

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์. วิศวกรรมการบำบัดน้ำเสีย .(พิมพ์ครั้งที่ 2).

กรุงเทพมหานคร: มิตรเจริญการพิมพ์,2535.

วิจัยโลหะและพัสตศาสตร์,สถาบัน . **Implementation of pilot project acid recovery from spent pickling activities in the metal finishing industry** .กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

ภาษาอังกฤษ

Ernst Oswald and Udo Theilen. **Identification and evaluation of Technical measures for minimization and treatment of waste in the Metal pickling industry**. Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH Eschborn, Federal republic Germany, 1996.

James M. Douglas. **Conceptual design of chemical processes**. Mc Graw Hillbook company,1998.

Karbanda, O.P. **Process Plant and Equipment Estimating** . Bombay: (Sevak Publication),1978.

Lang,H.J. Chemical Engineer. **Simplified approach to preliminary cost Estimates**.(n.p.),1948.

Marshall S.T. **Treatment of spent hydrochloric acid pickling liquor for recovery of hydrochloric acid**. Pollutant Removal Handbook. United States,1973.

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลการสำรวจโรงงาน

ตารางที่ ก.1 แสดงปริมาณการใช้ลวดเหล็กและกรดไฮโดรคลอริก

บริษัท	นน.ของเหล็ก (ตัน/ปี)	35% HCl (ตัน/ปี)	กก. 35% HCl ตันของเหล็ก
บริษัท แผ่นเหล็กวิลาสไทย จำกัด	150,000 tin plated	192	1.28
	120,000 chromated	156 98% H_2SO_4	1.3
บริษัท สังกะสีไทย จำกัด	23,000	80	3.48
บริษัท ไทยแลนด์ไอออนเวียร์ จำกัด	60,000	72	1.2
บริษัท ไทยสะเปเชิลไวร์ จำกัด	90,000	420	4.7
บริษัท กรุงเทพสลักภัณฑ์ จำกัด	24,000	1200	50.0
บริษัท ปิติสติล จำกัด บริษัท	7,200	204	28.3
สยามสตีล ไลฟ์ จำกัด	36,000	960	26.7
บริษัท ไทยไวร์โปรดัก จำกัด	12,000	48	4
รวม	552,000	3176t 35% HCl	

ตารางที่ ก.2 แสดงสถานะของ pickling solution

บริษัท	สารละลายกรดที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน				สารละลายกรดที่ผ่านการใช้งานแล้ว			
	HCl g/l	Fe ²⁺ g/l	อุณหภูมิ °C	เวลาที่ใช้	HCl g/l	Fe ²⁺ g/l	อุณหภูมิ °C	เวลาที่ใช้
บริษัท แผ่นเหล็กวิลาสไทย จำกัด	25	7.5	50	5 sec	n.a.	n.a.	50	5 sec
บริษัท สังกะสีไทย จำกัด	30	n.a.	50	2 sec	n.a.	n.a.	50	2 sec
บริษัท ไทยแลนด์ไอออนเวียร์ จำกัด	70	n.a.	60	n.a.	n.a.	n.a.	60	n.a.
บริษัท ไทยสะเปเชิลไวร์ จำกัด	143	n.a.	60	25 min	50	83.3	60	25 min
บริษัท กรุงเทพสติกกันท์ จำกัด	175	< 1	30	30 min	50	n.a.	30	50 min
บริษัท ปิติสติล จำกัด	90	< 1	30	20 min	30	n.a.	30	40 min
บริษัท สยามสตีลไพพ์ จำกัด	200	< 1	30	15 min	80	n.a.	30	30 min
บริษัท ไทยไวร์โปรดัก จำกัด	200	< 1	30	15 min	40	n.a.	30	40 min

ตารางที่ ก.3 แสดงปริมาณการสูญเสียกรดไฮโดรคลอริก

บริษัท	35 %HCl ที่เติม ตัน/เดือน (1)	HCl เริ่มต้น กรัม/ลิตร (2)	ปริมาตรpickling ลบ./เดือน (3)	HCl ที่ใช้งานแล้ว กรัม/ลิตร (4)	การสูญเสีย 100%HCl กก./เดือน (5)	การสูญเสีย 35%HCl ตัน/เดือน (6)	การสูญเสียกรด อิสระ % (7)
บริษัท แผ่นเหล็ก วิลาศไทย จำกัด	16	25	224	15	3360	10	62.5
บริษัท สังกะสีไทย จำกัด	6.7	30	78	20	1560	4.5	67.2
บริษัท ไทยแลนด์ ไอออนเวียร์ จำกัด	6	70	30	50	1500	4.3	71.1
บริษัท ไทยสะเป เซียลไวร์ จำกัด	35	190	64	50	3200	9	25.7
บริษัท กรุงเทพ สติกมันซ์ จำกัด	100	175	200	50	10000	29	29.0
บริษัท ปิคิสติล จำกัด	17	90	66	30	1980	6	35.3
บริษัท สยาม สตีลไพพ์ จำกัด	80	200	140	80	11200	32	40.0
บริษัท ไทยไวร์ โปรดัก จำกัด	4	200	7	40	280	0.8	20.0

หมายเหตุ

- 1) ปริมาตร pickling เริ่มต้น = $\frac{(1)*350}{(2)}$
- 2) การสูญเสีย 100%HCl = $(3)*(4)$
- 3) การสูญเสีย 35%HCl = $\frac{(5)}{350}$
- 4) การสูญเสียกรดอิสระ = $\frac{(6)*100}{(1)}$

ซึ่ง 350 = $[350 \text{ กก.ของ } 100\% \text{HCl}] / [1 \text{ ตันของ } 35\% \text{ HCl}]$

ภาคผนวก ข.

ศึกษาระบบการฟื้นฟูน้ำกรด (Acid recovery system)

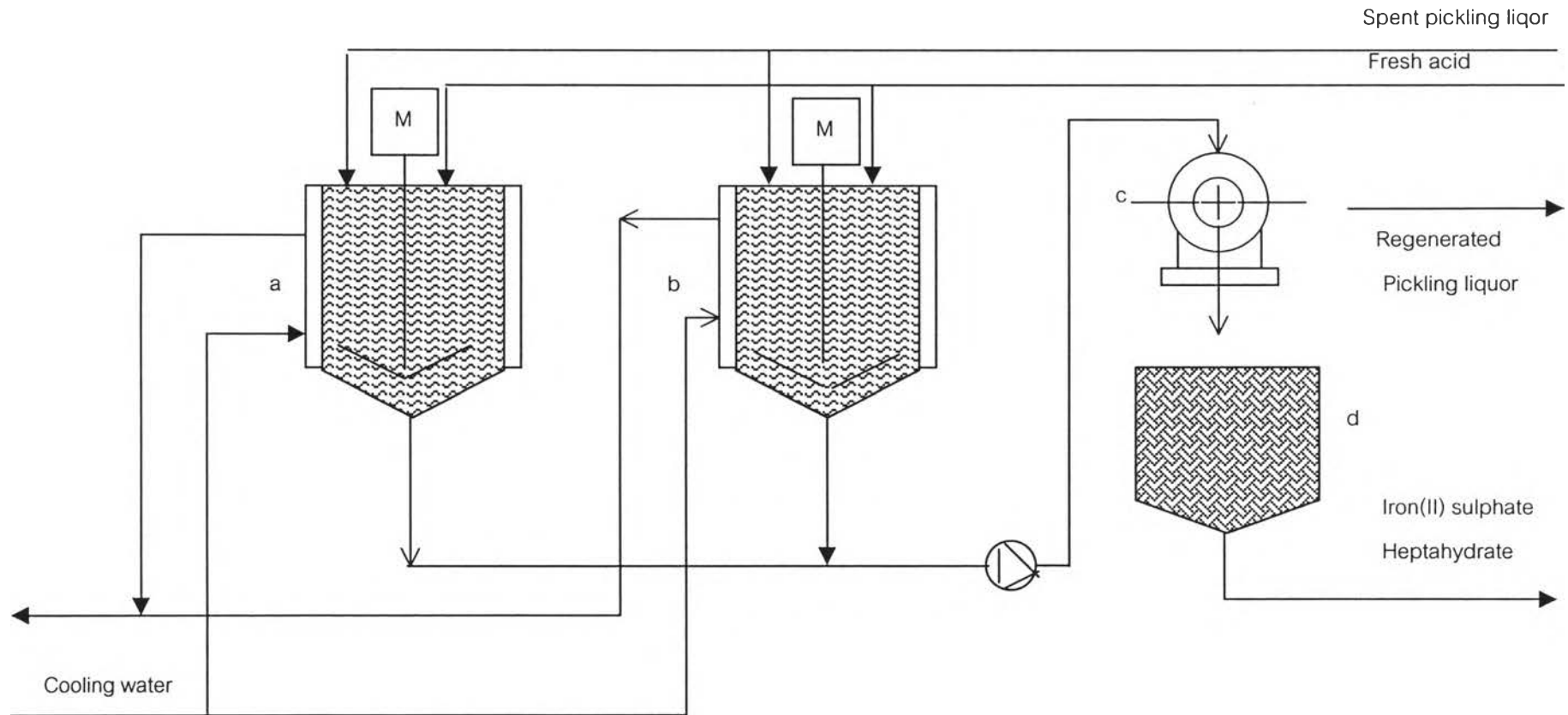
หน่วยงาน IP (Institute fur Prjektplaming GmbH Stuttgart Germany) และกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้ทำการศึกษาดังกล่าวถึงวิธีการต่างๆ ที่จะ Regenerate น้ำล้างกรด เพื่อนำน้ำกรดกลับมาใช้ใหม่ ในปี 2537 ดังนี้

การเลือกใช้วิธีการฟื้นฟูน้ำกรด(recovery acid)

1. การตกผลึก (Crystallization)

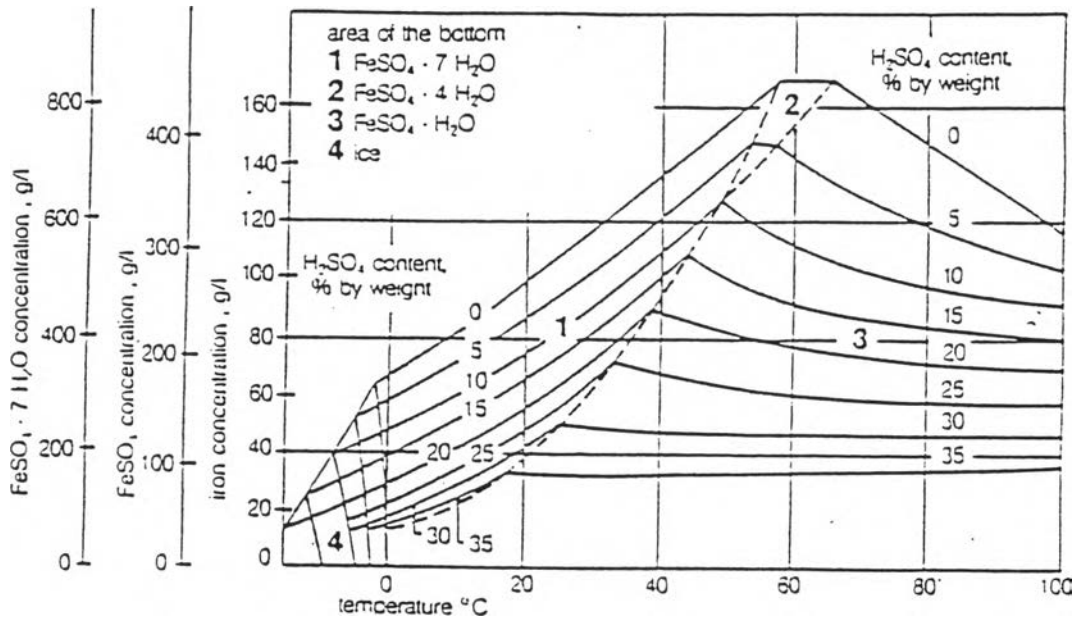
การตกผลึกขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของการละลายของสารละลายซึ่งก็คือ sulphuric acid และ iron sulfate ตามปกติสารละลาย pickling โดยทั่วไป สำหรับสนิมเหล็กที่มีปริมาณไอออนของเหล็กสูงที่สถานะของอุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส จะประกอบด้วย 150-250 g H₂SO₄/l และ 60-80 g Fe/l (Fe²⁺) เมื่อทำให้ pickling solution มีอุณหภูมิที่ +5 องศาเซลเซียส จะทำให้ iron sulfate ตกผลึกแล้วแยกออกโดย centrifuge จึงสามารถลดปริมาณเหล็กจาก 80 g Fe/l ลงเหลือประมาณ 30 g Fe/l ซึ่ง acid ที่ได้สามารถนำกลับมาใช้ในกระบวนการกำจัดสนิมเหล็กได้อีก สำหรับ iron sulfate FeSO₄ x 7H₂O สามารถแยกออกโดยใช้ chemical process อื่น

เมื่อนำวิธีนี้มาใช้กับ pickling solution ของบริษัท Thai Tin Plate Co.Ltd ซึ่งในสารละลายที่อุณหภูมิ + 60 องศาเซลเซียส ประกอบด้วย 80 g H₂SO₄/l และ 15-20 g Fe/l จะเห็นว่าความเข้มข้นของ Fe ต่ำมากไม่สามารถทำการตกผลึกได้ ดังนั้นกรณีการตกผลึกนี้ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์กับ pickling ที่มีคุณลักษณะเช่นนี้ได้ (แผนผังสำหรับกระบวนการปรับสภาพกรดซัลฟูริก และกราฟแสดงการละลายของ Iron (II) sulfate ในสารละลายของ sulphuric acid แสดงดังรูปที่ ข.1และรูปที่ ข.2 ตามลำดับ)



รูปที่ ข.1 แผนผังแสดงกระบวนการปรับสภาพกรดซัลฟูริก

- a) crystallization tank I, b) crystallization tank II, c) centrifuge,
- d) collecting tank for iron (II)sulfate heptahydrate

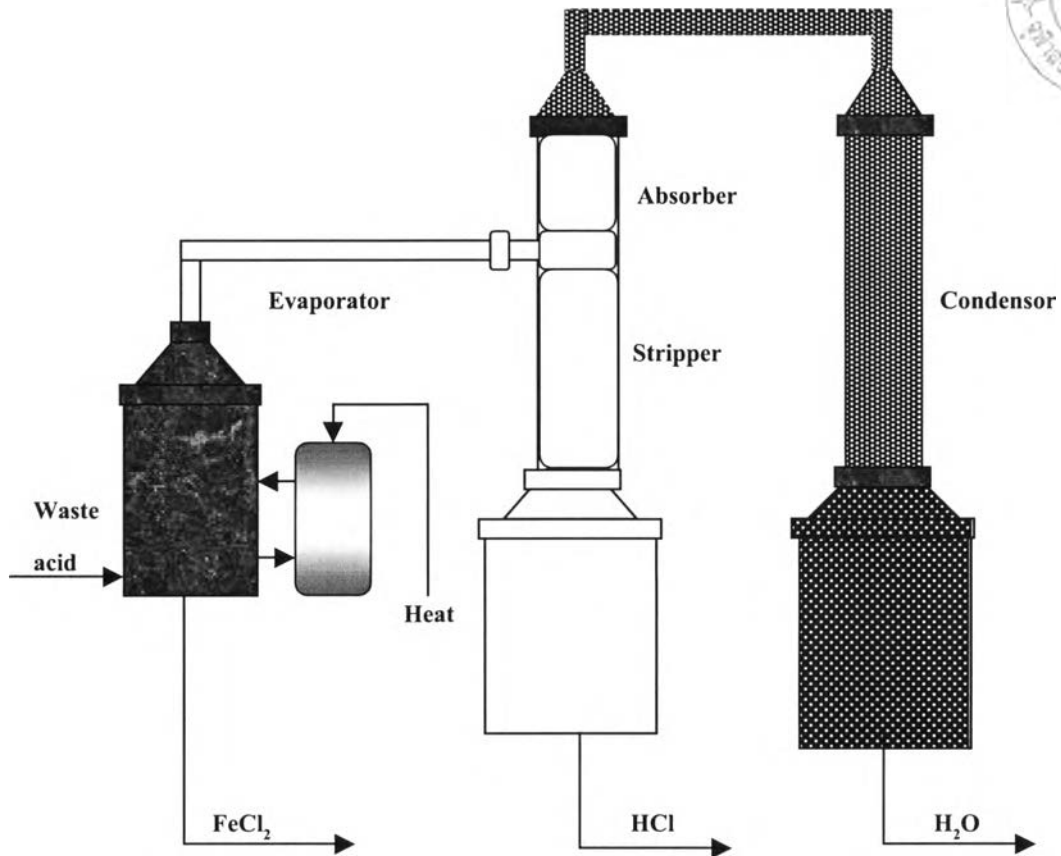


รูปที่ ข.2 กราฟแสดงการละลายของ Iron(II) sulfate
 ในสารละลายของ sulphuric acid

2. การระเหย (Evaporation)

เมื่อให้ความร้อนกับ pickling solution ซึ่งกรดที่ใช้คือ hydrochloric acid ที่อุณหภูมิ 120-125 องศาเซลเซียส สารละลายจะถูกระเหยออกไปเรื่อย ๆ โดย condensation ปริมาณกรดที่ระเหยไปทั้งหมดให้กลับคืนมา สำหรับส่วนสารละลายเข้มข้นที่เหลือจะเป็น iron hydroxide, $\text{Fe}(\text{OH})_2$ sludge นำไปฝังกลบยังหลุมนิรภัย สำหรับแผนผังการ recovery กรดไฮโดรคลอริก แสดงดังรูปที่ ข.3

โดยหลักการ คือสูบลำสารละลายกรดเสียผ่านการกรองก่อนที่จะนำเข้า Evaporator สารละลายกรดจะถูกทำให้ร้อน จนกระทั่งน้ำและน้ำกรดระเหยไปเป็นไอ เหลือแต่สารละลายของ Metal chloride ที่เข้มข้น ไอที่ระเหยออกไปจะเข้าสู่ Absorption column สำหรับสารละลาย Metal chloride ที่เข้มข้นจะถูกสูบลำเข้าถึงเก็บกักเพื่อนำไปขายหรือกำจัดต่อไป



รูปที่ ข.3 แผนผังแสดงการ recovery กรดไฮโดรคลอริก

สำหรับไอกรด ไอน้ำ หลังจากผ่านการควบแน่นและผ่าน absorber แล้วจะนำเข้าสู่ Stripper reactor จากนั้นจะสูบเข้าสู่ Pickling tanks และไอน้ำที่หลงเหลือจาก absorber ให้นำเข้าสู่ Condensator ซึ่งน้ำที่ได้นี้จะนำไปใช้ป็นน้ำล้าง (Rinse water) ในกระบวนการล้างกรดที่ติดไปกับชิ้นงานต่อไป

3. Pyrohydrolysis

กระบวนการนี้ขึ้นอยู่กับ Thermal decomposition ของ spent pickling solution ซึ่งกรณีนี้กรดที่ใช้คือ hydrochloric acid กระบวนการนี้จะเป็นการ recovery free acid และ FeCl_2 ได้ 90% ผลที่ได้ก็คือจะใช้ fresh acid ในการเติมลงในสารละลาย pickling เพิ่มขึ้นเพียง 1% เท่านั้น เทคโนโลยีนี้จะใช้กับโรงงานขนาดใหญ่เท่านั้น สำหรับ residues ที่เหลือจาก thermal process จะเป็น ironoxide Fe_2O_3 ซึ่งจัดอยู่ในสาร

จำพวก non-hazardous สามารถนำไปใช้ในส่วนอื่นของโรงงานได้ สำหรับแผนผังการ regenerate โดยใช้ระบบ fluidized-bed pyrohydrolysis แสดงดังรูปที่ ข.4

สำหรับเทคโนโลยีนี้ไม่เหมาะสมกับการ recovery ของกรดในประเทศไทยด้วยสาเหตุ 2 ประการดังนี้

1. เทคโนโลยีนี้ยังไม่มีการพัฒนาใช้กับโรงงานขนาดเล็ก ปริมาณน้อยสุดของการ discharge ของ pyrohydrolysis plant มากกว่า 300 ลิตร ของ spent pickling solution/hour ซึ่งจะใช้กับโรงงานขนาดใหญ่เท่านั้น
2. ในการใช้ระบบของ pyrohydrolysis ใน central recovery plant สำหรับโรงงานขนาดเล็กโดยทั่วไปนั้น จะต้องวางโครงสร้างเป็นพิเศษเพื่อความปลอดภัยของการส่งผ่าน spent pickling solution เป็น hazardous substance ในปริมาณมาก ซึ่งยังไม่เคยมีระบบเช่นนี้เกิดขึ้นและปัจจุบันก็ยังไม่แนะนำให้ใช้

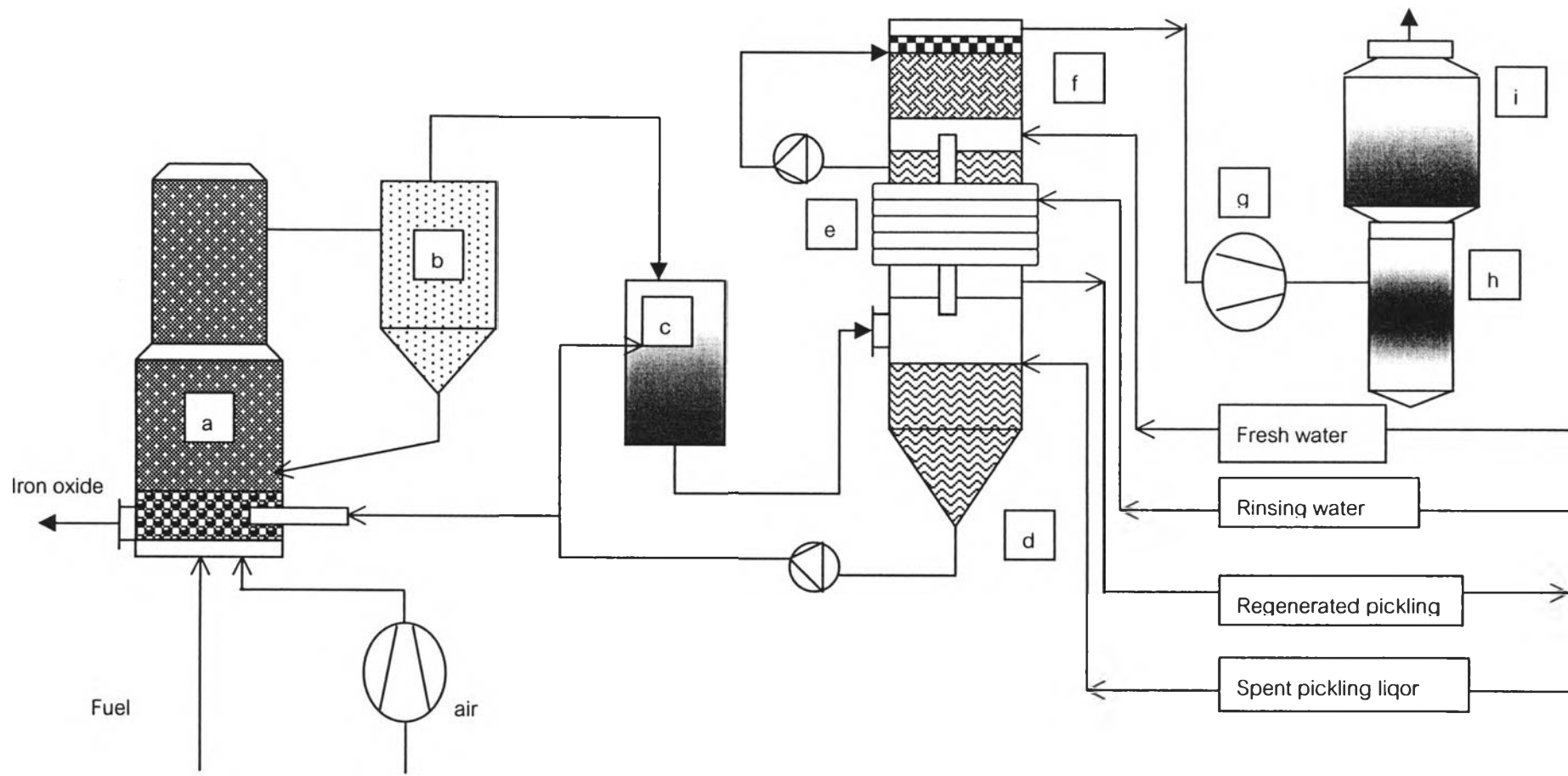
4. Retardation acid adsorption

ขบวนการรีทาร์เดชั่น (retardation process) สามารถที่จะฟื้นฟูสภาพของสารละลายของ pickling acid ไม่ว่าจะมีความเข้มข้นน้อยอย่างต่อเนื่อง เพื่อแยกสารโลหะละลายที่อยู่ใน pickling solution ซึ่งจะเป็นการสูญเสีย free acid ปริมาณ 20-30% เท่านั้น

ขบวนการ retardation นี้จะขึ้นอยู่กับผลทาง chromatography ของเรซิน ดังแสดงดังรูปที่ ข.5 โดยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนหลักของขบวนการดังนี้

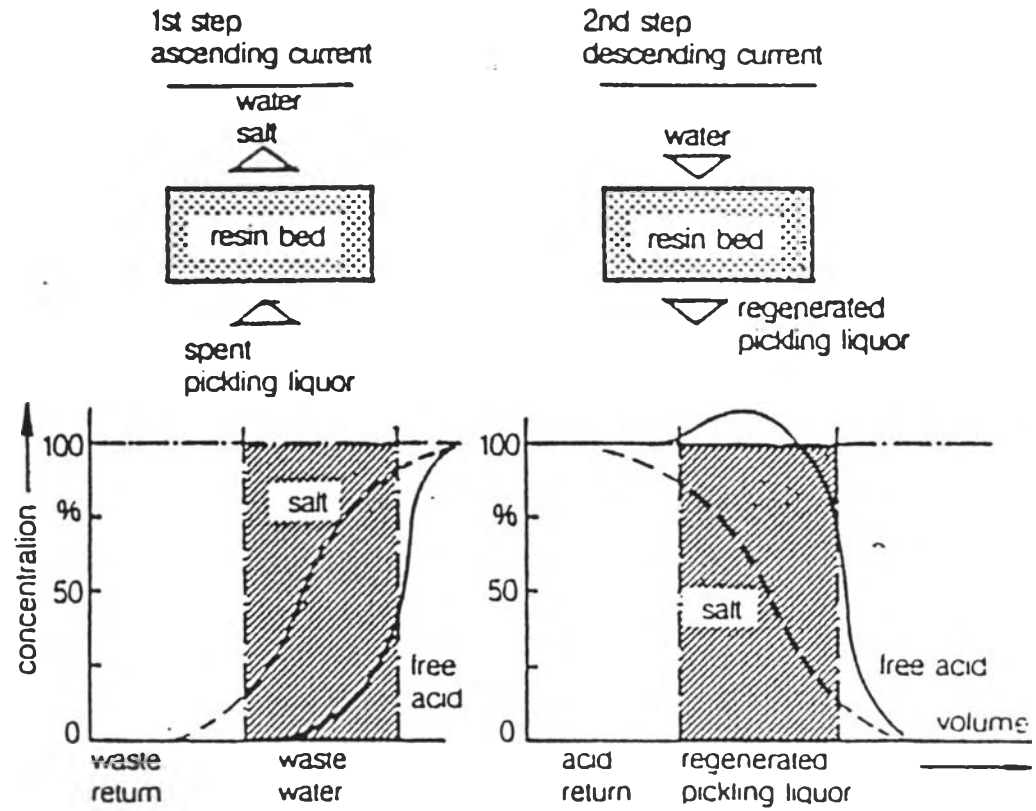
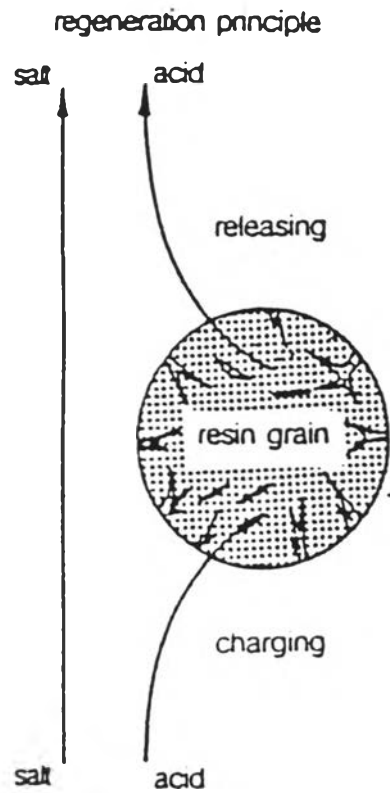
ขั้นตอนที่ 1

เมื่อนำ Spent pickling solution ผ่านเม็ดเรซิน เรซินจะดูดซับ free acid ไปได้ และ metal salt จะถูกปล่อยออกไปทำให้ใน solution จะมีความเข้มข้น metal salt สูงขึ้น ดังรูปในขั้นตอนแรกจะเห็นว่า curve แสดงความเข้มข้นของ salt เริ่มแรกจะคงที่ เมื่อเวลาผ่านไปซึ่งเรซินเริ่มเกิดการดูดซับ free mineral acid ทำให้เกิดการปลดปล่อย metal salt ตลอดเวลาทำให้ curve สูงขึ้น จนกระทั่งเมื่อ solution แยกตัว curve มีลักษณะที่มีแนวโน้มลดลง



รูปที่ ข.4 แสดงระบบ Fluidize-bed pyrohydrolysis

- a. Fluidized-bed reactor b. Cyclon c. Venturi scrubber d. Separating tank e. Absorber
 f. Scrubbing stage g. Off-gas blower h. Stake i. Mist collector j. Fluidizing air blower



รูปที่ ข.5 แสดง Chromatography ของเรซิน

ขั้นตอนที่ 2

การดำเนินงานจะใช้น้ำผ่านเรซินเพื่อชะล้าง free mineral acid ที่เรซินดูดซับอยู่ให้ปลดปล่อยออก จาก curve จะเห็นว่าในขั้นแรก curve สูงขึ้นซึ่งมีปริมาณ salt สูง แต่เมื่อเวลาผ่านไปซึ่ง salt mineral acid ได้ถูกดูดซับโดยเรซินแล้วแยก metal salt ออกแล้ว curve จะเริ่มลดลงจนต่ำสุดถึง 0 เนื่องจากปริมาณความเข้มข้นของ salt ได้แยกออกจากกรดหมดสิ้นแล้ว

สำหรับ Layout ของระบบ regeneration ประเภทนี้แสดงดังรูปที่ ข.6 โดยขั้นตอนแรก pickling solution จาก pickling bath จะถูกดูดเข้าถังกรองเพื่อ remove สารแขวนลอยที่มีขนาดของอนุภาคตั้งแต่ 0-0.05 มม. ขึ้นไปก่อนเข้าระบบ retardation กระบวนการนี้มีอัตราการ recovery สูงสุดประมาณ 70-80% และอายุการใช้งานของเรซินมากกว่า 5 ปีขึ้นไป

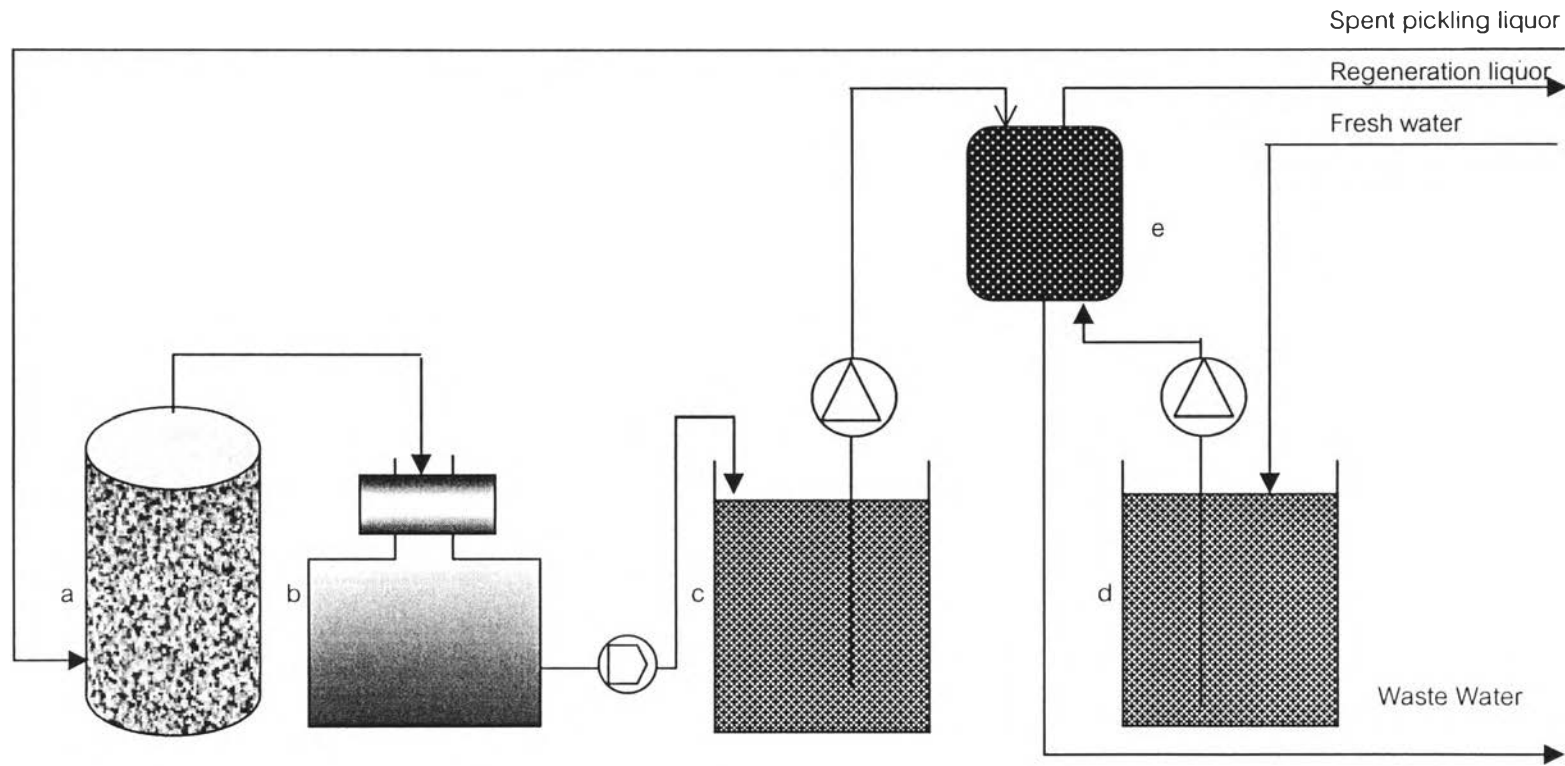
5. Retardation iron adsorption

หลักการงานอธิบายได้ทำนองเดียวกับหัวข้อที่ 4. แต่ในที่นี้จะเป็นการดูดซับ iron ซึ่งก็คือ anionic chloro-complex (FeCl_4^-) โดย strong basic ion-exchanger เมื่อเรซินดูดซับ iron ไว้ก็จะปลดปล่อย free acid ออกไป เรซินดูดซับ iron ไว้เต็มที่แล้ว จะทำการ regenerate เรซินด้วยการใช้น้ำล้างเอา iron แล้วนำเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำทิ้ง

ความสามารถในการดูดซับของเรซิน 1 ลิตร ของเรซินประเภท M500 จะมีความสามารถในการดูดซับได้ 20 gm Fe/l ที่ความเข้มข้นของกรดต่ำสุดที่ 200 gm HCl/l สำหรับการ regenerate จะใช้น้ำในการล้างเรซิน 4 ลิตร ของน้ำต่อ 1 ลิตร ของเรซิน อายุการใช้งานของเรซินประมาณ 3 ปี

อัตราความเข้มข้นของเหล็กและกรดใน spent pickling solution ในวิธีนี้จะใช้ที่ 100 gm ของ Fe^{+2} /l และ 40 gm ของ HCl/l ตามลำดับ การทำงานของวิธีนี้จะใช้ได้ดีที่ปริมาณความเข้มข้นของ Fe^{+2} ใน solution สูงมาก ๆ ดังนั้นเรซินที่ต้องการใช้ในการแลกเปลี่ยน ion ต้องใช้ปริมาณมากเช่นกัน วิธีนี้จึงไม่มีการใช้กันมากเท่าใด

การเปรียบเทียบระบบการฟื้นฟูสภาพของน้ำกรดทั้ง 5 ระบบ แสดงดังตารางที่ ข.1 เมื่อเปรียบเทียบจากระบบของการ generate ที่กล่าวมาทั้ง 5 ระบบ ทั้ง



รูปที่ ข.6 แผนผังแสดงการ Regenerationโดยใช้ retardation process

a) precleaning of pickling liquor

b) buffer and cooling tanks

c) storage tank for pickling

d) storage tank for water

e) resin bed

ตารางที่ ข.1 Comparison of acid recovery systems

Type	available for	how it works	final product	energy consumption (per of spent pickling solution)	Consumption of chemicals (per of spent acid)	advantages	disadvantage
crystallization	H ₂ SO ₄	cooling of spent pickling solution down to 5 °C, separation of FeSO ₄ ·7H ₂ O salt crystals by screen centrifuge	reusable free acid, usable greensalt (FeSO ₄)	28 kW (difference in temperature is 70°C)	no	80 % recovery of free acid, neutralization requires less alkali, minimizes gypsum sludge	high investment costs, residue: ironsulfate salt applicable to more than 60 gFe/l, 150 gH ₂ SO ₄
evaporation	HCl	evaporation of HCl and H ₂ O from spent pickling (temp. up to 125°C) acid bath	reusable free acid, FeCl ₂ slurry waste	375 kW (difference in temperature is 90 °C)	no	90 % recovery of free acid, neutralization requires less alkali	high energy demand, residue: ironchloride
retardation acid adsorption	HCl, H ₂ SO ₄	adsorption of free acid on ion-exchanger-resin, FeCl ₂ and FeSO ₄ pass through, adsorbed free acid regenerated with water	reusable free acid, FeCl ₂ and FeSO ₄ waste	8 kW	3,5t water	low investment-, operation- and maintenance costs, space-saving. 80 % recovery of free acid	residue: ironchloride or ironsulfate
Retardation iron adsorption	HCl	oxidation Fe(II) to Fe(III) with H ₂ O ₂ or Cl ₂ , adsorption of FeCl ₄ anioncomplex by the ion-exchanger-resin, free acid passes through, Fe(III) cations regenerated with water	reusable free acid, FeCl ₂ and FeSO ₄ , waste	8 kW	20t demin. Water, 90 l H ₂ O ₂ 35 % : 0.19t HCl 35 %	low investment-, operation- and maintenance costs, space-saving. 80 % recovery of free acid	pretreatment by oxidation, residue: ironchloride
Pyro-hydrolysis	HCl	Heating, roasting, oxidation Fe(II) to Fe(III), condensation of chlorides as free acid and chemically fixed acid	chemically fixed acid and totally recovered free acid, non hazardous Fe ₂ O ₃	about 1400 kWh	air	total acid recovery 99 %, residue is not hazardous	high investment costs, space requirement, infrastructure problems, high energy demand

ด้านการลงทุนเปรียบเทียบแต่ละระบบ ความคล่องตัวในการ Operate ผลประโยชน์ที่ได้รับรวมทั้งความคุ้มค่าด้านการลงทุน จะได้ว่าระบบที่เหมาะสมที่สุดคือ Retardation acid adsorption process

ภาคผนวก ค.

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539)

ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535

เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 14 แห่งกฎกระทรวงฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ที่ระบุว่า “ห้ามระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงานเว้นแต่ได้ทำการอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างจนน้ำทิ้งนั้นมีลักษณะเป็นไปตามที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา แต่ทั้งนี้ต้องไม่ใช้วิธีทำให้เจือจาง (Dilution)” รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมจึงประกาศกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน ดังนี้

ข้อ 1 คำจำกัดความ

น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมที่จะระบายออกลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้หมายความรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงาน รวมทั้งจากกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรม โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในประกาศนี้

ข้อ 2 น้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- (1) ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) มีค่าไม่น้อยกว่า 5.5 และไม่มากกว่า 9.0
- (2) ทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids) ต้องมีค่าดังนี้

2.1 ค่า ทีดีเอส ไม่มากกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันตามที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงาน

อุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.2 น้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำที่มีค่าความเค็ม (Salinity) มากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า ทีดีเอส ในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่า ทีดีเอส ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำได้ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

(3) สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่เกิน 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

(4) โลหะหนักมีค่าดังนี้

4.1	ปรอท (Mercury)	ไม่มากกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.2	เซเลเนียม (Selenium)	ไม่มากกว่า 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.3	แคดเมียม (Cadmium)	ไม่มากกว่า 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.4	ตะกั่ว (Lead)	ไม่มากกว่า 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.5	อาร์เซนิก (Arsenic)	ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.6	โครเมียม (Chromium)	
4.6.1	Hexavalent Chromium	ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.6.2	Trivalent Chromium	ไม่มากกว่า 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.7	บาเรียม (Barium)	ไม่มากกว่า 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.8	นิกเกิล (Nickel)	ไม่มากกว่า 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.9	ทองแดง (Copper)	ไม่มากกว่า 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.10	สังกะสี (Zinc)	ไม่มากกว่า 5.00 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.11	แมงกานีส (Manganese)	ไม่มากกว่า 5.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

(5) ซัลไฟด์ (Sulphide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(6) ไซยาไนด์ (Cyanide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

- (7) ฟอรัลดีไฮด์ (Formaldehyde Compound) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (8) สารประกอบฟีนอล (Phenols Compound) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (9) คลอรีนอิสระ (Free Chlorine) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (10) เพสตีไซด์ (Pesticide) ต้องไม่มี
- (11) อุณหภูมิ ไม่มากกว่า 40 องศาเซลเซียส
- (12) สี ต้องไม่เป็นที่น่ารังเกียจ
- (13) กลิ่น ต้องไม่เป็นที่น่ารังเกียจ
- (14) น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ไม่มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (15) ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วัน ไม่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (16) ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen) ไม่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (17) ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) ไม่มากกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ 3 การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมตามข้อ 2 ให้ดำเนินการดังต่อไปนี้

(1) การตรวจสอบค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำทิ้ง ให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH Meter)

(2) การตรวจสอบค่า ทีดีเอส ให้ใช้วิธีการระเหยแห้ง ระหว่างอุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส ถึงอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ในเวลา 1 ชั่วโมง

(3) การตรวจสอบค่าแขวนลอย ให้ใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fibre Filter Disc)

(4) การตรวจสอบค่าโลหะหนัก ให้ใช้วิธีการดังนี้

4.1 การตรวจสอบค่าสังกะสี โครเมียม ทองแดง แคดเมียม แบเรียม ตะกั่ว นิกเกิล และแมงกานีส ให้ใช้วิธีอะตอมมิก แอบซอร์ปชัน สเปกโตรโฟโตเมตริก (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไดเร็กแอสไพเรชัน (Direct Aspiration) หรือวิธีพลาสมา อีมิตชัน สเปกโตรสโคปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี คัพเพิล พลาสมา (Inductively Coupled Plasma : ICP)

4.2 การตรวจสอบค่าอาร์เซนิก และเซเลเนียม ให้ใช้วิธีอะตอมมิก แอบซอร์ปชัน สเปกโตรโฟโตเมตริก (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไดเร็กแอสไพเรชัน (Direct Aspiration) หรือวิธีพลาสมา อีมิตชัน สเปกโตรสโคปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี คัพเพิล พลาสมา (Inductively Coupled Plasma : ICP)

4.3 การตรวจสอบค่าปรอท ให้ใช้วิธี ให้ใช้วิธีอะตอมมิก แอบซอร์ปชัน โคลด์ เวปเปอร์ เทคนิค (Atomic Absorption Cold Vapour Technique)

(5) การตรวจสอบค่าซัลไฟด์ ให้ใช้วิธีการไตเตรท (Titrate)

(6) การตรวจสอบค่าไซยาไนด์ ให้ใช้วิธีกลั่นและตามด้วยวิธีไพริดีน บาร์บิทูริกแอซิด (Pyridine-Barbituric Acid)

(7) การตรวจสอบค่าซัลไฟด์ ให้ใช้วิธีเทียบสี (Spectrophotometry)

(8) การตรวจสอบสารประกอบฟีนอล ให้ใช้วิธีกลั่น และตามด้วยวิธี 4-อะมิโนแอนติไพรีน (Distillation, 4-Aminoantipyrine)

(9) การตรวจสอบค่าคลอรีนอิสระ ให้ใช้วิธีไอโอดิเมตริก (Iodometric Method)

(10) การตรวจสอบค่าสารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ ให้ใช้วิธีแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas-Chrometography)

(11) การตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำ ให้ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ

(12) การตรวจสอบค่าน้ำมันและไขมัน ให้ใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน

(13) การตรวจสอบบีโอดี ให้ใช้วิธีอะไซด์ โมดิฟิเคชัน (Azide Modificstion) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกัน หรือวิธีการอื่นที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมให้ความเห็นชอบ

(14) การตรวจสอบค่าทีเคเอ็น ให้ใช้วิธีเจลดาล์ (Kjeldahl)

(15) การตรวจสอบค่าซีโอดี ให้ใช้วิธีย่อยสลาย โดยโปตัสเซียม ไดโครเมต (Potassium Dichromate digestion)

ข้อ 4 การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตามข้อที่ 3 จะต้องเป็นไปตามคู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย ของสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย หรือ Standard Methods for the Examination of Water Work and Wastewater ซึ่ง American Public Health Association, American Water Work Association และ Water Environment Federation ของสหรัฐอเมริกา ร่วมกันกำหนดไว้ด้วย

ประกาศ ณ วันที่ 14 มิถุนายน พ.ศ. 2539

ไชยวัฒน์ สิ้นสุวงศ์

(ไชยวัฒน์ สิ้นสุวงศ์)

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

ประกาศราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 113 ตอนที่ 52

ลงวันที่ 27 มิถุนายน 2539

ภาคผนวก ง.

ข้อมูลของโรงงานบริษัท ไทยสะพานเหล็ก จำกัด

ตารางที่ ง.1 แสดงอัตรากำลังผลิตสดเฉลี่ยของโรงงาน

เดือน	กำลังผลิต (กก.)			วัตถุดิบที่ใช้					
				ปริมาณสดเฉลี่ย (กก.)			ปริมาณกรดไฮโดรคลอริก(กก.)		
	2537	2538	2539	2537	2538	2539	2537	2538	2539
มกราคม	1,598,323	1,818,795	1,626,155	1,609,811	1,800,454	1,649,921	28,980	32,790	28,950
กุมภาพันธ์	1,145,079	1,880,223	2,021,630	1,155,403	1,866,665	2,065,735	22,430	27,590	28,370
มีนาคม	1,403,545	1,909,258	1,817,495	1,416,697	1,893,264	1,846,739	24,480	33,880	23,280
เมษายน	1,309,024	1,248,788	1,627,854	1,320,593	1,233,218	1,656,920	23,220	17,830	24,540
พฤษภาคม	1,549,790	1,963,682	1,815,655	1,558,747	1,843,878	1,836,991	30,540	28,200	35,230
มิถุนายน	1,308,202	2,010,748	1,501,575	1,324,764	1,987,360	1,525,891	29,380	28,360	30,430
กรกฎาคม	1,511,304	1,981,310	1,879,407	1,526,905	1,961,362	1,909,926	14,550	32,830	31,400
สิงหาคม	1,658,623	1,936,659	1,858,182	1,673,575	1,909,732	1,892,199	33,350	29,110	31,340
กันยายน	1,617,640	1,225,597	1,452,434	1,632,933	1,709,554	1,476,689	33,560	23,330	22,030
ตุลาคม	1,436,493	1,654,652	1,376,334	1,449,772	1,635,205	1,396,697	24,800	21,840	21,780
พฤศจิกายน	1,381,862	1,987,466	1,397,051	1,394,576	1,956,876	1,419,156	28,310	23,680	17,700
ธันวาคม	1,185,241	1,484,285	1,151,571	1,198,803	1,475,197	1,169,007	20,790	17,740	13,160

ตารางที่ ง.2 ปริมาณเหล็กที่เข้าโรงงานในปี 2537

เดือน	วัตถุดิบ (ลวดเหล็ก) (กก.)	ผลิตภัณฑ์ (ลวดเหล็กรีดเย็น) (กก.)	เหล็กที่สูญเสีย (กก.)
มกราคม	1,609,811	1,598,323	11,488
กุมภาพันธ์	1,155,403	1,145,079	10,324
มีนาคม	1,416,697	1,403,545	13,152
เมษายน	1,320,593	1,309,024	11,569
พฤษภาคม	1,558,747	1,549,790	8,957
มิถุนายน	1,324,764	1,308,202	16,562
กรกฎาคม	1,526,905	1,511,304	15,601
สิงหาคม	1,673,575	1,658,623	14,952
กันยายน	1,632,933	1,617,640	15,293
ตุลาคม	1,449,772	1,436,493	13,279
พฤศจิกายน	1,394,576	1,381,862	12,714
ธันวาคม	1,198,803	1,185,241	13,562
รวม	17,262,579	17,105,126	157,453

ตารางที่ ง.3 ปริมาณเหล็กที่เข้าโรงงานในปี 2538

เดือน	วัตถุดิบ (ลวดเหล็ก) (กก.)	ผลิตภัณฑ์ (ลวดเหล็กรีดเย็น) (กก.)	เหล็กที่สูญเสีย (กก.)
มกราคม	1,818,795	1,800,454	18,341
กุมภาพันธ์	1,880,223	1,866,665	13,558
มีนาคม	1,909,258	1,893,264	15,994
เมษายน	1,248,788	1,233,218	15,570
พฤษภาคม	1,863,682	1,843,878	19,804
มิถุนายน	2,010,748	1,987,360	23,388
กรกฎาคม	1,981,310	1,961,362	19,948
สิงหาคม	1,936,659	1,969,732	26,927
กันยายน	1,225,597	1,209,544	16,043
ตุลาคม	1,654,652	1,635,205	19,447
พฤศจิกายน	1,987,466	1,956,876	30,590
ธันวาคม	1,484,285	1,475,197	9,088
รวม	21,001,463	20,772,765	228,698

ตารางที่ ง.4 ปริมาณเหล็กที่เข้าโรงงานในปี 2539

เดือน	วัตถุดิบ (ลาวคเหล็ก) (กก.)	ผลิตภัณฑ์ (ลาวคเหล็กรีดเย็น) (กก.)	เหล็กที่สูญเสีย (กก.)
มกราคม	1,649,921	1,626,155	23,766
กุมภาพันธ์	2,065,735	2,021,630	44,105
มีนาคม	1,846,739	1,817,495	29,244
เมษายน	1,656,920	1,627,854	29,066
พฤษภาคม	1,836,991	1,815,655	21,336
มิถุนายน	1,525,891	1,501,575	24,316
กรกฎาคม	1,909,926	1,879,407	30,519
สิงหาคม	1,892,199	1,858,182	34,017
กันยายน	1,476,689	1,452,434	24,255
ตุลาคม	1,396,697	1,375,334	20,363
พฤศจิกายน	1,419,156	1,397,051	22,105
ธันวาคม	1,169,003	1,151,571	17,432
รวม	19,845,867	19,525,343	320,524

**ตารางที่ ๓.5 แสดงปริมาณการใช้กรด โซเดียมไฮดรอกไซด์ และผลิตภัณฑ์ที่ได้
ในปี 2536 และปี 2537 หน่วย: กิโลกรัม**

เดือน	2536			2537		
	สารเคมี		ผลิตภัณฑ์ ลวดเหล็ก	สารเคมี		ผลิตภัณฑ์ ลวดเหล็ก
	(35%) HCL	NaOH		(35%) HCL	NaOH	
มกราคม	27,460	13,710	1,768,673	28,980	21,530	1,598,323
กุมภาพันธ์	17,200	13,730	1,767,038	22,430	13,820	1,145,079
มีนาคม	29,060	18,750	1,971,776	24,480	11,520	1,403,545
เมษายน	26,590	14,670	1,704,145	23,220	12,170	1,309,024
พฤษภาคม	25,590	16,630	1,565,259	30,540	18,820	1,549,790
มิถุนายน	24,740	14,970	16,474,199	29,380	20,610	1,308,202
กรกฎาคม	28,720	14,200	1,809,352	14,550	15,750	151,304
สิงหาคม	24,630	15,580	2,186,848	33,350	15,820	1,658,623
กันยายน	21,760	19,640	1,740,574	33,560	16,460	1,617,640
ตุลาคม	20,140	20,660	1,133,476	24,800	26,480	1,436,493
พฤศจิกายน	20,830	18,280	1,200,672	28,310	16,240	1,381,862
ธันวาคม	22,160	18,970	1,730,845	20,790	10,610	1,185,241
รวม	288,880	199,790	20,225,857	314,390	199,830	17,105,126

**ตารางที่ ง.6 แสดงปริมาณการใช้กรดไฮโดรคลอริกและ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และผลิตภัณฑ์ที่
ได้ในปี 2538 และปี 2539 หน่วย:กิโลกรัม**

เดือน	2538			2539		
	สารเคมี		ผลิตภัณฑ์ ลวดเหล็ก	สารเคมี		ผลิตภัณฑ์ ลวดเหล็ก
	HCL (35%)	NaOH		HCL (35%)	NaOH	
มกราคม	32,790	22,840	1,800,454	28,950	17,510	162,6155
กุมภาพันธ์	27,590	12,060	1,866,665	28,370	15,530	2,021,630
มีนาคม	33,880	11,380	1,893,264	23,280	12,900	187,495
เมษายน	17,830	8,900	1,233,218	24,540	14,620	1,627,854
พฤษภาคม	28,200	15,350	1,843,878	35,230	16,260	1,815,655
มิถุนายน	28,360	9,380	1,987,360	30,430	11,240	1,501,575
กรกฎาคม	32,830	18,470	1,961,362	31,400	8,540	1,879,407
สิงหาคม	29,110	20,230	1,909,732	31,340	12,540	1,858,182
กันยายน	23,330	14,550	1,209,554	22,030	10,480	1,452,434
ตุลาคม	21,840	13,530	1,635,205	21,780	13,720	1,376,334
พฤศจิกายน	23,680	20,450	1,956,876	17,700	9,560	1,397,051
ธันวาคม	17,740	9,200	1,485,197	13,160	6,340	1,151,571
รวม	317,180	176,340	20,772,765	308,210	149,240	17,895,343

**ตารางที่ ง.7 แสดงปริมาณการใช้ 35 % HCl ปริมาณการใช้เหล็ก ในบ่อขจัดสนิมเหล็ก
ในปี 2535 หน่วย:กิโลกรัม**

เดือน	35 % HCl ที่เติม	กรดเสียที่ปล่อยทิ้ง	HCl ในกรดเสีย	Fe ²⁺ ในกรดเสีย
มกราคม	22,900	41,300	4,332	2,976
กุมภาพันธ์	27,700	36,000	2,855	2,837
มีนาคม	25,450	44,300	3,505	3,612
เมษายน	20,700	22,800	1,773	1,664
พฤษภาคม	23,200	24,500	1,363	2,217
มิถุนายน	30,700	36,100	1,871	3,137
กรกฎาคม	19,900	21,200	1,020	1,867
สิงหาคม	21,200	20,900	977	1,978
กันยายน	18,400	21,000	797	2,269
ตุลาคม	17,800	20,300	643	2,186
พฤศจิกายน	15,800	27,500	788	2,683
ธันวาคม	5,950	4200	213	1,058
รวม	24,9700	320,100	20,136	24,449

**ตารางที่ ๖.8 แสดงปริมาณการใช้ 35 % HCl ปริมาณการใช้เหล็ก ในบ่อขจัดสนิมเหล็ก
ในปี 2536 หน่วย: กิโลกรัม**

เดือน	35 % HCl ที่เติม	กรดเสียที่ปล่อยทิ้ง	HCl ในกรดเสีย	Fe ²⁺ ในกรดเสีย
มกราคม	20,300	28,700	1,042	2,993
กุมภาพันธ์	13,300	9,400	704	883
มีนาคม	19,600	30,700	754	2,186
เมษายน	14,100	18,500	565	2,186
พฤษภาคม	22,700	23,600	1,679	2,186
มิถุนายน	19,800	21,000	897	2,186
กรกฎาคม	24,400	23,800	1,331	2,186
สิงหาคม	24,000	24,500	1,177	2,186
กันยายน	20,000	15,300	564	2,186
ตุลาคม	14,900	26,800	826	2,186
พฤศจิกายน	19,800	23,900	1,645	2,186
ธันวาคม	16,200	19,300	1,250	2,186
รวม	22,9100	265,500	12,434	25,738

ตารางที่ ง.9 แสดงปริมาณการใช้ 35 % HCl ปริมาณการใช้เหล็ก ในบ่อขจัดสนิมเหล็ก
ในปี 2537 หน่วย:กิโลกรัม

เดือน	35 % HCl ที่เติม	กรดเสียที่ปล่อยทิ้ง	HCl ในกรดเสีย	Fe ²⁺ ในกรดเสีย
มกราคม	10,300	5,700	469	2,186
กุมภาพันธ์	19,500	21,900	1,700	2,186
มีนาคม	22,300	22,600	2,095	2,186
เมษายน	22,100	24,200	1,053	2,186
พฤษภาคม	19,600	10,900	549	1,177
มิถุนายน	17,050	19,600	1,208	2,462
กรกฎาคม	19,300	22,000	785	1,588
สิงหาคม	22,700	14,100	1,150	1,543
กันยายน	23,100	23,700	702	2,661
ตุลาคม	21,700	38,300	1,969	2,989
พฤศจิกายน	21,200	21,800	1,804	2,588
ธันวาคม	15,800	18,500	1,358	1,832
รวม	234,650	243,300	14,840	16,839

ตารางที่ ง.10 แสดงปริมาณการใช้ 35 % HCl ปริมาณการใช้เหล็กในบ่อขจัดสนิมเหล็ก
ในปี 2538 หน่วย:กิโลกรัม

เดือน	35 % HCl ที่เติม	กรดเสียที่ปล่อยทิ้ง	HCl ในกรดเสีย	Fe ²⁺ ในกรดเสีย
มกราคม	25,500	26,200	1,939	3,196
กุมภาพันธ์	15,600	9,300	1,095	860
มีนาคม	26,900	34,800	2,477	4,150
เมษายน	14,700	18,100	1,050	1,873
พฤษภาคม	25,900	35,300	2,367	2,508
มิถุนายน	27,000	22,700	1,612	2,225
กรกฎาคม	26,700	33,200	2,127	2,636
สิงหาคม	28,100	34,700	2,793	4,338
กันยายน	20,900	20,400	1,649	1,785
ตุลาคม	15,600	9,000	473	836
พฤศจิกายน	23,100	7,200	223	679
ธันวาคม	16,300	8,600	310	1,148
รวม	266,300	259,500	18,117	26,234

ตารางที่ ง.11 แสดงปริมาณการใช้ 35 % HCl ปริมาณการใช้เหล็ก ในบ่อขจัดสนิมเหล็ก
ในปี 2539 หน่วย:กิโลกรัม

เดือน	35 % HCl ที่เติม	กรดเสียที่ปล่อยทิ้ง	HCl ในกรดเสีย	Fe ²⁺ ในกรดเสีย
มกราคม	20200	28400	1477	1894
กุมภาพันธ์	26300	29500	1664	2773
มีนาคม	19900	9600	612	822
เมษายน	23400	21600	494	2166
พฤษภาคม	30700	42100	1077	3775
มิถุนายน	29000	30700	1668	2640
กรกฎาคม	29300	33900	2600	3543
สิงหาคม	29000	25600	1241	2186
กันยายน	21700	21500	896	2186
ตุลาคม	20300	19800	605	2154
พฤศจิกายน	18100	17100	746	1778
ธันวาคม	14900	16300	747	1583
รวม	282800	296100	13828	275000

**ตารางที่ ง. 12 แสดงการใช้กรด และ ปริมาณการใช้เหล็ก ในบ่อขจัดสนิมเหล็กในปี 2538
วิเคราะห์โดยบริษัท เอเชียัน พีเอสวี เคมีคอล**

วันที่	ปริมาณ (กก.)	% HCl	HCl (กก.)	Fe (กรัม/ลิตร)	Fe (กก.)
1 ก.พ. 2538	13,210	6.13	810	110	1135
3 มี.ค. 2538	13,050	4.50	705	105	1071
17 ม.ย. 2538	12,300	5.69	700	102	980
3 พ.ค. 2538	12,410	6.64	824	109	1057
10 พ.ค. 2538	10,840	5.26	570	94	796
29 พ.ค. 2538	9,160	5.69	464	102	650
13 มิ.ย. 2538	12,230	5.00	612	92	879
13 ก.ค. 2538	13,020	5.69	741	102	1038
19 ก.ค. 2538	12,120	5.69	690	102	966
1 ธ.ค. 2538	12,120	5.69	690	102	966
รวม	119,460	55.98	6,804	1020	9,537

**ตารางที่ ง.13 แสดงปริมาณการใช้กรด และปริมาณการใช้เหล็ก ในบ่อขจัดสนิมเหล็กในปี 2539
วิเคราะห์โดยบริษัท เอเชียน พีเอสวี เคมีคอล จำกัด**

เลขที่	วัน	ปริมาณ (กก.)	% HCl	HCl (กก.)	% FeCl ₂	น.น. FeCl ₂	Fe (กก.)
1	7 ก.พ. 2539	12,530.00	4.07	510	22	2,772	1,220
2	14 ก.พ. 2539	12,090.00	3.78	457	23	2,724	1,199
3	17 ก.พ. 2539	12,570.00	4.01	504	24	2,983	1,313
4	5 มี.ค. 2538	13,040.00	2.24	292	22	2,890	1,272
5	8 มี.ค. 2538	12,650.00	2.96	374	20	2,574	1,133
6	24 พ.ค. 2538	12,700.00	2.96	376	20	2,584	1,137
7	3 มิ.ย. 2538	10,920.00	2.96	232	20	2,584	978
8	28 มิ.ย. 2538	10,920.00	2.96	323	20	2,222	978
9	9 ก.ค. 2538	10,270.00	2.96	304	20	2,090	920
10	18 ก.ค. 2538	12,550.00	2.96	371	20	2,554	1,124
11	26 ก.ค. 2538	12,610.00	2.96	373	20	2,566	1,129
12	7 ส.ค. 2538	11,320.00	4.86	550	20	2,319	1,021
13	28 ส.ค. 2538	10,480.00	3.56	373	21	2,167	954
14	5 ก.ย. 2538	10,500.00	2.66	279	17	1,798	791
15	19 ก.ย. 2538	10,340.00	2.06	213	18	1,837	809
16	28 ก.ย. 2538	10,600.00	2.85	302	17	1,836	808
17	14 ต.ค. 2538	10,310.00	1.78	184	16	1,634	719
18	1 พ.ย. 2538	10,710.00	1.81	194	20	2,140	942
19	19 พ.ย. 2538	11,730.00	1.72	202	23	2,640	1,162
20	4 ธ.ค. 2538	9,430.00	3.21	294	22	2,106	927
รวม		228,280.00	59.33	6,800	405	35289	20,533

ตารางที่ ง.14 แสดงความเข้มข้นของกรดและเหล็ก ในน้ำเสีย
วิเคราะห์โดยศูนย์เครื่องมือวิเคราะห์

วันที่	[HCl] (กรัม/ลิตร)	[Fe ⁺⁺] (กรัม/ลิตร)
17 ก.พ. 2540	0.736	0.214
18 ก.พ. 2540	0.544	0.229
19ก.พ. 2540	0.530	0.242
20 ก.พ. 2540	0.610	0.320
24 ก.พ. 2540	0.300	0.128
25 ก.พ. 2540	0.140	0.091
26 ก.พ. 2540	0.390	0.200
27 ก.พ. 2540	0.570	0.297
28 ก.พ. 2540	0.350	0.235
3 มี.ค. 2540	0.105	0.048
4 มี.ค. 2540	0.420	0.194
6 มี.ค. 2540	0.800	0.265
เฉลี่ย	0.458	0.205

ตารางที่ ง.15 แสดงอัตราส่วนไอออนของเหล็กที่เกิดขึ้นต่อเหล็กทั้งหมด
โดยคำนวณจากปริมาณกรดที่ทำปฏิกิริยาใน 1 วันทำการ

ปี พ.ศ.	35% HCl ที่เติม (กก.)	กรดเสีย ปล่อยทิ้ง (กก.)	HCl ที่ ปล่อยทิ้ง (กก.)	HCl ใน น้ำเสีย (กก.)	HCl ที่ทำ ปฏิกิริยา (กก.)	Fe ²⁺ สมมูล (กก.)	Fe เข้า ระบบ (กก.)	Fe ²⁺ สมมูล/Fe
2535	291	1067	65	69	223	70	64147	0.00283
2536	337	885	41	69	227	73	68287	0.00263
2537	367	811	49	69	249	90	57542	0.00330
2538	370	865	60	69	241	84	70040	0.00254
2539	360	987	46	69	245	187	60720	0.00265

ตารางที่ ง.16 แสดงอัตราส่วนไอออนของเหล็กที่เกิดขึ้นต่อปริมาณเหล็กทั้งหมด
โดยคำนวณจากไอออนของเหล็ก

ปี พ.ศ.	น้ำกรดที่ ปล่อยทิ้ง (กก./วัน)	เหล็กไอออน ที่ปล่อยทิ้ง (กก./วัน)	เหล็กไอออน ในปอน้ำเสีย (กก./วัน)	ไอออนเหล็ก ที่ทำปฏิกิริยา (กก./วัน)	ไอออนเหล็ก ที่เข้าระบบ (กก./วัน)	Fe ²⁺ ที่ทำ ปฏิกิริยา/Fe ที่เข้าระบบ
2535	1067	95	31	126	64147	0.00202
2536	885	86	31	117	68287	0.00169
2537	811	85	31	116	57542	0.00202
2538	865	87	31	118	70040	0.00171
2539	987	92	31	122	60720	0.00188

**ตารางที่ ง.17 แสดงอัตราส่วนของไอออนของเหล็กที่เกิดต่อเหล็กทั้งหมด
โดยคำนวณจากปริมาณกรดที่ทำปฏิกิริยา**

ปี พ.ศ.	น้ำกรดเสีย (กก./วัน)	Fe ²⁺ ใน กรดเสีย (กก./วัน)	Fe ²⁺ ที่ทำให้ เป็นกลาง (กก./วัน)	Fe ²⁺ ที่ทำ ปฏิกิริยา (กก./วัน)	ลวดเหล็ก ที่ใช้ (กก./วัน)	Fe ²⁺ ที่ทำ ปฏิกิริยา/Feที่ใช้ (กก./วัน)
2538	398	32	108	139	70040	0.00299
2539	761	64	108	171	60720	0.00282

ภาคผนวก จ.

ประสิทธิภาพของระบบแลกเปลี่ยนประจุ

สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ทำการศึกษาโครงการนำร่องการนำน้ำกรดกลับมาใช้ใหม่ในอุตสาหกรรมรีดเหล็ก ซึ่งในที่นี่จะกล่าวเฉพาะการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแลกเปลี่ยนประจุและค่าใช้จ่ายสำหรับการนำน้ำกรดกลับมาใช้ใหม่โดยใช้ระบบเท (Batch Process) โดยการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแลกเปลี่ยนประจุนั้น ได้แสดงโดยเป็นเปอร์เซ็นต์การนำกรดกลับมาใช้ใหม่ และเปอร์เซ็นต์ของการแยกเหล็กไอออน ซึ่งสามารถหาค่าได้โดย

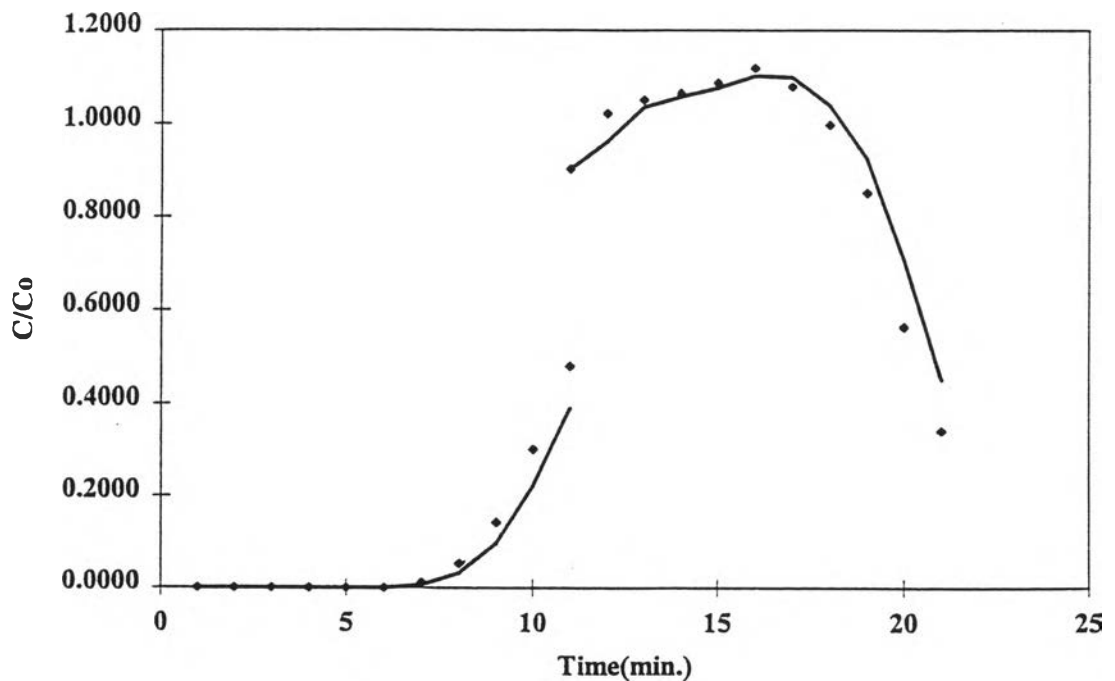
กำหนดค่าอัตราการไหลของน้ำกรดเพื่อทำการแลกเปลี่ยนประจุที่ 900 1,200 1,500 และ 1,800 ลิตรต่อนาที โดยความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก และเหล็กที่เกิดจากกระบวนการกำจัดสนิมเหล็กของโรงงาน จะอยู่ในช่วง 10 -160 กรัม/ลิตร และ 60-130 กรัม/ลิตร ตามลำดับ

ทำการเก็บตัวอย่าง 3 จุดดังนี้

1. เก็บตัวอย่างน้ำกรดจากบ่อขจัดสนิมเหล็กก่อนเข้าระบบแลกเปลี่ยนประจุ เพื่อคำนวณหาปริมาณความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก และปริมาณเหล็กไอออน ที่ไม่เกิดการแลกเปลี่ยนประจุ
2. เก็บตัวอย่างที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนประจุทุก 1 นาที เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณกรดไฮโดรคลอริก และปริมาณเหล็กไอออนที่ไม่เกิดการแลกเปลี่ยนประจุ
3. เก็บตัวอย่างจากน้ำชะล้างกรดและเหล็กจากเรซิน ทุก 1 นาที เพื่อหาปริมาณกรดและเหล็กที่เกิดการแลกเปลี่ยนประจุ จากนั้นนำตัวอย่างมาคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก ต่อความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกเริ่มต้น และอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของเหล็กไอออนต่อความเข้มข้นของเหล็ก

ไอออนเริ่มต้น แล้วนำไปเขียนกราฟเปรียบเทียบกับเวลา เรียก break through curve ดังรูปที่ จ.1 และรูปที่ จ.2 ตามลำดับ

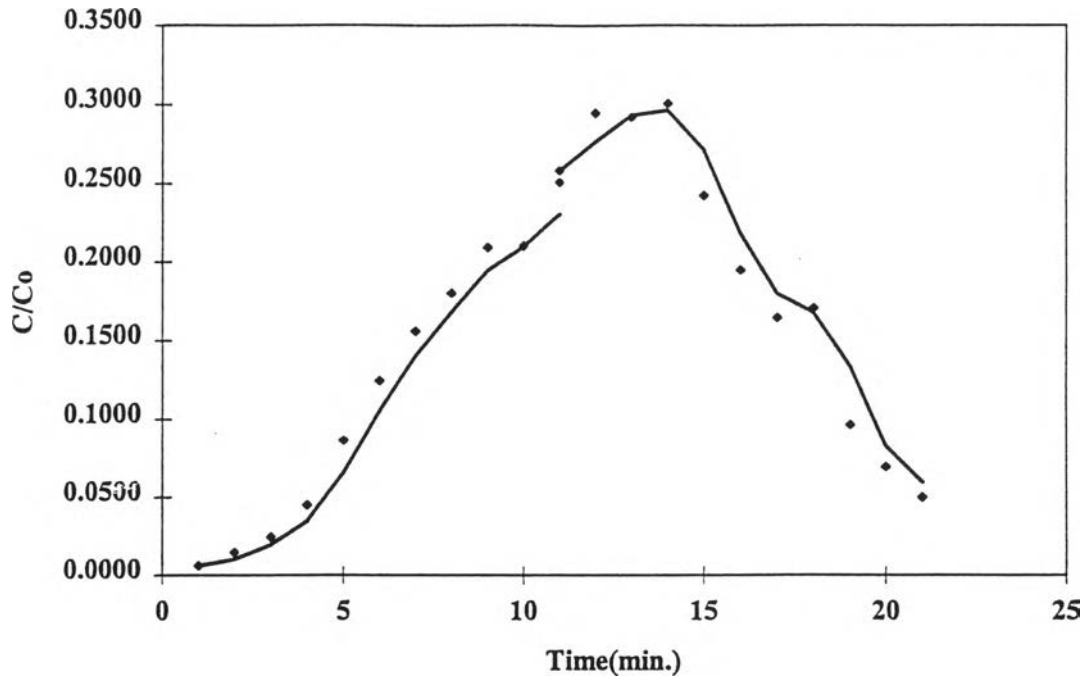
จากกราฟ break through curve แบ่งออกเป็น 2 ช่วงซึ่งแสดงถึง 2 ช่วงการทำงานของระบบแลกเปลี่ยนประจุ คือช่วงแรก แสดงถึงการชาร์จ และช่วงหลัง แสดงถึงการดิสชาร์จ



รูปที่ จ.1 กราฟ breakthrough curve แสดงอัตราส่วนความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกเทียบกับเวลา

ช่วงชาร์จ จะเห็นว่าอัตราส่วนความเข้มข้นของกรด และเหล็กไอออนมีค่าต่ำ เมื่อเวลาผ่านไปจะมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ แสดงถึงการทำงานของระบบแลกเปลี่ยนประจุที่เกิดขึ้นในระบบที่ขณะเริ่มเกิดการแลกเปลี่ยนประจุ อัตราส่วนความเข้มข้นจะมีค่าต่ำ และเวลาผ่านไปการแลกเปลี่ยนประจุเกิดเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราส่วนความเข้มข้นสูงขึ้นตาม และความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินจะลดลง

ช่วงดิสชาร์จ ให้นำทำการล้างกรดและเหล็กไอออนที่เกิดการแลกเปลี่ยนประจุออกมา เริ่มแรกปริมาณกรดและเหล็กไอออนที่เกิดการแลกเปลี่ยนประจุบนเรซินมี



รูปที่ จ.2 กราฟ breakthrough curve แสดงอัตราส่วนความเข้มข้นของเหล็กเทียบกับเวลา

ปริมาณสูง ทำให้อัตราส่วนความเข้มข้นมีค่าสูงขึ้น และจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากปริมาณกรดและเหล็กไอออน เกิดการแลกเปลี่ยนลดลง

การคำนวณค่าการนำกรดกลับมาใช้ใหม่และค่าการกำจัดไอออนของเหล็กของสารละลาย pickling

จากการเก็บข้อมูลทุก 1 นาที ของช่วงชาร์จและดิสชาร์จ ตามตารางที่ จ.1 และ ตารางที่ จ.2 ตามลำดับ จะได้ปริมาณของกรดและไอออนของเหล็กที่เกิดการแลกเปลี่ยนประจุ

กำหนดให้ F คืออัตราการไหลของน้ำกรดที่ 1,500 ลิตร/ชั่วโมง

c_0 คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกในสารละลาย pickling

c_i คือ ความเข้มข้นของกรดที่ออกจากหน่วยแลกเปลี่ยนประจุในช่วง

ชาร์จ

ตารางที่ จ.1 ข้อมูลการทดลองของวันที่ 3/3/97 (ช่วงชาร์จ)

Data Sheet	Date: 3/3/97
Analysing Charge Retardation	

Analysing of Picking Bath:						
Time of sample	A1 ml 1 N NaOH MO	free Acid as g Cl/l	A2 ml 1 N NaOH PP	total Chloride as g Cl/l	A2 - A1 ml 1 N NaOH	Iron as g Fe/l
	41.30	146.20	64.80	229.39	23.50	65.57

Place of sample: 2A10	Flow rate: 1500 l/h
-----------------------	---------------------

Charge samples 12 Chargin period 11.52 min.

Discharge samples 11 Discharge period 10.47 min.

No. of Sample	Time of sample	Flow rate Flow meter l V	A1 ml 1 N NaOH MO	free Acid as g Cl/l	A2 ml 1 N NaOH PP	total Chloride as g Cl/l	A2 - A1 ml 1 N NaOH	Iron as g Fe/l
1	0	1500	-		-			
2	1	1500	0.00	0.00	0.50	1.77	0.50	1.40
3	2	1500	0.00	0.00	1.20	4.25	1.20	3.35
4	3	1500	0.00	0.00	2.00	7.08	2.00	5.58
5	4	1500	0.00	0.00	3.70	13.10	3.70	10.32
6	5	1500	0.00	0.00	7.10	25.13	7.10	19.81
7	6	1500	0.00	0.00	10.20	36.11	10.20	28.46
8	7	1500	0.50	1.77	13.30	47.08	12.80	35.71
9	8	1500	2.20	7.79	17.00	60.18	14.80	41.29
10	9	1500	5.90	20.89	23.10	81.77	17.20	47.99
11	10	1500	12.40	43.90	29.70	105.14	17.30	48.27
12	11	1500	19.80	70.09	40.40	143.02	20.60	57.47
Total		0	3.80	13.45	13.50	47.79	9.70	27.06
			sum	144.43		sum	299.65	
			[HCl] charge av	12.04		[Fe] charge av	24.97	

ตารางที่ จ.2 ข้อมูลการทดลองของวันที่ 3/3/97 (ช่วงดิสชาร์จ)

Data Sheet	Date: 3/3/97
Analysing Discharge Retardation	

Place of sample: 2A20	Flow rate: 1500 l/hr
-----------------------	----------------------

No. of Sample	Time of sample	Flow rate Flow meter l V	A1 ml 1 N NaOH MO	free Acid as g Cl/l	A2 ml 1 N NaOH PP	total Chloride as g Cl/l	A2 - A1 ml 1 N NaOH	Iron as g Fe/l
1	0	1500	37.30	132.04	58.50	207.09	21.20	59.15
2	1	1500	42.20	149.39	66.40	235.06	24.20	67.52
3	2	1500	43.40	153.64	67.40	238.60	24.00	66.96
4	3	1500	44.00	155.76	68.70	243.20	24.70	68.91
5	4	1500	44.90	158.95	64.80	229.39	19.90	55.52
6	5	1500	46.20	163.55	62.20	220.19	16.00	44.64
7	6	1500	44.60	157.88	58.10	205.67	13.50	37.67
8	7	1500	41.20	145.85	55.20	195.41	14.00	39.06
9	8	1500	35.20	124.61	43.10	152.57	7.90	22.04
10	9	1500	23.30	82.48	29.00	102.66	5.70	15.90
11	10	1500	14.10	49.91	18.20	64.43	4.10	11.44
Total		0	37.50	132.75	52.20	184.79	14.70	41.01
			sum	1474.06		sum	488.81	
			[HCl] discharge ave	134.01		[Fe] discharge ave	44.44	

% Acid recovery = 91.66 %

% Fe removal = 38.08 %

Δt คือ เวลาที่ใช้ในช่วงซาร์จ

ปริมาณกรดไฮโดรคลอริก ที่เข้าระบบแลกเปลี่ยนประจุ = $F c_0 \Delta t$

ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่เกิดการแลกเปลี่ยนประจุ

$$= F \int_{t=0}^{t=\Delta t} (c_0 - c_i) dt$$

จากกราฟ break through curve ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน ความเข้มข้นของกรด C_i/C_0 และเวลาดังนี้

ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่เกิดการแลกเปลี่ยนประจุและถูกจับอยู่บนเรซิน

$$= F c_0 \int_{t=0}^{t=\Delta t} (1 - \frac{c_i}{c_0}) dt$$

หรือปริมาณกรดที่ถูกแลกเปลี่ยนประจุ = $F c_0 (1 - \text{พื้นที่ใต้กราฟช่วงซาร์จ})$

ค่าการนำกรดกลับมาใช้ใหม่เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ จะได้เท่ากับ

$$\frac{\text{ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่เกิดการแลกเปลี่ยนประจุ}}{\text{ปริมาณสารละลาย pickling ที่เข้าระบบแลกเปลี่ยนประจุ}} \times 100$$

ค่าการกำจัดเหล็กไอออนเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์หาได้จาก

$$\frac{\text{ปริมาณ } Fe^{2+} \text{ ที่เข้าระบบแลกเปลี่ยนประจุ} - \text{ปริมาณ } Fe^{2+} \text{ ที่เกิดการแลกเปลี่ยนประจุ}}{\text{ปริมาณ } Fe^{2+} \text{ เหล็กไอออนที่เข้าระบบแลกเปลี่ยนประจุ}} \times 100$$

รายละเอียดแสดงดังตารางที่ จ.3 และจ.4 และรูปที่ จ.3และจ.4

ตารางที่ จ.3 แสดงประสิทธิภาพของระบบแลกเปลี่ยนประจุในการนำกรดทิ้งกลับไปใช้ใหม่

วันที่	อัตราการไหล ของกรด pickling (ลิตร/ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของ HCl ในกรด pickling (กรัม/ลิตร)	ปริมาณกรด HCl ที่เข้าระบบ (กก.)	ปริมาณกรด HCl ที่ออกจากระบบ (กก.)	ปริมาณน้ำกลับ กรด HCl (กก.)	% การปรับสภาพกรด HCl
10 ก.พ. 2540	1,500	47.08	14.10	1.27	10.67	75.67%
11 ก.พ. 2540	1,500	44.25	13.28	3.98	12.75	96.01%
12 ก.พ. 2540	2,000/1,200	29.38	-	-	-	-
14 ก.พ. 2540	1,500	46.73	14.02	2.36	12.49	89.09%
	1,740	43.90	13.17	1.01	9.88	75.02%
	2,800	41.06	12.32	0.61	7.58	61.53%
17 ก.พ. 2540	900	13.45	4.04	0.42	3.82	94.55%
	1,200	13.10	3.92	1.82	3.25	82.91%
	1,500	8.85	2.66	1.33	2.50	93.98%
	1,800	8.85	2.66	1.26	3.08	115.79%
18 ก.พ. 2540	900	13.81	4.40	0.60	3.43	77.95%
	1,200	11.68	3.50	0.00	4.08	116.57%
	1,500	10.27	3.08	0.74	3.03	98.38%
	1,800	7.08	2.12	0.48	3.03	142.92%
19 ก.พ. 2540	900	11.68	3.50	0.99	6.05	172.86%

วันที่	อัตราการไหลของกรด pickling (ลิตร/ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของ HCl ในกรด pickling (กรัม/ลิตร)	ปริมาณกรด HCl ที่เข้าระบบ (กก.)	ปริมาณกรด HCl ที่ออกจากระบบ (กก.)	ปริมาณน้ำกลับกรด HCl (กก.)	% การปรับสภาพกรด HCl
	1,200	12.04	0.61	0.57	4.25	696.72%
	1,500	10.62	3.19	0.38	2.78	87.15%
	1,500	6.37	1.91	0.25	2.03	106.28%
20 ก.พ. 2540	900	31.86	9.56	0.90	8.42	88.08%
	1,200	35.40	10.62	1.23	10.08	94.92%
	1,500	34.69	10.41	1.46	9.61	92.32%
	1,800	35.40	10.62	0.98	12.60	118.64%
24 ก.พ. 2540	900	133.10	39.93	2.27	8.87	22.21%
	1,200	132.75	39.84	4.04	35.44	88.96%
	1,500	133.81	40.14	4.81	38.60	96.16%
	1,800	131.69	36.32	2.89	40.02	110.19%
25 ก.พ. 2540	900	157.88	47.37	6.09	41.07	86.70%
	1,200	157.53	47.26	5.87	40.16	84.98%
	1,500	157.18	47.15	6.36	40.51	85.92%
	1,800	157.53	47.26	5.85	42.27	89.44%
26 ก.พ. 2540	900	100.54	30.16	2.48	35.29	117.01%
	1,200	99.83	29.95	2.09	29.03	96.93%
	1,500	98.77	29.63	1.74	25.26	82.25%
	1,800	98.06	29.34	1.84	29.97	102.14%

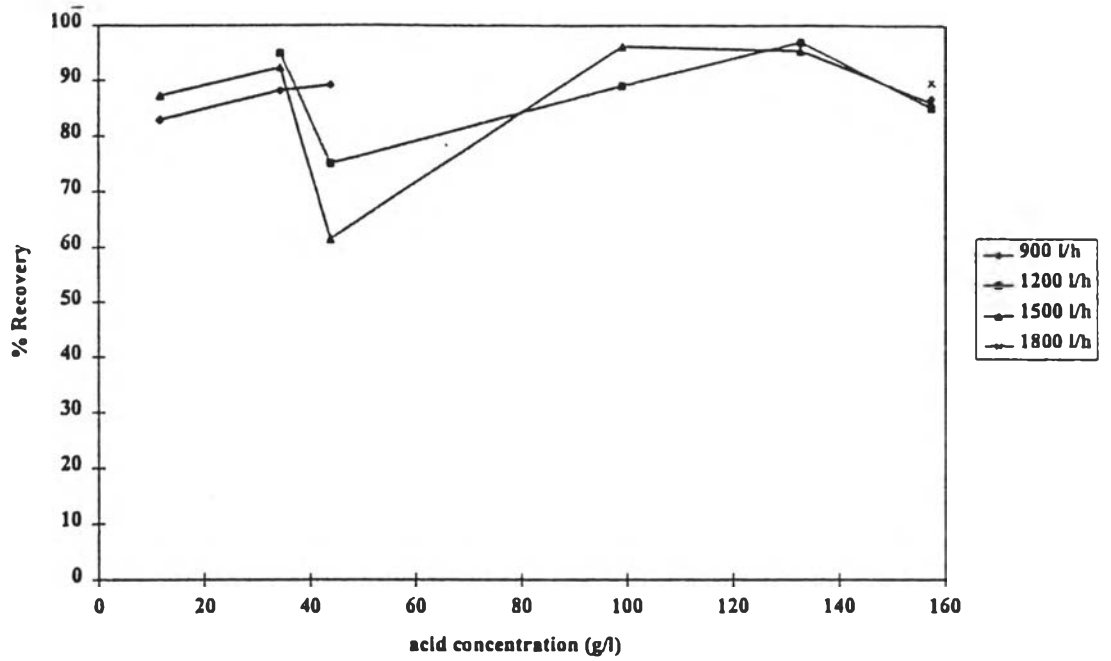
วันที่	อัตราการไหลของกรด pickling (ลิตร/ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของ HCl ในกรด pickling (กรัม/ลิตร)	ปริมาณกรด HCl ที่เข้าระบบ (กก.)	ปริมาณกรด HCl ที่ออกจากระบบ (กก.)	ปริมาณน้ำกลับกรด HCl (กก.)	% การปรับสภาพกรด HCl
27 ก.พ. 2540	1,500	144.43	43.33	5.51	44.76	103.30%
28 ก.พ. 2540	1,500	154.34	46.30	5.16	40.40	87.26%
3 มี.ค. 2540	1,500	146.20	43.86	3.61	40.20	91.66%
4 มี.ค. 2540	1,500	149.74	44.92	5.70	39.22	87.31%
5 มี.ค. 2540	-	-	-	-	-	-
6 มี.ค. 2540	1,500	118.24	35.47	6.99	29.54	83.28%
7 มี.ค. 2540	1,500	100.54	30.16	4.15	28.16	93.37%

ตารางที่ จ.4 แสดงประสิทธิภาพของระบบแลกเปลี่ยนประจุ ในการกำจัดสนิมเหล็ก

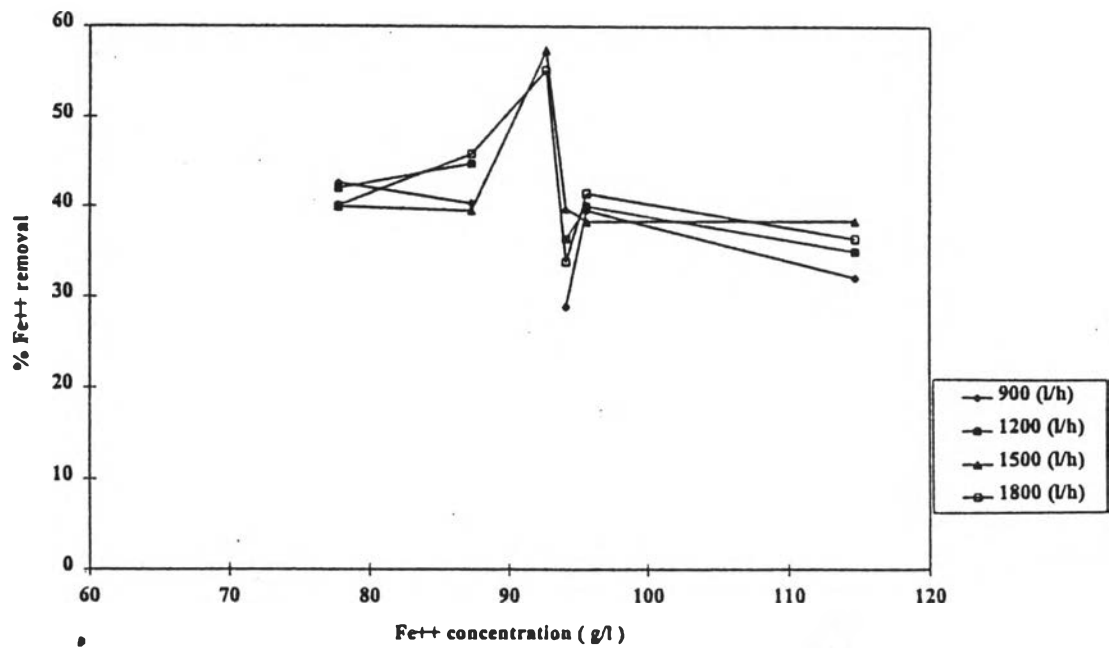
วันที่	อัตราการไหลของ กรด pickling (ลิตร/ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของ Fe ²⁺ ในกรด pickling (กรัม/ลิตร)	ปริมาณเหล็ก ที่เข้าระบบ (กก.)	ปริมาณเหล็ก ที่ออกจากระบบ (กก.)	ปริมาณน้ำกลับ ของเหล็ก (กก.)	% การแยกเหล็ก
10 ก.พ. 2540	1,500	-	-	-	-	-
11 ก.พ. 2540	1,500	129.74	38.92	23.54	23.00	60.48%
12 ก.พ. 2540	2,000/1,200	113.83	-	-	-	--
14 ก.พ. 2540	1,500	92.35	27.70	14.15	38.74	51.08%
	1,740	116.62	34.99	11.96	11.23	34.18%
	2,800	101.84	30.55	10.22	12.76	33.45%
17 ก.พ. 2540	900	107.42	32.22	13.30	28.35	41.28%
	1,200	90.12	27.04	19.77	23.86	73.11%
	1,500	91.79	27.54	15.80	23.79	57.37%
	1,800	93.47	28.04	15.48	26.63	55.21%
18 ก.พ. 2540	900	85.37	25.61	12.17	16.78	47.52%
	1,200	87.33	26.20	8.59	22.72	32.79%
	1,500	86.77	26.03	13.62	20.58	52.32%
	1,800	88.72	26.62	13.10	16.14	49.21%
19 ก.พ. 2540	900	97.37	29.21	11.56	17.94	39.58%
	1,200	95.14	28.54	11.43	17.27	40.05%
	1,500	96.26	28.88	11.08	17.06	38.37%

วันที่	อัตราการไหลของ กรด pickling (ลิตร/ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของ Fe ²⁺ ในกรด pickling (กรัม/ลิตร)	ปริมาณเหล็ก ที่เข้าระบบ (กก.)	ปริมาณเหล็ก ที่ออกจากระบบ (กก.)	ปริมาณน้ำกลับ ของเหล็ก (กก.)	% การแยกเหล็ก
	1,500	93.47	28.04	11.62	18.09	41.44%
20 ก.พ. 2540	900	76.73	23.02	9.80	16.00	42.57%
	1,200	78.12	23.44	9.84	15.07	41.98%
	1,500	77.56	23.27	9.07	14.27	38.98%
	1,800	78.12	23.44	9.39	17.68	40.06%
24 ก.พ. 2540	900	93.74	28.12	8.13	15.09	28.91%
	1,200	93.47	28.04	10.21	18.11	36.41%
	1,500	94.86	28.46	11.32	17.44	39.78%
	1,800	94.30	30.80	10.43	14.17	33.86%
25 ก.พ. 2540	900	87.89	26.37	10.64	16.57	40.35%
	1,200	87.05	26.11	11.69	16.07	44.77%
	1,500	86.21	25.86	10.22	15.61	39.52%
	1,800	88.16	26.45	12.13	16.77	45.86%
26 ก.พ. 2540	900	15.23	34.57	11.14	20.73	32.22%
	1,200	114.67	34.40	12.07	22.70	35.09%
	1,500	115.65	34.69	13.35	24.42	38.48%

วันที่	อัตราการไหลของ กรด pickling (ลิตร/ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของ Fe ²⁺ ในกรด pickling (กรัม/ลิตร)	ปริมาณเหล็ก ที่เข้าระบบ (กก.)	ปริมาณเหล็ก ที่ออกจากระบบ (กก.)	ปริมาณน้ำกลับ ของเหล็ก (กก.)	% การแยกเหล็ก
	1,800	113.83	34.15	12.46	22.83	36.49%
27 ก.พ. 2540	1,500	85.10	25.53	11.00	22.79	43.09%
28 ก.พ. 2540	1,500	65.84	19.75	8.13	11.59	41.16%
3 มี.ค. 2540	1,500	65.57	19.67	7.49	13.33	38.08%
4 มี.ค. 2540	1,500	57.75	17.33	7.82	11.31	45.12%
5 มี.ค. 2540	-	-	-	-	-	-
6 มี.ค. 2540	1,500		21.30	10.02	11.97	47.04%
7 มี.ค. 2540	1,500		22.77	9.91	15.55	43.52%



รูปที่ ๙.๓ แสดงผลของความเข้มข้นของกรด HCl ที่มีผลต่อ %การนำกรดกลับคืน ที่อัตราการไหลแตกต่างกัน



รูปที่ ๙.๔ แสดงผลของความเข้มข้นของเหล็กที่มีผลต่อ %การกำจัดสนิมเหล็ก ที่อัตราการไหลแตกต่างกัน

สำหรับค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การนำกรดกลับคืนและเปอร์เซ็นต์การกำจัดสนิมเหล็ก ที่ช่วงความเข้มข้นต่างๆ แสดงดังตารางที่ จ.5 และ จ.6 ตามลำดับ

ตารางที่ จ.5 การนำกรดกลับคืน ที่ช่วงความเข้มข้นของกรดต่างๆ

ความเข้มข้นของกรด HCl (กรัม/ลิตร)	เปอร์เซ็นต์ การนำกรดกลับคืน
6 – 30	89.97
30 – 100	78.62
100 – 150	88.89
เฉลี่ย	88.83

ตารางที่ จ.6 การกำจัดสนิมเหล็ก ที่ช่วงความเข้มข้นของเหล็กต่างๆ

ความเข้มข้นของเหล็ก (กรัม/ลิตร)	เปอร์เซ็นต์ การแยกเหล็ก
50 – 80	41.89
80 – 100	44.38
100 – 130	39.92
เฉลี่ย	41.89

$$= 32 \quad \text{กิโลกรัม/วัน}$$

$$\text{จะได้ปริมาณของเหล็กไอออน ที่เกิดขึ้น} = 139.5 \quad \text{กิโลกรัม/วัน}$$

จากข้อมูลดังกล่าวจะพบว่าปริมาณของเหล็กไอออน จะอยู่ระหว่าง 126 – 190 กิโลกรัม/วัน ซึ่งในการคำนวณจะใช้ค่าสูงสุดคือ 191.8 กิโลกรัม/วัน

2. จำนวนปฏิบัติการและปริมาณของกรดที่สูญเสียเนื่องจากหน่วยแลกเปลี่ยนประจุสมมติฐาน

ความเข้มข้นของเหล็กในบ่อกำจัดสนิมเหล็ก

$$= 80 \quad \text{กรัม/ลิตร}$$

ความเข้มข้นของกรด = 150 กรัม/ลิตร

จากค่าเฉลี่ยการนำกรดกลับคืน 88.83% และการกำจัดสนิมเหล็ก 41.89% ดังนั้น ปริมาณของเหล็กไอออนที่สามารถกำจัดได้

$$= [300 \times 80 / 1,000] \times 0.4189$$

$$= 10.1 \quad \text{กิโลกรัม/รอบ}$$

ปริมาณของกรดไฮโดรคลอริกที่สูญเสีย

$$= [300 \times 150 / 1,000] \times (1 - 0.8883)$$

$$= 5.03 \quad \text{กิโลกรัม/รอบ}$$

เพราะฉะนั้น จำนวนปฏิบัติการที่ใช้ในการกำจัด คือ 191.8/10.1 เท่ากับ 19 รอบ/วัน ค่านี้จะเป็นค่าของกรดที่สูญเสียเนื่องมาจาก บ่อกำจัดสนิมเหล็ก

$$= 19 \times 5.03$$

$$= 95.5 \quad \text{กิโลกรัม/วัน}$$

เปรียบเทียบกับปริมาณของกรดที่ถ่ายออกจากบ่อในอดีตดังตารางที่ จ.7 ซึ่งปริมาณเฉลี่ยของกรดที่ถ่ายออกมีค่าเท่ากับ 49.4 กิโลกรัม/วัน จะเห็นได้ว่าปริมาณกรดที่เกิดจากปฏิบัติการที่เสนอมีค่าสูงกว่าในอดีต จึงทำให้มีปริมาณกรดที่สูญเสียสูงขึ้นอีก เนื่องจากปริมาณการสูญเสียเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับจำนวนปฏิบัติการ และยิ่งไปกว่านั้น ความเข้มข้นของเหล็กไอออนและกรดไฮโดรคลอริกในบ่อกำจัดสนิมเหล็ก ยังมีผลกระทบต่อปริมาณกรดที่สูญเสีย โดยเมื่อความเข้มข้นของเหล็กไอออนในบ่อกำจัดสนิมเหล็กสูงขึ้น การสูญเสียของกรดไฮโดรคลอริกต่อ 1 รอบการดำเนินงาน จะน้อยลง เมื่อความเข้มข้นของกรดลดลง ดังนั้นจะพบว่า การใช้หน่วยแลกเปลี่ยนประจุกับบ่อ

มีค่าลดลง ปริมาณของกรดที่สูญเสียจะมีค่าลดลงด้วย ตารางที่ จ.8 แสดงปริมาณของกรดที่สูญเสียจากบ่อกำจัดสนิมเหล็ก ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน ซึ่งจะพบว่าถ้าต้องการให้ระดับปริมาณการสูญเสียของกรดเท่ากับในอดีต ความเข้มข้นของกรดในบ่อกำจัดสนิมเหล็กการมีค่าประมาณ 80 กรัม/ลิตร ในการลดปริมาณการสูญเสียของกรดจากกระบวนการควรจะมีกระบวนการใหม่ โดยบ่อกำจัดสนิมเหล็กจะปฏิบัติการที่ความเข้มข้นของกรดสูงในบ่อแรก และที่ความเข้มข้นของกรดต่ำในบ่อถัดไป เมื่อความเข้มข้นของกรดมีค่าลดลง กรดในบ่อกำจัดสนิมเหล็กจะถูกส่งไปยังบ่อต่อไป บ่อที่ความเข้มข้นของกรดต่ำสุดและมีความเข้มข้นของเหล็กไอออนสูงสุดจะถูกส่งไปยังหน่วยแลกเปลี่ยนประจุ ซึ่งจะทำการกำจัดเหล็กออกและจะนำกรดกลับคืนไปยังบ่อบ่อกำจัดสนิมเหล็ก โดยวิธีนี้ จำนวนปฏิบัติการจะมีค่าลดลงเนื่องจากความเข้มข้นของกรดมีค่าต่ำลง

3. การคำนวณค่าใช้จ่าย

สมมติให้ความเข้มข้นของเหล็กมีค่าประมาณ 90 กรัม/ลิตร ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของเหล็กที่ถูกส่งไปยัง บริษัท สยาม พี เอช วี เคมีคอล จำกัด ค่าจำนวนปฏิบัติการสามารถคำนวณได้ 17.2 รอบ โดยใช้วิธีดังกล่าวข้างต้น ค่ากรดเสียที่ไปกับหน่วยแลกเปลี่ยนประจุสามารถคำนวณได้ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน และสามารถหาปริมาณกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 35% ที่ลดลงได้ นอกจากนี้เนื่องจากการลดลง 1 โมลของกรด จะสามารถลดการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ 1 โมลเช่นกัน ดังนั้นปริมาณที่ลดลงโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นที่ 50% สามารถคำนวณได้จากราคาของ 50% โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5.65 บาท/กิโลกรัม และราคาของ 35% กรดไฮโดรคลอริก 3.6 บาท/กิโลกรัม และสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายที่ลดลงในการใช้หน่วยแลกเปลี่ยนประจุได้ โดยข้อมูลนี้สรุปตามตารางที่ จ.9 เนื่องจากความเข้มข้นเฉลี่ยของกรด ประมาณ 30 กรัม/ลิตร จะสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ 216,000 บาท/ปี

ในระบบปฏิบัติการทั่วไป ปริมาณเหล็กที่มีอยู่ในน้ำกรดที่ใช้งานแล้วซึ่งจะถูกส่งไปยังบ่อบำบัดมีค่าประมาณ 70 กิโลกรัมต่อวัน และที่เหล็กจะถูกส่งไปยังบริษัท สยาม พี เอช วี เคมีคอล จำกัด โดยจะต้องเสียค่าใช้จ่าย 38,000 บาท/ปี ซึ่งระบบ

ตารางที่ จ.7 แสดงปริมาณของกรดที่ถ่ายออกจากบ่อกำจัดสนิมเหล็ก

Year	HCl drain(Kg/day)
1996	46.10
1995	60.39
1994	49.47
1993	41.45

กำจัดสนิมเหล็กจะปฏิบัติการได้ดีที่ความเข้มข้นของกรดมีค่าต่ำและความเข้มข้นของเหล็กไอออนมีค่าสูง

จากการศึกษาพบว่าการปฏิบัติการที่ค่าความเข้มข้นของกรดในบ่อกำจัดสนิมเหล็กมีค่าสูงจะไม่ค่อยดีนัก อย่างไรก็ตามถ้าความเข้มข้นกรดในบ่อกำจัดสนิมเหล็ก

ตารางที่ จ.8 แสดงปริมาณกรดที่สูญเสียจากบ่อกำจัดสนิมเหล็ก

Concentration of HCl (g/l)	HCl loss (Kg)	Concentration of HCl (g/l)	HCl loss (Kg)
5	3	90	57
10	6	100	64
20	13	110	70
30	19	120	76
40	25	130	83
50	32	140	89
60	38	150	96
70	45	160	102
80	51	170	108

ตารางที่ จ.9 แสดงปริมาณกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์
ที่สามารถประหยัดได้

Concentration of HCl (g/l)	HCl Loss (Kg)	HCl saving (Kg)	35%HCl saving (Kg)	50% NaOH saving (Kg)	Saving/year (baht)
5	3	46	132	101	313,687
10	6	43	124	95	294,135
15	9	40	115	88	274,583
20	11	38	107	82	255,031
25	14	35	99	76	235,479
30	17	32	91	70	215,927
40	23	26	74	57	176,824
50	29	20	58	44	137,720
60	34	15	41	32	98,616
70	40	9	25	19	59,512
80	46	3	9	7	20,409
90	52	-3	-8	-6	-18,695
100	57	-8	-24	-19	-57,799
110	63	-14	-41	-31	-96,902
120	69	-20	-57	-44	-136,006
130	75	-26	-74	-56	-175,110
140	80	-31	-90	-69	-214,213
150	86	-37	-106	-82	-153,317

ปฏิบัติการใหม่ปริมาณของเหล็กที่สามารถบำบัดในระบบบำบัดมีค่าประมาณ 191.8 – 70 หรือ 121.8 กิโลกรัม และปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นที่ 50 % สำหรับใช้บำบัดกรดไฮโดรคลอริกจำนวน

$$= [2 * 2 * 40 / 55.8] * 121.8$$

$$= 349 \quad \text{กิโลกรัม/วัน}$$

ซึ่งเสียค่าใช้จ่าย

$$= 349 * 5.65 * 300$$

$$= 591,555 \quad \text{บาท/ปี}$$

ในกรณีที่กรดเสียไม่สามารถนำออกจากโรงงานได้ จะสามารถใช้หน่วยแลกเปลี่ยนประจุในการใช้ลดปริมาณของ 35% กรดไฮโดรคลอริกและ 50% โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ เนื่องจากมีการนำกรดออกจากบ่อลดลง และค่าใช้จ่ายจะสามารถลดลงได้อีก ถ้าปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในระบบบำบัดลดลงเท่ากับทางทฤษฎี เหตุที่ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้มากกว่าทางทฤษฎี เนื่องจากระบบควบคุม (pH-ORP) ไม่อยู่ในสภาพปกติ ทางโรงงานจึงไม่สามารถควบคุมระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) ได้ ดังนั้นควรแก้ปัญหาที่ระบบการควบคุมหรือลดความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อลดค่าการแกว่งของ pH

ภาคผนวก จ.

ข้อมูลการเก็บตัวอย่างเพื่อใช้ทำสมมูลมวลสารที่บ่งก่าจัดสนิมเหล็ก

ตารางที่ ๑.1 แสดงอัตราส่วนของไอออนของเหล็กที่เกิดต่อเหล็กทั้งหมด (Fe^{++}/Fe) ข้อมูลจากโรงงาน (คิดจากปริมาณกรดที่ทำปฏิกิริยา)

ปี พ.ศ.	กรด HCl ที่เติมลงในบ่อกำจัดสนิม (กก./วัน)	สารละลายที่ถ่ายออกจากบ่อ (กก./วัน)	กรด HCl ที่ถ่ายออกจากบ่อ (กก./วัน)	กรด HCl ในบ่อน้ำคั้นเสีย (กก./วัน)	กรด HCl ที่ทำปฏิกิริยา (กก./วัน)	ปริมาณไอออนเหล็กที่เกิด (กก./วัน)	ลวดเหล็กที่ใส่ลงในบ่อ (กก./วัน)	อัตราส่วน Fe^{++}/Fe
2535	291	987	65	66	160	122	64,147	0.00265
2536	337	865	41	66	230	175	68,287	0.00256
2537	367	811	49	66	252	192	57,542	0.00334
2538	370	865	60	66	244	186	70,040	0.00266
2539	360	987	46	66	248	190	60,720	0.00313
							เฉลี่ย	0.00287

ตารางที่ ๑.๒ แสดงสมดุลมวลสารของเหล็ก ที่บ่อกำจัดสนิมเหล็ก

วันที่เก็บตัวอย่าง	บ่อกำจัดสนิมเหล็ก	น้ำหนักเส้นลวดที่ใช้ (กก.)	การสะสมของเหล็กในบ่อ (กก.)	เหล็กไอออนที่ถ่ายจากบ่อ (กก.)	เหล็กไอออนที่ออกจากหน่วยแลกเปลี่ยนประจุ (กก.)	เหล็กไอออนที่เข้าระบบบำบัด (กก.)
17 ส.ค. 2541	1,2 และ 3	43,789	47	0	173	4
18 ส.ค. 2541	1,2 และ 3	43,472	199	0	157	85
19 ส.ค. 2541	1,2 และ 3	62,348	16	328	86	45
20 ส.ค. 2541	1,2 และ 3	68,060	- 18	0	136	45
21 ส.ค. 2541	1,2 และ 3	49,630	- 367	0	324	17
22 ส.ค. 2541	1,2 และ 3	49,131	- 202	269	330	30

ตารางที่ ๓.3 แสดงสมมูลมวลสารของกรดไฮโดรคลอริกและเหล็กไอออน ที่บ่อกำจัดสนิมเหล็ก

วันที่เก็บตัวอย่าง	บ่อกำจัดสนิมเหล็ก	น้ำหนักเส้นลวดที่ใช้ (กก.)	การสะสมของกรดในบ่อ (กก.)	35 % HCl ที่เติมลงในบ่อ (กก.)	กรดที่ถ่ายออกจากบ่อ (กก.)	กรดออกจากหน่วยแลกเปลี่ยนประจุ (กก.)	กรดที่เข้าระบบบำบัด (กก.)
17 ส.ค. 2541	1,2 และ 3	43,789	442	0	0	103	12
18 ส.ค. 2541	1,2 และ 3	43,472	391	0	0	89	17
19 ส.ค. 2541	1,2 และ 3	62,348	- 87	674	473	32	11
20 ส.ค. 2541	1,2 และ 3	68,060	332	0	0	64	18
21 ส.ค. 2541	1,2 และ 3	49,630	- 59	636	9	72	16
22 ส.ค. 2541	1,2 และ 3	49,131	523	0	382	153	18

ตารางที่ ๑.4 แสดงสมดุลมวลสารของกรดและเหล็ก ที่บ่อกำจัดสนิมเหล็ก

วันที่เก็บตัวอย่าง	บ่อกำจัดสนิมเหล็ก	น้ำหนักเส้นลวดที่ใช้ (กก.)	ปริมาณกรดที่ทำปฏิกิริยา (กก.)	ความต้องการกรด HCl (กก.)	ไอออนเหล็กที่เกิดขึ้น (กก.)	ไอออนเหล็กจากการคำนวณ (กก.)	Fe ²⁺ /Fe จากการคำนวณ	Fe ²⁺ /Fe จากการทดลอง
17 ส.ค. 2541	1,2 และ 3	43,789	593	442	395	454	0.0104	0.0090
18 ส.ค. 2541	1,2 และ 3	43,472	307	391	375	234	0.0054	0.0086
19 ส.ค. 2541	1,2 และ 3	62,348	71.6	384	602	55.4	0.0009	0.0096
20 ส.ค. 2541	1,2 และ 3	68,060	242	332	162	184	0.0027	0.073
21 ส.ค. 2541	1,2 และ 3	49,630	518	563	385	396	0.0080	0.0077
22 ส.ค. 2541	1,2 และ 3	49,131	267	523	125	204	0.0041	0.0025

ตารางที่ ๑.5 คุณสมบัติน้ำเสียในโรงงานไทยสะพานเขียว

วันที่	[HCL] (กรัม/ลิตร)	[Fe ²⁺] (กรัม/ลิตร)	SS (มิลลิกรัม/ลิตร)	TDS (มิลลิกรัม/ลิตร)
27 ก.ค. 2541	0.12	0.06	23	458
28 ก.ค. 2541	0.35	0.15	48	1,054
29 ก.ค. 2541	0.61	0.32	77	1,340
30 ก.ค. 2541	0.28	0.17	65	1,152
31 ก.ค. 2541	0.27	0.11	12	944
1 ส.ค. 2541	0.80	0.27	72	1,150
3 ส.ค. 2541	0.48	0.17	42	1,036
4 ส.ค. 2541	0.52	0.23	36	1,176
5 ส.ค. 2541	0.43	0.20	22	1,378
6 ส.ค. 2541	0.58	0.29	14	1,264
7 ส.ค. 2541	0.17	0.12	94	1,288
8 ส.ค. 2541	0.64	0.13	12	1,432
เฉลี่ย	0.44	0.207	41.1	1,095

ภาคผนวก ข.

ตารางข้อมูลใช้ในการอ้างอิงการคำนวณระยะเวลาต้นทุน

ตารางที่ ข.1 Typical factors for estimation of project fixed capital cost

Item	Process type		
	Fluids	Fluids-solids	Solids
1. Major equipment, total purchase cost	PCE	PCE	PCE
a. Equipment erection	0.4	0.45	0.50
b. Piping	0.70	0.45	0.20
c. Instrumentation	0.20	0.15	0.10
d. Electrical	0.10	0.10	0.10
e. Buildings, process	0.15	0.10	0.05
f. Utilities	0.50	0.45	0.25
g. Storage	0.15	0.20	0.25
h. Site development	0.05	0.05	0.05
i. Ancillary buildings	0.15	0.20	0.30
2. Total physical plant cost PPC = PCE(1+a.....+i) = PCE*	3.40	3.15	2.80
j. Design and Engineering	0.30	0.25	0.20
k. Contract , fee	0.05	0.05	0.05
l. Contingency	0.10	0.10	0.10
Fixed capital = PPC(1+j+k+l) = PPC*	1.45	1.40	1.35

f,g,h,l : Omitted for minor extension or addition to existing sites

ตารางที่ ข.2 Purchase cost of miscellaneous equipment cost factors
for use in equation 5.1

Equipment	Size, unit, S	Size, range	Constant ,C , \$	Index, n	Comment
Agitators Propeller	Driver power kW	5-25kW	400	0.50	Carbon steel
Turbine			820	0.30	
Boiler Packaged Up to 10 bar Up to 60 bar 10 to 60 bar	Kg/h, steam	(20-50)x10 ³	700 900	0-50 0-50	Oil or gas fired
Centrifuges Horizontal Basket Vertical basket	Dia, m	0.5-1.0	16,000 16,000	1.3	
Compressors Centrifugal	Driver power, kW	20-200	700	0.8	Electric driv,press 50 bar
Conveyers Belt 0.5 m wide 1.0wide	Length,m	2-40	1000 1500	0.65 0.65	
Crushers Cone Pulverizes	Te/h Kg/h	20-200 -	800 700	0.85 0.35	
Dryer Rotary vacuum Pan	Area,m ²	5-30 2-10	6000 4000	0.45 0.35	Carbon steel
Evaporators Vertical tube	Area,m ²	10-1000	4000	0.53	Carbon steel

Equipment	Size, unit, S	Size, range	Constant ,C, \$	Index,n	Comment
Filters Plate and Frame	Area,m ²	5-50	1000	0.60	Cast iron
Vacuum drum		1-10	6000	0.60	Carbon steel
Reactor Jacketed, agitated	Capacity,m ³	3-30	6000	0.40	Carbon steel
			12,000	0.45	Glass lined
Tanks Process Vertical Horizontal	Capacity,m ³	1-50	500	.059	Atmos. Press
		10-100	600	0.60	Carbon steel
					*25 for stainless
Tanks Storage Floating roof Fixed cone roof	Capacity,m ³	50-8000	650	0.65	Carbon steel
			600	0.65	
Furnaces Process	Heat Absorbed, kW	10 ³ -10 ⁴	76	0.77	Carbon steel Tube, *25 for stainless
Packing Ceramic Saddles Plastic Pall ring Stainless steel pall rings	Size,mm	25-75	\$/m ³ 980	-0.4	
			8300	-1.0	
		25-100		-1.0	

ตารางที่ ๗.3 Summary of production costs

Variable costs	Typical
1. Raw materials	from flow-sheets
2. Miscellaneous materials	10 per cent of item (5)
3. Utilities	from flow-sheets
4. Shipping and packaging	usually negligible
Sub -total A	
Fixed costs	
5. Maintenance	5-10 per cent of the fixed capital
6. Operating labor	from manning estimates
7. Supervision	20 per cent of item (6)
8. Plant overheads	50 per cent of item (6)
9. Capital charges	15 per cent of the fixed capital
10. Insurance	1 per cent of the fixed capital
11. Rates	2 per cent of the fixed capital
12. Royalties	1 per cent of the fixed capital
Sub -total B	
Direct production costs A+B	
13. Sales expense	20-30 per cent of the direct
14. General overheads	production costs
15. Research and development	
Sub -total C	
Annual production costs = A+B+C =	
Production costs \$/kg	= $\frac{\text{Annual production costs}}{\text{Annual production rate}}$

ประวัติผู้เขียน

เกิดเมื่อวันที่	4 ตุลาคม 2503
การศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี มหาวิทยาลัยรามคำแหง ปีการศึกษา 2526
การทำงาน	ปัจจุบันรับราชการ ตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ 6 กลุ่มงานเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม