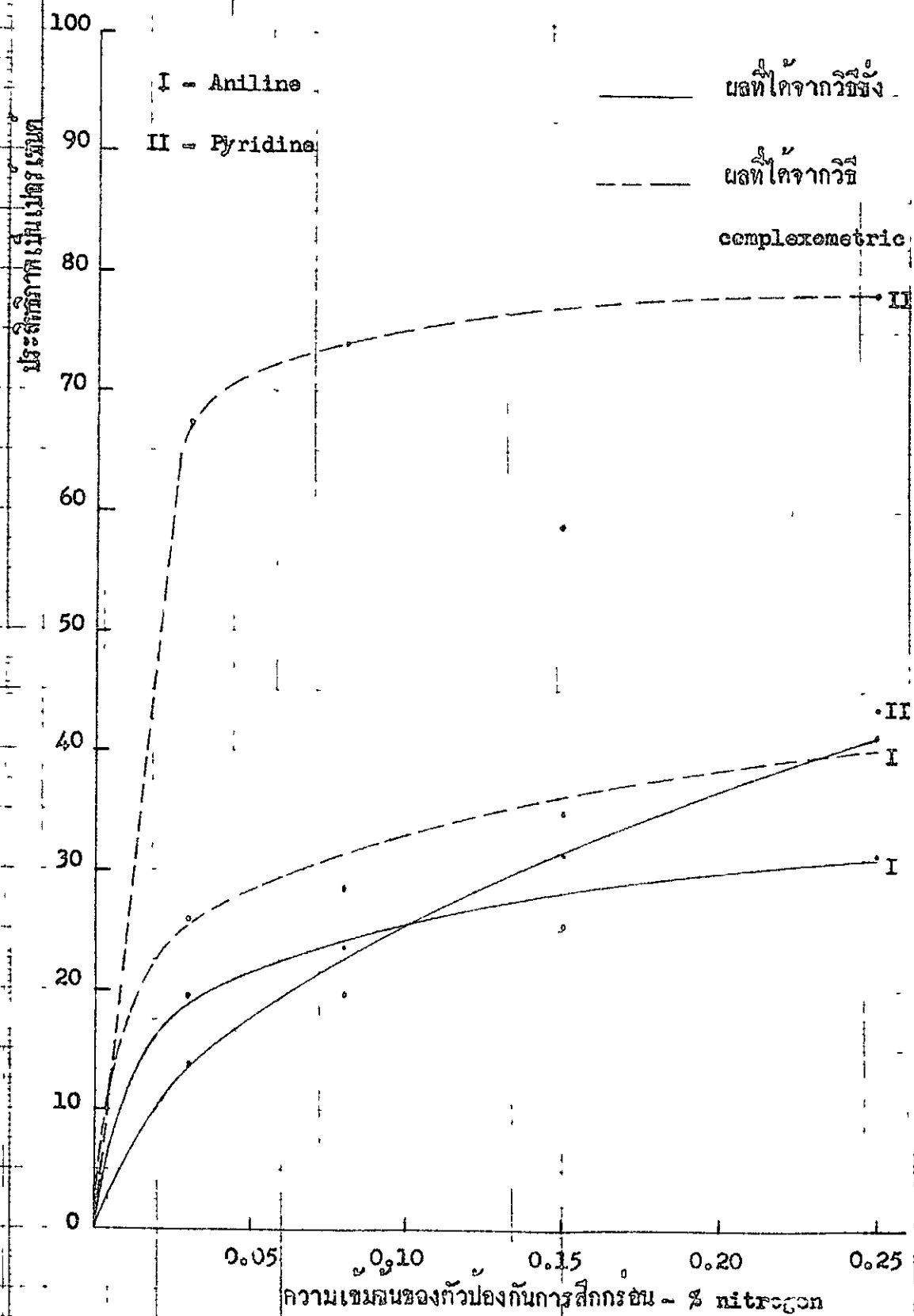
กราฟ 17. ประสิทธิภาพของสารที่ป้องกันการสีกกรณของทองแดงใน
hydrochloric acid 0.50 M



กราฟ 18. ประสิทธิภาพของสารที่มีต่อการสีกรรณของทองแดงใน
sulfuric acid 0.50 M



กราฟ 19. ประสิทธิภาพของสารที่มีต่อการสึกกร่อนของทองแดง
ใน sulfuric acid 0.10 M



กราฟ 20. ประสิทธิภาพของสารที่ทำการสีกรรณของทองแดง

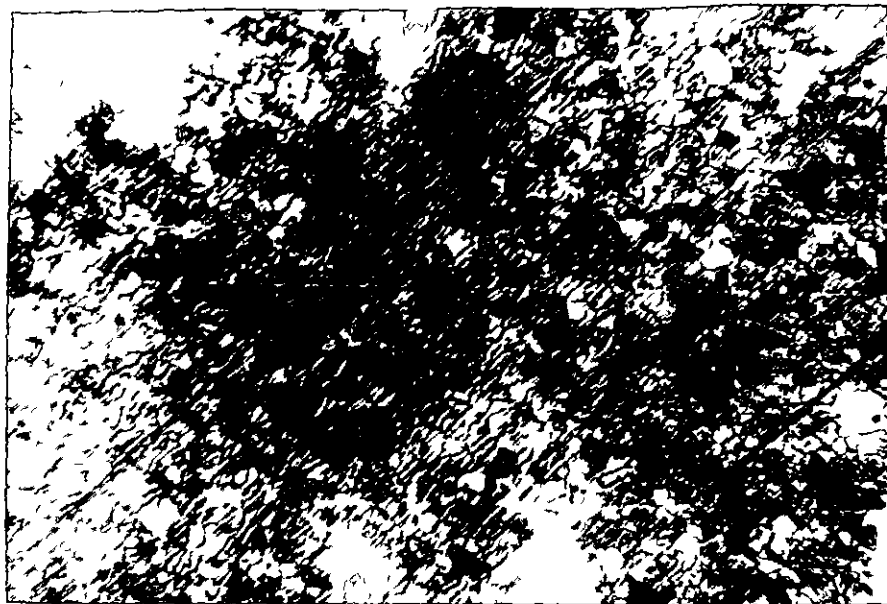
ใน sulfuric acid 0.50 M

ภาคผนวก ก.

วิธีฝึกโลหะตัวอย่างและภาพแสดงโครงสร้างของโลหะ

วิธีขึ้นโลหะตัวอย่าง (Mount sample)

1. วางชิ้นโลหะตัวอย่างให้พื้นผิวของโลหะอยู่ในแนวระนาบบน mold base
 2. หมุน valve handle ให้คลายออกเพื่อให้ mold base หมุนลงที่เดิม
 3. ใส่สารที่จะ mold (bakalite) ลงใน mold cylinder พอสมควร
 4. สวม mold closure assembly ลงใน mold cylinder แล้ว seal
 5. หมุน valve handle ให้แน่น
 6. โยกให้ความดันขึ้นสูงถึง 4200 psi
- ขณะที่สารกำลังละลาย ความดันจะลดลง ต้องคอยระวังโยกให้ความดันอยู่ในระดับเดิม จนกว่าจะใช้ได้
7. ทิ้งไว้ 15-20 นาที
 8. โยกความดันให้อยู่ที่ระดับ 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
 9. ถอด heater ออก ใส่ cool block รอบ mold cylinder ทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที
 10. หมุน valve handle ให้คลายออก เพื่อให้ mold base เคลื่อนลง
 11. หมุน release key แล้วยกออก
 12. โยก mold base ขึ้นมา



ภาพ 4. แสดงโครงสร้างของเหล็ก ขยาย 110 เท่า



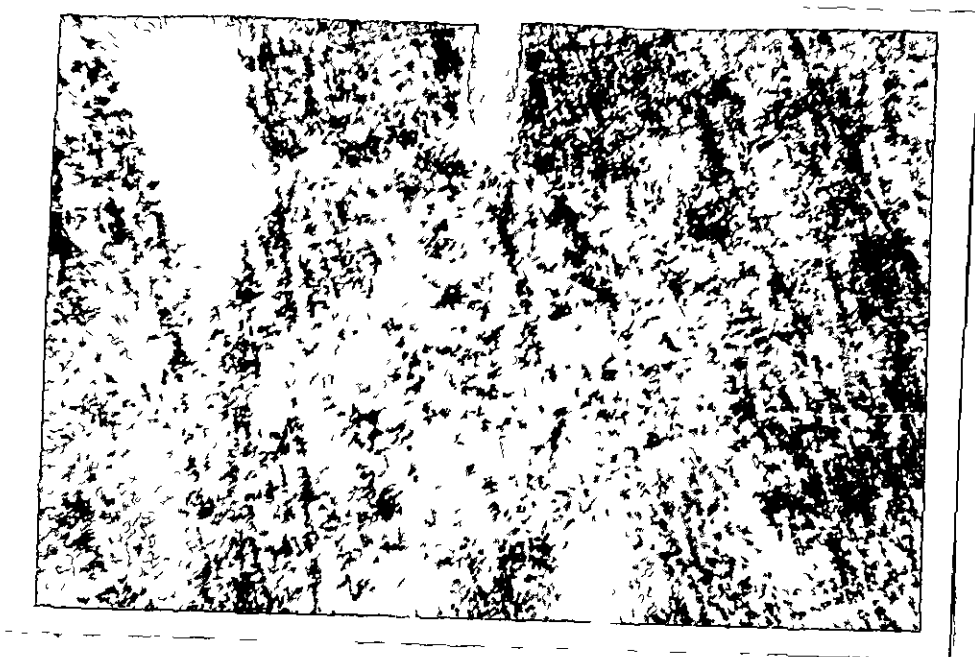
ภาพ 5. แสดงการเกิด oxide ของเหล็ก ขยาย 110 เท่า



ภาพ 6. แสดงโครงสร้างของอลูมิเนียม ออกไซด์ ขยาย 110 เท่า



ภาพ 7. แสดงการเกิด oxide ของอลูมิเนียม ออกไซด์ ขยาย 110 เท่า



ภาพ 8. แสดงโครงสร้างของทองแดง ขยาย 110 เท่า



ภาพ 9. แสดงการเกิด oxide ของทองแดง ขยาย 110 เท่า

ภาคผนวก ง.

น้ำหนักของสารที่เป็นตัวป้องกันการสึกกร่อน

ตาราง 136. ปริมาณ aniline ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกรอนของเหล็กใน hydrochloric acid

ความเข้มข้นของกรด, M	0.00 % N, g.	0.03 % N, g.	0.08 % N, g.	0.15 %N, g.	0.25 %N, g.
0.02	0.0000	1.5259	4.0714	7.6326	12.7202
0.10	0.0000	1.5293	4.0740	7.7226	12.7192
0.50	0.0000	1.5296	4.0690	7.6347	12.7250

ตาราง 137. ปริมาณ aniline ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกรอนของเหล็กใน sulfuric acid

ความเข้มข้นของกรด, M	0.00 %N, g.	0.03 %N, g.	0.08 %N, g.	0.15 %N, g.	0.25 %N, g.
0.02	0.0000	1.5272	4.0677	7.6323	12.7131
0.10	0.0000	1.5363	4.0689	7.6248	12.7235
0.50	0.0000	1.5296	4.0669	7.6311	12.7162

ตาราง 138. ปริมาณ phenylhydrazine ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกรอนของเหล็กใน hydrochloric acid

ความเข้มข้นของกรด, M	0.00 %N, g.	0.03 %N, g.	0.08 %N, g.	0.15 %N, g.	0.25 %N, g.
0.02	0.0000	0.8877	2.3639	4.4314	7.3836
0.10	0.0000	0.7535	2.3652	4.4297	7.3576
0.50	0.0000	0.8845	2.3633	4.4317	7.3852

ตาราง 139. ปริมาณ phenylhydrazine ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกร่อนของเหล็ก
ใน sulfuric acid

ความเข้มข้นของกรด, M	0.00 %N, g.	0.03 %N, g.	0.08 %N, g.	0.15 %N, g.	0.25 %N, g.
0.02	0.0000	0.8843	2.3654	4.4330	7.3848
0.10	0.0000	0.8865	2.3608	4.4297	7.3827
0.50	0.0000	0.8868	2.3610	4.4304	7.3847

ตาราง 140. ปริมาณ pyridine ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกร่อนของเหล็กใน
hydrochloric acid

ความเข้มข้นของกรด, M	0.00 %N, g.	0.03 %N, g.	0.08 %N, g.	0.15 %N, g.	0.25 %N, g.
0.02	0.0000	1.3520	3.3373	6.3341	10.6722
0.10	0.0000	1.3128	3.4282	6.3394	9.4546
0.50	0.0000	1.2886	3.3238	6.3150	10.6253

ตาราง 141. ปริมาณ pyridine ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกร่อนของเหล็กใน
sulfuric acid

ความเข้มข้นของกรด, M	0.00 %N, g.	0.03 %N, g.	0.08 %N, g.	0.15 %N, g.	0.25 %N, g.
0.02	0.0000	1.3052	3.3089	6.3861	10.6546
0.10	0.0000	1.3062	3.3944	6.3647	10.6666
0.50	0.0000	1.3265	3.4004	6.3371	10.6784

ตาราง 142. ปริมาณ aniline ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกร่อนของอะลูมิเนียมใน
hydrochloric acid

ความเข้มข้นของกรด, M	0.00 %N, g.	0.03 %N, g.	0.08 %N, g.	0.15 %N, g.	0.25 %N, g.
0.02	0.0000	1.5299	4.0790	7.6350	12.1901
0.10	0.0000	1.5945	4.0760	7.5835	13.2647
0.50	0.0000	1.5245	4.0757	7.6358	12.7155

ตาราง 143. ปริมาณ aniline ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกร่อนของอะลูมิเนียมใน
sulfuric acid

ความเข้มข้นของกรด, M	0.00 %N, g.	0.03 %N, g.	0.08 %N, g.	0.15 %N, g.	0.25 %N, g.
0.02	0.0000	1.5231	4.0679	7.6259	12.7198
0.10	0.0000	1.5263	4.0715	7.6334	12.7123
0.50	0.0000	1.5222	4.0719	7.6347	12.7237

ตาราง 144. ปริมาณ phenylhydrazine ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกร่อนของ
อะลูมิเนียม hydrochloric acid

ความเข้มข้นของกรด, M	0.00 %N, g.	0.03 %N, g.	0.08 %N, g.	0.15 %N, g.	0.25 %N, g.
0.02	0.0000	0.8900	2.3633	4.4313	7.3809
0.10	0.0000	0.8847	2.3630	4.4328	6.8848
0.50	0.0000	0.8859	2.3631	4.4320	7.3857

ตาราง 145. ปริมาณ phenylhydrazine ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกร่อนของ
อะลูมิเนียมใน sulfuric acid

ความเข้มข้นของกรด, M	0.00 %N, g.	0.03 %N, g.	0.08 %N, g.	0.15 %N, g.	0.25 %N, g.
0.02	0.0000	0.8881	2.3645	4.4354	7.3858
0.10	0.0000	0.8884	2.3606	4.4302	6.8803
0.50	0.0000	0.8849	2.3628	4.4304	7.3844

ตาราง 146. ปริมาณ pyridine ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกร่อนของอะลูมิเนียมใน
hydrochloric acid

ความเข้มข้นของกรด, M	0.00 %N, g.	0.03 %N, g.	0.08 %N, g.	0.15 %N, g.	0.25 %N, g.
0.02	0.0000	1.2890	3.3531	6.3933	10.5943
0.10	0.0000	1.3593	3.3757	6.3938	10.6916
0.50	0.0000	1.2397	3.3770	6.3558	10.5947

ตาราง 147. ปริมาณ pyridine ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกร่อนของอะลูมิเนียมใน
sulfuric acid

ความเข้มข้นของกรด, M	0.00 %N, g.	0.03 %N, g.	0.08 %N, g.	0.15 %N, g.	0.25 %N, g.
0.02	0.0000	1.2949	3.3650	6.4174	10.7234
0.10	0.0000	1.2942	3.4771	6.3929	10.6111
0.50	0.0000	1.2545	3.3470	6.3636	10.6257

ตาราง 148. ปริมาณ aniline ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของทองแดงใน
hydrochloric acid

ความเข้มข้นของกรด, M	0.00 %N, g.	0.03 %N, g.	0.03 %N, g.	0.15 %N, g.	0.25 %N, g.
0.02	0.0000	1.5230	4.0705	7.6232	12.7000
0.10	0.0000	1.5274	4.0693	7.6303	12.7172
0.50	0.0000	1.5057	4.0704	6.6367	12.7199

ตาราง 149. ปริมาณ aniline ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของทองแดงใน
sulfuric acid

ความเข้มข้นของกรด, M	0.00 %N, g.	0.03 %N, g.	0.03 %N, g.	0.15 %N, g.	0.25 %N, g.
0.02	0.0000	1.5230	4.0690	7.6275	12.7230
0.10	0.0000	1.5260	4.0765	7.6314	12.7134
0.50	0.0000	1.5253	4.0773	7.6363	12.7232

ตาราง 150. ปริมาณ histidine ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกกร่อนของทองแดงใน
hydrochloric acid

ความเข้มข้นของกรด, M	0.00 %N, g.	0.03 %N, g.	0.03 %N, g.	0.15 %N, g.	0.25 %N, g.
0.02	0.0000	0.8639	2.2064	4.3291	..
0.10	0.0000	0.8401	-	4.3307	-

ตาราง 151. ปริมาณ histidine ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกกรวนของทองแดงใน
sulfuric acid

ความเข้มข้นของกรด, M	0.00 %N, g.	0.03 %N, g.	0.08 %N, g.	0.15 %N, g.	0.25 %N, g.
0.02	0.0000	0.3909	2.3097	4.3251	-

ตาราง 152. ปริมาณ pyridine ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกกรวนของทองแดงใน
hydrochloric acid

ความเข้มข้นของกรด, M	0.00 %N, g.	0.03 %N, g.	0.08 %N, g.	0.15 %N, g.	0.25 %N, g.
0.02	0.0000	1.2888	3.4277	6.3776	10.6762
0.10	0.0000	1.3166	3.4318	6.3971	10.6735
0.50	0.0000	1.2039	3.4315	6.3912	10.5932

ตาราง 153. ปริมาณ pyridine ที่ใช้เป็นตัวป้องกันการสีกกรวนของทองแดงใน
sulfuric acid

ความเข้มข้นของกรด, M	0.00 %N, g.	0.03 %N, g.	0.08 %N, g.	0.15 %N, g.	0.25 %N, g.
0.02	0.0000	1.2669	3.4418	6.3644	10.6146
0.10	0.0000	1.2664	3.3280	6.3839	10.6146
0.50	0.0000	1.2723	3.3813	6.3751	10.7071

จะดูว่างานศึกษาค้นคว้าวิจัยของเราจะก้าวหน้าขึ้นหรือไม่ อย่างไร
ก็มีความยุติธรรมแน่นอน ท่านควรอธิบายความหมายของคำว่า "อะไรที่เราทำ"

นี่

มีแหล่งซึ่งของขอเสนอพิเศษเกี่ยวกับอาชีพที่ควรกล่าวเพิ่มเติมอีกสองสามอย่าง อย่างหนึ่ง
ก็อาจจะเป็นไปได้ที่จะศึกษาในโรงเรียนมัธยม ในวิทยาลัย หรือเรียนทางไปรษณีย์ ในวิชาซึ่ง
มีจุดหมายที่จะวิเคราะห์อาชีพต่าง ๆ อย่างมีระบบ นอกจากนั้นก็คือการหางานวิจัยที่น่าสนใจสำหรับ
ให้ความรู้ในงานด้านใดด้านหนึ่งโดยตรง บางทีในบางวันเราอาจเฝ้าดูคนงานในขณะที่กำลังทำงาน
ในอาชีพที่แตกต่างกันนับร้อย ๆ อาชีพโดยทางโทรศัพท์

ประการสุดท้ายมีวิธีตามตรง ๆ โดยส่งจดหมายถามขอเสนอแนะเฉพาะบางเรื่องที่ไม่อาจ
หาได้จากสิ่งพิมพ์ ไม่ควรใช้ "แบบสอบถาม" เพราะส่วนมากจะไม่ได้อธิบาย แต่จดหมายที่เขียนอย่าง
ระมัดระวังเกือบทั้งหมดจะตอบว่าจะได้รับคำตอบ

เมื่อท่านสืบค้นอาชีพต่าง ๆ ท่านอาจพบว่าของเสนอพิเศษที่ได้จากแหล่งที่ได้กล่าวมาข้างต้น
ควรจะเชื่อถือได้ เป็นสิ่งน่าสงสัยว่าการศึกษาศึกษาอาชีพไปตามขั้นตอนตามกรรมจะให้ประโยชน์มาก ไม่
มีนักที่ทุกคนจะสะดุดโดยอุบัติเหตุเข้าไปในสถานการณ์ซึ่งให้ข้อเสนอแนะทางอาชีพที่เขาแสวงหาอยู่
อย่างถูกต้อง การวางแผนการและโปรแกรมที่แน่นอนในการศึกษาอาชีพเป็นสิ่งจำเป็น และหลังจาก
การตัดสินใจว่าท่านต้องการหาอะไรเกี่ยวกับอาชีพ ท่านควรจะสมมุติตนเป็นนักสืบผู้เชี่ยวชาญ
และ "จับข้อเท็จจริง" ให้ได้