

## การจัดตารางคุมสอบด้วยวิธีระบบอาณานิคมมด Ant Colony System for Exam Proctor Schedule

นิกร โภคอุดม<sup>1</sup>, สมหญิง โภคอุดม<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการจัดตารางคุมสอบของสถานศึกษาด้วยวิธีระบบอาณานิคมมด เพื่อลดภาระการจัดตารางของเจ้าหน้าที่ วิธีนี้กำหนดให้อาจารย์แต่ละท่านมีจำนวนการคุมสอบที่เท่ากันทั้งการคุมในคาบเวลางานปกติและนอกคาบเวลางาน ผลการทดลองพบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถนำไปใช้ในการจัดตารางคุมสอบของบุคลากรได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยให้ผลลัพธ์เป็นตารางคุมสอบที่มีจำนวนการคุมสอบในช่วงเวลาปกติและช่วงเวลาพิเศษที่เสมอภาคกัน และสามารถหลีกเลี่ยงการคุมสอบในวันหยุดและช่วงเวลาที่ติดภารกิจของบุคลากรได้

**คำสำคัญ:** ระบบอาณานิคมมด, จัดตารางคุมสอบ, ตารางเวลา

### Abstract

This research was aimed to present the methodology of Ant Colony System for exam proctor schedules used in educational institutes. The purpose of the study is to cut down time for organizing each staff's proctoring table. Every staff has equal of proctoring during normal and extra workload. It is also able to avoid exam proctoring on weekend and on the staff engaged duration. In the experiment, it was found that the staff's proctoring table derived from method of the Ant Colony System can be applied to arrange the lecturer's exam proctoring tables effectively. The result is the proctoring tables that have the numbers of exam proctoring on the normal and extra workload are equal. It is also able to avoid exam proctoring on weekend and on the staff engaged duration.

**Keywords:** ant colony system, exam proctor schedule, timetable.

<sup>1</sup>อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

## ความนำ

การดำเนินงานด้านการจัดการศึกษาของมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย มีสำนักบริการการศึกษา (สบก.) เป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่ให้บริการด้านงานทะเบียนและประมวลผลเพื่อสนับสนุนการผลิตบัณฑิต จึงมีภารกิจหลายอย่าง เช่น งานจัดตารางเรียนตารางสอน งานจัดตารางคุมสอบ งานลงทะเบียน งานจัดสอบ งานเอกสารสำคัญทางการศึกษา ฯลฯ โดยงานจัดตารางคุมสอบนั้นเป็นงานที่มีความซับซ้อนและมีความสำคัญมาก ซึ่ง สบก. จะต้องดำเนินการจัดตารางคุมสอบเพื่อกำหนดให้อาจารย์ในแต่ละคณะเข้าไปเป็นกรรมการประจำห้องสอบ เพื่อทำหน้าที่ควบคุมการสอบ และดูแลจัดการสอบให้เป็นไปด้วยความเรียบร้อย ในการนี้อาจารย์แต่ละท่านต้องรับภาระเป็นกรรมการควบคุมการสอบมากกว่า 1 ครั้ง ผู้วิจัยได้สำรวจข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับวิธีการจัดตารางควบคุมการสอบพบว่า เจ้าหน้าที่ที่ทำหน้าที่จัดตารางการสอบต้องพิจารณาข้อมูลและเงื่อนไขในการจัดหลายประการจึงต้องใช้เวลามากในการจัดตารางควบคุมการสอบแต่ละครั้ง

ผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ศึกษาปัญหาและออกแบบวิธีจัดตารางควบคุมการสอบของมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซียและพัฒนาเป็นโปรแกรมสำหรับนำเสนอเพื่อใช้จัดตารางควบคุมการสอบแบบอัตโนมัติ โดยนำวิธีการแก้ไขปัญหาคอมพิวเตอร์คือวิธีระบบอาณานิคมมดที่เรียกว่า Ant Colony System (ACS) มาใช้วิเคราะห์และออกแบบระบบในส่วนจัดตารางการควบคุมการสอบแบบอัตโนมัติพลที่ ทั้งนี้เพื่อช่วยให้การจัดตารางควบคุมการสอบเป็นไปด้วยความรวดเร็วและแก้ไขปัญหาดังกล่าวมาในข้างต้นได้

## วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อนำเสนอโปรแกรมจัดตารางควบคุมการสอบของมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซียแบบอัตโนมัติด้วยวิธีระบบอาณานิคม เพื่อให้ผลการจัดมีความถูกต้องตามเงื่อนไขที่กำหนดและช่วยลดเวลาการจัดของเจ้าหน้าที่เนื่องจากต้องพิจารณาเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับการจัดหลายเงื่อนไข

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีนักวิจัยหลายท่านศึกษาวิธีแก้ปัญหการจัดตารางเวลาในที่นี้ขอนำเสนอตั้งนี้ Cooper และ Kingston (1996) ได้พิสูจน์ไว้ว่าปัญหการจัดตาราง (timetabling problem) ประเภทต่างๆ จัดเป็นปัญหา NP บริบูรณ์ (NP-complete) ซึ่ง NP-complete คือ กลุ่มของปัญหาใด ๆ ที่ไม่สามารถหาอัลกอริธึมมาแก้ไขปัญหาได้ภายในเวลาพหุนาม (polynomial) เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่มากขึ้น เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบก็จะเพิ่มขึ้นมาก

Lewis(2008) จัดปัญหาการจัดตารางเวลาของมหาวิทยาลัย (university timetabling problems) เป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่เนื่องจากมีกลุ่มข้อมูลที่ต้องนำมาพิจารณาเป็นจำนวนมากเช่น จำนวนวิชาและบุคคลที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น โดยมีทรัพยากรที่จำกัด เช่น ช่วงเวลา จำนวนห้องและจำนวนที่นั่งภายในห้อง เป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวางว่าวิธีหนึ่งที่ใช้จัดการกับปัญหา NP-hard ได้ คือการใช้ขั้นตอนวิธีการประมาณ (approximation algorithms) แม้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จะไม่สามารถรับประกันได้ว่าคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาคือได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดแต่อย่างน้อยก็จะได้คำตอบที่ดีพอและเป็นที่ยอมรับได้วิธีเมตาฮิวริสติก (metaheuristic algorithm) เป็นวิธีการประมาณอีกแบบหนึ่งซึ่งนิยมนำมาใช้แก้ปัญหานี้และเป็นที่ยอมรับว่าคำตอบที่ได้จะมีคุณภาพดีเพียงพอและช่วยลดระยะเวลาในการคำนวณปัญหาที่มีขนาดใหญ่ ปัจจุบันมีผู้สนใจที่นำวิธีเมตาฮิวริสติกมาใช้ในสำหรับจัดตารางเวลามากขึ้น เช่น วิธีการจำลองการอบเหนียว (Simulated Annealing: SA), วิธีค้นหาทาบู (Tabu Search: TS), วิธีการทางพันธุศาสตร์ (Genetic Algorithm: GA) และวิธีการหาความเหมาะสมด้วยฝูงมด (Ant Colony Optimization: ACO)

Dorigo และ Birattari และ Stützle (2006) ได้กล่าวถึงวิธีการหาความเหมาะสมด้วยฝูงมด ที่เรียกว่า Ant Colony Optimization (ACO) เป็นวิธีที่เลียนแบบการค้นหากาอาหารของฝูงมด ซึ่งฝูงมดสามารถค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดไปยังแหล่งอาหารได้โดยใช้สารเคมีที่ชื่อว่า ฟีโรโมน

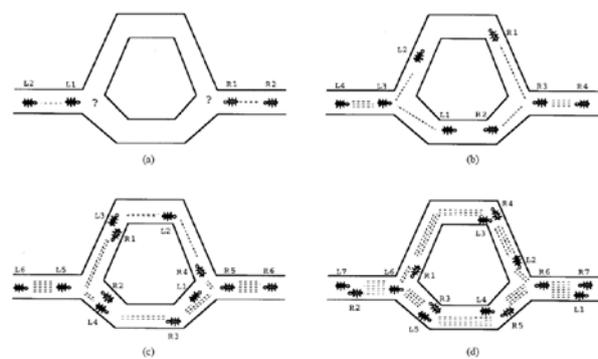
(pheromone) เป็นข้อมูลที่สำคัญในการค้นหาเส้นทางของมด และนำเสนอวิธี Ant System (AS), Max-Min Ant System (MMAS) และ Ant Colony System (ACS) เพื่อใช้อธิบายปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (traveling salesman problem)

ปัจจุบันมีตัวอย่างงานวิจัย นำวิธี ACO มาใช้แก้ปัญหาการหาค่าความเหมาะสมของระบบงานต่างๆ เกี่ยวกับการจัดตารางมีดังนี้ (1) งานวิจัยของ NajiAzimi Z (2004) นำเสนอการจัดตารางสอบ (Examination Timetabling) โดยใช้วิธีเมตาฮีริสติกซึ่งเปรียบเทียบผลการจัดระหว่างวิธี Simulated Annealing, Tabu Search, Genetic Algorithm และ Ant Colony System ผลการทดลองพบว่าการจัดตารางสอบด้วยวิธี ACS มีผลลัพธ์การจัดที่ดีกว่าอีก 3 วิธี (2) งานวิจัยของ Burke และ Kendall และ Silva และ O'Brien และ Soubeiga (2005) นำเสนอการใช้วิธีอัลกอริทึมมด (Ant Algorithm) มาใช้จัดตารางการนำเสนอโครงการ (3) งานวิจัยของ Ghoseiri และ Morshedsolouk (2006) นำเสนอการจัดตารางการเดินทางไฟด้วยวิธี Ant Colony System (4) งานวิจัยของ ธัชชัย และ กุพงษ์ (Lutuksin และ Pongcharoen (2010)) นำเสนอการจัดตารางเรียนโดยใช้วิธี Best-Worst Ant Colony System ซึ่งเป็นวิธีที่มีการปรับปรุงการคำนวณค่าฟีโรโมนของวิธี Ant Colony System ซึ่งงานวิจัยที่นำเสนอนี้ได้ออกแบบการทำงานในส่วนของ Ant Colony System ใหม่และปรับเปลี่ยนการคำนวณค่าจุดประสงค์ของระบบเพื่อใช้ในการปรับปรุงค่าฟีโรโมน เนื่องจากลักษณะของปัญหาการจัดตารางคุมสอบมีความแตกต่างจากปัญหาของงานวิจัย ที่กล่าวมาในข้างต้น

### ทฤษฎีระบบอาณานิคมมด

ระบบอาณานิคมมดเป็นวิธีการหาค่าความเหมาะสมของปัญหาที่มีพื้นฐานมาจากการค้นหาแหล่งอาหารของมด ซึ่งมดทุกตัวในระบบอาณานิคมได้ร่วมมือกันค้นหาแหล่งอาหารโดยใช้สารเคมีชนิดหนึ่งเรียกว่า ฟีโรโมน

(Pheromone) เพื่อหาเส้นทางจากรังไปยังแหล่งอาหาร โดยใช้ระยะทางที่สั้นที่สุดดังรูปที่ 1 (Dorigo และ Birattari และ Stützle (2006) ) เมื่อเดินผ่านเส้นทางมดจะปล่อยฟีโรโมนลงไปบนพื้นเพื่อเป็นข้อมูลให้มดตัวอื่นๆ เดินตามมดที่เดินตามหลังมาจะวางฟีโรโมนทับลงไปอีกทำให้ฟีโรโมนในเส้นทางนั้นมีค่ามากขึ้น เส้นทางที่สั้นจะมีจำนวนมดผ่านมากกว่าเส้นทางที่ยาวกว่า ดังนั้นเส้นทางที่สั้นกว่าย่อมมีปริมาณความเข้มข้นของฟีโรโมนมากกว่าเส้นทางที่ยาวกว่าเริ่มแรก ACS ถูกนำมาใช้แก้ไขปัญหาเกี่ยวกับการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem: TSP) ในการทำงานของ ACS กำหนดให้ค่าของฟีโรโมนตามเส้นทางเมื่อแต่ละเส้นทางถูกมดเลือกเดินจะมีการปรับปรุงค่าฟีโรโมนในระดับเฉพาะที่ (local pheromone update) เกิดขึ้นหลักสำคัญของการปรับปรุงฟีโรโมนในระดับเฉพาะที่คือลดระดับของฟีโรโมนบนด้านนั้นให้น้อยลงทำให้มดตัวอื่นมีโอกาสที่จะสำรวจไปยังเส้นทางอื่นที่ไม่เคยไปมาก่อนได้ และอาจพบเส้นทางที่ดีกว่าเดิมได้ และเมื่อ ACS ทำงานครบแต่ละรอบ (มดเลือกเดินทางครบทุกตัว) จะมีการปรับปรุงค่าฟีโรโมนในระดับครอบคลุมทั้งระบบ (global pheromone update) หนึ่งครั้ง ในแต่ละรอบของการทำงานโดยจะใช้ค่าการทำงานของมดตัวที่ดีที่สุดเป็นค่าในการปรับปรุงกระบวนการนี้ทำเฉพาะรอบการเดินทางที่สั้นที่สุดเท่านั้นจึงจะสามารถปรับปรุงปริมาณฟีโรโมนในระดับองค์รวมได้ ทำให้เส้นทางที่ดีที่สุดมีปริมาณมากขึ้นมากกว่าเส้นทางอื่นๆ และแสดงว่าเป็นเส้นทางที่ดีที่สุด ขณะนั้นด้วย



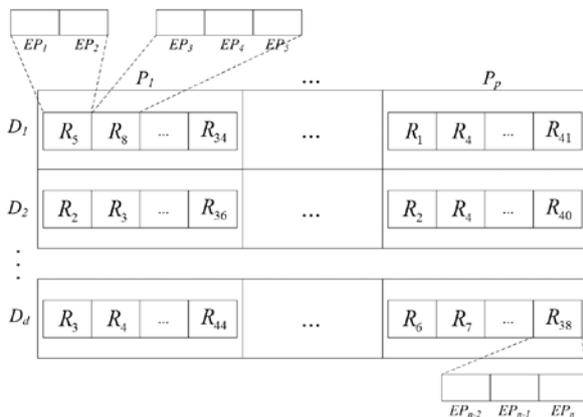
รูปที่ 1 ธรรมชาติการเดินทางของมดโดยใช้เส้นทางที่สั้น

## วิธีดำเนินงานวิจัย

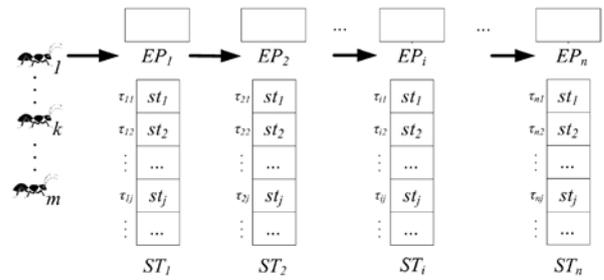
เนื่องจากงานวิจัยนี้มีลักษณะของปัญหาที่ต่างจาก TSP ดังนั้นการออกแบบการแก้ไขปัญหาคาดการจัดตารางด้วย ACS จึงมีรายละเอียดที่ต่างจากการนำ ACS ไปแก้ไขปัญหา TSP ดังนี้

### เงื่อนไขการจัดตารางคุมสอบ

- 1) อาจารย์แต่ละท่านมีคุมสอบไม่เกิน 1 ห้องต่อคาบเวลา
- 2) จัดตารางคุมสอบของอาจารย์ไม่ให้ตรงกับวันที่อาจารย์ติดภารกิจของอาจารย์ท่านนั้น ๆ
- 3) จัดตารางคุมสอบอาจารย์ให้ตรงตามนโยบายของมหาวิทยาลัยได้แก่
  - ไม่จัดให้อาจารย์คุมสอบวิชาที่อาจารย์สอน
  - อาจารย์คณะเดียวกันไม่คุมสอบห้องเดียวกัน (ยกเว้นการคุมสอบนอกคาบเวลาปกติ)
- 4) จัดตารางคุมสอบอาจารย์ให้ตรงค่าจุดประสงค์ของอาจารย์ได้แก่
  - การคุมสอบในแต่ละวัน สามารถจัดให้อาจารย์ไม่มีการคุมสอบติดกัน 3 คาบ
  - สามารถจัดให้อาจารย์ที่มีหน้าที่คุมสอบเฉพาะช่วงเวลาปกติมีจำนวนการคุมสอบช่วงเวลาปกติเท่า ๆ กัน
  - จัดให้อาจารย์ในคณะที่มหาวิทยาลัยกำหนดให้ทำหน้าที่คุมสอบนอกคาบเวลาปกติมีจำนวนการคุมสอบนอกคาบเวลาปกติเท่า ๆ กัน



รูปที่ 2 ปัญหาการจัดตารางคุมสอบ



รูปที่ 3 การเลือกอาจารย์ ( $st_i$ ) เป็นกรรมการประจำห้องสอบ ( $EP_i$ )

### นิยามตัวแปรของปัญหา

สำหรับปัญหาการจัดตารางคุมสอบของมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย จะกำหนดให้วันสอบในตารางการสอบของมหาวิทยาลัยแทนด้วยตัวแปร  $D$  ซึ่งแต่ละวันจะประกอบด้วยคาบคุมสอบแทนด้วย  $P$  โดยคาบคุมสอบแต่ละคาบจะมีห้องที่มีการสอบในคาบนั้นแทนห้องสอบด้วย  $R$  (ในแต่ละคาบอาจมีห้องสอบที่ใช้ไม่เท่ากัน) และในแต่ละห้องสอบจะมีอาจารย์ซึ่งเป็นผู้ทำหน้าที่คุมสอบ (จำนวนสองคนขึ้นไป) ได้ดังรูปที่ 2

ดังนั้นในตารางสอบจะมีกรรมการประจำห้องสอบทั้งหมด  $n$  คนแทนด้วยตัวแปร  $EP$  ซึ่งเป็นอาร์เรย์แบบ 1 มิติขนาด  $1 \times n$  โดยให้  $EP_i$  แทนกรรมการประจำห้องสอบคนที่  $i$  เช่น ตัวแปร  $EP_3$  ในรูปที่ 2 จะหมายถึงกรรมการประจำห้องสอบคนที่ 1 ของวันสอบที่ 1 ( $D_1$ ) คาบที่ 1 ( $P_1$ ) ของห้องสอบที่ 8 ( $R_8$ )

### เซตอาจารย์

การจัดกรรมการประจำห้องสอบคือการเลือกอาจารย์ให้กับ  $EP_i$  เพื่อทำหน้าที่เป็นกรรมการประจำห้องสอบ โดยเลือกจากกลุ่มอาจารย์  $ST_i$  ซึ่ง  $i$  หมายถึงลำดับของกลุ่มและ  $ST_i = \{st_{ij}\}$  ซึ่ง  $st_{ij}$  คืออาจารย์ลำดับที่  $j$  และ  $j = 1, 2, \dots, N_s$  ( $N_s$  คือจำนวนอาจารย์ทั้งหมด) อธิบายดังรูปที่ 3 หากคาบ  $P$  ใดที่เป็นคาบคุมสอบนอกเวลาปกติสมาชิกของของ  $ST_i$  คืออาจารย์  $st_{ij}$  ของคณะที่ถูกกำหนดให้รับผิดชอบคุมสอบเท่านั้น

การออกแบบในส่วนของระบบอานานิคมมด

ขณะที่มดตัวที่  $k$  เดินทางไปถึง  $EP_i$  มดจะเลือก  $st_j$  จากเซต  $ST_i$  มาหนึ่งค่า วิธีการเลือกเริ่มต้นจะสุ่มค่าที่อยู่ในช่วง  $[0,1]$  ให้กับตัวแปร  $q$  แล้วนำมาเปรียบเทียบกับตัวแปร  $q_0$  ซึ่ง  $q_0$  เป็นค่าที่กำหนดให้ ( $0 \leq q_0 \leq 1$ ) ถ้า  $q \leq q_0$  ดังนั้น  $j = \arg \max_{i \in NST_i^k} \{t_{ij}\}$  กรณีอื่นให้จะเลือก  $j$  โดยอาศัยความน่าจะเป็น  $p_j^k$  จากสมการ 1

$$p_{ij}^k = \begin{cases} \frac{t_{ij}}{\sum_{i \in NST_i^k} t_{il}} & \text{if } l \in NST_i^k, \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

ซึ่ง  $NST_i^k$  คือเซตของอาจารย์  $st_{ij}$  ซึ่งมดตัวที่  $k$  ยังไม่ได้เลือกเป็นกรรมการประจำห้องสอบในคาบนั้นๆ และยกเว้นอาจารย์ที่หยุดในวันนี้ อาจารย์ผู้สอนประจำวิชาที่มีสอบในห้องสอบและอาจารย์สังกัดคณะเดียวกับกรรมการประจำห้องสอบก่อนหน้านี้ในห้องสอบนั้น

#### การถอดรหัสข้อมูล

เมื่อมดตัวที่  $k$  เลือกอาจารย์ให้ทำหน้าที่เป็นกรรมการประจำห้องสอบครบทั้งหมดแล้ว (ดังรูปที่ 4) ก็จะถอดรหัสข้อมูลนั้นเป็นตารางคุมสอบของอาจารย์แต่ละท่านเพื่อนำมาใช้พิจารณาความเหมาะสมตามเงื่อนไข แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 5

#### ฟังก์ชันวัดค่าจุดประสงค์

หมายถึงการประเมินผลลัพธ์ของมดแต่ละตัว กำหนดให้ค่าความเหมาะสมของคำตอบของมดตัวที่  $k$  แทนด้วย  $Obj^k$  สมการคำนวณแสดงดังสมการที่ 2

$$Obj^k = \sum_{j=1}^{Ns} ObjSt_j^k \quad (2)$$

$$ObjSt_j^k = (OD_j \cdot h) + (OP_j \cdot l) \quad (3)$$

โดย  $ObjSt_j^k$  คือค่าจุดประสงค์ของตารางคุมสอบของอาจารย์ลำดับที่  $j$  ค่า  $ObjSt_j^k$  ที่มีค่าน้อยแสดงว่าผลลัพธ์การจัดมีประสิทธิภาพมากกว่า  $ObjSt_j^k$  มีค่ามาก ซึ่งการวัด

จะประเมินความเหมาะสมสองส่วนคือ

$st_5$	$st_{68}$	...	$st_{31}$	...	$st_7$
$EP_1$	$EP_2$	...	$EP_i$	...	$EP_n$

รูปที่ 4 ตัวอย่างผลการเลือกกรรมการประจำห้องสอบของมดตัวที่  $k$

วัน	คาบคุมสอบ		
	$P_1$	$P_2$	$P_3$
$D_1$	$R_5$		
$D_2$		$R_1$	$R_{31}$
$D_3$			
$D_4$	$R_7$		
$D_5$	$R_{28}$		
$D_6$			

รูปที่ 5 ตัวอย่างตารางคุมสอบของอาจารย์  $st_5$

#### ตารางที่ 1

การวัดค่าจุดประสงค์ของลักษณะการคุมสอบต่อวัน

กรณีที่	คาบคุมสอบ/วัน	$objD_d$
1	มีคุมสอบ 1 คาบ	0
2	มีคุมสอบ 2 คาบไม่ติดกัน	0.1
3	มีคุมสอบ 2 คาบติดกัน	0.3
4	มีคุมสอบ 3 คาบติดกัน	0.8

ส่วนที่ 1 ค่าจุดประสงค์ของการคุมสอบรายวัน (ทุกวัน) แทนด้วย  $OD_j$  (สมการที่ 4)

ส่วนที่ 2 ค่าจุดประสงค์ของจำนวนการคุมสอบในคาบเวลาปกติและนอกเวลาปกติแทนด้วย  $OP_j$  ซึ่ง  $Ns$  คือจำนวนอาจารย์ทั้งหมดส่วน  $h$  และ  $l$  คือค่าไบแอสของค่า  $OD_j$  และ  $OP_j$  ตามลำดับ

$$OD_j = \sum_{d=1}^{numDay} objD_d ; d=1,2,\dots,numDay \quad (4)$$

ซึ่ง  $numDay$  คือจำนวนของวันสอบทั้งหมด และค่าจุดประสงค์ของ  $objD_d$  พิจารณาจากลักษณะการคุมสอบ

ต่อวันในแต่ละวันของอาจารย์ตามเงื่อนไข แสดงดังตารางที่ 1

วิธีการคำนวณค่าจุดประสงค์ของจำนวนการคุมสอบในคาบเวลาปกติและนอกเวลาปกติ ( $OP_j$ ) ของอาจารย์ลำดับที่  $j$  คำนวณได้จากสมการที่ 5

$$OP_j = opWh_j + opExh_j \quad (5)$$

โดย  $opWh_j$  คือค่าจุดประสงค์ของจำนวนคาบคุมสอบปกติ และ  $opExh_j$  คือค่าจุดประสงค์ของจำนวนคาบนอกเวลาปกติซึ่ง

$$opWh_j = \begin{cases} 0 & \text{if } pN_j = 0, \\ 2^{pN_j / AvgN} & \text{if } pN_j > 0 \text{ and } pN_j \leq (AvgN + 1), \\ 3^{pN_j / AvgN} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

และ

$$opExh_j = \begin{cases} 0 & \text{if } pS_j = 0, \\ 2^{pS_j / AvgS} & \text{if } pS_j > 0 \text{ and } pS_j \leq (AvgS + 1), \\ 3^{pS_j / AvgS} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

โดย  $pN_j$  คือจำนวนคาบคุมสอบในช่วงคาบเวลาปกติทั้งหมดและ  $pS_j$  คือจำนวนคาบคุมสอบในช่วงนอกคาบเวลาปกติ ของอาจารย์คนที่  $j$  ตัวแปร  $AvgN$  คือค่าเฉลี่ยของจำนวนคาบคุมสอบในช่วงคาบเวลาปกติที่อาจารย์ควรมีคุมเท่า ๆ กัน และ  $AvgS$  คือค่าเฉลี่ยของจำนวนคาบคุมสอบในช่วงนอกคาบเวลาปกติที่อาจารย์ควรมีคุมเท่า ๆ กัน แสดงการคำนวณดังสมการที่ 8 และ 9

$$AvgN = pNAll / Ns \quad (8)$$

$$AvgS = pSAll / Ns \quad (9)$$

ขณะที่  $pNAll$  และ  $pSAll$  คือจำนวนกรรมการประจำห้องสอบที่ต้องใช้ทั้งหมดในช่วงคาบเวลาปกติและ  $pSAll$  คือจำนวนกรรมการประจำห้องสอบที่ต้องใช้ทั้งหมดในช่วงนอกคาบเวลาปกติ

การปรับปรุงค่าฟิโรโมนแบบเฉพาะบริเวณ เมื่อมดตัวที่  $k$  เมื่อเลือกอาจารย์  $st_j$  จาก  $ST_i$

จะต้องปรับปรุงค่าฟิโรโมน  $t_j$  ในตำแหน่งที่เลือกมาด้วยสมการที่ 10

$$t_j = (1 - \rho_j) t_j + \rho_j \cdot t_0 \quad (10)$$

การปรับปรุงค่าฟิโรโมนแบบครอบคลุมทั้งระบบ

การปรับปรุงค่าฟิโรโมนนี้จะปรับปรุงเฉพาะฟิโรโมนบนตำแหน่ง  $i, j$  ของมดตัวที่มีผลลัพธ์การจัดที่ดีที่สุด (มีค่า  $Obj^k$  น้อยที่สุด) การคำนวณดังสมการที่ 11

$$t_{ij} = \begin{cases} (1 - \rho) t_{ij} + \rho \cdot t_{ij} & \text{if } (i) \text{ belongs to } Obj_{best} \\ t_{ij} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

และ

$$\rho t_{ij} = 1 / Obj_{best} \quad (12)$$

โดย  $Dt_{ij}$  คือปริมาณของฟิโรโมนที่วางเพิ่มและ  $Obj_{best}$  คือค่าจุดประสงค์ของมดที่มีผลลัพธ์การจัดที่ดีที่สุด

### ข้อมูลทดลอง

ข้อมูลที่ใช้ทดลองเป็นข้อมูลการจากการจัดการคุมสอบของมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซียภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2550 รายละเอียดข้อมูลมีดังต่อไปนี้

- 1) ตารางสอบมีวันคุมสอบ จำนวน 14 วัน (จันทร์-อาทิตย์)
- 2) คาบคุมสอบต่อวัน มีจำนวน 3 คาบ (ดังนั้นจึงมีคาบคุมสอบเท่ากับ 42 คาบ (14 วัน  $\times$  3 คาบ/วัน) โดยคาบเวลาปกติ หมายถึง คาบที่ 1 และ 2 ของวันจันทร์ ถึง วันศุกร์ และคาบนอกเวลาปกติ หมายถึง คาบที่ 3 ของวันจันทร์ ถึง วันศุกร์ และคาบสอบของวันเสาร์และอาทิตย์
- 3) ต้องใช้ห้องสอบเพื่อใช้สำหรับสอบในแต่ละคาบรวมกันทุกคาบ (42 คาบ) จำนวน 261 ห้อง
- 4) อาจารย์มีจำนวน 244 คน
- 5) กรรมการประจำห้องสอบที่ต้องใช้มีจำนวน 534 คน แบ่งเป็นจำนวนที่ใช้ในการคุมสอบช่วงคาบเวลาปกติ

502 คน และจำนวนที่ใช้ในการคุมสอบช่วงเวลาพิเศษ 32 คน

6) คณะที่กำหนดให้ทำหน้าที่คุมสอบนอกคาบเวลาปกติมี 2 คณะ มีเป็นอาจารย์รวมจำนวน 32 คน

กำหนดให้  $h$  และ  $l$  มีค่าเท่ากับ 1.25 และ 0.5 ตามลำดับ ในส่วนของวิธี ACS กำหนดให้ทำงานทั้งหมด 5000 รอบ ค่าพารามิเตอร์  $q_0, j$  และ  $r$  เท่ากับ 0.9, 0.1 และ 0.1 ตามลำดับ

### การทดลอง

เนื่องจากจำนวนมดจะมีผลต่อประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้หากจำนวนมดน้อยเกินไปความหลากหลายของคำตอบที่ได้จะมีน้อย แต่หากจำนวนมดมีมากเกินไปจะมีผลกระทบต่อทางเลือกตัวเลือกคือมดแต่ละตัวโดยส่วนมากจะมีโอกาสที่เลือกตัวเลือกที่มีค่าฟิโรโมนสูงมากกว่า ทำให้ตัวเลือกทั้งหมดของมดใกล้เคียงคำตอบเดิมที่ดีจากรอบการทำงานที่ผ่านมาจากนั้นก็ปรับให้ค่าฟิโรโมนของตัวเลือกนั้นมีค่าลดลงไปตั้งสมการที่ 10 ดังนั้นหากมีจำนวนมดมาก ฟิโรโมนของตัวเลือกที่มีค่าฟิโรโมนสูงจะถูกปรับลดลงมาทำให้มดตัวท้าย ๆ ของฝูง ได้ตัวเลือกทั้งหมดไม่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีจากรอบการทำงานที่ผ่านมาและใช้เวลาประมวลผลก็จะนานมากขึ้น

ดังนั้นการทดลองจะทดลองเพื่อหาจำนวนมดที่เหมาะสมโดยใช้จำนวนมดทดลองอยู่ในช่วง 30 ถึง 100 ตัว ผลการทดลองในตารางที่ 2 พบว่าการทำงานที่มีผลการจัดที่ดีที่สุด 3 อันดับแรกคือมดจำนวน 40, 60 และ 70 ตัว

จากนั้นทดลองการทำงานโดยใช้มดจำนวน 40, 60 และ 70 ตัว อย่างละ 10 ครั้ง เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์การทำงานที่ดีที่สุด ผลการทดลองในตารางที่ 3 พบว่าการทำงานที่ใช้มด จำนวน 40 ตัว ให้ค่าเฉลี่ยของค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุด (มีค่าน้อยที่สุด)

โดยตาราง 4-6 แสดงผลการจัดตารางจากการเลือกใช้มดจำนวน 40 ตัว และรูป 6 แสดงผลการหาคำตอบที่เหมาะสมจากการทำงานของวิธีที่นำเสนอจำนวน 5000 รอบ พบว่าค่าจุดประสงค์จะมีค่าที่ดีมากขึ้นเรื่อยๆ โดยดูได้

จากค่าจุดประสงค์มีค่าลดลงในทุกรอบของการทำงาน

### ตารางที่ 2

จำนวนมดที่มีค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุด

Testing No.	$m$	Objective value		
		$OD_j \square h$	$OP_j \square l$	$ObjSt_j^k$
1	30	33.75	125.00	158.75
2	40	<b>32.50</b>	<b>96.50</b>	<b>129.00</b>
3	50	33.75	133.50	167.25
4	60	<b>33.75</b>	<b>118.50</b>	<b>152.25</b>
5	70	<b>36.25</b>	<b>114.50</b>	<b>150.75</b>
6	80	32.50	120.00	152.50
7	90	33.75	131.50	165.25
8	100	33.75	130.00	163.75

### ตารางที่ 3

จำนวนมดที่มีค่าจุดประสงค์เฉลี่ยที่ดีที่สุด

$m$	Objective value ( $ObjSt_j^k$ )			
	Min	Max	Average	Std
40	<b>128.50</b>	<b>151.00</b>	<b>138.15</b>	<b>7.82</b>
60	136.00	208.25	156.28	21.52
70	128.00	165.75	149.38	10.63

### ตารางที่ 4

สรุปจำนวนการคุมสอบคาบเวลาปกติ

จำนวนที่ได้คุมสอบ (ครั้ง)	จำนวนอาจารย์	ร้อยละอาจารย์	จำนวนกรรมการประจำห้องสอบ
1	10	4.10	10
2	210	86.07	420
3	24	9.84	72
4	0	0.00	0
<b>ผลรวม</b>	<b>244</b>	<b>100.00</b>	<b>502</b>

## ตารางที่ 5

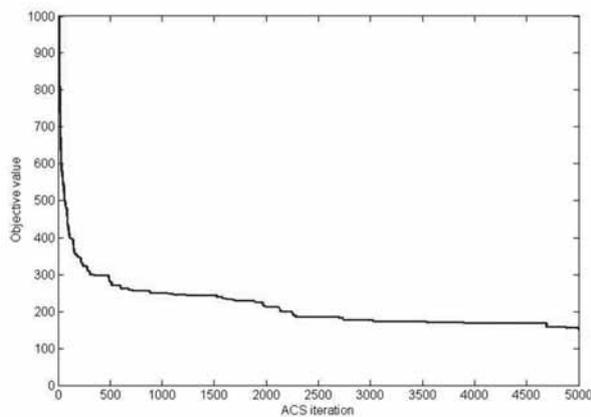
สรุปจำนวนการคุมสอบนอกคาบเวลาปกติ

จำนวนที่ได้คุมสอบ (ครั้ง)	จำนวนอาจารย์	ร้อยละอาจารย์	จำนวนกรรมการประจำห้องสอบ
1	32	100	32
2	-	-	-
ผลรวม	32	100	32

## ตารางที่ 6

สรุปจำนวนลักษณะการคุมสอบต่อวัน

ลักษณะการคุมสอบ / วัน	จำนวนคาบ	
	กรณี	จำนวนคุมสอบ
1. มีคุมสอบ 1 คาบ	496	496
2. มีคุมสอบ 2 คาบไม่ติดกัน	10	20
3. มีคุมสอบ 2 คาบติดกัน	9	18
4. มีคุมสอบ 3 คาบติดกัน	-	-
	รวม	534



รูปที่ 6 ตัวอย่างผลการจัดตารางด้วย ACS ในแต่ละรอบ

## สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองพบว่าวิธี ACS สามารถนำมาใช้จัดตารางคุมสอบแบบอัตโนมัติได้ โดยผลลัพธ์การจัดตารางที่ได้มีประสิทธิภาพดีขึ้นเรื่อยๆ ดังรูป 6 และวิธี ACS สามารถจัดให้อาจารย์ส่วนใหญ่ (ร้อยละ 86.07) มีการคุมสอบคาบเวลาปกติจำนวน 2 ครั้ง และอาจารย์อีก 32 คน ในขณะที่ระบุให้ทำหน้าที่คุมสอบนอกคาบเวลาปกติ ได้คุมสอบคนละ 1 ครั้งเท่านั้นทั้งหมดดังตาราง 4 และ 5 ส่วนการจัดตามการเงื่อนไขค่าจุดประสงค์ของลักษณะการคุมสอบต่อวันในตาราง 1 ผลการจัดในตาราง 6 แสดงให้เห็นว่าส่วนใหญ่จัดให้อาจารย์ได้คุมสอบ 1 คาบต่อวัน เป็นไปตามการตั้งค่าจุดประสงค์ ดังนั้นสรุปได้ว่าการนำวิธี ACS สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานจัดตารางคุมสอบได้จริง ซึ่งประสิทธิภาพของการจัดที่สำคัญขึ้นอยู่กับ การกำหนดวิธีวัดค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ตามเงื่อนไขหรือข้อกำหนดของการจัดตารางคุมสอบ

## เอกสารอ้างอิง

- Azimi, Z. (2004). Comparison of metaheuristic algorithms for examination timetabling problem. *Journal of Applied Mathematics and Computing*, 16(1), 337-354.
- Burke, E. K., Kendall, G., Silva, D. L., O'Brien, R., & Soubeiga, E. (2005). *An ant algorithm hyperheuristic for the project presentation scheduling problem*. Paper presented at the Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation 2005 (CEC'05).
- Cooper, T., & Kingston, J. (1996). The complexity of timetable construction problems. *Practice and theory of Automated timetabling* (Vol. 1153, pp. 281-295): Springer Berlin / Heidelberg.
- Dorigo, M., Birattari, M., & Stützle, T. (2006). Ant colony optimization. *Computational Intelligence Magazine, IEEE*, 1(4), 28-39.
- Dorigo, M., & Gambardella, L. M. (1997). Ant colony system: A cooperative learning approach to the traveling salesman problem. *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on* 1(1), 53-66.
- Ghoseiri, K., & Morshedsolouk, F. (2006). ACS-TS: Train scheduling using ant colony system. *Journal of Applied Mathematics and Decision Sciences*, 2006, 1-29.
- Lewis, R. (2006). *Metaheuristics for University Course Timetabling*. PhD thesis, Napier Edinburgh Scotland.
- Lewis, R. (2008). A survey of metaheuristic-based techniques for university Timetabling problems. *OR Spectrum*, 30(1), 167-190.
- Lutuksin, T., & Pongcharoen, P. (2010). *Best-worst ant colony system parameter investigation by using experimental design and analysis for course timetabling problem*. Paper presented at the Proceedings of the 2010 Second International Conference on Computer and Network Technology.