รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ทรัพยากรธรณี, กรม. Current coal production areas in Thailand. กรุงเทพมหานคร: กรมทรัพยากรธรณี, 2540. (เอกสารไม่ตีพิมพ์).

ทรัพยากรธรณี, กรม. Thailand' s cumulative coal productions 1997. กรุงเทพมหานคร: กรมทรัพยากรธรณี, 2540. (เอกสารไม่ตีพิมพ์).

มณพิไล แห่งทรัพย์เจริญ. จลนพลศาสตร์การชะล้างกำมะถันในถ่านหินด้วยกระบวนการเมเยอร์ส. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.

สมฤดี ริมพะสุต. จลนพลศาสตร์สลายตัวของกำมะถันในถ่านหินระหว่างคาร์บอไนเซชั่น. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.

อนัญญา พจนารถ. การปรับปรุงคุณภาพเศษถ่านหินโดยวิธีการคาร์บอไนเซชั่น. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.

ภาษาอังกฤษ

ASTM Standard; D388. Classification of coals by rank. U.S.A. : American Society for Testing and Materials, 1994.

ASTM Standard; D3172. Proximate analysis of coal and coke. U.S.A. : American Society for Testing and Materials, 1994.

ASTM Standard; D3173. Test for moisture in the analysis sample of coal and coke. U.S.A. : American Society for Testing and Materials, 1994.

ASTM Standard; D3174. Test for ash in the analysis sample of coal and coke. U.S.A. : American Society for Testing and Materials, 1994.

ASTM Standard; D3175. Test for volatile matter in the analysis sample of coal and coke. U.S.A. : American Society for Testing and Materials, 1994.

ASTM Standard: D3176. Ultimate analysis coal and coke. U.S.A. : American Society for Testing and Materials, 1994.

ASTM Standard: D3177. Total sulfur in the analysis sample of coal and coke. U.S.A. : American Society for Testing and Materials, 1994.

ASTM Standard; D2492. Forms of sulfur in coal. U.S.A. : American Society for Testing and Materials, 1994.

ASTM Standard; D2013. Preparing coal samples for analysis. U.S.A. : American Society for Testing and Materials, 1994.

Garcia-Labiano, F., Hampartsoumian, E., and Williams, A. Determination of sulfur release and its kinetics in rapid pyrolysis of coal. Fuel 74 (1995): 1072-1079.

Gryglewicz, G. Effectiveness of high temperature pyrolysis in sulfur removal from coal. Fuel Processing Technology 46 (1996): 217-226.

Gryglewicz, G. Sulfur transformations during pyrolysis of a high sulfur Polish coking coal. Fuel 74 (1995): 356-361.

Gryglewicz, G., and Jasienko, S. The behavior of sulphur forms during pyrolysis of low-rank coal. Fuel 71 (1992): 1225-1229.

Gryglewicz, G., Wilk, P., Yperman, J., Franco, D.V., Maes, I.I., Mullens, J., and Van Poucke, L.C. Interaction of the organic matrix with pyrite during pyrolysis of a high-sulfur bituminous coal. Fuel 75 (1996): 1499-1504.

Ibarra, J. V., Bonet, A.J., and Moliner, R. Release of volatile sulfur compounds during low temperature pyrolysis of coal. Fuel 73 (1994): 933-939.

Ibarra, J. V., Moliner, R., and Miranda, J.L. Desulfurization of Spanish high-sulfur coals by low temperature pyrolysis and magnetic separation. Processing and Utilization of High-Sulfur Coal III (1990): 415-424.

Ibarra, J. V., Palacios, J. M. , Moliner, R., and Bonet, A. J. Evidence of reciprocal organic matter-pyrite interactions affecting sulfur removal during coal pyrolysis. Fuel 73 (1994): 1046-1050.

Khan, M. R. Prediction of sulphur distribution in products during low temperature coal pyrolysis and gasification. Fuel 68 (1989): 1439-1449.

Lin, L., Khang, S. J., and Keener, T. C. Coal desulfurization by mild pyrolysis in a dual-auger coal feeder. Fuel Processing Technology 53 (1997): 15-29.

Lowry, H.H., ed. Chemistry of coal utilization. New York: John Wiley&Sons, 1963.

Maes, I.I., Gryglewicz, G., Machnikowska, H., Yperman, J., Franco, D.V., Mullens, J., and Van Poucke, L.C. Rank dependence of organic sulfur functionalities in coal. Fuel 76 (1997): 391-396.

Merrick, D., Coal combustion and conversion technology. Macmillan publisher, 1984.

Probstein, R.F., Hicks, R.E. Synthetic fuels. McGraw-Hill, Inc. 1982.

Schlosberg, R. H., ed. Chemistry of coal conversion. New York: Plenum Press, 1985.

Solomon, P. R., Fletcher, T. H., and Pugmire, R. J. Progress in coal pyrolysis. Fuel 72 (1993): 587-597.

Strugnell, B., and Patrick, W. Hydropyrolysis yields in relation to coal properties. Fuel 74 (1995): 481-486.

Sugawara, K., Tozuka, Y., Sugawara, T., and Nishiyama, Y. Effect of heating rate and temperature on pyrolysis desulfurization of a bituminous coal. Fuel Processing Technology 37 (1994): 73-85.

Sugawara, T., Sugawara, K., Nishiyama, Y., and Sholes, M. A. Dynamic behavior of sulphur forms in rapid hydropyrolysis of coal. Fuel 70 (1991): 1091-1097.

Sugawara, T., Sugawara, K., Sato, S., Chambers, A.K., Kovacik, G., and Ungarian, D. Characteristics of rapid hydropyrolysis of coals in a free fall pyrolyser. Fuel 69 (1990): 1177-101185.

Teng, H., Lin, H., and Ho, J. Thermogravimetric analysis on global mass loss kinetics of rice hull pyrolysis. Ind. Eng. Chem. Res. 36 (1997): 3974-3977.

Tia, S., Bhattacharya, C., and Wibulswas, P. Pyrolysis and volatile combustion of a single large lignite particle. Energy 16 (1991): 1131-1146.

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์คุณสมบัติถ่านหินและถ่านชาร์

ก.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis), ASTM D3172-3175

ก.1.1 การหาปริมาณความชื้นในถ่านหิน (Standard test method for moisture in the analysis sample of coal and coke), ASTM D 3173

หลักการ นำตัวอย่างถ่านหินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมโครเมตร มาให้ความร้อนคงที่ในตู้อบ (drying oven) เพื่อให้ไอน้ำระเหยออกไปจากถ่านหิน ค่าความชื้นคำนวณได้จากน้ำหนักของถ่านหินที่หายไป

เครื่องมือ ตู้อบ, ถาดอลูมิเนียมและฝาปิด, desiccator

วิธีการทดลอง

-อบถาดอลูมิเนียมพร้อมฝา ที่อุณหภูมิ 104-110 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที ทิ้งให้เย็นใน desiccator 15-30 นาที ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

-ชั่งตัวอย่างประมาณ 1กรัม ใส่ถาดอลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแน่นอน รีบปิดฝาอย่างรวดเร็ว บันทึกน้ำหนักตัวอย่าง

-เปิดฝาถาดและรีบนำเข้าตู้อบ(104-110 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

-เปิดตู้อบปิดฝาถาดอลูมิเนียมและรีบนำเข้า desiccator จนกระทั่งเย็น(อุณหภูมิห้อง)

-ชั่งน้ำหนักถาดพร้อมฝา บันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{ความชื้นในตัวอย่าง, \%} = [(A-B)/A]\times 100$$

โดย A = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้(กรัม)

B = น้ำหนักของตัวอย่างหลังจากให้ความร้อน(กรัม)

ก.1.2 การหาปริมาณเถ้าในถ่านหิน (Standard test method for ash in the analysis sample of coal and coke from coal), ASTM D3174

หลักการ นำตัวอย่างถ่านหินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมโครเมตร มาให้ความร้อนในเตาเผา (muffle furnace) จนน้ำหนักคงที่ ปริมาณเถ้าคำนวณได้จาก น้ำหนักที่เหลืออยู่

เครื่องมือ เตาเผา, ครูซิเบิล(crucible) แบบ porchelain และฝาปิด, desiccator

วิธีการทดลอง

-เผาครูซิเบิลพร้อมฝา ที่อุณหภูมิ 700-750 องศาเซลเซียส ประมาณ 60 นาที ทิ้งให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

-ชั่งตัวอย่างประมาณ 1กรัม ใส่ครูซิเบิลที่ทราบน้ำหนักแน่นอน รีบปิดฝาอย่างรวดเร็ว บันทึกน้ำหนักตัวอย่าง

-นำไปเผาบนตะเกียงบุนเซ็นเพื่อไล่ก๊าซมะถัน

-นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 450-500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

-เพิ่มอุณหภูมิเป็น 700-750 องศาเซลเซียส เผาจนน้ำหนักคงที่

-นำเข้า desiccator จนกระทั่งเย็น(อุณหภูมิห้อง)

-ชั่งน้ำหนักครูซิเบิลพร้อมฝา บันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

ปริมาณเถ้าในตัวอย่าง, % = [(A-B)/C]x100

โดย A = น้ำหนักของครูซิเบิล, ฝา และตัวอย่างที่เหลือ(กรัม)

B = น้ำหนักของครูซิเบิลและฝาเปล่า (กรัม)

C = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

ก.1.3 การหาปริมาณสารระเหยได้ในถ่านหิน (Standard test method for volatile matter in the analysis sample of coal and coke), ASTM D3175

หลักการ นำตัวอย่างถ่านหินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมโครเมตร มาเผาในเตาเผาแบบท่อ (tubular furnace) ปริมาณสารระเหยได้คำนวณจาก น้ำหนักที่หายไป

เครื่องมือ เตาเผาแบบท่อ, ครูซิเบิล nickle และฝาปิด, desiccator

วิธีการทดลอง

-เผาครูซิเบิลพร้อมฝา ที่อุณหภูมิ 950±20 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที ทิ้งให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

-ชั่งตัวอย่างประมาณ 1กรัม ใส่ครูซิเบิลที่ทราบน้ำหนักแน่นอน บันทึกน้ำหนักตัวอย่าง

-ปิดฝาครูซิเบิลให้พอดี นำไปเผาในเตาเผาแบบท่อโดยให้ความร้อนเป็นช่วง ที่ 300 องศาเซลเซียส 3 นาที, 600 องศาเซลเซียส 3 นาที และ 950±20 องศาเซลเซียส 6 นาที

-นำเข้า desiccator จนกระทั่งเย็น(อุณหภูมิห้อง)

-ชั่งน้ำหนักครูซิเบิลพร้อมฝา บันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

น้ำหนักที่หายไป,% = [(A-B)/A]x100

โดย A = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

B = น้ำหนักของตัวอย่างหลังจากให้ความร้อน (กรัม)

ปริมาณสารระเหยได้ในตัวอย่าง, % = C - D

โดย C = น้ำหนักที่หายไป, %

D = ความชื้น, %

C = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

ก.1.4 การหาปริมาณคาร์บอนคงตัวในถ่านหิน (Fixed carbon)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

คาร์บอนคงตัว, % = 100 - %ความชื้น - %เถ้า - % สารระเหยได้

ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณและรูปแบบกำมะถัน, ASTM D2492 และ 3177

ก.2.1 การหาปริมาณกำมะถันรวม (Standard test methods for total sulfur in the analysis sample of coal and coke), ASTM D3177

หลักการ เผาตัวอย่างที่ผสมกับ Eschka mixture กำมะถันที่ประกอบอยู่ในถ่านหินจะละลายเป็นซัลเฟตไอออนในน้ำร้อน ปริมาณกำมะถันรวมคำนวณได้ในรูปแบบเรียมซัลเฟต ($BaSO_4$)

เครื่องมือ เตาเผา(muffle furnace), porchelain crucible

สารเคมี

-สารละลายแบเรียมคลอไรด์(100 กรัม/ลิตร) ละลายแบเรียมคลอไรด์($BaCl_2.2H_2O$) 100 กรัมในน้ำและเจือจางให้ได้ 1 ลิตร

-Eschka mixture ประกอบด้วยแมกนีเซียมออกไซด์(MgO) และ โซเดียมคาร์บอเนต(Na_2CO_3) ในอัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนัก

-กรดเกลือ, HCl(1:1) ผสมกรดเกลือเข้มข้น(ความถ่วงจำเพาะ 1.19)และน้ำกลั่นเท่ากันโดยปริมาตร

-กรดเกลือ, HCl(1:9) ผสมกรดเกลือเข้มข้น(ความถ่วงจำเพาะ 1.19) 1 ส่วนและน้ำกลั่น 9 ส่วน โดยปริมาตร

-เมธิลออเรนจ์(methyl orange indicator solution) ละลาย methyl orange 0.02 กรัม ในน้ำร้อน 100 มิลลิลิตรและกรอง

-สารละลายอิ่มตัวโซเดียมคาร์บอเนต(Na_2CO_3) ละลายผลึกโซเดียมคาร์บอเนต($Na_2CO_3 .10H_2O$) 60 กรัม หรือ anhydrous Na_2CO_3 22 กรัม ในน้ำ 100 มิลลิลิตร

วิธีการทดลอง

-ผสมตัวอย่าง 1 กรัม และ Eschka mixture 3 กรัม ผสมให้เข้ากัน ใส่ในครูซิเบิล แล้วปิดทับด้วย Eschka mixture 1 กรัม

-นำครูซิเบิลเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิห้องสำหรับถ่านหิน และที่ประมาณ 200 องศาเซลเซียสสำหรับถ่านชาร์ แล้วเพิ่มอุณหภูมิเป็น 800±25 องศาเซลเซียส แล้วคงที่ไว้จนสีดำของถ่านหินหมดไป

-นำครูซิเบิลออกจากเตาเผาแล้วย่อยด้วยน้ำร้อน 100 มิลลิลิตร และคนให้ทั่วถึงเป็นเวลา 30-45 นาที

-ค่อย ๆ กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ล้างด้วยน้ำร้อนหลาย ๆ ครั้งจนได้ปริมาตรน้ำกรองประมาณ 250 มิลลิลิตร

-ทำสารละลายให้เป็นกลางด้วยกรดเกลือ(1:1)โดยใช้ เมธิลออเรนจ์ เป็นอินดิเคเตอร์ และเติมกรดเกลือ (1:9) 1 มิลลิลิตร

-ต้มสารละลายให้เดือดและขณะคนช้า ๆ ค่อย ๆ เติมสารละลายแบเรียมคลอไรด์ 10 มิลลิลิตร ต้มต่อไปอีกประมาณ 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ค้างคืน

-กรองตะกอน แบเรียมซัลเฟต ($BaSO_4$) ด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ล้างด้วยน้ำร้อนหลาย ๆ ครั้ง จนน้ำล้างตะกอนปราศจากคลอไรด์ไอออน ซึ่งทดสอบได้โดยสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต($AgNO_3$)

-นำกระดาษที่กรองได้พร้อมตะกอนใส่ในครูซิเบิลที่ทราบน้ำหนักแน่นอนเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 800±50 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่ ทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนัก

-blank correction ทำการทดลองเหมือนข้างต้นทุกประการแต่ไม่ใช้ตัวอย่างถ่านหิน

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{ร้อยละของกำมะถันรวม} = (A-B)x13.738/C$$

โดย A = น้ำหนักของแบเรียมซัลเฟต, กรัม

B = น้ำหนักของแบเรียมซัลเฟต(ใน blank), กรัม

C = น้ำหนักของตัวอย่าง, กรัม

ก.2.2 การหารูปแบบกำมะถันในถ่านหิน (Standard test method for forms of sulfur in coal), ASTM D 2492

หลักการ กำมะถันซัลเฟตแยกได้โดยกรดเกลือขณะที่ไพไรต์จะคำนวณได้จากธาตุเหล็กที่เป็นองค์ประกอบ ส่วนกำมะถันอินทรีย์คำนวณจากผลต่างของกำมะถันรวมกับกำมะถันซัลเฟตและไพไรต์

ก.2.2.1 การหากำมะถันซัลเฟต

เครื่องมือ เตาเผา(muffle furnace), porchelain crucible

สารเคมี

-แอมโมเนียม ไฮดรอกไซด์(ความถ่วงจำเพาะ 0.90)

-สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์(1:10) ผสมแอมโมเนียม ไฮดรอกไซด์ 1 ส่วนและน้ำกลั่น 10 ส่วน โดยปริมาตร

-สารละลายแบเรียมคลอไรด์(100 กรัม/ลิตร) ละลายแบเรียมคลอไรด์($BaCl_2.2H_2O$) 100 กรัมในน้ำและเจือจางให้ได้ 1 ลิตร

-น้ำโบรมีนอิ่มตัว เติมโบรมีนปริมาณมากเกินพอในน้ำ 1 ลิตร(ความสามารถในการละลาย 42 กรัม/ลิตร)

-เอธานอล

-กรดเกลือเข้มข้น, HCl(ความถ่วงจำเพาะ 1.19)

-กรดเกลือ, HCl(2:3) ผสมกรดเกลือเข้มข้น(ความถ่วงจำเพาะ 1.19) 2 ส่วนและน้ำกลั่น 3 ส่วน โดยปริมาตร

-เมธิลออเรนจ์(methyl orange indicator solution) ละลาย methyl orange 0.02 กรัม ในน้ำร้อน 100 มิลลิลิตรและกรอง

-สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต(0.43 กรัม/100 มิลลิลิตร) ละลายซิลเวอร์ไนเตรต 0.43 กรัม ในน้ำ 100 มิลลิลิตร เก็บไว้ในขวดเหลืองอำพัน

วิธีการทดลอง

-ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 2-5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์

-เติมกรดเกลือ(2:3) 50 มิลลิลิตร ทีละน้อยพร้อมทั้งคนให้ทั่ว

-เติมเอธานอล 2-3 หยด และต้มให้เดือดช้า ๆ เป็นเวลาครึ่งชั่วโมง

-กรองด้วยกระดาษกรองอย่างระมัดระวัง และล้างด้วยน้ำหลาย ๆ ครั้ง เก็บกระดาษกรองและตะกอนที่ได้จากการกรองไปหาไพไรต์ต่อไป

-เติมน้ำโบรมีน 5 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดอย่างน้อย 5 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

-ตกตะกอนเหล็กโดยค่อย ๆ เติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์(ความถ่วงจำเพาะ 1.19)จนกระทั่งสารละลายเป็นเบสเล็กน้อยเมื่อวัดด้วยกระดาษลิตมัส เติมให้เกินพออีก 5 มิลลิลิตร

-กรองด้วยกระดาษกรอง และล้างกระดาษกรองด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ร้อน

-เติมน้ำกรองด้วยกรดเกลือเข้มข้น(ความถ่วงจำเพาะ 1.19) จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูโดยใช้เมธิลออเรนจ์เป็นอินดิเคเตอร์ เติมให้เกินพออีก 1 มิลลิลิตร

-ต้มสารละลายให้เดือดและขณะคนช้า ๆ ค่อย ๆ เติมสารละลายแบเรียมคลอไรด์ 10 มิลลิลิตร ต้มต่อไปอีกประมาณ 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ค้างคืน

-กรองตะกอน ด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ล้างด้วยน้ำร้อนหลาย ๆ ครั้ง จนน้ำล้างตะกอนปราศจากคลอไรด์ไอออน ซึ่งทดสอบได้โดยสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต($AgNO_3$)

-นำกระดาษที่กรองได้พร้อมตะกอนใส่ในครูซิเบิลที่ทราบน้ำหนักแน่นอนเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 800±50 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่ ทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนัก

-blank correction ทำการทดลองเหมือนข้างต้นทุกประการแต่ไม่ใช้ตัวอย่าง

<u>สูตรที่ใช้ในการคำนวณ</u>

$$\text{ร้อยละของกำมะถันซัลเฟต} = \{[(S-C_S)-(B-C_B)]x13.735\}/W$$

โดย S = น้ำหนักของครูซิเบิลบวกตะกอนแบเรียมซัลเฟต, กรัม

C_S = น้ำหนักของครูซิเบิล, กรัม

B = น้ำหนักของครูซิเบิลบวกตะกอนแบเรียมซัลเฟต(ใน blank), กรัม

C_B = น้ำหนักของครูซิเบิล(ใน blank), กรัม

W = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้, กรัม

ก.2.2 การหากำมะถันไพไรต์

<u>เครื่องมือ</u> Atomic absorption spectrophotometer(AAS)

<u>สารเคมี</u>

-กรดเกลือเข้มข้น, HCl(ความถ่วงจำเพาะ 1.19)

-กรดเกลือ, HCl(2:3) ผสมกรดเกลือเข้มข้น(ความถ่วงจำเพาะ 1.19) 2 ส่วนและน้ำกลั่น 3 ส่วน โดยปริมาตร

-กรดเกลือ, HCl(1:49) ผสมกรดเกลือเข้มข้น(ความถ่วงจำเพาะ 1.19) 1 ส่วนและน้ำกลั่น 49 ส่วน โดยปริมาตร

-เหล็กมาตรฐาน(iron standard) ชั่งเหล็กบริสุทธิ 0.4±0.0001 กรัม หรือ ชั่งเหล็ก(III)ออกไซด์ 0.5179±0.0001 กรัมใส่ในบีกเกอร์ เติมกรดเกลือ(2:3) 50 มิลลิลิตร ปิดด้วยกระจกนาฬิกา ให้ความร้อนจนกระทั่งสารละลายเดือดอย่างช้า ๆ เป็นเวลาครึ่งชั่วโมง นำสารละลายมาเจือจางให้ได้ 1 ลิตร

-สารละลายแลนธานัม ละลายแลนธานัมคลอไรด์($LaCl_3$) 175 กรัม หรือ ไฮเดรตแลนธานัมคลอไรด์($LaCl_3.7H_2O$) 265 กรัมในน้ำ และเจือจางให้ได้ 1 ลิตร

-กรดไนตริก(1:7) ผสมกรดไนตริกเข้มข้น(ความถ่วงจำเพาะ 1.42) 1 ส่วน และน้ำกลั่น 7 ส่วนโดยปริมาตร

<u>วิธีการทดลอง</u>

-นำกระดาษกรองและตะกอนที่ได้จากการหากำมะถันซัลเฟต ใส่ในขวดรูปชมพู่

-เติมกรดไนตริก(1:7) 50 มิลลิลิตร ทีละน้อยพร้อมทั้งคนให้ทั่ว

-ต้มให้เดือดเป็นเวลาครึ่งชั่วโมงหรือทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง

-กรองด้วยกระดาษกรองและล้างด้วยน้ำหลาย ๆ ครั้ง จนได้น้ำกรองระหว่าง 100 - 200 มิลลิลิตร

-นำน้ำกรองมาเจือจางให้ได้ปริมาตร 200 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

นำน้ำกรองที่เจือจางแล้ว 10 มิลลิลิตร มาเติมสารละลายแลนธานัม10 มิลลิลิตร เจือจางให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตรด้วยกรดเกลือ(1:49) เรียกสารละลายว่า สารละลายทดสอบ

-blank correction ทำการทดลองเหมือนข้างต้นทุกประการโดยใช้ตัวอย่างจาก sulfate blank

-สร้างกราฟมาตรฐาน(calibration curve) โดยนำเหล็กมาตรฐานปริมาตรต่าง ๆ มาเติมสารละลายแลนธานัม 10 มิลลิลิตร และเจือจางให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยกรดเกลือ(1:49)

-วัดค่าการดูดซับของเหล็กมาตรฐานด้วย AAS โดยกำหนดภาวะต่าง ๆดังนี้

ความยาวคลื่น 248.3 nm(0-5 ppm Fe)

ความยาวคลื่น 372.0 nm(5-100 ppm Fe)

ความยาวคลื่น 344.1 nm(>100 ppm Fe)

flame: air/acetylene(lean)

-วัดค่าการดูดซับของ blank และสารละลายทดสอบ

<u>สูตรที่ใช้ในการคำนวณ</u>

ร้อยละของกำมะถันไพริติก = [FxAxVxCxPx(T-B)]/W

โดย F = 1.148 ,อัตราส่วนระหว่างกำมะถันและเหล็กในเหล็กซัลไฟด์(FeS_2)

A = 20

V = 100 มิลลิลิตร, ปริมาตรสารละลายทดสอบ

C = 10^{-6} กรัม/ไมโครกรัม

P = 100

T = ความเข้มข้นของเหล็กในสารละลายทดสอบ, กรัม/ไมโครกรัม

B = ความเข้มข้นของเหล็กในสารละลาย blank, กรัม/ไมโครกรัม

W = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้, กรัม

ก.2.3 การคำนวณร้อยละการกำจัดกำมะถัน

<u>สูตรที่ใช้ในการคำนวณ</u>

ร้อยละการกำจัดกำมะถัน = $[S_0-(SxY)]/S_0x100$

โดย

S_0 = ร้อยละกำมะถันเริ่มต้นในถ่านหิน 1 กรัม

S = ร้อยละกำมะถันในถ่านชาร์ 1 กรัม

Y = สัดส่วนของน้ำหนักถ่านชาร์ต่อน้ำหนักถ่านหินเริ่มต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณ

ข. 1 การวิเคราะห์แบบประมาณ

ตัวอย่าง : ถ่านหินแม่เมาะ

การคำนวณปริมาณความชื้นในถ่านหิน

น้ำหนักถาดอลูมิเนียมและฝาปิด	12.3209	กรัม
น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้	1.0005	กรัม
น้ำหนักถาดอลูมิเนียมและฝาปิด+ตัวอย่างหลังให้ความร้อน	13.2018	กรัม

ร้อยละความชื้น = (1.0005-(13.2018-12.3209))/1.0005x100

= 11.95

การคำนวณปริมาณเถ้าในถ่านหิน

น้ำหนักครูซิเบิลและฝา	27.0570	กรัม
น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้	1.0002	กรัม
น้ำหนักครูซิเบิลและฝา + ตัวอย่างหลังให้ความร้อน	26.7013	กรัม

ร้อยละเถ้า = (27.0570-26.7013)/1.0002x100

= 35.56

การคำนวณปริมาณสารระเหยในถ่านหิน

น้ำหนักครูซิเบิลและฝา	22.3805	กรัม
น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้	1.0020	กรัม
น้ำหนักครูซิเบิลและฝา + ตัวอย่างหลังให้ความร้อน	22.9255	กรัม

ร้อยละน้ำหนักที่สูญเสีย = (1.0020-(22.9255-22.3805))/1.0020x100

= 45.61

ร้อยละสารระเหย = 45.61-11.95

= 33.66

การคำนวณปริมาณคาร์บอนคงตัวในถ่านหิน

ร้อยละคาร์บอนคงตัว = 100-11.97-35.54-32.20

= 20.30

หมายเหตุ ร้อยละความชื้น เถ้า และสารระเหย คำนวณจากผลการทดลองหนึ่งครั้ง ส่วนร้อยละคาร์บอนคงตัวคำนวณจากร้อยละความชื้น เถ้า และสารระเหยเฉลี่ยจากผลการทดลอง 3 ครั้ง

ข. 2 การวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบกำมะถัน

ตัวอย่าง : ถ่านหินแม่เมาะ

การคำนวณปริมาณกำมะถันรวม

น้ำหนักครูซิเบิล	15.77409	กรัม
น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้	0.99996	กรัม
น้ำหนักครูซิเบิล+ตัวอย่างหลังการทดลอง	16.02571	กรัม
น้ำหนักของแบเรียมซัลเฟต (ใน blank)	0.01020	กรัม

ร้อยละกำมะถันรวม = ((16.02571-15.77409)-0.01020)x13.738/0.99996

= 3.317 กรัม

ร้อยละกำมะถันรวมเมื่อไม่คิดความชื้น = (3.31676x100)/(100-11.97) = 3.768

การคำนวณปริมาณกำมะถันซัลเฟต

น้ำหนักครูซิเบิล	16.2594	กรัม
น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้	2.0008	กรัม
น้ำหนักครูซิเบิล+ตัวอย่างหลังการทดลอง	16.3211	กรัม
น้ำหนักของแบเรียมซัลเฟต (ใน blank)	0.0074	กรัม

ร้อยละกำมะถันซัลเฟต = ((16.3211-16.2594)-0.0074)x13.735/2.0008

= 0.373

ร้อยละกำมะถันซัลเฟตเมื่อไม่คิดความชื้น = (0 373x100)/(100-11.97) = 0.424

การคำนวณปริมาณกำมะถันไพไรต์

น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้	2.0002	กรัม
ความเข้มข้นของเหล็กในสารละลายทดสอบ	5.90	กรัม/ไมโครกรัม
ความเข้มข้นของเหล็กในสารละลาย blank	0.23	กรัม/ไมโครกรัม

ร้อยละกำมะถันไพไรต์ = $(1.148 \times 20 \times 100 \times 10^{-6} \times 100 \times (5.90-0.23))/2.0002$

= 0.651

ร้อยละกำมะถันไพไรต์เมื่อไม่คิดความชื้น = (0.651x100)/(100-11.97) = 0.740

การคำนวณปริมาณกำมะถันอินทรีย์

ร้อยละกำมะถันอินทรีย์เมื่อไม่คิดความชื้น = 3.770-0.763-0.423

= 2.584

หมายเหตุ ร้อยละกำมะถันซัลเฟตและไพไรต์ คำนวณจากผลการทดลองหนึ่งครั้ง ส่วนร้อยละกำมะถันอินทรีย์คำนวณจากร้อยละกำมะถันซัลเฟตและไพไรต์เฉลี่ยจากผลการทดลอง 3 ครั้ง

ข.3 การวิเคราะห์ร้อยละการกำจัดกำมะถัน

ตัวอย่าง: ถ่านชาร์ที่ได้จากไพโรไลซิสที่ 400 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ในบรรยากาศไนโตรเจน

การคำนวณร้อยละการกำจัดกำมะถันรวม

ร้อยละกำมะถันรวมในถ่านหิน 3.770

ร้อยละกำมะถันรวมในถ่านชาร์ 3.689

ร้อยละการกำจัดกำมะถันรวม = [3.770-(3.689x0.77906)]/3.770x100

= 23.78

การคำนวณร้อยละการกำจัดกำมะถันซัลเฟต

ร้อยละกำมะถันซัลเฟตในถ่านหิน 0.423

ร้อยละกำมะถันซัลเฟตในถ่านชาร์ 0.417

ร้อยละการกำจัดกำมะถันซัลเฟต = [0.423-(0.417x0.77906)]/0.423x100

= 23.20

การคำนวณร้อยละการกำจัดกำมะถันไพไรต์

ร้อยละกำมะถันไพไรต์ในถ่านหิน 0.763

ร้อยละกำมะถันไพไรต์ในถ่านชาร์ 0.760

ร้อยละการกำจัดกำมะถันไพไรต์ = [0.763-(0.760x0.77906)]/0.763x100

= 22.33

การคำนวณร้อยละการกำจัดกำมะถันอินทรีย์

ร้อยละกำมะถันอินทรีย์ในถ่านหิน 2.584

ร้อยละกำมะถันอินทรีย์ในถ่านชาร์ 2.511

ร้อยละการกำจัดกำมะถันอินทรีย์ = [2.584-(2.511x0.77906)]/2.584x100

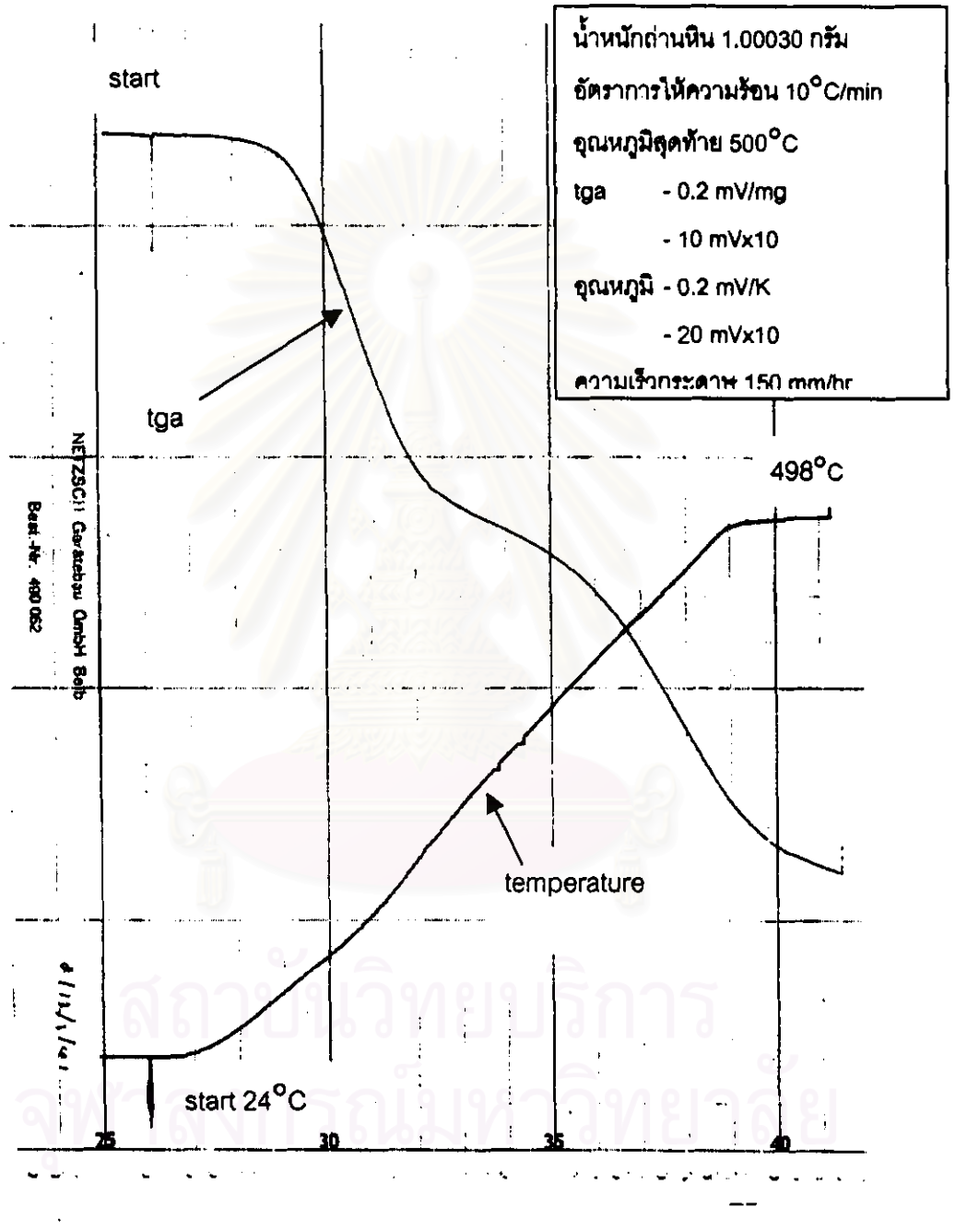
= 24.30

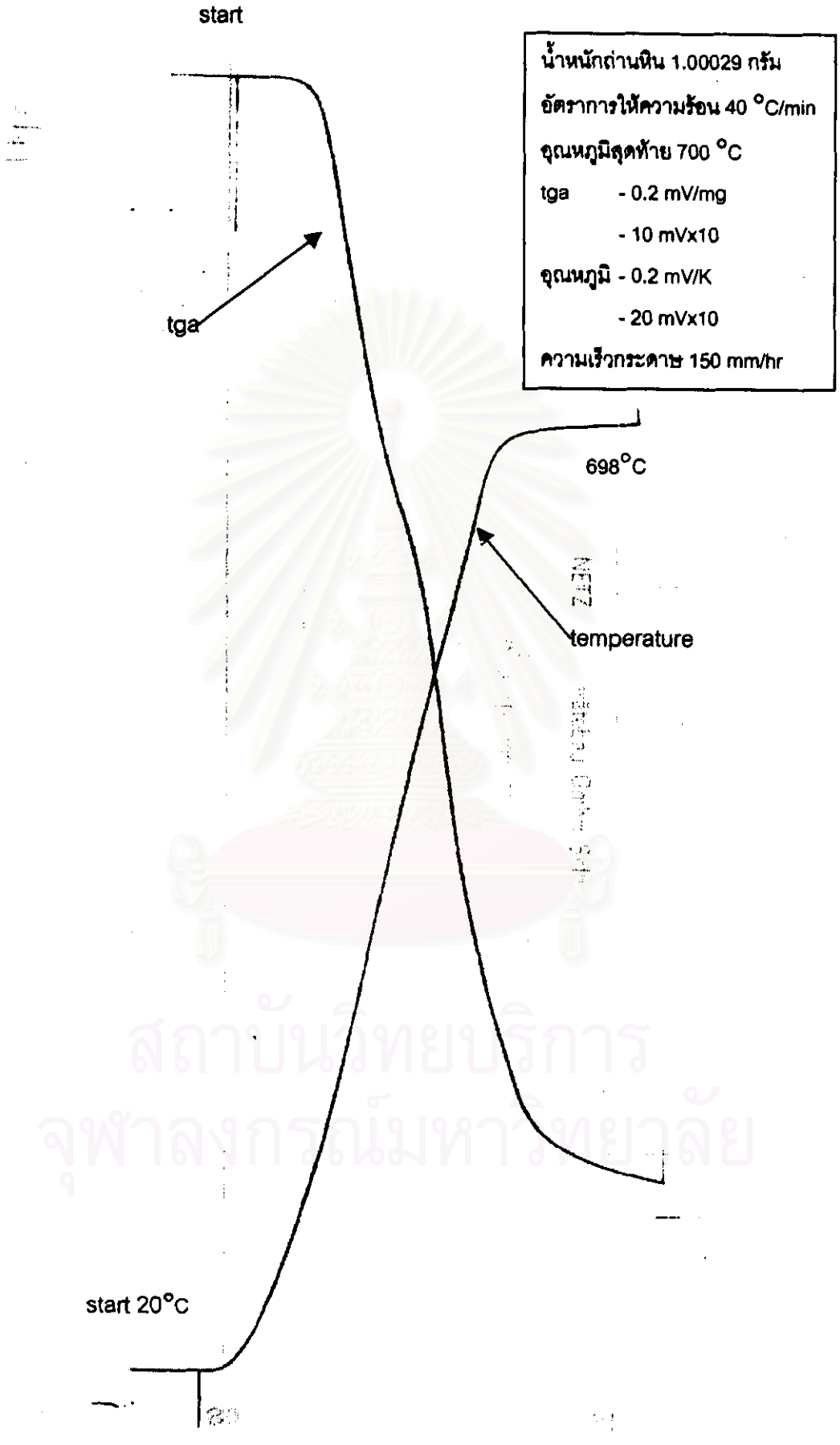
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

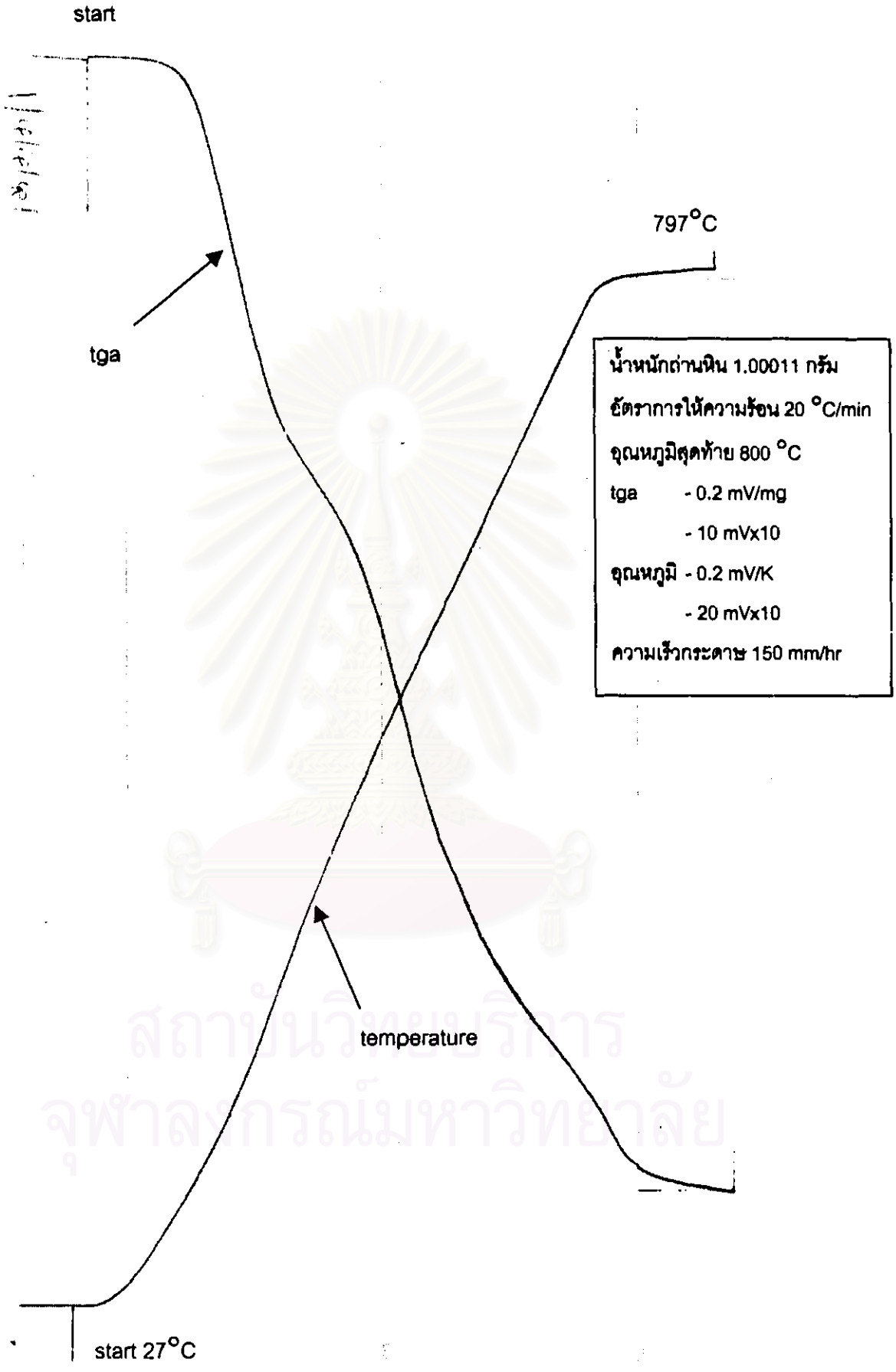
ตัวอย่างเทอร์โมแกรม

ค.1 ตัวอย่างเทอร์โมแกรมเมื่อไพโรไลสในบรรยากาศไนโตรเจน



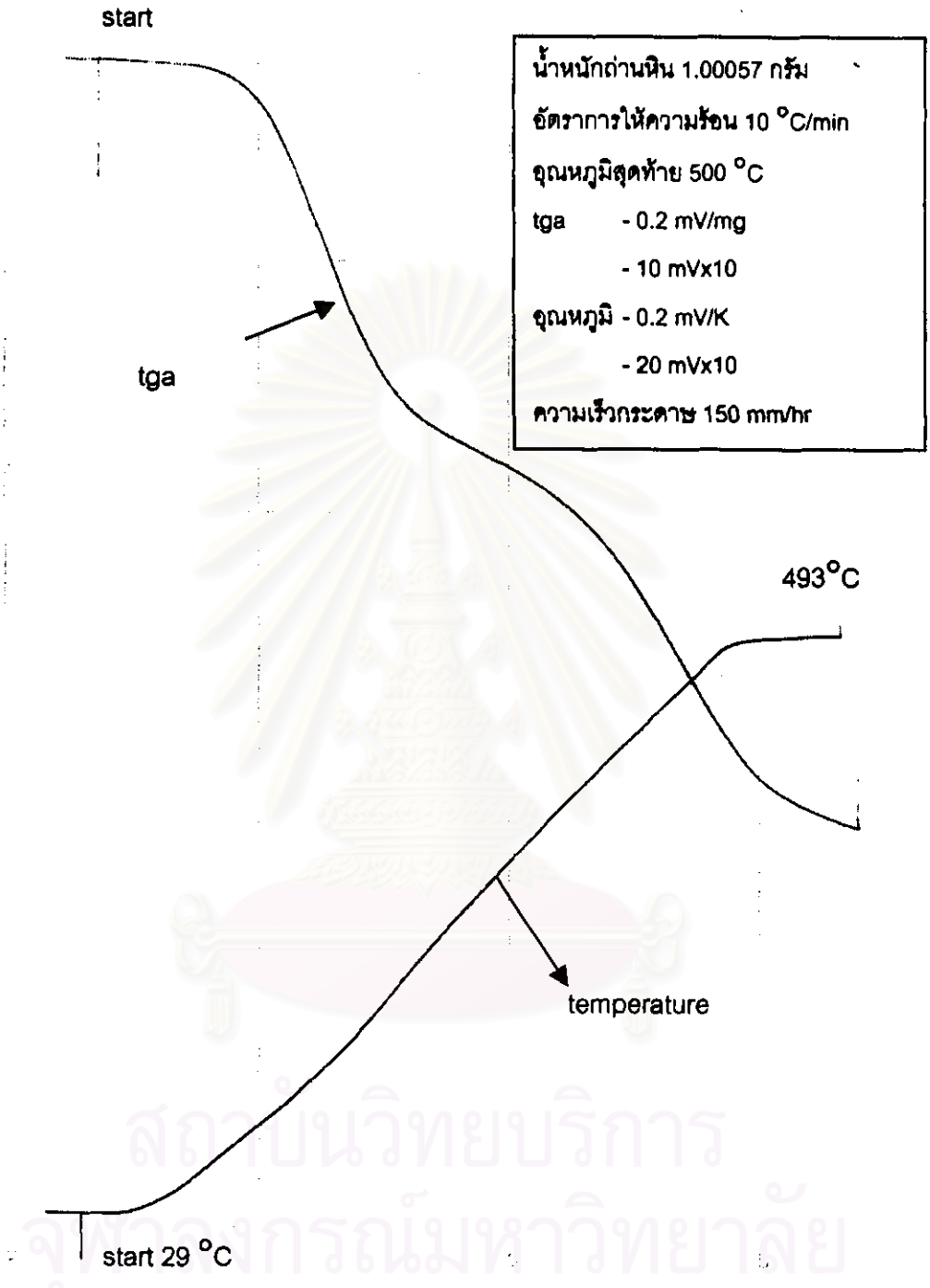


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

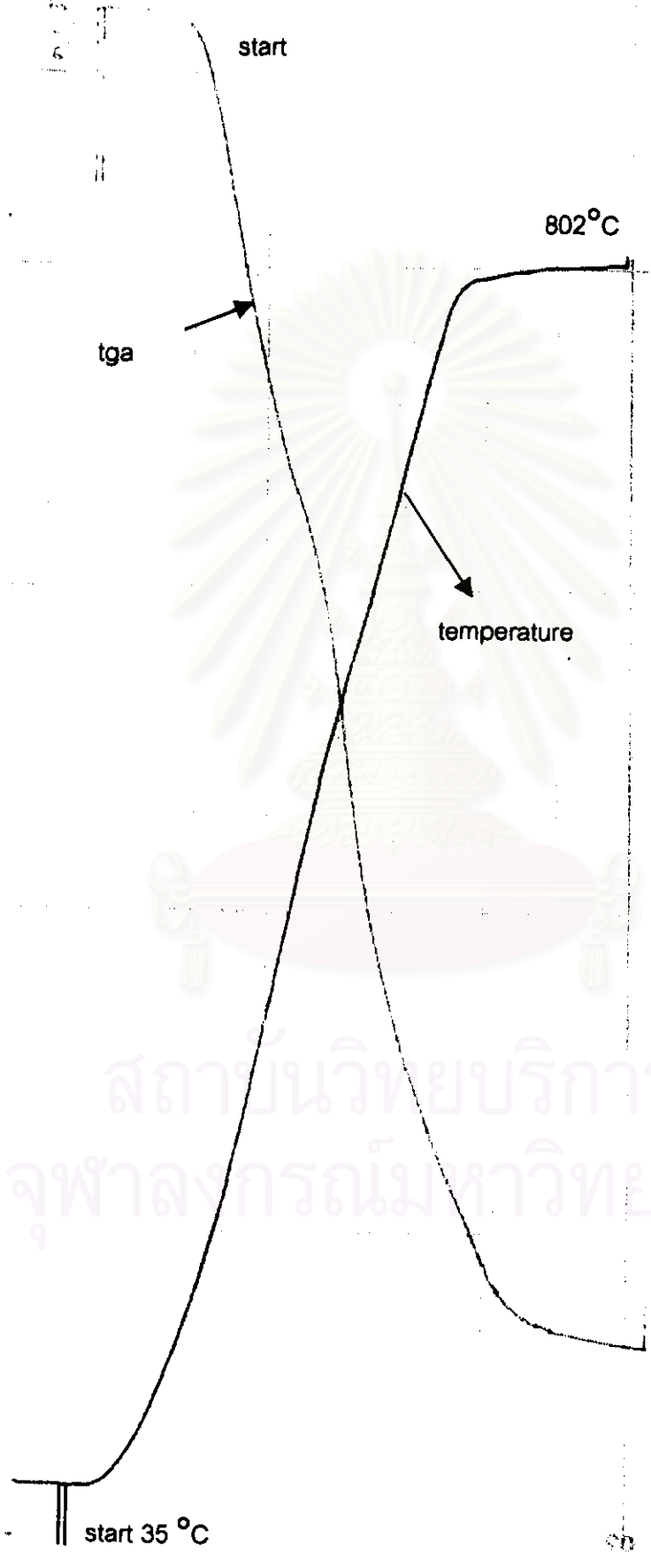


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค.2 ตัวอย่างเทอร์โมแกรมเมื่อไพโรไลส์ในบรรยากาศไฮโดรเจน

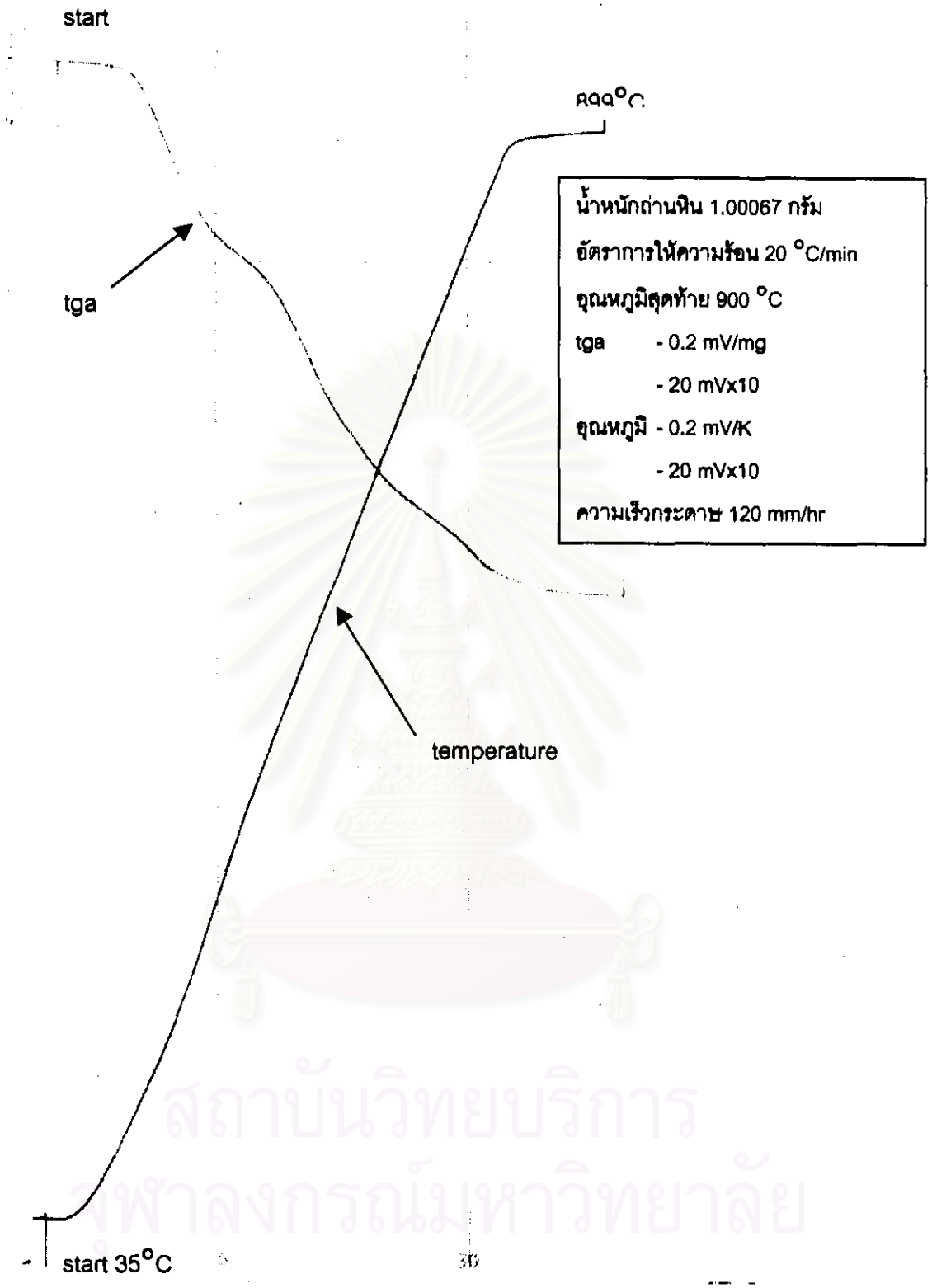


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



น้ำหนักถ่านหิน 1.00046 กรัม
อัตราการให้ความร้อน 40 °C/min
อุณหภูมิสุดท้าย 800 °C
tga - 0.2 mV/mg
- 10 mVx10
อุณหภูมิ - 0.2 mV/K
- 20 mVx10
ความเร็วกระดาษ 150 mm/hr

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค.3 การวิเคราะห์เทอร์โมแกรม

1. จาก TG-curve และ temperature-curve นำมาคำนวณหาน้ำหนักที่สูญเสียไปและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ต่อระยะทาง 1 ช่องของเทอร์โมแกรม (ตามแกน Y)
2. จากค่าความเร็วของกระดาษ (หน่วย mm/hr) นำมาคำนวณหาเวลาที่ใช้ไป ต่อ 1 ช่องของเทอร์โมแกรม (ตามแกน X)
3. นำตัวอย่างเทอร์โมแกรมมาสแกนเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยเครื่องสแกนเนอร์
4. อ่านรูปที่สแกนได้โดยใช้โปรแกรมสำหรับจัดการรูปภาพ เช่น Photo shop, Photo editor หรือ Corel draw เป็นต้น
5. เทียบสัดส่วนระยะทาง 1 ช่องที่วัดได้จริงจากเทอร์โมแกรม และระยะทาง 1 ช่องที่อ่านได้จากรูป ทำได้โดยเลื่อนเมาส์ไปยังจุดสองจุดที่ต้องการและอ่านพิกัด แล้วหาผลต่างของสองจุดนั้น
6. อ่านพิกัดของ TG-curve และ temperature-curve แล้วเทียบสัดส่วนระยะทางเพื่อคำนวณหาน้ำหนักที่สูญเสียไปและอุณหภูมิแต่ละจุดที่เกิดขึ้นจริง
7. ลากเส้นตรงสัมผัสเส้นโค้ง TG-curve คำนวณความชันของเส้นตรงที่สัมผัสแต่ละจุดของเส้นโค้ง โดยนำเศษมาเทียบสัดส่วนระยะทางเพื่อหาผลต่างของน้ำหนักที่สูญเสียไป (dm) และส่วนมาเทียบสัดส่วนระยะทางเพื่อหาผลต่างของเวลา (dt)
8. สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่สูญเสียไป และ อัตราการสูญเสียน้ำหนัก (dm/dt) เทียบกับอุณหภูมิ
9. อ่านอุณหภูมิ ณ จุดยอดของกราฟอัตราการสูญเสียน้ำหนัก อุณหภูมิดังกล่าวคือ Tmax

หมายเหตุ ความถูกต้องของการคำนวณขึ้นอยู่กับความละเอียดและความถี่ในการอ่านพิกัด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค.4 ตัวอย่างค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักต่อเวลา (dm/dt) และอุณหภูมิที่ได้จากการวิเคราะห์เทอร์โมแกรม

ตัวอย่าง: เทอร์โมแกรมที่ได้จากไพโรไลซิสที่ 600 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 40 องศาเซลเซียสต่อนาที ในบรรยากาศไนโตรเจน

อุณหภูมิ (°C)	dm/dt (mg/s)	อุณหภูมิ (°C)	dm/dt (mg/s)
31.0	0.00	460.4	0.68
31.5	0.01	489.9	0.58
40.2	0.02	513.4	0.53
66.1	0.09	534.2	0.39
95.6	0.32	553.1	0.32
124.2	0.49	571.5	0.25
168.4	0.58	579.4	0.14
194.3	0.49	589.5	0.11
225.2	0.47	592.3	0.07
256.8	0.35	595.0	0.05
287.0	0.30	597.3	0.03
327.1	0.31	598.7	0.02
366.3	0.40	599.6	0.02
402.3	0.57	600.6	0.00
433.2	0.74		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นายฉัตรชัย ธนศรีสุข เกิดวันที่ 23 เมษายน 2517 จังหวัดอ่างทอง สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีวิศวกรรม (เทคโนโลยีทางเชื้อเพลิง) ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2538 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2539

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย