

การกำหนดห้องเรียนให้มีจำนวนที่นั่งที่ว่างเหลือน้อยที่สุด



นายสุวิวัฒน์ สืบสานกุล

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

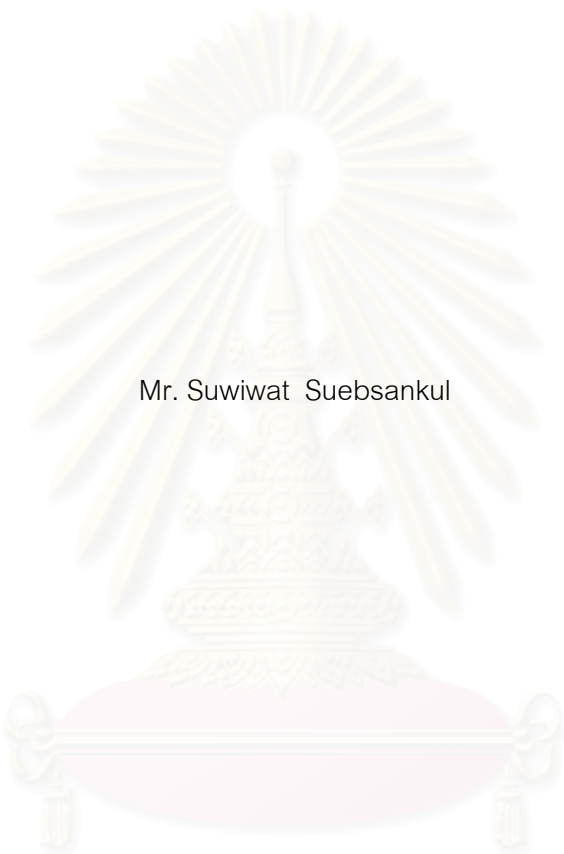
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-1110-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CLASSROOM ASSIGNMENT FOR MINIMIZING THE NUMBER OF EMPTY SEATS



Mr. Suwivat Suebsankul

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-1110-7

|                      |   |
|----------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์    | การกำหนดห้องเรียนให้มีจำนวนที่นั่งว่างเหลือน้อยที่สุด |
| โดย                  | นายสุวิวัฒน์ สืบสานกุล                                |
| สาขาวิชา             | วิศวกรรมอุตสาหการ                                     |
| อาจารย์ที่ปรึกษา     | อาจารย์ ดร. ปวีณา เชาวลิทวงศ์                         |
| อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เจริญ บุญดีสกุลโชค             |

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มานพ เรียวเดชะ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ ดร.ปวีณา เชาวลิทวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม (ถ้ามี)  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เจริญ บุญดีสกุลโชค)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมมาภรณ์พิลาศ)

สุวิวัฒน์ สืบสานกุล : การกำหนดห้องเรียนให้มีจำนวนที่นั่งว่างเหลือน้อยที่สุด. (CLASSROOM ASSIGNMENT FOR MINIMIZING THE NUMBER OF EMPTY SEATS ) อ. ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร. ปวีณา เซาวลิตวงศ์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เหรียญ บุญดีสกุลโชค 110 หน้า. ISBN 974-17 -1110 -7.

การกำหนดห้องเรียนให้ใช้ประโยชน์ได้สูงสุดนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เมื่อมีจำนวนวิชาเรียนและจำนวนห้องเรียนเพิ่มมากขึ้นการกำหนดห้องเรียนในปัจจุบันจึงไม่สามารถทำได้ที่ดีที่สุด จากงานวิจัยก่อนหน้านี้มีการศึกษาการจัดตารางเรียนและการกำหนดห้องเรียนร่วมกัน แต่มีรูปแบบปัญหาที่แตกต่างกันตามเงื่อนไขของแต่ละสถานที่ และบางรูปแบบปัญหาสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ สำหรับงานวิจัยนี้ได้เห็นความสำคัญเฉพาะการกำหนดห้องเรียนให้มีจำนวนที่นั่งว่างน้อยที่สุด ซึ่งเป็นรูปแบบปัญหาการกำหนดห้องเรียน (Classroom Assignment Problem) และสอดคล้องกับปัญหาปัจจุบันของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยทุกวิชาต้องมีห้องเรียนหนึ่งห้อง และแต่ละห้องเรียนประกอบด้วยวิชาที่มีเวลาเรียนต่างกันได้มากกว่าหนึ่งวิชา ในงานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในรูปของ Integer Linear Programming และใช้โปรแกรม Solver Large Scale Version 3.5 ในการคำนวณหาคำตอบ ซึ่งคำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ดีที่สุด และผลการศึกษางานวิจัยนี้ได้คำตอบที่ดีกว่าการกำหนดห้องเรียนในปัจจุบัน โดยมีจำนวนที่นั่งว่างลดลง 52.4 %

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมอุตสาหการ..... ลายมือชื่อนิสิต.....  
สาขาวิชา... .วิศวกรรมอุตสาหการ..... . ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ปีการศึกษา .....2545..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## 4371509221: MAJOR Industrial Engineering

KEY WORD: CLASSROOM ASSIGNMENT PROBLEM / INTEGER LINEAR PROGRAMING

Suwiat Suebsankul : CLASSROOM ASSIGNMENT FOR MINIMIZING THE NUMBER OF EMPTY SEATS. THESIS ADVISOR : L. Paveena Chaovalitwongse,Ph.D., THESIS COADVISOR : Assist Prof.Rien Boondiskulchok,Ph.D., 110 pp. ISBN 974-17-1110-7.

Classroom assignment is essential for maximizing classroom utilization. Especially when the number of courses and the number of classroom are increased, the existing method of classroom assignment is not efficient to solve these complicate problems. From the previous research, timetabling classroom problem and classroom assignment problem have been studied together. In addition, the constraints of these problems varied from one university to another. However some problems can be examined the optimal solutions using the methodology proposed by the previous studies. In this research, the objective is to assign a number of courses to classrooms in order to minimize the number of empty seats. This is the Classroom Assignment Problem, which corresponds with the problem of the Faculty of Engineering at Kasetsart University. For this problem, each course has to be assigned to a specific classroom, while each classroom can be assigned to many different courses but have to be assigned in different periods. In this research, the mathematical model is formulated as an integer linear programming. Solver Large Scale Version 3.5 is used to solve the model and to acquire the optimal solution. According to the solution from this study, the number of empty seats was reduced by 52.4 percent compared with the result from the existing method.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department .....Industrial Engineering..... Student's signature.....

Field of study .....Industrial Engineering.....Advisor's signature.....

Academic year .....2002..... Co-advisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบพระคุณ อ.ดร. ปวีณา เชาวลิตวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา และ ผศ.ดร.เหรียญ บุญดีสกุลโชค อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมเป็นอย่างสูง ที่ได้ให้คำปรึกษาและข้อคิดเห็นด้วยดีตลอดมา รวมทั้งการตรวจสอบแก้ไขเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ขึ้นจากคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ผศ.ดร.มานพ เรียวเดชะ ประธานกรรมการ และ อ.ดร.วิภาวี ธรรมมารณพิลาศ จึงใคร่ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ทั้ง 2 เป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ทำนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณครอบครัว และทุกคนที่คอยให้คำปรึกษาและกำลังใจตลอดมา

สุวิวัฒน์ สีสานกุล

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

หน้า

|   |    |
|---|----|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....                                  | ง  |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....                               | จ  |
| กิตติกรรมประกาศ.....                                  | ฉ  |
| สารบัญตาราง.....                                      | ณ  |
| สารบัญภาพ.....  | ญ  |
| คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....                        | ฎ  |
| บทที่   |    |
| 1. บทนำ.....  | 1  |
| ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....                   | 1  |
| ประวัติคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ..... | 1  |
| การจัดตารางเรียนและการกำหนดห้องเรียนในปัจจุบัน .....  | 2  |
| ปัญหาปัจจุบัน .....                                   | 3  |
| วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....                         | 4  |
| ขอบเขตการวิจัย .....                                  | 4  |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....                       | 4  |
| ลำดับขั้นตอนในการนำเสนอผลการวิจัย .....               | 5  |
| 2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                | 7  |
| แนวคิดและทฤษฎี .....                                  | 7  |
| - ขั้นตอนการดำเนินงานของการการวิจัยดำเนินงาน.....     | 7  |
| - Integer Programming.....                            | 10 |
| - ปัญหาควบคู่ของปัญหาโปรแกรมเชิงเส้นตรง.....          | 19 |
| - ผลลัพธ์กรณีต่างๆ ของ ด้วยวิธี Simplex.....          | 20 |
| เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                   | 22 |
| รูปแบบปัญหาก่อนหน้า.....                              | 24 |
| 3. วิธีดำเนินการดำเนินงานวิจัย.....                   | 27 |
| รูปแบบปัญหาการกำหนดห้องเรียน.....                     | 27 |
| การคำนวณหาคำตอบของรูปแบบปัญหาการกำหนดห้องเรียน.....   | 36 |
| ทดสอบรูปแบบปัญหาการกำหนดห้องเรียน.....                | 44 |

## สารบัญ

|  | หน้า |
|--|------|
| 4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....                   | 48   |
| ผลการวิเคราะห์.....                            | 48   |
| ผลการเปรียบเทียบ.....                          | 49   |
| 5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ..... | 52   |
| สรุปผลการวิจัย.....                            | 52   |
| อภิปรายผลการวิจัย.....                         | 52   |
| ข้อเสนอแนะ.....                                | 53   |
| รายการอ้างอิง.....                             | 54   |
| ภาคผนวก.....                                   | 55   |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....                | 110  |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญตาราง

| ตาราง | หน้า  |
|-------|---|
| 3.1   | แสดงข้อมูลรายวิชาของปัญหาการกำหนดห้องเรียนกรณีที่มีวิชาที่เรียน 2 ครั้ง ต่อสัปดาห์ต้องเรียนห้องเรียนเดียวกันของตัวอย่างที่ 3.1 .....31  |
| 3.2   | แสดงข้อมูลห้องเรียนของปัญหาการกำหนดห้องเรียนกรณีที่มีวิชาที่เรียน 2 ครั้ง ต่อสัปดาห์ต้องเรียนห้องเรียนเดียวกันของตัวอย่างที่ 3.1.....31   |
| 3.3   | แสดงการคำนวณหาจำนวนที่ว่าง ( $c_{ij}$ ) ของปัญหาการกำหนดห้องเรียนกรณีที่มีวิชาที่เรียน 2 ครั้งต่อสัปดาห์ต้องเรียนห้องเรียนเดียวกันของตัวอย่างที่ 3.1.....34   |
| 3.4   | แสดงผลการทดสอบรูปแบบปัญหาการกำหนดห้องเรียนขนาดต่างๆ.....45  |
| 4.1   | แสดงคำตอบของวิธีการกำหนดห้องเรียน กรณีที่วิชาเรียนเดียวกันเรียน 2 วัน ในหนึ่งสัปดาห์เรียนต่างห้องกันได้ และกรณีที่ต้องเรียนห้องเดียวกันทั้งสองวัน.....49  |
| 4.2   | แสดงผลต่างของคำตอบการกำหนดห้องเรียนด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน.....50  |
| 4.3   | แสดงคำตอบจากการกำหนดห้องเรียน โดยพิจารณาจำนวนที่ว่างต่ำสุด และต้นทุนรวมต่ำสุด ของสถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร (SIIT) และงานวิจัยนี้ในรูปแบบปัญหา Classroom Assignment Problem(CAP) กรณีที่วิชาเดียวกันเรียน 2 วันเรียนในห้องเรียนแตกต่างกันได้.....51 |
| ก.1   | จำนวนห้องเรียนขนาดต่างๆของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.....58   |
| ก.2   | จำนวนวิชาแบ่งตามภาควิชาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.....59   |
| ก.3   | จำนวนวิชาแบ่งตามชั้นปีของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.....59  |
| ก.4   | จำนวนอาจารย์แบ่งตามภาควิชาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.....60  |
| ข.1   | ตารางแสดงผลการคำนวณ Linear Programming ด้วยวิธี Simplex สำหรับ ปัญหาที่มีลักษณะ infeasible กรณีที่มีห้องเรียนไม่เพียงพอในคาบใดๆ.....62  |
| ข.2   | ตารางแสดงผลการคำนวณ Linear Programming ด้วยวิธี Simplex สำหรับปัญหาที่มี Alternative Optimal Solution.....63  |
| ค.1   | แสดงข้อมูลรายวิชาทั้งหมดของตัวอย่างที่ 3.4 แสดงลักษณะปัญหาการกำหนด ห้องเรียนที่มี Alternative Optimal Solution และต้องการคำตอบที่ดีที่สุดด้วย วิธี Branch and Bound.....65  |
| ค.2   | แสดงข้อมูลห้องเรียนทั้งหมดของตัวอย่างที่ 3.4 แสดงลักษณะปัญหาการกำหนด ห้องเรียนที่มี Alternative Optimal Solution และต้องการคำตอบที่ดีที่สุดด้วย วิธี Branch and Bound.....68  |

## สารบัญตาราง(ต่อ)

| ตาราง | หน้า   |
|-------|--|
| จ.1   | ตารางแสดงผลการคำนวณสำหรับการทดสอบรูปแบบปัญหาการกำหนด<br>ห้องเรียนขนาดเล็ก.....82   |
| จ.2   | ตารางแสดงผลการคำนวณสำหรับการทดสอบรูปแบบปัญหาการกำหนด<br>ห้องเรียนขนาดกลาง.....88   |
| จ.3   | ตารางแสดงผลการคำนวณสำหรับการทดสอบรูปแบบปัญหาการกำหนด<br>ห้องเรียนขนาดใหญ่.....90   |
| จ.4   | ตารางข้อมูลการทดสอบรูปแบบปัญหาการกำหนดห้องเรียนเพื่อเปรียบเทียบ<br>คำตอบของปัญหาInteger Linear Programming กับ Linear Programming.....91                               |
| จ.5   | ตารางข้อมูลการทดสอบรูปแบบปัญหาการกำหนดห้องเรียนเพื่อศึกษาปัจจัย<br>ที่มีผลทำให้ปัญหาInteger Linear Programming ไม่สามารถคำตอบที่ดีที่สุด<br>ได้ด้วยวิธี Simplex.....93 |
| ฉ.1   | ตารางแสดงข้อมูลรายละเอียดแต่ละรายวิชา (วันจันทร์ - วันศุกร์)ภาคต้นปีการ<br>ศึกษา2544 ของคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.....97                                 |
| ฉ.2   | ตารางแสดงข้อมูลรายละเอียดแต่ละห้องเรียนภาคต้น ปีการศึกษา2544<br>ของคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.....104   |
| ช.1   | ตารางข้อมูลรายวิชา (วันจันทร์ ถึง วันศุกร์) ปี1998<br>ของสถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.....106  |
| ช.2   | ตารางแสดงต้นทุนต่อห้องเรียนของแต่ละห้อง (วันจันทร์ ถึง วันศุกร์) ปี1998<br>ของสถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.....108                             |

## สารบัญญรูปภาพ

| รูปภาพ  | หน้า |
|---|------|
| 1.1 แสดงการจัดตารางเรียนและการกำหนดห้องเรียนในปัจจุบันของ<br>คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.....                        | 3    |
| 2.1 แสดงการแตกปัญหาออกเป็นปัญหาย่อยขั้นตอนแรกของหลักการ<br>Branch and Bound สำหรับปัญหา BIP.....                                  | 12   |
| 2.2 แสดงผลของการหาคำตอบขั้นแรกของหลักการ Branch and Bound<br>สำหรับปัญหา BIP.....   | 14   |
| 2.3 แสดงคำตอบที่ได้จากการหลักการ Branch and Bound สำหรับ<br>ปัญหา BIP.....  | 14   |
| 2.4 แสดงคำตอบ Iteration 2 ของหลักการ Branch and Bound สำหรับปัญหา BIP.....  | 16   |
| 2.5 แสดงคำตอบ Iteration 3 ของหลักการ Branch and Bound สำหรับปัญหา BIP.....  | 17   |
| 2.6 แสดงคำตอบ Iteration 4 ของหลักการ Branch and Bound สำหรับปัญหา BIP<br>และให้คำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา.....                      | 18   |
| 3.1 แสดงความหมายของสัญลักษณ์ $S_i$ , $F_i$ และ $p$ สำหรับอธิบายการคำนวณ<br>หาค่าสัมประสิทธิ์ $c_{ij}$ และ $G_{ikl}$ .....         | 28   |
| 3.2 แสดง Flow Chart การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ $c_{ij}$ ของสมการวัตถุประสงค์<br>สำหรับของงานวิจัยนี้.....                            | 29   |
| 3.3 แสดง Flow Chart กำหนดค่าสัมประสิทธิ์ $G_{ikl}$ ของเงื่อนไขสำหรับงานวิจัยนี้.....  | 30   |
| 3.4 แสดงตารางเรียนแสดงค่าสัมประสิทธิ์ $G_{ikl}$ ที่มีค่าเท่ากับหนึ่งในวันที่ 1<br>ของตัวอย่างที่ 3.1.....                         | 32   |
| 3.5 แสดงตารางเรียนแสดงค่าสัมประสิทธิ์ $G_{ikl}$ ที่มีค่าเท่ากับหนึ่งในวันที่ 2<br>ของตัวอย่างที่ 3.1.....                         | 33   |
| 3.6 แสดง Flow Chart การตรวจเช็คคำตอบเริ่มต้นของปัญหาที่ไม่มีคำตอบเริ่มต้น<br>กรณีที่ไม่มีห้องเรียนสำหรับวิชานั้นๆ.....            | 37   |
| 3.7 แสดงการคำนวณหาคำตอบโดยหลักการ Branch and Bound สำหรับปัญหาที่มี<br>คำตอบที่ดีที่สุดมากกว่าหนึ่งคำตอบ.....                     | 43   |
| 3.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการคำนวณกับจำนวนตัวแปรตัดสินใจ.....  | 46   |
| 3.9 แสดงอัตราส่วนคำตอบระหว่างปัญหา Integer Linear Programming<br>กับปัญหา Linear Programming ของรูปแบบปัญหาสำหรับงานวิจัยนี้..... | 46   |

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

|                    |   |
|--------------------|---|
| คาบ(period)        | เวลาเรียนที่ถูกแบ่งเป็นช่วงเวลาย่อยๆ ในงานวิจัยนี้แบ่งเป็นช่วงละ 30 นาที                                  |
| ตารางเรียน         | ตารางกำหนดวัน เวลา และห้องเรียน สำหรับการเรียนในแต่ละภาคการศึกษาให้<br>นิติตทราบ                          |
| หน่วยทะเบียน       | หน่วยงานประกอบด้วยเจ้าหน้าที่ทำหน้าที่กำหนดห้องเรียนกลางของคณะฯ   |
| หมู่เรียน(section) | กลุ่มของนิติตที่ถูกแบ่งในแต่ละวิชาเนื่องจากจำนวนนิติตที่เรียนมาก ซึ่งไม่<br>สามารถสอนได้หมดในห้องเดียวกัน |
| BIP                | Binary Integer Linear Programming   |
| CAP                | Classroom Assignment Problem  |
| IP                 | Integer Programming   |
| ILP                | Integer Linear Programming  |
| LP                 | Linear Programming  |
| D                  | วิชาเรียนเขียนแบบ   |
| <i>DR</i>          | ห้องเรียนเขียนแบบ   |
| L                  | วิชาเรียนบรรยาย   |
| L1                 | วิชาบรรยายเรียนครั้งที่ 1 จาก 2 ครั้งต่อสัปดาห์   |
| L2                 | วิชาบรรยายเรียนครั้งที่ 2 จาก 2 ครั้งต่อสัปดาห์   |
| <i>LR</i>          | ห้องเรียนบรรยาย   |
| <i>M</i>           | ค่าที่มีค่ามากๆ สำหรับงานวิจัยนี้ให้มีค่าเท่ากับ 999999   |
| $N_j$              | จำนวนที่นั่งของห้องเรียน $j$  |
| $T_i$              | จำนวนนิติตที่เรียนวิชา $i$  |
| $F_i$              | เวลาสิ้นสุดเรียนของวิชา $i$   |
| $m$                | จำนวนวิชา   |
| $n$                | จำนวนห้องเรียน  |
| $q_i$              | ประเภทของวิชาที่ $i$  |
| $p$                | จำนวนคาบเวลาเรียน   |
| $p_j$              | ประเภทของห้องเรียนที่ $j$   |
| $r$                | จำนวนวัน  |
| $S_i$              | เวลาเริ่มต้นเรียนของวิชา $i$  |

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความต้องการวิศวกรในด้านต่างๆ เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงหลายปีที่ผ่านมา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์เล็งเห็นความสำคัญ จึงได้มีการรับนิสิตเพิ่มขึ้น พร้อมทั้งมีการเพิ่มจำนวนภาควิชา และมีการเปิดสอนโครงการภาคพิเศษ การเพิ่มของจำนวนนิสิตอย่างรวดเร็วนี้ทำให้การจัดตารางเรียนและการกำหนดห้องเรียนมีความซับซ้อนยิ่งขึ้น เนื่องจากมีการเพิ่มของจำนวนวิชา จำนวนอาจารย์ จำนวนหมู่เรียน ดังนั้นการจัดตารางเรียนและการกำหนดห้องเรียนพร้อมกันโดยใช้มือจึงไม่สามารถรองรับเงื่อนไขที่เพิ่มมากขึ้น และทำให้เกิดปัญหาต่างๆ ตามมา ทางคณะวิศวกรรมศาสตร์จึงให้แต่ละภาควิชาทำการจัดตารางเรียน และส่งให้ทางหน่วยทะเบียนคณะศวกฯ กำหนดห้องเรียนส่วนกลางให้กับแต่ละภาควิชา ปัจจุบันมีการศึกษามากมายเกี่ยวกับการจัดตารางเรียนและการกำหนดห้องเรียนในขั้นตอนเดียวกัน โดยต้องการให้ได้คำตอบอย่างรวดเร็วและได้คำตอบที่ดีที่สุด ภายใต้ข้อจำกัดของแต่ละสถานที่ ทางผู้จัดทำวิทยานิพนธ์เล็งเห็นความจำเป็นในการพัฒนาเฉพาะการกำหนดห้องเรียนจากตารางเรียนของแต่ละภาควิชาได้ จัดก่อนส่งให้ทางหน่วยทะเบียนกำหนดห้องเรียนของคณะศวกฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพื่อให้สอดคล้องกับปัญหาในปัจจุบัน โดยต้องการให้มีจำนวนที่นั่งว่างเหลือน้อยที่สุด

### ประวัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปัจจุบันมีสาขาวิชารวมทั้งสิ้น 14 สาขาวิชา คือ สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สาขาวิชาวิศวกรรมชลประทาน สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ สาขาวิชาวิศวกรรมการอาหาร สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สาขาวิชาวิศวกรรมการบินและอวกาศยาน สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าเครื่องกลการผลิต และมีอีกหนึ่งสาขาวิชาในระดับปริญญาโท คือ สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัย และมีการเปิดระดับปริญญาโทและปริญญาเอกในบางสาขาวิชา ภาคต้น ปีการศึกษา 2544 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มีจำนวนนิสิตรวมทั้งสิ้นประมาณ 5,070 คน แยกเป็นนิสิตระดับปริญญาตรี 4,231 คน นิสิตระดับปริญญาโท 831 คน และนิสิตระดับปริญญาเอก 8 คน

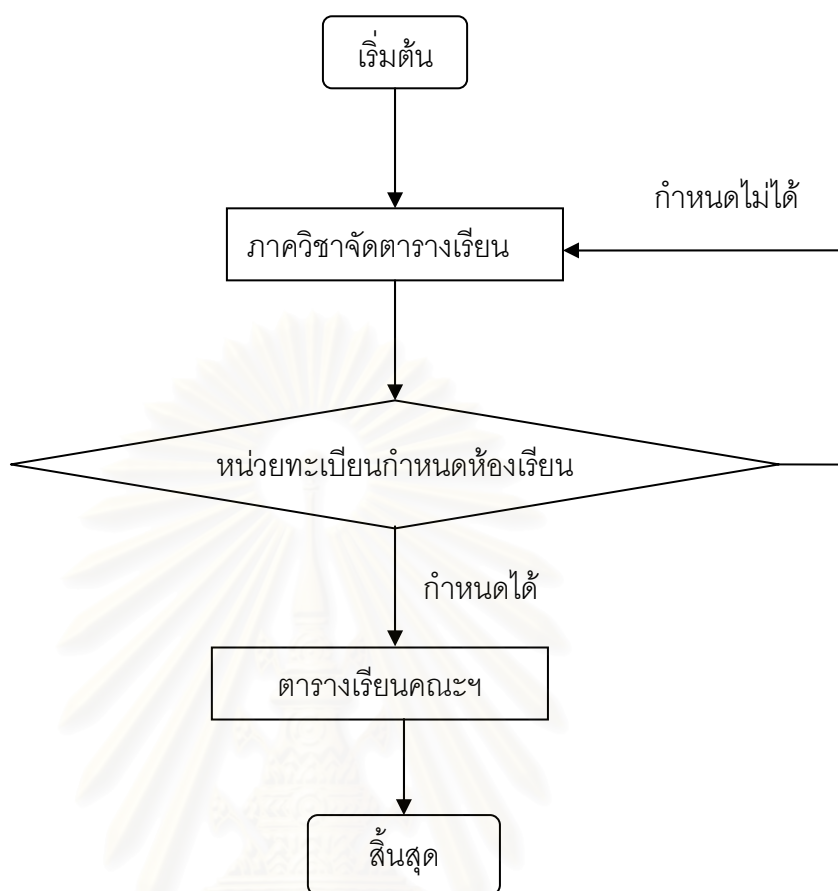
## การจัดตารางเรียนและการกำหนดห้องเรียนในปัจจุบัน

การจัดตารางเรียนและการกำหนดห้องเรียนในปัจจุบัน เริ่มต้นโดยแต่ละภาควิชา จะจัดตารางเรียนจากการอ้างอิงตารางเรียนของปีที่ผ่านมา ทางภาควิชาจะจัดตารางเรียน สำหรับนิสิตชั้นปีที่ 3 และชั้นปีที่ 4 เท่านั้น โดยถ้าภาควิชาใดมีนิสิตภาคพิเศษ ทางภาควิชาจะจัด ให้ภาคปกติเรียนตอนช่วงเช้า และภาคพิเศษเรียนในช่วงบ่ายเพื่อให้อาจารย์ผู้สอนได้มีเวลาพัก หรือถ้ามีวิชาใดจัดไม่ได้ในช่วงเช้า ทางภาควิชาจะจัดให้ภาคปกติเรียนบ่ายและภาคพิเศษเรียน ในตอนเย็น และวิชาใดเปิดสอน 2 หมู่เรียนขึ้นไปจะจัดให้มีการเรียนการสอนพร้อมกัน โดย ตารางเรียนที่แต่ละภาคจัดต้องได้รับความเห็นชอบจากอาจารย์ผู้สอน

เมื่อตารางเรียนเสร็จเรียบร้อยแล้วจะส่งต่อให้หน่วยทะเบียนเป็นผู้กำหนดห้องเรียน ต่อไป โดยจะนำไปพิจารณากำหนดห้องร่วมกับตารางเรียนปีที่ 1 และปีที่ 2 ซึ่งกำหนดโดยหน่วย ทะเบียน หน่วยทะเบียนจะกำหนดห้องเรียนให้กับวิชาที่ต้องใช้ห้องที่มีโต๊ะสำหรับเขียนแบบก่อน จากนั้นจะกำหนดห้องเรียนให้กับวิชาที่มีการเรียนร่วมระหว่างภาควิชา ซึ่งจะเป็นวิชาเรียนของ นิสิตชั้นปีที่ 1 และ ปีที่ 2 จากนั้นจึงกำหนดห้องเรียนให้กับแต่ละภาควิชาโดยจะให้ ความสำคัญกับ ภาควิชาที่มีจำนวนวิชาเรียนที่ต้องการห้องเรียนกลางของคณะฯ ก่อน และใช้หลักการกำหนด ห้องเรียนโดยพิจารณาจำนวนนิสิตให้มีขนาดเหมาะสมกับขนาดของห้องเรียน เมื่อทางหน่วย ทะเบียนไม่สามารถจัดวิชาลงห้องเรียนได้เนื่องจากมีวิชาที่ใช้ห้องเรียนพร้อมกันมากกว่าจำนวน ห้องเรียนที่มี ทางหน่วยทะเบียนจะติดต่อกลับไปยังทางภาควิชาเพื่อขอให้มีการเปลี่ยนตารางเรียน ถ้าไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้หรือเปลี่ยนแปลงแล้วแต่ทางหน่วยทะเบียนไม่สามารถกำหนด ห้องเรียนให้ได้ แต่ละภาควิชาจะต้องนำวิชานั้นๆ ไปกำหนดห้องเรียนโดยใช้ห้องเรียนของแต่ละ ภาควิชาต่อไปแสดงการจัดตารางเรียนและการกำหนดห้องเรียนได้ ดังรูปที่ 1.1

โดยการจัดตารางเรียนจะทำก่อนการลงทะเบียน แต่การกำหนดห้องเรียนจะมี การทำ 2 ครั้ง คือ

- ก. กำหนดห้องเรียนก่อนลงทะเบียน กำหนดตามจำนวนนิสิตต่อกลุ่มที่ปรากฏใน คู่มือการลงทะเบียน
- ข. กำหนดห้องเรียนหลังลงทะเบียนเพื่อแก้ไขห้องที่มีขนาดไม่เหมาะสม เนื่องจาก มีนิสิตลงทะเบียนเรียนจริงลดลง โดยจะพิจารณาเฉพาะห้องเรียนที่มีจำนวนนิสิตแตกต่างจากที่ ปรากฏในคู่มือการลงทะเบียน



รูปที่ 1.1: แสดงการจัดตารางเรียนและการกำหนดห้องเรียนในปัจจุบัน  
ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

### ปัญหาปัจจุบัน

มีการเพิ่มขึ้นของจำนวนวิชาเรียนของแต่ละภาควิชามากขึ้นการกำหนดห้องเรียนในปัจจุบันทำโดยมือ ไม่สามารถกำหนดห้องเรียนให้มีจำนวนที่ว่างน้อยที่สุดได้ โดยในแต่ละภาคการศึกษาหน่วยทะเบียนต้องกำหนดห้องเรียนให้กับวิชาเรียนไม่ต่ำกว่า 150 หมู่เรียน และมีการกำหนดห้องเรียน 2 ครั้ง คือก่อนลงทะเบียนเรียนและหลังลงทะเบียนเรียนเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนนิสิต ซึ่งเมื่อมีวิชาใดมีนิสิตลงทะเบียนเรียนต่างจากจำนวนนิสิตที่ปรากฏในคู่มือ การลงทะเบียนวิชาดังกล่าวจะถูกนำมาพิจารณาเปลี่ยนห้องใหม่ให้มีความเหมาะสมกับจำนวนนิสิต ซึ่งในปัจจุบันสามารถกำหนดห้องเรียนมีจำนวนที่ว่างโดยเฉลี่ยแต่ละห้องเรียนอยู่ประมาณ 44 เปอร์เซ็นต์ โดยจากเปอร์เซ็นต์ที่ว่างมาจากการต่างของขนาดห้องที่มีขนาดใหญ่

ซึ่งมีขนาดใหญ่สุดมีความจุได้ 130 คน แต่ขนาดหมู่เรียนที่ใหญ่ที่สุดมีนิสิตไม่เกิน 90 คน และจากการกำหนดห้องเรียนของเจ้าหน้าที่ ซึ่งมีการพิจารณาให้ความสำคัญแต่ละวิชาไม่เท่ากัน เมื่อมีการพิจารณากำหนดห้องเรียนแล้วจะไม่เปลี่ยนแปลงแก้ไข จึงไม่สามารถกำหนดห้องเรียนให้มีที่นั่งว่างน้อยที่สุดได้ แสดงข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการศึกษาปัญหาในภาคผนวก ก.

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาวิธีการในการกำหนดห้องเรียนให้ใช้งานได้จริง โดยการพัฒนารูปแบบปัญหาทางคณิตศาสตร์

### ขอบเขตของการวิจัย

การกำหนดห้องเรียนใช้กรณีศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยพิจารณาสถานการณ์ของห้องเรียนและวิชาที่เปิดเรียนในภาคต้น ปีการศึกษา 2544 ซึ่งมีขอบเขตดังนี้

1. กำหนดห้องเรียนทั้งหมด 25 ห้อง
2. ใช้จำนวนนิสิตจริงหลังการลงทะเบียนในการพิจารณากำหนดห้องเรียน
3. ใช้ตารางเรียนที่ไม่มีการเรียนการสอนพร้อมกันของอาจารย์แต่ละท่านและนิสิตแต่ละหมู่เรียน ซึ่งเป็นตารางเรียนเดียวกับที่ทางหน่วยทะเบียนจัดทั้งหมด
4. พิจารณาตารางเรียนเฉพาะในวันจันทร์ ถึงวันศุกร์ เวลา 8:00 – 12:30 น. ภาคต้น ปีการศึกษา 2544

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

กำหนดห้องเรียนหลังการลงทะเบียนเรียนให้มีจำนวนที่นั่งว่างเหลือให้ลดลงจากเดิม 10 เปอร์เซ็นต์ เพื่อลดความสูญเปล่าของการใช้ทรัพยากร โดยถ้าพิจารณาต้นทุนของค่าไฟฟ้า ค่าเสื่อมราคาของอุปกรณ์และอาคาร รวมทั้งค่าจ้างพนักงานดูแลทำความสะอาดอาคารเรียน เมื่อพิจารณาเป็นต้นทุนต่อที่นั่ง สำหรับงานวิจัยนี้สามารถประหยัดต้นทุนต่างๆได้จำนวนมาก



## ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

### ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยโดยละเอียดมีดังนี้

#### 1. รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น

จากการสอบถามเจ้าหน้าที่จัดตารางเรียน 2 คนเกี่ยวกับปัญหาการจัดตารางเรียน และจากการสำรวจตารางเรียนในภาคต้นปีการศึกษา 2544 ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยได้สำรวจเฉพาะตารางเรียนของอาคาร 3 และอาคาร 8 เท่านั้น ประกอบด้วยห้องเรียนทั้งหมด 25 ห้องเรียน โดยมีห้องเรียนบรรยาย 20 ห้องและห้องเรียนเขียนแบบ 5 ห้อง เพื่อศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นและได้ทำการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับจำนวนห้องเรียน เวลาเรียน จำนวนวิชาเรียน จำนวนอาจารย์ผู้สอน จำนวนหมู่เรียน และประเภทของวิชาเรียน และข้อมูลเบื้องต้นต่างๆ

#### 2. สำรวจงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

สำรวจงานวิจัยตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 ถึง ค.ศ. 2001 เกี่ยวกับการจัดตารางเรียน และการจัดตารางสอบ โดยทำการค้นคว้าทางอินเทอร์เน็ต วารสารทางด้านการดำเนินงานวิจัย วารสารทางด้านคอมพิวเตอร์ และตำราเกี่ยวกับงานทางด้าน Optimization โดยมีรายละเอียดในส่วนทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 3. ศึกษาและวิเคราะห์หาแนวทางในการแก้ปัญหา เพื่อหาแนวทางในการแก้ปัญหา

โดยจะคิดค้นวิธีการในการหาคำตอบสำหรับการกำหนดห้องเรียนให้ครบตามตารางเรียนที่ถูกจัดมาเรียบร้อยแล้วทั้งในส่วนที่แต่ละภาควิชาจัดและทางหน่วยทะเบียนจัด โดยให้มีวัตถุประสงค์คือต้องการให้จำนวนที่นั่งว่างเหลือน้อยที่สุด และเงื่อนไขสอดคล้องกับการกำหนดห้องเรียนจริง

#### 4. ดำเนินการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหา

พัฒนารูปแบบปัญหาใหม่ที่มีความซับซ้อนลดลง และสามารถคำนวณหาคำตอบได้อย่างรวดเร็ว และทดสอบวิธีการกับปัญหาขนาดต่างๆ เพื่อพิจารณาความถูกต้องของวิธีการที่พัฒนา

#### 5. ทำการทดสอบวิธีการแก้ปัญหาที่ระบบงานจริง

ทำการป้อนข้อมูลต่างๆลงในโปรแกรมแล้วให้โปรแกรมทำการประมวลผลตามวัตถุประสงค์ และเงื่อนไข แล้วนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับข้อกำหนดเรียนในปัจจุบัน และกรณีศึกษาการจัดตารางเรียนและการกำหนดห้องเรียนของสถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์รังสิต ซึ่งสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ โดยจะทำการกำหนดห้องเรียนใหม่จากตารางเรียนเดียวกันโดยใช้วิธีการที่พัฒนาขึ้นมาในงานวิจัยนี้ และทำการเปลี่ยนวัตถุประสงค์ตอนเปรียบเทียบเป็นกำหนดห้องเรียนให้มีต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด แทนจำนวนที่นั่งว่างเหลือน้อยที่สุด

#### 6. สรุปและเสนอแนะ

สรุปผลคำตอบของรูปแบบที่พัฒนา และผลที่ได้จากการเปรียบเทียบคำตอบกับแนวทางการกำหนดห้องเรียนในปัจจุบัน พร้อมทั้งสรุปผลเปรียบเทียบคำตอบกับรูปแบบปัญหาก่อนหน้าที่ได้คำตอบที่ดีที่สุด และเสนอแนะแนวทางในการจัดตารางเรียน และกำหนดห้องเรียนให้ใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้คุ้มค่าที่สุด

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### แนวคิดและทฤษฎี

##### 1. ขั้นตอนการดำเนินงานของการวิจัยดำเนินงาน

วิจิตร ตันทสุทธิ, วันชัย วิจิรวินิช และ ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ (2543) ได้กล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานโดยทั่วไปขั้นตอนในการดำเนินงานประกอบด้วย 6 ขั้นตอน คือ

###### 1.1 การจัดตั้งปัญหา (Formulating the problem)

โดยทั่วไปปัญหาที่เกิดขึ้นในงานหนึ่งๆ จะมีลักษณะ ขนาด และความซับซ้อนต่างๆ กัน การกำหนดปัญหาให้ตรงเป้าหมายจึงจำเป็นอย่างยิ่ง การตั้งปัญหาให้ถูกต้องและเข้าใจง่าย จะช่วยให้การหาคำตอบง่ายขึ้น ขั้นตอนในการจัดตั้งปัญหาพอกกล่าวโดยสังเขปมีดังนี้

1.1.1 ศึกษาระบบงานที่เป็นปัญหาและความสัมพันธ์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้องให้ชัดเจน

1.1.2 กำหนดปัญหาให้ชัดเจน แบ่งแยกประเภทของปัญหาให้ถูกต้อง

1.1.3 กำหนดจุดประสงค์ และเลือกวิธีการดำเนินงานให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์

1.1.4 กำหนดขอบข่ายปัญหาและเงื่อนไขต่างๆ

1.1.5 กำหนดช่วงเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาและการตัดสินใจเพื่อดำเนินงานในการแก้ปัญหาต่างๆ

###### 1.2 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แทนระบบของปัญหา

(Constructing a mathematical model)

การจัดรูปแบบของปัญหาโดยทั่วไปนิยมใช้อยู่ 2 วิธี คือ การสร้างรูปแบบทางคณิตศาสตร์ และการจัดรูปแบบโดยใช้กราฟเพื่อความเข้าใจง่าย แต่ข้อเสียคือ กราฟแสดงได้ต่อเมื่อปัญหามีเพียง 2 หรือ 3 ตัวแปร สำหรับปัญหาที่ซับซ้อนจำนวนตัวแปรมีมากกว่า 3 ตัวขึ้นไปจึงนิยมใช้แบบทางคณิตศาสตร์แทนระบบของปัญหา โดยจะมีโครงสร้างดังนี้

1.2.1 สมการเป้าหมาย (Objective function)

1.2.2 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables) และตัวแปรอิสระ

(Independent variables)

### 1.2.3 สมการเงื่อนไข (Constraints)

### 1.3 การหาคำตอบของปัญหา (Deriving a solution)

การหาคำตอบที่ถูกต้องมีความจำเป็นต้องอาศัยวิธีการทางคณิตศาสตร์ และการดำเนินงานวิจัยมาช่วยในการวิเคราะห์รูปแบบของปัญหาที่สร้างขึ้นมา แทนระบบของปัญหาและหาคำตอบที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ การได้คำตอบเดียวกันอาจมีวิธีดำเนินงานที่แตกต่างกันได้ โดยวิธีการในการหาคำตอบจะใช้วิธีการที่แตกต่างกันตามรูปแบบของปัญหา สิ่งที่ต้องระวังในการหาคำตอบที่ดี คือ การได้คำตอบที่มีลักษณะเกิดผลดีเพียงบางส่วน (sub-optimization) ซึ่งในทางปฏิบัตินั้น สำหรับการวิจัยดำเนินงานถือว่าอันตรายมาก ทั้งนี้มีเหตุผลว่า ความพยายามในการให้ผลดีเพียงส่วนหนึ่งของปัญหาจะมีผลทำให้ไม่ได้คำตอบที่ดีสำหรับระบบทั้งหมด

### 1.4 การทดสอบรูปแบบแทนระบบและคำตอบ

(Testing the model and solution)

รูปแบบทางคณิตศาสตร์และรูปแบบอื่นๆ อาจใช้แทนระบบของปัญหาที่ไม่ถูกต้อง เนื่องจากความบกพร่องในการละเว้นองค์ประกอบที่สำคัญบางส่วน ซึ่งหมายความว่ารูปแบบปัญหาที่นำมาวิเคราะห์ไม่ใช่ตัวแทนของระบบปัญหาที่ดี ดังนั้นการหาคำตอบที่ดีจึงเป็นไปได้ การทดสอบรูปแบบของระบบจึงเป็นส่วนที่ขาดไม่ได้ นอกจากเหตุผลดังกล่าวแล้ว การทดสอบรูปแบบแทนระบบมีความจำเป็นเพราะองค์ประกอบหลายๆอย่างที่ใช้ในขณะที่สร้างรูปแบบแทนระบบอาจเปลี่ยนแปลงได้เมื่อนำไปใช้งาน การดำเนินงานตรวจสอบข้อบกพร่องของรูปแบบแทนระบบสามารถทำได้ดังนี้

1.4.1 ตรวจสอบวิธีการจัดตั้งปัญหาใหม่แล้วเปรียบเทียบกับรูปแบบปัญหาอาจจะช่วยให้พบข้อบกพร่องที่มีอยู่

1.4.2 ตรวจสอบโดยวิธี Dimensional analysis คือการตรวจหน่วยที่ใช้สำหรับตัวแปรต่างๆ ในระบบสมการให้ถูกต้องตามสูตร

1.4.3 ตรวจสอบโดยวิธี Sensitivity Analysis คือการเปลี่ยนค่าตัวแปรซึ่งถือเป็นค่าที่เป็น input parameter และตรวจสอบคำตอบจาก output ว่ายังมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด ถ้าคำตอบที่ได้ยังอยู่ภายในเงื่อนไขที่ถูกต้องได้ แสดงว่ารูปแบบของปัญหาแทนระบบนั้นใช้ได้

1.4.4 ตรวจสอบโดยวิธี Retrospective test คือการใช้ข้อมูลในอดีต ทดสอบรูปแบบปัญหาแทนระบบได้คำตอบได้ผลอย่างไร จึงนำมาเปรียบเทียบกับ ความจริงที่เกิดขึ้น ข้อเสียบางประการคือ การเปลี่ยนแปลงของเหตุการณ์ในอดีต และอนาคต ซึ่งมีความผันแปรมาก ข้อมูลในอดีตที่นำมาใช้ทดสอบรูปแบบของ ระบบในที่นี้จะไม่ถูกต้อง

#### 1.5 การตั้งขอบข่ายการควบคุมคำตอบ

(Establishing control over the solution)

โดยสภาพการณ์ที่เป็นจริง สภาวะและเงื่อนไขของสิ่งแวดล้อมของระบบ ปัญหาจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา โดยมีผลทำให้รูปแบบแทนระบบ ปัญหาบิดเบือนไปด้วย การควบคุมคำตอบให้อยู่ในขอบข่ายที่ใกล้เคียงสภาพ ความเป็นจริง มีหลักการดังนี้

1.5.1 พิจารณาค่าตัวแปรที่เป็น input parameter ว่าอยู่ในขอบข่ายที่ ถูกต้องเพียงใด โดยวิธี sensitivity analysis ดังกล่าวจะทำให้ทราบถึงผลของการ เปลี่ยนแปลงของตัวแปร

1.5.2 ใช้ control chart ควบคุมความผันแปรของ input parameter ช่วยกำจัดความผันแปรที่ผิดปกติ

#### 1.6 การนำคำตอบไปใช้งาน (Implementation)

มีการนำไปใช้และมีการพัฒนาวิธีการเพื่อหาคำตอบที่ดีกว่าเดิม และสามารถติดตามผลการดำเนินงานได้

## 2. Integer Programming

Hillier และ Lieberman (2001) ได้กล่าวไว้ว่ามีปัญหาทางคณิตศาสตร์ต่างๆ มากมายที่มีตัวแปรตัดสินใจเป็นจำนวนเต็มทั้งหมดจะเรียกปัญหาลักษณะนี้ว่า Integer Programming (IP) หรือ Pure Integer Programming แต่ถ้าตัวแปรตัดสินใจไม่ได้เป็นจำนวนเต็มทั้งหมดจะเรียกปัญหาลักษณะนี้ว่า Mixed Integer Programming (MIP) และมีปัญหาที่ตัวแปรตัดสินใจต้องการทราบว่าจะใช่หรือไม่ใช่ ซึ่งตัวแปรตัดสินใจจะมีค่าเป็น 0 หรือ 1 เราจะเรียกปัญหาลักษณะนี้ว่า Binary Integer Programming (BIP)

### 2.1 รูปแบบปัญหา Binary Integer Programming (BIP)

มีหลากหลายรูปแบบปัญหาที่มีตัวแปรตัดสินใจเป็น Binary ตัวอย่างเช่น Assignment Problem Murty(1976) กล่าวว่าปัญหาการจัดงาน (Assignment Problem) มีหลักการเหมือนกับการจัดงานให้กับพนักงาน การจัดงานให้กับเครื่องจักร การจัดสินค้าให้กับคลังสินค้า การจัดวิชาให้กับห้องเรียน และอื่นๆ ลักษณะรูปแบบปัญหาการจัดงานและการจับคู่ (Assignment and Matching Model) มีทั้งในลักษณะ Linear Assignment Model และ Nonlinear Assignment Model โดยรูปแบบของ Linear Assignment Model แสดงได้ดังนี้

สมการวัตถุประสงค์ โดยต้องการค่าสูงสุด หรือค่าต่ำสุดมีรูปแบบดังนี้

$$\sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij}$$

โดยที่  $c_{ij}$  เป็นต้นทุนหรือกำไรเมื่อมีการจัดงาน  $i$  ให้กับเครื่องจักร  $j$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

สมการเงื่อนไข มีรูปแบบดังนี้

$$\sum_j x_{ij} \leq 1 \quad \text{all } i$$

$$\sum_i x_{ij} \leq 1 \quad \text{for all } j$$

$$x_{ij} = \{0, 1\} \quad \text{for all } i, j$$

## 2.2 หลักการ Branch and Bound ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหา Binary Integer Programming (BIP)

Hillier และ Lieberman (2001) ได้กล่าวไว้ว่าเนื่องจากบางขอบเขตคำตอบของปัญหา BIP มีเพียงบางขอบเขตที่เป็นคำตอบที่เป็นไปได้ จึงต้องมีการแจกแจงเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งเรียกว่าหลักการ Branch and Bound โดยมีหลักการคือ การแบ่งหรือการแตกกิ่ง (Dividing or Branching) และการตัดหรือการหยุด (Conquering or Fathoming) โดยเริ่มต้นจากปัญหาที่มีขนาดใหญ่และแบ่งเป็นปัญหาย่อยๆ (Subproblem) จากนั้นพิจารณาขอบเขต (Bounding) ของคำตอบสำหรับปัญหาย่อยๆ และพิจารณาตัดปัญหาที่ไม่สามารถให้คำตอบที่ดีที่สุด ในขณะที่นั้นได้ และทำซ้ำกับทุกปัญหาย่อยๆ จนกระทั่งพบปัญหาย่อยๆ ที่ให้คำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งวิธีนี้จะสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ในเวลาอันรวดเร็วกว่าการแจกแจงสมบูรณ์ (Total Enumeration)

ตัวอย่างที่ 2.1 อธิบายหลักการพื้นฐาน Branching Bounding และ Fathoming

$$\text{Maximize } z = 9x_1 + 5x_2 + 6x_3 + 4x_4$$

Subject to

$$6x_1 + 3x_2 + 5x_3 + 2x_4 \leq 10$$

$$x_3 + x_4 \leq 1$$

$$-x_1 + x_3 \leq 0$$

$$-x_2 + x_4 \leq 0$$

$$x_j \text{ is binary, } j=1,2,3,4$$

Branching เมื่อตัวแปรตัดสินใจเป็น Binary และมุ่งที่จะแบ่งปัญหาใหญ่ออกเป็นปัญหาย่อยๆ จึงต้องกำหนดให้ตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งเป็นค่าคงที่ในขั้นนี้ กำหนดให้  $x_1$  เท่ากับ 0 และ 1 แสดงดังรูปที่ 2.1

Subproblem 1 : กำหนดให้  $x_1$  เท่ากับ 0

$$\text{Maximize } z = 5x_2 + 6x_3 + 4x_4$$

Subject to

$$(1) \quad 3x_2 + 5x_3 + 2x_4 \leq 10$$

$$(2) \quad x_3 + x_4 \leq 1$$

$$(3) \quad x_3 \leq 0$$

$$(4) \quad -x_2 + x_4 \leq 0$$

$$(5) \quad x_j \text{ is binary, for } j = 2,3,4$$

Subproblem 2 : กำหนดให้  $x_1$  เท่ากับ 1

$$\text{Maximize } z = 5x_2 + 6x_3 + 4x_4 + 9$$

Subject to

$$(1) \quad 3x_2 + 5x_3 + 2x_4 \leq 4$$

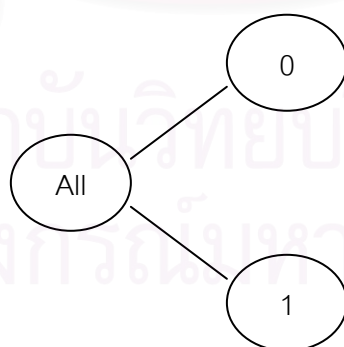
$$(2) \quad x_3 + x_4 \leq 1$$

$$(3) \quad x_3 \leq 1$$

$$(4) \quad -x_2 + x_4 \leq 0$$

$$(5) \quad x_j \text{ is binary, for } j = 2,3,4$$

| Variable | $x_1$ |
|----------|-------|
|----------|-------|



รูปที่ 2.1 : แสดงการแตกปัญหาออกเป็นปัญหาย่อยขั้นตอนแรกของหลักการ  
Branch and Bound สำหรับปัญหา BIP



จากรูปที่ 2.1 แสดงการแตกปัญหาออกเป็นปัญหาย่อยๆ 2 ปัญหาซึ่งมีคำตอบที่เป็นไปได้ โดยพิจารณาแตกปัญหาย่อยโดยตัวแปรตัดสินใจ  $x_1$  (Branching Variable) ซึ่งสามารถเลือกที่จะแตกปัญหาย่อยของตัวแปรตัดสินใจใดก็ได้ แต่สำหรับปัญหา Integer Programming (IP) สามารถแตกปัญหาออกเป็นปัญหาย่อยๆ ได้มากกว่า 2 ปัญหาย่อย

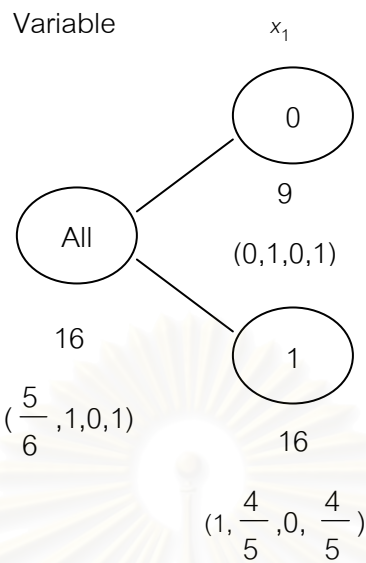
Bounding สำหรับทุกปัญหาย่อย จะมีการพิจารณาค่าขอบเขตของคำตอบ (bound) ที่ดีที่สุดที่เป็นไปได้ วิธีโดยทั่วไปที่สามารถคำนวณได้อย่างรวดเร็วคือการละเงื่อนไขของปัญหาย่อยที่ยากต่อการคำนวณหาคำตอบ สำหรับปัญหา IP จะพิจารณาการละเงื่อนไขที่ตัวแปรตัดสินใจเป็นจำนวนเต็ม ที่มีการใช้กันอย่างกว้างขวางคือวิธี LP Relaxation สำหรับตัวอย่างที่ 2.1 พิจารณาปัญหาใหญ่โดยวิธี LP Relaxation ซึ่งตัวแปรตัดสินใจทุกตัวเป็น Binary และให้คำตอบที่ดีที่สุดคือ  $(x_1, x_2, x_3, x_4)$  กับ  $(5/6, 1, 0, 1)$  และ  $z$  เท่ากับ 16.5 ซึ่งหมายความว่าถ้า  $z \leq 16.5$  แสดงว่าเป็นคำตอบที่เป็นไปได้ และสามารถปรับให้น้อยลงเพื่อเข้าใกล้จำนวนเต็มได้เนื่องจากสัมประสิทธิ์ของสมการเป้าหมายเป็นจำนวนเต็มทั้งหมด ดังนั้นค่าขอบของคำตอบปัญหาใหญ่ที่เป็นจำนวนเต็มคือ  $z \leq 16$

ในลักษณะเดียวกันมีการพิจารณาค่าขอบเขตของคำตอบของ 2 ปัญหาย่อยด้วยวิธี LP Relaxation โดยให้  $x_1$  เป็น Binary และให้  $x_1, x_2, x_3, x_4$  มีค่ามากกว่าเท่ากับศูนย์ จากนั้นใช้วิธี Simplex คำนวณหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ดังนี้

$$\text{Subproblem 1 : } (x_1, x_2, x_3, x_4) = (0, 1, 0, 1) \quad , z = 9$$

$$\text{Subproblem 2 : } (x_1, x_2, x_3, x_4) = (1, 4/5, 0, 4/5) \quad , z = 16 \frac{1}{5}$$

จะได้ขอบเขตของปัญหาย่อยที่ 1 และปัญหาย่อยที่ 2 คือ  $z \leq 9$  และ  $z \leq 16$  สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2. 2

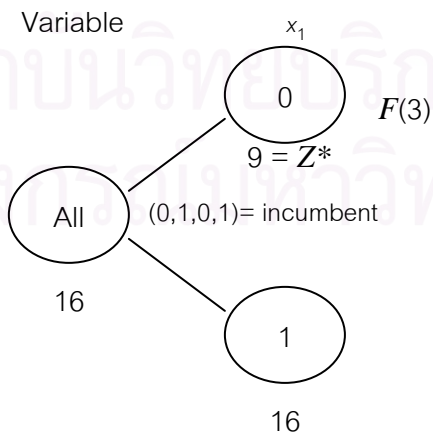


รูปที่ 2.2 : แสดงผลของการหาคำตอบขั้นแรกของหลักการ Branch and Bound สำหรับปัญหา BIP

Fathoming ปัญหาย่อยจะถูกตัดหรือหยุด(Fathomed) การพิจารณาแตกเป็นปัญหาย่อยๆต่อไป มีเงื่อนไขดังนี้

1. ค่าขอบของปัญหา  $(z) \leq z^*$
2. คำนวณ LP Relaxation แล้วไม่มีคำตอบที่เป็นไปได้ (Infeasible Solution)
3. คำนวณ LP Relaxation แล้วได้คำตอบเป็นจำนวนเต็มทั้งหมด

เมื่อพิจารณารูปที่ 2.3 จะพบคำตอบปัจจุบันของปัญหาย่อย 1 และปัญหาย่อย 2 ซึ่งปัญหาย่อย 1 เมื่อ  $x_1 = 0$  จะถูก Fathomed โดยเงื่อนไขที่ 3 และได้คำตอบที่ดีที่สุดขณะนั้น ( $z^*$ ) คือ 9



รูปที่ 2.3 : แสดงคำตอบที่ได้จากการหลักการ Branch and Bound สำหรับปัญหา BIP

Iteration 2 : สำหรับปัญหาย่อยที่  $x_1 = 1$  จะทำการแตกปัญหาออกเป็นปัญหาย่อย 3 และปัญหาย่อย 4

Subproblem 3 :

กำหนดให้  $x_1$  เท่ากับ 1,  $x_2$  เท่ากับ 0

$$\text{Maximize } z = 9 + 6x_3 + 4x_4$$

subject to

$$(1) \quad 5x_3 + 2x_4 \leq 4$$

$$(2) \quad x_3 + x_4 \leq 1$$

$$(3) \quad x_3 \leq 1$$

$$(4) \quad 4x_4 \leq 0$$

$$(5) \quad x_j \text{ is binary, for } j=3,4$$

Subproblem 4 :

กำหนดให้  $x_1$  เท่ากับ 1,  $x_2$  เท่ากับ 1

$$\text{Maximize } z = 14 + 6x_3 + 4x_4$$

Subject to

$$(1) \quad 5x_3 + 2x_4 \leq 1$$

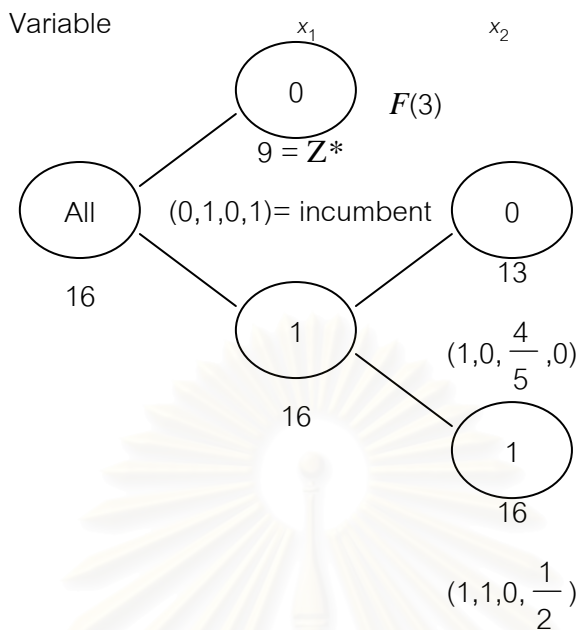
$$(2) \quad x_3 + x_4 \leq 1$$

$$(3) \quad x_3 \leq 1$$

$$(4) \quad x_4 \leq 1$$

$$(5) \quad x_j \text{ is binary, for } j=3,4$$

ทำการคำนวณ LP Relaxation ปัญหาย่อยที่ 3 จะมีค่า  $z = 13 \frac{4}{5}$  เมื่อ  $(x_1, x_2, x_3, x_4) = (1, 0, 4/5, 0)$  และปัญหาย่อยที่ 4 จะมีค่า  $z = 16$  เมื่อ  $(x_1, x_2, x_3, x_4) = (1, 1, 0, 1/2)$  ดังนั้นค่าขอบของปัญหาย่อยที่ 3 และปัญหาย่อยที่ 4 คือ  $z \leq 13$  และ  $z \leq 16$  และไม่มีการ Fathomed เนื่องจากไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขการ Fathomed ทั้ง 3 เงื่อนไข แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงคำตอบ Iteration 2 ของหลักการ Branch and Bound สำหรับปัญหา BIP

Iteration 3 : จาก iteration 2 ปัญหาย่อยที่ 4 มีค่าขอบของปัญหาสูงกว่าปัญหาย่อยที่ 3 จึงทำการแตกเป็นปัญหาย่อยที่ 5 และปัญหาย่อยที่ 6

Subproblem 5 :

กำหนดให้  $x_1$  เท่ากับ 1,  $x_2$  เท่ากับ 1,  $x_3$  เท่ากับ 0

$$\text{Maximize } z = 14 + 4x_4$$

Subject to

(1)  $2x_4 \leq 1$

(2),(4)  $x_4 \leq 1$  (twice)

(5)  $x_4$  is binary

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Subproblem 6 :

กำหนดให้  $x_1$  เท่ากับ 1,  $x_2$  เท่ากับ 1,  $x_3$  เท่ากับ 1

$$\text{Maximize } z = 20 + 4x_4$$

Subject to

(1)  $2x_4 \leq -4$

(2)  $x_4 \leq 0$

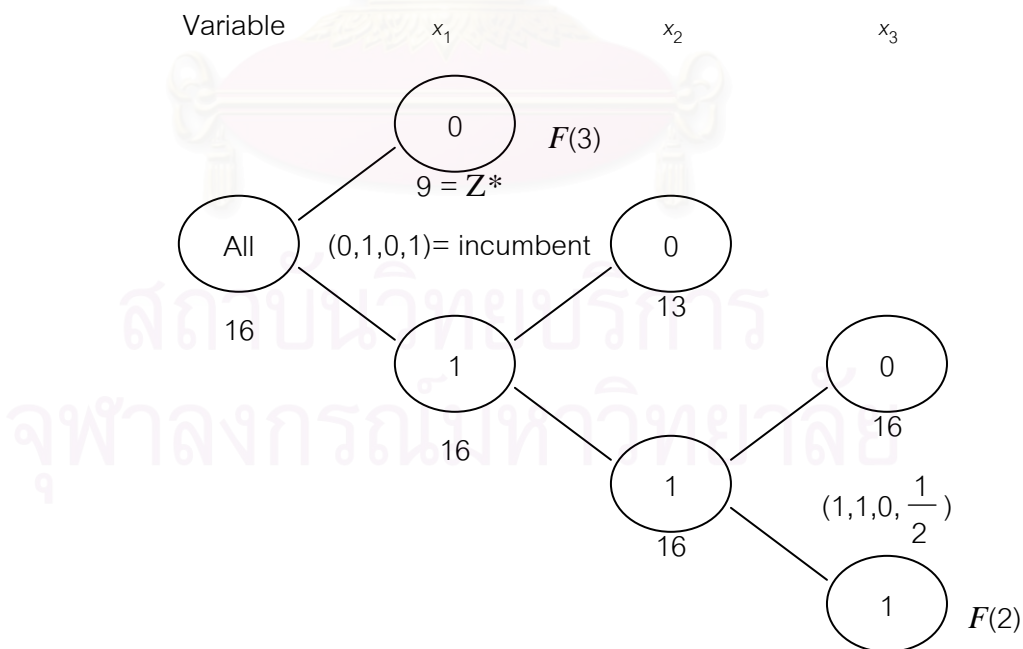
(4)  $x_4 \leq 1$

(5)  $x_4$  is binary

ทำการคำนวณ LP Relaxation โดยแทนเงื่อนไขที่ 5 โดย

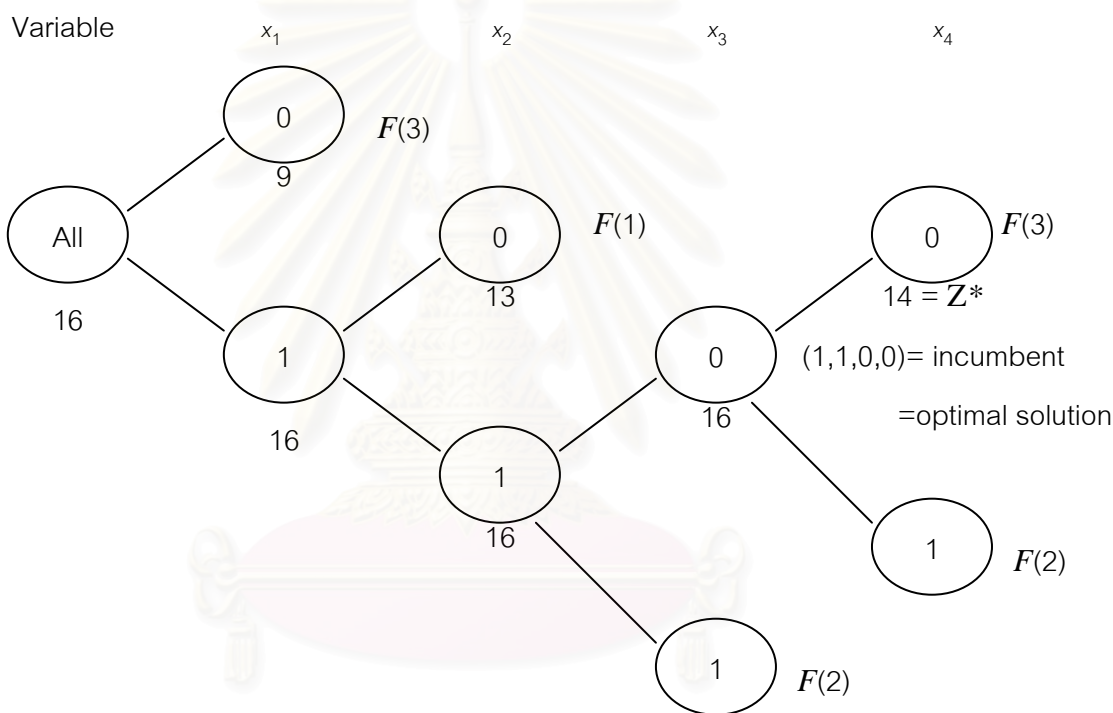
(5)  $0 \leq x_4 \leq 1$

ทำการคำนวณ LP Relaxation ปัญหาย่อยที่ 5 จะมีค่า  $z = 16$  เมื่อ  $(x_1, x_2, x_3, x_4) = (1, 1, 0, 1/2)$  แต่ปัญหาย่อยที่ 6 ไม่มีคำตอบที่เป็นไปได้ ดังนั้นค่าขอบของปัญหาย่อยที่ 5 คือ  $z \leq 16$  และทำการ Fathomed ปัญหาย่อยที่ 6 ตามเงื่อนไข 2 แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงคำตอบ Iteration 3 ของหลักการ Branch and Bound สำหรับปัญหา BIP

Iteration 4 : สำหรับปัญหาย่อยที่ 7 ทำการคำนวณ LP Relaxation จะมีค่า  $z = 14$  เมื่อ  $(x_1, x_2, x_3, x_4) = (1, 1, 0, 0)$  และเป็นค่าขอบของปัญหาซึ่งเป็นคำตอบที่เป็นไปได้ และทำการ Fathomed ตามเงื่อนไข 3 และให้คำตอบที่ดีกว่าปัญหาย่อยที่ 1 ซึ่งจะทำให้ได้  $z^* = 14$  ส่วนปัญหาย่อยที่ 8 ไม่มีคำตอบที่เป็นไปได้ จึงทำการ Fathomed ตามเงื่อนไขที่ 2 และทำการทดสอบ Optimality Test ซึ่งจะเห็นได้ว่าไม่มีคำตอบใดที่ดีกว่า  $z^*$  ดังนั้นคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหานี้ คือ  $z = 14$  เมื่อ  $(x_1, x_2, x_3, x_4) = (1, 1, 0, 0)$  แสดงได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงคำตอบ Iteration 4 ของหลักการ Branch and Bound สำหรับปัญหา BIP และให้คำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา

### 3. ปัญหาควบคู่ของปัญหาโปรแกรมเชิงเส้นตรง

วิจิตร ตัณฑสุทธิ , วันชัย วิจิรวนิช และศิริจันทร์ ทองประเสริฐ (2543)

ได้กล่าวไว้ว่าทุกปัญหาของการโปรแกรมเชิงเส้นตรงจะมีปัญหาที่ควบคู่กันโดยมีลักษณะปัญหาหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า ปัญหาเดิม (Primal Problem) และอีกปัญหาหนึ่งที่ควบคู่กันเรียกว่าปัญหาควบคู่ (Dual Problem) โดยถ้า Primal Problem เป็นปัญหาแบบ Maximization แล้ว Dual Problem จะแปลง Primal Problem เป็นปัญหาแบบ Minimization แต่ถ้า Primal Problem เป็นปัญหาแบบ Minimization แล้ว Dual Problem จะแปลง Primal Problem เป็นปัญหาแบบ Maximization

ถ้า Primal Problem มี  $x_j$  เป็นตัวแปร  $c_j$  เป็นสัมประสิทธิ์ในสมการเป้าหมาย มี  $b_j$  เป็นค่าขอบข่าย Dual Problem จะมี  $y_j$  เป็นตัวแปรสมมติ และใช้ค่า  $b_j$  ของปัญหาเดิมเป็นสัมประสิทธิ์ในสมการเป้าหมาย  $c_j$  และใช้ เป็นค่าขอบข่าย

การแก้ปัญหาเชิงเส้นตรงเราจะพบความยุ่งยากคือถ้าจำนวนเงื่อนไขซึ่งแสดงขอบข่ายของปัญหาสูงจะทำให้มีค่าตัวแปรเพิ่มมากขึ้น การแปลงเป็นปัญหาควบคู่จะทำให้จำนวนสมการลดลงซึ่งจะง่ายในการคำนวณมากขึ้น

การตั้งรูปแบบปัญหาควบคู่(Dual Problem) จากปัญหาเดิม (Primal Problem)

ก. จำนวนขอบข่ายในปัญหาเดิมจะเปลี่ยนเป็นจำนวนตัวแปรในปัญหาควบคู่

ข. ทุกๆค่าในทางขวามือของสมการของเงื่อนไขในปัญหาเดิมจะเป็นสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการเป้าหมายของปัญหาควบคู่

ค. ถ้าปัญหาเดิมเป็น Maximization ปัญหาควบคู่จะเป็น Minimization หรือปัญหาเดิมเป็น Minimization ปัญหาควบคู่จะเป็น Maximization

ง. ในปัญหาเดิม ถ้าเป็น Maximization ก็จะมีสมการของขอบข่ายเป็นน้อยกว่าหรือเท่ากับ ถ้าเป็น Minimization ก็จะมีสมการของขอบข่ายเป็นมากกว่าหรือเท่ากับ

จ. จำนวนตัวแปรในปัญหาเดิมจะแสดงถึงจำนวนขอบข่ายในปัญหาควบคู่ ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในแต่ละสมการของขอบข่ายในปัญหาควบคู่จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในปัญหาเดิมตามแถวอื่น ส่วนค่าทางขวามือจะใช้ค่าของสัมประสิทธิ์ในสมการเป้าหมายของปัญหาเดิม

ฉ. ตัวแปรทุกตัวในปัญหาเดิมและปัญหาควบคู่กันจะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0

ในกรณีที่เงื่อนไขในปัญหาเดิมเป็นสมการโดยมีเครื่องหมายเท่ากับ แทนที่จะเป็นเครื่องหมายมากกว่าหรือน้อยกว่า เราจะต้องเปลี่ยนสมการของข้อข่ายในปัญหาเดิมให้เป็นอสมการข้อข่ายสองอัน โดยมีเครื่องหมายตรงกันข้าม

นอกจากนี้ในปัญหาที่ควบคู่กันจะต้องใช้ตัวแปร ซึ่งไม่มีขอบเขตของเครื่องหมายคืออาจมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้ โดยการให้สมการข้อข่ายในปัญหาเดิมเปลี่ยนเป็นตัวแปรสองตัวมีเครื่องหมายต่างกันแทนตัวเดียว

#### 4. ผลลัพธ์กรณีต่างๆ ของ ด้วยวิธี Simplex

##### 4.1 Degeneracy

วิจิตร ตัณฑสุทธิ , วันชัย วิจิรวนิช และศิริจันทร์ ทองประเสริฐ (2543) ได้กล่าวไว้ว่า ในกรณีที่ค่าตัวแปรหลัก(Basic Variable) ตัวใดๆ มีค่าเป็นศูนย์ การดำเนินการเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามเป้าหมาย จะอยู่ในลักษณะย้อนซ้ำขั้นตอนอย่างชนิดที่ไม่มีสิ้นสุด จึงเป็นการยากที่จะกำหนดว่าเมื่อใดจึงจะได้ผลลัพธ์ แต่มีบางกรณีที่เราสามารถหาผลลัพธ์ได้ในที่สุด เราจะเรียกว่า กรณีย้อนซ้ำขั้นตอนชั่วคราว ( Temporary Degeneracy)

##### 4.2 Alternative Optimal Solution

Taha (1987) ได้กล่าวไว้ว่ากรณีที่สมการวัตถุประสงค์ (Objective Function) ขนานกับ Binding Constraint จะให้คำตอบที่ดีที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากันหลายคำตอบซึ่งจะเรียกกรณีนี้ว่า Alternative Optima จากการแก้ปัญหาด้วยวิธี Simplex จะสามารถสังเกตจากราง Simplex ได้ว่าเกิด Alternative Optima Solution หรือไม่ โดยสังเกตราง Simplex ที่ให้ค่า Optimal Solution ว่าที่สัมประสิทธิ์ของตัวแปร non-basic variable จะมีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งเมื่อตั้ง non-basic variable ตัวนั้นออกมาเป็น basic variable จะทำให้ Objective Function Value ซึ่งเป็นคำตอบที่ดีที่สุดมีค่าเท่าเดิม



#### 4.3 Unbounded

Taha (1987) ได้กล่าวไว้ว่าในบาง Linear Programming Model ที่ค่าของตัวแปรตัดสินใจสามารถเพิ่มค่าขึ้นได้โดยไม่ถูกกั้นโดยเงื่อนไขใดๆ ซึ่งแสดงว่าพื้นที่ของ Feasible Region ไม่มีขอบเขต (Unbounded) อย่างน้อย 1 ทิศทาง Objective Function Value สามารถเพิ่มขึ้นได้ในกรณี Maximization หรือลดลงได้ในกรณี Minimization โดยไม่สิ้นสุด สาเหตุในการเกิด Unbounded ส่วนใหญ่จะเกิดมาจากการสร้าง Model ที่ผิดพลาด เช่น มีการสลับเครื่องหมายมากกว่าหรือน้อยกว่า เราสามารถสังเกตการเกิด Unbounded ได้จากราง Simplex โดยถ้าใน iteration ใดๆ มี non-basic variable ที่สามารถปรับค่า Objective Function ได้ มีสัมประสิทธิ์ในทุกๆเงื่อนไขมีค่าน้อยกว่าเท่ากับศูนย์

#### 4.4 Infeasible solution

วิจิตร ตัณฑสุทธิ , วันชัย วิจิรวินิช และศิริจันทร์ ทองประเสริฐ (2543) ได้กล่าวไว้ว่ากรณีที่ไม่มีค่าหรือคำตอบใดเลยที่เป็นไปได้ภายใต้เงื่อนไขทั้งหมด ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถหาคำตอบได้เลย

Murty (1976) ได้กล่าวไว้ว่าสามารถพิจารณาปัญหาได้ในลักษณะของปัญหาควบคู่ โดยถ้าปัญหาเดิมเป็น Infeasible เมื่อแปลงเป็นปัญหาควบคู่แล้วปัญหาจะเป็น Unbounded

## เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับการศึกษาเฉพาะการกำหนดห้องเรียนไม่มีปรากฏในงานวิจัยก่อนหน้านี้ แต่มีการศึกษาปัญหาการจัดตารางเรียนและการกำหนดห้องเรียน (Timetabling) ซึ่งเริ่มต้นศึกษามาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1967 Welsh และ Powell ใช้หลักการ Upper Bound for the Chromatic Number of a Graph และได้มีการพัฒนาการหาคำตอบโดยวิธี Graph coloring, Heuristics, Neural Networks, Tabu Search, Genetic Algorithms, Simulated Annealing, Constraint – base reasoning, Integer Nonlinear Programming จากวิธีดังกล่าวข้างต้นเป็นวิธีที่ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ ต่อมาได้มีการค้นพบวิธี Integer Linear Programming ซึ่งสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ และหาได้อย่างรวดเร็ว

Mulvey (1980) ศึกษาการใช้ห้องเรียนในมหาวิทยาลัยที่มีประสิทธิภาพต่ำมาก โดยพิจารณาจำนวนห้องเรียนว่าง และจำนวนที่นั่งว่าง โดยอ้างอิงลักษณะปัญหาจากการศึกษาของ Knauer และ Swart (1974) ศึกษานโยบายในลักษณะโครงข่าย (Network - Based Optimization) การหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยใช้หลักการ Heuristic สำหรับปัญหาการจัดตารางเรียนและการกำหนดห้องเรียน และสามารถหาคำตอบที่น่าพอใจแต่ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้

Ferland และ Roy (1985) ทำการศึกษาการจัดตารางเรียนและการกำหนดห้องเรียน โดยใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ในลักษณะ 0-1 Quadratic Assignment Problem กลยุทธ์ในการหาคำตอบของปัญหามีการพิจารณาปัญหาเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือการจัดตารางเรียน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดการสอนที่พร้อมกันของอาจารย์สำหรับนักเรียนกลุ่มเดียวกัน ส่วนที่ 2 หลังจากมีการจัดตารางเรียนจึงมีการกำหนดห้องเรียน โดยพิจารณาประเภทของห้องเรียนที่แตกต่างกัน และถ้ามีการจัดตารางเรียนพร้อมๆกันในเวลาเดียวกันวิธีการในการหาคำตอบจะมีการทำซ้ำจนกว่าจะจัดตารางเรียนได้ เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นจำนวนวิชาที่มีการเรียนพร้อมกันมีมากขึ้นและคำตอบที่ได้ที่น่าพอใจ

Aubin และ Ferland (1989) ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับ A Large Scale Timetable Problem โดยการพิจารณาการจัดนักเรียนสำหรับวิชาเรียนต่างๆ ซึ่งมีวัตถุประสงค์คือลดจำนวนการเรียนพร้อมกันของนักเรียนและการสอนพร้อมกันของอาจารย์ในห้องเดียวกัน ซึ่งปัญหาประกอบไปด้วย 2 ส่วน ส่วนแรกคือการจัดตารางเรียน Timetable ประกอบด้วยจำนวนนักเรียนที่ลงทะเบียนเรียน จำนวนอาจารย์ และจำนวนห้องเรียน ส่วนที่ 2 คือ Grouping พิจารณา

กลุ่มของนักเรียนที่มีการเรียนหลายวิชาซึ่งมีหลายช่วงเวลาในหนึ่งสัปดาห์ โดยใช้หลักการ heuristic ในการหาคำตอบ และให้วิธีการ Decision Support System ในการปรับปรุงคำตอบให้ดีขึ้น

Birbas et al. (1997) ได้สร้างรูปแบบปัญหาแบบ Integer Linear Programming Model โดยพิจารณา จำนวนวัน จำนวนคาบเวลา จำนวนห้องเรียน จำนวนอาจารย์ และจำนวนวิชา งานวิจัยนี้จัดทำสำหรับโรงเรียนมัธยมศึกษาตอนต้นในประเทศไทย ในการแก้ปัญหาได้แสดงให้เห็นถึงควมมีประสิทธิภาพของหลักการในการหาคำตอบที่ดีที่สุด และมีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลง โดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป CPLEX ในการหาคำตอบ และมีการนำไปประยุกต์ใช้กับมัธยมตอนปลายต่อไป ซึ่งการจัดตารางเรียนสำหรับชั้นมัธยมจะมีความยุ่งยากน้อยกว่าการจัดตารางเรียนของมหาวิทยาลัย ในงานวิจัยนี้ได้กล่าวไว้ว่างานวิจัยก่อนหน้านี้ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้

Nakasuwan et al. (1998) ได้สร้างรูปแบบปัญหาแบบ Integer Linear Programming Model โดยพิจารณา วิชา ห้องเรียน และคาบเวลาเรียน โครงการนี้ทำให้กับคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประกอบด้วย 5 สาขาวิชา 58 วิชา และ 17 ห้องเรียน แต่ทดสอบรูปแบบปัญหาเพียง 22 วิชา โดยคำนึงถึงต้นทุนที่สูงเกินไปเนื่องจากการจัดตารางเรียนที่ไม่เหมาะสมระหว่างจำนวนนิสิตกับขนาดของห้องเรียน และสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป LINGO ในการหาคำตอบ แต่สามารถหาคำตอบได้ครอบคลุมแค่ชั้นปีที่ 3 และชั้นปีที่ 4 เนื่องจากความสามารถของโปรแกรมซึ่งหาคำตอบได้ไม่เกิน 2,000 ตัวแปร

Dimopoulou และ Miliotis (2001) ได้สร้างรูปแบบปัญหาแบบ Integer Linear Programming Model โดยพิจารณาการจัดวิชาลงในแต่ละช่วงเวลาของห้องเรียน โดยรูปแบบปัญหานี้สร้างความยืดหยุ่นต่อการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขสำหรับผู้ใช้ The Athens University of Economics and Business ได้นำระบบนี้ไปใช้และประสบความสำเร็จ โดยมีนักเรียน 7,000 คน , คาบเวลาเรียน 60 คาบ/สัปดาห์ ประกอบด้วย 6 สาขาวิชา รวม 180 วิชา ซึ่งเป็นปัญหาที่ยากและมีตัวแปรมากกว่า 10,000 ตัวแปร แต่สามารถหาคำตอบได้เพียง 1,000 ตัวแปร และ 500 เงื่อนไข เนื่องด้วยความสามารถของคอมพิวเตอร์ ระบบได้ผ่านการทดสอบว่าสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุด

ได้ และสามารถหาได้อย่างรวดเร็วภายในเวลาน้อยกว่าหนึ่งนาที โดยใช้ MPCODE (DOS Version) และ XPRESS-MP for Windows

Yamada และ Nasu (2000) ทำการศึกษาปัญหาทางด้าน Assignment Problem ที่มีขนาดใหญ่และใช้เวลาในการหาคำตอบที่เร็วขึ้น โดยการพัฒนาวិธีการในการหาคำตอบที่ใช้หลักการ Greedy Algorithm และ Local Search Heuristic คำตอบที่ได้ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดโดยได้ทำการทดสอบปัญหาที่มีขนาดต่างๆกัน จนถึงปัญหาที่มีขนาดใหญ่ที่สุด 48,000 ตัวแปร และใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยกว่าหนึ่งนาที ซึ่งได้นำกรณีศึกษาจริงของการจัดนักเรียนของ National Defense Academy จำนวน 400 คน สำหรับ 14 สาขาวิชา และในขณะเวลาเดียวกันมีการจัดการบริการให้ด้วย และเรียกปัญหาลักษณะนี้ว่า Simultaneous Assignment Problem (SAP)

Diaz และ Fernandez (2001) ได้ทำการศึกษาปัญหาทาง General Assignment Problem โดยใช้หลักการ Tabu Search heuristic ในการหาคำตอบและคำตอบที่ได้ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด โดยทำการเปรียบเทียบคำตอบกับวิธีการก่อนหน้า และใช้กรณีศึกษาการจัดงานลงเครื่องจักรให้มีต้นทุนต่ำที่สุด

Campbell และ Diaby (2002) ได้พัฒนาวิธีการ Heuristic ในการหาคำตอบสำหรับปัญหา Generalized Assignment Problem สำหรับตารางกำหนดการฝึกคนงานของหลายแผนก โดยมีสมการวัตถุประสงค์เป็น Nonlinear และมีตัวแปรตัดสินใจเป็น Binary งานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นว่าคำตอบที่ได้ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด และเป็นคำตอบที่ดีกว่าวิธี Classical Lagrangian Heuristic และ Simplistic Greedy Approach

### รูปแบบปัญหาก่อนหน้า

รูปแบบของปัญหาก่อนหน้าจะประกอบด้วยรูปแบบของปัญหาการจัดตารางเรียนและการกำหนดห้องเรียนของ Knauer และ Swart (1974) ซึ่งใช้เป็นแนวทางในการพัฒนารูปแบบปัญหาของงานวิจัยนี้ และรูปแบบปัญหาการจัดตารางเรียนและการกำหนดห้องเรียนของสถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ซึ่งใช้เป็นปัญหาที่ใช้ทดสอบรูปแบบปัญหาของงานวิจัยนี้

## 1. รูปแบบของปัญหาการกำหนดห้องเรียนของ Knauer และ Swart

$$\text{Maximize } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

Subject to

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad , 1 \leq i \leq m \quad \text{--(1)}$$

$$\sum_{i=1}^m k_i x_{ij} \leq f_j \quad , 1 \leq j \leq n \quad \text{--(2)}$$

$$\sum_{i \in I_p} \sum_{j \in S_t} x_{ij} \leq 1 \quad \text{all } p, t \quad \text{--(3)}$$

$$\sum_{i \in I_r} \sum_{j \in S_t} x_{ij} \leq 1 \quad \text{all } r, t \quad \text{--(4)}$$

$$x_{ij} = \{0,1\}$$

โดยที่  $i$  ใช้แสดงแทนวิชาเรียน ,  $j$  ใช้แสดงแทนห้องเรียนใดๆ ณ เวลาใดๆ , ตัวแปรตัดสินใจ ( $x_{ij}$ ) มีค่าเท่ากับหนึ่งเมื่อวิชา  $i$  กำหนดให้อยู่ห้องเรียนและเวลา  $j$  และมีค่าเท่ากับศูนย์เมื่อเป็นกรณีอื่นๆ และมีตัวแปรร่วม ดังนี้  $I_p$  คือ วิชาที่สอนโดยอาจารย์คณะ  $p$ ,  $I_r$  คือ วิชาที่เรียนโดยนักเรียนกลุ่ม  $r$ ,  $S_t$  คือ กลุ่มของห้องเรียนที่ใช้ในเวลาเดียวกัน ,  $c_{ij}$  คือ จำนวนที่นั่งที่ใช้เมื่อวิชา  $i$  กำหนดให้อยู่ห้องเรียนและเวลา  $j$  ,  $k_i$  คือ จำนวนนิสิตที่เรียนวิชา  $i$ ,  $f_j$  คือ จำนวนที่นั่งของ ห้องเรียนและเวลา  $j$

จากรูปแบบปัญหาข้างต้นประกอบด้วยสมการวัตถุประสงค์ คือ ต้องการให้ใช้จำนวนที่นั่งให้ได้มากที่สุด และมีเงื่อนไขดังนี้ (1) ทุกวิชาต้องมีห้องเรียนหนึ่งห้อง ,(2) จำนวนนักเรียนต้องน้อยกว่าจำนวนที่นั่งของห้องเรียน , (3) อาจารย์สอนได้เพียงหนึ่งห้อง ณ.เวลาใดๆ และ (4) นักเรียนเรียนได้เพียงหนึ่งห้อง ณ.เวลาใดๆ

## 2. รูปแบบปัญหาการจัดตารางเรียนและการกำหนดห้องเรียนของสถาบันเทคโนโลยี

นานาชาติสิรินธรมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปี 1998 Nakasuwan et al. ใช้หลักการ Binary Integer Programming Model ในการสร้างรูปแบบปัญหา

$$\text{Min } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p [c_{ijk} x_{ijk} (f_j - e_i) + c_{ijk} x_{ijk}]$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^m x_{ijk} \leq 1 \quad 1 \leq j \leq n, 1 \leq k \leq p \quad \text{_(5)}$$

$$e_i x_{ijk} \leq f_j \quad 1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n, 1 \leq k \leq p \quad \text{_(6)}$$

$$\sum_{i \in I_r} \sum_{j=1}^n x_{ijk} \leq 1 \quad 1 \leq k \leq p, 1 \leq r \leq R \quad \text{_(7)}$$

$$\sum_{i \in I_r} \sum_{j=1}^n \sum_{k \in T_r} x_{ijk} = 0 \quad \text{_(8)}$$

$$\sum_{i \in I_s} \sum_{j=1}^n x_{ijk} \leq 1 \quad 1 \leq k \leq p, 1 \leq s \leq S \quad \text{_(9)}$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p x_{ijk} = 2 \quad 1 \leq i \leq m \quad \text{_(10)}$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\}$$

โดยที่  $i$  ใช้แสดงแทนวิชาเรียน ,  $j$  ใช้แสดงแทนห้องเรียน ,  $k$  ใช้แสดงแทนเวลาเรียน , ตัวแปรตัดสินใจ( $x_{ijk}$ ) มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อมีการจัดวิชาที่  $i$  ลงในห้องเรียน  $j$  ที่เวลา  $k$  และ มีค่าเท่ากับศูนย์เมื่อมีเป็นกรณีอื่นๆ และมีตัวแปรร่วม ดังนี้  $f_j$  คือ ความจุสูงสุดของห้องเรียน  $j$  ,  $e_i$  คือ จำนวนนิสิตต่อหมู่ที่เรียนวิชา  $i$  ,  $c_{ijk}$  คือ ต้นทุนที่เกิดขึ้นเมื่อมีการจัดวิชาที่  $i$  ลงใน ห้องเรียน  $j$  ที่เวลา  $k$  ,  $I_r$  คือ เซตของวิชา  $i$  ที่สอนโดยอาจารย์  $r$  ,  $I_s$  คือ เซตของวิชา  $i$  ที่เรียนโดย นักเรียนกลุ่ม  $s$  ,  $T_r$  คือ เซตของคาบเวลา  $i$  ที่อาจารย์  $r$  สอนไม่ได้

จากรูปแบบปัญหาข้างต้นประกอบด้วยสมการวัตถุประสงค์ คือ ต้องการใช้ต้นทุนโดยรวมให้มีค่าต่ำสุด และมีเงื่อนไขดังนี้ (5) ห้องเรียนทุกห้องควรจัดให้มีมากที่สุดหนึ่งวิชาที่เวลาใดๆ , (6) จำนวนของนิสิตแต่ละกลุ่มที่เรียนในแต่ละวิชาต้องไม่เกินความจุของห้องเรียนนั้นๆ , (7) ในแต่ละคาบเวลาเรียนมีอาจารย์สอนได้หนึ่งวิชา , (8) การจัดตารางเวลาที่อาจารย์สอนไม่ได้, (9) นิสิตหนึ่งกลุ่มสามารถเรียนได้หนึ่งวิชาที่เวลาใดๆ ,(10) แต่ละวิชาจะต้องใช้เวลาสอน 2 คาบ

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยการกำหนดห้องเรียนให้มีจำนวนที่นั่งว่างเหลือน้อยที่สุดหรือให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุดนั้นมีรูปแบบของปัญหาเป็นการกำหนดห้องเรียน (Classroom Assignment Problem) โดยการสร้างรูปแบบปัญหาทางคณิตศาสตร์ในรูปของ Integer Linear Programming (ILP) หรือ Binary Integer Programming (BIP) และมีเงื่อนไขที่ไม่ซับซ้อนคือวิชาเรียนใดๆต้องมีหนึ่งห้องเรียนและห้องเรียนใดๆมีวิชาเรียนเท่าใดก็ได้แต่ห้ามเรียนในเวลาเดียวกัน การคำนวณหาคำตอบโดยใช้หลักการ Branch and Bound และอาศัยโปรแกรม Solver Large Scale Version 3.5 ในการคำนวณหาคำตอบ ซึ่งคำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ดีที่สุด จากนั้นได้ทำการทดสอบรูปแบบปัญหามาขนาดต่างๆเพื่อทดสอบพฤติกรรม

#### รูปแบบของปัญหาการกำหนดห้องเรียน

$$\text{Min } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

Subject to

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad \forall i \quad \text{--(1)}$$

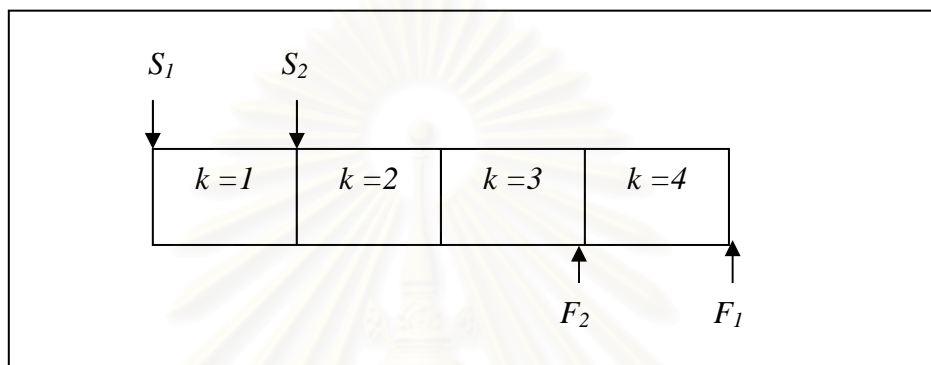
$$\sum_{i=1}^m G_{ikl} x_{ij} \leq 1, \quad \forall j, k, l \quad \text{--(2)}$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}$$

โดยที่  $i$  ใช้แสดงแทนวิชาเรียน,  $j$  ใช้แสดงแทนห้องเรียน, ตัวแปรตัดสินใจ ( $x_{ij}$ ) มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อวิชาเรียน  $i$  เรียนในห้องเรียนที่  $j$  และมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อเป็นกรณีอื่นๆ,  $c_{ij}$  มีค่าเท่ากับผลต่างของจำนวนที่นั่งเรียนของห้องเรียน  $j$  กับจำนวนนิสิตที่ลงทะเบียนเรียนวิชา  $i$  คูณด้วยจำนวนคาบ และ  $G_{ikl}$  มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อมีวิชา  $i$  เรียนในคาบที่  $k$  และในวันที่  $l$  และมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อเป็นกรณีอื่นๆ จากรูปแบบปัญหาสมการวัตถุประสงค์คือต้องการผลรวมของจำนวนที่นั่งว่างรวมต่ำสุด และมีเงื่อนไขดังนี้ (1) ทุกวิชาต้องมีห้องเรียนเท่ากับ 1 ห้อง และ (2) ในทุกๆ ห้องเรียน ในคาบใดๆ และวันใดๆ เรียนได้ไม่เกินหนึ่งวิชาเท่านั้น

สำหรับงานวิจัยนี้ได้พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรตัดสินใจ ( $c_{ij}$ ) ในสมการวัตถุประสงค์เป็นจำนวนที่นั่งว่าง ซึ่งมีค่าเท่ากับจำนวนที่นั่งของห้องเรียนลบด้วยจำนวนนิสิตแต่ละวิชาและคูณจำนวนคาบเวลาที่เรียน ซึ่งสามารถแสดงการคำนวณโดยการพิจารณาเวลาเริ่มต้น

เรียนสำหรับวิชา  $i$  ( $S_i$ ) เวลาสิ้นสุดการเรียนวิชา  $i$  ( $F_i$ ) และ คาบเวลาเรียน ( $k$ ) โดยแสดงสัญลักษณ์ได้ดังรูปที่ 3.1 เช่นวิชาที่ 1 เริ่มต้นเรียนที่คาบที่ 1 ( $S_1 = 1$ ) และสิ้นสุดการเรียนที่คาบที่ 4 ( $F_1 = 4$ ) แสดงว่าวิชาเรียนที่ 1 มีจำนวนคาบเวลาเรียนทั้งหมดเท่ากับ 4 คาบ เป็นต้น และถ้าจำนวนนิสิตมากกว่าที่นั่งของห้องเรียนและวิชาเขียนแบบกำหนดให้ใช้ห้องเรียนบรรยาย การคำนวณจะให้ค่า  $c_{ij}$  เท่ากับ  $M$  แสดงการคำนวณหาค่า  $c_{ij}$  ได้ดังรูปที่ 3.2

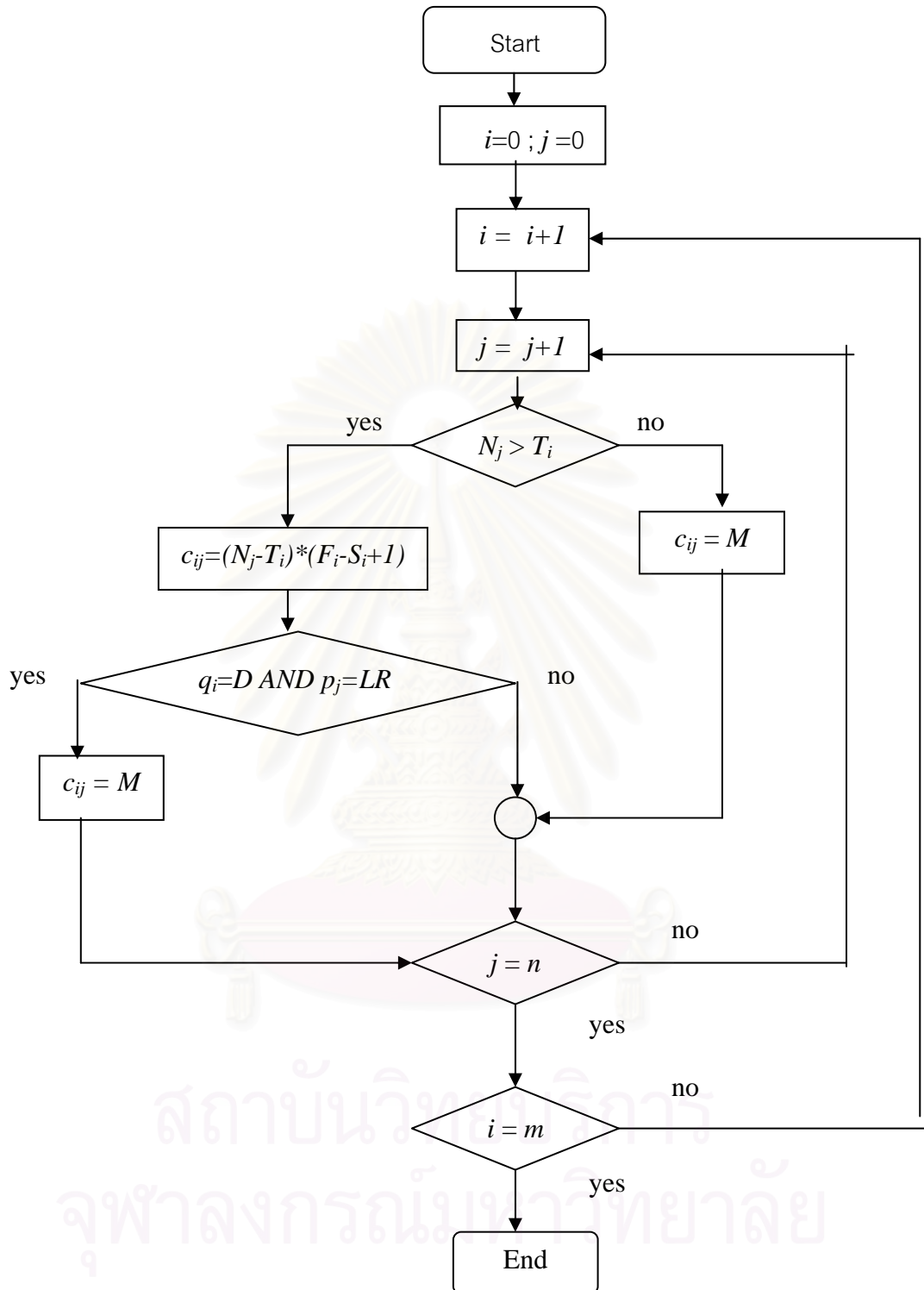


รูปที่ 3.1: แสดงความหมายของสัญลักษณ์  $S_i$ ,  $F_i$  และ  $k$  สำหรับอธิบายการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์  $c_{ij}$  และ  $G_{ikl}$

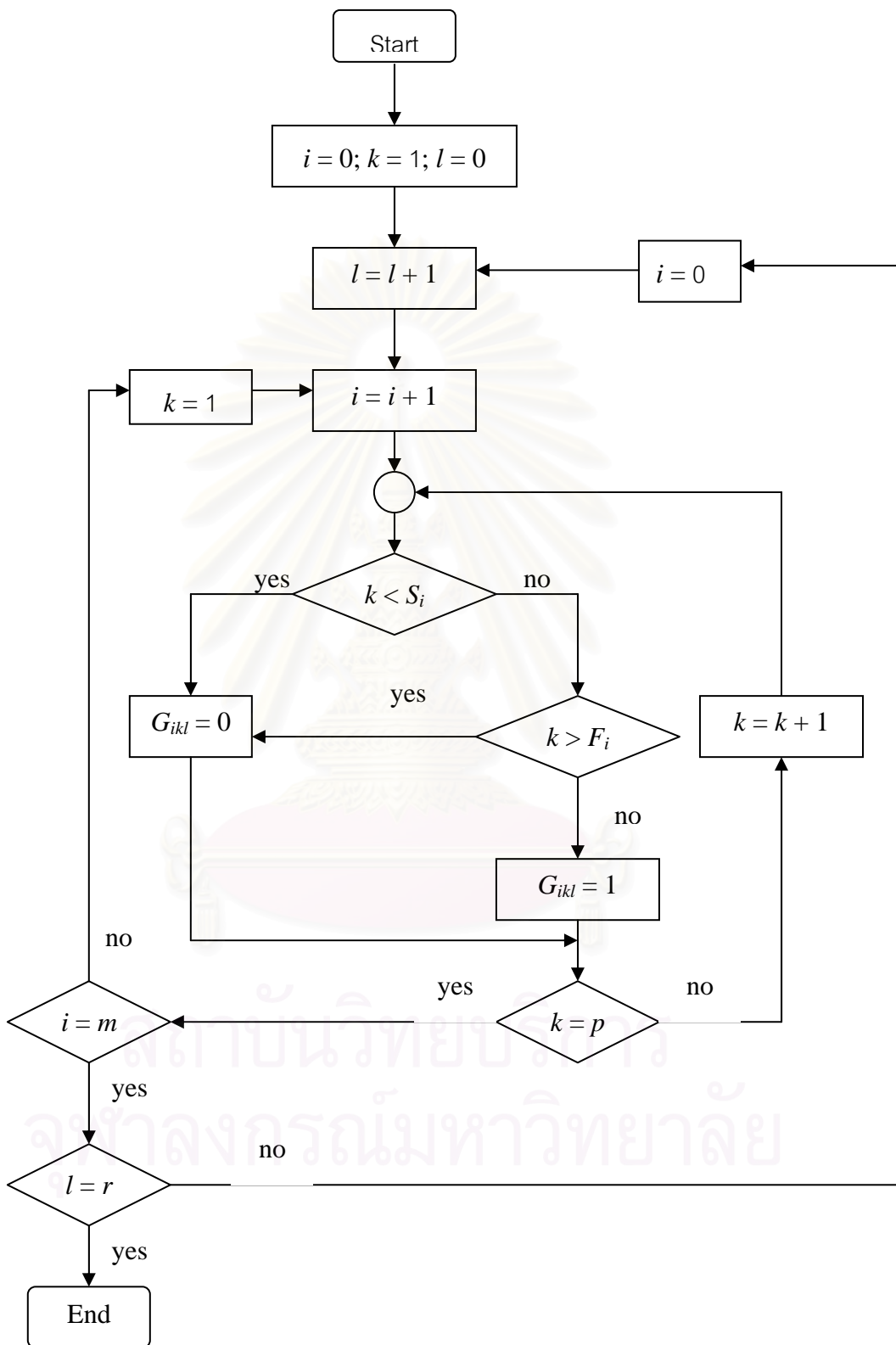
จากเงื่อนไขที่ 2 ห้องเรียนใดๆ ในคาบใดๆ และวันใดๆ เรียนได้ไม่เกินหนึ่งวิชาเท่านั้น สำหรับงานวิจัยนี้มีการสร้างค่าสัมประสิทธิ์  $G_{ikl}$  โดยการพิจารณาในทุกคาบของทุกวิชาของทุกวัน เมื่อมีวิชาเรียน  $i$  เรียนที่คาบ  $k$  และวัน  $l$  จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์  $G_{ikl}$  มีค่าเท่ากับหนึ่ง ถ้าไม่มีวิชาเรียน  $i$  เรียนที่คาบ  $k$  และวัน  $l$  จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์  $G_{ikl}$  จะมีค่าเท่ากับศูนย์ และแสดงการคำนวณค่า  $G_{ikl}$  ได้ดังรูปที่ 3.3

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 3.2: แสดง Flow Chart การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์  $c_{ij}$  ของสมการวัตฤประสงค์  
สำหรับของงานวิจัยนี้



รูปที่ 3.3: แสดง Flow Chart กำหนดค่าสัมประสิทธิ์  $G_{ikl}$  ของเงื่อนไขสำหรับงานวิจัยนี้

จากรูปแบบปัญหาการกำหนดห้องเรียนสำหรับงานวิจัยนี้ สามารถอธิบายโดยละเอียดได้ดังตัวอย่างที่ 3.1

ตัวอย่างที่ 3.1 ปัญหาเป็นการกำหนดห้องเรียนกรณีที่มีวิชาที่เรียน 2 ครั้งต่อสัปดาห์ ต้องเรียนห้องเรียนเดียวกัน โดยมีรายละเอียดของข้อมูลรายวิชาดังตารางที่ 3.1 และข้อมูลห้องเรียนดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1: แสดงข้อมูลรายวิชาของปัญหาการกำหนดห้องเรียนกรณีที่มีวิชาที่เรียน 2 ครั้งต่อสัปดาห์ต้องเรียนห้องเรียนเดียวกันของตัวอย่างที่ 3.1

|                           | วันที่1 |    |    | วันที่2 |    |    |
|---------------------------|---------|----|----|---------|----|----|
| ประเภทวิชา                | L1      | L1 | L  | L2      | L2 | D  |
| วิชา( $i=1,2,3,\dots,m$ ) | 1       | 2  | 3  | 1       | 2  | 4  |
| จำนวนนิสิต( $T_i$ )       | 26      | 47 | 57 | 26      | 47 | 22 |
| คาบเวลาเริ่มต้น( $S_i$ )  | 1       | 3  | 1  | 1       | 1  | 2  |
| คาบเวลาสิ้นสุด( $F_i$ )   | 2       | 3  | 3  | 2       | 1  | 3  |

ตารางที่ 3.2 : แสดงข้อมูลห้องเรียนของปัญหาการกำหนดห้องเรียนกรณีที่มีวิชาที่เรียน 2 ครั้งต่อสัปดาห์ต้องเรียนห้องเรียนเดียวกันของตัวอย่างที่ 3.1

| ห้องเรียน( $j=1,2,3,\dots,n$ ) | จำนวนที่นั่ง( $N_j$ ) | ประเภท |
|--------------------------------|-----------------------|--------|
| 1                              | 70                    | LR     |
| 2                              | 60                    | DR     |
| 3                              | 40                    | LR     |

เมื่อพิจารณาเวลาเรียนเริ่มต้นและเวลาเรียนสิ้นสุดของวิชาเรียนทั้งสองวันจาก ตารางที่ 3.1 ประกอบกับจำนวนห้องเรียนในตารางที่ 3.2 สามารถแสดงค่าสัมประสิทธิ์  $G_{ikl}$  ที่มีค่าเท่ากับหนึ่งในตารางเรียนของทั้งสองวัน โดยวันที่ 1 แสดงได้ดังรูปที่ 3.4 และวันที่ 2 แสดงได้ดังรูปที่ 3.5 ส่วนค่าสัมประสิทธิ์  $G_{ikl}$  ที่ไม่ได้แสดงมีค่าเท่ากับศูนย์

|      |           | วันที่ 1, ห้อง 1 |           |           |
|------|-----------|------------------|-----------|-----------|
| วิชา | คาบ       |                  |           |           |
|      | 1         | 2                | 3         |           |
|      | 1         | $G_{111}$        | $G_{121}$ |           |
| 2    |           |                  |           | $G_{231}$ |
| 3    | $G_{311}$ | $G_{321}$        |           | $G_{331}$ |
|      |           | วันที่ 1, ห้อง 2 |           |           |
| วิชา | คาบ       |                  |           |           |
|      | 1         | 2                | 3         |           |
|      | 1         | $G_{111}$        | $G_{121}$ |           |
| 2    |           |                  |           | $G_{231}$ |
| 3    | $G_{311}$ | $G_{321}$        |           | $G_{331}$ |
|      |           | วันที่ 1, ห้อง 3 |           |           |
| วิชา | คาบ       |                  |           |           |
|      | 1         | 2                | 3         |           |
|      | 1         | $G_{111}$        | $G_{121}$ |           |
| 2    |           |                  |           | $G_{231}$ |
| 3    | $G_{311}$ | $G_{321}$        |           | $G_{331}$ |

รูปที่ 3.4: แสดงตารางเรียนแสดงค่าสัมประสิทธิ์  $G_{ikl}$  ที่มีค่าเท่ากับหนึ่งในวันที่ 1 ของตัวอย่างที่ 3.1

| วิชา | วันที่ 2, ห้อง 1 |           |           |
|------|------------------|-----------|-----------|
|      | คาบ              |           |           |
|      | 1                | 2         | 3         |
| 1    | $G_{112}$        | $G_{122}$ |           |
| 2    | $G_{212}$        |           |           |
| 4    |                  | $G_{422}$ | $G_{432}$ |
| วิชา | วันที่ 2, ห้อง 2 |           |           |
|      | คาบ              |           |           |
|      | 1                | 2         | 3         |
| 1    | $G_{112}$        | $G_{122}$ |           |
| 2    | $G_{212}$        |           |           |
| 4    |                  | $G_{422}$ | $G_{432}$ |
| วิชา | วันที่ 2, ห้อง 3 |           |           |
|      | คาบ              |           |           |
|      | 1                | 2         | 3         |
| 1    | $G_{112}$        | $G_{122}$ |           |
| 2    | $G_{212}$        |           |           |
| 4    |                  | $G_{422}$ | $G_{432}$ |

รูปที่ 3.5: แสดงตารางเรียนแสดงค่าสัมประสิทธิ์  $G_{ikl}$  ที่มีค่าเท่ากับหนึ่งในวันที่ 2 ของตัวอย่างที่ 3.1

จากข้อมูลรายวิชาในตารางที่ 3.1 และข้อมูลห้องเรียนในตารางที่ 3.2 สามารถแสดงค่าจากการคำนวณค่า  $c_{ij}$  ได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 : แสดงการคำนวณหาจำนวนที่นั่งว่าง ( $c_{ij}$ ) ของปัญหาการกำหนดห้องเรียนกรณีที่มีวิชาที่เรียน 2 ครั้งต่อสัปดาห์ต้องเรียนห้องเรียนเดียวกันของตัวอย่างที่ 3.1

| ห้องเรียน | วิชาเรียน |      |      |      |
|-----------|-----------|------|------|------|
|           | 1         | 2    | 3    | 4    |
| 1         | 176       | 46   | 13   | 9999 |
| 2         | 136       | 26   | 3    | 38   |
| 3         | 56        | 9999 | 9999 | 9999 |

จากตัวอย่างที่ 3.1 และรูปแบบปัญหาแบบปัญหาการกำหนดห้องเรียนสำหรับงานวิจัยนี้ เมื่อพิจารณาพร้อมกับตารางเรียนดังรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5 และค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรตัดสินใจในสมการวัตถุประสงค์ดังตารางที่ 3.3 สามารถแสดงรูปแบบปัญหาที่สมบูรณ์ได้ดังนี้

$$\text{Min}Z = 176x_{11} + 136x_{12} + 56x_{13} + 46x_{21} + 26x_{22} + 9999x_{23} + 13x_{31} + 3x_{32} + 9999x_{33} + 9999x_{41} + 38x_{42} + 9999x_{43}$$

Subject to

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} = 1 \quad \text{_(1)}$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} = 1 \quad \text{_(2)}$$

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} = 1 \quad \text{_(3)}$$

$$x_{41} + x_{42} + x_{43} = 1 \quad \text{_(4)}$$

$$x_{11} + x_{31} \leq 1 \quad \text{_(5)}$$

$$x_{12} + x_{32} \leq 1 \quad \text{_(6)}$$

$$x_{13} + x_{33} \leq 1 \quad \text{_(7)}$$

$$x_{11} + x_{31} \leq 1 \quad \text{_(8)}$$

$$x_{12} + x_{32} \leq 1 \quad \text{_(9)}$$

$$x_{13} + x_{33} \leq 1 \quad \text{_(10)}$$

$$x_{21} + x_{31} \leq 1 \quad \text{_(11)}$$

$$x_{22} + x_{32} \leq 1 \quad \text{_(12)}$$

$$x_{23} + x_{33} \leq 1 \quad \text{_(13)}$$

$$x_{11} + x_{21} \leq 1 \quad \text{_(14)}$$

$$x_{12} + x_{22} \leq 1 \quad \text{_(15)}$$

$$x_{13} + x_{33} \leq 1 \quad \text{_(16)}$$

$$x_{11} + x_{41} \leq 1 \quad \text{_(17)}$$

$$x_{12} + x_{42} \leq 1 \quad \text{_(18)}$$

$$x_{13} + x_{43} \leq 1 \quad \text{_(19)}$$

$$x_{41} \leq 1 \quad \text{_(20)}$$

$$x_{42} \leq 1 \quad \text{_(21)}$$

$$x_{43} \leq 1 \quad \text{_(22)}$$

$$\forall x_{ij} \in \{0,1\}$$

จากรูปแบบปัญหาที่สมบูรณสามารถแบ่งเงื่อนไขได้ 3 กลุ่ม คือ กลุ่ม 1 ประกอบด้วยสมการที่ 1- 4 แสดงเงื่อนไขทุกวิชาต้องมีห้องเรียนหนึ่งห้อง กลุ่ม 2 ประกอบด้วยสมการ 5 – 22 แสดงเงื่อนไขคาบใดๆในแต่ละวัน ทุกห้องเรียนจะมีวิชาเรียนได้ไม่เกินหนึ่งวิชาเท่านั้น โดยมีกลุ่มย่อยๆดังนี้ สมการที่ 5 – 7 แสดงเงื่อนไขวันอังคาร คาบที่ 1 ของแต่ละห้อง สมการที่ 8 – 10 แสดงเงื่อนไขวันอังคาร คาบที่ 2 ของแต่ละห้อง สมการที่ 11 – 13 แสดงเงื่อนไขวันอังคาร คาบที่ 3 ของแต่ละห้อง สมการที่ 14 – 16 แสดงเงื่อนไขวันพฤหัสบดี คาบที่ 1 ของแต่ละห้อง สมการที่ 17 – 19 แสดงเงื่อนไขวันพฤหัสบดี คาบที่ 2 ของแต่ละห้อง สมการที่ 20 – 22 แสดงเงื่อนไข วันพฤหัสบดี คาบที่ 3 ของแต่ละห้อง และกลุ่ม 3 แสดงเงื่อนไขสำหรับตัวแปรตัดสินใจทุกตัวเป็น Binary

## การคำนวณหาคำตอบของรูปแบบปัญหา

ผลลัพธ์จากการคำนวณหาคำตอบของปัญหา BIP สามารถอธิบายได้ 3 แนวทางดังนี้

### 1. กรณีที่ได้คำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution)

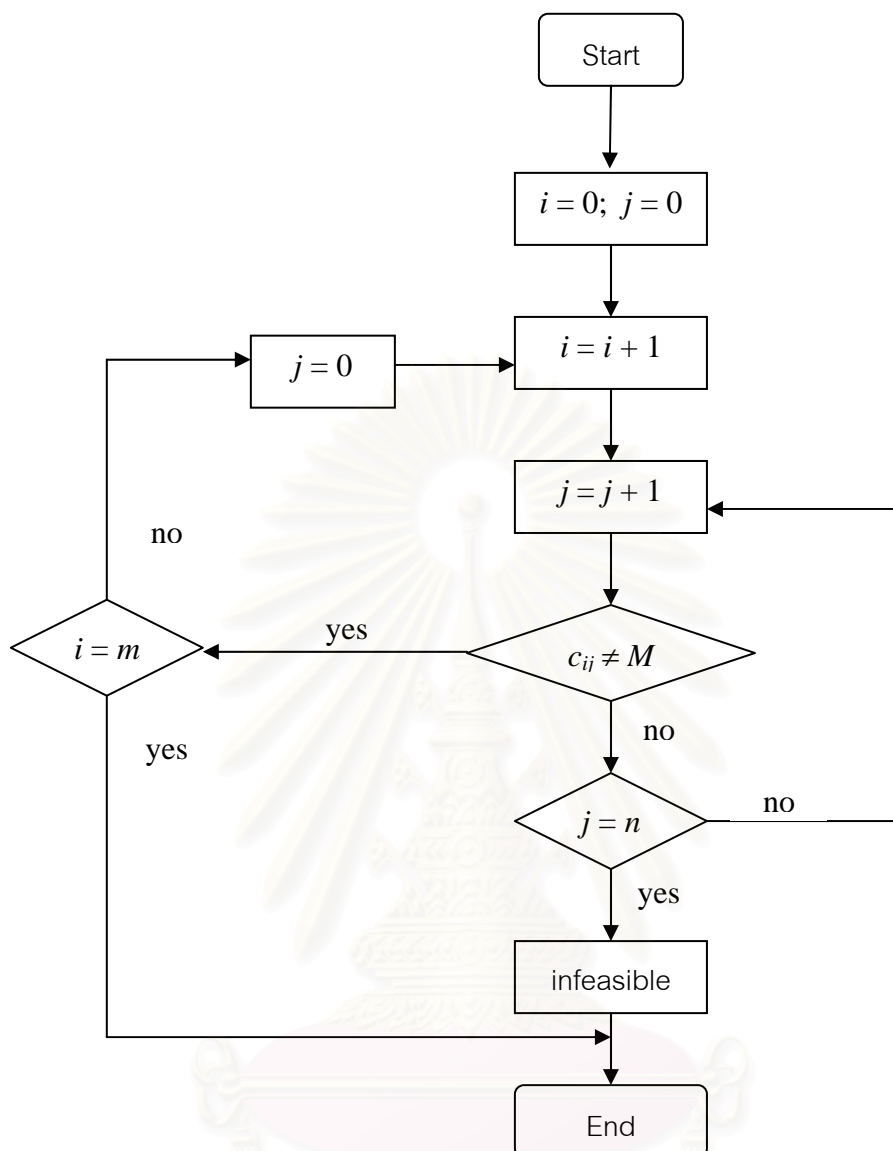
สำหรับตัวอย่างที่ 3.1 สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา BIP โดยใช้หลักการ Branch and Bound ซึ่งเริ่มต้นคำนวณด้วยวิธี LP Relaxation เมื่อทำการตัดเงื่อนไขสำหรับตัวแปรตัดสินใจทุกตัวเป็น Binary ออก และคำนวณหาคำตอบด้วยวิธี Simplex พบว่าคำตอบที่ได้  $Z = 133$  และตัวแปรตัดสินใจทุกตัวเป็น Binary จึงหยุดคำนวณและคำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งหมายความว่ามีความหมายความว่ามีจำนวนที่นั่งว่างทั้งหมดหลังกำหนดห้องเรียนให้กับทุกวิชาของทั้ง 2 วัน เท่ากับ 133 ที่นั่ง โดยตัวแปรตัดสินใจ  $x_{13}$ ,  $x_{22}$ ,  $x_{31}$  และ  $x_{42}$  มีค่าเท่ากับหนึ่ง หมายความว่า วิชา 1 เรียนห้อง 3, วิชา 2 เรียนห้อง 2, วิชา 3 เรียนห้อง 1 และวิชา 4 เรียนห้อง 2

### 2. กรณีไม่มีคำตอบ (Infeasible Solution) แบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

#### ก. ไม่มีห้องเรียนสำหรับวิชานั้นๆ

เนื่องจากสาเหตุ 2 ประการคือ จำนวนนิสิตมากกว่าจำนวนที่นั่งของทุกห้องเรียน และไม่มีห้องเรียนเขียนแบบสำหรับวิชาเขียนแบบ แนวทางการตรวจเช็ค โดยการพิจารณาค่า  $c_{ij}$  ของแต่ละวิชาว่ามีความเป็นไปได้ในการเกิดคำตอบหรือไม่ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.6





รูปที่ 3.6: แสดง Flow Chart การตรวจเช็คคำตอบเริ่มต้นของปัญหาที่ไม่มีคำตอบเริ่มต้นกรณีที่ไม่  
ไม่มีห้องเรียนสำหรับวิชานั้นๆ

ในแนวทางการปฏิบัติเมื่อพบว่ามีความวิชาเรียนที่มีห้องเรียนไม่เหมาะสมทั้ง 2 ประการ  
ข้างต้น ทางคณะวิศวกรรมฯ ต้องกำหนดจำนวนนิสิตต่อหมู่เรียนให้มีจำนวนน้อยกว่าขนาดของ  
ห้องเรียนที่มี และลดจำนวนหมู่เรียนวิชาเขียนแบบให้เท่ากับจำนวนห้องเรียนเขียนแบบ หรือถ้าลด  
จำนวนหมู่เรียนไม่ได้ต้องทำการเพิ่มห้องเรียนให้เพียงพอสำหรับวิชาเขียนแบบ

ข. ห้องเรียนไม่เพียงพอสำหรับช่วงเวลานั้นๆ

เนื่องมาจากการเรียนการสอนพร้อมกันหลายๆวิชาในช่วงเวลาเดียวกัน ทำให้จำนวนห้องเรียนไม่เพียงพอในช่วงเวลานั้นๆ เนื่องจากรูปแบบของปัญหาการกำหนดห้องเรียนสำหรับงานวิจัยนี้ โดยวัตถุประสงค์คือกำหนดห้องเรียนให้มีจำนวนที่นั่งว่างน้อยที่สุด ในขณะที่เดียวกันจะให้จำนวนวิชาที่ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขของรูปแบบปัญหาการกำหนดห้องเรียนของงานวิจัยนี้น้อยที่สุดด้วยเช่นกัน โดยมีหลักการ 2 หลักการ ดังนี้คือ

ก. จากสมการเงื่อนไข  $\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \forall i$  เมื่อมีวิชา  $i$  ใดๆ ทำให้สมการเงื่อนไขไม่เป็นจริง แสดงว่าปัญหาไม่มีคำตอบที่เป็นไปได้

ข. จากสมการวัตถุประสงค์  $\text{Min} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$  เมื่อ  $x_{ij}$  ใดๆ มีค่าเท่ากับหนึ่ง แล้วทำให้  $c_{ij} x_{ij}$  มีค่าเท่ากับ 999999 แสดงว่าปัญหาไม่มีคำตอบที่เป็นไปได้

ในแนวทางปฏิบัติกรณีที่ห้องเรียนไม่เพียงพอสำหรับช่วงเวลานั้นๆ คือทางเจ้าหน้าที่จัดห้องเรียนต้องแจ้งให้คณะกรรมการจัดตารางเรียนในแต่ละภาควิชาต้องประชุมเพื่อพิจารณาว่าวิชาใดบ้างที่มีการเปลี่ยนแปลงตารางเรียนได้ และไม่ส่งผลกระทบต่อเวลาสอนของอาจารย์และเวลาเรียนของนิสิต

ตัวอย่างของปัญหาการกำหนดห้องเรียนที่ไม่มีคำตอบที่เป็นไปได้ อธิบายได้ดังตัวอย่างที่ 3.2 จากตัวอย่างที่ 3.1 ถ้ามีการเพิ่มวิชา 5 ในวันพฤหัสบดี มีจำนวนนิสิตเท่ากับ 30 คน เป็นวิชาเขียนแบบ เรียนในคาบที่ 3 จะทำให้รูปแบบของปัญหาไม่สามารถหาคำตอบได้เนื่องจากมีห้องเรียนเขียนแบบเพียงหนึ่งห้อง แสดงรูปแบบปัญหาที่เปลี่ยนไปดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างที่ 3.2

$$\text{Min } Z = 176x_{11} + 136x_{12} + 56x_{13} + 46x_{21} + 26x_{22} + 9999x_{23} + 13x_{31} + 3x_{32} + 9999x_{33} \\ + 9999x_{41} + 38x_{42} + 9999x_{43} + 9999x_{51} + 30x_{52} + 9999x_{53}$$

Subject to

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} = 1$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} = 1$$

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} = 1$$

$$x_{41} + x_{42} + x_{43} = 1$$

$$x_{51} + x_{52} + x_{53} = 1$$

$$x_{11} + x_{31} \leq 1$$

$$x_{12} + x_{32} \leq 1$$

$$x_{13} + x_{33} \leq 1$$

$$x_{11} + x_{31} \leq 1$$

$$x_{12} + x_{32} \leq 1$$

$$x_{13} + x_{33} \leq 1$$

$$x_{21} + x_{31} \leq 1$$

$$x_{22} + x_{32} \leq 1$$

$$x_{23} + x_{33} \leq 1$$

$$x_{11} + x_{21} \leq 1$$

$$x_{12} + x_{22} \leq 1$$

$$x_{13} + x_{23} \leq 1$$

$$x_{11} + x_{41} \leq 1$$

$$x_{12} + x_{42} \leq 1$$

$$x_{13} + x_{43} \leq 1$$

$$x_{41} + x_{51} \leq 1$$

$$x_{42} + x_{52} \leq 1$$

$$x_{43} + x_{53} \leq 1$$

$$\forall x_{ij} \geq 0$$

จากตัวอย่างที่ 3.2 ได้ทำการแปลงปัญหาเดิมเป็นปัญหาควบคู่ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Max } Z = & z_1 - z_2 + z_3 - z_4 + z_5 - z_6 + z_7 - z_8 + z_9 - z_{10} + y_6 + y_7 + y_8 + y_9 + y_{10} + y_{11} \\ & + y_{12} + y_{13} + y_{14} + y_{15} + y_{16} + y_{17} + y_{18} + y_{19} + y_{20} + y_{21} + y_{22} + y_{23} \end{aligned}$$

Subject to

$$z_1 - z_2 + y_6 + y_9 + y_{15} + y_{18} \leq 176$$

$$z_1 - z_2 + y_7 + y_{10} + y_{16} + y_{19} \leq 136$$

$$z_1 - z_2 + y_8 + y_{11} + y_{17} + y_{22} \leq 56$$

$$z_3 - z_4 + y_{12} + y_{15} \leq 46$$

$$z_3 - z_4 + y_{13} + y_{16} \leq 26$$

$$z_3 - z_4 + y_{14} + y_{17} \leq 9999$$

$$z_5 - z_6 + y_6 + y_9 + y_{12} \leq 13$$

$$z_5 - z_6 + y_7 + y_{10} + y_{13} \leq 3$$

$$z_5 - z_6 + y_7 + y_{10} + y_{13} \leq 9999$$

$$z_7 - z_8 + y_8 + y_{11} + y_{14} \leq 9999$$

$$z_7 - z_8 + y_{18} + y_{21} \leq 38$$

$$z_7 - z_8 + y_{20} + y_{23} \leq 9999$$

$$z_9 - z_{10} + y_{21} \leq 9999$$

$$z_9 - z_{10} + y_{22} \leq 30$$

$$z_9 - z_{10} + y_{23} \leq 9999$$

$$\forall y \geq 0, \forall z \geq 0$$

จากปัญหาควบคู่การคำนวณหาคำตอบด้วยวิธี Simplex โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป LINDO 6.0 แสดงตารางที่ได้จากการคำนวณดังภาคผนวก ข.1 มีค่า RHS หาดด้วยสัมประสิทธิ์ของ non-basic variable ( $y_{10}, y_{18}$ ) มีค่าติดลบ แสดงว่ามีการปรับปรุงคำตอบได้เรื่อยๆ ไม่มีที่สิ้นสุด Katta G. (1976) ได้กล่าวไว้ว่า ลักษณะปัญหาควบคู่เป็น Unbounded แสดงว่าปัญหาเดิมเป็น Infeasible Solution

### 3. กรณีที่มีคำตอบที่ดีที่สุดมากกว่าหนึ่งคำตอบ (Alternative Optimal Solution)

จากการวิเคราะห์รูปแบบปัญหาการกำหนดห้องเรียน พบว่ากรณีที่มี Alternative Optimal Solution ที่สามารถเห็นได้อย่างชัดเจน มี 2 กรณี คือ

1. ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรตัดสินใจในสมการวัตถุประสงค์มีค่าเท่ากัน เนื่องจากกรณีที่ต้นทุนที่พิจารณาในการกำหนดห้องเรียนมีค่าเท่าๆกัน ซึ่งจะทำให้เกิด Alternative Optimal Solution ได้
2. สำหรับงานวิจัยนี้พิจารณาจำนวนที่นั่งว่างเหลือน้อยที่สุด ถ้าแต่ละวิชามีจำนวนเวลาเรียนที่เท่ากันจะทำให้การเปลี่ยนห้องเรียนมีส่วนการเปลี่ยนแปลงที่เท่ากัน ซึ่งจะทำให้เกิด Alternative Optimal Solution ได้

ในแนวทางปฏิบัติกรณีที่มีคำตอบที่ดีที่สุดมากกว่าหนึ่งคำตอบ หมายความว่า อาจารย์สามารถเปลี่ยนห้องเรียนได้ ซึ่งอาจจะทำให้สะดวกขึ้น หรือนิสิตสามารถย้ายห้องเรียนได้ สะดวกขึ้นเช่นกัน สำหรับที่คณะวิศวกรรมฯ ห้องเรียนของทั้ง 3 ตึก อยู่ในพื้นที่ตรงกลางของแต่ละภาควิชาการสร้างทางเลือกใหม่ให้กับอาจารย์และนิสิตจึงไม่มีความจำเป็น

ตัวอย่างปัญหาการกำหนดห้องเรียนที่มีคำตอบที่ดีที่สุดมากกว่าหนึ่งคำตอบ จากหลักการคำนวณหาคำตอบของรูปแบบปัญหา ILP สามารถแสดงได้ดังตัวอย่างที่ 3.3

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ตัวอย่างที่ 3.3

$$\text{Min}Z = 44x_{11} + 34x_{12} + 14x_{13} + 18x_{21} + 8x_{22} + 9999x_{23} + 62x_{31} + 52x_{32} + 32x_{33}$$

Subject to

$$\begin{aligned} x_{11} + x_{12} + x_{13} &= 1 \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} &= 1 \\ x_{31} + x_{32} + x_{33} &= 1 \\ x_{21} + x_{31} &\leq 1 \\ x_{22} + x_{32} &\leq 1 \\ x_{23} + x_{33} &\leq 1 \\ x_{11} + x_{21} + x_{31} &\leq 1 \\ x_{12} + x_{22} + x_{32} &\leq 1 \\ x_{13} + x_{23} + x_{33} &\leq 1 \\ x_{11} + x_{21} &\leq 1 \\ x_{12} + x_{22} &\leq 1 \\ x_{13} + x_{23} &\leq 1 \\ \forall x_{ij} &\in \{0, 1\} \end{aligned}$$

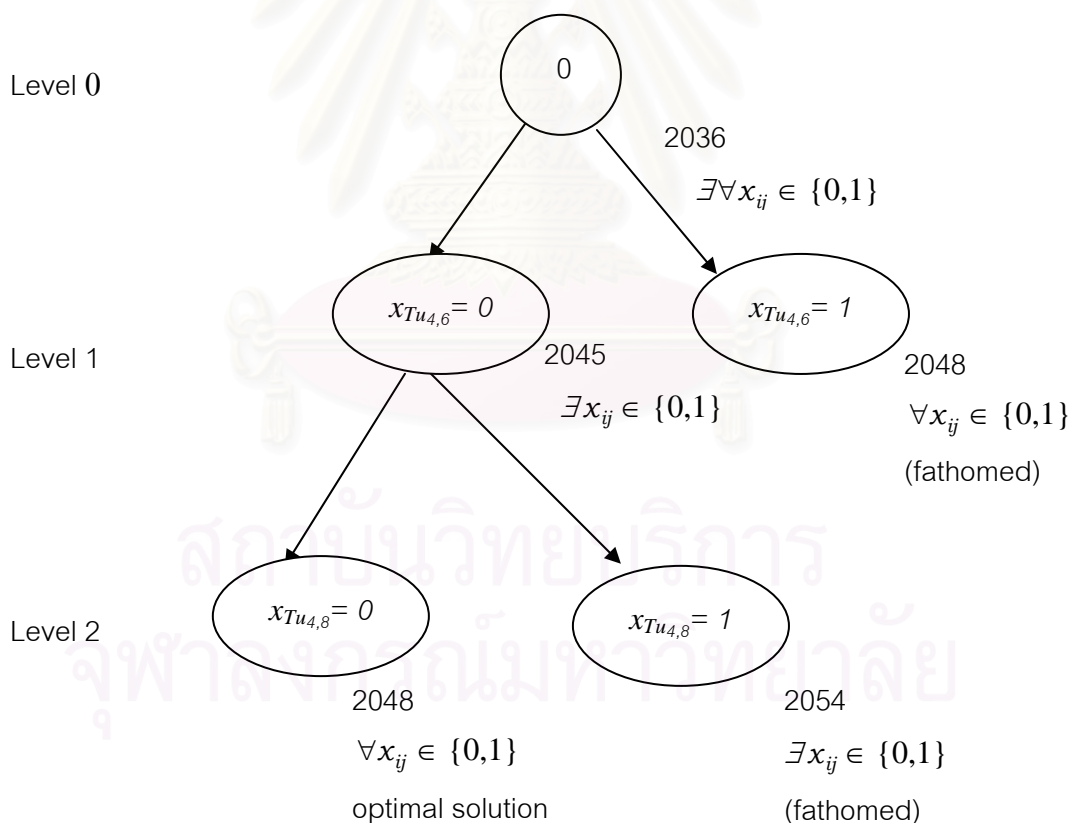
สำหรับงานวิจัยนี้เมื่อปัญหามีขนาดเล็กดังตัวอย่างที่ 3.3 การคำนวณหาคำตอบด้วยวิธี LP Relaxation จะได้คำตอบที่ดีที่สุด โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป LINDO 6.0 แสดงตารางที่ได้จากการคำนวณดังภาคผนวก ข.2 คำตอบที่ได้เป็นจำนวนเต็มและตัวแปรตัดสินใจทุกตัวเป็น Integer ( $x_{13}, x_{22}, x_{31}$  มีค่าเท่ากับ 1 และ  $x_{11}, x_{12}, x_{21}, x_{23}, x_{32}, x_{33}$  มีค่าเท่ากับศูนย์) แสดงว่าคำตอบที่ได้คือคำตอบที่ดีที่สุดคือ 84 เมื่อพิจารณาตารางแสดงผลการคำนวณมีสัมประสิทธิ์ของ nonbasic value ( $x_{11}, x_{12}, x_{21}, x_{32}, x_{33}$ ) ในสมการวัตถุประสงค์มีค่าเป็นศูนย์แสดงว่ามี Alternative Optimal Solution คือ  $x_{11}, x_{12}, x_{21}, x_{32}, x_{33}$  เมื่อเป็นตัวแปรเข้าแล้วทำให้คำตอบได้เท่าเดิม

สำหรับปัญหาการกำหนดห้องเรียนบางปัญหา การคำนวณหาคำตอบด้วยวิธี LP Relaxation ไม่ให้คำตอบที่ดีที่สุด จึงต้องอาศัยหลักการ Branch and Bound ในการพิจารณาแตก

ปัญหาออกเป็นปัญหาย่อยๆ แล้วคำนวณหาค่า Objective Function Value ด้วยวิธี LP Relaxation กรณีที่มี Alternative Optimal Solution จะมีปัญหาย่อยที่หยุดการพิจารณาแตกเป็นปัญหาย่อยๆ ให้ค่า Objective Function Value เท่ากันมากกว่าหนึ่งปัญหาและเป็นคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งเรียกว่า Optimal Objective Function Value แสดงดังตัวอย่างที่ 3.4

ตัวอย่างที่ 3.4

ปัญหาการกำหนดห้องเรียนกรณีที่มีวิชาเรียน 2 ครั้งต่อสัปดาห์แต่เรียนห้องเรียนต่างกันได้ แสดงข้อมูลรายวิชาดังตารางภาคผนวกที่ ค.1 และแสดงข้อมูลห้องเรียนดังตารางภาคผนวกที่ ค.2 รูปแบบปัญหาประกอบด้วยตัวแปรตัดสินใจจำนวน 1,792 ตัวแปร และมีเงื่อนไขจำนวน 1324 เงื่อนไข สามารถแสดงการหาคำตอบด้วยวิธีการ Branch and Bound แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7: แสดงการคำนวณหาคำตอบโดยหลักการ Branch and Bound สำหรับปัญหาที่มีคำตอบที่ดีที่สุดมากกว่าหนึ่งคำตอบ

การคำนวณหาคำตอบโดยหลักการ Branch and Bound แสดงดังรูปที่ 3.7 ที่ Level 0 เมื่อคำนวณหาคำตอบด้วยวิธี LP Relaxation มีค่า Objective Function Value เท่ากับ 2036 แต่พบว่าตัวแปรตัดสินใจทุกตัวมีค่าไม่เท่ากับหนึ่งหรือศูนย์ จึงมีการพิจารณาแตกปัญหาย่อยลงไปที่ Level 1 และพบว่าที่ Node ( $x_{Tu_{4,6}} = 1$ ) ให้ค่า Optimal Objective Function Value ( $Z^*$ ) เท่ากับ 2048 และตัวแปรตัดสินใจทุกตัวมีค่าเท่ากับศูนย์และหนึ่งจึงทำการ fathomed Node( $x_{Tu_{4,6}} = 1$ ) แต่พบว่า Node ( $x_{Tu_{4,6}} = 0$ ) ให้ค่า Objective Function Value น้อยกว่า 2048 จึงต้องพิจารณาแตกปัญหาย่อยต่อไปที่ Level 2 และทำการ fathomed Node ( $x_{Tu_{4,8}} = 1$ ) เนื่องจากค่า Objective Function Value มีค่าสูงกว่า  $Z^*$  และที่ Node ( $x_{Tu_{4,8}} = 0$ ) ให้ค่า Optimal Objective Function Value เท่ากับ 2048 ซึ่งเท่ากับ  $Z^*$  จึงทำการ fathomed Node( $x_{Tu_{4,8}} = 0$ ) หมายความว่าเมื่อแตกปัญหาย่อยต่อไปคำตอบที่ได้ไม่ดีกว่า 2048 ดังนั้น 2048 จึงเป็นคำตอบที่ดีที่สุด แสดงว่าปัญหาการกำหนดห้องเรียนในตัวอย่างที่ 3.4 นี้มีคำตอบที่ดีที่สุดมากกว่าหนึ่งคำตอบ (Alternative Optimal Solution)

### ทดสอบรูปแบบปัญหาการกำหนดห้องเรียน

ทดสอบรูปแบบปัญหารวมทั้งสิ้น 228 ครั้ง โดยการแบ่งขนาดของปัญหาออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้คือ

1. กลุ่มเล็ก พิจารณาห้องเรียนไม่เกิน 15 ห้องเรียน และวิชาเรียนทั้ง 5 วัน ไม่เกิน 50 วิชา
2. กลุ่มกลาง พิจารณาห้องเรียนระหว่าง 15 ห้อง ถึง 35 ห้อง และวิชาเรียนทั้ง 5 วัน ระหว่าง 50 วิชา ถึง 100 วิชา
3. กลุ่มใหญ่ พิจารณาห้องเรียนระหว่าง 35 ห้อง ถึง 50 ห้อง และวิชาเรียนทั้ง 5 วัน ระหว่าง 100 วิชา ถึง 160 วิชา

การทดสอบรูปแบบปัญหขนาดต่างๆโดยใช้โปรแกรม Visual Basic แสดงได้ดังภาคผนวกที่ ง โดยเริ่มต้นสร้างปัญหขนาดใหญ่มี่จำนวนวิชาทั้งสิ้น 160 วิชา และมีห้องเรียนรวมทั้งหมด 50 ห้อง และทำการสุ่มเปลี่ยนปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการคำนวณหาคำตอบซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้



- ก. สุ่มจำนวนห้องเรียน จำแนกเป็น 3 กลุ่ม ดังกล่าวข้างต้น
- ข. สุ่มจำนวนวิชาเรียน จำแนกเป็น 3 กลุ่ม ดังกล่าวข้างต้น
- ค. สุ่มขนาดห้องเรียน มีขนาดอยู่ระหว่าง 20 – 130 ห้อง
- ง. สุ่มขนาดจำนวนนิสิต มีขนาดอยู่ระหว่าง 10 – 90 คน
- จ. สุ่มขนาดของคาบเวลาเรียน 2 คาบ, 3 คาบ, 4 คาบ, 6 คาบ และ 8 คาบ

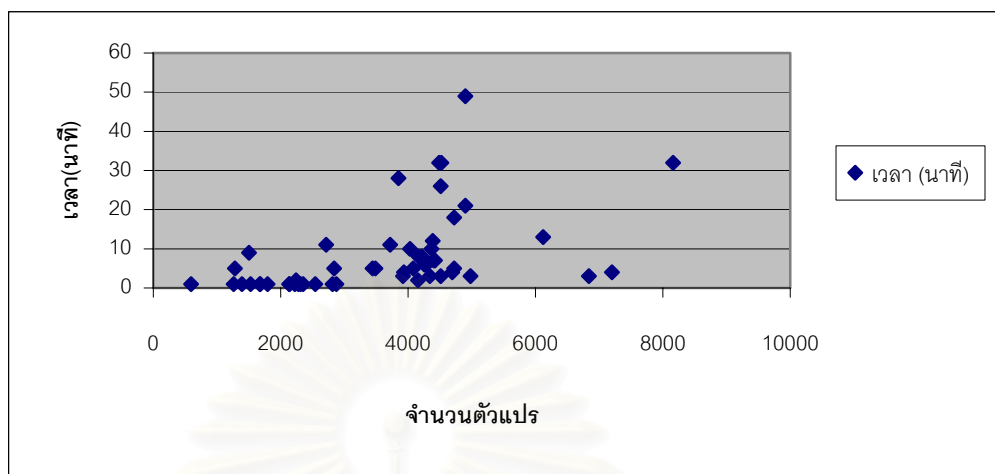
พร้อมทั้งโปรแกรมจะคำนวณสร้างเงื่อนไขให้กับโปรแกรม Solver หลังจากนั้นจะทำการคำนวณหาคำตอบ และพิจารณาคำตอบที่ได้จากการคำนวณแต่ละขนาดปัญหา ซึ่งแสดงผลหลังการคำนวณได้ดังตารางที่ 3.4 โดยมีผลการคำนวณทั้งหมดในตารางภาคผนวกที่ จ. 1, จ.2 และ จ.3

ตารางที่ 3.4: แสดงผลการทดสอบรูปแบบปัญหาการกำหนดห้องเรียนขนาดต่างๆ

| ขนาดปัญหา | การทดลอง (ครั้ง) | Optimal Solution (ครั้ง) | Infeasible Solution (ครั้ง) |
|-----------|------------------|--------------------------|-----------------------------|
| เล็ก      | 149              | 68                       | 81                          |
| กลาง      | 61               | 33                       | 18                          |
| ใหญ่      | 18               | 9                        | 9                           |

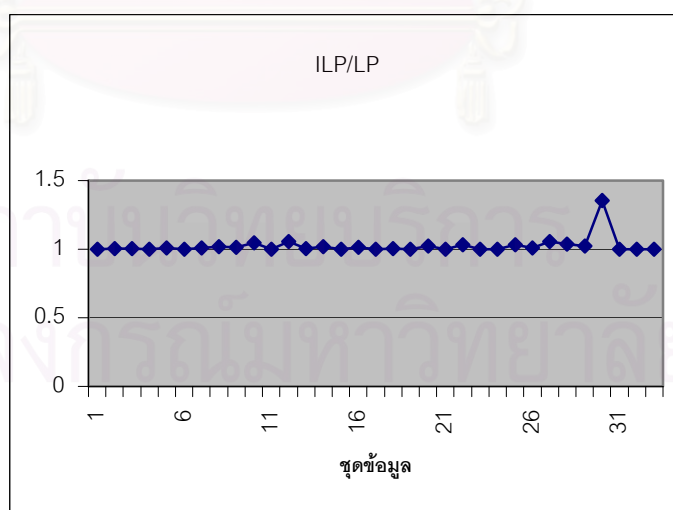
จากตารางที่ 3.4 ผลการทดสอบรูปแบบของปัญหาสามารถสรุปได้ว่ารูปแบบของปัญหาที่พัฒนาสำหรับงานวิจัยนี้มีความถูกต้องในการคำนวณหาคำตอบที่เป็นไปตามเงื่อนไขสำหรับปัญหาขนาดต่างๆ และปัญหาที่ใหญ่ที่สุดที่สามารถหาคำตอบได้มีจำนวนตัวแปรตัดสินใจ 7,400 ตัวแปรและมีเงื่อนไข 2,398 เงื่อนไข

จากการทดสอบรูปแบบของปัญหา พบเวลาที่ใช้ในการคำนวณไม่ได้ขึ้นอยู่กับจำนวนตัวแปรตัดสินใจ แสดงได้ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 : แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการคำนวณกับจำนวนตัวแปรตัดสินใจ

จากรูปที่ 3.8 กราฟความสัมพันธ์ไม่แสดงรูปแบบที่ชัดเจนมีลักษณะแบบสุ่ม ดังนั้นจึงทำการทดสอบรูปแบบปัญหาเพิ่มจำนวน 33 ปัญหา และหาคำตอบที่ดีที่สุด 2 กรณีคือ วิธี Branch and Bound และวิธี LP Relaxation แสดงข้อมูลดังตารางภาคผนวกที่ ๑.4 และแสดงอัตราส่วนคำตอบระหว่างปัญหา Integer Linear Programming กับปัญหา Linear Programming แสดงได้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 : แสดงอัตราส่วนคำตอบระหว่างปัญหา Integer Linear Programming กับปัญหา Linear Programming ของรูปแบบปัญหาสำหรับงานวิจัยนี้

จากผลการทดสอบเพื่อศึกษาอัตราส่วนคำตอบระหว่างปัญหา Integer Linear Programming กับปัญหา Linear Programming ของรูปแบบปัญหาของงานวิจัยนี้ ซึ่งปัญหามีจำนวนตัวแปรตัดสินใจอยู่ระหว่าง 1,625 – 4,692 ตัวแปร และมีจำนวนเงื่อนไขอยู่ระหว่าง 1,190 – 1,872 เงื่อนไข จากรูปที่ 3.9 โดยพบว่ามีความถี่ของปัญหาที่มีคำตอบระหว่างปัญหา Integer Programming กับปัญหา Linear Programming ที่มีค่าเท่ากัน 33% แสดงว่ารูปแบบปัญหาของงานวิจัยนี้ บางปัญหาสามารถคำนวณหาคำตอบด้วยวิธี LP Relaxation แล้วได้คำตอบที่ดีที่สุด และบางปัญหาสามารถคำนวณหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ด้วยวิธี Branch and Bound

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาต่อโดยนำปัญหาที่คำนวณหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธี LP Relaxation จำนวน 11 ปัญหา จากการทดลองในตารางภาคผนวกที่ จ.4 ซึ่งเป็นปัญหาที่มีจำนวนตัวแปรตัดสินใจอยู่ระหว่าง 1,625 – 3,636 ตัวแปร และมีเงื่อนไขอยู่ระหว่าง 1,190 – 1,721 เงื่อนไข มาทำการเปลี่ยนขนาดจำนวนนิสิต จำนวนที่นั่ง พบว่าทุกปัญหาไม่สามารถหาคำตอบได้ด้วยวิธี LP Relaxation แสดงข้อมูลและผลการทดลองในตารางภาคผนวกที่ จ. 5 ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยหลักการของกราฟ 2 มิติ คือ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ของสมการวัตถุประสงค์มีการเปลี่ยนแปลงทำให้ความชันเปลี่ยนไป ดังนั้นการเลื่อนสมการวัตถุประสงค์เข้าหา Feasible Region จึงมีโอกาสที่พบ Extreme Point ที่ไม่เป็นจำนวนเต็มจึงทำให้ปัญหาไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ด้วยวิธี LP Relaxation และต้องทำการพิจารณาแยกปัญหาออกเป็นปัญหาย่อยๆโดยใช้หลักการ Branch and Bound ในการหาคำตอบที่ดีที่สุด

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

#### ผลการวิเคราะห์

จากการหาคำตอบในการกำหนดห้องเรียนให้มีจำนวนที่นั่งว่างน้อยที่สุด โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Solver Large Scale Version 3.5 ซึ่งสามารถคำนวณปัญหาที่มีตัวแปรตัดสินใจได้ไม่เกิน 16,000 ตัว และเงื่อนไขไม่เกิน 16,000 เงื่อนไข และใช้โปรแกรม Visual Basic คำนวณบน Spreadsheet ใน Excel โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ Pentium III, 800 MHz , 128 MB of RAM ได้ทำการคำนวณหาคำตอบของปัญหาการกำหนดห้องเรียน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภาคต้น ปีการศึกษา 2544 และนำรูปแบบของปัญหาในงานวิจัยนี้ไปทดสอบรูปแบบปัญหากับปัญหาการจัด ตารางเรียนและกำหนดห้องเรียนให้มีต้นทุนต่ำสุดของสถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร โดยปัญหาดังกล่าวมีการหาคำตอบการจัดตารางเรียนและการกำหนดห้องเรียนโดยใช้โปรแกรม LINGO ซึ่งงานวิจัยนี้หาคำตอบที่ได้มาเป็นคำตอบเริ่มต้นในการกำหนดห้องเรียนโดยวิธีการและเงื่อนไขที่สร้างใหม่สำหรับงานวิจัยนี้ โดยมีรายละเอียดของงานวิจัยดังนี้

สำหรับปัญหาการกำหนดห้องเรียนสำหรับ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ทำการหาคำตอบแบ่งเป็น 2 กรณี คือกรณีที่วิชาเรียนเดียวกันเรียน 2 วันในหนึ่งสัปดาห์เรียนต่างห้องกันได้ โดยพิจารณาเป็น 2 วิชาอิสระกัน และกรณีที่ต้องเรียนห้องเดียวกัน ทั้งสองวัน โดยพิจารณาเป็นวิชาเดียวกันใน 2 วัน แสดงผลการคำนวณดังตารางที่ 4.1 และแสดงข้อมูลรายละเอียดของรายวิชาและข้อมูลห้องเรียนทั้งหมดในภาคผนวก ฉ.1 และ ฉ.2

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1: แสดงคำตอบของวิธีการกำหนดห้องเรียน กรณีที่วิชาเรียนเดียวกันเรียน 2 วันในหนึ่งสัปดาห์เรียนต่างห้องกันได้ และกรณีที่ต้องเรียนห้องเดียวกันทั้งสองวัน

| วิธีการกำหนด<br>ห้องเรียน                                | จำนวนวิชา/<br>จำนวนห้อง | จำนวนตัว<br>แปรตัดสินใจ | จำนวน<br>เงื่อนไข | เวลาที่ใช้ใน<br>การคำนวณ | จำนวนที่<br>นั่งว่าง |
|--|-------------------------|-------------------------|-------------------|--------------------------|----------------------|
| วิชาเดียวกัน<br>เรียน 2 วันใน<br>ห้องเรียน<br>ต่างกันได้ | 189/25                  | 4275                    | 1246              | 1 นาที                   | 8220                 |
| วิชาเดียวกัน<br>เรียน 2 วันใน<br>ห้องเดียวกัน            | 101/25                  | 2525                    | 1176              | 30 นาที                  | 8763                 |

จากตารางที่ 4.1 กรณีที่วิชาเรียนเดียวกันเรียน 2 วันในหนึ่งสัปดาห์เรียนต่างห้องกันได้จะพิจารณาวิชาที่เรียนต่างวันกันเป็นวิชาเรียนที่ต่างกันจึงทำให้มีจำนวนวิชาเรียนมากกว่ากรณีที่วิชาเรียนเดียวกันเรียน 2 วันในห้องเรียนเดียวกัน ซึ่งพิจารณาเป็นวิชาเรียนเดียวกันทั้งสองวัน ส่งผลให้กรณีที่วิชาเรียนเดียวกันเรียน 2 วันในห้องเรียนเดียวกันมีจำนวนตัวแปรตัดสินใจลดลงเหลือ 2525 ตัวแปรและเงื่อนไขลดลงเหลือ 1176 เงื่อนไข แต่เนื่องจากเงื่อนไขมีการเชื่อมโยงข้ามวันกันของวิชาที่เรียน 2 ครั้งในหนึ่งสัปดาห์จึงทำให้ปัญหา มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น เป็นผลทำให้ใช้เวลาในการคำนวณหาคำตอบมากขึ้นแต่ให้คำตอบที่แย่ลง คือมีจำนวนที่นั่งว่าง 8763 สูงกว่ากรณีวิชาเรียนเดียวกันเรียน 2 วันในหนึ่งสัปดาห์เรียนต่างห้องกันได้ ซึ่งมีจำนวนที่นั่งว่าง 8220 คิดเป็น 6.6 % เนื่องจากวิชาเรียนมีความอิสระในการเลือกห้องเรียนลดลง

### ผลการเปรียบเทียบ

จากคำตอบที่ได้ทั้งกรณีวิชาเรียนเดียวกันเรียน 2 วันในหนึ่งสัปดาห์เรียนต่างห้องกันได้ และกรณีที่ต้องเรียนห้องเดียวกันทั้งสองวัน แสดงการเปรียบเทียบได้กับคำตอบในการกำหนดห้องเรียนปัจจุบันดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 : แสดงผลต่างของคำตอบการกำหนดห้องเรียนด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน

| วิธีการกำหนดห้องเรียน                            | คำตอบที่ได้(จำนวนที่ว่าง) | ลดลงจากปัจจุบัน |
|--|---------------------------|-----------------|
| วิธีปัจจุบัน                                     | 17,274                    | -               |
| วิชาเดียวกันเรียน 2 วันใน<br>ห้องเรียนต่างกันได้ | 8220                      | 52.4%           |
| วิชาเดียวกันเรียน 2 วันในห้อง<br>เดียวกัน        | 8763                      | 49.3%           |

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลต่างของจำนวนที่ว่างที่ลดลงจากวิธีกำหนดห้องในปัจจุบันกับวิธีการกำหนดห้องเรียนสำหรับงานวิจัยนี้ โดยพบว่าการกรณีที่วิชาเรียนเดียวกันเรียน 2 วันในหนึ่งสัปดาห์ เรียนห้องเรียนที่ต่างกัน จะมีจำนวนที่ว่างลดลงจากปัจจุบันมากกว่ากรณีที่วิชาเรียนเดียวกันเรียน 2 วันในหนึ่งสัปดาห์ เรียนห้องเรียนเดียวกัน 3.1 % จะเห็นได้ว่าการให้วิชาเรียนเดียวกันเรียน 2 ครั้งในหนึ่งสัปดาห์ เรียนห้องเดียวกัน วิชาเรียนจะมีความอิสระในการเลือกห้องลดลง

พิสูจน์วิธีการคำนวณหาคำตอบใหม่โดยนำรูปแบบของปัญหาใหม่กรณีที่วิชาเดียวกันเรียน 2 วันเรียนในห้องเรียนแตกต่างกันได้ และวิธีการคำนวณหาคำตอบใหม่ ไปทดสอบกับปัญหาที่มีการจัดตารางเรียนและกำหนดห้องเรียนของสถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร ซึ่งในงานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะการกำหนดห้องเรียน จึงได้นำตารางเรียนที่จัดแล้วได้คำตอบที่ดีที่สุดของทางสถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มาพิจารณาหาคำตอบใหม่ด้วยวิธีการคำนวณใหม่ ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนแปลงห้องเรียนเท่านั้น โดยพิจารณาจำนวนที่ว่างต่ำสุด และต้นทุนรวมต่ำสุด และมีการคำนวณหาคำตอบโดยคำนวณทั้งสัปดาห์ ซึ่งคำตอบที่ได้ทั้งแบบเก่าและแบบใหม่ให้คำตอบที่เท่ากัน แสดงผลการคำนวณดังตารางที่ 4.3 และแสดงข้อมูลรายวิชาและห้องเรียนของทางสถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร ในภาคผนวก ข.1 และ ข.2

ตารางที่ 4.3 : แสดงคำตอบจากการกำหนดห้องเรียน โดยพิจารณาจำนวนที่นั่งว่างต่ำสุดและ ต้นทุนรวมต่ำสุด ของสถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร(SIIT) และงานวิจัยนี้ในรูปแบบปัญหา Classroom Assignment Problem(CAP)กรณีที่วิชาเดียวกันเรียน 2 วันเรียนในห้องเรียนแตกต่างกันได้

| วัน         | จำนวนที่นั่งว่าง<br>(SIIT) | จำนวนที่นั่งว่าง<br>(CAP) | ต้นทุนรวม<br>(SIIT) | ต้นทุนรวม<br>(CAP) |
|-------------|----------------------------|---------------------------|---------------------|--------------------|
| วันจันทร์   | 13                         | 13                        | 30                  | 30                 |
| วันอังคาร   | 148                        | 148                       | 230                 | 230                |
| วันพุธ      | 130                        | 130                       | 205                 | 205                |
| วันพฤหัสบดี | 170                        | 170                       | 230                 | 230                |
| วันศุกร์    | 51                         | 51                        | 125                 | 125                |
| รวม         | 512                        | 512                       | 820                 | 820                |

จากการทดสอบรูปแบบปัญหาการกำหนดห้องเรียนที่พัฒนากับปัญหาการจัดตารางเรียนและการกำหนดห้องเรียนของสถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร โดยงานวิจัยนี้จะนำตารางเรียนที่จัดเสร็จแล้วของสถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธรมาคำนวณหาคำตอบเฉพาะการกำหนดห้องเรียน ซึ่งคำตอบที่ได้จากการคำนวณสามารถใช้งานได้จริงตามเงื่อนไขที่กำหนด จากตารางที่ 4.3 การคำนวณหาคำตอบทั้งสองวิธีให้คำตอบกรณีพิจารณาจำนวนที่นั่งว่างที่เท่ากัน และกรณีพิจารณาต้นทุนรวมเท่ากัน เช่นกัน เนื่องจากต้นทุนที่พิจารณามีความสัมพันธ์กับจำนวนที่นั่งว่าง

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการวิจัย

สามารถพัฒนาวิธีการหาคำตอบของปัญหาการกำหนดห้องเรียนให้ถูกต้องและเหมาะสม เพื่อให้ใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้คุ้มค่า ในเบื้องต้นสำหรับงานวิจัยนี้ใช้จำนวนที่นั่งว่างเหลือน้อยที่สุด สามารถหาคำตอบได้ดีกว่าในปัจจุบัน 52.4% สำหรับกรณีทีวิชาที่เรียน 2 ครั้งต่อสัปดาห์เรียนต่างห้องกันได้ โดยการพัฒนารูปแบบปัญหาเป็น Integer Linear Programming และใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูป Solver Large Scale Version 3.5 และพบว่าปัญหาบางรูปแบบสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้มากกว่าหนึ่งคำตอบ และปัญหาบางรูปแบบสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ด้วยวิธี LP Relaxation

#### อภิปรายผลการวิจัย

สำหรับงานวิจัยนี้มีข้อเด่นคือ

1. รูปแบบของที่พัฒนาสามารถลดรูปปัญหาที่มีความซับซ้อนให้เป็นรูปแบบปัญหาอย่างง่าย (Simple Model) คือปัญหาไม่ซับซ้อนและมีจำนวนเงื่อนไขน้อย
2. เป็นรูปแบบปัญหาที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ที่แตกต่างจากรูปแบบปัญหาของ Assignment Problem ซึ่งเป็นการกำหนดให้หนึ่งต่อหนึ่ง แต่สำหรับงานวิจัยนี้หนึ่งวิชาต้องมีหนึ่งห้องเรียน แต่ละห้องเรียนมีได้มากกว่าหนึ่งวิชาเรียนที่มีเวลาเรียนที่แตกต่างกัน โดยเรียกรูปแบบปัญหาใหม่ที่พัฒนาว่า Classroom Assignment Problem
3. รูปแบบปัญหาที่พัฒนาสำหรับงานวิจัยนี้สามารถรองรับเงื่อนไขที่วิชาเรียนมีจำนวนชั่วโมงเรียนแตกต่างกันและทำการแบ่งคาบเรียนเป็นหน่วยย่อยเพื่อรองรับทุกวิชาและสามารถคำนวณหาคำตอบได้พร้อมๆกันทุกๆคาบวิชา ซึ่งต่างจากรูปแบบปัญหาการจัดตารางเรียนและการกำหนดห้องเรียนของสถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร ที่รองรับเฉพาะกรณีที่มีจำนวนชั่วโมงเรียนของทุกวิชาเท่ากับ 3 ชั่วโมง และแบ่งคาบเวลาเรียนเป็น 1.5 ชั่วโมง โดยแต่



ละวิชาอาจจะเรียน 2 คาบต่อเนื่องกันในหนึ่งวันหรือเรียนวันละหนึ่งคาบ โดยเรียน 2 วัน ในหนึ่งสัปดาห์เท่านั้น

4. รูปแบบปัญหาของสถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธรวิชาเรียนเดียวกันเรียน 2 ครั้งในหนึ่งสัปดาห์เรียนต่างห้องกันได้ ส่วนรูปแบบปัญหาการกำหนดห้องเรียนสำหรับงานวิจัยนี้รองรับทั้งกรณีทีวิชาเรียนเดียวกันเรียน 2 ครั้งในหนึ่งสัปดาห์ต้องเรียนห้องเรียนเดียวกันและเรียนห้องเรียนต่างกันได้
5. รูปแบบปัญหาที่พัฒนาสำหรับงานวิจัยนี้สอดคล้องกับปัญหาจริงของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสามารถคำนวณหาคำตอบที่ใช้งานได้จริง

#### ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้

1. รูปแบบปัญหาสามารถใช้ได้เฉพาะกับการกำหนดห้องเรียนให้กับวิชาเรียนที่มีการจัดตารางเรียนเสร็จเรียบร้อยแล้วเท่านั้น
2. เนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการคำนวณหาคำตอบซึ่งมีข้อจำกัดของโปรแกรมที่ไม่สามารถหา Alternative Optimal Solution ให้ได้ คำตอบที่ได้สำหรับงานวิจัยนี้จึงมีเพียงคำตอบที่ดีที่สุดเพียงคำตอบเดียว
3. ข้อมูลที่จะนำมาพิจารณาสัมประสิทธิ์ของสมการวัตถุประสงค์เมื่อพิจารณาเป็นค่าใช้จ่าย ในทางปฏิบัติการหาข้อมูลที่ต้องการทำได้ยาก

#### ข้อเสนอแนะ

1. การกำหนดห้องเรียนควรศึกษาหาต้นทุนการใช้ห้องเรียนต่อหน่วยที่นั่งเรียน เพื่อแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยนี้เพิ่มมากยิ่งขึ้น
2. การขยายตัวอย่างรวดเร็วของคณะฯ ทำให้มีการสร้างห้องเรียนขึ้นเป็นจำนวนมากเพื่อแก้ไขห้องเรียนที่ไม่เพียงพอในบางช่วงเวลา ดังนั้นควรมีการใช้ประโยชน์จากห้องเรียนที่มีอยู่ให้มากที่สุดก่อน โดยนอกจากจะมีการกำหนดห้องเรียนให้มีต้นทุนที่ต่ำสุดแล้ว ควรที่จะมีการจัดตารางเรียนให้มี % Utilization สูงด้วย
3. เนื่องจากรูปแบบปัญหาการกำหนดห้องเรียนบางปัญหาใช้เวลานานในการคำนวณหาคำตอบด้วยวิธี Branch and Bound ดังนั้นงานวิจัยต่อไปจึงควรศึกษาต่อเกี่ยวกับวิธีการในการคำนวณหาคำตอบที่ดีที่สุดเพื่อใช้เวลาในการคำนวณที่รวดเร็วขึ้น

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

วิจิตร ตัณฑสุทธิ, วันชัย ริจิรวนิช และศิริจันทร์ ทองประเสริฐ. การวิจัยดำเนินงาน. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ :บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด ,2543.

### ภาษาอังกฤษ

Aubin , J. and J.A. Ferland. A large scale timetabling problem. Computer & Operation Research 16(1989) : 67-77.

Birbas,T.,Daskalaki,S. and E. Housos. Timetabling for Greek high school. Journal of the Operation Research Society 48(1997):1191-1200.

Campbell,G.M. and M. Diaby. Develop and evaluation of an assignment heuristic for allocating cross-trained workers. European Journal of Operation Research 138(2002):9 - 20.

Diaz,J.A. and E. Fernandez. A Tabu search heuristic for the generalized assignment problem. European Journal of Operation Research 132 (2001) :22 - 38.

Dimopolou,M. and P. Miliotis . Implementation of a university course and examination timetabling System. European Journal of Operational Research 130 (2001): 202-213.

Ferland,J.A.and S. Roy . Timetabling Problem for University as Assignment of Activities to Resources. Computer & Operation Research 12(1985) : 207-218.

Hillier,F.S. and G.J. Lieberman. Introduction to Operations Research . 7th Edition . Singapore : McGraw-Hill Company ,2001.

Mulvey,J.M. A Classroom/Time Assignment Model .European Journal of Operation Research 9(1982):64-70.

Murty,K.G. Linear and Combinatorial Programming .Original Edition. Florida : Robert E. Krieger Publishing Company ,1976.

Nakasuwan,J. ,Srithip,P. and S.Komolavanij. Class Scheduling Optimization. Thammasat Int.J.Sc.Tech 4(1998): 88-98.

Taha,H.A. Operations Research . 4th Edition.New York :Macmillan Publishing Company ,1987.

Yamada, T. and Y. Nasu. Heuristic and exact algorithms for the simultaneous assignment problem. European Journal of Operation Research 123 (2000): 531-542.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก. ข้อมูลเบื้องต้นประกอบการศึกษาปัญหาการกำหนดห้องเรียนคณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 1. ข้อมูลเบื้องต้นทางด้านเวลา

- เวลาเรียนหนึ่งสัปดาห์ 6 วัน คือ วันจันทร์ ถึงวันเสาร์
- เวลาเรียนวันจันทร์ ถึง วันศุกร์ คือ 8:00 น.– 20:30 น.
- เวลาเรียนวันเสาร์ คือ 9:00 น.– 16:00 น.
- เวลาพักกลางวัน คือ 12:00 น.– 13:00 น.

### 2. ข้อมูลเบื้องต้นทางด้านห้องเรียน

- จำนวนห้องเรียนมี 25 ห้อง ประกอบด้วยห้องเรียนบรรยาย 20 ห้อง และห้องเขียนแบบ 5 ห้อง
- มีจำนวนห้องเรียนขนาดต่างๆ ดังตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 : จำนวนห้องเรียนขนาดต่างๆของคณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

| ขนาดความจุ (คน) | จำนวน |
|-----------------|-------|
| 20              | 2     |
| 40              | 1     |
| 45              | 1     |
| 60              | 3     |
| 64              | 1     |
| 65              | 2     |
| 70              | 4     |
| 80              | 1     |
| 88              | 1     |
| 90              | 2     |
| 110             | 2     |
| 120             | 1     |
| 129             | 1     |
| 130             | 3     |

### 3. ข้อมูลเบื้องต้นทางด้านวิชา

- จำนวนวิชารวม 100 วิชา
- จำนวนวิชาเรียน 97 วิชา จำนวนวิชาเขียนแบบ 3 วิชา
- วิชาเรียนที่ใช้เวลาเรียนและจำนวนครั้งที่เรียนต่อสัปดาห์ที่ต่างกันแสดงได้ดังนี้

|   |        |
|---|--------|
| วิชาที่เรียน 1 ชั่วโมง(2 คาบ)ต่อครั้งต่อสัปดาห์ มี      | 0.6 %  |
| วิชาที่เรียน 2 ชั่วโมง(4 คาบ)ต่อครั้งต่อสัปดาห์ มี      | 14.6 % |
| วิชาที่เรียน 3 ชั่วโมง(6 คาบ)ต่อครั้งต่อสัปดาห์ มี      | 33.7 % |
| วิชาที่เรียน 3 ชั่วโมง(6 คาบ)ต่อสัปดาห์ เรียน 2 ครั้งมี | 50.5 % |
| วิชาที่เรียน 4 ชั่วโมง(8 คาบ)ต่อครั้งต่อสัปดาห์ มี      | 0.6 %  |

- วิชาเรียนแยกเฉพาะภาควิชา 82 วิชา และวิชาเรียนรวมบางภาควิชา 18 วิชา

- มีจำนวนวิชาแบ่งตามภาควิชาดังตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2: จำนวนวิชาแบ่งตามภาควิชาของคณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

| ภาควิชา        | จำนวนวิชา |
|----------------|-----------|
| ภาคเคมี        | 1         |
| ภาคโยธา        | 26        |
| ภาคคอมพิวเตอร์ | 2         |
| ภาคไฟฟ้า       | 24        |
| ภาคอุตสาหกรรม  | 12        |
| ภาคเครื่องกล   | 17        |
| ภาคทรัพยากรน้ำ | 2         |
| ภาคสิ่งแวดล้อม | 1         |
| ภาควัสดุ       | 1         |
| ภาคการบิน      | 10        |
| ภาคความปลอดภัย | 2         |
| วิชานอกคณะ     | 2         |

- มีจำนวนวิชาแบ่งตามชั้นปีดังตารางที่ ก.3

ตารางที่ ก.3 : จำนวนวิชาแบ่งตามชั้นปีของคณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

| ชั้นปี   | จำนวนวิชา |
|----------|-----------|
| 1        | 3         |
| 2        | 20        |
| 3        | 30        |
| 4        | 37        |
| ปริญญาโท | 10        |

4.ด้านนักเรียนมีจำนวนนิสิตรวม 229 หมู่ แบ่งเป็นภาคปกติ 155 หมู่ และภาคพิเศษ 74 หมู่

5.ด้านอาจารย์


- มีอาจารย์ทั้งหมด 125 คน
- มีจำนวนอาจารย์แบ่งตามภาควิชาดังตารางที่ ก.4

ตารางที่ ก.4: จำนวนอาจารย์แบ่งตามภาควิชาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

| ภาควิชา        | จำนวนอาจารย์ |
|----------------|--------------|
| ภาคเคมี        | 1            |
| ภาคโยธา        | 27           |
| ภาคคอมพิวเตอร์ | 10           |
| ภาคไฟฟ้า       | 27           |
| ภาคอุตสาหกรรม  | 17           |
| ภาคเครื่องกล   | 22           |
| ภาคทรัพยากรน้ำ | 3            |
| ภาคสิ่งแวดล้อม | 1            |
| ภาควัสดุ       | 3            |
| ภาคการบิน      | 10           |
| ภาคความปลอดภัย | 2            |
| วิชานอกคณะ     | 2            |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ภาคผนวก ข. ผลการคำนวณ Linear Programming ด้วยวิธี Simplex ของรูปแบบปัญหา  
การกำหนดห้องเรียน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

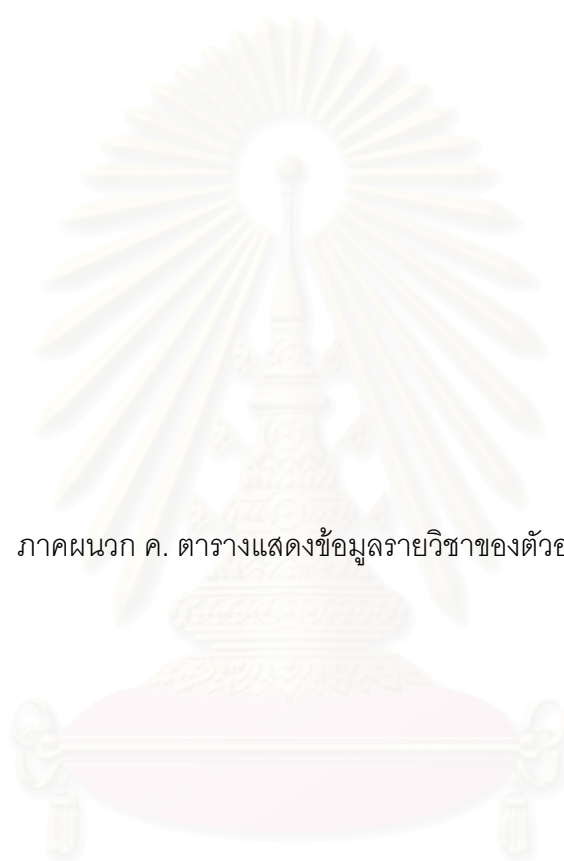
ตารางที่ ข.1: ตารางแสดงผลการคำนวณ Linear Programming ด้วยวิธี Simplex สำหรับปัญหาที่มีลักษณะ infeasible กรณีที่มีห้องเรียนไม่เพียงพอในคาบใดๆ

| ROW | (BASIS) | Z1 | Z2 | Z3 | Z4 | Z5 | Z6 | Z7 | Z8 | Z9 | Z10 | Y6 | Y7 | Y8 | Y9 | Y10 | Y11 | Y12 | Y13 | Y14 | Y15 | Y16 | Y17 | Y18 | Y19 | Y20 | Y21 | Y22 | Y23      |          |
|-----|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|----------|
| 1   | Z       | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | -2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 1   | -1  | 0   | 0   | 0   | -1  | -2  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | 1.00E+08 |
| 2   | Slack   | 2  | 0  | 0  | -2 | 2  | -1 | 0  | 0  | 1  | -1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | -2  | 0   | 0   | 0   | 0   | -2  | -1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | 1.00E+08 |
| 3   | Y19     | 0  | 0  | -1 | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | -1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | -2  | -2  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0        | 1.00E+08 |
| 4   | Y11     | 0  | 0  | -1 | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | -1  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -1  | -1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | 1.00E+08 |
| 5   | Y15     | 0  | 0  | 1  | -1 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | 46       |
| 6   | Slack   | 6  | 0  | 0  | 1  | -1 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | 26       |
| 7   | Z8      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | -1 | 1  | 1  | -1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | 1.00E+08 |
| 8   | Y9      | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | -1 | 0  | 0  | 0  | 0   | 1  | 0  | 0  | 1  | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | 13       |
| 9   | Slack   | 9  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0  | 1  | 0  | 0  | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | 3        |
| 10  | Slack   | 10 | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0  | 1  | 0  | 0  | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | 9999     |
| 11  | Y14     | 0  | 0  | 1  | -1 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | 9999     |
| 12  | Y21     | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | -1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0        | 9999     |
| 13  | Y20     | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -1  | 0   | 1   | 0   | 0   | 1.00E+08 |          |
| 14  | Z2      | -1 | 1  | -1 | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | -1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | -2  | -2  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | 1.00E+08 |
| 15  | Y22     | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | -1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0        | 30       |
| 16  | Y23     | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | -1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1        | 9999     |

ตารางที่ ข.2: ตารางแสดงผลการคำนวณ Linear Programming ด้วยวิธี Simplex  
สำหรับปัญหาที่มี Alternative Optimal Solution

| ROW | (BASIC) | X11 | X12 | X13 | X21 | X22 | X23   | X31 | X32 | X33 |     |
|-----|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|
| 1   | Z       | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 10011 | 0   | 0   | 0   | -84 |
| 2   | Slack   | 8   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 3   | Slack   | 13  | -1  | -1  | 0   | 0   | 0     | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 4   | X21     | 0   | -1  | 0   | 1   | 0   | 1     | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 5   | Slack   | 5   | -1  | 0   | 0   | 0   | 0     | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 6   | Slack   | 6   | 0   | -1  | 0   | 0   | 0     | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 7   | Slack   | 7   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0     | 0   | 0   | 0   | 1   |
| 8   | X31     | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | -1    | 1   | 0   | 0   | 1   |
| 9   | X32     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0   | 1   | 0   | 0   |
| 10  | X33     | -1  | -1  | 0   | 0   | 0   | 1     | 0   | 0   | 1   | 0   |
| 11  | Slack   | 11  | 1   | 1   | 0   | 0   | 0     | 0   | 0   | 0   | 1   |
| 12  | X22     | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0     | 0   | 0   | 0   | 1   |
| 13  | X13     | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0     | 0   | 0   | 0   | 1   |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค. ตารางแสดงข้อมูลรายวิชาของตัวอย่างที่ 3.4

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.1: แสดงข้อมูลรายวิชาทั้งหมดของตัวอย่างที่ 3.4 แสดงลักษณะปัญหาการกำหนดห้องเรียนที่มี Alternative Optimal Solution และต้องการคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธี

**Branch and Bound**

| ลำดับวิชา | ประเภทวิชา | ชื่อวิชา | จำนวนนิสิต | เวลาเริ่มเรียน | เวลาสิ้นสุดการเรียน |
|-----------|------------|----------|------------|----------------|---------------------|
| 1         | L1         | M13      | 43         | 1              | 3                   |
| 2         | L1         | M25      | 34         | 3              | 5                   |
| 3         | L1         | M26      | 20         | 2              | 4                   |
| 4         | L1         | M33      | 39         | 1              | 3                   |
| 5         | L          | M44      | 47         | 0              | 5                   |
| 6         | D          | M47      | 65         | 1              | 6                   |
| 7         | D          | M49      | 22         | 3              | 8                   |
| 8         | L1         | Tu4      | 28         | 1              | 3                   |
| 9         | L1         | Tu16     | 42         | 2              | 4                   |
| 10        | L1         | Tu32     | 55         | 1              | 3                   |
| 11        | L1         | Tu35     | 47         | 2              | 4                   |
| 12        | L1         | Tu36     | 27         | 1              | 3                   |
| 13        | L          | Tu43     | 48         | 1              | 8                   |
| 14        | D          | Tu45     | 33         | 0              | 5                   |
| 15        | L1         | W1       | 47         | 6              | 8                   |
| 16        | L1         | W3       | 16         | 4              | 6                   |
| 17        | L1         | W5       | 46         | 3              | 5                   |
| 18        | D          | W13      | 17         | 0              | 5                   |
| 19        | L1         | W18      | 30         | 3              | 5                   |
| 20        | L1         | W20      | 51         | 2              | 4                   |
| 21        | L2         | M13      | 54         | 5              | 7                   |
| 22        | L2         | M25      | 81         | 5              | 7                   |

## ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

| ลำดับวิชา | ประเภทวิชา | ชื่อวิชา | จำนวนนิสิต | เวลาเริ่มเรียน | เวลาสิ้นสุดการเรียน |
|-----------|------------|----------|------------|----------------|---------------------|
| 23        | L2         | M26      | 60         | 4              | 6                   |
| 24        | L2         | Tu4      | 52         | 5              | 7                   |
| 25        | L2         | Tu16     | 67         | 6              | 8                   |
| 26        | L2         | Tu32     | 62         | 2              | 4                   |
| 27        | L2         | Tu35     | 46         | 3              | 5                   |
| 28        | L2         | Tu36     | 53         | 2              | 4                   |
| 29        | L          | Th2      | 55         | 3              | 6                   |
| 30        | L          | Th4      | 48         | 3              | 6                   |
| 31        | L          | Th6      | 28         | 4              | 7                   |
| 32        | D          | Th9      | 55         | 1              | 6                   |
| 33        | D          | Th10     | 44         | 2              | 7                   |
| 34        | L          | F1       | 29         | 5              | 8                   |
| 35        | L          | F4       | 49         | 2              | 7                   |
| 36        | L          | F6       | 35         | 6              | 7                   |
| 37        | L          | F7       | 18         | 0              | 1                   |
| 38        | L          | F9       | 52         | 0              | 3                   |
| 39        | L          | F10      | 38         | 5              | 6                   |
| 40        | L          | F11      | 39         | 3              | 4                   |
| 41        | L          | F13      | 40         | 5              | 8                   |
| 42        | L          | F14      | 60         | 2              | 7                   |
| 43        | L          | F15      | 28         | 1              | 4                   |
| 44        | L          | F16      | 45         | 1              | 6                   |
| 45        | L          | F17      | 54         | 2              | 5                   |
| 46        | L          | F18      | 65         | 1              | 6                   |

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

| ลำดับวิชา | ประเภทวิชา | ชื่อวิชา | จำนวนนิสิต | เวลาเริ่มเรียน | เวลาสิ้นสุดการเรียน |
|-----------|------------|----------|------------|----------------|---------------------|
| 47        | L          | F19      | 38         | 3              | 4                   |
| 48        | L          | F20      | 52         | 5              | 8                   |
| 49        | L          | F21      | 35         | 1              | 4                   |
| 50        | L          | F22      | 51         | 3              | 8                   |
| 51        | L          | F23      | 29         | 1              | 6                   |
| 52        | L          | F24      | 59         | 1              | 8                   |
| 53        | L          | F25      | 50         | 2              | 3                   |
| 54        | L          | F26      | 62         | 3              | 8                   |
| 55        | L          | F27      | 55         | 1              | 8                   |
| 56        | L          | F28      | 33         | 0              | 7                   |
| 57        | L          | F29      | 15         | 1              | 8                   |
| 58        | D          | F30      | 52         | 0              | 5                   |
| 59        | L2         | W1       | 18         | 1              | 3                   |
| 60        | L2         | W3       | 43         | 3              | 5                   |
| 61        | L2         | W5       | 21         | 2              | 4                   |
| 62        | L2         | M33      | 37         | 0              | 2                   |
| 63        | L2         | W18      | 56         | 1              | 3                   |
| 64        | L2         | W20      | 8          | 4              | 6                   |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.2: แสดงข้อมูลห้องเรียนทั้งหมดของตัวอย่างที่ 3.4 แสดงลักษณะปัญหาการกำหนด  
ห้องเรียนที่มี Alternative Optimal Solution และต้องหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธี  
Branch and Bound

| ชื่อห้อง | จำนวนที่นั่ง | ประเภทห้อง |
|----------|--------------|------------|
| 1        | 96           | LR         |
| 2        | 64           | DR         |
| 3        | 36           | LR         |
| 4        | 100          | LR         |
| 5        | 53           | DR         |
| 6        | 49           | LR         |
| 7        | 89           | DR         |
| 8        | 39           | LR         |
| 9        | 60           | DR         |
| 10       | 41           | LR         |
| 11       | 99           | DR         |
| 12       | 74           | DR         |
| 13       | 53           | DR         |
| 14       | 55           | LR         |
| 15       | 97           | LR         |
| 16       | 72           | LR         |
| 17       | 103          | LR         |
| 18       | 66           | LR         |
| 19       | 49           | LR         |
| 20       | 98           | LR         |
| 21       | 43           | LR         |
| 22       | 43           | LR         |
| 23       | 36           | LR         |
| 24       | 51           | LR         |




ตารางที่ ค.2 (ต่อ)

| ชื่อห้อง | จำนวนที่นั่ง | ประเภทห้อง |
|----------|--------------|------------|
| 25       | 20           | <i>DR</i>  |
| 26       | 86           | <i>LR</i>  |
| 27       | 95           | <i>LR</i>  |
| 28       | 45           | <i>LR</i>  |



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ง. แสดงโปรแกรม Visual Basic สำหรับการทดสอบรูปแบบปัญหาการกำหนด  
ห้องเรียน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```

' โปรแกรมหลัก
Sub main()
Call delColRow
Call samehour
Call RanClassSizeTime
Call RanRoomSize
End Sub

```

```

' สุ่มจำนวนห้องเรียนและจำนวนวิชา
Sub delColRow()
'For axy = 1 To Second(Now)
'   room = Int(Rnd(1) * 25) + 25 ' จำนวนห้อง 5-50 ห้อง
'Next axy
'MsgBox room
'subj = Int(Rnd(1) * 100) + 60 'จำนวนวิชา 160 ต่อสัปดาห์
'MsgBox subj
room = 17 ' ห้องที่ต้องการให้มีเหลือ
subj = 65 ' วิชาที่ต้องการให้มีเหลือ
remain = 50
whichrow1 = 11
whichrow2 = 62
whichrow3 = 114
' ลบ room
For xy = 1 To (50 - room)
    haha = Int(Rnd(1) * remain)
    remain = remain - 1
    Rows(whichrow1 + haha).Delete shift:=xlUp
'MsgBox Cells(whichrow1 + haha, 3).Value
    whichrow2 = whichrow2 - 1
    Rows(whichrow2 + haha).Delete shift:=xlUp
    whichrow3 = whichrow3 - 2

```

```

        Rows(whichrow3 + haha).Delete shift:=xlUp
Next xy
'ลบ subj
remain = 160
whichcol = 4
For xy = 1 To (160 - subj)
    haha = Int(Rnd(1) * remain)
    remain = remain - 1
    ca = whichcol + haha
    sname = Cells(4, ca).Value
    If Cells(3, ca).Value = "L1" Or Cells(3, ca).Value = "L2" Then
        Columns(ca).Delete shift:=xlToLeft
        dd = whichcol
        Do While Cells(4, dd).Value <> sname
            dd = dd + 1
            If dd > 256 Then Stop
        Loop
        Columns(dd).Delete shift:=xlToLeft
    Else
        Columns(ca).Delete shift:=xlToLeft
    End If
Next xy
End Sub

```

'สร้างสัมประสิทธิ์  $G_{ikl}$

```

Sub samehour()
startM = 4
aPi = 5
Do While Cells(8, aPi).Value = "m"
    aPi = aPi + 1
Loop

```

```

FinM = aPi - 1
startTu = aPi
aPi = startTu + 1
Do While Cells(8, aPi).Value = "Tu"
    aPi = aPi + 1
Loop
FinTu = aPi - 1
startW = aPi
aPi = startW + 1
Do While Cells(8, aPi).Value = "w"
    aPi = aPi + 1
Loop
FinW = aPi - 1
startTh = aPi
aPi = startTh + 1
Do While Cells(8, aPi).Value = "Th"
    aPi = aPi + 1
Loop
FinTh = aPi - 1
startF = aPi
aPi = startF + 1
Do While Cells(8, aPi).Value = "f"
    aPi = aPi + 1
Loop
FinF = aPi - 1
' matrix size Cij
pTop = 11
pBottom = 11 + Range("c9").Value - 1
pLeft = startM
pRight = FinF
For ic = pLeft To pRight

```

```

For ir = pTop To pBottom
    If Cells(ir, ic).Value <> 999999 Then GoTo aaa
Next ir

MsgBox " This problem is infeasible. We cannot assign subject " + Cells(4, ic).Value
+ " at column " + Str(ic)

End

aaa:
Next ic
firstrowXij = Range("c9").Value + 12
For pe1 = 0 To 8
    msg = "="
    For xy = startM To FinM ' Monday
        startH = Cells(6, xy).Value
        FinishaH = Cells(7, xy).Value
        If (pe1 = startH) Or (pe1 = FinishaH) Or (pe1 > startH And pe1 < FinishaH)
Then
            msg = msg + "+" + colname(xy) + Right(Str$(firstrowXij),
Len(Str(firstrowXij) - 1))
        End If
    Next xy
    Cells(170, 4 + pe1).Formula = msg
Next pe1
For pe2 = 0 To 8
    msg = "="
    For xy = startTu To FinTu ' Tuesday
        startH = Cells(6, xy).Value
        FinishaH = Cells(7, xy).Value
        If (pe2 = startH) Or (pe2 = FinishaH) Or (pe2 > startH And pe2 < FinishaH) Then
            If Cells(3, xy).Value = "L2" Then
                subjname = Cells(4, xy).Value
                For abc = startM To FinM

```

```

        If subjname = Cells(4, abc).Value Then
            thiscol = abc
            GoTo eee2 ' *****
        End If
    Next abc
Else
    thiscol = xy
End If
eee2:
    msg = msg + "+" + colname(thiscol) + Right(Str$(firstrowXij),
Len(Str(firstrowXij) - 1))
    End If
Next xy
Cells(170, 13 + pe2).Formula = msg
Next pe2
For pe3 = 0 To 8
    msg = "="
    For xy = startW To FinW ' Wed
        startH = Cells(6, xy).Value
        FinishaH = Cells(7, xy).Value
        If (pe3 = startH) Or (pe3 = FinishaH) Or (pe3 > startH And pe3 < FinishaH) Then
            If Cells(3, xy).Value = "L2" Then
                subjname = Cells(4, xy).Value
                For abc = startM To FinTu
                    If subjname = Cells(4, abc).Value Then
                        thiscol = abc
                        GoTo eee3 ' *****
                    End If
                Next abc
            Else
                thiscol = xy

```

```

End If
eee3: '
    msg = msg + "+" + colname(thiscol) + Right(Str$(firstrowXij),
Len(Str(firstrowXij) - 1))
End If
Next xy
Cells(170, 22 + pe3).Formula = msg
Next pe3
For pe4 = 0 To 8
    msg = "="
    For xy = startTh To FinTh ' Thu
        startH = Cells(6, xy).Value
        FinishaH = Cells(7, xy).Value
        If (pe4 = startH) Or (pe4 = FinishaH) Or (pe4 > startH And pe4 < FinishaH) Then
            If Cells(3, xy).Value = "L2" Then
                subjname = Cells(4, xy).Value
                For abc = startM To FinW
                    If subjname = Cells(4, abc).Value Then
                        thiscol = abc
                        GoTo eee4 ' *****
                    End If
                Next abc
            Else
                thiscol = xy
            End If
        End If
    Next xy
    eee4: '
        msg = msg + "+" + colname(thiscol) + Right(Str$(firstrowXij),
Len(Str(firstrowXij) - 1))
        End If
    Next xy
    Cells(170, 31 + pe4).Formula = msg

```



```

Next pe4
For pe5 = 0 To 8
    msg = "="
    For xy = startF To FinF ' Friday
        startH = Cells(6, xy).Value
        FinishaH = Cells(7, xy).Value
        If (pe5 = startH) Or (pe5 = FinishaH) Or (pe5 > startH And pe5 < FinishaH) Then
            If Cells(3, xy).Value = "L2" Then
                subjname = Cells(4, xy).Value
                For abc = startM To FinTh
                    If subjname = Cells(4, abc).Value Then
                        thiscol = abc
                        GoTo eee5 ' *****
                    End If
                Next abc
            Else
                thiscol = xy
            End If
        eee5: '
            msg = msg + "+" + colname(thiscol) + Right(Str$(firstrowXij),
            Len(Str(firstrowXij) - 1))
        End If
    Next xy
    Cells(170, 40 + pe5).Formula = msg
Next pe5
Range("D170:AV170").Select
Selection.Copy
yong = Right(Str(170 + Range("c9").Value - 1), Len(Str(170 + Range("c9").Value - 1)) -
1)
abcd = "D171:AV" + yong
Range(abcd).Select

```

ActiveSheet.Paste

' เปลี่ยน = ให้เป็นศูนย์

Cells.Replace What:="=", Replacement:="0", LookAt:=xlWhole, SearchOrder \_

:=xlByRows, MatchCase:=True

'เพิ่ม constraint ของ GjkXijk

ccd = "\$D\$170:\$AV\$" + yong

SolverAdd CellRef:=ccd, Relation:=1, FormulaText:="1"

Range("a1").Select

Application.CutCopyMode = False

End Sub

Function colname(colidx)

If colidx = 26 Then

colname = "Z"

Exit Function

End If

F2 = colidx Mod 26

F1 = Int(colidx / 26)

If F2 = 0 Then F1 = F1 - 1

F1S = Chr(F1 + 64)

If F1S = "@" Then F1S = ""

f2s = Chr(F2 + 64)

If f2s = "@" Then f2s = "Z"

colname = F1S + f2s

End Function

'สุ่มขนาดห้องเรียน

Sub RanRoomSize()

xy = 11 ' row แรกที่มีห้อง

Do While Cells(xy, 1).Value <> ""

Cells(xy, 1).Value = Int(Rnd(1) \* 90) + 20

xy = xy + 1

```

Loop
End Sub
Function s2468(uni)
If uni <= 0.25 Then s2468 = 2
If uni <= 0.5 And uni > 0.25 Then s2468 = 4
If uni <= 0.75 And uni > 0.5 Then s2468 = 6
If uni <= 1 And uni > 0.75 Then s2468 = 8
End Function

```

'สุ่มจำนวนนิสิตต่อวิชา

```

Sub RanClassSizeTime()
xy = 4 ' colแรกของวิชา
Do While Cells(5, xy).Value <> ""
    If Cells(3, xy).Value <> "L2" Then Cells(5, xy).Value = 40 + Int(Rnd(1) * 30) -
Int(Rnd(1) * 30)
    Select Case Cells(3, xy).Value
        Case "L"
            uni = Rnd(1)
            Length = s2468(uni)
            latestart = 9 - Length
            Start = Int(Rnd * (latestart + 1))
            Finisha = Start + Length - 1
        Case "D"
            Length = 6
            latestart = 9 - Length
            Start = Int(Rnd * (latestart + 1))
            Finisha = Start + Length - 1
        Case "L1"
            Length = 3
            latestart = 9 - Length
            Start = Int(Rnd * (latestart + 1))

```

Finisha = Start + Length - 1

Case "L2"

Length = 3

latestart = 9 - Length

Start = Int(Rnd \* (latestart + 1))

Finisha = Start + Length - 1

End Select

Cells(6, xy).Value = Start

Cells(7, xy).Value = Finisha

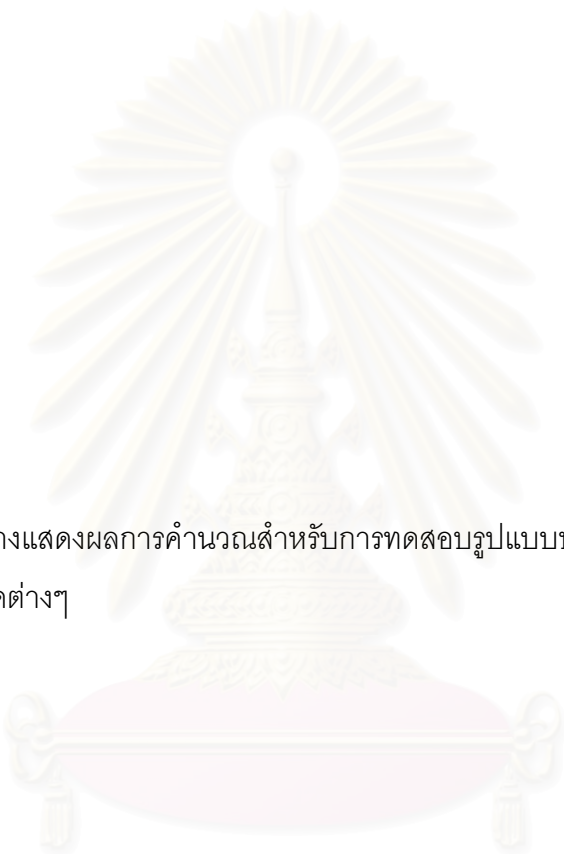
xy = xy + 1

Loop

End Sub



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก จ. ตารางแสดงผลการคำนวณสำหรับการทดสอบรูปแบบปัญหาการกำหนดห้องเรียน  
ขนาดต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑.1: ตารางแสดงผลการคำนวณสำหรับการทดสอบรูปแบบปัญหาการกำหนดห้องเรียน  
ขนาดเล็ก

| ลำดับ | จำนวนห้อง | จำนวนวิชา | ขนาดห้องเฉลี่ย | ขนาดนิสิตเฉลี่ย | Optimal Solution    |
|-------|-----------|-----------|----------------|-----------------|---------------------|
| 1     | 12        | 36        | 75             | 54              | Infeasible Solution |
| 2     | 14        | 32        | 73             | 53              | Infeasible Solution |
| 3     | 13        | 21        | 80             | 50              | 1780                |
| 4     | 13        | 37        | 86             | 52              | Infeasible Solution |
| 5     | 15        | 20        | 65             | 38              | 1288                |
| 6     | 15        | 30        | 64             | 43              | 2412                |
| 7     | 13        | 41        | 63             | 49              | Infeasible Solution |
| 8     | 14        | 41        | 57             | 43              | Infeasible Solution |
| 9     | 13        | 36        | 83             | 39              | Infeasible Solution |
| 10    | 15        | 92        | 57             | 44              | Infeasible Solution |
| 11    | 18        | 64        | 64             | 43              | Infeasible Solution |
| 12    | 10        | 16        | 71             | 45              | 2140                |
| 13    | 15        | 28        | 70             | 40              | 2916                |
| 14    | 19        | 48        | 64             | 46              | Infeasible Solution |
| 15    | 6         | 20        | 69             | 42              | Infeasible Solution |
| 16    | 16        | 24        | 62             | 40              | 1666                |
| 17    | 17        | 14        | 54             | 42              | 326                 |
| 18    | 13        | 42        | 71             | 50              | Infeasible Solution |
| 19    | 13        | 31        | 77             | 52              | Infeasible Solution |
| 20    | 13        | 43        | 75             | 48              | Infeasible Solution |
| 21    | 8         | 6         | 64             | 40              | 286                 |
| 22    | 7         | 9         | 66             | 43              | Infeasible Solution |
| 23    | 9         | 20        | 69             | 47              | Infeasible Solution |
| 24    | 13        | 45        | 79             | 49              | Infeasible Solution |
| 25    | 8         | 14        | 69             | 41              | 1206                |
| 26    | 13        | 47        | 79             | 53              | Infeasible Solution |

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

| ลำดับ | จำนวนห้อง | จำนวนวิชา | ขนาดห้องเฉลี่ย | ขนาดนิสิตเฉลี่ย | Optimal Solution    |
|-------|-----------|-----------|----------------|-----------------|---------------------|
| 27    | 13        | 10        | 62             | 44              | 698                 |
| 28    | 14        | 12        | 53             | 39              | 576                 |
| 29    | 12        | 12        | 53             | 41              | 486                 |
| 30    | 13        | 14        | 56             | 42              | 1228                |
| 31    | 14        | 16        | 66             | 45              | 1230                |
| 32    | 13        | 18        | 69             | 38              | 1382                |
| 33    | 14        | 20        | 66             | 41              | 1706                |
| 34    | 12        | 22        | 59             | 41              | Infeasible Solution |
| 35    | 13        | 28        | 78             | 53              | Infeasible Solution |
| 36    | 14        | 26        | 58             | 41              | Infeasible Solution |
| 37    | 13        | 30        | 68             | 45              | Infeasible Solution |
| 38    | 15        | 40        | 60             | 43              | Infeasible Solution |
| 39    | 13        | 40        | 61             | 51              | Infeasible Solution |
| 40    | 13        | 30        | 68             | 45              | Infeasible Solution |
| 41    | 15        | 40        | 60             | 43              | Infeasible Solution |
| 42    | 13        | 44        | 72             | 54              | Infeasible Solution |
| 43    | 16        | 80        | 62             | 45              | Infeasible Solution |
| 44    | 15        | 4         | 61             | 41              | 36                  |
| 45    | 15        | 8         | 69             | 42              | 360                 |
| 46    | 15        | 12        | 55             | 43              | 814                 |
| 47    | 15        | 14        | 59             | 39              | 424                 |
| 48    | 15        | 16        | 65             | 39              | 960                 |
| 49    | 15        | 20        | 65             | 38              | 1288                |
| 50    | 15        | 22        | 65             | 42              | 1436                |
| 51    | 15        | 30        | 64             | 43              | 2412                |
| 52    | 15        | 26        | 59             | 40              | Infeasible Solution |

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

| ลำดับ | จำนวนห้อง | จำนวนวิชา | ขนาดห้องเฉลี่ย | ขนาดนิสิตเฉลี่ย | Optimal Solution    |
|-------|-----------|-----------|----------------|-----------------|---------------------|
| 53    | 15        | 35        | 71             | 41              | Infeasible Solution |
| 54    | 16        | 6         | 64             | 38              | 80                  |
| 55    | 16        | 8         | 63             | 48              | 204                 |
| 56    | 16        | 12        | 55             | 36              | 524                 |
| 57    | 16        | 16        | 63             | 41              | 1264                |
| 58    | 16        | 28        | 70             | 41              | 2200                |
| 59    | 16        | 34        | 67             | 45              | Infeasible Solution |
| 60    | 16        | 52        | 61             | 41              | Infeasible Solution |
| 61    | 16        | 84        | 66             | 44              | Infeasible Solution |
| 62    | 17        | 10        | 65             | 46              | 408                 |
| 63    | 17        | 18        | 68             | 41              | 1298                |
| 64    | 17        | 26        | 55             | 40              | 1246                |
| 65    | 17        | 40        | 61             | 42              | Infeasible Solution |
| 66    | 18        | 8         | 64             | 39              | 108                 |
| 67    | 18        | 20        | 66             | 43              | 1266                |
| 68    | 18        | 68        | 65             | 43              | Infeasible Solution |
| 69    | 19        | 38        | 69             | 46              | 3242                |
| 70    | 19        | 74        | 54             | 43              | Infeasible Solution |
| 71    | 19        | 48        | 64             | 46              | Infeasible Solution |
| 72    | 20        | 14        | 57             | 44              | 500                 |
| 73    | 20        | 24        | 64             | 44              | 1350                |
| 74    | 20        | 44        | 58             | 40              | Infeasible Solution |
| 75    | 5         | 6         | 49             | 46              | Infeasible Solution |
| 76    | 13        | 16        | 83             | 46              | 1726                |
| 77    | 10        | 16        | 54             | 46              | Infeasible Solution |
| 78    | 12        | 24        | 49             | 44              | Infeasible Solution |



ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

| ลำดับ | จำนวนห้อง | จำนวนวิชา | ขนาดห้องเฉลี่ย | ขนาดนิสิตเฉลี่ย | Optimal Solution    |
|-------|-----------|-----------|----------------|-----------------|---------------------|
| 79    | 15        | 10        | 48             | 39              | 434                 |
| 80    | 18        | 18        | 52             | 43              | 398                 |
| 81    | 20        | 28        | 48             | 44              | 670                 |
| 82    | 19        | 36        | 54             | 43              | 2026                |
| 83    | 20        | 46        | 52             | 44              | Infeasible Solution |
| 84    | 16        | 80        | 48             | 46              | Infeasible Solution |
| 85    | 13        | 26        | 67             | 52              | Infeasible Solution |
| 86    | 12        | 8         | 31             | 32              | 36                  |
| 87    | 13        | 22        | 71             | 48              | 1400                |
| 88    | 13        | 23        | 67             | 52              | Infeasible Solution |
| 89    | 16        | 12        | 28             | 30              | 170                 |
| 90    | 13        | 29        | 78             | 45              | Infeasible Solution |
| 91    | 12        | 9         | 75             | 47              | 1550                |
| 92    | 12        | 14        | 64             | 48              | Infeasible Solution |
| 93    | 12        | 18        | 78             | 52              | 2228                |
| 94    | 12        | 38        | 76             | 51              | Infeasible Solution |
| 95    | 11        | 8         | 59             | 42              | 324                 |
| 96    | 12        | 16        | 60             | 39              | 872                 |
| 97    | 13        | 24        | 56             | 39              | 1064                |
| 98    | 15        | 30        | 58             | 41              | 1244                |
| 99    | 20        | 50        | 58             | 42              | 3188                |
| 100   | 10        | 50        | 55             | 41              | Infeasible Solution |
| 101   | 12        | 42        | 56             | 42              | Infeasible Solution |
| 102   | 15        | 44        | 58             | 41              | Infeasible Solution |
| 103   | 11        | 75        | 52             | 43              | Infeasible Solution |
| 104   | 10        | 5         | 61             | 47              | 254                 |

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

| ลำดับ | จำนวนห้อง | จำนวนวิชา | ขนาดห้องเฉลี่ย | ขนาดนิสิตเฉลี่ย | Optimal Solution    |
|-------|-----------|-----------|----------------|-----------------|---------------------|
| 105   | 11        | 50        | 60             | 43              | Infeasible Solution |
| 106   | 11        | 40        | 52             | 43              | Infeasible Solution |
| 107   | 19        | 40        | 66             | 43              | Infeasible Solution |
| 108   | 15        | 30        | 64             | 43              | 2412                |
| 109   | 15        | 70        | 61             | 44              | Infeasible Solution |
| 110   | 5         | 30        | 59             | 43              | Infeasible Solution |
| 111   | 9         | 30        | 72             | 44              | Infeasible Solution |
| 112   | 9         | 20        | 69             | 47              | Infeasible Solution |
| 113   | 9         | 15        | 73             | 40              | Infeasible Solution |
| 114   | 9         | 10        | 62             | 43              | 988                 |
| 115   | 3         | 9         | 52             | 41              | Infeasible Solution |
| 116   | 11        | 15        | 69             | 45              | 1888                |
| 117   | 3         | 10        | 69             | 43              | Infeasible Solution |
| 118   | 13        | 30        | 68             | 45              | Infeasible Solution |
| 119   | 13        | 17        | 65             | 42              | 1632                |
| 120   | 19        | 50        | 64             | 43              | Infeasible Solution |
| 121   | 19        | 30        | 68             | 38              | 2278                |
| 122   | 19        | 35        | 71             | 42              | 2466                |
| 123   | 3         | 6         | 69             | 50              | Infeasible Solution |
| 124   | 3         | 80        | 49             | 44              | Infeasible Solution |
| 125   | 10        | 35        | 74             | 52              | Infeasible Solution |
| 126   | 3         | 5         | 74             | 44              | 644                 |
| 127   | 7         | 35        | 87             | 40              | Infeasible Solution |
| 128   | 7         | 30        | 74             | 43              | Infeasible Solution |
| 129   | 7         | 20        | 74             | 47              | Infeasible Solution |
| 130   | 7         | 14        | 62             | 41              | Infeasible Solution |

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

| ลำดับ | จำนวนห้อง | จำนวนวิชา | ขนาดห้องเฉลี่ย | ขนาดนิสิตเฉลี่ย | Optimal Solution    |
|-------|-----------|-----------|----------------|-----------------|---------------------|
| 131   | 4         | 15        | 83             | 58              | Infeasible Solution |
| 132   | 7         | 7         | 70             | 42              | 552                 |
| 133   | 7         | 5         | 51             | 44              | 144                 |
| 134   | 13        | 90        | 54             | 43              | Infeasible Solution |
| 135   | 13        | 70        | 55             | 44              | Infeasible Solution |
| 136   | 13        | 50        | 64             | 42              | Infeasible Solution |
| 137   | 13        | 25        | 59             | 39              | Infeasible Solution |
| 138   | 13        | 20        | 65             | 38              | 1584                |
| 139   | 13        | 15        | 64             | 42              | 966                 |
| 140   | 15        | 55        | 66             | 44              | Infeasible Solution |
| 141   | 15        | 20        | 65             | 38              | 1288                |
| 142   | 15        | 66        | 70             | 42              | Infeasible Solution |
| 143   | 19        | 65        | 66             | 44              | Infeasible Solution |
| 144   | 19        | 22        | 62             | 41              | 1476                |
| 145   | 19        | 41        | 62             | 46              | 2394                |
| 146   | 17        | 70        | 58             | 41              | Infeasible Solution |
| 147   | 17        | 55        | 66             | 41              | Infeasible Solution |
| 148   | 17        | 20        | 67             | 42              | 1620                |
| 149   | 17        | 29        | 67             | 42              | Infeasible Solution |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑.2 : ตารางแสดงผลการคำนวณสำหรับการทดสอบรูปแบบปัญหาการกำหนดห้องเรียน  
ขนาดกลาง

| ลำดับ | จำนวนห้อง | จำนวนวิชา | ขนาดห้อง |        | จำนวน<br>ตัวแปร | จำนวน<br>เงื่อนไข | เวลา<br>(นาทีก) | Optimal Solution    |
|-------|-----------|-----------|----------|--------|-----------------|-------------------|-----------------|---------------------|
|       |           |           | เฉลี่ย   | เฉลี่ย |                 |                   |                 |                     |
| 1     | 34        | 55        | 75       | 48     | 2312            | 1598              |                 | Infeasible Solution |
| 2     | 21        | 50        | 73       | 50     | 1281            | 1006              |                 | Infeasible Solution |
| 3     | 25        | 50        | 74       | 46     | 1500            | 1185              | 9               | 4436                |
| 4     | 35        | 50        | 57       | 41     | 2135            | 1636              |                 | Infeasible Solution |
| 5     | 38        | 95        | 65       | 45     | 4978            | 1841              | 3               | 3992                |
| 6     | 35        | 90        | 74       | 50     | 4340            | 1699              | 3               | 2898                |
| 7     | 35        | 50        | 59       | 40     | 2240            | 1639              | 2               | 2008                |
| 8     | 35        | 50        | 59       | 39     | 2135            | 1636              | 1               | 2034                |
| 9     | 35        | 93        | 73       | 50     | 4515            | 1704              | 3               | 3816                |
| 10    | 35        | 97        | 77       | 52     | 4725            | 1710              | 18              | 4510                |
| 11    | 34        | 90        | 72       | 0.48   | 4284            | 1656              | 6               | 4010                |
| 12    | 35        | 81        | 57       | 41     | 3920            | 1687              | 3               | 4000                |
| 13    | 34        | 85        | 79       | 51     | 4080            | 1650              | 5               | 4422                |
| 14    | 33        | 95        | 76       | 49     | 4422            | 1619              | 7               | 7270                |
| 15    | 31        | 96        | 73       | 50     | 4216            | 1531              | 8               | 4776                |
| 16    | 30        | 95        | 76       | 51     | 3990            | 1483              |                 | Infeasible Solution |
| 17    | 35        | 86        | 80       | 51     | 4165            | 1694              | 8               | 4724                |
| 18    | 34        | 54        | 76       | 54     | 2278            | 1597              | 1               | 2566                |
| 19    | 32        | 99        | 73       | 51     | 4512            | 1581              | 26              | 4640                |
| 20    | 33        | 94        | 78       | 51     | 4389            | 1618              | 12              | 5960                |
| 21    | 31        | 79        | 70       | 52     | 3441            | 1506              |                 | Infeasible Solution |
| 22    | 31        | 85        | 77       | 53     | 3720            | 1515              | 11              | 3878                |
| 23    | 31        | 90        | 73       | 49     | 3937            | 1522              | 4               | 4682                |
| 24    | 31        | 95        | 79       | 52     | 4154            | 1529              | 2               | 6770                |
| 25    | 31        | 100       | 75       | 52     | 4402            | 1537              | 7               | 6248                |
| 26    | 30        | 85        | 80       | 52     | 3540            | 1468              | 8               | 6006                |

ตารางที่ ๑.2 (ต่อ)

| ลำดับ | จำนวนห้อง | จำนวนวิชา | ขนาดห้อง |        | จำนวน<br>ตัวแปร | จำนวน<br>เงื่อนไข | เวลา<br>(นาที) | Optimal Solution    |
|-------|-----------|-----------|----------|--------|-----------------|-------------------|----------------|---------------------|
|       |           |           | เฉลี่ย   | เฉลี่ย |                 |                   |                |                     |
| 27    | 29        | 71        | 71       | 53     | 2813            | 1402              |                | Infeasible Solution |
| 28    | 16        | 55        | 68       | 41     | 1088            | 788               |                | Infeasible Solution |
| 29    | 21        | 49        | 61       | 41     | 1260            | 1005              |                | Infeasible Solution |
| 30    | 18        | 30        | 68       | 39     | 594             | 843               | 1              | 1730                |
| 31    | 28        | 50        | 65       | 43     | 1792            | 1324              | 1              | 2048                |
| 32    | 17        | 65        | 68       | 42     | 1394            | 847               |                | Infeasible Solution |
| 33    | 29        | 43        | 73       | 52     | 1680            | 1361              | 1              | 486                 |
| 34    | 39        | 81        | 69       | 49     | 4368            | 1867              | 10             | 3186                |
| 35    | 33        | 97        | 73       | 51     | 4521            | 1622              | 32             | 3838                |
| 36    | 24        | 74        | 64       | 51     | 2352            | 1178              |                | Infeasible Solution |
| 37    | 34        | 94        | 76       | 51     | 4488            | 1662              | 32             | 6034                |
| 38    | 35        | 100       | 75       | 50     | 4900            | 1715              |                | Infeasible Solution |
| 39    | 20        | 100       | 78       | 49     | 2840            | 1042              |                | Infeasible Solution |
| 40    | 23        | 85        | 81       | 50     | 2714            | 1153              |                | Infeasible Solution |
| 41    | 35        | 80        | 71       | 50     | 3850            | 1685              |                | Infeasible Solution |
| 42    | 32        | 78        | 60       | 50     | 3488            | 1549              |                | Infeasible Solution |
| 43    | 22        | 59        | 68       | 49     | 1672            | 1066              |                | Infeasible Solution |
| 44    | 23        | 89        | 69       | 51     | 2875            | 1160              |                | Infeasible Solution |
| 45    | 31        | 62        | 69       | 51     | 2542            | 1477              | 1              | 3134                |
| 46    | 32        | 89        | 67       | 49     | 4032            | 1566              | 10             | 3544                |
| 47    | 33        | 92        | 68       | 49     | 4257            | 1614              | 6              | 3198                |
| 48    | 22        | 76        | 67       | 49     | 2222            | 1091              |                | Infeasible Solution |
| 49    | 34        | 98        | 68       | 49     | 4692            | 1668              | 4              | 3218                |
| 50    | 35        | 97        | 72       | 52     | 4725            | 1710              | 5              | 3772                |
| 51    | 30        | 42        | 74       | 51     | 1530            | 1401              | 1              | 1258                |

ตารางที่ ๑.3 : ตารางแสดงผลการคำนวณสำหรับการทดสอบรูปแบบปัญหาการกำหนดห้องเรียน  
ขนาดใหญ่

| ลำดับ | จำนวนห้อง | จำนวนวิชา | ขนาดห้อง |        | จำนวน<br>ตัวแปร | จำนวน<br>เงื่อนไข | เวลา<br>(นาที) | Optimal Solution    |
|-------|-----------|-----------|----------|--------|-----------------|-------------------|----------------|---------------------|
|       |           |           | เฉลี่ย   | เฉลี่ย |                 |                   |                |                     |
| 1     | 47        | 134       | 75       | 50     | 9588            | 2319              |                | Infeasible Solution |
| 2     | 40        | 135       | 74       | 51     | 8160            | 2004              |                | Infeasible Solution |
| 3     | 35        | 100       | 75       | 50     | 4900            | 1715              |                | Infeasible Solution |
| 4     | 40        | 108       | 46       | 43     | 6120            | 1953              |                | Infeasible Solution |
| 5     | 50        | 100       | 78       | 49     | 7200            | 2394              | 4              | 4708                |
| 6     | 45        | 120       | 44       | 44     | 8055            | 2204              | 3.75           | 7576                |
| 7     | 45        | 130       | 73       | 65     | 8775            | 195               | <12 hrs        | 4805                |
| 8     | 40        | 135       | 84       | 45     | 8160            | 2004              |                | Infeasible Solution |
| 9     | 39        | 109       | 74       | 50     | 6084            | 1911              |                | Infeasible Solution |
| 10    | 36        | 124       | 70       | 51     | 6696            | 1806              |                | Infeasible Solution |
| 11    | 50        | 102       | 70       | 51     | 7400            | 2398              | 1              | 2312                |
| 12    | 42        | 102       | 70       | 51     | 6090            | 2035              | 10             | 6024                |
| 13    | 49        | 104       | 69       | 50     | 7399            | 2356              | 20             | 3154                |
| 14    | 50        | 160       | 75       | 52     | 12500           | 2500              | <12 hrs        | 8712                |
| 15    | 39        | 109       | 74       | 50     | 6084            | 1911              |                | Infeasible Solution |
| 16    | 36        | 124       | 70       | 51     | 6696            | 1806              |                | Infeasible Solution |
| 17    | 48        | 100       | 73       | 51     | 6840            | 2303              | 3              | 3636                |
| 18    | 50        | 101       | 72       | 49     | 7300            | 2396              | <12 hrs        | Infeasible Solution |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑.4 : ตารางข้อมูลการทดสอบรูปแบบปัญหาการกำหนดห้องเรียนเพื่อเปรียบเทียบ  
คำตอบของปัญหา Integer Linear Programming กับ Linear Programming

| ลำดับ | จำนวน<br>ห้อง | จำนวน<br>วิชา | ขนาดห้อง<br>เฉลี่ย | ขนาดนิสิต<br>เฉลี่ย | จำนวน<br>ตัวแปร | จำนวน<br>เงื่อนไข | คำตอบ<br>ILP | คำตอบ<br>LP |
|-------|---------------|---------------|--------------------|---------------------|-----------------|-------------------|--------------|-------------|
| 1     | 26            | 59            | 79                 | 51                  | 2002            | 1247              | 4234         | 4234        |
| 2     | 29            | 62            | 74                 | 49                  | 2378            | 1387              | 3560         | 3542        |
| 3     | 31            | 64            | 77                 | 51                  | 2635            | 1480              | 5556         | 5523        |
| 4     | 28            | 49            | 71                 | 50                  | 1736            | 1322              | 2516         | 2516        |
| 5     | 33            | 73            | 70                 | 50                  | 3300            | 1585              | 2566         | 2544        |
| 6     | 31            | 76            | 70                 | 51                  | 3286            | 1501              | 3770         | 3770        |
| 7     | 33            | 78            | 69                 | 50                  | 3564            | 1593              | 4162         | 4128        |
| 8     | 34            | 75            | 72                 | 49                  | 4692            | 1668              | 3556         | 3494        |
| 9     | 34            | 73            | 71                 | 48                  | 3366            | 1629              | 3232         | 3194        |
| 10    | 32            | 78            | 69                 | 50                  | 3488            | 1549              | 5576         | 5316.6      |
| 11    | 33            | 69            | 69                 | 51                  | 3036            | 1577              | 1512         | 1512        |
| 12    | 32            | 89            | 72                 | 49                  | 4032            | 1566              | 3758         | 3555.68     |
| 13    | 31            | 75            | 69                 | 48                  | 3255            | 1500              | 4284         | 4273        |
| 14    | 31            | 96            | 73                 | 50                  | 4216            | 1531              | 4708         | 4627        |
| 15    | 33            | 91            | 71                 | 50                  | 4224            | 1613              | 2558         | 2557        |
| 16    | 36            | 68            | 72                 | 48                  | 3204            | 1709              | 2930         | 2885.2      |
| 17    | 32            | 70            | 71                 | 50                  | 3040            | 1535              | 3106         | 3106        |
| 18    | 36            | 87            | 75                 | 52                  | 4356            | 1741              | 4210         | 4186        |
| 19    | 36            | 75            | 72                 | 53                  | 3636            | 1721              | 2406         | 2406        |
| 20    | 37            | 82            | 72                 | 52                  | 4144            | 1777              | 4378         | 4276.5      |
| 21    | 25            | 53            | 74                 | 50                  | 1625            | 1190              | 2506         | 2506        |
| 22    | 39            | 85            | 74                 | 52                  | 4563            | 1872              | 3182         | 3080.33     |
| 23    | 26            | 52            | 75                 | 52                  | 1716            | 1236              | 2612         | 2612        |
| 24    | 38            | 88            | 77                 | 49                  | 4560            | 1830              | 4662         | 4659        |

ตารางที่ ๑.4 (ต่อ)

| ลำดับ | จำนวน<br>ห้อง | จำนวน<br>วิชา | ขนาดห้อง<br>เฉลี่ย | ขนาดนิสิต<br>เฉลี่ย | จำนวน<br>ตัวแปร | จำนวน<br>เงื่อนไข | คำตอบ<br>ILP | คำตอบ<br>LP |
|-------|---------------|---------------|--------------------|---------------------|-----------------|-------------------|--------------|-------------|
| 25    | 35            | 80            | 71                 | 50                  | 3850            | 1685              | 5204         | 5042.67     |
| 26    | 36            | 85            | 79                 | 51                  | 4248            | 1738              | 4690         | 4652.5      |
| 27    | 32            | 89            | 72                 | 49                  | 4032            | 1566              | 3748         | 3555.65     |
| 28    | 29            | 75            | 68                 | 51                  | 2987            | 1408              | 3768         | 3632.5      |
| 29    | 34            | 82            | 72                 | 49                  | 3876            | 1644              | 2938         | 2866        |
| 30    | 35            | 74            | 69                 | 49                  | 3535            | 1676              | 3956         | 2924        |
| 31    | 5             | 7             | 86                 | 58                  |                 |                   | 704          | 704         |
| 32    | 6             | 8             | 80                 | 49                  |                 |                   | 1642         | 1642        |
| 33    | 8             | 12            | 65                 | 40                  |                 |                   | 582          | 582         |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



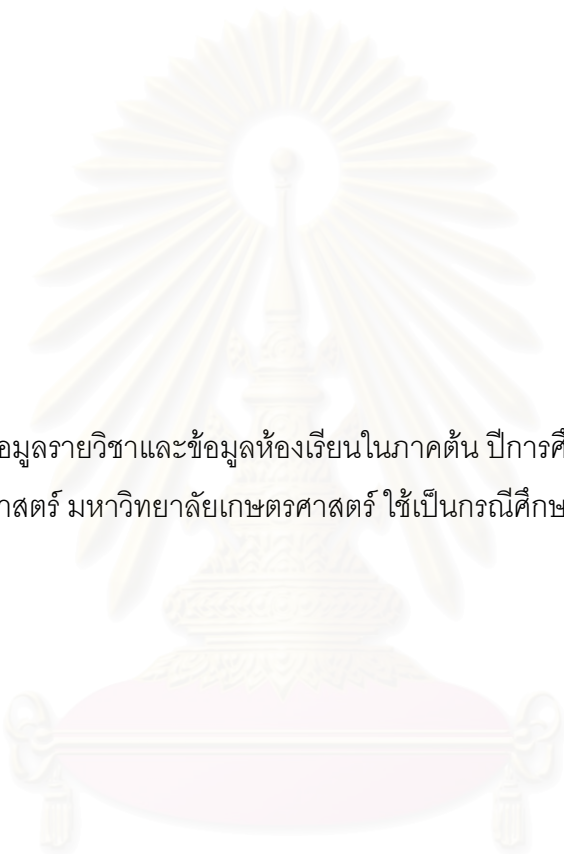
ตารางที่ ๑.5 : ตารางข้อมูลการทดสอบรูปแบบปัญหาการกำหนดห้องเรียนเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผล  
ทำให้ปัญหา Integer Linear Programming ไม่สามารถคำตอบที่ดีที่สุดได้ด้วยวิธี

| Simplex |      |      |        |        |        |          |             |          |             |
|---------|------|------|--------|--------|--------|----------|-------------|----------|-------------|
| ลำดับ   | ห้อง | วิชา | เฉลี่ย | เฉลี่ย | ตัวแปร | เงื่อนไข | เวลา (นาที) | ได้คำตอบ | ประเภทปัญหา |
| 1       | 26   | 59   | 97     | 51     | 2002   | 1247     | 6           | 10778    | ILP         |
|         | 26   | 59   | 97     | 51     | 2002   | 1247     | 1           | 10642    | LP          |
|         | 26   | 59   | 79     | 44     | 2002   | 1247     | 3           | 5394     | ILP         |
|         | 26   | 59   | 79     | 44     | 2002   | 1247     | 1           | 5373.67  | LP          |
| 4       | 28   | 49   | 87     | 50     | 1736   | 1322     | 1           | 5543     | ILP         |
|         | 28   | 49   | 87     | 50     | 1736   | 1322     | 1           | 5516     | LP          |
|         | 28   | 49   | 71     | 38     | 1736   | 1322     | 1           | 4400     | ILP         |
|         | 28   | 49   | 71     | 38     | 1736   | 1322     | 1           | 4395     | LP          |
| 6       | 31   | 76   | 86     | 51     | 3286   | 1501     | 24          | 6170     | ILP         |
|         | 31   | 76   | 86     | 51     | 3286   | 1501     | 1           | 6145.5   | LP          |
|         | 31   | 76   | 70     | 57     | 3286   | 1501     | 1           | 3982     | ILP         |
|         | 31   | 76   | 70     | 57     | 3286   | 1501     | 1           | 3723     | LP          |
| 11      | 33   | 69   | 85     | 51     | 3036   | 1577     | 3           | 6160     | ILP         |
|         | 33   | 69   | 85     | 51     | 3036   | 1577     | 1           | 6119     | LP          |
|         | 33   | 69   | 69     | 39     | 3036   | 1577     | 10          | 2716     | ILP         |
|         | 33   | 69   | 69     | 39     | 3036   | 1577     | 1           | 2556     | LP          |
| 17      | 32   | 70   | 89     | 50     | 3040   | 1535     | 3           | 8642     | ILP         |
|         | 32   | 70   | 89     | 50     | 3040   | 1535     | 1           | 8290     | LP          |
|         | 32   | 70   | 71     | 40     | 3040   | 1535     | 8           | 4272     | ILP         |
|         | 32   | 70   | 71     | 40     | 3040   | 1535     | 1           | 4086.5   | LP          |
| 19      | 36   | 75   | 83     | 53     | 3636   | 1721     | 1           | 3412     | ILP         |
|         | 36   | 75   | 83     | 53     | 3636   | 1721     | 1           | 3390     | LP          |
|         | 36   | 75   | 72     | 58     | 3636   | 1721     | 2           | 2720     | ILP         |
|         | 36   | 75   | 72     | 58     | 3636   | 1721     | 1           | 2702     | LP          |

ตารางที่ ๑.5 (ต่อ)

| ลำดับ | จำนวน<br>ห้อง | จำนวน<br>วิชา | ขนาดห้อง<br>เฉลี่ย | ขนาดนิสิต<br>เฉลี่ย | จำนวน<br>ตัวแปร | จำนวน<br>เงื่อนไข | เวลา<br>(นาที) | ได้คำตอบ | ประเภท<br>ปัญหา |
|-------|---------------|---------------|--------------------|---------------------|-----------------|-------------------|----------------|----------|-----------------|
| 21    | 25            | 53            | 65                 | 50                  | 1625            | 1190              | 1              | 1886     | ILP             |
|       | 25            | 53            | 65                 | 50                  | 1625            | 1190              | 1              | 1854     | LP              |
|       | 25            | 53            | 74                 | 58                  | 1625            | 1190              | 1              | 2216     | ILP             |
|       | 25            | 53            | 74                 | 58                  | 1625            | 1190              | 1              | 2184     | LP              |
| 23    | 26            | 52            | 63                 | 52                  | 1716            | 1236              | 1              | 1370     | ILP             |
|       | 26            | 52            | 63                 | 52                  | 1716            | 1236              | 1              | 1316     | LP              |
|       | 26            | 52            | 75                 | 61                  | 1716            | 1236              | 1              | 2342     | ILP             |
|       | 26            | 52            | 75                 | 61                  | 1716            | 1236              | 1              | 2316     | LP              |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ฉ ข้อมูลรายวิชาและข้อมูลห้องเรียนในภาคต้น ปีการศึกษา 2544 คณะวิศวกรรม  
ศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ใช้เป็นกรณีศึกษาสำหรับงานวิจัยนี้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑.1: ตารางแสดงข้อมูลรายละเอียดแต่ละรายวิชา (วันจันทร์ - วันศุกร์)ภาคต้นปีการ  
ศึกษา2544 ของคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

| วัน       | ลำดับวิชา | ประเภทวิชา | วิชา,หมู่ | จำนวนนิสิต | เวลาเริ่ม | เวลาสิ้นสุด |
|-----------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|-------------|
| วันจันทร์ | 1         | L          | 205201,3  | 75         | 1         | 3           |
|           | 2         | L          | 206221,4  | 32         | 6         | 8           |
|           | 3         | L          | 206311,3  | 61         | 1         | 3           |
|           | 4         | L          | 203371,1  | 20         | 4         | 7           |
|           | 5         | L          | 203511,1  | 2          | 0         | 3           |
|           | 6         | L          | 205473,1  | 33         | 2         | 4           |
|           | 7         | L          | 205311,1  | 56         | 5         | 7           |
|           | 8         | L          | 204212,2  | 49         | 1         | 3           |
|           | 9         | L1         | 208321,2  | 65         | 4         | 6           |
|           | 10        | L1         | 208451,1  | 69         | 2         | 4           |
|           | 11        | L1         | 215241,1  | 32         | 6         | 8           |
|           | 12        | L1         | 208451,2  | 38         | 2         | 4           |
|           | 13        | L1         | 208445,1  | 54         | 5         | 7           |
|           | 14        | L1         | 205341,2  | 63         | 2         | 4           |
|           | 15        | L1         | 205428,1  | 49         | 5         | 7           |
|           | 16        | L1         | 208241,1  | 80         | 1         | 3           |
|           | 17        | L1         | 205311,2  | 53         | 5         | 7           |
|           | 18        | L1         | 206311,2  | 76         | 1         | 3           |
|           | 19        | L1         | 208321,1  | 47         | 4         | 6           |
|           | 20        | L1         | 205313,1  | 58         | 2         | 4           |
|           | 21        | L1         | 205458,1  | 83         | 5         | 7           |
|           | 22        | L1         | 204212,3  | 69         | 1         | 3           |
|           | 23        | L          | 205301,1  | 81         | 4         | 7           |
|           | 24        | D          | 208111,3  | 49         | 4         | 7           |

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

| วัน       | ลำดับวิชา | ประเภทวิชา | วิชา, หมู่ | จำนวนนิสิต | เวลาเริ่ม | เวลาสิ้นสุด |
|-----------|-----------|------------|------------|------------|-----------|-------------|
|           | 25        | L1         | 205201,1   | 81         | 1         | 3           |
|           | 26        | D          | 208111,1   | 60         | 4         | 7           |
|           | 27        | D          | 208111,2   | 59         | 4         | 7           |
|           | 28        | D          | 208111,16  | 58         | 2         | 5           |
|           | 29        | L          | 209211,1   | 49         | 0         | 5           |
|           | 30        | D          | 208111,4   | 49         | 4         | 7           |
|           | 31        | L1         | 205201,2   | 61         | 1         | 3           |
|           | 32        | L1         | 206452,1   | 25         | 2         | 4           |
|           | 33        | L1         | 206472,1   | 41         | 5         | 7           |
| วันอังคาร | 1         | L1         | 203211,2   | 26         | 1         | 2           |
|           | 2         | L1         | 206221,3   | 47         | 3         | 5           |
|           | 3         | L1         | 203321,2   | 52         | 1         | 3           |
|           | 4         | L          | 203322,1   | 57         | 4         | 7           |
|           | 5         | L1         | 203211,3   | 8          | 1         | 2           |
|           | 6         | L1         | 206221,1   | 34         | 3         | 5           |
|           | 7         | L1         | 206321,2   | 22         | 6         | 8           |
|           | 8         | L1         | 206441,2   | 29         | 2         | 4           |
|           | 9         | L          | 205416,1   | 26         | 5         | 7           |
|           | 10        | L1         | 205482,1   | 44         | 0         | 2           |
|           | 11        | L1         | 208341,1   | 56         | 4         | 6           |
|           | 12        | L1         | 206341,2   | 56         | 2         | 4           |
|           | 13        | L1         | 205451,1   | 54         | 5         | 7           |
|           | 14        | L1         | 208452,1   | 19         | 2         | 4           |
|           | 15        | L1         | 208431,1   | 51         | 5         | 7           |
|           | 16        | L1         | 215311,1   | 28         | 0         | 4           |
|           | 17        | L1         | 208431,2   | 64         | 5         | 7           |

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

| วัน    | ลำดับวิชา | ประเภทวิชา | วิชา, หมู่ | จำนวนนิสิต | เวลาเริ่ม | เวลาสิ้นสุด |
|--------|-----------|------------|------------|------------|-----------|-------------|
|        | 18        | L1         | 205211,1   | 70         | 0         | 2           |
|        | 19        | L1         | 205211,3   | 56         | 3         | 5           |
|        | 20        | L1         | 205214,1   | 70         | 6         | 8           |
|        | 21        | L1         | 205442,1   | 52         | 2         | 4           |
|        | 22        | L1         | 205341,1   | 54         | 5         | 7           |
|        | 23        | L1         | 208341,2   | 41         | 4         | 6           |
|        | 24        | L1         | 205313,2   | 57         | 5         | 7           |
|        | 25        | D          | 208111,13  | 49         | 2         | 7           |
|        | 26        | L          | 203471,2   | 55         | 2         | 7           |
|        | 27        | L1         | 205211,2   | 76         | 0         | 2           |
|        | 28        | L1         | 213211,2   | 60         | 3         | 5           |
|        | 29        | L1         | 205322,1   | 11         | 6         | 8           |
|        | 30        | L1         | 203211,1   | 9          | 1         | 2           |
|        | 31        | L1         | 206221,2   | 45         | 3         | 5           |
|        | 32        | L1         | 205351,1   | 57         | 2         | 4           |
|        | 33        | L1         | 206411,1   | 67         | 5         | 7           |
|        | 34        | L1         | 205351,2   | 80         | 2         | 4           |
|        | 35        | L1         | 208331,1   | 18         | 0         | 2           |
|        | 36        | L1         | 213211,1   | 75         | 3         | 5           |
|        | 37        | L1         | 206341,1   | 31         | 2         | 4           |
|        | 38        | L1         | 206321,1   | 37         | 6         | 8           |
| วันพุธ | 1         | L1         | 208221,2   | 63         | 1         | 3           |
|        | 2         | L1         | 208221,3   | 56         | 1         | 3           |
|        | 3         | L          | 203576,1   | 15         | 2         | 7           |
|        | 4         | L1         | 208342,1   | 60         | 1         | 3           |

ตารางที่ ๑.1 (ต่อ)

| วัน | ลำดับวิชา | ประเภทวิชา | วิชา, หมู่ | จำนวนนิสิต | เวลาเริ่ม | เวลาสิ้นสุด |
|-----|-----------|------------|------------|------------|-----------|-------------|
|     | 5         | L1         | 208342,2   | 60         | 1         | 3           |
|     | 6         | L1         | 208221,6   | 60         | 1         | 3           |
|     | 7         | L          | 208461,1   | 61         | 0         | 3           |
|     | 8         | L          | 208461,11  | 62         | 4         | 8           |
|     | 9         | L1         | 208221,1   | 62         | 1         | 3           |
|     | 10        | L1         | 208342,3   | 46         | 1         | 3           |
|     | 11        | L1         | 208221,5   | 61         | 1         | 3           |
|     | 12        | L1         | 208221,4   | 64         | 1         | 3           |
|     | 13        | L1         | 208221,9   | 52         | 1         | 3           |
|     | 14        | D          | 208111,5   | 46         | 4         | 7           |
|     | 15        | L1         | 208221,7   | 62         | 1         | 3           |
|     | 16        | L          | 203469,1   | 15         | 2         | 7           |
|     | 17        | L1         | 208221,8   | 63         | 1         | 3           |
|     | 18        | L2         | 206221,4   | 32         | 6         | 8           |
|     | 19        | L2         | 205311,1   | 56         | 5         | 7           |
|     | 20        | L2         | 208341,1   | 56         | 4         | 6           |
|     | 21        | L2         | 205428,1   | 49         | 5         | 7           |
|     | 22        | L2         | 205311,2   | 53         | 5         | 7           |
|     | 23        | L2         | 208341,2   | 41         | 4         | 6           |
|     | 24        | L2         | 205313,1   | 58         | 2         | 4           |
|     | 25        | L2         | 205458,1   | 83         | 5         | 7           |
|     | 26        | L2         | 205473,1   | 33         | 2         | 4           |
|     | 27        | L2         | 205341,2   | 63         | 2         | 4           |
|     | 28        | L2         | 206452,1   | 25         | 2         | 4           |
|     | 29        | L2         | 206472,1   | 41         | 5         | 7           |

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

| วัน         | ลำดับวิชา | ประเภทวิชา | วิชา, หมู่ | จำนวนนิสิต | เวลาเริ่ม | เวลาสิ้นสุด |
|-------------|-----------|------------|------------|------------|-----------|-------------|
| วันพฤหัสบดี | 1         | L2         | 203211,2   | 26         | 1         | 2           |
|             | 2         | L2         | 206221,3   | 47         | 3         | 5           |
|             | 3         | L2         | 203321,2   | 52         | 1         | 3           |
|             | 4         | L2         | 206311,3   | 61         | 6         | 8           |
|             | 5         | L2         | 203211,3   | 8          | 1         | 2           |
|             | 6         | L2         | 206221,1   | 34         | 3         | 5           |
|             | 7         | L2         | 206321,2   | 22         | 6         | 8           |
|             | 8         | L2         | 206441,2   | 29         | 2         | 4           |
|             | 9         | L2         | 206341,2   | 56         | 2         | 4           |
|             | 10        | L2         | 205451,1   | 54         | 5         | 7           |
|             | 11        | L2         | 208452,1   | 19         | 2         | 4           |
|             | 12        | L2         | 208431,1   | 51         | 5         | 7           |
|             | 13        | L2         | 215311,1   | 28         | 0         | 4           |
|             | 14        | L2         | 208431,2   | 64         | 5         | 7           |
|             | 15        | L2         | 205211,1   | 70         | 0         | 2           |
|             | 16        | L2         | 205211,3   | 56         | 3         | 5           |
|             | 17        | L2         | 205214,1   | 70         | 6         | 8           |
|             | 18        | L2         | 205442,1   | 52         | 2         | 4           |
|             | 19        | L2         | 205341,1   | 54         | 5         | 7           |
|             | 20        | L2         | 206311,2   | 76         | 6         | 8           |
|             | 21        | L2         | 205313,2   | 57         | 5         | 7           |
|             | 22        | L2         | 205482,1   | 44         | 0         | 2           |
|             | 23        | L2         | 205211,2   | 76         | 0         | 2           |
|             | 24        | L2         | 213211,2   | 60         | 3         | 5           |
|             | 25        | L2         | 205322,1   | 11         | 6         | 8           |



ตารางที่ ๑.1 (ต่อ)

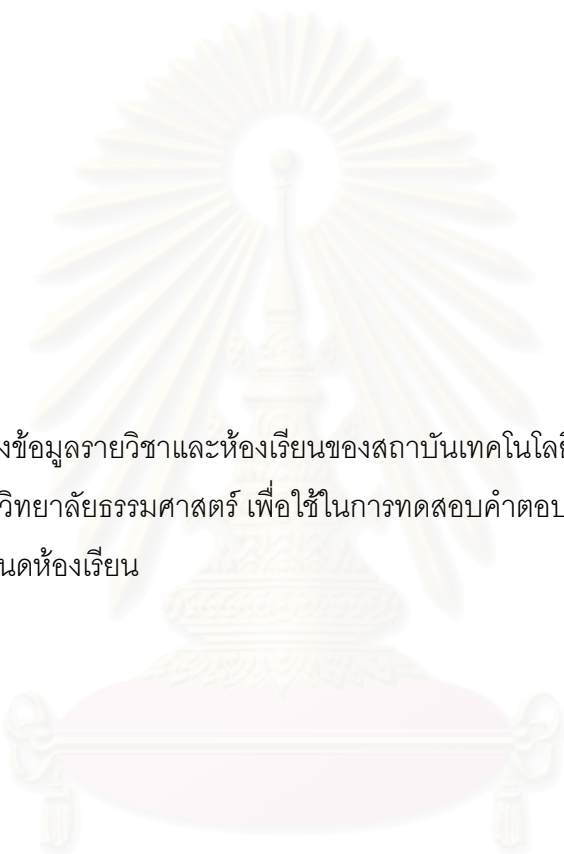
| วัน      | ลำดับวิชา | ประเภทวิชา | วิชา, หมู่ | จำนวนนิสิต | เวลาเริ่ม | เวลาสิ้นสุด |
|----------|-----------|------------|------------|------------|-----------|-------------|
|          | 26        | L2         | 203211,1   | 9          | 1         | 2           |
|          | 27        | L2         | 206221,2   | 45         | 3         | 5           |
|          | 28        | L2         | 205351,1   | 57         | 2         | 4           |
|          | 29        | L2         | 206411,1   | 67         | 5         | 7           |
|          | 30        | L2         | 205351,2   | 80         | 2         | 4           |
|          | 31        | L2         | 208331,1   | 18         | 0         | 2           |
|          | 32        | L2         | 213211,1   | 75         | 3         | 5           |
|          | 33        | L2         | 206341,1   | 31         | 2         | 4           |
|          | 34        | L2         | 206321,1   | 37         | 6         | 8           |
|          | 35        | L          | 203331,1   | 82         | 2         | 7           |
|          | 36        | D          | 208111,7   | 41         | 4         | 7           |
|          | 37        | L          | 203462,1   | 50         | 2         | 7           |
|          | 38        | D          | 208111,11  | 60         | 2         | 7           |
|          | 39        | D          | 208111,12  | 59         | 2         | 7           |
| วันศุกร์ | 1         | L          | 203222,2   | 38         | 4         | 8           |
|          | 2         | L          | 203573,1   | 8          | 4         | 7           |
|          | 3         | L          | 208241,2   | 54         | 6         | 8           |
|          | 4         | L          | 205312,1   | 78         | 2         | 7           |
|          | 5         | D          | 208111,15  | 46         | 2         | 7           |
|          | 6         | D          | 208111,6   | 58         | 1         | 6           |
|          | 7         | L          | 203354,2   | 30         | 2         | 7           |
|          | 8         | L          | 206446,1   | 31         | 2         | 7           |
|          | 9         | L2         | 208221,2   | 63         | 1         | 3           |
|          | 10        | L2         | 205201,3   | 75         | 6         | 8           |
|          | 11        | L2         | 208221,3   | 56         | 1         | 3           |

ตารางที่ ๑.1 (ต่อ)

| วัน | ลำดับวิชา | ประเภทวิชา | วิชา, หมู่ | จำนวนนิสิต | เวลาเริ่ม | เวลาสิ้นสุด |
|-----|-----------|------------|------------|------------|-----------|-------------|
|     | 12        | L2         | 208342,1   | 60         | 1         | 3           |
|     | 13        | L2         | 204212,2   | 49         | 6         | 8           |
|     | 14        | L2         | 208342,2   | 60         | 1         | 3           |
|     | 15        | L2         | 208321,2   | 65         | 4         | 6           |
|     | 16        | L2         | 208221,6   | 60         | 1         | 3           |
|     | 17        | L2         | 208451,1   | 69         | 2         | 4           |
|     | 18        | L2         | 215241,1   | 32         | 6         | 8           |
|     | 19        | L2         | 208451,2   | 38         | 2         | 4           |
|     | 20        | L2         | 208445,1   | 54         | 5         | 7           |
|     | 21        | L2         | 208221,1   | 62         | 1         | 3           |
|     | 22        | L2         | 208342,3   | 46         | 1         | 3           |
|     | 23        | L2         | 208241,1   | 80         | 6         | 8           |
|     | 24        | L2         | 208221,5   | 61         | 1         | 3           |
|     | 25        | L2         | 208321,1   | 47         | 4         | 6           |
|     | 26        | L2         | 208221,4   | 64         | 1         | 3           |
|     | 27        | L2         | 204212,3   | 69         | 6         | 8           |
|     | 28        | L2         | 205201,1   | 81         | 6         | 8           |
|     | 29        | L2         | 208221,9   | 52         | 1         | 3           |
|     | 30        | L2         | 208221,7   | 62         | 1         | 3           |
|     | 31        | L2         | 208221,8   | 63         | 1         | 3           |
|     | 32        | L2         | 205201,2   | 61         | 6         | 8           |

ตารางที่ ด.2 : ตารางแสดงข้อมูลรายละเอียดแต่ละห้องเรียน

| ลำดับห้อง | ห้อง  | ประเภทห้อง | จำนวนที่นั่ง |
|-----------|-------|------------|--------------|
| 1         | E3310 | <i>LR</i>  | 70           |
| 2         | E3111 | <i>LR</i>  | 60           |
| 3         | E3201 | <i>LR</i>  | 40           |
| 4         | E3202 | <i>LR</i>  | 90           |
| 5         | E3203 | <i>LR</i>  | 70           |
| 6         | E3204 | <i>LR</i>  | 129          |
| 7         | E3211 | <i>LR</i>  | 70           |
| 8         | E3212 | <i>LR</i>  | 65           |
| 9         | E3301 | <i>LR</i>  | 110          |
| 10        | E3302 | <i>LR</i>  | 110          |
| 11        | E3303 | <i>LR</i>  | 65           |
| 12        | E3304 | <i>LR</i>  | 120          |
| 13        | E3311 | <i>LR</i>  | 90           |
| 14        | E3312 | <i>DR</i>  | 64           |
| 15        | E3313 | <i>DR</i>  | 88           |
| 16        | E3401 | <i>DR</i>  | 60           |
| 17        | E3402 | <i>DR</i>  | 60           |
| 18        | E3403 | <i>DR</i>  | 80           |
| 19        | E8205 | <i>LR</i>  | 70           |
| 20        | E8502 | <i>DR</i>  | 90           |
| 21        | E8601 | <i>LR</i>  | 130          |
| 22        | E8602 | <i>LR</i>  | 130          |
| 23        | E8605 | <i>LR</i>  | 45           |
| 24        | E8606 | <i>LR</i>  | 20           |
| 25        | E8607 | <i>LR</i>  | 20           |



ภาคผนวก ช แสดงข้อมูลรายวิชาและห้องเรียนของสถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ เพื่อใช้ในการทดสอบคำตอบของรูปแบบปัญหาการ  
กำหนดห้องเรียน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 : ตารางข้อมูลรายวิชา (วันจันทร์ ถึง วันศุกร์) ปี1998 ของสถาบันเทคโนโลยี  
 นานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

| วัน         | ลำดับวิชา | วิชา | จำนวนนิสิต | เวลาเริ่มเรียน | เวลาสิ้นสุดการเรียน |
|-------------|-----------|------|------------|----------------|---------------------|
| วันจันทร์   | 1         | 4    | 62         | 3              | 3                   |
| วันอังคาร   | 1         | 2    | 68         | 0              | 0                   |
|             | 2         | 3    | 60         | 2              | 2                   |
|             | 3         | 5    | 66         | 1              | 1                   |
|             | 4         | 7    | 63         | 0              | 0                   |
|             | 5         | 10   | 48         | 1              | 1                   |
|             | 6         | 14   | 74         | 0              | 0                   |
|             | 7         | 15   | 80         | 2              | 2                   |
|             | 8         | 16   | 85         | 3              | 3                   |
|             | 9         | 17   | 73         | 1              | 1                   |
|             | 10        | 19   | 53         | 1              | 1                   |
|             | 11        | 20   | 67         | 0              | 0                   |
| วันพุธ      | 1         | 6    | 65         | 0              | 1                   |
|             | 2         | 9    | 45         | 1              | 1                   |
|             | 3         | 11   | 130        | 2              | 3                   |
|             | 4         | 12   | 70         | 0              | 0                   |
|             | 5         | 14   | 74         | 1              | 1                   |
|             | 6         | 18   | 59         | 0              | 0                   |
|             | 7         | 20   | 67         | 1              | 1                   |
|             | 8         | 22   | 150        | 2              | 3                   |
| วันพฤหัสบดี | 1         | 1    | 65         | 1              | 1                   |
|             | 2         | 2    | 68         | 0              | 0                   |
|             | 3         | 3    | 60         | 2              | 2                   |
|             | 4         | 8    | 54         | 0              | 0                   |
|             | 5         | 10   | 48         | 1              | 1                   |
|             | 6         | 12   | 70         | 0              | 0                   |

ตารางที่ ข.1(ต่อ)

| วัน      | ลำดับวิชา | วิชา | จำนวนนิสิต | เวลาเริ่มเรียน | เวลาสิ้นสุดการเรียน |
|----------|-----------|------|------------|----------------|---------------------|
|          | 7         | 15   | 80         | 2              | 2                   |
|          | 8         | 16   | 85         | 3              | 3                   |
|          | 9         | 17   | 73         | 1              | 1                   |
|          | 10        | 18   | 59         | 1              | 1                   |
|          | 11        | 19   | 53         | 0              | 0                   |
| วันศุกร์ | 1         | 1    | 65         | 1              | 1                   |
|          | 2         | 4    | 62         | 2              | 2                   |
|          | 3         | 5    | 66         | 0              | 0                   |
|          | 4         | 7    | 63         | 1              | 1                   |
|          | 5         | 9    | 45         | 0              | 0                   |
|          | 6         | 13   | 68         | 0              | 1                   |
|          | 7         | 21   | 35         | 0              | 1                   |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.2 : ตารางแสดงต้นทุนต่อห้องเรียนของแต่ละห้อง (วันจันทร์ ถึง วันศุกร์) ปี1998 ของ  
สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

| ห้อง         | 1      | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12  | 13  | 14  | 15 | 16  | 17  |
|--------------|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|----|-----|-----|
| จำนวนที่นั่ง | 35     | 35 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 35 | 75 | 75 | 125 | 125 | 105 | 45 | 185 | 185 |
| วัน          | ต้นทุน |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |    |     |     |
| วันจันทร์    | 10     | 10 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 10 | 30 | 30 | 50  | 50  | 40  | 20 | 60  | 60  |
| วันอังคาร    | 5      | 5  | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 5  | 15 | 15 | 25  | 25  | 20  | 10 | 30  | 30  |
|              | 10     | 10 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 10 | 30 | 30 | 50  | 50  | 40  | 20 | 60  | 60  |
|              | 5      | 5  | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 5  | 15 | 15 | 25  | 25  | 20  | 10 | 30  | 30  |
|              | 5      | 5  | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 5  | 15 | 15 | 25  | 25  | 20  | 10 | 30  | 30  |
|              | 5      | 5  | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 5  | 15 | 15 | 25  | 25  | 20  | 10 | 30  | 30  |
|              | 5      | 5  | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 5  | 15 | 15 | 25  | 25  | 20  | 10 | 30  | 30  |
|              | 10     | 10 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 10 | 30 | 30 | 50  | 50  | 40  | 20 | 60  | 60  |
|              | 10     | 10 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 10 | 30 | 30 | 50  | 50  | 40  | 20 | 60  | 60  |
|              | 5      | 5  | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 5  | 15 | 15 | 25  | 25  | 20  | 10 | 30  | 30  |
|              | 5      | 5  | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 5  | 15 | 15 | 25  | 25  | 20  | 10 | 30  | 30  |
|              | 5      | 5  | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 5  | 15 | 15 | 25  | 25  | 20  | 10 | 30  | 30  |
| วันพุธ       | 5      | 5  | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 5  | 15 | 15 | 25  | 25  | 20  | 10 | 30  | 30  |
|              | 5      | 5  | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 5  | 15 | 15 | 25  | 25  | 20  | 10 | 30  | 30  |
|              | 10     | 10 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 10 | 30 | 30 | 50  | 50  | 40  | 20 | 60  | 60  |
|              | 5      | 5  | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 5  | 15 | 15 | 25  | 25  | 20  | 10 | 30  | 30  |
|              | 5      | 5  | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 5  | 15 | 15 | 25  | 25  | 20  | 10 | 30  | 30  |
|              | 5      | 5  | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 5  | 15 | 15 | 25  | 25  | 20  | 10 | 30  | 30  |
|              | 5      | 5  | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 5  | 15 | 15 | 25  | 25  | 20  | 10 | 30  | 30  |
|              | 10     | 10 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 10 | 30 | 30 | 50  | 50  | 40  | 20 | 60  | 60  |
| วันพฤหัสบดี  | 5      | 5  | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 5  | 15 | 15 | 25  | 25  | 20  | 10 | 30  | 30  |
|              | 5      | 5  | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 5  | 15 | 15 | 25  | 25  | 20  | 10 | 30  | 30  |
|              | 10     | 10 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 10 | 30 | 30 | 50  | 50  | 40  | 20 | 60  | 60  |
|              | 5      | 5  | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 5  | 15 | 15 | 25  | 25  | 20  | 10 | 30  | 30  |

## ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

| ห้อง         | 1      | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12  | 13  | 14  | 15 | 16  | 17  |
|--------------|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|----|-----|-----|
| จำนวนที่นั่ง | 35     | 35 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 35 | 75 | 75 | 125 | 125 | 105 | 45 | 185 | 185 |
| วัน          | ต้นทูน |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |    |     |     |
|              | 5      | 5  | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 5  | 15 | 15 | 25  | 25  | 20  | 10 | 30  | 30  |
|              | 5      | 5  | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 5  | 15 | 15 | 25  | 25  | 20  | 10 | 30  | 30  |
|              | 10     | 10 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 10 | 30 | 30 | 50  | 50  | 40  | 20 | 60  | 60  |
|              | 10     | 10 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 10 | 30 | 30 | 50  | 50  | 40  | 20 | 60  | 60  |
|              | 5      | 5  | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 5  | 15 | 15 | 25  | 25  | 20  | 10 | 30  | 30  |
|              | 5      | 5  | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 5  | 15 | 15 | 25  | 25  | 20  | 10 | 30  | 30  |
|              | 5      | 5  | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 5  | 15 | 15 | 25  | 25  | 20  | 10 | 30  | 30  |
| วันศุกร์     | 5      | 5  | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 5  | 15 | 15 | 25  | 25  | 20  | 10 | 30  | 30  |
|              | 10     | 10 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 10 | 30 | 30 | 50  | 50  | 40  | 20 | 60  | 60  |
|              | 5      | 5  | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 5  | 15 | 15 | 25  | 25  | 20  | 10 | 30  | 30  |
|              | 5      | 5  | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 5  | 15 | 15 | 25  | 25  | 20  | 10 | 30  | 30  |
|              | 5      | 5  | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 5  | 15 | 15 | 25  | 25  | 20  | 10 | 30  | 30  |
|              | 10     | 10 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 10 | 30 | 30 | 50  | 50  | 40  | 20 | 60  | 60  |
|              | 10     | 10 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 10 | 30 | 30 | 50  | 50  | 40  | 20 | 60  | 60  |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสุวิวัฒน์ สืบสานกุล เกิดเมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2518 ที่อำเภอเมือง จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ในปีการศึกษา 2540 และเข้าศึกษาต่อในระดับมหาบัณฑิตที่ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อปี พ.ศ. 2543 ทำงานเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541 จนถึงปัจจุบัน



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย