

บทที่ 9

แบบจำลองและซิมูเลชัน

ปัจจุบันแบบจำลอง (model) ได้ถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหอย่างกว้างขวาง รวมไปถึงการนำมาใช้ในกระบวนการทางชีวภาพ(Bioprocess) ทั้งนี้เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ และต้นทุนการผลิตที่ต่ำ ซึ่งเดิมการพัฒนากระบวนการทางชีวภาพ เช่น การพัฒนาอาหารเลี้ยงเชื้อนั้น ต้องอาศัยการลองผิดลองดีและความชำนาญ จึงใช้จำนวนของการทดลองเป็นจำนวนมาก ในบางครั้งอาจมีการปรับปรุงโดยการนำเอาวิธีการทางสถิติมาใช้ในการออกแบบการทดลองหรือการประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งจะช่วยให้สามารถลดต้นทุนและระยะเวลาที่ใช้ลงได้ เนื่องจากสามารถลดจำนวนหน่วยที่ต้องใช้ในการทดลอง โดยข้อมูลที่ได้ยังคงเป็นที่ยอมรับ เนื่องจากมีการใช้สถิติในการพิจารณาผลที่ได้ในการทดลอง นอกจากนี้ยังมีการปรับปรุงการทดลองเพื่อทำให้สามารถลดจำนวนหน่วยทดลองลงไป โดยใช้วิธีที่เรียกว่า การออกแบบการทดลองโดยใช้แบบจำลอง (model-base experiment design) ซึ่งเป็นการอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆโดยการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะช่วยสนับสนุนการทดลอง และทำให้จำนวนหน่วยที่ใช้ในการทดลองและต้นทุนลดลง แต่ยังคงให้ผลการทดลองที่เหมือนกับการทดลองที่ไม่ได้ใช้แบบจำลอง ซึ่งจะสามารถทำให้งานวิจัยในกระบวนการทางชีวภาพนี้มีการพัฒนาไปได้อย่างรวดเร็ว

แบบจำลอง (Model)

แบบจำลอง มีความหมายโดยทั่วไปได้ 3 แบบ คือ

ความหมายในแง่ของต้นแบบ(Prototype) อาจเป็นแบบจำลองของจริงหรือการจำลองสถานการณ์ ถ้าเป็นแบบจำลองของจริง จะมีการสร้างแบบที่เหมือนของจริงทุกอย่างทั้งองค์ประกอบภายในและภายนอก แต่สัดส่วนของขนาดจะถูกย่อส่วนหรือขยายส่วน ถ้าเป็นแบบจำลองของสถานการณ์ในบางครั้งอาจจำเป็นต้องลดตัวแปรที่ไม่สำคัญบางตัวลง แต่ส่วนใหญ่จะพยายามคงตัวแปรทุกตัวไว้ให้คงเหมือนสถานการณ์จริง เพียงแต่ลดขนาดของการเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับตัวแปรเหล่านั้น

ความหมายในแง่ตัวแบบ (Mould) จะเหมือนกับการเป็นตัวแบบหรือเบ้าหลอมที่จะหลอมของหลายๆอย่างที่แตกต่างกันให้สามารถอยู่ภายใต้กฎเกณฑ์อย่างเดียวกัน เช่น การเคลื่อนที่ภายใต้แรงเสียดทานกับการทำงานของกระแสไฟฟ้าสลับ ซึ่งสามารถใช้เหตุการณ์ทั้งสองมาศึกษาหรืออธิบายภายใต้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือสมการเชิงอนุพันธ์สามัญอันดับสองได้

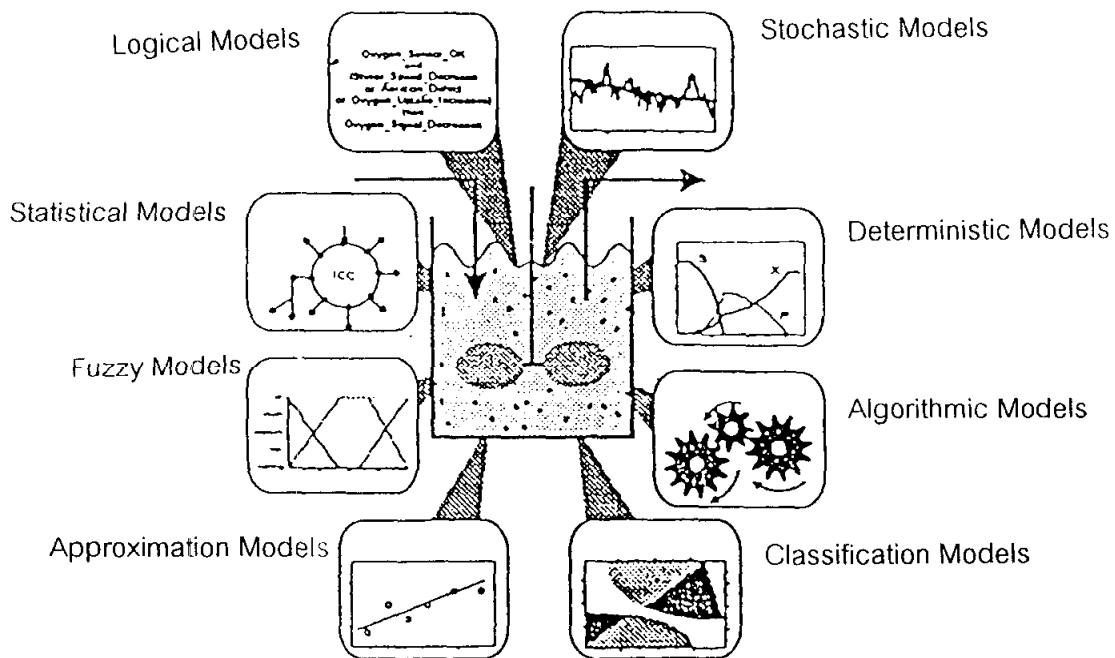
ความหมายในแง่ของรูปแบบ (Forms) หรือแบบแผน (Formats) ในกรณีเช่นนี้ เช่น การใช้ทรงกลมเป็นแบบจำลองของโลก หรือการเคลื่อนที่บนทางโค้งรัศมี a ของรถยนต์ขนาดเล็กต่างมีแบบจำลองที่มีรูปแบบเป็นการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่วิ่งบนวงกลมรัศมี a โดยมีจุดศูนย์กลางของรถยนต์เป็นอนุภาคนั้น

แบบจำลองสำหรับกระบวนการหมัก (Fermentation process model)

การสร้างสมการหรือแบบจำลองเพื่ออธิบายกลไกต่างๆที่เกิดขึ้นในกระบวนการทางชีวภาพ ไม่ว่าจะเป็นที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ หรือเซลล์ในถังหมักในรูปแบบต่างๆนั้น จะต้องทำความเข้าใจถึงพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องหรือส่วนต่างๆที่มีความสัมพันธ์กันในลักษณะต่างๆกันก่อน จึงจะสามารถสร้างสมการหรือแบบจำลองนั้นได้ แบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้ถ้าสามารถคำนวณแล้วให้ผลที่เหมือนหรือใกล้เคียงกับผลการทดลองแล้ว จะทำให้แบบจำลองนี้มีประโยชน์ที่จะนำไปใช้งานทั้งการออกแบบและการวางแผนการทดลอง ตลอดจนการใช้ทำนายหรือการคาดการณ์ในปรากฏการณ์ต่างๆหรือการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างการผลิตแบบจำลองที่นิยมใช้ในกระบวนการทางชีวภาพ มีดังนี้

1. Deterministic Models เป็นแบบจำลองที่แสดงถึงการใช้สารอาหาร การเจริญของเซลล์ และการสร้างผลิตภัณฑ์ ซึ่งมักจะแสดงในรูปสมการเชิงอนุพันธ์ (differential equation) และสมการพีชคณิต (algebraic equation) โดยแบบจำลองชนิดนี้ใช้เทคนิคการสร้างเส้นโค้งที่เหมาะสม (curve fitting) เพื่อใช้ในการทำนายและควบคุมสภาวะที่เหมาะสม สำหรับตัวอย่างการใช้แบบจำลองนี้ เช่น โปรแกรม ISIM (Interactive Simulation Language)
2. Stochastic Models เป็นแบบจำลองที่สามารถนำมาใช้ได้หลายแนวทาง โดยการประยุกต์จากทฤษฎี Stochastic dynamical systems ซึ่งจะนำมาใช้ในการควบคุมแบบป้อนย้อนกลับ เป็นต้น

3. Statistical Models เป็นแบบจำลองที่อาศัยวิธีการต่างๆทางสถิติ โดยการนำมาใช้ในกระบวนการประมาณค่าที่ได้จากสมมูลของเมแทบอลิซึม ซึ่งไม่สามารถตรวจวัดได้ทางปริมาณหรือการวิเคราะห์ส่วนที่เกินหรือเพิ่มเติมขึ้นมา
4. Classification Models เป็นแบบจำลองที่นำมาใช้ในการแยกประเภทของข้อมูล สำหรับการตรวจวัดในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลง ในกรณีนี้ที่เครื่องวัด (sensor) ไม่สามารถตรวจวัดได้
5. Approximation Models เป็นแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณค่าฟังก์ชันต่างๆ เช่น พอลิโนเมียล(polynomials) สมการถดถอยแบบไม่มีพารามิเตอร์ (nonparametric regressors) เป็นต้น
6. Logical Models แบบจำลองนี้บางส่วนจะถูกนำมาแสดงในรูปของตรรกศาสตร์แคลคูลัส (logical calculus) ซึ่งสามารถนำมาใช้วิเคราะห์ระบบ หรือใช้วินิจฉัยและทำนายผลที่ได้
7. Fuzzy Models เป็นแบบจำลองที่ใช้ทฤษฎี Fuzzy ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับ Fuzzy model, Fuzzy logic และ Fuzzy control เป็นต้น
8. Algorithmic และ Heuristic Models เป็นแบบจำลองกลไกหรือส่วนประกอบของระบบ ซึ่งส่วนใหญ่สามารถแสดงได้ง่าย โดยคำสังขุดที่อธิบายด้วยภาษาคอมพิวเตอร์บางภาษา

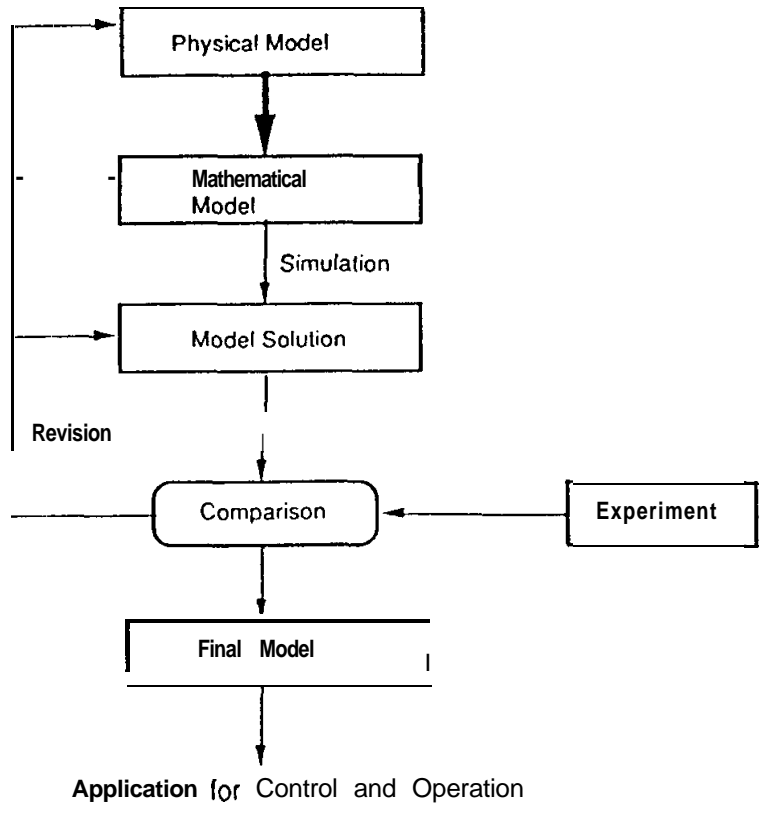


รูปที่ 76 แสดงแบบจำลองแบบต่างๆที่นำมาใช้ในกระบวนการทางชีวภาพ

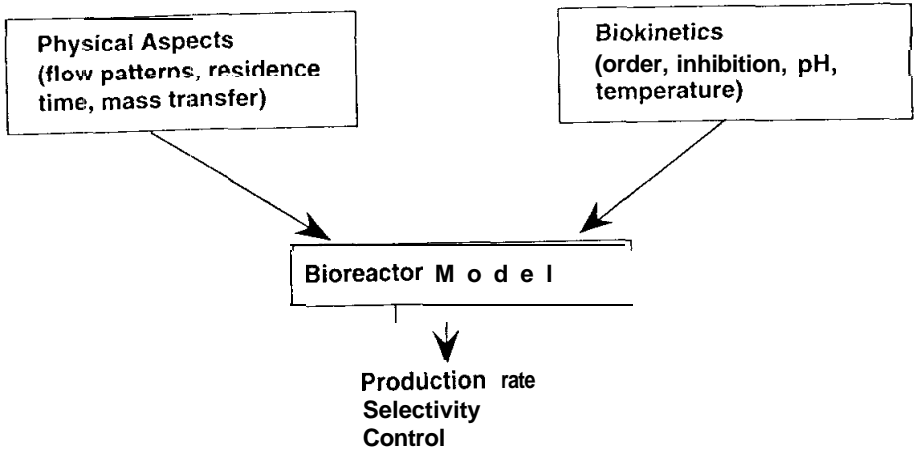
ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองในกระบวนการทางชีวภาพ

การสร้างแบบจำลองแสดงได้ดังรูปที่ 77 ซึ่งมีขั้นตอนที่สำคัญดังนี้

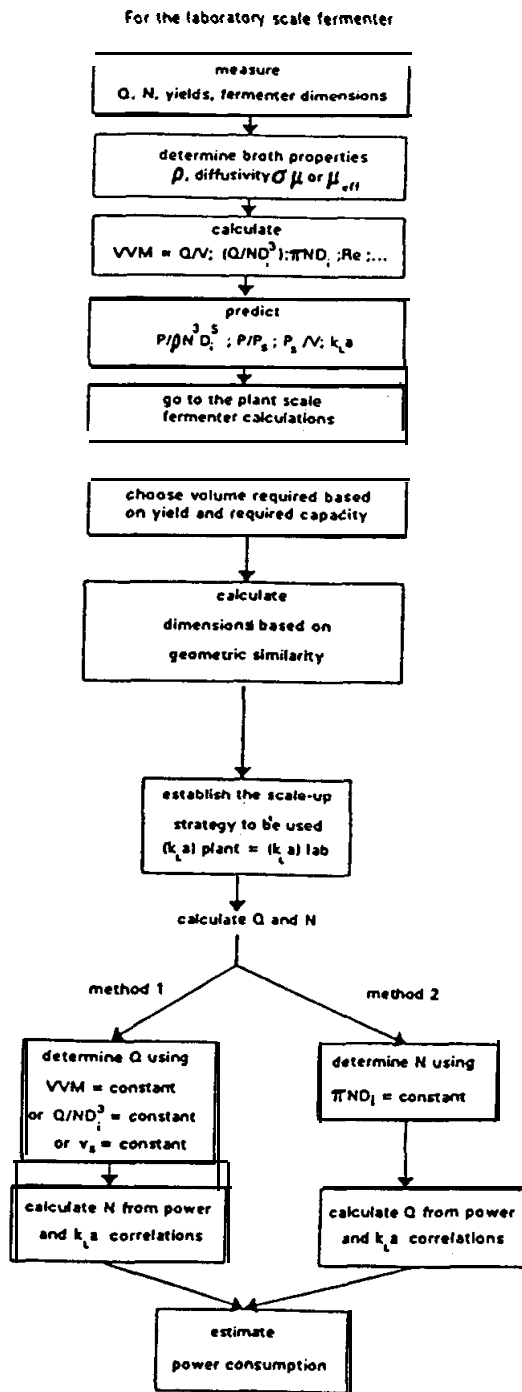
1. การกำหนดปัญหา (definition of the problem) ขั้นตอนแรกของการสร้างแบบจำลอง คือ การกำหนดปัญหา โดยการพิจารณาจากแบบจำลองทางกายภาพ (physical models) ที่เกี่ยวข้องรวมถึงการกำหนดวัตถุประสงค์ของสถานการณ์นั้น
2. การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (formulation in mathematical models) เมื่อได้แบบจำลองทางกายภาพแล้ว จึงเปลี่ยนให้อยู่ในรูปความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นรูปที่เข้าใจได้ง่าย เช่น สมการเส้นตรง เป็นต้น
3. การสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (computer models) เนื่องจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ของกระบวนการทางชีวภาพมีความซับซ้อนมากและยากต่อการคำนวณ โดยทั่วไปบางครั้งจึงจำเป็นต้องสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์มา เพื่อให้ปฏิบัติการได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น รูปแบบที่นิยมสร้างจะเป็นการใช้ภาษาทางคอมพิวเตอร์ เช่น Digital simulation languages
4. การจำลองสถานการณ์และการแสดงผล (simulation and solution) เป็นการจำลองสถานการณ์และทดสอบ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นและแสดงผลออกมาในรูปกราฟหรือตาราง
5. การเปรียบเทียบผล (comparison) เป็นการนำผลที่ได้จากแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง ถ้าพบว่าผลที่ได้ไม่ถูกต้องให้ย้อนกลับไปทำขั้นตอนก่อนหน้าในขั้นตอนที่คาดว่าจะสาเหตุของข้อผิดพลาด ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่เกิดขึ้นในขั้นตอนที่ 1 2 3 หรือ 4 ก็ได้



รูปที่ 77 แสดงขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองโดยทั่วไป



รูปที่ 78 แสดงพารามิเตอร์ที่ต้องคำนึงถึงในการสร้างแบบจำลองของถังหมัก



รูปที่ 79 แสดงแบบจำลองในการคำนวณพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อการขยายขนาด

การออปติไมเซชัน (Optimization)

กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการหมักนั้นมีอัตราการผลิต และการแข่งขันสูงและเพิ่มขึ้นในแต่ละปี กระบวนการควบคุมกระบวนการหรือการปรับปรุงการปฏิบัติงานของกระบวนการต่างๆให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดจึงเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีความสำคัญ ออปติไมเซชันเป็นกระบวนการที่ประกอบไปด้วยการวางแผน และการตัดสินใจทางวิทยาศาสตร์ เพื่อการหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา โดยสิ่งที่มักพิจารณาในกระบวนการออปติไมเซชัน คือ

1. ทางด้านเศรษฐศาสตร์

1.1 เพื่อเพิ่มผลกำไรให้ได้มากที่สุด

1.2 เพื่อลดค่าใช้จ่ายให้มีค่าต่ำที่สุด ทั้งค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้พลังงาน และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

1.3 เพื่อใช้วัตถุดิบที่มีอยู่ให้คุ้มค่าที่สุด

2. ทางด้านเทคโนโลยี

2.1 เพื่อให้ได้การดำเนินงานที่ดีที่สุด

2.2 เพื่อเพิ่มปริมาณ และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้

2.3 เพื่อให้การหยุดชะงักของการปฏิบัติการของกระบวนการมีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อยที่สุด

ส่วนประกอบที่สำคัญในการออปติไมเซชัน

1. แบบจำลองของกระบวนการ

การออปติไมเซชันสามารถใช้ได้โดยตรงกับกระบวนการจริงเพื่อหาจุดที่เหมาะสมได้ต้องมีระบบการวัดที่ดี ถูกต้องและรวดเร็ว และสามารถยอมให้มีการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการเพื่อหาจุดที่เหมาะสมได้ โดยเฉพาะพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อกระบวนการ ทั้งหมดโดยรวม ในทางปฏิบัตินิยมใช้แบบจำลองกระบวนการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งการเข้าใจในแบบจำลองกระบวนการนี้จะทำให้สามารถสร้างออบเจกทีฟฟังก์ชัน (objective function) และกำหนดขอบเขตของข้อจำกัด (constraint) ได้ นอกจากนั้นยังสามารถใช้แบบจำลองกระบวนการที่สร้างขึ้นในการซิมูเลท (simulate) เพื่อหาจุดที่เหมาะสมของแบบจำลองและกระบวนการได้ด้วย

2. ออปเจกทีฟฟังก์ชัน

การทำออปติไมเซชันได้ จะต้องทราบความสัมพันธ์ระหว่างการทำงานของกระบวนการกับสภาวะของการดำเนินการ ตลอดจนข้อมูลของตัวแปรต่างๆที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการทำออปติไมเซชัน

3. ข้อจำกัด

ในแต่ละกระบวนการจะพบว่ามีข้อจำกัดของการทำงาน ซึ่งข้อจำกัดเหล่านี้จะเป็นสิ่งที่ใช้ในการกำหนดขอบเขตของกระบวนการ ซึ่งอาจแบ่งได้เป็นข้อจำกัดภายนอก (external restriction) เช่น สมดุลของมวลสารและพลังงาน ส่วนข้อจำกัดภายใน (internal restriction) เช่น คุณสมบัติของสาร เช่น อุณหภูมิ ความดัน เป็นต้น เมื่อพิจารณาผลกระทบที่มีต่อจุดที่เหมาะสมแล้ว อาจแบ่งได้เป็น Active constraints ในกรณีเช่นนี้แสดงว่าเมื่อมีการเปลี่ยนค่าของข้อจำกัดไปแล้ว จะมีผลทำให้จุดที่เหมาะสมเปลี่ยนไป ส่วน Inactive constraints เป็นกรณีที่ข้อจำกัดไม่มีผลต่อจุดที่เหมาะสม

4. ตัวแปรตัดสินใจ

ตัวแปรตัดสินใจ (decision variable) เป็นตัวแปรที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าแล้ว จะมีผลทำให้ค่าของออปเจกทีฟฟังก์ชันเปลี่ยนไป ในการทำออปติไมเซชันจะเปลี่ยนค่าตัวแปรตัดสินใจเพื่อหาค่าสูงสุดหรือต่ำสุดของออปเจกทีฟฟังก์ชัน และตัวแปรตัดสินใจยังใช้เป็นค่าที่ต้องการหรือ set point ในระบบการควบคุมกระบวนการด้วย

5. ออปติไมเซชันอัลกอริทึม

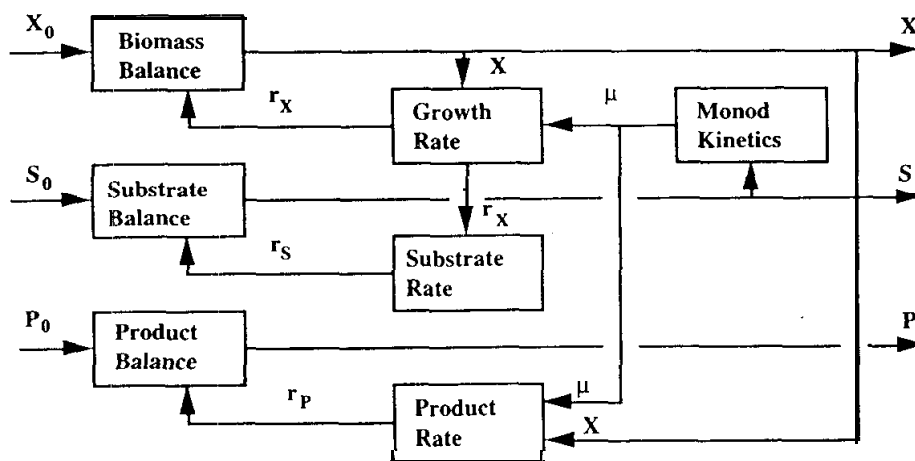
ออปติไมเซชันอัลกอริทึม (optimization algorithm) จะใช้แบบจำลองของกระบวนการและออปเจกทีฟฟังก์ชันในการกำหนดจุดที่ต้องการ และจุดที่เหมาะสมใหม่ของกระบวนการ

โปรแกรมสำเร็จรูป ISIM

โปรแกรมสำเร็จรูป ISIM (Interactive Simulation Language) เป็นโปรแกรมที่เขียนขึ้นโดยการใช้ภาษาฟอร์แทนที่มีการแก้ไขและพัฒนาจากมหาวิทยาลัย Salford ประเทศอังกฤษ ซึ่งมีรากฐานมาจากภาษา CSSL (Continuous System Simulation Language) โดย

การแบ่งแต่ละส่วนของโปรแกรมเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกหรือที่เรียกว่า Initial จะใช้ในการกำหนดค่าคงที่หรือค่าเริ่มต้น ส่วนถัดมาหรือที่เรียกว่า Dynamic จะเป็นสมการหรือความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกัน และส่วนสุดท้ายที่เรียกว่า Terminal นั้น จะเป็นการแสดงลักษณะของผลการคำนวณที่ได้ โดยการเก็บหรือการเตรียมผลลัพธ์ของแต่ละค่าที่ได้ด้วยคำสั่ง prepare และค่าต่างๆเหล่านั้นจะถูกแสดงออกเป็นกราฟออกมาด้วยคำสั่ง graph

ในกระบวนการหมักนั้น การเข้าใจความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างเซลล์ สับสเตรต และผลิตภัณฑ์ จะทำให้สามารถนำมาสร้างสมการที่เกี่ยวข้องได้ โดยการทำให้สมดุลของมวล ในกรณีที่ขอบเขตที่ใช้ในการพิจารณาจำกัดเฉพาะกรณีที่ผลิตภัณฑ์ถูกสร้างมาพร้อมกับการเจริญของเชื้อแล้ว



สมดุลมวล

$$\text{อัตราการสะสม} = \text{อัตราการสร้าง}$$

สมดุลของเซลล์

$$V \frac{dX}{dt} = r_x V$$

หรือ

$$\frac{dX}{dt} = r_x$$

สมมูลของสับสเตรต

$$\frac{V dS}{dt} = r_s V$$

หรือ

$$\frac{dS}{dt} = r_s$$

สมมูลของผลิตภัณฑ์

$$\frac{V dP}{dt} = r_p V$$

หรือ

$$\frac{dP}{dt} = r_p$$

จลนพลศาสตร์ของเซลล์

$$r_x = \mu X$$

และ

$$\mu = \frac{\mu_m S}{(K_s + S)}$$

$$r_s = \frac{-\mu}{Y_{X/S}}$$

$$r_p = (k_1 + k_2 \mu) X$$

การใช้โปรแกรม ISIM สามารถเรียกได้จาก ดอส (DOS)

A:\> cd \isim และตามด้วยการพิมพ์ isimprg

โปรแกรม Batferm ซึ่งเป็นกระบวนการหมักแบบเบซท์

```
1 :FILE,    BATFERM
2 :  BATCH  GROWTH  WITH  PRODUCT  FORMATION
3 CONSTANT  UM=0.3,  KS=0.1,  K1=0.03,  K2=0.08,  Y=0.8
4 CONSTANT  CINT=2,  TFIN  =40
5 1 SIM;  INTERACT;  RESET;  GOT0  1
6 INITIAL,
7 X=0.01
8 S=10
9 P=0
10 DYNAMIC
11 X'=RX                :  BIOMASS  BALANCE
12 S'=RS                :  SUBSTRATE  BALANCE
13 P'=RP                :  PRODUCT  BALANCE
14 RX=U*X               :  BIOMASS  RATE  EQUATION
15 U=UM*S/(KS+S)       :  MONOD  EQUATION
16 RS=-RX/Y            :  SUBSTRATE  RATE  EQUATION
17 RP=(K1+K2*U)*X      :  PRODUCT  RATE  EQUATION
18 IF (S.LT.0.0) S=0.0
19 PLOT  T,P,0,40,0,6
20 OUTPUT  T,S,X,P
21 PREPARE  T,X,S,P
```

โดยที่ k_1 และ k_2 เป็นค่าคงที่ของการเกิดผลิตภัณฑ์ (1/h และ kg/kg) ตามลำดับ

K_S เป็นค่าคงที่อิ่มตัว (kg/m^3)

P เป็นความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ (kg/m^3)

r เป็นอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยา ($\text{kg/m}^3 \text{ h}$)

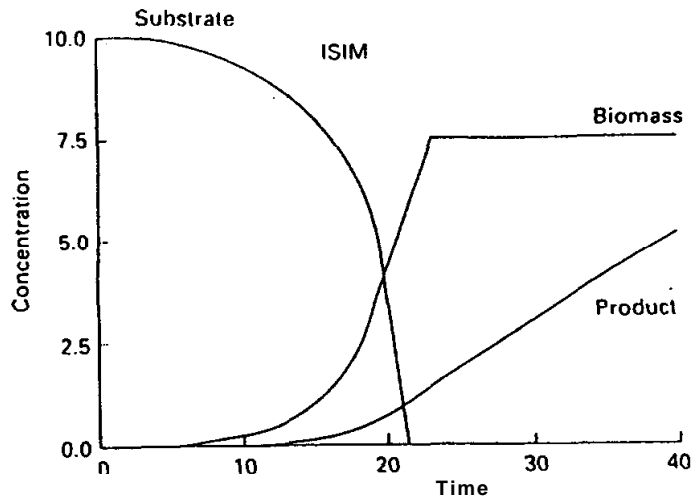
S เป็นความเข้มข้นของสับสเตรต (kg/m^3)

V เป็นปริมาตรของถังหมัก (m^3)

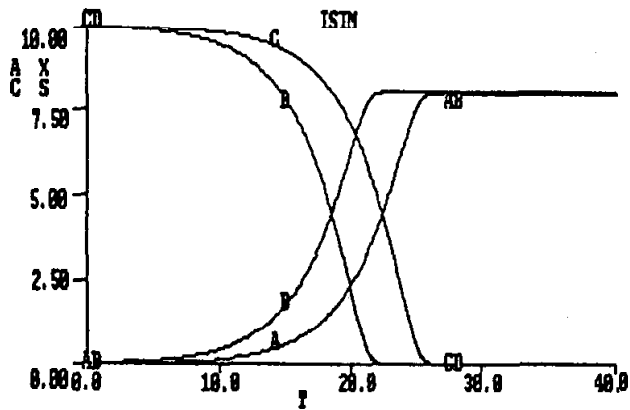
X เป็นความเข้มข้นของเซลล์ (kg/m^3)

Y เป็นผลได้ของเซลล์จากสารอาหาร (kg / kg)

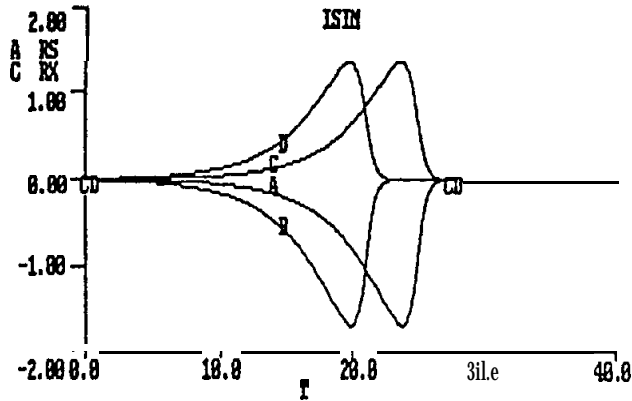
U เป็นอัตราการเจริญจำเพาะ (1/h)



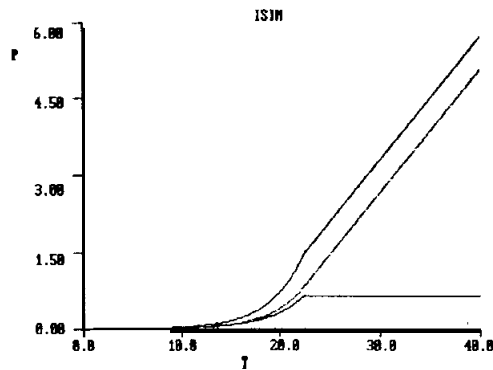
รูปที่ 80 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเซลล์ (X) ปริมาณสับสเตรต (S) และปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ (P) ที่เวลาต่างๆ จากโปรแกรม Batferm



รูปที่ 81 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเซลล์ และปริมาณสับสเตรตที่เวลาต่างๆ เมื่อปริมาณเซลล์เริ่มต้นเป็น 0.01 และ 0.03 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากโปรแกรม Batferm



รูปที่ 82 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอัตราการใช้สับสเตอร์ต (dS/dt) กับอัตราการเจริญ (dX/dt) ที่เวลาต่างๆ เมื่อปริมาณเซลล์เริ่มต้นเป็น 0.01 และ 0.03 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากโปรแกรม Batferm



รูปที่ 83 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ของการเกิดผลิตภัณฑ์ (k_1 และ k_2) ต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ที่เวลาต่างๆ
 เมื่อเส้น A มี k_1 และ k_2 เป็น 0.03 และ 0.08 ตามลำดับ
 เส้น B มี k_1 และ k_2 เป็น 0.0 และ 0.08 ตามลำดับ
 เส้น C มี k_1 และ k_2 เป็น 0.03 และ 0.0 ตามลำดับ

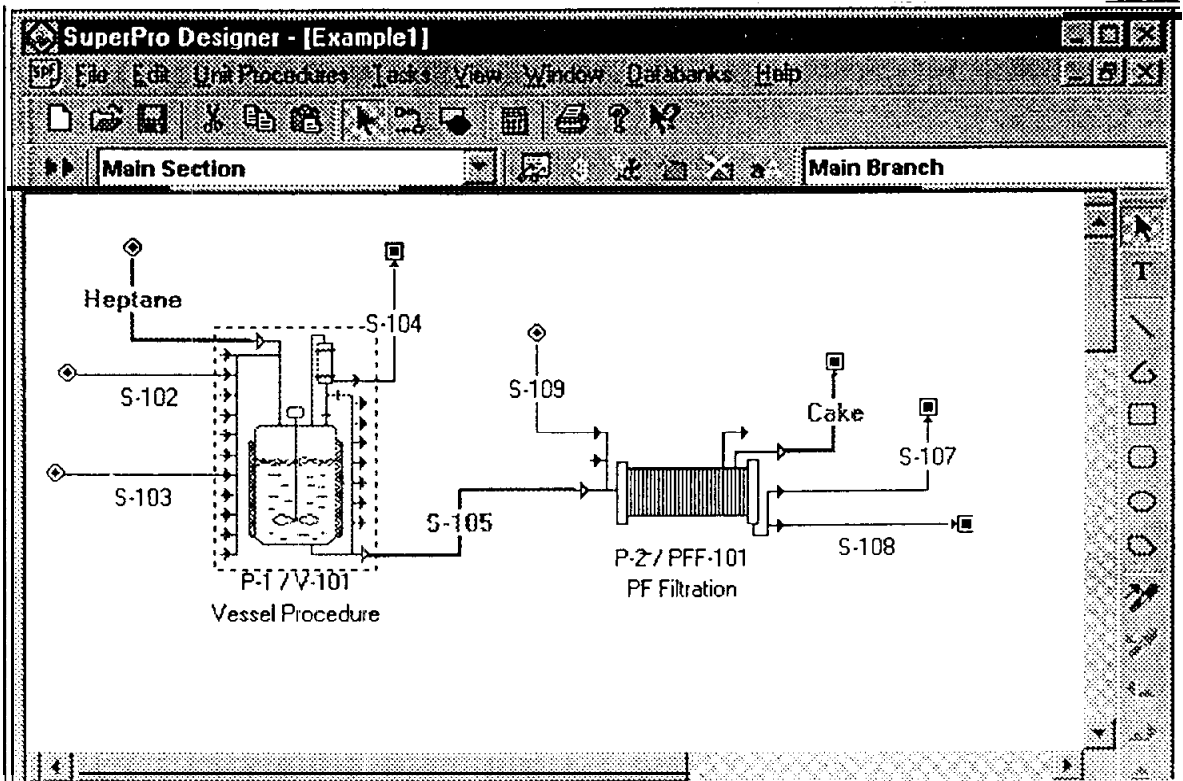
โปรแกรมสำเร็จรูป BioPro Designer

โปรแกรมสำเร็จรูป BioPro Designer เป็นโปรแกรมในการออกแบบกระบวนการ ชิมมุเลขัน ตลอดจนการคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเลือกกระบวนการนั้นๆ จึงเหมาะสมกับการนำมาใช้งานในอุตสาหกรรมการหมัก อุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น โดยโปรแกรมหดงกล่าว เครื่องมือในกระบวนการต่างๆให้เลือกพิจารณาได้ ดังนี้

ตารางที่ 39 แสดงกระบวนการที่มีให้เลือกใน BatchPro Designer

● Unit Procedure Models in BatchPro Designer

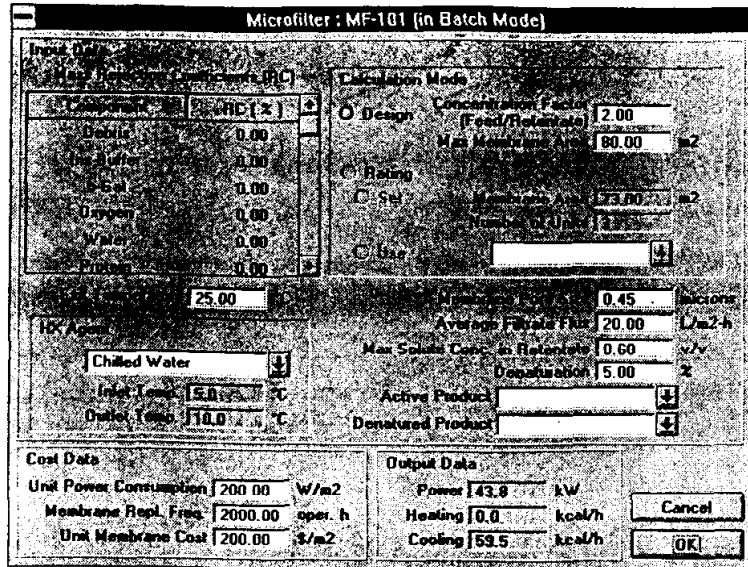
Reaction Well-Mixed Reactor Batch/Continuous Fermentor Air-Lift Fermentor Plug Flow Reactor Equilibrium Reactor Heat Sterilizer Phase Separation Centrifugal Extractor Differential Extractor Mixer-Settler Extractor Batch Extractor Short-Cut Distillation Batch Distillation Flash Condenser Absorber/Stripper Adsorber Decanter Tank Chromatography Gel Filtration Ion Exchange Reverse Phase Affinity Expanded Bed Adsorption	Drying/Evaporation Freeze Dryer Tray Dryer Fluid Bed Dryer Rotary Dryer Flash Evaporator Rotary Evaporator Pressure Change Pumps Compressors Fan/Blower General Unit Procedures Generic Boxes for Reaction and Separation Flow Mixers/Splitters Component Splitter Heater/Cooler Heat Exchanger Solid/Gas Separation Gas Cyclone Air Filter	Solid/Liquid Separation Membrane Microfilter Membrane Ultrafilter Diafilter Reverse Osmosis Dead-End Filter Basket Filter Centrifuge Nutsche Filter Bowl Centrifuge Disk-Stack Centrifuge Decanter Centrifuge Centritech Centrifuge Hydrocyclone Plate & Frame Filter Rotary Vacuum Filter Crystallizer Homogenization High Pressure Homogenizer Bead Mill Tanks Various Storage Tanks Various Blending Tanks
--	---	--



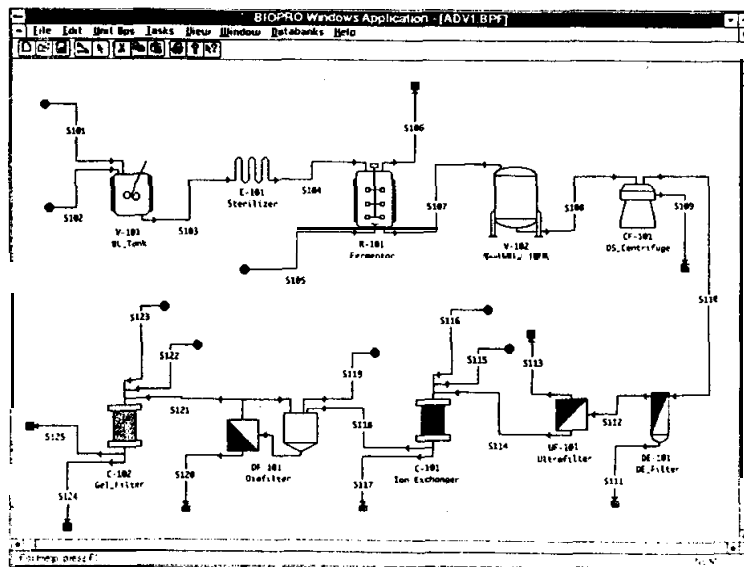
รูปที่ 84 แสดงผลที่ได้จากการออกแบบ จากโปรแกรม SuperPro Designer

รูปที่ 85 แสดงเครื่องมือชนิดต่างๆที่สามารถกำหนดให้มีเพิ่มหรือลดลงได้

หลังจากได้เลือกเครื่องมือต่างๆที่ต้องการใช้แล้ว ในแต่ละเครื่องมือที่เลือกนั้นยังสามารถมีตัวแปรต่างๆที่สามารถเลือกกำหนดได้อีก เช่นการเลือกไมโครฟิลเตอร์ (microfilter) ซึ่งแสดงการเลือกรายละเอียดของเครื่องไมโครฟิลเตอร์ที่ต้องการใช้ได้ และจากแต่ละเครื่องมือที่ได้กำหนดรายละเอียดแล้ว สามารถนำมาเชื่อมต่อเข้าด้วยกันได้เพื่อหาความเหมาะสมและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นต่อไป



รูปที่ 86 แสดงลักษณะการกำหนดของมูลของเครื่องไมโครฟิลเตอร์



รูปที่ 87 แสดงการเชื่อมโยงการทำงานในกระบวนการต่างๆ