รายการอ้างอิง

[1] Zadeh, L.A. Fuzzy Sets. Information and control. vol.8, 1965. pp.338-353.

[2] Mamdani, E.H. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. Proc IEE. vol.121, no. 12, 1974. pp 1585-1588.

[3] Holmblad, L.P.; Ostergard, J.J. Fuzzy logic control: Operator experience applied in automatic process control, FLS Review, vol. 45, 1981. Copenhagen: Smidth F.L.

[4] Yasunobu, S.; Miyamoto, S. Automatic train operation by predictive fuzzy control, in "Industrial Applications of Fuzzy Control". Ed. Sugano, M. Elsevier Science Publishers, North-Holland, 1985. pp.1-18.

[5] Steyn, W.H. Fuzzy control for a non-linear MIMO plant subject to control constraints. IEEE Tran. Sys. Man and Cyb., vol.24, no.10, october 1994. pp.1565-1571.

[6] Lee, C.C. Fuzzy logic in control systems: Fuzzy logic controller part I/II. IEEE Tran. Sys. Man and Cyb. vol SMC-20, no.2, Mar/April. 1990. pp.404-435.

[7] Wassick, J. M.; and Tummala, R. L. Multivariable internal model control for a full-scale industrial distillation column. IEEE Control System Magazine, vol.9, no.1, January 1989. pp.91-96.

[8] Tham, M. T.; Vagi, F.; Morris A. J.; and Wood, R.K. Multivariable and multirate self-tuning control: a distillation column case study. Control Theory and Applications, IEE Proceedings-D, vol.138, no. 1, January 1991. pp.9-24.

[9] Coelho, A. A. R.; Gomes, F. J.; Amaral, W.C.; and Yamakami, A. Comparison of self-tuning and predictive control algorithms applied to a nonlinear process. Decision and Control, Proc. Of the 28th IEEE Conf. On, vol.2, 1989. pp.1058-1059.

[10] Foss, B. A.; Gjosaeter, O. B.; and Krossoy, F. A parallel structure for decoupling in process control. Proceeding of the 32nd IEEE Conference on Decision and Control,. vol. 4, 1993. pp. 3851-3857.

[11] Margaglio, E.; Lamanna, R.; and Glorennec, P.-Y. Control of a distillation column using fuzzy inference systems. Fuzzy Systems, Proc. Of the Sixth IEEE Int. Conf. On., vol. 2, 1997. pp.995-999

[12] Yamazaki, T. An application of fuzzy modelling to distillation control. Fuzzy Systems, Proc. Of the Fifth IEEE Int. Conf. on., vol. 1, 1996. pp.654-659.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

[13] Haggblom, K. E.; and Waller, K. V. Practical Distillation Control Edited by William L. Luyben. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. pp.193.

[14] Hokanson, D. A.; and Gerstle, J. G. Practical Distillation Control Edited by William L. Luyben. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. pp.253.

[15] Cartwright, P.; and Thomson, M. Knowledge based control of a binary distillation column. IEE colloquium on knowledge based control: principles and applications (Digest No. 091), London, 1991.

[16] Langari, G.; and Tomizuka, M. Fuzzy linguistic model based control. IEEE International Symposium on Intelligent Control, Philadelphia, vol. 1, 1990. pp. 620-625.

[17] Santhanam, S.; and Langari, R. Supervisory fuzzy adaptive control of a binary distillation column. Fuzzy Systems, IEEE World Congress on Computational Intelligence., vol. 2, 1994. pp.1063-1068.

[18] Koivo, H.N.; and Tanttu, J.T. Tuning of PID controllers: Survey of SISO and MIMO techniques. Proc. Intelligent Tuning and Adaptive Control, Singapore, 1991.

[19] Tanttu, J. T.; and Lieslehto, J. A comparative study of some multivariable PI controller tuning methods. Proc. Intelligent Tuning and Adaptive Control, Singapore, 1991. pp.357-362.

[20] Viljamaa, P.; and Koivo, H. N. Tuning of multivariable fuzzy logic controller. Second IEEE International Conference on Fuzzy Systems, San Francisco, vol.2, 1993. pp.697-701.

[21] Ling, C.; and Edgar, T. F. The tuning of MIMO fuzzy heuristic controllers. Proc. IFAC '93 12th World Congress International Federation of Automatic Control, Sydney, vol. 6, 1993. pp.67-70.

[22] Kitamori, T. A method of control system design based upon partial knowledge about controlled processes. Trans. SICE Japan, vol. 15, 1979. pp.549-555.

[23] Sungshin Kim; Kumar, A.; Dorrity, J. L.; and Vachtsevanos, G. Fuzzy modeling, control and optimization of textile processes. Fuzzy Information Processing Society Biannual Conference., 1994. pp.32-38.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

[24] Zhen-Yu Zhao; Tomizuka, M. ; and Isaka, S. Fuzzy gain scheduling of PID controllers, IEEE Trans. On Systems, Man, and Cybern., vol. 23, no. 5, September-October 1993. pp. 1392-1398.

[25] Wang, L.-X. A Course in Fuzzy Systems and Control. NJ: Prentice-Hall, 1997. pp.249-263.

[26] Sigurd Skogestad, Modelling and control of distillation columns as a 5x5 system, European Symp. On Computer Application in the Chemical Industry, Erlangen, 1989.

[27] Mohammad Jamshidi. Large-Scale Systems: Modeling, Control, and Fuzzy Logic. NJ: Prentice-Hall, 1996. pp.343-345.

[28] Astrom, K. J.; Wittenmark, B. Computer-Controlled Systems: Theory and Design. Third Edition. Prentice Hall., 1997. pp.306-309.

[29] Waller, Kurt V. Practical Distillation Control Edited by William L. Luyben. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. pp.316-324.

[30] Anderson, K. L.; Blankenship, G. L.; and Lebow, L. G. A rule based adaptive PID controller. Proc. of the 27th IEEE Conf. Decision and Control, vol. 1, 1988. pp.564-569.

[31] Nesler, C. G. Experiences in applying adaptive control to thermal processes in buildings. Proc. Amer. Control Conf. Boston, MA, 1985. pp.1535-1540.

[32] Gertler, J.; and Chang, H.-S. An instability indicator for expert control. IEEE Control Syst. Mag., vol. 6, 1986. pp.14-17.

[33] Armfield. Instruction Manual, Continuous Distillation Column UOP3CC. issue 6, 1996.

[34] Wang, L.-X. Adaptive Fuzzy Systems and Control: Design and Stability Analysis. Prentice-Hall, 1994.

[35] Layne, J. R.; Passino, K. M. Fuzzy Model Reference Learning Control. 1992.

[36] Kiriakos Kiriakidis, Anthony Tzes. Application of Implicit Self-Tuning Fuzzy Control to Nonlinear Systems. 1995.

[37] Wei Li, Zuowei Wu. Automatic Tuning of a Fuzzy Logic Controller Using Neural Network.

[38] Tanaka, K.; Sano, M.; and Watanabe H. Modeling and Control of Carbon Monoxide Concentration Using a Neuro-Fuzzy Technique. 1995.

ภาคผนวก ก
หอกลั่นแยกสารสองชนิด

การกลั่นแยกสารผสมเป็นกระบวนการที่สำคัญมากอย่างหนึ่งในอุตสาหกรรมเคมีและอุตสาหกรรมปิโตรเลียม จึงมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนากระบวนการกลั่นและการควบคุมกระบวนการกลั่นอย่างต่อเนื่องตลอดมา อุปกรณ์ที่สำคัญในกระบวนการกลั่นแยกสารคือหอกลั่น ในกรณีการกลั่นแบบต่อเนื่อง สารผสมจะถูกป้อนเข้าสู่หอกลั่นอย่างต่อเนื่อง และจะได้รับสารผลิตภัณฑ์ต่างๆเป็นผลลัพธ์จากกระบวนการกลั่น เพื่อให้สารผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีความบริสุทธิ์เป็นไปตามข้อกำหนด จึงต้องมีระบบควบคุมการกลั่นที่มีประสิทธิภาพเพียงพอ

ในการออกแบบระบบควบคุมหนึ่งๆ ควรกำหนดวัตถุประสงค์การควบคุม และหน้าที่ของระบบควบคุมให้ชัดเจน นอกจากนั้นก็ต้องทราบถึงการรบกวนที่ต้องการกำจัดผลด้วย ความเข้าใจในลักษณะและการทำงานของกระบวนการจะเป็นกุญแจสำคัญที่จะทำให้สามารถออกแบบระบบควบคุมเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการควบคุมได้ง่ายขึ้น วิธีการสร้างความเข้าใจในตัวกระบวนการอาจทำได้โดยการวิเคราะห์ข้อมูลและผลตอบต่างๆจากกระบวนการในขณะปฏิบัติงานจริง เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆที่มีต่อผลตอบ หรืออาจใช้การจำลองระบบโดยคอมพิวเตอร์ ความน่าเชื่อถือได้ของผลการจำลองระบบขึ้นกับความถูกต้องแม่นยำของสมการคณิตศาสตร์ที่อธิบายระบบและค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองระบบ การสร้างความเข้าใจในตัวกระบวนการโดยวิธีนี้จึงต้องทำด้วยความระมัดระวัง เมื่อมีความเข้าใจในตัวกระบวนการอย่างพอเพียงแล้ว ต่อมาเป็นการพิจารณาเลือกโครงสร้างของตัวควบคุม แล้วทดสอบการใช้งานอาจโดยการจำลองระบบก่อน เมื่อมั่นใจจึงนำไปทดสอบการใช้งานกับระบบจริง อาจสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1. กำหนดวัตถุประสงค์ของการควบคุม และลักษณะของการรบกวน
2. มีความเข้าใจตัวกระบวนการในด้านพฤติกรรมพลวัตของระบบ
3. เลือกโครงสร้างการควบคุมที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การควบคุมและลักษณะของกระบวนการ
4. ใส่ตัวควบคุมในตำแหน่งที่ได้เลือกไว้ แล้วประเมินผลการควบคุมตามโครงสร้างการควบคุมที่ได้เลือกกับการรบกวนที่ได้ออกแบบไว้ การประเมินผลนี้อาจใช้การจำลองแบบโดยคอมพิวเตอร์ก่อน เมื่อผลการควบคุมเป็นที่น่าพอใจจึงดำเนินการกับกระบวนการจริง

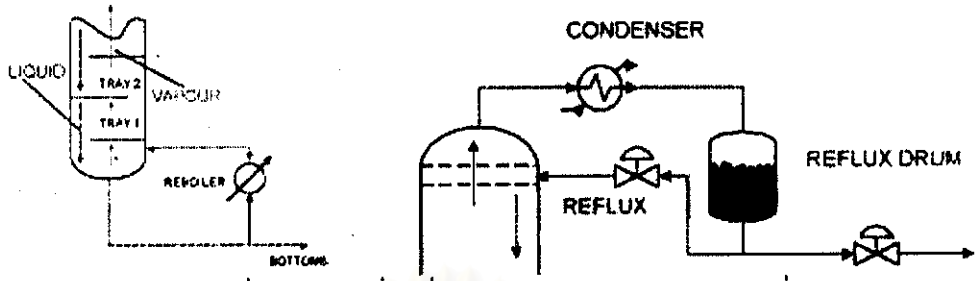
ในที่นี้จะกล่าวถึงลักษณะทางกายภาพของกระบวนการกลั่นโดยทั่วๆไป ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการกลั่น ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการกลั่น และการเลือกโครงสร้างการควบคุม ส่วนระบบควบคุมและการออกแบบระบบควบคุมได้กล่าวถึงในบทที่ 2

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับหลักการกลั่นแยกสารผสม

รูปที่ ก.1 พื้นฐานของการกลั่นแยกสาร

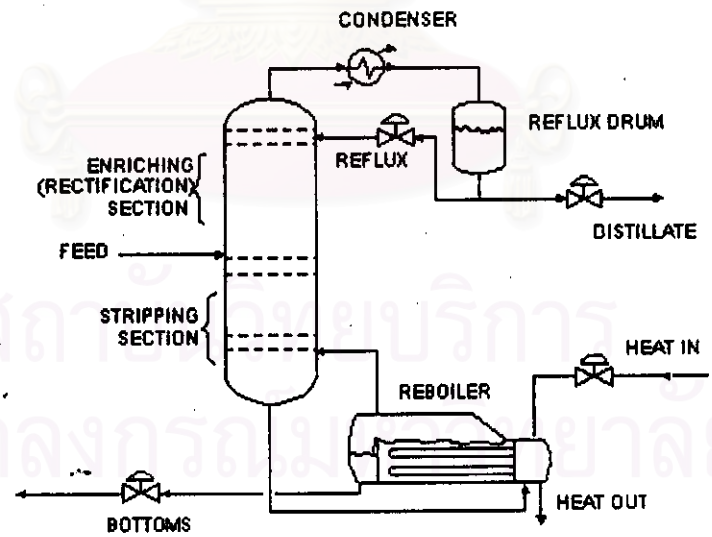
กระบวนการกลั่นคือการแยกสารผสมออกจากกัน โดยอาศัยความแตกต่างของความสามารถในการกลายเป็นไอของสาร เมื่อให้ความร้อนแก่สารผสม สารที่มีจุดเดือดต่ำกว่าจะมีความเข้มข้นสูงอยู่ในสถานะไอที่ได้ออกมาทางตอนบนของหอกลั่น เมื่อผ่านการควบแน่นก็จะได้สารผลิตภัณฑ์ที่ต้องการกลั่นในสถานะของเหลวตามต้องการ สารผสมที่ต้องการกลั่นจะบรรจุอยู่ภายในหม้อต้มซ้ำที่บริเวณฐานของหอกลั่น ความยากง่ายในการกลั่นจะขึ้นกับปัจจัยหลายอย่างเช่นความแตกต่างของจุดเดือดของสารต่างๆในสารผสม และลักษณะสมบัติความดันไอ (vapour pressure characteristics) หากสารแต่ละชนิดในสารผสมมีจุดเดือดที่แตกต่างกันพอสมควรก็จะสามารถกลั่นแยกออกจากกันได้ง่าย

เมื่อเริ่มต้นกระบวนการกลั่น จะเป็นการให้ความร้อนแก่สารผสมที่หม้อต้มซ้ำ เมื่อสารผสมมีอุณหภูมิสูงพอก็จะเกิดการระเหยกลายเป็นไอ ไอของสารผสมนี้จะผ่านเข้าไปยังชั้น (trays) ต่างๆภายในคอลัมน์ เกิดการกลั่นแบบลำดับส่วนขึ้นภายในแต่ละชั้นเหล่านั้น ไอของสารที่ออกจากชั้นบนสุดของคอลัมน์จะมีความเข้มข้นของสารที่มีจุดเดือดต่ำกว่าอยู่เป็นปริมาณมาก ซึ่งในที่นี้คือแอลกอฮอล์ และภายในหม้อต้มซ้ำจะมีความเข้มข้นของสารที่มีจุดเดือดสูงกว่ามากขึ้นเรื่อยๆ ไอของแอลกอฮอล์ที่ออกจากยอดหอจะผ่านการควบแน่นโดยเครื่องควบแน่นที่มีน้ำเป็นสารถ่ายเทความร้อน แอลกอฮอล์ความบริสุทธิ์สูงในสถานะของเหลวก็จะผ่านจากเครื่องควบแน่นไปยังที่พักสารป้อนกลับ ก่อนจะเข้าไปยังวาล์วป้อนสารกลับยอดหอ วาล์วนี้สามารถควบคุมให้แอลกอฮอล์ไหลกลับเข้าไปยังยอดหอ เรียกว่าการป้อนสารกลับยอดหอ และสามารถควบคุมให้แอลกอฮอล์ไหลออกมาเป็นสารผลิตภัณฑ์ยอดหอ เพื่อประโยชน์ในการควบคุมความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ยอดหอ



รูปที่ ก.2 การเคลื่อนที่ของไอและของเหลวภายในหอกลั่น

พิจารณาที่หม้อต้มซ้ำจะมีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ลดลงเรื่อยๆ หากต้องการให้กระบวนการกลั่นเกิดอย่างต่อเนื่อง จึงต้องมีการป้อนสารผสมเพิ่มเติมให้แก่หอกลั่น ตำแหน่งของสารที่จะป้อนเข้าขึ้นกับการออกแบบหอกลั่นโดยคำนึงถึงสภาวะการทำงานที่เหมาะสม โดยทั่วไปมักจะเป็นบริเวณตอนกลางของหอ อัตราป้อนสารและความเข้มข้นของสารที่ป้อนเข้าจะส่งผลกระทบต่อความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ที่กลั่นได้ ในสภาวะปกติอัตราป้อนสารและความเข้มข้นจะมีค่าคงที่ หากค่าทั้งสองไม่คงที่แต่อยู่ในช่วงผิดพลาดไม่เกิน 10% เมื่อเทียบกับสภาวะอยู่ตัว ก็อาจถือว่าค่าผิดพลาดเหล่านั้นเป็นการรบกวนของระบบ ตัวควบคุมที่มีประสิทธิภาพควรจะสามารถควบคุมคุณภาพของสารผลิตภัณฑ์ไว้ได้ แม้จะมีการรบกวนจากการเปลี่ยนแปลงอัตราป้อนสารและการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่ป้อนเข้า



รูปที่ ก.3 อุปกรณ์พื้นฐานต่างๆที่สำคัญในกระบวนการกลั่น

ความดันไอและจุดเดือดของสาร

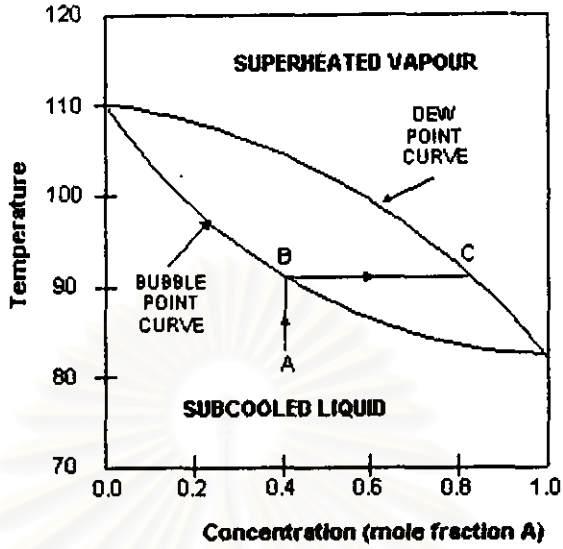
ความดันไอของสารผสม คือสมดุลความดันของโมเลกุลของสารที่มีการเคลื่อนไหวออกจากผิวหน้าของของเหลวและเคลื่อนไหวกลับเข้าไปที่สภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิค่าหนึ่ง ความดันไอสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการเพิ่มหรือลดพลังงานความร้อนที่ป้อนให้สาร ความดันไอมีความสัมพันธ์กับจุดเดือดของสาร คือเมื่อความดันไอของสารมีค่าเท่ากับความดันของสภาวะแวดล้อมก็สามารถกล่าวได้ว่าสารนั้นกำลังเดือด นั่นคือความยากง่ายในการเดือดของสารขึ้นอยู่กับความสามารถในการกลายเป็นไอ (volatility) ของสารนั่นเอง สารที่มีค่าความสามารถในการกลายเป็นไอสูงจะเดือดที่อุณหภูมิต่ำกว่าสารที่มีค่าความสามารถในการกลายเป็นไอต่ำ ค่าความดันไอและจุดเดือดของสารผสมจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารแต่ละชนิดในสารผสมนั้น การกลั่นแยกสารสามารถกระทำได้เนื่องจากความสามารถในการกลายเป็นไอที่แตกต่างกันของแต่ละองค์ประกอบในสารผสม

แผนภาพจุดเดือด

แผนภาพจุดเดือด คือแผนภาพที่แสดงถึงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของแต่ละองค์ประกอบในสารผสมกับอุณหภูมิที่สภาวะสมดุลและความดันคงที่

พิจารณาตัวอย่างของแผนภาพจุดเดือดของสารผสมระหว่างสาร A และสาร B จุดเดือดของสาร A คืออุณหภูมิที่สัดส่วนโมลของสาร A เท่ากับ 1 และจุดเดือดของสาร B คืออุณหภูมิที่สัดส่วนโมลของสาร A เท่ากับศูนย์ สาร A มีจุดเดือดต่ำกว่าสาร B จึงมีค่าความสามารถในการกลายเป็นไอสูงกว่า เส้นกราฟด้านบนเรียกว่าเส้นน้ำค้าง (dew-point curve) เส้นกราฟด้านล่างเรียกว่าเส้นจุดเดือด (bubble-point curve) โดยอุณหภูมิบนเส้นน้ำค้างคืออุณหภูมิที่ไอเริ่มตัวเริ่มกลั่นตัว และอุณหภูมิเส้นจุดเดือดคืออุณหภูมิที่ของเหลวเริ่มการเดือด พื้นที่เหนือเส้นน้ำค้างจะแสดงถึงองค์ประกอบที่สภาวะสมดุลของ superheated vapour ส่วนพื้นที่ใต้เส้นจุดเดือดแสดงถึงองค์ประกอบที่สภาวะสมดุลของ subcooled liquid

เมื่อให้ความร้อนแก่ subcooled liquid เช่นสารผสมที่ประกอบด้วยสัดส่วนโมลของสาร A เท่ากับ 0.4 (จุด A ในรูปที่ ก.4) ความเข้มข้นของสารผสมจะมีค่าคงที่จนกระทั่งเมื่ออุณหภูมิของสารผสมสูงถึงเส้นจุดเดือด (จุด B ในรูป) สารผสมก็จะเดือด ไอของสารที่ระเหยขึ้นมาจากการเดือดนี้จะมีความเข้มข้นขององค์ประกอบที่สภาวะสมดุลคิดเป็นสัดส่วนโมลของสาร A ได้เท่ากับ 0.8 โดยประมาณ (จุด C ในรูป) นั่นคือสารที่กลั่นได้มีความเข้มข้นของสาร A ดีขึ้นกว่าตอนแรกถึง 50 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ ก.4 แผนภาพจุดเดือดของสารผสมระหว่างสาร A และสาร B

ความสามารถในการกลายเป็นไอสัมพัทธ์

ความสามารถในการกลายเป็นไอสัมพัทธ์เป็นค่าที่แสดงถึงความแตกต่างของความสามารถในการกลายเป็นไอของสารสองชนิด ซึ่งสะท้อนถึงจุดเดือดของสารด้วย ค่านี้สามารถแสดงถึงความยากง่ายในการกลั่นแยกสารผสมออกจากกัน ค่าความสามารถในการกลายเป็นไอสัมพัทธ์ของสาร A เทียบกับสาร B นิยามดังนี้

$$\alpha_{ij} = \frac{y_i / x_i}{y_j / x_j} \qquad \text{(ก.1)}$$

y_i, y_j คือสัดส่วนโมลขององค์ประกอบสาร A และสาร B ในเฟสไอตามลำดับ

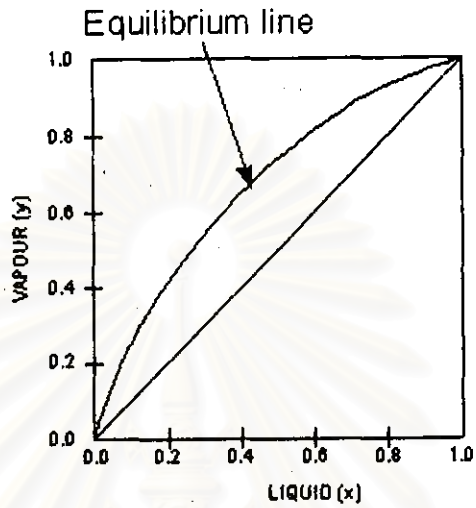
x_i, x_j คือสัดส่วนโมลขององค์ประกอบสาร A และสาร B ในเฟสของเหลวตามลำดับ

หากค่าความสามารถในการกลายเป็นไอสัมพัทธ์ระหว่างสารสองชนิดยิ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 จะหมายถึงสารทั้งสองมีกราฟลักษณะความดันไอที่ยิ่งคล้ายคลึงกัน นั่นคือมีจุดเดือดที่ใกล้เคียงกัน ทำให้ยากต่อการกลั่นแยก

แผนภาพสมดุลไอ-ของเหลว

ในการกลั่นแยกสารเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ต้องพิจารณาคือการออกแบบส่วนประกอบต่างๆของหอกลั่น เช่น รูปแบบของหอกลั่น จำนวนชั้นภายในหอ ความสูงของหอ ตัวแปรที่ใช้ในการควบคุม เป็นต้น เพื่อให้เหมาะสมกับชนิดของสารผสมที่ต้องการกลั่นแยก ในส่วนที่เกี่ยว

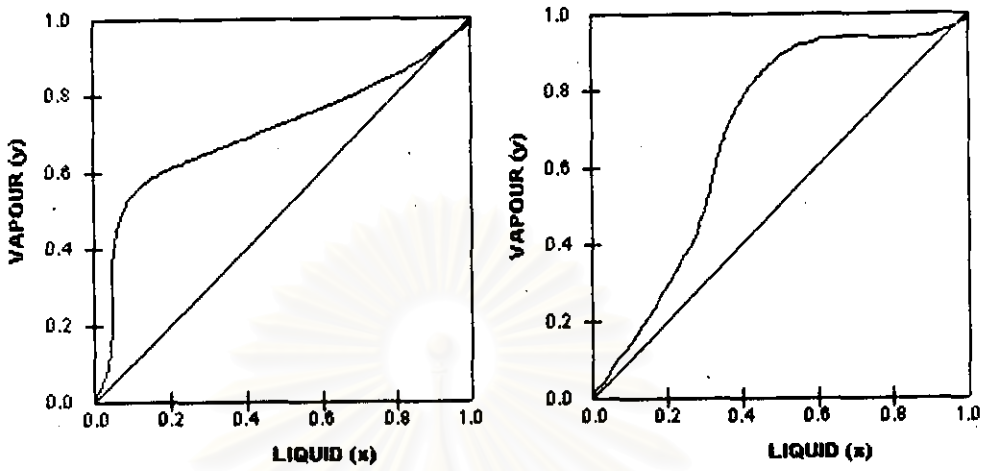
ข้องกับลักษณะทางกายภาพของหอจะสามารถออกแบบได้โดยอาศัยข้อมูลสมดุลไอ-ของเหลวซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฟสไอและเฟสของเหลวที่สภาวะสมดุลความดันคงที่ของสารผสมที่ต้องการกลั่น



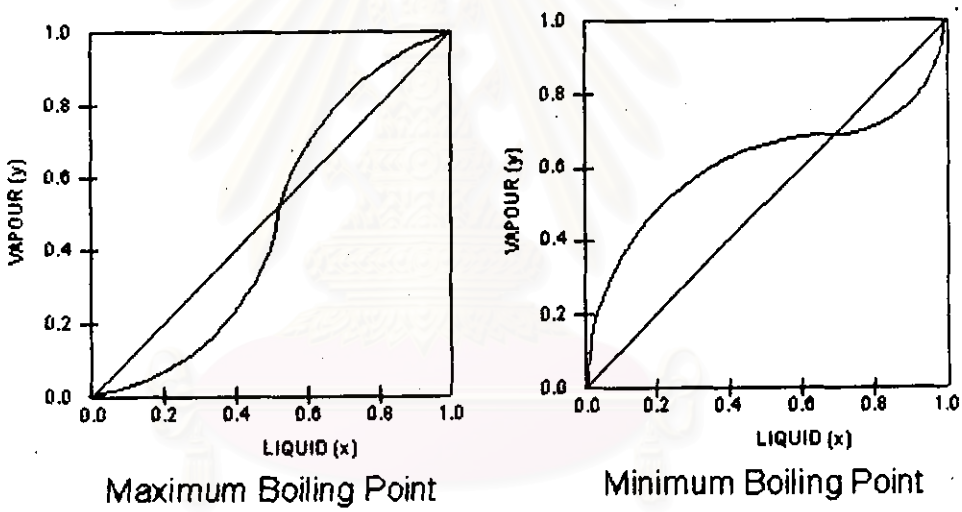
รูปที่ ก.5 แผนภาพสมดุลไอ-ของเหลว

แผนภาพสมดุลไอ-ของเหลวสามารถสร้างได้จากแผนภาพจุดเดือดของสารผสมนั้นๆ ตัวอย่างของแผนภาพสมดุลไอ-ของเหลวสำหรับสารผสมสองชนิดแสดงได้ดังรูปที่ ก.5 เส้นกราฟที่มีรูปร่างโค้งในรูปเรียกว่าเส้นสมดุล (Equilibrium line) ซึ่งเป็นการแสดงข้อมูลองค์ประกอบของเฟสของเหลวและเฟสไอที่สภาวะสมดุลความดันคงที่ เมื่อพิจารณาจากลักษณะของเส้นกราฟดังตัวอย่างในรูปที่ ก.5 และ ก.6 จะเห็นว่า รูปที่ ก.5 เป็นตัวอย่างของสารผสมสองชนิดที่สามารถกลั่นแยกออกจากกันได้ค่อนข้างง่าย แต่ในรูปที่ ก.6 เป็นตัวอย่างสองแบบของสารผสมสองชนิดที่การกลั่นแยกอาจทำได้ลำบากมากกว่า

ในรูปที่ ก.7 แสดงแผนภาพสมดุลไอ-ของเหลวของสารผสมสองชนิดที่มีลักษณะพิเศษ คือเส้นกราฟโค้งในรูปตัดผ่านเส้นทะแยงมุม เรียกสารแบบนี้ว่าสารผสมคงจุดเดือด (azeotrope) ซึ่งเป็นสารผสมที่เมื่อระเหยเป็นไอจะมีองค์ประกอบในเฟสไอใกล้เคียงกับในเฟสของเหลวมาก สารผสมลักษณะเช่นนี้จะยากในการกลั่นแยกแบบธรรมดา ต้องใช้วิธีการอื่นๆช่วยในการกลั่นแยก



รูปที่ ก.6 แผนภาพสมดุลไอ-ของเหลวที่ไม่เป็นอุดมคติ



รูปที่ ก.7 แผนภาพสมดุลไอ-ของเหลวของสารผสมคงจุดเดือด

จำนวนชั้นของหอกลั่นและเส้นปฏิบัติการ

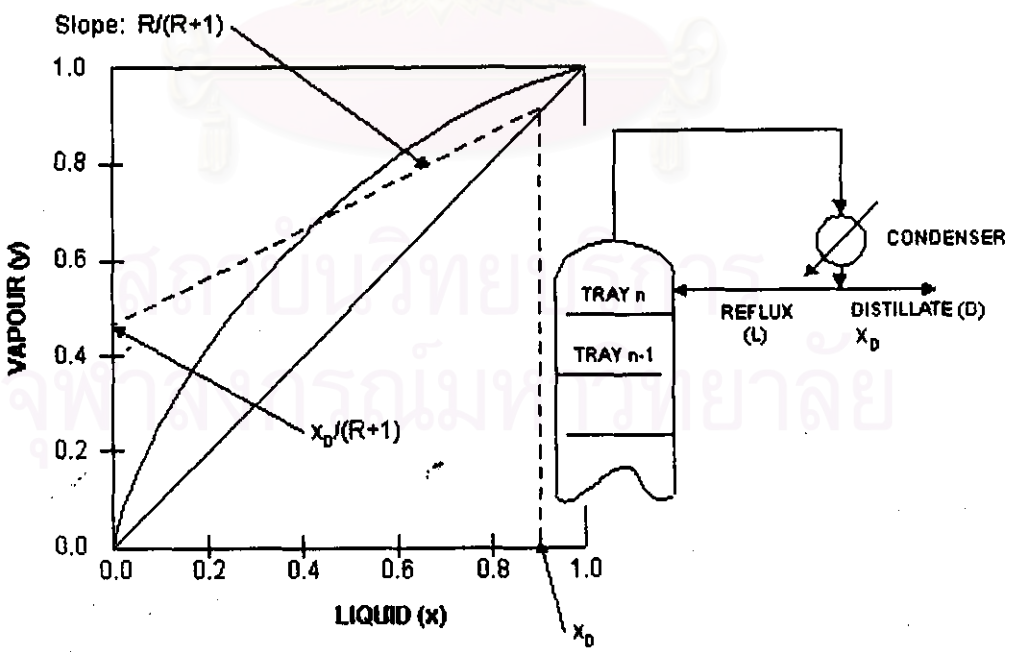
ข้อมูลสมดุลไอ-ของเหลวของสารที่ต้องการกลั่นเป็นข้อมูลสำคัญในการออกแบบจำนวนชั้นของหอกลั่น วิธี McCabe-Thiele สามารถใช้หาจำนวนชั้นของหอกลั่นสำหรับการกลั่นแยกสารผสมสองชนิดจากข้อมูลสมดุลไอ-ของเหลวของสารผสมสองชนิดนั้นได้ วิธีนี้มีสมมติฐานว่า molar overflow เป็นค่าคงที่ นั่นคือ

- molal heats of vaporisation มีค่าโดยประมาณใกล้เคียงกัน
- ความร้อนสูญเสียจากหอหรือเข้ามายังหอจากสภาพแวดล้อมมีค่าน้อยมากละทิ้งได้
- ทุกโมลของไอที่ควบแน่นจะมีของเหลวระเหยกลายเป็นไอในจำนวนโมลเท่ากันเสมอ

วิธี McCabe-Thiele อาศัยข้อมูลสมดุลไอ-ของเหลว และการลากเส้นกราฟต่างๆ กราฟแรกที่วาดคือเส้นปฏิบัติการ ซึ่งเป็นเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์สมดุลมวลระหว่างเฟสของเหลวและเฟสไอของสารภายในหอกลั่น เส้นปฏิบัติการมี 2 เส้น คือ stripping section operating line และ rectification section operating line ทั้งสองส่วนนี้จะแบ่งแยกโดยตำแหน่งการป้อนสารกลางหอ จากการที่มีสมมติฐานว่า molar overflow เป็นค่าคงที่ ทำให้เส้นปฏิบัติการทั้งสองนี้เป็นเส้นตรงเสมอ เพราะเส้นตรงนี้แสดงถึงอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของไอ (V_r) และของเหลว (L_r) มีค่าคงที่ในกราฟความสัมพันธ์สมดุลไอ-ของเหลวนั่นเอง

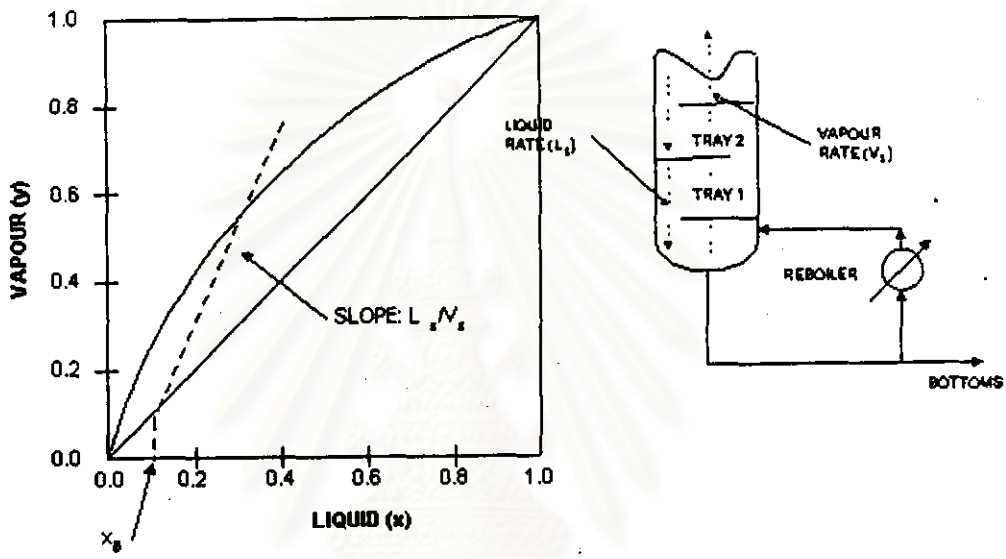
- Rectification section operating line สามารถสร้างได้โดยการกำหนดความบริสุทธิ์ของสารผลิตภัณฑ์ยอดหอที่ต้องการลงบนแกนนอนของแผนภาพสมดุลไอ-ของเหลว แล้วลากเส้นจากจุดนั้นในแนวดิ่งขึ้นไปตัดกับเส้นทะแยงมุม จากนั้นลากเส้นตรงความชัน L_r/V_r จากจุดตัดกับเส้นทะแยงมุมนั้นตามรูปที่ 7 ให้ R คืออัตราส่วนป้อนกลับ ซึ่งคืออัตราส่วนระหว่างปริมาณสารที่ป้อนกลับเข้ามายังส่วนบนของหอกลั่น (L_1) ต่อปริมาณสารที่ได้เป็นสารผลิตภัณฑ์ (D) โดยสมดุลสารที่อุปกรณ์ควบแน่นได้ $V_r = D + L_r$ และเนื่องจากสมมติฐาน molar overflow เป็นค่าคงที่ จะได้ว่า $L_1 = L_r$ และ $R = L_r/D$ ดังนั้นจึงสามารถเขียนค่าความชัน L_r/V_r ในรูปของอัตราส่วนป้อนกลับได้คือ

$$\frac{L_r}{V_r} = \frac{L_r}{D + L_r} = \frac{R}{1 + R} \qquad \text{(ก.2)}$$



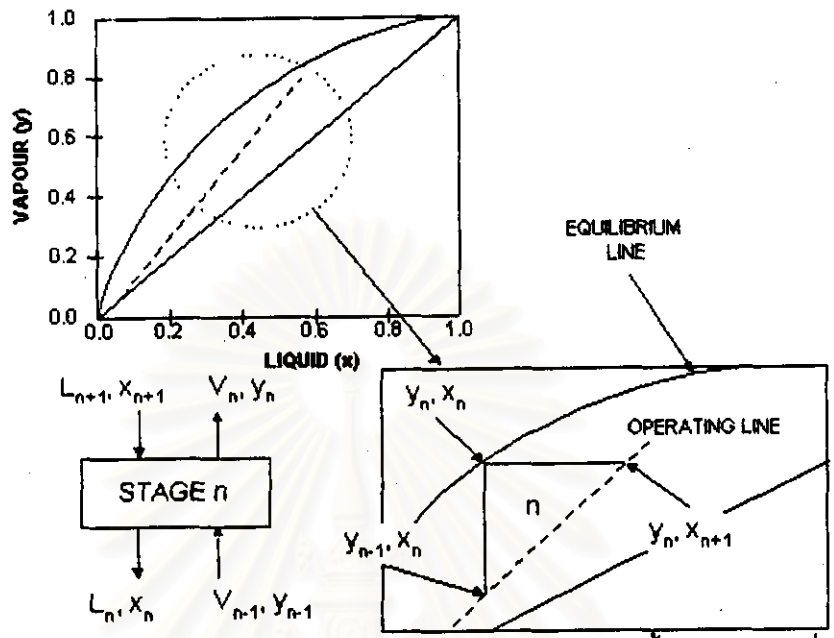
รูปที่ ก.8 การหา Rectification section operating line

• Stripping section operating line สามารถสร้างได้ในทำนองเดียวกัน คือกำหนดความบริสุทธิ์ของสารผลิตภัณฑ์ฐานหอที่ต้องการลงบนแกนนอนของแผนภาพสมดุลไอ-ของเหลว แล้วลากเส้นจากจุดนั้นในแนวดิ่งขึ้นไปตัดกับเส้นทะแยงมุม จากนั้นลากเส้นตรงความชัน L_s/V_s จากจุดตัดกับเส้นทะแยงมุมนั้นตามรูปที่ ก.9 โดย L_s คืออัตราการไหลของของเหลวลงไปยังด้านล่างของหอ V_s คืออัตราการไหลของไอขึ้นไปยังส่วนบนของหอ ทั้ง L_s และ V_s ในที่นี้คิดจากส่วนล่างของหอกลั่น



รูปที่ ก.9 การหา stripping section operating line

พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างเส้นปฏิบัติการที่สร้างขึ้นกับกราฟสมดุลไอ-ของเหลวดังในรูปที่ ก.10 ซึ่งแสดงตัวอย่าง stripping section operating line ที่ชั้นที่ n โดย L คืออัตราการไหลของของเหลว V คืออัตราการไหลของไอ x และ y คือความเข้มข้นในของเหลวและไอตามลำดับ อักษรห้อยท้ายหมายถึงชั้นที่ เช่น $n-1$ ก็จะหมายถึงของเหลวหรือไอนั้นขึ้นมาจากชั้นที่อยู่ต่ำกว่าชั้นที่ n และ $n+1$ หมายถึงของเหลวหรือไอนั้นลงมาจากชั้นที่อยู่สูงกว่าชั้นที่ n

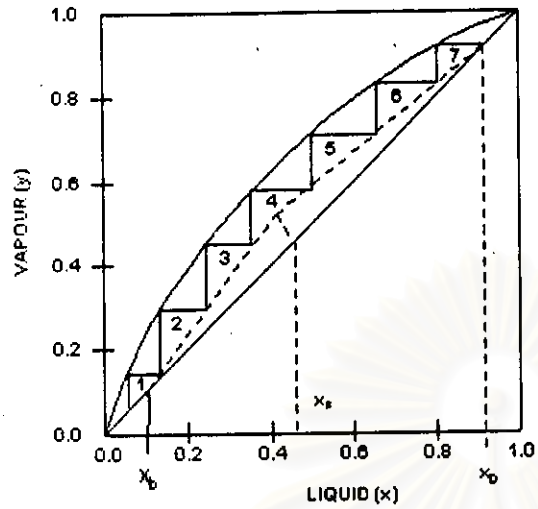


รูปที่ ก.10 องค์ประกอบของสารในเฟสไอและเฟสของเหลวในขั้นภายในหอกลั่น

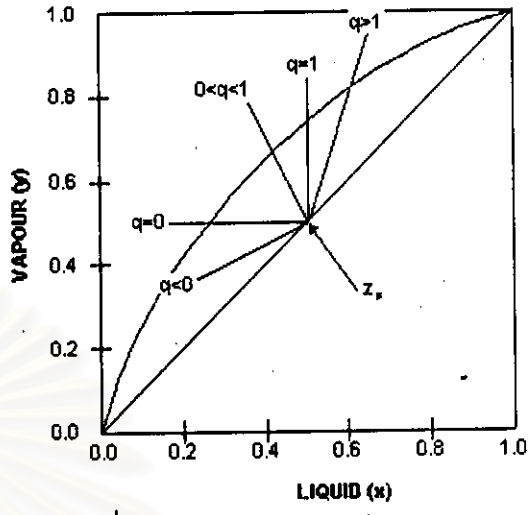
เนื่องจากของเหลวและไอในขั้นที่ n อยู่ในสภาวะสมดุล ดังนั้น x_n และ y_n เป็นจุดซึ่งอยู่บนเส้นสมดุล เนื่องจากไอขึ้นไปยังขั้นสูงขึ้นโดยไม่เปลี่ยนความเข้มข้น จึงสามารถแสดงได้ด้วยเส้นตรงในแนวระดับระหว่างเส้นกราฟสมดุลไอ-ของเหลวกับเส้นปฏิบัติการดังรูปที่ ก.10 จุดที่เส้นระดับนี้ตัดกับเส้นปฏิบัติการจะแสดงถึงองค์ประกอบของเฟสของเหลวในขั้นที่ $n+1$ ทั้งนี้เพราะเส้นปฏิบัติการเป็นเส้นที่แสดงถึงสมดุลสาร (material balance) จากนั้นสามารถหาองค์ประกอบสารในเฟสไอของขั้นที่ $n+1$ ได้โดยการลากเส้นในแนวดิ่งจากจุดที่แสดงองค์ประกอบของเฟสของเหลวในขั้นที่ $n+1$ เมื่อลักษณะนี้มาตัดกับเส้นสมดุลไอ-ของเหลว

การหาจำนวนขั้นทางทฤษฎีของหอกลั่นก็สามารถทำได้โดยการลากเส้นปฏิบัติการทั้งสองเส้นและลากเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบสารในเฟสของเหลวและเฟสไอ โดยเริ่มจากจุดความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เส้นที่ได้จะมีลักษณะคล้ายขั้นบันได จำนวนครั้งที่เส้นที่ได้สัมผัสกับเส้นสมดุลไอ-ของเหลวลบออกหนึ่งจะเป็นจำนวนขั้นของหอกลั่นในทางทฤษฎี สาเหตุที่ต้องลบออกด้วยหนึ่ง เพราะจำนวนจุดสัมผัสในกราฟได้รวมจุดเริ่มการกลั่นคือในหม้อต้มซ้ำเข้าไปด้วย

อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติจริง เนื่องจากขั้นมีประสิทธิภาพไม่ 100 เปอร์เซ็นต์ รวมถึงข้อสมมติฐานต่างๆในการหาจำนวนขั้น ดังนั้นจำนวนขั้นที่ต้องใช้จริงหาได้จากจำนวนขั้นทางทฤษฎีหารด้วยประสิทธิภาพของขั้น



รูปที่ ก.11 ตัวอย่างของตำแหน่งป้อนสารเข้า



รูปที่ ก.12 ลักษณะของเส้นป้อนสาร

เส้นป้อนสาร

เส้นป้อนสาร (feed line) หรือเส้น q (q-line) คือเส้นที่ลากจากจุดตัดของเส้นปฏิบัติการทั้งสองไปยังจุดบนเส้นทะแยงมุมซึ่งเป็นความเข้มข้นของสารผสมที่ป้อนเข้า ความชันของเส้นป้อนสาร แสดงถึงสถานะของสารที่ป้อนเข้านั้น เช่นในรูปที่ ก.11 สารผสมที่ป้อนเข้ามีความเข้มข้น x_f ป้อนเข้าที่ชั้นที่ 4 เส้นป้อนสารมีความชันอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

สถานะของสารป้อนเข้าสามารถพิจารณาจากความชันของเส้นป้อนสารได้คือ q=0 หมายถึง saturated vapour q=1 หมายถึงของ saturated liquid 0<q<1 หมายถึงมีส่วนผสมของทั้งไอและของเหลว q>1 หมายถึง subcooled liquid และ q<0 หมายถึง superheated vapour

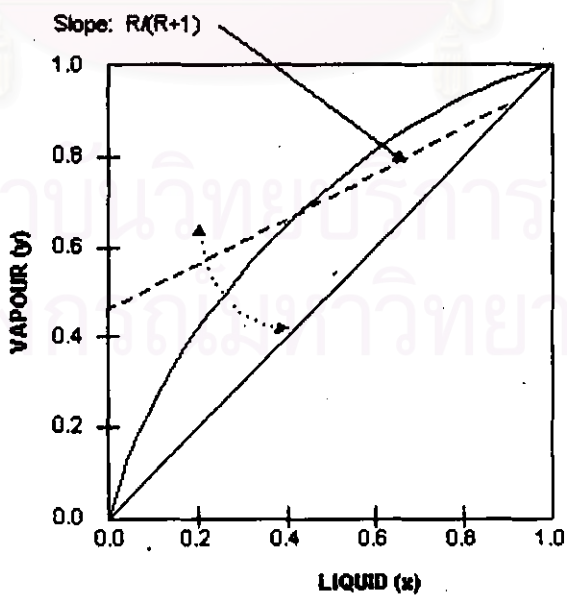
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการกลั่น

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการกลั่นมีหลายอย่าง เช่นสถานะของสารในการป้อนสารเข้าหอ องค์ประกอบสารผสมของการป้อนสารเข้าหอ สถานะของของเหลวและไอภายในหอกลั่น สภาพแวดล้อมของหอกลั่น ฯลฯ จะขอกล่าวถึงปัจจัยเหล่านี้บางตัวที่สำคัญเพื่อแสดงให้เห็นถึงความยุ่งยากของกระบวนการกลั่น

- <u>สถานะและองค์ประกอบสารผสมของการป้อนสารเข้าหอ</u> จะส่งผลต่อเส้นปฏิบัติการและจำนวนชั้นของหอที่ต้องใช้เพื่อให้สามารถกลั่นแยกสารได้ความบริสุทธิ์ตามที่ต้องการ นอกจากนั้นก็ยังส่งผลถึงตำแหน่งของการป้อนสารเข้าหออีกด้วย หอกลั่นอาจไม่สามารถทำการกลั่นได้ตามวัตถุประสงค์ถ้าหากสถานะหรือองค์ประกอบของสารผสมที่จะป้อนเข้าหอมีค่าแตกต่างไปจากการออกแบบมากๆ ดังนั้นในหอกลั่นบางแห่งจึงมีการออกแบบให้มีตำแหน่งการป้อนสารเข้าหอหลายๆตำแหน่ง เพื่อให้สามารถเลือกใช้ได้ในกรณีที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงของสถานะหรือองค์ประกอบสารผสมไปจากที่ออกแบบไว้มากๆ

- <u>การป้อนสารกลับยอดหอ</u> เมื่อเพิ่มอัตราส่วนป้อนกลับ ความชันของเส้นปฏิบัติการจะขยับเข้าใกล้ค่า 1 ในทางกายภาพจะหมายถึงสารที่ได้จากการควบแน่นจะไหลวนกลับเข้าไปยังหอกลั่นมากขึ้น อัตราสารผลิตภัณฑ์ที่ได้รับจะลดลง ทำให้ผลการกลั่นที่ได้ยิ่งดีขึ้น และยังสามารถลดจำนวนชั้นของหอลงได้ในขณะที่ยังคงความสามารถในการกลั่นแยกสารไว้ได้เช่นเดิม จะเห็นได้ว่าจำนวนชั้นของหอกลั่นที่น้อยที่สุดที่จำเป็นต้องใช้จะคิดได้จากกรณีการป้อนสารกลับหมดนั่นเอง



รูปที่ ก.13 ผลของอัตราส่วนป้อนกลับต่อ *rectification section operating line*

ในทางตรงกันข้ามเมื่อลดอัตราส่วนป้อนกลับ rectification section operating line จะขยับเข้าใกล้เส้นสมดุล ความบริสุทธิ์ของสารที่กลั่นได้จะลดลง ทำให้ต้องใช้จำนวนชั้นมากขึ้นเพื่อที่จะกลั่นแยกสารให้ได้ความบริสุทธิ์ดังเดิม ในกรณีแย่ที่สุดที่อัตราส่วนป้อนกลับมีค่าน้อยที่สุด จะต้องใช้จำนวนชั้นของหอกลั่นเป็นจำนวนอนันต์ เพื่อให้ผลการกลั่นเป็นไปตามที่ต้องการได้ ในการออกแบบหอกลั่นส่วนมากมักนิยมใช้อัตราส่วนป้อนกลับมีค่าประมาณ 1.2 ถึง 1.5 เท่าของค่าที่น้อยที่สุด ทั้งนี้เพราะการใช้อัตราส่วนป้อนกลับค่าสูงก็จะต้องเสียค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่หม้อต้มซ้ำสูงขึ้นด้วย จึงนิยมเลือกช่วงค่าให้อยู่ในช่วง 1.2 ถึง 1.5 เท่าเพราะจะประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ได้

- <u>การไหลถ่ายเทของไอ</u> ประสิทธิภาพการกลั่นแยกสารจะลดลง ถ้าการไหลถ่ายเทไอของสารจากฐานหอไปยังยอดหอมีค่ามากหรือน้อยเกินไป ปัญหาที่มักพบได้แก่ การเกิดฟองอากาศ การพาของเหลวขึ้นไปยังชั้นถัดไปข้างบน การแห้งและการท่วมของชั้น ปัญหาเกี่ยวกับการไหลถ่ายเทของไอนี้นอกจากสาเหตุเกี่ยวกับการควบคุมแล้วยังอาจมีสาเหตุมาจากการออกแบบหอกลั่นก็เป็นได้ เช่นถ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหอมีขนาดเล็กเกินไปก็จะเกิดการท่วมได้ง่าย หรือถ้ามีขนาดใหญ่เกินไปก็อาจเกิดการแห้งของชั้นได้ง่าย จะขอกล่าวถึงรายละเอียดของสภาพปัญหาเหล่านี้โดยสังเขปดังนี้

- *การเกิดฟองอากาศ* คือการที่เกิดฟองอากาศภายในของเหลวที่อยู่ในชั้น แม้ว่าการเกิดฟองอากาศจะเป็นผลดีคือทำให้พื้นที่สัมผัสระหว่างเฟสไอและเฟสของเหลวมีมากขึ้น แต่หากมีมากเกินไปก็อาจทำให้ของเหลวในชั้นล่างขึ้นไปผสมกับของเหลวในชั้นบนกว่าได้ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกลั่นลดลง

- *การพาของเหลวขึ้นไปยังชั้นถัดไปข้างบน* คือถ้าไอของสารมีปริมาณมากเกินไป ไอนี้อาจพาให้สารผสมในสถานะของเหลวข้ามขึ้นไปยังชั้นถัดไปข้างบนได้ ส่งผลให้ความบริสุทธิ์ของของเหลวในชั้นบนกว่ามีค่าลดลง และอาจเป็นสาเหตุของการท่วมอีกด้วย

- *การแห้ง* เกิดจากการที่มีการไหลถ่ายเทของสารในสถานะไอน้อยเกินไป ทำให้ความดันอันเกิดจากไอเหล่านี้มีค่าน้อยลง ของเหลวจึงไม่สามารถรักษาระดับคงอยู่ในชั้นได้ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกลั่นลดลง หากการแห้งของชั้นขยายผลไปยังทุกชั้นภายในหอ ก็จำเป็นต้องเริ่มกระบวนการกลั่นใหม่ สัญญาณเตือนการแห้งของชั้นคือการลดลงอย่างรวดเร็วของความดันตกคร่อมหอกลั่น และการลดลงของประสิทธิภาพการกลั่น

- *การท่วม* เกิดจากการที่มีปริมาณการไหลของสารในสถานะไอมากเกินไป ทำให้ของเหลวในชั้นต่างๆภายในหอมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น และไอของสารในปริมาณที่มากเกินไปนี้ ก็จะทำให้ของเหลวในชั้นต่างๆไม่สามารถไหลย้อนกลับลงมายังด้านล่างของหอได้ ทำให้ปริมาณของเหลวที่มากขึ้นในชั้นเกิดการท่วมได้ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกลั่นแยกสารลดลง สัญญาณเตือนการท่วมของชั้นคือการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของความดันตกคร่อมหอกลั่น และการลดลงของประสิทธิภาพการกลั่นแยกสาร

- <u>สภาพแวดล้อมของหอกลั่น</u> สภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปสามารถส่งผลกระทบถึงกระบวนการกลั่นได้ การป้องกันอาจทำได้โดยการหุ้มฉนวนกันการสูญเสียความร้อนของหอกลั่น การออกแบบ

หม้อต้มซ้ำและอุปกรณ์ควบแน่นอย่างเหมาะสมให้สามารถทำงานได้แม้ต้องพบกับสภาพอากาศที่ร้อนขึ้นหรือเย็นลงผิดปกติ

ตัวแปรสำหรับการควบคุมความเข้มข้นสารผลิตภัณฑ์

ในการออกแบบระบบควบคุมสำหรับกระบวนการใดๆ ก่อนอื่นต้องทำความเข้าใจถึงลักษณะของกระบวนการ การทำงาน และตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้อง จากนั้นจึงกำหนดตัวแปรสถานะและตัวแปรดำเนินการของกระบวนการ ตัวแปรสถานะต้องกำหนดหน้าที่หลักของกระบวนการและควรเป็นตัวแปรที่วัดได้ ส่วนตัวแปรควบคุมต้องมีอิทธิพลต่อค่าของตัวแปรสถานะ ในกระบวนการกลั่นแยกสารผสมสองชนิด ตัวแปรที่สามารถเลือกใช้เป็นตัวแปรสถานะมีได้หลายอย่าง เช่น

1. องค์ประกอบของสารหลักที่เบากว่าของผลิตภัณฑ์ยอดหอ และองค์ประกอบสารหลักที่หนักกว่าของผลิตภัณฑ์ฐานหอ
2. อุณหภูมิของชั้นที่อยู่บริเวณยอดหอเหนือตำแหน่งป้อนสารเข้า และอุณหภูมิของชั้นที่อยู่บริเวณฐานหอใต้ตำแหน่งป้อนสารเข้า

เนื่องจากระดับความเป็นอิสระของหอกลั่นแยกสารผสมสองชนิดมีค่าเท่ากับ 2 จากตัวอย่างทั้งสองนี้จึงมีตัวแปรเพียงสองตัวเท่านั้นที่สามารถพิจารณาเลือกเป็นตัวแปรสถานะได้ และโดยปกติแล้วอย่างน้อยต้องมีการควบคุมองค์ประกอบสารผสม หรือไม่ก็อุณหภูมิสักหนึ่งแห่งภายในหอ

ผลการกลั่นจะขึ้นอยู่กับตัวแปรดำเนินการ (manipulated variables) พื้นฐาน 2 อย่าง คือ อัตราส่วนป้อนสาร และพลังงานที่ใส่ให้ระบบที่หม้อต้มซ้ำ ตัวแปรพื้นฐานทั้งสองนี้จะมีผลต่อคุณภาพการกลั่นทั้งยอดหอและฐานหอ แต่จะมีในลักษณะต่างๆกันและด้วยความไวต่างๆกัน *อัตราส่วนป้อนกลับ* คือ อัตราส่วนการป้อนสารที่ได้จากการควบแน่นกลับเข้าหอต่อการดึงสารออกเป็นผลิตภัณฑ์ ถ้าอัตราส่วนนี้มีค่ายิ่งมาก ก็จะทำให้ความบริสุทธิ์สารผลิตภัณฑ์ยอดหอซึ่งในที่นี้คือแอลกอฮอล์มีค่าสูงขึ้น แต่จะเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในส่วนของพลังงานที่จ่ายให้ระบบ ในทำนองเดียวกัน หากอัตราส่วนนี้มีค่าน้อย ก็จะทำให้ความบริสุทธิ์ของสารผลิตภัณฑ์ยอดหอลดลง ส่วน *พลังงานที่ใส่ให้ระบบ* คือพลังงานความร้อนที่ใส่ให้ระบบ เช่นที่หม้อต้มซ้ำ เพื่อใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิให้เกิดการเดือดของสารผสม

เพื่อให้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์หลักของการควบคุมคือการควบคุมความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ เราจำเป็นต้องมีการควบคุมสภาวะการทำงานอื่นๆด้วย ทั้งนี้เพื่อให้กระบวนการกลั่นสามารถดำเนินการได้อย่างต่อเนื่อง สิ่งที่ต้องควบคุมเพิ่มเติมได้แก่ ความดันภายในหอกลั่น ระดับของของเหลวในฐานของหอกลั่น และระดับของของเหลวในที่พักสารป้อนกลับ

- การควบคุมความดัน โดยปกติแล้วมักจะให้ความดันมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนักภายในหอกลั่น ในบางหอกลั่นโดยเฉพาะที่มีการลดความดันภายในหอเพื่อให้การกลั่นทำได้ง่ายขึ้น กล่าวคือค่าความสามารถในการกลายเป็นไอสัมพัทธ์มีค่าสูงขึ้น มักจะยอมให้ความดันสามารถเปลี่ยนได้อิสระ แต่โดยทั่วไปมักจะให้มีค่าน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้เพื่อลดพลังงานที่ต้องใช้ลง สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งคือควรป้องกันไม่ให้ความดันเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด เพราะการลดความดันทันทีจะทำให้ของเหลวในขั้นเกิดการระเหยเฉียบพลัน (flashing) ไอที่เกิดขึ้นปริมาณมากๆนี้จะทำให้ขั้นภายในหอกลั่นเกิดการท่วม ส่วนการเพิ่มความดันโดยทันทีจะทำให้เกิดการควบแน่นของไอ และเมื่อไอมีปริมาณน้อยลงอาจทำให้เกิดการแห้งของขั้นได้ การเปลี่ยนแปลงความดันนี้จึงสามารถใช้บอกถึงสภาวะการทำงานที่ผิดปกติของหอกลั่นได้

- การควบคุมระดับของเหลว มี 2 แห่งที่สำคัญคือ ฐานของหอกลั่น และที่พักสารป้อนกลับ อย่างไรก็ตามหากเป็นหอกลั่นที่มีอัตราส่วนป้อนกลับค่าสูงๆ ถ้าใช้การดึงสารผลิตภัณฑ์ออกยอดหอเพื่อควบคุมระดับของเหลว จะทำให้การดึงสารผลิตภัณฑ์ออกยอดหอมีค่าเปลี่ยนแปลงมากเกินไปในขณะที่การป้อนสารกลับยอดหอและพลังงานที่จ่ายให้แก่หม้อต้มซ้ำมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยๆ นั่นคือการรบกวนจะถูกขยายขนาดของผลกระทบไปยังการดึงสารผลิตภัณฑ์ออกยอดหอนั่นเอง ดังนั้นในหอกลั่นที่มีอัตราส่วนป้อนกลับค่าสูง ระดับของเหลวในที่พักสารป้อนกลับควรจะถูกควบคุมโดยอัตราส่วนป้อนกลับ และควรใช้พลังงานความร้อนที่ป้อนเข้าหม้อต้มซ้ำเพื่อควบคุมระดับของเหลวในฐานของหอกลั่น

หลังจากได้ตัวแปรที่จะควบคุมแล้ว ก็จะเป็นการเลือกตัวแปรดำเนินการเพื่อไปควบคุมตัวแปรที่ต้องการควบคุมเหล่านั้น ซึ่งเรียกว่าเป็นการจับคู่ตัวแปร (pairing) ซึ่งจะเป็นการเลือกโครงสร้างของระบบควบคุมนั่นเอง

โครงสร้างของระบบควบคุม

โครงสร้างของระบบควบคุมของหอกลั่นที่นิยมใช้ในภาคอุตสาหกรรมนั้นมีหลายแบบ ซึ่งแต่ละแบบก็จะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป การเลือกโครงสร้างของระบบควบคุมจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆอย่าง เช่น ชนิดและลักษณะโครงสร้างของหอกลั่น สารที่ต้องการกลั่น การรบกวนของระบบ ฯลฯ ในที่นี้จะเลือกใช้โครงสร้างระบบควบคุมแบบ LV [29] เพื่อให้สอดคล้องกับโครงสร้างระบบควบคุมที่สามารถทำได้ของหอกลั่นที่ใช้ในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม ลักษณะของโครงสร้างแบบนี้คือ จะใช้อัตราส่วนป้อนกลับ และอัตราการต้มซ้ำ เพื่อควบคุมคุณภาพสารผลิตภัณฑ์ที่ยอดหอ และฐานหอตามลำดับ ข้อดีของโครงสร้างระบบควบคุมแบบ LV นี้ ได้แก่ [26]

1. ง่ายต่อการสร้างเป็นระบบเพื่อใช้งานจริง เพราะโครงสร้างไม่ซับซ้อนนัก และง่ายต่อการทำความเข้าใจในวิธีการควบคุมของผู้ควบคุมกระบวนการกลั่น
2. เมื่อมีการรบกวนเข้าสู่ระบบโดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่ป้อนกลางหอ พิจารณาระบบวงเปิด ผลตอบของระบบจะมีความไวต่อการรบกวนนี้ไม่มากนักเมื่อเทียบกับโครงสร้างอื่นๆ

แต่อย่างไรก็ตามโครงสร้างแบบ LV ก็ยังมีข้อด้อยเช่น

1. มีการกระทำระหว่างวงรอบการควบคุมที่ยอดหอและฐานหอค่อนข้างสูง
2. ระบบจะมีความไวต่อการรบกวนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอัตราป้อนสารค่อนข้างมาก
3. การปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมทำได้ไม่ง่ายนัก เพราะมีการเชื่อมโยงกันในวงรอบการควบคุมยอดหอและฐานหอ

สรุป

จะเห็นได้ว่ากระบวนการกลั่นเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนมีความไม่เป็นเชิงเส้น ในการควบคุมคุณภาพสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นจึงต้องมีความเข้าใจในลักษณะสมบัติของสารผสมที่ต้องการกลั่นแยกและความเข้าใจในกระบวนการกลั่น ข้อมูลต่างๆของสารผสมเช่นแผนภาพจุดเดือด หรือแผนภาพสมดุลไอ-ของเหลว และความรู้เกี่ยวกับตัวแปรในการควบคุมรวมถึงโครงสร้างการควบคุม เป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้สามารถเลือกหอกลั่นที่เหมาะสมและสามารถออกแบบกระบวนการกลั่นให้ทำงานตามวัตถุประสงค์ได้ ความเข้าใจในปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบต่อผลการกลั่น ความผิดพร่องที่อาจเกิดขึ้น และการจัดการกับความผิดพร่องเหล่านั้น เป็นอีกส่วนหนึ่งที่จะทำให้กระบวนการกลั่นดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพมากที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข
ตรรกฟัซซีและการควบคุมตรรกฟัซซี

การควบคุมตรรกฟัซซีเป็นรูปแบบการควบคุมอีกอย่างหนึ่งซึ่งได้รับความสนใจนำมาประยุกต์ใช้ในงานหลายประเภท ในที่นี้จะกล่าวถึงแนวคิดหลักของการควบคุมตรรกฟัซซีโดยสังเขป เริ่มจากพื้นฐานของตรรกฟัซซีอันนำไปสู่การพัฒนาตัวควบคุมตรรกฟัซซี

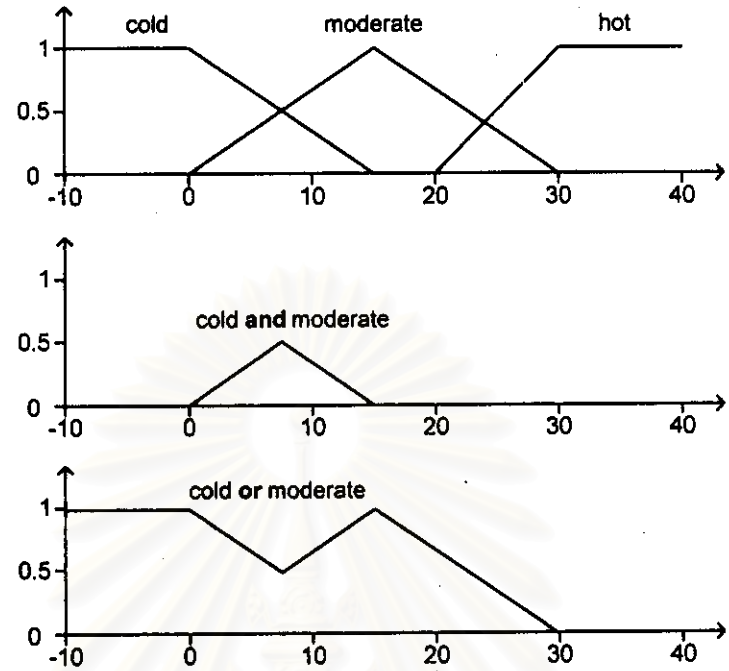
ตรรกฟัซซี

ตรรกบูลลีนโดยพื้นฐานจะเกี่ยวข้องกับการให้เหตุผล 2 อย่างได้แก่จริงและเท็จ จึงมีความพยายามที่จะพัฒนาวิธีการสำหรับการให้เหตุผลใหม่ที่สามารถมีค่าอะลุ่มอะหล่วยระหว่างค่าสุดโต่งคือจริงและเท็จ จากแนวความคิดดังนี้จึงเกิดตรรกศาสตร์แบบใหม่ คือตรรกฟัซซี ความคิดหลักของตรรกฟัซซีคือใช้*ตัวแปรเชิงภาษา* (linguistic variables) และ *ฟังก์ชันภาวะสมาชิก* (membership function) ที่สอดคล้องกัน เพื่อแทนการให้เหตุผลที่มีค่าอะลุ่มอล่วยนั้น ตัวดำเนินการทางตรรกะ and, or และ not ที่กระทำกับตัวแปรเชิงภาษาก็จะอยู่ในรูปของการดำเนินการกับฟังก์ชันภาวะสมาชิกของตัวแปรเชิงภาษานั้น ยกตัวอย่างเช่น ให้ $f_A(x)$ และ $f_B(x)$ เป็นฟังก์ชันภาวะสมาชิกที่สอดคล้องกับตัวแปรเชิงภาษา A และ B ตามลำดับ การดำเนินการทางตรรกะ อาจนิยามได้ดังนี้

$$
\begin{aligned}
f_{\text{A and B}} &= \min(f_A(x), f_B(x)) \\
f_{\text{A or B}} &= \max(f_A(x), f_B(x)) \\
f_{\text{not A}} &= 1 - f_A(x)
\end{aligned}
$$

ตัวแปรเชิงภาษาซึ่งสอดคล้องกับฟังก์ชันภาวะสมาชิกที่มีค่าเท่ากับศูนย์ตลอด ยกเว้นที่ค่าๆ หนึ่งซึ่งฟังก์ชันภาวะสมาชิกมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ จะเรียกตัวแปรเชิงภาษานั้นว่าตัวแปรทวินัย (crisp)

ตัวอย่างหนึ่งของตัวแปรเชิงภาษาและฟังก์ชันภาวะสมาชิกสามารถแสดงได้ เช่นในการให้เหตุผลเกี่ยวกับตัวแปรเชิงภาษาที่ชื่อว่าอุณหภูมิ เราสามารถสร้างฟังก์ชันภาวะสมาชิกเพื่ออธิบายตัวแปรเชิงภาษานี้ได้เช่น เย็น, อบอุ่น, ร้อน เป็นต้น จากนั้นจึงเป็นการกำหนดรูปแบบของฟังก์ชันภาวะสมาชิกให้เหมาะสม ตัวอย่างของการกำหนดรูปแบบของฟังก์ชันภาวะสมาชิกและตัวอย่างการทำโอเปอเรชัน and และ or ในตรรกฟัซซีแสดงดังรูปที่ ข.1



รูปที่ ข.1 ตัวอย่างของโอเปอเรชัน and และ or ในตรรกฟัซซี

การกำหนดฟังก์ชันภาวะสมาชิกของตัวแปรเชิงภาษามี 2 แนวทางคือ

1. กรณีที่ฐานกฎการควบคุมได้จากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญ ดังนั้น ฟังก์ชันภาวะสมาชิกและรูปแบบควรถูกกำหนดโดยผู้เชี่ยวชาญด้วย เพราะฟังก์ชันเหล่านี้เป็นองค์ประกอบหนึ่งของความรู้ของผู้เชี่ยวชาญนั่นเอง ยกตัวอย่างเช่น ถ้าผู้เชี่ยวชาญกล่าวว่า "ถ้า สัญญาณคลาดเคลื่อนมีค่ามาก แล้ว สัญญาณควบคุมต้องมีค่ามาก" ผู้เชี่ยวชาญนั้นควรบอกด้วยว่า คำว่า "มาก" นั้นมีความหมายอย่างไร โดยการกำหนดรูปแบบฟังก์ชันภาวะสมาชิกสำหรับคำว่า "มาก" นั้น

2. กรณีที่ฐานกฎฟัซซีได้จากข้อมูลเชิงตัวเลข ดังนั้นสิ่งแรกที่ควรทำคือกำหนดหารูปแบบฟังก์ชันสำหรับแต่และเซตฟัซซี รูปแบบฟังก์ชันที่นิยมใช้กันมาก เช่นฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian), ฟังก์ชันสามเหลี่ยม (triangular) และฟังก์ชันรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoid) เป็นต้น ฟังก์ชันเกาส์เซียนจะมีความต่อเนื่องของฟังก์ชัน ในขณะที่ฟังก์ชันสามเหลี่ยมและฟังก์ชันรูปสี่เหลี่ยมคางหมูจะง่ายต่อการคำนวณ หลังจากกำหนดรูปแบบฟังก์ชันของแต่และเซตฟัซซีแล้ว ปัญหาต่อไปก็คือการกำหนดพารามิเตอร์ของแต่เซตฟัซซีเหล่านั้น โดยอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงตัวเลขที่วัดมาได้ หรือในตัวควบคุมฟัซซีแบบปรับตัวเองได้ก็อาจจะสามารถเรียนรู้จากผลการควบคุมเพื่อปรับฟังก์ชันภาวะสมาชิกให้เหมาะสมเองได้

ระบบควบคุมตรรกฟัซซี

ระบบควบคุมตรรกฟัซซีเป็นระบบที่ทำงานโดยอาศัยหลักการของตรรกฟัซซีและการให้เหตุผลโดยประมาณ โดยนำหลักการทั้งสองนี้มาใช้ในการนิรนัยความจริงจากความรู้เกี่ยวกับข้อมูลเข้าและความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเข้ากับข้อมูลออก เพื่อหาข้อสรุปเป็นผลลัพธ์นำไปใช้งานต่อไป

ระบบควบคุมตรรกฟัซซีประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 4 ส่วนคือ

1. ตัวแปลงฟัซซี ทำหน้าที่วัดค่าของตัวแปรเข้าแล้วทำการแปลงค่าให้อยู่ในย่านที่เหมาะสมในเอกภพสัมพัทธ์แห่งการบรรยาย (Universe of Discourse) จากนั้นจึงแปลงให้อยู่ในรูปของค่าเชิงภาษาหรือเซตฟัซซี

2. ฐานความรู้ ประกอบด้วยส่วนประกอบย่อย 2 ส่วนคือ ฐานข้อมูล (Data Base) และฐานกฎ (Rule Base) โดยฐานข้อมูลจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับนิยามซึ่งจำเป็นต่อการจัดการข้อมูล เช่นการแบ่งช่วงและการปรับเอกภพสัมพัทธ์แห่งการบรรยาย การกำหนดเซตฟัซซี การกำหนดฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซีเป็นต้น ส่วนฐานกฎใช้เพื่อกำหนดกฎที่ใช้ในการควบคุม โดยกฎการควบคุมจะแสดงในรูปของกฎฟัซซีในรูปประโยคเงื่อนไข IF-THEN แต่ละกฎจะถูกกำหนดโดยเซตฟัซซีของข้อมูลเข้าและเซตฟัซซีของข้อมูลออก ฐานกฎฟัซซีนี้เป็นหัวใจสำคัญของระบบฟัซซีในแง่ที่ว่า ส่วนประกอบอื่นๆของระบบฟัซซีนั้นจะเป็นเพียงการตีความหมายของฐานกฎเหล่านี้ และทำให้ฐานกฎเหล่านี้สามารถใช้ได้กับปัญหาหนึ่งๆ ที่เราสนใจ

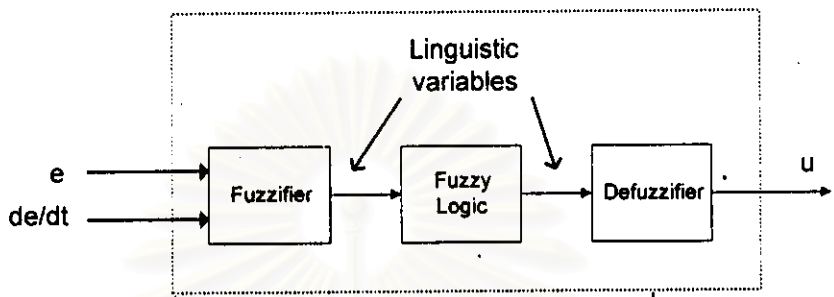
3. ส่วนการนิรนัยฟัซซี หรือ ส่วนตัดสินใจ เป็นส่วนที่สำคัญของระบบควบคุมตรรกฟัซซี ทำให้สามารถดำเนินการตัดสินใจเลียนแบบมนุษย์ได้ โดยการประยุกต์หลักการของตรรกฟัซซีเพื่อการหาสัญญาณควบคุม หรือคือผลลัพธ์จากข้อมูลขาเข้าและฐานกฎที่กำหนดได้โดยการใช้กลไกการนิรนัยความจริงแบบฟัซซี

4. ตัวแปลงกลับฟัซซี ทำหน้าที่แปลงผลลัพธ์ที่เป็นฟัซซีเซตให้เป็นค่าตายตัว แล้วจึงแปลงสเกลค่าตายตัวที่ได้ให้มีค่าอยู่ในช่วงที่ใช้เป็นสัญญาณควบคุม

ตัวควบคุมตรรกฟัซซี

โครงสร้างตัวควบคุมตรรกฟัซซีโดยพื้นฐานทั่วๆไปแสดงได้ดังรูปที่ ข.2 สัญญาณเข้าของระบบตัวอย่างนี้มี 2 สัญญาณ ได้แก่สัญญาณค่าคลาดเคลื่อน และค่าอินทิกรัลของความคลาดเคลื่อน สัญญาณเข้าทั้งสองจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปตัวแปรเชิงภาษาโดย *กระบวนการแปลงฟัซซี* (fuzzification) ซึ่งเป็นการแปลงจากตัวแปรต่อเนื่องไปเป็นชุดของตัวแปรเชิงภาษา ตัวแปรเชิงภาษาแต่ละตัวจะมีเซตฟัซซีที่สอดคล้องกัน เพื่ออธิบายลักษณะของตัวแปรภาษานั้น จำนวนของเซตฟัซซีของแต่ละตัวแปรเชิง

ภาษามักจะมีจำนวนน้อยๆ เช่น ตัวแปรเชิงภาษาค่าคลาดเคลื่อน อาจมีเซตฟัซซีที่สอดคล้องกันได้คือ ค่าลบมาก (NL) ค่าลบปานกลาง (NM) ค่าลบเล็กน้อย (NS) ค่าศูนย์ (ZO) ค่าบวกเล็กน้อย (PS) ค่าบวกปานกลาง (PM) และค่าบวกมาก (PB) เป็นต้น



รูปที่ ข.2 โครงสร้างของตัวควบคุมตรรกฟัซซีโดยทั่วไป

ในการสร้างสัญญาณควบคุม ตัวควบคุมจะทำงานในลักษณะของฟังก์ชันการส่ง (map) จากตัวแปรเชิงภาษาเข้าไปยังตัวแปรเชิงภาษาออก ฟังก์ชันการส่งจะอยู่ในรูปของกฎการควบคุมหลายๆกฎรวมกัน เรียกว่าฐานกฎการควบคุม ตัวอย่างของฐานกฎการควบคุมสำหรับตัวควบคุมพีไอ ตัวแปรเชิงภาษาของค่าคลาดเคลื่อน และอินทิกรัลของค่าคลาดเคลื่อนมี 3 ตัวเหมือนกันคือ N, Z และ P ส่วนสัญญาณควบคุมจะอยู่ในรูปของตัวแปรเชิงภาษา 5 ตัวคือ NL, NM, Z, PM และ PL ฐานกฎการควบคุมอาจแสดงได้ดังกฎต่างๆนี้

กฎที่ 1: IF e is N and de/dt is P then u is Z

กฎที่ 2: IF e is N and de/dt is Z then u is NM

กฎที่ 3: IF e is N and de/dt is N then u is NL

กฎที่ 4: IF e is Z and de/dt is P then u is PM

กฎที่ 5: IF e is Z and de/dt is Z then u is Z

กฎที่ 6: IF e is Z and de/dt is N then u is NM

กฎที่ 7: IF e is P and de/dt is P then u is NL

กฎที่ 8: IF e is P and de/dt is Z then u is PM

กฎที่ 9: IF e is P and de/dt is N then u is Z

กฎการควบคุมทั้ง 9 กฎอาจแสดงในรูปตารางได้ดังนี้

de/dt / e	P	Z	N
N	Z	NM	NL
Z	PM	Z	NM
P	PL	PM	Z

รูปที่ ข.3 ตัวอย่างฐานกฎการควบคุม

ข้อดีของระบบควบคุมตรรกฟัซซี

เนื่องจากตัวควบคุมตรรกฟัซซีเป็นตัวควบคุมแบบไม่เชิงเส้น จึงเหมาะสมกับการใช้งานในการควบคุมกระบวนการจริงซึ่งเป็นระบบไม่เชิงเส้น สามารถใช้งานกับระบบที่มีหลายสัญญาณเข้าหลายสัญญาณออกได้ดี โดยไม่จำเป็นต้องทราบสมการทางคณิตศาสตร์อธิบายระบบอย่างถูกต้องแม่นยำนัก เพียงมีความรู้ความเข้าใจในการทำงานของระบบและทราบถึงความสัมพันธ์ของสัญญาณควบคุมและผลตอบของระบบที่ต้องการควบคุม ก็สามารถนำความรู้นั้นมาสร้างเป็นฐานกฎการควบคุมได้ แนวคิดการใช้ฐานกฎความรู้ในการควบคุมทำให้สามารถออกแบบตัวควบคุมได้อย่างอิสระและสามารถทำความเข้าใจได้ง่ายกว่าการควบคุมโดยใช้ทฤษฎีระบบควบคุมซึ่งมักต้องใช้คณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน แก้ไขเปลี่ยนแปลงได้ลำบาก ทำให้สามารถนำตัวควบคุมตรรกฟัซซีไปใช้งานได้ง่าย ในปัจจุบันมีแผงวงจรรวมสำเร็จรูปให้ใช้งาน โดยสามารถพัฒนาตัวควบคุมทั้งส่วนฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ได้อย่างรวดเร็วประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย

ลักษณะงานที่เหมาะสมกับการควบคุมโดยตัวควบคุมตรรกฟัซซี

งานวิจัยต่างๆในอดีตที่ผ่านมาเกี่ยวกับระบบควบคุมตรรกฟัซซีได้แสดงให้เห็นว่า ระบบควบคุมตรรกฟัซซีเหมาะสมในการใช้งานกับระบบที่ซับซ้อนและยุ่งยากต่อการควบคุมโดยวิธีการควบคุมแบบปกติ การหาสมการทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายระบบทำได้ค่อนข้างยาก แต่ระบบสามารถอธิบายหรือจำลองแบบได้ด้วยลักษณะเชิงภาษา และที่สำคัญคือการควบคุมระบบนั้นสามารถใช้ความรู้หรือประสบการณ์และการดูแลควบคุมของผู้ควบคุมในการตั้งกฎการควบคุมและการปรับจูนต่างๆ ลักษณะงานที่เหมาะสมอีกประการคือเป็นงานที่มีความเป็นไปได้ของการขยายหรือเพิ่มลดคุณภาพของผลิตภัณฑ์อยู่เสมอ ทำให้ระบบควบคุมต้องมีการปรับจูนหรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างบ่อยครั้ง หรือต้องสามารถทำงานได้ในย่านการทำงานที่กว้าง ระบบควบคุมตรรกฟัซซีสามารถทำความเข้าใจและปรับจูนได้ง่ายจึงสะดวก

ต่อผู้ออกแบบในการปรับจูนหรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง และอาจออกแบบให้สามารถครอบคลุมย่านการทำงานที่กว้างกว่าตัวควบคุมแบบธรรมดาอื่นๆได้ เช่นโดยการออกแบบฟังก์ชันสภาวะสมาชิกให้ครอบคลุมถึงย่านการทำงานที่ต้องการเหล่านั้นเป็นต้น ความได้เปรียบของระบบควบคุมตรรกฟัซซีต่างๆนี้ยังผลให้การพัฒนาระบบควบคุมสำหรับกระบวนการหนึ่งๆสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว น่าเชื่อถือได้ และประหยัดค่าใช้จ่ายโดยรวมนั่นเอง

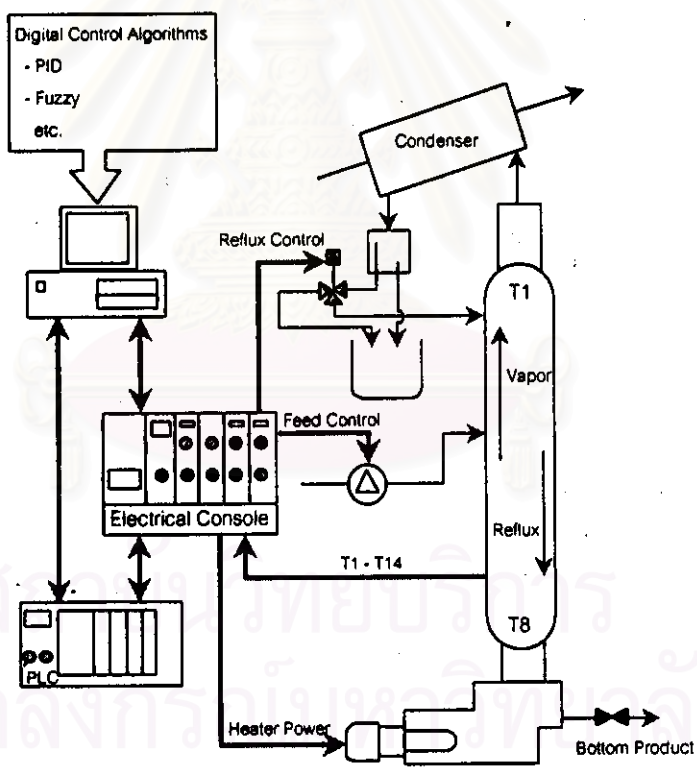
ลักษณะงานที่ไม่เหมาะสมกับการควบคุมโดยตัวควบคุมตรรกฟัซซี

การออกแบบระบบควบคุมสำหรับระบบเชิงเส้นสามารถใช้ทฤษฎีระบบควบคุมพื้นฐานในการออกแบบได้เป็นอย่างดี หรือในกรณีที่ตัวควบคุมแบบพีไอดีสามารถให้ผลการควบคุมที่น่าพอใจ เป็นไปตามวัตถุประสงค์การควบคุมทุกประการอยู่แล้ว ดังนั้นจึงอาจไม่จำเป็นต้องใช้ตัวควบคุมตรรกฟัซซี และเนื่องจากระบบควบคุมตรรกฟัซซีเป็นการควบคุมโดยใช้การให้เหตุผลโดยประมาณ อาจต้องใช้เวลาเพื่อให้สัญญาณควบคุมลู่เข้าสู่ค่าที่ควรจะเป็น ดังนั้นจึงอาจไม่เหมาะกับระบบที่ผลตอบมีความเร็วสูงซึ่งจำเป็นต้องใช้การควบคุมด้วยความเร็วสูงตามไปด้วย เพราะการควบคุมตรรกฟัซซีอาจไม่สามารถคำนวณสัญญาณควบคุมได้ทัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบควบคุมตรรกฟัซซีที่มีการเรียนรู้เพื่อปรับตัวเอง

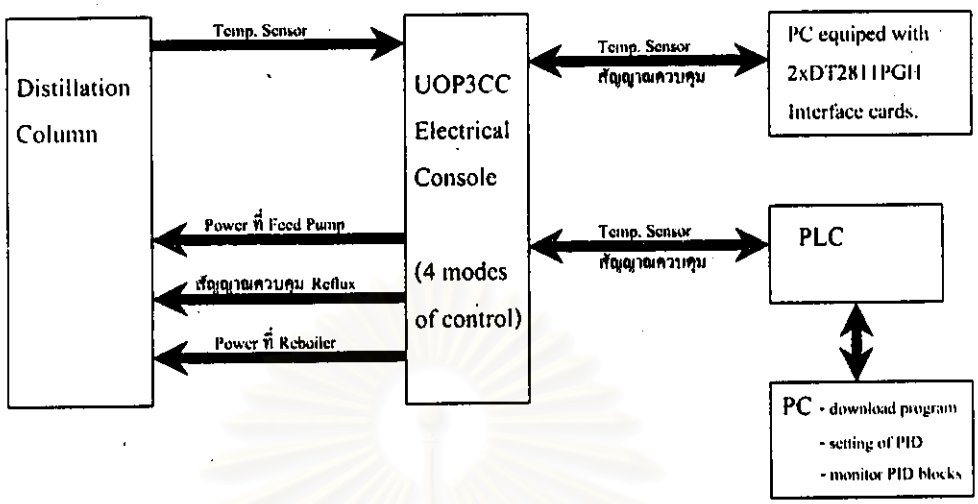
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค
การออกแบบวงจรเชื่อมต่อในการควบคุมอัตราการป้อนกลับสารยอดหอ

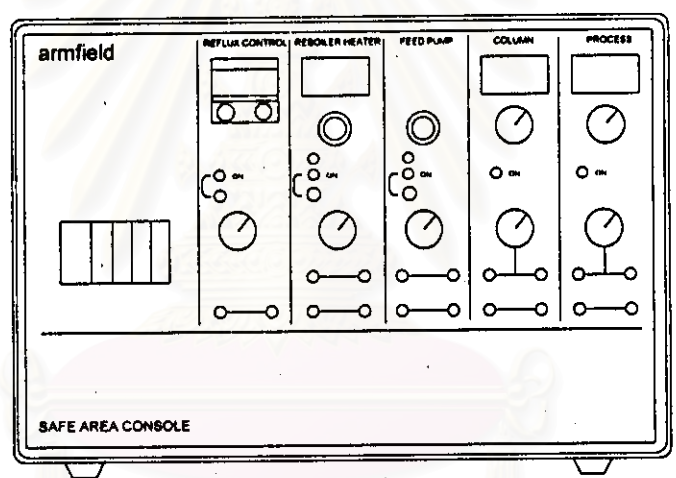
อุปกรณ์หอกลั่นแยกสารของห้องปฏิบัติการวิจัยฯ สามารถรับคำสั่งต่างๆจากคอมพิวเตอร์ได้ เช่นการเปลี่ยนค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในการต้มสารผสมในหม้อต้มซ้ำ การป้อนสารกลับยอดหอ การหมุนมอเตอร์เพื่อสูบสารเข้ากลางหอ และ การอ่านค่าอุณหภูมิ โดยการติดต่อจะผ่านทางอุปกรณ์เชื่อมต่ออิเลคทรอนิคส์ (Electrical Console) หน้าที่หลักของอุปกรณ์เชื่อมต่อนี้คือ การแปลงคำสั่งการควบคุมจากตัวควบคุมภายนอก ซึ่งอาจเป็นคอมพิวเตอร์ มนุษย์ หรือตัวควบคุมตรรกแบบโปรแกรมได้ (PLC) เป็นต้น เพื่อให้หอกลั่นสามารถทำตามคำสั่งนั้นได้ และแปลงสัญญาณแทนอุณหภูมิที่อ่านได้จากคู่ควบความร้อน แล้วส่งค่าให้ตัวควบคุมภายนอกต่อไป



รูปที่ ค.1 โครงสร้างการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่างๆ



รูปที่ ค.2 สัญญาณวัดและสัญญาณควบคุมในระบบ



รูปที่ ค.3 อุปกรณ์เชื่อมต่ออิเลคทรอนิคส์

ตัวแปรที่สามารถสั่งงานผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อมี 3 ตัวคือ การป้อนสารกลับยอดหอ พลังงานความร้อนที่หม้อต้มซ้ำ และความเร็วรอบของมอเตอร์สูบสารกลางหอ การควบคุมมีได้ 4 รูปแบบ เลือกได้โดยการหมุนปุ่มปรับที่ด้านหน้าของอุปกรณ์เชื่อมต่อ การควบคุมของตัวแปรทั้ง 3 ตัวสามารถเลือกได้อิสระจากกัน การควบคุมทั้ง 4 ได้แก่

1. การควบคุมด้วยมือ (Manual Control) ในการควบคุมนี้ ผู้ปฏิบัติการจะเป็นผู้กำหนดค่าของตัวแปรต่างๆเอง โดยการปรับตั้งค่าที่ด้านหน้าของอุปกรณ์เชื่อมต่อ

2. การควบคุมแบบเปิด/ปิด (ON/OFF Control) ที่ด้านหน้าของอุปกรณ์เชื่อมต่อมีช่องเสียบสายสัญญาณสีเหลืองอยู่ทั้ง 3 ตัวแปร ตัวแปรละ 1 คู่ เมื่อช่องเสียบต่อถึงกันคือเป็นวงจรปิด จะทำให้อุปกรณ์เชื่อมต่อส่งสัญญาณไปยังหอกลั่นด้วยค่าสูงสุด เช่นเมื่อช่องเสียบสีเหลืองคู่ของตัวแปรพลังงานที่

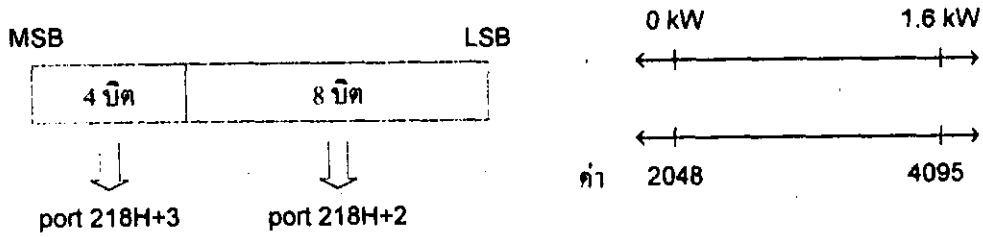
หม้อต้มซ้ำถูกต่อถึงกัน จะทำให้หม้อต้มซ้ำจ่ายพลังงานความร้อนขนาดสูงสุดประมาณ 1.6 กิโลวัตต์ เพื่อต้มสารผสม และเมื่อไม่ได้ต่อถึงกันคือเป็นวงจรเปิด หม้อต้มซ้ำจะไม่จ่ายพลังงานความร้อนเลยเป็นต้น

3. การควบคุมโดยผ่านช่องเสียบเข้า (INPUT SOCKET) การควบคุมนี้จะมีเฉพาะในตัวแปรพลังงานความร้อนที่หม้อต้มซ้ำ และความเร็วรอบของมอเตอร์สูบสารเท่านั้น ที่ด้านหน้าของอุปกรณ์เชื่อมต่อจะมีช่องเสียบสายสัญญาณสีแดง-ดำอยู่ ช่องเสียบสีดำจะต่อลงกราวด์ ส่วนช่องเสียบสีแดงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า สามารถมีค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 5 โวลต์ เพื่อสั่งงานตัวแปรทั้งสองจาก 0% จนถึง 100% ซึ่งคือค่าพิกัดของแต่ละตัวแปร การควบคุมแบบนี้เหมาะสมที่จะใช้กับตัวควบคุมตรรกแบบโปรแกรมได้หรือคอมพิวเตอร์เป็นต้น

4. การควบคุมโดยผ่านช่องทางรับเข้า/ส่งออก (I/O PORT) อุปกรณ์เชื่อมต่อสามารถติดต่อกับคอมพิวเตอร์ได้ผ่านทางแผ่นวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลและดิจิทัลเป็นแอนะล็อก (AD/DA Card) โดยมีสายเคเบิลเชื่อมต่อ การควบคุมแบบนี้มีข้อดีคือ นอกจากคอมพิวเตอร์จะสามารถสั่งงานตัวแปรทั้ง 3 ตัวได้แล้ว ยังสามารถวัดค่าอุณหภูมิของอุปกรณ์วัดทุกตัวได้ และสามารถรับทราบถึงสัญญาณเตือนระดับน้ำต่ำกว่าค่ากำหนดตายตัวค่าหนึ่งได้ด้วย ในขณะที่การควบคุมใน 3 แบบที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นสามารถอ่านค่าอุณหภูมิได้ด้วยตาเปล่า หรือมิเช่นนั้นก็ผ่านทางช่องสัญญาณทางไฟฟ้า 0-5 โวลต์ ที่แทนค่าอุณหภูมิ และสามารถอ่านค่าอุณหภูมิได้เพียง 4 แห่งพร้อมๆกันเท่านั้น คือ อุณหภูมิ T1 และ T9 และอุณหภูมิที่อื่นๆตามแต่จะหมุนปุ่มปรับเลือกอีก 2 แห่ง

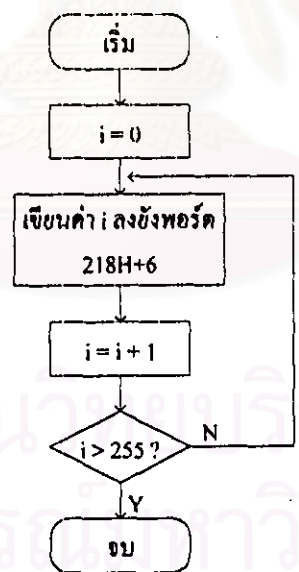
ในที่นี้จะใช้การควบคุมโดยผ่านช่องทางรับเข้า/ส่งออก แผ่นวงจรแปลงสัญญาณของชุดทดลองหอกลั่นของห้องปฏิบัติการวิจัยเป็นรุ่น DT2811 ของบริษัท Data Translator จำนวน 2 การ์ด แผ่นวงจรแรกจะใช้ช่องทางรับเข้า/ส่งออกที่ตำแหน่ง 218H แผ่นวงจรที่สองจะใช้ที่ตำแหน่ง 228H และแผ่นวงจรทั้งสองใช้หมายเลขขัดจังหวะ (Interrupt Number) เดียวกัน วิธีการสั่งงานหรืออ่านค่าอุณหภูมิจากคอมพิวเตอร์สามารถแสดงได้ดังนี้

1. <u>การสั่งงานตัวแปรพลังงานความร้อนที่หม้อต้มซ้ำ</u> โดยการเขียนค่าไปยังพอร์ต 218H+2 และพอร์ต 218H+3 ค่าที่แผ่นวงจรแปลงสัญญาณสามารถรับได้จะเป็นเลขฐานสองจำนวน 12 บิต โดย 8 บิตล่าง (บิตนัยสำคัญต่ำ; LSB) จะเขียนไปยังพอร์ต 218H+2 อีก 4 บิตบน (บิตนัยสำคัญสูง; MSB) จะเขียนไปยังพอร์ต 218H+3 เมื่อเขียนค่า 2048 ไปยังทั้งสองพอร์ตนี้จะทำให้หม้อต้มซ้ำไม่จ่ายพลังงานความร้อนใดๆ แต่เมื่อเขียนค่าสูงสุดคือ 4095 ไปยังทั้งสองพอร์ตก็จะเป็นการจ่ายพลังงานความร้อนเต็มพิกัดประมาณ 1.6 กิโลวัตต์



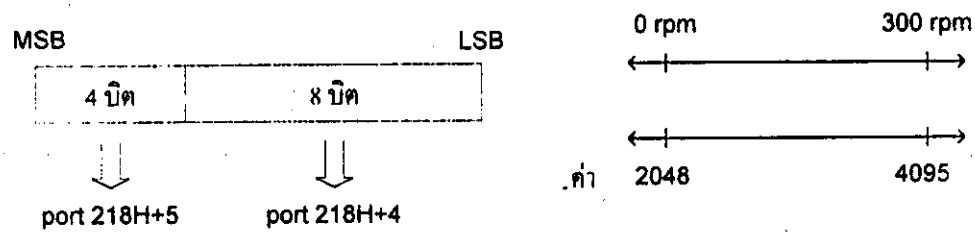
รูปที่ ค.4 การสั่งงานตัวแปรพลังงานความร้อนที่หม้อต้มซ้ำ

อย่างไรก็ตาม การสั่งงานตัวแปรพลังงานความร้อนนี้ เพื่อให้อุปกรณ์เชื่อมต่อพร้อมที่จะรับคำสั่ง นอกจากจะต้องหมุนปุ่มปรับเลือกด้านหน้าของอุปกรณ์เชื่อมต่อมาที่คำว่า "I/O PORT" และกดปุ่ม "ON" สีแดงแล้ว โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่สั่งงานก็ต้องเขียนค่าไปยังพอร์ต 218H+6 ทุกช่วงเวลาประมาณ 10 วินาทีด้วย เพราะมิเช่นนั้นอุปกรณ์เชื่อมต่อก็จะตัดการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ทิ้ง แสดงโดยสัญญาณไฟที่ปุ่ม "ON" จะดับลง เมื่อคอมพิวเตอร์ถูกตัดการติดต่อแล้ว วิธีเดียวที่จะทำให้เกิดการติดต่ออีกครั้งหนึ่งคือ ผู้ควบคุมต้องไปกดสวิตช์ "ON" ให้สัญญาณไฟที่ปุ่ม "ON" ติดขึ้น จากการทดลองพบว่าการป้องกันการตัดการติดต่อสามารถทำได้ โดยแสดงเป็นแผนภาพดังนี้



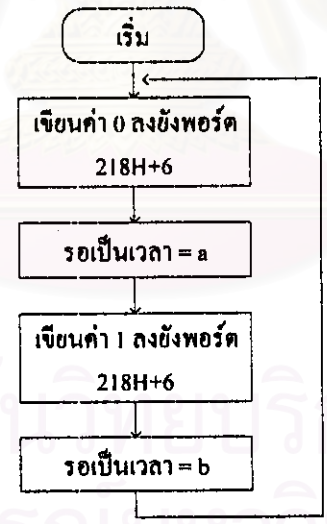
รูปที่ ค.5 แผนภาพขั้นตอนการป้องการการตัดการติดต่อ

2. <u>การสั่งงานตัวแปรความเร็วรอบมอเตอร์สูบสาร</u> สามารถทำได้ในทำนองเดียวกับพลังงานความร้อนที่หม้อต้มซ้ำ เพียงแต่ข้อมูล 8 บิตล่างจะเขียนไปยังพอร์ต 218H+4 และข้อมูล 4 บิตบนเขียนไปยังพอร์ต 218H+5 แทน ค่าต่ำสุดที่จะทำให้มอเตอร์เริ่มหมุนคือ 2048 ค่าสูงสุดคือ 4095 ซึ่งมอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วประมาณ 300 รอบต่อนาทีที่ค่าสูงสุดนี้

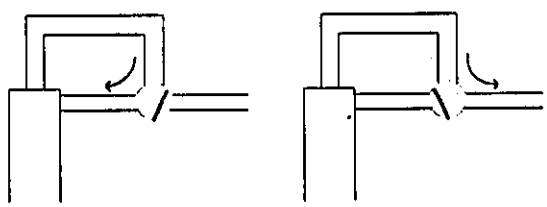


รูปที่ ค.6 การสั่งงานตัวแปรความเร็วรอบมอเตอร์สูบสาร

3. <u>การสั่งงานตัวแปรการป้อนสารกลับยอดหอ</u> สามารถทำได้โดยการสั่งเปิดหรือปิดวาล์วโซลินอยด์ที่ควบคุมทิศทางการไหลของสารที่กลั่นได้ ตำแหน่งปกติของวาล์วนี้คือจะทำให้สารที่กลั่นได้ไหลกลับเข้าไปยังตอนบนของหอกลั่น เมื่อต้องการให้สารที่กลั่นได้ไหลออกไปยังภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ยอดหอ ก็ต้องสั่งงานโดยเขียนค่า 1 ไปยังบิตนัยสำคัญต่ำสุดของพอร์ต 218H+6 ดังนั้นหากต้องการให้เวลาเปิด/ปิดของวาล์วเป็นอัตราส่วนตามค่าอัตราส่วนการป้อนสารกลับ ก็ต้องเขียนค่า 0 และ 1 ไปยังพอร์ต 218H+6 สลับกันไปมา โดยให้มีเวลาหยุดรอหลังการเขียนแต่ละค่าให้เป็นไปตามอัตราส่วนการป้อนสารกลับที่ต้องการ สามารถสรุปเป็นแผนภาพได้ดังนี้



รูปที่ ค.7 การสั่งงานตัวแปรการป้อนสารกลับยอดหอด้วยค่าอัตราส่วน a/b



รูปที่ ค.8 โซลินอยด์วาล์วอยู่ในตำแหน่งป้อนสารกลับยอดหอ (รูปซ้าย) และตำแหน่งปล่อยสารผลิตภัณฑ์ (รูปขวา)

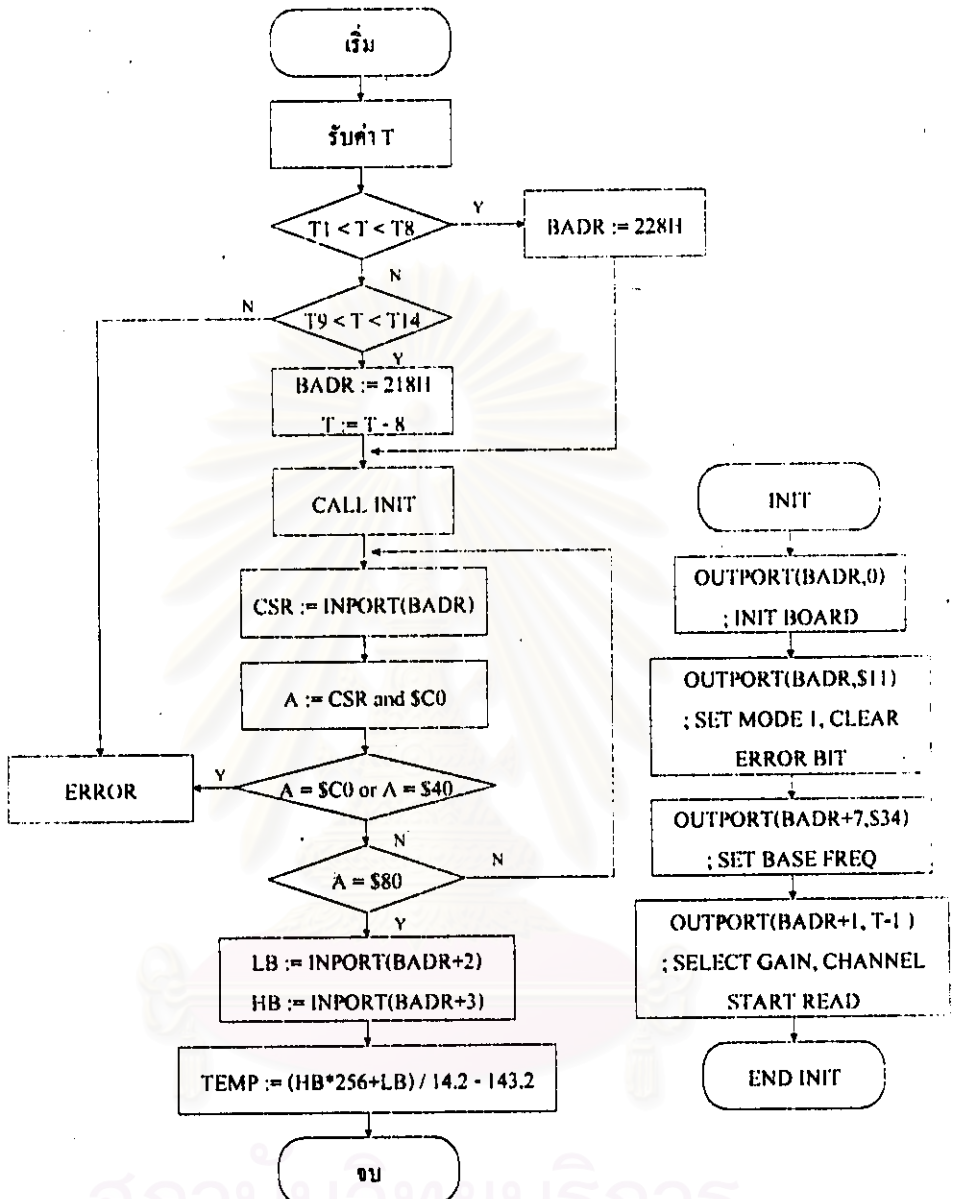
จากที่กล่าวมานี้จะเห็นได้ว่าตำแหน่งของพอร์ตที่ใช้สั่งงานการป้อนสารกลับยอดหอและพอร์ตที่ใช้เพื่อป้องกันการถูกตัดการติดต่อเป็นพอร์ตเดียวกัน จึงเกิดปัญหาคือไม่สามารถสั่งงานการป้อนสารกลับยอดหอและการป้องกันการถูกตัดการติดต่อได้โดยใช้พอร์ตเดียวกัน ในที่นี้จะใช้การแก้ปัญหาโดยการสั่งงานการป้อนสารกลับยอดหอจะเลี่ยงไปใช้การควบคุมแบบเปิด/ปิดแทน โดยสร้างวงจรเชื่อมต่ออันใหม่ขึ้นมา วงจรนี้จะรับสัญญาณสั่งงานจากพอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์ สัญญาณมีขนาด 8 บิต ถ้าสัญญาณมีค่าเป็น V หมายถึงต้องการอัตราส่วนการป้อนสารกลับยอดหอเท่ากับ $V/(255-V)$ วงจรจะรับค่าจากพอร์ตขนานแล้วบังคับให้รีเลย์เปิดและปิดตามอัตราส่วนเวลาที่อ่านค่าได้ มีการเชื่อมต่อสายสัญญาณจากหน้าสัมผัสของรีเลย์ไปยังช่องเสียบสีเหลืองของอุปกรณ์เชื่อมต่อหลัก ผลการเปิด/ปิดของหน้าสัมผัสรีเลย์นี้จะทำให้สามารถควบคุมอัตราส่วนการป้อนสารกลับยอดหอได้โดยง่าย เพราะตัวควบคุมไม่จำเป็นต้องห่วงเรื่องเวลาในการสั่งเปิด/ปิดด้วยตนเอง เพียงแต่บอกวงจรเชื่อมต่อเสริมนี้ว่าต้องการอัตราส่วนการป้อนสารกลับยอดหอเท่าใด นอกจากนั้นยังสามารถนำพอร์ต 218H+6 ไปใช้ในการป้องกันการถูกตัดการติดต่อได้โดยอิสระอีกด้วย

4. <u>การอ่านค่าอุณหภูมิ</u> อุปกรณ์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิที่ติดตั้งในหอกลั่นของห้องปฏิบัติการวิจัยเป็นแบบคู่ควบความร้อน มีรวมทั้งสิ้น 14 ตำแหน่ง ระบุโดยชื่อ T1 ถึง T14 ตั้งแต่ T1 ถึง T8 จะอยู่ที่ชั้นต่างๆภายในหอกลั่น นับตั้งแต่ชั้นบนสุด (T1) จนถึงชั้นล่างสุด (T8) T9 อยู่ภายในหม้อต้มซ้ำ ส่วน T10 ถึง T14 เป็นการตรวจวัดอุณหภูมิของอุปกรณ์ประกอบต่างๆของหอกลั่น ได้แก่อุณหภูมิภายในหอ ณ ตำแหน่งเข้าของสารป้อนกลับยอดหอ (T10) อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้า (T11) และขาออก (T12) อุณหภูมิของสารป้อนกลับ ณ ตำแหน่งขาออกของวาล์วป้อนกลับ (T13) และอุณหภูมิของสารป้อนเข้ากลางหอ (T14)

อุปกรณ์เชื่อมต่อจะเป็นผู้รับสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจวัดทั้ง 14 ตัว ทำการขยายสัญญาณแล้วจึงส่งผ่านไปให้กับแผ่นวงจรแปลงสัญญาณของคอมพิวเตอร์ โดยแบ่งการส่ง T1 ถึง T8 ไปยังแผ่นวงจรที่สอง (ตำแหน่ง I/O ที่ 228H) และส่ง T9 ถึง T14 ไปยังแผ่นวงจรแรก (ตำแหน่งพอร์ตที่ 218H) ในการอ่านค่าสัญญาณแทนอุณหภูมิเหล่านี้ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ต้องสั่งงานให้แผ่นวงจรแปลงสัญญาณแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกมาเป็นสัญญาณดิจิทัล ค่าอุณหภูมิที่ต้องการวัดจะอยู่ในข้อมูลดิจิทัลที่อ่านได้นี้ แต่ค่าที่อ่านได้ยังไม่สามารถแทนอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียสได้โดยตรง ต้องมีการแปลงหน่วยก่อน สูตรการแปลงหน่วยหาจากการทดลองสอบเทียบค่าดิจิทัลที่อ่านได้กับอุณหภูมิที่ทราบค่าจริง สูตรการแปลงค่าที่ได้จากการทดลองคือ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) = ค่าดิจิตอลที่อ่านได้ / 14.2 - 143.2 (ค.1)

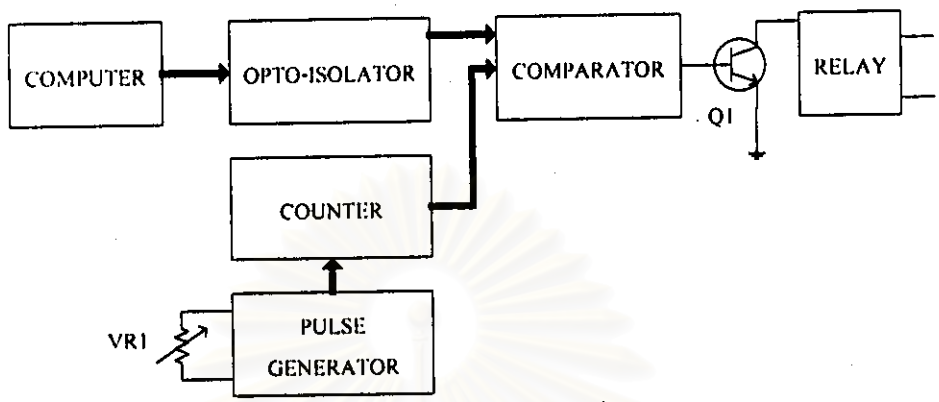
สรุปขั้นตอนการอ่านค่าอุณหภูมิได้ดังแผนภาพในรูปที่ ค.9



รูปที่ ค.9 ขั้นตอนการอ่านค่าอุณหภูมิจากอุปกรณ์เชื่อมต่ออิเลคทรอนิคส์

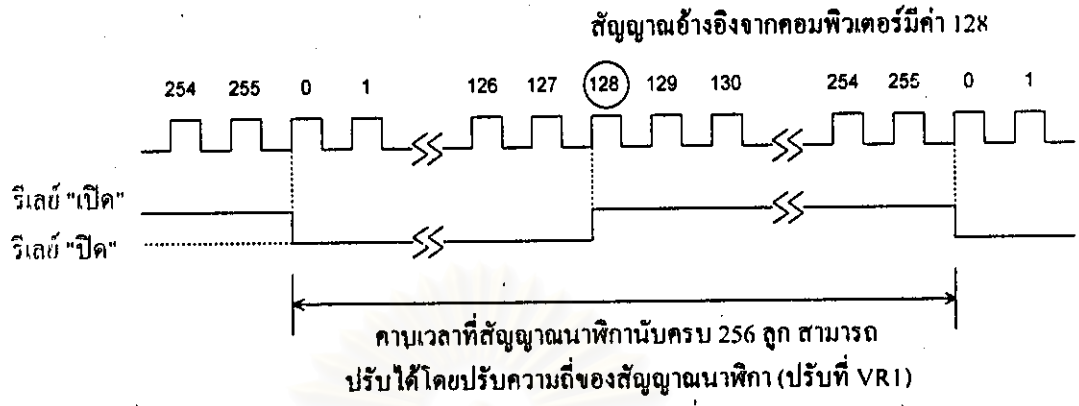
ขั้นตอนการอ่านค่าอุณหภูมิดังแสดงในรูปที่ ค.9 เป็นการติดต่อกับอุปกรณ์เชื่อมต่ออิเลคทรอนิคส์โดยผ่านทางแผ่นวงจรแปลงสัญญาณ ตำแหน่งของอุณหภูมิที่ต้องการวัด (T1 ถึง T14) จะอยู่ในตัวแปร T โปรแกรมจะเลือกตำแหน่งพอร์ตให้เหมาะสมกับตำแหน่งของอุณหภูมิที่ต้องการวัด จากนั้นจึงกำหนดค่าเริ่มต้น (initialize) และเลือกสภาวะของแผ่นวงจรแปลงสัญญาณ แล้วจึงอ่านค่าสัญญาณเข้ามายังตัวแปร HB และ LB ซึ่งคือบิตนัยสำคัญสูงและนัยสำคัญต่ำตามลำดับ จากนั้นจึงแปลงค่าให้อยู่ในหน่วยองศาเซลเซียส

โครงสร้างของวงจรเชื่อมต่อที่สร้างขึ้น



รูปที่ ค.10 แผนภาพโครงสร้างของวงจรเชื่อมต่อโดยสังเขป

เพื่อความปลอดภัยของคอมพิวเตอร์วงจรที่สร้างขึ้นนี้จึงมีส่วนแยกสัญญาณทางไฟฟ้าด้วยแสง (OPTO-ISOLATOR) เพื่อแยกส่วนทางไฟฟ้าของคอมพิวเตอร์ออกจากส่วนทางไฟฟ้าของวงจรด้วยสัญญาณแสง สัญญาณออกจากส่วนแยกสัญญาณทางไฟฟ้าขนาด 8 บิตนี้จะเข้าสู่ส่วนเปรียบเทียบโดยมองว่าเป็นค่าอ้างอิงของการเปรียบเทียบ วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาสร้างโดยใช้วงจรรวมหมายเลข 555 ทำงานในสภาวะอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ (Astable Multivibrator) ความถี่ของสัญญาณนาฬิกากำหนดโดยค่าความต้านทานปรับค่าได้ (VR1) และค่าความจุของตัวเก็บประจุซึ่งกำหนดไว้คงที่ภายในวงจร พิจารณาในส่วนของวงจรนับ จะได้รับสัญญาณนาฬิกาเพื่อการนับตลอดเวลา สัญญาณออกของวงจรนับขนาด 8 บิตก็จะเข้าไปยังวงจรเปรียบเทียบ เพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิงจากส่วนแยกสัญญาณทางไฟฟ้า ถ้าหากสัญญาณอ้างอิงมีค่ามากกว่าสัญญาณจากวงจรนับ สัญญาณออกของวงจรเปรียบเทียบก็จะมีค่าเป็น "1" ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 ทำงาน นั่นคือรีเลย์จะได้รับไฟเลี้ยงทำให้หน้าสัมผัสของรีเลย์ "เปิด" แต่เมื่อสัญญาณอ้างอิงมีค่าน้อยกว่าสัญญาณจากวงจรนับ สัญญาณออกของวงจรเปรียบเทียบก็จะมีค่าเป็น "0" ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 ไม่ทำงาน หน้าสัมผัสของรีเลย์จะ "ปิด" ส่วนเวลาที่ใช้ในการเปิด/ปิดครบ 1 รอบนี้จะกำหนดจากความถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่เข้าสู่วงจรนับ โดยสัญญาณนาฬิกาจำนวน 256 ลูกจะทำให้หน้าสัมผัสของรีเลย์เปิดและปิดครบ 1 รอบ จากการเปิด/ปิดของหน้าสัมผัสรีเลย์ เมื่อนำไปต่อกับช่องเสียบสีเหลืองของอุปกรณ์เชื่อมต่อหลักก็จะสามารถสั่งงานโซลินอยด์วาล์วให้เปิดและปิดได้ จึงสามารถควบคุมตัวแปรอัตราการป้อนสารกลับยอดหอได้ตามต้องการ



รูปที่ ค.11 แผนภาพทางเวลาแสดงการทำงานของรีเลย์เมื่อสัญญาณอ้างอิงมีค่า 128

การใช้งาน

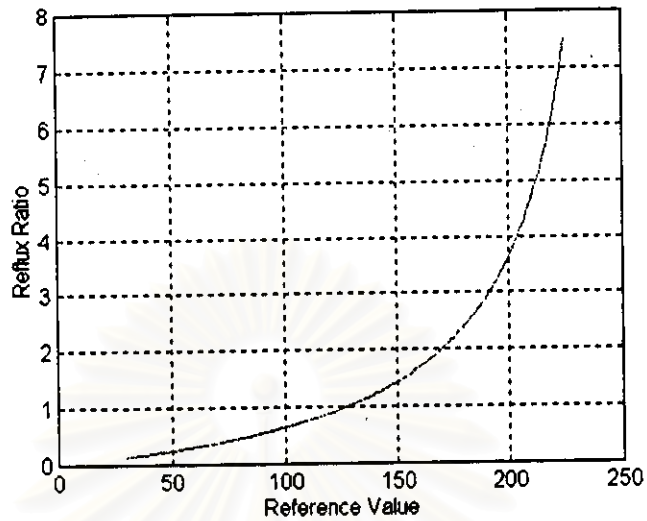
ก่อนใช้งานต้องเชื่อมต่อสายจากรีเลย์ไปยังช่องเสียบสีเหลืองของอุปกรณ์เชื่อมต่อหลัก และหมุนปุ่มเลือกการทำงานเฉพาะของการควบคุมการป้อนสารกลับยอดหอไปที่ "ON/OFF CONTROL" เพื่อให้อุปกรณ์เชื่อมต่อใช้สัญญาณจากรีเลย์ในการสั่งงานวาล์วโซลินอยด์

1. เนื่องจากวงจรที่สร้างขึ้นนี้เป็นวงจรต้นแบบไม่มีวงจรภาคแปลงไฟในตัว จึงต้องใช้ไฟเลี้ยงเป็นไฟตรงจากภายนอก มีข้อแนะนำเพื่อความปลอดภัยของวงจรคือก่อนจ่ายไฟเลี้ยงให้วงจรควรถอดสายไฟเลี้ยงออกจากวงจรที่สร้างขึ้นก่อน จากนั้นเปิดวงจรภาคจ่ายไฟและตรวจสอบให้แน่ใจว่าไฟเลี้ยงที่ได้เป็นไฟตรงขนาด 5 โวลต์ แล้วจึงต่อสายไฟเลี้ยงเข้ายังวงจรที่สร้างขึ้นนี้

2. การสั่งงานค่าอัตราส่วนการป้อนสารกลับ สามารถสั่งได้ตั้งแต่ 0 ถึง 255 โดยการเขียนค่าไปยังพอร์ตขนาน (พอร์ตหมายเลข 378H) ได้ทันที เครื่องคอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่คงค่า (hold) ค่าที่เขียนไปยังพอร์ตขนานนี้ให้เอง ค่าอัตราส่วนป้อนสารกลับยอดหอจะเท่ากับอัตราส่วนระหว่างเวลาที่รีเลย์เปิดและปิดซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าอ้างอิงที่สั่งจากคอมพิวเตอร์ดังนี้

$$R = \frac{V}{255 - V} \qquad \text{(ค.2)}$$

เมื่อ R คืออัตราส่วนการป้อนสารกลับยอดหอ V คือค่าอ้างอิงที่สั่งจากคอมพิวเตอร์ จากสมการ (ค.2) สามารถแสดงในรูปกราฟได้ดังรูปที่ ค.12 จะเห็นว่าช่วงค่าสัญญาณอ้างอิงที่เหมาะสมในการทำงานจะอยู่ในช่วงประมาณ 30 ถึง 230 ซึ่งได้ค่าอัตราส่วนการป้อนสารกลับยอดหอประมาณ 0.1 ถึง 7.5 ถ้าใช้ค่าสัญญาณอ้างอิงต่ำกว่า 30 จะทำให้อัตราส่วนการป้อนสารกลับยอดหอมีความไวต่อสัญญาณอ้างอิงน้อยมาก แต่ถ้าใช้ค่าสัญญาณอ้างอิงมากเกิน 230 จะทำให้อัตราส่วนการป้อนสารกลับยอดหอมีความไวต่อสัญญาณอ้างอิงมากเกินไป



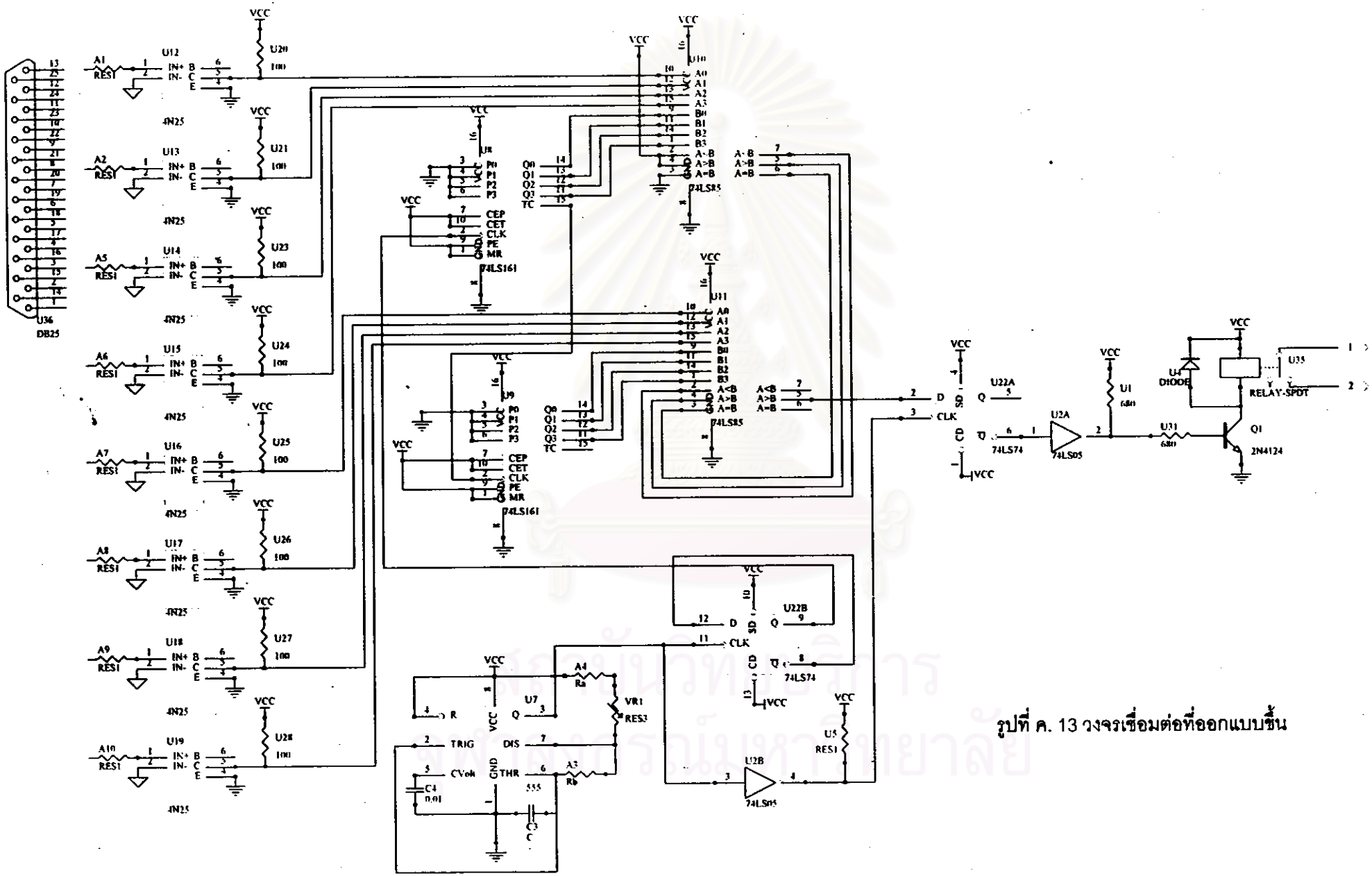
รูปที่ ค.12 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณค่าอัตราส่วนการป้อนสารกลับยอดหอกับอัตราส่วนการป้อนสารกลับยอดหอที่สั่งงานโดยวงจร

3. การปรับช่วงเวลารวมของการเปิด/ปิดครบ 1 รอบ ทำได้โดยผู้ควบคุมเป็นผู้ปรับเปลี่ยนค่าความต้านทาน VR1

รูปแสดงวงจรเชื่อมต่อที่ออกแบบ

รูปที่ ค.13 แสดงวงจรเชื่อมต่อที่ออกแบบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

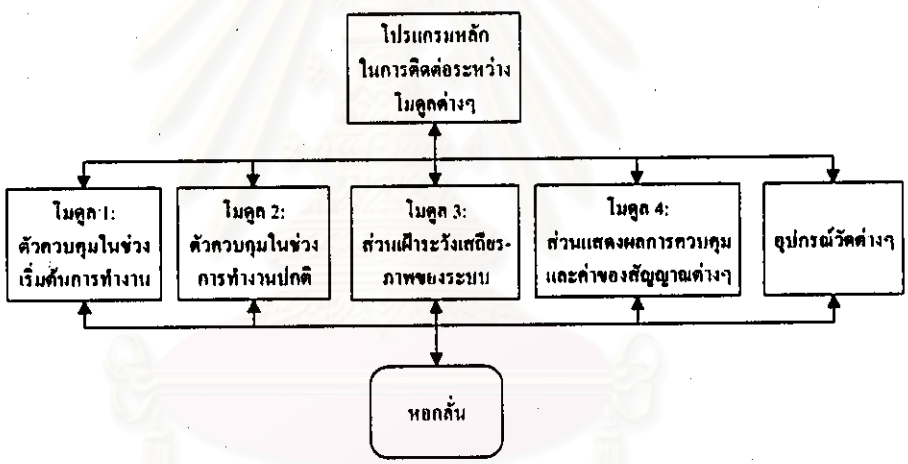


รูปที่ ค. 13 วงจรเชื่อมต่อที่ออกแบบขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง
โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

การพัฒนาระบบควบคุมการกลั่นแยกสารโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ประกอบด้วยส่วนต่างๆที่สำคัญได้แก่ โปรแกรมในส่วนของตัวควบคุม การติดต่อกับอุปกรณ์วัดและอุปกรณ์อื่นๆ การแสดงผลการควบคุม และการเฝ้าระวังความผิดพร่องซึ่งเป็นส่วนที่มีความสำคัญมากส่วนหนึ่ง เพราะทำให้ระบบควบคุมมีความปลอดภัยมากขึ้น โดยโปรแกรมส่วนนี้จะทำหน้าที่วิเคราะห์สัญญาณวัดที่สำคัญ เช่นอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆภายในหอกลั่น อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่อุปกรณ์ควบแน่น ระดับสารในหม้อต้มซ้ำ และความดันตกคร่อมหอกลั่นเป็นต้น ทั้งนี้เพื่อระบุถึงความผิดพร่องที่เกิดขึ้นหรือกำลังจะเกิดขึ้น เมื่อโปรแกรมตรวจพบความผิดพร่องจะแจ้งเตือนให้ผู้ปฏิบัติการทราบ



รูปที่ ง.1 โครงสร้างของโปรแกรมระบบควบคุมการกลั่นแยกสารที่พัฒนาขึ้น

โปรแกรมระบบควบคุมการกลั่นแยกสารที่พัฒนาขึ้นนี้จึงประกอบด้วยโมดูลต่างๆ ได้แก่

1. <u>ตัวควบคุมในช่วงเริ่มต้นการทำงาน</u> โปรแกรมส่วนนี้สามารถใช้ประโยชน์ในกรณีที่ตัวควบคุมหลักมีปัญหาเมื่อเริ่มทำงานจากจุดทำงานที่ห่างจากจุดทำงานปกติมาก เช่นการใช้ตัวควบคุมแบบ พีไอดีในวงรอบควบคุมอุณหภูมิบริเวณฐานหอตั้งแต่ตอนเริ่มกระบวนการกลั่น เนื่องจากผลตอบอุณหภูมิของระบบมีค่าคงที่เวลาที่ค่อนข้างนาน ดังนั้นส่วนอินทิเกรเตอร์ของตัวควบคุมจึงสะสมค่าไว้สูงมากเมื่อผลตอบเข้าสู่ค่ากำหนด ตัวควบคุมจึงส่งสัญญาณควบคุมซึ่งคือพลังงานความร้อนที่หม้อต้มซ้ำออกไปควบคุมระบบด้วยค่าที่สูงเกินไป พลังงานความร้อนค่าสูงนี้ทำให้เกิดฟองอากาศภายในชั้นต่างๆ การแก้ปัญหาทางหนึ่งคือการใช้ตัวควบคุมแยกกันระหว่างช่วงเริ่มกระบวนการกลั่นกับช่วงการทำงานปกติ เช่นอาจใช้ตัวควบคุมพีไอดีที่ปรับจูนพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับช่วงเริ่มกระบวนการกลั่นเป็นต้น

2. ตัวควบคุมในช่วงการทำงานปกติ ตัวควบคุมที่โปรแกรมเตรียมไว้ให้ใช้มี 3 แบบได้แก่แบบปรับด้วยผู้ปฏิบัติการ (Manual) แบบตัวควบคุมพีไอดีและแบบตัวควบคุมพีไอดีที่กำกับดูแลโดยตรรกฟัซซี

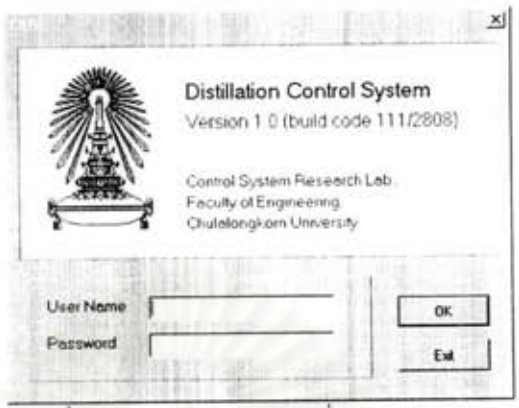
การควบคุมแบบปรับด้วยผู้ปฏิบัติการ จะเป็นการปรับตั้งค่าสัญญาณควบคุมพลังงานที่หม้อต้มซ้ำและอัตราป้อนสารกลับยอดหอ โดยการตัดสินใจของผู้ปฏิบัติการ

การควบคุมโดยตัวควบคุมพีไอดี พารามิเตอร์ของตัวควบคุมกำหนดโดยผู้ปฏิบัติการ ตัวควบคุมพีไอดีนี้มี 2 วงรอบได้แก่วงรอบการควบคุมที่ยอดหอและวงรอบการควบคุมที่ฐานหอ ทั้ง 2 วงรอบสามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมได้อิสระจากกัน

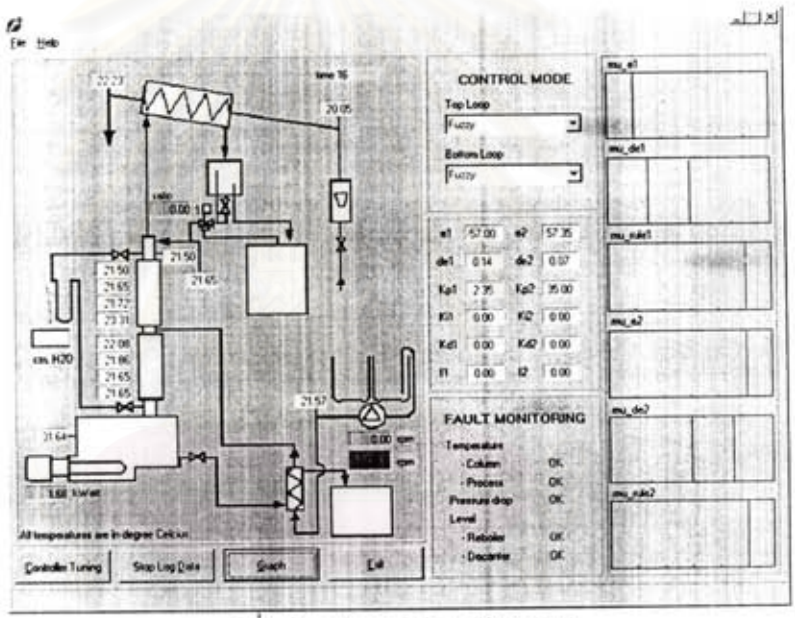
การควบคุมแบบพีไอดีที่กำกับดูแลโดยฟัซซี ตัวควบคุมตรรกฟัซซีจะทำหน้าที่ปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี โดยมีวัตถุประสงค์คือเพื่อให้สามารถทำงานได้ในย่านการทำงานที่กว้างขึ้นและสามารถลดผลของการรบกวนได้ดีขึ้นกว่าการใช้ตัวควบคุมพีไอดีปกติธรรมดา รายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบตัวควบคุมตรรกฟัซซีสามารถดูได้ในบทที่ 2

3. ส่วนเฝ้าระวังเสถียรภาพของระบบ โปรแกรมจะแจ้งเตือนเมื่อค่าอุณหภูมิ ความดัน หรือระดับสาร มีค่าเกินออกไปจากช่วงค่าที่ได้กำหนดไว้ เช่นเมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงกว่า 150 องศาเซลเซียส หรือระดับสารในหม้อต้มซ้ำต่ำเกินไปเป็นต้น อย่างไรก็ตามเนื่องจากส่วนเฝ้าระวังนี้ใช้วิธีการตรวจสอบค่าขอบเขต จึงสามารถแจ้งเตือนได้เมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นแล้วเท่านั้น ไม่สามารถเตือนถึงความผิดพร่องที่มีแนวโน้มว่ากำลังจะเกิดขึ้นได้ เช่นในกรณีที่กำลังจะเกิดการท่วมภายในหอกลั่น หากความดันตกคร่อมภายในหอค่อยๆมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากค่าที่สภาวะปกติ โปรแกรมจะยังไม่สามารถแจ้งเตือนได้จนกว่าค่าความดันตกคร่อมจะเกินกว่าค่าสูงสุดที่กำหนดไว้เสียก่อน การพัฒนาระบบเฝ้าระวังเสถียรภาพและความผิดพร่องที่มีความสมบูรณ์กว่านี้จึงต้องมีการศึกษาพัฒนาต่อไป ซึ่งอยู่เกินขอบเขตของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

4. ส่วนแสดงผลการควบคุมและค่าของสัญญาณต่างๆ เพื่อให้การสังเกตผลการควบคุมและการปรับจูนตัวควบคุมสามารถทำได้ง่าย โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจึงมีส่วนติดต่อกับผู้ใช้ดังแสดงในรูปที่ ง.2 ถึงรูปที่ ง.8

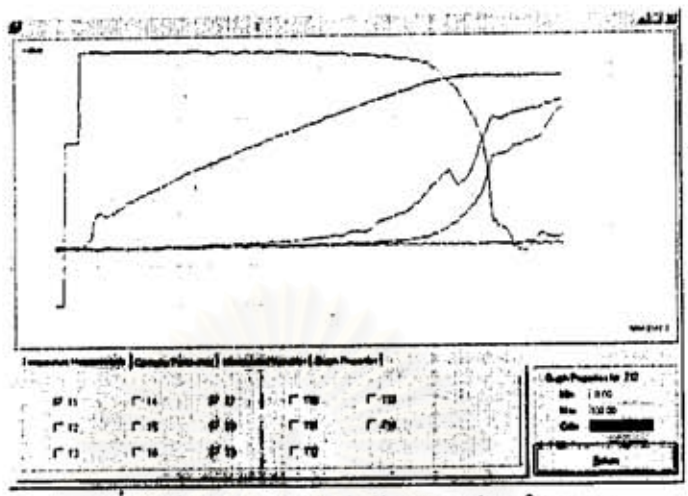


รูปที่ ง.2 การป้อนรหัสผ่านเพื่อเข้าสู่โปรแกรม

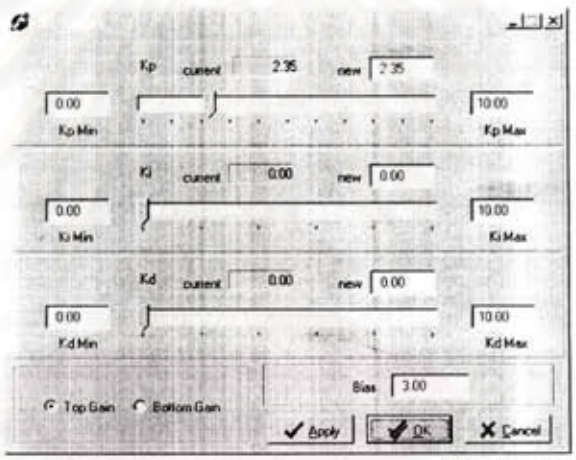


รูปที่ ง.3 หน้าจอหลักของโปรแกรม

ในหน้าจอหลักเป็นการแสดงข้อมูลต่างๆ ได้แก่อุณหภูมิทุกตำแหน่งของหอกลั่น สัญญาณควบคุม ชนิดของตัวควบคุมที่กำลังปฏิบัติงานอยู่ ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี ค่าฟังก์ชันภาวะสมาชิกในกรณีใช้ตัวควบคุมตรรกฟัซซีเพื่อกำกับดูแล และการแสดงการเฝ้าระวังความผิดพร่องของระบบ เนื่องจากใช้มาตรความดันของไหลในการวัดความดันตกคร่อมหอกลั่นจึงไม่สามารถอ่านค่าเข้ามายังโปรแกรมโดยตรงได้ ในที่นี้จึงเปิดโอกาสให้ผู้ใช้โปรแกรมป้อนข้อมูลความดันตกคร่อมหอกลั่นเข้าสู่โปรแกรมได้ โดยป้อนที่ช่องสีฟ้าใต้รูปมาตรคววมดันของไหล

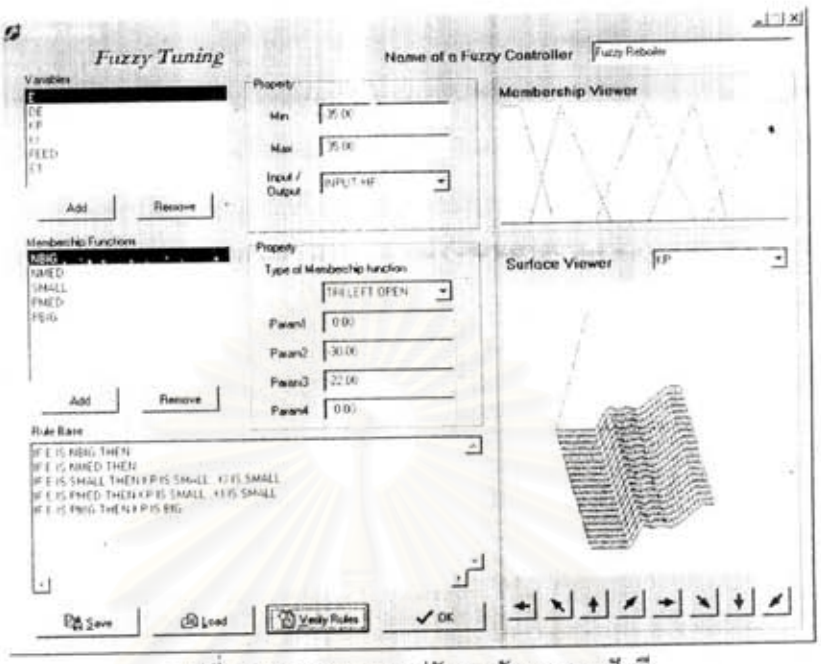


รูปที่ ง.4 โมดูลการแสดงค่าสัญญาณต่างๆในระบบ



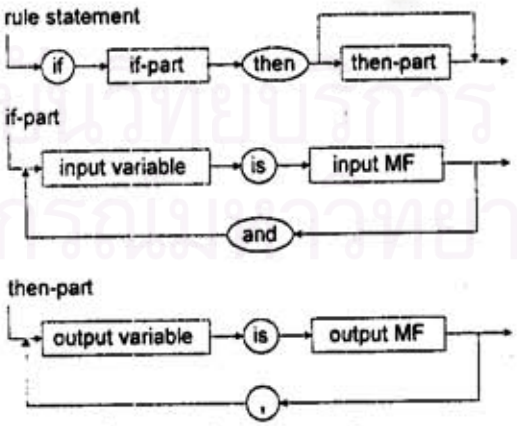
รูปที่ ง.5 การปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดีโดยผู้ปฏิบัติการ

เนื่องจากโครงสร้างการควบคุมระบบแบ่งตัวควบคุมออกเป็นสองวงรอบได้แก่วงรอบการควบคุมยอดหอซึ่งวัดสัญญาณวัดคืออุณหภูมิยอดหอ (T1) แล้วคำนวณสัญญาณควบคุมคืออัตราการป้อนสารกลับยอดหอ และวงรอบการควบคุมฐานหอซึ่งวัดสัญญาณวัดคืออุณหภูมิฐานหอ (T8) แล้วคำนวณสัญญาณควบคุมคือพลังงานที่จ่ายให้แก่หม้อต้มซ้ำ ในการปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดีจึงออกแบบให้เลือกได้ว่าต้องการปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของวงรอบยอดหอหรือฐานหอ และสามารถกำหนดค่าขอบเขตของพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัวได้



รูปที่ ง.6 การออกแบบปรับจูนตัวควบคุมฟัซซี

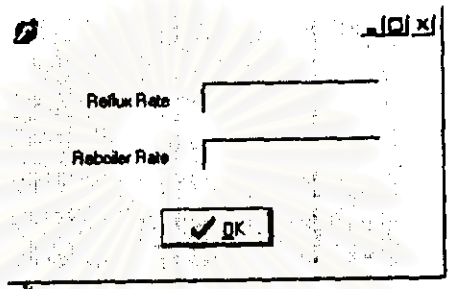
ในการออกแบบตัวควบคุมฟัซซีในที่นี้จะเกี่ยวข้องกับการกำหนดตัวแปรเชิงภาษาเข้าและตัวแปรเชิงภาษาออก กำหนดลักษณะของฟังก์ชันภาวะสมาชิกสำหรับแต่ละตัวแปรเชิงภาษาและการกำหนดฐานกฎการควบคุม รูปแบบไวยากรณ์ของกฎการควบคุมแสดงในรูปที่ ง.7 ผู้ออกแบบสามารถตรวจสอบผลการออกแบบในเบื้องต้นได้โดยการพิจารณาจากแผนภาพพื้นผิวของตัวแปรเชิงภาษาออก ในรูปที่ ง.6 แสดงแผนภาพพื้นผิวของ K_p ในกรณีที่กำหนดให้พารามิเตอร์ K_p และ K_i เป็นตัวแปรเชิงภาษาออก



รูปที่ ง.7 แผนภาพไวยากรณ์ของแต่ละกฎในฐานกฎการควบคุม

ในการออกแบบฐานกฎการควบคุมได้ใช้วิธีการระบุในรูปกฎ IF-THEN จากรูปที่ ง.7 จะเห็นว่ากฎการควบคุมจะประกอบด้วย 2 ส่วนคือส่วนเงื่อนไข (IF-part) และส่วนผลลัพธ์ (THEN-part) ทั้ง 2 ส่วน

สามารถอ้างถึงตัวแปรเชิงภาษาได้ไม่จำกัด ขึ้นกับจำนวนตัวแปรเชิงภาษาที่มีอยู่จริง ข้อดีของการเขียนฐานกฎโดยวิธีนี้คือสามารถเขียนฐานกฎได้กระชับ เพราะลดการเขียนกฎที่ซ้ำซ้อนลงได้ และยังสามารถอ้างถึงตัวแปรเชิงภาษาชาเข้าได้มากกว่าและสะดวกกว่าการเขียนในรูปตารางฐานกฎการควบคุมด้วย ทำให้มีความคล่องตัวที่จะปรับฐานกฎให้ใช้งานอื่นได้เช่นการเพิ่มกฎเกี่ยวกับการป้อนไปข้างหน้าเป็นต้น



รูปที่ ง.8 การตั้งค่าสัญญาณควบคุมในการควบคุมแบบวงรอบเปิด

เมื่อผู้ใช้โปรแกรมเลือกการควบคุมเป็นแบบวงรอบเปิด ก็สามารถตั้งค่าสัญญาณควบคุมได้โดยป้อนค่าเข้าในฟอร์มดังรูปที่ ง.8

5. <u>ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์เชื่อมต่อ</u> ทำหน้าที่ติดต่อกับอุปกรณ์เชื่อมต่อทางอิเลคทรอนิคส์ผ่านทางแผ่นวงจรแปลงสัญญาณ รายละเอียดโปรดดูจากภาคผนวก ค

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นายกฤติชัย ธาราธรรมาธิกรณ์ เกิดวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2518 ที่กรุงเทพมหานคร เป็นบุตรของนายทัศนะ และนางแสงเดือน ธาราธรรมาธิกรณ์ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2539 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2540 โดยได้รับทุนอุดหนุนการศึกษาจากโครงการศิษย์ก้นกุฏิ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย