เอกสารอ้างอิง

1. บุญชัย เจียมจิตจรุง , " บทบาทรัฐ/เอกชนกับอนาคตถ่านหินไทย, " ฐานเศรษฐกิจ ฉบับวันที่ 17-22 กรกฎาคม, หน้า 38, 2532
2. โครงการสำรวจและประเมินศักยภาพถ่านหิน กองเชื้อเพลิงธรรมชาติ," ถ่านหินในอนาคต," ข่าวสารการธรณี ปีที่ 33, ฉบับที่ 6, หน้า 41-50, 2531
3. สมชาย สุพฤฒิพาณิชย์, นาวี พิชัยกุล, " ถ่านหิน: การผลิตและการใช้ในประเทศ, " ข่าวสารการธรณี ปีที่ 32, ฉบับที่ 4, หน้า 8-17, 2530
4. บุญชัย เจียมจิตจรุง , " บทบาทรัฐ/เอกชนกับอนาคตถ่านหินไทย (ตอนที่ 2), " ฐานเศรษฐกิจ ฉบับวันที่ 24 - 29 กรกฎาคม, หน้า 32, 2532
5. เกริกชัย สุกาญจนัจที, ไอน้ำและพลังงานจากถ่านหิน, หน้า 1-16, โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 2529
6. ASTM Standard ; D 388, " Classification of Coals by Rank," American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1985
7. Beer, J.M., " The 1986 British Coal Utilization Research Association Robens Coal Science Lecture: Combustion of Coal; a new look at an old problem, " J.Institute of Energy September, 143-151, 1987
8. Singer, J. G., "Fossil Fuels," Combustion Fossil Power Systems , pp. 2-42 , Combustion Engineering, Inc., Windsor, 1981
9. สันต์ รัชฎาวงศ์, " แนวทางการใช้ลิกไนต์, " ข่าวสารการธรณี ปีที่ 32, ฉบับที่ 1, หน้า 120-126, 2530
10. Levy, P. F., " Thermal Analysis: an Overview, " Thermal Analysis Applications Laboratory, Du Pont Instrument
11. Wendlendt, W. W., Thermal Methods of Analysis, pp.1-91, John Willey & Sons, Inc., New York, 1964
12. Cumming, J. W., " Reactivity Assessment of Coals via a Weighted Mean Activation Energy, " Fuel 63, 1436-1440, 1984
13. Smith, S. E., Neavel, R. C., Hippo, E. J. and Miller, R. N., "DTGA Combustion of Coals in the Exxon Coal Library, " Fuel, 60, 458-462, 1981

14. Morgan, P. A., Robertson, S. D. and Unsworth, J. F., " Combustion Studies by Thermogravimetric Analysis 1. Coal Oxidation, " Fuel 65, 1546-1551, 1986

15. Rosenvold, R.J., Dubow, J.B. and Rajeshwar, K., " Thermal Analyses of Ohio Bituminous Coals, " Thermochimica Acta, 53, 321-332, 1982

16. Ohrbach, K. H., Klusmeier, W. and Kettrup, A., " TG - DTA - MS Investigations of Coal and Characterization of the Volatile Products Released as a Function of Temperature, " J.Thermal Anal. 29, 147-151, 1984

17. ศรีรัตน์ คันสนียานนท์, " การวิเคราะห์ถ่านหินจากแหล่งต่างๆในประเทศไทย," รายงานวิจัย Senior Project, ภาควิชาเคมีเทคนิค, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527

18. Mackenzie, R. C., editor, Differential Thermal Analysis , vol. 2 pp. 705-723, Academic Press, London, 1970

19. Lowry. H. H., editor, Chemistry of Coal Utilization , second supp. volume, pp. , John Willey & Sons, Inc., New York 1981

20. Cumming, J. W. and McLanghlin, " The Thermogravimetric Behavior of coal, " J.Thermochim Acta 57, 253-272, 1982

21. Paul Baur, Ass. Editor, " Thermogravimetry Speeds up Proximate Analysis of Coal, " Power , March, 91-93, 1983

22. Earnest, C. M. and Fyans, R. L., " Recent Advances in Microcomputer Controlled Thermogravimetry of Coal and Coal Products, " 1-8, Perkin - Elmer Corp., Norwalk, CT

23. ธีรศักดิ์ ฤกษ์สมบูรณ์ " สหสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับผลวิเคราะห์แบบประมาณของถ่านหินแหล่งต่างๆในประเทศไทย " วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2533

24. Warrington, S. B., Proc. Conf. - Int. Coal Test. Conf. 1984, 4th 41-43 (Eng.) ; Chem. Abstr. 1985, 103, 56474v

25. Sadek, F. S., Herell, A. Y., Am.Lab (Fairfield, Conv.) 1984, 16(3) 75-76, 78 (Eng) ; Chem. Abstr. 1983, 100, 177470n

26. Elder, J. P., " Proximate Analysis by Automated Thermogravimetry, " Fuel 62, 580-584, 1983

27. Hassel, R. L., Du Pont Company Instrument Products Scientific and Process Division Wilmington, DE 19898

28. พัชรี ชุติศิลป์, สมบูรณ์ จงดีไพศาล, " การวิเคราะห์ถ่านหินแบบประมาณด้วยเครื่องวิเคราะห์ทางความร้อน, " รายงานวิจัย Senior Project, ภาควิชาเคมีเทคนิค, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529

29. Paolo Ghetti, " DTG Combustion Behiviour of Coal-Correlations with Proximate and Ultimate Analysis Data, " Fuel 65, 636-639, 1986

30. Paolo Ghetti, Ubaldo De Robertis, Salvatore D'Antone, Marco Villari and Emo Chiellini, "Coal Combustion: Correlation between Surface Area and Thermogravimetric Analysis Data, " Fuel 64, 950-954, 1985

31. Saayman, C. H., " Thermogravimetric Analysis and Its Application for Estimating the Combustion Properties of Coal from the Study of Small Samples, " Thermochim. Acta 93, 369-372, 1985

32. Elder, J. P. and Harris, M. B., " Thermogravimetry and Differential Scanning Calorimetry of Kentucky Bituminous Coals, " Fuel 63, 262-267, 1984

33. Ohrbach, K. W., Kettup, A. and Radhoff, G., " Investigation of the Volatile Matter Released from Coal Employing Simultaneous Thermogravimetry - Differential Thermal Analysis - Mass Spectrometry, " J. Analytical and Applied Pyrolysis 8, 195-199, 1985

34. Crelling, J. C., Skompska, N. M. and Marsh, H., " Reactivity of Coal Macerals and Lithotypes, " Fuel 67, 781-785, 1988

35. ณัฐฐินี บุญธรรม และ นันทินี ตีรนันทกุล, " การศึกษา Burning Profile ของถ่านหิน," รายงานวิจัย Senior Project, ภาควิชาเคมีเทคนิค, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530

36. ASTM Standard ; D 3172, " Proximate Analysis of Coal and Coke, " American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1985

37. ____ ; D 3173, " Test for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke, " American Society for Testing and Materials,

U.S.A., 1985

38. ASTM Standard; D 3174, " Test for Ash in the Analysis Sample of Coal And Coke, " American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1985

39. ____ ; D 3175, " Test for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke ," American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1985

40. ____ ; D 2015, " Test for Gross Calorific Value of Solid Fuel by the Adiabatic Bomb Calorimeter, " American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1985

41. ____ ; D 3177, " Total Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke, " American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1985

42. ____ ; D 441, " Tumbler Test for Coal, " American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1985

43. ____ ; D 2013, " Preparing Coal Sample for Analysis, " American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1985

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. วิธีวิเคราะห์ต่างๆ

ก.1 <u>การวิเคราะห์ถ่านหินแบบประมาณ</u> ตามวิธี ASTM D 3173 - 3175

ก.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในถ่านหิน (Moisture in the analysis sample of coal and coke, ASTM D-3173)

เครื่องมือ

1. ตู้อบ (Drying Oven)
2. จานอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด (Aluminium Dish)

วิธีทดลอง

1. อบจานอลูมิเนียมพร้อมฝาในเตาอบที่ 105-110 °ซ นาน 2 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นในเดสิเคเตอร์ นำไปชั่ง บันทึกน้ำหนัก
2. ใส่ถ่านหินที่เตรียมไว้ประมาณ 1 กรัม บันทึกน้ำหนัก
3. นำไปอบที่อุณหภูมิ 105-110 °ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. นำจานอลูมิเนียมออกจากเตา แล้วปล่อยให้เย็นในเดสิเคเตอร์ นำออกมาชั่ง บันทึกน้ำหนัก

วิธีคำนวณ

M = ((W1-W2)/W)*100

M = ปริมาณความชื้น ,%

W1 = น้ำหนักจาน + ฝา + ตัวอย่างก่อนอบ ,กรัม

W2 = น้ำหนักจาน + ฝา + ตัวอย่างหลังอบ ,กรัม

W = น้ำหนักตัวอย่าง ,กรัม

ก.1.2 การหาปริมาณเถ้าในถ่านหิน (Ash in the analysis sample of coal and coke, ASTM D-3174)

เครื่องมือ

1. Muffle Furnace
2. พอร์ซเลน ครูซิเบิ้ล (Porcelain Crucible)

วิธีทดลอง

1. เผาพอร์ซเลนครูซิเบิ้ลในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 700-750 °ซ เป็นเวลาหนึ่งชั่วโมง ปล่อยให้เย็นลงในเดสิเคเตอร์
2. ชั่งน้ำหนักครูซิเบิ้ลพร้อมฝา ใส่ถ่านหินที่เตรียมไว้ประมาณ 1 กรัม

บันทึกน้ำหนัก

3. เผาครูซิเบิ้ลที่บรรจุถ่านหินเพื่อไล่ควัน ด้วยตะเกียงบุนเซนโดยใช้ไฟอ่อนๆ เปิดฝาไว้จนหมดควัน แล้วเผาต่อจนถ่านหินร้อนแดงจึงยกออกแล้วปิดฝา
4. นำเข้าเตาเผา โดยเปิดฝาออก เผาที่อุณหภูมิ 700-750 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
5. เมื่อครบ 2 ชั่วโมง นำครูซิเบิ้ลออกมาวางทิ้งไว้บนแผ่นกระเบื้องจนอุณหภูมิลดลง นำเข้าเดซิเคเตอร์ เมื่ออุณหภูมิเย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องจึงนำครูซิเบิ้ลพร้อมฝาไปชั่งน้ำหนัก บันทึกผล
6. นำครูซิเบิ้ลพร้อมฝาเข้าเตาเผาอีกครั้งหนึ่ง เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วทำซ้ำในข้อ 5

วิธีคำนวณ

A = ((W3-W4)/W)*100

A = ปริมาณเถ้า ,%

W3 = น้ำหนักครูซิเบิ้ล + ฝา + เถ้า ,กรัม

W4 = น้ำหนักครูซิเบิ้ล + ฝา ,กรัม

W = น้ำหนักตัวอย่าง ,กรัม

ก.1.3 การหาปริมาณสารระเหยได้ในถ่านหิน (Volatile Matter in the analysis sample of coal and coke, ASTM D-3175) ดัดแปลงสำหรับถ่านหินที่เป็นประกายไฟง่าย (Sparking fuels)

เครื่องมือ

1. Tubular Furnace
2. นิคเกิ้ล ครูซิเบิ้ล (Nickle Crucible)

วิธีทดลอง

1. ชั่งครูซิเบิ้ลพร้อมฝา ใส่ถ่านหินที่เตรียมไว้ประมาณ 1 กรัม บันทึกน้ำหนัก
2. วางครูซิเบิ้ลที่มีฝาปิดสนิท บนที่รองรับ จากนั้นนำไปให้ความร้อนโดยอยู่เหนือปากเตา อุณหภูมิประมาณ 300 °ซ เป็นเวลา 3 นาที
3. หย่อนครูซิเบิ้ลลงในเตา บริเวณที่มีอุณหภูมิประมาณ 600 °ซ เป็นเวลา 3 นาที
4. หย่อนครูซิเบิ้ลลงไปอีกให้อยู่บริเวณกึ่งกลางเตา ที่อุณหภูมิประมาณ 950 °ซ เป็นเวลา 6 นาที

5. นำออกมาทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำเข้าเดสิเคเตอร์ จากนั้นนำไปชั่งแล้วบันทึกผล

วิธีคำนวณ

V = ((W5-W6)/W)*100 - M

V = ปริมาณสารระเหย ,%

W5 = น้ำหนักครูซิเบิ้ล + ฝา + ตัวอย่างก่อนเผา ,กรัม

W6 = น้ำหนักครูซิเบิ้ล + ฝา + ตัวอย่างหลังเผา ,กรัม

W = น้ำหนักตัวอย่าง ,กรัม

M = ปริมาณความชื้น ,%

ก.1.4 การหาปริมาณคาร์บอนคงที่ (Fixed Carbon)

ปริมาณคาร์บอนคงที่ = 100 - (%ความชื้น + %ปริมาณเถ้า + %ปริมาณสารระเหย)

ก.2 <u>การหาค่าความร้อนและปริมาณกำมะถันของถ่านหิน</u> ตามวิธี ASTM D-3286 และ D-3177

เครื่องมือ

1. อะเดียบาติกบอมบ์คาลอริมิเตอร์
2. เส้นลวด (Fuse Wire)
3. เส้นใยแอสเบสตอส
4. พอร์ซเลนครูซิเบิ้ล
5. Muffle Furnace
6. กระดาษกรอง เบอร์ 1,42

สารเคมี

1. เบนโซอิคอัดเม็ด
2. เมธิลออเรนจ์
3. สารละลาย 0.0725 N. Na_2CO_3
4. สารละลาย NH_4OH
5. น้ำโบรมีน
6. สารละลาย HCl 1:9
7. สารละลาย $BaCl_2$
8. $AgNO_3$

ก.2.1 การหาค่ามาตราฐานของเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์

วิธีทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักกรดเบนโซอิคอัดเม็ด 1 เม็ด ในครูซิเบิ้ลที่ทราบน้ำหนักแล้ว
2. วางตัวบอมบ์บนที่ตั้ง ถอดฝาปิดบอมบ์ออกแล้ววางบนขาตั้งฝาบอมบ์ จากนั้นตัดลวดยาวประมาณ 10 ซม. นำมาผูกไว้ระหว่างปลายทั้งสองของแท่งเหล็กที่อยู่ด้านล่างของฝาบอมบ์
3. วางครูซิเบิ้ลที่บรรจุเม็ดเบนโซอิค ลงบนห่วงที่ปลายแท่งเหล็กด้านล่างฝาบอมบ์ จัดให้ลวดที่ผูกไว้โค้งเป็นรูปตัวยูแตะอยู่ผิวหน้าของเม็ดกรด
4. เติมน้ำกลั่น 1 มล. ลงในตัวบอมบ์ที่วางอยู่บนที่ตั้ง
5. ประกอบฝาบอมบ์เข้ากับตัวบอมบ์ ขันแกลียวจนแน่นจากนั้นนำไปอัดกาซออกซิเจน ให้ได้ความดันในช่วง 20-22 บรรยากาศ
6. ใส่น้ำกลั่นที่ปรับอุณหภูมิไว้ประมาณ 25 °ซ ลงในถังบรรจุบอมบ์เป็นปริมาณ 1 ลิตร จากนั้นวางบอมบ์ลงในถังบรรจุบอมบ์แล้วจึงเติมน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิ 25 °ซ ลงไปอีก 1 ลิตร (ต้องสังเกตดูการรั่วของกาซ โดยดูจากฟองอากาศที่อาจจะปุดออกจากฝาบอมบ์)
7. เสียบสายการจุดระเบิด 2 เส้นเข้ากับบอมบ์ ปิดฝาเครื่อง
8. เปิดสวิทช์บอมบ์แคลอริมิเตอร์มอเตอร์จะเริ่มทำงาน บันทึกอุณหภูมิของน้ำทุกๆ 30 วินาที (น้ำที่ติดกับตัวบอมบ์ และน้ำที่อยู่ในต้าหุ้ม (Jacket) ของระบบบอมบ์) จนกระทั่งได้ค่าใกล้เคียงกันจึงเริ่มกดปุ่มจุดระเบิด (สังเกตจากไฟแดงที่ปุ่มนี้จะสว่างขึ้น) จากนั้นบันทึกอุณหภูมิทั้งสองค่าที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 30 วินาทีและหยุดการทดลองเมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ติดอยู่กับตัวบอมบ์มีค่าคงที่
9. ปิดสวิทช์ นำตัวบอมบ์ออก ปล่อยกาซในตัวบอมบ์ออกช้าๆโดยค่อยๆคลายเกลียวออก เมื่อกาซออกหมดแล้วจึงเปิดฝาบอมบ์
10. ล้างฝาและตัวบอมบ์ รวมทั้งครูซิเบิ้ลที่บรรจุเม็ดกรด ด้วยน้ำกลั่นจนหมดกรด โดยเก็บน้ำที่ล้างได้ไว้นำมาเติมเมธิลออเรนจ์ แล้วจึงนำไปไตเตรตด้วย 0.0709 N Na_2CO_3 บันทึกปริมาณ Na_2CO_3 ที่ใช้ไป
11. ถอดลวดที่เหลืออยู่ออกจากบอมบ์ ทำการวัดและบันทึกความยาว
12. ทำซ้ำตั้งแต่ต้น ให้ได้ 10 ครั้ง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย เป็นค่าคงที่ของเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์

วิธีคำนวณ

หา Energy eqivalent (W) ของบอมบ์แคลอริมิเตอร์ โดยใช้กรด

เบนโซอิค

$W = ((H)g + e_1 + e_3)/t$

W = calorimeter energy equivalent ,cal/°c.

H = heat of combustion of benzoic acid

= 6318 cal/g.

g = น้ำหนักของเบนโซอิคอัดเม็ด ,กรัม

e_1 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิดกรดไนตริก

= มิลลิลิตร ของ 0.0709 N. Na_2CO_3

e_3 = การแก้ค่าความร้อนของลวด (Fuse Wire)

= 2.3 แคลอรี/เซนติเมตร x ความยาวลวดที่ใช้ไป

t = อุณหภูมิสุดท้าย - อุณหภูมิเริ่มต้น (แก้ค่าแล้ว)

ก.2.2 การหาค่าความร้อนของถ่านหินตัวอย่าง

วิธีทดลอง

1. ปูเส้นใยแอสเบสตอส (asbestos fiber) ลงในครูซิเบิ้ล ชั่งน้ำหนัก จากนั้นใส่ถ่านหินตัวอย่างลงไปประมาณ 1 กรัม บันทึกน้ำหนัก
2. ทำการทดลองเช่นเดียวกับ ก.2.1 ตั้งแต่ข้อ 2-11 แต่เก็บของเหลวที่ได้จากการไตเตรตไว้ใช้ในการหาปริมาณซัลเฟอร์(ก.2.3)
3. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง

วิธีคำนวณ

Hg = (t(W) - e1 - e2 - e3 - e4))/g

Hg = Gross Heat of Combustion ,cal/g.

t = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ,องศาเซลเซียส

W = Energy equivalent of calorimeter ,cal/°c

e_1 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิด HNO_3

= มิลลิลิตร ของ 0.0709 N. Na_2CO_3

e_2 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิด H_2SO_4

= 13.7 g (% ซัลเฟอร์) ,แคลอรี

e_3 = การแก้ค่าความร้อนของ Fuse Wire

= 2.3 x ความยาวลวดที่ใช้, เซนติเมตร

e_4 = การแก้ค่าความร้อนของ Cotton thread = 0

g = น้ำหนักของตัวอย่าง ,กรัม

ก.2.3 การหาปริมาณซัลเฟอร์ในถ่านหินตัวอย่างตามวิธี ASTM D-3177

วิธีทดลอง

1. นำของเหลวที่ได้จากการไตเตรตมาปรับ pH ด้วยสารละลายNH_4OH ให้มีค่า pH ในช่วง 5.5-7.0 โดยทดสอบด้วยลิตมัส
2. ต้มของเหลวที่ปรับ pH แล้วจนเดือด กรองขณะร้อนด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนหลายๆครั้ง เก็บสารที่กรองได้ไว้(ประมาณ 250 มล.) นำมาเติมน้ำโบรมีน 1 มล.(ทำในตู้ควัน) ทำให้มีสภาพเป็นกรดเจือจางด้วย 1:9 HCl 1 มล.
3. นำของเหลวมาต้มให้เดือดอีกครั้ง เติมสารละลาย $BaCl_2$ ทีละหยด โดยขณะหยดต้องคนของเหลวตลอดเวลา จนครบ 10 มล. จากนั้นต้มต่อไปอีก 15 นาที นำออกมาตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 2 ชม. หรือทิ้งไว้ค้างคืน
4. นำของเหลวที่ตั้งทิ้งไว้มาทำให้ร้อน กรองขณะร้อน ด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนหลายๆครั้งจนหมดคลอไรด์ (ทดสอบได้ด้วยซิลเวอร์ไนเตรต $AgNO_3$)
5. นำตะกอน $BaSO_4$ ที่ได้บนกระดาษกรอง ใส่ในครูซิเบิ้ลที่ทราบน้ำหนักแล้ว นำมาเผาด้วยตะเกียงบุนเซนจนหมดควัน จากนั้นนำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 925 °ซ เป็นเวลา 2 ชม. จนได้น้ำหนักตะกอนที่คงที่
6. ชั่งน้ำหนักตะกอน บันทึกผล

วิธีคำนวณ

กำมะถัน ,% = 13.738 x (A-B)/g

A = น้ำหนักตะกอน $BaSO_4$ จากถ่านหินตัวอย่าง ,กรัม

B = น้ำหนักตะกอน $BaSO_4$ จาก Blank test ,กรัม

g = น้ำหนักถ่านหินตัวอย่าง ,กรัม

ก.3 <u>การทดสอบการแตกร่วนของถ่านหิน</u> ตามวิธี ASTM D-441

เครื่องมือ

1. Iron Jar Tumbler Tester
2. ASTM Standard Sieves ขนาดตะแกรงต่างๆ ดังนี้
   - 38 มิลลิเมตร
   - 25 มิลลิเมตร
   - 19 มิลลิเมตร

- 13.2 มิลลิเมตร
- 9.5 มิลลิเมตร
- 1.18 มิลลิเมตร (เบอร์ 16)
- 300 ไมโครเมตร (เบอร์ 50)

วิธีทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักตะแกรงร่อนแต่ละอัน บันทึกไว้
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 1000 กรัม บันทึกน้ำหนัก จากนั้นใส่ตัวอย่างลงใน jar
3. วาง jar ลงบนเครื่อง เปิดเครื่องให้หมุนด้วยความเร็ว 40 ± 1 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. นำตัวอย่างที่ได้มาผ่านตะแกรงร่อนที่เตรียมไว้ทั้งหมด
5. บันทึกน้ำหนักแต่ละตะแกรงพร้อมตัวอย่างที่ค้างอยู่
6. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ต้น 3 ครั้ง

วิธีคำนวณ

การแตกร่วน ,%F = (100 x (S-s)) / S

S = ขนาดเฉลี่ยของตัวอย่างก่อนทำการทดลอง

s = ขนาดเฉลี่ยของตัวอย่างหลังทำการทดลอง

ภาคผนวก ข. ผลการวิเคราะห์ถ่านหินแบบแยกธาตุ โดยศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

RESULTS

	SAMPLE NAME	%N	%C	%H
แม่เมาะ1	1A (1)	2.13	54.82	3.83
	1A (2)	2.15	55.07	3.78
แม่เมาะ2	2B (1)	1.84	46.77	3.48
	2B (2)	1.96	46.90	3.51
แม่เมาะ3	3C (1)	1.07	32.30	2.79
	3C (2)	0.91	31.98	2.63
บ้านปู	4X (1)	1.06	57.76	4.03
	4X (2)	1.03	57.30	3.98
บางปูดำ	5E (1)	1.38	49.69	3.63
	5E (2)	1.40	49.83	3.58
แม่เมาะ SP	6N (1)	2.00	55.40	3.93
	6N (2)	2.05	55.07	3.74
หนองหญ้าปล้อง	7Y (1)	1.72	57.08	4.19
	7Y (2)	1.64	57.31	4.21
บ้านป่าคา	8H (1)	0.86	62.46	4.61
	8H (2)	0.87	62.51	4.65
กระบี่	9I (1)	1.55	59.57	4.36
	9I (2)	1.48	59.93	4.38
นาด้วง	10R (1)	1.04	80.77	2.59
	10R (2)	0.93	81.09	2.59

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ANALYST

DATE 16/ /87

หมายเหตุ ผลการทดสอบที่ได้นี้ เป็นผลการทดสอบเฉพาะตัวอย่างที่นำมาการทดสอบจากศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเท่านั้น

ภาคผนวก ค. ตัวอย่างการคำนวณ

ค.1 การวิเคราะห์ถ่านหินแบบประมาณ

ตัวอย่าง : ถ่านหินจากแหล่งนาด้วง

การคำนวณหาปริมาณความชื้น

น้ำหนักจานอลูมิเนียม + ฝา	=	16.1997	กรัม
น้ำหนักจานอลูมิเนียม + ฝา + ตัวอย่างก่อนอบ	=	17.2007	กรัม
น้ำหนักจานอลูมิเนียม + ฝา + ตัวอย่างหลังอบ	=	17.1724	กรัม
น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ	=	1.0010	กรัม

% ความชื้น = (17.2007 - 17.1724)*100/1.0010

= 2.83

การคำนวณหาปริมาณเถ้า

น้ำหนักครูซิเบิ้ล + ฝา	=	26.5175	กรัม
น้ำหนักครูซิเบิ้ล + ฝา + ตัวอย่างก่อนเผา	=	27.5177	กรัม
น้ำหนักครูซิเบิ้ล + ฝา + ตัวอย่างหลังเผา	=	26.6372	กรัม
น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา	=	1.0002	กรัม

% เถ้า = (26.6372 - 26.5175)*100/1.0002

= 11.97

การคำนวณหาปริมาณสารระเหย

น้ำหนักครูซิเบิ้ล + ฝา	=	20.5649	กรัม
น้ำหนักครูซิเบิ้ล + ฝา + ตัวอย่างก่อนเผา	=	21.5653	กรัม
น้ำหนักครูซิเบิ้ล + ฝา + ตัวอย่างหลังเผา	=	21.4641	กรัม
น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา	=	1.0004	กรัม
% ความชื้น	=	2.83	

% สารระเหยได้ = ((21.5653 - 21.4641)*100/1.0004) - 2.83

= 7.29

การคำนวณหาปริมาณคาร์บอนคงตัว

% คาร์บอนคงตัว = 100 - % ความชื้น - % เถ้า - % สารระเหยได้
= 100 - 2.83 - 7.29 - 11.97
= 77.91

ค.2 <u>การคำนวณค่าความร้อนของถ่านหิน</u> : ตัวอย่างถ่านหินจากแหล่งนาด้วง ครั้งที่ 1

การคำนวณค่าพลังงานเทียบเท่า(Energy Eqivalent)ของเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์
จาก การทดลองครั้งที่ 1

น้ำหนักกรดเบนโซอิก	=	0.9974	กรัม
อุณหภูมิเริ่มต้น	=	26.36	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิสุดท้าย	=	28.98	องศาเซลเซียส
ปริมาตร Na_2CO_3	=	1.0	มิลลิลิตร
ความยาวลวดที่ใช้ไป	=	7.5	เซนติเมตร

W = [H(g) + e_1 + e_2 + e_3]/t
H = ความร้อนจากการเผาไหม้ของกรดเบนโซอิก
= 6318 แคลอรีต่อกรัม
t = อุณหภูมิสุดท้าย - อุณหภูมิเริ่มต้น
= 2.62 องศาเซลเซียส
g = น้ำหนักกรดเบนโซอิก = 0.9974 กรัม
e_1 = ปริมาตร Na_2CO_3 = 1.0 มิลลิลิตร
e_2 = 2.3 x ความยาวลวดที่ใช้ไป = 17.25
ดังนั้น W = [(6318x0.9974) + 1.0 + (2.3x7.5)] / 2.62
= 2412 แคลอรี ต่อ องศาเซลเซียส

ทำการทดลอง 10 ครั้ง เพื่อหาค่า Wเฉลี่ย
ได้ Wเฉลี่ย = 2404 แคลอรีต่อองศาเซลเซียส

การคำนวณค่าความร้อนของถ่านหิน
ข้อมูลจากตัวอย่างถ่านหินแหล่งนาด้วง ทดลองครั้งที่ 1

น้ำหนักถ่านหินเริ่มต้น	=	1.0000	มิลลิกรัม

อุณหภูมิเริ่มต้น = 26.65 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิสุดท้าย = 29.59 องศาเซลเซียส
ปริมาตร Na_2CO_3 = 2.0 มิลลิลิตร
ความยาวลวดที่ใช้ไป = 6.4 เซนติเมตร
น้ำหนักตะกอน $BaSO_4$ = 0.0301 มิลลิกรัม

$$Q(gross) = [\, t(W) - e_1 - e_2 - e_3 - e_4 \,] / g$$

t = 2.94 องศาเซลเซียส
W = 2404 แคลอรีต่อองศาเซลเซียส
e_1 = ปริมาตร Na_2CO_3
e_2 = 13.7 x %S x g
e_3 = 2.3 x ความยาวลวด
% S = 13.738 x (A-B) / g
= 13.738 x 0.0301 / 1.0000
= 0.41

ดังนั้น Q(gross) = [(2.94)(2404)-2.0-(13.7x0.41x1.0)-(2.3x6.4)]/1.0
= 7045.42 แคลอรี ต่อ กรัม

ค.3 <u>การคำนวณค่าการวิเคราะห์แบบประมาณ จากโครมาโตแกรมที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ทางความร้อน</u>

ตัวอย่าง ถ่านหินจากแหล่งแม่เมาะ 1 ทดลอง ครั้งที่ 2

น้ำหนักครูซิเบิ้ล + ถ่านหิน = 2.0812 กรัม
น้ำหนักครูซิเบิ้ล = 1.9779 กรัม
ดังนั้น น้ำหนักถ่านหินเริ่มต้น (m) = 40.30 มิลลิกรัม

สภาวะในการทดลอง :

TG 0.2 มิลลิโวลต์/มิลลิกรัม ตั้งที่ 2 มิลลิโวลต์ x 10 เต็มสเกล

ในการอ่านค่าจากโครมาโตแกรม ใช้ไม้วัดสเกลละเอียด :

เต็มสเกล อ่านได้ 250 ช่อง ดังนั้น 1 ช่อง = 0.40 มิลลิกรัม

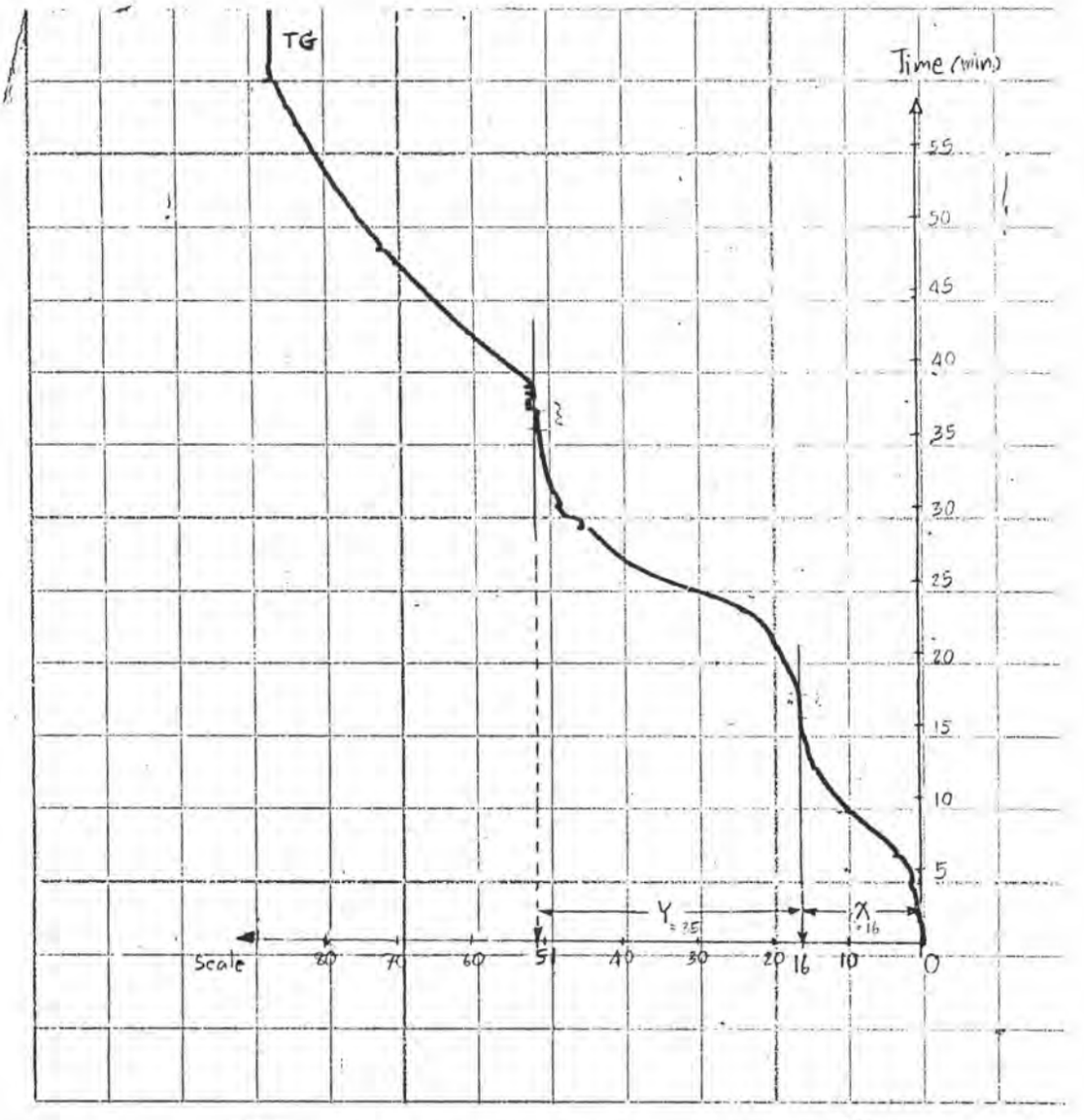
จากโครมาโตแกรม ได้ว่า ระยะ X = 16 ช่อง คือ 6.40 มิลลิกรัม
ระยะ Y = 35 ช่อง คือ 14.00 มิลลิกรัม

น้ำหนักครูซิเบิ้ล + ถ่านหิน หลังทดลอง = 1.9822 กรัม
น้ำหนักถ่านหินหลังทดลอง (Z) จะได้ = 4.30 มิลลิกรัม

ดังนั้น

% ความชื้น	=	(X/m)x100		
	=	(6.40/40.30)x100	=	15.88
% สารระเหยได้	=	(Y/m)x100		
	=	(14.00/40.30)x100	=	34.74
% เถ้า	=	(Z/m)x100		
	=	(4.30/40.30)x100	=	10.67
% คาร์บอนคงตัว	=	100 - 15.88 - 34.74 - 10.67		
	=	38.71		

ตัวอย่างโครมาโตแกรม แม่เมาะ 1 ครั้งที่ 2



0.2 mV/mg 2 mV x 10

น้ำหนักเริ่มต้น 40.30 มิลลิกรัม

ความเร็วกระดาษ 120 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

ค.4 <u>การคำนวณหาเปอร์เซนต์การแตกร่วนของถ่านหิน</u> : ตัวอย่างถ่านหินจากแหล่งกระบี่

จากการทดลอง ทำการทดลองตัวอย่างละ 4 ครั้งตาม ASTM D-441 โดยใช้วิธี four single-jar tests และนำแต่ละการทดลองที่ได้มาทำการร่อนคัดขนาด ดังนั้น ในหนึ่งตัวอย่างจะมีค่าที่ได้จากการคัดขนาด 4 ครั้ง นำค่าที่ได้มาทำการคำนวณ

ตัวอย่าง กระบี่ ครั้งที่ 4

น้ำหนักตัวอย่างก่อนทำการทดลอง = 1001.50 กรัม

หลังทำการทดลองและทำการคัดขนาด :

ผ่านรูตะแกรงขนาด	factor	นน.ตะแกรง + ถ่านหิน (กรัม)	นน.ตะแกรง (กรัม)	นน.ถ่านหิน (กรัม)	% โดยน้ำหนัก	ค่าที่ได้ (%โดยน้ำหนัก x factor)
38.1 มม.	1.000	1524.99	859.99	665.00	66.40	66.40
26.5 มม.	0.700	620.18	503.46	116.72	11.66	8.16
19.0 มม.	0.500	562.40	499.06	63.34	6.33	3.16
13.2 มม.	0.350	520.22	493.59	26.63	2.66	0.93
9.5 มม.	0.160	453.00	403.49	49.51	4.94	0.79
เบอร์ 16	0.023	351.82	332.68	19.14	1.91	0.04
เบอร์ 50	0.005	340.46	282.90	57.56	5.75	0.03
				ผลรวม	99.65	79.51

จาก % โดยน้ำหนักทั้งหมด = 99.65

ทำให้สามารถหา %ที่สูญเสียไปได้ = 100.00 - 99.65

= 0.35 ซึ่งไม่เกิน 0.5 %

จากผลรวมของ % โดยน้ำหนักคูณกับ factor ได้เป็นค่า s = 79.51

โดย S = % โดยน้ำหนักที่ป้อนเข้า คูณ factor

= 100.00 x 1 = 100.00

ดังนั้น % การแตกร่วนของถ่านหิน (F) = 100 (100 - s)/100

= 100 - 79.51

= 20.49 = 20.50

โดยมีค่าดัชนีฝุ่น (Dust Index, DI) คือ % โดยน้ำหนักของถ่านหินที่สามารถผ่านรูตะแกรง เบอร์ 50 ได้ ซึ่งจากการทดลอง DI = 5.75

ค.5 <u>การคำนวณหาค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยทางน้ำหนัก</u> : ตัวอย่างถ่านหินแหล่งหนองหญ้าปล้อง อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1

การหาค่าพลังงานกระตุ้น ตามความสัมพันธ์แบบ Arrhenius คือ

$$-dW/dt = k.W \quad \text{----------(1)}$$

$$k = Ae^{-E/RT} \quad \text{----------(2)}$$

หรือเขียนได้เป็น $\log k = \log A - E/2.303\ RT$ ---------(3)

โดย dW/dt = อัตราการสูญเสียน้ำหนัก มิลลิกรัมต่อนาที

W = น้ำหนักของส่วนที่เผาไหม้ได้ที่ยังคงอยู่ มิลลิกรัม

k = อัตราการเกิดปฏิกิริยาเฉพาะ

A = frequency factor

E = ค่าพลังงานกระตุ้น จูล/โมล

R = gas constant = 8.314 จูล/โมล.เคลวิน

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ เคลวิน = อุณหภูมิองศาเซลเซียส + 273.15

จากสมการที่ 1 สามารถหาค่า k ในแต่ละช่วงอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสได้ โดยได้ข้อมูลจากการทดลอง ดังแสดงตัวอย่างแหล่งหนองหญ้าปล้อง ในตารางที่ ค.1 แล้วนำไปสร้างกราฟ Arrhenius ระหว่าง log k กับ $1/T_{abs}$ ทำการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Simple regression) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft Chart โดยใช้หลักการกำลังสองน้อยที่สุด จะหาความชันของเส้นกราฟได้ (ภาคผนวก ฉ.) แล้วนำมาคำนวณหาค่าพลังงานกระตุ้น เช่น จากตัวอย่างแหล่งหนองหญ้าปล้อง ที่อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที สร้างกราฟ Arrhenius ได้เป็น 2 ช่วง ดังแสดงในรูปที่ ค.1 โดย

ความชันช่วงแรก = -2897.29

ความชันช่วงถัดมา = -4456.25

ได้ว่า $-2897.29 = -E/2.303R$

$E_1 = (2897.29)(2.303)(8.314)$

$= 0.55 \times 10^5$ จูล/โมล

= 55.47 กิโลจูล/โมล

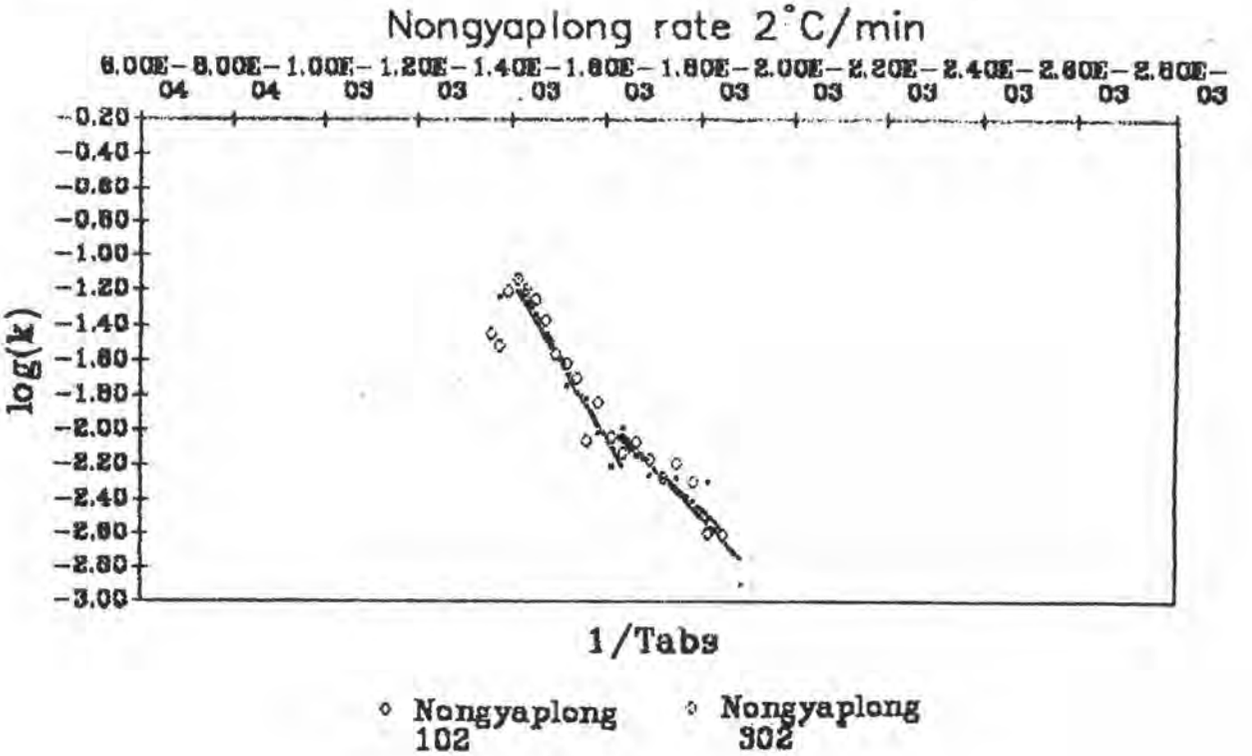
ตารางที่ ค.1 ตัวอย่างผลการทดลองหาค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยทางน้ำหนัก (แหล่งหนองหญ้าปล้อง อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที)

Sample: Nongyaplong

Heating rate : 2 °C/min run no.1
Air flow rate : 75 ml/min
wt. of sample : 20.00 mg
% Combustible : 75.21 % Ash : 19.27

a	b	c	d=d(c)/d(a)	e=20.00-c	f=e-(20*.1927)	g=d/f	h=1/(b+273.15)
time (min)	Temp,°C	wt.loss (mg)	dW/dt (mg/min)	weight,mg remain	weight,mg unburned combustible	k (1/sec)	1/Tabs
130	257	0.00		20.00	16.15		1.89E-03
			0.02			1.24E-03	
135	268	0.10		19.90	16.05		1.85E-03
			0.00			0.00E+00	
140	278	0.10		19.90	16.05		1.81E-03
			0.08			4.99E-03	
145	288	0.49		19.51	15.66		1.78E-03
			0.06			3.83E-03	
150	299	0.78		19.22	15.37		1.75E-03
			0.08			5.21E-03	
155	308	1.18		18.82	14.97		1.72E-03
			0.08			5.35E-03	
160	318	1.57		18.43	14.58		1.69E-03
			0.08			5.49E-03	
165	328	1.96		18.04	14.19		1.66E-03
			0.10			7.05E-03	
170	338	2.45		17.55	13.70		1.64E-03
			0.14			1.02E-02	
175	348	3.14		16.86	13.01		1.61E-03
			0.08			6.15E-03	
180	358	3.53		16.47	12.62		1.58E-03
			0.12			9.51E-03	
185	368	4.12		15.88	12.03		1.56E-03
			0.18			1.50E-02	
190	377	5.00		15.00	11.15		1.54E-03
			0.18			1.61E-02	
195	387	5.88		14.12	10.27		1.51E-03
			0.18			1.75E-02	
200	397	6.77		13.23	9.38		1.49E-03
			0.24			2.56E-02	
205	407	7.94		12.06	8.21		1.47E-03
			0.31			3.78E-02	
210	417	9.51		10.49	6.64		1.45E-03
			0.29			4.37E-02	
215	427	10.98		9.02	5.17		1.43E-03
			0.31			6.00E-02	
220	436	12.55		7.45	3.60		1.41E-03
			0.24			6.67E-02	
225	446	13.73		6.27	2.42		1.39E-03
			0.14			5.79E-02	
230	455	14.41		5.59	1.74		1.37E-03
			0.10			5.76E-02	
235	465	14.9		5.1	1.25		1.35E-03

เช่นเดียวกัน E_2 = 85.32 กิโลจูล/โมล



รูปที่ ค.1 Arrhenius plot แหล่งหนองหญ้าปล้อง
อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1

โดย E_1 ได้จากช่วงอุณหภูมิ 257-338 องศาเซลเซียส
E_2 จากช่วงอุณหภูมิ 338-436 องศาเซลเซียส

ซึ่งช่วงอุณหภูมิที่แบ่งนี้ วิเคราะห์จากโครมาโตแกรมที่ได้จากการทดลอง (ภาคผนวก ฌ.) โดยเป็นอุณหภูมิ ณ จุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยา ดังแสดงในรูปที่ ค.2 จะเห็นได้ว่า เกิดพีคขึ้น 2 พีค โดยมีการซ้อนกันของพีค จุดที่พีคมาซ้อนกันนี้ คือ อุณหภูมิที่สนใจ ได้แก่ 338 องศาเซลเซียส

และ % ส่วนที่เผาไหม้ได้ (combustible) = 100 - %ความชื้น -%เถ้า
= 100 - 5.52 - 19.27 = 75.21

น้ำหนักเริ่มต้น = 20.00 มิลลิกรัม

ดังนั้น น้ำหนักของส่วนที่เผาไหม้ได้ = 15.04 มิลลิกรัม

หาค่า F ซึ่งคือ อัตราส่วนน้ำหนักของส่วนที่เผาไหม้ได้ของตัวอย่างที่เผาไหม้ไปในระหว่างช่วง

ของเส้นกราฟ โดยที่น้ำหนักที่หายไปในแต่ละช่วงอุณหภูมิคิดเป็นน้ำหนักแห้ง, ไม่รวมเถ้า

น้ำหนักที่หายไปในช่วงอุณหภูมิ 257-338 องศาเซลเซียส = 16.15-13.70 = 2.45 มิลลิกรัม

น้ำหนักที่หายไปในช่วงอุณหภูมิ 338-436 องศาเซลเซียส = 13.70-3.60 = 10.10 มิลลิกรัม

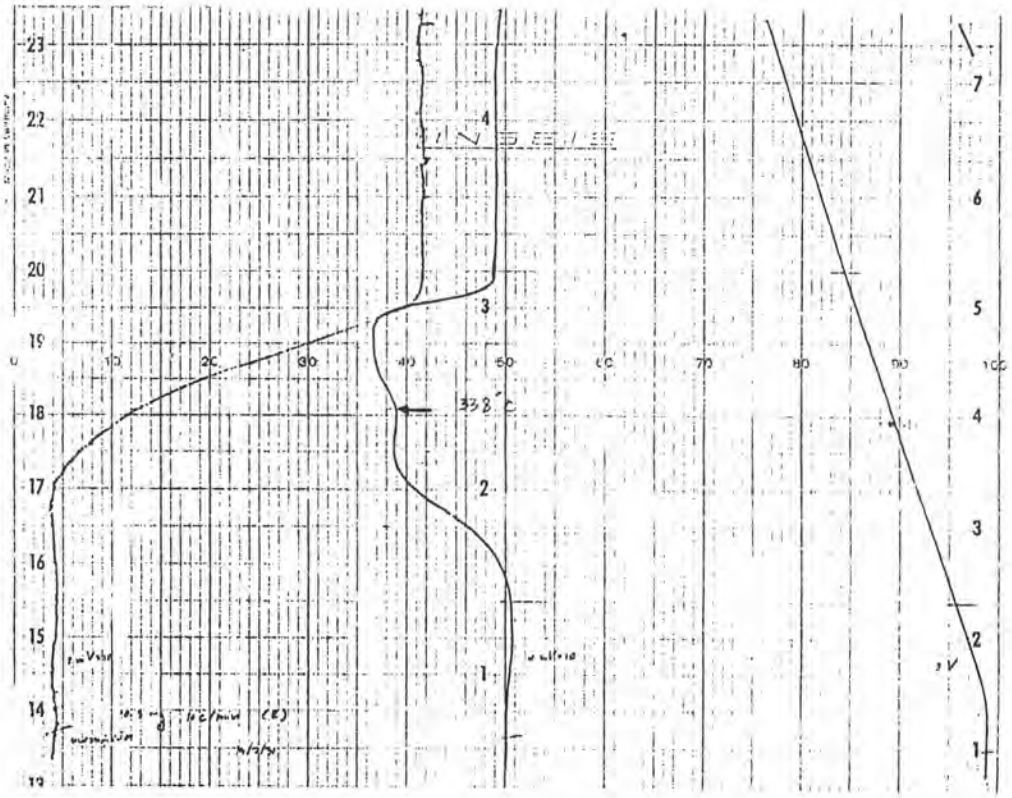
F_1 = 2.45/15.04 = 0.16 , F_2 = 10.10/15.04 = 0.67

ดังนั้น ค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยทางน้ำหนัก $E_m = F_1E_1 + F_2E_2$

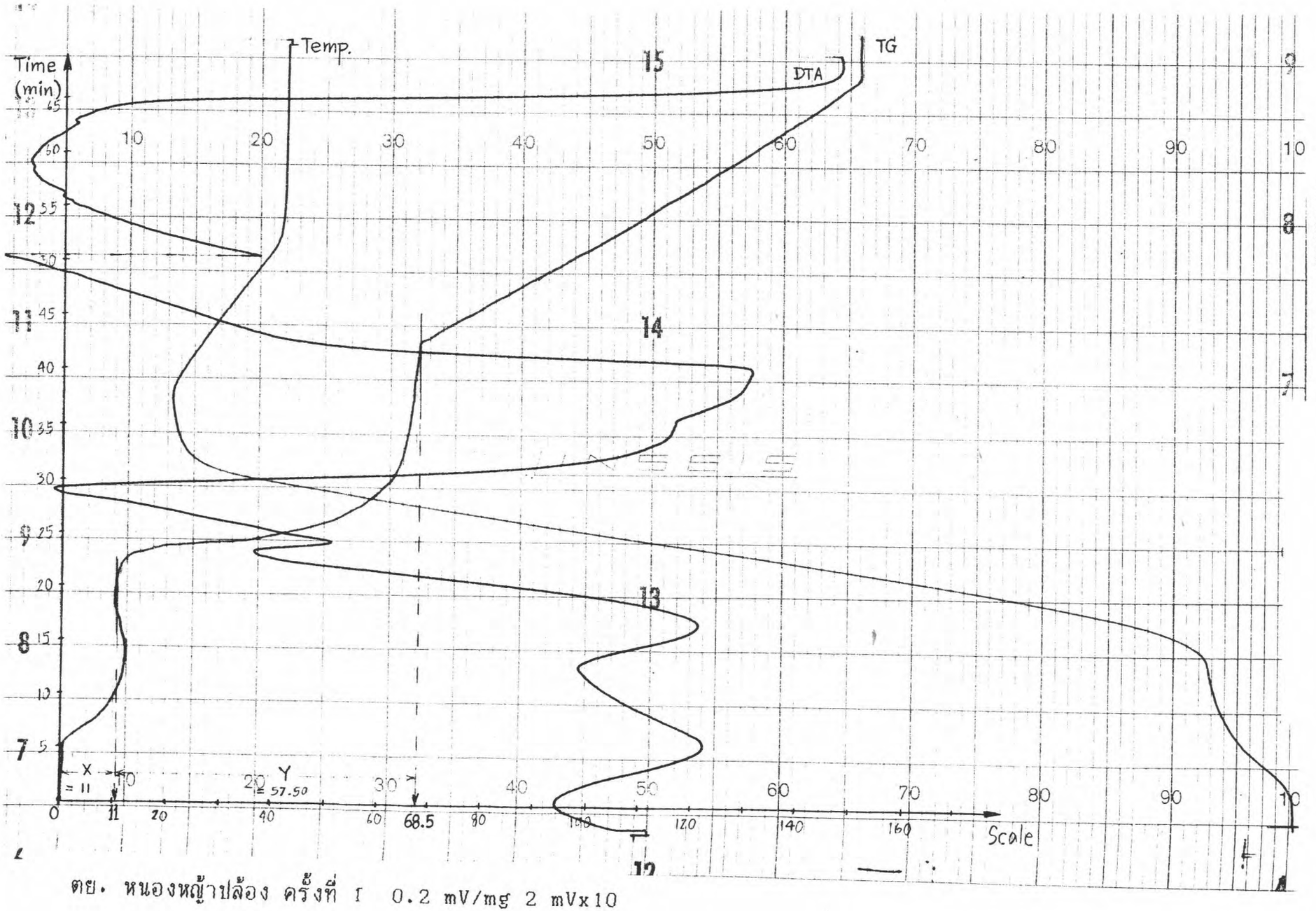
$= (0.16 \times 55.47) + (0.67 \times 85.32)$

$= 9.04 + 57.30$

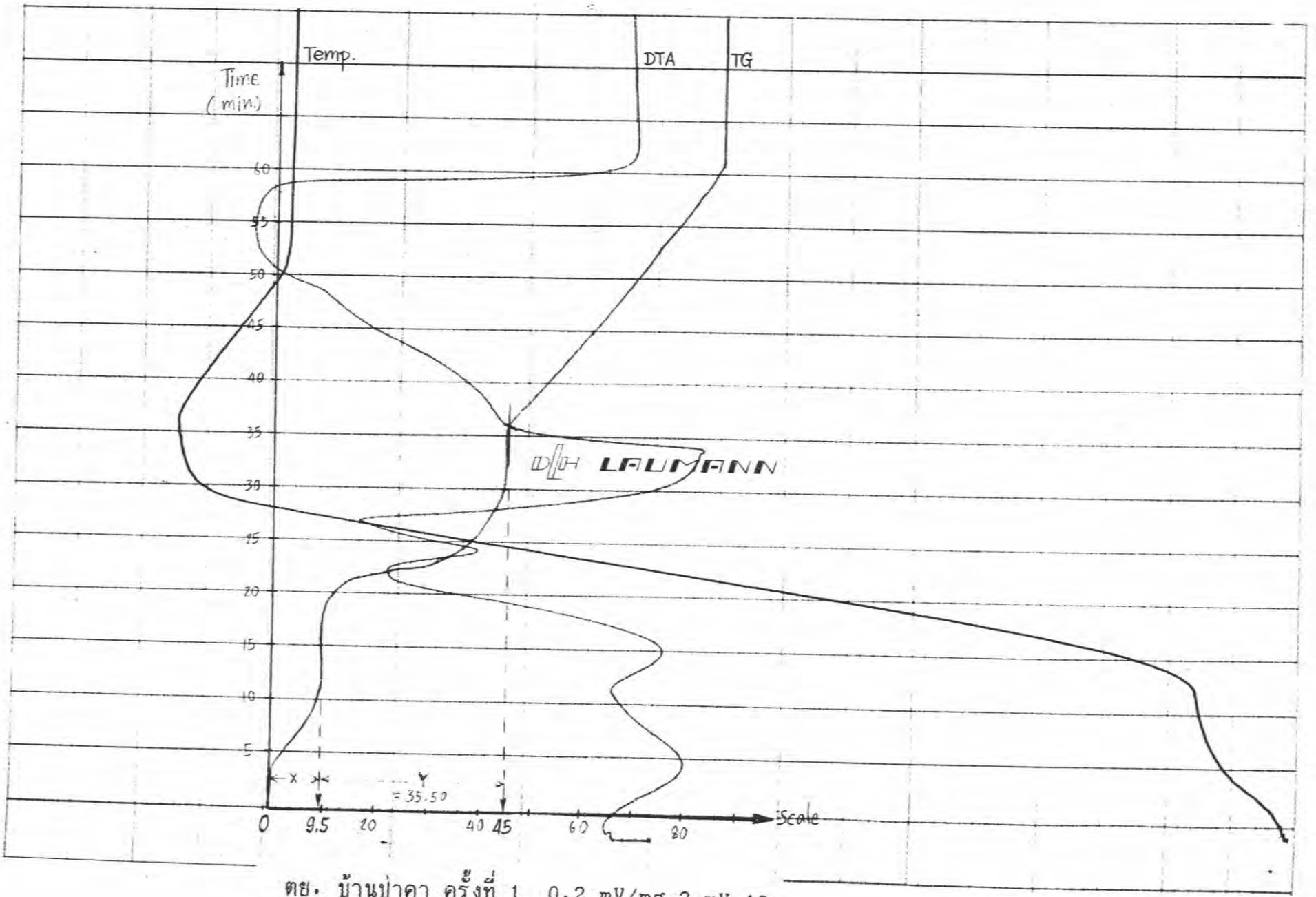
$= 66.33$ กิโลจูล/โมล



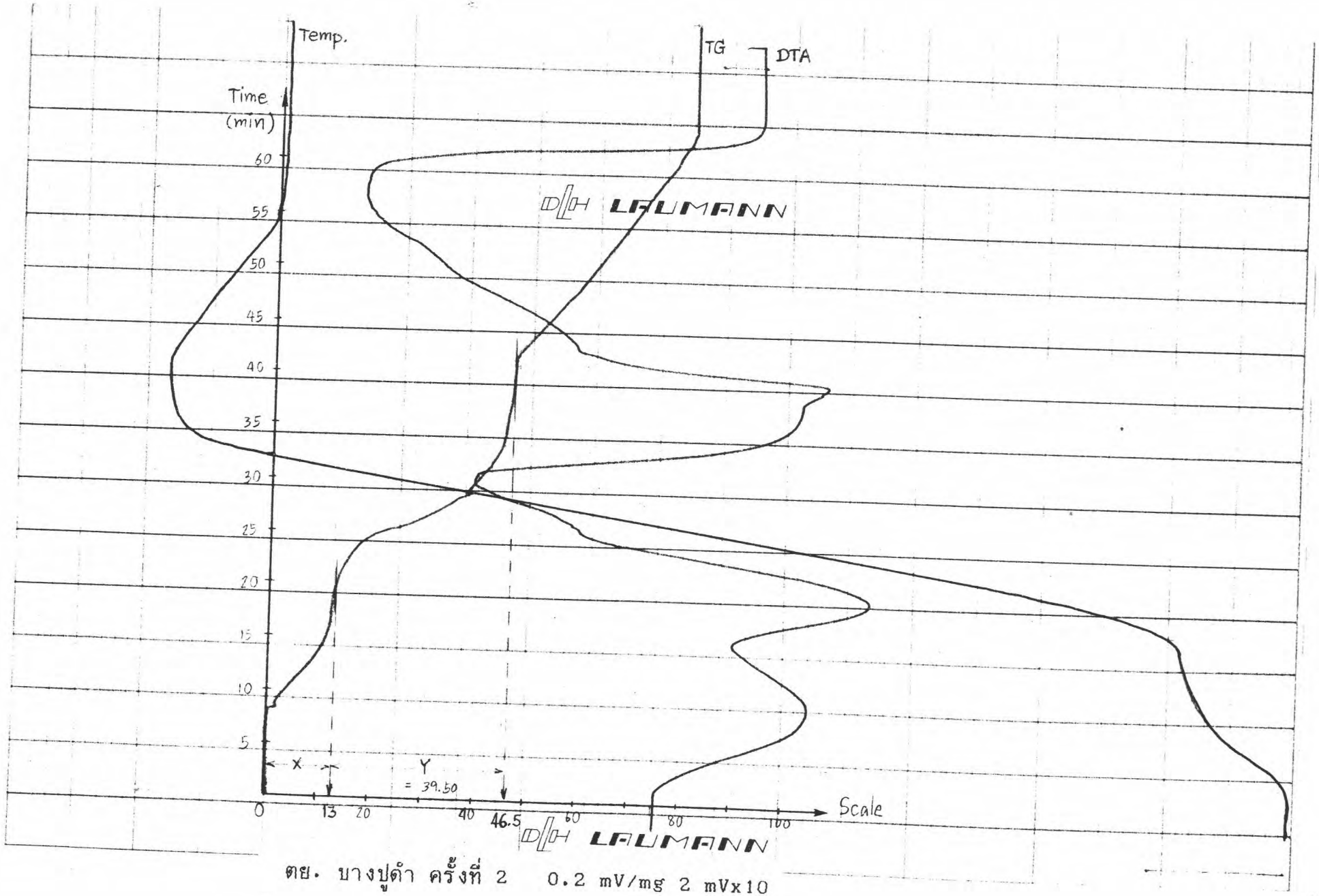
รูปที่ ค.2 โครมาโตแกรม การหาค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยทางน้ำหนัก แหล่งหนองหญ้าปล้อง อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียส ต่อนาที ครั้งที่ 1



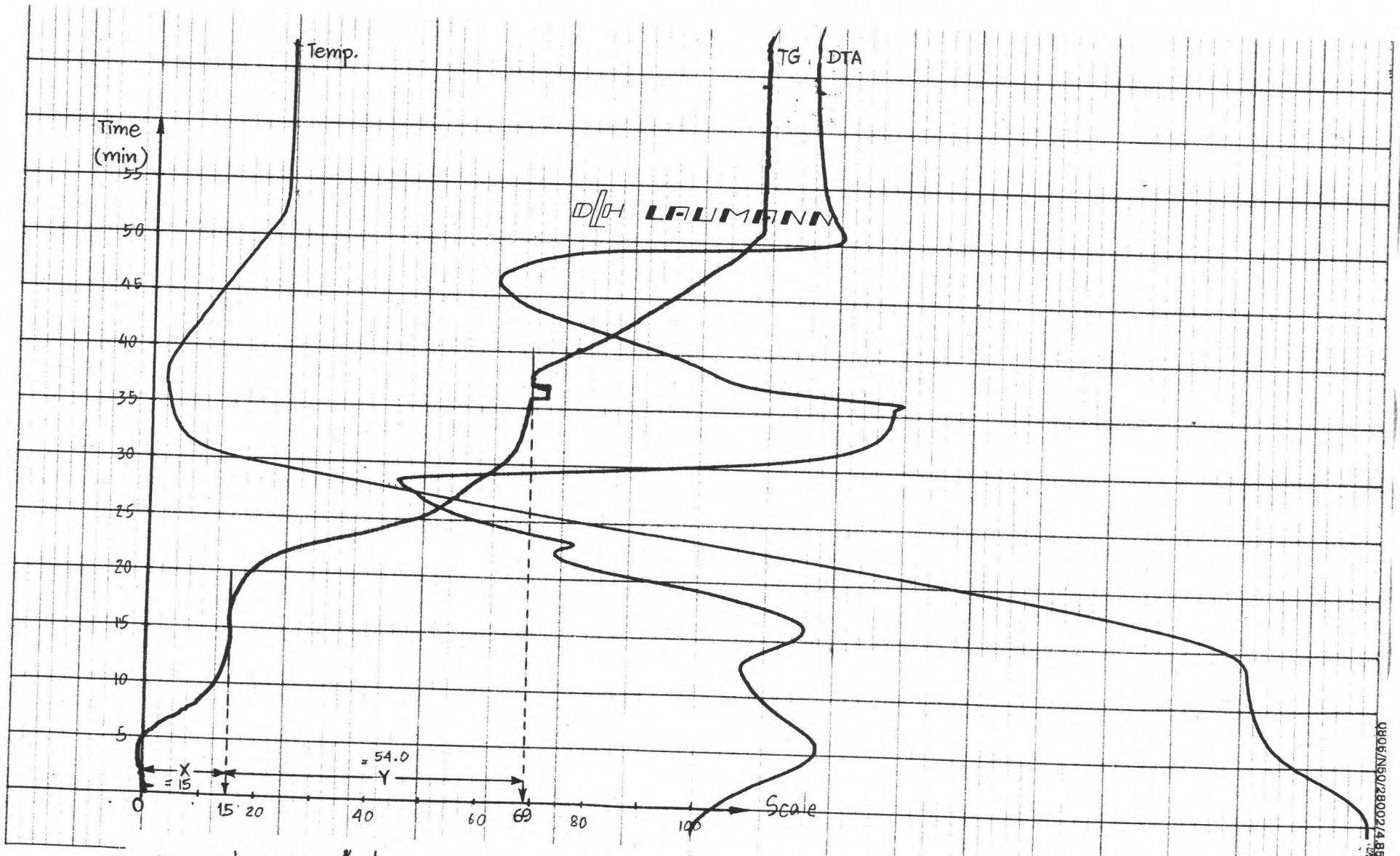
ตย. หนองหญ้าปล้อง ครั้งที่ I 0.2 mV/mg 2 mVx10



ตย. บ้านป่าคา ครั้งที่ 1 0.2 mV/mg 2 mVx10

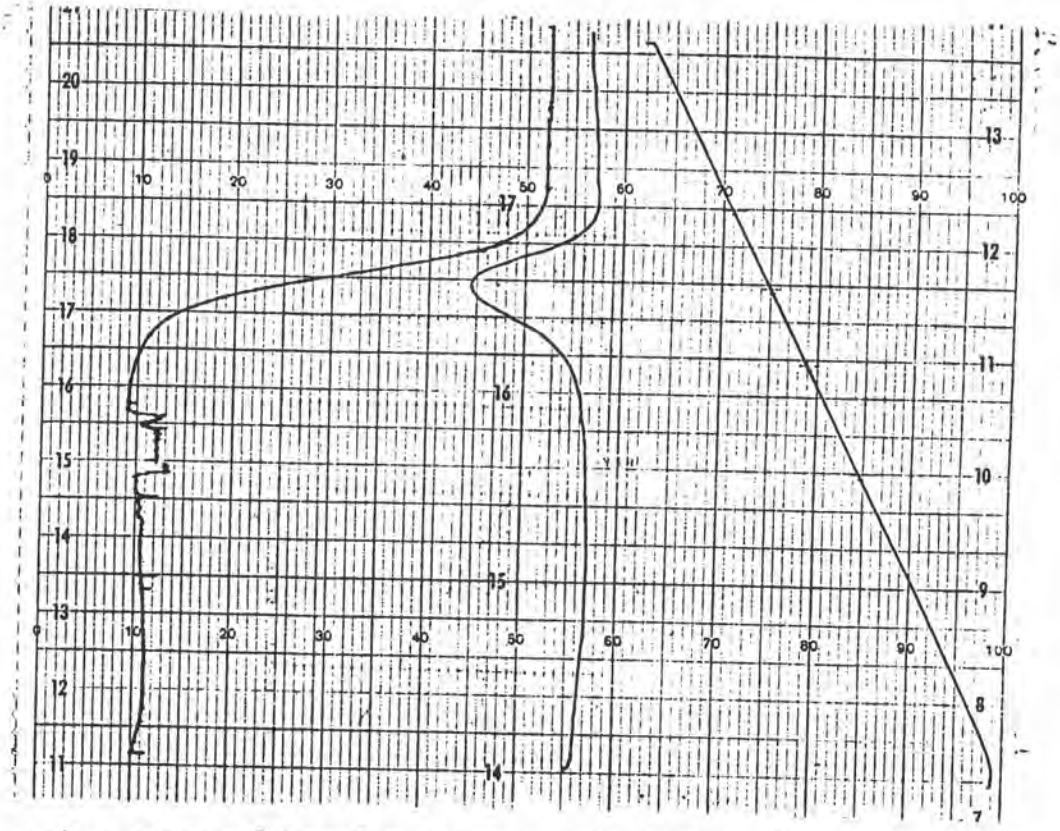


ตย. บางปูดำ ครั้งที่ 2 0.2 mV/mg 2 mVx10

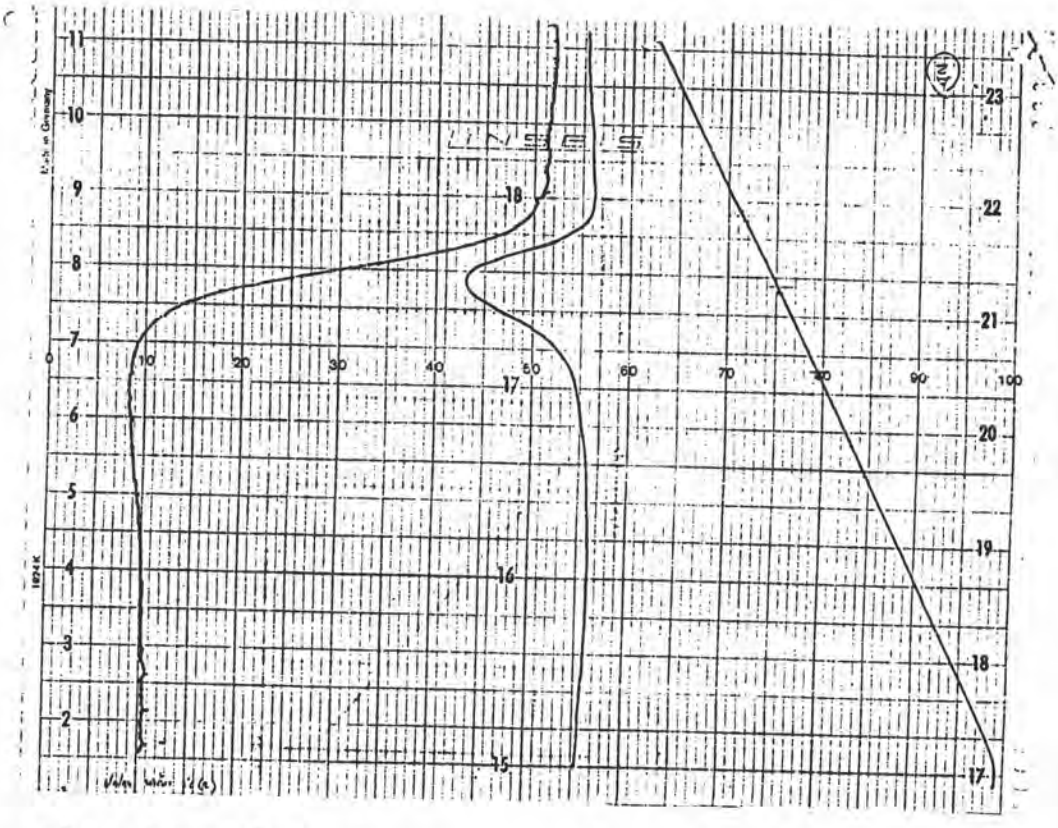


ตย. แม่เมาะ3 ครั้งที่ 2 0.2 mV/mg 1 mVx10

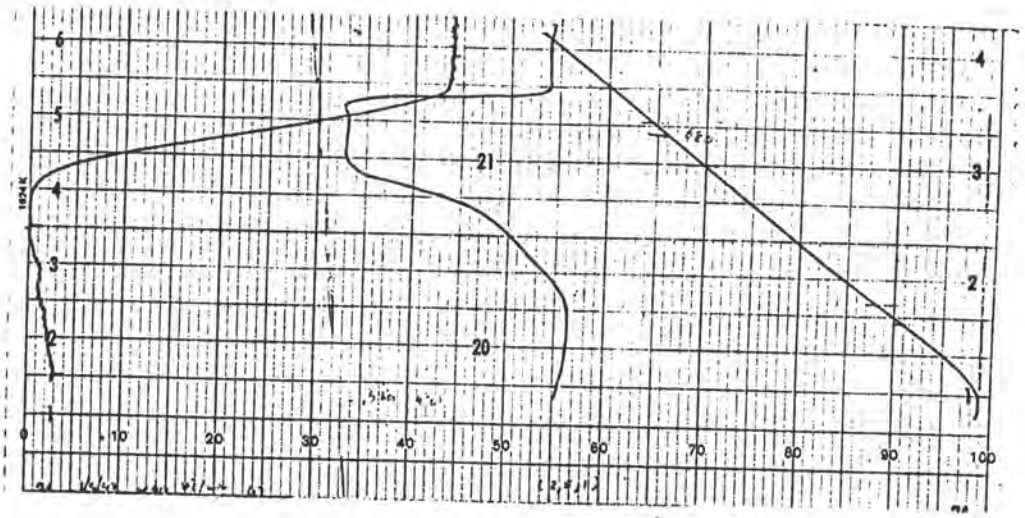
ภาคผนวก จ. ไดรมาโตแกรม การหาค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยทางน้ำหนัก



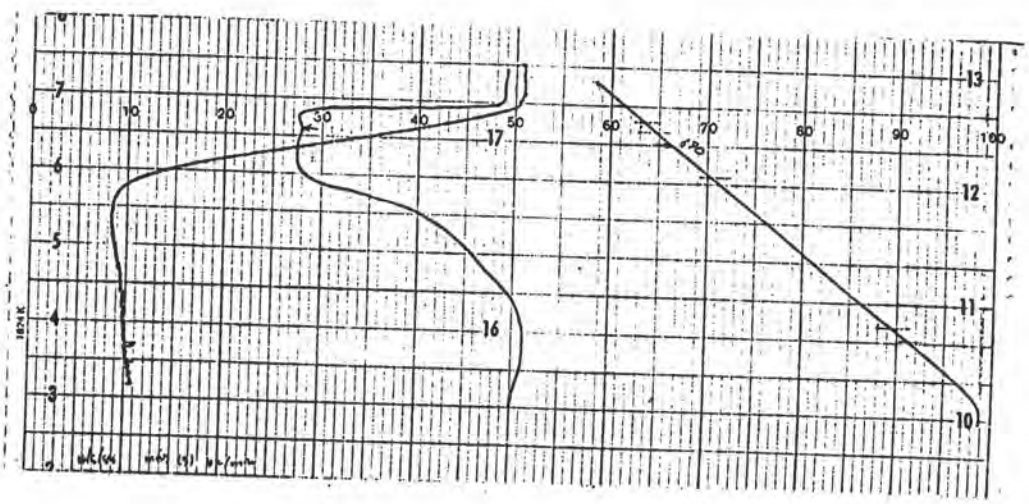
นาด้วง อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1



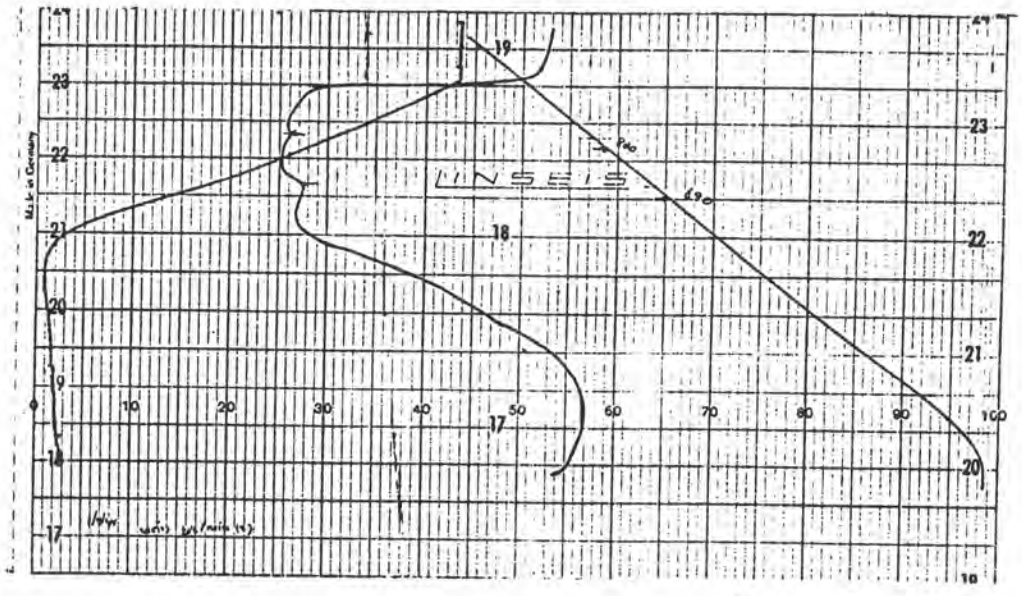
นาด้วง อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 2



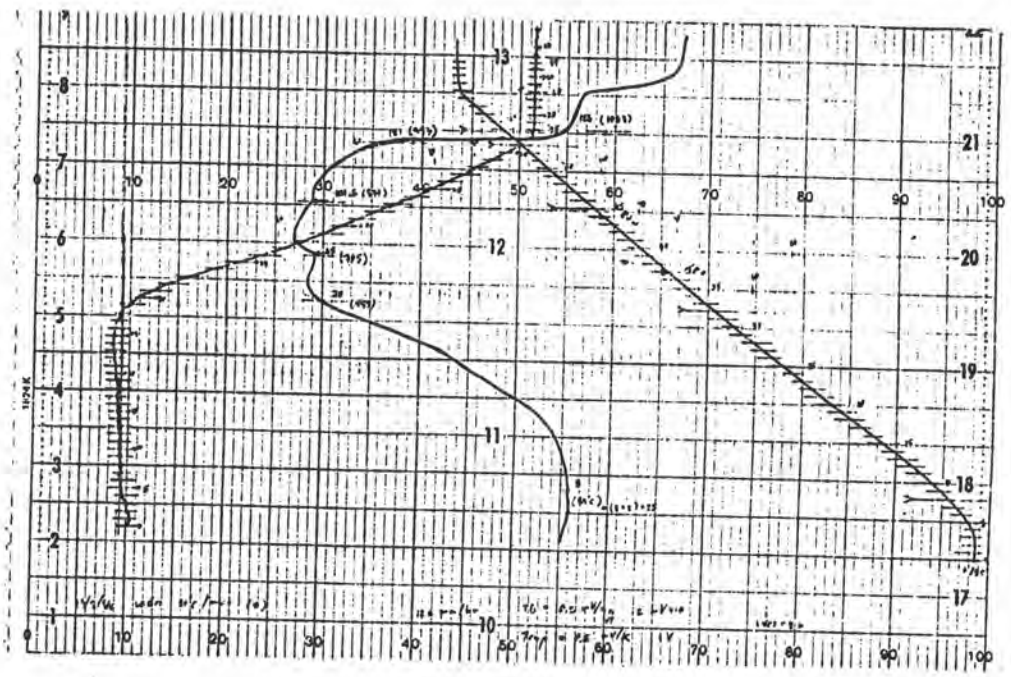
นาด้วง อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1



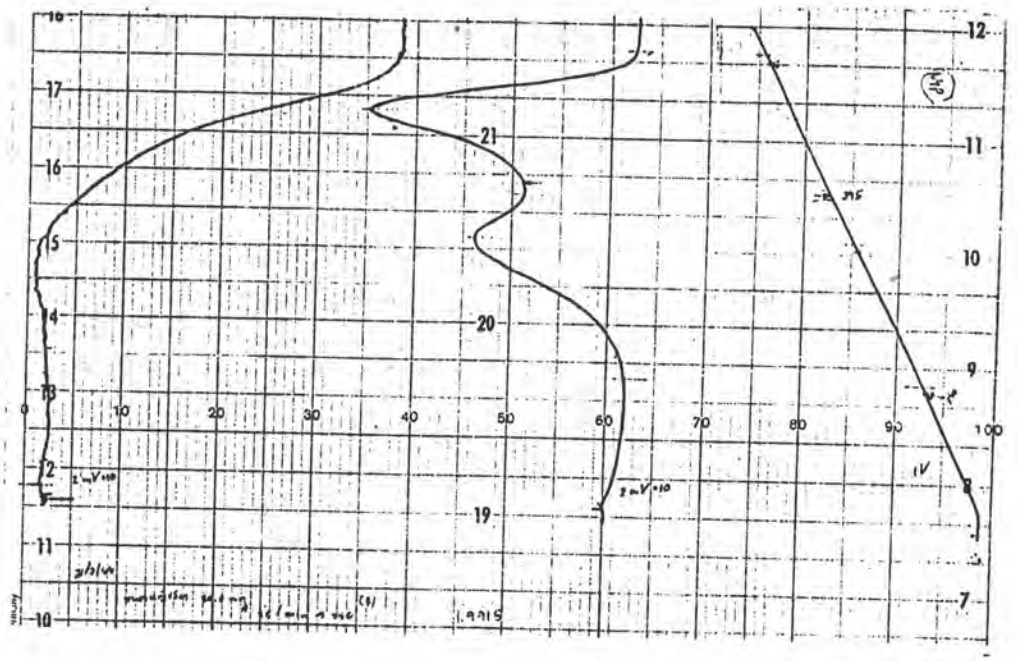
นาด้วง อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 2



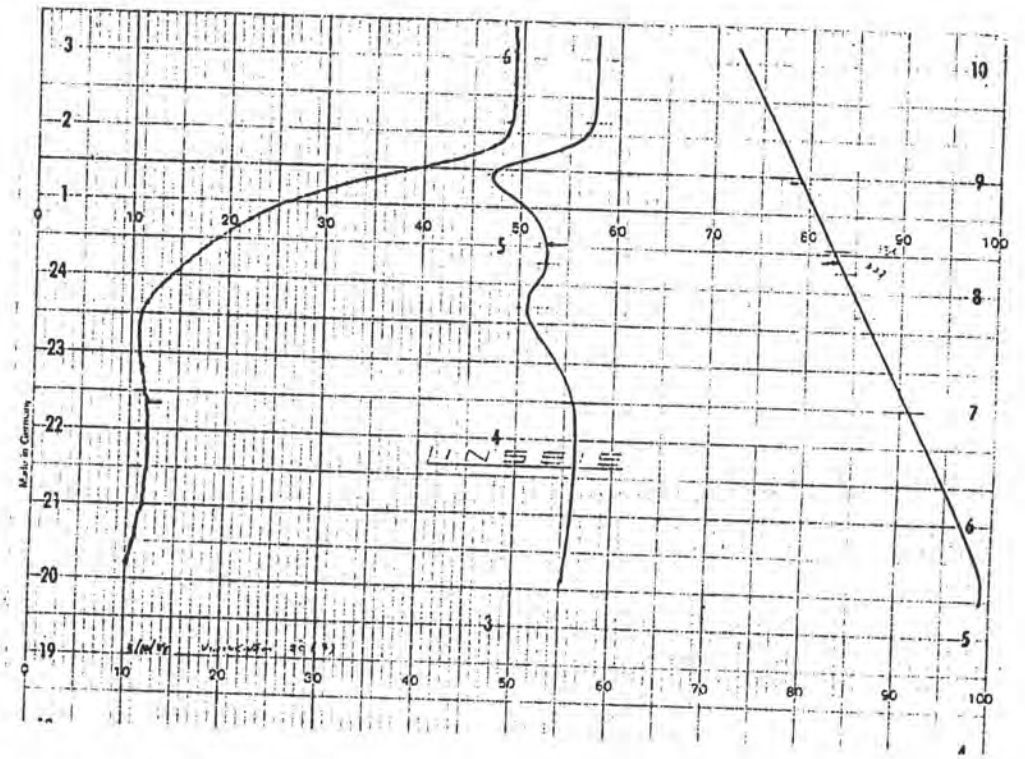
นาด้วง อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1



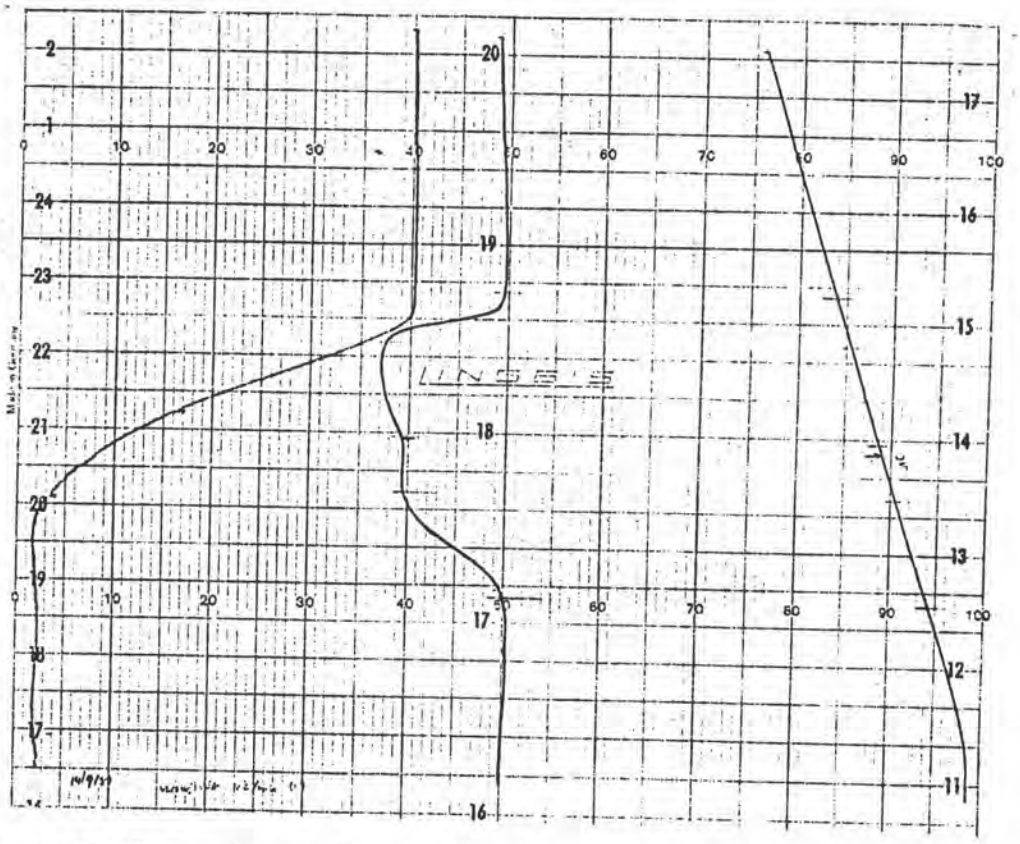
นาด้วง อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 2



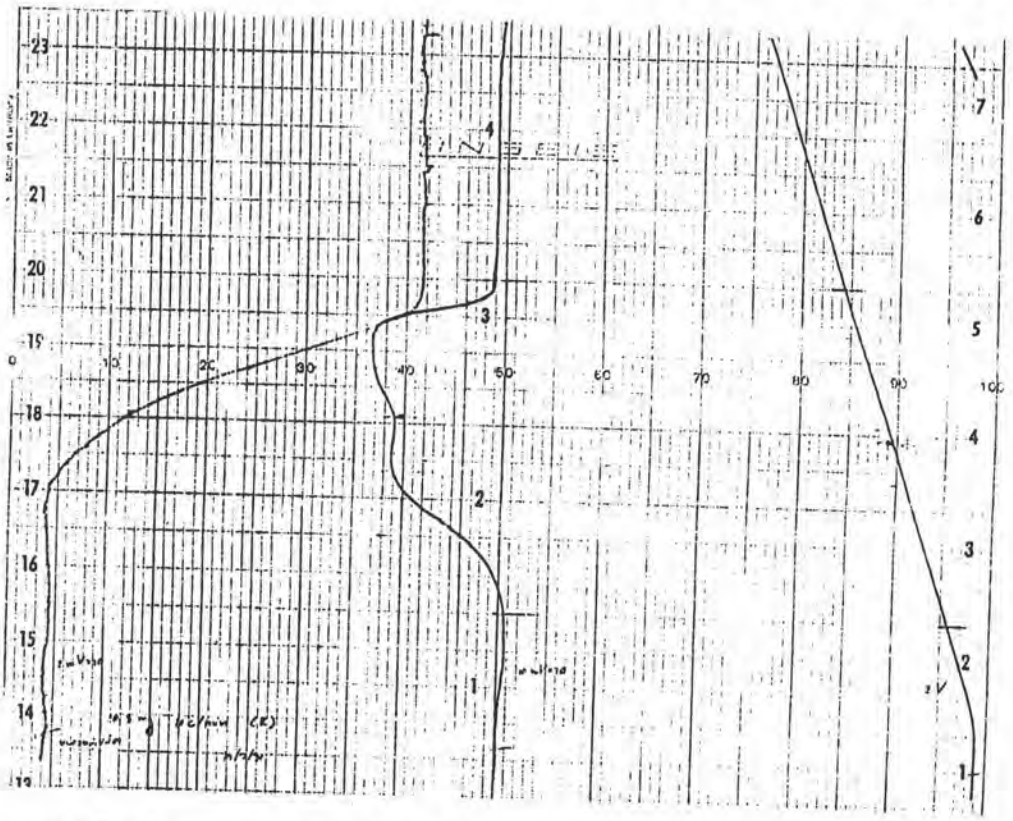
หนองหญ้าปล้อง อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1



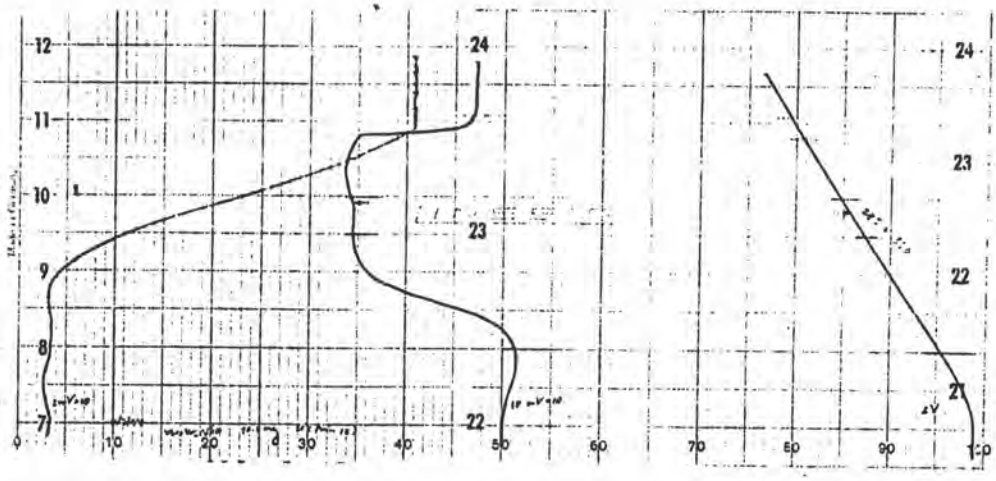
หนองหญ้าปล้อง อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 2



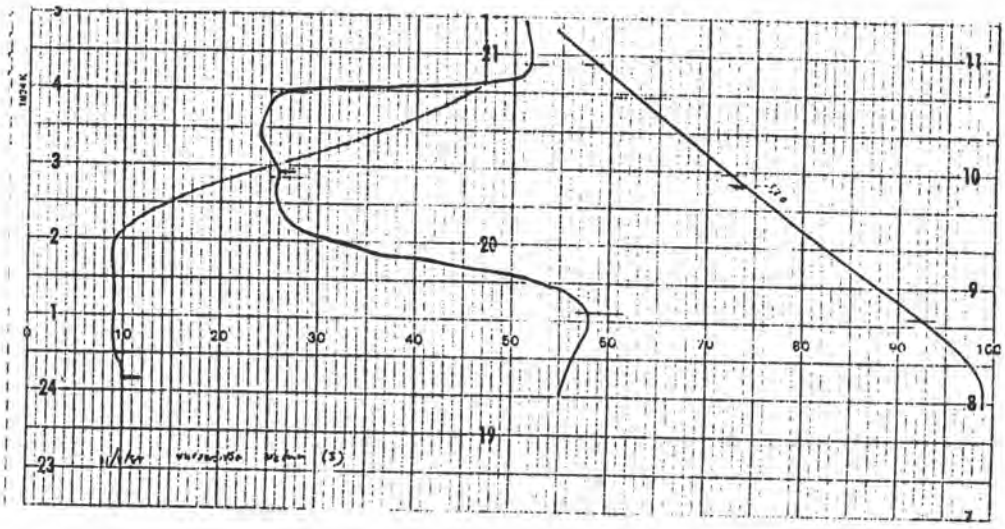
หนองหญ้าปล้อง อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1



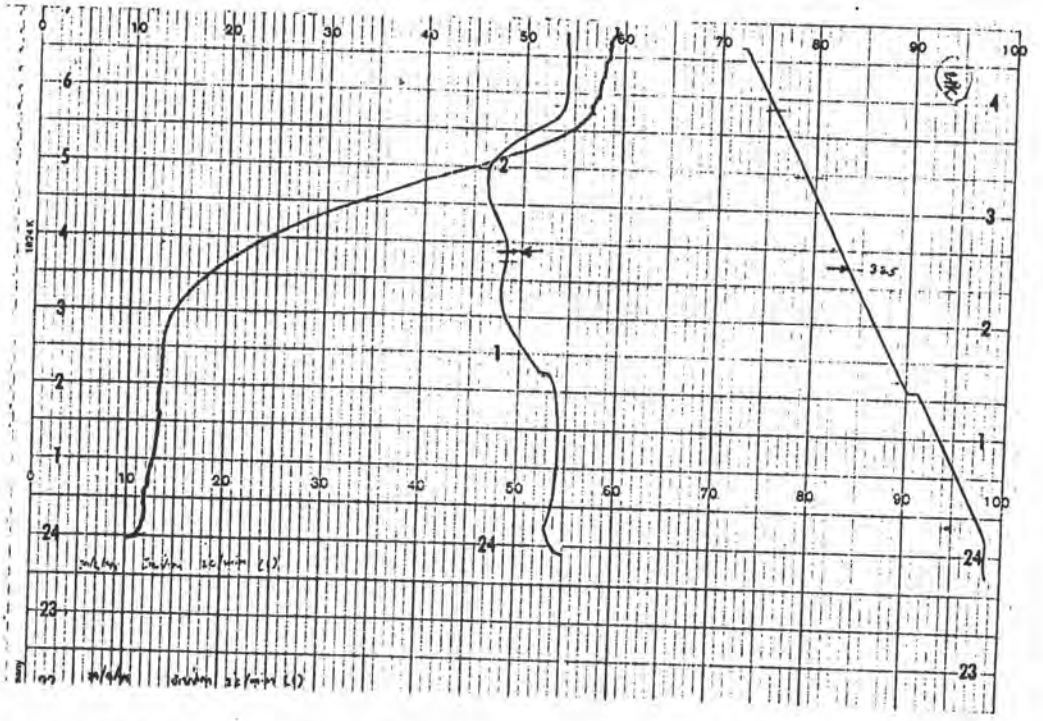
หนองหญ้าปล้อง อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 2



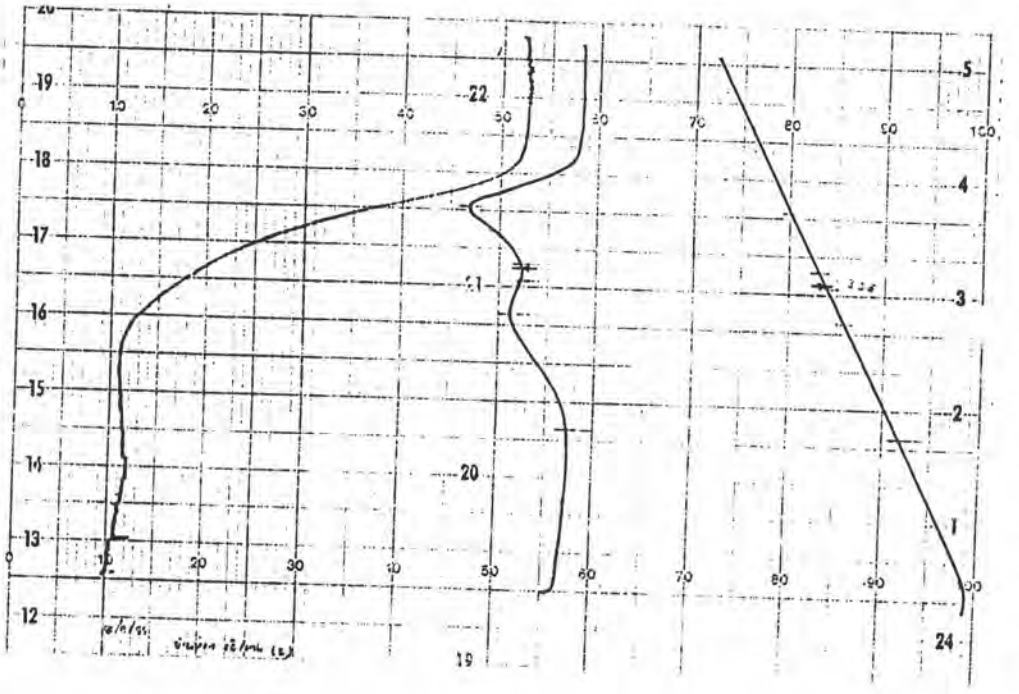
หนองหญ้าปล้อง อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1



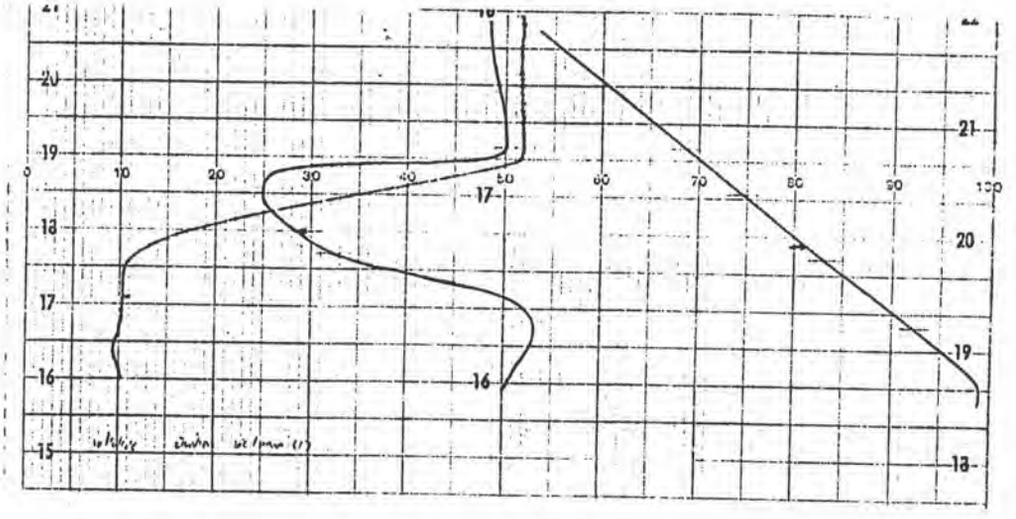
หนองหญ้าปล้อง อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 2



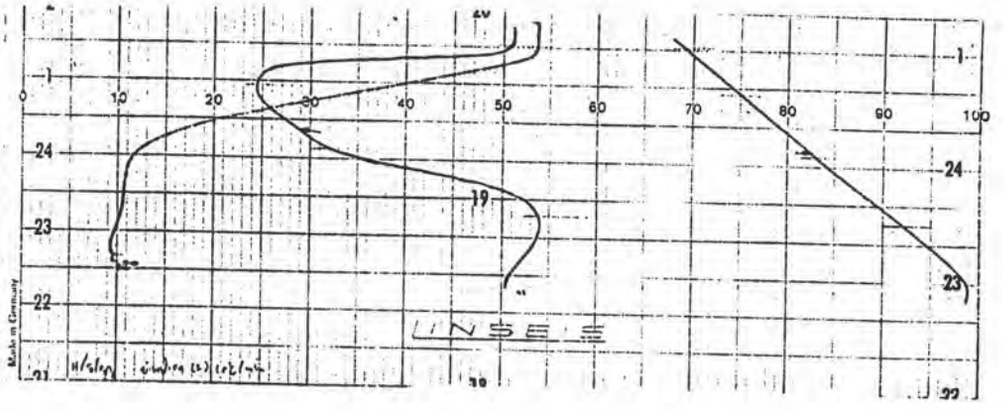
บ้านป่าคา อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1



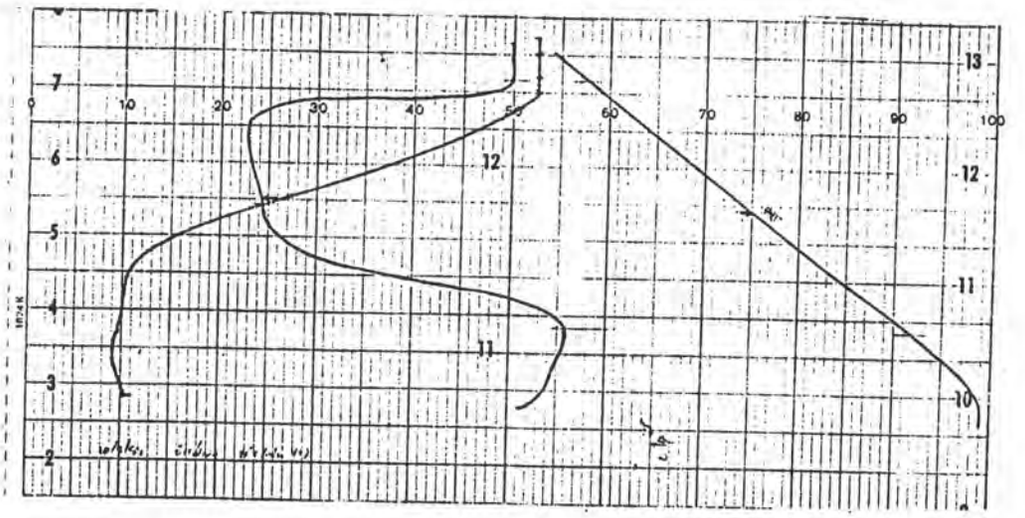
บ้านป่าคา อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 2



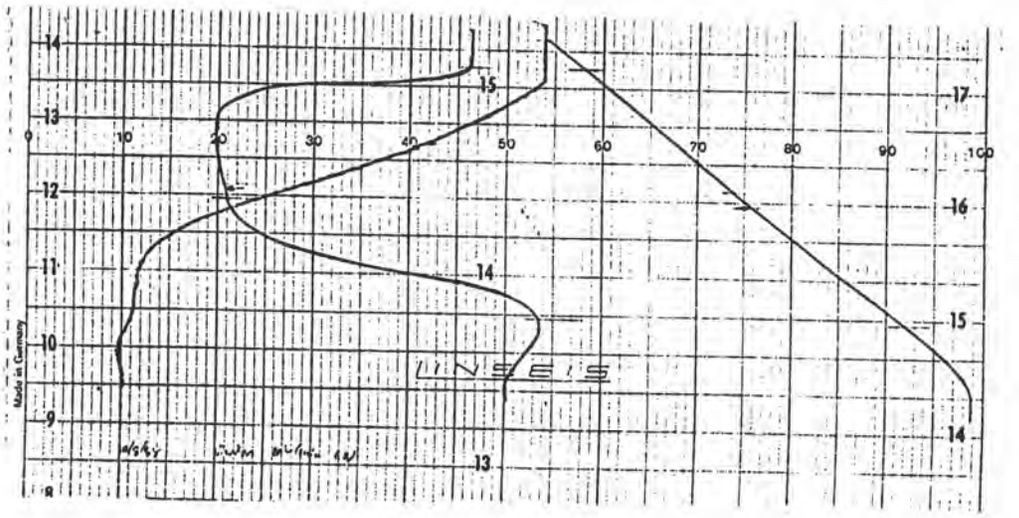
บ้านป่าคา อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1



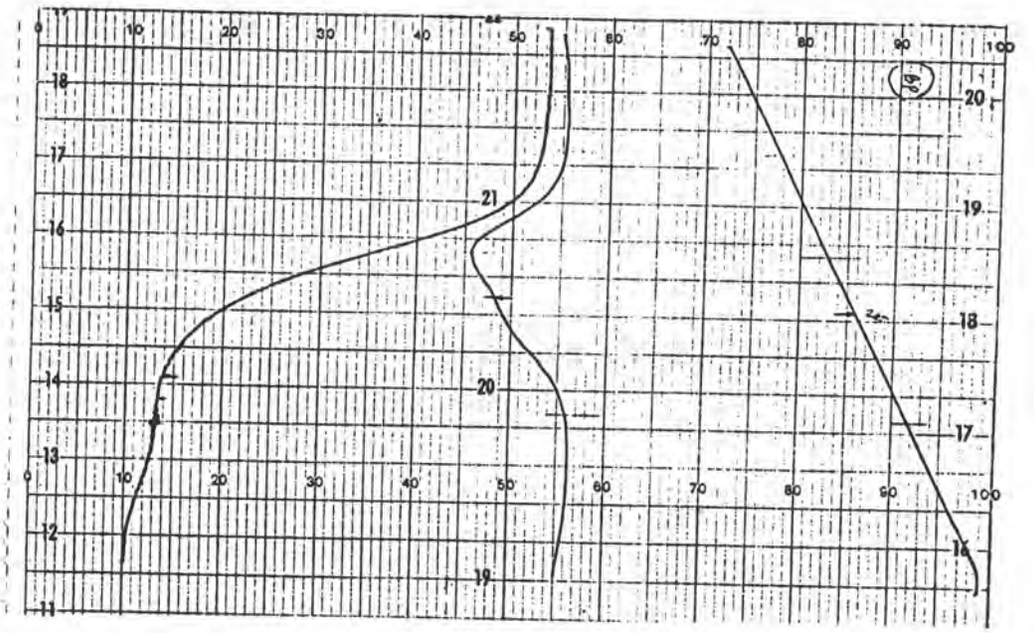
บ้านป่าคา อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 2



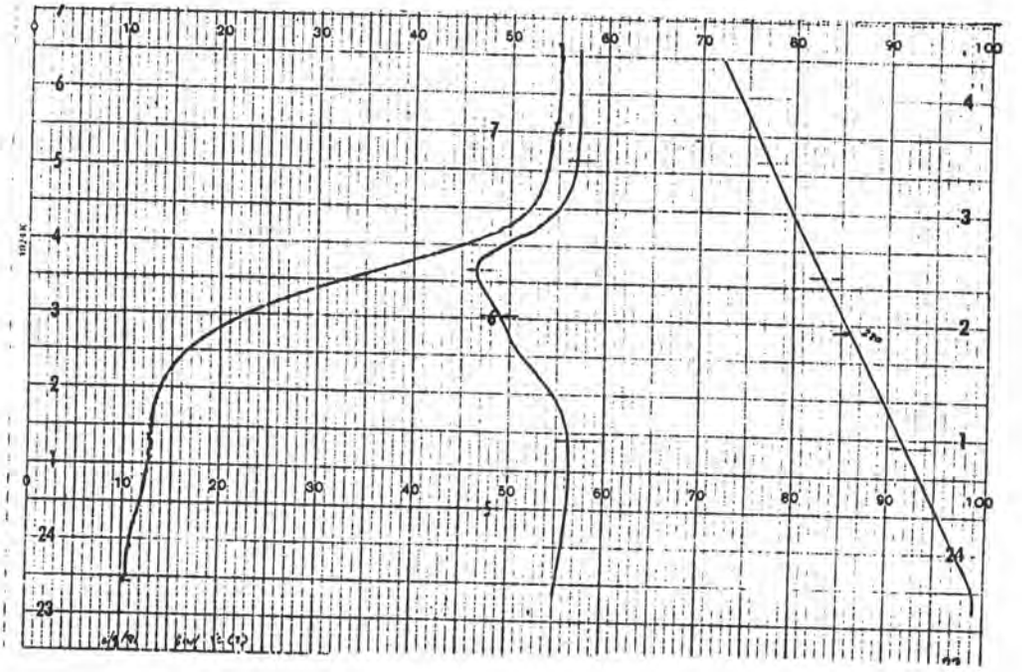
บ้านป่าคา อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1



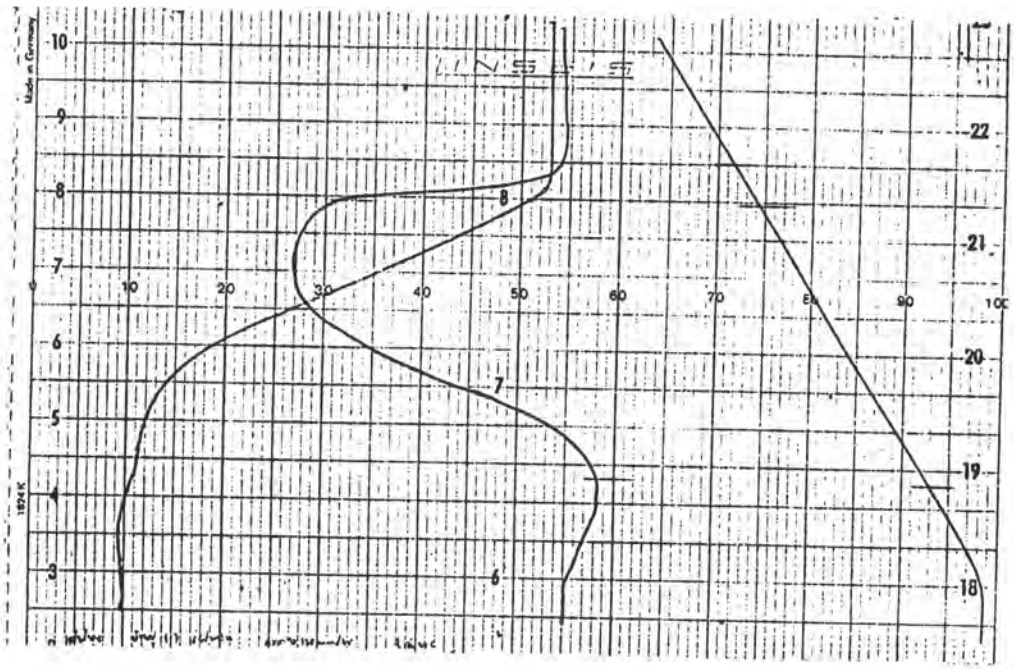
บ้านป่าคา อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 2



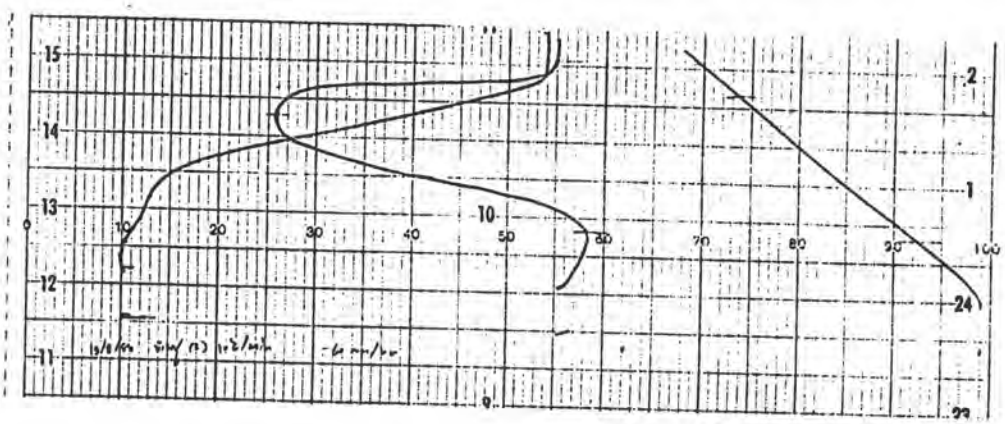
บ้านปู อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1



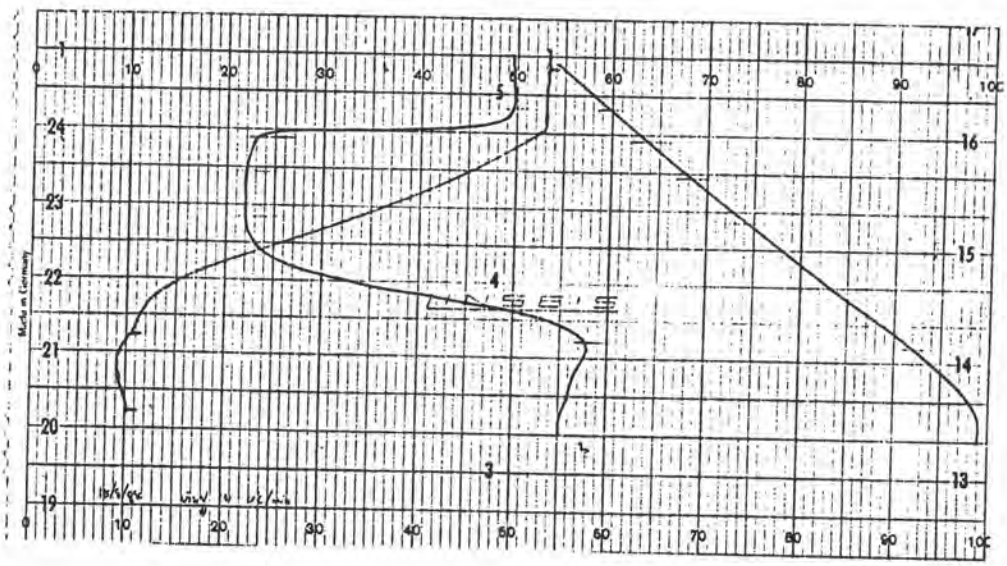
บ้านปู อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 2



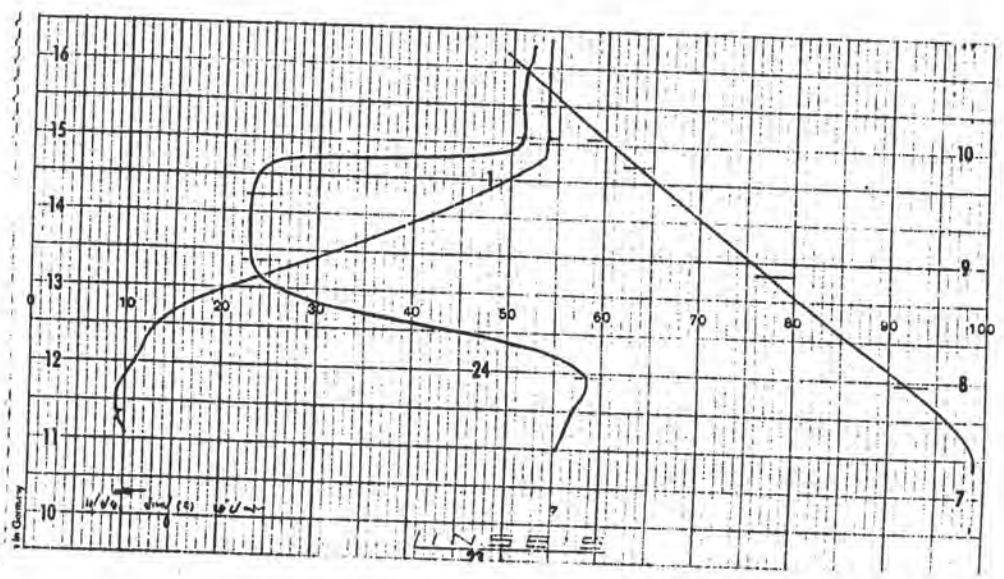
บ้านปู อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1



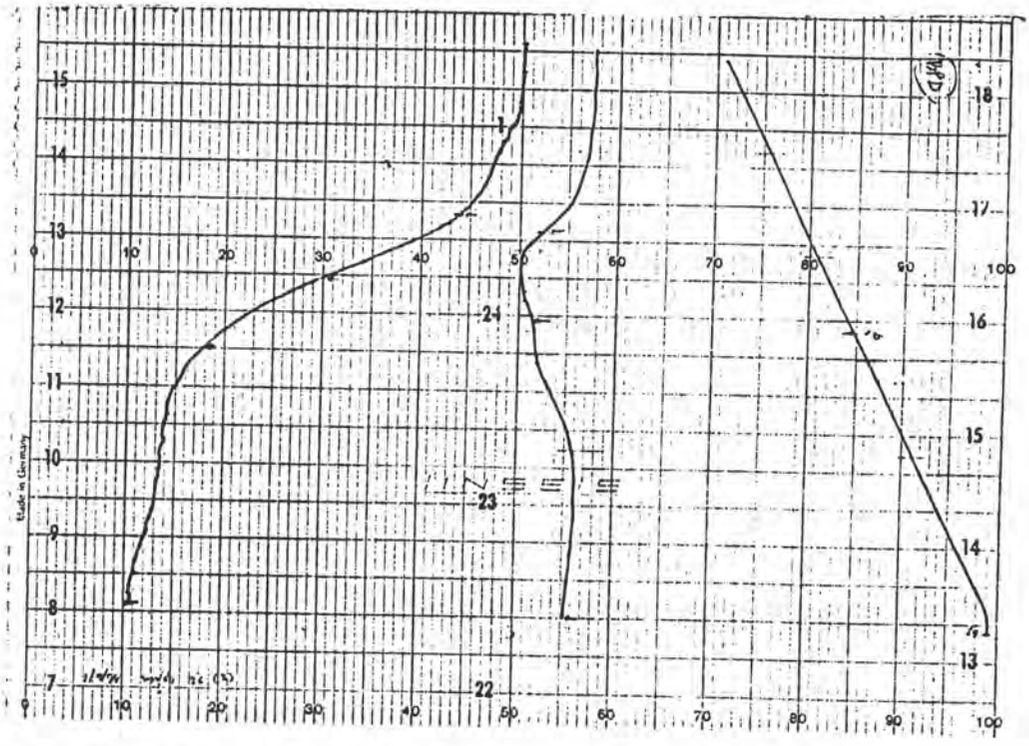
บ้านปู อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 2



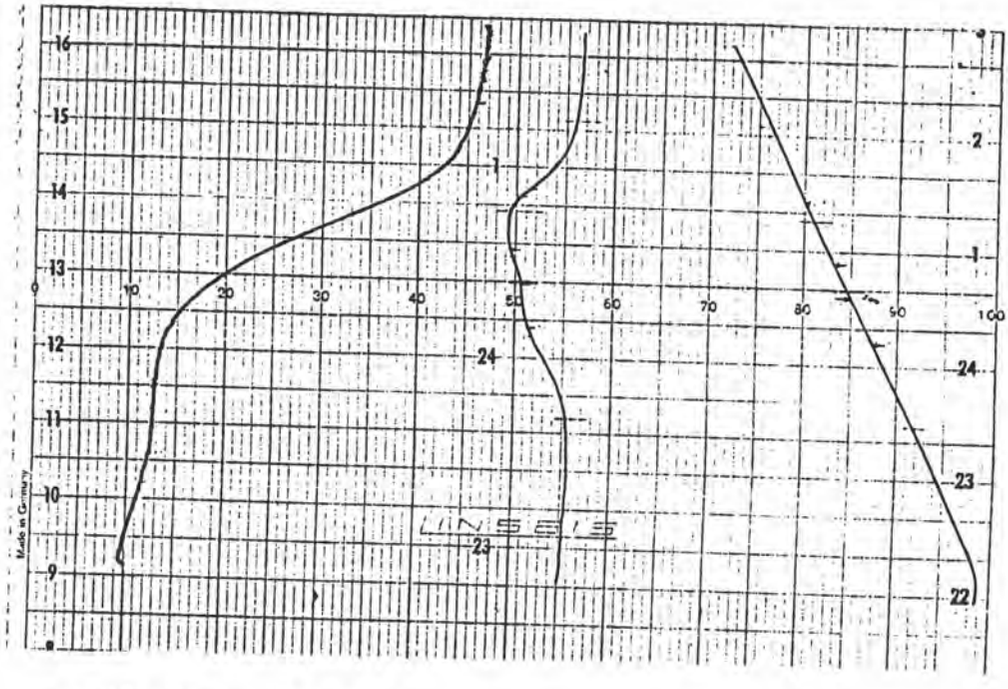
บ้านปู อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1



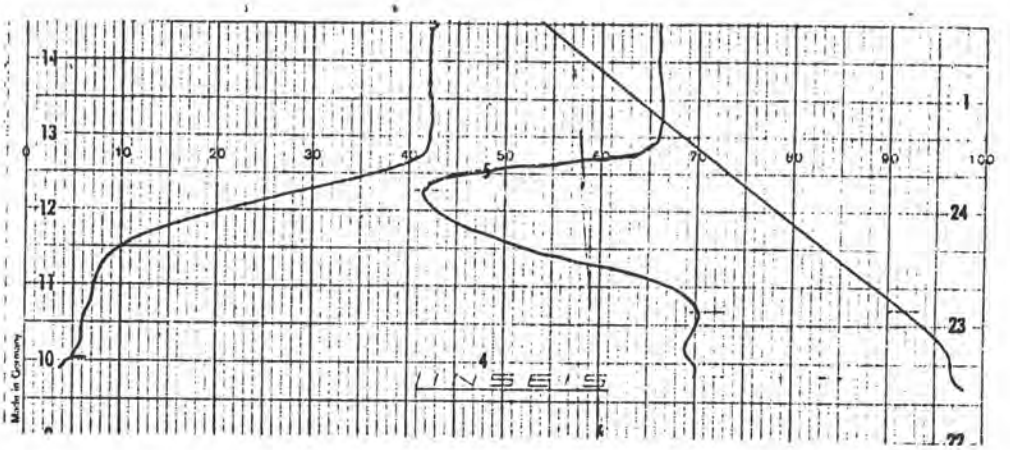
บ้านปู อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 2



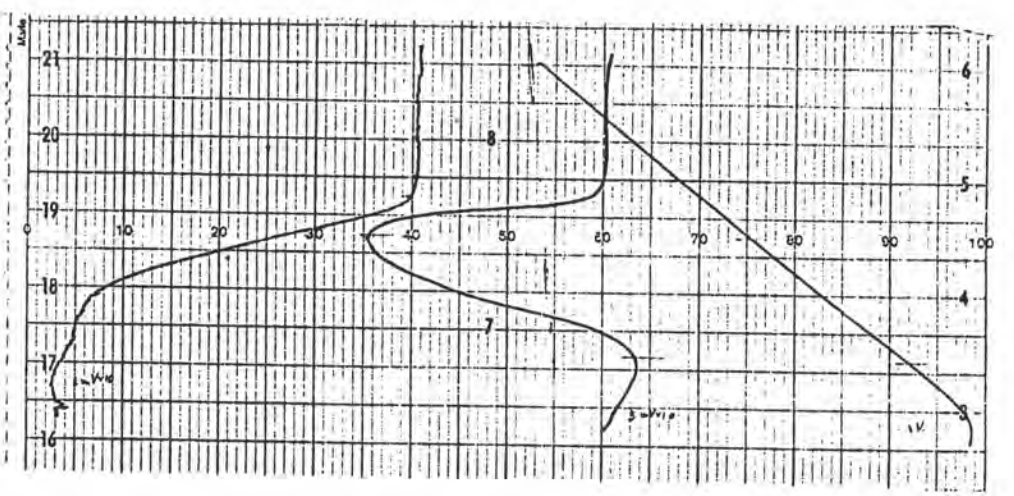
บางปูดำ อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1



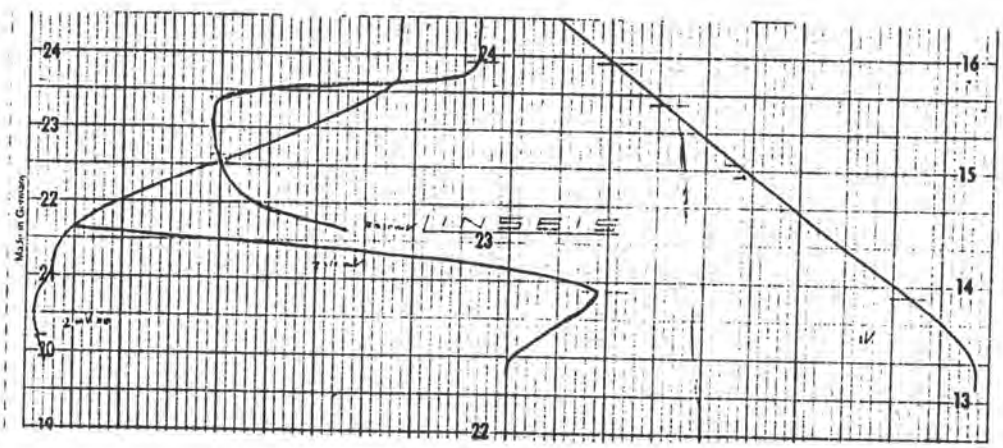
บางปูดำ อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 2



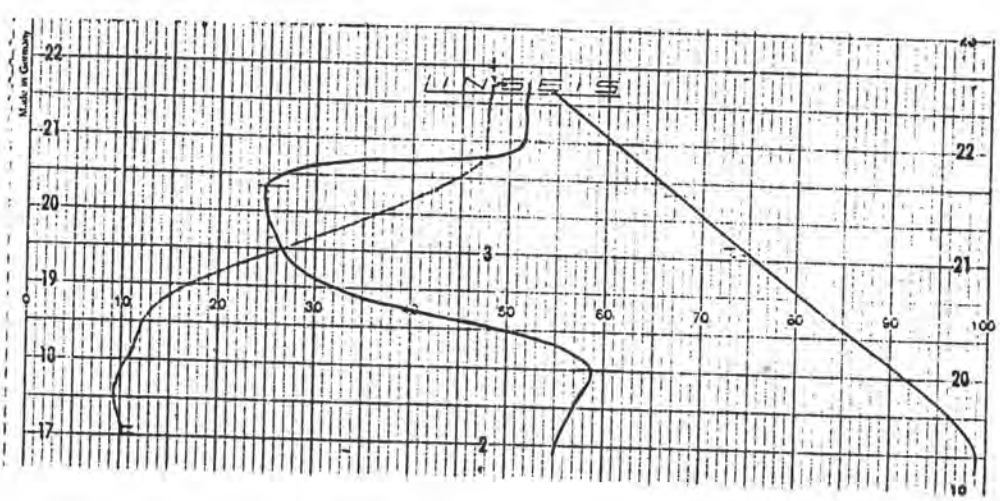
บางปูดำ อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1



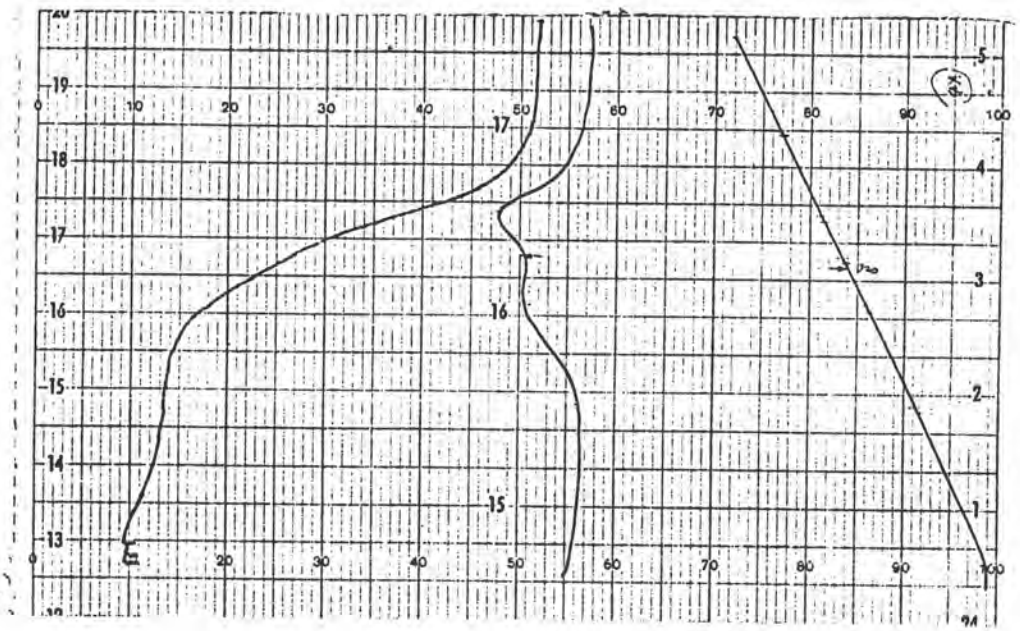
บางปูดำ อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 2



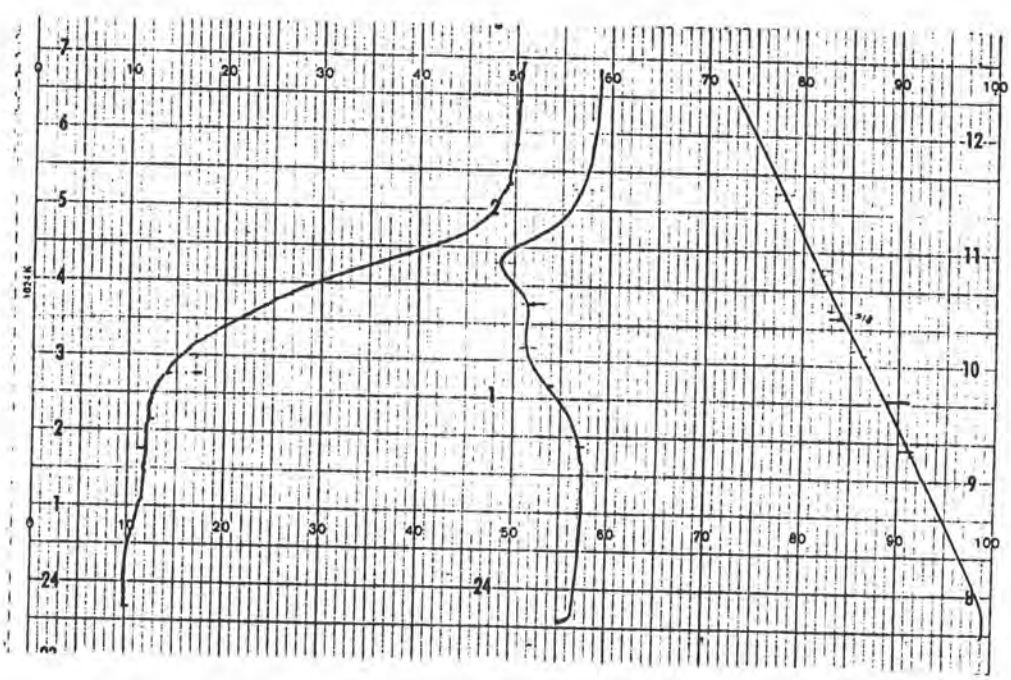
บางปูดำ อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1



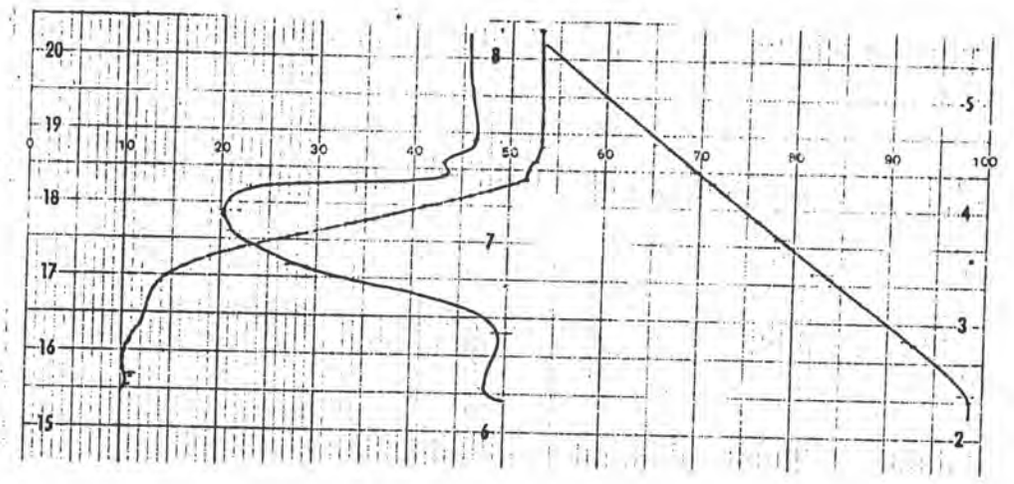
บางปูดำ อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 2



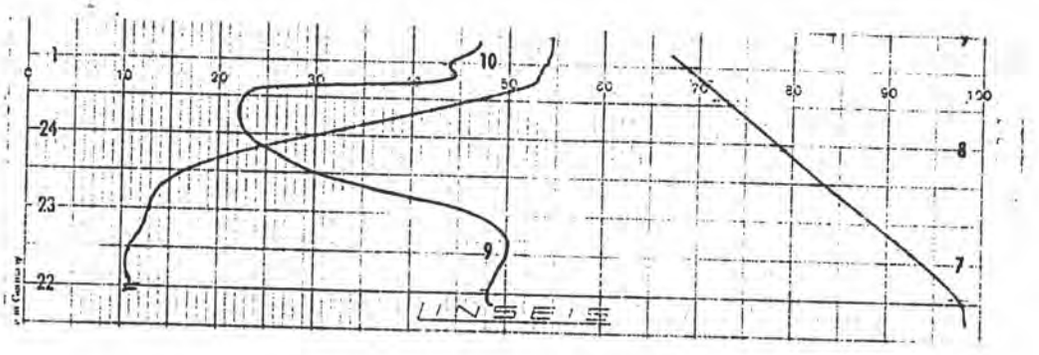
กระบี่ อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1



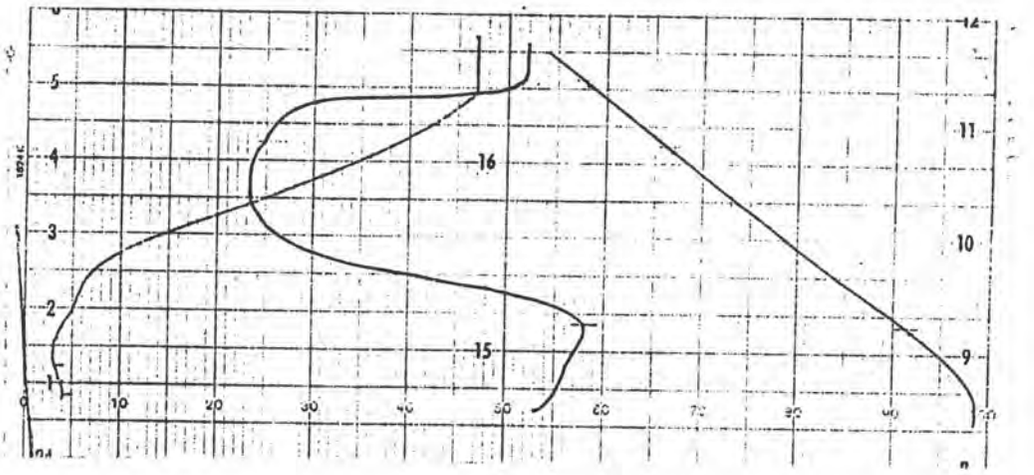
กระบี่ อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 2



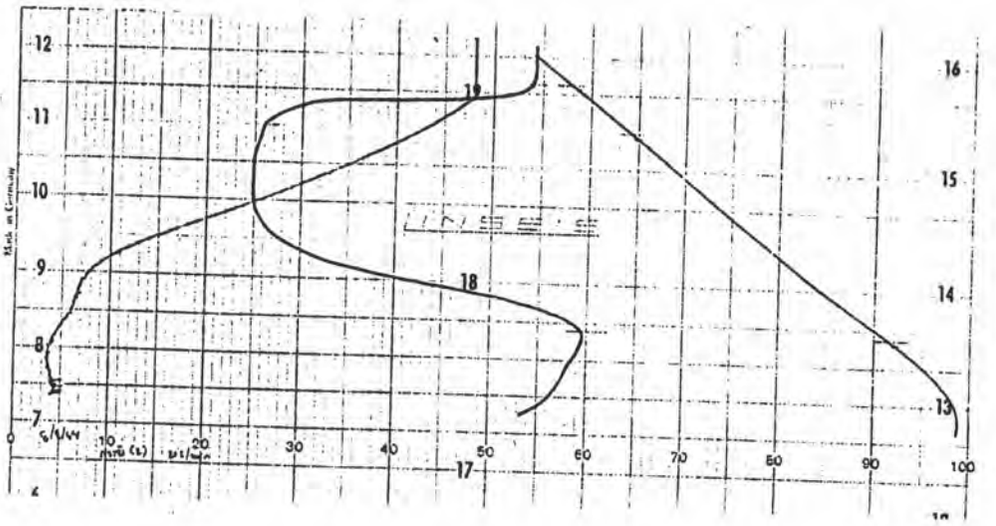
กระบี่ อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1



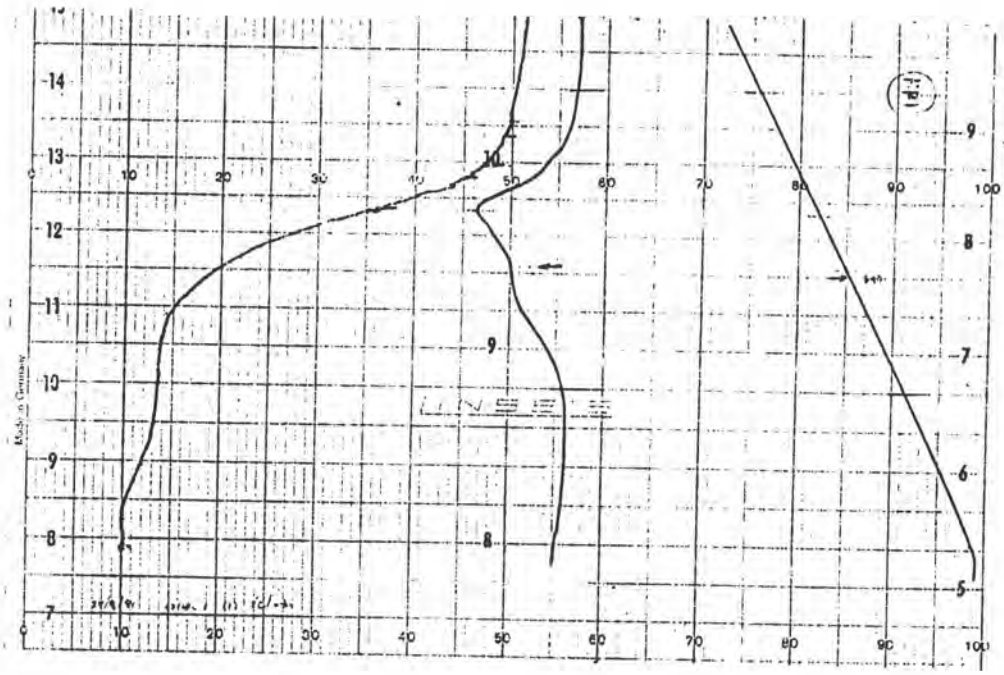
กระบี่ อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 2



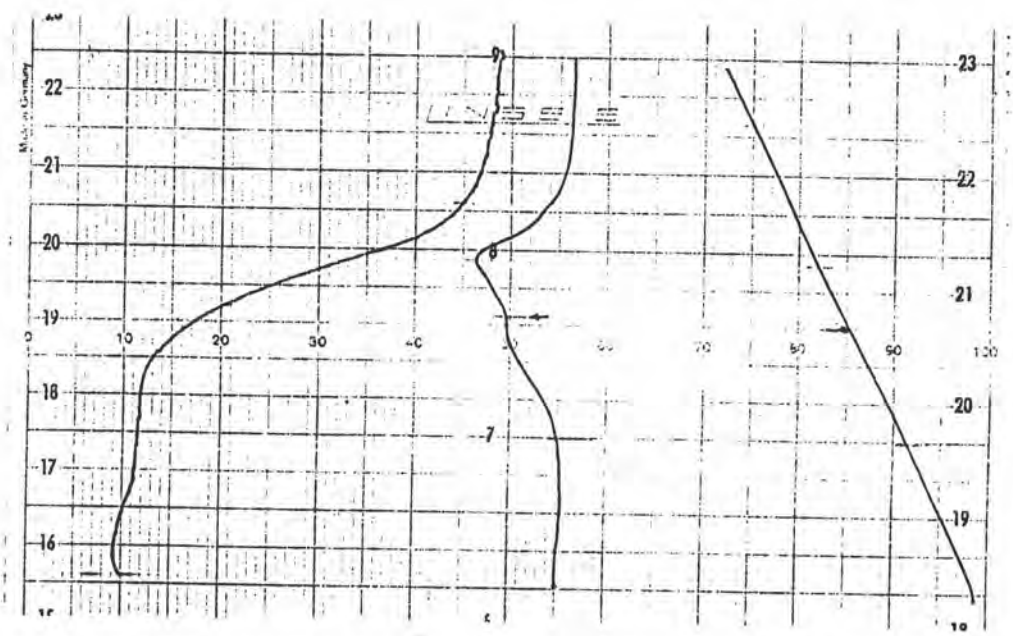
กระบี่ อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1



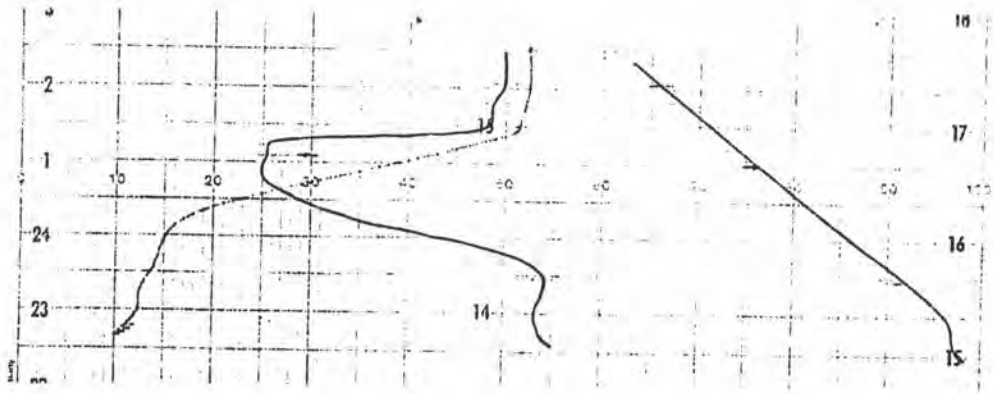
กระบี่ อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 2



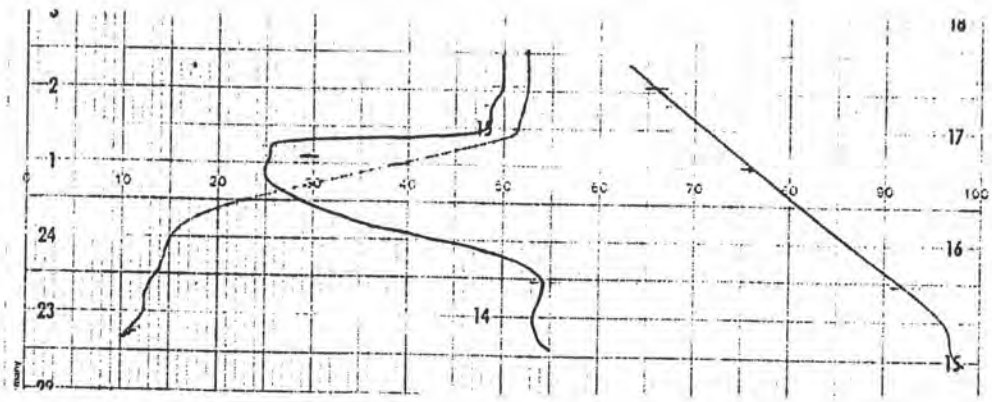
แม่เมาะ1 อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1



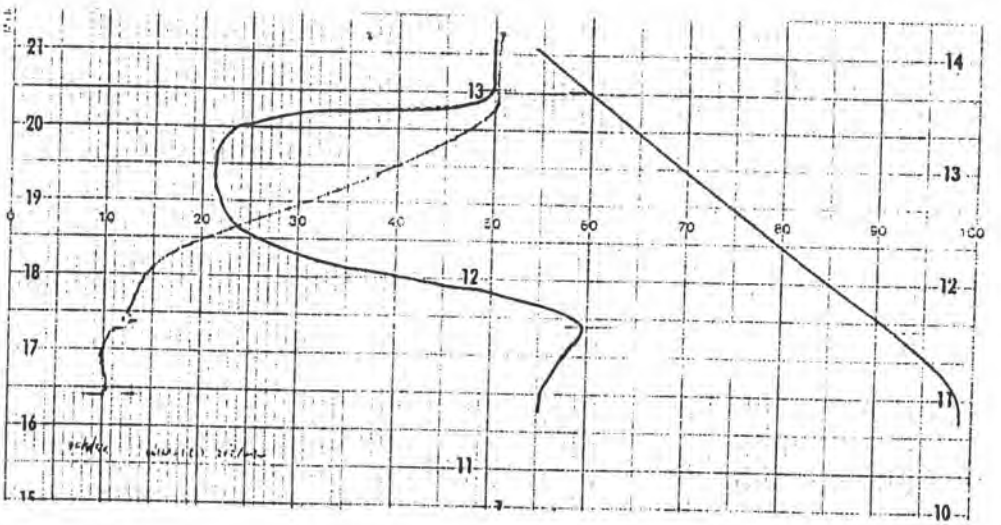
แม่เมาะ1 อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 2



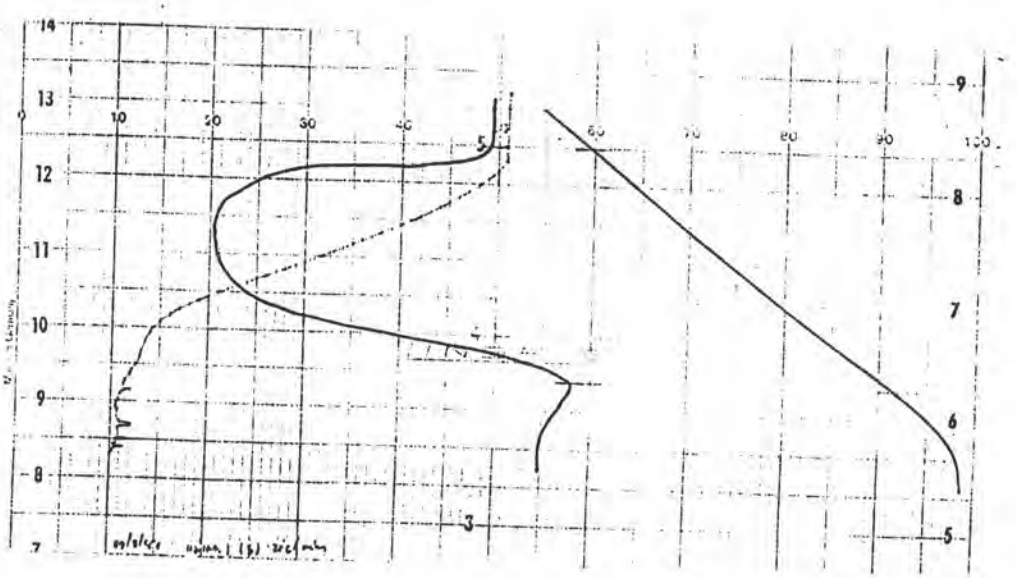
แม่เมาะ1 อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1



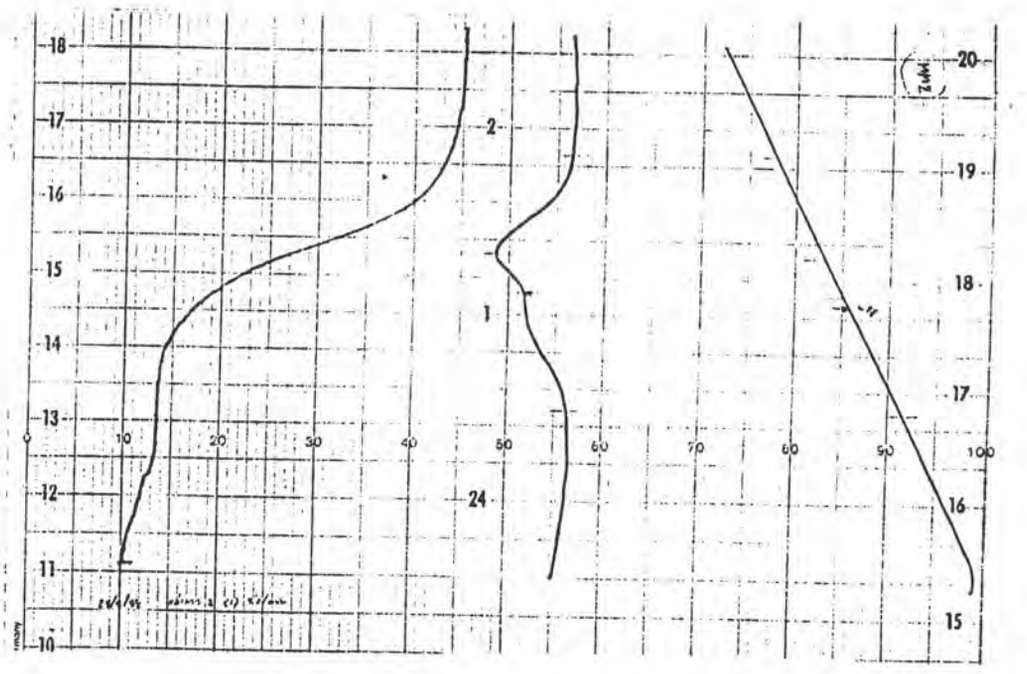
แม่เมาะ1 อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 2



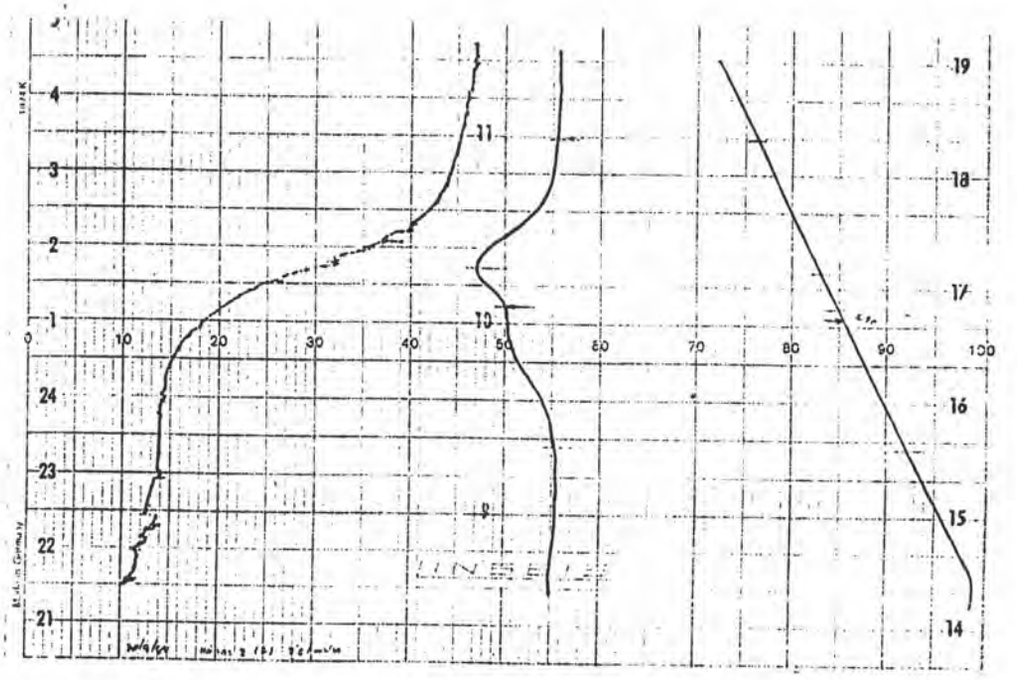
แม่เมาะ1 อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1



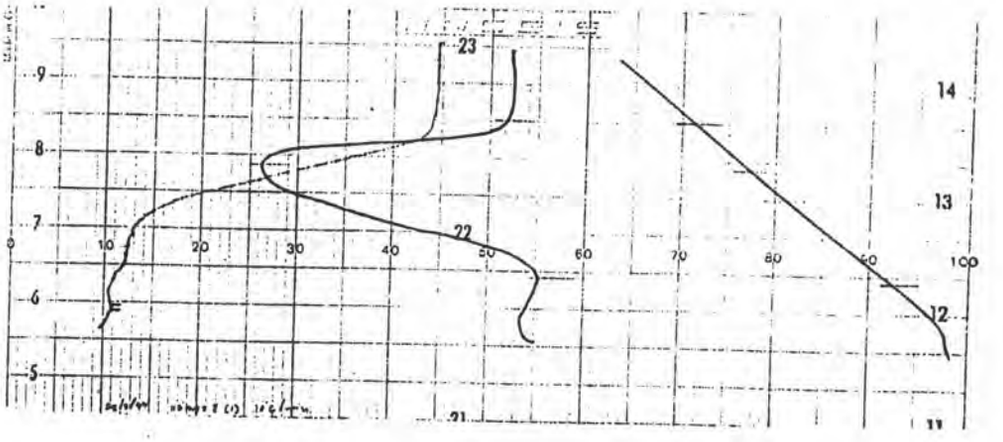
แม่เมาะ1 อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 2



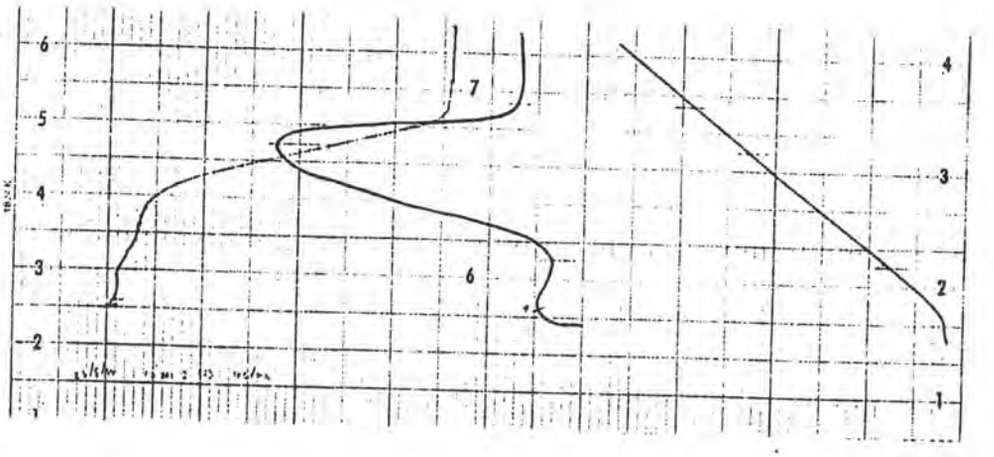
แม่เมาะ2 อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1



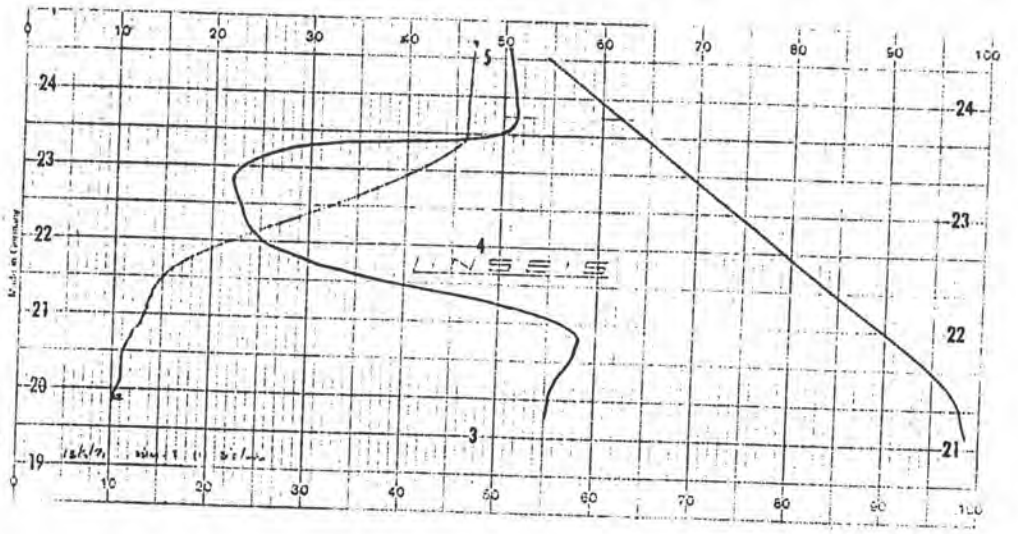
แม่เมาะ2 อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 2



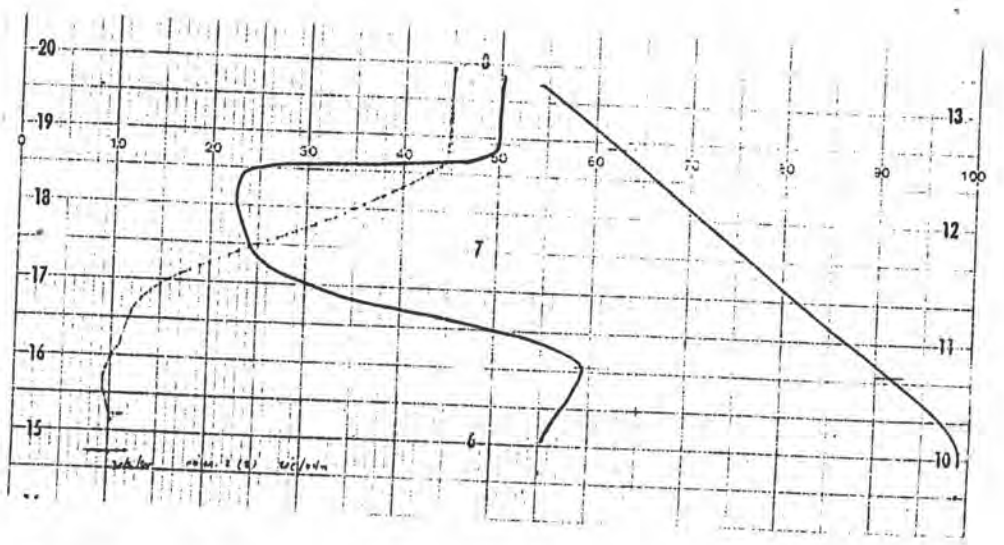
แม่เมาะ2 อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1



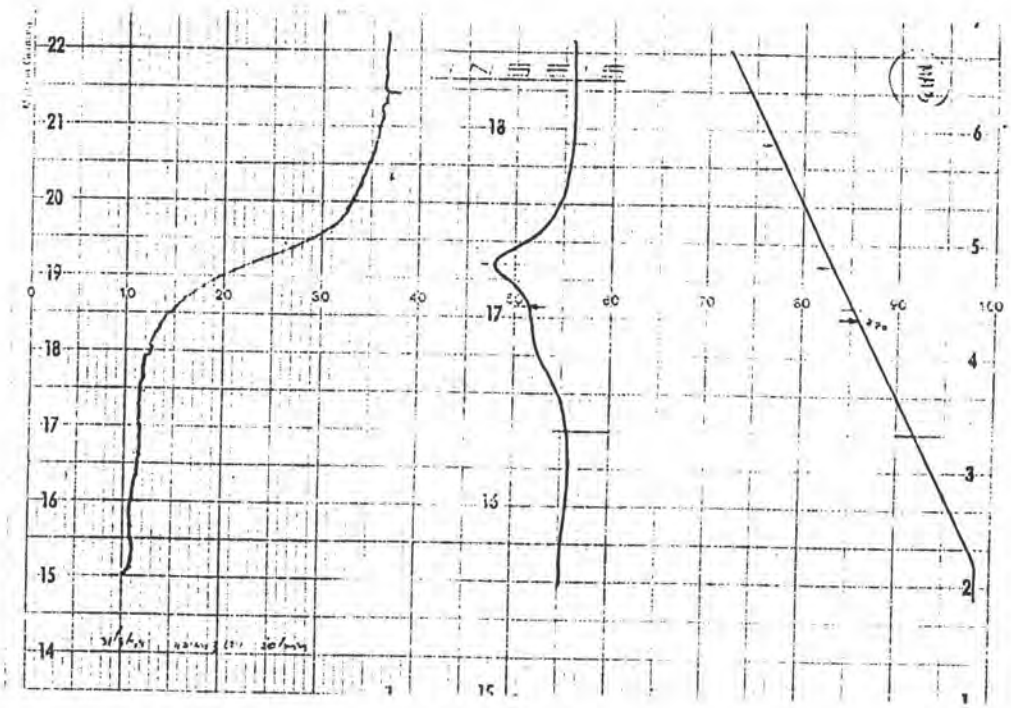
แม่เมาะ2 อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 2



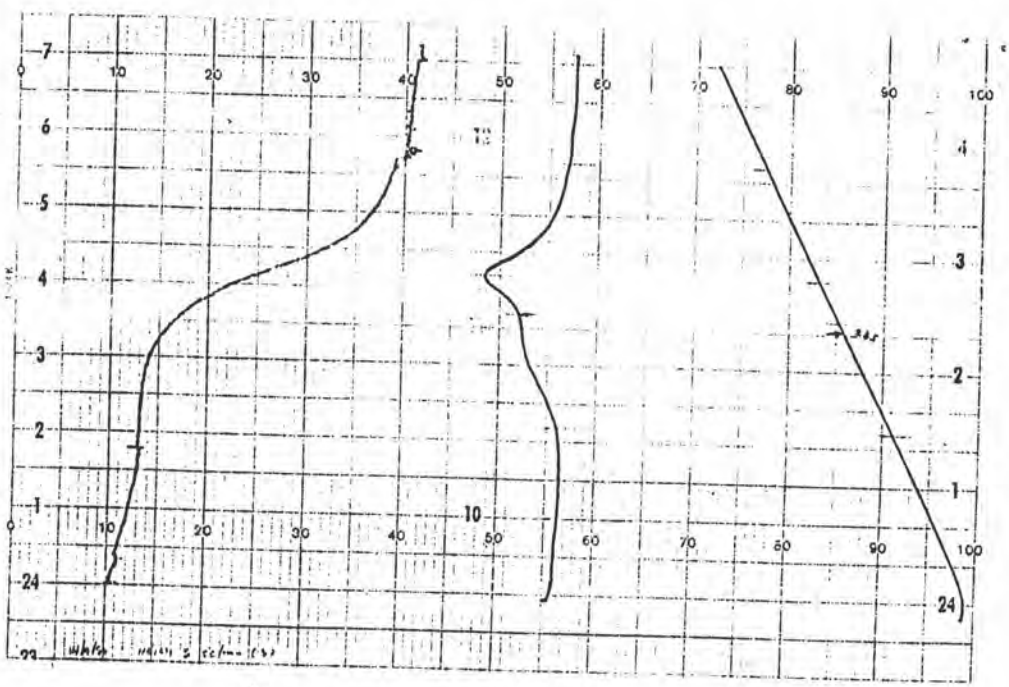
แม่เมาะ2 อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1



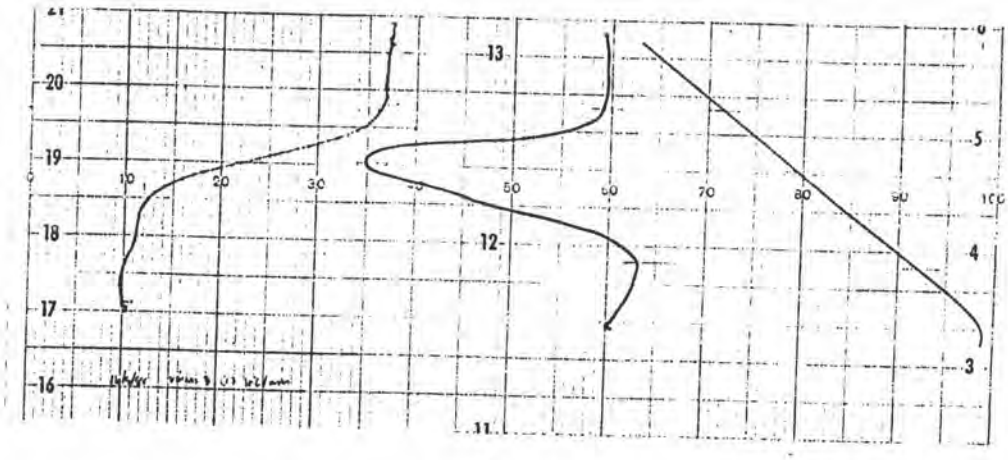
แม่เมาะ2 อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 2



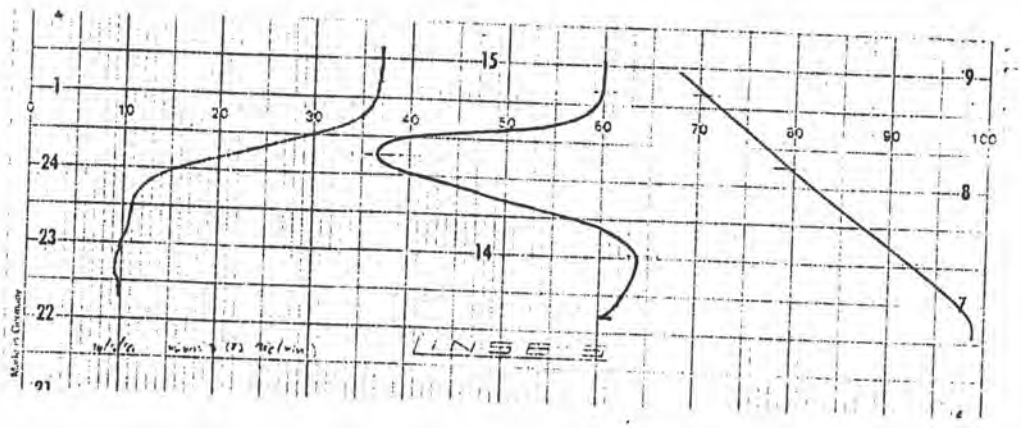
แม่เมาะ3 อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1



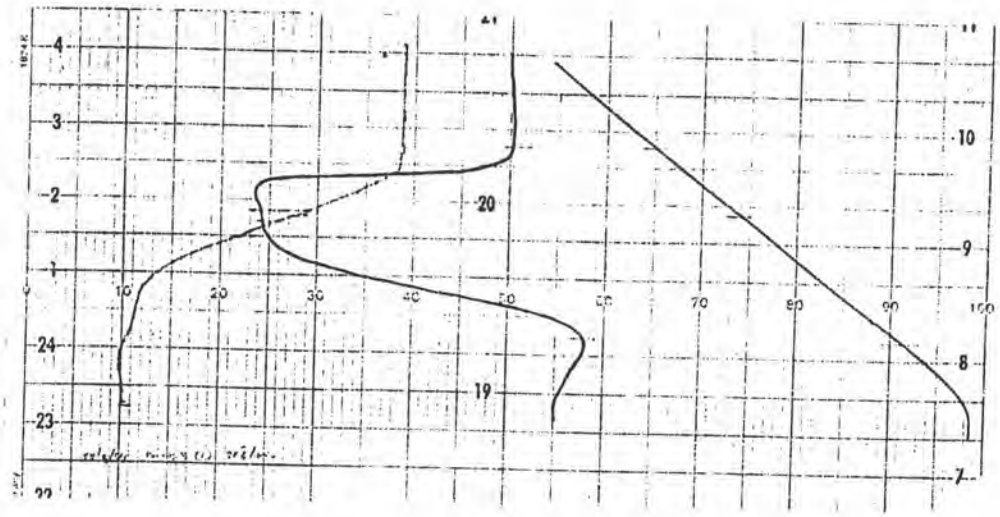
แม่เมาะ3 อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 2



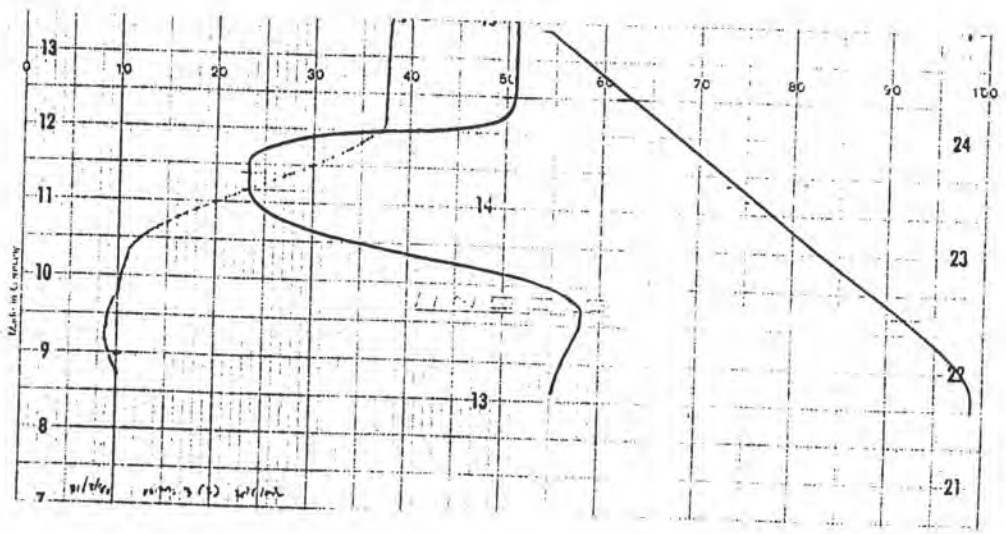
แม่เมาะ3 อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1



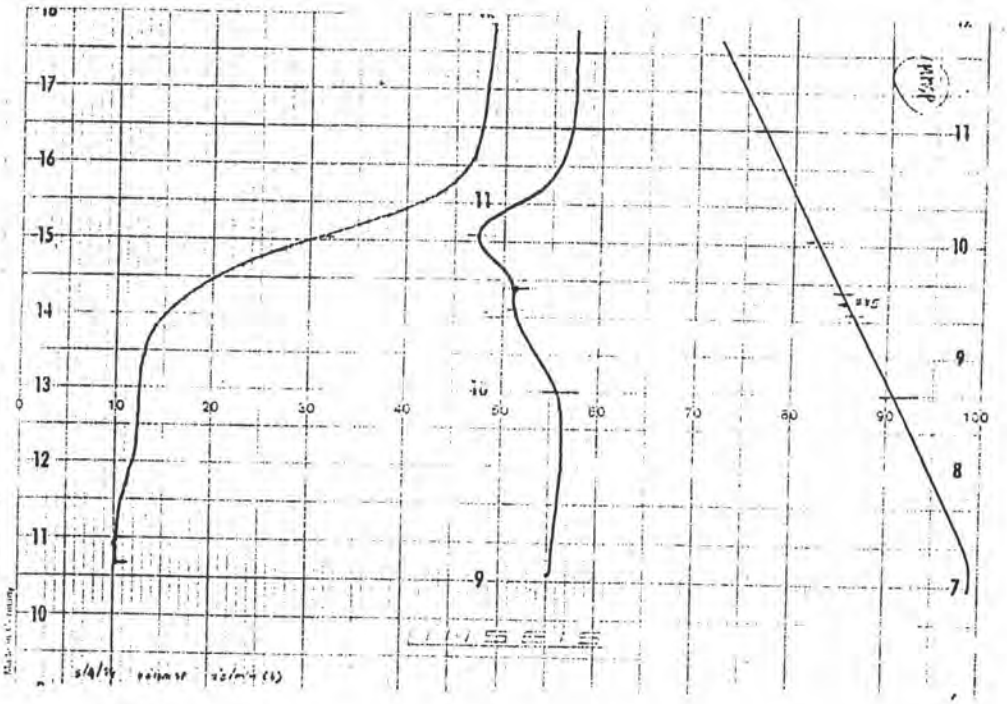
แม่เมาะ3 อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 2



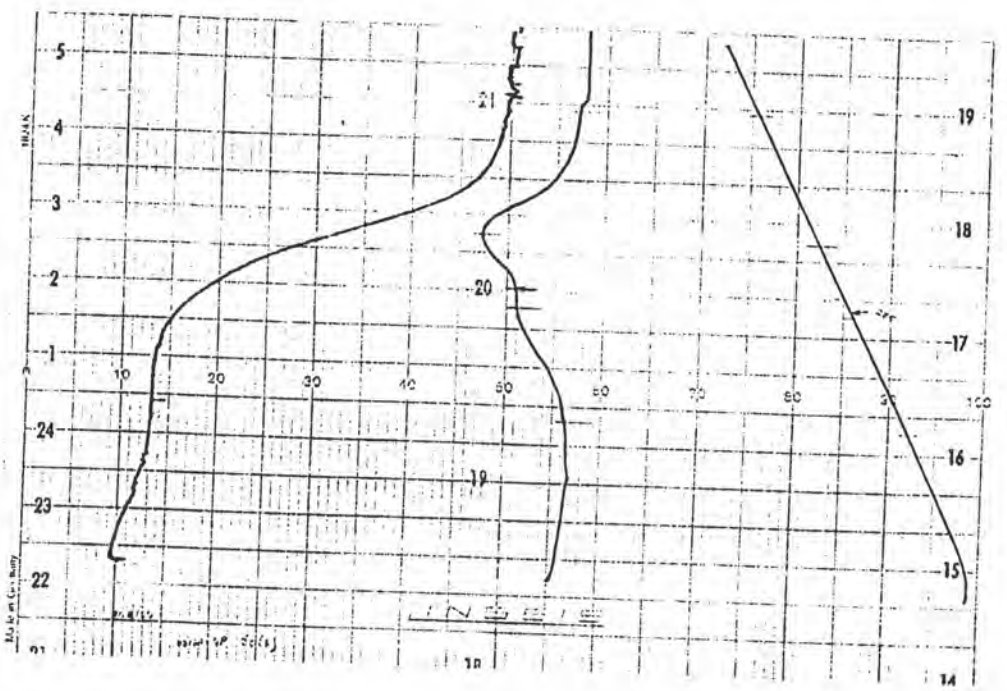
แม่เมาะ3 อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1



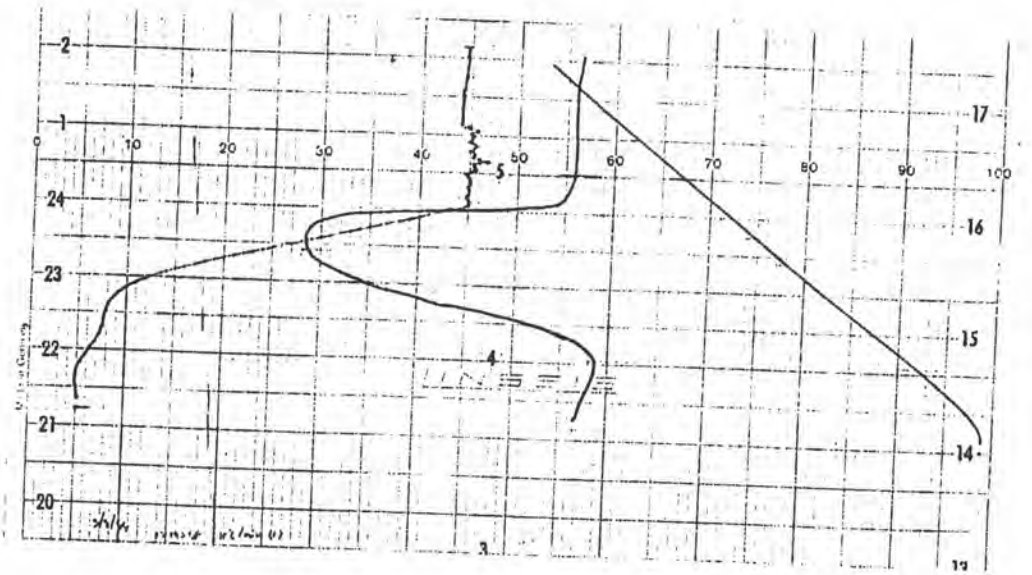
แม่เมาะ3 อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 2



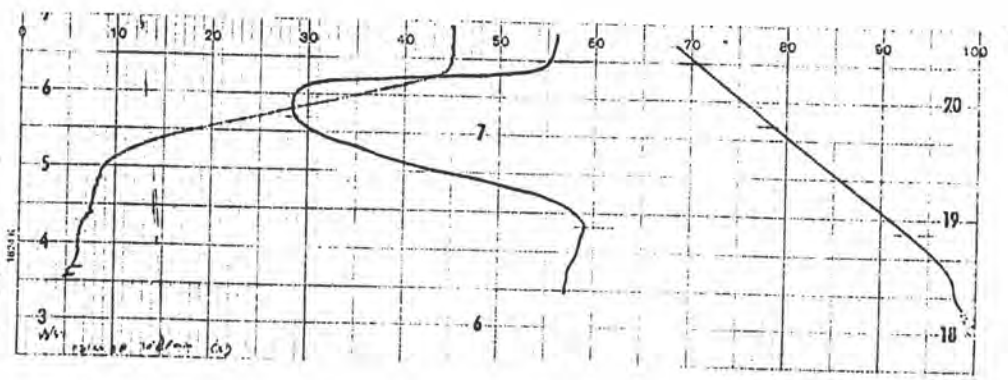
แม่เมาะ Stockpile อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1



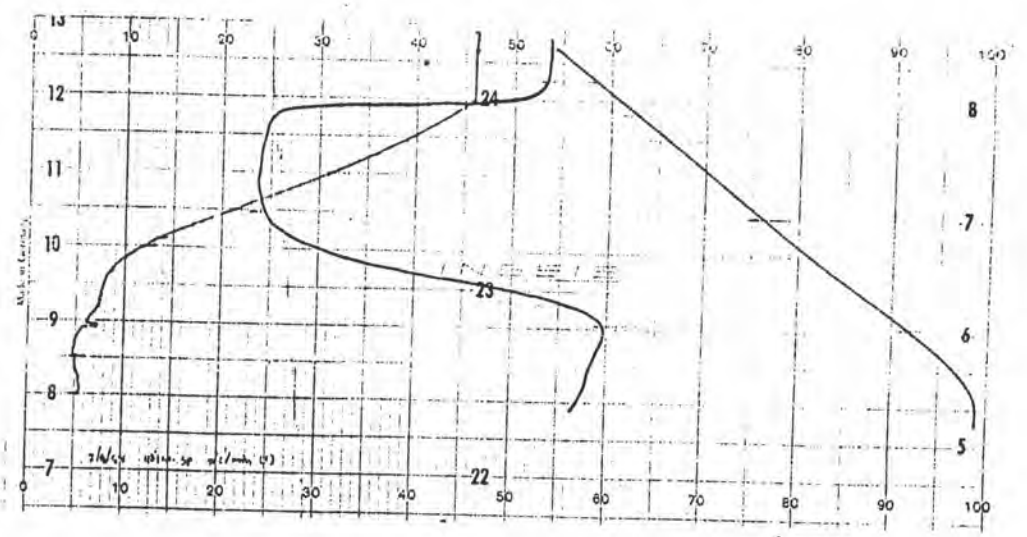
แม่เมาะ Stockpile อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 2



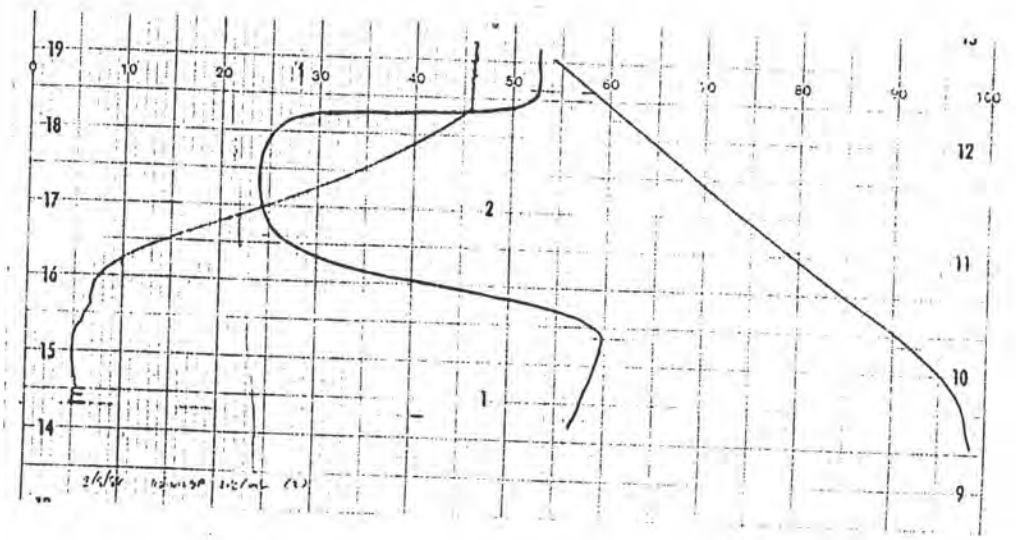
แม่เมาะ Stockpile อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1



แม่เมาะ Stockpile อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 2



แม่เมาะ Stockpile อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1



แม่เมาะ Stockpile อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 2

ภาคผนวก ฉ. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย และค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ในการหาค่าพลังงานกระตุ้น

การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (simple linear regression)

การถดถอยเชิงเส้น เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระหนึ่งตัว โดยที่ความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองเป็นเส้นตรง ดังสมการ

$$y = a + bx$$

โดยที่ a คือ ค่าคงที่เท่ากับจุดตัดบนแกน y เมื่อกำหนดให้ x = 0

b คือ ความชันของเส้นตรง

เทคนิคหนึ่งที่นำมาใช้ในการหาสมการของเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง x และ y คือ วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (least squares) ซึ่งจะให้สมการเส้นตรงที่ลากขึ้นแล้วทำให้ค่าเบี่ยงเบนระหว่างข้อมูลจริงกับค่าที่พยากรณ์มีค่าน้อยที่สุด ค่าเบี่ยงเบนของ y_i กับค่าพยากรณ์เท่ากับ $y_i - y_i'$ ดังนั้นผลบวกกำลังสองของค่าเบี่ยงเบนคือ

$$\sum_{i=1}^{n} \left| y_i - (a + bx_i) \right|^2$$

วิธีการกำลังน้อยที่สุดก็คือการหาค่า a และ b ซึ่งทำให้ผลบวกกำลังสองของค่าเบี่ยงเบนมีค่าน้อยสุด การคำนวณกระทำได้โดยอาศัยหลักทางคณิตศาสตร์ในการหาจุดต่ำสุดหรือสูงสุด ดังนี้

$$\text{minimize} \quad \sum_{i=1}^{n} \left| y_i - (a + bx_i) \right|^2 = S$$

$$\partial S/\partial a = -2 \sum_{i=1}^{n} (y_i - a - bx_i) = 0$$

$$\sum_{i=1}^{n} y_i = na + b \sum_{i=1}^{n} x_i \qquad \cdots\cdots \text{ฉ.1}$$

$$\partial S/\partial b = -2 \sum_{i=1}^{n} (y_i - a - bx_i)(x_i) = 0$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_i y_i = a \sum_{i=1}^{n} x_i + b \sum_{i=1}^{n} x_i^2 \qquad \cdots\cdots \text{ฉ.2}$$

เมื่อแก้สมการ ฉ.1 และฉ.2 สามารถหา a และ b ได้จาก

$$b = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)}{n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

โดยที่ $\bar{y} = \sum_{i=1}^{n} y_i/n$, $\bar{x} = \sum_{i=1}^{n} x_i/n$

<u>สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ</u> (the coefficient of determination)

สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ คือ ดัชนีที่ใช้แสดงขนาดของความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในตัวแปรตามที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระ

ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ, r^2 มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

ถ้า r^2 มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่า ความแปรปรวนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในตัวแปรตามไม่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระ

ถ้า r^2 มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าความแปรปรวนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในตัวแปรตามสามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระ

ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในตัวแปรตามก็คือ ผลรวมของความแปรปรวนที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระและความแปรปรวนที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระ นั่นคือ

total variance = explained variance + unexplained variance

$$\text{total variance} = \sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{y})^2/(n-1)$$

$$\text{explained variance} = \sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{y})^2/(k-1)$$

$$\text{unexplained variance} = \sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{y})^2/(n-k)$$

เมื่อ n คือ จำนวนข้อมูล และ k คือ จำนวนตัวแปร ในกรณีที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียว k = 2

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (the coefficient of correlation)

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นดัชนีที่ใช้แสดงค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระ มีค่าเท่ากับรากที่สองของสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1

ถ้า r = -1 แสดงว่าตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระในเชิงเส้นตรงในเชิงผกผัน นั่นคือ เมื่อตัวแปรอิสระมีค่ามากขึ้นตัวแปรตามจะมีค่าน้อยลง

ถ้า r = +1 แสดงว่าตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระในเชิงเส้นตรง นั่นคือ เมื่อตัวแปรอิสระมีค่ามากขึ้นตัวแปรตามจะมีค่ามากขึ้น

ถ้า r = 0 แสดงว่าตัวแปรตามไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระในเชิงเส้นตรง โดยที่อาจจะมีความสัมพันธ์กันในแบบอื่น หรือไม่มีความสัมพันธ์กันเลยก็ได้

$$r = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} y_i}{\sqrt{\left[n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2\right]\left[n\sum_{i=1}^{n} y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)^2\right]}}$$

ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error)

ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเป็นดัชนีที่ใช้วัดการกระจายของค่า y รอบเส้นถดถอย

$$\text{ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน} = \sum_{i=1}^{n} (y_i - y)^2/(n - k)$$

โดยที่ n = จำนวนข้อมูล

k = จำนวนตัวแปร สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียว k = 2

Sample	Heating Rate (c/min)	R-Square		Std.Err.of Prediction		Correlation Coefficient		slope (A1)	
		first	second	first	second	first	second	first	second
Naduang	2	0.9857	0.9445	0.1109	0.1157	-0.9517	-0.9718	-6337.9635	-7678.2554
	10	0.9181	0.8862	0.0828	0.0933	-0.9582	-0.9414	-3696.9822	-3592.8490
	20	0.7428	0.6686	0.2156	0.2266	-0.8619	-0.8177	-5203.4983	-4228.0412
		0.8180	0.7759	0.0814	0.1005	-0.9044	-0.8808	-2201.1240	-2476.2147
Nongyaplong	2	0.8829	0.8409	0.1260	0.0934	-0.8994	-0.9170	-2897.2932	-2390.2547
		0.9310	0.9097	0.0960	0.1009	-0.9649	-0.9538	-4456.2503	-4991.5501
	10	0.9457	0.9561	0.0860	0.0897	-0.9725	-0.9778	-2606.5977	-2766.0024
	20	0.9681	0.9530	0.0629	0.0668	-0.9839	-0.9762	-1652.2951	-1656.4168
Banpaka	2	0.9639	0.8621	0.0594	0.1147	-0.9818	-0.9285	-2701.5822	-2524.8182
		0.9120	0.9728	0.1388	0.0532	-0.9550	-0.9863	-4598.6244	-3892.5293
	10	0.8508	0.7134	0.1399	0.1869	-0.9224	-0.8446	-3990.8498	-3710.2296
		0.8965	0.9407	0.0762	0.0729	-0.9468	-0.9699	-2098.4378	-2471.0064
	20	0.8598	0.9439	0.1659	0.0886	-0.9273	-0.9715	-2041.6105	-1664.9426
		0.8057	0.6871	0.0778	0.1214	-0.8976	-0.8289	-1418.5402	-1470.6715
Banpu	2	0.8734	0.9349	0.0953	0.0863	-0.9346	-0.9669	-2300.6135	-2581.5357
		0.9238	0.9778	0.0507	0.0385	-0.9612	-0.9889	-2165.7119	-2621.2227
	10	0.9272	0.9462	0.1292	0.1121	-0.9629	-0.9727	-1741.5065	-1896.8395
	20	0.9173	0.9555	0.1017	0.0864	-0.9578	-0.9775	-983.4519	-993.3688
Bangpudua	2	0.9201	0.8046	0.0833	0.1429	-0.9592	-0.8970	-2260.9336	-2772.3023
		0.9159	0.8982	0.0593	0.0657	-0.9570	-0.9477	-2240.7908	-2173.0506
	10	0.9358	0.8547	0.1140	0.1266	-0.9674	-0.9245	-1996.6563	-1790.9425
	20	0.9352	0.9477	0.1157	0.1087	-0.9670	-0.9735	-1308.8242	-1263.6249
Krabi	2	0.8497	0.8933	0.1368	0.0814	-0.9218	-0.9462	-2447.0569	-1974.9561
		0.9721	0.9469	0.0367	0.0476	-0.9859	-0.9731	-2551.4464	-3010.1511
	10	0.9411	0.9397	0.1104	0.0985	-0.9701	-0.9694	-1652.0728	-1641.9623
	20	0.8953	0.8962	0.1175	0.1324	-0.9462	-0.9466	-1032.5027	-1090.4265
MaeMoh 1	2	0.8954	0.7722	0.1208	0.1536	-0.9463	-0.8787	-4095.0084	-3323.0952
		0.9441	0.9497	0.0694	0.0562	-0.9717	-0.9745	-2950.1889	-3019.8535
	10	0.8987	0.9160	0.1158	0.0993	-0.9480	-0.9571	-1907.1752	1677.5435
	20	0.9205	0.9464	0.1108	0.0779	-0.9594	-0.9728	-1256.6511	-1106.7712
MaeMoh 2	2	0.6642	0.8915	0.1599	0.0557	-0.8150	-0.9442	-2003.5253	-2130.4372
		0.9417	0.6883	0.0540	0.1421	-0.9704	-0.8297	-2549.5726	-2609.9316
	10	0.9407	0.9441	0.0813	0.0783	-0.9699	-0.9717	-1907.7047	-1897.1806
	20	0.8791	0.9334	0.1013	0.0712	-0.9376	-0.9661	1201.6581	-1065.0727
MaeMoh 3	2	0.3053	0.6336	0.2473	0.1788	-0.5525	-0.7960	-2145.5335	-2182.5912
		0.9498	0.9070	0.0576	0.0683	-0.9746	-0.9524	-2996.1169	-3167.4219
	10	0.8697	0.9427	0.1547	0.0963	-0.9326	-0.9709	-2330.9615	-2129.0592
	20	0.9386	0.8673	0.1262	0.1689	-0.9693	-0.9313	-1633.6634	-1957.4631
MaeMoh SP	2	0.9442	0.9429	0.0875	0.0645	-0.9717	-0.9711	-3080.4691	-2390.2270
		0.9709	0.9868	0.0337	0.0325	-0.9854	-0.9934	-2512.2602	-2908.0735
	10	0.8521	0.9248	0.1347	0.1191	-0.9231	-0.9617	-1829.5940	-2027.1373
	20	0.7340	0.9156	0.1514	0.0787	-0.8567	-0.9569	-1079.1336	-1023.5328

ประวัติผู้เขียน

นส. วัลลิกา คงเจริญ เกิดเมื่อวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2506 ได้รับปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางเชื้อเพลิง ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2529