รายการอ้างอิง

1. William D.P., and Brent J.S. Modified Atmosphere Packaging of Fruits andVegetables. In Ooraikul, B. and Stiles M.E. (eds.), Modified Atmosphere Packaging of Food., pp.169-228. New York: Ellis Horwood, 1991.
2. Robertson, G.L. Food Packaging. New York: Marcel Dekker, 1993.
3. Brody, A.L. Controlled/modified atmosphere/vacuum packaging of foods. New York: Food and Nutrition Press, 1989.
4. Parry, R.T. Priciples and applications of modified atmosphere packaging of food. New York: Blackie academic, 1989.
5. Brown, W.E. Plastics in food packaging : properties, design, and fabrication. New York: Marcel Dekker, 1992.
6. งามทิพย์ ภู่วโรดม. ก๊าซกับการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2537.
7. อนวัช สุวรรณกุล. เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้เพื่อการส่งออก (รวมเล่มเอกสารประกอบการอบรม/สัมมนา). กรุงเทพมหานคร: ศูนย์ถ่ายทอดเทคโนโลยี สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและพลังงาน, 2531.
8. สัมพันธ์ คัมภิรานนท์. สรีรวิทยาของพืช. (ม.ป.ท.), 2529.
9. Kader, A.A., Zagory, D., and Kerbel, E.L. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. Critical Rev. in Food Sci. and Nutrition 28 (1989): 1-30.

10. วัลย์ลดา หงส์ทอง, บรรณาธิการ. การบรรจุภัณฑ์ผักและผลไม้สดเพื่อการส่งออก. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2538.

11. Stannett, V. Simple gases. In J. Crank (ed), Diffusion in Polymers., pp.41-73. New York: Academic Press, 1968.

12. Kumins, C.A., and Roteman, J. Diffusion of gases and vapors through polyvinyl chloride-polyvinyl acetate copolymer films.I.Glass transition effects. J. Polym.Sci. 55 (1961): 683-693.

13. Mathlouthiz M. Food Packaging and Preservation. pp.1-22. London: Blackie academic, 1989.

14. กาญจนา ทุมมานนท์. การบรรจุแบบปรับสภาวะของผลิตผลสด. วารสารการบรรจุภัณฑ์ (Packaging Thailand). 3 (เมษายน-มิถุนายน 2539): 28.

15. อมรรัตน์ สวัสดิทัต. โอกาสของการผลิตบรรจุภัณฑ์สำหรับพืชผลสดเพื่อสุขอนามัย. วารสารการบรรจุภัณฑ์ (Packaging Thailand). 4 (กรกฎาคม-กันยายน 2539): 5-10.

16. Aaron L. B. New developments in reduced oxygen packaging of fruits and vegetables. Asia Pacific Food Industry. May (1992): 107-115.

17. Jurin, V., and Karel, M. Studies on control of respiration of Mcintosh apples by packaging methods. Food Technology. June (1963): 104-108.

18. Henig, Y.S., and Gilbert, S.G. Computer analysis of the variables affecting respiration and quality of produce packaged in polymeric films. Journal of Food Science 40 (1975): 1033-1035.

19. Hayakawa, K., Henig, Y.S., and Gilbert, S,G. Formulae for predicting gas exchange of fresh produce in polymeric film package. Journal of Food Science. 40 (1975): 186-191.

20. Deily, K.R., and Rizvi, S.S.H. Optimization of parameters for packaging of fresh peaches in polymeric films. J. Food Proc. Eng. 5 (1981): 23-41.

21. ทัศนีย์ ชังเทศ และ สมภพ ถาวรยิ่ง. การวิเคราะห์การถดถอยและสหสัมพันธ์. กรุงเทพมหานคร:โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2530.

22. Yang, C.C., and Chinnan, M.S. Computer modeling of gas composition and color development of tomatoes stored in polymeric film. Journal of Food Science. 53 (1988): 144-154.

23. Yang, C.C., and Chinnan, M.S. Modeling the effect of O_2 and CO_2 on respiration and quality of stored tomatoes. Transactions of the ASAE. 31 (1988): 920-925.

24. Cameron, A.C., Boylan-Pett, W., and Lee, J. Design of modifed atmosphere packaging system: modelling oxygen concentrations within sealed packages of tomato fruits. Journal of Food Science. 54 (1989): 1413-1416.

25. Lee, D.S., Haggar, P.E., Lee, J., and Yam, K.L. Model for fresh produce respiration in modified atmospheres based on principles of enzyme kinetics. Journal of Food Science. 56 (1991): 1580-1585.

26. Pospisil, J., Majanovic, M., and Wilder, Lj. Modeling of respiration rates of vegetables to optimize biodegradable polymeric films for modified atmosphere packaging. Lebensmittel-Technologie. 27 (1994): 122-127.

27. Mannapperuma, J.D., Zagory, D., Singh, R.P., and Kader, A.A. Design of Polymeric Packages for Modified Atmosphere Storage of Fresh Produce. Proceeding of the 5th International Controlled Atmosphere Research Conference. (1989): 225-233.

28. Exama, A., Arul, J., Lencki, R.W., Lee, L.Z., and Toupin, C. Suitability of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. Journal of Food Science. 58 (1993): 1365-1370.

29. Christie, G.B.Y., Macdiarmid, J.I., Schliephake, K., and Tomkins, R.B. determination of film requirements and respiratory behavior of fresh produce in modified atmosphere packaging. Postharvest Biology and Technology. 6 (1995): 41-54.

30. Peppelenbos, H.W., and Leven, J.V. Evaluation of four types of inhibition for modelling the influence of carbon dioxide on oxygen consumption of fruits and vegetables. Postharvest Biology and Technology. 7 (1996): 27-40.

31. สุวพันธ์ นิลายน. อุตุนิยมวิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

32. วิไลลักษณ์ ตั้งเจริญ. อุตุนิยมวิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: อัษราพิพัฒน์, 2540.

33. Pauly, S. Permeability and Diffusion Data. In Brandrup, J., and Immergut, E.H. (eds.), Polymer Handbook., pp.435-449. USA: John Wiley and Sons, 1989.

34. Floros, J.D. Controlled and modified atmospheres in food packaging and storage. Chemical Engineering Progress. June (1990): 25-32.

35. Bailey, J.E. and Ollis, D.F. Biochemical Engineering Fundamentals., New York: McGraw-Hill, 1977.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

โปรแกรมแม็ทแลบ (Matlab)

โปรแกรมแม็ทแลบ (Matlab) เป็นโปรแกรมที่ใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์ชั้นสูง และใช้แก้ปัญหาที่เป็นแมทริกซ์และเวคเตอร์ การเขียนโปรแกรมด้วยโปรแกรมแม็ทแลบง่ายกว่าโปรแกรมภาษาอื่น ๆ เนื่องจากโปรแกรมแม็ทแลบได้รวมคุณสมบัติที่ดีของโปรแกรมภาษาอื่นเข้ามาด้วย เช่น การที่ไม่ต้องประกาศชื่อและชนิดของตัวแปรที่เหมือนกับโปรแกรมภาษาเบสิก และการเขียนโปรแกรมที่เป็นโครงสร้างที่เข้าใจง่าย (procedure language) ที่ใช้ในโปรแกรมมภาษาซี และภาษาปาสคาล

ก.1 การพัฒนาของโปรแกรมแม็ทแลบ

โปรแกรมแม็ทแลบ (Matlab) เป็นชื่อย่อของ "MATrixLABoratory" ซึ่งได้ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกที่มหาวิทยาลัยนิวแม็กซิโก และมหาวิทยาลัยสแตนฟอร์ดประเทศสหรัฐอเมริกา ในปลายทศวรรษที่ 1970 เพื่อใช้สอนทฤษฎีเกี่ยวกับแมทริกซ์ (matrix) ฟังก์ชันพีชคณิตแบบเชิงเส้น (linear algebra) และการวิเคราะห์เชิงตัวเลข (numerical analysis) โปรแกรมแม็ทแลบถูกเขียนขึ้นเป็นครั้งแรกโดยใช้ภาษาฟอร์แทรน (fortran) โดยคลีฟ โมลเลอร์ (Cleve Moller) จากนั้นก็ได้รับการพัฒนาจากโปรแกรมเมอร์อีกหลายท่าน ในโครงการ "LINPACK and EISPACK" ปัจจุบันโปรแกรมแม็ทแลบถูกเขียนขึ้นโดยใช้ภาษาซี (C language)

ก.2 ความสามารถของโปรแกรมแม็ทแลบ

โปรแกรมแม็ทแลบเป็นโปรแกรมที่สามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานแบบทันทีทันใดและได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง วงการศึกษาจะใช้โปรแกรมแม็ทแลบในงานวิจัยและการสอนทางคณิตศาสตร์ วงการทางอุตสาหกรรมใช้โปรแกรมแม็ทแลบในการวิจัยทางวิศวกรรม และการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เช่น การควบคุมกระบวนการแบบอัตโนมัติ และการวิจัยรูปแบบสัญญาณของกระบวนการทำงานของโปรแกรมแม็ทแลบจะเป็นฟังก์ชันของคำสั่งที่อยู่ในรูปของโปรแกรม "M-file" ซึ่งคำสั่งเหล่านี้สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์คือ

ก. การคำนวณเกี่ยวกับแมทริกซ์

โปรแกรมแม็ทแลบสามารถทำแมทริกซ์ทรานส์โพส (matrix transpose) การคูณแมทริกซ์ (matrix multiple) การหาดีเทอร์มิแนนท์ (determinations of determenant) การทำอินเวอร์สแมทริกซ์ (Inverse matrix) ค่าไอเกน (eigen value) การแก้สมการเชิงเส้น และการประมาณค่าพารามิเตอร์

ข. การคำนวณโพลิโนเมียล

โปรแกรมแม็ทแลบสามารถใช้ในการคำนวณเกี่ยวกับโพลิโนเมียล เช่น การหารากของโพลิโนเมียล การหาคอนโวลูชัน (convolution) และดีคอนโวลูชัน (deconvolution) การหารโพลิโนเมียล และการหาสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียล

ค. การจัดการเกี่ยวกับเวคเตอร์และการวิเคราะห์ข้อมูล

โปรแกรมแม็ทแลบสามารถนำมาคำนวณผลรวมแบบเวคเตอร์ การหาค่าเฉลี่ย การหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าโคแวเรียนซ์ และการหาค่าสูงสุดต่ำสุดของข้อมูล

ง. การจัดการเกี่ยวกับการแสดงผลกราฟ

โปรแกรมแม็ทแลบมีการแสดงผลเป็นกราฟให้เลือกได้ 7 แบบคือ

- การพล็อตกราฟ x-y บนสเกลเส้นตรง
- การพล็อตกราฟ x-y บนสเกลล็อก-ล็อก
- การพล็อตกราฟ x-y บนสเกลกึ่งล็อกบนแกน x
- การพล็อตกราฟ x-y บนสเกลกึ่งล็อกบนแกน y
- การพล็อตกราฟแบบโพลาร์
- การพล็อตกราฟแบบตะแกรง 3 มิติ
- การพล็อตกราฟแบบคอนทัวร์

โปรแกรมแม็ทแลบสามารถใช้งานร่วมกับโปรแกรมภาษาอื่น ๆ เช่น โปรแกรมภาษาซี และโปรแกรมภาษาฟอร์แทรน นอกจากนี้โปรแกรมแม็ทแลบ มี Toolboxes ที่ประกอบไปด้วยฟังก์ชันต่าง ๆ ซึ่งใช้ในสาขาต่าง ๆ เช่น

- Control System Toolbox
- SIMULINK
- Neural Network Toolbox
- Fuzzy Logic Toolbox
- Image Processing Toolbox
- Model Predictive Control Toolbox
- Nonlinear Control Design Toolbox
- Optimization Toolbox
- Signal Processing Toolbox
- Statistics Toolbox
- System Identification Toolbox
- Spline Toolbox
- Robust Control Toolbox

• Mu-Analysis and Synthesis Toolbox

ก.3 การเขียนโปรแกรมด้วยคำสั่งในโปรแกรมแม็ทแลบ

โปรแกรมแม็ทแลบจะรับคำสั่งทีละ 1 บรรทัด (command line) ในพื้นที่หน้าต่างของโปรแกรม หลังจากรับคำสั่งแล้วโปรแกรมแม็ทแลบจะทำการประมวลผลและแสดงผลทางหน้าต่างของการทำงาน และสามารถสร้างไฟล์ที่ประกอบไปด้วยชุดของคำสั่งที่เหมือนกับการสร้างไฟล์ Autoexec.bat ใน dos โดยไฟล์ของคำสั่งจะเก็บอยู่ในรูป "ชื่อไฟล์.M" คือมีนามสกุลของไฟล์เป็น "เอ็ม (.M)" หรือเรียกว่าเอ็มไฟล์ การประมวลผลจะทำการประมวลผลทีละคำสั่งตามลำดับก่อนหลัง การเขียนเอ็มไฟล์มี 2 รูปแบบคือ สคริปไฟล์และฟังก์ชันไฟล์

ก.3.1 สคริปไฟล์

สคริปไฟล์เป็นไฟล์ซึ่งเป็นลำดับของคำสั่ง คำอธิบายในสคริปไฟล์สามารถเขียนได้โดยใช้ "%" นำหน้าข้อความที่อธิบายโดยคำอธิบายนี้จะไม่มีผลต่อการทำงานของสคริปไฟล์ โอปะเรเตอร์ในสคริปไฟล์ได้แก่ ยกกำลัง (^) คูณ (*) หาร (/) บวก (+) และลบ (-) นอกจากโอปะเรเตอร์แล้ว โปรแกรมแม็ทแลบรองรับการทำงานที่วนซ้ำ ๆ หลายครั้ง ซึ่งได้แก่คำสั่ง for loop และคำสั่ง while loop นอกจากนี้โปรแกรมแม็ทแล็บมีคำสั่งเงื่อนไข if ซึ่งคำสั่งทั้ง 3 เป็นคำสั่งที่โปรแกรมภาษาทุกภาษาต้องมี โดยมีการใช้คำสั่งเหล่านี้ ดังนี้คือ

1. คำสั่ง for loop จะใช้เมื่อต้องการทำการคำนวณคำสั่งเดิมวนซ้ำหลาย ๆ ครั้ง โดยอยู่ในรูปแบบดังนี้

```
for loopvariable = loopexpression
statements
end
```

ตัวอย่างของคำสั่ง for loop คือ

```
for i=1:n
 for j=1:m
 C(i,j)=A(i,j)+cos((i+j)*pi/(n+m))*B(i,j);
 end
end
```

2. คำสั่ง while loop จะใช้เมื่อต้องการคำนวณคำสั่งเดิมวนซ้ำโดยมีเงื่อนไขการสิ้นสุดการวนซ้ำโดยอยู่ในรูปแบบดังนี้คือ

```
while while_expreession
statements
end
```

ใน while_expression โอปะเรเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบคือ เท่ากับ (==) น้อยกว่าหรือเท่ากับ (<=) มากกว่าหรือเท่ากับ (>=) ไม่เท่ากับ (~=) น้อยกว่า (<) และมากกว่า (>) ตัวอย่างของคำสั่ง while loop คือ

```
dif=1;
while dif>0.005
 x1=x2-cos(x2)/(1+x2);
 dif=abs(x2-x1);
end
```

3. คำสั่งเงื่อนไข (if statement) มีรูปแบบดังนี้คือ

```
if if_statements
 statements
else if_expression
 statements
```

```
else if_expression
 statements
...
...
else
 statements
end
```

ตัวอย่างของคำสั่ง if คือ

```
for k = 1:n
 for p = 1:m
 if k==p
    z(k,p) =1;
    total = total+z(k,p);
 else if k<p
    z(k,p) =-1;
    total = total+z(k,p);
 else
    z(k,p)=0;
 end
end
end
if (x~=0)&(x<y)
  b=sqrt(y-x)/x;
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
disp(b);
end
```

การเรียกใช้สคริปไฟล์สามารถเรียกใช้ได้โดยพิมพ์ชื่อเอ็มไฟล์ที่หน้าต่างของโปรแกรมแม็ทแล็บ หรืออาจเขียนเรียกใช้ในสคริปไฟล์ หรือฟังก์ชันไฟล์อื่น ๆ

ก.3.2 ฟังก์ชันไฟล์

ฟังก์ชันไฟล์คือ ไฟล์ที่เริ่มต้นบรรทัดแรกด้วยคำว่า "function" ตัวอย่างเช่น

```
funtion y = mean(x)
% Mean average or mean value
% For vectors, MEAN(X) RETURNS THE MEAN VALUE
% For matrices, MEAN(X) IS A ROW VECTOR
% containing the mean value of each column.
[m,n]=size(x);
if m==1;
m=n;
end
y=sum(x)/m;
```

จากตัวอย่างข้างต้นจะเห็นว่าเอ็มไฟล์ทั้งสองแตกต่างกันที่แบบสคริปไฟล์ไม่มีการส่งค่าของตัวแปรทั้งเข้าและออก ดังนั้นค่าต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในเอ็มไฟล์จะไม่มีผลกระทบต่อเอ็มไฟล์อื่น ๆ ในกรณีที่มีชื่อตัวแปรเหมือนกัน ส่วนแบบฟังก์ชันไฟล์มีการส่งค่าเข้าและออกเหมือนกับการเขียนเป็นฟังก์ชันโดยทั่ว ๆ ไปในภาษาการเขียนโปรแกรมแบบอื่น ๆ เช่น ภาษาซี และภาษาปาสคาล โดยสัญญลักษณ์ "%" ในฟังก์ชันไฟล์คือคำอธิบายการคำนวณและการเขียนโปรแกรมในฟังก์ชันไฟล์เหมือนกับที่ใช้ในสคริปไฟล์

ภาคผนวก ข.

การแก้สมการคณิตศาสตร์อนุพันธ์แบบธรรมดา (ordinary differential equation) โดยวิธีเชิงตัวเลข (numerical method)

จากที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแก๊สภายในบรรจุภัณฑ์แบบบรรยากาศดัดแปรสำหรับผักและผลไม้สดสามารถเขียนแทนได้ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) ที่อยู่ในรูปสมการอนุพันธ์แบบธรรมดา (ordinary differentail equation, ODE) ซึ่งมีรูปแบบสมการทั่วไปสำหรับสมการอนุพันธ์อันดับที่ n ใด ๆ เป็น

$$a_n \frac{d^n y}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \ldots + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = f(t) \qquad \text{(ข.1)}$$

โดยที่ค่า $a_0, a_1, a_2, \ldots, a_n$ เป็นค่าคงที่

โดยทั่วไปจะสนใจระบบที่มีสมการอนุพันธ์อันดับที่ n=1 และ n=2

สมการอนุพันธ์อันดับที่ 1 (first order differential equation) มีรูปแบบสมการทั่วไปเป็น

$$a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = f(t) \qquad \text{(ข.2)}$$

สมการอนุพันธ์อันดับที่ 2 (second order differential equation) มีรูปแบบสมการทั่วไปเป็น

$$a_2 \frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 dy = f(t) \qquad \text{(ข.3)}$$

สมการอนุพันธ์แบบธรรมดา (ODE) ในรูปแบบจำลองคณิตศาสตร์สามารถหาคำตอบได้ด้วยวิธีเชิงตัวเลข (numerical method) วิธีที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางคือวิธีของรังกัตตาอันดับ 4 ซึ่งสามารถแก้สมการอนุพันธ์แบบไม่เชิงเส้นได้เป็นอย่างดี

ข.2.1 สมการอนุพันธ์อันดับ 1

$$a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = f(t) \qquad \text{(ข.4)}$$

$$\frac{dy}{dt} = f(t, y) \qquad \text{(ข.5)}$$

กำหนดสภาวะเริ่มต้น (initial condition) : $t=t_0$, $y=y_0$

อัลกอริธึม (algorithm) ของรังกัตตาอันดับที่ 4 เพื่อแก้สมการหา y(t) คือ

$$k_1 = f(y_0, t_0)dt \qquad \text{(ข.6)}$$

$$k_2 = f\left(y_0 + \frac{k_1}{2}, t_0 + \frac{dt}{2}\right)dt \qquad \text{(ข.7)}$$

$$k_3 = f\left(y_0 + \frac{k_2}{2}, t_0 + \frac{dt}{2}\right)dt \qquad \text{(ข.8)}$$

$$k_4 = f(y_0 + k_3, t_0 + dt)dt \qquad \text{(ข.9)}$$

$$y_1 = y_0 + (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)/6 \qquad \text{(ข.10)}$$

$$t_1 = t_0 + dt \qquad \text{(ข.11)}$$

dt คือช่วงเวลาที่เพิ่มขึ้นของตัวแปรอิสระ t

ข.2.2 สมการอนุพันธ์อันดับ 2

$$a_2 \frac{d^2y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 dy = f(t) \qquad \text{(ข.12)}$$

แปลงสมการอนุพันธ์อันดับ 2 ให้อยู่ในรูปสมการอนุพันธ์อันดับ 1 สองสมการ โดยกำหนดให้ $y_1 = y$ และ $y_2 = dy_1/dt = dy/dt$ ดังนั้น

$$\frac{dy_1}{dt} = y_2 \qquad \text{(ข.13)}$$

$$\frac{dy_2}{dt} = -\frac{a_0}{a_2} y_1 - \frac{a_1}{a_2} y_2 + \frac{1}{a_2} f(t) \qquad \text{(ข.14)}$$

กรณีที่ตัวแปรตามเป็น y_1, y_2 และตัวแปรอิสระเป็น t จัดสมการให้อยู่ในรูป

$$\frac{dy_1}{dt} = f(y_1, y_2, t) \quad \text{(ข.15)}$$

$$\frac{dy_2}{dt} = f(y_1, y_2, t) \quad \text{(ข.16)}$$

$$k_1 = f_1(y_{10}, y_{20}, t_0)dt \quad \text{(ข.17)}$$

$$l_1 = f_2(y_{10}, y_{20}, t_0)dt \quad \text{(ข.18)}$$

$$k_2 = f_1\left(y_{10} + \frac{k_1}{2}, y_{20} + \frac{l_1}{2}, t_0 + \frac{dt}{2}\right)dt \quad \text{(ข.19)}$$

$$l_2 = f_2\left(y_{10} + \frac{k_1}{2}, y_{20} + \frac{l_1}{2}, t_0 + \frac{dt}{2}\right)dt \quad \text{(ข.20)}$$

$$k_3 = f_1\left(y_{10} + \frac{k_2}{2}, y_{20} + \frac{l_2}{2}, t_0 + \frac{dt}{2}\right)dt \quad \text{(ข.21)}$$

$$l_3 = f_2\left(y_{10} + \frac{k_{21}}{2}, y_{20} + \frac{l_2}{2}, t_0 + \frac{dt}{2}\right)dt \quad \text{(ข.22)}$$

$$k_4 = f_1(y_{10} + k_3, y_{20} + l_3, t_0 + dt)dt \quad \text{(ข.23)}$$

$$l_4 = f_2(y_{10} + k_3, y_{20} + l_3, t_0 + dt)dt \quad \text{(ข.24)}$$

$$y_{11} = y_{10} + (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)/6 \quad \text{(ข.25)}$$

$$y_{21} = y_{20} + (l_1 + 2l_2 + 2l_3 + l_4)/6 \quad \text{(ข.26)}$$

$$t_1 = t_0 + dt \quad \text{(ข.27)}$$

ข.3 การแก้สมการอนุพันธ์โดยใช้โปรแกรมแม็ทแลบ

โปรแกรมแม็ทแลบมีฟังก์ชัน (ODE23.M และ ODE45.M) ที่ใช้ในการแก้สมการอนุพันธ์แบบธรรมดา (ODE) โดยใช้วิธีรังกัตตา ฟังก์ชัน ODE45.M เป็นรังกัตตาอับดับ 4 ส่วน ODE23.M เป็นรังกัตตาอับดับ 2 ฟังก์ชันทั้งสองนี้จะทำการกำหนดเวลาในหนึ่งคาบ (sampling time) ไม่เท่ากันในแต่ละขั้นตอนของการซิมมูเลท (simulate) ในช่วงใดของสมการอนุพันธ์ที่การเปลี่ยนแปลงน้อยหรือมีความซับซ้อนน้อยฟังก์ชันจะเพิ่มเวลาในหนึ่งคาบมากขึ้น ในทางกลับกันถ้ามีการเปลี่ยนแปลงมากฟังก์ชันจะลดเวลาในหนึ่งคาบลง

ภาคผนวก ค.

ผลการคำนวณ

ผลการคำนวณการฟิตแบบจำลองอัตราการหายใจของผักและผลไม้สด 6 ชนิดถูกแสดงดังตาราง ค.1 ถึง ค. 6 และผลการคำนวณความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์แบบ MAP เทียบกับเวลาเมื่อพจน์อัตราการหายใจได้ถูกแทนด้วยแบบจำลองอัตราการหายใจแบบต่าง ๆ โดยใช้ข้อมูลระบบบรรจุภัณฑ์จาก 6 ข้อมูลงานวิจัยที่ผ่านมาถูกแสดงดังตาราง ค.7 ถึง ค.12

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.1 ผลการทดอัตราการหายใจของข้อมูล 1 ด้วยแบบจำลองอัตราการหายใจแบบต่าง ๆ

%O_2	%CO_2	อัตราการใช้ O_2 (มล./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มล./(กก.ชม.))	แบบจำลอง 1		แบบจำลอง 2		แบบจำลอง 3		แบบจำลอง 4		แบบจำลอง 5		แบบจำลอง 6		แบบจำลอง 7	
				อัตราการใช้ O_2 (มล./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มล./(กก.ชม.))	อัตราการใช้ O_2 (มล./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มล./(กก.ชม.))	อัตราการใช้ O_2 (มล./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มล./(กก.ชม.))	อัตราการใช้ O_2 (มล./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มล./(กก.ชม.))	อัตราการใช้ O_2 (มล./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มล./(กก.ชม.))	อัตราการใช้ O_2 (มล./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มล./(กก.ชม.))	อัตราการใช้ O_2 (มล./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มล./(กก.ชม.))
1.44	11.67	2.67	6.14	4.1941	6.5050	4.0533	6.1371	2.1754	6.1751	3.6249	6.7647	3.5783	6.7239	3.3495	6.2829	3.3229	6.2840
1.44	9.63	3.33	7.66	3.9883	7.2255	3.7294	7.5777	3.2238	7.6647	3.6937	7.2582	3.7224	7.2084	3.7079	6.5582	3.7473	6.5567
1.44	7.55	3.73	8.58	3.7786	7.9601	3.6830	8.6894	4.0036	8.5780	3.7666	7.8415	3.8816	7.7799	4.1618	6.8650	4.3083	6.8602
1.56	10.55	3.07	7.06	4.1241	6.9021	3.9099	6.9754	3.5016	7.0846	3.8364	7.0263	3.8306	6.9875	3.7168	6.5430	3.7219	6.5427
2.71	11.72	6.11	6.11	4.6542	6.5031	4.7645	6.1395	5.8701	6.1283	4.9875	6.7498	4.9490	6.7482	4.8012	7.0759	4.7605	7.0763
2.89	12.11	5.78	5.78	4.7581	6.3676	4.9537	5.8281	5.7872	5.7430	5.0981	6.6631	5.0498	6.6652	4.8875	7.1078	4.8348	7.1084
3.22	11.52	6.33	6.33	4.8168	6.5801	4.9848	6.3110	6.3511	6.3120	5.3637	6.7943	5.3362	6.7893	5.2445	7.2569	5.2057	7.2570
8.60	10.47	7.20	7.20	6.6389	7.0176	7.0280	7.1347	7.2451	7.1405	7.2088	7.0395	7.2259	7.0665	7.4255	7.8952	7.3885	7.8942
9.00	11.83	6.00	6.00	6.9194	6.5423	7.4142	6.1144	6.4923	6.0234	7.0948	6.7223	7.1019	6.7521	7.3294	7.8668	7.2633	7.8662
13.11	8.22	8.33	8.33	8.0282	7.8682	7.9484	8.3862	8.1929	8.3335	8.0796	7.6348	8.1014	7.6625	8.2636	8.0728	8.2545	8.0712
13.16	8.96	8.00	8.00	8.1207	7.6074	7.9729	7.9890	7.9165	8.0117	7.9639	7.4280	7.9857	7.4574	8.1902	8.0562	8.1672	8.0548
13.82	8.96	8.00	8.00	8.3572	7.6156	8.0698	7.9648	7.9165	8.0119	8.0176	7.4280	8.0384	7.4579	8.2449	8.0662	8.2197	8.0648
13.82	9.24	7.89	7.89	8.3855	7.5167	8.0855	7.8033	7.8034	7.8739	7.9725	7.3526	7.9936	7.3831	8.2170	8.0600	8.1869	8.0587
18.44	1.22	9.67	9.67	9.2322	10.4064	9.9394	9.5999	9.7076	9.6667	9.7520	10.3636	9.7135	10.3602	9.1640	8.2464	9.2723	8.2435
18.67	3.59	9.44	9.44	9.5537	9.5723	9.0133	9.5395	9.3627	9.4427	9.3606	9.2446	9.3237	9.2588	8.9903	8.2087	9.0342	8.2064

ตาราง ค.2 ผลการฟิตอัตราการหายใจของข้อมูล 2 ด้วยแบบจำลองอัตราการหายใจแบบต่าง ๆ

%O_2	%CO_2	อัตราการใช้ O_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มก./(กก.ชม.))	แบบจำลอง 1		แบบจำลอง 2		แบบจำลอง 3		แบบจำลอง 4		แบบจำลอง 5		แบบจำลอง 6		แบบจำลอง 7	
				อัตราการใช้ O_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการใช้ O_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการใช้ O_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการใช้ O_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการใช้ O_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการใช้ O_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการใช้ O_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มก./(กก.ชม.))
3.40	0.90	140.60	141.60	156.8788	149.2757	148.5929	154.9509	171.6877	155.7794	151.7397	144.8606	152.9957	147.6478	154.0945	148.4635	154.1069	148.4594
3.40	4.60	148.20	121.40	150.6578	136.7098	155.7461	132.7121	168.8704	130.6061	147.8713	133.5063	148.1533	134.3198	148.1063	133.6433	148.1470	133.6633
3.50	7.70	155.30	132.70	145.9531	126.4993	151.2604	122.3812	163.4328	122.8961	146.2748	126.2431	145.8369	125.8643	145.0010	124.4794	145.0609	124.5123
2.60	10.30	141.00	128.70	137.0150	114.8102	133.6828	116.6479	154.2409	117.2626	128.3873	110.4847	127.0853	108.7219	124.6398	104.1441	124.7254	104.1919
8.90	1.10	214.30	182.40	184.4492	166.0682	180.4996	169.6091	171.5957	170.4089	197.1705	178.0382	196.8360	176.9275	193.5894	167.2789	193.5674	167.2602
9.60	4.40	181.70	151.00	182.4524	157.0845	190.5211	151.9528	169.1055	150.3686	193.9243	164.4472	193.7929	164.1279	192.7474	161.8644	192.7393	161.8571
9.60	7.90	173.60	137.00	176.5677	145.1978	184.7717	139.9755	162.9250	141.2520	187.9792	150.6856	188.1500	151.1574	189.5361	155.5632	189.5442	155.5671
9.40	12.10	151.40	131.20	168.4913	130.2984	159.8325	137.2877	143.3527	136.8465	180.6988	136.6337	181.1512	137.7174	185.0577	148.0383	185.0852	148.0541
16.00	1.00	191.00	199.10	220.6421	188.9623	213.6802	193.7517	203.9841	194.6900	215.1468	190.8647	213.9616	187.9568	208.4640	173.7666	208.4241	173.7417
16.50	4.20	232.40	178.50	217.7988	179.6828	222.4516	175.9117	231.1998	173.9410	209.1536	174.4186	208.7668	173.5306	207.0456	170.0745	207.0159	170.0572
16.20	7.30	222.80	158.00	211.0644	168.2016	217.4200	163.3022	206.3190	163.9575	202.6319	160.4271	202.9612	161.0014	204.7044	166.1561	204.6856	166.1462
16.50	11.20	205.70	157.60	206.0293	155.9094	199.5412	160.2172	211.2864	160.6916	195.7963	146.1124	196.9388	148.0054	202.7517	162.0492	202.7445	162.0469

ตาราง ค.3 ผลการฟิตอัตราการหายใจของข้อมูล 3 ด้วยแบบจำลองอัตราการหายใจแบบต่าง ๆ

$\%O_2$	$\%CO_2$	อัตราการใช้ O_2 ($mg.A/(gDW.min)$)	อัตราการผลิต CO_2 ($mg.A/(gDW.min)$)	แบบจำลอง 1		แบบจำลอง 2		แบบจำลอง 3		แบบจำลอง 4		แบบจำลอง 5		แบบจำลอง 6		แบบจำลอง 7	
				อัตราการใช้ O_2 ($mg.A/(gDW.min)$)	อัตราการผลิต CO_2 ($mg.A/(gDW.min)$)	อัตราการใช้ O_2 ($mg.A/(gDW.min)$)	อัตราการผลิต CO_2 ($mg.A/(gDW.min)$)	อัตราการใช้ O_2 ($mg.A/(gDW.min)$)	อัตราการผลิต CO_2 ($mg.A/(gDW.min)$)	อัตราการใช้ O_2 ($mg.A/(gDW.min)$)	อัตราการผลิต CO_2 ($mg.A/(gDW.min)$)	อัตราการใช้ O_2 ($mg.A/(gDW.min)$)	อัตราการผลิต CO_2 ($mg.A/(gDW.min)$)	อัตราการใช้ O_2 ($mg.A/(gDW.min)$)	อัตราการผลิต CO_2 ($mg.A/(gDW.min)$)	อัตราการใช้ O_2 ($mg.A/(gDW.min)$)	อัตราการผลิต CO_2 ($mg.A/(gDW.min)$)
20.19	0.68	21.94	18.52	23.6842	19.8792	21.3336	18.3724	21.5292	17.9292	24.3410	19.4269	24.3352	19.4146	23.9377	19.0764	23.9329	19.4228
19.39	1.36	21.94	18.52	23.2697	19.5208	22.0073	18.6479	21.9799	18.9894	23.8993	19.1871	23.8913	19.1747	23.5990	18.9128	23.5950	19.2225
16.97	3.40	21.94	18.52	22.0490	18.4449	23.0896	19.0549	22.7547	19.7554	22.4946	18.4320	22.4851	18.4212	22.4642	18.3491	22.4626	18.5335
13.75	6.12	21.94	18.52	20.4022	17.0108	22.3305	18.3508	22.1797	18.0859	20.3838	17.3049	20.3822	17.3011	20.6022	17.3771	20.6040	17.3694
12.94	6.80	21.94	18.52	20.0049	16.6520	21.7422	17.9938	21.6686	17.5216	19.7947	16.9894	19.7974	16.9887	20.0560	17.0787	20.0587	17.0138
12.08	7.53	21.94	18.52	19.5509	16.2674	20.9476	17.4631	20.9645	16.8898	19.1358	16.6340	19.1431	16.6367	19.4292	16.7314	19.4329	16.6089
11.00	8.53	20.00	18.52	18.6473	15.7471	19.7510	16.2131	20.0051	15.9489	18.2460	16.1441	18.2538	16.1489	18.5295	16.2424	18.5338	16.1082
10.50	9.01	19.17	12.19	18.1608	15.4986	19.1182	15.5604	19.4878	15.5125	17.8095	15.9004	17.8167	15.9058	18.0749	15.9933	18.0794	15.8669
8.00	11.05	14.33	12.19	17.1698	14.4174	14.7930	13.5633	14.7060	14.0942	15.3741	14.5181	15.4100	14.5443	15.6430	14.4722	15.6505	14.0897
6.00	13.30	10.83	12.19	13.9020	13.2757	10.8707	10.7533	10.7171	12.5935	12.9311	12.9862	12.9487	13.0082	12.8797	12.7632	12.8856	12.6961
4.00	16.55	7.50	12.19	6.6293	11.6861	7.4863	12.4271	7.4776	11.0795	9.8452	10.7849	9.7927	10.7622	9.1630	10.3112	9.1629	11.5957

ตาราง ค.4 ผลการฟิตอัตราการหายใจของข้อมูล 4 ด้วยแบบจำลองอัตราการหายใจแบบต่าง ๆ

$\%O_2$	$\%CO_2$	อัตราการใช้ O_2 ($mg./(gm.วน.)$)	อัตราการผลิต CO_2 ($mg./(gm.วน.)$)	แบบจำลอง 1		แบบจำลอง 2		แบบจำลอง 3		แบบจำลอง 4		แบบจำลอง 5		แบบจำลอง 6		แบบจำลอง 7	
				อัตราการใช้ O_2 ($mg./(gm.วน.)$)	อัตราการผลิต CO_2 ($mg./(gm.วน.)$)	อัตราการใช้ O_2 ($mg./(gm.วน.)$)	อัตราการผลิต CO_2 ($mg./(gm.วน.)$)	อัตราการใช้ O_2 ($mg./(gm.วน.)$)	อัตราการผลิต CO_2 ($mg./(gm.วน.)$)	อัตราการใช้ O_2 ($mg./(gm.วน.)$)	อัตราการผลิต CO_2 ($mg./(gm.วน.)$)	อัตราการใช้ O_2 ($mg./(gm.วน.)$)	อัตราการผลิต CO_2 ($mg./(gm.วน.)$)	อัตราการใช้ O_2 ($mg./(gm.วน.)$)	อัตราการผลิต CO_2 ($mg./(gm.วน.)$)	อัตราการใช้ O_2 ($mg./(gm.วน.)$)	อัตราการผลิต CO_2 ($mg./(gm.วน.)$)
5.00	0.00	6.80	9.00	7.4181	10.3655	7.1495	9.7338	7.1455	9.7351	6.3861	8.3835	6.7427	9.0972	7.1132	9.9791	7.1136	9.9784
5.00	5.00	6.00	7.80	6.8048	8.8488	6.4719	8.2314	6.4733	8.2308	6.2331	7.9314	6.3721	8.0073	6.5039	8.1218	6.5042	8.1213
5.00	10.00	7.25	6.75	6.1914	7.3321	5.8371	6.7195	5.8418	6.7183	6.0873	7.5256	6.0401	7.1506	5.9907	6.8473	5.9910	6.8471
5.00	15.00	5.00	5.70	5.5781	5.8155	5.2452	5.1981	5.2485	5.1975	5.9481	7.1593	5.7410	6.4596	5.5526	5.9186	5.5529	5.9184
5.00	20.00	4.35	4.30	4.9648	4.2988	4.6962	3.6671	6.6910	3.6684	5.8152	6.8270	5.4701	5.8903	5.1742	5.2117	5.1744	5.2116
15.00	0.00	14.00	18.40	12.9324	16.8269	13.9095	18.6838	13.9054	18.6850	13.4884	17.6634	13.6297	18.0264	13.6669	18.0394	13.6669	18.0387
15.00	5.00	13.20	18.80	12.3190	15.3102	13.2319	17.1814	13.2333	17.1808	12.8236	15.7697	12.8805	15.8668	12.8933	15.8547	12.8933	15.8542
15.00	10.00	13.50	17.80	11.7057	13.7936	12.5971	15.6695	12.6017	15.6683	12.2213	14.2428	12.2095	14.1693	12.2026	14.1419	12.2026	14.1416
15.00	15.00	10.50	11.30	11.0924	12.2769	12.0052	14.1481	12.0084	14.1475	11.6730	12.9854	11.6048	12.7999	11.5822	12.7632	11.5821	12.7629
15.00	20.00	12.00	12.00	10.4790	10.7602	11.4562	12.6171	11.4509	12.6184	11.1717	11.9320	11.0573	11.6718	11.0217	11.6294	11.0217	11.6292
20.00	0.00	15.50	19.30	15.6895	20.0576	15.1095	18.8038	15.1055	18.8051	15.6664	20.5000	15.6246	20.5474	15.4458	20.0653	15.4455	20.0647
20.00	5.00	14.00	17.00	15.0762	18.5410	14.4319	17.3014	14.4334	17.3008	14.7766	17.9924	14.7658	18.0858	14.6983	17.9965	14.6980	17.9960
20.00	10.00	13.50	14.10	14.4629	17.0243	13.7971	15.7895	13.8018	15.7883	13.9825	16.0314	13.9965	16.1509	14.0198	16.3144	14.0195	16.3141
20.00	15.00	13.20	15.10	13.8495	15.5076	13.2052	14.2681	13.2085	14.2675	13.2694	14.4558	13.3033	14.5900	13.4012	14.9199	13.4009	14.9197
20.00	20.00	13.00	13.40	13.2362	13.9910	12.6562	12.7371	12.6510	12.7384	12.6255	13.1623	12.6756	13.3042	12.8348	13.7450	12.8346	13.7447

ตาราง ค.5 ผลการพิตอัตราการหายใจของข้อมูล 5 ด้วยแบบจำลองอัตราการหายใจแบบต่าง ๆ

%O_2	%CO_2	อัตราการใช้ O_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มก./(กก.ชม.))	แบบจำลอง 1		แบบจำลอง 2		แบบจำลอง 3		แบบจำลอง 4		แบบจำลอง 5		แบบจำลอง 6		แบบจำลอง 7	
				อัตราการใช้ O_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการใช้ O_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการใช้ O_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการใช้ O_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการใช้ O_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการใช้ O_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการใช้ O_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มก./(กก.ชม.))
14.29	4.08	18.44	13.70	19.7670	14.1005	17.9668	13.4640	18.0672	13.4934	14.1644	11.3170	17.1520	12.2647	17.8471	13.6996	17.8470	13.6996
11.72	5.00	17.87	13.70	18.2422	14.0687	18.4989	14.1476	18.1903	14.0926	17.5682	12.9033	17.5298	13.0879	17.6420	13.7135	17.6419	13.7135
8.14	5.74	16.54	13.70	15.4738	13.1670	17.1638	13.7719	17.0784	13.7476	17.1363	13.4931	17.2040	13.6382	16.8730	13.5329	16.8729	13.5329
5.60	6.15	15.84	13.68	13.3419	12.3039	15.0129	12.9024	15.2898	12.9490	16.1592	13.6078	16.2394	13.6946	15.7709	13.2109	15.7708	13.2109
3.36	8.00	14.49	13.68	13.2910	13.9769	13.9452	14.2162	14.3144	14.2792	14.8267	15.1693	15.5247	15.4628	15.2298	13.9161	15.2296	13.9161
1.19	8.69	10.48	13.68	11.9003	13.8127	11.1023	13.5519	11.0134	13.5200	9.2048	12.3506	9.8659	12.9095	11.1455	14.1968	11.1452	14.1968
0.91	8.08	10.30	12.55	10.8891	12.6846	9.9962	12.3491	9.7699	12.3246	7.6925	10.6225	8.0047	10.8284	8.8792	12.0358	8.8790	12.0358
0.98	6.62	8.47	10.19	9.2028	10.4019	8.6119	10.1505	8.4222	10.1490	7.8853	9.9340	7.7149	9.5749	7.6824	9.2776	7.6823	9.2776
1.38	5.52	7.98	8.82	8.3220	8.9034	8.2206	8.8738	8.2528	8.8728	9.4427	10.2991	8.9552	9.7877	8.4644	9.1053	8.4644	9.1053
1.46	5.38	8.27	8.60	8.2369	8.7281	8.2136	8.7363	8.2829	8.7338	9.7013	10.3554	9.1758	9.8427	8.6422	9.1617	8.6422	9.1618
1.43	5.56	8.36	8.78	8.3729	8.9324	8.3077	8.9164	8.3587	8.9181	7.6304	10.4241	9.1567	9.9344	8.6758	9.2723	8.6758	9.2723

ตาราง ค.6 ผลการฟิตอัตราการหายใจของข้อมูล 6 ด้วยแบบจำลองอัตราการหายใจแบบต่าง ๆ

%O_2	%CO_2	อัตราการใช้ O_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มก./(กก.ชม.))	แบบจำลอง 1		แบบจำลอง 2		แบบจำลอง 3		แบบจำลอง 4		แบบจำลอง 5		แบบจำลอง 6		แบบจำลอง 7	
				อัตราการใช้ O_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการใช้ O_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการใช้ O_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการใช้ O_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการใช้ O_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการใช้ O_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการใช้ O_2 (มก./(กก.ชม.))	อัตราการผลิต CO_2 (มก./(กก.ชม.))
19.31	1.77	7.80	6.70	7.9810	7.6023	7.6311	6.9349	7.5142	7.4604	8.3812	7.4404	8.4669	7.4453	7.61	7.2757	8.1438	7.5198
17.38	3.04	12.86	7.31	8.5513	7.3709	9.9799	7.1128	10.6220	7.3853	8.1401	7.4020	8.2057	7.4055	8.2067	7.2737	8.0286	7.4381
15.31	5.66	3.28	7.36	7.5290	7.3866	7.1697	7.6752	7.0692	7.3370	7.7848	7.3207	7.7818	7.3216	7.5256	7.2710	7.7709	7.4409
13.24	8.05	8.07	8.61	6.8041	7.3542	5.6541	7.9739	5.4840	7.2878	7.4150	7.2504	7.3669	7.2490	7.0267	7.2674	7.4772	7.4210
10.65	9.86	7.55	8.27	7.4233	7.0670	7.8213	7.4763	7.6925	7.2023	6.9375	7.2056	6.8965	7.2027	7.8671	7.2609	7.1173	7.2397
8.67	12.02	5.37	5.97	6.8931	7.0097	6.9427	7.3016	6.8004	7.1600	6.4514	7.1526	6.4015	7.1482	7.3878	7.2534	6.6541	7.1498
5.98	15.29	6.52	6.93	5.7453	7.0009	5.2964	7.0131	5.3160	7.1174	5.5707	7.0876	5.5264	7.0818	5.8352	7.2353	5.7102	7.0071
2.95	18.53	4.51	6.50	5.0121	6.9006	5.0075	6.0876	4.9960	7.0663	3.9395	7.1078	3.9655	7.1046	4.0309	7.1759	3.9317	6.4203
1.57	22.90	1.28	7.50	0.9437	7.4577	1.3802	7.5747	1.6425	7.1306	2.6183	7.1834	2.6194	7.1921	1.0905	7.0746	2.3194	7.5119

ตาราง ค.7 ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับเวลา ใน MAP ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของข้อมูลชุดที่ 1

	การทดลอง		แบบจำลองที่ 1		แบบจำลองที่2		แบบจำลองที่ 3		แบบจำลองที่ 4		แบบจำลองที่ 5		แบบจำลองที่ 6		แบบจำลองที่ 7	
เวลา(hr)	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2
0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00
24.00	10.00	4.00	12.88	4.00	12.25	4.04	11.76	3.91	12.06	3.83	12.06	3.84	12.27	3.38	12.19	3.38
48.00	8.00	4.50	10.85	4.00	9.62	4.20	8.12	4.01	9.09	3.90	9.03	3.91	8.97	3.49	8.81	3.49
72.00	9.30	3.90	10.33	4.00	8.92	4.21	6.63	4.02	8.10	3.91	7.99	3.91	7.83	3.49	7.60	3.48
96.00	9.70	3.60	10.22	4.00	8.70	4.21	5.96	4.02	7.82	3.91	7.69	3.91	7.40	3.48	7.14	3.48
120.00	9.90	3.40	10.22	4.00	8.65	4.21	5.71	4.02	7.74	3.91	7.60	3.91	7.25	3.48	6.98	3.48
144.00	9.00	3.40	10.12	4.00	8.64	4.21	5.61	4.02	7.71	3.91	7.57	3.91	7.21	3.48	6.92	3.47
168.00	8.00	3.40	10.11	4.00	8.64	4.21	5.57	4.02	7.70	3.91	7.56	3.91	7.20	3.48	6.91	3.47
182.60	8.50	3.40	10.11	4.00	8.64	4.21	5.55	4.02	7.70	3.91	7.56	3.91	7.19	3.48	6.90	3.47
216.00	8.80	3.30	10.11	4.00	8.64	4.21	5.54	4.02	7.70	3.91	7.56	3.91	7.19	3.48	6.90	3.47
240.00	9.10	3.20	10.11	4.00	8.64	4.21	5.54	4.02	7.70	3.91	7.56	3.91	7.19	3.48	6.90	3.47
264.00	9.30	3.00	10.11	4.00	8.64	4.21	5.54	4.02	7.70	3.91	7.56	3.91	7.19	3.48	6.90	3.47
R^2			0.7821	0.7052	0.9142	0.5148	0.2223	0.6894	0.8288	0.7616	0.8047	0.7610	0.7284	0.8547	0.6626	0.8548

ตาราง ค.8 ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับเวลา ใน MAP ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของข้อมูลชุดที่ 2

เวลา(hr)	การทดลอง		แบบจำลองที่ 1		แบบจำลองที่2		แบบจำลองที่ 3		แบบจำลองที่ 4		แบบจำลองที่ 5		แบบจำลองที่ 6		แบบจำลองที่ 7	
	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2
0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00
0.60	18.95	1.84	18.04	2.45	18.16	2.51	15.23	2.39	18.28	2.37	18.29	2.33	18.36	2.16	18.36	2.16
1.20	16.32	3.68	15.31	4.66	15.40	4.69	13.08	4.45	15.66	4.54	15.68	4.61	15.78	4.23	15.78	4.24
1.80	13.68	5.79	12.83	6.62	12.81	6.57	11.03	6.26	13.17	6.48	13.18	6.43	13.28	6.20	13.28	6.20
2.35	11.58	7.37	10.72	8.23	10.60	8.12	9.21	7.77	10.98	8.12	10.99	8.08	11.07	7.91	11.07	7.91
2.85	9.47	8.68	8.95	9.54	8.78	9.39	7.60	9.03	9.10	9.50	9.09	9.46	9.15	9.36	9.15	9.36
3.65	6.84	10.53	6.35	11.39	6.20	11.26	5.13	10.88	6.28	11.48	6.27	11.45	6.29	11.45	6.29	11.45
4.20	5.00	11.58	4.81	12.45	4.75	12.40	3.53	12.04	4.52	12.68	4.52	12.65	4.53	12.69	4.54	12.69
4.80	3.16	12.63	3.11	13.58	3.29	13.68	1.92	13.20	2.87	13.80	2.88	13.75	2.91	13.77	2.91	13.77
5.50	1.84	13.42	1.37	14.67	1.97	15.08	0.22	14.47	1.39	14.80	1.42	14.70	1.50	14.61	1.50	14.62
6.00	1.32	14.21	0.22	15.36	1.22	16.06	-0.85	15.28	0.69	15.25	0.74	15.12	0.83	14.94	0.83	14.94
R^2			0.9890	0.9626	0.9913	0.9505	0.8868	0.9817	0.9940	0.9609	0.9943	0.9643	0.9957	0.9717	0.9957	0.9715

ตาราง ค.9 ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับเวลา ใน MAP ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของข้อมูลชุดที่ 3

	การทดลอง		แบบจำลองที่2		แบบจำลองที่ 3		แบบจำลองที่ 4		แบบจำลองที่ 5		แบบจำลองที่ 6		แบบจำลองที่ 7	
เวลา(hr)	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2
0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00
2.00	18.53	1.65	18.71	1.68	18.78	1.55	18.60	1.37	18.59	1.37	18.60	1.35	18.60	1.34
4.00	16.88	2.88	16.54	3.06	16.77	2.80	16.30	2.53	16.29	2.53	16.29	2.49	16.29	2.46
8.00	13.79	4.12	13.01	5.02	13.79	4.16	13.02	3.19	12.97	3.20	12.75	3.13	12.73	2.86
11.37	11.12	4.32	10.96	5.97	12.31	4.65	11.02	3.30	10.92	3.32	10.39	3.20	10.32	2.67
20.00	8.44	4.12	8.81	6.70	10.96	4.99	8.21	3.13	7.98	3.17	6.37	2.82	5.98	1.75
26.10	7.41	3.79	8.42	6.78	10.77	5.03	7.34	3.00	7.05	3.04	4.69	2.46	3.96	1.21
32.00	6.79	3.29	8.30	6.80	10.73	5.04	6.93	2.91	6.61	2.96	3.66	2.15	2.57	0.81
48.00	6.59	3.21	8.25	6.81	10.71	5.04	6.61	2.84	6.26	2.88	2.48	1.62	0.55	0.21
56.00	6.59	2.80	8.25	6.81	10.71	5.04	6.58	2.83	6.23	2.87	2.26	1.49	0.12	0.07
R^2			0.9642	0.0000	0.7457	0.1266	0.9962	0.7475	0.9938	0.7654	0.7812	0.2773	0.5694	0.0000

ตาราง ค.10 ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับเวลา ใน MAP ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของข้อมูลชุดที่ 4

เวลา(hr)	การทดลอง		แบบจำลองที่ 1		แบบจำลองที่2		แบบจำลองที่ 3		แบบจำลองที่ 4		แบบจำลองที่ 5		แบบจำลองที่ 6		แบบจำลองที่ 7	
	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2
0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00
24.00	4.34	6.21	7.17	7.13	6.66	7.66	6.51	8.62	6.80	7.29	6.75	7.22	6.72	7.17	6.72	7.17
72.00	4.96	5.79	3.04	5.21	3.77	4.51	3.85	2.62	3.98	4.62	3.88	4.60	3.78	4.62	3.78	4.62
120.00	5.05	5.38	2.75	5.02	3.70	4.35	3.76	1.99	3.94	4.51	3.84	4.49	3.73	4.51	3.73	4.50
192.00	5.17	3.93	2.72	5.00	3.70	4.35	3.75	1.94	3.94	4.51	3.84	4.49	3.73	4.50	3.73	4.50
240.00	5.30	3.81	2.72	5.00	3.70	4.35	3.75	1.94	3.94	4.51	3.84	4.49	3.73	4.50	3.73	4.50
288.00	5.38	3.31	2.72	5.00	3.70	4.35	3.75	1.94	3.94	4.51	3.84	4.49	3.73	4.50	3.73	4.50
360.00	5.79	3.10	2.72	5.00	3.70	4.35	3.75	1.94	3.94	4.51	3.88	4.49	3.73	4.50	3.73	4.50
432.00	6.21	2.81	2.72	5.00	3.70	4.35	3.75	1.94	3.94	4.51	3.84	4.49	3.73	4.50	3.73	4.50
504.00	6.21	2.48	2.72	5.00	3.70	4.35	3.75	1.94	3.94	4.51	3.84	4.49	3.73	4.50	3.73	4.50
R^2			0.6830	0.2820	0.8510	0.5420	0.8610	0.1677	0.8770	0.5170	0.8670	0.5280	0.8540	0.5270	0.8540	0.5270

'ตาราง ค.11 ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับเวลา ใน MAP ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของข้อมูลชุดที่ 5

เวลา(hr)	การทดลอง		แบบจำลองที่ 1		แบบจำลองที่2		แบบจำลองที่ 3		แบบจำลองที่ 4		แบบจำลองที่ 5		แบบจำลองที่ 6		แบบจำลองที่ 7	
	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2
0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00
24.00	11.72	5.00	10.71	4.73	10.90	5.19	10.51	5.08	13.07	4.29	10.74	4.88	9.64	5.98	9.64	5.98
48.00	5.52	6.07	3.98	7.39	3.40	7.95	3.22	7.79	4.55	7.79	3.05	7.86	2.85	7.69	2.85	7.69
72.00	1.38	9.24	1.34	7.23	1.29	8.04	1.23	7.88	1.04	8.48	1.24	8.02	1.18	7.62	1.18	7.62
144.00	0.55	7.45	0.91	6.75	1.28	6.73	1.31	6.74	1.27	6.58	1.32	6.82	1.41	6.39	1.41	6.39
216.00	0.88	6.62	1.41	6.27	1.52	6.29	1.50	6.33	1.30	6.41	1.35	6.65	1.46	6.22	1.46	6.21
309.00	1.24	5.79	1.54	6.19	1.59	6.18	1.57	6.20	1.30	6.39	1.35	6.63	1.47	6.20	1.47	6.20
486.00	1.38	5.43	1.55	6.20	1.60	6.17	1.58	6.17	1.30	6.39	1.35	6.63	1.47	6.20	1.47	6.20
556.00	1.38	5.43	1.55	6.20	1.60	6.17	1.58	6.16	1.30	6.39	1.35	6.63	1.46	6.20	1.46	6.20
654.00	1.38	5.65	1.55	6.20	1.60	6.17	1.58	6.16	1.30	6.39	1.35	6.63	1.47	6.20	1.47	6.20
R^2			0.9901	0.8367	0.9842	0.8560	0.9802	0.8610	0.9910	0.8472	0.9804	0.8058	0.9686	0.8160	0.9686	0.8160

ตาราง ค.12 ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับเวลา ใน MAP ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของข้อมูลชุดที่ 6

เวลา(hr)	การทดลอง		แบบจำลองที่ 1		แบบจำลองที่2		แบบจำลองที่ 3		แบบจำลองที่ 4		แบบจำลองที่ 5		แบบจำลองที่ 6		แบบจำลองที่ 7	
	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2	%O2	%CO2
0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00	21.00	0.00
20.00	19.81	1.33	19.66	1.21	19.89	1.04	19.78	1.19	19.63	1.18	19.61	1.18	19.75	1.15	19.67	1.19
40.00	18.67	2.27	18.52	2.19	18.94	1.94	18.79	2.16	18.48	2.15	18.45	2.15	18.67	2.10	18.56	2.17
60.00	17.73	3.07	17.54	2.98	18.13	2.71	17.98	2.95	17.54	2.94	17.50	2.95	17.75	2.88	17.63	2.96
90.00	16.53	3.79	16.31	3.87	17.16	3.66	17.04	3.86	16.42	3.86	16.38	3.86	16.58	3.79	16.51	3.89
120.00	15.73	4.61	15.28	4.50	16.43	4.39	16.33	4.54	15.59	4.53	15.55	4.53	15.59	4.45	15.67	4.56
140.00	15.36	5.07	14.67	4.81	16.05	4.78	15.94	4.88	15.16	4.88	15.12	4.88	14.99	4.80	15.22	4.90
160.00	14.93	5.33	14.10	5.05	15.76	5.11	15.57	5.16	14.80	5.16	14.76	5.16	14.41	5.08	14.85	5.18
180.00	14.72	5.60	13.57	5.23	15.56	5.39	15.20	5.39	14.51	5.38	14.47	5.39	13.80	5.31	14.54	5.40
R^2			0.9312	0.9890	0.9270	0.9810	0.9590	0.9940	0.9940	0.9940	0.9920	0.9940	0.9670	0.9880	0.9970	0.9950

ภาคผนวก ง.

โปรแกรมการคำนวณ

โปรแกรมในงานวิจัยนี้ได้ถูกเขียนขึ้นแยกเป็น 2 โปรแกรมเพื่อความสะดวกในการนำไปใช้ โดยโปรแกรมแรกได้ให้ชื่อโปรแกรม MAP 1 เป็นโปรแกรมสำหรับการคำนวณหาความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เวลาใด ๆ ในบรรจุภัณฑ์แบบบรรยากาศดัดแปรสำหรับผักและผลไม้สด โดยใช้สมการที่ (4.17) และ (4.18) ซึ่งเป็นสมการสมดุลมวลของแบบจำลองคณิตศาสตร์ของ MAP ในการคำนวณ เมื่อใช้พจน์ของอัตราการหายใจในรูปแบบสมการ 7 แบบ ส่วนโปรแกรมที่สองให้ชื่อว่าโปรแกรม MAP 2 เป็นโปรแกรมสำหรับคำนวณหาค่าการซึมผ่านของแก๊สที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ที่จะนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์แบบบรรยากาศดัดแปรสำหรับผักและผลไม้สด เมื่อทราบสภาวะการเก็บที่เหมาะสม โดยใช้สมการที่ (4.19) และ (4.20) ซึ่งเป็นสมการที่สมดุลในการคำนวณ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.1 รายละเอียดและผลการทำงานของโปรแกรม MAP 1

ง.1.1 รายละเอียดของโปรแกรม MAP 1

```
% PROGRAM NAME : MAP 1
% This program calculates the concentration of oxygen and carbon dioxide in the modified
% atmosphere package for fresh produces versus time using 4th order Runge-Kutta
% numerical method
clc
clear all
global s ; global ky ; global kz ; global v ; global w ; global l ; global ay ; global az
global vmy ; global kmy ; global kiy ; global vmz ; global kmz ; global kiz
global cy ; global cz ; global lamy ; global lamz
global k1y ; global k2y ; global k3y ; global k1z ; global k2z ; global k3z
while 1
clc
disp('******  This program calculates the concentration of oxygen and   ******')
disp('******    carbon dioxide in the modified atmosphere package   ******')
disp('******      for fresh produces versus time using 4th order   ******')
disp('******                Runge-Kutta numerical method        ******')
disp(' ')
disp('     The relationship between gas concentration in package and time ')
disp('      can be modeled with 2 ordinary differential equations as follows ')
disp(' ')
disp('         dyo/dt = (APo/LV)*(0.21-yo) - (W/V)*rO2(O2,CO2)     ')
disp('         dyc/dt = (APc/LV)*(0.0003-yc) + (W/V)*rCO2(O2,CO2)')
disp(' ')
disp(' Which')
disp('   yo,yc  =  volumetric concentration of oxygen and carbondioxide (%V/V) ')
disp('        A  =  Surface area of package (m^2)')
disp('        V  =  Free volume in package (ml)')
disp('        L  =  Thickness of package (mil)')
disp('        W  =  Weight of produces (kg)')
disp('        Po =  Oxygen permeability of package (ml.mil/m^2/atm/hr)')
disp('        Pc =  Carbon dioxide permeability of package (ml.mil/m^2/atm/hr)')
disp(' ')
disp(' Please strike any key')
pause
clc
disp(' ')
disp('       ==========================================================')
disp('         Please enter produce name and following data ')
disp('       ==========================================================')
disp('      [ To exit the program, please type  "q"  here]')
disp(' ')
n=input('  Name of your fresh produce         : ','s');
if (n =='q')
   disp(' ****** Thank you for using this program*******')
```

```
        return
      end
w=input('  Weight of produce (kg)            : ');
s=input('  Surface area of package (m^2)     : ');
l=input('  Thickness of package (mil)        : ');
v=input('  Free volume in package (ml)       : ');
ky=input('  Oxygen permeability of package (ml.mil/m^2/atm/hr)  : ');
kz=input('  Carbon dioxide permeability of package (ml.mil/m^2/atm/hr)  : ');
clc
disp(' ')
disp('  ***************************************************************')
disp('     Forms  of respiration rate available in this program')
disp('  ***************************************************************')
disp('      1) Linear form  ( r = a1+a2*[O2]+a3*[CO2]) ')
disp('      2) Polynomial form  ( r = a1+a2*[O2]+a3*[CO2]+a4*([O2]^2)+a5*([CO2])^2)')
disp('      3) Exponential form ( r = a1*exp(a4*[O2])+a2*exp(a5*[CO2])+a3 ')
disp('      4) Michaelis-Menton equation form : Uncompetitive inhibition type')
disp('            ( r  = vm*[O2]/(km+((1+(ki/[CO2]))*[O2])) )')
disp('      5) Michaelis-Menton equation form : Non-competitive inhibition type')
disp('            ( r  = vm*[O2]/((km+[O2])*(1+(ki/[CO2]))) )')
disp('      6) Michaelis-Menton equation form : Competitive inhibition type')
disp('            ( r  = vm*[O2]/([O2]+((1+(ki/[CO2]))*km)))')
disp('      7) Langmuir form  ( r = k1*k2*[O2]/(1+(k1*[O2])+(k3*[CO2])))')
disp(' ')
disp(' Where   rO2,rCO2  = respiration rate of O2 or CO2  (ml/kg/hr)')
disp('  a1,a2,a3,a4,a5,vm,km,ki,k1,k2,k3  = parameters of respiration rate')
disp('  [O2],[CO2] = volumetric concentration of Oxygen and Carbon dioxide (%)')
clc
disp('  Do you have parameters of respiration rate equation for one ')
disp('              of the forms available above ?                    ')
disp('  If yes, please type "Y" ; If No, please type "N"')
disp(' ')
r=input(' Please type  Y or N  :','s');
disp(' Please strike any key')
pause
if r=='Y'
 clc
 disp(' ')
 disp('  ')
 disp('  ************************************************************************** ')
 disp('   Please choose one form of the folowing respiration rate forms ')
 disp('  ************************************************************************** ')
 disp(' ')
 disp('       1) Linear form')
 disp('       2) Polynomial form')
 disp('       3) Exponential form')
 disp('       4) Michaelis-Menton equation form : Uncompetitive inhibition type')
 disp('       5) Michaelis-Menton equation form : Non-competitive inhibition type')
```

```
disp('        6) Michaelis-Menton equation form : Competitive inhibition type')
disp('        7) Langmuir form')
disp(' ')
f=input('Please choose the form number (1 till 7) : ')
if f==1
    clc
    disp(' Linear respiration rate form ')
    disp(' rO2   = ay1+ay2*[O2]+ay3*[CO2]')
    disp(' rCO2  = az1+az2*[O2]+az3*[CO2]')
    disp(' Where')
    disp('  rO2,rCO2   = respiration rate of O2 or CO2 (ml/kg/hr)')
    disp('  ay1,ay2,ay3   = parameters of O2 consumption rate')
    disp('  az1,az2,az3   = parameters of CO2 evolution rate')
    disp('  [O2],[CO2] = volumetric concentration of Oxygen and Carbon dioxide (%)')
    disp(' ')
    ay(1,1)=input('ay1= ');
    ay(1,2)=input('ay2= ');
    ay(1,3)=input('ay3= ');
    az(1,1)=input('az1= ');
    az(1,2)=input('az2= ');
    az(1,3)=input('az3= ');
    time=input('Please specify the total time required for calculation (hr) : ');
    initx=[21 0.03];
    [t1 x1]=ode45('fm1',0,time,initx,0.01);
elseif f==2
  clc
  disp(' ')
  disp(' Polynomial respiration rate form')
  disp(' ')
  disp(' rO2   = ay1+ay2*[O2]+ay3*[CO2]+ay4*([O2]^2)+ay5*([CO2])^2')
  disp(' rCO2 = az1+az2*[O2]+az3*[CO2]+az4*([O2]^2)+az5*([CO2])^2')
  disp(' Where')
  disp('    rO2,rCO2   = respiration rate of O2 or CO2 (ml/kg/hr)')
  disp('    ay1,ay2,ay3,ay4,ay5  = parameters of O2 consumption rate')
  disp('    az1,az2,az3,az4,az5  = parameters of CO2 evolution rate')
  disp('   [O2],[CO2] = volumetric concentration of Oxygen and Carbon dioxide (%)')
  disp(' ')
   ay(1,1)=input('ay1= ');
   ay(1,2)=input('ay2= ');
   ay(1,3)=input('ay3= ');
   ay(1,4)=input('ay4= ');
   ay(1,5)=input('ay5= ');
   az(1,1)=input('az1= ');
   az(1,2)=input('az2= ');
   az(1,3)=input('az3= ');
   az(1,4)=input('az4= ');
   az(1,5)=input('az5= ');
   time=input('Please specify the total time required for calculation (hr) : ');
```

```
  initx=[21 0.03];
  [t1 x1]=ode45('fm2',0,time,initx,0.01);
elseif f==3
  clc
  disp(' ')
  disp('Exponential respiration rate form')
  disp(' ')
  disp('   rO2    = ay1*exp(ay4*[O2])+ay2*exp(ay5*[CO2])+ay3')
  disp('   rCO2   = az1*exp(az4*[O2])+az2*exp(az5*[CO2])+az3')
  disp(' where')
  disp('   rO2,rCO2  = respiration rate of O2 or CO2 (ml/kg/hr)')
  disp('   ay1,ay2,ay3,ay4,ay5   = parameters of O2 consumption rate')
  disp('   az1,az2,az3,az4,az5   = parameters of CO2 evolution rate')
  disp('   [O2],[CO2] = volumetric concentration of Oxygen and Carbon dioxide (%)')
  disp(' ')
  cy(1,1)=input('ay1= ');
  cy(1,2)=input('ay2= ');
  cy(1,3)=input('ay3= ');
  lamy(1,4)=input('ay4= ');
  lamy(1,5)=input('ay5= ');
  cz(1,1)=input('az1= ');
  cz(1,2)=input('az2= ');
  cz(1,3)=input('az3= ');
  lamz(1,4)=input('az4= ');
  lamz(1,5)=input('az5= ');
  time=input('Please specify the total time required for calculation (hr) : ');
  initx=[21 0.03];
  [t1 x1]=ode45('fm3',0,time,initx,0.01);
elseif f==4
   clc
   disp('Michaelis-Menton equation form : Uncompetitive inhibition type  respiration rate form')
   disp('        rO2        = vmy*[O2]/(kmy+((1+(kiy/[CO2]))*[O2]))')
   disp('      rCO2        = vmz*[O2]/(kmz+((1+(kiz/[CO2]))*[O2]))')
   disp(' Where')
   disp(' rO2,rCO2        = respiration rate of O2 or CO2 (ml/kg/hr)')
   disp(' vmy,kmy,kiy     = parameters of O2 consumption rate')
   disp(' vmz,kmz,kiz     = parameters of CO2 evolution rate')
   disp(' [O2],[CO2] = volumetric concentration of Oxygen and Carbon dioxide (%)')
    vmy=input('vmy= ');
    kmy=input('kmy= ');
    kiy=input('kiy= ');
    vmz=input('vmz= ');
    kmz=input('kmz= ');
    kiz=input('kiz= ');
    time=input('Please specify the total time required for calculation (hr) : ');
    initx=[21 0.03];
    [t1 x1]=ode45('fm4',0,time,initx,0.01);
 elseif f==5
```

```
    clc
    disp(' Michaelis-Menton equation form :Non-competitive inhibition type  respiration rate form')
    disp(' ')
    disp('   rO2        = vmy*[O2]/((kmy+[O2])*(1+(kiy/[CO2])))')
    disp('   rCO2       = vmz*[O2]/((kmz+[O2])*(1+(kiz/[CO2])))')
    disp(' Where')
    disp(' rO2,rCO2        = respiration rate of O2 or CO2 (ml/kg/hr)')
    disp(' vmy,kmy,kiy    = parameters of O2 consumption rate')
    disp(' vmz,kmz,kiz    = parameters of CO2 evolution rate')
    disp('  [O2],[CO2] = volumetric concentration of Oxygen and Carbon dioxide (%)')
    vmy=input('vmy= ');
    kmy=input('kmy= ');
    kiy=input('kiy= ');
    vmz=input('vmz= ');
    kmz=input('kmz= ');
    kiz=input('kiz= ');
    time=input('Please specify the total time required for calculation (hr) : ');
    initx=[21 0.03];
    [t1 x1]=ode45('fm5',0,time,initx,0.01);
  elseif f==6
    clc
    disp(' ')
    disp(' Michaelis-Menton equation form :Competitive inhibition type  respiration rate form')
    disp(' ')
    disp('       rO2        = vmy*[O2]/([O2]+((1+(kiy/[CO2]))*kmy))')
    disp('       rCO2       = vmz*[O2]/([CO2]+((1+(kiz/[CO2]))*kmz))')
    disp(' Where')
    disp(' rO2,rCO2        = respiration rate of O2 or CO2 (ml/kg/hr)')
    disp(' vmy,kmy,kiy    = parameters of O2 consumption rate')
    disp(' vmz,kmz,kiz    = parameters of CO2 evolution rate')
    disp('  [O2],[CO2] = volumetric concentration of Oxygen and Carbon dioxide (%)')
    disp(' ')
    vmy=input('vmy= ');
    kmy=input('kmy= ');
    kiy=input('kiy= ');
    vmz=input('vmz= ');
    kmz=input('kmz= ');
    kiz=input('kiz= ');
    time=input('Please specify the total time required for calculation (hr) : ');
    initx=[21 0.03];
    [t1 x1]=ode45('fm6',0,time,initx,0.01);
  elseif f==7
    clc
    disp(' ')
    disp(' Langmuir respiration rate form  ')
    disp(' ')
    disp('       rO2        = k1y*k2y*[O2]/(1+(k1y*[O2])+(k3y*[CO2]))')
    disp('       rCO2       = k1z*k2z*[O2]/(1+(k1z*[O2])+(k3z*[CO2]))')
```

```
      disp(' Where')
      disp(' rO2,rCO2        = respiration rate of O2 or CO2 (ml/kg/hr)')
      disp(' k1y,k2y,k3y     = parameters of O2 consumption rate')
      disp(' k1z,k2z,k3z     = parameters of CO2 evolution rate')
      disp('  [O2],[CO2] = volumetric concentration of Oxygen and Carbon dioxide (%)')
      k1y=input('k1y= ');
      k2y=input('k2y= ');
      k3y=input('k3y= ');
      k1z=input('k1z= ');
      k2z=input('k2z= ');
      k3z=input('k3z= ');
      time=input('Please specify the total time required for calculation (hr) : ');
      initx=[21 0.03];
      [t1 x1]=ode45('im7',0,time,initx,0.01) ;
    end
      result(:,1)=t1;
      result(:,2)=x1(:,1);
      result(:,3)=x1(:,2);
      re=result';
      disp('  ================================================== ')
      disp('  Calculation results of the gas concentration in MAP package ')
      disp('  ================================================== ')
      disp('    t(hr)         [O2] (%)         [CO2] (%) ')
      fprintf('    %6.4f         %6.4f           %6.4f\n',re)
      disp('Please strike any key')
      pause
      hold on
      plot(t1,x1,'m-');
      grid
      xlabel('time(hr)');
      ylabel('%O2 and %CO2');
      hold off
end
  if r=='N'
 % test_long is a variable used for auto testing of this routine
if ~exist('test_long') test_long =  0 ;end
if exist('g')~=1 g=7;end
if ~length(g) g=7;end
      h=7;
      if ~test_long
      clc
      disp(' ')
      disp('  ==========================================================================')
      disp('  Types of fresh produces with respiration rate equation in this program')
      disp('  ========================================================================== ')
      disp(' ')
      disp('        1) Apple ')
      disp('        2) Broccoli (California)')
```

```
    disp('       3) Broccoli (cv. "Marathon")')
    disp('       4) Tomato (cv. "field")')
    disp('       5) Tomato (cv. "Sunny")')
    disp('       6) Peach (cv. "Crest Haven")')
    disp('       0) Quit')
    disp('Note : If your produce is not in this list , please select "0". ')
    disp('       Then you should fit your respiration rate data with one the 7')
    disp('       respiration forms given above before using this program')
    end
    if test_long
   if h>=7
     g=g-1;
     h=0;
    end
   else
     g=-1;
   end
disp(' ')
    while (g <0| g>6)
     g = [];
     while ~length(g)
        g = input('  Please choose  number (0 till 6) :  ');
     end
    end
    if (g ==0)
      return
    end
    if test_long
     h=h+1;
    else
     h=[];
    end
    clc
    disp('  ************************************************************')
    disp('    Choose one form of the following respiration forms')
    disp('  ************************************************************')
    disp('       1) Linear form')
    disp('       2) Polynomial form')
    disp('       3) Exponential form')
    disp('       4) Michaelis-Menton equation form : Uncompetitive inhibition type')
    disp('       5) Michaelis-Menton equation form : Non-competitive inhibition type')
    disp('       6) Michaelis-Menton equation form : Competitive inhibition type')
    disp('       7) Langmuir form')
    disp(' ')
     while ~length(h)
        h= input ('Select a respiration form number :   ');
     end
    if h==1
```

```
    clc
    lnr  % linear respiration rate form
    ay(:,:)=data(g,1:3);
    az(:,:)=data(g,4:6);
    time=input('Please specify the total time required for calculation (hr) : ');
    initx=[21 0.03];
    [t1 x1]=ode45('fm1',0,time,initx,0.01);
elseif h==2
    polyn  % Polynomial  respiration rate form
    ay(:,:)=data(g,1:5);
    az(:,:)=data(g,6:10);
    time=input('Please specify the total time required for calculation (hr) : ');
    initx=[21 0.03];
    [t1 x1]=ode45('fm2',0,time,initx,0.001);
elseif h==3
    expon %  Exponential  respiration rate form
    cy(:,:)=data(g,1:3);
    cz(:,:)=data(g,6:8);
    lamy(:,:)=data(g,4:5);
    lamz(:,:)=data(g,9:10);
    time=input('Please specify the total time required for calculation (hr) : ');
    initx=[21 0.03];
    [t1 x1]=ode45('fm3',0,time,initx,0.001);
elseif h==4
    uncomp  % Uncompetitive  respiration rate form
    vmy=data(g,1); kmy=data(g,2); kiy=data(g,3);
    vmz=data(g,4); kmz=data(g,5); kiz=data(g,6);
    time=input('Please specify the total time required for calculation (hr) : ');
    initx=[21 0.03];
    [t1 x1]=ode45('fm4',0,time,initx,0.001);
elseif h==5
    noncomp % Non-competitive  respiration rate form
    vmy=data(g,1); kmy=data(g,2); kiy=data(g,3);
    vmz=data(g,4); kmz=data(g,5); kiz=data(g,6);
    time=input('Please specify the total time required for calculation (hr) : ');
    initx=[21 0.03];
    [t1 x1]=ode45('fm5',0,time,initx,0.001);
 elseif h==6
    compe  % Competitive respiration rate form
    vmy=data(g,1);  kmy=data(g,2); kiy=data(g,3);
    vmz=data(g,4); kmz=data(g,5);  kiz=data(g,6);
    time=input('Please specify the total time required for calculation (hr) : ');
    initx=[21 0.03];
    [t1 x1]=ode45('fm6',0,time,initx,0.001)
elseif h==7
    lngmu % Langmuir respiration rate form
    k1y=data(g,1); k2y=data(g,2); k3y=data(g,3);
    k1z=data(g,4); k2z=data(g,5); k3z=data(g,6);
```

```
        time=input('Please specify the total time required for calculation (hr) : ');
        initx=[21 0.03];
        [t1 x1]=ode45('fm7',0,time,initx,0.01);
    end
        result(:,1)=t1;
        result(:,2)=x1(:,1);
        result(:,3)=x1(:,2);
        re=result';
        fprintf('Produces : %s\n',n)
        fprintf('Weight of produce : %6.4f          Surface area of package : %6.4f\n',w,s)
        fprintf('Thickness of package : %6.4f       Free volume in package : %6.4f\n',l,v)
        fprintf('O2 Permeability : %6.4f        CO2 Permeability : %6.4f\n',ky,kz)
        disp(' ================================================== ')
        disp('  Calculation results of the gas concentration in MAP package ')
        disp(' ================================================== ')
        disp('    t(hr)          [O2] (%)          [CO2] (%) ')
        fprintf('    %6.4f         %6.4f           %6.4f\n',re)
        disp('Please strike any key')
        pause
        hold on
        plot(t1,x1,'m-');
        grid
        xlabel('time(hr)');
        ylabel('%O2 and %CO2');
        hold off
end
end

% This program is used for calculation with respiration rate model 1 (Linear Model)
function fv=fm1(t,x)
global s; global ky ; global kz ; global w ; global v ; global l ;global ay ;global az
fv=zeros(2,1);
fv(1)=100*((s*ky*(0.21-(x(1)/100)))/(v*l)-((w/v)*(ay(1)+(ay(2)*x(1))+(ay(3)*x(2)))));
fv(2)=100*((s*kz*(0-(x(2)/100)))/(v*l)+((w/v)*(az(1)+(az(2)*x(1))+(az(3)*x(2)))));

% This program is used for calculation with respiration rate model 2 (Polynomial Model)
function fv=fm2(t,x)
global s; global ky ; global kz ; global w ; global v ; global l ; global ay ; global az
fv=zeros(2,1);
fv(1)=100*((s*ky*(0.21-(x(1)/100)))/(v*l)-((w/v)*(ay(1)+(ay(2)*x(1))+(ay(3)*x(2))+(ay(4)*(x(1)^2))+(ay(5)*
      (x(2)^2)))));
fv(2)=100*((s*kz*(0-(x(2)/100)))/(v*l)+((w/v)*(az(1)+(az(2)*x(1))+(az(3)*x(2))+(az(4)*(x(1)^2))+(az(5)*
      (x(2)^2)))));
```

```
% This program is used for calculation with respiration rate model 3 (Exponential Model)
function fv=fm3(t,x)
global s; global ky ; global kz ; global w ; global v ; global l ; global cy ; global cz ; global lamy ; global lamz
fv=zeros(2,1);
fv(1)=100*((s*ky*(0.21-(x(1)/100)))/(v*l)-((w/v)*(cy(1)*exp(lamy(1)*x(1))+cy(2)*exp(lamy(2)*x(2))+
      cy(3))));
fv(2)=100*((s*kz*(0-(x(2)/100)))/(v*l)+((w/v)*(cz(1)*exp(lamz(1)*x(1))+cz(2)*exp(lamz(2)*x(2))+cz(3))));
% This program is used for calculation with respiration rate model 4 (Michaelis-Menten:Uncompetitive Model)
function fv=fm4(t,x)
global s ; global ky ; global kz ; global w ; global v ; global l
global vmy ; global kmy; global kiy ; global vmz ; global kmz ; global kiz
fv=zeros(2,1);
fv(1)=100*((s*ky*(0.21-(x(1)/100)))/(v*l)-((w/v)*(vmy*x(1))/((kmy)+(x(1)*(1+(x(2)/kiy))))));
fv(2)=100*((s*kz*(0-(x(2)/100)))/(v*l)+((w/v)*(vmz*x(1))/((kmz)+(x(1)*(1+(x(2)/kiz))))));


%This program is used for calculation with respiration rate model 5 (Michaelis-Menten:noncompetitive Model)
function fv=fm5(t,x)
global s ; global ky ; global kz ; global w ; global v ; global l
global vmy ; global kmy; global kiy ; global vmz ; global kmz ; global kiz
fv=zeros(2,1);
fv(1)=100*((s*ky*(0.21-(x(1)/100)))/(v*l)-((w/v)*(vmy*x(1))/((kmy)+(kmy*x(2)/kiy)+(x(1)*(1+(x(2)/
      kiy))))));
fv(2)=100*((s*kz*(0-(x(2)/100)))/(v*l)+((w/v)*(vmz*x(1))/((kmz)+(kmz*x(2)/kiz)+(x(1)*(1+(x(2)/kiz))))));


% This program is used for calculation with respiration rate model 6 (Michaelis-Menten:competitive Model)
function fv=fm6(t,x)
global s ; global ky ; global kz ; global w ; global v ; global l
global vmy ; global kmy; global kiy ; global vmz ; global kmz ; global kiz
fv=zeros(2,1);
fv(1)=100*((s*ky*(0.21-(x(1)/100)))/(v*l)-((w/v)*(vmy*x(1))/((x(1))+(kmy*(1+(x(2)/kiy))))));
fv(2)=100*((s*kz*(0-(x(2)/100)))/(v*l)+((w/v)*(vmz*x(1))/((x(1))+(kmz*(1+(x(2)/kiz))))));


% This program is used for calculation with respiration rate model 7 (Langmuir Model)
function fv=fm7(t,x)
global s ; global ky ; global kz ; global w ; global v ; global l
global k1y ; global k2y ; global k3y ; global k1z ; global k2z ; global k3z
fv=zeros(2,1);
fv(1)=100*((s*ky*(0.21-(x(1)/100)))/(v*l)-((w/v)*(k1y*k2y*x(1))/(1+(k1y*x(1))+(k3y*x(2)))));
fv(2)=100*((s*kz*(0-(x(2)/100)))/(v*l)+((w/v)*(k1z*k2z*x(1))/(1+(k1z*x(1))+(k3z*x(2)))));
```

ง.1.2 ตัวอย่างผลการทำงานของโปรแกรม MAP 1

เมื่อเริ่มต้นใช้โปรแกรม โปรแกรมจะบอกถึงจุดประสงค์โปรแกรมและสมการที่ใช้ในการคำนวณดังรูป ง.1 และให้ผู้ใช้ใส่ข้อมูลของระบบบรรจุภัณฑ์ที่ต้องการคำนวณดังรูป ง.2

```
****** This program calculates the concentration of oxygen and  ******
******   carbon dioxide in the modified atmosphere package   ******
******     for fresh produces versus time using 4th order   ******
******              Runge-Kutta numerical method   ******

   The relationship between gas concentration in package and time
    can be modeled with 2 ordinary differential equations as follows

          dyo/dt = (APo/LV)*(0.21-yo) - (W/V)*rO2(O2,CO2)
          dyc/dt = (APc/LV)*(0.0003-yc) + (W/V)*rCO2(O2,CO2)

Which
  yo,yc = volumetric concentration of oxygen and carbondioxide (%V/V)
      A = Surface area of package (m^2)
      V = Free volume in package (ml)
      L = Thickness of package (mil)
      W = Weight of produces (kg)
      Po = Oxygen permeability of package (ml.mil/m^2/atm/hr)
      Pc = Carbon dioxide permeability of package (ml.mil/m^2/atm/hr)

Please strike any key
```

รูป ง.1 จุดประสงค์และสมการที่ถูกใช้ในการคำนวณในโปรแกรม MAP 1

```
=============================================
      Please enter produce name and following data
=============================================
      To exit the program, please type "q"  here]

Name of your fresh produce       : apple
Weight of produce (kg)           : 0.25
Surface area of package (m^2)    : 0.06
Thickness of package (mil)       : 1.5
Free volume in package (ml)      : 405
Oxygen permeability of package (ml.mil/m^2/atm/hr)  : 375
Carbon dioxide permeability of package (ml.mil/m^2/atm/hr) : 1458.33
```

รูป ง.2 การป้อนข้อมูลของระบบบรรจุภัณฑ์ที่ต้องการคำนวณ

หลังจากนั้นโปรแกรมจะแสดงรูปแบบจำลองอัตราการหายใจที่มีในโปรแกรมดังรูป ง.3 และให้ผู้ใช้เลือกว่าผู้ใช้มีพารามิเตอร์ของแบบจำลองอัตราการหายใจแบบใด ๆ ของผักและผลไม้สดที่ผู้ใช้สนใจหรือไม่ ดังรูป ง.4

```
**********************************************************
  Forms of respiration rate available in this program
**********************************************************
   1) Linear form ( r = a1+a2*[O2]+a3*[CO2])
   2) Polynomial form ( r = a1+a2*[O2]+a3*[CO2]+a4*([O2]^2)+a5*([CO2])^2)
   3) Exponential form ( r = a1*exp(a4*[O2])+a2*exp(a5*[CO2])+a3
   4) Michaelis-Menton equation form : Uncompetitive inhibition type
        ( r = vm*[O2]/(km+((1+(ki/[CO2]))*[O2])) )
   5) Michaelis-Menton equation form : Non-competitive inhibition type
        ( r = vm*[O2]/((km+[O2])*(1+(ki/[CO2]))) )
   6) Michaelis-Menton equation form : Competitive inhibition type
        ( r = vm*[O2]/([O2]+((1+(ki/[CO2]))*km)))
   7) Langmuir form ( r = k1*k2*[O2]/(1+(k1*[O2])+(k3*[CO2])))

Where  rO2,rCO2  = respiration rate of O2 or CO2 (ml/kg/hr)
 a1,a2,a3,a4,a5,vm,km,ki,k1,k2,k3 = parameters of respiration rate
 [O2],[CO2] = volumetric concentration of Oxygen and Carbon dioxide (%)
```

รูป ง.3 การแสดงแบบจำลองอัตราการหายใจที่มีอยู่ในโปรแกรม

```
Do you have parameters of respiration rate equation for one
        of the forms available above?
If yes, please type "Y" ; If No, please type "N"


Please type  Y or N  : N


Please strike any key
```

รูป ง.4 การให้ผู้ใช้เลือกว่ามีพารามิเตอร์ของแบบจำลองอัตราการหายใจหรือไม่

ถ้าผู้ใช้ไม่มีพารามิเตอร์ของแบบจำลองอัตราการหายใจของผักและผลไม้สดที่สนใจ โปรแกรมจะทำการแสดงชนิดของผักและผลไม้สดที่มีพารามิเตอร์ของแบบจำลองอัตราการหายใจแบบใด ๆ ดังรูป ง.5 และผู้ใช้สามารถเลือกแบบจำลองอัตราการหายใจได้ดังรูป ง.6

```
==========================================================
     Types of fresh produced with respiration rate equation in this program
==========================================================

     1) Apple
     2) Broccoli (California)
     3) Broccoli (cv. "Marathon")
     4) Tomato (cv. "field")
     5) Tomato (cv. "Sunny")
     6) Peach (cv. "Crest Haven")
     0) Quit

Note : If your produce is not in this list , please select "0".
       Then you should fit your respiration rate data with one the 7
       respiration forms given above before using this program

 Please choose  number (0 till 6) :  1
```

รูป ง.5 ชนิดของผักและผลไม้สดที่มีพารามิเตอร์ของแบบจำลองอัตราการหายใจแบบใด ๆ ในฐานข้อมูลของโปรแกรม

```
**********************************************************
 Choose one form of the following respiration forms
**********************************************************

     1) Linear form
     2) Polynomial form
     3) Exponential form
     4) Michaelis-Menton equation form : Uncompetitive inhibition type
     5) Michaelis-Menton equation form : Non-competitive inhibition type
     6) Michaelis-Menton equation form : Competitive inhibition type
     7) Langmuir form

Select a respiration form number :  4
Please specify the total time required for calculation (hr) : 240
```

รูป ง.6 การเลือกแบบจำลองอัตราการหายใจที่ต้องการเพื่อใช้ในการคำนวณในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ MAP

หลังจากทำการเลือกชนิดของผักและผลไม้สดที่ต้องการบรรจุและเลือกรูปแบบจำลองอัตราการหายใจที่ต้องการคำนวณแล้ว โปรแกรมจะแสดงค่าความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เวลาใด ๆ ในบรรจุภัณฑ์ ดังรูปที่ ง.7 และแสดงผลเป็นกราฟดังรูปที่ ง.8

Produces : apple

Weight of produce : 0.25 Surface area of package : 0.06

Thickness of package : 1.5 Free volume in package : 405

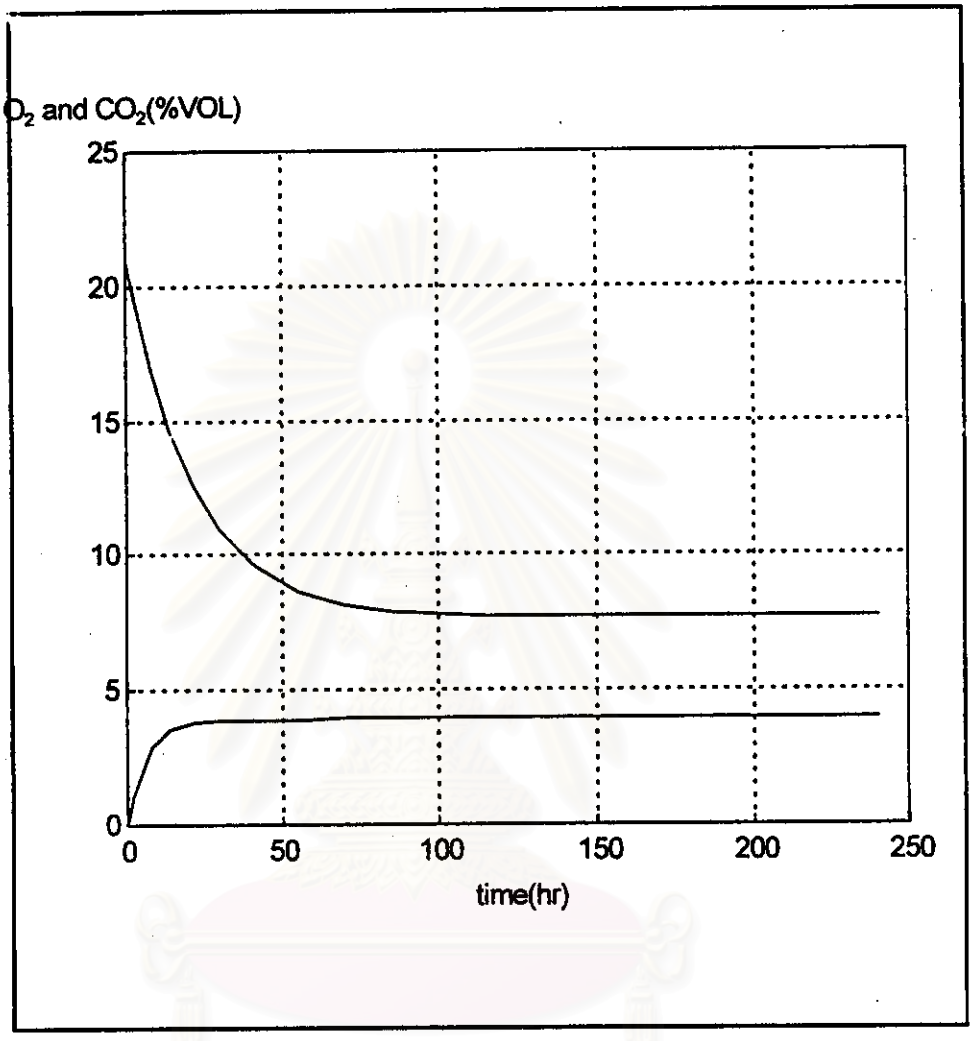
O2 permeability : 375 CO2 permeability : 1458.33

Calculation results of the gas concentration in MAP package

t(hr)	[O2] (%)	[CO2] (%)
0.0000	21.0000	0.0300
1.8750	19.8618	1.1074
7.7818	16.9227	2.8910
13.9115	14.6297	3.5488
21.2591	12.5986	3.8041
29.9988	10.9142	3.8835
40.7869	9.5862	3.9030
54.7459	8.6310	3.9062
69.7459	8.1306	3.9063
84.7459	7.8981	3.9063
99.7459	7.7913	3.9064
114.7459	7.7424	3.9064
129.7459	7.7201	3.9064
144.7459	7.7099	3.9064
159.7459	7.7053	3.9064
174.7459	7.7031	3.9064
189.7459	7.7022	3.9064
204.7459	7.7017	3.9064
219.7459	7.7015	3.9064
234.7459	7.7015	3.9064
240.0000	7.7014	3.9064

Please strike any key

รูป ง.7 ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เวลาใด ๆ ภายในบรรจุภัณฑ์แบบ MAP สำหรับผักและผลไม้สดที่ต้องการ



รูป ง. 8 กราฟแสดงความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เวลาใด ๆ ที่คำนวณได้ด้วยโปรแกรม MAP1 ภายในบรรจุภัณฑ์แบบ MAP สำหรับผักและผลไม้สดที่ต้องการ

ง.2 รายละเอียดและผลการทำงานของโปรแกรม MAP 2

ง.2.1 รายละเอียดของโปรแกรม MAP 2

```
%  Program Name : MAP2
% This program determines the  suitable permeability of polymeric films to be used as
% modified atmosphere packaging for given fresh produce at specificed storage condition
clc
clear all
global s ; global ky; global kz; global v; global w ; global l
global ay ; global az
global vmy ; global kmy ; global kiy ; global vmz ; global kmz ; global kiz
global cy ; global cz ; global lamy ; global lamz
global k1y ; global k2y ; global k3y ; global k1z ; global k2z ; global k3z
% test_long is a variable used for auto testing of this routine
if ~exist('test_long') test_long =  0 ;end
if exist('method')~=1 method=7;end
if ~length(method) method=7;end
i=7;
while 1
  if ~test_long
    clc
    disp(' ==========================================================================')
    disp('   Choose type of fresh produces to be stored in MAP from one of following ')
    disp(' ==========================================================================')
    disp('      [If your fresh produce is not  in the following lists,] ')
    disp('                [Please select number 0]')
    disp('       1) Apple ')
    disp('       2) Broccoli (California)')
    disp('       3) Broccoli (cv. "Marathon")')
    disp('       4) Tomato (cv. "field")')
    disp('       5) Tomato (cv. "Sunny")')
    disp('       6) Peach (cv. "Crest Haven")')
    disp('       0) Quit')
  end
  if test_long
    if i>=7
      method=method-1;
      i=0;
    end
    else
      method=-1;
  end
  disp('')
  while (method <0| method>6)
      method  = [ ];
      while ~length(method)
          method = input('  Please select (0 till 6) :   ');
```

```
   end
end
if (method ==0)
    return
end
if test_long
    i=i+1;
else
    i=[];
end
  optimum
  B(:,:)=opt(method,:);
  disp('    ==========================================================================')
  disp('     Optimum gas volumetric concentration for your selected produce are')
  disp('    ==========================================================================')
  fprintf('         Oxygen :  %6.3f      to  %6.3f\n',B(1,1),B(1,2))
  fprintf('  Carbon dioxide :  %6.3f      to  %6.3f\n',B(1,3),B(1,4))
  disp(' ')
  disp('  Please strike any key')
  pause
  clc
  disp('   Please fill the values of the following parameters ')
  w =input('  Produces weight (kg.) = ');
  s =input('  Surface area of package (m^2) = ');
  l =input('  Thickness of film (mil) = ');
  disp('          1 mil = 0.001 in')
clc
disp('   ***************************************************************************')
disp('   Choose one of the following respiration forms to be used in the calculation')
disp('   ***************************************************************************')
disp('       1) Linear form')
disp('       2) Polynomial form')
disp('       3) Exponential form')
disp('       4) Michaelis-Menton equation form : Uncompetitive inhibition type')
disp('       5) Michaelis-Menton equation form : Non-competitive inhibition type')
disp('       6) Michaelis-Menton equation form : Competitive inhibition type')
disp('       7) Langmuir form')
disp(' ')
while ~length(i)
    i= input ('Select a respiration form number (1 till 7) :   ');
end
if i==1
  clc
  lnr  % linear respiration rate form
  A(:,:)=data(method,:);
  ay(:,:)=A(1,1:3);
  az(:,:)=A(1,4:6);
  Ry1=A(1,1)+A(1,2).*B(1,1)+A(1,3).*B(1,3) ;
```

```
Ry2=A(1,1)+A(1,2).*B(1,1)+A(1,3).*B(1,4) ;
Ry3=A(1,1)+A(1,2).*B(1,2)+A(1,3).*B(1,3) ;
Ry4=A(1,1)+A(1,2).*B(1,2)+A(1,3).*B(1,4) ;
Rz1=A(1,4)+A(1,5).*B(1,1)+A(1,6).*B(1,3);
Rz2=A(1,4)+A(1,5).*B(1,1)+A(1,6).*B(1,4);
Rz3=A(1,4)+A(1,5).*B(1,2)+A(1,6).*B(1,3);
Rz4=A(1,4)+A(1,5).*B(1,2)+A(1,6).*B(1,4);
ky1=w*Ry1*l/((0.21-(B(1,1)/100))*s);
ky2=w*Ry2*l/((0.21-(B(1,1)/100))*s);
ky3=w*Ry3*l/((0.21-(B(1,2)/100))*s);
ky4=w*Ry4*l/((0.21-(B(1,2)/100))*s);
kz1=w*Rz1*l/(((B(1,3)/100))*s);
kz2=w*Rz2*l/(((B(1,4)/100))*s);
kz3=w*Rz3*l/(((B(1,3)/100))*s);
kz4=w*Rz4*l/(((B(1,4)/100))*s);
kky=[ky1 ky2 ky3 ky4];
kkz=[kz1 kz2 kz3 kz4];
fprintf('Suitable permeability of oxygen :      %6.3f   to   %6.3f\n',min(kky),max(kky))
disp('    (ml.mil/(m^2.hr.atm))       ')
fprintf('Suitable permeability of carbon dioxide : %6.3f   to   %6.3f\n',min(kkz),max(kkz))
disp('    (ml.mil/(m^2.hr.atm))       ')
ky=(ky1+ky2+ky3+ky4)/4;
kz=(kz1+kz2+kz3+kz4)/4;
disp(' Strike any key for studying the effect of volume')
initx=[21 0.03];
v=100;
times=input('Please enter calculated time (hr.) : ');
[t1 x1]=ode45('fm1',0,times,initx,0.001);
figure(1)
plot(t1,x1(:,1),'g:',t1,x1(:,2),'g:',t1,x1(:,1),'wo',t1,x1(:,2),'wo')
grid
title('  The effect of volume on O2 & CO2 in calculated package ');
xlabel('t(hr)');
ylabel('%O2 and %CO2 (vol)');
v=v+100;
while  v<=1000
 [t1 x1]=ode45('fm1',0,times,initx,0.001)
 hold on
 plot(t1,x1);
 grid
 v=v+100;
end
elseif i==2
 clc
 polyn  % Polynomial  respiration rate form
 A(:,:)=data(method,:);
 ay(:,:)=A(1,1:5);
 az(:,:)=A(1,6:10);
```

```
Ry1=A(1,1)+A(1,2).*B(1,1)+A(1,3).*B(1,3)+A(1,4).*(B(1,1).^2)+A(1,5).*(B(1,3).^2) ;
Ry2=A(1,1)+A(1,2).*B(1,1)+A(1,3).*B(1,4)+A(1,4).*(B(1,1).^2)+A(1,5).*(B(1,4).^2);
Ry3=A(1,1)+A(1,2).*B(1,2)+A(1,3).*B(1,3)+A(1,4).*(B(1,2).^2)+A(1,5).*(B(1,3).^2) ;
Ry4=A(1,1)+A(1,2).*B(1,2)+A(1,3).*B(1,4)+A(1,4).*(B(1,2).^2)+A(1,5).*(B(1,4).^2) ;
Rz1=A(1,6)+A(1,7).*B(1,1)+A(1,8).*B(1,3)+A(1,9).*(B(1,1).^2)+A(1,10).*(B(1,3).^2);
Rz2=A(1,6)+A(1,7).*B(1,1)+A(1,8).*B(1,4)+A(1,9).*(B(1,1).^2)+A(1,10).*(B(1,4).^2);
Rz3=A(1,6)+A(1,7).*B(1,2)+A(1,8).*B(1,3)+A(1,9).*(B(1,2).^2)+A(1,10).*(B(1,3).^2);
Rz4=A(1,6)+A(1,7).*B(1,2)+A(1,8).*B(1,4)+A(1,9).*(B(1,2).^2)+A(1,10).*(B(1,4).^2);
ky1=w*Ry1*l/((0.21-(B(1,1)/100))*s);
ky2=w*Ry2*l/((0.21-(B(1,1)/100))*s);
ky3=w*Ry3*l/((0.21-(B(1,2)/100))*s);
ky4=w*Ry4*l/((0.21-(B(1,2)/100))*s);
kz1=w*Rz1*l/(((B(1,3)/100))*s);
kz2=w*Rz2*l/(((B(1,4)/100))*s);
kz3=w*Rz3*l/(((B(1,3)/100))*s);
kz4=w*Rz4*l/(((B(1,4)/100))*s);
kky=[ky1 ky2 ky3 ky4];
kkz=[kz1 kz2 kz3 kz4];
fprintf('Suitable permeability of oxygen :      %6.3f   to   %6.3f\n',min(kky),max(kky))
disp('    (ml.mil/(m^2.hr.atm))       ')
fprintf('Suitable permeability of carbon dioxide : %6.3f   to   %6.3f\n',min(kkz),max(kkz))
disp('    (ml.mil/(m^2.hr.atm))       ')
ky=(ky1+ky2+ky3+ky4)/4;
kz=(kz1+kz2+kz3+kz4)/4;
disp(' Strike any key for studying the effect of volume')
initx=[21 0.03];
v=100;
times=input('Please enter calculated time (hr.) : ');
[t1 x1]=ode45('fm2',0,times,initx,0.001);
figure(1)
plot(t1,x1(:,1),'g:',t1,x1(:,2),'g:',t1,x1(:,1),'wo',t1,x1(:,2),'wo')
grid
title('  The effect of volume on O2 & CO2 in calculated package ');
xlabel('t(hr)');
ylabel('%O2 and %CO2 (vol)');
v=v+100;
while  v<=1000
 [t1 x1]=ode45('fm2',0,times,initx,0.001)
 hold on
 plot(t1,x1);
 grid
 v=v+100;
end
elseif i==3
 clc
 expon % Exponential  respiration rate form
 A(:,:)=data(method,:);
 cy(:,:)=A(:,1:3);
```

```
cz(:,:)=A(:,6:8);
lamy(:,:)=A(:,4:5);
lamz(:,:)=A(:,9:10);
Ry1=A(1,1).*exp(A(1,4).*B(1,1))+A(1,2).*exp(A(1,5).*B(1,3))+A(1,3) ;
Ry2=A(1,1).*exp(A(1,4).*B(1,1))+A(1,2).*exp(A(1,5).*B(1,4))+A(1,3);
Ry3=A(1,1).*exp(A(1,4).*B(1,2))+A(1,2).*exp(A(1,5).*B(1,3))+A(1,3) ;
Ry4=A(1,1).*exp(A(1,4).*B(1,2))+A(1,2).*exp(A(1,5).*B(1,4))+A(1,3) ;
Rz1=A(1,6).*exp(A(1,9).*B(1,1))+A(1,7).*exp(A(1,10).*B(1,3))+A(1,8);
Rz2=A(1,6).*exp(A(1,9).*B(1,1))+A(1,7).*exp(A(1,10).*B(1,4))+A(1,8);
Rz3=A(1,6).*exp(A(1,9).*B(1,2))+A(1,7).*exp(A(1,10).*B(1,3))+A(1,8);
Rz4=A(1,6).*exp(A(1,9).*B(1,2))+A(1,7).*exp(A(1,10).*B(1,4))+A(1,8);
ky1=w*Ry1*l/((0.21-(B(1,1)/100))*s);
ky2=w*Ry2*l/((0.21-(B(1,1)/100))*s);
ky3=w*Ry3*l/((0.21-(B(1,2)/100))*s);
ky4=w*Ry4*l/((0.21-(B(1,2)/100))*s);
kz1=w*Rz1*l/(((B(1,3)/100))*s);
kz2=w*Rz2*l/(((B(1,4)/100))*s);
kz3=w*Rz3*l/(((B(1,3)/100))*s);
kz4=w*Rz4*l/(((B(1,4)/100))*s);
kky=[ky1 ky2 ky3 ky4];
kkz=[kz1 kz2 kz3 kz4];
disp(' ')
fprintf('Suitable permeability of oxygen :      %6.3f   to   %6.3f\n',min(kky),max(kky))
disp('    (ml.mil/(m^2.hr.atm))       ')
fprintf('Suitable permeability of carbon dioxide : %6.3f   to   %6.3f\n',min(kkz),max(kkz))
disp('    (ml.mil/(m^2.hr.atm))       ')
ky=(ky1+ky2+ky3+ky4)/4;
kz=(kz1+kz2+kz3+kz4)/4;
disp(' Strike any key for studying the effect of volume')
initx=[21 0];
v=100;
times=input('Please enter calculated time (hr.) : ');
[t1 x1]=ode45('fm3',0,times,initx,0.001);
figure(1)
plot(t1,x1(:,1),'g:',t1,x1(:,2),'g:',t1,x1(:,1),'wo',t1,x1(:,2),'wo')
grid
title('  The effect of volume on O2 & CO2 in calculated package ');
xlabel('t(hr)');
ylabel('%O2 and %CO2 (vol)');
v=v+100;
while  v<=1000
  [t1 x1]=ode45('fm3',0,times,initx,0.001)
  hold on
  plot(t1,x1);
  grid
  v=v+100;
 end
elseif i==4
```

```
clc
uncomp % Uncompetitive respiration rate form
A(:,:)=data(method,:);
vmy=A(:,1);kmy=A(:,2);kiy=A(:,3);
vmz=A(:,4);kmz=A(:,5);kiz=A(:,6);
Ry1=A(1,1).*B(1,1)./(A(1,2)+((1+(B(1,3)./A(1,3))).*B(1,1))) ;
Ry2=A(1,1).*B(1,1)./(A(1,2)+((1+(B(1,4)./A(1,3))).*B(1,1)));
Ry3=A(1,1).*B(1,2)./(A(1,2)+((1+(B(1,3)./A(1,3))).*B(1,2))) ;
Ry4=A(1,1).*B(1,2)./(A(1,2)+((1+(B(1,4)./A(1,3))).*B(1,2))) ;
Rz1=A(1,4).*B(1,1)./(A(1,5)+((1+(B(1,3)./A(1,6))).*B(1,1)));
Rz2=A(1,4).*B(1,1)./(A(1,5)+((1+(B(1,4)./A(1,6))).*B(1,1)));
Rz3=A(1,4).*B(1,2)./(A(1,5)+((1+(B(1,3)./A(1,6))).*B(1,2)));
Rz4=A(1,4).*B(1,2)./(A(1,5)+((1+(B(1,4)./A(1,6))).*B(1,2)));
ky1=w*Ry1*l/((0.21-(B(1,1)/100))*s);
ky2=w*Ry2*l/((0.21-(B(1,1)/100))*s);
ky3=w*Ry3*l/((0.21-(B(1,2)/100))*s);
ky4=w*Ry4*l/((0.21-(B(1,2)/100))*s);
kz1=w*Rz1*l/(((B(1,3)/100))*s);
kz2=w*Rz2*l/(((B(1,4)/100))*s);
kz3=w*Rz3*l/(((B(1,3)/100))*s);
kz4=w*Rz4*l/(((B(1,4)/100))*s);
kky=[ky1 ky2 ky3 ky4];
kkz=[kz1 kz2 kz3 kz4];
disp(' ')
fprintf('Suitable permeability of oxygen :      %6.3f   to   %6.3f\n',min(kky),max(kky))
disp('    (ml.mil/(m^2.hr.atm))       ')
fprintf('Suitable permeability of carbon dioxide : %6.3f   to   %6.3f\n',min(kkz),max(kkz))
disp('    (ml.mil/(m^2.hr.atm))       ')
ky=(ky1+ky2+ky3+ky4)/4;
kz=(kz1+kz2+kz3+kz4)/4;
disp(' Strike any key for studying the effect of volume')
initx=[21 0];
v=100;
times=input('Please enter calculated time (hr.) : ');
[t1 x1]=ode45('fm4',0,times,initx,0.001);
figure(1)
plot(t1,x1(:,1),'g:',t1,x1(:,2),'g:',t1,x1(:,1),'wo',t1,x1(:,2),'wo')
grid
title('  The effect of volume on O2 & CO2 in calculated package ');
xlabel('t(hr)');
ylabel('%O2 and %CO2 (vol)');
v=v+100;
while  v<=1000
 [t1 x1]=ode45('fm4',0,times,initx,0.001)
 hold on
 plot(t1,x1);
 grid
 v=v+100;
```

```
  end
elseif i==5
  clc
  noncomp % Non-competitive respiration rate form
  A(:,:)=data(method,:);
  vmy=A(:,1);kmy=A(:,2);kiy=A(:,3);
  vmz=A(:,4);kmz=A(:,5);kiz=A(:,6);
  Ry1=A(1,1).*B(1,1)./((A(1,2)+B(1,1)).*(1+(B(1,3)./A(1,3)))) ;
  Ry2=A(1,1).*B(1,1)./((A(1,2)+B(1,1)).*(1+(B(1,4)./A(1,3)))) ;
  Ry3=A(1,1).*B(1,2)./((A(1,2)+B(1,2)).*(1+(B(1,3)./A(1,3)))) ;
  Ry4=A(1,1).*B(1,2)./((A(1,2)+B(1,2)).*(1+(B(1,4)./A(1,3)))) ;
  Rz1=A(1,4).*B(1,1)./((A(1,5)+B(1,1)).*(1+(B(1,3)./A(1,6)))) ;
  Rz2=A(1,4).*B(1,1)./((A(1,5)+B(1,1)).*(1+(B(1,4)./A(1,6)))) ;
  Rz3=A(1,4).*B(1,2)./((A(1,5)+B(1,2)).*(1+(B(1,3)./A(1.6)))) ;
  Rz4=A(1,4).*B(1,2)./((A(1,5)+B(1,2)).*(1+(B(1,4)./A(1,6)))) ;
  ky1=w*Ry1*l/((0.21-(B(1,1)/100))*s);
  ky2=w*Ry2*l/((0.21-(B(1,1)/100))*s);
  ky3=w*Ry3*l/((0.21-(B(1,2)/100))*s);
  ky4=w*Ry4*l/((0.21-(B(1,2)/100))*s);
  kz1=w*Rz1*l/(((B(1,3)/100))*s);
  kz2=w*Rz2*l/(((B(1,4)/100))*s);
  kz3=w*Rz3*l/(((B(1,3)/100))*s);
  kz4=w*Rz4*l/(((B(1,4)/100))*s);
  kky=[ky1 ky2 ky3 ky4];
  kkz=[kz1 kz2 kz3 kz4];
  fprintf('Suitable permeability of oxygen :      %6.3f   to   %6.3f\n',min(kky),max(kky))
  disp('    (ml.mil/(m^2.hr.atm))       ')
  fprintf('Suitable permeability of carbon dioxide : %6.3f   to   %6.3f\n',min(kkz),max(kkz))
  disp('    (ml.mil/(m^2.hr.atm))       ')
  ky=(ky1+ky2+ky3+ky4)/4;
  kz=(kz1+kz2+kz3+kz4)/4;
  disp(' Strike any key for studying the effect of volume')
  initx=[21 0];
  v=100;
  times=input('Please enter calculated time (hr.) : ');
  [t1 x1]=ode45('fm5',0,times,initx,0.001);
  figure(1)
  plot(t1,x1(:,1),'g:',t1,x1(:,2),'g:',t1,x1(:,1),'wo',t1,x1(:,2),'wo')
  grid
  title('  The effect of volume on O2 & CO2 in calculated package ');
  xlabel('t(hr)');
  ylabel('%O2 and %CO2 (vol)');
  v=v+100;
  while  v<=1000
   [t1 x1]=ode45('fm5',0,times,initx,0.001)
   hold on
   plot(t1,x1);
   grid
```

```
    v=v+100;
  end
elseif i==6
  clc
  compe  % Competitive  respiration rate form
  A(:,:)=data(method,:);
  vmy=A(:,1);kmy=A(:,2);kiy=A(:,3);
  vmz=A(:,4);kmz=A(:,5);kiz=A(:,6);
  Ry1=A(1,1).*B(1,1)./(B(1,1)+((1+(B(1,3)./A(1,3))).*A(1,2))) ;
  Ry2=A(1,1).*B(1,1)./(B(1,1)+((1+(B(1,4)./A(1,3))).*A(1,2)));
  Ry3=A(1,1).*B(1,2)./(B(1,2)+((1+(B(1,3)./A(1,3))).*A(1,2))) ;
  Ry4=A(1,1).*B(1,2)./(B(1,2)+((1+(B(1,4)./A(1,3))).*A(1,2))) ;
  Rz1=A(1,4).*B(1,1)./(B(1,1)+((1+(B(1,3)./A(1,6))).*A(1,5)));
  Rz2=A(1,4).*B(1,1)./(B(1,1)+((1+(B(1,4)./A(1,6))).*A(1,5)));
  Rz3=A(1,4).*B(1,2)./(B(1,2)+((1+(B(1,3)./A(1,6))).*A(1,5)));
  Rz4=A(1,4).*B(1,2)./(B(1,2)+((1+(B(1,4)./A(1,6))).*A(1,5)));
  ky1=w*Ry1*l/((0.21-(B(1,1)/100))*s);
  ky2=w*Ry2*l/((0.21-(B(1,1)/100))*s);
  ky3=w*Ry3*l/((0.21-(B(1,2)/100))*s);
  ky4=w*Ry4*l/((0.21-(B(1,2)/100))*s);
  kz1=w*Rz1*l/(((B(1,3)/100))*s);
  kz2=w*Rz2*l/(((B(1,4)/100))*s);
  kz3=w*Rz3*l/(((B(1,3)/100))*s);
  kz4=w*Rz4*l/(((B(1,4)/100))*s);
  kky=[ky1 ky2 ky3 ky4];
  kkz=[kz1 kz2 kz3 kz4];
  fprintf('Suitable permeability of oxygen :      %6.3f  to  %6.3f\n',min(kky),max(kky))
  disp('    (ml.mil/(m^2.hr.atm))       ')
  fprintf('Suitable permeability of carbon dioxide : %6.3f  to  %6.3f\n',min(kkz),max(kkz))
  disp('    (ml.mil/(m^2.hr.atm))       ')
  ky=(ky1+ky2+ky3+ky4)/4;
  kz=(kz1+kz2+kz3+kz4)/4;
  disp(' Strike any key for studying the effect of volume')
  initx=[21 0];
  v=100;
  times=input('Please enter calculated time (hr.) : ');
  [t1 x1]=ode45('fm6',0,times,initx,0.001);
  figure(1)
  plot(t1,x1(:,1),'g:',t1,x1(:,2),'g:',t1,x1(:,1),'wo',t1,x1(:,2),'wo')
  grid
  title('  The effect of volume on O2 & CO2 in calculated package ');
  xlabel('t(hr)');
  ylabel('%O2 and %CO2 (vol)');
  v=v+100;
  while  v<=1000
   [t1 x1]=ode45('fm6',0,times,initx,0.001)
   hold on
   plot(t1,x1);
```

```
    grid
    v=v+100;
  end
elseif i==7
  clc
  lngmu % Langmuir respiration rate form
  A(:,:)=data(method,:);
  k1y=A(:,1);k2y=A(:,2);k3y=A(:,3);
  k1z=A(:,4);k2z=A(:,5);k3z=A(:,6);
  Ry1=A(1,1).*A(1,2).*B(1,1)./(1+(A(1,1).*B(1,1))+(A(1,3).*B(1,3))) ;
  Ry2=A(1,1).*A(1,2).*B(1,1)./(1+(A(1,1).*B(1,1))+(A(1,3).*B(1,4)));
  Ry3=A(1,1).*A(1,2).*B(1,2)./(1+(A(1,1).*B(1,2))+(A(1,3).*B(1,3))) ;
  Ry4=A(1,1).*A(1,2).*B(1,2)./(1+(A(1,1).*B(1,2))+(A(1,3).*B(1,4))) ;
  Rz1=A(1,4).*A(1,5).*B(1,1)./(1+(A(1,4).*B(1,1))+(A(1,6).*B(1,3)));
  Rz2=A(1,4).*A(1,5).*B(1,1)./(1+(A(1,4).*B(1,1))+(A(1,6).*B(1,4)));
  Rz3=A(1,4).*A(1,5).*B(1,2)./(1+(A(1,4).*B(1,2))+(A(1,6).*B(1,3)));
  Rz4=A(1,4).*A(1,5).*B(1,2)./(1+(A(1,4).*B(1,2))+(A(1,6).*B(1,4)));
  ky1=w*Ry1*l/((0.21-(B(1,1)/100))*s);
  ky2=w*Ry2*l/((0.21-(B(1,1)/100))*s);
  ky3=w*Ry3*l/((0.21-(B(1,2)/100))*s);
  ky4=w*Ry4*l/((0.21-(B(1,2)/100))*s);
  kz1=w*Rz1*l/(((B(1,3)/100))*s);
  kz2=w*Rz2*l/(((B(1,4)/100))*s);
  kz3=w*Rz3*l/(((B(1,3)/100))*s);
  kz4=w*Rz4*l/(((B(1,4)/100))*s);
  kky=[ky1 ky2 ky3 ky4];
  kkz=[kz1 kz2 kz3 kz4];
  disp(' ')
  fprintf('Suitable permeability of oxygen :      %6.3f   to   %6.3f\n',min(kky),max(kky))
  disp('    (ml.mil/(m^2.hr.atm))       ')
  fprintf('Suitable permeability of carbon dioxide : %6.3f   to   %6.3f\n',min(kkz),max(kkz))
  disp('    (ml.mil/(m^2.hr.atm))       ')
  ky=(ky1+ky2+ky3+ky4)/4;
  kz=(kz1+kz2+kz3+kz4)/4;
  disp(' Strike any key for studying the effect of volume')
  initx=[21 0];
  v=100;
  times=input('Please enter calculated time (hr.) : ');
  [t1 x1]=ode45('fm7',0,times,initx,0.001);
  figure(1)
  plot(t1,x1(:,1),'g:',t1,x1(:,2),'g:',t1,x1(:,1),'wo',t1,x1(:,2),'wo')
  grid
  title('  The effect of volume on O2 & CO2 in calculated package ');
  xlabel('t(hr)');
  ylabel('%O2 and %CO2 (vol)');
  v=v+100;
  while  v<=1000
   [t1 x1]=ode45('fm7',0,times,initx,0.001)
```

```
      hold on
      plot(t1,x1);
      grid
      v=v+100;
    end
  end
  if test_long
    if method>6|i>7
        error('Wrong number '),end
  end
  disp('Strike any key for menu')
  pause
end


% Optimum volumetric concentration (%) of fresh produces
%**** min O2   max O2  min CO2  max CO2********
opt=...
[       2       3       1       2       %Apple
        1       2       5       10      %broccoli (California)
        1       2       5       10      %broccoli (cv."Marathon")
        3       5       5       15      %Tomato (cv."field")
        3       5       5       15      %Tomato (cv."Sunny")
        1       2       3       5];     %Peaches

% Parameters of respiration rate in Linear form
%       a1      a2      a3      a4      a5      a6
data=...
[       2.501   0.3584  0.1009  10.61   0.0124  -0.3532 %Apple
        141.1   5.074   -1.681  141.5   3.177   -3.396  %broccoli (California)
        0.3471  1.019   1.19    -0.6361 0.5792  1.583   %broccoli (cv."Marathon")
        84.4    -2.872  -4.005  18.83   0.06708 -0.4478 %Tomato (cv."field")
        4.661   0.5514  -0.1227 7.135   0.6461  -0.3033 %Tomato (cv."Sunny")
        32.35   -1.143  -1.293  2.276   0.2567  0.2088]; %Peaches

% Parameters of respiration rate in Polynomial form
%a1     a2      a3      a4      a5      a6      a7      a8      a9      a10
data=...
[5.061  0.6244  -0.547  -0.0177 0.0331  9.635   0.0458  0.1815  -0.0031 -0.042  %Apple
123.2   6.58    4.826   -0.0745 -0.5259 152.8   2.575   -8.104  0.029   0.381   %broccoli
                                                                                 (California)
-0.3593 1.933   1.145   -0.068  -0.0092 0.074   0.924   1.274   -0.026  0.018   %broccoli (cv.
                                                                                 "Marathon")
-21.32  5.19    -0.09   -0.152  0.044   90.24   5.95    -14.58  -0.45   0.54    %Tomato (cv.
                                                                                 "field")
1.59    1.257   -0.14   -0.03   0.00086 0.904   2.056   -0.2995 -0.0581 -0.00019 %Tomato (cv.
                                                                                 "Sunny")
70.30   -1.473  -4.797  -0.07378 0.08256 -7.061 1.246   0.389   -0.0289 0.00735];%Peaches
```

```
% Parameters of respiration rate in Exponential form
%a1        a2        a3      a4        a5        a6          a7        a8       a9        a10
data=...
[-36.24   -0.6538   10.5    -1.462    0.1532    1.384e-8   -0.2105   9.938    0.7483    0.2471   %Apple
3.104e-8  -1.494    173.6   1.298     0.2485    251.4      50.15     -144.4   0.0113    -0.281   %broccoli (California)
-16       202.6     -187.1  -0.1675   0.0048    -10.994    326.85    -316.55  -0.0940   0.0045   %broccoli (cv. "Marathon")
-102.4    560.2     -524    -0.091    0.00442   -0.2818    49.5030   9.3795   0.239     -0.182   %Tomato (cv. "field")
-17.82    11.12     5.284   -0.131    -0.0125   -74.05     -274.4    293.2    -0.42     0.0011   %Tomato (cv. "Sunny")
-13.68    84.10     4.852   0.08483   -0.08714  4.226      1.537     0.7108   0.01047   0.01411];%Peaches

% Parameters of respiration rate in  Michaelis-Menton equation form :Uncompetitive forms
%         vm1       km1     ki1       vm2       km2         ki2
data=...
[        11.7154   2.7179  33.8692   11.0504   -2.7e-3     18.3657   %Apple
         245       2.062   87.47     216.1     1.567       29.16     %broccoli (California)
         16.56     1.296   -29.75    9.397     0.3369      -16.64    %broccoli (cv."Marathon")
         37.01     10.38   100       23.44     4.03        100       %Tomato (cv."field")
         30.38     18.79   42.81     39.56     18.59       18.59     %Tomato (cv."Sunny")
         10.39     4.307   105.9     7.461     -0.104      218.4];   %Peaches

% Parameters of respiration rate in  Michaelis-Menton equation form :
%     Non-competitive inhibition type form
%         vm1       km1     ki1       vm2       km2         ki2
data=...
[        11.28     2.093   41.06     11.05     0.0163      18.68     %Apple
         242       1.935   112.3     208.7     1.29        36.39     %broccoli (California)
         16.11     1.829   -24.39    9.729     0.658       -16.88    %broccoli (cv."Marathon")
         34.18     7.98    100       22.67     3.23        100       %Tomato (cv."field")
         27.86     15.67   85.97     35.4      14.46       36.74     %Tomato (cv."Sunny")
         10.02     3.014   74.46     7.469     -0.09881    211];     %Peaches

% Parameters of respiration rate in  Michaelis-Menton equation form :
%     Competitive inhibition type form
%         vm1       km1     ki1       vm2       km2         ki2
data=...
[        9.512     0.3886  2.006     8.27      2.06e-4     5.28e-3   %Apple
         230.5     1.636   29.43     182.3     0.6628      5.297     %broccoli (California)
         20.95     3.757   -12.05    14.90     2.304       -8.917    %broccoli (cv."Marathon")
         24.35     0.0818  0.2067    23.86     5.056       418       %Tomato (cv."field")
         25.34     12.81   38.39     30.26     10.16       14.65     %Tomato (cv."Sunny")
         2.453     -14.35  -20.15    7.294     0.0479      1810];    %Peaches
```

```
% Parameters of respiration rate in  Langmuir form
%       vm1     km1     ki1       vm2     km2     ki2
data=...
[       -700.1  9.428   -158.8    246.3   8.269   9.515    %Apple
        0.6119  230.4   0.03383   1.51    182.3   0.1886   %broccoli (California)
        0.2661  20.95   -0.083    0.434   14.90   -0.1121  %broccoli (cv."Marathon")
        -94.58  24.24   -37.68    0.01329 89.87   -0.03873 %Tomato (cv."field")
        0.0781  25.34   0.02605   0.09839 30.26   0.06823  %Tomato (cv."Sunny")
        134     8.278   23.49     0.1705  9.641   -0.0404]; %Peaches
```

ง.2.2 ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรม MAP 2

เมื่อเริ่มต้นใช้โปรแกรม โปรแกรมจะแสดงชนิดของผักและผลไม้ดังรูป ง.9 และจะแสดงความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมในบรรจุภัณฑ์สำหรับผักและผลไม้ที่ต้องการดังรูป ง.10

```
Choose type of fresh produces to be stored in MAP from one of following

   [If your fresh produce is not  in the following lists,]
         [Please select number 0]

    1) Apple
    2) Broccoli (California)
    3) Broccoli (cv. "Marathon")
    4) Tomato (cv. "field")
    5) Tomato (cv. "Sunny")
    6) Peach (cv. "Crest Haven")
    0) Quit

Please select (0 till 6) :  1
```

รูป ง.9 ชนิดของผักและผลไม้สดที่ต้องการบรรจุ

```
Optimum gas volumetric concentration for your selected produce are

     Oxygen :   2.000    to  3.000
Carbon dioxide :  1.000    to  2.000

Please strike any key
```

รูป ง.10 โปรแกรมแสดงความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับผักและผลไม้สดที่ทำการเลือก

หลังจากนั้นโปรแกรมจะถามถึงระบบบรรจุภัณฑ์ที่ต้องการบรรจุดังรูป ง.11 และแสดงรายการของแบบจำลองอัตราการหายใจที่มีฐานข้อมูลในโปรแกรมดังรูป ง.12

```
Please fill the values of the following parameters

Produces weight (kg.) = 0.25

Surface area of package (m^2) = 0.06

Thickness of film (mil) = 1.5
      1 mil = 0.001 in
```

รูป ง.11 การป้อนค่าตัวแปรของระบบบรรจุภัณฑ์ที่ผู้ใช้ต้องการ

```
**************************************************************************
  Choose one of the following respiration forms to be used in the calculation
  ************************************** *********************************

      1) Linear form
      2) Polynomial form
      3) Exponential form
      4) Michaelis-Menton equation form : Uncompetitive inhibition type
      5) Michaelis-Menton equation form : Non-competitive inhibition type
      6) Michaelis-Menton equation form : Competitive inhibition type
      7) Langmuir form

Select a respiration form number (1 till 7) :  4
```

รูป ง .12 รายการของแบบจำลองอัตราการหายใจที่มีฐานข้อมูลในโปรแกรม

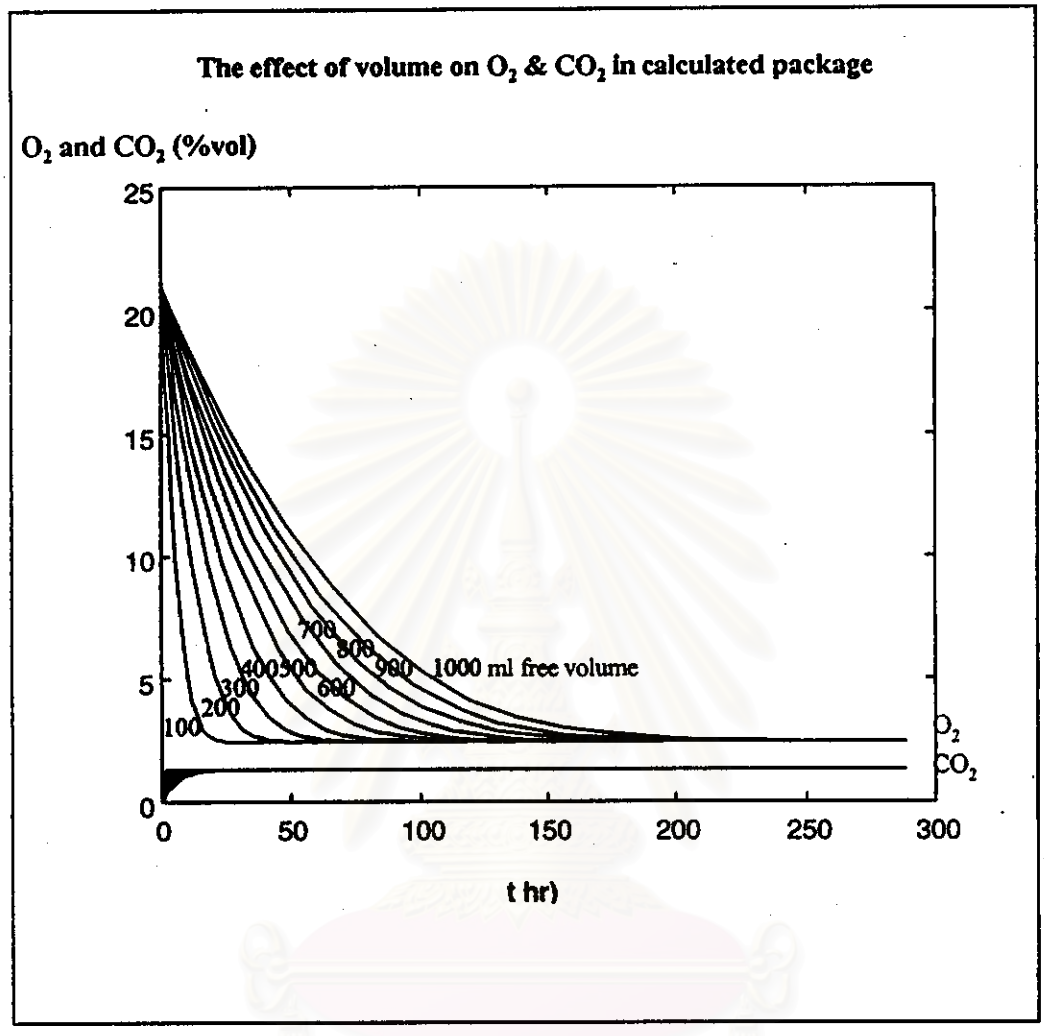
หลังจากที่ผู้ใช้ทำการเลือกรูปแบบสมการอัตราการหายใจที่ต้องการใช้ในการคำนวณแล้ว โปรแกรมจะแสดงผลการคำนวณ คือแสดงค่าแสดงค่าการซึมผ่านพอลิเมอร์ของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ ดังรูป ง. 13

```
Produces weight : 0.25
Surface area of package : 0.06
Thickness of film : 1.5

Suitable permeability of oxygen :      159.378   to   210.171
   (ml.mil/(m^2.hr.atm))
Suitable permeability of carbon dioxide : 3116.655   to   6558.261
   (ml.mil/(m^2.hr.atm))


 Strike any key for studying the effect of volume

Please enter calculated time (hr.) : 288
```

รูป ง.13 การแสดงค่าการซึมผ่านพอลิเมอร์ของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมที่ได้จากการคำนวณ

หลังจากนั้นโปรแกรมจะนำค่าตัวแปรบรรจุภัณฑ์และค่าความสามารถในการซึมผ่านพอลิเมอร์ของแก๊สมาคำนวณหาความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เวลาใด ๆ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาตรอิสระในบรรจุภัณฑ์จาก 100 ml ถึง 1000 ml เพื่อใช้ในการเลือกปริมาตรอิสระในบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมที่จะให้เวลาเข้าสู่สมดุลตามต้องการ ดังรูป ง.14

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ง.14 ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เวลาใด ๆ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอิสระในบรรจุภัณฑ์จาก 100 ml ถึง 1000 ml

ภาคผนวก จ

อัตราการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์

ปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์เข้ามาเกี่ยวข้อง ส่วนใหญ่จะเป็นปฏิกิริยาทางชีววิทยา เอนไซม์ (enzyme, E) คือโปรตีนหรือสารคล้ายโปรตีนที่มีคุณสมบัติช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น ซับสเตรท (substrate, S) คือสารที่ถูกเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่อัตราที่ถูกกระตุ้นโดยการทำงานของเอนไซม์ ตัวยับยั้ง (inhibitor, I) คือสารที่ยับยั้งอัตราการเกิดปฏิกิริยาของซับสเตรท เอนไซม์จะทำหน้าที่คล้ายคะตะลิสต์โดยจะทำปฏิกิริยากับซับสเตรทหรือตัวยับยั้งตัวหนึ่ง ๆ เท่านั้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์เป็นตัวคะตะลิสต์สามารถแสดงได้โดยสมการของไมเคิลลีสเมนเทน (Michaelis-Menten) ซึ่งได้จากการหาความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์เข้ามาเกี่ยวข้องอาจจะมีสารบางชนิดเข้ามายับยั้งอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ รูปแบบการยับยั้งในปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์เข้ามาเกี่ยวข้องสามารถแสดงได้ 3 รูปแบบ คือ แบบคอมเพททิทีฟ (Competitive type) แบบอันคอมเพททิทีฟ (Uncompetitive type) และแบบนอนคอมเพททิทีฟ (Noncompetitive type) ซึ่งแต่ละแบบมีปฏิกิริยาดังนี้

1. ปฏิกิริยาเอนไซม์ชนิดมีการยับยั้งแบบอันคอมเพททิทีฟ (Uncompetitive type)

$$E + S \underset{k_2}{\overset{k_1}{\rightleftharpoons}} ES \qquad (จ.1)$$

$$ES + I \underset{k_4}{\overset{k_3}{\rightleftharpoons}} IES \qquad (จ.2)$$

$$ES \xrightarrow{k_5} E + P \qquad (จ.3)$$

โดย k_1, k_2, k_3, k_4 และ k_5 คือ ค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยา

ซับสเตรทจะทำปฏิกิริยากับตำแหน่งทำปฏิกิริยา (active site) ของเอนไซม์ โดยที่ตัวยับยั้งจะไม่ทำปฏิกิริยากับ active site โดยตรง แต่ตัวยับยั้งนี้จะทำปฏิกิริยากับซับสเตรทที่ทำปฏิกิริยากับเอนไซม์แล้ว ทำให้ซับสเตรทที่ทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงเป็นผลิตภัณฑ์ (P) ที่ต้องการได้ จากปฏิกิริยาข้างต้นสามารถเขียนอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ดังสมการต่อไปนี้

$$r_p = k_s[ES] \quad (จ.4)$$

$$r_{ES} = k_1[E][S]-k_2[E][S]-k_3[E][S]+k_4[IES]-k_5[ES] \quad (จ.5)$$

$$r_{IES} = k_3[I][ES]-k_4[IES] \quad (จ.6)$$

จาก $E_T=E+ES+IES$ (จ.7)

โดย E_T คือ เอนไซม์ทั้งหมดที่สามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้

ดังนั้น $E=E_T-ES-IES$ (จ.8)

เมื่อใช้สมมุติฐานว่ามีการเข้าสภาวะคงตัวแบบเทียม (Pseudo steady state hypothesis, PSSH)

$$r_{ES} = r_{IES} = 0 \quad (จ.9)$$

ดังนั้น สมการ (จ.5) จะกลายเป็น

$$0 = k_1[E][S]-k_2[ES]-k_3[I][ES]+k_4[IES]-k_5[ES] \quad (จ.10)$$

$$0 = k_1[E_T-ES-IES][S]-k_2[ES]-k_3[I][ES]+k_4[IES]-k_5[ES] \quad (จ.11)$$

$$k_1[E_T-ES-IES][S] = k_2[ES]+k_3[I][ES]-k_4[IES]+k_5[ES] \quad (จ.12)$$

$$k_1[E_T-ES-IES][S] = (k_2+k_3[I]+k_5)[ES]-k_4[IES] \quad (จ.13)$$

$$[E_T-ES-IES] = ((k_2+k_3[I]+k_5)/k_1[S])[ES]-k_4[IES]/(k_1[S]) \quad (จ.14)$$

จากสมการ (จ.6) เมื่อสมมุติ PSSH จะกลายเป็น

$$0 = k_3[I][ES]-k_4[IES] \quad (จ.15)$$

$$k_4[IES] = k_3[I][ES] \quad (จ.16)$$

$$[IES] = (k_3/k_4)[I][ES] \quad (จ.17)$$

แทนลงในสมการ (จ.14) จะได้

$$E_T-ES-(k_3/k_4)[I][ES] = ((k_2+k_3[I]+k_5)/k_1[S])[ES]-(k_3[I][ES]/k_1[S]) \quad (จ.18)$$

$$E_T-ES-(k_3/k_4)[I][ES] = ((k_2+k_3[I]+k_5-k_3[I])/k_1[S])[ES] \quad (จ.19)$$

$$E_T-ES-(k_3/k_4)[I][ES] = ((k_2+k_5)/k_1[S])[ES] \quad (จ.20)$$

$$E_T\text{-}ES = \left(\frac{k_2+k_5}{k_1[S]}+\frac{k_3}{k_4}[I]\right)[ES] \quad (จ.21)$$

$$E_T = \left(1+\frac{k_2+k_5}{k_1[S]}+\frac{k_3}{k_4}[I]\right)[ES \quad (จ.22)$$

แทนลงในสมการ (จ.4) จะได้ว่า

$$r_p = \frac{k_5[E_T]}{1+\frac{k_2+k_5}{k_1[S]}+\frac{k_3}{k_4}[I]} \quad (จ.23)$$

เมื่อนำ [S] คูณตลอด สมการจะกลายเป็น

$$r_p = \frac{k_5[E_T][S]}{\frac{k_2+k_5}{k_1}+[S]\left(1+\frac{k_3}{k_4}[I]\right)} \quad (จ.24)$$

ถ้ากำหนดให้

$$V = k_5[ET] \quad (จ.25)$$

$$k_m = (k_2+k_5)/k_1 \quad (จ.26)$$

$$k_i = k_4/k_3 \quad (จ.27)$$

ดังนั้น

$$r_p = \frac{VS}{K_m+S\left(1+I/K_i\right)} \quad (จ.28)$$

สมการ (จ.28) ถูกเรียกว่าสมการไมเคิลลีสเมนเทนชนิดมีการยับยั้งแบบอันคอมเพททิทีฟ

โดย r_p คือ อัตราการเกิดปฏิกิริยา

V, K_m, K_i คือ ค่าคงที่ของสมการ

S คือ ความเข้มข้นของซับสเตรท

I คือ ความเข้มข้นของตัวยับยั้ง

2. ปฏิกิริยาเอนไซม์ชนิดมีการยับยั้งแบบนอนคอมเพททิทีฟ (Noncompetitive type)

$$E + S \underset{}{\overset{k_1}{\rightleftharpoons}} ES \quad \text{มีค่าคงที่สมดุลเท่ากับ } K_S \qquad (จ.29)$$

$$E + I \underset{}{\overset{k_2}{\rightleftharpoons}} EI \quad \text{มีค่าคงที่สมดุลเท่ากับ } K_I \qquad (จ.30)$$

$$ES + I \underset{}{\overset{k_3}{\rightleftharpoons}} IES \quad \text{มีค่าคงที่สมดุลเท่ากับ } K_I' \qquad (จ.31)$$

$$EI + S \underset{}{\overset{k_4}{\rightleftharpoons}} IES \quad \text{มีค่าคงที่สมดุลเท่ากับ } K_S' \qquad (จ.32)$$

$$ES \xrightarrow{k_p} E + P \qquad (จ.33)$$

ในแบบนี้ มีแนวความคิดว่าเอนไซม์มี active site 2 ประเภท คือสำหรับซับสเตรทและสำหรับตัวยับยั้ง ซับสเตรทและตัวยับยั้งต่างทำปฏิกิริยากับเอนไซม์บน active site ของตัวมันเอง แต่สารเชิงซ้อนของเอนไซม์กับซับสเตรทสามารถทำปฏิกิริยากับตัวยับยั้งได้ด้วย ในทำนองเดียวกัน สารเชิงซ้อนของเอนไซม์กับตัวยับยั้งสามารถทำปฏิกิริยากับซับสเตรทได้เช่นกัน ทำให้สูญเสียซับสเตรทสำหรับทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้ จากปฏิกิริยาข้างต้นสามารถเขียนอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ดังต่อไปนี้

ในการหาอัตราการเกิดปฏิกิริยานี้จะสมมุติว่า $k_p << k_1, k_2, k_3, k_4$

ถ้าพิจารณาทีละปฏิกิริยา จะสามารถเขียนอัตราการเกิดปฏิกิริยาแต่ละปฏิกิริยาได้ดังนี้

<u>สำหรับปฏิกิริยาที่ 5(สมการ จ.33)</u>

$$r_p = k_p[ES] \qquad (จ.34)$$

<u>สำหรับปฏิกิริยาที่ 1(สมการ จ.29)</u>

$$r_1 = k_1[E][S]-k_2[ES] = k_1([E][S]-([ES]/K_S)) \qquad (จ.35)$$

ถ้า $r_1/k_1 \approx 0$ จะได้ว่า

$$[ES] = K_S[E][S] \qquad (จ.36)$$

สำหรับปฏิกิริยาที่ 2 (สมการจ.30)

$$r_2 = k_2([E][I]-([EI]/K_I)) \quad (จ.37)$$

ถ้า $r_2/k_2 \approx 0$ จะได้ว่า

$$[EI] = K_I[E][I] \quad (จ.38)$$

สำหรับปฏิกิริยาที่ 3 (สมการจ.31)

$$r_3 = k_3([ES][I]-([IES]/K_I^{'})) \quad (จ.39)$$

ถ้า $r_3/k_3 \approx 0$ จะได้ว่า

$$[IES] = K_I^{'}[ES][I] \quad (จ.40)$$

สำหรับปฏิกิริยาที่ 4 (สมการจ.32)

$$r_4 = k_4([EI][S]-([IES]/K_S^{'})) \quad (จ.41)$$

ถ้า $r_4/k_4 \approx 0$ จะได้ว่า

$$[IES] = K_S^{'}[EI][S] \quad (จ.42)$$

และจาก

$$E_T = E+ES+EI+IES \quad (จ.43)$$

แทนด้วยสมการ (จ.36) (จ.38) และ (จ.40) จะได้ว่า

$$E_T = E+K_S[E][S]+K_I[E][I]+K_I^{'}[ES][I] \quad (จ.44)$$

$$E_T = E+K_S[E][S]+K_I[E][I]+K_I^{'}K_S[E][S][I] \quad (จ.45)$$

$$E = \frac{E_T}{1+K_S[S]+K_I[I]+K_I^{'}K_S[S][I]} \quad (จ.46)$$

นำสมการ (จ.46) ลงในสมการ (จ.36) จะได้ว่า

$$[ES] = \frac{E_T[S]K_S}{1+K_S[S]+K_I[I]+K_I^{'}K_S[S][I]} \quad (จ.47)$$

และแทนลงในสมการ (จ.34) จะได้

$$r_P = \frac{K_S k_P E_T[S]}{1+K_S[S]+K_I[I]+K_I^{'}K_S[S][I]} \quad (จ.48)$$

แต่เนื่องจาก $K_S = K_S'$ และ $K_I = K_I'$ ดังนั้น

$$r_P = \frac{K_S k_P E_T[S]}{1 + K_S[S] + K_I[I] + K_I K_S[S][I]} \quad (จ.49)$$

เมื่อหารด้วย K_S ทั้งสมการจะพบว่า

$$r_P = \frac{k_P E_T[S]}{\frac{1}{K_S} + [S] + \frac{K_I}{K_S}[I] + K_I[S][I]} \quad (จ.50)$$

$$r_P = \frac{k_P E_T[S]}{\left([S] + \frac{1}{K_S}\right) + \left(1 + K_I[I]\right)} \quad (จ.51)$$

เมื่อให้ $K_m = 1/K_S$ (จ.52)

$K_i = 1/K_I$ (จ.53)

$V = k_P[E_T]$ (จ.54)

จะได้สมการอัตราการเกิดปฏิกิริยาเป็น

$$r = \frac{VS}{\left(S + K_m\right) + \left(1 + I/K_i\right)} \quad (จ.55)$$

สมการ (จ.55) ถูกเรียกว่าสมการไมเคิลลีสเมนเทนชนิดมีการยับยั้งแบบนอนคอมเพททิทีฟ

3. ปฏิกิริยาเอนไซม์ชนิดมีการยับยั้งแบบคอมเพททิทีฟ (Competitive type)

$$E + S \underset{k_2}{\overset{k_1}{\rightleftharpoons}} ES \quad (จ.56)$$

$$E + I \underset{k_4}{\overset{k_3}{\rightleftharpoons}} EI \quad (จ.57)$$

$$ES \xrightarrow{k_5} E + P \quad (จ.58)$$

ซับสเตรทและตัวยับยั้งต่างจะแย่งเข้าทำปฏิกิริยากับเอนไซม์บน active site จากปฏิกิริยาข้างต้นสามารถเขียนอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ดังสมการต่อไปนี้

$$r_p = k_s[ES] \quad (จ.59)$$

$$r_{ES} = k_1[E][S]-k_2[ES]-k_5[ES] \quad (จ.60)$$

$$r_{EI} = k_3[E][I]-k_4[EI] \quad (จ.61)$$

จาก $E_T=E+ES+EI$ (จ.62)

ดังนั้น $E=E_T-ES-EI$ (จ.63)

เมื่อใช้สมมุติฐานว่ามีการเข้าสภาวะคงตัวแบบเทียม (Pseudo steady state hypothesis, PSSH)

$$r_{ES} = r_{EI} = 0 \quad (จ.64)$$

ดังนั้น จากสมการ (จ.60) เมื่อสมมุติ PSSH จะกลายเป็น

$$0=k_1[E_T-ES-EI][S]-k_2[ES]-k_5[ES] \quad (จ.65)$$

$$[E_T-ES-EI] = ((k_2+k_5)/k_1[S])[ES] \quad (จ.66)$$

จากสมการ (จ.61) เมื่อสมมุติ PSSH จะกลายเป็น

$$0 = k_3[I][E_T-ES-EI]-k_4[EI] \quad (จ.67)$$

$$E_T-ES-EI = k_4[EI]/k_3[I] = ((k_2+k_5)/k_1[S])[ES] \quad (จ.68)$$

ดังนั้น

$$[EI] = \left(\frac{k_2+k_5}{k_1}\right)\frac{k_3}{k_4}\frac{[I]}{[S]}[ES] \quad (จ.69)$$

แทนสมการ (จ.69) ลงในสมการ (จ.66) จะได้ว่า

$$[ES] = \frac{[E_T][S]}{[S]+\frac{k_2+k_5}{k_1}\left(\frac{k_3}{k_4}[I]+1\right)} \quad (จ.70)$$

แทนลงในสมการ (จ.59) จะได้ว่า

$$r_p = \frac{k_5[E_T][S]}{[S]+\left(\frac{k_2+k_5}{k_1}\right)\left(1+\frac{k_3}{k_4}[I]\right)} \quad (จ.71)$$

ถ้ากำหนดให้

$$V = k_5[E_T] \tag{จ.72}$$

$$k_m = (k_2+k_5)/k_1 \tag{จ.73}$$

$$k_i = k_4/k_3 \tag{จ.74}$$

ดังนั้น

$$r = \frac{VS}{S+K_m\left(1+I/K_i\right)} \tag{จ.75}$$

สมการ (จ.75) ถูกเรียกว่าสมการไมเคิลลีสเมนเทนชนิดมีการยับยั้งแบบคอมเพททิทีฟ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นางสาวประพาพรัตน์ ทองเนาวรัตน์ เกิดเมื่อวันที่ 22 สิงหาคม พ.ศ. 2515 ที่อำเภอตะพานหิน จังหวัดพิจิตร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในปีการศึกษา 2536 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ในปี พ.ศ. 2537

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย