



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ พระนครเหนือ

เรื่อง การวิเคราะห์ความสมดุลของผลักดันการอนุรักษ์ในแบบจำลองแนวที่เรียบโดยการใช้ขั้นตอน
วิธีเชิงพื้นที่กรรม

โดย นางสาวครัวดี ทรัพย์อุดมโชค

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

Om

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.มงคล หวังสถิตย์วงศ์)

21 พฤษภาคม 2550

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ณ ใจ ปีบังกา: ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ณชล ไชยรัตนะ)

_____ กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทรพร พลากรกุล)

_____ กรรมการ
(ดร.ศิษย์ฤทธิ์ ทองสินมา)

การวิเคราะห์ความสมดุลของลักษณะร่องรอยที่เรียกโดยการใช้ขั้นตอนวิธีเชิง
พัฒนาระบม

นางสาวศรัวดี ทรัพย์อุ่นโชค

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิชวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2549
ติดสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อ : นางสาวครัวดี ทรัพย์อุดมโชค
 ชื่อวิทยานิพนธ์ : การวิเคราะห์ความสมดุลของฟลักซ์การบ่อนในแบบจำลองแบคทีเรียโดย
การใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม
 สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า
 : สถานบันทึกในโลหะประจำมเกล้าพระนครเหนือ
 ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : รองศาสตราจารย์ ดร.ณัชต ไชยรัตนะ^{ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทรพร พลากรกุล}
 ปีการศึกษา : 2549

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้เสนอการใช้แบบจำลองโครงข่ายเมตาบอลิกฟลักซ์ของแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* ในการวิเคราะห์ความสมดุลของฟลักซ์การบ่อน โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อค้นหาความเป็นไปได้ของการเพิ่มผลิตภัณฑ์ของแบคทีเรียโดยการเพิ่มขั้นปั๊มห้าที่สนับสนุนขั้นตอนการแก้ปั๊มหาราค่าเหมาะสมที่สุดแบบมีเงื่อนไขบังคับที่ภาวะเท่ากันซึ่งได้มาจากโครงข่ายเมตาบอลิกฟลักซ์ และมีการใช้ทั้งฟังก์ชันจุดประสังค์แบบเชิงเส้นและฟังก์ชันจุดประสังค์แบบไม่เชิงเส้น สำหรับปั๊มห้าที่ใช้ฟังก์ชันจุดประสังค์แบบเชิงเส้นจะพิจารณาถึง พลังงานสูงสุด ฟลักซ์ของกรดโฟลิกสูงสุด ฟลักซ์ของไรโนฟลารินสูงสุด และอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด ตัวการใช้ฟังก์ชันจุดประสังค์แบบไม่เชิงเส้นจะเป็นการหาค่าอัตราการผลิตผลิตภัณฑ์หรือพลังงานค่ามูลรวมของฟลักซ์ทั้งหมดสูงสุด งานวิจัยนี้ใช้เทคนิคการแก้ปั๊มห้าแบบเชิงเส้นเป็นขั้นตอนวิธีการปีนเขากะลอกไม้ช่วยเพิ่มค่าของฟังก์ชันจุดประสังค์แบบเชิงเส้น เมื่อจากคราร์บอนเดอเจปีนรูปของคราร์บอนไคออกไซด์มากกว่าในรูปของผลิตภัณฑ์ ในทางตรงกันข้ามการใช้ฟังก์ชันจุดประสังค์แบบไม่เชิงเส้นให้ผลที่ดีขึ้นจากการเพิ่มชิลเตอิน

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 119 หน้า)

คำสำคัญ : การวิเคราะห์ความสมดุลของฟลักซ์ การหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบมีเงื่อนไขบังคับ
ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

Name : Miss Sarawadee Supudomchok
Thesis Title : Carbon Flux Balance Analysis in a Bacteria Model Using a Genetic Algorithm
Major Field : Electrical Engineering
Institution : King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok
Thesis Advisors : Associate Professor Dr.Nachol Chaiyaratana
Assistant Professor Dr.Chantaraporn Phalakornkule
Academic Year : 2006

Abstract

In this thesis, a bacterial model for *Bacillus subtilis* is presented for carbon flux balance analysis. The aim is to investigate the possibility of increasing bacterial products by adding foreign genes to the bacterial host. The interested problem is treated as a constrained optimization problem. The problem consists of a set of linear equality constraints derived from a metabolic flux network and either a linear or a non-linear objective function. For linear problems, considered objectives include ATP maximization, folic acid maximization, riboflavin maximization and growth rate maximization. In contrast, the maximization of a ratio between ATP and the sum of network flux is studied in the non-linear problem. A standard hill-climbing technique and a genetic algorithm have been used as solvers in linear and non-linear problems, respectively. The results indicate that no improvement in terms of the proposed linear objectives can be observed when the bacterial model is modified by adding foreign genes. The failure in the investigation with linear objective functions is the result of an increase in the carbon dioxide production after the overall flux has been balanced. On the other hand, an improvement in the non-linear objective is detectable in an attempt to increase the cysteine production.

(Total 119 pages)

Keywords : Flux Balance Analysis, Constraint Optimization, Genetic Algorithm

Nichol Chaiyaratana

Advisor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดีเยี่ยมของศาสตราจารย์ ดร.ณชล ไชยรัตน์และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทรพร พลากรุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ ข้อคิดเห็น และแนวทางแก้ไขต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์นี้มาโดยตลอด ขอบคุณห้องปฏิบัติการจำลองขนาดใหญ่ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ที่เอื้อเฟื้อระบบคอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูง สำหรับประมวลผลการวิจัยนี้ และสุดท้ายขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ทุกคนที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาระบบอัจฉริยะที่ให้กำลังใจและเคยช่วยเหลือสิ่งต่างๆ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอรบกวนขอบพระคุณบิความร้า และพี่ๆ น้องๆ ทุกคน ที่เคยช่วยเหลือสนับสนุนในด้านต่างๆ และให้กำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สรวัติ ทรัพย์อุ่นโชค

สารบัญ	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	๑
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	๒
กิตติกรรมประกาศ	๓
สารบัญตาราง	๔
สารบัญภาพ	๕
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	๖
บทที่ ๑ บทนำ	๑
บทที่ ๒ การวิเคราะห์ความสมดุลของฟลักซ์	๓
บทที่ ๓ เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุด	๗
3.1 การแยกค่าเอกฐาน (Singular Value Decomposition) หรือ SVD	๗
3.2 เทคนิคการ โปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming Technique)	๙
3.3 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบวิวัฒนาการและการทำงานร่วม (Co-operative Co-evolutionary Genetic Algorithm)	๑๐
บทที่ ๔ การประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดกับโครงข่ายเมตาบoliค์ฟลักซ์	๒๓
4.1 การแปลงแบบจำลองโครงข่ายเมตาบoliค์ฟลักซ์ของแบคทีเรีย <i>B.subtilis</i> ให้เป็นสมการทางคณิตศาสตร์	๒๓
4.2 การหาค่าตอบของเมตริกซ์เงื่อนไข	๒๘
4.3 ประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการปีนเขากในการหาผลเฉลยของโครงข่ายเมตาบoliค์ฟลักซ์	๒๙
4.4 ประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการหาผลเฉลยของโครงข่ายเมตาบoliค์ฟลักซ์	๓๑
บทที่ ๕ ผลการวิจัย	๓๕
5.1 ผลจำลองการหาค่าพลังงาน ATP เหลือมากที่สุด	๓๗
5.2 ผลจำลองการหาค่า Folic Acid Flux มากที่สุด	๓๘
5.3 ผลจำลองการหาค่า Riboflavin Flux มากที่สุด	๔๒
5.4 ผลจำลองการหาค่า Growth Rate (D) มากที่สุด	๔๕
5.5 ผลจำลองการหาค่าสัดส่วนพลังงานต่อผลรวมของฟลักซ์ทั้งหมดที่มากที่สุด	๔๗
บทที่ ๖ สรุปผลการวิจัย	๕๕

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	57
ภาคผนวก ก	59
ผลจำลองการหาค่าพลังงาน ATP เหลือมากที่สุด	60
ภาคผนวก ข	71
ผลจำลองการหาค่า Folic Acid Flux มากที่สุด	72
ภาคผนวก ค	83
ผลจำลองการหาค่า Riboflavin Flux มากที่สุด	84
ภาคผนวก ง	95
ผลจำลองการหาค่า Growth Rate (D) มากที่สุด	96
ภาคผนวก จ	107
ผลจำลองการหาค่าสัดส่วนพลังงานต่อผลกระทบของฟลักซ์ทั้งหมด	108
ประวัติผู้เขียน	119

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3-1 ความหมายของคำศัพท์ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม	11
4-1 ค่าพลังงานที่ต้องใช้ในการสร้าง Biomass ของ <i>B.subtilis 1012</i>	27
4-2 พารามิเตอร์ต่างๆของขั้นตอนวิธีการปีนเข้า	29
4-3 ตัวดำเนินการและค่าต่างๆของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม	31
5-1 ผลการจำลองค่าพลังงาน ATP เหลือมากที่สุดของโครงข่ายเมตาบอลิกฟลักซ์พื้นฐานและโครงข่ายที่ทำการเปลี่ยนแปลงเป็น Serine, Cysteine, Asparagine และ Threonine ตามลำดับ	37
5-2 ผลการจำลองแต่ละฟลักซ์จากการจำลองค่า Folic Acid Flux (V_{fa}) มากที่สุดของโครงข่ายเมตาบอลิกฟลักซ์พื้นฐานและโครงข่ายที่ทำการเปลี่ยนแปลงเป็น Serine, Cysteine, Asparagine และ Threonine ตามลำดับ	38
5-3 เปอร์เซ็นต์ฟลักซ์การรับอนเข้าและข้อออก จากการจำลองค่า Folic Acid Flux (V_{fa}) มากที่สุดของโครงข่ายเมตาบอลิกฟลักซ์พื้นฐานและโครงข่ายที่ทำการเปลี่ยนแปลงเป็น Serine, Cysteine, Asparagine และ Threonine ตามลำดับ	40
5-4 ผลการจำลองแต่ละฟลักซ์จากการจำลองค่า Riboflavin flux (V_{rb}) มากที่สุดของโครงข่ายเมตาบอลิกฟลักซ์พื้นฐานและโครงข่ายที่ทำการเปลี่ยนแปลงเป็น Serine, Cysteine, Asparagine และ Threonine ตามลำดับ	42
5-5 เปอร์เซ็นต์ฟลักซ์การรับอนเข้าและข้อออก จากการจำลองค่า Riboflavin Flux (V_{rb}) มากที่สุดของโครงข่ายเมตาบอลิกฟลักซ์พื้นฐานและโครงข่ายที่ทำการเปลี่ยนแปลงเป็น Serine, Cysteine, Asparagine และ Threonine ตามลำดับ	44
5-6 ผลการจำลองค่าอัตราการเจริญเติบโตมากที่สุดของโครงข่ายเมตาบอลิกฟลักซ์พื้นฐานและโครงข่ายที่ทำการเปลี่ยนแปลงเป็น Serine, Cysteine, Asparagine และ Threonine	46
5-7 ผลจำลองค่าสัดส่วนพลังงานต่อผลรวมของฟลักซ์ทั้งหมดที่มากสุดของโครงข่ายเมตาบอลิกฟลักซ์พื้นฐานและโครงข่ายที่ทำการเปลี่ยนแปลงเป็น Serine, Cysteine, Asparagine และ Threonine ตามลำดับ	47

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 การทำสมดุลของเคมีภัยในโครงข่าย	3
2-2 ระบบโครงข่ายสมมติ	5
2-3 ฟลักซ์ภัยในและฟลักซ์ที่ถ่ายเทได้	5
3-1 ขั้นตอนวิธีการปีนเข้า	9
3-2 กระบวนการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมอย่างง่าย	12
3-3 การเข้ารหัสฐานสอง	13
3-4 การคัดเลือกແղນborgสืบถู่	14
3-5 การคัดเลือกโดยชักดูดอย่างทุกตัวแบบเพื่นสู่	15
3-6 การครอบสโตร์แบบ 1 จุด และ การครอบสโตร์แบบ 2 จุด	16
3-7 การครอบสโตร์แบบแยกฐาน	16
3-8 การกลไกพันธุ์โดยกลับค่าบิต	17
3-9 การปรับมาตรฐานความแข็งแรงแบบเชิงเส้นในรุ่นแรกๆ	18
3-10 การปรับมาตรฐานความแข็งแรงแบบเชิงเส้นในรุ่นหลังๆ	19
3-11 ขั้นตอนวิธีสำหรับการหาค่า a และ b สำหรับการปรับมาตรฐานความแข็งแรง	19
3-12 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบวิพากษากิจการและการทำงานร่วม	20
3-13 การดึงสมาชิกจากสปีชีส์อื่นมารวมกับสมาชิกตัวที่สนใจโดยการสู่	20
3-14 การดึงสมาชิกจากสปีชีส์อื่นมารวมกับสมาชิกตัวที่สนใจโดยการเลือกจากสมาชิก ที่มีค่าความแข็งแรงสูงสุดในสปีชีส์	21
4-1 แบบจำลอง โครงข่ายเคมีอลิกฟลักซ์ของแบคทีเรีย <i>B.subtilis</i>	24
5-1 แบบจำลอง โครงข่ายเคมีอลิกฟลักซ์ของแบคทีเรีย <i>B.subtilis</i> เมื่อทำการ เปลี่ยนแปลงชีน	36
5-2 การแจกแจงฟลักซ์ต่อสารตั้งต้นของแบบจำลองการหาค่าพลังงาน ATP เหลือมาก ที่สุดของโครงข่ายเคมีอลิกฟลักซ์พื้นฐานและโครงข่ายที่เปลี่ยนแปลงชีนทั้งสี่	49
5-3 การแจกแจงฟลักซ์ต่อสารตั้งต้นของแบบจำลองการหาค่า Folic Acid Flux มากที่ สุดของโครงข่ายเคมีอลิกฟลักซ์พื้นฐานและโครงข่ายที่เปลี่ยนแปลงชีนทั้งสี่	50
5-4 การแจกแจงฟลักซ์ต่อสารตั้งต้นของแบบจำลองการหาค่า Riboflavin Flux มากที่ สุดของโครงข่ายเคมีอลิกฟลักซ์พื้นฐานและโครงข่ายที่เปลี่ยนแปลงชีนทั้งสี่	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5-5 การแยกแยะฟลักซ์ต่อสารตั้งต้นของแบบจำลองการหาอัตราการเจริญเติบโตมากที่สุดของโครงข่ายเมtabolism อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานและโครงข่ายที่เปลี่ยนแปลงขึ้นทั้งสี่	52
5-6 การแยกแยะฟลักซ์ต่อสารตั้งต้นของแบบจำลองการหาสัดส่วนที่มากสุดของพลังงานต่อผู้รวมฟลักซ์ทั้งหมดของโครงข่ายเมtabolism อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานและโครงข่ายที่เปลี่ยนแปลงขึ้นทั้งสี่	53
5-7 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพพลังงาน ATP และอัตราการเจริญเติบโต	54
5-8 ความสัมพันธ์ระหว่าง V_2/V_{glc} , V_{ts}/V_{glc} และ Growth Rate (h^{-1})	54

คำอธิบายคำย่อ

คำย่อ	คำอธิบาย
ACA	: Acetyl coenzyme A
APD	: 5-amino-6-(ribitylamino)-2,4(1H, 3H)- pyrumidinedione
ATP	: Adenosine 5'-triphosphate
Asx	: Asparagine
C ₁	: Methyl group bound to tetrahydrofolate
CCGA	: ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบวิัพนาการและทำงานร่วมกัน
Cys	: Cysteine
DBP	: 3,4-dihydroxy-2-butanone
DRL	: 6,7-dimethyl-8-ribityllumazine
E4P	: Erythrose-4-phosphate
F6P	: Fructose-6-phosphate
FUM	: Fumarate
G6P	: Glucose-6-phosphate
GA	: ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม
GDP	: Guanosine diphosphate
GLC	: Glucose
GLU	: Glutamate
GLY	: Glycine
GMP	: Guanosine monophosphate
GTP	: Guanosine triphosphate
IMP	: Inosine monophosphate
MAL	: Malate
Add Ser	: การเพิ่ม Serine
Add Cys	: การเพิ่ม Cysteine
Add Asx	: การเพิ่ม Asparagine
Add Thr	: การเพิ่ม Threonine

คำอธิบายคำย่อ (ต่อ)

คำย่อ	คำอธิบาย
NADH	: Nicotinamide adenine dinucleotide
NADPH	: Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate
OAA	: Oxaloacetate
OGA	: Oxoglutarate
PAB	: P-amino benzoic acid
PEP	: Phosphoenolpyruvate
PGA	: 3-phosphoglyceric acid
PRPP	: Phosphoribosyl diphosphate
PYR	: Pyruvate
R5P	: Ribose-5-phosphate
Ru5P	: Ribulose-5-phosphate
S7P	: Seduheptulose-7-phosphate
SER	: Serine
SUC	: Succinate
T3P	: Glyceraldehyde-3-phosphate
Thr	: Threonine
X5P	: Xylulose-5-phosphate

บทที่ 1

บทนำ

การพัฒนาการทางเทคโนโลยีชีวภาพอย่างต่อเนื่อง ทำให้แบคทีเรียได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากมายในภาคอุตสาหกรรม เช่น ในอุตสาหกรรมการผลิตยา แบคทีเรีย *Escherichia coli* ได้ถูกใช้ในการผลิตกินจูลิน ในอุตสาหกรรมการผลิตสารเคมีเฉพาะทาง แบคทีเรียได้ถูกนำมาใช้ในการผลิตเอ็นไซม์ กรดอะมิโนและวิตามิน เป็นต้น ในอุตสาหกรรมการผลิตสารเคมีทั่วไป แบคทีเรียได้ถูกนำมาใช้ในการผลิต กรดแลคติกและกรดอะซิติก เป็นต้น นอกจากนี้แบคทีเรียบางถุงนำมาใช้ในการผลิต กาวก้ามนีเทนน์สามารถนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าหรือน้ำไปใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงแทนน้ำมันได้

ในการใช้แบคทีเรียในระดับอุตสาหกรรม ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้คาร์บอนของเซลล์แบคทีเรียมีความสำคัญ เนื่องจากปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ต้องการจากเซลล์จะมีค่าสูงสุด เมื่อเซลล์ใช้คาร์บอนจากสารตั้งต้นไปในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการมากที่สุด ในขณะที่การผลิตสารอื่นๆ หรือพลังงานเป็นไปเพียงเพื่อการดำรงชีวิตของเซลล์ จึงมีค่าใช้จ่ายมากถูกต้อง ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และโปรแกรมเพื่อช่วยในการวิเคราะห์การใช้คาร์บอนของเซลล์ และผลของการตัดต่อหรือเพิ่มขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้คาร์บอนของเซลล์ อัตราการผลิตผลิตภัณฑ์ และอัตราการผลิตพลังงาน ภายในโครงข่ายเมตาบólิกของแบคทีเรีย ตัวอย่างเช่น Sauer et al. [1] ได้พัฒนาแบบจำลองของ *B. subtilis* เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาค่าสูงสุดของอัตราการเจริญเติบโต หรืออัตราสูงสุดของการผลิตผลิตภัณฑ์ของเซลล์ แบบจำลองได้ถูกสร้างขึ้นในรูปโครงข่ายเมตาบólิกฟลักซ์ประกอบด้วยระบบสมการซึ่งแทนโครงข่ายปฏิกิริยาเมตาบólิกฟลักซ์ ค่าสูงสุดของอัตราการเติบโตหรืออัตราสูงสุดของการผลิตผลิตภัณฑ์ของเซลล์ หาได้โดยการกำหนดฟังก์ชันจุดประสงค์เป็นการหาค่าสูงสุด (Maximization) ของการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้น (Substrate) เป็นมวลเซลล์ (Biomass) หรือการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นเป็นผลิตภัณฑ์ (Product) ตามลำดับ Schilling et al. [2] ได้พัฒนาแบบจำลองของ *E. coli* เพื่อใช้ในการวิเคราะห์คุณลักษณะของระบบเมตาบólิก โดยการรวมการวิเคราะห์เชิงเส้นทาง (Pathway Analysis) และการวิเคราะห์ความสมดุลของฟลักซ์ คาร์บอนเข้าด้วยกัน Burgard และ Maranas [3] ได้พัฒนาแบบจำลองของ *E. coli* เพื่อวิเคราะห์หาค่าที่มากที่สุดในการผลิตมวลเซลล์

ของโครงข่ายเมตาบอติกหลังการตัดต่อหรือเพิ่มยีน โดยแบบจำลองแรกเป็นแบบจำลองก่อนการตัดต่อ และอีกแบบจำลองสำหรับการตัดต่อหรือเพิ่มยีน

อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่มีมาก่อนส่วนใหญ่จะใช้ฟังก์ชันจุดประส่งค์เป็นแบบเชิงเส้น ในการวิเคราะห์เพราะจัยต่อการคำนวณ แต่ในความเป็นจริงนั้นฟังก์ชันจุดประส่งค์แบบไม่เป็นเชิงเส้น หรือ Non-linear Optimization Problem จะช่วยให้การวิเคราะห์ระบบใกล้เคียงกับระบบจริงมากขึ้น แต่การคำนวณจะยากกว่า อย่างเช่นในงานวิจัยของ Michael และ Sauer [4] ใช้เทคนิค SQP (Sequential Quadratic Programming) ในการแก้ปัญหาฟังก์ชันจุดประส่งค์แบบไม่เชิงเส้นและต้องเริ่มที่จุดเริ่มต่างกัน ซึ่งในการแก้ปัญหาแบบไม่เชิงเส้นนั้น จุดสูงสุดเฉพาะที่ (Local Maximum) หรือจุดต่ำสุดเฉพาะที่ (Local Minimum) จะมีมากกว่าหนึ่งจุด ค่าที่ได้จากการคำนวณในแต่ละครั้งจากจุดเริ่มต้นที่ต่างกัน อาจต่างกันและอาจไม่ใช่ค่าที่เหมาะสมสุดก็ได้ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอเทคนิคขั้นตอนวิธีเชิงพัฒนารูปแบบใหม่ เชิงเส้น ซึ่งจะคำนวณหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของทั้งปัญหาได้ มาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายเมตาบอติกฟลักซ์ของแบคทีเรีย และแบบจำลองนี้ยังนำไปใช้ในการเพิ่มภัยในปฏิกริยาเมตาบ็อกไซด์ด้วย

เนื้อหาในวิทยานิพนธ์เล่มนี้แบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง การประยุกต์ใช้งาน ผลการทดลอง และสรุปผล โดยบทที่ 2 และ 3 เป็นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องคือ การวิเคราะห์ความสมดุลของฟลักซ์คาร์บอน และขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด บทที่ 4 เป็นการประยุกต์ใช้งานขั้นตอนวิธีการปีนเขา (Hill Climbing) และขั้นตอนวิธีเชิงพัฒนารูปแบบวิวัฒนาการและการทำงานร่วม (Co-operative Co-evolutionary Genetic Algorithm) บทที่ 5 เป็นผลการทดลองและการอภิปรายผล การทดลอง และบทที่ 6 จะเป็นการสรุปวิทยานิพนธ์และแนวทางการพัฒนางานวิจัยต่อไป

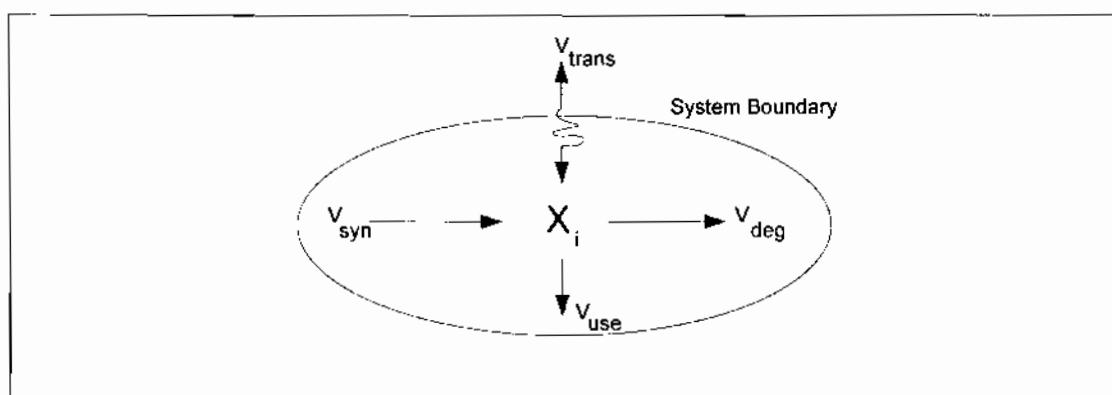
บทที่ 2

การวิเคราะห์ความสมดุลของฟลักซ์

ในการวิเคราะห์เชิงคำนวณเกี่ยวกับความรู้ในเรื่องของ การจัดเรียงกลุ่มชีนในเซลล์สิ่งมีชีวิต ซึ่งมีความซับซ้อนมาก ดังนั้นแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์จะถูกพัฒนาขึ้นจากหลักฐานแบบ อย่างเช่นการวิเคราะห์ความสมดุลของฟลักซ์ เป็นการวิเคราะห์ที่ต้องใช้เส้นทางหรือปฏิกิริยาของ ชีวเคมี (Biochemical Pathway) ในการอธิบาย โดยมีแบบจำลองที่สร้างขึ้นจากการทำสมดุลทาง มวลของเมटาbolite (Metabolite) ที่เราสนใจ

การวิเคราะห์ความสมดุลของฟลักซ์สามารถเทียบเคียงกับ การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า กระแสตรงได้ ซึ่งสามารถใช้กฎกระแสของคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's Current Law) ในการอธิบาย ความสมดุลของฟลักซ์ได้เช่นกัน เช่นกฎกระแสของคอร์ชอฟฟ์ได้กล่าวไว้ว่า ผลรวมทางพิชณิต ของกระแสที่ไหลเข้าโน่นด้วยนิดใดๆ มีค่าเท่ากับศูนย์ที่ทุกๆเวลา หรือกล่าวได้ว่า ผลรวมของกระแสที่ ไหลเข้าโน่นด้วยมีค่าเท่ากับผลรวมของกระแสที่ไหลออกจากรอบนั้นเอง

เช่นเดียวกัน การทำสมดุลฟลักซ์ [5,6,7,8] ถูกเขียนขึ้นสำหรับแต่ละเมटาabolite ภายใน โครงข่าย เมตาabolite ดังภาพที่ 2-1 อธิบายด้วยระบบของฟลักซ์ (V_{syn} , V_{deg} , V_{trans} , V_{use}) ซึ่งส่งผล กระบวนการต่อเมटาabolite (X_i) อัตราการสัมมูลของ X_i ถูกแทนด้วยสมการ (2-1)



ภาพที่ 2-1 การทำสมดุลของเมटาabolite ภายในโครงข่าย

$$\frac{dX_i}{dt} = V_{syn} - V_{deg} - V_{use} \pm V_{trans} \quad (2-1)$$

โดยที่ V_{syn} คือ ปฏิกริยาการสังเคราะห์ของเมตานอไลท์ X , หรือฟลักซ์ข้าม X ,

V_{deg} คือ ปฏิกริยาการสลายตัวของเมตานอไลท์ X , หรือฟลักซ์ของการออก X ,

V_{use} คือ ฟลักซ์ที่ต้องใช้ในการเจริญเติบโตและการบำรุงรักษา

V_{trans} คือ ฟลักซ์ที่ถ่ายเทกันระบบภายนอกของเขตที่กำหนด

ไม่ทั้งหมดของเมตานอไลท์ในโครงข่ายที่จะประกอบด้วยฟลักซ์ทั้งสี่นี้ ตัวอย่างเช่น V_{trans} จะเกิดเฉพาะกับเมตานอไลท์ตัวนอก และ V_{use} จะเกิดเฉพาะเมตานอไลท์ค้านใน เนื่องเป็นสมการ อิกกริ้ง

$$\frac{dX}{dt} = V_{syn} - V_{deg} - V_{use} + b, \quad (2-2)$$

โดยที่ b , คือผลรวมทั้งหมดของการถ่ายของเมตานอไลท์ตัวนอกเข้าไปในระบบเมตานอเลิก ค่า การเจริญเติบโตและการบำรุงรักษาที่ต้องใช้ถูกแสดงด้วยฟลักซ์ใน โครงข่ายเมตานอเลิกและมีค่า เท่ากับปฏิกริยาการสลายตัว สโตชิโอมetric และขนาดของฟลักซ์ ส่วนประกอบชี้วะจะทั้งหมด ในการทำสมดุลสามารถแสดงด้วยสมการเมตริกซ์

$$\frac{dX}{dt} = S \cdot v + b \quad (2-3)$$

โดยที่ X เป็นเวกเตอร์ขนาด m ซึ่งเป็นค่าจำนวนเมตานอไลท์ภายในเซลล์

S เป็นสโตชิโอมตริกซ์ ขนาด $m \times n$

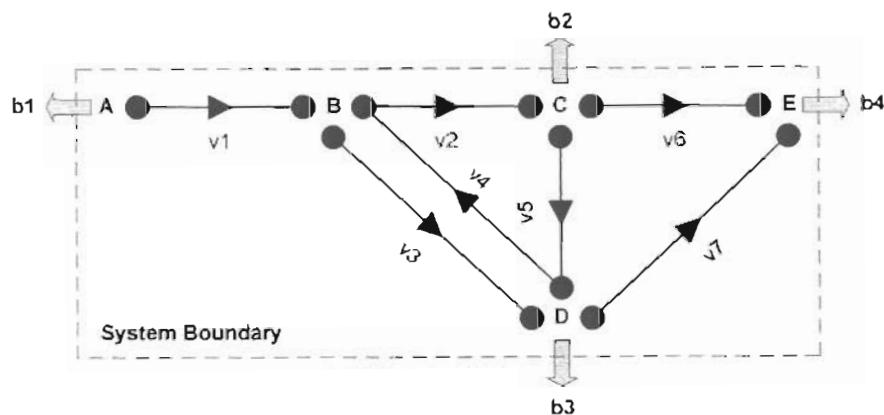
v เป็นเวกเตอร์ของเมตานอเลิกฟลักซ์ ขนาด n

และ b คือเวกเตอร์ของฟลักซ์ถ่ายเทได้

อย่างไรก็ได้ในการทำสมดุลทางมวลชี้วะจะ ค่าผลต่าง dX ถูกลำไอน้ำหนัก ดังนั้นสมดุลทางมวล จะถูกอธิบายที่สภาวะคงตัว เนื่องเป็นสมการ ได้คือ

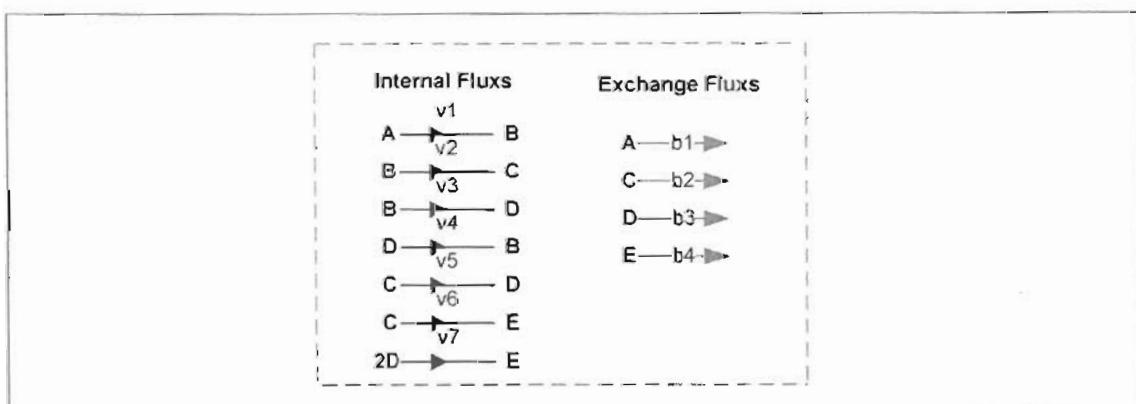
$$S \cdot v + b = 0 \quad (2-4)$$

ดังโครงข่ายสมมติภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 ระบบโครงข่ายสมมติ

ระบบนี้จะประกอบด้วย เมตาบอไลท์ (Metabolite) จำนวน 5 ตัวคือ A, B, C, D และ E พลักช์ภายใน (Internal Flux) จำนวน 7 ตัวคือ v_i ถึง v_7 และพลักช์ที่ถ่ายเทได้ (Exchange flux) อีก 4 ตัวนั่นคือ b_1 , b_2 , b_3 และ b_4 ดังภาพที่ 2-2 โดยที่พลักช์ภายใน v_1 จะเกิดจาก A ไป B, v_2 เกิดจาก B ไป C ดังภาพที่ 2-3 ซึ่งระหว่าง B และ D นั้นปฏิกิริยาสามารถย้อนกลับ (Reversible) ได้ และ v_7 จะเกิดจาก 2 โมลของ D เปลี่ยนไปเป็น E ด้วย



ภาพที่ 2-3 พลักช์ภายในและพลักช์ที่ถ่ายเทได้

พลักช์ที่ถ่ายเทได้ถูกนิยามให้เป็นพลักช์จากภายนอก ซึ่งค่าของพลักช์จะเป็นลบเมื่อถูกใส่เข้าระบบ และจะมีค่าเป็นบวกเมื่อเป็นผลผลิตออกจากระบบ

การทำสมดุลทางมวลที่สภาวะคงตัวถูกแสดงไว้ดังสมการ (2-5) โดยทั่วไปสมการนี้อนุญาตประกอบไปด้วยพลักช์ภายในและพลักช์ที่ถ่ายเทได้ แต่จะสมดุลทางมวลที่สภาวะคงตัวก็คือแต่ละแควของส��ะไอเมทริก S ซึ่งเป็นสมการเชิงเส้น และเนื่องจากนั้นดังที่แสดงในสมการที่ 2-5 แสดงให้เห็นว่าพลักช์ที่ต้องมากกว่าหรือเท่ากับศูนย์

$$\begin{aligned}
 A : & -v_1 - b_1 = 0 \\
 B : & v_1 - v_2 - v_3 + v_4 = 0 \\
 C : & v_2 - v_5 - v_6 - b_2 = 0 \\
 D : & v_3 - v_4 + v_5 - v_7 - b_3 = 0 \\
 E : & v_6 + v_7 - b_4 = 0
 \end{aligned} \tag{2-5}$$

โดยที่ $0 \leq v_1, \dots, v_7 \leq +\infty$

บทที่ 3

เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุด

เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization Technique) ในงานวิจัยเกี่ยวกับเคมีชีวภาพมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน มีทั้งการกำหนดฟังก์ชันจุดประสงค์เป็นแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นตามลักษณะปัญหา งานวิจัยหลายชิ้นพยายามวิเคราะห์หาฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective Function) เพื่อใช้ในการจำลองโครงข่าย เมตานอลิกฟลักซ์ มีการกันควาหนาเทคนิคเพื่อใช้ในการวิเคราะห์สมการ เช่นเดียวกับในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอเทคนิคการแยกค่าเอกลักษณ์ (Singular Value Decomposition , SVD) ในการช่วยลดขนาดเมตริกซ์ เทคนิคการปีนเขา (Hill Climbing) ในการหาค่ามากที่สุด (Maximization) ของฟังก์ชันจุดประสงค์แบบเชิงเส้น (Linear Function) และขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบวิวัฒนาการและการทำงานร่วม (Co-operative Co-evolutionary Genetic Algorithm) ในการหาค่ามากที่สุดของฟังก์ชันจุดประสงค์แบบไม่เป็นเชิงเส้น

3.1 การแยกค่าเอกลักษณ์ (Singular Value Decomposition) หรือ SVD

SVD [9,10] มีรากฐานมาจากการคณิตศาสตร์เชิงเส้น (Linear Algebra) ซึ่งกล่าวไว้ว่า เมตริกซ์ A ใดๆ ขนาด $M \times N$ โดยที่จำนวนแถว (Row) M มากกว่าหรือเท่ากับจำนวนหลัก (Column) N แล้วสามารถเขียนแทนได้ด้วยผลคูณของเมตริกซ์เชิงตัวประกอบสองตัว (Column-orthogonal Matrix) U ขนาด $M \times N$ เมตริกซ์ที่แบ่งมุม (Diagonal matrix) W ขนาด $N \times N$ และทรานส์โพสของเมตริกซ์เชิงตัวประกอบ (Orthogonal Matrix) V ขนาด $N \times N$ อธิบายเป็น Tableau ดังสมการ (3-1)

$$\begin{pmatrix} A \\ \end{pmatrix}_{M \times N} = \begin{pmatrix} U \\ \end{pmatrix}_{M \times N} \bullet \begin{pmatrix} w_1 & & & \\ & w_2 & & \\ & & \dots & \\ & & & w_n \end{pmatrix}_{N \times N} \bullet \begin{pmatrix} V^T \\ \end{pmatrix}_{N \times N} \quad (3-1)$$

ซึ่งเมตริกซ์ U และ V เป็นเมตริกซ์เชิงตัวประกอบทั้งหมด หรือกล่าวได้ว่าคอลัมน์เป็นเชิงตัวประกอบ (Orthonormal) ดังสมการ

$$\sum_{i=1}^M U_{ik} U_{in} = \delta_{kn} \quad \text{เมื่อ } 1 \leq k \leq N, 1 \leq n \leq N \quad (3-2)$$

$$\sum_{j=1}^N V_{jk} V_{jn} = \delta_{kn} \quad \text{เมื่อ } 1 \leq k \leq N, 1 \leq n \leq N \quad (3-3)$$

หรือเขียนเป็น Tableau ได้ดัง

$$\begin{pmatrix} & U^T \\ U^T & \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} & U \\ U & \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} & V^T \\ V^T & \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} & V \\ V & \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} & 1 \\ 1 & \end{pmatrix} \quad (3-4)$$

SVD ยังสามารถใช้กับกรณีที่ขนาด $M < N$ ได้ แต่ในการพินิจค่าเอกฐาน (Singular Value) w_j ที่ $j = M+1, \dots, N$ จะมีค่านี้เป็นศูนย์ ส่วนให้คอลัมน์ของเมตริกซ์ P เป็นศูนย์ด้วย ทำให้สมการ (3-2) ไม่เป็นจริง ดังนั้นในสมการที่ (3-2) จะใช้ได้เฉพาะเมื่อ k และ n น้อยกว่าหรือเท่ากับ M

การแยก (Decomposition) ของเมตริกซ์ A ดังสมการที่ (3-1) สามารถใช้ในการแก้ปัญหา เมตริกซ์เอกฐานได้เกือบทั้งหมด ยกตัวอย่างเช่น ถ้าเมตริกซ์ A เป็นเมตริกซ์จตุรัสขนาด $N \times N$ กล่าว ได้ว่าเมตริกซ์ U , V และ W ก็เป็นเมตริกซ์จตุรัสที่มีขนาดเดียวกัน ดังนั้นการอินเวิร์สเมตริกซ์เหล่านี้ สามารถทำได้ง่าย โดย U และ V เป็นเมตริกซ์เชิงตัวแปร ดังนั้นการอินเวิร์สเมตริกซ์ก็คือการ หранสโพส และ W ซึ่งเป็นเมตริกซ์ที่แบ่งมุม การอินเวิร์สเมตริกซ์ก็คือการสลับเศษเป็นส่วนของ สมาชิกตัวนี้ๆ เขียนสมการอินเวิร์สเมตริกซ์ของ A ได้ดัง

$$A^{-1} = V \cdot [diag(1/w_j)] \cdot U^T \quad (3-5)$$

ซึ่งถ้า A เป็นเมตริกซ์เอกฐานแล้ว ในส่วนของเมตริกซ์ที่แบ่งมุม W จะมีบางค่าของ w_j เป็น ศูนย์ ทำให้ไม่สามารถอินเวิร์สเมตริกซ์ได้ ในการแก้ปัญหาของ SVD จึงแทนที่ $1/w_j$ ด้วย “ศูนย์” สำหรับกรณีที่ w_j เท่ากับศูนย์ ดังนั้นในการส่งผ่านเชิงเส้นของเมตริกซ์เอกฐานหรือ Singular Matrix ดังสมการ (3-6) การส่งผ่านเชิงเส้นจากปริภูมิเวกเตอร์ ($Vector Space$) x ไปปริภูมิเวกเตอร์ b โดยที่ A คือเมตริกซ์จตุรัส และ x, b คือเวกเตอร์

$$A \cdot x = b \quad (3-6)$$

ผลจากค่าเอกฐาน (Singular value) บางค่าที่เป็นศูนย์ ทำให้ปริภูมิย่อ (subspace) บางส่วนของ x ถูกส่งผ่านไปเป็นปริภูมิย่อเพียงบางส่วนของ b และมีบางส่วนที่ถูกส่งผ่านไปเป็นศูนย์ ($A \cdot x = 0$) ปริภูมิส่วนนี้เรียกว่า ปริภูมิสู่ศูนย์ (Null Space) มิติของปริภูมิสู่ศูนย์เรียกว่า ศูนยภาพ (nullity) ของ A สำหรับบางส่วนของ b ที่ถูกส่งผ่านมาจะเรียกว่า พิสัยของ A ขนาดพิสัยเรียกว่า ค่าลำดับที่ (rank) ของ A ดังนั้นถ้าเมตริกซ์ A ไม่เป็นเอกฐาน พิสัยของ A ก็คือปริภูมิเวกเตอร์ b ซึ่งมีค่าลำดับที่เท่ากับ N แต่ถ้าเมตริกซ์ A เป็นเอกฐาน ค่าลำดับที่จะน้อยกว่า N หรืออาจกล่าวได้ว่า ค่าลำดับที่บวกกับศูนยภาพมีค่าเท่ากับ N ดังนั้นชุดคำตอบของสมการที่ (3-6) แสดงได้ดังสมการที่ (3-7) ดื้อ

$$x = V \cdot [diag(1/w_j)] \cdot (U^T \cdot b) \quad (3-7)$$

3.2 เทคนิคการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming Technique)

ในที่จะกล่าวถึงเฉพาะเทคนิคที่เลือกใช้กับงานวิจัยนี้ คือขั้นตอนวิธีการปีนเขา (Hill Climbing Algorithm) [11] ซึ่งมีลักษณะการค้นหาคำตอบของฟังก์ชันสูงสุดหรือต่ำสุด สำหรับฟังก์ชัน $f(x)$ ที่มีค่า x เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete State) โดยการค้นหาคำตอบจะมีลักษณะคล้ายการไต่เส้นกราฟจากจุดสูงสุด (Vertex) หนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง ทำให้ผลของฟังก์ชันมีค่าขึ้นๆลงๆ จนกระทั่งถึงจุดสูงสุด x_{\max} หรือต่ำสุด x_{\min} เทคนิคนี้ มีขั้นตอนวิธีแสดงดังภาพที่ 3-1

```

/* Hill Climbing Algorithm */
Initialize a starting node;
L = Maximum Step;
α = Factor;
Δxmin = Minimum Step size;
Δx = L/α;
While(Δx > Δxmin)
    for all x{
        /*By Adding*/
        Eval(x+Δx);
        /*By Subtracting*/
        Eval(x-Δx);
        Compare Eval(x, (x+Δx), (x-Δx));
        X = Good Evaluate();
    }
    Δx = Δx / α;
Return (currentNode);

```

ภาพที่ 3-1 ขั้นตอนวิธีการปีนเขา

หลักการทำงานคือ

1. เริ่มต้นด้วยการสร้างตัวแปรตัดสินใจเริ่มต้น (Initialize a starting point), กำหนดค่าขนาดความกว้างในการค้นหา (Maximum Step, L), กำหนดค่าปัญจกความกว้างของขั้น (Factor, a), กำหนดความกว้างของขั้นต่ำสุด (Minimum Step size, Δx_{min})
2. คำนวณค่าจุดประสงค์ของตัวแปรตัดสินใจเริ่มต้น
3. คำนวณค่าจุดประสงค์ของตัวแปรตัดสินใจข้างเคียงโดยการบวกด้วยความกว้างของขั้น
4. คำนวณค่าจุดประสงค์ของตัวแปรตัดสินใจข้างเคียงโดยการลบด้วยความกว้างของขั้น
5. เพรียบเทียบผลค่าจุดประสงค์ระหว่างตัวแปรตัดสินใจกับตัวแปรตัดสินใจข้างเคียงโดยการบวกและการลบ
6. เก็บค่าตัวแปรตัดสินใจที่ให้ค่าจุดประสงค์ที่ดีกว่า
7. ทำซึ่งนี้จนครบถ้วนในสมาชิกของตัวแปรตัดสินใจ
8. ลดขนาดของความกว้างของขั้นลง วนการทำงานซ้ำดังข้อ 3
9. การคำนวณจะจบลงเมื่อขนาดความกว้างของขั้นน้อยกว่าความกว้างของขั้นต่ำสุด

3.3 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบวิวัฒนาการและการทำงานร่วม (Co-operative Co-evolutionary Genetic Algorithm)

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบวิวัฒนาการและการทำงานร่วม (Co-operative Co-evolutionary Genetic Algorithm) มีหลักการเบื้องต้นมาจากการพัฒนาขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ซึ่งเป็นเทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization Technique) อีกเทคนิคหนึ่ง โดยจะกล่าวถึงแนวคิดคุณสมบัติ ขั้นตอนการทำงาน และตัวดำเนินการเชิงพันธุกรรม (Genetic Operator) ต่างๆ ซึ่งได้แก่ การเข้ารหัส (Encoding) การคำนวณค่าความแข็งแรง (Fitness Evaluation) การคัดเลือก (Selection) การครอสโซเวอร์ (Crossover) การกลายพันธุ์ (Mutation) กลยุทธ์คัดแยกส่วนที่ดีที่สุด (Elitist Strategy) และการปรับมาตราความแข็งแรง (Fitness Scaling) ตามลำดับ

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมพัฒนาขึ้นโดย Holland [12] เป็นกระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้แนวความคิดของ ชาร์ลส์ ดาร์วิน (Charles Darwin) คือ สิ่งมีชีวิตใดที่แข็งแรงกว่าย่นมีโอกาสอยู่รอดได้มากกว่า หมายความว่า สิ่งมีชีวิตที่แข็งแรงกว่ามีโอกาสถ่ายทอดพันธุกรรมไปให้ลูกหลานได้มากกว่า โดยที่ขั้นตอนการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมนั้น จะอิงมาจากทฤษฎีวิวัฒนาการ (Theory of Evolution)

ข้อแตกต่างระหว่างขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม และเทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบมาตรฐาน มี 4 ประการคือ

1. ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะทำการค้นหาคำตอบในพื้นที่การค้นหา (Search Space) ของตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable) ของปัญหาโดยที่ตัวแปรตัดสินใจนี้จะถูกเข้ารหัสเป็นสายรหัส
2. ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะทำการหาคำตอบจากหลายๆ ชุดในพื้นที่ที่เป็นไปได้ในการหาคำตอบไปพร้อมๆ กันนั้น ซึ่งจะทำให้โอกาสที่คำตอบที่เหมาะสมเป็นค่าเหมาะสมที่สุดเฉพาะที่ (Local Optimum) นั้นลดลง
3. ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะใช้ข้อมูลที่เป็นผลที่เกิดจากค่าจุดประสงค์ (Objective Value) ในการกำหนดทิศทางในการหาคำตอบในพื้นที่การค้นหา ในขณะที่เทคนิคการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบมาตรฐานนั้นมักจะใช้ข้อมูลที่ได้มาจากอนุพันธ์ (Derivative) ของฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective Function) ในการกำหนดทิศทางของการหาคำตอบ
4. ในกระบวนการหาคำตอบของเทคนิคการหาคำตอบที่ดีที่สุดแบบมาตรฐาน จะใช้กฎการส่งผ่านเชิงกำหนด (Deterministic Transmission Rule) ส่วนขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะใช้กฎการส่งผ่านเชิงความน่าจะเป็น (Probabilistic Transmission Rule) ในกระบวนการการหาคำตอบ

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมนี้มีรากฐานมาจากทฤษฎีวิวัฒนาการ ดังนี้คำศัพท์ต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะเป็นคำศัพท์ทางชีววิทยา โดยจะสามารถแปลความหมายได้ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ความหมายของคำศัพท์ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

คำศัพท์ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม	ความหมาย
โครโนโซม (Chromosome)	สายรหัส
基因 (Gene)	รหัส หรือ อักษร
อัลเลล (Allele)	คำของรหัส
โลคัส (Locus)	ตำแหน่งของรหัสบนสายรหัส
จีโนไทป์ (Genotype)	ลักษณะสายรหัส
ฟีโนไทป์ (Phenotype)	สิ่งที่ได้จากการถอดรหัสลักษณะสายรหัส

การทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นการหาคำตอบแบบขนาน (Parallel Search) คำตอบที่ได้ในรุ่น (Generation) หนึ่ง จะผ่านการแปลง (Transformation) เพื่อทำให้เกิดคำตอบที่ดีขึ้นในรุ่นถัดไป กระบวนการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมอย่างง่ายสามารถแสดงดังภาพที่

```

/*Genetic Algorithm*/
Initialise a set of random individuals;

for (i=0;i< Max generation; i++){
    decision variable = decode(individual);
    fitness = fitness function(decision variable);
    selected individual = selection(individual, fitness);
    crossover individual = crossover(selected individual, pc);
    mutation individual = mutation(crossover individual, pm);
    individual = mutate individual;
}

```

ภาพที่ 3-2 กระบวนการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมอย่างง่าย

จากภาพที่ 3-2 ขั้นตอนวิธีเริ่มจากการสร้างประชากรเริ่มต้น (Initial Population) นำประชากรเริ่มต้นไปคำนวณค่าความแข็งแรง แล้วคัดเลือกประชากรที่แข็งแรง ไปทำการครอสโซเวอร์และการกลายพันธุ์ จนหนึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า 1 รุ่น ในแต่ละลำดับขั้นตอนสามารถอธิบายเป็นหัวข้อได้ดังต่อไปนี้

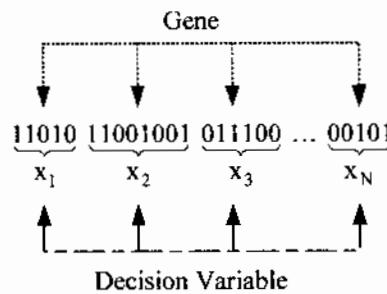
3.3.1 การสร้างประชากรเริ่มต้น (Initial Population)

การสร้างประชากรเริ่มต้น เกิดจากสายรหัส (Chromosome) ของอักขระที่มาจากการสุ่ม ซึ่งรูปแบบที่ง่ายสุดในการเข้ารหัสคือเลขฐานสอง ดังนั้นอักขระที่ได้จากการสุ่มคือเลข 0 และ 1 การกำหนดจำนวนประชากรขึ้นอยู่กับการกำหนดของผู้เขียน โปรแกรมเอง การกำหนดจำนวนประชากรเริ่มต้นมากจะทำให้โอกาสในการพบคำตอบมาก แต่ก็ทำให้การคำนวนในแต่ละรุ่นช้าลง เพราะจำนวนประชากรในรุ่นมีมาก

3.3.2 การเข้ารหัส (Encoding)

การเข้ารหัส เป็นการนำสารรหัสmanyalong ค่าหรือคำนวณเป็นตัวแปรตัวเดียว รูปแบบของสารรหัสมีหลายแบบ เช่น สารรหัสฐานสอง (Binary Chromosome) สารรหัสจัดอันดับ (Sequence Chromosome) และสารรหัสจำนวนเต็ม (Integer Chromosome) เป็นต้น ซึ่งรูปแบบของสารรหัสขึ้นอยู่กับตัวปัญหา ในที่นี้จะยกตัวอย่างวิธีการเข้ารหัสที่ง่ายที่สุดคือ รหัสฐานสอง (Binary Code) ผลที่ได้จากการเข้ารหัสวิธีนี้คือ สารรหัสจะประกอบขึ้นจากกลุ่มของยีน (Gene) หลายกลุ่ม โดยที่แต่ละกลุ่มของยีนจะแทนค่าตัวแปรตัวเดียว 1 ตัว และแต่ละยีนจะมีอัลลิลเป็น 0 หรือ 1

ภาพที่ 3-3 คำตอบของปัญหาคือสารรหัสหรือໂຄຣ ไม่โழນ 1101011001001011100 ... 00101 กลุ่มของยีนคือ 11010, 11001001, 011100, ..., 00101 และตัวแปรตัวเดียวคือ $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$ ถ้าในปัญหานี้ความยาวของสารรหัสมีค่า L ดังนั้นจำนวนแบบที่เป็นไปได้ของสารรหัสคือ 2^L แบบ โดยเริ่มจาก 00000000000000000000000000000000 ... 00000 ไปจนถึง 111111111111111111111111 ... 11111



ภาพที่ 3-3 การเข้ารหัสฐานสอง

3.3.3 การคำนวณค่าความแข็งแรง (Fitness Evaluation)

ค่าความแข็งแรงของสมาชิกแต่ละตัวในประชากร มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าจุดประสงค์ที่เกิดจากการแทนค่าโดยสมาชิกของประชากรนั้นๆ ค่าความแข็งแรงเกิดจากการคำนวณฟังก์ชันจุดประสงค์ของตัวแปรตัดสินใจที่ได้จากการอọcรหัส โดยฟังก์ชันจุดประสงค์ของปัญหาการหาค่าสูงสุด (Maximization Problem) เมนะะที่สุดคือฟังก์ชันกำไร และปัญหาการหาค่าต่ำสุด (Minimization Problem) คือฟังก์ชันค่าใช้จ่าย ดังนั้นค่าความแข็งแรงของปัญหาการหาค่าสูงสุดคือ

$$f_i = Z, \quad (3-9)$$

และค่าความแข็งแรงของปัญหาการหาค่าต่ำสุดคือ

$$f_i = C_{\max} - J_i \quad (3-10)$$

โดยที่ f_i คือ ค่าความแข็งแรงของประชากรตัวที่ i

Z , คือ ค่าจุดประสงค์ซึ่งเป็นผลจากฟังก์ชันกำไรของประชากรตัวที่ i

J_i , คือ ค่าจุดประสงค์ซึ่งเป็นผลจากฟังก์ชันค่าใช้จ่ายของประชากรตัวที่ i

C_{\max} คือ ค่านิยมค่าหนึ่งซึ่งมีค่ามากกว่าค่าจุดประสงค์ที่มากที่สุดที่เป็นไปได้ หากได้โดยอาศัยข้อมูลของปัญหาการหาค่าหมายที่สุดที่สนใจเป็นหลัก

3.3.4 การคัดเลือก (Selection)

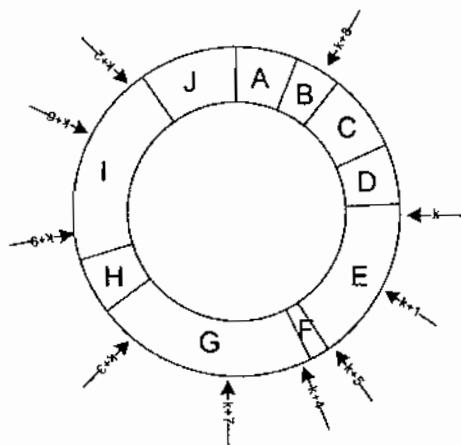
เป็นตัวดำเนินการที่มีความสำคัญมากในการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ทำหน้าที่คัดเลือกประชากรรายในกลุ่มจากค่าความแข็งแรง ประชากรรุ่นใหม่จะถูกสร้างขึ้นโดยการแพร่พันธุ์ (Reproduction) จากประชากรที่แข็งแรงในรุ่นปัจจุบัน โดยใช้ค่าความแข็งแรงเป็นตัวกำหนด

อัตราการแพร์พันธุ์ อัตราส่วนระหว่างค่าความแข็งแรงของประชากรแต่ละตัวกับผลกระทบของค่าความแข็งแรงจากประชากรทุกตัวในรุ่นปัจจุบันจะเป็นตัวกำหนดสัดส่วน ของจำนวนประชากรนั้นๆ ในประชากรรุ่นใหม่ กล่าวคือประชากรในรุ่นปัจจุบันที่มีค่าความแข็งแรงมากมีโอกาสแพร์พันธุ์ไปในประชากรรุ่นใหม่สูง ในขณะที่ประชากรที่มีค่าความแข็งแรงน้อยจะมีโอกาสแพร์พันธุ์ไปในประชากรรุ่นใหม่ต่ำ ซึ่งเทคนิคที่ใช้ในการคัดเลือกนี้มือญี่หอยาลัยเทคนิคด้วยกัน ในที่นี้เทคนิคที่จะกล่าวถึงคือ การคัดเลือกแบบวงล้อรูเล็ต (Roulette Wheel Selection) และการคัดเลือกโดยการซักด้วยย่างทุกตัวแบบเพื่อนสุ่ม (Stochastic Universal Sampling Selection)

3.3.4.1 การคัดเลือกแบบวงล้อรูเล็ต (Roulette Wheel Selection) เป็นวิธีการเลือกที่เลียนแบบการเล่นวงล้อรูเล็ต โดยที่ความกว้างแต่ละช่องของวงล้อรูเล็ตถูกกำหนดด้วยค่าความแข็งแรงของประชากรแต่ละตัว องศาความกว้างแปรผันตรงกับค่าความแข็งแรงของประชากรตัวนั้นๆ ทำการกำหนดตัวชี้ตำแหน่ง (Fixed Point) แล้วหมุนวงล้อรูเล็ตแบบสุ่ม เมื่อวงล้อหยุดหมุน ประชากรตัวที่ตกอยู่ในตำแหน่งของตัวชี้ จะถูกเลือกและส่งผ่านเป็นประชากรรุ่นถัดไป

สังเกตได้ว่า ถ้าขั้นตอนในการหมุนวงล้อรูเล็ตนั้นเป็นกระบวนการแบบสุ่มที่แท้จริงแล้ว การสุ่มนี้เป็นจำนวนอนันต์ (Infinite Number) ครั้ง จะได้ประชากรที่ถูกเลือกมีจำนวนไม่จำกัดเกียงกับสัดส่วนเป้าหมาย อย่างไรก็ต้องจำนวนครั้งของการหมุนวงล้อรูเล็ตถูกกำหนดโดยจำนวนของประชากรซึ่งไม่เป็นจำนวนอนันต์ ทำให้สัดส่วนของประชากรในรุ่นถัดไปจะแตกต่างจากสัดส่วนที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้ ปัญหานี้จะสามารถแก้ได้ทางส่วนโดยใช้การคัดเลือกโดยซักด้วยย่างทุกตัวแบบเพื่อนสุ่ม แสดงลักษณะการเลือกได้ดังภาพที่ 3-4

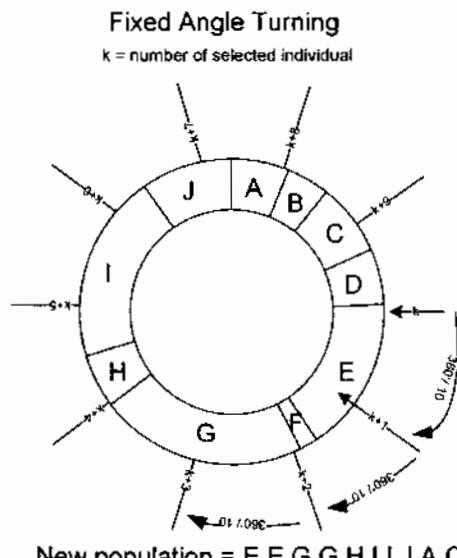
Random Spinning
k = number of selected individual



New population = E,E,I,G,G,E,I,G,B,I

ภาพที่ 3-4 การคัดเลือกแบบวงล้อรูเล็ต

3.3.4.2 การคัดเลือกโดยชักด้วยทุกดัวแบบเพื่อสุ่ม (Stochastic Universal Sampling Selection) จะมีการสร้างวงล้อรูเล็ตที่มีความล้าเอียงตามค่าความแข็งแรงของประชากรเหมือนกัน แต่ต่างกันที่การหมุนวงล้อรูเล็ต เริ่มต้นที่การสุ่มจุดซึ่งตำแหน่งจุดแรก ต่อจากนั้นหมุนวงล้อเป็นมุม $360^\circ/\text{k}$ โดยที่ k คือจำนวนประชากร วงล้อจะหมุนด้วยมุมที่คงที่จนครบตามจำนวนประชากร 1 รุ่น จากหลักการนี้จำนวนของสมาชิกที่ถูกเลือกจะใกล้เคียงกับสัดส่วนที่ต้องการ ซึ่งจะช่วยลดความล้าเอียงในการคัดเลือกได้ เนื่องจากโอกาสที่ประชากรจะถูกเลือกขึ้นกันหลายๆ ครั้งจะเกิดขึ้นต่อเมื่อประชากรตัวนั้นๆ มีค่าความแข็งแรงสูงมากๆ ลักษณะการเลือกແสดงได้ดังภาพที่ 3-5

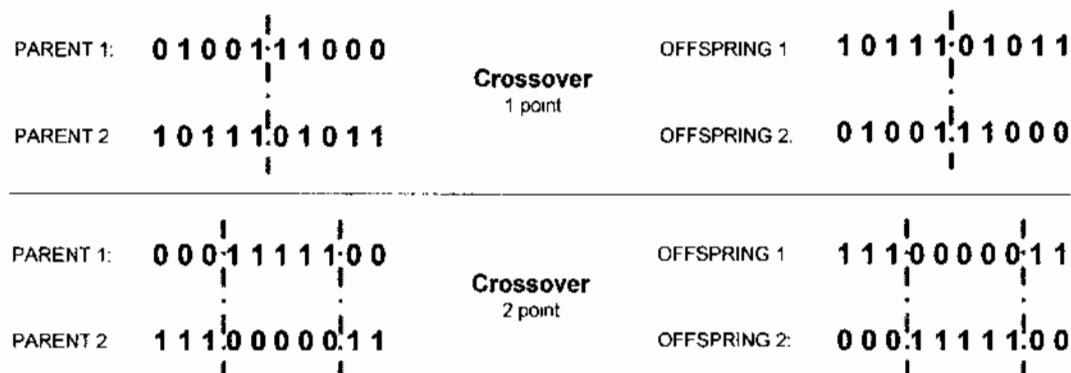


ภาพที่ 3-5 การคัดเลือกโดยชักด้วยทุกดัวแบบเพื่อสุ่ม

3.3.5 การครอสโซเวอร์ (Crossover)

การครอสโซเวอร์ทำหน้าที่ ถ่ายทอดลักษณะของประชากรจากรุ่นหนึ่งไปยังอีกรุ่นหนึ่ง โดยมีการสับเปลี่ยนโครงสร้างทางพันธุกรรมจากประชากรที่ถูกคัดเลือกมา โดยการสุ่มเลือกสมาชิกของประชากรรุ่นพ่อแม่ (Parent Individual) มาจำนวน 2 ตัว ส่งผ่านไปยังสมาชิกของประชากรรุ่นลูก (Offspring Individual) ซึ่งจะมีจำนวน 2 ตัวเช่นกัน โอกาสที่จะมีการครอสโซเวอร์เกิดขึ้นจะถูกกำหนดโดยความน่าจะเป็นในการครอสโซเวอร์ (Crossover Probability) โดยปกติความน่าจะเป็นในการครอสโซเวอร์นี้ค่าอยู่ระหว่าง 0.7 - 0.9 ซึ่งหมายความว่าถ้าไม่มีการครอสโซเวอร์เกิดขึ้นแล้ว สมาชิกของประชากรรุ่นลูกก็จะเหมือนกับสมาชิกของประชากรรุ่นพ่อแม่ทุกประการ เทคนิคการครอสโซเวอร์ที่จะกล่าวถึงในที่นี้ ได้แก่ การครอสโซเวอร์แบบ N จุด (N-Point Crossover) และการครอสโซเวอร์แบบเอกรูป (Uniform Crossover)

3.3.5.1 การครอสโซเวอร์แบบ N จุด (N-Point Crossover) เทคนิคในการแลกเปลี่ยนยีนระหว่างสมาชิกของประชากรรุ่นพ่อแม่เพื่อให้เกิดการสร้างสมาชิกของประชากรรุ่นลูกนั้น จะเกิดขึ้น ณ จุดใดจุดหนึ่งของตำแหน่งการครอสโซเวอร์ (Crossover Site) หรือเกิดขึ้นระหว่างตำแหน่งการครอสโซเวอร์ 2 ตำแหน่งบนโครโนม ค่า N จะเป็นส่วนที่กำหนดจำนวนของตำแหน่งการครอสโซเวอร์โดยที่ $N \geq 1$ ดังภาพที่ 3-6



ภาพที่ 3-6 การครอสโซเวอร์แบบ 1 จุด และ การครอสโซเวอร์แบบ 2 จุด

3.3.5.2 การครอสโซเวอร์แบบเอกรูป (Uniform Crossover) เป็นการแลกเปลี่ยนยีนที่แต่ละโคลัมของโครโนมในประชากรรุ่นลูก 1 ตัว จะถูกเลือกอย่างสุ่มจากคู่ยีนที่มาจากการสมาชิกของประชากรรุ่นพ่อแม่ทั้งสองตัว ดังนี้โอกาสที่ยีนจะถูกเลือกจากสมาชิกของประชากรรุ่นพ่อแม่ตัวหนึ่งจะเท่ากับโอกาสที่ยีนจะถูกเลือกจากสมาชิกของประชากรรุ่นพ่อแม่อีกด้วยหนึ่ง ซึ่งหลังจากที่ยึนสำหรับสมาชิกของประชากรรุ่นลูกที่สนใจได้ถูกกำหนดแล้ว ยีนจากคู่ยีนที่ไม่ได้ถูกเลือกจะถูกส่งผ่านไปยังสมาชิกของประชากรรุ่นลูกอีกด้วยที่เหลือ ดังภาพที่ 3-7

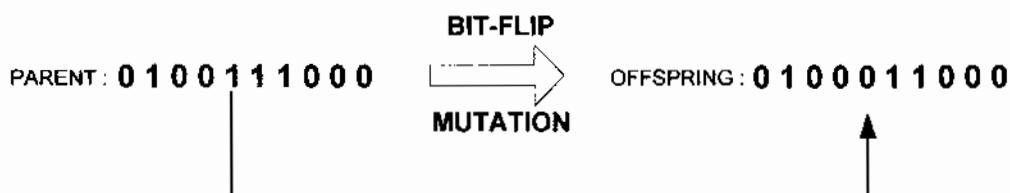


ภาพที่ 3-7 การครอสโซเวอร์แบบเอกรูป

3.3.6 การกลายพันธุ์ (Mutation)

การกลายพันธุ์เป็นกระบวนการที่ใช้ในการสร้างประชากรใหม่ จากประชากรที่มีอยู่เดิม ซึ่งจะส่งผลให้สมาชิกของประชากรรุ่นใหม่หรือรุ่นลูกที่เกิดขึ้นมีลักษณะที่คิว่า สมาชิกของประชากรรุ่นพ่อแม่ปัจจุบัน โดยค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์จะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 0.1 การกลายพันธุ์เป็น

วิธีที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของบีนเพียงเล็กน้อย ในโครโนโซนของสมาชิกของประชากร การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้เกิดการค้นหาคำตอบ ซึ่งอยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกับคำตอบซึ่งแทนโดยสมาชิกของประชากรตัวเดิมในพื้นที่การค้นหา ในกรณีที่โครโนโซนฐานสองถูกใช้ในการแทนค่าผลเฉลย การกลายพันธุ์จะสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนค่าบิตจาก 0 เป็น 1 หรือจาก 1 เป็น 0 การกลายพันธุ์ในลักษณะนี้เรียกว่า การกลายพันธุ์โดยกลับค่าบิต (Bit-Flip Mutation) ดังภาพที่ 3-8



ภาพที่ 3-8 การกลายพันธุ์โดยกลับค่าบิต

ขั้นตอนวิธีวิธีเชิงพันธุกรรมย่างง่ายก็มีขั้นตอนหลักๆดังที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่ในบางส่วนของขั้นตอนนี้กระบวนการคิดที่ทำให้การค้นหาของคำตอบเป็นเพียงการค้นหาคำตอบแบบเฉพาะที่ (Local solution) ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบในแต่ละส่วนของขั้นตอนจึงนำเอาการปรับมาตรฐานความแข็งแรง (Fitness Scaling) มาช่วยในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ดังจะอธิบายต่อไป

3.3.7 การปรับมาตรฐานความแข็งแรง (Fitness Scaling)

ในบางครั้งค่าความแข็งแรงของประชากรอาจมีค่าที่ต่ำ หรือสูงเกินกว่าที่ควรจะเป็นชั่น การทำงานในรุ่นแรกๆ อาจมีสมาชิกของประชากรซึ่งมีค่าความแข็งแรงสูงกว่าตัวอื่นๆ มาก เป็นผลทำให้ถูกคัดเลือกไปยังรุ่นถัดไปเป็นจำนวนมาก ซึ่งนั่นก็หมายความว่าในรุ่นถัดไปของการทำงานจะมีสมาชิกของประชากรหลายตัวที่มีโครงสร้างคล้ายคลึง กับสมาชิกของประชากรในรุ่นก่อนหน้าที่ให้ค่าความแข็งแรงสูงที่ถูกคัดเลือกมา ซึ่งอาจก่อให้เกิดการถagnate คำตอบก่อนที่จะเป็น (Premature Convergence) ทำให้คำตอบที่หาได้นั้นอาจเป็นค่าน้ำหนาที่สุดแบบเฉพาะที่

ในการปรับมาตรฐานความแข็งแรงสามารถใช้รูปแบบของสมการเชิงเส้น (Linear Equation) ตามสมการที่ (3-11) และ โดยปกติค่าความแข็งแรงเฉลี่ยก่อน และหลังการปรับมาตรฐานความแข็งแรง นั้นควรกำหนดให้มีค่าเท่าเดิม เพื่อให้แน่ใจว่าสมาชิกของประชากรตัวที่มีค่าความแข็งแรงใกล้เคียง กับค่าความแข็งแรงเฉลี่ยในรุ่น จึงมีโอกาสที่จะถูกคัดเลือกเป็นสมาชิกของประชากรรุ่นพ่อแม่ในรุ่นถัดไป และสมาชิกของประชากรตัวที่มีค่าความแข็งแรงสูงสุดหลังจากมีการปรับมาตรฐานความแข็งแรงแล้วนั้น โดยจะมีความสัมพันธ์กับค่าความแข็งแรงเฉลี่ยก่อนปรับมาตรฐานความแข็งแรง ดังนี้

$$f'_{\max} = C_{\text{mult}} \cdot f_{\text{avg}}$$

โดยที่ C_{mult} เป็นอัตราการถagnate ที่ต้องการสำหรับสมาชิกของประชากรที่

แข็งแรงที่สุด สำหรับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมที่มีจำนวนสมาชิกของประชากรในช่วง 50-100 ค่าของ C_{mult} ที่เหมาะสมคือ 1.2-2.0 โดยการปรับนماตราความหมายสมัยนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง

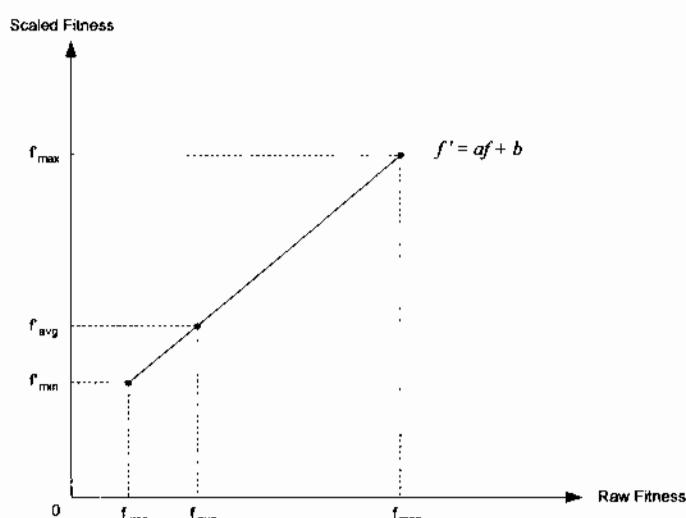
การหาค่าตอบในรุ่นแรกๆ ของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมนี้ อาจมีประชากรบางตัวที่มีค่าความแข็งแรงสูงๆ ทำให้เกิดความล้าเอียงอย่างมากในการคัดเลือก และอาจทำให้เกิดการลู่สู่ค่าตอบก่อนที่ควรจะเป็น ดังนั้นการทำงานของการปรับนماตราความแข็งแรงในรุ่นแรกๆ จะมีการปรับนماตราความแข็งแรงถ้าตามภาพที่ 3-9 ซึ่งจะสังเกตได้ว่า หลังจากมีการปรับนماตราความแข็งแรงแล้ว ทำให้ลดต่ำระหว่างค่าความแข็งแรงที่สูงที่สุด และค่าความแข็งแรงที่ต่ำที่สุดนั้นลดลง ดังนั้นกล่าวได้ว่าการปรับนماตราความแข็งแรงในรุ่นแรกๆ นี้จะช่วยลดความล้าเอียงในการคัดเลือกสมาชิกของประชากร และป้องกันการลู่สู่ค่าตอบก่อนที่ควรจะเป็น

$$f' = af + b \quad (3-11)$$

โดยที่ f' คือ ค่าความแข็งแรงหลังปรับนماตราความแข็งแรง

f คือ ค่าความแข็งแรงก่อนปรับนماตราความแข็งแรง

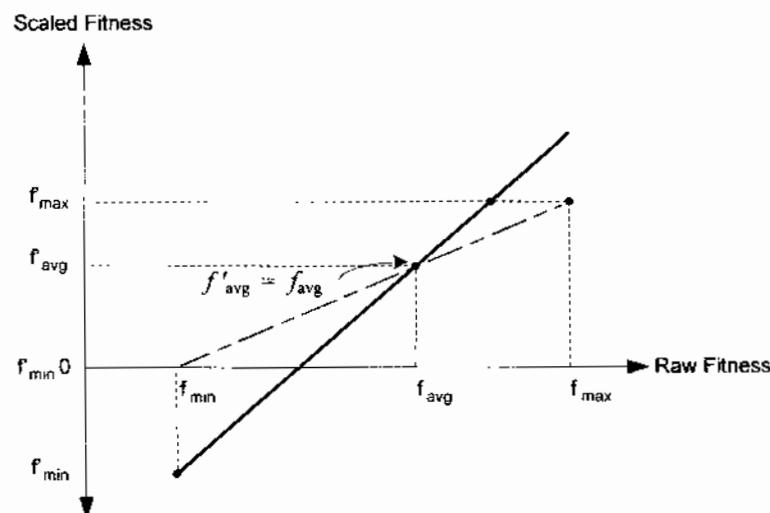
a และ b คือ ค่าคงที่ โดยที่ค่าของ a และ b สามารถหาได้จากภาพที่ 3-10



ภาพที่ 3-9 การปรับนماตราความแข็งแรงแบบเชิงเส้นในรุ่นแรกๆ

การหาค่าตอบในรุ่นหลังๆ สมาชิกของประชากรส่วนใหญ่จะมีค่าความแข็งแรงสูงใกล้เคียงกัน อาจทำให้แนวทางในการหาค่าตอบไม่มีความแน่นอน (Random Walk) การปรับนماตราความ

แข่งแรงในรุ่นหลังจะทำให้ค่าความแข่งแรงของสมาชิกของประชากรที่มีค่าน้อยที่สุดเป็น 0 ซึ่งจะไม่มีโอกาสในการถูกคัดเลือกเลย และเพิ่มความแตกต่างของค่าความแข่งแรงสมาชิกของประชากรจากภาพที่ 3-10 การปรับมาตรฐานค่าความแข่งแรงในช่วงหลังจะทำการเลื่อนกราฟเชิงเส้นของค่าความแข่งแรงขึ้น จนกระทั่งค่าความแข่งแรงของสมาชิกของประชากรตัวที่มีค่าต่ำสุดกลับเป็น 0



ภาพที่ 3-10 การปรับมาตรฐานค่าความแข่งแรงแบบเชิงเส้นในรุ่นหลังๆ

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ a และ b สำหรับการปรับมาตรฐานเชิงเส้น (Linear Scaling) ที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถสรุปเป็นขั้นตอนวิธี ได้ดังภาพที่ 3-11

```
/* Linear Scaling */
if (f_min > (C_mult * f_avg - f_max) / (C_mult - 1.0)) {
    delta = f_max - f_avg;
    a = (C_mult - 1.0) * f_avg / delta;
    b = (f_avg * (f_max - C_mult * f_avg)) / delta;
} else {
    delta = f_avg - f_min;
    a = f_avg / delta;
    b = -f_min * f_avg / delta;
}
```

ภาพที่ 3-11 ขั้นตอนวิธีสำหรับการหาค่า a และ b สำหรับการปรับมาตรฐานความแข่งแรง

สำหรับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบวิวัฒนาการและการทำงานร่วมกับพัฒนาขึ้นโดย Potter และ De Jong [13] เป็นการสำรวจพื้นที่การค้นหาโดยการใช้ประชากรให้เป็นประโยชน์ ซึ่งประกอบด้วยสมาชิกของสปีชีส์หรือสมาชิกของประชากร (Subpopulation) สมาชิกจากสปีชีส์เดียวกันจะเป็นตัวแทนของตัวแปรตัวเดียว 1 ตัวแปรหรือตัวแปรตัวเดียวจาก 1 ส่วนของปัญหา

สามารถที่มาจากการสปีชีส์ที่ต่างกันจะเป็นตัวแทนของตัวแปรตัดสินใจคนละตัวแปร ดังนั้นในการหาค่าความแข็งแรงของสมาชิก 1 ตัวทำได้โดย การดึงสมาชิกจากสปีชีส์อื่นมาร่วมกับสมาชิกตัวที่สนใจ เพื่อให้เกิดค่าตอบที่มีตัวแปรตัดสินใจครบตามลักษณะปัญหา ใน การดึงสมาชิกจากสปีชีส์อื่น มาร่วมนั้นอาจมาจากการสุ่มภายในสปีชีส์ ดังภาพที่ 3-13 หรือการเลือกจากสมาชิกที่มีค่าความแข็งแรงสูงสุดในสปีชีส์ก็ได้ ดังภาพที่ 3-14 และในส่วนอื่นๆกระบวนการการทำงานจะใช้หลักการเดียวกับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ดังภาพที่ 3-12

```
/* Cooperative Coevolutionary Algorithm */
gen = 0;
for (each species){
    pop_s(gen) = randomly initialised population
    evaluate fitness of each individual in pop_s(gen);
}
termination condition = false;
while (termination condition == false){
    gen = gen+1;
    for (each species){
        select pop_s(gen) from pop_s(gen-1) based on fitness;
        apply genetic operator to pop_s(gen);
        evaluate fitness of each individual in pop_s(gen);
    }
    if ( gen == maximum number of generations || the solution has converged) {
        termination condition = true;
    }
}
```

ภาพที่ 3-12 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบวิวัฒนาการและการทำงานร่วม

Individual 1	X 11	X f_{\max} 12	X 13	X 14	X 15	X 16
Individual 2	X 21	X 22	X 23	X f_{\max} 24	X 25	X 26
Individual 3	X f_{\max} 31	X 32	X 33	X 34	X f_{\max} 35	X 36
Individual 4	X 41	X 42	X f_{\max} 43	X 44	X 45	X 46
Individual 5	X 51	X 52	X 53	X 54	X 55	X f_{\max} 56

$$f_{33} = f(x_{21} + x_{22} + x_{33} + x_{24} + x_{55} + x_{36})$$

ภาพที่ 3-13 การดึงสมาชิกจากสปีชีส์อื่นมาร่วมกับสมาชิกตัวที่สนใจโดยการสุ่ม

Individual 1	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}
Individual 2	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}	X_{25}	X_{26}
Individual 3	X_{31}	X_{32}	X_{33}	X_{34}	X_{35}	X_{36}
Individual 4	X_{41}	X_{42}	X_{43}	X_{44}	X_{45}	X_{46}
Individual 5	X_{51}	X_{52}	X_{53}	X_{54}	X_{55}	X_{56}

$$I_{11} = f\{x_{11}, x_{12}, x_{43}, x_{24}, x_{35}, x_{56}\}$$

ภาพที่ 3-14 การคึ่งสมาชิกจากสปีชีส์อื่นมารวมกับสมาชิกตัวที่สนใจโดยการเลือกจากสมาชิกที่มีค่าความแข็งแรงสูงสุดในสปีชีส์

บทที่ 4

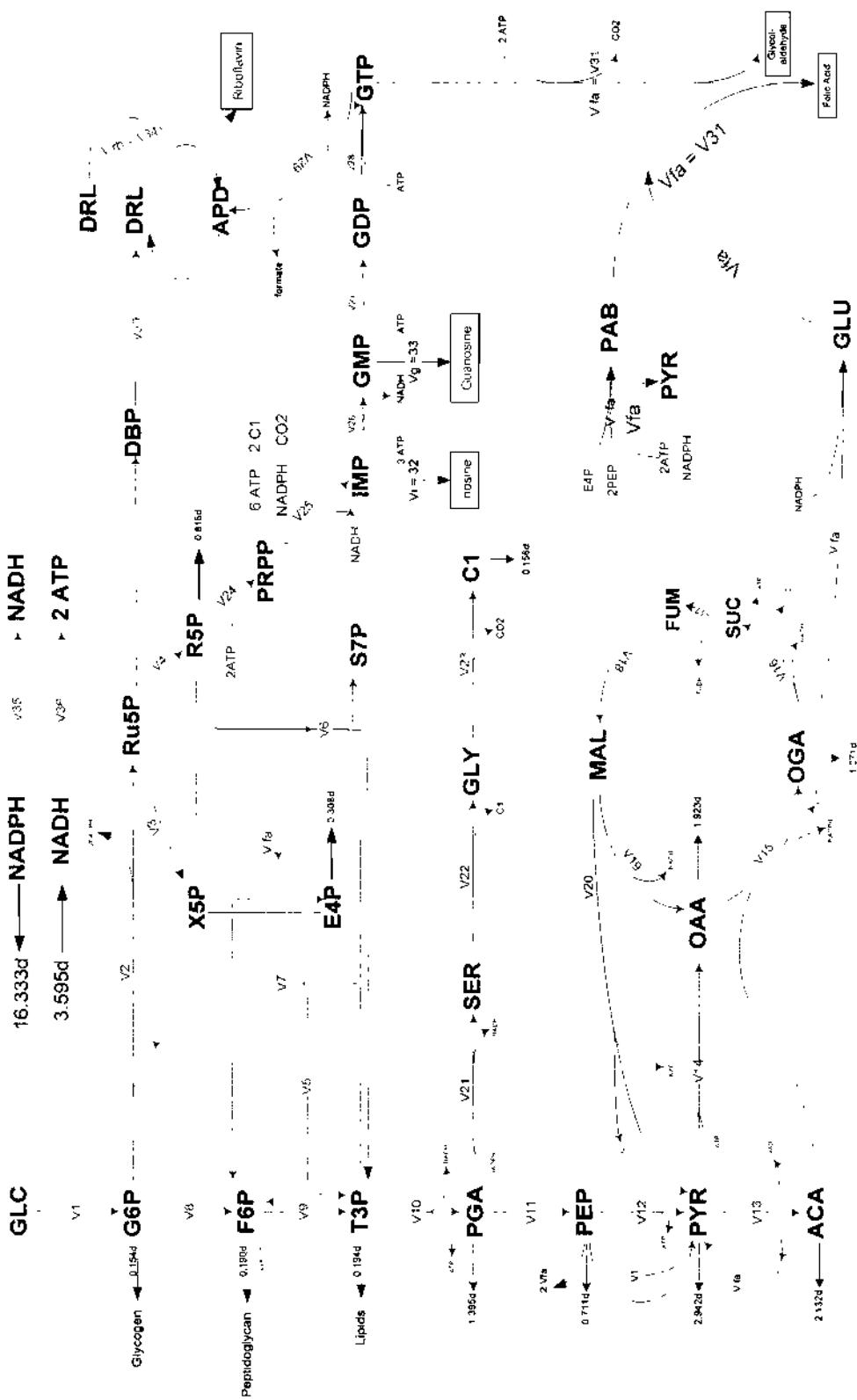
การประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดกับโครงข่ายเมตาบólิกฟลักซ์

ในบทนี้กล่าวถึง การประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการปีนเขา (Hill Climbing Algorithm) ในการแก้ปัญหาฟังก์ชันจุดประสงค์แบบเชิงเส้น และใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพื้นฐานแบบวิวัฒนาการและทำงานร่วมในการหาค่าสัดส่วนของพลังงานต่อฟลักซ์ทั้งหมดและค่าฟลักซ์ที่เป็นไปได้ ภายในโครงข่ายเมตาบólิกฟลักซ์ของแบคทีเรีย *B.subtilis* โดยแบ่งเป็น 4 ส่วนคือ การแปลงแบบจำลองโครงข่ายเมตาบólิกฟลักซ์ของแบคทีเรีย *B.subtilis* ให้เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ การหาค่าตอบของเมตริกซ์เงื่อนไข การนำสมการเข้าเทคนิคการปีนเขาและการคำนวณเชิงพื้นฐาน

4.1 การแปลงแบบจำลองโครงข่ายเมตาบólิกฟลักซ์ของแบคทีเรีย *B.subtilis* ให้เป็นสมการคณิตศาสตร์

ในงานวิจัยนี้เป็นการหาค่าสัดส่วนของพลังงานต่อฟลักซ์ทั้งหมดภายใน โครงข่ายเมตาบólิกฟลักซ์ของแบคทีเรีย *B.subtilis* โดยใช้โครงข่ายปฏิกิริยาเคมีชีวภาพดังภาพที่ 4-1 ซึ่งถูกสร้างขึ้นโดย Sauer et al. [1] และเป็นที่นิยมใช้อ้างอิงในหลายงานวิจัยต่อมา โดยที่ตัวชี้ขององค์รวมเมตาabolite (Metabolite) ได้แสดงชื่อไว้ดังตารางบัญค้าง่อ

จากภาพที่ 4-1 แบบจำลองโครงข่ายเมตาบólิกฟลักซ์ของแบคทีเรีย *B.subtilis* สามารถนำมาแปลงเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งใช้หลักการทำสมดุลทางมวลดังที่ได้กล่าว ในบทที่ 2 โดยทิศทางการไหลของฟลักซ์ที่ไหลเข้าเมตาบólิกที่จะมีค่าเป็นบวก และเมื่อไหลออกจากเมตาบólิกจะมีค่าเป็นลบ แสดงสมการทั้งหมดที่เกิดในแต่ละเมตาบólิกที่ได้ดังสมการที่ (4-1) ถึง (4-29)



รูปที่ 4-1 เมabolic ทางเคมีของสารเคมีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสารออกฤทธิ์ใน *B. subtilis*

$$\text{G6P: } v_1 - v_2 - v_8 = b_{G6P} \quad (4-1)$$

$$\text{F6P: } v_8 + v_5 + v_7 - v_9 = b_{F6P} \quad (4-2)$$

$$\text{T3P: } v_5 + v_6 - v_7 + 2v_9 - v_{10} = b_{T3P} \quad (4-3)$$

$$\text{PGA: } v_{10} - v_{11} - v_{21} = b_{PGA} \quad (4-4)$$

$$\text{PEP: } -v_1 + v_{11} - v_{12} - 2v_{31} = b_{PEP} \quad (4-5)$$

$$\text{PYR: } v_1 + v_{12} - v_{13} - v_{14} + v_{20} + v_{31} = b_{PYR} \quad (4-6)$$

$$\text{ACA: } v_{13} - v_{15} = b_{ACA} \quad (4-7)$$

$$\text{Ru5P: } v_2 - v_3 - v_4 - v_{30} = 0 \quad (4-8)$$

$$\text{X5P: } v_3 - v_5 - v_6 = 0 \quad (4-9)$$

$$\text{R5P: } v_4 - v_6 - v_{24} = b_{R5P} \quad (4-10)$$

$$\text{S7P: } v_6 - v_7 = 0 \quad (4-11)$$

$$\text{E4P: } -v_5 + v_7 - v_{31} = b_{E4P} \quad (4-12)$$

$$\text{SER: } v_{21} - v_{22} = 0 \quad (4-13)$$

$$\text{GLY: } v_{22} - v_{23} = 0 \quad (4-14)$$

$$\text{MAL: } v_{18} - v_{19} - v_{20} = 0 \quad (4-15)$$

$$\text{OAA: } v_{14} - v_{15} + v_{19} = b_{OAA} \quad (4-16)$$

$$\text{OGA: } v_{15} - v_{16} - v_{31} = b_{OGA} \quad (4-17)$$

$$\text{SUC: } v_{16} - v_{17} = 0 \quad (4-18)$$

$$\text{FUM: } v_{17} - v_{18} = 0 \quad (4-19)$$

$$\text{PRPP: } v_{24} - v_{25} = 0 \quad (4-20)$$

$$\text{IMP: } v_{25} - v_{26} - v_{32} = 0 \quad (4-21)$$

$$\text{GMP: } v_{26} - v_{27} - v_{33} = 0 \quad (4-22)$$

$$\text{GDP: } v_{27} - v_{28} = 0 \quad (4-23)$$

$$\text{GTP: } v_{28} - v_{29} - v_{31} = 0 \quad (4-24)$$

$$\text{APD: } v_{29} - v_{30} + v_{34} = 0 \quad (4-25)$$

$$\text{DRL: } v_{30} - 2v_{34} = 0 \quad (4-26)$$

$$\text{NADPH: } 2v_2 + v_{15} - v_{21} - v_{25} + v_{29} - 2v_{31} - v_{35} = b_{NADPH} \quad (4-27)$$

$$\text{NADH: } v_{10} + v_{13} + v_{16} + v_{17} + v_{19} + v_{20} + v_{21} + v_{25} + v_{26} + v_{35} - v_{36} = b_{NADH} \quad (4-28)$$

$$\text{ATP: } -v_9 + v_{10} + v_{12} - v_{14} + v_{16} - 2v_{24} - 6v_{25} - 3v_{26} - v_{27} - v_{28} - 4v_{31} + 2v_{36} = b_{ATP} \quad (4-29)$$

โดยที่ค่า b คือ พลังงานที่ต้องใช้ในการสร้าง Biomass ของ *B.subtilis* 1012 มีหน่วยเป็น ($\mu\text{mol/g dry weight}$) และค่าพลังงานดังตาราง 4-1

จากโครงข่ายเมตาบูลิกฟลักซ์ของแบคทีเรีย *B.subtilis* ซึ่งประกอบด้วยเมตาบูลิก 28 ตัว พลักซ์ภายใน 36 ตัวและฟลักซ์ภายนอก 13 ตัว จัดเข้าสู่สมการเงื่อนไขการคำนวณคุณทางมวลที่ สภาวะคงตัว ดังที่ได้กล่าวในบทที่ 2 สมการที่ (2-4) จัดรูปเมตริก $S \cdot v = b$ และได้ดังสมการที่ (4-31)

$$S \cdot v = b \quad (4-31)$$

โดยที่ S คือ เมตริกสัมประสิทธิ์ของฟลักซ์ที่ไหลผ่านเมตาบูลิก

v คือ ฟลักซ์ (mmol/g dry weight)

b คือ ค่าพลังงานภายนอก หรือฟลักซ์ที่ถ่ายเทໄ遣 (mmol/g dry weight)

ตารางที่ 4-1 แสดงค่าพัฒนาพื้นต์ลงใน การสร้าง Biomass ของ *B. subtilis* 1012 แห่งวัตถุ (μmol/g dry weight)^[1]

Precursor	Amount	Requirement (μ mol/g [dry wt] of cells)														
		C6P	F6P	RSP	E4P	T3P	FGA	PEP	PYR	ACA	OAA	OGA	CO ₂	ATP	NADH	NADPH
Ala ^b	404	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Arg	198	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Asn ^c	426	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cys	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Glx ^b	544	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Gly	495	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
His	86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ile	288	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Leu	368	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Lys	342	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Met	118	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Pho	183	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Pro	175	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ser	239	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Thr	239	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Trp	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Tyr	125	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Val	335	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Dup ^d	95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Protein		86	308	912	616	2322	368	1413	917	-1811	5769	-1851	10388			
RNA		630	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1366	1163		
DNA		100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-200	307		
Lipids		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-168	3535		
Peptidoglycan		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	760		
Glycogen		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
C ₁		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Polymers		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Total		154	190	816	308	194	1,395	711	2,942	2,132	1,923	1,071	-2,025	38,608	-3,595	16,333

4.2 การหาค่าตอบของเมตริกซ์เงื่อนไข

จากหลักการของ SVD ทำให้ได้ผลค่าตอบของเวกเตอร์ v แต่ค่าเหล่านี้ยังไม่ผ่านเงื่อนไขที่ว่า “หากฟลักซ์ (v) ต้องมากกว่าหรือเท่ากับศูนย์” ดังนั้นในงานวิจัยจึงนำผลของเมตริกซ์สู่ศูนย์ (Null Matrix) ไปเข้าเทคนิคการหาเหมาะสมที่สุดต่อไป

เมตริกซ์สู่ศูนย์ (NULL) ขนาด 36×8 ถูกนำไปเป็นเมตริกซ์เงื่อนไขบังคับแทนเมตริกซ์ S ซึ่งมีขนาด 28×36 ดังนั้นเงื่อนไขใหม่ที่ใช้ในการแก้ปัญหาคือ

$$\begin{bmatrix} v \\ \vdots \\ 36 \times 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{NULL} \\ \vdots \\ 36 \times 8 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x' \\ \vdots \\ 8 \times 1 \end{bmatrix} \geq 0 \quad (4-32)$$

โดยที่ เวกเตอร์ v คือค่าตอบของสมการ $S \cdot v = b$

NUL คือเมตริกซ์สู่ศูนย์ ขนาด 36×8

x' คือตัวแปรตัวสินใจ

งานวิจัยนี้วิเคราะห์ฟังก์ชันจุดประสงค์เชิงเส้น 4 ฟังก์ชันด้วยกันคือ 1). พลังงาน ATP เหลือมากที่สุด, 2). Folic Acid Flux (V_{fa}) มากที่สุด, 3). Riboflavin Flux (V_{rb}) มากที่สุดและ 4). Growth Rate (D) มากที่สุด ดังสมการที่ (4-33) ถึง (4-36)

$$\max(v_{ATP_excess}) \quad (4-33)$$

$$\max(v_{fa}) \quad (4-34)$$

$$\max(v_{rb}) \quad (4-35)$$

$$\max D \quad (4-36)$$

โดยที่ v_{ATP_excess} คือ พลังงาน ATP ที่เกิดขึ้นและถูกใช้ภายในโครงข่ายเมนตานอลิกฟลักซ์ของ

B.subtilis หน่วยเป็น $mmol \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$

v_{fa} คือ ฟลักซ์ที่เกิดผลผลิตเป็น Folic Acid หรือ v_{31} ในโครงข่ายเมนตานอลิกดังภาพที่ 4-1 หน่วยเป็น $mmol \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$

v_{rb} คือ ฟลักซ์ที่เกิดผลผลิตเป็น Riboflavin หรือ v_{34} ในโครงข่ายเมนตานอลิกดังภาพที่ 4-1 หน่วยเป็น $mmol \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$

D คือ อัตราการถูกทำลาย หน่วยเป็น h^{-1}

4.3 ประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการปืนเข้าในการหาผลเฉลยของโครงข่ายเมตาอัลกอริทึม

สมการทางคณิตศาสตร์ (4-32) ของโครงข่ายเมตริกฟลักซ์ถูกนำมาเป็นสมการเมื่อไขบังคับของการหาค่าเหมะที่สุด ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัย มีดังนี้

ตารางที่ 4-3 พารามิเตอร์ต่างๆของขั้นตอนวิธีการปืนเข่า

พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนดให้
ความกว้างสูงสุดของลำดับขั้น (Maximum Step Size)	15
ความกว้างต่ำสุดของลำดับขั้น (Minimum Step Size)	0.000001
α (Factor for reduce step size)	2

สำหรับฟังก์ชันจุดประสงค์ที่ 1 ค่าพลังงาน ATP เหลือมากที่สุด เมื่ยนเป็นสมการได้ดังนี้

Objective:

$$\max(-V_9 + V_{10} + V_{12} - V_{13} + V_{16} + 2V_{25} - 2V_{26} - 6V_{27} - 3V_{28} - V_{29} - V_{30} - 4V_{33} - 38.608D)$$

Constraints:

$$S \cdot V = h^* d$$

$$V \geq 0$$

โศภน์

$$V = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_{36} \end{bmatrix}_{36 \times 1} + \begin{bmatrix} \text{NULL} \end{bmatrix}_{36 \times 8} \cdot \begin{bmatrix} x' \end{bmatrix}_{8 \times 1}$$

และ d คือ อัตราการถูกทำลายกำหนดให้เป็น $0.1 \text{ } h^{-1}$

ฟังก์ชันขุจประสงค์ที่ 2 Folic Acid Flux (V_{f_2}) มากที่สุด เกี่ยวนเป็นสมการได้ดังนี้

Objective:

$$\text{Max}(V_{31})$$

Constraint:

$$S \cdot V \equiv b \times d$$

$$V \geq 0 \quad (4-38)$$

และ d คือ อัตราการถูกทำลายกำหนดให้เป็น 0.1 h^{-1}

พิงก์ชันจุดประสงค์ที่ 3 Riboflavin Flux (V_{ph}) มากที่สุด เนื่องเป็นสมการได้ดังนี้

Objective:

$$\max(V_{34})$$

Constraint:

$$S \cdot V = b \times d$$

$$V \geq 0 \quad (4-39)$$

และ d คือ อัตราการถูกทำลายกำหนดให้เป็น 0.1 h^{-1}

พึงกշันจดประสงค์ที่ 4 Dilution Rate (D) มากที่สุด เมื่อเป็นสมการ ได้ดังนี้

Objective:

$$\max(D)$$

Constraint

$$S \cdot V - b \times D = 0$$

$$V \geq 0$$

$$V_i \equiv 5(mmol \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}) \quad (4-40)$$

4.4 ประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการหาผลเฉลยของโครงข่ายเมตาอลิกฟลักซ์

ฟังก์ชันจุดประสงค์และสมการเงื่อนไขบังคับจะถูกนำมาสร้างเป็นฟังก์ชันความแข็งแรงเพื่อใช้ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ภายใต้ตัวดำเนินการและค่าต่างๆของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแสดงไว้ในตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-4 ตัวดำเนินการและค่าต่างๆของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนดให้
ลักษณะการเข้ารหัส	เลขฐานสอง
จำนวนตัวแปรตัดสินใจ	8
ความยาวสายรหัส ต่อ หน่วยตัวแปรตัดสินใจ	20 Bit
จำนวนประชากร	100
จำนวนเขนเนอเรชัน	200
จำนวนครั้งที่ทำการจำลอง	30
วิธีที่เลือกใช้ในฟังก์ชัน	
- Fitness Scaling	- Linear scaling
- Selection	- Stochastic universal sampling
- Crossover	- 2-point crossover ($p_c = 0.9$)
- Mutation	- Bit-flip mutation ($p_m = 0.1$)

และใช้ฟังก์ชันความแข็งแรงคือ

$$F = \max \left(\frac{v_{ATP_excess}}{\sum_{i=1}^{36} v_i} \right) - f_{error} \quad (4-41)$$

$$f_{error} = \sum_{j=1}^8 (vv_j < 0) \quad (4-42)$$

โดยที่

$$vv_j = v_j + \sum_{k=1}^{k=8} N_{jk} \cdot x_k$$

ในการดำเนินงานของขั้นตอนวิธี จะเริ่มจากการสมมติค่าต้นแบบสุ่ม ด้วยจำนวนประชากรหรือสายรหัสจำนวน 100 ตัว โดยลักษณะของขึ้นเป็นเลขฐานสอง ความยาว 20 บิต การสมมติของ

คำตอบจะกำหนดขอบเขตให้แต่ละค่าของฟลักซ์ที่เป็นไปได้ไม่เกิน 30 mmol/g dry weight และไม่ต่ำกว่า 0 mmol/g dry weight

$$V_{11} \quad V_{12} \quad \dots \quad V_{136}$$

$$\dots \quad V_{1001} \quad V_{1002} \quad \dots \quad V_{10036}$$

$$01000110010101001011 \quad 10111001100101010010 \quad \dots \quad 00101001010001101110$$

$$01110101101100111111 \quad 11111111000000001111 \quad \dots \quad 00000111011000000000$$

ชุดคำตอบที่สมนติขึ้นถูกนำเข้าสู่กระบวนการถอดรหัสเป็นเลขฐานสิบ โดยที่ขอบเขตไม่ต่ำกว่าศูนย์และไม่เกิน 30

เลขฐานสอง		เลขฐานสิบ	
00000000000000000000000000	=	0	= $Value_{min}$
11111111111111111111	=	30	= $Value_{max}$

ดังนั้นการคำนวณค่าของ 01000110010101001011 คือ

$$Value_{min} + \frac{Value_x \times (Value_{max} - Value_{min})}{2^n - 1} \quad (4-43)$$

$$0 + \frac{(2^0 + 2^1 + 2^3 + 2^6 + 2^8 + 2^{10} + 2^{13} + 2^{14} + 2^{18}) \times (30 - 0)}{2^{20} - 1} = \frac{288075}{1048575} = 0.2747 \quad (4-44)$$

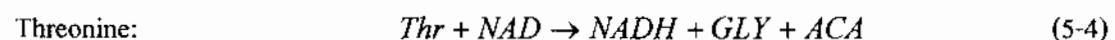
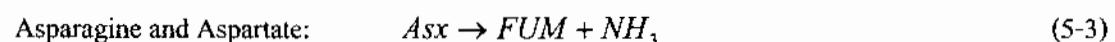
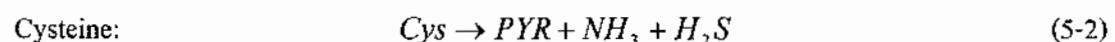
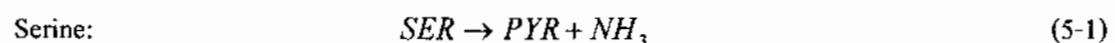
คำตอบสมนติถูกถอดรหัส และแบ่งประชากรเป็นสปีชีส์ โดยในการจำลองกำหนดให้มี 36 สปีชีส์ ส่งเข้าสู่ฟังก์ชันความแข็งแรง(4-41) การคำนวณค่าความแข็งแรงในรอบแรกประชากรที่ใช้ในการคำนวณจะเกิดจากคำตอบสมนติที่สปีชีส์นั้นกับคำตอบสมนติที่สปีชีส์อื่นๆ ที่ได้จากการสุ่มค่าความแข็งแรงที่ได้ในครั้งแรกเป็นค่าอ้างอิงในการเปรียบเทียบเพื่อใช้ในการคัดเลือกในรุ่นต่อไป การคัดเลือกเป็นการคัดเลือกแบบเพื่นสุ่ม ซึ่งคำตอบสมนติที่มีค่าความแข็งแรงมาก จะมีโอกาสสูงคัดเลือกเป็นคำตอบสมนติในรุ่นถัดไป แต่ในการจำลองจะทำการสแกลค่าความแข็งแรงเพื่อลดค่าความแข็งแรงที่สูงเกินไปและต่ำเกินไป ประชากรหรือชุดคำตอบที่ได้จะเข้าสู่การสลับสายพันธุ์ ซึ่ง

ใช้ความน่าจะเป็น 0.9 ในการเกิดการสลับสายพันธุ์แบบ 2 ตำแหน่ง และการกลายพันธุ์ที่ความน่าจะเป็น 0.1 ในการเกิดการกลายพันธุ์แบบบิทต่อบิท ในขั้นตอนวิธีในรุ่นที่ต่อๆมา ในการคำนวณค่าความแข็งจะเกิดจากคำตอบที่สปีชีส์นั้นกับคำตอบที่มีค่าความแข็งแรงสูงสุดในสปีชีส์อื่นๆ เป็น เช่นนี้ จำนวน 200 เจเนเนอเรชัน และคงผลการจำลองในบทต่อไป

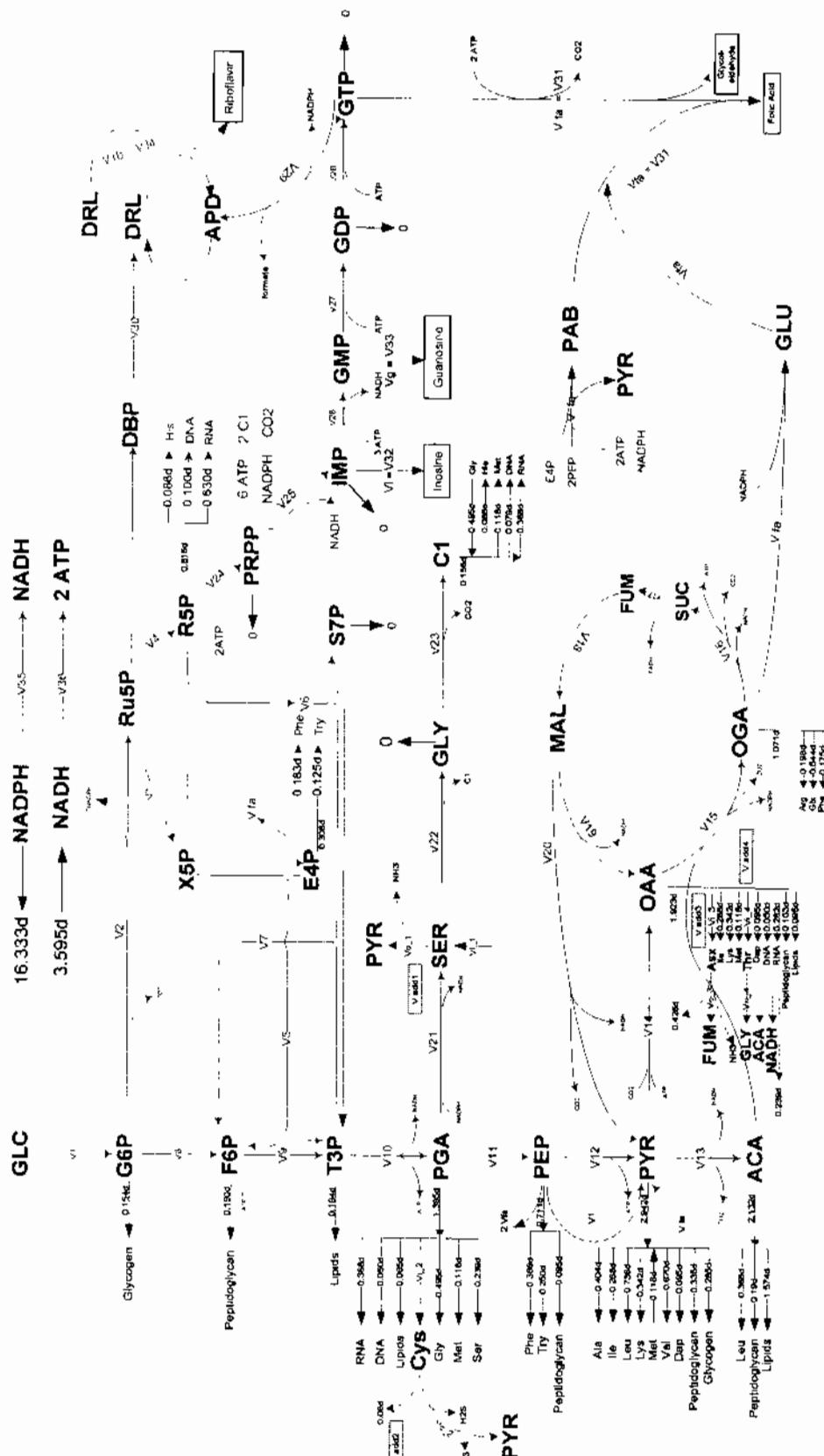
บทที่ 5 ผลการวิจัย

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 กรณีศึกษาการวิเคราะห์ความสมดุลของ พลักซ์การรับอน สำหรับการหาค่าตอบแทนของพิงก์ชันจุดประยงค์แบบเชิงเส้น และพิงก์ชันจุดประยงค์แบบไม่เชิงเส้น ภายใต้ระบบสมการเชื่อมต่อแบบเชิงเส้นในการจำลองโครงข่าย เมตาบอลิกพลักซ์ ของแบคทีเรีย *B.subtilis* โดยพิงก์ชันจุดประยงค์แบบเชิงเส้นประกอบด้วย 4 พิงก์ชันจุดประยงค์คือ พลังงาน ATP เหลือมากที่สุด, Folic Acid Flux (V_n) มากที่สุด, Riboflavin Flux (V_n) มากที่สุดและ Growth Rate (D) มากที่สุด สำหรับพิงก์ชันจุดประยงค์แบบไม่เชิงเส้นคือสัดส่วนของพลังงานต่อ พลักซ์ทั้งหมด ภายใต้โครงข่ายเมตาบอลิกพลักซ์ของแบคทีเรีย รวมไปถึงการจำลองการเพิ่มยืนที่มี ประโยชน์ในด้านอุดสาหกรรมนั้นคือ Serine, Cysteine, Asparagine และ Threonine เพื่อ เปรียบเทียบพฤติกรรมของพลักซ์ในโครงข่ายเมตาบอลิกพลักซ์ของแบคทีเรีย *B.subtilis*

ในงานวิจัยนี้ พิงก์ชันจุดประยงค์ทุกพิงก์ชัน ได้ทำการจำลองเป็นจำนวน 30 ครั้ง เพื่อทดสอบ นัยสำคัญของความแตกต่างที่ได้ การแสดงผลจะนำเสนอด้วยแบบของภาพและตาราง แสดงผล ค่าพิงก์ชันจุดประยงค์ (Objective value) ผลเปรียบเทียบสัดส่วนค่าจุดประยงค์กับสารตั้งต้น (Objective / Glucose) ผลประสิทธิภาพพลังงานต่อสารตั้งต้น (ATP / Glucose) รวมไปถึงการ เปรียบเทียบค่าจุดประยงค์และค่าประสิทธิภาพพลังงานต่อผลกระทบไม่คาดการณ์ของสารตั้งต้น และ ผลการเพิ่มยืนแต่ละชนิดดังสมการ (5-1) ถึง (5-4)



แสดงภาพแบบจำลองการเพิ่มยืนดังภาพที่ 5-1 และแสดงผลระหว่างสภาวะก่อนและหลังเพิ่ม ยืน แยกเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้



ภาพที่ 5-1 เมtabolism โครงสร้าง metabolism ในพืชของแบคทีเรีย *B. subtilis* เมื่อทำการเพิ่มปริมาณต่อสัมการ (5-1) ถึง (5-4)

5.1 ผลจำลองการหาค่าพลังงาน ATP เหลือมากที่สุด

ผลการจำลองโดยสรุปดังตารางที่ 5-1 และผลการจำลองของโครงข่ายเมตาบูลิกฟลักซ์พื้นฐาน (Base) ดังโครงสร้างในภาพที่ 4-1 และผลการจำลองโครงข่ายที่ทำการเพิ่มคั่งสมการ (5-1) ถึง (5-4) รวมไปถึงการแสดงค่าประสิทธิภาพพลังงาน ATP เทียบกับผลรวมโมลคาร์บอน ฟลักซ์ขาเข้า ($\text{mol Carbon}_{\text{input}}$)

ตารางที่ 5-1 ผลการจำลองค่าพลังงาน ATP เหลือมากที่สุดของโครงข่ายเมตาบูลิกฟลักซ์พื้นฐาน และโครงข่ายที่ทำการเพิ่ม Serine, Cysteine, Asparagine และ Threonine ตามลำดับ

Metabolic Addel	ผลการจำลอง	Energy Efficiency
	<i>Max(ATP_{excess})</i> (mmol/g/h)	<i>(ATP/mol Carbon_{input})</i>
Base	58.466	2.122
Add Serine	38.594	1.731
Add Cysteine	52.824	2.282
Add Asx	40.901	1.972
Add Threonine	44.600	2.386

จากการพบว่าในแบบจำลองพื้นฐานให้ค่าพลังงาน ATP สูงสุดคือ 58.466 mmol/g/h แต่ไม่ได้ให้ค่าประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency) ที่สูงสุด เนื่องจาก การใช้สารตั้งต้นจำนวนมากเพื่อให้เกิดผลผลิตจำนวนมาก เมื่อนำค่าผลผลิตที่ได้มาเปรียบเทียบสัดส่วนผลิตภัณฑ์แล้วจึงไม่ดีเท่าที่ควร แต่จะเห็นได้ว่าในแบบจำลองที่เพิ่ม Threonine ให้ค่าพลังงาน ATP เท่ากับ 44.60 mmol/g/h ซึ่งถือว่าไม่น่าจะมีประโยชน์เทียบกับแบบจำลองอื่น แต่ให้ค่าประสิทธิภาพที่สูงกว่า และเมื่อนำผลที่ได้จากการจำลองมาแสดงในรูปแบบของภาพการแยกแยะฟลักซ์ โดยใช้สารตั้งต้นเป็นบรรทัดฐาน ดังภาพที่ 5-2

พบว่าในช่วง V_3 ถึง V_7 ซึ่งเป็นฟลักซ์ใน Pentose Phosphate Pathway (PPP) ค่าฟลักซ์ของแบบจำลองที่เพิ่ม Threonine สูงกว่า Serine, Asparagine, Cysteine และแบบจำลองพื้นฐาน ตามลำดับ ช่วง V_{15} ถึง V_{18} ซึ่งเป็นฟลักซ์ใน Tricarboxylic acid (TCA) cycle ค่าฟลักซ์จากแบบจำลองที่เพิ่ม Threonine มีค่าสูงกว่าแบบจำลองที่เพิ่ม Cysteine ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแบบจำลองพื้นฐาน และมากกว่า แบบจำลองที่เพิ่ม Serine กับ Asparagine ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นไปใน

แนวโน้มเดียวกับค่าประสิทธิภาพพลังงาน ATP และในช่วง V_{24} ถึง V_{34} พบว่าฟลักซ์ในช่วงนี้มีค่าน้อยมากเนื่องจากในช่วงนี้มีการใช้ ATP ค่อนข้างสูง ซึ่งสมเหตุสมผลกับการทำความค่าพลังงาน ATP ที่เหลือมากสุด และคงผลจำลองโดยละเอียดของแต่ละ ฟลักซ์ในภาคผนวก ก

5.2 ผลจำลองการทำ Folic Acid Flux (V_a) มากที่สุด

ผลการจำลองที่ดีสุดของ โครงข่ายเมตาบoliค์ฟลักซ์พื้นฐานและ โครงข่ายที่ทำการเพิ่มห้อง 4 แบบแสดงในตารางที่ 5-2 ผลจำลองโดยละเอียดของแต่ละฟลักซ์แสดงในภาคผนวก ข

ตารางที่ 5-2 ผลการจำลองแต่ละฟลักซ์จากการจำลองค่า Folic Acid Flux (V_a) มากที่สุดของ โครงข่ายเมตาบoliค์ฟลักซ์พื้นฐานและ โครงข่ายที่ทำการเพิ่ม Serine, Cysteine, Asparagine และ Threonine ตามลำดับ

Flux Number	Flux value (mmol/g cell/h)					Glucose uptake rate
	Base	Add Ser	Add Cys	Add Asx	Add Thr	
1	4.942	3.615	3.678	3.456	3.390	
2	2.211	1.751	1.663	1.865	1.952	
3	0.681	0.575	0.572	0.749	0.771	
4	1.530	1.176	1.091	1.116	1.181	
5	0	0.025	0.034	0.145	0.165	Flux in PP Pathway
6	0.681	0.550	0.537	0.605	0.606	
7	0.681	0.550	0.537	0.605	0.606	
8	2.715	1.849	2.000	1.575	1.422	
9	3.378	2.405	2.553	2.306	2.174	
10	6.736	4.815	5.120	4.736	4.495	
11	6.555	4.676	4.694	4.386	4.280	Flux in Upper Glycolysis
12	0.241	0	0	0	0	
13	4.589	3.425	3.944	3.245	2.796	
14	1.776	2.819	1.397	2.144	0.928	
15	4.376	3.212	3.731	3.031	3.151	Flux in Lower Glycolysis
16	3.619	2.610	3.151	2.495	2.634	
17	3.619	2.610	3.151	2.495	2.634	
18	3.619	2.610	3.151	2.877	2.634	

ตารางที่ 5-2 (ต่อ)

Flux Number	Flux value (mmol/g cell/h)						
	Addel						
	Base	Add Ser	Add Cys	Add Asx	Add Thr		
19	2.793	0.585	2.526	1.080	2.416	Flux in Lower Glycolysis	
20	0.826	2.025	0.625	1.797	0.218		
21	0.042	0	0.287	0.210	0.075		
22	0.042	1.483	0.287	0.210	0.075	Flux for Biosynthesis	
23	0.042	1.483	0.287	0.210	0.643		
24	0.767	0.544	0.472	0.430	0.493		
25	0.767	0.544	0.472	0.430	0.493		
26	0.767	0.495	0.472	0.430	0.493		
27	0.650	0.495	0.472	0.430	0.410		
28	0.650	0.495	0.472	0.430	0.410		
29	0	0	0	0	0	Flux for Metabolite Production	
30	0	0	0	0	0		
31	0.650	0.495	0.472	0.430	0.410		
32	0	0.050	0	0	0		
33	0.117	0	0	0	0.083		
34	0	0	0	0	0		
35	5.056	3.548	3.720	3.630	4.034		
36	29.172	21.017	23.828	20.906	21.216	ATP Flux	
V_{in}	0	1.886	0.865	0.425	0.592		
V_{out}	0	0.403	0.859	0.382	0.568		
Objective Value	0.650	0.495	0.472	0.430	0.410		
V_f / V_i	0.132	0.137	0.128	0.124	0.121		
$V_f / (V_i + V_{in})$	0.132	0.090	0.104	0.111	0.103		
Energy Efficiency (ATP/mol Carbon _{input})	1.605	1.154	1.625	1.490	1.153		

จากตารางที่ 5-2 พบว่าในโครงข่ายพื้นฐานให้ Folic Acid Flux สูงสุด เมื่อองศาแบบจำลองไม่ได้จำกัดการใช้สารต้องดันที่ V_i ดังนั้นการใช้สารต้องดันมากย่อมทำให้เกิดผลผลิตมากขึ้นกัน แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบที่ V_i ที่เท่ากันแล้ว แสดงผลดังภาพที่ 5-3 ลักษณะของฟลักซ์แต่ละ

แบบจำลองมีค่าไกล์เคิบกัน ซึ่งในการเพิ่ม Serine ให้ค่า Folic Acid Flux สูงสุด เมื่อจากการเพิ่ม Serine มีการเพิ่มเข้าไปอีก เสมือนการเพิ่มสารตั้งต้นทำให้ผลผลิตสูงขึ้นตาม เมื่อเปรียบเทียบ สัดส่วนของอัตราการเกิดผลกับที่ต่อการเพิ่มยืน (V_{add}) แล้ว พนว่าการเพิ่มยืน V_{add} หนึ่งร้อยส่วน จะให้ Folic Acid Flux เพิ่มขึ้นหนึ่งส่วน จากภาพผลในช่วง V_1 ถึง V_7 ฟลักซ์ในแบบจำลองที่เพิ่ม Threonine จะมีค่าค่อนข้างสูงกว่าในแบบจำลองอื่นซึ่งส่งผลให้เกิด Folic Acid Flux ที่น้อย ในช่วง V_{15} ถึง V_{18} ฟลักซ์จากแบบจำลองที่เพิ่ม Cysteine จะสูงกว่าแบบจำลองอื่น ซึ่งสอดคล้องกับค่า ประสิทธิภาพพลังงาน ATP คือแบบจำลองที่เพิ่ม Cysteine มีประสิทธิภาพพลังงาน ATP มากที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบ Folic Acid Flux ต่อสารตั้งต้นทั้งหมด

นั้นคือเมื่อมีการเพิ่มยืน สารตั้งต้นจะประกอบด้วย V_1 และ V_{18} พนว่า การเพิ่มยืนไม่ส่งผลให้เกิด Folic Acid Flux ที่สูงขึ้นเลย ซึ่งจะใช้การพิจารณาในระดับการบอนอชิยาดังตารางที่ 5-3

ตารางที่ 5-3 เปอร์เซ็นต์ฟลักซ์คาร์บอนขาเข้าและขาออก จากการจำลองค่า Folic Acid Flux (V_o) มากที่สุดของโครงข่าย metabolism ที่เพิ่ม Serine, Cysteine, Asparagine และ Threonine ตามลำดับ

Flux Input (V_i)	Substance	Number of Carbon	Percentage of Carbon in Flux Input				
			$((\text{mol}_{\text{carbon}} \times V_i) \times 100 / \text{sum of Flux Input})$				
			Base	Add Ser	Add Cys	Add Asx	Add Thr
V_1	Glucose	6	84.085	65.949	77.648	77.582	77.923
V_{14}	CO_2	1	5.035	8.572	4.914	8.022	3.554
V_{25}	CO_2	1	2.176	1.655	1.662	1.607	1.890
V_{25}	C_1	2	4.352	3.310	3.323	3.215	3.779
V_{25}	Glycine	2	4.352	3.310	3.323	3.215	3.779
V_i	Flux add		0.000	17.205	9.131	6.359	9.075

Flux Output (V_o)	Substance	Number of Carbon	Percentage of Carbon in Flux Output				
			$((\text{mol}_{\text{carbon}} \times V_o) \times 100 / \text{sum of Flux Output})$				
			Base	Add Ser	Add Cys	Add Asx	Add Thr
V_2	CO_2	1	6.271	5.324	5.851	6.980	7.479
V_{13}	CO_2	1	13.014	10.413	13.875	12.140	10.713
V_{15}	CO_2	1	12.409	9.765	13.125	11.342	12.073
V_{16}	CO_2	1	10.261	7.936	11.087	9.334	10.093
V_{20}	CO_2	1	2.342	6.158	2.199	6.725	0.837

ตารางที่ 5-3 (ต่อ)

Flux Output (V _o)	Substance	Number of Carbon	Percentage of Carbon in Flux Output				
			$((\text{mol}_{\text{carbon}} \times V_o) \times 100 / \text{sum of Flux Output})$				
			Base	Add Ser	Add Cys	Add Asx	Add Thr
V ₂₂	C ₁	1	0.118	4.509	1.009	0.787	0.288
V ₂₃	C ₁	1	0.118	4.509	1.009	0.787	2.465
V ₂₃	CO ₂	1	0.118	4.509	1.009	0.787	2.465
V ₂₉	Formate	1	0	0	0	0	0
V ₃₀	Formate	1	0	0	0	0	0
V ₃₁	Folic Acid	19	35.041	28.567	31.569	30.538	29.832
V ₃₁	CO ₂	1	1.844	1.504	1.662	1.607	1.570
V ₃₁	Glycolaldehyde	2	3.689	3.007	3.323	3.215	3.140
V ₃₂	Inosine	10	0	1.514	0	0	0
V ₃₃	Guanosine	10	3.317	0	0	0	3.194
V ₃₄	Riboflavin	17	0	0	0	0	0
Sum b	Sum of Biosynthesis		11.459	12.286	14.281	15.757	15.850

จากผลที่ว่าการเพิ่มยีนไม่ส่งผลให้เกิด Folic Acid ที่สูงขึ้นเลขนั้น เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ฟลักซ์คาร์บอนขาออก ของโครงข่ายที่เพิ่ม Serine จะเห็นได้ว่า เกิดการไหลออกที่ V₂₀, V₂₂ และ V₂₃ ค่อนข้างสูง จึงทำให้ Folic Acid มีค่าน้อย ในโครงข่ายที่เพิ่ม Cysteine พบว่า นอกจากเกิดการสูญเสียที่ V₂₂ และ V₂₃ แล้ว ยังมีการสูญเสียที่เกิดจากการเพิ่มยีนเข้าไปแล้วเกิดการไหลออกที่จุดนั้น ด้วย ทำให้การเพิ่มยีนไม่ส่งผลที่เป็นประโยชน์ให้กับ Folic Acid ประกอบกับเปอร์เซ็นต์ฟลักซ์ คาร์บอนของสารตั้งต้นกลูโคสที่มีปริมาณน้อยกว่า จึงทำให้เกิดผลผลิตที่น้อยกว่า สำหรับโครงข่ายที่เพิ่ม Asparagine พบว่าเกิดการสูญเสียจำนวนมากที่ V₂₀ ในรูปแบบของการรับอนไดออกไซด์รวมทั้งการสูญเสียที่จุดที่เกิดจากการเพิ่มยีนเข้าไป จึงส่งผลให้เกิด Folic Acid ที่น้อยกว่า และในโครงข่ายที่เพิ่ม Threonine ก็เช่นเดียวกันคือเกิดการสูญเสียที่ V₂₃ แล้วขึ้นมาที่ V₂ ด้วย ซึ่งการสูญเสียที่ V₂ นั้นจะมาจากการใส่สารตั้งต้น คือการใส่สารตั้งต้นมากก็จะเกิดการสูญเสียในรูปแบบของการรับอนไดออกไซด์ที่ V₂ มาก เช่นกัน

เมื่อทำการเปรียบเทียบการเพิ่ม Cysteine, Asparagine และ Threonine จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์สารตั้งต้น V₁ ที่ไกล์เคียงกันแต่ปริมาณการเพิ่ม V₁₀ ที่ต่างกัน การเพิ่มยีนจำนวนที่มากกว่าใน

Cysteine ที่ให้ Folic Acid ที่สูงกว่า Threonine แต่การเพิ่มขึ้นที่น้อยกว่าใน Asparagine กลับให้ Folic Acid ที่สูงกว่า Threonine จึงกล่าวได้ว่า การเพิ่ม Threonine ทำให้ Folic Acid ลดลง

5.3 ผลจำลองการหาค่า Riboflavin flux มากที่สุด

ผลการจำลองแต่ละฟลักซ์ของ โครงข่ายเมtabolik ฟลักซ์พื้นฐานและ โครงข่ายที่ทำการเพิ่มขึ้นทั้ง 4 แบบแสดงในตารางที่ 5-4 และแสดงผลการจำลองทั้งหมดในภาคผนวก ก

ตารางที่ 5-4 ผลการจำลองแต่ละฟลักซ์จากการจำลองค่า Riboflavin flux (V_{Rb}) มากที่สุดของ โครงข่ายเมtabolik ฟลักซ์พื้นฐานและ โครงข่ายที่ทำการเพิ่ม Serine, Cysteine, Asparagine และ Threonine ตามลำดับ

Flux Number	Flux value (mmol/g cell/h)					
	Addel					Glucose uptake rate
	Base	Add Ser	Add Cys	Add Asx	Add Thr	
1	4.382	3.314	3.494	3.356	3.411	Glucose uptake rate
2	1.788	1.683	3.070	1.377	1.562	
3	0.039	0.195	1.203	0.031	0.031	
4	0.669	0.626	1.092	0.528	0.594	
5	0	0.082	0.584	0	0	Flux in PP Pathway
6	0.039	0.113	0.619	0.031	0.031	
7	0.039	0.113	0.619	0.031	0.031	
8	2.579	1.616	0.408	1.963	1.833	
9	2.599	1.792	1.592	1.975	1.845	
10	5.179	3.647	3.749	3.930	3.671	
11	4.667	3.491	3.586	3.557	3.504	Flux in Upper Glycolysis
12	0.197	0.105	0.012	0.131	0.023	
13	3.985	3.090	3.095	3.120	2.840	
14	3.695	2.997	0.454	1.239	1.981	
15	3.772	2.877	2.882	2.907	2.687	
16	3.657	2.770	2.770	2.800	2.580	
17	3.657	2.770	2.770	2.800	2.580	Flux in Lower Glycolysis
18	3.657	2.770	2.770	3.027	2.580	

ตารางที่ 5-4 (ต่อ)

Flux Number	Flux value (mmol/g cell/h)					Flux in Lower Glycolysis	
	Addel						
	Base	Add Ser	Add Cys	Add Asx	Add Thr		
19	0.269	0.073	2.620	1.860	0.898		
20	3.387	2.697	0.150	1.167	1.682		
21	0.373	0.017	0.024	0.233	0.027		
22	0.373	0.127	0.024	0.233	0.027	Flux for Biosynthesis	
23	0.373	0.127	0.024	0.233	0.088		
24	0.548	0.431	0.392	0.416	0.482		
25	0.548	0.431	0.392	0.416	0.482		
26	0.548	0.431	0.392	0.416	0.472		
27	0.548	0.431	0.392	0.409	0.469		
28	0.548	0.431	0.392	0.409	0.469		
29	0.540	0.431	0.387	0.409	0.469	Flux for Metabolite Production	
30	1.080	0.862	0.775	0.818	0.937		
31	0.008	0	0.004	0	0		
32	0	0	0	0	0.010		
33	0	0	0	0.007	0.003		
34	0.540	0.431	0.387	0.409	0.469		
35	5.317	4.592	7.353	3.787	4.137		
36	27.280	20.879	23.675	20.888	19.788	ATP Flux	
V_{in}	0	0.3742	0.1887	0.2698	0.0842		
V_{out}	0	0.2643	0.1827	0.2272	0.0603		
Objective Value	0.540	0.431	0.387	0.409	0.469		
V_{Rb} / V_i	0.123	0.130	0.111	0.122	0.137		
$V_{Rb} / (V_i + V_m)$	0.123	0.117	0.105	0.113	0.134		
Energy Efficiency (ATP/mol Carbon _{input})	1.760	1.620	1.991	1.705	1.721		

จากตารางที่ 5-4 พบว่าในโครงข่ายพื้นฐานให้ Riboflavin Flux สูงสุด เมื่อเทียบกับผลของการข้ามของ Folic Acid และเมื่อทำการเปรียบเทียบอัตราการเกิดผลิตภัณฑ์คือ Riboflavin Flux ต่อสารตั้งต้น (V_i) ที่เท่ากันแล้ว พบว่าการใส่สารตั้งต้นกลูโคส 1 mmol/g cell/h ในโครงข่ายการเพิ่ม

Threonine ให้ค่า Riboflavin Flux สูงสุดคือ 0.137 mmol/g cell/h และโครงข่ายการเพิ่ม Serine ให้ค่า Riboflavin Flux รองลงมาคือ 0.130 mmol/g cell/h ซึ่งสูงกว่าโครงข่ายพื้นฐานที่ให้ผล Riboflavin Flux สูงสุดจากการไม่กำหนดขอบเขตการใส่สารตั้งตน แสดงผลดังภาพที่ 5-4 ในช่วง V_2 ถึง V_7 ในแบบจำลองที่เพิ่ม Cysteine ซึ่งเป็นฟลักซ์ใน PP Pathway จะมีค่าสูงกว่าแบบจำลองอื่น และ V_{35} ถึง V_{36} ซึ่งเป็น ATP Flux ก็มีค่าสูงเช่นกัน จึงส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพหลังงานมีค่าสูงสุด คือ 1.991 และเมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนของอัตราการเกิดผลิตภัณฑ์ต่อการเพิ่มขึ้น (V_{add}) แล้วพบว่า การเพิ่ม V_{add} ใน การเพิ่ม Threonine จะให้ Riboflavin Flux เพิ่มขึ้น 16.88 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในการเพิ่ม Serine ให้ Riboflavin Flux ที่เพิ่มขึ้น 1.84 เปอร์เซ็นต์ พิจารณาผลการจำลองในระดับการรับอน แสดงผลได้ดังตารางที่ 5-5

ตารางที่ 5-5 เปอร์เซ็นต์ฟลักซ์คาร์บอนขาเข้าและขาออก จากการจำลองค่า Riboflavin Flux (V_{Rb}) มากที่สุดของโครงข่ายตามตารางลิกฟลักซ์พื้นฐานและโครงข่ายที่ทำการเพิ่ม Serine, Cysteine, Asparagine และ Threonine ตามลำดับ

Flux Input	Substance	Number of Carbon	Percentage of Carbon in Flux Input ((mol _{carbon} x V _i) x 100 / sum of Flux Input)				
			Base	Add Ser	Add Cys	Add Asx	Add Thr
V_1	Glucose	6	80.336	76.016	87.559	82.073	81.239
V_{14}	CO ₂	1	11.290	11.455	1.897	5.049	7.866
V_{25}	CO ₂	1	1.675	1.648	1.636	1.696	1.911
V_{25}	C ₁	2	3.350	3.295	3.272	3.391	3.823
V_{25}	Glycine	2	3.350	3.295	3.272	3.391	3.823
V_1	Flux add		0.000	4.291	2.364	4.399	1.337

Flux Output	Substance	Number of Carbon	Percentage of Carbon in Flux Output ((mol _{carbon} x V _o) x 100 / sum of Flux Output)				
			Base	Add Ser	Add Cys	Add Asx	Add Thr
V_2	CO ₂	1	5.463	6.432	12.825	5.614	6.201
V_{13}	CO ₂	1	12.176	11.813	12.927	12.718	11.273
V_{15}	CO ₂	1	11.525	10.998	12.037	11.848	10.666
V_{16}	CO ₂	1	11.172	10.589	11.572	11.412	10.241
V_{20}	CO ₂	1	10.349	10.310	0.628	4.755	6.677

ตารางที่ 5-5 (ต่อ)

Flux Output	Substance	Number of Carbon	Percentage of Flux Output				
			Base	Add	Add	Add	Add
			Ser	Cys	Asx	Thr	
V ₂₂	C ₁	1	1.139	0.486	0.099	0.952	0.108
V ₂₃	C ₁	1	1.139	0.486	0.099	0.952	0.348
V ₂₄	CO ₂	1	1.139	0.486	0.099	0.952	0.348
V ₂₉	Formate	1	1.649	1.648	1.618	1.667	1.860
V ₃₀	Formate	1	3.298	3.295	3.236	3.335	3.721
V ₃₁	Folic Acid	19	0.490	0.000	0.341	0.000	0.000
V ₃₁	CO ₂	1	0.026	0.000	0.018	0.000	0.000
V ₃₁	Glycolaldehyde	2	0.052	0.000	0.036	0.000	0.000
V ₃₂	Inosine	10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.391
V ₃₃	Guanosine	10	0.000	0.000	0.000	0.283	0.121
V ₃₄	Riboflavin	17	28.035	28.010	27.509	28.345	31.625
Sum b	Sum of Biosynthesis		12.347	15.447	16.954	17.167	16.421

จากตารางที่ 5-5 จะพบว่าการเพิ่ม Threonine ให้ผลเปอร์เซ็นต์ Riboflavin flux ที่สูงกว่า โครงข่ายอื่นๆ เนื่องจากเปอร์เซ็นต์ฟลักซ์คาร์บอนของสารตั้งต้นที่สูงกว่า แต่ในโครงข่ายการเพิ่ม Cysteine มีการใช้เปอร์เซ็นต์ฟลักซ์คาร์บอนของสารตั้งต้นที่ก่อนข้างสูงแต่กลับให้ผลเปอร์เซ็นต์ Riboflavin flux ที่ต่ำกว่าโครงข่ายอื่น เนื่องจากโครงข่ายการเพิ่ม Cysteine เกิดการไหลออกจำนวนมากที่ V₂ ในรูปแบบการรับอนไดออกไซด์

5.4 ผลจำลองการหาอัตราการเจริญเติบโตมากที่สุด

สรุปค่าอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดของแบบจำลองพื้นฐาน และแบบจำลองที่เพิ่มพื้นสีในตารางที่ 5-6 โดยจะประกอบไปด้วยค่าอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดของแต่ละแบบจำลอง ค่าพลังงาน ATP ที่เกิดขึ้น และแสดงค่าของแต่ละฟลักซ์ในภาพที่ 5-5 แสดงผลการจำลองทั้งหมดในภาคผนวก 4

ตารางที่ 5-6 ผลการจำลองค่าอัตราการเจริญเติบโตมากที่สุดของโครงข่ายมตามาบอลิกฟลักซ์พื้นฐาน และโครงข่ายที่ทำการเพิ่ม Serine, Cysteine, Asparagine และ Threonine ตามลำดับ

Metabolic Addit	ผลการจำลอง	ATP Flux	Energy Efficiency
	<i>Max (D)</i> <i>h⁻¹</i>	(mmol/g/h)	(ATP/Glucose)
Base	0.41	20.663	4.133
Add Serine	0.74	22.269	4.454
Add Cysteine	0.54	10.439	2.088
Add Asparagine	0.66	46.212	9.242
Add Threonine	0.68	30.740	6.148

จากตารางที่ 5-6 เมื่อการจำลองทดสอบการเจริญเติบโตของทุกฟลักซ์ที่เป็นไปได้ ซึ่งค่าอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดคือ 0.7395 h^{-1} ในแบบจำลองที่เพิ่ม Serine แต่พบว่ากลับให้ผลพลังงานเพียง $22.269 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ซึ่งในแบบจำลองที่เพิ่ม Asparagine ให้ผลพลังงานสูงถึง $46.212 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ แต่มีอัตราการเจริญเติบโตเพียง 0.658 h^{-1} เมื่อพิจารณาผลของแต่ละ ฟลักซ์ในภาพที่ 5-5

พบว่าอัตราการเจริญเติบโตจะแปรผันกับฟลักซ์ที่ 35 คือในแบบจำลองพื้นฐานจะมีค่าฟลักซ์ที่ค่อนข้างสูงแต่มีค่าอัตราการเจริญเติบโตที่ต่ำกว่าแบบจำลองอื่น และในแบบจำลองที่ทำการเพิ่ม Scrine มีค่าอัตราการเจริญเติบโตสูงแต่มีค่าฟลักซ์เพียงเล็กน้อย

วิเคราะห์การเพิ่มในแบบจำลองอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด พบว่าในการเพิ่ม Serine ให้ค่าอัตราการเจริญเติบโตสูงถึง 0.739 ซึ่งสูงกว่าแบบจำลองพื้นฐานถึง 82.143% เมื่อนำมาหารทั้ง 30 การจำลองในแบบจำลองพื้นฐาน มาทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ATP / Glucose และอัตราการเจริญเติบโต แสดงได้ดังภาพ 5-7 พบว่าอัตราการเจริญเติบโตยิ่งเพิ่มขึ้นประس蒂ทิฟลังงาน ATP จะลดลง

เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง V_2/V_{glc} , V_{15}/V_{glc} และ Growth Rate (h^{-1}) แสดงดังภาพ 5-8 พบว่าเมื่อใช้เส้นนำลักษณะของกราฟในช่วง Dilution rate (Growth Rate) เป็น $0.2 - 0.4$ ความสัมพันธ์ของ V_1/V_{glc} จะเพิ่มขึ้นจาก 0.5 ถึง 0.7 และ V_{15}/V_{glc} จะลดลงจาก 0.7 ถึง 0.4 ซึ่งเป็นไปในแนวโน้มเดียวกันกับงานวิจัยของ Sauer et al. [14] คือความสัมพันธ์ของ V_1/V_{glc} และ V_{15}/V_{glc} จะผูกพันกัน แต่ค่าที่ได้ในงานวิจัยนี้ ซึ่ง V_1/V_{glc} จะสูงกว่า และ V_{15}/V_{glc} ก่อนข้างต่ำกว่า เมื่อจากแบบจำลองที่ใช้มีโครงสร้างคล้ายกันท่านั้น ไม่ได้เหมือนกันทั้งหมด

5.5 ผลจำล่องการหาสัดส่วนพลังงานต่อผstromของฟลักซ์ทั้งหมดที่มากสุด

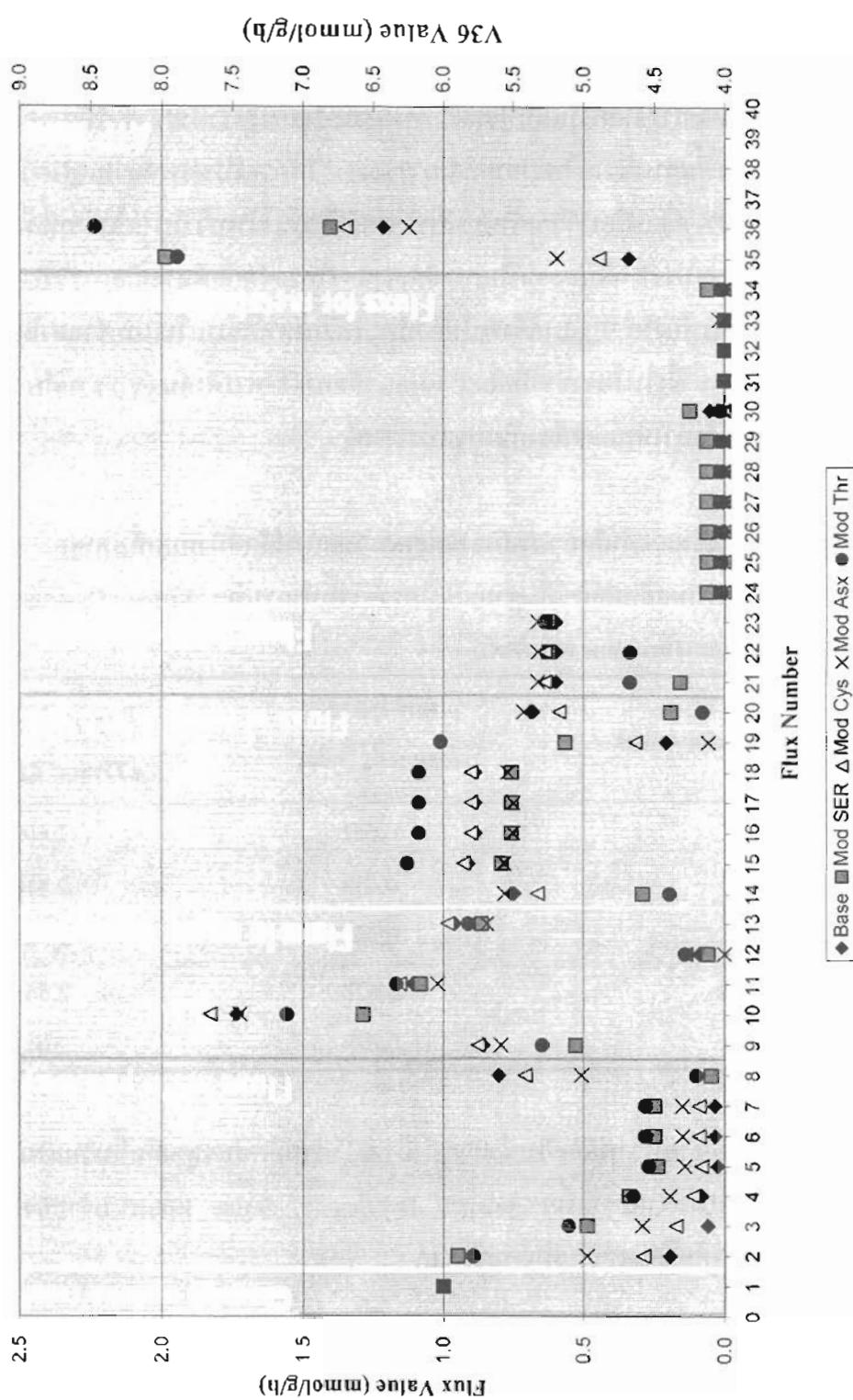
สรุปผลของแบบจำลองพื้นฐานและแบบจำลองที่เพิ่มได้ดังตารางที่ 5-7 แสดงค่าแต่ละฟลักซ์ ดังภาพที่ 5-6 และผลทั้งหมดในภาคผนวก ๑

จากการหาสัดส่วนพลังงานต่อผstromของฟลักซ์ที่เพิ่มให้ค่าจุดประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบจำลองพื้นฐานซึ่งในโครงข่ายที่เพิ่ม Cysteine ให้ค่าจุดประสิทธิภาพสูงสุดกว่าแบบจำลองพื้นฐานถึง 4.608% เมื่อเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพพลังงานจะพบว่าในโครงข่ายที่เพิ่มไม่สอดคล้องกับค่าจุดประสิทธิภาพที่เพิ่มจากในการจำลองของโครงข่ายที่เพิ่มจะเกิดการใช้สารตั้งต้น (V_i) เพียงเล็กน้อยแต่จะต้องใส่ V_{add} มากจึงทำให้ค่าประสิทธิภาพพลังงานในแบบจำลองที่เพิ่มไม่ดีกว่าแบบจำลองพื้นฐาน ซึ่งในโครงข่ายที่เพิ่ม Cysteine เกิดการใช้สารตั้งต้น (V_i) รวมกับ V_{add} เท่ากับ 3.979 mmol/g/h จึงทำให้สอดคล้องกับค่าจุดประสิทธิภาพที่เพิ่ม

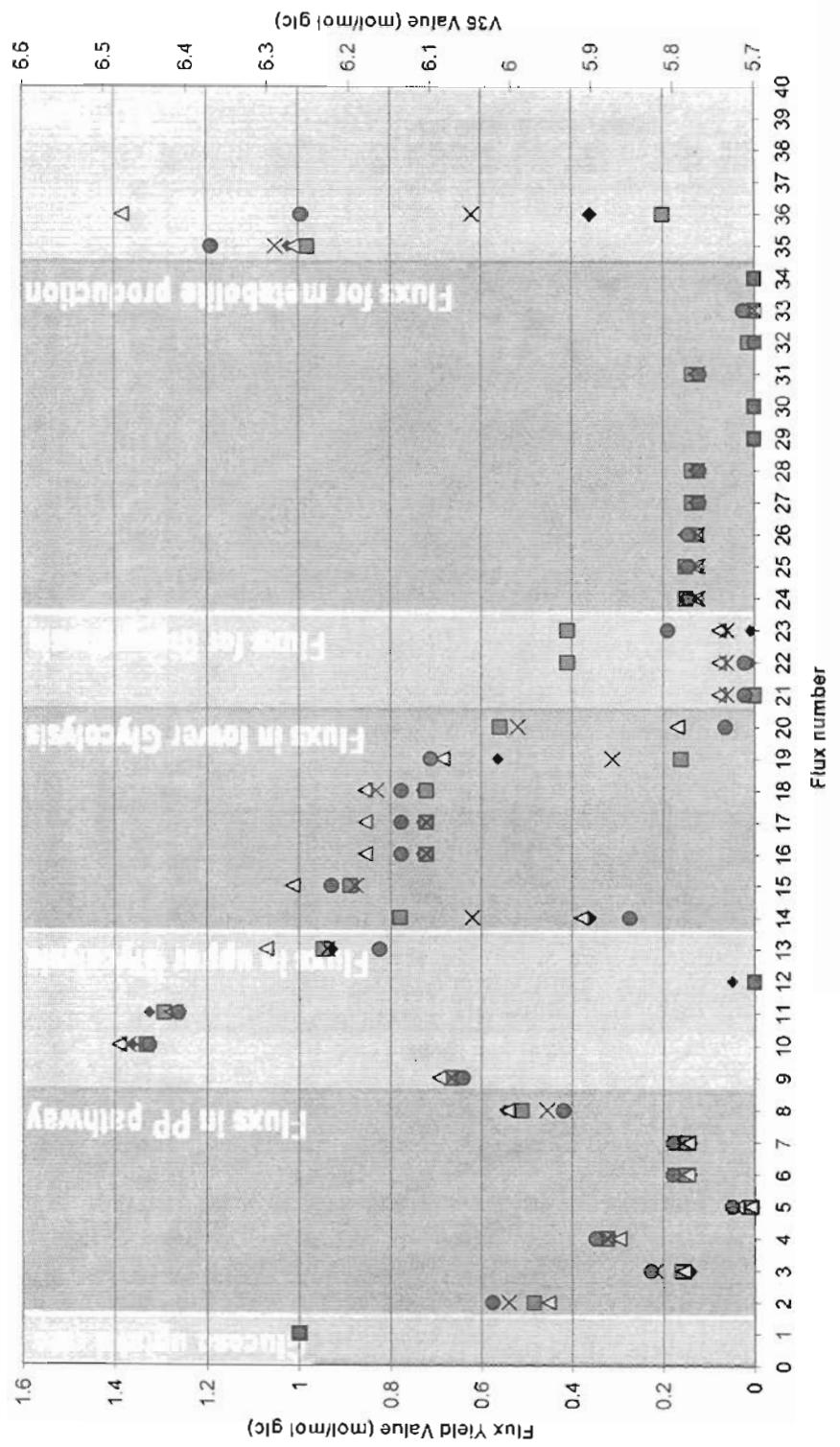
ตารางที่ 5-7 ผลจำลองค่าสัดส่วนพลังงานต่อผstromของฟลักซ์ทั้งหมดที่มากสุด ของโครงข่าย เมตาบólิกฟลักซ์พื้นฐานและโครงข่ายที่ทำการเพิ่ม Serine, Cysteine, Asparagine และ Threonine ตามลำดับ

Metabolic Addel	ผลการจำลอง	Energy Efficiency (ATP/mol Carbon _{input})
	Max($\frac{ATP_{excess}}{\sum V}$)	
Base	0.651	2.601
Add Serine	0.658	2.514
Add Cysteine	0.681	2.682
Add Asparagine	0.678	2.568
Add Threonine	0.679	2.012

ในภาพที่ 5-6 พบว่าฟลักซ์ในช่วง V_{15} ถึง V_{19} ค่าฟลักซ์สูงสุดเกิดขึ้นในแบบจำลองที่เพิ่ม Threonine และแบบจำลองที่เพิ่ม Cysteine, Asparagine, Serine และแบบจำลองพื้นฐานลดลงตามลำดับ ซึ่งแปรผันโดยตรงกับค่าจุดประสิทธิภาพ

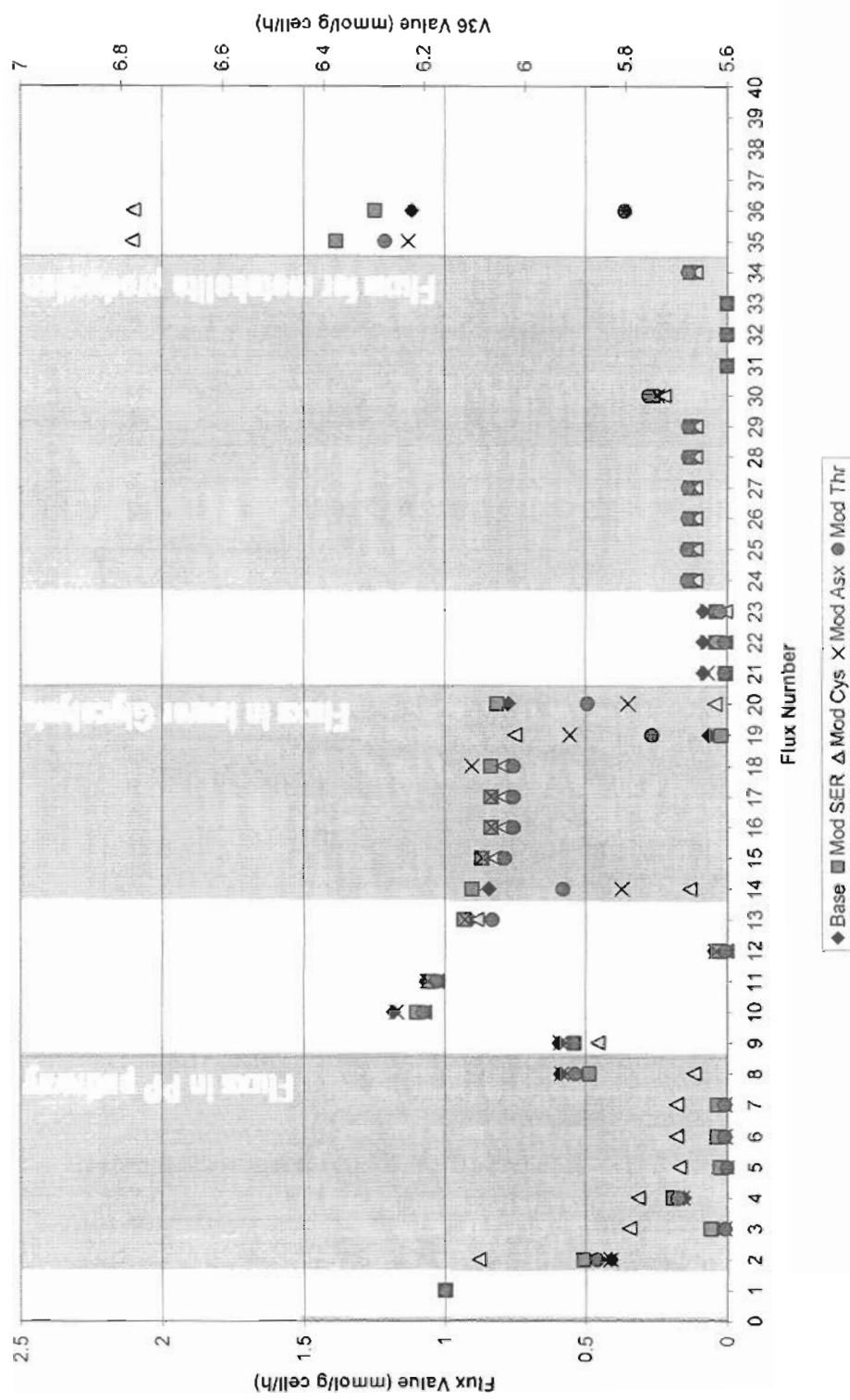


ภาพที่ 5-2 การแปลงของตัวชุดอัตราตัวตั้งของแบบบันทึกต่อจังหวะในการทำค่าพัฒนา ATP เหลือในก้าวที่ต่อกัน โดยตัวชุดนี้มี ATP ให้กับพัฒนาตัวชุดที่ต่อไปนี้



ภาพที่ 5-3 แสดงจุดการวิเคราะห์ทางชีวเคมีที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดของกระบวนการ biosynthesis Folic acid Flux มากที่สุดของแต่ละกระบวนการและค่าคงที่ของพารามิเตอร์ที่ต้องการแก้ไขในแต่ละกระบวนการ

หมายเหตุ



ภาพที่ 5-4 ผลลัพธ์ค่าปรับแก้ในช่วงของแต่ละพัลกซ์ จากการคำนวณโดยใช้ Riboflavin Flux เส้นสีดูด ของกระบวนการ biosynthesis ของพัลกซ์พูนท์ต่อ โครงสร้างของพัลกซ์พูนท์

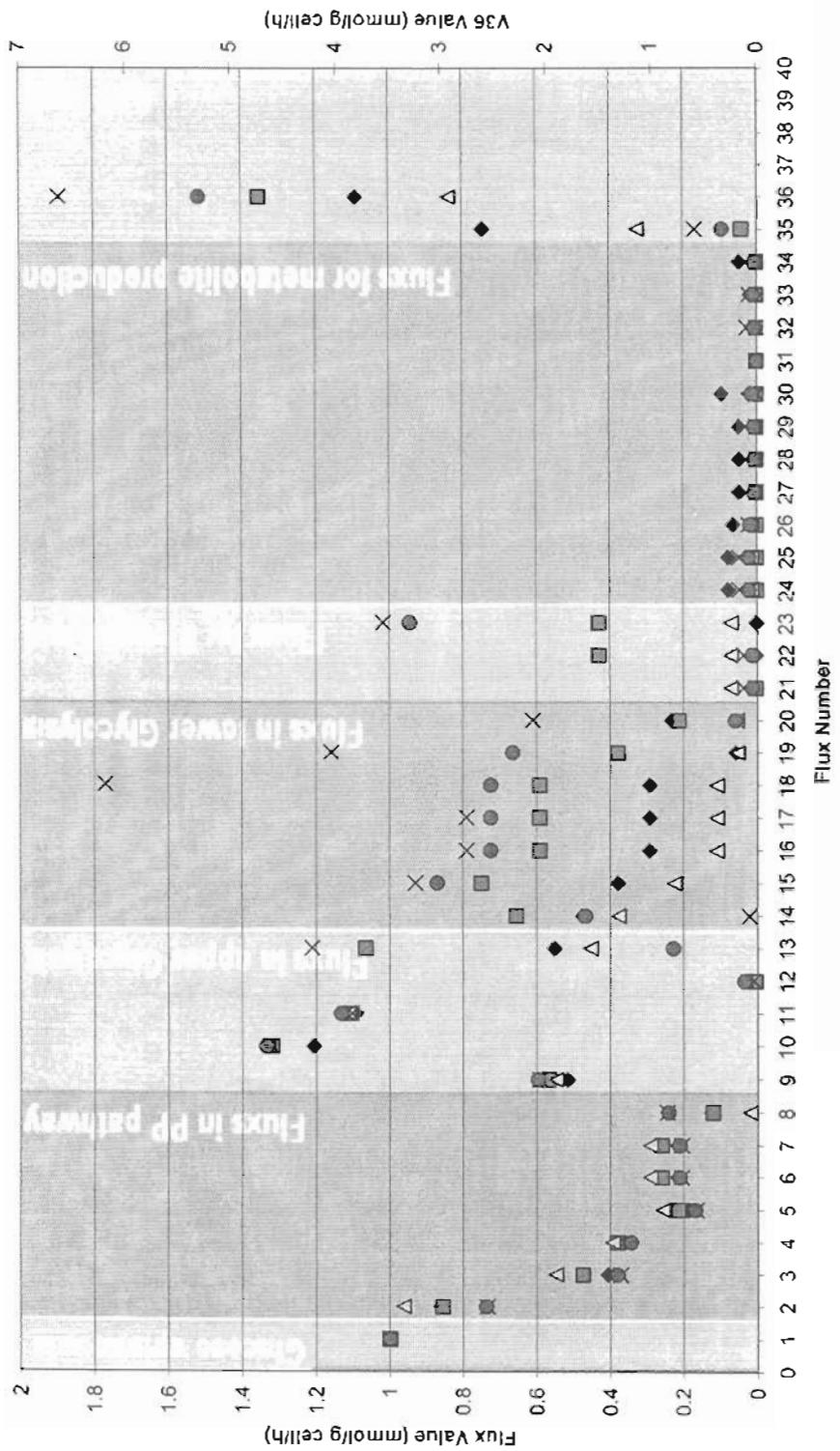
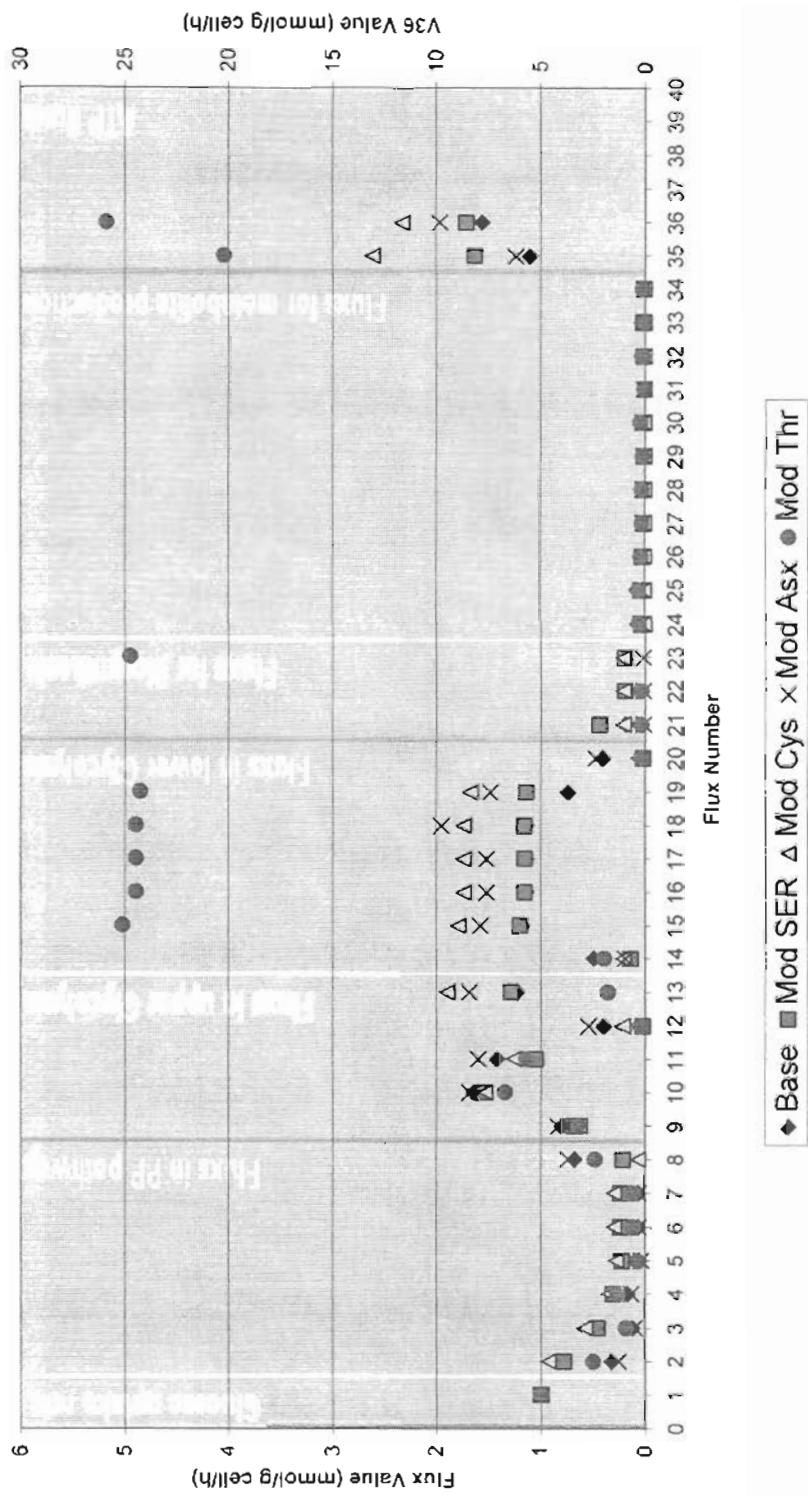
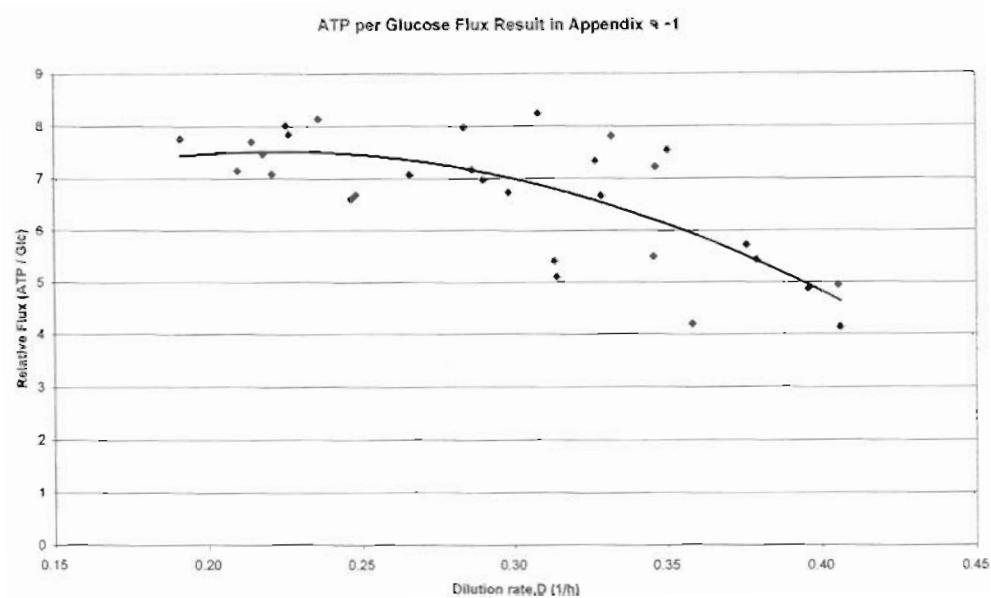


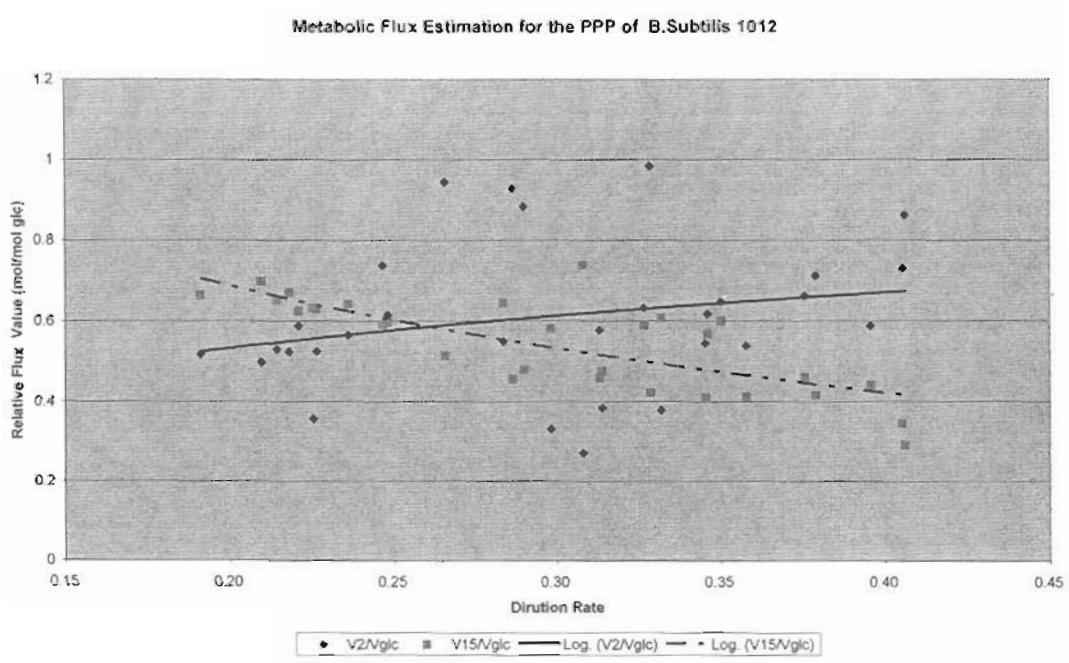
Table 5-5 ผลการรับประทานยาต้านพิษที่รักษาตัวอยู่ในห้องผู้ป่วย 5 mmol/l, g⁻¹, h⁻¹ ทางการรับประทานยาต้านพิษที่รักษาตัวอยู่ในห้องผู้ป่วย 5 mmol/l, g⁻¹, h⁻¹



ภาพที่ 5-6 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของแต่ละเดือนต่อสัปดาห์ ตามที่ทำการบันทึกไว้ในโควตา ณ สถานที่ตั้ง จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดเชียงราย และจังหวัดแม่ฮ่องสอน ที่มีผู้คนเข้ามาใช้บริการท่องเที่ยวอย่างต่อเนื่อง



ภาพที่ 5-7 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพผลิตงาน ATP และอัตราการเจริญเติบโต (D)



ภาพที่ 5-8 ความสัมพันธ์ระหว่าง V_2/V_{glc} , V_{15}/V_{glc} และ Growth Rate (h^{-1})

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอ การหาฟลักซ์การรับอนามัยในโครงข่ายเมตาบoliค์ของแบคทีเรีย *B. Subtilis* โดยใช้วิเคราะห์สมดุลของฟลักซ์เป็นเงื่อนไขบังคับในการหาค่าจุดประสิทธิภาพที่มากสุด ใช้หลักการแยกค่าเอกฐาน (Singular Value Decomposition) แก้ปัญหาการทำสมดุลของฟลักซ์และนำผลจากเมตริกซ์สูญญ์ (Null Matrix) เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization Technique) โดยระบุฟังก์ชันจุดประสิทธิภาพแบบไม่เชิงเส้น เป็นค่าสัดส่วนของพลังงานต่อพลรวมของฟลักซ์ทั้งหมด ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพัฒนารูปแบบวิวัฒนาการและทำงานร่วมกัน (Co-operative Co-evolutionary Genetic Algorithm) แก้ปัญหา เปรียบเทียบผลกับการใช้เทคนิคการปืนเข้า (Hill Climbing) ในฟังก์ชันจุดประสิทธิภาพแบบเชิงเส้น ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 จุดประสิทธิภาพคือ พลังงาน ATP ที่เหลือมากสุด, Folic Acid Flux ที่มากสุด, Riboflavin Flux ที่มากสุด และอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด ผลจากการจำลองชี้ให้เห็นว่า

1. การวิเคราะห์ค่าพลังงาน ATP เมื่อกำหนดสารตั้งต้นเป็น 1 mmol/g/h ด้วยฟังก์ชันจุดประสิทธิภาพแบบเชิงเส้นที่ต่างกัน พบว่าการใช้ฟังก์ชันจุดประสิทธิภาพเป็นการหาค่าพลังงาน ATP ที่เหลือมากสุดย่อมให้ค่าพลังงาน ATP สูงที่สุด แต่มีอัตราณาที่แต่ละค่าฟลักซ์จะพบว่าฟลักซ์ใน Tricarboxylic Acid (TCA) Cycle เป็นตัวแปรสำคัญในการวิเคราะห์พลังงาน ATP คือพลรวมพลังงานจะมีค่าสูงเมื่อฟลักซ์ใน TCA มีค่าสูง

2. การวิเคราะห์ค่าพลังงาน ATP เมื่อกำหนดสารตั้งต้นเป็น 1 mmol/g/h ด้วยฟังก์ชันจุดประสิทธิภาพแบบเชิงเส้นและแบบไม่เชิงเส้น พบว่าผลจากการจำลองโดยใช้จุดประสิทธิภาพแบบไม่เชิงเส้นให้ค่าค่าพลังงาน ATP ที่สูงกว่า เนื่องจากการใช้ฟังก์ชันจุดประสิทธิภาพแบบเชิงเส้นจะเป็นการวิเคราะห์ผลจากฟลักซ์ที่เกี่ยวข้องกับ ATP เท่านั้น แต่การใช้จุดประสิทธิภาพแบบไม่เชิงเส้นเป็นการวิเคราะห์ผลจากฟลักซ์ทุกด้านในแบบจำลอง ทำให้สารตั้งต้นที่ใส่ไปถูกนำมายืดยาวมีประสิทธิภาพที่สุด

3. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงยืนในแบบจำลองการหาค่าพลังงาน ATP พบว่าโครงข่ายที่เปลี่ยนแปลงยืน Threonine ให้ค่าพลังงาน ATP ที่สูงสุด ซึ่งสูงกว่าแบบจำลองพื้นฐานถึง 11.321%

4. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงยืนในแบบจำลองค่า Folic Acid Flux ที่มากสุด พบว่าโครงข่ายที่เปลี่ยนแปลงยืน Cysteine, Asparagine และ Threonine ไม่ทำให้ผลผลิตสูงขึ้น แต่ผลจาก

การเปลี่ยนแปลงยีน Serine ให้ผลผลิตสูงสุด เพิ่มขึ้น 3.788% จากแบบจำลองพื้นฐาน ซึ่งผลผลิตที่สูงขึ้นนี้มาจากการใช้พลังงาน ATP ที่สูงขึ้นด้วย

5. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงยีนในแบบจำลองค่า Riboflavin Flux ที่มากสุด พบว่า โครงข่ายที่เปลี่ยนแปลงยีน Serine และ Threonine ให้ผลผลิต Riboflavin Flux ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเพิ่มขึ้น 5.671% และ 11.382% ตามลำดับ แต่การเปลี่ยนแปลงยีน Cysteine และ Asparagine ให้ผลผลิตลดลง และเมื่อพิจารณาผลของค่าพลังงานจะสามารถสรุปได้ว่าเมื่อเทียบกับ Folic Acid Flux คือ ATP จะถูกนำไปใช้ในการสร้างผลิตภัณฑ์

6. เปรียบเทียบผลจากแบบจำลองหาค่า Riboflavin Flux และ Folic Acid Flux พบร้าทั้งสองแบบจำลองนี้การใช้พลังงาน ATP เพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ทั้งสอง ดังจะเห็นได้ว่าผลประสิทธิภาพทั้งสองแบบจำลองจะน้อยกว่าแบบจำลองอื่น และในแบบจำลองการผลิต Folic Acid จะมีค่าประสิทธิภาพพลังงานที่น้อยสุดเนื่องจากพลังงาน ATP ถูกนำไปใช้ในการสร้าง Folic Acid Flux ให้มากสุด จึงเหลือน้อยกว่าแบบจำลองอื่นๆ

ເອກສາຮອ້າງອີງ

1. Sauer, U., Cameron, D. C. and Bailey, J. E. "Metabolic Capacity of *Bacillus subtilis* for the Production of Purine Nucleosides, Riboflavin, and Folic Acid." Biotechnology and Bioengineering. 59 (1998) : 227-238.
2. Schilling, C. H., Edward, J. S., Letscher, D. and Palsson, B. "Combining Pathway Analysis with Flux Balance Analysis for the Comprehensive Study of Metabolic Systems." Biotechnology and Bioengineering. 71 (2000) : 286-306.
3. Burgard, A. P. and Maranas, C. D. "Probing the Performance Limits of the *Escherichia coli* Metabolic Network Subject to Gene Additions or Deletions." Biotechnology and Bioengineering. 74 (2001) : 364-375.
4. Dauner, M. and Sauer, U. "Stoichiometric Growth Model for Riboflavin-Producing *Bacillus subtilis*." Biotechnology and Bioengineering. 76 (2001) : 132-143.
5. Kauffman K. J., Prakash P. and Edwards J. S. "Advances in flux balance analysis." Biochemical Engineering. 14 (2003) : 491-496.
6. Palsson, B. O., et al. 2007. Appendix 1 : Flux Balance Analysis Primer. [cited 2004,July 12]. Available online at
http://www.nature.com/nbt/web_extras/supp_info/nbt0201_125/info_frame.html.
7. Brakoulias, A. 2000. Matabolic Flux Analysis I. [cited 2004,July 13]. Available online at
<http://www.biochem.ucl.ac.uk/bsm/subgroup/pathways/andreas/sld001.html>.
8. Ferry, V. D. L., Duy, N., Ruud, V. S. and Marita, P. Stoichiometric Modeling : Understanding of Metabolic Networks. Project Report, Department of Electrical Engineering and Department of Biomedical Engineering, Eindhoven University of Technology, 2002.
9. Press W. H., et al. Numerical Recipes in C : The Art of Scientific Computing. Cambridge, UK : Cambridge University Press, c1992.

10. Wall, M. E., Rechtsteiner, A., Rocha, L. M. 2002. Singular Value Decomposition and Principal Component Analysis. [cited 2005,February 16]. Available online at <http://public.lanl.gov/mewall/kluwer2002.html>.
11. Wikipedia. 2007. Hill Climbing. [cited 2005,March 17]. Available on line at http://en.wikipedia.org/wiki/Hill_climbing.
12. Holland, J. H. Adaptation in Natural and Artificial Systems. Ann Arbor, MI : University of Michigan Press, c1975.
13. Potter, M. A. and De Jong, K. A. "Cooperative Coevolution : An Architecture for Evolving Coadapted Subcomponents." Evolutionary Computation. 8 (2000) : 1-29.
14. Sauer U., Hatzimanikatis V., Hohmann H., Manneberg M., Loon A.V. and Bailey J.E. "Physiology and Metabolic Fluxes of Wide-Type and Riboflavin-Producing *Bacillus subtilis*." Applied and Environmental Microbiology. 62 (1996) : 3687-3696.

ภาคผนวก ก

ผลจำลองการหาค่าพลังงาน ATP เหลือมากที่สุด

ตารางที่ ก-1 ผลการจำลองหาค่าพารามิเตอร์ของ ATP เมื่อมีเวลาอภิคิจถูกเพิ่ม

ตารางที่ ก-1 (๗๘)

	Time	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$\psi[1]$	4.425	3.978	4.318	4.589	4.416	3.537	3.903	4.900	4.089	3.753	4.794	4.401	4.317	4.592	3.845	
$\psi[2]$	1.810	2.976	1.970	1.820	1.48	1.982	2.941	2.392	0.946	2.169	1.563	0.949	1.662	0.892	3.563	
$\psi[3]$	0.731	1.279	0.317	0.22	0.159	1.732	1.658*	0.773	0.339	0.879	0.539	0.456	0.487	0.275	1.874	
$\psi[4]$	0.915	1.225	0.446	0.614	0.394	1.235	1.052	0.418	0.380	1.005	0.924	0.466	0.623	0.375	1.341	
$\psi[5]$	0.277	0.590	0.143	0.094	0.036	0.851	0.042	0.053	0.153	0.470	0.085	0.213	0.206	0.116	2.877	
$\psi[6]$	0.505	0.788	0.174	0.128	0.123	0.982	0.842	0.640	0.184	0.301	0.454	0.244	0.241	0.159	0.997	
$\psi[7]$	0.568	0.788	0.174	0.128	0.123	0.982	0.842	0.640	0.184	0.301	0.454	0.244	0.241	0.159	0.997	
$\psi[8]$	2.690	2.987	2.333	2.354	2.253	0.039	0.137	2.493	3.126	1.368	3.216	3.457	2.640	3.864	0.266	
$\psi[9]$	3.312	2.546	2.631	2.947	2.993	1.752	1.722	3.447	3.446	2.319	3.796	3.874	3.068	3.988	2.121	
$\psi[10]$	6.832	5.261	5.345	5.985	6.801	4.316	4.335	6.588	7.024	5.089	7.538	7.942	6.323	7.976	5 [0]	
$\psi[11]$	5.537	4.854	4.894	4.880	5.326	4.040	3.963	6.245	5.234	4.376	5.841	4.979	5.062	4.242		
$\psi[12]$	0.547	0.471	0.105	0.214	0.730	2.432	2.199	0.159	1.074	0.533	0.296	0.507	0.532	0.405	0.150	
$\psi[13]$	4.379	3.856	4.259	4.210	4.572	3.375	3.398	4.465	4.569	3.712	4.507	4.314	4.402	4.401		
$\psi[14]$	3.585	3.829	4.186	3.687	4.436	3.264	3.177	4.372	4.538	3.560	4.420	4.293	3.396	4.429	1.085	
$\psi[15]$	4.165	3.843	4.016	3.997	4.339	3.152	3.084	4.232	4.356	3.498	4.286	4.101	4.043	4.099	3.188	
$\psi[16]$	3.811	3.346	3.909	3.887	4.176	3.087	3.025	3.291	3.588	3.249	3.391	3.841	3.994	3.931	2.992	
$\psi[17]$	3.811	3.269	3.869	3.887	4.176	3.025	3.087	3.291	3.588	3.249	3.391	3.841	3.994	3.931	2.992	
$\psi[18]$	3.811	3.268	3.869	3.887	4.176	3.025	3.087	3.291	3.588	3.249	3.391	3.841	3.994	3.931	2.992	
$\psi[19]$	0.772	-0.006	0.022	1.132	0.094	0.000	0.000	0.072	0.111	0.130	0.059	0.000	0.000	0.053	0.295	
$\psi[20]$	3.059	3.341	3.886	2.755	3.887	3.035	2.994	3.516	3.588	4.249	3.391	3.841	3.994	3.931	2.992	
$\psi[21]$	1.156	0.366	0.352	0.368	1.231	0.437	0.233	0.291	0.588	0.249	0.391	0.994	0.407	2.991		
$\psi[22]$	1.156	0.246	0.352	0.366	1.331	0.437	0.233	0.291	0.588	0.249	0.391	0.994	0.407	2.991		
$\psi[23]$	1.156	0.266	0.352	0.366	1.331	0.437	0.233	0.291	0.588	0.249	0.391	0.994	0.407	2.991		
$\psi[24]$	0.329	0.355	0.492	0.465	0.299	0.082	0.035	2.978	3.516	4.239	3.261	3.594	3.931	3.992		
$\psi[25]$	0.329	0.355	0.492	0.465	0.299	0.082	0.035	2.978	3.516	4.239	3.261	3.594	3.931	3.992		
$\psi[26]$	0.329	0.355	0.492	0.465	0.299	0.082	0.035	2.978	3.516	4.239	3.261	3.594	3.931	3.992		
$\psi[27]$	0.329	0.355	0.492	0.465	0.299	0.082	0.035	2.978	3.516	4.239	3.261	3.594	3.931	3.992		
$\psi[28]$	0.329	0.355	0.492	0.465	0.299	0.082	0.035	2.978	3.516	4.239	3.261	3.594	3.931	3.992		
$\psi[29]$	0.187	0.453	0.462	0.462	0.243	0.243	0.243	0.117	0.101	0.115	0.197	0.060	0.041	0.134	0.292	
$\psi[30]$	0.184	0.354	0.365	0.224	0.465	0.215	0.126	0.656	0.115	0.423	0.573	0.388	0.144	0.334	0.292	
$\psi[31]$	0.247	0.168	0.003	0.037	0.465	0.299	0.258	0.117	0.656	0.115	0.197	0.388	0.613	0.309	0.292	
$\psi[32]$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.134	0.292	
$\psi[33]$	0.000	0.000	0.019	0.000	0.000	0.014	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
$\psi[34]$	0.082	0.453	0.462	0.462	0.243	0.243	0.243	0.117	0.101	0.115	0.197	0.060	0.041	0.134	0.292	
$\psi[35]$	4.246	7.392	5.931	5.025	3.500	3.322	7.093	5.546	2.963	5.805	3.206	4.414	4.447	1.539	7.666	
$\psi[36]$	29.074	27.749	28.967	28.141	29.669	26.258	24.506	29.202	29.545	26.558	29.461	26.118	29.253	29.318	26.779	
$\sum \Delta t p$	53.214	49.275	50.739	52.443	51.738	47.679	46.573	48.481	50.098	52.185	51.071	55.541	58.466	48.469		

ตารางที่ ก-2 ผลการถอด elongation factor GTPase ของ ATP หลังรบกวนกระบวนการนำเข้าพอลีเมอร์สีนีน Serine

	T₀	T₁	T₂	T₃	T₄	T₅	T₆	T₇	T₈	T₉	T₁₀	T₁₁	T₁₂	T₁₃	T₁₄	T₁₅	T₁₆	T₁₇	T₁₈	T₁₉	T₂₀	T₂₁	T₂₂	T₂₃	T₂₄	T₂₅	T₂₆	T₂₇	T₂₈	T₂₉	T₃₀	T₃₁	T₃₂	T₃₃	T₃₄	T₃₅	T₃₆	T₃₇	T₃₈	T₃₉	T₄₀	T₄₁	T₄₂	T₄₃	T₄₄	T₄₅	T₄₆	T₄₇	T₄₈	T₄₉	T₅₀	T₅₁	T₅₂	T₅₃	T₅₄	T₅₅	T₅₆	T₅₇	T₅₈	T₅₉	T₆₀	T₆₁	T₆₂	T₆₃	T₆₄	T₆₅	T₆₆	T₆₇	T₆₈	T₆₉	T₇₀	T₇₁	T₇₂	T₇₃	T₇₄	T₇₅	T₇₆	T₇₇	T₇₈	T₇₉	T₈₀	T₈₁	T₈₂	T₈₃	T₈₄	T₈₅	T₈₆	T₈₇	T₈₈	T₈₉	T₉₀	T₉₁	T₉₂	T₉₃	T₉₄	T₉₅	T₉₆	T₉₇	T₉₈	T₉₉	T₁₀₀	T₁₀₁	T₁₀₂	T₁₀₃	T₁₀₄	T₁₀₅	T₁₀₆	T₁₀₇	T₁₀₈	T₁₀₉	T₁₁₀	T₁₁₁	T₁₁₂	T₁₁₃	T₁₁₄	T₁₁₅	T₁₁₆	T₁₁₇	T₁₁₈	T₁₁₉	T₁₂₀	T₁₂₁	T₁₂₂	T₁₂₃	T₁₂₄	T₁₂₅	T₁₂₆	T₁₂₇	T₁₂₈	T₁₂₉	T₁₃₀	T₁₃₁	T₁₃₂	T₁₃₃	T₁₃₄	T₁₃₅	T₁₃₆	T₁₃₇	T₁₃₈	T₁₃₉	T₁₄₀	T₁₄₁	T₁₄₂	T₁₄₃	T₁₄₄	T₁₄₅	T₁₄₆	T₁₄₇	T₁₄₈	T₁₄₉	T₁₅₀	T₁₅₁	T₁₅₂	T₁₅₃	T₁₅₄	T₁₅₅	T₁₅₆	T₁₅₇	T₁₅₈	T₁₅₉	T₁₆₀	T₁₆₁	T₁₆₂	T₁₆₃	T₁₆₄	T₁₆₅	T₁₆₆	T₁₆₇	T₁₆₈	T₁₆₉	T₁₇₀	T₁₇₁	T₁₇₂	T₁₇₃	T₁₇₄	T₁₇₅	T₁₇₆	T₁₇₇	T₁₇₈	T₁₇₉	T₁₈₀	T₁₈₁	T₁₈₂	T₁₈₃	T₁₈₄	T₁₈₅	T₁₈₆	T₁₈₇	T₁₈₈	T₁₈₉	T₁₉₀	T₁₉₁	T₁₉₂	T₁₉₃	T₁₉₄	T₁₉₅	T₁₉₆	T₁₉₇	T₁₉₈	T₁₉₉	T₂₀₀	T₂₀₁	T₂₀₂	T₂₀₃	T₂₀₄	T₂₀₅	T₂₀₆	T₂₀₇	T₂₀₈	T₂₀₉	T₂₁₀	T₂₁₁	T₂₁₂	T₂₁₃	T₂₁₄	T₂₁₅	T₂₁₆	T₂₁₇	T₂₁₈	T₂₁₉	T₂₂₀	T₂₂₁	T₂₂₂	T₂₂₃	T₂₂₄	T₂₂₅	T₂₂₆	T₂₂₇	T₂₂₈	T₂₂₉	T₂₃₀	T₂₃₁	T₂₃₂	T₂₃₃	T₂₃₄	T₂₃₅	T₂₃₆	T₂₃₇	T₂₃₈	T₂₃₉	T₂₄₀	T₂₄₁	T₂₄₂	T₂₄₃	T₂₄₄	T₂₄₅	T₂₄₆	T₂₄₇	T₂₄₈	T₂₄₉	T₂₅₀	T₂₅₁	T₂₅₂	T₂₅₃	T₂₅₄	T₂₅₅	T₂₅₆	T₂₅₇	T₂₅₈	T₂₅₉	T₂₆₀	T₂₆₁	T₂₆₂	T₂₆₃	T₂₆₄	T₂₆₅	T₂₆₆	T₂₆₇	T₂₆₈	T₂₆₉	T₂₇₀	T₂₇₁	T₂₇₂	T₂₇₃	T₂₇₄	T₂₇₅	T₂₇₆	T₂₇₇	T₂₇₈	T₂₇₉	T₂₈₀	T₂₈₁	T₂₈₂	T₂₈₃	T₂₈₄	T₂₈₅	T₂₈₆	T₂₈₇	T₂₈₈	T₂₈₉	T₂₉₀	T₂₉₁	T₂₉₂	T₂₉₃	T₂₉₄	T₂₉₅	T₂₉₆	T₂₉₇	T₂₉₈	T₂₉₉	T₃₀₀	T₃₀₁	T₃₀₂	T₃₀₃	T₃₀₄	T₃₀₅	T₃₀₆	T₃₀₇	T₃₀₈	T₃₀₉	T₃₁₀	T₃₁₁	T₃₁₂	T₃₁₃	T₃₁₄	T₃₁₅	T₃₁₆	T₃₁₇	T₃₁₈	T₃₁₉	T₃₂₀	T₃₂₁	T₃₂₂	T₃₂₃	T₃₂₄	T₃₂₅	T₃₂₆	T₃₂₇	T₃₂₈	T₃₂₉	T₃₃₀	T₃₃₁	T₃₃₂	T₃₃₃	T₃₃₄	T₃₃₅	T₃₃₆	T₃₃₇	T₃₃₈	T₃₃₉	T₃₄₀	T₃₄₁	T₃₄₂	T₃₄₃	T₃₄₄	T₃₄₅	T₃₄₆	T₃₄₇	T₃₄₈	T₃₄₉	T₃₅₀	T₃₅₁	T₃₅₂	T₃₅₃	T₃₅₄	T₃₅₅	T₃₅₆	T₃₅₇	T₃₅₈	T₃₅₉	T₃₆₀	T₃₆₁	T₃₆₂	T₃₆₃	T₃₆₄	T₃₆₅	T₃₆₆	T₃₆₇	T₃₆₈	T₃₆₉	T₃₇₀	T₃₇₁	T₃₇₂	T₃₇₃	T₃₇₄	T₃₇₅	T₃₇₆	T₃₇₇	T₃₇₈	T₃₇₉	T₃₈₀	T₃₈₁	T₃₈₂	T₃₈₃	T₃₈₄	T₃₈₅	T₃₈₆	T₃₈₇	T₃₈₈	T₃₈₉	T₃₉₀	T₃₉₁	T₃₉₂	T₃₉₃	T₃₉₄	T₃₉₅	T₃₉₆	T₃₉₇	T₃₉₈	T₃₉₉	T₄₀₀	T₄₀₁	T₄₀₂	T₄₀₃	T₄₀₄	T₄₀₅	T₄₀₆	T₄₀₇	T₄₀₈	T₄₀₉	T₄₁₀	T₄₁₁	T₄₁₂	T₄₁₃	T₄₁₄	T₄₁₅	T₄₁₆	T₄₁₇	T₄₁₈	T₄₁₉	T₄₂₀	T₄₂₁	T₄₂₂	T₄₂₃	T₄₂₄	T₄₂₅	T₄₂₆	T₄₂₇	T₄₂₈	T₄₂₉	T₄₃₀	T₄₃₁	T₄₃₂	T₄₃₃	T₄₃₄	T₄₃₅	T₄₃₆	T₄₃₇	T₄₃₈	T₄₃₉	T₄₄₀	T₄₄₁	T₄₄₂	T₄₄₃	T₄₄₄	T₄₄₅	T₄₄₆	T₄₄₇	T₄₄₈	T₄₄₉	T₄₅₀	T₄₅₁	T₄₅₂	T₄₅₃	T₄₅₄	T₄₅₅	T₄₅₆	T₄₅₇	T₄₅₈	T₄₅₉	T₄₆₀	T₄₆₁	T₄₆₂	T₄₆₃	T₄₆₄	T₄₆₅	T₄₆₆	T₄₆₇	T₄₆₈	T₄₆₉	T₄₇₀	T₄₇₁	T₄₇₂	T₄₇₃	T₄₇₄	T₄₇₅	T₄₇₆	T₄₇₇	T₄₇₈	T₄₇₉	T₄₈₀	T₄₈₁	T₄₈₂	T₄₈₃	T₄₈₄	T₄₈₅	T₄₈₆	T₄₈₇	T₄₈₈	T₄₈₉	T₄₉₀	T₄₉₁	T₄₉₂	T₄₉₃	T₄₉₄	T₄₉₅	T₄₉₆	T₄₉₇	T₄₉₈	T₄₉₉	T₅₀₀	T₅₀₁	T₅₀₂	T₅₀₃	T₅₀₄	T₅₀₅	T₅₀₆	T₅₀₇	T₅₀₈	T₅₀₉	T₅₁₀	T₅₁₁	T₅₁₂	T₅₁₃	T₅₁₄	T₅₁₅	T₅₁₆	T₅₁₇	T₅₁₈	T₅₁₉	T₅₂₀	T₅₂₁	T₅₂₂	T₅₂₃	T₅₂₄	T₅₂₅	T₅₂₆	T₅₂₇	T₅₂₈	T₅₂₉	T₅₃₀	T₅₃₁	T₅₃₂	T₅₃₃	T₅₃₄	T₅₃₅	T₅₃₆	T₅₃₇	T₅₃₈	T₅₃₉	T₅₄₀	T₅₄₁	T₅₄₂	T₅₄₃	T₅₄₄	T₅₄₅	T₅₄₆	T₅₄₇	T₅₄₈	T₅₄₉	T₅₅₀	T₅₅₁	T₅₅₂	T₅₅₃	T₅₅₄	T₅₅₅	T₅₅₆	T₅₅₇	T₅₅₈	T₅₅₉	T₅₆₀	T₅₆₁	T₅₆₂	T₅₆₃	T₅₆₄	T₅₆₅	T₅₆₆	T₅₆₇	T₅₆₈	T₅₆₉	T₅₇₀	T₅₇₁	T₅₇₂	T₅₇₃	T₅₇₄	T₅₇₅	T₅₇₆	T₅₇₇	T₅₇₈	T₅₇₉	T₅₈₀	T₅₈₁	T₅₈₂	T₅₈₃	T₅₈₄	T₅₈₅	T₅₈₆	T₅₈₇	T₅₈₈	T₅₈₉	T₅₉₀	T₅₉₁	T₅₉₂	T₅₉₃	T₅₉₄	T₅₉₅	T₅₉₆	T₅₉₇	T₅₉₈	T₅₉₉	T₆₀₀	T₆₀₁	T₆₀₂	T₆₀₃	T₆₀₄	T₆₀₅	T₆₀₆	T₆₀₇	T₆₀₈	T₆₀₉	T₆₁₀	T₆₁₁	T₆₁₂	T₆₁₃	T₆₁₄	T₆₁₅	T₆₁₆	T₆₁₇	T₆₁₈	T₆₁₉	T₆₂₀	T₆₂₁	T₆₂₂	T₆₂₃	T₆₂₄	T₆₂₅	T₆₂₆	T₆₂₇	T₆₂₈	T₆₂₉	T₆₃₀	T₆₃₁	T₆₃₂	T₆₃₃	T₆₃₄	T₆₃₅	T₆₃₆	T₆₃₇	T₆₃₈	T₆₃₉	T₆₄₀	T₆₄₁	T₆₄₂	T₆₄₃	T₆₄₄	T₆₄₅	T₆₄₆	T₆₄₇	T₆₄₈	T₆₄₉	T₆₅₀	T₆₅₁	T₆₅₂	T₆₅₃	T₆₅₄	T₆₅₅	T₆₅₆	T₆₅₇	T₆₅₈	T₆₅₉	T₆₆₀	T₆₆₁	T₆₆₂	T₆₆₃	T₆₆₄	T₆₆₅	T₆₆₆	T₆₆₇	T₆₆₈	T₆₆₉	T₆₇₀	T₆₇₁	T₆₇₂	T₆₇₃	T₆₇₄	T₆₇₅	T₆₇₆	T₆₇₇	T₆₇₈	T₆₇₉	T₆₈₀	T₆₈₁	T₆₈₂	T₆₈₃	T₆₈₄	T₆₈₅	T₆₈₆	T₆₈₇	T₆₈₈	T₆₈₉	T₆₉₀	T₆₉₁	T₆₉₂	T₆₉₃	T₆₉₄	T₆₉₅	T₆₉₆	T₆₉₇	T₆₉₈	T₆₉₉	T₇₀₀	T₇₀₁	T₇₀₂	T₇₀₃	T₇₀₄	T₇₀₅	T₇₀₆	T₇₀₇	T₇₀₈	T₇₀₉	T₇₁₀	T₇₁₁	T₇₁₂	T₇₁₃	T₇₁₄	T₇₁₅	T₇₁₆	T₇₁₇	T₇₁₈	T₇₁₉	T₇₂₀	T₇₂₁	T₇₂₂	T₇₂₃	T₇₂₄	T₇₂₅	T₇₂₆	T₇₂₇	T₇₂₈	T₇₂₉	T₇₃₀	T₇₃₁	T₇₃₂	T₇₃₃	T₇₃₄	T₇₃₅	T₇₃₆	T₇₃₇	T₇₃₈	T₇₃₉	T₇₄₀	T₇₄₁	T₇₄₂	T₇₄₃	T₇₄₄	T₇₄₅	T₇₄₆	T₇₄₇	T₇₄₈	T₇₄₉	T₇₅₀	T₇₅₁	T₇₅₂	T₇₅₃	T₇₅₄	T₇₅₅	T₇₅₆	T₇₅₇	T₇₅₈	T₇₅₉	T₇₆₀	T₇₆₁	T₇₆₂	T₇₆₃	T₇₆₄	T₇₆₅	T₇₆₆	T₇₆₇	T₇₆₈	T₇₆₉	T₇₇₀	T₇₇₁	T₇₇₂	T₇₇₃	T₇₇₄	T₇₇₅	T₇₇₆	T₇₇₇	T₇₇₈	T₇₇₉	T₇₈₀	T₇₈₁	T₇₈₂	T₇₈₃	T₇₈₄	T₇₈₅	T₇₈₆	T₇₈₇	T₇₈₈	T₇₈₉	T₇₉₀	T₇₉₁	T₇₉₂	T₇₉₃	T₇₉₄	T₇₉₅	T₇₉₆	T₇₉₇	T₇₉₈	T₇₉₉	T₈₀₀	T₈₀₁	T₈₀₂	T₈₀₃	T₈₀₄	T₈₀₅	T₈₀₆	T₈₀₇	T₈₀₈	T₈₀₉	T₈₁₀	T₈₁₁	T₈₁₂	T₈₁₃	T₈₁₄	T₈₁₅	T₈₁₆	T₈₁₇	T₈₁₈	T₈₁₉	T₈₂₀	T₈₂₁	T₈₂₂	T₈₂₃	T₈₂₄	T₈₂₅	T₈₂₆	T₈₂₇	T₈₂₈	T₈₂₉	T₈₃₀	T₈₃₁	T₈₃₂	T₈₃₃	T₈₃₄	T₈₃₅	T₈₃₆	T₈₃₇	T₈₃₈	T₈₃₉	T₈₄₀	T₈₄₁	T₈₄₂	T₈₄₃	T₈₄₄	T₈₄₅	T₈₄₆	T₈₄₇	T₈₄₈	T₈₄₉	T₈₅₀	T₈₅₁	T₈₅₂	T₈₅₃	T₈₅₄	T₈₅₅	T₈₅₆	T₈₅₇	T₈₅₈	T₈₅₉	T₈₆₀	T₈₆

ตารางที่ ก-2 (ต่อ)

	1.524	2.745	1.574	1.874	3.043	3.561	1.820	2.458	2.726	2.246	2.438	2.460	1.496	2.395	2.073
v[1]	0.923	2.133	0.533	1.091	2.851	1.543	0.942	2.199	1.325	1.662	1.185	0.364	0.865	1.626	2.069
v[2]	0.368	1.120	0.171	0.482	1.467	0.442	0.220	1.013	0.388	0.703	0.526	0.492	0.337	0.740	1.005
v[3]	0.372	0.800	0.249	0.428	1.017	0.579	0.279	0.798	0.714	0.619	0.640	0.386	0.353	0.673	0.734
v[4]	0.169	0.532	0.070	0.236	0.718	0.206	0.065	0.491	0.075	0.346	0.312	0.231	0.153	0.345	0.487
v[5]	0.200	0.556	0.101	0.256	0.149	0.237	0.124	0.422	0.313	0.347	0.333	0.261	0.184	0.358	0.416
v[6]	0.200	0.598	0.101	0.256	0.749	0.237	0.125	0.322	0.313	0.367	0.333	0.261	0.184	0.358	0.316
v[7]	0.585	0.597	1.006	0.772	0.141	1.482	0.873	0.344	1.385	0.588	1.238	1.464	0.616	0.344	0.049
v[8]	0.925	1.698	1.158	1.223	1.588	1.906	1.074	1.238	1.754	1.252	1.555	1.524	0.934	1.285	1.035
v[9]	2.020	1.910	2.367	2.075	3.875	3.997	2.223	2.549	3.563	2.819	3.995	4.078	2.002	2.915	2.437
v[10]	1.791	3.233	2.154	2.360	3.262	3.494	1.394	2.695	3.397	2.546	3.076	3.217	1.747	2.465	2.366
v[11]	0.946	0.368	0.508	0.210	0.178	0.381	0.093	0.166	0.186	0.229	0.216	0.706	0.179	0.621	0.212
v[12]	2.139	2.519	2.857	3.043	2.599	2.925	1.545	2.479	3.366	2.360	2.941	2.724	1.164	2.761	2.020
v[13]	2.074	0.568	0.575	1.161	0.876	0.302	1.036	0.316	1.269	2.031	1.460	0.575	0.721	1.000	0.449
v[14]	2.526	2.306	2.643	2.030	2.346	2.711	1.331	2.466	3.153	2.147	2.776	2.511	0.950	2.648	2.307
v[15]	2.449	2.174	2.536	2.722	2.776	2.604	1.244	2.588	2.838	2.080	2.040	2.271	0.843	2.441	2.060
v[16]	2.419	2.174	2.516	2.722	2.718	2.604	1.224	2.588	2.838	2.040	2.040	2.271	0.843	2.441	2.060
v[17]	2.419	2.174	2.536	2.723	2.798	2.604	1.224	2.588	2.838	2.040	2.040	2.271	0.843	2.441	2.060
v[18]	1.921	0.241	0.361	1.701	0.861	1.701	0.467	2.122	2.076	0.308	1.110	1.249	0.421	1.040	1.516
v[19]	1.775	0.244	0.276	1.842	0.577	0.003	0.757	0.037	0.762	1.732	1.161	0.276	0.422	0.401	0.184
v[20]	0.090	0.537	0.073	0.216	0.471	0.314	0.089	0.114	0.027	0.134	0.045	0.722	0.115	0.311	0.031
v[21]	12.170	8.761	2.513	8.690	1.876	4.706	4.492	8.837	3.115	2.489	12.719	13.931	0.678	4.566	2.411
v[22]	12.170	8.761	2.583	8.690	1.876	4.706	4.492	8.837	3.115	2.489	12.719	13.931	0.678	4.566	2.411
v[23]	0.091	0.131	0.066	0.066	0.187	0.261	0.171	0.194	0.319	0.171	0.045	0.043	0.087	0.166	0.135
v[24]	0.091	0.131	0.066	0.066	0.187	0.261	0.171	0.194	0.319	0.171	0.045	0.043	0.087	0.166	0.135
v[25]	0.091	0.131	0.066	0.066	0.187	0.261	0.171	0.194	0.319	0.171	0.045	0.043	0.087	0.166	0.135
v[26]	0.091	0.131	0.066	0.066	0.187	0.261	0.171	0.194	0.319	0.171	0.045	0.043	0.087	0.166	0.135
v[27]	0.091	0.131	0.066	0.066	0.187	0.261	0.171	0.194	0.319	0.171	0.045	0.043	0.087	0.166	0.135
v[28]	0.091	0.131	0.066	0.066	0.187	0.261	0.171	0.194	0.319	0.171	0.045	0.043	0.087	0.166	0.135
v[29]	0.091	0.131	0.066	0.066	0.187	0.261	0.171	0.194	0.319	0.171	0.045	0.043	0.087	0.166	0.135
v[30]	0.091	0.131	0.066	0.066	0.187	0.261	0.171	0.194	0.319	0.171	0.045	0.043	0.087	0.166	0.135
v[31]	0.091	0.131	0.066	0.066	0.187	0.261	0.171	0.194	0.319	0.171	0.045	0.043	0.087	0.166	0.135
v[32]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
v[33]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
v[34]	0.091	0.131	0.066	0.066	0.187	0.261	0.171	0.194	0.319	0.171	0.045	0.043	0.087	0.166	0.135
v[35]	0.091	0.131	0.066	0.066	0.187	0.261	0.171	0.194	0.319	0.171	0.045	0.043	0.087	0.166	0.135
v[36]	1.207	18.437	20.442	17.607	26.507	19.781	9.724	18.684	19.990	13.839	17.264	7.277	16.338	16.476	
v[37]	1.3693	8.724	4.876	9.862	1.405	4.438	4.318	9.971	4.136	0.584	12.120	13.381	0.644	5.827	3.899
v[38]	1.613	0.000	2.367	1.448	0.002	-1.096	0.215	0.648	1.048	0.249	0.172	0.082	0.941	0.219	
Total	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$\sum \text{ATP}$	23.174	35.400	37.940	32.889	38.594	37.084	14.769	34.676	34.706	27.404	32.941	34.797	16.925	32.662	20.680

ค่ามาตรฐานที่ 3 ผลการร่าง kostka ของ ATP หลังจากที่ออกงาน ATP ซึ่งมีความต้านทานต่อฟลักซ์ที่เปลี่ยนแปลงลงถึง Cysteine

(ເລ) ຖະແຫຼງທີ່ໃຈ

ตารางที่ ก-4 ผลลัพธ์การจัดตั้งทางเคมีของ ATP เหลืองที่ต่อกันโดยค่าพารามิเตอร์ของยีน Asparagine

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
v[1]	1.966	2.637	1.823	3.071	2.493	2.216	2.829	3.172	3.329	2.273	2.034	3.399	2.569	3.124	2.694
v[2]	1.976	2.412	1.946	1.858	2.421	2.004	2.116	1.512	2.101	1.853	1.659	1.996	2.935	1.906	1.608
v[3]	1.145	1.146	2.207	0.649	1.396	1.184	0.246	1.077	0.716	1.154	1.139	0.985	1.098	1.472	0.733
v[4]	0.171	1.000	0.428	0.695	0.872	0.733	0.492	0.798	0.566	0.738	0.683	0.563	0.742	1.091	0.601
v[5]	2.333	0.539	0.138	0.309	0.618	0.577	0.128	0.523	0.343	0.377	0.554	0.377	0.482	0.377	0.379
v[6]	0.612	0.590	0.169	0.340	0.738	0.608	0.159	0.554	0.374	0.477	0.545	0.313	0.579	0.751	0.392
v[7]	0.012	0.169	0.140	0.169	0.708	0.608	0.159	0.554	0.374	0.607	0.545	0.513	0.570	0.751	0.392
v[8]	0.005	0.230	0.042	1.168	0.687	0.194	1.533	1.041	1.162	0.241	0.186	1.724	0.958	0.174	0.870
v[9]	1.131	1.141	1.129	1.794	1.424	1.361	1.820	2.098	2.499	1.406	2.700	2.037	3.626	1.604	
v[10]	2.777	3.261	2.377	3.886	5.507	3.290	3.704	4.700	5.322	3.369	3.146	5.863	4.582	3.944	
v[11]	2.369	2.237	2.239	2.839	2.376	3.152	3.408	3.520	2.419	2.380	3.411	3.666	3.848	2.789	
v[12]	0.216	0.169	0.325	0.083	0.274	0.089	0.251	0.145	0.120	0.071	0.253	0.001	0.901	0.155	0.224
v[13]	2.944	2.863	3.354	2.961	1.540	2.917	2.682	2.859	2.956	2.089	2.857	2.873	2.977	2.774	3.018
v[14]	2.849	2.541	2.564	2.432	1.614	0.948	1.076	2.715	2.742	2.615	2.717	2.654	1.271	1.503	0.294
v[15]	2.751	2.650	3.041	2.738	2.289	2.704	2.469	2.446	2.742	2.675	2.743	2.659	2.784	2.521	2.825
v[16]	2.376	2.543	2.924	2.631	2.182	2.597	2.362	2.538	2.538	2.636	2.542	2.644	2.414	2.716	
v[17]	2.376	2.540	2.934	2.631	2.182	2.597	2.362	2.535	2.535	2.558	2.552	2.644	2.414	2.718	
v[18]	3.134	3.134	4.634	3.101	2.511	3.803	2.557	2.654	2.713	3.702	3.877	2.617	3.644	2.465	3.621
v[19]	0.074	0.301	2.729	0.299	0.868	1.946	1.585	0.121	0.193	0.362	0.219	0.187	1.585	1.211	2.322
v[20]	3.437	2.532	1.884	2.722	1.643	1.854	0.972	2.590	2.543	3.440	3.639	2.420	3.599	1.254	1.610
v[21]	0.626	0.204	0.009	0.520	0.520	0.764	0.417	1.152	1.662	0.811	0.627	2.252	0.776	0.467	0.621
v[22]	0.296	0.284	0.069	0.520	0.520	0.764	0.417	1.152	1.662	0.811	0.627	2.252	0.776	0.467	0.621
v[23]	0.266	0.284	0.069	0.520	0.520	0.764	0.417	1.152	1.662	0.811	0.627	2.252	0.776	0.467	0.621
v[24]	0.678	0.236	0.176	0.273	0.092	0.044	0.252	0.162	0.114	0.289	0.116	0.165	0.090	0.238	
v[25]	0.696	0.330	0.176	0.273	0.082	0.044	0.252	0.162	0.114	0.289	0.116	0.165	0.090	0.238	
v[26]	0.376	0.130	0.176	0.273	0.082	0.044	0.252	0.162	0.114	0.289	0.116	0.165	0.090	0.238	
v[27]	0.130	0.130	0.116	0.272	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.289	0.116	0.165	0.090	0.238	
v[28]	0.076	0.130	0.116	0.272	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.289	0.116	0.165	0.090	0.238	
v[29]	0.000	0.116	0.116	0.272	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.289	0.116	0.165	0.090	0.238	
v[30]	0.130	0.116	0.116	0.272	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.289	0.116	0.165	0.090	0.238	
v[31]	0.048	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
v[32]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
v[33]	0.199	0.062	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
v[34]	0.000	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[35]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[36]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[37]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[38]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[39]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[40]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[41]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[42]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[43]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[44]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[45]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[46]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[47]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[48]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[49]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[50]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[51]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[52]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[53]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[54]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[55]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[56]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[57]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[58]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[59]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[60]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[61]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[62]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[63]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[64]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[65]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[66]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044	0.252	0.121	0.114	0.281	0.115	0.165	0.090	0.238	0.127
v[67]	0.130	0.116	0.116	0.271	0.082	0.044									

ตารางที่ 4 (๗๖)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			
v[1]	2.324	2.322	2.965	3.065	3.079	3.304	2.244	3.216	2.769	2.063	3.224	3.390	3.130	3.146	2.969	2.960	2.967	2.967	2.967	2.967	2.967	2.967	2.967	2.967	2.967	2.967	2.967	2.967	2.967	2.967	2.967		
v[2]	0.936	1.130	2.622	1.889	2.152	2.242	0.904	1.576	1.851	1.891	2.265	1.440	2.419	0.876	2.940	0.876	0.876	0.876	0.876	0.876	0.876	0.876	0.876	0.876	0.876	0.876	0.876	0.876	0.876	0.876	0.876	0.876	
v[3]	0.264	0.055	0.462	0.713	1.025	0.825	0.16	0.660	1.024	1.090	1.077	0.595	1.538	0.233	1.534	0.233	0.233	0.233	0.233	0.233	0.233	0.233	0.233	0.233	0.233	0.233	0.233	0.233	0.233	0.233	0.233	0.233	
v[4]	0.377	0.847	0.741	0.928	0.782	0.818	0.266	0.777	0.682	0.695	0.800	0.774	0.671	0.259	1.070	0.259	0.259	0.259	0.259	0.259	0.259	0.259	0.259	0.259	0.259	0.259	0.259	0.259	0.259	0.259	0.259	0.259	
v[5]	0.116	0.012	0.485	0.341	0.487	0.398	0.092	0.114	0.537	0.529	0.523	0.169	0.753	0.101	0.751	0.101	0.101	0.101	0.101	0.101	0.101	0.101	0.101	0.101	0.101	0.101	0.101	0.101	0.101	0.101	0.101	0.101	
v[6]	0.147	0.043	0.495	0.372	0.418	0.428	0.123	0.123	0.345	0.568	0.560	0.554	0.479	0.784	0.132	0.782	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132
v[7]	0.147	0.043	0.495	0.372	0.418	0.428	0.123	0.123	0.345	0.568	0.560	0.554	0.479	0.784	0.132	0.782	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	
v[8]	1.372	1.162	0.912	1.047	1.244	1.244	0.932	1.157	1.003	1.013	1.248	1.155	0.993	1.014	1.248	1.155	1.155	1.155	1.155	1.155	1.155	1.155	1.155	1.155	1.155	1.155	1.155	1.155	1.155	1.155	1.155	1.155	
v[9]	1.617	1.413	1.561	1.835	1.898	1.854	1.492	1.845	2.018	2.018	2.061	2.118	2.054	1.258	2.054	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258	
v[10]	2.350	3.149	4.246	4.031	4.263	4.016	3.085	4.065	4.553	4.553	4.764	4.677	5.058	5.162	4.985	3.789	4.985	3.789	3.789	3.789	3.789	3.789	3.789	3.789	3.789	3.789	3.789	3.789	3.789	3.789	3.789	3.789	
v[11]	2.630	2.826	3.472	3.237	3.557	3.469	2.589	3.556	2.873	2.873	2.873	2.873	2.873	2.873	2.873	2.873	2.873	2.873	2.873	2.873	2.873	2.873	2.873	2.873	2.873	2.873	2.873	2.873	2.873	2.873			
v[12]	0.225	0.513	0.565	0.100	0.466	0.093	0.023	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249			
v[13]	2.244	3.249	2.562	1.963	2.313	2.874	2.038	2.945	2.368	2.354	2.354	2.354	2.354	2.354	2.354	2.354	2.354	2.354	2.354	2.354	2.354	2.354	2.354	2.354	2.354	2.354	2.354	2.354	2.354				
v[14]	3.376	0.028	2.247	1.981	2.779	2.501	0.744	2.789	2.840	2.188	2.740	2.635	2.752	2.752	2.752	2.752	2.752	2.752	2.752	2.752	2.752	2.752	2.752	2.752	2.752	2.752	2.752	2.752	2.752				
v[15]	2.090	3.058	2.748	2.770	2.700	2.663	2.663	2.933	2.556	1.717	2.645	2.548	2.633	2.536	2.536	2.536	2.536	2.536	2.536	2.536	2.536	2.536	2.536	2.536	2.536	2.536	2.536	2.536	2.536	2.536			
v[16]	1.913	2.928	2.644	2.643	2.643	2.643	2.643	2.643	2.643	2.643	2.643	2.643	2.643	2.643	2.643	2.643	2.643	2.643	2.643	2.643	2.643	2.643	2.643	2.643	2.643	2.643	2.643	2.643	2.643	2.643			
v[17]	0.923	2.841	2.641	2.695	2.695	2.695	2.695	2.695	2.695	2.695	2.695	2.695	2.695	2.695	2.695	2.695	2.695	2.695	2.695	2.695	2.695	2.695	2.695	2.695	2.695	2.695	2.695	2.695	2.695	2.695			
v[18]	2.700	4.015	2.695	3.074	2.614	2.628	1.831	2.719	3.207	3.207	3.207	2.618	2.618	2.618	2.618	2.618	2.618	2.618	2.618	2.618	2.618	2.618	2.618	2.618	2.618	2.618	2.618	2.618	2.618				
v[19]	0.846	3.159	0.456	0.981	0.123	0.335	1.753	0.176	0.007	0.743	1.370	1.124	2.878	0.071	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002		
v[20]	1.355	0.817	2.002	2.003	2.492	2.273	0.588	2.543	2.343	2.343	2.343	2.343	2.343	2.343	2.343	2.343	2.343	2.343	2.343	2.343	2.343	2.343	2.343	2.343	2.343	2.343	2.343	2.343	2.343	2.343			
v[21]	0.561	0.233	0.337	0.645	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237			
v[22]	0.561	0.233	0.337	0.645	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237			
v[23]	0.561	0.233	0.337	0.645	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237			
v[24]	0.561	0.233	0.337	0.645	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237			
v[25]	0.561	0.233	0.337	0.645	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237			
v[26]	0.561	0.233	0.337	0.645	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237			
v[27]	0.561	0.233	0.337	0.645	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237			
v[28]	0.561	0.233	0.337	0.645	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237			
v[29]	0.561	0.233	0.337	0.645	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237			
v[30]	0.561	0.233	0.337	0.645	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237			
T _{max}	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30																		
Objective $\sum A_{ij}P_j$	25.806	34.000	39.332	36.205	38.502	36.228	35.967	35.703	35.500	35.305	35.109	34.900	34.704	34.500	34.300	34.100	33.900	33.700	33.500	33.300	33.100	32.900	32.700	32.500	32.300	32.100	31.900	31.700	31.500	31.300	31.100		

ตารางที่ ก-5 ผลการจำลองทางเคมีของ ATP ให้กับกระบวนการบันทุมีน Threonine

	Time	Objective \sum ATP	35.777	43.151	41.498	43.632	41.317	36.078	39.997	33.551	30.705	39.265	44.259	37.121	36.507	31.256	36.793
v[1]	1.078	2.981	2.891	3.063	2.485	1.752	2.765	2.779	2.430	2.472	3.649	1.936	2.920	2.132	1.45*		
v[2]	0.854	1.876	1.732	2.286	1.915	0.959	1.456	2.006	1.519	2.006	2.002	1.081	1.106	0.586			
v[3]	0.200	1.106	1.021	1.365	0.990	0.688	1.136	0.424	0.945	1.810	0.388	0.040	0.633	0.587			
v[4]	0.349	0.970	0.642	0.921	0.746	0.382	0.538	0.424	0.424	0.571	1.006	0.425	0.248	0.433	0.249		
v[5]	0.285	0.537	0.495	0.547	0.480	0.229	0.408	0.552	0.196	0.385	0.279	0.475	0.196	0.240	0.128		
v[6]	0.115	0.568	0.526	0.698	0.510	0.260	0.438	0.853	0.237	0.467	0.916	0.459	0.506	0.332	0.159		
v[7]	0.115	0.368	0.286	0.698	0.510	0.260	0.438	0.483	0.227	0.467	0.916	0.309	0.506	0.332	0.159		
v[8]	2.209	1.060	1.144	0.761	0.555	0.745	1.204	1.295	0.938	0.839	0.802	1.014	0.855				
v[9]	2.394	2.176	2.146	2.108	1.526	1.255	2.121	1.512	1.400	1.822	2.007	1.745	1.625	1.124			
v[10]	4.566	4.871	4.768	4.864	3.531	2.719	4.626	3.558	3.777	4.061	4.883	3.073	3.984	3.521	2.365		
v[11]	3.285	3.609	3.563	3.526	2.734	2.229	3.427	3.013	2.865	2.939	3.407	2.98	3.297	3.177	1.618		
v[12]	0.134	0.557	0.401	0.391	0.198	0.406	0.591	0.223	0.185	0.396	0.287	0.191	0.226	0.924	0.060		
v[13]	2.616	2.944	2.899	2.861	2.089	1.564	2.742	2.146	2.221	2.775	2.742	1.733	2.612	0.953			
v[14]	1.377	0.299	0.546	0.299	1.344	3.256	2.435	0.913	1.207	1.914	0.910	1.544	2.054	1.474	3.631		
v[15]	2.415	2.804	2.701	2.708	3.093	3.211	2.847	2.791	2.319	1.853	2.529	3.016	2.546	2.302	3.541		
v[16]	2.307	2.697	2.594	2.601	2.601	2.601	2.601	2.740	2.094	2.212	2.745	2.422	2.909	2.195	3.834		
v[17]	2.207	2.497	2.394	2.494	2.494	2.494	2.494	2.740	2.084	2.212	2.745	2.422	2.909	2.195	3.824		
v[18]	2.307	2.697	2.594	2.601	2.958	3.104	2.740	2.084	2.212	2.745	2.422	2.909	2.195	3.824			
v[19]	1.239	2.697	2.017	2.601	1.943	0.147	0.634	1.451	1.304	1.304	1.304	1.664	0.857	1.020	0.103		
v[20]	0.090	0.356	0.000	0.045	0.000	0.045	0.957	2.135	0.634	1.544	1.754	1.175	3.331				
v[21]	0.079	1.123	1.065	1.198	0.618	0.350	1.014	2.740	2.084	2.212	2.745	2.422	2.909	2.195	3.824		
v[22]	1.423	1.423	1.065	1.198	0.618	0.350	1.014	2.740	2.084	2.212	2.745	2.422	2.909	2.195	3.824		
v[23]	1.423	1.423	1.065	1.198	1.259	1.838	2.106	1.361	0.460	1.063	1.737	2.033	0.877	0.118	3.640		
v[24]	0.152	0.152	0.152	0.154	0.141	0.154	0.041	0.038	0.170	0.096	0.022	0.024	0.176	0.030	0.019		
v[25]	0.152	0.120	0.034	0.141	0.141	0.154	0.041	0.038	0.170	0.096	0.022	0.024	0.176	0.030	0.019		
v[26]	0.152	0.060	0.060	0.069	0.000	0.069	0.041	0.026	0.170	0.096	0.022	0.024	0.176	0.030	0.019		
v[27]	0.152	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
v[28]	0.152	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
v[29]	0.152	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
v[30]	0.152	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
v[31]	0.152	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
v[32]	0.152	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
v[33]	0.152	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
v[34]	0.152	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
v[35]	0.152	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
v[36]	17.549	21.262	20.423	21.597	21.616	19.274	20.444	18.089	16.221	20.024	21.758	19.004	19.852	15.912	19.894		
v[37]	0.033	0.097	0.039	0.084	0.143	1.882	0.321	0.079	0.334	0.314	0.023	0.519	0.076	0.076	2.374		
v[38]	0.009	0.074	0.046	0.061	1.220	1.659	0.299	0.686	0.211	0.791	0.000	0.000	0.029	0.029	0.003	2.801	
Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		

ตารางที่ ก-5 (ต่อ)

	Time.	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
v[1]	2.907	2.183	2.748	2.394	3.041	3.075	2.451	3.121	2.692	3.031	2.804	2.581	2.862	2.563	3.01	
v[2]	1.125	0.575	0.773	1.774	1.794	1.060	1.911	1.105	1.980	1.105	1.774	1.218	2.319	2.304	2.041	
v[3]	0.663	0.463	0.355	1.076	0.623	1.623	0.299	1.701	1.292	1.512	1.428	1.684	1.131	1.724		
v[4]	0.456	0.272	0.366	0.698	0.699	1.253	0.368	1.246	1.129	0.838	1.945	0.836	1.618	0.757	0.838	
v[5]	0.216	0.135	0.162	0.523	0.496	1.296	0.134	0.834	0.372	0.630	0.790	0.699	0.819	0.580	0.630	
v[6]	0.247	0.167	0.193	0.553	0.427	0.427	0.165	0.865	0.603	0.661	0.742	0.790	0.580	0.594	0.641	
v[7]	0.347	0.187	0.193	0.553	0.427	0.327	0.165	0.865	0.603	0.661	0.821	0.730	0.580	0.594	0.641	
v[8]	1.317	1.563	2.039	1.265	1.272	0.900	1.928	0.909	0.697	0.697	1.000	0.281	0.000	0.597	0.697	
v[9]	1.984	1.877	2.346	2.262	2.035	1.654	2.208	1.682	1.452	1.970	1.593	1.649	1.639	1.579		
v[10]	4.118	4.870	4.484	5.037	4.447	3.986	4.132	4.178	3.256	4.550	3.956	4.021	4.098	3.420	4.550	
v[11]	3.190	3.689	3.105	3.465	3.674	3.252	3.357	3.449	2.846	3.383	3.015	3.055	2.717	3.393		
v[12]	0.512	0.415	0.266	0.400	0.582	0.116	0.431	0.284	0.073	0.281	0.122	0.363	0.281	0.281		
v[13]	2.526	2.484	2.800	3.009	2.598	2.693	2.811	2.171	2.739	2.332	2.351	2.390	2.053	2.719		
v[14]	1.798	0.289	0.821	0.399	0.872	0.440	0.506	0.421	2.544	2.152	1.381	0.504	0.419	0.603	2.153	
v[15]	2.635	3.436	2.775	2.819	2.804	2.960	3.051	2.598	3.126	2.522	2.734	2.916	2.717	2.522		
v[16]	3.320	3.329	2.668	2.711	2.697	2.983	2.944	2.490	3.019	2.415	2.829	2.809	2.920	2.947	2.415	
v[17]	2.728	3.129	2.668	2.711	2.697	2.983	2.944	2.490	3.019	2.415	2.829	2.809	2.920	2.947	2.415	
v[18]	3.328	3.329	2.668	2.711	2.697	2.983	2.944	2.490	3.019	2.415	2.829	2.809	2.920	2.947		
v[19]	1.079	3.329	0.446	2.711	2.124	2.442	2.177	2.375	2.804	0.563	1.548	2.605	2.564	2.643	0.563	
v[20]	1.499	0.000	2.522	0.000	0.573	0.141	0.207	0.120	2.115	1.852	1.081	0.204	0.120	0.304	1.552	
v[21]	0.888	0.162	1.590	1.422	0.634	0.384	1.855	0.580	0.281	0.028	0.820	0.866	0.961	1.028		
v[22]	0.848	0.462	1.590	1.422	0.634	0.384	1.855	0.580	0.281	0.028	0.820	0.866	0.961	1.028		
v[23]	1.310	1.507	2.118	1.654	0.642	2.869	1.406	0.580	1.440	1.044	1.438	1.645	2.178	1.044		
v[24]	0.128	0.023	0.034	0.063	0.191	0.375	0.124	0.538	0.142	0.095	0.142	0.025	0.087	0.085	0.085	
v[25]	0.028	0.023	0.034	0.063	0.191	0.275	0.172	0.338	0.145	0.095	0.142	0.025	0.087	0.085	0.085	
v[26]	0.028	0.000	0.021	0.000	0.136	0.077	0.122	0.122	0.076	0.095	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	
v[27]	0.028	0.000	0.021	0.000	0.136	0.077	0.122	0.066	0.076	0.095	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	
v[28]	0.028	0.000	0.021	0.000	0.136	0.077	0.122	0.066	0.076	0.095	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	
v[29]	0.028	0.000	0.021	0.000	0.136	0.077	0.122	0.066	0.076	0.095	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	
v[30]	0.028	0.000	0.021	0.000	0.136	0.077	0.122	0.066	0.076	0.095	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	
v[31]	0.028	0.000	0.021	0.000	0.136	0.077	0.122	0.066	0.076	0.095	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	
v[32]	0.028	0.000	0.021	0.000	0.136	0.077	0.122	0.066	0.076	0.095	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	
v[33]	0.028	0.000	0.021	0.000	0.136	0.077	0.122	0.066	0.076	0.095	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	
v[34]	0.028	0.000	0.021	0.000	0.136	0.077	0.122	0.066	0.076	0.095	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	
v[35]	1.464	1.268	0.987	3.248	4.070	6.294	2.205	6.334	4.564	4.499	5.783	5.021	5.875	4.577	4.499	
v[36]	18.417	20.819	18.034	21.285	22.346	20.470	22.773	21.541	20.906	21.964	21.870	22.205	21.594	20.006		
v[37]	2.145	1.268	0.571	0.215	0.131	0.126	0.194	0.023	1.191	0.039	0.441	0.392	0.573	1.234	0.039	
v[38]	0.141	0.322	1.245	0.548	0.212	0.008	0.026	0.572	0.093	1.168	0.017	0.618	0.250	1.215	0.017	
Time.																
Observe $\sum AIP$	36.267	43.431	36.023	43.785	40.625	42.957	42.124	39.245	44.224	42.336	44.600	43.587	39.245			

ภาคผนวก ข

ผลจำลองการจำลองหาค่า V_a มากที่สุด

ตารางที่ บุ๊ค-1 ผลการจำลองหาค่า V_{fa} มากที่สุดของวงจร V_{fa} โครงปานแคมอลติกพลังงาน

	4.359	1.705	4.382	4.419	4.382	5.087	4.345	4.923	4.112	4.571	4.851	4.340	4.944	
v[1]	1.645	0.816	2.065	3.239	2.023	1.015	0.319	1.354	1.394	1.894	2.191	1.652	2.359	1.865
v[2]	0.332	0.247	0.282	1.583	0.655	0.319	0.15	0.481	0.215	0.144	0.423	0.609	0.533	0.596
v[3]	1.114	0.569	1.802	1.746	1.368	0.746	1.544	1.342	1.210	1.470	1.582	1.119	1.691	1.269
v[4]	0.000	0.093	0.001	0.495	0.000	0.696	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
v[5]	0.532	0.214	0.281	1.088	0.655	0.319	0.119	0.481	0.215	0.144	0.423	0.609	0.533	0.596
v[6]	0.532	0.214	0.281	1.088	0.655	0.319	0.119	0.481	0.215	0.144	0.423	0.609	0.533	0.596
v[7]	3.098	0.874	2.083	1.075	2.443	3.987	2.271	3.084	2.142	2.743	2.661	2.473	2.389	3.064
v[8]	3.098	0.874	2.083	1.075	2.443	3.987	2.271	3.084	2.142	2.743	2.661	2.473	2.389	3.064
v[9]	3.611	1.102	2.526	2.640	3.579	4.287	2.746	3.546	2.636	2.887	3.069	3.235	3.187	3.441
v[10]	2.702	2.217	5.033	3.754	7.138	8.555	5.518	7.072	5.256	5.115	6.451	6.355	6.457	7.263
v[11]	5.980	2.078	4.923	5.615	6.302	5.736	6.022	5.117	5.233	5.940	6.065	5.416	6.317	6.157
v[12]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.128	0.014	0.510	0.007	0.000	0.010
v[13]	4.134	1.111	3.769	3.826	4.389	4.494	1.751	4.457	3.484	4.432	4.487	4.264	3.746	4.361
v[14]	3.261	0.496	3.123	1.680	2.017	2.859	1.649	1.884	2.077	1.961	1.243	2.669	2.669	2.967
v[15]	3.921	0.898	3.558	3.613	4.178	4.281	3.538	4.244	3.270	4.220	4.274	4.041	3.333	4.164
v[16]	3.313	0.640	3.219	2.943	3.443	3.845	2.951	3.251	2.879	4.000	3.773	3.345	2.924	3.425
v[17]	3.313	0.640	3.219	2.943	3.443	3.845	2.951	3.251	2.879	4.000	3.773	3.345	2.924	3.425
v[18]	3.313	0.540	3.219	2.943	3.443	3.845	2.951	3.251	2.879	4.000	3.773	3.345	2.924	3.425
v[19]	0.832	0.594	0.475	2.125	2.352	1.633	2.672	2.752	0.966	2.451	3.223	1.594	1.057	2.231
v[20]	2.481	0.046	2.794	0.818	1.663	2.257	0.776	0.935	1.693	1.549	0.550	1.861	1.467	1.111
v[21]	1.262	0.000	0.000	0.697	2.680	0.000	0.911	0.000	0.000	0.252	0.000	0.000	0.000	0.046
v[22]	1.262	0.000	0.000	0.697	2.680	0.000	0.911	0.000	0.000	0.252	0.000	0.000	0.000	0.046
v[23]	1.262	0.000	0.000	0.697	2.680	0.000	0.911	0.000	0.000	0.252	0.000	0.000	0.000	0.046
v[24]	2.501	0.273	1.459	0.576	0.332	0.365	0.249	0.780	2.795	0.945	0.940	0.891	0.504	0.591
v[25]	0.501	0.273	1.459	0.576	0.332	0.365	0.249	0.780	0.945	0.940	0.891	0.504	0.591	0.591
v[26]	0.501	0.273	1.459	0.576	0.332	0.365	0.249	0.780	0.945	0.940	0.891	0.504	0.591	0.591
v[27]	0.501	0.151	0.230	0.561	0.224	0.289	0.460	1.450	0.484	0.113	0.394	0.574	0.502	0.566
v[28]	0.501	0.151	0.230	0.561	0.224	0.289	0.460	1.450	0.484	0.113	0.394	0.574	0.502	0.566
v[29]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
v[30]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
v[31]	0.501	0.151	0.230	0.561	0.224	0.289	0.460	1.450	0.484	0.113	0.394	0.574	0.502	0.566
v[32]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
v[33]	2.614	0.322	4.132	6.936	4.912	1.195	4.113	3.667	3.686	1.811	4.544	4.528	2.496	3.557
v[34]	26.712	4.477	25.867	28.196	29.648	24.490	29.688	22.413	26.561	27.702	23.934	28.779	28.114	
Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15
$\sum ATP$	5.447	32.846	44.525	44.824	36.437	55.047	48.690	32.152	47.548	47.026	42.123	38.973	42.316	46.615

ຄະນະກາງທີ່-I (ກົດ)

ตารางที่ ช-2 ผลการจำลองหาค่า Folic acid Flux (V_a) มาพิจารณาอัตราที่ทันแม่เหล็กซีน Serine

ตารางที่ ๔-๒ (ต่อ)

	Time	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
v[1]	3.685	1.497	2.394	2.865	2.541	3.251	3.015	2.213	2.690	3.207	3.540	2.667	2.657	3.615	2.035	
v[2]	1.617	0.611	1.234	1.811	1.411	1.150	2.672	1.494	2.231	1.257	1.036	2.108	1.751	0.904	0.575	
v[3]	0.531	0.186	0.458	0.769	0.530	1.661	1.371	0.603	1.104	0.402	0.262	1.015	1.015	0.575	0.277	
v[4]	1.996	0.486	0.798	1.022	0.884	1.460	1.102	0.891	1.127	0.835	0.774	1.094	1.094	1.176	0.226	
v[5]	0.000	0.000	0.079	0.211	0.083	0.657	0.513	0.402	0.402	0.000	0.000	0.257	0.257	0.025	0.002	
v[6]	0.521	0.186	0.379	0.578	0.447	1.033	0.857	0.402	0.702	0.402	0.262	0.550	0.550	0.276	0.276	
v[7]	0.521	0.186	0.379	0.578	0.447	1.033	0.857	0.402	0.702	0.402	0.262	0.550	0.550	0.276	0.276	
v[8]	1.633	0.580	1.032	0.579	1.216	0.086	0.327	0.264	0.444	1.935	2.489	0.543	0.543	1.116	1.116	
v[9]	1.356	1.027	1.691	1.748	1.727	1.357	1.679	1.287	1.59	2.723	1.539	2.405	1.374	2.731	2.731	
v[10]	4.892	2.034	3.094	3.688	3.518	4.152	3.861	2.758	3.439	4.617	3.444	3.415	4.815	3.91	3.91	
v[11]	4.538	1.877	2.903	3.549	4.013	3.712	2.618	3.901	4.021	4.074	3.276	4.976	4.976	3.91	3.91	
v[12]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
v[13]	3.929	3.793	2.868	2.829	3.316	2.692	2.947	1.431	2.768	2.699	3.268	2.789	3.425	3.679	3.679	
v[14]	0.790	3.070	2.284	1.198	3.021	2.506	1.682	2.872	1.456	1.625	0.334	1.693	1.693	1.015	1.015	
v[15]	2.807	3.460	2.658	2.616	3.102	2.479	2.134	2.318	2.355	2.483	3.054	2.576	2.576	3.416	3.416	
v[16]	2.909	3.128	2.279	2.172	2.653	2.027	2.314	2.944	2.178	2.004	2.717	2.106	2.610	3.066	3.066	
v[17]	2.269	3.226	2.279	2.172	2.663	2.027	2.414	2.944	2.178	2.004	2.717	2.106	2.610	3.066	3.066	
v[18]	2.209	3.228	2.279	2.172	2.643	2.027	2.314	1.944	2.178	2.004	2.717	2.209	2.209	2.610	2.610	
v[19]	1.269	0.833	0.833	1.610	0.274	1.064	1.244	0.538	1.191	1.050	2.717	1.676	1.676	2.594	2.594	
v[20]	0.000	2.595	1.715	0.562	2.389	1.361	1.070	2.405	0.987	0.955	0.000	0.523	0.523	0.472	0.472	
v[21]	0.914	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.231	0.000	0.000	0.000	
v[22]	8.015	8.146	2.419	0.026	7.214	3.314	1.284	1.284	5.219	0.354	10.474	2.788	4.539	4.539	7.666	
v[23]	8.015	8.346	2.419	0.026	7.214	3.314	1.284	1.284	5.219	0.354	10.474	2.788	4.839	4.839	7.666	
v[24]	0.493	0.166	0.307	0.262	0.245	0.363	0.363	0.409	0.343	0.371	0.400	0.345	0.345	0.544	0.544	
v[25]	0.493	0.168	0.307	0.262	0.245	0.363	0.363	0.409	0.343	0.371	0.400	0.355	0.355	0.544	0.544	
v[26]	0.155	0.269	0.317	0.317	0.312	0.345	0.313	0.167	0.270	0.371	0.371	0.231	0.231	0.245	0.245	
v[27]	0.155	0.269	0.317	0.317	0.312	0.345	0.313	0.167	0.270	0.371	0.371	0.231	0.231	0.245	0.245	
v[28]	0.490	0.155	0.269	0.317	0.312	0.345	0.313	0.167	0.270	0.371	0.371	0.231	0.231	0.245	0.245	
v[29]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
v[30]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
v[31]	0.490	0.155	0.269	0.317	0.312	0.345	0.313	0.167	0.270	0.371	0.371	0.231	0.231	0.245	0.245	
v[32]	0.000	0.014	0.038	0.025	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.026	0.026	
v[33]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
v[34]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
v[35]	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	
v[36]	16.617	18.724	16.311	17.661	19.140	20.086	20.231	19.745	18.213	16.677	20.485	16.053	16.265	21.017	21.017	
v[37]	8.128	11.728	3.587	6.644	8.181	3.348	1.789	1.026	1.026	1.026	1.026	1.879	5.555	1.836	9.655	
v[38]	0.118	2.800	1.148	0.618	1.267	0.134	0.526	1.811	0.672	0.1032	0.1032	0.716	0.403	2.188	2.188	
Time	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
$\sum \Delta T$	28.569	32.035	25.426	28.450	36.035	32.361	33.835	34.472	25.938	25.938	34.485	29.949	32.741	32.741	32.741	

รายงานที่ 3 ผลการจำแนกหาตัว Folic acid Flux (V.) มาตรฐานตามค่าพิเศษที่บัญญัติ Cysteine

ตารางงบภ.3 (๗๐)

	ภ.[1]	3,431	3,678	2,477	3,186	4,310	4,040	4,050	3,455	3,482	3,639	4,753	2,837	2,482	4,223	3,623	
v[2]	1,593	1,683	2,255	2,065	4,225	1,946	1,984	2,533	1,207	2,776	2,297	3,018	2,710	2,710	3,551	3,551	
v[3]	0,526	0,572	1,382	1,724	2,758	1,209	0,990	1,799	1,341	1,464	1,446	1,507	6,260	1,742	2,109	2,109	
v[4]	0,637	1,081	0,873	1,331	1,476	0,732	0,594	1,191	1,486	1,374	0,830	1,551	0,553	0,548	1,342	1,342	
v[5]	0,415	0,234	0,648	0,772	1,264	0,579	0,345	0,514	0,747	0,495	0,718	0,515	0,515	0,515	1,042	1,042	
v[6]	0,537	0,215	1,001	1,395	0,630	0,644	0,837	1,052	0,909	0,749	1,002	1,237	0,986	1,167	1,167	1,167	
v[7]	0,511	0,337	0,735	1,001	1,395	0,600	0,644	0,827	1,052	0,909	0,749	1,002	1,237	0,986	1,167	1,167	
v[8]	2,223	2,000	0,252	0,115	0,060	1,984	2,050	0,317	0,259	0,845	2,441	0,763	1,703	1,698	0,657	0,657	
v[9]	3,130	2,533	1,565	1,820	2,759	3,274	3,921	2,929	2,560	2,230	3,869	2,231	1,944	1,211	2,447	2,447	
v[10]	6,857	5,120	3,758	4,342	6,947	7,107	6,367	4,522	4,867	8,476	8,476	3,892	7,278	5,317	5,317	5,317	
v[11]	4,021	4,694	2,656	3,754	3,749	4,151	4,658	3,891	4,102	3,653	4,442	4,491	2,912	4,001	3,862	3,862	
v[12]	0,000	0,000	0,000	-0,153	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-1,211	0,000	-1,211	-1,211	
v[13]	3,845	3,944	3,930	3,644	3,065	3,620	3,749	3,772	3,523	3,706	3,977	3,600	4,460	3,326	3,170	3,170	
v[14]	2,560	3,147	3,111	3,013	2,168	2,082	3,483	3,466	2,435	3,292	3,756	2,587	3,880	0,680	0,680	0,680	
v[15]	3,682	3,731	3,117	3,431	2,871	3,407	4,156	3,558	3,389	3,493	3,563	3,387	4,246	3,123	2,957	2,957	
v[16]	3,450	3,151	3,254	3,076	2,764	3,282	3,160	3,169	2,929	3,003	3,456	3,813	3,016	2,756	2,756	2,756	
v[17]	3,430	3,151	3,554	3,076	2,764	3,280	3,160	3,169	2,929	3,003	3,456	3,813	3,016	2,756	2,756	2,756	
v[18]	3,490	3,151	3,554	3,076	2,764	3,280	3,160	3,169	2,929	3,003	3,456	3,813	3,016	2,756	2,756	2,756	
v[19]	1,233	1,234	2,526	0,799	0,510	0,916	1,517	0,145	0,285	1,068	2,993	0,000	0,992	0,559	2,586	2,586	
v[20]	2,196	0,625	2,755	2,466	1,346	1,763	3,015	2,884	1,861	2,699	3,456	1,821	3,396	0,930	0,930	0,930	
v[21]	2,496	0,287	0,962	0,469	3,054	2,816	1,570	0,521	0,345	0,320	4,843	0,006	0,480	3,137	1,695	1,695	
v[22]	2,896	0,349	0,962	0,449	3,054	2,616	1,570	0,521	0,345	0,320	4,843	0,006	0,480	3,137	1,695	1,695	
v[23]	2,696	0,287	0,962	0,449	3,054	2,816	1,570	0,521	0,345	0,320	4,843	0,006	0,480	3,137	1,695	1,695	
v[24]	0,664	0,572	0,966	0,248	0,248	0,000	0,000	0,000	0,268	0,283	0,274	0,383	0,000	0,467	0,184	0,184	
v[25]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
v[26]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
v[27]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
v[28]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
v[29]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
v[30]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
v[31]	0,064	0,472	0,056	0,248	0,248	0,000	0,000	0,000	0,268	0,243	0,274	0,374	0,383	0,000	0,467	0,184	0,184
v[32]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
v[33]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
v[34]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
v[35]	2,445	3,720	5,443	6,713	6,654	2,777	3,495	1,621	2,777	2,297	0,374	0,383	0,000	0,467	3,772	4,620	4,620
v[36]	26,197	23,838	25,246	25,333	26,387	26,559	25,538	24,999	25,293	25,041	29,504	24,788	26,930	26,930	26,930	26,930	26,930
v[37]	0,593	0,665	0,058	1,036	0,006	0,180	0,299	1,117	0,641	0,667	0,563	2,577	0,000	0,000	0,147	0,147	0,147
v[38]	0,847	0,859	1,052	1,052	6,000	0,174	0,293	1,111	0,635	0,661	0,769	2,557	2,571	0,000	0,000	0,141	0,141
T _{base}	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	30	
$\sum \Delta T$	55,685	43,550	53,170	48,217	-	57,866	49,477	47,221	-	-	45,982	-	47,933	-	-	5,130	

ตารางที่ บ-4 ผลการวิเคราะห์ Folic acid Flux (V_{fa}) มากที่สุดของโครงสร้างพอลิฟูโรฟลักซ์ที่ดีที่สุด Asparagine

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$\psi[1]$	2.626	3.562	2.744	3.553	3.422	3.411	3.005	2.217	2.872	3.053	3.265	3.533	3.522	2.456	
$\psi[2]$	1.511	1.345	0.650	1.042	1.285	1.046	1.378	0.737	0.555	0.060	1.073	1.427	1.658	1.177	1.422
$\psi[3]$	0.614	0.363	0.337	0.259	0.413	0.157	0.407	0.214	0.168	0.025	0.326	0.454	0.230	0.389	0.485
$\psi[4]$	0.698	0.982	0.412	0.783	0.872	1.539	0.871	0.543	0.587	1.025	0.765	0.975	1.426	1.338	0.777
$\psi[5]$	0.127	0.000	0.041	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.034	0.216
$\psi[6]$	0.487	0.363	0.196	0.259	0.411	0.159	0.368	0.269	0.168	0.670	0.318	0.452	0.240	0.353	0.470
$\psi[7]$	0.487	0.163	0.196	0.259	0.411	0.157	0.348	0.269	0.168	0.670	0.326	0.452	0.230	0.355	0.470
$\psi[8]$	1.099	2.202	0.903	1.686	2.254	1.921	2.118	2.232	1.846	0.796	1.872	1.812	1.780	0.648	
$\psi[9]$	1.694	2.545	3.111	1.926	2.645	2.060	2.505	2.428	1.995	1.813	2.254	2.094	2.150	1.614	
$\psi[10]$	3.496	5.071	6.244	3.832	5.271	4.100	5.079	4.841	3.971	4.489	4.491	4.158	4.315	2.424	
$\psi[11]$	3.356	4.296	3.479	3.271	4.363	3.946	4.681	3.421	2.842	3.490	4.178	4.021	4.175	2.943	
$\psi[12]$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
$\psi[13]$	2.815	3.301	3.186	3.231	3.223	3.239	3.271	3.424	3.484	3.395	3.370	3.383	3.383	3.303	
$\psi[14]$	1.623	1.780	2.650	2.176	0.872	1.864	0.548	2.197	1.251	0.713	0.04	0.395	1.718	1.050	1.524
$\psi[15]$	2.602	3.068	2.973	3.161	3.037	3.020	3.076	3.057	2.249	2.768	3.123	3.156	3.080	2.969	
$\psi[16]$	1.651	2.649	2.741	2.766	2.550	2.787	2.669	2.778	1.975	1.987	2.737	2.628	2.744	2.670	2.659
$\psi[17]$	2.165	2.649	2.741	2.766	2.550	2.787	2.669	2.778	1.975	1.987	2.737	2.628	2.744	2.670	2.659
$\psi[18]$	2.948	2.982	3.5940	3.5940	2.845	2.891	3.141	3.437	2.784	2.980	3.613	3.323	3.048	3.033	4.030
$\psi[19]$	1.471	1.531	0.515	1.117	2.417	1.346	2.721	1.052	1.052	1.474	3.210	3.040	1.524	2.211	1.637
$\psi[20]$	1.777	1.441	2.447	2.413	0.425	1.645	0.421	0.349	0.349	0.403	0.384	0.573	0.413	2.372	
$\psi[21]$	0.000	0.635	2.236	6.422	0.749	0.014	0.809	1.280	0.970	0.342	0.669	0.173	0.004	0.242	
$\psi[22]$	0.500	0.635	2.246	5.422	0.749	0.014	0.809	1.280	0.970	0.342	0.669	0.173	0.004	0.242	
$\psi[23]$	0.000	0.635	2.236	6.422	0.749	0.014	0.809	1.280	0.970	0.342	0.669	0.173	0.004	0.242	
$\psi[24]$	0.329	0.538	0.134	0.443	0.380	1.280	0.421	0.253	0.137	0.273	0.175	0.441	1.115	0.901	0.226
$\psi[25]$	0.339	0.538	0.134	0.443	0.380	1.280	0.421	0.253	0.137	0.273	0.175	0.441	1.115	0.901	0.226
$\psi[26]$	0.329	0.538	0.134	0.443	0.380	1.280	0.421	0.253	0.137	0.273	0.175	0.441	1.115	0.901	0.226
$\psi[27]$	0.329	0.332	0.125	0.238	0.246	0.299	0.126	0.137	0.173	0.273	0.178	0.421	0.199	0.291	
$\psi[28]$	0.329	0.332	0.125	0.238	0.246	0.299	0.126	0.137	0.173	0.273	0.178	0.421	0.199	0.291	
$\psi[29]$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
$\psi[30]$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
$\psi[31]$	0.329	0.332	0.125	0.238	0.246	0.299	0.126	0.137	0.173	0.273	0.178	0.421	0.199	0.291	
$\psi[32]$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
$\psi[33]$	0.329	0.376	0.134	1.307	0.335	0.247	0.515	0.902	0.653	0.245	0.918	0.347	0.394	1.413	
$\psi[34]$	0.793	0.793	0.333	0.121	1.164	0.292	0.204	0.432	0.869	0.203	0.876	0.699	0.304	0.353	1.371
Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$\sum \text{ATP}$	24.108	33.706	38.650	33.411	34.876	28.256	36.312	25.313	29.140	35.667	34.873	29.320	31.325	36.649	

ตารางที่ ภ-4 (ต่อ)

		ผลลัพธ์											
		ผลลัพธ์ที่ 1					ผลลัพธ์ที่ 2						
		ผลลัพธ์ที่ 1		ผลลัพธ์ที่ 2			ผลลัพธ์ที่ 1		ผลลัพธ์ที่ 2				
		ค่าคงที่	ค่าคงที่	ค่าคงที่	ค่าคงที่	ค่าคงที่	ค่าคงที่	ค่าคงที่	ค่าคงที่	ค่าคงที่	ค่าคงที่	ค่าคงที่	ค่าคงที่
ภ-1	1.002	3.456	3.372	3.116	3.395	3.453	3.685	3.147	2.765	1.721	1.190	3.637	3.207
ภ-2	1.116	1.865	1.859	1.321	1.575	2.803	2.816	1.162	1.015	1.015	1.344	1.748	1.257
ภ-3	0.269	0.748	1.263	0.893	0.898	1.344	1.684	0.171	0.170	0.159	0.243	0.217	0.250
ภ-4	0.846	1.118	1.268	0.688	1.420	0.488	0.416	1.111	0.792	1.068	1.101	1.216	1.337
ภ-5	0.000	0.145	0.145	0.000	0.380	0.455	0.128	0.128	0.128	0.128	0.000	0.000	1.446
ภ-6	0.269	4.685	0.748	0.303	0.507	0.876	0.248	0.116	0.370	0.039	0.213	0.276	0.250
ภ-7	0.269	0.905	0.746	0.313	0.417	1.878	0.245	0.116	0.370	0.039	0.243	0.276	0.250
ภ-8	1.871	1.573	0.471	1.950	1.404	0.235	0.235	0.235	0.235	0.235	1.875	2.315	1.745
ภ-9	2.121	2.306	1.721	2.253	2.672	2.646	3.215	2.012	1.879	1.671	2.082	2.483	1.823
ภ-10	4.222	4.726	3.940	4.487	5.706	4.517	6.576	4.781	3.739	5.326	4.167	4.808	4.132
ภ-11	3.550	4.866	3.798	1.931	3.659	4.398	1.934	3.465	3.660	3.664	4.452	3.826	4.925
ภ-12	0.590	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ภ-13	3.592	3.245	2.964	3.309	2.909	1.023	3.129	3.627	3.566	2.186	3.393	3.345	2.994
ภ-14	1.860	2.144	0.385	1.042	1.156	2.277	1.134	2.108	1.494	1.095	1.245	0.543	1.936
ภ-15	3.679	3.061	2.751	3.098	2.776	2.810	2.915	2.414	3.153	2.973	3.680	3.074	2.781
ภ-16	2.213	2.465	2.441	2.717	2.516	2.736	2.195	2.706	2.858	2.560	2.706	2.598	2.598
ภ-17	2.713	2.495	2.441	2.717	2.573	2.316	2.720	2.708	2.858	2.760	2.955	2.786	2.309
ภ-18	3.617	2.877	2.677	3.303	2.761	2.179	2.179	2.399	2.947	2.564	3.489	2.885	3.528
ภ-19	0.371	1.680	2.558	1.806	1.813	0.725	1.973	0.698	1.369	2.050	2.228	2.723	1.956
ภ-20	3.246	1.797	0.119	0.997	0.948	1.654	0.749	1.772	2.066	0.794	1.431	1.116	1.765
ภ-21	0.533	0.246	0.002	0.417	1.918	0.506	2.510	1.183	0.131	1.326	0.273	0.217	1.179
ภ-22	0.533	0.210	0.002	0.417	1.908	0.100	2.504	1.184	0.131	1.326	0.273	0.217	1.166
ภ-23	0.533	0.210	0.002	0.417	1.908	0.206	2.503	1.184	0.131	1.326	0.273	0.217	1.166
ภ-24	0.495	0.430	0.116	0.644	0.699	0.312	0.089	0.111	0.340	0.146	0.276	0.673	0.375
ภ-25	0.495	0.430	0.136	0.644	0.699	0.512	0.109	0.111	0.345	0.946	0.276	0.673	0.375
ภ-26	0.495	0.430	0.136	0.644	0.699	0.512	0.089	0.111	0.345	0.946	0.276	0.673	0.375
ภ-27	0.279	0.430	0.202	0.196	0.387	0.096	0.111	0.145	0.145	0.145	0.345	0.345	0.375
ภ-28	0.279	0.430	0.202	0.196	0.387	0.196	0.111	0.145	0.145	0.145	0.345	0.345	0.375
ภ-29	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ภ-30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ภ-31	0.279	0.430	0.202	0.196	0.387	0.096	0.111	0.145	0.145	0.145	0.345	0.345	0.375
ภ-32	0.279	0.430	0.202	0.196	0.387	0.196	0.111	0.145	0.145	0.145	0.345	0.345	0.375
ภ-33	2.171	3.630	5.634	2.529	2.695	5.988	6.066	4.976	2.694	1.582	2.661	3.106	1.045
ภ-34	2.045	2.045	2.045	2.045	2.045	2.045	2.045	2.045	2.045	2.045	2.045	2.045	2.045
ภ-35	20.452	25.046	21.930	21.118	21.148	21.027	20.887	20.527	21.931	21.216	21.340	19.101	21.548
ภ-36	0.127	0.435	0.279	0.193	0.231	0.106	0.688	0.116	1.284	0.049	0.731	0.287	0.218
ภ-37	0.127	0.435	0.279	0.193	0.231	0.106	0.688	0.116	1.284	0.049	0.731	0.287	0.218
ภ-38	0.684	0.382	0.535	0.586	0.189	0.063	0.037	0.141	0.006	0.688	0.440	0.822	0.284
Total ^a	16	17	18	20	21	22	23	24	25	26	27	28	30
$\sum A_{12}$	25.500	53.410	33.727	41.246	33.616	41.511	33.662	34.122	33.674	34.184	34.244		

ตารางที่ บ-๕ ผลการวิเคราะห์ถอยทางค่า Riboflavin Flux (V_{fb}) มากที่สุดของโครงงานตามอัลกอลิกาชีโร่เพื่อขันกลีโคเจน Threonine

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
v[0]	2.917	3.597	3.056	2.735	3.407	3.212	3.114	3.651	3.290	2.664	1.575	3.329	1.677	3.379	1.818
v[1]	2.375	0.735	2.075	2.160	0.715	1.797	1.681	0.843	0.693	1.465	0.596	1.187	0.676	1.504	0.422
v[2]	0.994	0.140	0.736	0.935	0.031	0.596	1.149	0.031	0.031	0.559	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031
v[3]	0.857	0.402	0.756	0.785	2.210	0.664	0.626	0.159	0.265	11.513	0.261	0.461	0.390	0.611	0.206
v[4]	0.475	0.200	0.347	0.452	0.040	0.283	0.582	0.000	0.046	0.264	0.000	0.022	0.113	0.006	0.006
v[5]	0.506	0.122	0.378	0.463	0.031	0.314	0.113	0.031	0.031	0.265	0.031	0.052	0.188	0.031	0.031
v[6]	0.456	0.122	0.378	0.463	0.031	0.314	0.113	0.031	0.031	0.265	0.031	0.052	0.188	0.031	0.031
v[7]	0.400	0.066	0.242	0.242	0.000	0.122	0.122	0.000	0.000	0.122	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
v[8]	0.346	0.066	0.242	0.242	0.000	0.122	0.122	0.000	0.000	0.122	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
v[9]	1.508	2.963	1.673	1.676	2.668	1.977	1.792	2.806	2.665	1.123	0.981	2.138	2.441	1.383	1.383
v[10]	3.472	5.915	3.673	3.384	5.317	4.218	3.647	5.592	5.353	2.481	1.942	4.557	5.963	4.376	2.746
v[11]	3.069	3.608	3.215	2.867	3.703	3.294	3.481	3.763	3.604	2.425	1.714	3.462	3.490	1.989	1.989
v[12]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.129	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
v[13]	2.346	2.969	2.969	2.551	3.201	3.165	1.619	3.061	3.006	3.018	1.237	3.567	3.893	1.626	1.626
v[14]	1.484	1.487	1.285	1.270	2.099	0.925	2.991	2.092	2.246	3.943	3.227	3.368	3.096	0.976	0.976
v[15]	2.130	2.705	2.337	1.988	2.962	2.406	2.877	2.864	2.815	3.104	3.324	2.660	4.143	3.595	3.595
v[16]	2.033	2.386	2.240	1.866	2.845	2.259	2.270	2.778	2.708	1.247	2.571	1.420	3.420	3.288	3.288
v[17]	2.063	2.586	2.210	1.860	2.845	2.299	2.270	2.778	2.708	1.247	2.571	1.420	3.420	3.288	3.288
v[18]	2.161	2.586	2.230	1.860	2.845	2.299	2.270	2.778	2.708	1.247	2.571	1.420	3.420	3.288	3.288
v[19]	0.835	1.511	1.245	0.911	1.045	1.663	0.023	0.995	0.767	0.581	0.581	0.581	0.581	0.581	0.581
v[20]	1.055	1.055	0.905	0.970	1.860	0.635	2.677	1.782	1.644	2.997	1.048	0.707	0.672	0.412	0.412
v[21]	0.324	0.927	0.318	0.178	0.178	0.178	0.178	0.178	0.178	0.178	0.178	0.178	0.178	0.178	0.178
v[22]	10.772	7.346	8.345	8.345	2.230	1.860	2.845	2.299	2.270	2.778	2.708	1.247	2.571	1.420	3.420
v[23]	0.772	7.346	8.345	8.345	2.230	1.860	2.845	2.299	2.270	2.778	2.708	1.247	2.571	1.420	3.420
v[24]	0.398	0.189	0.297	0.220	0.149	1.268	1.443	0.246	0.153	0.177	0.177	0.177	0.177	0.177	0.177
v[25]	0.399	0.189	0.297	0.220	0.149	1.268	1.443	0.246	0.153	0.177	0.177	0.177	0.177	0.177	0.177
v[26]	0.399	0.189	0.297	0.220	0.149	1.268	1.443	0.246	0.153	0.177	0.177	0.177	0.177	0.177	0.177
v[27]	0.399	0.189	0.297	0.220	0.149	1.268	1.443	0.246	0.153	0.177	0.177	0.177	0.177	0.177	0.177
v[28]	0.399	0.189	0.297	0.220	0.149	1.268	1.443	0.246	0.153	0.177	0.177	0.177	0.177	0.177	0.177
v[29]	0.399	0.189	0.297	0.220	0.149	1.268	1.443	0.246	0.153	0.177	0.177	0.177	0.177	0.177	0.177
v[30]	0.398	0.189	0.297	0.220	0.149	1.268	1.443	0.246	0.153	0.177	0.177	0.177	0.177	0.177	0.177
v[31]	0.399	0.189	0.297	0.220	0.149	1.268	1.443	0.246	0.153	0.177	0.177	0.177	0.177	0.177	0.177
v[32]	0.399	0.189	0.297	0.220	0.149	1.268	1.443	0.246	0.153	0.177	0.177	0.177	0.177	0.177	0.177
v[33]	0.399	0.189	0.297	0.220	0.149	1.268	1.443	0.246	0.153	0.177	0.177	0.177	0.177	0.177	0.177
v[34]	0.399	0.189	0.297	0.220	0.149	1.268	1.443	0.246	0.153	0.177	0.177	0.177	0.177	0.177	0.177
v[35]	0.399	0.189	0.297	0.220	0.149	1.268	1.443	0.246	0.153	0.177	0.177	0.177	0.177	0.177	0.177
v[36]	0.626	19.752	18.210	12.841	1.965	7.399	0.374	0.851	2.296	1.759	3.994	6.259	7.574	6.609	9.168
v[37]	55.448	5.444	8.017	0.000	0.000	0.127	0.000	0.264	0.000	0.023	0.000	2.518	0.019	0.000	2.584
v[38]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Times	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$\sum \text{ATP}$	11.701	36.859	32.761	36.251	38.315	34.244	34.027	38.204	36.720	32.856	32.690	14.412	33.754	37.718	

ທារាងវិប-5 (ទៅ)

		ការងារ													
		សម្រាប់អាជីវកម្ម					សម្រាប់អាជីវកម្ម								
		សម្រាប់អាជីវកម្ម					សម្រាប់អាជីវកម្ម								
		សម្រាប់អាជីវកម្ម													
-1[1]	3.431	3.679	2.967	3.146	3.046	3.070	3.477	3.274	3.351	2.930	2.815	2.866	3.135	2.509	
v[2]	2.176	1.677	2.152	1.442	2.40	1.88	2.218	2.27	2.202	2.741	1.396	1.092	0.946	1.034	0.903
v[3]	0.709	0.694	0.684	0.660	0.83	0.634	0.727	1.39	0.573	1.271	0.172	0.131	0.469	0.135	0.031
v[4]	0.641	0.677	0.782	0.545	0.866	0.461	0.352	0.874	0.799	1.087	0.527	0.299	0.384	0.430	0.246
v[5]	0.314	0.329	0.477	0.390	0.41	0.400	0.274	0.649	0.271	0.566	0.071	0.000	0.219	0.152	0.000
v[6]	0.395	0.665	0.528	0.061	0.442	0.621	0.453	0.640	0.342	0.705	0.102	0.021	0.250	0.183	0.031
v[7]	0.395	0.665	0.508	0.061	0.442	0.621	0.453	0.640	0.342	0.705	0.102	0.021	0.249	0.183	0.031
v[8]	1.560	1.942	0.799	1.691	0.53	1.867	1.244	0.323	1.134	0.174	1.414	1.699	0.063	2.105	1.581
v[9]	2.087	1.764	1.762	1.465	1.878	1.952	2.142	1.688	1.426	1.568	1.731	0.532	2.421	1.593	0.241
v[10]	4.193	4.043	3.965	3.535	3.222	3.737	4.158	4.914	3.626	3.188	3.402	1.284	4.974	3.166	0.242
v[11]	3.644	3.710	3.038	3.181	3.182	3.398	3.845	3.449	3.473	3.119	2.942	2.999	1.125	3.965	2.825
v[12]	0.000	0.000	0.145	0.063	0.217	0.007	0.049	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.138	0.254
v[13]	2.877	3.056	2.373	2.863	2.868	2.715	2.883	2.688	2.756	2.337	2.297	2.006	2.687	2.699	3.032
v[14]	1.264	0.854	0.846	2.037	1.737	2.397	2.302	0.945	2.297	1.111	1.699	2.086	2.748	1.471	2.516
v[15]	2.684	2.822	2.160	2.655	2.655	2.620	2.711	2.545	2.711	2.084	2.393	2.673	2.846	2.819	2.710
v[16]	2.505	2.710	2.083	2.547	2.549	2.414	2.364	2.438	2.414	1.977	2.366	2.378	2.710	2.710	2.710
v[17]	2.505	2.715	2.053	2.547	2.548	2.395	2.414	2.364	2.414	1.977	2.366	2.356	2.710	2.710	2.710
v[18]	2.505	2.710	2.053	2.547	2.548	2.395	2.414	2.364	2.414	1.977	2.366	2.356	2.710	2.710	2.710
v[19]	1.572	2.160	1.507	0.669	1.110	0.192	0.360	2.169	0.446	1.205	0.578	0.099	0.318	1.207	0.493
v[20]	0.934	0.550	0.487	2.338	1.438	2.203	2.054	0.195	1.998	0.743	1.359	1.787	2.449	1.174	2.219
v[21]	0.410	0.193	0.808	0.014	0.000	0.240	0.174	1.426	0.266	0.040	0.213	0.000	1.470	0.423	0.423
v[22]	0.452	0.212	1.354	4.776	0.873	10.523	2.034	1.304	2.566	10.406	0.428	7.013	1.035	5.923	10.442
v[23]	0.452	0.212	1.334	4.776	0.873	10.513	2.036	1.304	2.566	10.406	0.428	7.014	1.035	5.923	10.442
v[24]	0.364	0.193	0.403	0.342	0.342	0.348	0.417	0.112	0.415	0.300	0.343	0.316	0.049	0.145	0.253
v[25]	0.364	0.193	0.403	0.342	0.342	0.348	0.417	0.112	0.415	0.300	0.343	0.316	0.049	0.145	0.253
v[26]	0.364	0.193	0.403	0.342	0.342	0.348	0.417	0.112	0.415	0.300	0.343	0.316	0.049	0.145	0.253
v[27]	0.364	0.193	0.403	0.342	0.342	0.348	0.417	0.112	0.415	0.300	0.343	0.316	0.049	0.145	0.253
v[28]	0.364	0.193	0.403	0.342	0.342	0.348	0.417	0.112	0.415	0.300	0.343	0.316	0.049	0.145	0.253
v[29]	0.313	0.475	0.393	0.403	0.342	0.348	0.417	0.112	0.415	0.300	0.343	0.316	0.049	0.145	0.253
v[30]	0.626	0.951	0.386	0.806	0.694	0.697	0.538	0.348	0.417	0.112	0.415	0.200	0.343	0.316	0.049
v[31]	4.524	0.460	0.193	0.403	0.342	0.348	0.417	0.112	0.415	0.300	0.343	0.316	0.049	0.145	0.253
v[32]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
v[33]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
v[34]	0.313	0.475	0.193	0.403	0.342	0.348	0.417	0.112	0.415	0.191	0.243	0.218	0.049	0.145	0.253
v[35]	4.830	4.724	4.023	3.890	5.426	1.065	4.452	4.246	5.662	3.157	2.660	2.936	1.449	2.790	1.449
v[36]	20.904	21.048	18.093	19.115	20.700	17.938	20.506	20.945	18.065	15.585	16.902	15.244	18.376	18.191	18.191
v[37]	0.442	0.049	10.525	4.914	1.224	10.705	1.162	3.279	2.500	0.548	6.342	7.089	3.462	4.453	11.112
v[38]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.153	0.350	0.032	0.000	0.000	0.000	0.272	0.247	0.000	0.872	0.000
Times	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Total	34.491	33.349	33.249	33.828	30.774	29.255	31.257	32.225	27.646	26.704	24.601	24.601	31.220		

ภาคผนวก ค

ผลจำลองการหาค่า $\nu_{,b}$ มากที่สุด

ตารางที่ ๑-๑ ผลการที่ เลื่อนหาค่า V_{rb} มากที่สุดของ ไครจูปายเมืองคานติกาพัฒนาใน

	4.655	4.435	3.889	5.753	4.343	4.598	4.694	6.386	4.130	5.027	3.517	4.748	4.423	4.358	4.615	
v[1]	0.870	0.630	3.100	0.544	2.107	2.096	1.485	0.449	1.655	1.695	2.021	1.767	0.883	2.871	1.247	
v[2]	0.233	0.114	1.359	0.000	0.576	0.397	0.116	0.116	0.208	0.340	0.179	0.313	0.298	0.670	0.205	
v[3]																
v[4]	0.378	0.305	1.172	0.544	0.846	0.830	0.631	0.565	0.829	0.918	0.930	0.749	0.280	1.045	0.615	
v[5]	0.139	0.026	0.427	-1.325	0.466	0.150	0.207	-1.941	0.031	0.200	0.288	0.114	0.123	0.408	0.008	
v[6]	0.194	0.087	0.732	0.325	0.510	0.247	0.109	0.484	0.175	0.340	0.530	0.201	0.175	0.463	0.196	
v[7]	0.194	0.087	0.732	0.325	0.510	0.247	0.109	0.484	0.174	0.340	0.530	0.201	0.175	0.463	0.196	
v[8]	3.170	3.786	C.774	5.104	2.022	2.466	3.394	5.923	2.060	3.119	1.219	2.966	3.215	1.477	3.352	
v[9]	3.484	3.884	2.113	5.175	2.879	2.865	3.631	5.789	2.846	3.640	1.938	3.262	3.234	1.338		
v[10]	7.398	7.775	4.834	10.075	6.404	5.867	6.969	10.957	5.704	7.361	4.145	6.618	7.712	5.026	7.065	
v[11]	4.174	5.370	4.104	4.459	4.805	5.018	5.854	4.926	5.718	5.810	4.933	4.822	4.481	5.001		
v[12]	0.900	0.824	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
v[13]	3.462	4.645	3.798	5.159	3.750	4.007	4.109	5.794	4.026	4.435	4.026	4.154	3.769	4.021	4.021	
v[14]	1.289	4.454	1.111	5.686	3.052	1.418	2.320	5.771	1.788	1.817	2.021	3.967	1.219	3.859	4.001	
v[15]	3.249	4.432	3.083	4.946	3.337	5.793	4.087	5.851	3.833	4.222	2.710	3.941	3.703	3.536	3.606	
v[16]	3.118	4.295	2.902	4.220	3.417	3.620	3.899	4.421	3.946	3.805	4.181	3.777	3.375	3.425	3.544	
v[17]	3.118	4.295	2.902	4.220	3.417	3.620	3.899	4.421	3.946	3.805	4.181	3.777	3.375	3.425	3.544	
v[18]	3.118	4.295	2.902	4.220	3.417	3.620	3.899	4.421	3.946	3.805	4.181	3.777	3.375	3.425	3.544	
v[19]	2.152	0.170	2.163	0.052	0.677	2.568	1.559	0.002	2.127	2.597	0.710	0.167	3.084	2.529	0.000	
v[20]	0.266	4.174	0.136	4.168	2.741	1.002	1.549	4.619	1.376	1.269	1.781	1.311	0.339	0.896	3.544	
v[21]	2.774	2.266	0.387	2.804	1.825	0.915	1.722	2.253	0.938	1.463	1.546	2.060	0.415	1.925	1.525	
v[22]	2.774	2.566	0.387	2.804	1.825	0.915	1.722	2.253	0.938	1.463	1.546	2.060	0.415	1.925	1.525	
v[23]	2.774	2.266	0.387	2.804	1.825	0.915	1.722	2.253	0.938	1.463	1.546	2.060	0.415	1.925	1.525	
v[24]	0.103	0.136	0.359	0.137	0.355	0.501	0.440	0.000	0.000	0.373	0.516	0.418	0.428	0.123	0.360	
v[25]	0.103	0.136	0.359	0.137	0.355	0.501	0.440	0.000	0.000	0.373	0.516	0.418	0.428	0.123	0.360	
v[26]	0.103	0.136	0.359	0.137	0.355	0.501	0.440	0.000	0.000	0.373	0.516	0.418	0.428	0.123	0.360	
v[27]	0.103	0.136	0.359	0.137	0.355	0.501	0.440	0.000	0.000	0.373	0.516	0.418	0.428	0.123	0.360	
v[28]	0.103	0.136	0.359	0.137	0.355	0.501	0.440	0.000	0.000	0.373	0.516	0.418	0.428	0.123	0.360	
v[29]	0.103	0.136	0.359	0.137	0.355	0.501	0.440	0.000	0.000	0.373	0.516	0.418	0.428	0.123	0.360	
v[30]	0.103	0.136	0.359	0.137	0.355	0.501	0.440	0.000	0.000	0.373	0.516	0.418	0.428	0.123	0.360	
v[31]	0.103	0.136	0.359	0.137	0.355	0.501	0.440	0.000	0.000	0.373	0.516	0.418	0.428	0.123	0.360	
v[32]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
v[33]	0.000	0.000	0.000	-0.14%	0.000	0.000	0.000	-0.103	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
v[34]	0.079	0.106	0.285	0.000	0.243	0.434	0.469	0.269	0.000	0.207	0.307	0.371	0.103	0.477	0.208	
v[35]	0.510	0.510	1.702	0.211	0.279	0.000	0.454	5.137	0.487	5.134	3.643	5.672	4.125	0.423	7.177	
v[36]	23.753	29.903	25.147	31.465	27.754	28.239	29.444	31.114	27.619	29.541	31.066	26.699	26.631	26.895		
Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
$\sum A_{17}$	47.642	58.555	46.375	-	55.076	51.035	-	48.554	57.903	34.776	51.498	54.430	50.515	47.984		

ตารางที่ C-2 ผลการวิเคราะห์ ช. น้ำทัดดูดของไครงค์เยนตามตัวบ่งชี้พัฒนาไปด้วย Serine

	Time.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ค่าคงที่	31.250	36.889	32.364	29.153	38.315	34.244	34.029	38.204	36.720	27.445	33.690	33.754	35.718			
$\sum A_{TP}$																
ค่าคงที่ C-2 ผลการวิเคราะห์	2.937	3.592	3.056	2.755	3.407	5.212	3.314	3.691	3.290	2.664	1.575	2.329	1.677	3.179	1.818	
v[1]	0.715	0.715	2.075	2.160	0.735	1.797	1.683	0.883	0.601	1.465	0.990	1.187	0.676	1.504	0.432	
v[2]	0.981	0.440	0.726	0.935	0.001	0.596	1.195	0.031	0.031	0.559	0.031	0.031	0.301	0.031	0.031	
v[3]	0.857	0.402	0.756	0.710	0.648	0.456	0.359	0.265	0.553	0.261	0.460	0.280	0.611	0.269		
v[4]	0.857	0.447	0.452	0.452	0.000	0.283	0.082	0.000	0.000	0.264	0.000	0.000	0.022	0.113	0.000	
v[5]	0.475	0.018	0.132	0.378	0.043	0.031	0.114	0.113	0.031	0.031	0.031	0.031	0.032	0.108	0.031	
v[6]	0.506	0.132	0.132	0.378	0.483	0.031	0.114	0.113	0.031	0.031	0.031	0.031	0.032	0.108	0.031	
v[7]	0.506	0.132	0.132	0.378	0.483	0.031	0.114	0.113	0.031	0.031	0.031	0.031	0.032	0.108	0.031	
v[8]	0.546	2.842	0.966	0.540	2.656	1.400	1.616	2.674	0.583	0.966	2.177	0.985	1.859	1.571		
v[9]	1.508	2.963	1.673	1.476	2.668	1.977	2.686	2.686	1.125	0.981	2.108	1.040	2.141	1.383		
v[10]	3.472	5.915	3.673	3.384	5.317	4.116	3.647	5.592	5.353	2.981	1.942	4.257	2.083	4.376	2.746	
v[11]	3.009	5.848	3.215	2.867	3.703	3.384	3.491	3.763	3.691	2.192	1.714	3.462	1.989	3.540		
v[12]	0.000	0.000	0.068	0.059	0.224	0.000	0.105	0.000	0.329	0.063	0.068	0.123	0.000	0.100		
v[13]	2.344	2.999	2.551	2.201	3.145	2.819	3.068	3.028	1.527	3.547	1.626	2.785	3.608			
v[14]	1.484	1.487	1.285	1.270	2.699	2.335	2.997	2.082	2.240	0.943	3.217	1.388	1.006	0.976	0.711	
v[15]	2.130	2.785	2.337	1.948	2.942	2.406	2.877	2.863	2.815	1.314	3.154	2.580	1.413	2.572	3.395	
v[16]	2.023	2.586	2.230	1.840	2.845	2.299	2.710	2.778	2.708	1.207	3.247	2.573	1.303	2.630	3.288	
v[17]	2.023	2.586	2.230	1.840	2.845	2.299	2.710	2.778	1.207	3.247	2.573	1.305	2.620			
v[18]	2.023	2.586	2.230	1.840	2.845	2.299	2.710	2.778	1.207	3.247	2.573	1.305	2.620	3.288		
v[19]	0.839	1.511	1.245	0.911	1.045	1.663	0.673	0.995	1.267	0.953	1.217	0.995	1.006	0.976	0.711	
v[20]	1.184	1.075	0.985	0.970	1.800	0.538	2.697	2.877	1.207	3.247	2.573	1.305	2.620	3.288		
v[21]	0.394	1.927	0.318	0.378	1.475	0.795	0.217	1.690	1.522	0.969	0.635	0.972	0.697	0.617		
v[22]	10.772	7.544	8.335	13.219	3.113	8.194	1.127	2.778	2.708	1.307	3.247	2.573	1.305	2.620	3.288	
v[23]	10.772	7.658	8.355	13.216	3.113	8.194	1.127	2.778	2.708	1.307	3.247	2.573	1.305	2.620	3.288	
v[24]	0.269	0.297	0.270	0.197	0.286	0.197	0.286	0.197	0.286	0.197	0.286	0.197	0.286	0.197		
v[25]	0.269	0.169	0.297	0.240	0.197	0.248	0.197	0.248	0.197	0.248	0.197	0.248	0.197	0.248		
v[26]	0.269	0.169	0.297	0.240	0.197	0.248	0.197	0.248	0.197	0.248	0.197	0.248	0.197	0.248		
v[27]	0.169	0.169	0.297	0.240	0.197	0.248	0.197	0.248	0.197	0.248	0.197	0.248	0.197	0.248		
v[28]	0.169	0.169	0.297	0.240	0.197	0.248	0.197	0.248	0.197	0.248	0.197	0.248	0.197	0.248		
v[29]	0.269	0.269	0.296	0.220	0.197	0.248	0.197	0.248	0.197	0.248	0.197	0.248	0.197	0.248		
v[30]	0.534	0.593	0.440	0.395	0.593	0.440	0.537	0.362	0.305	0.933	0.798	0.696	0.212	0.592	0.192	
v[31]	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
v[32]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
v[33]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Objetive [34]	0.269	4.923	4.417	4.334	4.296	4.315	3.572	4.592	1.325	0.541	2.450	2.735	1.260	3.115	2.006	
v[35]	18.020	19.752	18.721	20.562	18.896	20.579	20.191	19.550	18.941	18.459	19.344	19.421	18.274	19.395		
v[36]	10.448	5.441	8.017	12.841	1.965	7.399	0.374	0.851	5.396	1.759	3.904	6.239	7.574	6.609	9.168	
v[37]	0.020	0.000	0.000	0.000	0.177	0.000	0.284	0.000	0.000	0.214	0.000	0.000	0.000	0.000	0.284	
v[38]	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	
Times.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	

ตารางที่ ค-2 (ต่อ)

	Time	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$v[1]$	3.451	2.629	2.667	3.146	3.056	3.070	3.477	3.274	3.353	2.930	2.815	2.806	1.044	1.15	2.002	
$v[2]$	2.176	1.672	2.152	1.442	1.403	1.198	2.218	2.427	2.202	2.741	1.386	1.062	0.948	1.634	0.983	
$v[3]$	0.706	0.594	0.594	0.590	0.535	0.631	0.727	1.329	0.573	1.271	0.123	0.031	0.469	0.335	0.031	
$v[4]$	0.841	0.627	0.782	0.545	0.866	0.463	0.932	0.874	0.799	1.087	0.237	0.429	0.581	0.410	0.246	
$v[5]$	0.314	0.029	0.077	0.030	0.411	0.000	0.274	0.649	0.271	0.566	0.071	0.000	0.149	0.152	0.000	
$v[6]$	0.045	0.065	0.508	0.061	0.442	0.034	0.453	0.640	0.302	0.705	0.102	0.031	0.250	0.163	0.031	
$v[7]$	0.395	0.065	0.539	0.061	0.442	0.034	0.453	0.649	0.302	0.705	0.102	0.031	0.250	0.163	0.031	
$v[8]$	1.260	1.942	0.799	1.691	0.931	1.867	1.244	0.832	1.134	1.174	1.414	1.656	0.063	3.105	1.581	
$v[9]$	1.849	2.017	1.754	1.782	1.485	1.878	1.552	2.142	1.688	1.424	1.711	1.472	1.712	2.421	1.593	
$v[10]$	4.193	4.043	3.946	3.535	3.372	3.737	4.138	4.914	3.428	3.398	3.485	3.402	1.264	4.974	3.166	
$v[11]$	3.644	3.710	3.938	3.381	3.487	3.558	3.845	3.749	3.423	3.219	2.962	2.999	1.175	3.465	2.825	
$v[12]$	0.019	0.000	0.000	0.162	0.063	0.217	0.000	0.004	0.000	0.000	0.112	0.007	0.138	0.004	0.007	
$v[13]$	2.877	3.036	2.373	2.668	2.868	2.715	2.863	2.684	2.738	2.337	2.397	2.666	2.887	2.699	3.032	
$v[14]$	1.284	0.554	0.546	2.837	1.737	2.452	2.302	0.495	2.297	1.111	1.699	1.086	2.746	1.471	2.518	
$v[15]$	1.664	2.872	2.160	2.625	2.655	2.302	2.670	2.471	2.545	2.124	2.094	2.393	2.673	2.486	2.819	
$v[16]$	2.965	2.710	2.053	2.347	2.548	2.395	2.345	2.364	2.414	1.908	1.977	2.266	2.466	2.378	2.712	
$v[17]$	1.945	2.710	2.053	2.347	2.548	2.395	2.345	2.364	2.414	1.908	1.977	2.266	2.466	2.378	2.712	
$v[18]$	2.503	2.710	2.053	2.347	2.548	2.395	2.345	2.364	2.414	1.908	1.977	2.266	2.466	2.378	2.712	
$v[19]$	1.572	2.160	1.507	0.009	1.150	0.392	0.360	2.169	0.440	1.203	0.578	1.906	0.459	0.118	1.471	
$v[20]$	0.934	0.550	0.547	2.538	1.438	2.203	2.064	0.195	1.998	0.703	1.399	1.787	5.449	1.171	2.419	
$v[21]$	0.446	0.153	0.000	0.154	0.000	0.246	0.174	1.426	0.040	0.046	0.266	0.263	0.000	1.470	0.02	
$v[22]$	0.852	0.212	1.134	4.776	0.873	0.923	2.036	2.036	2.036	1.808	2.566	1.927	2.286	2.568	2.538	
$v[23]$	0.852	0.212	1.134	4.776	0.873	10.923	10.236	1.808	1.908	2.419	1.908	1.908	2.286	2.568	2.538	
$v[24]$	0.344	0.461	0.193	0.403	0.342	0.248	0.417	0.112	0.415	0.300	0.445	0.316	0.049	0.145	0.253	
$v[25]$	0.344	0.481	0.193	0.403	0.342	0.248	0.417	0.112	0.415	0.300	0.445	0.316	0.049	0.145	0.253	
$v[26]$	0.344	0.480	0.193	0.403	0.342	0.248	0.417	0.112	0.415	0.300	0.445	0.316	0.049	0.145	0.253	
$v[27]$	0.344	0.480	0.193	0.403	0.342	0.248	0.417	0.112	0.415	0.300	0.445	0.316	0.049	0.145	0.253	
$v[28]$	0.344	0.480	0.193	0.403	0.342	0.248	0.417	0.112	0.415	0.300	0.445	0.316	0.049	0.145	0.253	
$v[29]$	0.313	0.475	0.193	0.403	0.342	0.248	0.417	0.112	0.415	0.300	0.445	0.316	0.049	0.145	0.253	
$v[30]$	0.626	0.351	0.396	0.806	0.684	0.687	0.538	0.274	0.830	0.383	0.686	0.632	0.000	0.000	0.000	
$v[31]$	0.081	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
$v[32]$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
$v[33]$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Objective [4]	9.313	0.475	0.193	0.403	0.342	0.248	0.417	0.112	0.415	0.191	0.343	0.316	0.049	0.145	0.253	
$v[34]$	4.820	4.324	4.023	3.890	5.826	3.005	4.632	4.266	5.249	5.607	5.137	2.680	2.396	1.449	2.790	
$v[35]$	20.904	21.048	16.095	19.115	20.702	17.938	20.596	20.965	20.205	18.945	15.685	16.807	15.244	18.176	18.191	
$v[36]$	0.442	0.019	0.215	4.914	1.224	10.705	1.847	0.379	2.500	10.568	0.342	7.019	3.462	4.453	11.112	
$v[37]$	0.000	0.000	0.000	0.157	0.350	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.272	0.000	0.272	
$\sum_{i=1}^{37}$	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Times																
	36.611	35.849	33.249	30.774	29.518	31.249	41.257	33.235	30.701	25.024	27.646	26.543	34.601	31.255		

ตามตารางที่ ค-3 ผลการจำลองหาค่า Riboflavin Flux (V_f) มากที่สุดของโครงข่ายเมตาบอลิกพัฒนาไปถึง Cysteine

Table 1: Summary of model performance																	
Model	Type	Training Data		Validation Data		Test Data		Training Data		Validation Data		Test Data		Training Data		Validation Data	
		Size	Label	Size	Label	Size	Label	Size	Label	Size	Label	Size	Label	Size	Label	Size	Label
MLP	MLP	3,594	0.991	4,795	0.944	5,622	5,782	4,118	3,971	3,874	4,331	3,821	3,117	3,698	3,494	3,618	
[41]	MLP	3,417	2,635	4,210	2,145	3,412	3,248	2,987	2,031	2,742	3,053	3,233	3,053	2,872	3,070	3,102	
[42]	MLP	3,478	1,684	2,742	0.817	2,112	2,377	0.799	1,042	1,049	1,241	1,255	1,392	1,048	1,203	1,411	
[43]	MLP	1,208	1,036	1,466	0.862	1,264	1,543	0.931	0,742	1,079	0,719*	1,293	1,091	1,041	1,092	1,115	
[44]	MLP	1,612	0.655	1,355	0.382	1,011	1,149	0.242	0,596	0,443	0,625	0,790	0,576	0,499	0,594	0,690	
[45]	MLP	0,722	0.222	0,655	0.142	0,520	0,624	0.142	0,487	0,536	0,567	0,636	0,516	0,459	0,619	0,721	
[46]	MLP	0,756	0,329	1,306	0,435	1,101	1,224	0,101	0,467	0,534	0,587	0,636	0,916	0,549	0,617	0,721	
[47]	MLP	0,756	0,159	1,386	0,435	1,103	1,228	0,101	0,467	0,534	0,587	0,636	0,916	0,549	0,617	0,721	
[48]	MLP	0,162	1,340	1,894	0,364	0,016	2,035	1,925	1,097	2,360	1,553	0,248	0,811	0,608	0,431	1,843	
[49]	MLP	1,621	2,805	3,293	2,681	2,477	2,376	2,805	2,748	2,088	3,581	2,289	2,021	1,840	1,592	1,843	
[50]	MLP	2,943	6,246	7,922	5,723	5,946	5,850	5,874	6,381	4,599	7,548	5,449	4,859	4,160	3,749	4,357	
[51]	MLP	3,694	4,348	5,725	4,166	4,015	3,950	4,166	4,539	4,525	4,142	4,225	4,192	3,872	3,586	3,884	
[52]	MLP	0,921	0,000	-1,142	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012	0,195	0,195	
[53]	MLP	3,021	3,995	3,069	3,450	3,233	3,148	3,527	3,454	3,290	3,560	3,240	3,306	3,169	3,054	3,221	
[54]	MLP	0,961	0,607	1,229	1,234	1,061	2,073	1,483	0,713	1,131	1,963	1,005	5,000	1,453	0,454	2,119	
[55]	MLP	2,808	3,185	2,847	1,257	3,020	2,975	3,344	3,246	3,076	3,447	3,026	3,956	2,882	3,008	3,008	
[56]	MLP	2,567	2,935	2,740	3,125	3,107	2,855	2,819	3,033	3,135	3,246	2,775	2,976	2,829	2,770	2,901	
[57]	MLP	2,697	2,935	2,746	3,007	2,855	2,819	2,819	3,033	3,133	3,246	2,775	2,976	2,829	2,770	2,901	
[58]	MLP	2,697	2,935	2,746	3,007	2,855	2,819	2,819	3,033	3,133	3,246	2,775	2,976	2,829	2,770	2,901	
[59]	MLP	2,717	3,039	2,777	1,810	1,106	1,054	1,054	2,031	2,730	1,138	2,157	2,777	1,695	2,620	0,011	
[60]	MLP	0,638	0,218	0,940	0,286	2,001	1,222	1,222	1,725	1,010	0,414	1,738	1,023	0,562	1,210	1,134	
[61]	MLP	1,110	1,755	4,058	1,425	1,921	1,425	1,921	1,195	2,190	6,317	3,383	1,017	1,344	1,148	0,533	
[62]	MLP	0,110	1,758	4,058	1,425	1,921	1,425	1,921	1,195	2,190	3,317	3,383	1,017	1,344	1,148	0,533	
[63]	MLP	0,110	1,758	4,058	1,425	1,921	1,425	1,921	1,195	2,190	3,317	3,383	1,017	1,344	1,148	0,533	
[64]	MLP	0,110	1,758	4,058	1,425	1,921	1,425	1,921	1,195	2,190	3,317	3,383	1,017	1,344	1,148	0,533	
[65]	MLP	0,176	0,000	0,286	0,000	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[66]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[67]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[68]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[69]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[70]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[71]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[72]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[73]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[74]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[75]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[76]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[77]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[78]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[79]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[80]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[81]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[82]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[83]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[84]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[85]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[86]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[87]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[88]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[89]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[90]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[91]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[92]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[93]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[94]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[95]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[96]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[97]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[98]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[99]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[100]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[101]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[102]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[103]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[104]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[105]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[106]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[107]	MLP	0,370	0,176	0,000	0,286	0,162	0,000	0,162	0,000	0,124	0,450	0,000	0,246	0,410	0,392	0,413	
[1																	

ค.ร.บ. พ.ศ.๒๕๓๑

ตารางที่ ๔ ผลการจัดอย่างหลัก Riboflavin Flux (V_{rb}) มาจากตู้ทดลอง โครงข่ายมีความถี่ต่ำที่เปลี่ยนแปลงเป็น Asparagine

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Total:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Objective $\sum ATF$	34.652	37.183	33.275	35.380	36.093	22.233	39.891	32.216	34.547	31.563	31.561	34.415	33.204	34.589	

ตารางที่ ค-4 (ท่อ)

	3.168	3.412	3.326	3.356	3.116	3.233	3.570	3.339	3.501	3.634	3.674	3.635	3.674	3.543	3.177
v[1]	1.955	1.266	1.122	1.377	1.380	1.480	1.184	2.792	2.183	2.508	1.534	1.826	1.119	2.037	1.542
v[2]	0.386	0.070	0.101	0.031	0.031	0.184	0.475	1.356	0.713	1.164	0.140	0.148	0.717	1.207	1.340
v[3]	0.398	0.487	0.439	0.538	0.538	0.546	0.914	0.494	1.179	0.839	1.201	0.629	1.203	1.245	0.524
v[4]	0.123	0.021	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.204	0.564	0.324	0.023	0.020	0.000	0.317	0.098
v[5]	0.265	0.062	0.031	0.031	0.031	0.184	0.270	0.773	0.387	0.728	0.110	0.155	0.402	0.144	0.144
v[6]	0.255	0.062	0.031	0.031	0.031	0.184	0.270	0.775	0.387	0.728	0.110	0.155	0.402	0.144	0.144
v[7]	1.688	2.131	2.189	1.963	1.711	2.737	2.371	0.531	1.301	1.111	2.090	1.853	1.492	1.420	1.420
v[8]	2.066	2.204	2.101	1.975	1.733	2.462	2.827	1.849	1.995	2.196	2.200	1.974	2.383	2.190	2.040
v[9]	4.236	4.420	4.382	3.930	3.447	4.786	5.838	4.239	4.249	4.403	4.403	4.356	4.637	4.160	4.160
v[10]	3.962	3.787	3.716	3.457	3.262	4.140	2.118	3.910	3.633	4.346	3.832	3.603	4.144	3.779	3.427
v[11]	0.000	0.283	0.319	0.131	0.134	0.029	0.006	0.134	0.000	0.000	0.020	0.015	0.009	0.153	0.153
v[12]	3.075	3.146	3.120	3.104	3.168	2.593	2.879	2.908	3.040	3.080	3.081	3.225	2.949	2.737	2.737
v[13]	1.063	0.480	1.911	1.239	2.538	2.997	0.844	2.803	1.783	1.487	2.255	1.023	1.709	1.631	1.631
v[14]	2.861	2.935	2.533	2.907	2.861	2.955	2.169	2.666	2.694	2.827	2.807	2.868	2.312	2.737	2.524
v[15]	2.443	2.627	2.846	2.800	2.783	2.694	2.627	2.375	2.557	2.707	2.732	2.777	2.404	2.577	2.577
v[16]	2.643	2.827	2.846	2.800	2.783	2.694	2.627	2.375	2.557	2.599	2.707	2.732	2.404	2.577	2.577
v[17]	2.873	2.960	3.027	3.350	2.694	2.627	2.375	2.557	2.599	2.707	2.732	2.777	2.404	2.577	2.577
v[18]	2.843	2.873	2.846	2.824	2.869	0.525	0.151	2.118	0.055	1.134	1.552	0.662	2.181	1.220	1.065
v[19]	1.591	2.647	1.234	1.234	1.269	0.416	0.443	0.443	0.443	0.443	0.443	0.443	0.443	1.357	1.357
v[20]	0.452	0.226	1.727	1.167	2.826	2.544	0.509	2.321	1.453	0.346	1.927	0.596	1.927	1.319	1.319
v[21]	0.134	0.514	0.526	0.233	0.205	0.506	1.943	0.189	0.324	0.261	0.441	0.026	0.603	0.181	0.534
v[22]	0.134	0.514	0.526	0.233	0.205	0.506	1.941	0.189	0.324	0.261	0.441	0.026	0.603	0.181	0.534
v[23]	0.134	0.514	0.526	0.233	0.205	0.506	1.941	0.189	0.324	0.261	0.441	0.026	0.603	0.181	0.534
v[24]	0.651	0.343	0.326	0.416	0.443	0.648	0.143	0.322	0.276	0.474	0.441	0.911	0.345	0.636	0.331
v[25]	0.651	0.443	0.324	0.416	0.443	0.648	0.143	0.322	0.276	0.474	0.441	0.911	1.245	0.346	0.346
v[26]	0.651	0.343	0.326	0.416	0.443	0.648	0.143	0.322	0.276	0.472	0.441	0.911	1.245	0.346	0.346
v[27]	0.394	0.343	0.326	0.409	0.397	0.345	0.143	0.322	0.347	0.382	0.441	0.310	0.683	0.223	0.394
v[28]	0.356	0.343	0.326	0.409	0.397	0.345	0.143	0.322	0.347	0.382	0.441	0.310	0.683	0.223	0.394
v[29]	0.255	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
v[30]	0.285	0.343	0.326	0.409	0.397	0.191	0.107	0.138	0.316	0.388	0.262	0.028	0.603	0.201	0.289
Objective v[34]	4.415	3.120	1.037	3.787	3.845	3.013	1.417	5.877	4.591	4.695	3.795	4.164	3.252	4.018	2.944
v[31]	0.151	0.000	0.000	0.000	0.000	0.154	0.035	0.183	0.030	0.031	0.037	0.039	0.032	0.032	0.032
v[32]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
v[33]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
v[34]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Tmax	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$\sum A_{ij}$	24.471	36.480	26.149	32.929	31.547	34.732	36.912	31.132	29.857	36.932	32.416				

ตารางที่ ค-5 ผลการปฏิกรณ์ของ Riboflavin Flux (V_{ri}) มากที่สุดของ โครงข่ายน้ำตาลที่ติดพังค์ซีทที่ถูกบดเจ็บ Threonine

	Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ΣATP	43959	46,511	35,546	39,488	43,470	23,774	41,033	41,881	37,500	39,101	37,942	42,377	43,358	41,347	44,078	
V_{ri}	2,4308	3,5533	3,0777	2,5531	2,4733	2,1574	3,2983	3,1756	3,2045	3,6394	3,1846	3,2025	2,9461	1,2693		
v[1]	1.3444	1.5406	1.0636	0.9784	1.3672	0.9359	0.9061	0.8925	1.2079	1.9194	0.9219	0.4882	0.7072	0.4307		
v[2]	0.2289	0.6571	0.0308	0.0308	0.2305	0.0308	0.0308	0.0318	0.0305	0.0308	0.0308	0.0308	0.0308	0.0308		
v[3]	0.5128	0.9554	0.4449	0.4449	0.4425	0.5663	0.3732	0.3838	0.5544	0.8018	0.8193	0.2884	0.2884	0.3117		
v[4]	0.0991	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
v[5]	0.1399	0.0871	0.0308	0.0308	0.1107	0.0406	0.0318	0.0318	0.0506	0.0498	0.1183	0.0308	0.0308	0.0308		
v[6]	0.1759	0.0671	0.0308	0.0308	0.1307	0.0308	0.0308	0.0318	0.0308	0.0308	0.1183	0.0308	0.0308	0.0308		
v[7]	0.0000	0.1294	0.1294	0.1294	0.1294	0.1294	0.1294	0.1294	0.1294	0.1294	0.1294	0.1294	0.1294	0.1294		
v[8]	1.0710	1.9883	1.0710	1.0710	1.0710	1.0710	1.0710	1.0710	1.0710	1.0710	1.0710	1.0710	1.0710	1.0710		
v[9]	2.0264	2.0405	1.5711	1.3012	1.2994	2.1866	2.2145	2.0918	1.9990	1.8910	1.2287	2.2353	0.8350			
v[10]	2.1644	4.0333	4.0617	3.1223	2.6829	2.4603	4.7598	4.4946	4.1643	3.5650	4.4942	5.3480	4.4512	1.6507		
v[11]	2.5019	3.8945	3.5992	2.6956	2.5434	2.1122	3.5940	3.2913	3.8284	3.5935	3.5935	3.7182	1.6275			
v[12]	0.0000	0.1296	0.1296	0.1296	0.1296	0.1296	0.1296	0.1296	0.1296	0.1296	0.1296	0.1296	0.1296	0.1296		
v[13]	1.8377	3.6892	2.6345	2.0289	1.8787	1.6475	2.9313	2.6466	2.1427	2.0458	3.0353	3.0353	0.7628			
v[14]	6.2954	1.1572	2.2385	2.4337	2.2994	2.3233	1.4725	0.5235	1.2161	1.2161	0.2994	0.6134	1.7664			
v[15]	3.4364	2.8780	2.6731	3.3269	3.4141	1.7575	2.9228	3.0514	2.9140	3.6946	3.0774	3.0774	3.0774			
v[16]	3.3793	2.7437	2.4650	3.2198	3.3070	1.6504	2.8137	2.9433	2.7942	2.9875	2.9875	2.9875	2.9875			
v[17]	3.3293	2.7427	2.3650	3.2198	3.3070	1.6504	2.8137	2.9433	2.7942	2.9875	2.9875	2.9875	2.9875			
v[18]	3.3293	2.7427	2.3650	3.2198	3.3070	1.6504	2.8137	2.9433	2.7942	2.9875	2.9875	2.9875	2.9875			
v[19]	3.3293	1.9112	0.8279	1.0953	1.0953	1.3070	0.7125	1.6406	2.7201	1.8672	2.8396	2.9634	2.9634	2.9634		
v[20]	0.0000	0.8315	1.9371	1.2149	0.0000	0.9299	1.7311	1.2231	0.9170	0.9198	0.0000	0.1045	1.7973			
v[21]	0.0000	0.0873	0.6229	0.2986	0.0000	0.0286	1.0943	0.3798	0.1964	0.2985	0.0000	0.6615	1.3849			
v[22]	0.0000	0.6273	0.4229	0.2986	0.0000	0.0286	1.0243	0.2986	0.1964	0.2885	0.0000	0.5615	1.5254			
v[23]	1.8124	0.6873	0.8737	1.8008	1.7487	0.5318	1.2270	0.5788	0.1964	0.7225	2.3975	2.3975	3.9616			
v[24]	0.3014	0.8167	0.3725	0.3701	0.3460	0.2168	0.2814	0.4640	0.0656	0.7049	0.4306	1.4870				
v[25]	0.1014	0.8167	0.3725	0.3701	0.3460	0.2168	0.2814	0.4410	0.0696	0.7049	0.1740	0.2193				
v[26]	0.6027	0.5711	0.2790	0.2790	0.2790	0.2790	0.2790	0.2790	0.2790	0.2790	0.1744	0.3447				
v[27]	0.3014	0.2948	0.2746	0.2746	0.2746	0.2746	0.2746	0.2746	0.2746	0.2746	0.1744	0.3447				
v[28]	0.3014	0.2948	0.2746	0.2746	0.2746	0.2746	0.2746	0.2746	0.2746	0.2746	0.1744	0.3447				
v[29]	0.3014	0.2948	0.2746	0.2746	0.2746	0.2746	0.2746	0.2746	0.2746	0.2746	0.1744	0.3447				
v[30]	0.6027	0.5711	0.2790	0.2790	0.2790	0.2790	0.2790	0.2790	0.2790	0.2790	0.1744	0.3447				
v[31]	0.0000	0.0263	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
v[32]	0.1987	0.0635	0.1776	0.0635	0.0635	0.0635	0.0635	0.0635	0.0635	0.0635	0.0635	0.0635	0.0635			
v[33]	0.0000	0.3212	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
v[34]	0.3014	0.2948	0.2746	0.2746	0.2746	0.2746	0.2746	0.2746	0.2746	0.2746	0.1744	0.3447				
v[35]	4.9119	2.1732	20.8860	18.7203	20.7791	21.7423	12.2023	20.7269	20.4153	20.6173	21.0101	20.6722	19.9873	21.5622		
v[36]	1.8124	0.8259	0.2746	1.5551	1.7726	0.3471	0.2366	0.0239	0.4579	0.1570	0.2792	0.2093	0.2490			
v[37]	1.8124	0.0000	0.2457	1.5112	1.7467	0.3232	0.2027	0.0000	0.4346	0.1331	0.2523	0.1940	0.1834	3.5191		
Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	

(a) S-URLE

ภาคผนวก ง

ผลสำลังการหาข้อตราชารเจริญเติบโตมากที่สุด

ตารางที่ ๑-๑ ผลการจัดทำของตราสารเงินทุนโดยวิธีการบัญชีทางการบัญชีพัฒนา

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
v[1]	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
v[2]	2,936	2,625	2,617	2,548	2,823	3,231	3,073	1,896	1,922	4,725	2,114	0,836	1,341	2,691	4,644
v[3]	1,214	0,704	0,587	0,861	0,886	1,584	0,980	0,643	1,280	1,186	1,928	1,469	1,573	1,957	1,504
v[4]	1,334	1,621	1,572	1,269	1,593	1,989	1,078	1,078	2,206	2,106	1,385	6,417	2,735	1,054	1,872
v[5]	0,317	0,250	0,260	0,396	0,738	0,452	2,370	0,381	1,016	1,016	0,734	0,453	0,734	0,453	0,453
v[6]	0,387	0,337	0,651	0,846	0,558	4,473	0,178	1,098	1,098	1,098	0,451	0,734	0,451	1,241	0,974
v[7]	0,648	0,387	0,317	0,601	0,493	0,846	0,218	0,475	0,178	0,389	0,451	0,724	0,536	1,251	0,974
v[8]	2,940	2,940	2,940	2,940	2,940	1,709	1,888	3,059	3,059	3,059	2,124	1,863	2,124	1,112	1,358
v[9]	3,001	2,875	3,140	2,982	3,226	2,821	3,052	3,229	2,298	2,824	3,139	2,948	2,513	3,035	3,035
v[10]	6,753	6,275	5,958	6,497	6,314	7,153	6,045	7,371	6,479	5,560	5,980	6,828	6,151	5,975	6,840
v[11]	6,102	5,384	4,498	6,198	5,604	6,445	5,451	6,028	5,472	5,189	5,299	6,245	5,585	5,975	5,723
v[12]	0,820	0,223	0,343	0,391	1,196	0,235	1,072	0,249	0,000	0,142	0,999	0,435	0,399	0,684	0,435
v[13]	3,472	3,879	4,069	4,232	3,960	4,118	3,781	4,051	3,229	3,851	3,944	3,705	3,533	3,029	3,029
v[14]	3,218	2,939	3,567	4,122	3,560	3,977	2,754	2,669	1,011	3,170	2,395	1,211	2,139	2,559	2,559
v[15]	2,628	3,396	3,844	3,765	3,487	3,371	3,252	3,193	2,716	2,886	3,180	3,206	2,440	2,942	2,165
v[16]	2,205	3,153	3,531	3,260	3,212	2,996	2,586	3,018	2,379	2,521	3,124	2,816	2,060	2,277	1,731
v[17]	2,205	3,153	3,531	3,260	3,212	2,996	2,586	3,018	2,379	2,521	3,124	2,816	2,060	2,277	1,731
v[18]	2,205	3,153	3,531	3,260	3,212	2,996	2,586	3,018	2,379	2,521	3,124	2,816	2,060	2,277	1,731
v[19]	0,892	0,417	0,055	0,261	0,667	0,975	1,431	2,468	0,000	0,615	1,477	1,901	1,154	0,385	0,385
v[20]	2,033	2,261	2,934	3,205	2,931	2,931	2,111	2,046	0,671	2,549	1,398	1,138	1,123	1,346	1,346
v[21]	0,094	0,576	0,156	0,000	0,381	0,169	0,169	0,169	0,000	0,383	0,106	0,047	0,000	0,532	0,532
v[22]	0,599	0,576	0,156	0,000	0,381	0,169	0,268	1,200	0,569	0,000	0,383	0,106	0,067	0,000	0,532
v[23]	0,576	0,499	0,000	0,381	0,169	0,268	1,200	0,569	0,000	0,383	0,106	0,067	0,000	0,532	0,532
v[24]	0,489	0,762	1,226	0,755	0,596	0,461	1,235	0,245	0,251	0,251	0,251	0,251	0,251	0,251	0,251
v[25]	0,489	0,762	1,226	0,755	0,596	0,461	1,235	0,245	0,251	0,251	0,251	0,251	0,251	0,251	0,251
v[26]	0,470	0,399	0,428	0,725	0,596	0,428	0,671	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116
v[27]	0,121	0,394	0,214	0,383	0,351	0,351	0,351	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
v[28]	0,121	0,294	0,116	0,341	0,345	0,346	0,346	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
v[29]	0,121	0,294	0,116	0,341	0,345	0,346	0,346	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
v[30]	0,242	0,387	0,429	0,428	0,428	0,428	0,428	0,428	0,428	0,428	0,428	0,428	0,428	0,428	0,428
v[31]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
v[32]	0,019	0,263	0,498	0,071	0,000	0,035	0,587	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065
v[33]	0,349	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106
v[34]	0,121	0,294	0,121	0,294	0,121	0,294	0,121	0,294	0,121	0,294	0,121	0,294	0,121	0,294	0,121
v[35]	1,572	3,964	4,189	4,341	4,345	3,506	3,872	0,657	0,351	7,277	4,264	3,293	1,244	6,777	2,456
v[36]	26,094	26,094	27,109	26,949	26,949	26,649	25,746	24,346	20,118	26,709	25,160	24,816	19,384	24,956	19,701
Growth Rate D	0.39559	0.225442	0.2110025	0.239450	0.239451	0.248220	0.311981	0.265818	0.226873	0.34823	0.347851	0.32849	0.405246	0.32849	0.405246
Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Σ A7F	24,358	39,222	37,239	36,527	40,701	37,100	39,066	22,545	35,444	36,401	36,112	20,979	35,550	24,711	

ການຮ່າງທີ່-1 (ຕອ)

ตารางที่ ๑-๒ ผลการเจริญทางทักษะ Growth Rate มากที่สุดของโครงสร้างสถาปัตยกรรมและสารเคมีในกลุ่ม Serine

	Time	Chiral-Serine D	Chiral-Serine L
v[1]	5,000	5,000	5,000
v[2]	2,927	3,317	3,392
v[3]	1,209	1,129	1,068
v[4]	1,672	1,652	1,656
v[5]	0,460	0,534	0,564
v[6]	0,729	0,675	0,605
v[7]	0,729	0,675	0,625
v[8]	2,024	1,623	1,158
v[9]	3,172	2,777	2,779
v[10]	6,761	6,031	6,726
v[11]	6,165	5,370	6,165
v[12]	0,960	0,578	0,578
v[13]	4,946	3,070	5,075
v[14]	3,518	2,300	3,877
v[15]	4,303	2,231	5,279
v[16]	3,669	1,869	4,889
v[17]	3,669	1,869	4,889
v[18]	3,869	1,809	4,886
v[19]	1,401	2,050	1,332
v[20]	2,468	1,121	2,459
v[21]	0,779	0,112	0,203
v[22]	8,197	10,453	11,934
v[23]	8,197	10,453	11,335
v[24]	0,647	0,655	0,288
v[25]	0,652	0,655	0,385
v[26]	0,652	0,655	0,305
v[27]	9,173	0,218	0,214
v[28]	0,123	0,218	0,134
v[29]	0,123	0,218	0,034
v[30]	0,446	0,436	0,285
v[31]	0,150	0,030	0,040
v[32]	0,640	0,350	0,000
v[33]	0,123	0,123	0,114
v[34]	0,123	0,123	0,214
v[35]	0,123	0,123	0,134
v[36]	0,123	0,123	0,034
v[37]	29,453	18,900	36,395
v[38]	0,649	0,624	0,200
v[39]	0,137	0,168	0,136
v[40]	0,137	0,137	0,197
v[41]	1	2	3
v[42]	2	4	5
v[43]	3	6	7
v[44]	4	8	9
v[45]	5	10	10
v[46]	11	12	12
v[47]	13	14	14
v[48]	14	15	15
v[49]	15	15	15
v[50]	15	15	15
v[51]	15	15	15
v[52]	15	15	15
v[53]	15	15	15
v[54]	15	15	15
v[55]	15	15	15
v[56]	15	15	15
v[57]	15	15	15
v[58]	15	15	15
v[59]	15	15	15
v[60]	15	15	15
v[61]	15	15	15
v[62]	15	15	15
v[63]	15	15	15
v[64]	15	15	15
v[65]	15	15	15
v[66]	15	15	15
v[67]	15	15	15
v[68]	15	15	15
v[69]	15	15	15
v[70]	15	15	15
v[71]	15	15	15
v[72]	15	15	15
v[73]	15	15	15
v[74]	15	15	15
v[75]	15	15	15
v[76]	15	15	15
v[77]	15	15	15
v[78]	15	15	15
v[79]	15	15	15
v[80]	15	15	15
v[81]	15	15	15
v[82]	15	15	15
v[83]	15	15	15
v[84]	15	15	15
v[85]	15	15	15
v[86]	15	15	15
v[87]	15	15	15
v[88]	15	15	15
v[89]	15	15	15
v[90]	15	15	15
v[91]	15	15	15
v[92]	15	15	15
v[93]	15	15	15
v[94]	15	15	15
v[95]	15	15	15
v[96]	15	15	15
v[97]	15	15	15
v[98]	15	15	15
v[99]	15	15	15
v[100]	15	15	15
v[101]	15	15	15
v[102]	15	15	15
v[103]	15	15	15
v[104]	15	15	15
v[105]	15	15	15
v[106]	15	15	15
v[107]	15	15	15
v[108]	15	15	15
v[109]	15	15	15
v[110]	15	15	15
v[111]	15	15	15
v[112]	15	15	15
v[113]	15	15	15
v[114]	15	15	15
v[115]	15	15	15
v[116]	15	15	15
v[117]	15	15	15
v[118]	15	15	15
v[119]	15	15	15
v[120]	15	15	15
v[121]	15	15	15
v[122]	15	15	15
v[123]	15	15	15
v[124]	15	15	15
v[125]	15	15	15
v[126]	15	15	15
v[127]	15	15	15
v[128]	15	15	15
v[129]	15	15	15
v[130]	15	15	15
v[131]	15	15	15
v[132]	15	15	15
v[133]	15	15	15
v[134]	15	15	15
v[135]	15	15	15
v[136]	15	15	15
v[137]	15	15	15
v[138]	15	15	15
v[139]	15	15	15
v[140]	15	15	15
v[141]	15	15	15
v[142]	15	15	15
v[143]	15	15	15
v[144]	15	15	15
v[145]	15	15	15
v[146]	15	15	15
v[147]	15	15	15
v[148]	15	15	15
v[149]	15	15	15
v[150]	15	15	15
v[151]	15	15	15
v[152]	15	15	15
v[153]	15	15	15
v[154]	15	15	15
v[155]	15	15	15
v[156]	15	15	15
v[157]	15	15	15
v[158]	15	15	15
v[159]	15	15	15
v[160]	15	15	15
v[161]	15	15	15
v[162]	15	15	15
v[163]	15	15	15
v[164]	15	15	15
v[165]	15	15	15
v[166]	15	15	15
v[167]	15	15	15
v[168]	15	15	15
v[169]	15	15	15
v[170]	15	15	15
v[171]	15	15	15
v[172]	15	15	15
v[173]	15	15	15
v[174]	15	15	15
v[175]	15	15	15
v[176]	15	15	15
v[177]	15	15	15
v[178]	15	15	15
v[179]	15	15	15
v[180]	15	15	15
v[181]	15	15	15
v[182]	15	15	15
v[183]	15	15	15
v[184]	15	15	15
v[185]	15	15	15
v[186]	15	15	15
v[187]	15	15	15
v[188]	15	15	15
v[189]	15	15	15
v[190]	15	15	15
v[191]	15	15	15
v[192]	15	15	15
v[193]	15	15	15
v[194]	15	15	15
v[195]	15	15	15
v[196]	15	15	15
v[197]	15	15	15
v[198]	15	15	15
v[199]	15	15	15
v[200]	15	15	15
v[201]	15	15	15
v[202]	15	15	15
v[203]	15	15	15
v[204]	15	15	15
v[205]	15	15	15
v[206]	15	15	15
v[207]	15	15	15
v[208]	15	15	15
v[209]	15	15	15
v[210]	15	15	15
v[211]	15	15	15
v[212]	15	15	15
v[213]	15	15	15
v[214]	15	15	15
v[215]	15	15	15
v[216]	15	15	15
v[217]	15	15	15
v[218]	15	15	15
v[219]	15	15	15
v[220]	15	15	15
v[221]	15	15	15
v[222]	15	15	15
v[223]	15	15	15
v[224]	15	15	15
v[225]	15	15	15
v[226]	15	15	15
v[227]	15	15	15
v[228]	15	15	15
v[229]	15	15	15
v[230]	15	15	15
v[231]	15	15	15
v[232]	15	15	15
v[233]	15	15	15
v[234]	15	15	15
v[235]	15	15	15
v[236]	15	15	15
v[237]	15	15	15
v[238]	15	15	15
v[239]	15	15	15
v[240]	15	15	15
v[241]	15	15	15
v[242]	15	15	15
v[243]	15	15	15
v[244]	15	15	15
v[245]	15	15	15
v[246]	15	15	15
v[247]	15	15	15
v[248]	15	15	15
v[249]	15	15	15
v[250]	15	15	15
v[251]	15	15	15
v[252]	15	15	15
v[253]	15	15	15
v[254]	15	15	15
v[255]	15	15	15
v[256]	15	15	15
v[257]	15	15	15
v[258]	15	15	15
v[259]	15	15	15
v[260]	15	15	15
v[261]	15	15	15
v[262]	15	15	15
v[263]	15	15	15
v[264]	15	15	15
v[265]	15	15	15
v[266]	15	15	15
v[267]	15	15	15
v[268]	15	15	15
v[269]	15	15	15
v[270]	15	15	15
v[271]	15	15	15
v[272]	15	15	15
v[273]	15	15	15
v[274]	15	15	15
v[275]	15	15	15
v[276]	15	15	15
v[277]	15	15	15
v[278]	15	15	15
v[279]	15	15	15
v[280]	15	15	15
v[281]	15	15	15
v[282]	15	15	15
v[283]	15	15	15
v[284]	15	15	15
v[285]	15	15	15
v[286]	15	15	15
v[287]	15	15	15
v[288]	15	15	15
v[289]	15	15	15
v[290]	15	15	15
v[291]	15	15	15
v[292]	15	15	15
v[293]	15	15	15
v[294]	15	15	15
v[295]	15	15	15
v[296]	15	15	15
v[297]	15	15	15
v[298]	15	15	15
v[299]	15	15	15
v[300]	15	15	15
v[301]	15	15	15
v[302]	15	15	15
v[303]	15	15	15
v[304]	15	15	15
v[305]	15	15	15
v[306]	15	15	15
v[307]	15	15	15
v[308]	15	15	15
v[309]	15	15	15
v[310]	15	15	15
v[311]	15	15	15
v[312]			

ตารางที่ 3-2 (ที่ ๑)

	Time	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Objective D	0.413	0.439	0.344	0.442	0.746	0.568	0.209	0.191	0.209	0.246	0.334	0.206	0.460	0.565	0.142
v11	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
v12	1,840	2,115	2,746	1,257	4,241	4,472	1,560	4,159	1,921	3,172	3,245	1,610	2,760	4,163	3,117
v13	0,262	0,402	1,554	1,312	2,373	2,248	0,987	2,268	0,560	1,347	0,392	0,668	1,747	1,008	1,454
v14	1,194	1,359	1,736	1,717	1,907	2,034	1,006	2,126	1,549	1,318	1,595	0,984	1,933	1,818	1,542
v15	0,117	0,137	0,724	0,215	1,072	1,046	0,146	1,034	0,656	0,158	0,588	0,256	0,759	0,967	0,685
v16	0,244	0,365	0,830	0,298	1,390	1,292	0,210	1,163	0,904	0,234	0,759	0,350	0,998	1,141	0,802
v17	6,244	0,385	0,480	0,798	1,306	1,202	0,231	1,163	0,904	0,234	0,759	0,250	0,998	1,141	0,802
v18	3,126	2,720	1,196	1,653	0,606	0,450	3,468	0,472	1710	3,041	1,550	3,343	1,154	0,766	1,814
v19	3,409	2,243	2,866	2,805	2,938	2,861	3,745	2,663	3,174	2,386	2,891	3,261	2,746	3,192	2,746
v20	6,856	6,641	6,029	8,234	4,664	6,159	7,655	6,393	6,398	7,598	6,390	6,390	6,390	6,390	6,390
v21	6,024	5,504	5,615	5,554	5,415	6,140	5,984	5,614	5,614	5,474	7,096	5,417	5,256	5,976	5,256
v22	0,740	0,777	0,249	0,607	0,628	0,655	0,934	0,449	0,111	0,521	0,128	0,112	0,125	0,125	0,125
v23	5,566	3,984	3,569	3,192	3,125	3,218	5,937	4,616	7,128	4,299	5,616	5,167	2,261	2,228	5,854
v24	4,386	1,518	1,633	1,719	3,276	1,844	5,428	3,410	5,289	2,888	4,838	4,254	1,554	1,717	2,070
v25	4,887	3,002	2,435	1,489	3,768	2,234	5,692	4,208	5,629	5,774	4,434	4,315	1,216	1,024	4,881
v26	4,045	2,644	2,466	2,466	0,828	0,828	0,655	0,655	0,655	0,655	3,841	4,187	0,614	4,408	4,408
v27	4,045	2,644	2,466	2,466	0,828	0,828	0,655	0,655	0,655	0,655	4,187	0,614	4,408	4,408	4,408
v28	4,045	2,644	2,466	2,466	0,828	0,828	0,655	0,655	0,655	0,655	4,187	0,614	4,408	4,408	4,408
v29	3,150	2,159	2,044	1,600	0,946	0,946	0,232	0,603	2,151	3,189	0,938	0,237	0,937	3,650	3,650
v30	0,247	0,032	0,045	0,045	0,019	0,236	1,724	0,543	0,247	0,845	0,617	0,355	0,000	0,000	0,000
v31	4,045	2,644	2,466	2,466	0,828	0,828	0,655	0,655	0,655	0,655	3,841	4,187	0,614	4,408	4,408
v32	4,045	2,644	2,466	2,466	0,828	0,828	0,655	0,655	0,655	0,655	4,187	0,614	4,408	4,408	4,408
v33	0,853	2,375	1,894	0,962	1,748	0,485	1,166	1,166	1,166	1,360	0,652	3,449	0,394	3,650	3,650
v34	0,613	0,613	0,632	0,645	0,558	0,417	0,607	0,607	0,607	0,607	0,607	0,216	0,237	0,118	0,237
v35	0,613	0,613	0,632	0,645	0,558	0,033	0,417	0,417	0,417	0,417	0,417	0,216	0,237	0,118	0,237
v36	0,446	0,386	0,409	0,386	0,386	0,335	0,335	0,335	0,335	0,335	0,335	0,216	0,237	0,118	0,237
v37	0,127	0,127	0,220	0,261	0,261	0,000	0,095	0,077	0,073	0,073	0,073	0,216	0,237	0,118	0,237
v38	0,127	0,127	0,220	0,220	0,220	0,000	0,094	0,077	0,073	0,073	0,073	0,216	0,237	0,118	0,237
v39	0,127	0,127	0,220	0,114	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
v40	0,254	0,254	0,439	0,254	0,254	0,000	0,189	0,155	0,146	0,146	0,133	0,222	0,120	0,061	0,244
v41	0,672	0,130	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
v42	0,127	0,127	0,220	0,261	0,261	0,000	0,092	0,074	0,070	0,070	0,070	0,216	0,237	0,118	0,237
v43	0,127	0,127	0,220	0,190	0,019	0,001	0,240	0,512	0,283	0,283	0,283	0,283	0,283	0,283	0,283
v44	0,127	0,127	0,220	0,114	0,000	0,000	0,095	0,077	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073
v45	0,130	0,130	0,136	0,136	0,136	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
v46	23,775	21,261	23,570	13,541	23,659	19,567	36,012	14,113	31,615	26,773	27,714	29,748	13,023	13,537	13,537
v47	0,025	0,025	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021
v48	0,176	0,176	0,178	0,147	0,188	0,315	0,217	0,089	0,081	0,092	0,105	0,130	0,209	0,241	0,192
Time	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

ตารางที่ 3-3 ผลการจำลองพารา Growth Rate มากที่สุดของโครงข่ายตามอัตราพัฒนาปริมาณ cysteine

	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
v[1]	3.114	2.014	4.356	3.328	3.592	4.203	4.910	3.614	3.218	4.911	4.187	4.913	3.019
v[2]	1.145	0.219	2.426	1.753	1.894	2.162	2.706	1.725	1.671	2.747	2.508	1.822	1.263
v[3]	1.145	0.219	2.426	1.753	1.894	2.162	2.706	1.725	1.671	2.747	2.508	1.822	1.263
v[4]	1.039	1.188	1.945	1.483	1.817	1.919	2.137	1.887	1.623	2.087	1.797	1.533	1.524
v[5]	0.306	0.044	1.123	0.808	0.556	1.307	1.237	0.716	1.216	1.273	1.275	0.645	1.004
v[6]	0.940	0.175	1.303	0.946	1.038	1.125	1.449	0.949	0.935	1.475	1.234	0.137	0.940
v[7]	0.440	0.175	1.303	0.946	1.038	1.125	1.449	0.949	0.935	1.475	1.234	0.137	0.446
v[8]	1.819	2.920	0.359	1.610	0.947	0.713	0.000	1.800	1.780	0.000	0.739	3.094	0.599
v[9]	2.882	3.038	2.460	3.373	2.754	2.791	1.595	2.919	1.124	2.637	3.220	2.874	3.439
v[10]	6.149	6.078	4.336	7.287	6.276	6.483	6.334	6.505	6.318	6.432	6.893	6.849	7.344
v[11]	5.455	5.483	5.627	5.388	5.638	5.448	5.318	5.643	5.466	5.597	5.462	5.804	5.465
v[12]	0.146	0.179	0.194	0.070	0.231	0.059	0.245	0.118	0.135	0.138	0.594	0.043	0.170
v[13]	3.446	4.590	2.873	4.315	4.845	2.790	2.945	3.480	6.015	3.082	3.289	5.124	4.132
v[14]	3.385	4.273	2.152	4.371	4.183	2.061	2.096	3.246	4.911	2.249	2.373	4.154	1.845
v[15]	2.811	3.682	4.498	2.980	3.869	3.655	1.700	2.857	4.006	1.847	2.558	4.030	3.366
v[16]	2.358	3.224	1.607	3.161	3.097	3.258	3.579	1.064	1.688	3.852	1.261	1.778	2.304
v[17]	2.358	3.425	1.687	3.101	3.358	3.959	1.064	1.688	3.462	1.221	1.740	4.186	2.981
v[18]	2.358	3.225	1.697	3.101	3.358	3.979	1.064	1.688	3.462	1.201	1.740	4.186	2.981
v[19]	0.571	0.278	0.278	0.407	0.585	0.724	0.115	0.666	0.742	0.115	0.815	0.310	1.034
v[20]	1.785	1.947	0.461	3.091	2.775	9.424	0.337	1.574	0.489	0.926	2.467	0.261	1.105
v[21]	0.123	0.000	0.000	1.354	0.990	0.273	0.001	0.062	0.256	0.007	0.737	0.211	0.145
v[22]	0.123	0.000	0.000	1.354	0.990	0.273	0.001	0.062	0.256	0.007	0.737	0.211	0.145
v[23]	0.123	0.000	0.000	1.354	0.990	0.273	0.001	0.062	0.256	0.007	0.737	0.211	0.145
v[24]	0.614	0.645	0.192	0.172	0.405	0.297	0.334	0.522	0.128	0.199	1.155	0.480	0.475
v[25]	0.614	0.645	0.192	0.172	0.405	0.297	0.334	0.522	0.128	0.199	1.155	0.480	0.475
v[26]	0.279	0.352	0.134	0.170	0.386	0.182	0.043	0.223	0.122	0.179	0.563	0.046	0.101
v[27]	0.180	0.304	0.163	0.177	0.345	0.177	0.051	0.048	0.084	0.041	0.072	0.013	0.068
v[28]	0.180	0.204	0.103	0.046	0.177	0.051	0.026	0.101	0.048	0.064	0.041	0.072	0.045
v[29]	0.180	0.103	0.093	0.045	0.176	0.051	0.023	0.101	0.021	0.039	0.041	0.072	0.045
v[30]	0.360	0.607	0.189	0.060	0.271	0.102	0.047	0.202	0.125	0.078	0.082	0.036	0.169
v[31]	0.000	0.001	0.010	0.000	0.041	0.000	0.013	0.000	0.025	0.000	0.000	0.000	0.000
v[32]	0.335	0.313	0.058	0.008	0.019	0.115	0.188	0.059	0.010	0.111	0.847	0.121	0.227
v[33]	0.069	0.048	0.031	0.031	0.045	0.125	0.111	0.007	0.121	0.074	0.065	0.385	0.017
v[34]	0.180	0.349	0.093	0.093	0.045	0.116	0.051	0.023	0.012	0.039	0.041	0.072	0.013
v[35]	1.393	0.389	1.485	1.544	4.030	0.526	1.743	0.119	0.000	2.029	1.165	0.000	1.869
v[36]	20.573	21.381	16.535	27.821	15.394	16.581	17.766	27.000	17.322	17.324	19.931	13.632	20.561
v[37]	0.571	1.018	1.697	0.674	0.664	0.157	0.061	1.045	0.177	0.153	0.366	0.241	0.577
v[38]	9.185	0.181	6.235	0.191	0.195	0.233	0.249	0.282	0.282	0.247	0.266	0.243	0.153
Total:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Objective D	0.425	0.426	0.551	0.448	0.458	0.347	0.359	0.661	0.579	0.484	0.390	0.423	0.440

ตารางที่ จ-3 (ต่อ)

	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
v[1]	3,877	4,675	1,565	3,851	3,095	2,452	2,633	2,988	4,259	1,669	3,027	3,468	2,870	4,518	2,877
v[2]			0,281	0,350	1,947	1,027	0,651	0,782	1,117	1,350	1,161	1,247	0,591	0,956	1,611
v[3]	1,951	2,757													
v[4]	1,826	2,093	1,196	1,038	1,807	1,856	1,320	1,278	1,666	1,878	1,457	1,748	1,694	1,976	1,611
v[5]	0,977	1,263	0,967	0,134	0,887	0,482	0,233	0,209	0,547	0,898	0,516	0,738	0,704	0,905	1,152
v[6]	1,074	1,474	0,194	0,216	1,080	0,565	0,417	0,473	0,671	1,261	0,646	1,270	0,859	0,950	1,325
v[7]	1,074	1,474	0,194	0,216	1,060	0,565	0,417	0,473	0,671	1,261	0,646	1,270	0,859	0,950	1,325
v[8]	1,024	0,029	3,360	3,344	1,062	1,854	1,493	2,395	1,550	0,655	2,766	1,692	1,438	2,058	2,396
v[9]	2,653	2,668	1,595	3,644	2,602	2,818	2,077	2,976	2,091	2,899	3,247	2,913	2,925	2,788	
v[10]	6,459														
v[11]	5,570	5,573	6,164	5,400	5,785	5,461	5,819	5,413	5,960	5,815	5,773	5,761	5,802	5,489	6,163
v[12]	0,944	0,152	0,211	0,394	0,224	0,417	0,175	0,417	0,175	0,194	0,417	0,472	0,091	0,404	
v[13]	4,776	3,505	5,269	3,681	4,737	4,684	3,705	5,962	1,657	2,640	5,202	4,793	4,729	3,486	3,131
v[14]	4,233	2,572	2,473	0,845	3,364	3,784	3,363	5,232	1,983	4,939	3,023	1,956	3,741	1,786	
v[15]	3,359	2,184	4,463	3,334	3,924	3,924	2,344	4,330	2,158	1,446	4,309	3,672	3,427	2,985	1,943
v[16]	2,672	1,520	4,066	4,066	2,932	3,618	2,868	4,261	2,369	3,846	3,689	2,774	2,382	1,345	
v[17]	2,672	1,520	4,066	4,066	3,079	2,932	3,618	2,488	2,469	4,261	2,369	3,846	3,689	2,774	2,382
v[18]	2,672	1,520	4,069	4,069	1,029	2,932	3,618	2,488	2,469	4,261	2,369	3,846	3,689	2,774	2,382
v[19]	0,359	0,843	2,253	2,960	1,245	0,830	0,257	0,621	0,248	0,540	0,175	1,650	2,405	0,047	1,229
v[20]	2,113	0,577	1,826	0,056	1,676	2,767	2,220	3,641	0,321	0,307	3,671	1,956	3,335	0,116	
v[21]	0,044	0,062	0,155	1,598	0,011	0,069	0,000	0,005	0,099	0,162	0,763	0,000	0,023	0,019	0,000
v[22]	0,044	0,062	0,155	1,599	0,011	0,069	0,000	0,005	0,099	0,161	0,763	0,000	0,023	0,019	0,000
v[23]	0,044	0,062	0,155	1,599	0,011	0,069	0,000	0,005	0,099	0,161	0,763	0,000	0,023	0,019	0,000
v[24]	0,259	0,114	0,217	0,605	0,287	0,790	0,611	0,372	0,687	0,190	0,465	0,551	0,678	0,196	
v[25]	0,259	0,114	0,217	0,605	0,287	0,790	0,611	0,372	0,687	0,190	0,465	0,551	0,678	0,196	
v[26]	0,085	0,026	0,227	0,118	0,237	0,530	0,246	0,494	0,048	0,140	0,080	0,215	0,151		
v[27]	0,085	0,026	0,227	0,118	0,237	0,530	0,246	0,494	0,048	0,140	0,080	0,215	0,151		
v[28]	0,085	0,013	0,244	0,114	0,048	0,216	0,314	0,282	0,042	0,016	0,025	0,085	0,092	0,151	0,013
v[29]	0,085	0,013	0,244	0,114	0,048	0,216	0,314	0,282	0,042	0,016	0,025	0,092	0,092	0,151	0,013
v[30]	0,085	0,013	0,244	0,114	0,048	0,216	0,314	0,282	0,042	0,016	0,025	0,092	0,092	0,151	0,013
v[31]	0,172	0,653	0,113	1,779	4,094	1,498	1,209	0,664	0,485	0,016	0,19	0,151	0,411	1,708	
v[32]	0,191	0,158	0,053	0,319	0,169	0,563	0,216	0,314	0,282	0,026	0,194	0,091	0,127	0,045	
v[33]	0,033	0,043	0,619	0,172	0,070	0,921	0,216	0,314	0,282	0,026	0,194	0,091	0,127	0,045	
v[34]	0,035	0,013	0,619	0,172	0,070	0,921	0,216	0,314	0,282	0,026	0,194	0,091	0,127	0,045	
v[35]	0,172	0,653	0,113	1,779	4,094	1,498	1,209	0,664	0,485	0,016	0,19	0,151	0,411	1,708	
v[36]	22,248	18,674	28,579	23,897	24,536	27,948	21,809	28,844	14,871	21,913	28,495	23,565	23,212	20,268	17,894
v[37]	2,966	4,473	0,193	1,160	1,421	1,226	2,154	1,351	0,585	0,463	0,674	0,058	0,343	0,478	
v[38]	0,273	0,164	0,149	0,113	0,240	0,143	0,152	0,126	0,171	0,238	0,180	0,224	0,260	0,220	0,237
Tmax.	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Objective D	0,641	0,620	0,350	0,266	0,584	0,333	0,357	0,331	0,423	0,560	0,422	0,226	0,210	0,469	0,257

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ Growth Rate ณ ภาพต่อปีของตัวบ่งชี้ทางการค้าและตัวบ่งชี้ทางเศรษฐกิจ Asparagine

	Year	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
v[1]	-	1,237	3,239	2,498	3,394	2,756	1,437	2,467	3,347	0,848	3,734	3,304	2,457	2,714	2,407	2,407
v[2]	0,970	0,970	1,087	1,282	1,283	0,362	0,944	1,290	0,244	1,734	1,222	1,024	1,223	1,060	1,054	1,054
v[3]	0,963	0,963	-	-	-	-	1,901	-	2,019	0,056	1,791	1,387	1,321	1,465	1,368	1,368
v[4]	0,690	0,697	1,362	2,025	1,456	0,937	0,937	1,285	0,111	0,355	0,443	0,116	0,747	0,580	0,433	0,323
v[5]	0,230	0,683	0,445	0,593	0,549	0,111	0,111	0,488	0,488	0,437	0,134	0,946	0,642	0,368	0,696	0,107
v[6]	0,283	0,237	0,593	0,649	0,734	0,181	0,181	0,488	0,488	0,437	0,134	0,986	0,642	0,386	0,694	0,148
v[7]	0,283	0,237	0,592	0,649	0,734	0,181	0,181	0,488	0,488	0,437	0,134	0,986	0,642	0,386	0,694	0,148
v[8]	3,731	1,625	2,429	1,558	2,111	3,523	2,664	2,664	4,140	1,616	1,188	1,766	2,447	2,209	1,724	2,572
v[9]	4,195	2,400	3,375	2,781	3,379	3,777	3,228	3,231	4,549	2,873	2,873	3,397	3,136	2,898	2,802	2,802
v[10]	3,269	5,325	7,103	6,095	6,591	7,615	6,728	6,728	8,832	6,303	6,187	7,133	7,046	6,618	5,654	5,654
v[11]	5,625	4,126	5,902	5,492	5,541	5,469	5,479	5,479	5,528	5,414	5,604	5,192	5,394	5,118	5,246	5,246
v[12]	0,476	0,000	0,463	0,121	0,121	0,121	0,121	0,121	0,158	0,257	0,075	0,000	0,041	0,028	0,050	0,153
v[13]	5,487	6,320	5,231	4,598	5,616	5,367	5,744	5,744	4,401	5,130	2,374	6,520	6,100	6,265	6,094	4,414
v[14]	2,430	0,054	2,358	2,358	0,255	2,219	5,277	5,277	4,174	3,447	4,174	4,677	0,132	1,360	0,554	0,114
v[15]	5,025	4,778	4,213	3,923	5,083	5,064	4,826	4,826	4,891	4,960	1,301	5,010	5,044	5,057	4,651	4,131
v[16]	4,823	4,601	3,702	3,620	4,438	4,716	4,466	4,466	4,634	4,875	0,678	4,403	4,513	4,457	3,947	3,947
v[17]	4,823	4,601	3,702	3,620	4,438	4,716	4,466	4,466	4,875	0,678	4,403	4,513	4,467	3,947	3,947	
v[18]	6,023	10,969	6,205	4,776	9,246	6,653	7,460	7,460	4,296	5,122	0,965	10,166	8,511	9,028	8,654	4,037
v[19]	2,863	6,275	1,823	2,175	1,986	3,343	3,177	3,177	1,940	5,972	1,337	1,337	6,249	4,637	5,651	3,639
v[20]	3,220	4,673	4,382	2,602	3,362	3,511	7,113	7,113	4,182	3,773	3,917	3,875	3,538	3,057	4,398	4,398
v[21]	2,654	0,000	0,535	0,168	0,590	1,784	0,650	0,650	0,317	3,307	0,000	1,048	0,841	0,182	0,251	0,251
v[22]	2,654	0,000	0,535	0,168	0,590	1,784	0,650	0,650	0,317	3,307	0,000	1,048	0,841	0,182	0,251	0,251
v[23]	3,875	6,366	3,038	1,344	5,400	4,776	6,533	6,533	7,774	1,162	3,534	5,122	4,565	5,000	3,030	3,030
v[24]	0,237	0,013	0,380	1,062	0,140	0,535	0,762	0,762	1,166	-	1,307	0,937	1,43	0,729	0,310	1,625
v[25]	0,237	0,013	0,380	1,062	0,140	0,535	0,762	0,762	1,166	0,307	0,393	0,143	0,229	0,310	0,240	1,685
v[26]	0,087	0,013	0,071	0,533	0,168	0,318	0,418	0,418	0,959	0,118	0,249	0,143	0,212	0,107	0,370	0,370
v[27]	0,022	0,004	0,049	0,043	0,029	0,059	0,011	0,011	0,034	0,049	0,189	0,189	0,166	0,056	0,033	0,034
v[28]	0,022	0,004	0,049	0,043	0,029	0,059	0,011	0,011	0,034	0,049	0,189	0,189	0,166	0,056	0,033	0,034
v[29]	0,022	0,701	0,049	0,043	0,029	0,059	0,011	0,011	0,034	0,049	0,105	0,234	0,056	0,033	0,034	0,034
v[30]	0,044	1,022	0,099	0,096	0,058	0,197	0,023	0,023	0,048	0,057	0,210	0,515	0,112	0,066	0,066	0,212
v[31]	0,000	0,997	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
v[32]	0,151	0,000	0,309	0,549	0,012	0,116	0,508	0,508	0,227	0,188	0,144	0,144	0,066	0,066	0,120	1,315
v[33]	0,065	0,009	0,022	0,490	0,189	0,210	0,243	0,243	0,525	0,070	0,060	0,043	0,266	0,266	0,103	0,264
v[34]	0,022	0,701	0,049	0,043	0,029	0,059	0,011	0,011	0,034	0,049	2,105	0,254	0,056	0,056	0,106	0,106
v[35]	1,242	0,000	0,544	4,426	0,047	1,408	1,335	1,335	4,754	1,766	0,094	0,080	0,548	0,203	0,841	4,947
v[36]	34,631	34,976	29,997	14,731	34,612	33,241	30,355	30,355	34,639	13,544	34,339	34,798	34,942	33,355	29,944	33,355
v[37]	0,012	0,046	0,029	0,019	0,016	0,026	0,026	0,026	0,034	0,034	0,034	0,034	0,030	0,030	0,039	0,039
v[38]	1,308	6,715	2,709	1,309	5,065	1,977	1,307	1,307	0,787	0,281	0,591	0,497	4,209	4,800	5,187	0,105
Trans:	t	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Objective D	0,207	-	0,478	0,312	0,602	0,259	0,410	0,410	0,080	0,033	*	0,495	0,560	0,658	0,133	

ตารางที่ 3-4 (ต่อ)

	Time	Objective D
v[1]	5,000	5,000
v[2]	1,762	2,631
v[3]	0,986	1,131
v[4]	0,766	1,491
v[5]	0,455	0,527
v[6]	0,402	0,046
v[7]	0,540	0,384
v[8]	0,540	0,066
v[9]	0,540	0,046
v[10]	3,196	2,279
v[11]	4,138	3,153
v[12]	8,679	6,594
v[13]	9,317	9,124
v[14]	2,423	0,143
v[15]	4,597	5,115
v[16]	4,701	4,483
v[17]	4,701	5,017
v[18]	5,588	4,348
v[19]	3,107	2,423
v[20]	4,116	2,969
v[21]	3,385	4,018
v[22]	9,006	6,159
v[23]	7,223	9,006
v[24]	0,000	0,477
v[25]	2,000	0,427
v[26]	0,000	9,439
v[27]	0,000	0,277
v[28]	0,000	0,006
v[29]	0,000	0,077
v[30]	0,000	0,000
v[31]	-1,194	-1,194
v[32]	0,000	0,048
v[33]	0,000	2,423
v[34]	0,017	0,255
v[35]	2,640	4,774
v[36]	35,883	34,251
v[37]	0,017	0,008
v[38]	-	4,774
Time	16	17

ตารางที่ ๔-๕ ผลการเจริญทางค่า Growth Rate มากที่สุดของโครงข่ายตามตัวอักษรที่คำนวณได้ Threonine

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Threonine	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	
-[1]	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	
-[2]	2,723	4,456	3,474	2,451	2,451	3,746	4,333	4,210	2,609	3,170	3,949	3,623	2,154	2,645	4,533	1,901
-[3]	0,922	2,547	1,683	9,781	1,753	2,649	2,259	1,329	1,279	1,941	1,677	1,643	6,698	2,509	4,760	
-[4]	1,534	1,643	1,756	1,409	1,584	1,866	1,738	1,273	1,748	1,859	1,860	1,212	1,542	1,915	1,021	
-[5]	0,980	1,180	0,772	0,318	0,762	0,334	0,106	0,623	0,641	0,894	0,762	0,215	0,304	1,197	0,248	
-[6]	0,533	1,357	0,915	0,443	0,971	1,235	1,174	0,706	0,738	1,667	0,915	0,408	0,393	1,312	0,427	
-[7]	0,533	1,357	0,915	0,443	0,971	1,235	1,174	0,706	0,738	1,667	0,915	0,408	0,393	1,312	0,422	
-[8]	2,058	0,450	1,487	1,185	0,454	0,745	2,350	1,782	0,970	1,301	2,765	2,150	0,609	3,657		
-[9]	3,640	2,905	3,053	3,872	2,874	2,562	2,550	3,627	3,101	2,872	2,894	3,346	2,795	2,847	3,745	
-[10]	6,360	6,894	6,788	6,548	6,315	6,016	6,631	7,824	6,783	6,476	6,434	6,864	5,824	6,818	7,814	
-[11]	5,548	5,546	5,543	5,711	5,628	5,715	5,936	5,256	5,446	5,535	5,726	5,372	5,362	5,393		
-[12]	0,151	0,233	0,423	0,163	0,092	0,626	0,215	0,181	0,375	0,520	0,167	0,096	0,199			
-[13]	2,468	1,931	2,467	2,139	3,811	3,926	3,460	3,362	2,051	2,459	3,463	2,873	2,873			
-[14]	3,703	2,586	1,452	2,175	1,891	1,627	1,101	2,842	3,166	1,801	1,639	1,483	1,230	1,844	1,566	
-[15]	2,338	1,725	2,142	2,169	1,351	3,576	3,766	3,555	3,248	1,207	1,452	5,064	3,437	3,309	3,435	
-[16]	2,847	1,145	1,644	2,734	0,767	3,110	3,659	3,265	2,912	0,644	0,923	4,642	3,128	2,908	3,142	
-[17]	2,842	1,145	1,644	2,734	0,767	3,110	3,659	3,265	2,912	0,644	0,922	4,642	3,128	2,908	3,142	
-[18]	2,842	1,145	1,644	2,734	0,767	3,110	3,659	3,265	2,912	0,644	0,922	4,642	3,128	2,908	3,142	
-[19]	0,526	0,183	1,582	1,775	1,775	0,407	2,364	2,115	1,232	2,666	0,417	0,764	2,763	2,185	2,454	
-[20]	2,316	0,962	0,052	0,359	0,359	0,746	0,243	0,033	2,246	0,227	0,158	0,455	0,465	0,723	0,688	
-[21]	0,165	0,601	0,588	0,000	0,000	0,701	0,191	0,597	0,148	0,016	0,513	0,060	0,924	2,019		
-[22]	0,165	0,601	0,588	0,000	0,000	0,701	0,191	0,597	0,148	0,016	0,513	0,060	0,924	2,019		
-[23]	2,093	1,532	1,252	1,319	0,183	0,225	1,151	1,862	1,452	0,415	0,083	2,683	0,640	2,164	2,462	
-[24]	0,624	0,025	0,462	0,334	0,611	0,575	0,331	0,347	0,254	0,374	0,227	0,227	0,227	0,375	0,375	
-[25]	0,624	0,625	0,463	0,334	0,611	0,575	0,331	0,347	0,254	0,374	0,227	0,227	0,227	0,375	0,375	
-[26]	0,624	0,625	0,463	0,334	0,611	0,575	0,331	0,347	0,254	0,374	0,227	0,227	0,227	0,375	0,375	
-[27]	0,627	0,625	0,463	0,334	0,611	0,575	0,331	0,347	0,254	0,374	0,227	0,227	0,227	0,375	0,375	
-[28]	0,133	0,027	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	
-[29]	0,133	0,027	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	
-[30]	0,247	0,024	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	
-[31]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
-[32]	0,133	0,627	0,016	0,140	0,068	0,423	0,056	0,054	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053	
-[33]	0,133	0,627	0,016	0,140	0,068	0,423	0,056	0,054	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053	
-[34]	0,133	0,627	0,016	0,140	0,068	0,423	0,056	0,054	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053	
-[35]	0,133	0,627	0,016	0,140	0,068	0,423	0,056	0,054	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053	
-[36]	22,714	17,020	18,298	22,562	13,572	20,533	20,533	1,275	1,275	1,275	1,275	1,275	1,275	27,512		
-[37]	0,028	0,623	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	
-[38]	0,197	0,231	0,198	0,173	0,198	0,239	0,092	0,122	0,115	0,134	0,234	0,214	0,139	0,159	0,116	
Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Objective D	0,463	0,542	0,464	0,466	0,463	0,216	0,346	0,275	0,314	0,495	0,216	0,269	0,374	0,273		

Digitized by srujanika@gmail.com

ภาคผนวก จ

ผลจำลองการหาสัดส่วนพัลังงานต่อผลรวมของฟลักก์ทั้งหมด

โดยการใช้ตัวอักษรภาษาไทยที่มีเสียงพังผืด เช่น คำว่า “คุณ” หรือ “คุณแม่” ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของภาษาไทยที่มีความหมายพิเศษในเชิงจิตวิญญาณ

ຄະກາຮາງທີ ຈ-1 (ຕ່ອ)

ตารางที่ ๑-๒ ผลของการวิเคราะห์ทางเคมีของสารตัวชี้วัดที่ได้จากการจาระในห้องทดลองโดยใช้ฟอกฟ้าและซีรีน

Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Dose/v	0.578	0.626	0.509	0.425	0.574	0.516	0.410	0.545	0.581	-	0.567	0.626	0.608	0.568	-
v[1]	2.983	2.313	2.142	2.785	3.150	2.715	2.062	2.294	2.542	2.342	1.486	2.340	1.407	1.233	2.626
v[2]	0.588	1.070	1.077	1.805	2.578	2.246	1.966	1.477	1.233	1.359	1.938	1.880	1.920	2.172	2.703
v[3]	0.127	0.546	0.497	0.948	1.226	1.070	1.167	0.838	1.268	0.474	1.126	0.411	1.469	0.910	2.676
v[4]	0.412	0.432	0.482	0.752	1.135	0.938	1.289	0.950	0.571	1.923	0.320	0.485	1.033	0.485	1.469
v[5]	0.644	0.287	0.230	0.421	0.590	0.569	0.548	0.493	0.611	0.216	0.820	0.551	0.183	0.717	0.753
v[6]	0.083	0.298	0.267	0.487	0.546	0.546	0.606	0.455	0.537	0.247	1.061	0.585	0.228	0.753	0.753
v[7]	0.683	0.298	0.267	0.487	0.546	0.546	0.606	0.455	0.537	0.247	1.060	0.585	0.228	0.753	0.753
v[8]	2.327	1.227	1.050	0.574	0.557	0.453	0.681	0.802	0.120	1.087	1.679	0.153	1.701	0.014	1.461
v[9]	2.520	1.774	1.528	1.663	1.764	1.504	1.229	1.421	1.516	1.574	2.948	1.964	1.276	2.090	3.620
v[10]	5.024	3.796	3.268	4.127	4.099	3.498	2.999	3.056	3.243	3.345	6.597	4.045	5.072	4.349	3.620
v[11]	3.626	3.595	2.692	3.046	3.253	2.018	2.487	3.220	2.586	2.762	0.790	3.684	2.770	4.007	3.324
v[12]	0.545	1.210	0.467	0.102	0.000	0.190	0.337	0.843	0.141	0.129	1.797	0.452	0.353	1.283	0.340
v[13]	3.458	3.405	3.199	3.221	3.036	3.289	3.176	3.146	3.420	3.392	3.183	3.398	2.730	2.730	2.730
v[14]	3.134	2.706	4.468	0.938	1.174	0.337	0.517	1.236	0.315	2.759	1.167	2.544	2.482	2.482	2.482
v[15]	3.273	3.192	2.985	3.007	2.591	2.806	3.076	2.863	2.933	3.207	2.179	3.076	3.185	2.506	2.506
v[16]	3.158	3.084	2.972	2.885	2.699	2.678	2.955	2.853	2.811	3.089	1.963	2.660	3.064	2.394	2.394
v[17]	3.158	3.084	2.872	2.885	2.689	2.678	2.945	2.855	2.811	3.089	1.963	2.660	3.064	2.394	2.394
v[18]	3.158	3.084	2.872	2.865	2.449	2.678	2.955	2.855	2.811	3.089	1.963	2.660	3.064	2.394	2.394
v[19]	0.331	0.598	2.709	2.262	1.410	2.661	2.751	0.919	2.810	0.670	1.204	1.066	2.720	0.834	2.117
v[20]	2.827	2.886	1.653	0.603	0.589	0.01*	0.264	1.935	0.689	2.419	0.659	1.582	2.231	2.177	2.177
v[21]	1.255	0.062	0.436	0.949	0.037	0.341	0.313	0.266	0.538	0.444	5.763	0.422	0.143	0.263	0.159
v[22]	0.859	0.068	4.421	0.328	0.973	1.467	1.442	0.583	0.217	0.476	4.728	0.456	0.085	0.465	0.465
v[23]	0.859	0.068	5.421	0.228	0.973	1.467	1.442	0.613	0.217	0.476	4.728	0.456	0.085	0.465	0.465
v[24]	0.247	0.052	1.133	0.183	0.417	0.298	0.102	0.674	0.150	0.232	0.782	0.281	0.334	0.176	0.219
v[25]	0.247	0.052	1.133	0.183	0.417	0.298	0.102	0.674	0.150	0.232	0.782	0.281	0.334	0.176	0.219
v[26]	0.198	0.039	2.059	0.149	0.375	0.277	0.083	0.146	0.212	0.278	0.277	0.187	0.070	0.286	0.154
v[27]	0.032	0.037	0.055	0.108	0.124	0.146	0.018	0.030	0.037	0.191	0.961	0.030	0.020	0.082	0.045
v[28]	0.076	0.024	0.049	0.073	0.106	0.119	0.005	0.029	0.041	0.181	0.093	0.194	0.020	0.004	0.020
v[29]	0.024	0.037	0.049	0.067	0.097	0.146	0.016	0.009	0.018	0.181	0.093	0.194	0.007	0.077	0.077
v[30]	0.024	0.037	0.049	0.067	0.097	0.146	0.016	0.009	0.018	0.181	0.093	0.194	0.007	0.077	0.077
v[31]	0.026	0.000	0.006	0.035	0.016	0.021	0.014	0.004	0.015	0.016	0.028	0.001	0.003	0.014	0.005
v[32]	0.139	0.013	0.075	0.054	0.043	0.018	0.019	0.006	0.004	0.004	0.005	0.003	0.002	0.133	0.002
v[33]	0.076	0.002	0.004	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.004	0.002
v[34]	0.024	0.024	0.037	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.077	0.077
v[35]	1.312	3.622	2.974	3.855	5.046	4.877	5.180	5.048	5.871	5.871	5.871	5.871	5.871	5.917	5.917
v[36]	21.269	20.588	19.945	21.450	21.454	20.931	20.948	20.123	21.138	21.138	20.557	21.110	20.671	20.259	20.259
v[37]	0.122	0.471	6.178	0.178	0.396	0.514	1.835	2.344	0.920	0.935	1.375	1.644	1.686	1.005	0.377
v[38]	0.452	0.475	1.183	0.917	0.248	0.709	1.494	0.623	1.256	1.433	2.684	0.473	1.063	0.084	0.071

ตารางที่ บ-2 (ต่อ)

	2.462	1.759	3.456	2.760	2.470	2.060	3.511	2.322	2.214	2.159	2.853	2.795	2.476	1.997	
v[1]	1.921	1.443	1.893	2.431	*3.19	1.917	1.449	1.853	1.453	1.801	2.069	2.417	0.931	2.240	1.978
v[2]	1.128	0.839	1.139	1.395	0.715	1.030	0.647	0.949	0.985	0.990	1.091	1.302	2.468	1.432	4.053
v[3]	0.257	0.594	0.246	0.898	0.575	0.243	0.659	0.444	0.687	0.768	0.559	0.539	0.495	0.344	0.848
v[4]	0.549	0.399	0.548	0.579	0.238	0.488	0.297	0.458	0.477	0.471	0.506	0.630	0.694	0.511	0.694
v[5]	0.579	0.429	0.591	0.715	0.377	0.541	0.340	0.497	0.518	0.509	0.595	0.672	0.245	0.738	0.540
v[6]	0.579	0.429	0.591	0.715	0.377	0.441	0.346	0.491	0.518	0.509	0.595	0.672	0.245	0.738	0.540
v[7]	0.579	0.429	0.591	0.715	0.377	0.441	0.346	0.491	0.518	0.509	0.595	0.672	0.245	0.738	0.540
v[8]	0.526	0.271	0.416	0.313	1.135	0.128	0.267	0.053	0.054	0.053	0.235	0.231	0.238	0.150	0.020
v[9]	1.635	1.080	1.536	1.659	1.831	1.139	2.675	0.983	1.603	1.568	1.507	1.504	2.427	1.353	1.036
v[10]	3.798	2.541	3.609	4.036	3.960	2.747	5.628	2.496	3.664	3.168	3.930	3.118	4.597	3.181	2.504
v[11]	2.590	2.356	3.41	3.230	3.196	2.430	3.683	2.150	2.477	2.688	3.287	3.165	3.272	3.145	2.404
v[12]	0.037	0.557	0.687	0.384	0.640	0.244	0.004	0.154	0.081	0.570	0.582	0.113	0.190	0.340	0.020
v[13]	3.155	3.266	3.071	2.846	3.370	3.352	2.593	3.218	3.380	3.274	3.163	2.802	2.893	2.717	3.020
v[14]	0.347	2.172	2.112	0.421	1.730	1.813	2.285	1.917	2.582	1.937	1.381	0.937	1.912	1.493	1.346
v[15]	2.592	3.032	2.858	2.653	3.157	3.139	2.769	3.164	3.164	3.061	2.550	2.588	3.217	2.579	2.504
v[16]	2.455	2.96	2.737	2.541	3.043	3.010	2.640	3.196	3.058	2.937	2.796	2.469	3.059	2.770	2.396
v[17]	2.815	2.946	2.737	2.541	3.043	3.010	2.640	3.196	3.058	2.937	2.796	2.469	3.059	2.770	2.396
v[18]	2.839	2.946	2.737	2.541	3.043	3.010	2.640	3.196	3.058	2.937	2.796	2.469	3.059	2.770	2.396
v[19]	2.87	1.073	0.918	2.434	1.619	1.418	0.997	1.519	0.976	2.316	1.862	2.344	1.468	1.206	1.206
v[20]	0.048	1.673	1.829	0.117	1.423	1.407	1.943	1.575	2.212	1.621	0.934	0.126	1.361	1.068	1.068
v[21]	1.069	0.045	0.680	0.660	0.645	0.187	1.806	0.116	1.547	0.161	0.094	0.113	1.366	0.021	0.020
v[22]	0.476	4.377	4.613	0.504	0.574	0.446	2.190	0.512	0.450	0.149	0.290	1.418	0.275	0.115	0.275
v[23]	0.476	4.277	4.613	0.501	0.574	0.448	2.190	0.512	0.451	0.149	0.290	1.418	0.275	0.115	0.275
v[24]	0.096	0.983	0.973	0.101	0.117	0.126	0.237	0.072	0.077	0.168	0.193	0.245	0.169	0.135	0.245
v[25]	0.096	0.983	0.973	0.101	0.117	0.120	0.237	0.072	0.077	0.168	0.193	0.245	0.169	0.135	0.245
v[26]	0.059	0.010	0.075	0.049	0.077	0.096	0.121	0.020	0.022	0.102	0.154	0.065	0.207	0.153	0.020
v[27]	0.018	0.009	0.009	0.008	0.009	0.008	0.022	0.004	0.004	0.010	0.038	0.006	0.045	0.027	0.027
v[28]	0.018	0.009	0.009	0.008	0.009	0.008	0.022	0.004	0.004	0.010	0.038	0.006	0.045	0.027	0.027
v[29]	0.018	0.009	0.009	0.008	0.009	0.008	0.022	0.004	0.004	0.010	0.038	0.006	0.045	0.027	0.027
v[30]	0.036	0.020	0.010	0.110	0.138	0.030	0.144	0.143	0.050	0.117	0.043	0.119	0.026	0.028	0.028
v[31]	0.000	-0.001	0.013	0.005	0.007	0.022	0.004	0.004	0.002	0.001	0.016	0.047	0.012	0.051	-0.002
v[32]	0.046	0.073	-0.007	0.012	0.029	0.025	0.106	0.002	0.055	0.006	0.029	0.047	0.014	0.113	0.017
v[33]	0.041	0.001	0.007	0.013	0.005	0.008	0.027	0.012	0.012	0.017	0.046	0.048	0.019	0.045	0.136
v[34]	0.018	0.010	0.026	0.020	0.010	0.110	0.138	0.030	0.030	0.011	0.032	0.039	0.014	0.019	0.019
v[35]	4.003	4.188	5.121	0.005	0.005	0.005	0.005	0.002	0.002	0.001	0.016	0.047	0.012	0.000	-0.002
v[36]	21.695	19.330	20.561	20.917	21.079	21.691	20.943	21.478	20.713	20.594	21.396	20.997	0.014	0.113	0.113
v[37]	0.637	7.904	0.914	0.544	0.783	1.682	0.395	2.431	0.704	1.373	0.707	0.211	0.758	0.095	1.048
v[38]	4.126	4.273	0.251	0.312	0.854	1.641	0.910	2.036	1.570	1.064	0.656	0.325	0.526	0.210	0.974
Total:	16	117	48	19	20	21	22	23	24	25	26	27	29	30	
Observed D	0.659	-	-	0.624	0.625	0.669	0.553	0.611	0.619	0.624	0.611	0.613	-	0.613	0.613

ตารางที่ 3-3 เมตรองราชบัณฑิษชเดกพัลก์ รายการจัดของทางพัฒนาตามต่อไปนี้

	Time	Object	0.677	0.656	0.673	0.679	0.678	0.673	0.670	0.666	0.660	0.660	-
v[1]	1.447	2.305	1.346	1.100	0.751	2.094	2.355	2.176	2.406	2.020	2.380	1.770	2.376
v[2]	1.218	2.252	1.050	0.979	0.473	0.911	2.118	2.038	1.106	2.315	1.744	2.135	1.882
v[3]	0.694	1.280	0.549	0.524	0.240	0.377	1.286	1.144	0.617	1.207	1.689	1.290	1.730
v[4]	0.525	0.856	0.442	0.407	0.232	0.429	0.824	0.763	0.472	0.691	0.866	0.681	1.070
v[5]	0.323	0.584	0.278	0.248	0.102	0.173	0.525	0.533	0.291	0.463	0.638	0.501	0.629
v[6]	0.371	0.617	0.312	0.279	0.138	0.204	0.661	0.590	0.215	0.394	0.669	0.538	0.681
v[7]	0.371	0.417	0.312	0.279	0.138	0.204	0.561	0.595	0.236	0.596	0.687	0.548	0.684
v[8]	0.173	0.054	0.109	0.107	0.240	1.677	0.622	0.123	1.286	0.134	0.030	0.225	1.752
v[9]	0.638	1.222	0.719	0.616	0.482	2.016	1.289	1.246	1.884	1.277	1.318	1.091	1.456
v[10]	1.680	3.068	1.999	1.461	1.046	4.222	3.164	3.029	4.040	3.097	3.254	2.543	3.602
v[11]	1.517	2.777	1.843	.285	0.840	2.873	2.737	2.845	2.593	2.534	2.587	2.079	3.160
v[12]	0.163	0.393	0.399	0.113	0.007	0.196	0.521	0.585	0.111	0.039	0.226	0.749	0.790
v[13]	4.216	2.664	4.138	4.281	4.575	3.993	3.691	2.673	3.872	3.918	3.558	3.966	3.394
v[14]	0.330	0.329	0.789	0.329	0.613	0.694	0.453	0.455	0.695	0.428	0.371	0.400	0.406
v[15]	4.003	3.591	3.525	4.074	4.362	3.779	4.076	4.462	3.459	4.625	3.945	3.490	3.372
v[16]	2.878	3.282	3.814	3.966	4.249	3.672	3.326	3.848	3.447	3.646	3.237	3.579	3.844
v[17]	3.878	3.282	3.814	3.966	4.249	3.672	3.326	3.848	3.447	3.646	3.237	3.578	3.844
v[18]	1.878	1.282	3.814	3.966	4.249	3.672	3.326	3.848	3.447	3.646	3.237	3.578	3.844
v[19]	3.865	3.255	3.328	3.937	3.941	3.274	3.007	3.719	2.957	3.270	3.466	3.481	3.159
v[20]	0.013	0.077	0.486	0.029	0.108	0.398	0.059	0.129	0.391	0.128	0.076	0.105	1.307
v[21]	0.023	0.092	0.016	0.016	0.066	1.213	0.248	0.045	1.203	0.123	0.128	0.325	0.302
v[22]	0.523	0.592	0.226	0.006	0.006	1.213	0.288	0.045	1.203	0.123	0.128	0.325	0.302
v[23]	0.023	0.023	0.014	0.006	0.006	1.213	0.385	0.045	1.203	0.123	0.128	0.325	0.302
v[24]	0.052	0.158	0.046	0.012	0.012	1.143	0.091	0.064	1.044	0.115	0.061	0.147	0.112
v[25]	0.052	0.158	0.046	0.012	0.012	1.143	0.091	0.064	1.044	0.115	0.061	0.147	0.112
v[26]	0.029	0.138	0.014	0.008	0.008	1.014	0.005	0.005	1.012	0.012	0.008	0.046	0.046
v[27]	0.028	0.023	0.013	0.022	0.027	0.027	0.004	0.004	0.004	0.011	0.013	0.007	0.001
v[28]	0.028	0.100	0.013	0.022	0.007	0.052	0.009	0.072	0.012	0.011	0.013	0.045	0.018
v[29]	0.008	0.098	0.020	0.022	0.001	0.052	0.004	0.066	0.006	0.006	0.011	0.017	0.017
v[30]	0.029	0.098	0.010	0.022	0.001	0.052	0.004	0.066	0.006	0.006	0.012	0.048	0.018
v[31]	0.19	0.196	0.049	0.043	0.002	0.015	0.028	0.012	0.018	0.042	0.024	0.036	0.026
v[32]	0.018	0.002	0.003	0.000	0.006	1.100	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.001	<0.001
v[33]	0.023	0.019	0.015	0.023	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.011	0.013	0.007	0.001
v[34]	0.003	0.018	0.001	0.002	0.001	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.028
v[35]	0.029	0.008	0.008	0.022	0.001	0.025	0.002	0.025	0.002	0.025	0.002	0.025	0.017
v[36]	0.029	0.007	0.010	0.022	0.001	0.025	0.004	0.025	0.004	0.025	0.004	0.025	0.018
v[37]	22.697	23.314	22.346	22.446	4.417	1.793	1.614	1.513	1.755	2.959	1.243	2.507	1.100
v[38]	3.406	1.503	2.973	2.673	3.567	4.411	1.784	1.626	1.507	1.749	1.951	1.237	2.501
v[39]	3.400	1.497	2.967	2.667	3.567	4.411	1.784	1.626	1.507	1.749	1.951	1.237	2.501
Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Object	0.677	0.656	0.673	0.679	0.678	0.673	0.670	0.666	0.667	0.670	0.660	0.660	-

ตารางที่ ๓ (ต่อ)

	Trunum	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Objective	0.543	0.540	-	0.673	0.652	0.671	-	0.651	0.672	0.672	0.657	0.656	0.655	-	-	
Trunum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
v[1]	2.695	2.787	2.066	1.876	2.169	2.196	2.208	0.899	1.241	1.579	2.274	2.275	2.202	2.290	2.070	2.074
v[2]	1.818	2.506	2.037	1.205	1.204	0.431	0.398	0.615	0.691	1.175	1.228	1.986	0.690	1.18236	1.18236	1.18236
v[3]	0.987	1.217	1.205	1.060	0.670	0.148	0.146	0.161	0.190	0.661	1.244	1.147	1.058	0.218	0.67451	0.67451
v[4]	0.699	0.949	0.748	0.704	0.557	0.280	0.244	0.246	0.260	0.262	0.488	0.602	0.481	0.748	0.124	0.533236
v[5]	0.477	0.739	0.587	0.501	0.317	0.054	0.228	0.146	0.215	0.154	0.514	0.579	0.557	0.521	0.691	0.291271
v[6]	0.510	0.778	0.618	0.569	0.353	0.293	0.288	0.181	0.248	0.244	0.354	0.615	0.390	0.548	0.217	0.394183
v[7]	0.510	0.778	0.618	0.569	0.353	0.193	0.196	0.144	0.246	0.244	0.354	0.615	0.390	0.548	0.217	0.394182
v[8]	0.862	0.265	0.613	0.158	0.890	1.750	1.215	0.246	0.341	0.393	0.231	1.023	0.199	1.995	1.246484	1.246484
v[9]	1.830	1.763	1.219	1.200	1.541	1.879	1.879	1.802	0.579	0.753	1.052	1.396	1.259	1.238	1.294	1.868379
v[10]	4.118	4.246	3.005	2.881	2.380	3.795	3.413	1.288	1.762	2.360	3.580	3.856	3.988	3.660	4.041747	4.041747
v[11]	3.783	3.648	3.271	2.683	2.471	2.939	3.096	1.079	1.671	1.950	2.966	3.894	2.566	3.284	3.265939	3.265939
v[12]	1.013	0.774	0.527	0.447	0.192	0.657	0.659	0.108	0.152	0.248	0.699	1.145	0.275	0.916	0.533457	0.533457
v[13]	3.597	3.648	3.714	3.826	4.036	4.041	4.041	3.526	4.477	4.395	4.166	3.658	3.675	3.836	3.651515	3.651515
v[14]	1.936	1.141	0.374	0.353	0.726	3.458	1.297	0.562	1.056	0.578	0.213	1.116	0.381	2.732	0.346966	0.346966
v[15]	3.384	3.232	3.501	3.613	3.792	3.528	3.74	4.264	4.092	3.933	1.445	3.461	3.532	3.623	3.341958	3.341958
v[16]	3.275	3.116	3.395	3.417	3.681	3.713	3.579	4.155	3.985	3.816	1.332	3.533	3.428	3.511	3.120215	3.120215
v[17]	3.275	3.116	3.395	3.477	3.681	3.713	3.579	4.155	3.985	3.816	1.332	3.533	3.428	3.511	3.120215	3.120215
v[18]	3.275	3.116	3.395	3.477	3.681	3.713	3.579	4.155	3.985	3.816	1.332	3.533	3.428	3.511	3.120215	3.120215
v[19]	1.540	2.243	3.319	3.452	3.259	3.562	3.610	3.110	3.984	3.778	3.547	3.324	2.337	3.344	3.686295	3.686295
v[20]	1.635	0.976	0.025	0.423	0.151	0.369	0.261	0.246	0.270	0.096	0.115	0.075	0.422	0.63454	0.63454	
v[21]	0.195	0.458	0.164	0.170	0.769	0.717	0.717	0.717	0.717	0.717	0.717	0.717	0.717	0.717	0.717	0.717
v[22]	0.195	0.458	0.164	0.170	0.769	0.717	0.717	0.717	0.717	0.717	0.717	0.717	0.717	0.717	0.717	0.717
v[23]	0.195	0.458	0.164	0.170	0.769	0.717	0.717	0.717	0.717	0.717	0.717	0.717	0.717	0.717	0.717	0.717
v[24]	0.108	0.060	0.059	0.062	0.123	0.105	0.085	0.085	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082
v[25]	0.108	0.060	0.059	0.062	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123
v[26]	0.073	0.151	0.051	0.053	0.085	0.032	0.032	0.037	0.039	0.038	0.031	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038
v[27]	0.068	0.043	0.036	0.048	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038
v[28]	0.034	0.007	0.007	0.016	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019
v[29]	0.006	0.007	0.007	0.007	0.017	0.024	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018
v[30]	0.066	0.035	0.037	0.019	0.019	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
v[31]	1.145	6.112	5.737	5.315	3.681	2.221	3.346	3.175	4.046	4.317	5.547	5.547	3.059	3.059	3.059	3.059
v[32]	21.421	24.080	21.268	23.416	22.410	22.882	22.459	22.678	23.945	23.359	22.239	22.239	22.239	22.239	21.878	21.878
v[33]	0.489	0.484	1.701	1.982	2.214	1.788	1.580	4.074	3.565	2.885	1.375	1.375	1.354	1.354	1.354	1.354
v[34]	0.483	0.478	1.695	1.976	2.206	1.782	1.582	4.086	3.699	2.879	1.369	1.369	1.348	1.348	1.348	1.348
Trunum	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	30

ตามมาที่ ๑-๔ แสดงรายการของค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายเพื่อซื้อขายหุ้น ASX ของบริษัทฯ

ຄະນະກາງ

ออกงานที่ ๑-๕ ผู้กราบถืออาสาต่อหน้าที่ด้วยพอกกระเบื้องหินและหินปูนที่มีความงามของสถาปัตยกรรมไทยที่สุด

v[1]	0.864	0.974	0.981	2.599	2.345	1.145	0.864	1.305	1.446	0.864	0.984	3.467	1.051	1.607	
v[2]	0.296	0.242	0.286	1.465	0.886	0.538	0.462	0.286	1.183	0.598	0.211	0.276	1.542	0.985	0.401
v[3]	0.088	0.056	0.195	0.769	0.592	0.259	0.195	0.093	0.582	0.245	0.038	0.038	0.136	0.916	0.177
v[4]	0.187	0.168	0.267	0.638	0.410	0.170	0.149	0.076	0.341	0.130	0.094	0.204	0.696	0.401	0.253
v[5]	0.023	0.001	0.079	0.377	0.181	0.094	0.077	0.027	0.273	0.115	0.021	0.000	0.439	0.272	0.073
v[6]	0.064	0.026	0.117	0.412	0.212	0.135	0.123	0.066	0.367	0.150	0.038	0.035	0.479	0.301	0.104
v[7]	0.026	0.016	0.117	0.412	0.212	0.135	0.123	0.066	0.367	0.150	0.038	0.035	0.479	0.301	0.104
v[8]	0.533	0.621	0.359	1.128	1.465	0.591	0.388	0.564	0.107	0.833	0.638	0.694	1.790	0.920	1.190
v[9]	0.652	0.656	0.536	1.888	1.837	0.801	0.569	0.638	0.571	1.080	0.658	0.719	2.882	0.605	1.348
v[10]	1.269	1.258	1.132	4.134	3.815	1.677	1.179	1.294	1.597	2.355	1.297	1.401	3.796	1.442	2.749
v[11]	1.007	0.969	0.960	3.879	3.616	1.374	1.091	0.987	1.360	1.968	1.059	1.223	3.376	1.202	2.576
v[12]	0.001	0.041	0.043	1.201	1.199	0.137	0.137	0.036	0.001	0.017	0.112	0.159	6.141	0.084	0.897
v[13]	0.322	0.325	0.310	2.097	2.971	0.889	0.296	0.207	0.712	0.930	0.382	0.541	2.894	0.541	1.910
v[14]	0.485	0.383	0.372	0.440	2.597	1.976	1.976	0.408	1.755	0.725	1.791	1.940	0.658	1.227	3.099
v[15]	4.152	4.152	4.113	3.010	3.105	3.287	3.287	4.137	3.869	3.977	3.855	4.086	4.690	3.940	3.457
v[16]	4.245	4.041	3.988	2.869	2.869	3.159	3.159	4.245	4.024	3.790	3.866	3.722	3.975	2.374	3.349
v[17]	4.245	4.041	3.988	2.869	2.869	3.159	3.159	4.024	4.024	3.790	3.866	3.722	3.975	2.374	3.349
v[18]	4.126	3.941	3.913	2.762	2.762	2.093	2.093	1.96	3.921	2.386	3.845	2.237	2.388	1.900	5.556
v[19]	5.119	5.080	5.085	5.137	5.296	1.666	1.666	1.279	2.021	1.404	0.121	.486	1.687	-3.50	2.793
v[20]	0.102	0.119	0.003	0.116	0.059	0.163	0.099	0.158	0.078	0.112	0.099	0.028	0.028	1.039	0.039
v[21]	0.102	0.119	0.003	0.116	0.059	0.163	0.099	0.158	0.112	0.059	0.038	0.038	0.120	0.033	0.033
v[22]	4.245	4.041	3.988	2.869	2.869	3.159	3.159	3.240	4.072	3.790	3.866	3.722	3.975	2.374	3.349
v[23]	4.126	3.941	3.913	2.762	2.762	2.093	2.093	1.96	3.921	2.386	3.845	2.237	2.388	1.900	5.556
v[24]	0.041	0.041	0.041	0.048	0.048	0.117	0.117	0.033	0.033	0.153	0.099	0.028	0.028	0.111	0.017
v[25]	0.041	0.051	0.048	0.048	0.048	0.117	0.117	0.033	0.033	0.153	0.099	0.028	0.028	0.111	0.017
v[26]	0.075	0.051	0.051	0.051	0.051	0.097	0.097	0.033	0.033	0.151	0.095	0.016	0.087	0.117	0.018
v[27]	0.021	0.021	0.019	0.019	0.019	0.042	0.030	0.002	0.015	0.025	0.007	0.007	0.022	0.018	0.012
v[28]	4.245	4.158	4.019	3.122	0.407	3.685	3.685	3.222	4.201	3.477	1.771	3.745	1.767	2.090	1.793
v[29]	0.041	0.041	0.041	0.048	0.048	0.117	0.117	0.033	0.033	0.153	0.099	0.028	0.028	0.111	0.017
v[30]	0.041	0.051	0.048	0.048	0.048	0.117	0.117	0.033	0.033	0.153	0.099	0.028	0.028	0.111	0.017
v[31]	0.075	0.051	0.051	0.051	0.051	0.097	0.097	0.033	0.033	0.151	0.095	0.016	0.087	0.117	0.018
v[32]	0.021	0.021	0.019	0.019	0.019	0.042	0.030	0.002	0.015	0.025	0.007	0.007	0.022	0.018	0.012
v[33]	0.021	0.021	0.023	0.013	0.042	0.042	0.030	0.012	0.015	0.031	0.005	0.007	0.012	0.018	0.012
v[34]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.011	0.011
v[35]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[36]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[37]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[38]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[39]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[40]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[41]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[42]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[43]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[44]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[45]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[46]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[47]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[48]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[49]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[50]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[51]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[52]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[53]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[54]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[55]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[56]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[57]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[58]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[59]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[60]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[61]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[62]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[63]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[64]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[65]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[66]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[67]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[68]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[69]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[70]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[71]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[72]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[73]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[74]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.042	0.042	0.012	0.017	0.025	0.002	0.018	0.009	0.005	0.011
v[75]	0.019	0.019	0.019	0.											

ຕົກລາງທີ ១-៥ (ໜ້າ)

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นางสาวศรีราดี ทรัพย์อุดมโชค
ชื่อวิทยานิพนธ์ : การวิเคราะห์ความสมดุลของกลั่กซ์การ์บอนในแบบจำลองเบคทีเรียโดยการใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม
สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า

ประวัติ

เกิดวันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2523 ที่อยู่ปัจจุบัน เลขที่ 46/8 หมู่ที่ 1 แขวงบางไผ่ เขตบางแค กรุงเทพฯ 10160 เป็นคนที่สามของนายสุนทร ทรัพย์อุดมโชค และนางศรีสุวรรณ ทรัพย์อุดมโชค ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมตอนต้น จากโรงเรียนสตรีวัดอัปสรสวรรค์ ปี 2538 สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ปี 2541 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือในปี พ.ศ.2545