รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ฝ่ายธุรกิจและสิ่งแวดล้อม สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย และสำนักงานจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สถาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. กรณีศึกษาเทคโนโลยีสะอาด โครงการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีสะอาดในอุตสาหกรรมไทย. กรุงเทพมหานคร: สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2541.

ภาษาอังกฤษ

Ahapiro A.P., Thornton R.H., and Kim B.M.. Case Study of Waste Water Minimization at a General Electric Manufacturing Plant. Environmental Progress. Vol 14: 176-182.

Alan P. and Frank W.. Minimize Waste by managing Process design. Chemical Technology.: 64-72.

Alan P. Rossiter. Process Integration and Pollution Prevention. AIChE Symposium Series. Vol.90 (1994): 1-22.

Anthony Brooke, David Kendrick and Alexander Meeraus. RELEASE 2.25 GAMS A USER'S GUIDE. GAMS Development Corporation, 1996.

Douglas J.M.. Conceptual Design of Chemical Process. McGraw-Hill International Editions, 1988.

Edward H. Smith and Angela C. Schurig.. Application of Material Balance Concept in Waste Minimization Assessment of a Metal Finishing Process. Environmental Progress. Vol.13. No.3.(1994): 202-207.

El-Halwagi M.M. and Manousiouthakis V.. Systhesis of Mass Exchange Networks. AIChE Journal. Vol.35 (1989): 1233-1244.

El-Halwagi M.M. and Manousiouthakis V.. Simultaneous Synthesis of Mass-Exchange and Regeneration Networks. AIChE Journal. Vol.36 (1990): 1209-1219.

El-Halwagi M.M. and Manousiouthakis V.. Audtomatic Synthesis of Mass-Exchange Networks with Single-Componet Targets. Chemical Engineering Science. Vol.45 (1990): 2813-2831.

El-Halwagi. M.M., and Demetri P.Petrides.. Pollution Prevention via Process and Product Modifications. AICHE Symposium Series. Vol.90 (1994).

El-Halwagi M.M. and Garrison G.W.. Synthesis of Waste Interception and Allocation Networks. AIChE Journal. Vol.42 (1996): 3087-3101.

Gupta A.and Manousiouthakis V.. Waste Reduction Through Multicomponent Mass Exchnge Network Synthesis. Computers Chemical Engineering. Vol.18 (1994): 585-590.

Joseph B.K. and Authur S.K.. Water and Waste Control For The Plating Shop.. 3rd Edition. Gardner Publication Inc., 1994.

Linnhoff B.. Pinch Analysis – A State of the Art Overview. Trans International Chemical Engineering. Vol.71 (1993): 503-522.

Ludwig Hartinger. Handbook of Effluent Treatment and Recycling for the Metal Finishing Industry. 2nd Edition. Finishing Publication Ltd., 1994.

Papalexanddri K.P., Pistikopoulos E.N., and Flouda A. Mass Exchange Networks for Waste Minimization: A Simultaneous Approach. Chemical Engineering Research & Design. Vol.72 (1994): 279-286.

Papoulias S.A. and Grossmann I.E.. A Structural Optimization Approach in Process Synthesis-II: Heat Recovery Networks. Computer Chemical Engineering. Vol.7 (1983): 707-715.

PRC Environmental Management. Hazardous Waste Reduction in the Metal Finishing Industry. New Jersey: Noyes Data Corporation, 1989.

Srinivas B.K.. An Overview of Mass Integration and its Application to Process Development. GE Research & Development Center, 1997.

Takama N., Kuriyama T., Shiroko K. and Umeda T.. Optimal Water Allocation in A Petroleum Refinery. Computer Chemical Engineering. Vol.101 (1980): 251-258.

Thomas F. Edgar and David M. Himmelblau. Optimization of Chemical Process. 2nd Edition. McGraw-Hill Higher Education, 2001.

U.S. Environmental Protection Agency. Control and Treatment Technology for the Metal Finishing Industry: In-Plant Changes. EPA 625/8-82-008. Cincinnati OH, 1982.

U.S. Environmental Protection Agency. Environmental Pollution Control Alternatives: Reducing Water Pollution Control Costs in the Electroplating Industry. EPA 625/5-85/016. Cincinnati OH, 1989.

Wang Y.P. and Smith R.. Wastewater Minimization. Chemical Engineering Science. Vol.49 (1994): 981-1006.

Wang Y.P. and Smith R.. Waste Minimization with Flowrate constraints. Trans International Chemical Engineering. Vol.73 (1995): 889-903.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

โปรแกรมแกมส์ (GAMS)

ก.1 บทนำ

โปรแกรมแกมส์ (General Algebraic Modeling, GAMS) เป็นโปรแกรมภาษาที่มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นตัวอักษร ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับการแก้ปัญหาโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ที่มีขนาดใหญ่ โดยการสนับสนุนของธนาคารโลก ซึ่งนำไปใช้สำหรับการวางแผนทางยุทธศาสตร์ทางการเงินและเศรษฐศาสตร์เพื่อให้สามารถใช้เวลาในการคำนวณสั้นลง ลักษณะเด่นของโปรแกรมแกมส์ ยกตัวอย่างได้ดังนี้

1) เป็นโปรแกรมภาษระดับสูง ที่สามารถจัดทำแบบจำลองที่มีขนาดใหญ่ และซับซ้อนให้มีความกระชับ
2) การปรับเปลี่ยนแบบจำลองเป็นไปได้ง่าย และมีความปลอดภัยสูง
3) สามารถทำให้เป็นข้อความที่ไม่คลุมเคลือได้โดยใช้ความสัมพันธ์ทางพีชคณิต

ก.2 หลักการทำงาน

การทำงานของโปรแกรมแกมส์ เริ่มขึ้นเมื่อมีการสั่งทำงานโปรแกรมแกมส์ ไฟล์ที่บรรจุโปรแกรม (Input File) จะถูกสั่งให้ทำงาน หลังจากนั้นก็จะได้ผลลัพธ์เป็นเอาท์พุตไฟล์ (Output File) ที่สามารถตรวจสอบได้จากการตรวจสอบข้อความ แล้วจึงทำการแจ้งผลการทำงาน รวมถึงแจ้งผลเมื่อมีการตรวจพบข้อผิดพลาด (Error)

ก.3 โครงสร้างของแบบจำลองแกมส์

การใช้โปรแกรมแกมส์สำหรับสร้างแบบจำลอง โดยเบื้องต้นต้องมีองค์ประกอบพื้นฐานของแบบจำลอง ดังต่อไปนี้

ขาเข้า (Inputs)

เซต (Sets)

การประกาศ (Declaration)

การมอบหมายสมาชิก (Assignment of members)

ข้อมูล (มีทั้งแบบ พารามิเตอร์ ตาราง และสเกลาร์)

การประกาศ

การมอบหมายค่า

ตัวแปร (Variables)

การประกาศ (Declaration)

การมอบหมายประเภท (Assignment of type)

(ทางเลือก) การมอบหมายขอบเขตและ/หรือค่าเริ่มต้น

สมการ (Equations)

การประกาศ

นิยาม (Definition)

แบบจำลอง และ ข้อความว่า "Solve"

(ทางเลือก) ข้อความว่า "Display"

ขาออก (Outputs)

Echo Print

แผนที่อ้างอิง (Reference Maps)

รายการสมการ (Equation Listings)

รายงานผล (Status Reports)

คำตอบ (Results)

ภาคผนวก ข

การจำลองโครงข่ายด้วยโปรแกรมแกมส์

ตัวอย่างโปรแกรมแกมส์ที่ใช้สำหรับทำออปติไมซ์กระบวนการล้างน้ำประเภทต่าง (กรณีศึกษาที่ 4) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

```
$ontext
Program for optimization in Anodic Electroclean bath
$offtext

Sets    B       Process bath unit       /A1RIN1   Rinsing 1-1
                                         A1RIN2   Rinsing 1-2
                                        A2RIN1   Rinsing 2-1
                                         A2RIN2   Rinsing 2-2
                                         A2RIN3   Rinsing 2-3 /

        S       Fresh water sources     /TAP    Underground water
                                          DI     De-ionized water / ;
Alias(B,BP) ;
*****************************************************************************
*       Parameters Information
*****************************************************************************
Parameters
      DRIN(B)   Dragin Rate in kg per hr
                /A1RIN1   16
                 A1RIN2   16
                 A2RIN1   16
                 A2RIN2   16
                 A2RIN3   16 /
```

DROUT(B) Dragout Rate in kg per hr

/A1RIN1 16

A1RIN2 16

A2RIN1 16

A2RIN2 16

A2RIN3 16 /

RWIN(B) Rinse water inlet from Process bath B in kg per hr

/A1RIN1 610.00

A1RIN2 610.00

A2RIN1 430.00

A2RIN2 430.00

A2RIN3 430.00 /

RWOUT(B) Rinse water outlet from Process bath B in kg per hr

/A1RIN1 610.00

A1RIN2 610.00

A2RIN1 430.00

A2RIN2 430.00

A2RIN3 430.00 /

TDSDRI(B) TDS Composition in Dragin of Process B in wt by wt

/A1RIN1 0.034405000000

A1RIN2 0.000901821646

A2RIN1 0.084000000000

A2RIN2 0.003125426364

A2RIN3 0.000116139904 /

TDSOUT(B) TDS Composition in stream outlet of Process B : wt by wt

/A1RIN1 0.000901821646

A1RIN2 0.000023049755

A2RIN1 0.003125426364

A2RIN2 0.000116139904

A2RIN3 0.000004166454 /

TDSRWI(B) TDS Comp. in inlet rinse water of Process B : wt by wt

/A1RIN1 0.000023049755

A1RIN2 0.000000000000

A2RIN1 0.000116139904

A2RIN2 0.000004166454

A2RIN3 0.000000000000 /

TDSS(S) TDS Composition of Fresh water sources in wt by wt

/TAP 0.000000

DI 0.000000 / ;

```
*****************************************************************************
*       Find the efficiency of each unit
*****************************************************************************
```

Parameter

REFF(B) Rinsing efficiency of each unit B to remove TDS ;

REFF(B) = TDSOUT(B)*RWOUT(B)/(TDSDRI(B)*DRIN(B) + TDSRWI(B)*RWIN(B)) ;

REFF(B)$(REFF(B) GT 1)= 1 ;

Display REFF ;

Parameter LIMTDSOUT(B)

/A1RIN1 1.000901821646

A1RIN2 0.000038000000

A2RIN1 1.003125426364

A2RIN2 1.000116139904

A2RIN3 0.000009000000 /

```
**************************************************************************
*       Variable Definition
**************************************************************************
```

Variables

Z objective variable

TFW Total fresh water flowrate in kg per hr

TWW Total waste water flowrate in kg per hr

LOAD Total load of TDS to WWT treatment

XDRI(B) fraction of TDS in Drag-in of Unit B in wt by wt

XDRO(B) fraction of TDS in Drag-in of Unit B in wt by wt

XI(B) fraction of TDS in rinsewater line inlet of Unit B

XO(B) fraction of TDS in rinsewater line outlet of Unit B

WWOUT(B) Flow rate of outlet stream of unit i to WWT in kg per hr

RWT(B,B) Rinse water flow rate of one unit to other unit B

FWIN(B,S) Fresh water flow rate of source S to unit B i kg per hr

RWWIN(B)

RWWOUT(B) ;

Positive variables TFW, TWW, XDRI, XI, XO, WWOUT, RWT, FWIN ;

```
**************************************************************************
*       Equation Definition
**************************************************************************
```

Equations

*Overall Mass Balance around splitter, mixer and unit

SPTMB(B) overall mass balance around spliter of each unit B

MIXMB(B) overall mass balance around mixer of each unit B

TOTFRESH total fresh water feed

TOTWWT total waste water out

*TDS Balance around mixer and unit

MIXTDSMB(B) TDS balance at mixer prior to unit B

UNITDSMB(B) TDS balance around unit B

TOTLOAD cal. total TDS load

*Limitation and Constraints

EFFLIM1(B) Efficiency Limit of rinsing process

RECYLIM(B)

RECYLIM2(B)

RECYLIM3(B)

RECYLIM4(B)

RECYLIM5(B)

RECYLIM6(B)

RECYLIM7(B)

LIM2(B)

LIM3

LIM4

LIM6(B)

*Objective function

OBJ Objective function ;

****

* Equation Definition

****

```
SPTMB(B)..      RWOUT(B)- sum(BP,RWT(BP,B)) - WWOUT(B) =e= 0 ;

MIXMB(B)..      RWIN(B) - sum(BP,RWT(B,BP)$(BR(B,BP)eq 1)) - sum(S,FWIN(B,S)) =e=
0 ;

MIXTDSMB(B)..   RWIN(B)*XI(B) - sum(BP,RWT(B,BP)*XO(BP)) - sum(S,FWIN(B,S)*TDSS
(S)) =e= 0 ;

UNITDSMB(B)..     RWIN(B)*XI(B) + DRIN(B)*XDRI(B) - RWOUT(B)*XO(B) - DROUT
(B)*XDRO(B) =e= 0 ;

TOTFRESH..      TFW =e= sum((B,S),FWIN(B,S)) ;

TOTWWT..        TWW =e= sum(B,WWOUT(B)) ;

TOTLOAD..       LOAD =e= sum(B,WWOUT(B)*XO(B)) ;

OBJ..           Z =e= TFW ;

LIM2(B)$((ORD(B)EQ 1)or(ORD(B)EQ 3)or(ORD(B)EQ 4)).. XDRO(B) =e= XDRI(B+1);

EFFLIM1(B)..    XO(B) =e= REFF(B)*((XDRI(B)*DRIN(B) + XI(B)*RWIN(B))/RWOUT(B));

LIM3..          XDRI('A1RIN1') =e= TDSDRI('A1RIN1') ;

LIM4..          XDRI('A2RIN1') =e= TDSDRI('A2RIN1') ;

RECYLIM(B)..    RWT(B,B) =e= 0;
```

```
RECYLIM2(B)$((ORD(B)EQ 3)or(ORD(B)EQ 4)or(ORD(B)EQ 5)).. RWT(B,'A1RIN1') =e=
0 ;

RECYLIM3(B)$((ORD(B)EQ 3)or(ORD(B)EQ 4)or(ORD(B)EQ 5)).. RWT(B,'A1RIN2') =e=
0 ;

RECYLIM4(B)$(ORD(B)EQ 2).. RWT(B,'A1RIN1') =e= 0 ;

RECYLIM5(B)$(ORD(B)EQ 4).. RWT(B,'A2RIN1') =e= 0 ;

RECYLIM6(B)$(ORD(B)EQ 5).. RWT(B,'A2RIN1') =e= 0 ;

RECYLIM7(B)$(ORD(B)EQ 5).. RWT(B,'A2RIN2') =e= 0 ;

LIM6(B)..      FWIN(B,'DI') =e= 0 ;

*****************************************************************************
*      Boundary and initial
*****************************************************************************
XDRO.UP(B) = LIMTDSOUT(B);

WWOUT.L(B) = RWOUT(B) ;

RWT.L(B,B) = 0 ;

Model ANODICA /all/;

Option decimals = 8 ;

Option NLP = CONOPT2
```

Solve ANODICA using NLP minimizing Z ;

Display XO.I, XI.I, XDRO.I, XDRI.I, FWIN.I, TFW.I, TWW.I, LOAD.I, RWT.I ;

ภาคผนวก ค

ข้อมูลกระบวนการของโรงงาน

ค.1 กระบวนการล้างน้ำหลังการล้างด้วยไฟฟ้าครั้งที่ 1

ตัวแปร	คำอธิบาย	ค่าตัวแปร	หน่วย
V_{A1RIN1}	ปริมาตรของน้ำล้างบ่อ A1RIN1	625.00	ลิตร
V_{A1RIN2}	ปริมาตรของน้ำล้างบ่อ A1RIN2	756.00	ลิตร
$Q_{DO,ANO1}$	อัตราการไหลของแดรก-เอาท์ บ่อ ANO1	16.00	ลิตร/ชั่วโมง
$Q_{DO,A1RIN1}$	อัตราการไหลของแดรก-เอาท์ บ่อ A1RIN1	16.00	ลิตร/ชั่วโมง
$Q_{DO,A1RIN2}$	อัตราการไหลของแดรก-เอาท์ บ่อ A1RIN2	16.00	ลิตร/ชั่วโมง
$Q_{W,A1RIN1}$	อัตราการไหลของน้ำล้างขาออกบ่อ A1RIN1	610.00	ลิตร/ชั่วโมง
$Q_{R,A1RIN1}$	อัตราการไหลของน้ำล้างขาเข้าบ่อ A1RIN1	610.00	ลิตร/ชั่วโมง
$Q_{W,A1RIN2}$	อัตราการไหลของน้ำล้างจากบ่อ A1RIN2	610.00	ลิตร/ชั่วโมง
$Q_{R,A1RIN2}$	อัตราการไหลของน้ำบาดาลเข้าบ่อ A1RIN2	610.00	ลิตร/ชั่วโมง
$C_{NaOH,ANO1}$	ความเข้มข้นของ NaOH ในบ่อ ANO1 (คงที่)	34,405	พีพีเอ็ม (ppm)

ค.2 กระบวนการล้างน้ำหลังการกัดกรด

ตัวแปร	คำอธิบาย	ค่าตัวแปร	หน่วย
V_{PKRIN1}	ปริมาตรของน้ำล้างบ่อ PKRIN1	625.00	ลิตร
V_{PKRIN2}	ปริมาตรของน้ำล้างบ่อ PKRIN2	756.00	ลิตร
$Q_{DO,PICK}$	อัตราการไหลของแดรก-เอาท์ บ่อ PICK	16.00	ลิตร/ชั่วโมง
$Q_{DO,PKRIN1}$	อัตราการไหลของแดรก-เอาท์ บ่อ PKRIN1	16.00	ลิตร/ชั่วโมง
$Q_{DO,PKRIN2}$	อัตราการไหลของแดรก-เอาท์ บ่อ PKRIN2	16.00	ลิตร/ชั่วโมง
$Q_{W,PKRIN1}$	อัตราการไหลของน้ำล้างขาออกบ่อ PKRIN1	560.00	ลิตร/ชั่วโมง
$Q_{R,PKRIN2}$	อัตราการไหลของน้ำล้างขาเข้าบ่อ PKRIN2	560.00	ลิตร/ชั่วโมง
$Q_{W,PKRIN2}$	อัตราการไหลของน้ำล้างจากบ่อ PKRIN2	560.00	ลิตร/ชั่วโมง
$Q_{R,PKRIN2}$	อัตราการไหลของน้ำบาดาลเข้าบ่อ PKRIN2	560.00	ลิตร/ชั่วโมง
$C_{HCl,PICK}$	ความเข้มข้นของ HCl ในบ่อ PICK (คงที่)	49,463	พีพีเอ็ม

ค.3 กระบวนการล้างน้ำหลังการกัดกรดกระตุ้นผิว

ตัวแปร	คำอธิบาย	ค่าตัวแปร	หน่วย
V_{ACRIN1}	ปริมาตรของน้ำล้างบ่อ ACRIN1	625.00	ลิตร
V_{ACRIN2}	ปริมาตรของน้ำล้างบ่อ ACRIN2	756.00	ลิตร
$Q_{DO,ACTV}$	อัตราการไหลของแดรก-เอาท์ บ่อ ACTV	16.00	ลิตร/ชั่วโมง
$Q_{DO,ACRIN1}$	อัตราการไหลของแดรก-เอาท์ บ่อ ACRIN1	16.00	ลิตร/ชั่วโมง
$Q_{DO,ACRIN2}$	อัตราการไหลของแดรก-เอาท์ บ่อ ACRIN2	16.00	ลิตร/ชั่วโมง
$Q_{W,ACRIN1}$	อัตราการไหลของน้ำล้างขาออกบ่อ ACRIN1	360.00	ลิตร/ชั่วโมง
$Q_{R,ACRIN1}$	อัตราการไหลของน้ำล้างขาเข้าบ่อ ACRIN2	360.00	ลิตร/ชั่วโมง
$Q_{W,ACRIN2}$	อัตราการไหลของน้ำล้างจากบ่อ ACRIN2	360.00	ลิตร/ชั่วโมง
$Q_{R,ACRIN2}$	อัตราการไหลของน้ำ DI เข้าบ่อ ACRIN2	360.00	ลิตร/ชั่วโมง
$C_{HCl,ACTV}$	ความเข้มข้นของ HCl ในบ่อ ACTV (คงที่)	2,541	พีพีเอ็ม

ค.4 กระบวนการล้างน้ำหลังการล้างด้วยไฟฟ้าครั้งที่ 2

ตัวแปร	คำอธิบาย	ค่าตัวแปร	หน่วย
V_{A2RIN1}	ปริมาตรของน้ำล้างบ่อ A2RIN1	625.00	ลิตร
V_{A2RIN2}	ปริมาตรของน้ำล้างบ่อ A2RIN2	690.00	ลิตร
V_{A2RIN3}	ปริมาตรของน้ำล้างบ่อ A2RIN3	756.00	ลิตร
$Q_{DO,ANO2}$	อัตราการไหลของแดรก-เอาท์ บ่อ ANO2	16.00	ลิตร/ชั่วโมง
$Q_{DO,A2RIN1}$	อัตราการไหลของแดรก-เอาท์ บ่อ A2RIN1	16.00	ลิตร/ชั่วโมง
$Q_{DO,A2RIN2}$	อัตราการไหลของแดรก-เอาท์ บ่อ A2RIN2	16.00	ลิตร/ชั่วโมง
$Q_{DO,A2RIN3}$	อัตราการไหลของแดรก-เอาท์ บ่อ A2RIN3	16.00	ลิตร/ชั่วโมง
$Q_{W,A2RIN1}$	อัตราการไหลของน้ำล้างขาออกบ่อ A2RIN1	430.00	ลิตร/ชั่วโมง
$Q_{R,A2RIN1}$	อัตราการไหลของน้ำล้างขาเข้าบ่อ A2RIN1	430.00	ลิตร/ชั่วโมง
$Q_{W,A2RIN2}$	อัตราการไหลของน้ำล้างขาออกบ่อ A2RIN2	430.00	ลิตร/ชั่วโมง
$Q_{R,A2RIN2}$	อัตราการไหลของน้ำล้างขาเข้าบ่อ A2RIN2	430.00	ลิตร/ชั่วโมง
$Q_{W,A2RIN3}$	อัตราการไหลของน้ำล้างขาออกบ่อ A2RIN3	430.00	ลิตร/ชั่วโมง
$Q_{R,A2RIN3}$	อัตราการไหลของน้ำบาดาลเข้าบ่อ A2RIN3	430.00	ลิตร/ชั่วโมง
$C_{NaOH,ANO2}$	ความเข้มข้นของ NaOH ในบ่อ ANO2 (คงที่)	84,000	พีพีเอ็ม (ppm)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวัชรพงษ์ ศิลาเลิศรักษา เกิดที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปี พ.ศ. 2539 และศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2541