

การประยุกต์ใช้จีเนติกอัลกอริทึมจัดตารางสอนของโรงเรียน

APPLYING GENETIC ALGORITHM FOR SCHEDULING SCHOOL TIMETABLE

กิตติ ไพฑูรย์วัฒนกิจ และ กาญจน์ วงศ์วิภาพร
Kitti Phitoonwatanakit and Kanjanee Vongvipaporn

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
Department of Electronics, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอวิธีการประยุกต์ จีเนติกอัลกอริทึม ซึ่งเป็นทฤษฎีที่จำลองกระบวนการวิวัฒนาการทางธรรมชาติ ใช้อัลกอริทึมช่วยจัดตารางสอนของโรงเรียน โดยสร้างโครโมโซมตารางสอนที่มีรูปแบบจากการพิจารณาความสัมพันธ์ของการจัดการแผนการเรียน ชั้นเรียน วิชา และครูที่จัดสอนของโรงเรียนและวิเคราะห์ค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซมจากฟังก์ชันเป้าหมายที่กำหนดตามขอบเขตเงื่อนไขการจัดตารางสอนที่ต้องการ เช่น ตรวจสอบจำนวนวิชาเรียนในแต่ละคาบเรียนของแต่ละชั้นเรียน หรือตรวจสอบจำนวนวิชาที่สอนในแต่ละคาบเรียนของครูแต่ละคน เป็นต้น เพื่อคัดเลือกเป็นต้นแบบและดำเนินการตามกระบวนการทางพันธุศาสตร์ของจีเนติกอัลกอริทึม โดยการครอสโอเวอร์และมิวเตชัน ซึ่งจะทำให้เกิดรูปแบบตารางสอนตามข้อกำหนดที่ต้องการ

บทนำ

เนื่องจากการจัดตารางสอนเป็นหน้าที่ของผู้บริหารหรือฝ่ายวิชาการของโรงเรียน และการบริหารงานวิชาการจะบรรลุผลสำเร็จมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับการจัดตารางสอนด้วย การจัดตารางสอนนั้นเป็นงานที่จะต้องทำในแต่ละภาคเรียนที่ต้องใช้เวลา ความพยายามและความพิถีพิถันพอสมควร เพราะเมื่อปฏิบัติงานจริงๆ แล้วจะมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น แต่ละคาบเรียนครูแต่ละคนจะต้องถูกจัดสอนเพียงวิชาเดียว เป็นต้น

เงื่อนไขต่างๆ เหล่านี้จะต้องพิจารณาตรวจสอบตลอดเวลาการจัดตารางสอน ดังนั้นหากสามารถประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ ซึ่งปัจจุบันนี้เป็นปัจจัยหลักของการทำงานในแต่ละองค์กร เข้ามาช่วยงานจัดตารางสอนแบบอัตโนมัติคือ ให้คอมพิวเตอร์ดำเนินการสร้างตารางสอนรูปแบบต่างๆ พร้อมกับตรวจสอบเงื่อนไขตามข้อกำหนดที่ระบุ และปรับปรุงแก้ไขข้อผิดพลาดต่างๆ โดยอัตโนมัติแล้วจะทำให้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของบุคลากร พร้อมทั้งจะทำให้การบริหาร

งานวิชาการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งทฤษฎีจินตออลกอริทึม เป็นทฤษฎีที่จำลองกระบวนการวิวัฒนาการทางธรรมชาติ คือ การคัดเลือกทางธรรมชาติ (Natural Selection) และอาศัยพื้นฐานความคิดทางพันธุกรรม (Genetic Operation) ในการถ่ายทอดลักษณะต่างๆ ไปยังลูกหลาน ที่สามารถนำมาพัฒนาใช้หาคำตอบที่ใกล้เคียงหรือดีที่สุดของปัญหา โดยจินตออลกอริทึมเป็นวิธีการหาคำตอบจากการพิจารณากลุ่มคำตอบของปัญหาที่ถูกสร้างขึ้น โดยการแปลงค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ต่างๆ ของปัญหาให้อยู่ในรูปโครงสร้างของโครโมโซมตามที่กำหนด ในทำนองเดียวกันการประยุกต์ใช้จินตออลกอริทึมในการจัดตารางสอน โดยสร้างกลุ่มรูปแบบตารางสอนจากการแปลงค่าตัวแปรต่างๆ คือ ครูชั้นเรียน คาบเรียน หรือ วิชาที่จัดสอน เป็นต้น ให้อยู่ในรูปโครงสร้างโครโมโซมตารางสอน เพื่อคัดเลือกโดยวิเคราะห์ค่าความเหมาะสมจากการตรวจสอบตามเงื่อนไข ข้อกำหนดในการจัดตารางสอน และอาศัยกระบวนการทางพันธุศาสตร์ ปรับปรุงรูปแบบของตารางสอนให้ดีขึ้นด้วยการแลกเปลี่ยนส่วนหรือสลับค่าตัวแปรต่างๆ ของโครโมโซมตารางสอนที่ถูกคัดเลือก ซึ่งจะทำให้เกิดวิวัฒนาการคำตอบรูปแบบตารางสอนที่ดีขึ้น

ทฤษฎีจินตออลกอริทึม

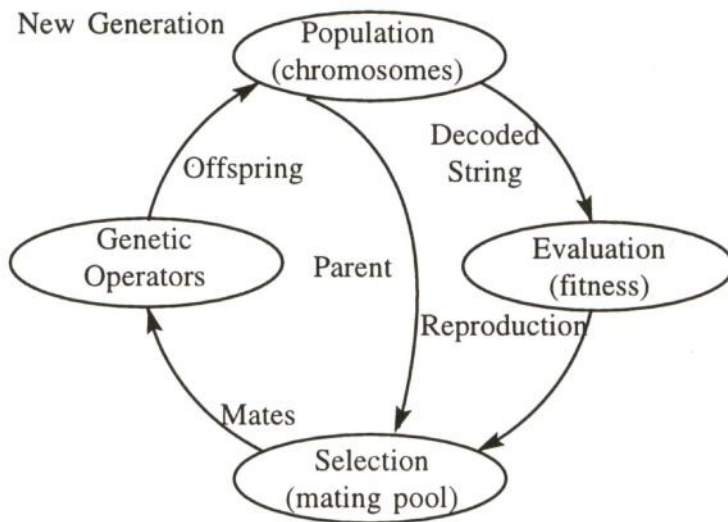
จินตออลกอริทึม (Genetic Algorithms : GA) เป็นทฤษฎีที่เลียนแบบกระบวนการทางธรรมชาติ โดยปรับมาใช้งานกับคอมพิวเตอร์ช่วยแก้ปัญหาที่ยากต่างๆ เพื่อหาคำตอบที่ใกล้เคียงหรือดีที่สุดของปัญหา [1-2] ซึ่งการประยุกต์ใช้ GA ในการแก้ปัญหาต่างๆ นั้นจะต้องปรับรูปแบบที่แสดงความหมายของปัญหาเพื่อสร้างความเข้าใจให้กับ GA ในการค้นหาคำตอบ [3-4] อันประกอบด้วย

(1) รูปแบบโครโมโซม จุดเริ่มต้นของการ

จำลองแบบทางธรรมชาติของ GA เพื่อใช้แก้ปัญหาเริ่มจากการมองปัญหาเทียบกับโครโมโซมชนิดหนึ่ง ที่ประกอบด้วยตัวแปร พารามิเตอร์ เงื่อนไขหรือข้อกำหนดต่างๆ ซึ่งเทียบเท่ากับยีนส์หรือลักษณะต่างๆ ดังนั้นวิธีการกำหนดรูปแบบโครโมโซมของปัญหานั้นๆ โดยการแปลงตัวแปร พารามิเตอร์ เงื่อนไข หรือข้อกำหนดต่างๆ ให้อยู่ในรูปโครโมโซมอันประกอบด้วยบิตหรือยีนส์ต่างๆ และค่าของบิตแต่ละตำแหน่งที่เป็นไปได้ คือ ค่าตัวแปร พารามิเตอร์ต่างๆ ที่เป็นไปได้ ซึ่งรูปแบบของโครโมโซมหนึ่งๆ จะแสดงถึงค่าของตัวแปรพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เป็นไปได้ชุดหนึ่งๆ

(2) ฟังก์ชันเป้าหมายกับฟังก์ชันความเหมาะสม เนื่องจากการแก้ปัญหาต่างๆ นั้นจะพิจารณาจากฟังก์ชันเป้าหมาย (Object Function : f) ของปัญหานั้นๆ เป็นฟังก์ชันที่แสดงความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรหรือ พารามิเตอร์ ซึ่งจะระบุคำตอบใดคำตอบหนึ่งของปัญหาที่สามารถเป็นไปได้ ณ ค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ชุดดังกล่าว สำหรับฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function : F) นั้นเป็นฟังก์ชันที่กำหนดค่าความเหมาะสม (fitness) แต่ละโครโมโซมของ GA เปรียบเสมือนค่าความสามารถในการอยู่รอดของแต่ละโครโมโซม และเป็นฟังก์ชันที่กำหนดโอกาส ที่แต่ละโครโมโซมจะถูกคัดเลือกเป็นต้นแบบมากขึ้นเพียงใด นั่นคือฟังก์ชันความเหมาะสมจะเป็นฟังก์ชันที่แสดงค่าคำตอบ ที่เกิดขึ้นจากชุดตัวแปรของปัญหาของโครโมโซมนั้นเหมาะสมเพียงใด โดยทั่วไปแล้วเรามักใช้ฟังก์ชันเป้าหมายเป็นฟังก์ชันความเหมาะสม หรืออาจใช้ฟังก์ชันเป้าหมายที่ถูกปรับให้เหมาะสมกับการหาคำตอบของ GA เป็นฟังก์ชันความเหมาะสม

ขั้นตอนการประมวลผลหาคำตอบของปัญหาของ GA โดยสร้างวิวัฒนาการกลุ่มคำตอบของปัญหาให้ดีขึ้นตามวัฏจักร GA รูปที่ 1-a ซึ่งสรุปเป็นกระบวนการทำงานดังรูปที่ 1-b รายละเอียดมีดังนี้ [3]



(a) วัฏจักร GA

```

procedure Ga;
begin
  t:=0;
  Initialize (P(t));
  Evaluate (P(t));
  while termination condition not
    satisfied do
    begin
      t:=t+1;
      Select(P(t));
      Recombine(P(t));
      Evaluate(P(t));
    end;
  end;
end;
  
```

(b) กระบวนการทำงาน GA

รูปที่ 1 จีเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms : GA)

(1) สร้างประชากรโครโมโซมรุ่นเก่า ซึ่งประชากรต้นกำเนิดเกิดจากการสร้างชุดโครโมโซมเริ่มต้น โดยการสุ่มสร้างค่าแต่ละบิตของแต่ละโครโมโซม

(2) วิเคราะห์ค่าความเหมาะสมแต่ละโครโมโซม โดยหาค่าตัวแปร พารามิเตอร์ต่างๆ ของโครโมโซม และคำนวณค่าความเหมาะสมจากฟังก์ชันความเหมาะสมที่กำหนด

(3) สร้าง Mating Pool คือชุดโครโมโซมต้นแบบหรือชุดโครโมโซมพ่อ-แม่ที่สามารถอยู่รอดเป็นต้นแบบซึ่งอาศัยการจำลองการคัดเลือกทางธรรมชาติ โดยพิจารณาจากค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม หากมีค่าความเหมาะสมมากก็จะมีโอกาสถูกเลือกเป็นต้นแบบมาก และขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความเหมาะสมเพื่อสร้าง Mating Pool รวมเรียกว่า รีโพรดักชัน (Reproduction)

(4) สุ่มจับคู่โครโมโซมต้นแบบดำเนินการทางพันธุศาสตร์ เพื่อสร้างประชากรโครโมโซมรุ่นใหม่ เช่น ครอสโอเวอร์ โดยการแลกเปลี่ยนค่าบิตบางส่วน of โครโมโซมซึ่งกันและกัน หรือ มิวเตชันโดยสุ่มเปลี่ยนค่าบิตบางบิตของแต่ละโครโมโซม เป็นต้น ซึ่งวิธีและอัตราการครอสโอเวอร์ (Pc) และมิวเตชัน (Pm) นั้น

ขึ้นอยู่กับแต่ละปัญหา

การจัดตารางสอนของโรงเรียน

ตารางสอนหรือตารางเรียน คือตารางกำหนดการนัดหมายระหว่างครูกับนักเรียน หรือตารางกำหนดวัน เวลา วิชา และกลุ่มผู้เรียน โดยละเอียดประจำวัน เพื่อกำหนดกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวกับการเรียนการสอน ในระยะหนึ่งสัปดาห์ โดยกิจกรรมที่กำหนดนั้นจะสัมพันธ์กับเวลา หลักสูตร และหลักการพัฒนาผู้เรียน การจัดตารางสอนมีวิธีการจัดได้หลายวิธีคือ ตารางสอนแบบแท่ง (Block Method) หรือตารางสอนวันเดียว (One-Way Schedule) คือตารางสอนที่กำหนดให้วิชาต่างๆ ที่สอนตรงกันทุกวัน จัดวิชาตายตัวอย่างเช่น ภาษาไทย เวลา 09.00-10.00 น. วันจันทร์ พุธ ศุกร์ ตารางสอนแบบสลับเลื่อน (Staggers Schedule) คือตารางสอนที่จัดวิชาลงในแนวเฉียง เพื่อให้เวลาแต่ละคาบหมุนเวียนตัวกัน เช่น ภาษาไทย วันจันทร์ เวลา 09.00-10.00 น. วันอังคาร เวลา 10.00-11.00 น. วันพุธ เวลา 11.00-12.00 น. ตารางสอนแบบปรับช่วงเวลา (Method Schedule) หรือตารางสอนแบบยืดหยุ่น (Flexible Schedule) คือ การจัด

ตารางสอนโดยใช้หน่วยเวลาแต่ละคาบไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับลักษณะวิชา เหมาะสำหรับการจัดเวลาเรียนของแต่ละคาบวิชาที่มีเวลาเรียนไม่เท่ากัน และตารางสอนแบบตัดปะ (Mosaic Schedule) คือการจัดตารางสอนที่ไม่ได้กำหนดแน่นอนว่าวิชาใดจะต้องอยู่ในคาบใดวันใด แต่จัดตามความจำเป็นและความเหมาะสม คือจัดไม่เป็นระเบียบ วิชาต่างๆ จัดไม่ตายตัว เช่น คณิตศาสตร์ วันจันทร์ 08.00-09.00 น. แต่วันพุธเป็นเวลา 10.00-11.00 น. เป็นต้น โดยทั่วไปนิยมใช้กระดาศีต่างๆ ตัดเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมแทนรายวิชาในหมวดต่างๆ สำหรับเสียบในช่องตารางที่ทำไว้ นิยมใช้การจัดแบบนี้มาก แต่ละวิธีมีทั้งส่วนดีและส่วนเสีย ดังนั้นขึ้นอยู่กับผู้จัดตารางสอนว่าจะเลือกใช้วิธีการใดจึงจะสะดวก ประหยัดและเหมาะสมกับโรงเรียนของตนมากที่สุด

ตารางสอนที่โรงเรียนนิยมจัดในปัจจุบันมีรูปแบบสำคัญอยู่ 2 แบบ คือ ตารางสอนที่จัดให้นักเรียนเป็นชั้นเรียน หรือ เป็นแผนการเรียน นักเรียนในกลุ่มหนึ่งๆ เป็นนักเรียนที่เรียนวิชาเหมือนกันหมด โดยที่แผนการเรียนหรือวิชาเลือกเหมือนกัน ตารางสอนแบบนี้จะไม่ยุ่งยากซับซ้อน กล่าวคือ จัดได้เช่นเดียวกับตารางสอนของชั้นเรียน อาจจะจัดวิชาไว้เป็นกำหนดวันเวลาตายตัวแบบเป็นแท่ง และตารางสอนที่จัดตามวิชาเลือกของนักเรียน แม้เลือกแผนการเรียนแล้วนักเรียนเรียนวิชาเลือกต่างๆ กันมากมาย ดังนั้นในห้องเรียนหนึ่งๆ นั้นจะมีนักเรียนที่เลือกเรียนวิชาเรียน หรือเลือกแผนการเรียนต่างๆ ซึ่งตารางสอนแบบนี้เป็นแบบที่ยุ่งยากซับซ้อน วิชาบังคับนักเรียนทุกคนในแต่ละห้องมีตารางเรียนเหมือนกันหมด แต่ในวิชาเลือกซึ่งเลือกต่างกันจะแยกกันไปเรียน ตารางสอนแบบนี้จะกำหนดเวลาสำหรับวิชาเลือกตายตัว

วัสดุอุปกรณ์ในการจัดตารางสอน

ในการจัดตารางสอนแต่ละครั้งสิ่งที่ควรคำนึงถึงประกอบด้วย कैาโครงสร้างหลักสูตร การแบ่งหมวดวิชา

วิชาบังคับ วิชาเลือก วิชาเลือกเสรี การจัดแบ่งเวลาประจำวัน ได้แก่ เวลาเริ่มเข้าเรียน เวลาพักเลิกเรียน ระยะเวลาหรือคาบชั่วโมงในการสอน แบ่งเป็นกี่คาบคาบละกี่นาที ในหนึ่งวัน ควรกำหนดให้เหมาะกับหลักสูตร เพื่อสะดวกในการจัดตารางสอน การจัดเตรียมข้อมูลที่จะใช้ในการจัดตารางสอนควรรวบรวมให้เป็นหมวดหมู่ตามลำดับ คือ ข้อมูลเกี่ยวกับครู รายละเอียดจำนวนคาบการจัดครูสอนแต่ละวิชา และข้อมูลเกี่ยวกับชั้นเรียน จำนวนกลุ่ม แต่ละรายวิชา ประกอบด้วย จำนวนชั้นเรียน จำนวนรายวิชาที่เปิดสอนทั้งหมดทั้งวิชาบังคับและวิชาเลือก จำนวนชั้นเรียนที่เลือกเรียนแต่ละวิชาเลือก นอกจากนี้เงื่อนไขต่างๆ ของแต่ละรายวิชา การจัดคาบเรียน ต้องตกลงในข้อกำหนดว่าวิชาใดที่ต้องการคาบเดี่ยว คาบคู่ หรือสามคาบติดกัน ซึ่งควรกำหนดไว้ชัดเจน เป็นต้น

วิธีการจัดตารางสอน

หลักทั่วไปในการจัดตารางสอนประกอบด้วย การบรรจุวิชาเรียนให้ครบตามหลักสูตร [6] เพื่อให้ นักเรียนได้ลงทะเบียนเรียนได้ตามหลักสูตร การบรรจุเวลาเรียนให้ครบที่กำหนดไว้ในมาตรฐานหลักสูตร ในรอบสัปดาห์ต้องจัดให้มีเรียนเท่าที่กำหนดในหลักสูตร คือสัปดาห์ละ 30-40 คาบ ขึ้นอยู่กับการจัดแผนการเรียนของแต่ละโรงเรียน และควรจัดจำนวนคาบหรือเวลาเรียนตอนเช้าให้มากกว่าตอนบ่าย การจัดวิชาในแต่ละคาบ แต่ละวัน ต้องสัมพันธ์กับเวลาของผู้สอน โดยไม่มีการเรียนการสอนหลายวิชาชนกันในแต่ละคาบเรียน และคาบเรียนสำหรับครูแต่ละคนไม่ควรจัดให้ติดกันเกิน 3 คาบ เพราะจะทำให้เหนื่อยมาก ในกรณีที่โรงเรียนเปิดสอนแผนการเรียนวิชาชีพ ให้พิจารณาจัดตารางสอนวิชาชีพก่อนเพราะมีข้อจำกัดและเงื่อนไขพิเศษ เช่น วิชาที่มีครูจำกัด หรือวิชาที่ต้องการหลายคาบติดต่อกัน หากไม่จัดไว้ก่อนแล้วจะหาคาบที่จะลงติดต่อกันได้ยาก สำหรับการจัดชั้นเรียนที่มีนักเรียนหลายวิชาเลือก อาจจะต้องมีการกำหนดคาบวิชาเลือก

ให้ตรงกัน เพราะนักเรียนเหล่านี้จะต้องแยกกันไปเรียน เมื่อจะเรียนวิชาเลือกตามแผนการเรียนของตน และ กลับมาเรียนรวมกันในวิชาบังคับ เป็นต้น

เมื่อได้จัดวิชาต่างๆ ลงตารางแล้ว ต้องมีการ ตรวจสอบความถูกต้องให้แน่นอนอีกครั้งหนึ่ง ดังนั้น การจัดทำตารางสอนควรจัดแยกตารางสอนออกเป็น ส่วน โดยทั่วไปจะจัดทำตารางสอนเป็น 4 ชุด คือ ตาราง สอนประจำชั้นเรียน ตารางสอนของครูรายบุคคล ตารางสอนรวมทุกชั้นเรียนและตารางสอนรวมของครู ทุกคน เพื่อสะดวกแก่การตรวจสอบเมื่อจะมีความ ขัดข้องเกิดขึ้น

การจัดตารางสอนของ GA

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้ GA จัด ตารางสอนของโรงเรียน ที่พัฒนาและปรับปรุงวิธีการ จาก [5] ซึ่งเป็นเพียงการจำลองการจัดตารางสอน เบื้องต้น ที่จัดการเรียนการสอนแยกตามชั้นเรียน โดย ตรวจสอบไม่ให้มีการจัดครู และชั้นเรียนในแต่ละวิชา ที่ ขัดข้องกันแต่ละคาบเรียนเท่านั้น โดยปรับปรุงรายละเอียดตามข้อมูลจริงของโรงเรียนหวังเป็นตัวอย่าง [7] ที่สามารถจัดการเรียนวิชาบังคับ วิชาเลือก รวมถึง รายวิชาที่มีการจัดคาบเรียนมากกว่า 1 คาบติดต่อกัน เป็นต้น ซึ่งทำให้การจัดตารางสอนมีความซับซ้อนมากขึ้นกว่าเดิม จึงต้องปรับปรุงแก้ไขเป้าหมาย และนำเสนอ รูปแบบโครโมโซม พร้อมกับวิธีการกำหนดค่าบิตของ โครโมโซมให้เหมาะสมกับการแก้ปัญหาโดย GA ที่ ซับซ้อนขึ้น

การกำหนดรหัสค่าบิต

การกำหนดรหัสค่าบิตพิจารณาจาก การจัด คาบเรียนในแต่ละสัปดาห์ตั้งแต่ 30-40 คาบ โดยจัด 4 คาบในช่วงเช้า และ 2 คาบในช่วงบ่าย คาบที่ 7

และ 8 สำหรับจำนวนคาบเรียนที่ 31 ถึง 40 ดังตาราง ที่ 1-a การจัดจำนวนคาบเรียนแต่ละวิชาแบ่งเป็น 1, 2 และ 3 คาบต่อครั้งการเรียน ดังนั้นการกำหนดรหัส ค่าบิตสำหรับการจัดตารางสอนของ GA จึงประกอบด้วย การกำหนดรหัสค่าบิตสำหรับการจัดคาบเรียน 1, 2 และ 3 คาบ ดังตารางที่ 1-a, 1-b และ 1-c ตามลำดับ เช่น คาบเรียนที่ 1, 2 และ 3 ในวันจันทร์สำหรับการ จัดคาบเรียน 1 คาบ กำหนดค่าบิตเป็น 1, 2 และ 3 ตามลำดับ คาบเรียนที่ 1, 2 และ 2, 3 ในวันจันทร์ สำหรับการจัดคาบเรียน 2 คาบ กำหนดค่าบิตเป็น 1 และ 2 ตามลำดับ และคาบเรียนที่ 1, 2, 3 และ 2, 3, 4 ในวันจันทร์ สำหรับการจัดคาบเรียน 3 คาบ กำหนด ค่าบิตเป็น 1 และ 2 ตามลำดับ เป็นต้น

รูปแบบโครโมโซม

กำหนดโดยลำดับการจัดคาบเรียนของแต่ละ วิชา ตามลำดับชั้นเรียนที่จะจัดตารางสอน วิชาที่มีการ จัดคาบเรียนหลายครั้ง จะกำหนดให้กระจายเป็น ตำแหน่งบิตถัดไปของโครโมโซม และค่าบิตในแต่ละ ตำแหน่งกำหนดตามรหัสค่าบิตของการจัดจำนวนคาบ เรียนแต่ละครั้งในตำแหน่งบิตนั้นๆ เช่น โครโมโซม สำหรับการจัดตารางสอนชั้น ม.4/1 และ ม.4/2 ซึ่ง กำหนดให้เรียน 3 วิชา คือ ส401 จำนวน 2 คาบ จัดเรียนสัปดาห์ละ 2 ครั้ง ครั้งละ 1 คาบ วิชา ว421 จำนวน 4 คาบ จัดเรียนสัปดาห์ละ 2 ครั้ง ครั้งละ 2 คาบ และวิชา พ401 จำนวน 1 คาบ ดังนั้นโครงสร้าง โครโมโซมจะประกอบด้วย บิตตำแหน่งที่ 1 คือ วิชา ส401 ของการจัดคาบเรียนครั้งที่ 1 จำนวน 1 คาบ มี ค่าบิตอยู่ในช่วง [1, 40] บิตตำแหน่งที่ 2 คือ วิชา ส401 ของการจัดคาบเรียนที่ 2 บิตตำแหน่งที่ 3 คือ วิชา ว421 ของการจัดคาบเรียนครั้งที่ 1 จำนวน 2 คาบ มีค่าบิตอยู่ในช่วง [1, 30] เป็นต้น ซึ่งแสดง โครงสร้างโครโมโซมดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 การกำหนดรหัสค่าบิตของการจัดคาบเรียน

D\PR	1	2	3	4	พัก	5	6	7	8
MON	1 M1, 1	2 M2, 2	3 M3, 3	4 M4, 4		5 M5, 5	6 M6, 6	31 M7, 31	36 M8, 36
TUE	7 T1, 7	8 T2, 8	9 T3, 9	10 T4, 10		11 T5, 11	12 T6, 12	32 T7, 32	37 T8, 37
WED	13 W1, 13	14 W2, 14	15 W3, 15	16 W4, 16		17 W5, 17	18 W6, 18	33 W7, 33	38 W8, 38
THU	19 H2, 19	20 H2, 20	21 H3, 21	22 H4, 22		23 H5, 23	24 H6, 24	34 H7, 34	39 H8, 39
FRI	25 F1, 25	26 F2, 26	27 F3, 27	28 F4, 28		29 F5, 29	30 F6, 30	35 F7, 35	40 F8, 40

(a) รหัสค่าบิตสำหรับการจัดคาบเรียน 1 คาบ

D\PR	1	2	3	4	พัก	5	6	7	8
MON	1 M1, 1	2 M2, 2	M3, 3	M4, 4		4 M5, 5	21 M6, 6	M7, 31	26 M8, 36
TUE	5 T1, 7	6 T2, 8	T3, 9	T4, 10		8 T5, 11	22 T6, 12	T7, 32	27 T8, 37
WED	9 W1, 13	10 W2, 14	W3, 15	W4, 16		12 W5, 17	23 W6, 18	W7, 33	28 W8, 38
THU	13 H2, 19	14 H2, 20	H3, 21	H4, 22		16 H5, 23	24 H6, 24	H7, 34	29 H8, 39
FRI	17 F1, 25	18 F2, 26	F3, 27	F4, 28		20 F5, 29	25 F6, 30	F7, 35	30 F8, 40

(b) รหัสค่าบิตสำหรับการจัดคาบเรียน 2 คาบ

D\PR	1	2	3	4	พัก	5	6	7	8
MON	1 M1, 1	2 M2, 2	M3, 3	M4, 4		11 M5, 5	16 M6, 6	M7, 31	M8, 36
TUE	3 T1, 7	4 T2, 8	T3, 9	T4, 10		12 T5, 11	17 T6, 12	T7, 32	T8, 37
WED	5 W1, 13	6 W2, 14	W3, 15	W4, 16		13 W5, 17	18 W6, 18	W7, 33	W8, 38
THU	7 H2, 19	8 H2, 20	H3, 21	H4, 22		14 H5, 23	19 H6, 24	H7, 34	H8, 39
FRI	9 F1, 25	10 F2, 26	F3, 27	F4, 28		15 F5, 29	20 F6, 30	F7, 35	F8, 40

(c) รหัสค่าบิตสำหรับการจัดคาบเรียน 3 คาบ

ตารางที่ 2 ตัวอย่างโครงสร้างโครโมโซมตารางสอนของ GA

ชั้นเรียน	วิชา	จำนวนคาบ	การจัดคาบ	โครโมโซม	ตำแหน่งบิต	ค่าบิต
ม.4/1	ส401	2	1-1	ส401_1	1	[1,40]
				ส401_2	2	[1,40]
	ว421	4	2-2	ว421_1	3	[1,30]
				ว421_2	4	[1,30]
	พ401	1	1	พ401	5	[1,40]
ม.4/2	ส401	2	1-1	ส401_1	6	[1,40]
				ส401_2	7	[1,40]
	ว421	4	2-2	ว421_1	8	[1,30]
				ว421_2	9	[1,30]
	พ401	1	1	พ401	10	[1,40]

ฟังก์ชันเป้าหมาย

ฟังก์ชันเป้าหมายของการจัดตารางสอน เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการตรวจสอบโครโมโซมตารางสอนตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละเงื่อนไข ตามความยืดหยุ่น (Hard or Soft Constraint) แสดงดังสมการที่ 1

$$f = \sum_{i=1}^n w_i cost_i \quad (1)$$

ในงานวิจัยนี้เสนอการตรวจสอบเงื่อนไขที่สำคัญในการจัดตารางสอน เพิ่มเติมจาก [5] ดังสมการที่ 2 คือ

(1) แต่ละชั้นเรียนไม่เรียนวิชาใดชนกันในแต่ละคาบเรียน

(2) แต่ละชั้นเรียนไม่เรียนวิชาเดียวกันในคาบเรียนติดกัน

(3) ครูแต่ละคนไม่สอนวิชาใดชนกันในแต่ละคาบสอน

(4) ครูแต่ละคนไม่สอนติดต่อกันเกิน 2 คาบเรียน

(5) ไม่มีชั้นเรียนใดในวิชากลุ่มเรียนในคาบเรียนที่ต่างกัน

$$\begin{aligned}
 f = & w_1 \sum_{c=1}^{N_c} \sum_{p=1}^{N_p} bound \left(\sum_{s=1}^{N_p} count(s, p) \right) \\
 & + w_2 \sum_{c=1}^{N_c} \sum_{p=1}^{N_p} \sum_{s=1}^{NS_c} adj(s, p) + \\
 & w_3 \sum_{t=1}^{N_t} \sum_{p=1}^{N_p} bound \left(\sum_{s=1}^{NS_t} count(s, p) \right) \\
 & + w_4 \sum_{t=1}^{N_t} \sum_{p=1}^{N_p} \sum_{s=1}^{NS_t} adj(s, p) + \\
 & w_5 \sum_{g=1}^{N_g} \sum_{c=1}^{N_c} group(c, p) \quad (2)
 \end{aligned}$$

โดยที่

- p = ลำดับคาบเรียน
- c = ลำดับชั้นเรียน
- t = ลำดับครู
- s = ลำดับวิชา
- g = ลำดับวิชากลุ่ม
- N_p = จำนวนคาบเรียน
- N_c = จำนวนชั้นเรียน
- N_t = จำนวนครู
- N_s = จำนวนวิชาเรียน
- N_g = จำนวนวิชากลุ่ม
- NS_c = จำนวนวิชาเรียนแต่ละชั้นเรียน
- NS_t = จำนวนวิชาสอนของครูแต่ละคน

(2) โครโมโซมเริ่มต้น เกิดจากการสุ่มค่าบิต แต่ละตำแหน่งที่เป็นไปได้ ตามการกำหนดรหัสค่าบิต ของรูปแบบโครโมโซมที่กำหนด

(3) ตัวดำเนินการทางพันธุศาสตร์ เป็นแบบ ครอสโอเวอร์ 1 จุด (One-Point Crossover) โดยการสุ่มตำแหน่งบิตของโครโมโซม 1 ตำแหน่งเพื่อแลกเปลี่ยนส่วนของโครโมโซมต้นแบบ และมิวเตชันแบบ ตัวเลข (Integer Mutation) โดยการกลับค่าบิตเดิม เป็นค่าใหม่ในช่วงค่าบิตแต่ละตำแหน่งของโครโมโซม

(4) เทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการหาคำตอบของ GA เช่น รูปแบบการคัดเลือกต้นแบบ (Selection) วิธีการสุ่มต้นแบบ (Sampling) รวมถึงเทคนิคการรีโพรดักชันเป็นไปตาม [4]

ผลลัพธ์

ผลการทำงานของ GA ในการจัดตารางสอน จากข้อมูลของโรงเรียนหอวัง ดังรูปที่ 2 ซึ่งกำหนด $\text{popsize} = 70$, อัตราการครอสโอเวอร์ $P_c = 0.7$ และ อัตราการมิวเตชัน $P_m = 0.005$ โดยประมวลผล ภายได้ชุดค่าถ่วงน้ำหนัก $W_1 = 0.3$, $W_2 = 0.1$, $W_3 = 0.3$, $W_4 = 0.1$ และ $W_5 = 1.0$ ใช้วิธีการคัดเลือกโดยอ้างอิงลำดับแบบไม่เชิงเส้น (Non-Linear Ranking : NONLINEAR RANK) การสุ่มเป็นแบบทศนิยมไม่คืนกลับ (Stochastic Remainder without Replacement : SR. W/O) รีโพรดักชัน โดยรักษาสถานะคงที่แบบไม่ซ้ำ (Steady State without Duplicate : SSwoDUP) และพารามิเตอร์อื่นๆ ที่กล่าวไว้ใน [3-4] ผลการทดลองพบว่า GA สามารถจัดตารางสอนได้ดีตั้งแต่รุ่นที่ 1000 คือ มีเพียง 1 ชั้นเรียนที่เรียนวิชาเดิมในคาบที่ติดกัน และมีการจัดการสอน 3 คาบติดต่อกัน 2 ครั้ง และในรุ่นที่ 1200 นั้นมีการจัดการสอน 3 คาบติดกัน เพียง 1 ครั้ง เท่านั้น ซึ่งเป็นตารางสอนที่สามารถยอมรับได้ในทางปฏิบัติจริง และ GA สามารถจัดตารางสอนที่ดีที่สุดได้ ในรุ่นที่ 1400 ตามเงื่อนไขที่ต้องการ ซึ่งจะเห็นได้ว่า GA สามารถจัดชั้นเรียนทุกชั้นเรียนให้เรียนวิชากลุ่ม

คือวิชากิจกรรม KK และเข้าร่วมประชุม PCH พร้อมกันในวันจันทร์ M คาบที่ 7 และวันอังคาร T คาบที่ 5 ตามลำดับ และไม่มีชั้นเรียนใดเรียนวิชาเดิมในคาบติดกันเลยดังตารางสอนรวมของชั้นเรียนในรูปที่ 3 และครู T ลำดับที่ 9, 10, 15, 20, 26, 27 และ 29 ซึ่งกำหนดให้ร่วมคาบกิจกรรมและการประชุมพร้อมกัน (จากตารางที่ 3) ในวันจันทร์คาบที่ 7 และวันอังคารคาบที่ 5 เช่นเดียวกัน โดย GA สามารถจัดการสอนของครูที่ไม่มีวิชาใดชนกันและสอนติดต่อกันเกิน 2 คาบเลย ดังตารางสอนรวมของครูผู้สอนในรูปที่ 4

สรุป

การประยุกต์ใช้ GA ในการแก้ปัญหาต่างๆ จะต้องมีการปรับปรุงการนำเสนอที่เหมาะสมกับปัญหานั้นๆ เพื่อการค้นหาคำตอบของ GA ในรูปแบบโครโมโซมที่เหมาะสม และปรับฟังก์ชันเป้าหมายที่เป็นตัวแทนฟังก์ชันความเหมาะสมตามเงื่อนไข ข้อกำหนด ที่ต้องการ ซึ่งเห็นได้จากการทดลองกับการประยุกต์ใช้ GA ในการจัดตารางสอนนี้จะต้องปรับโครงสร้างโครโมโซมตารางสอนที่พิจารณาหลักสูตรการศึกษาและขอบเขตเงื่อนไขต่างๆ ประกอบ ซึ่ง GA สามารถบรรลุการจัดตารางสอนได้ตามที่ต้องการ ในทำนองเดียวกันการพัฒนาเพิ่มเติมในขอบเขตข้อกำหนด หรือเงื่อนไขอื่นๆ ที่ใช้ในการจัดตารางสอน สามารถประยุกต์ได้ในรูปแบบวิธีการเดียวกัน และวิธีการสำหรับเงื่อนไขพิเศษอื่นๆ ที่สนองความต้องการแบบเฉพาะเจาะจง เช่น ความต้องการระบุคาบตายตัวให้กับรายวิชาพิเศษ (คาบการประชุมต้องการให้เป็นคาบสุดท้ายของวัน) เป็นต้น จะต้องศึกษาวิธีการปรับรูปแบบการนำเสนอ หรือรูปแบบตัวดำเนินการทางพันธุศาสตร์ต่อไป รวมถึงวิธีการปรับปรุงสมรรถนะการค้นหาคำตอบของ GA ซึ่งเป็นวิธีการสุ่ม ที่ต้องใช้เวลาในการทดลองประมวลผลตามวิธีการกับชุดพารามิเตอร์ของ GA ที่เหมาะสมโดยพัฒนาปรับรูปแบบการค้นหาคำตอบให้เป็นไปในรูปแบบขนาน (Parallel) เพื่อลดระยะเวลาการค้นหาคำตอบต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Abramson, D. *Construction School Timetables Using Simulated Annealing : Sequential and Parallel Algorithms*, Management Science, Vol. 37, No. 1, January 1991.
- [2] Goldberg, D.E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison Wesley, MA, 1989.
- [3] กิตติ ไพฑูรย์วัฒนกิจ, กาญจน์ วงศ์วิภาพร, *จีเนติกอัลกอริทึม* วารสาร NECTEC, ปีที่ 3, ฉบับที่ 9 มีนาคม-เมษายน 2539, หน้า 13-24.
- [4] กิตติ ไพฑูรย์วัฒนกิจ, กาญจน์ วงศ์วิภาพร, *การปรับปรุงสมรรถนะ จีเนติกอัลกอริทึม* วารสารสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, ปีที่ 27 เล่มที่ 1, มกราคม-มิถุนายน 2538, หน้า 1-33.
- [5] กิตติ ไพฑูรย์วัฒนกิจ, กาญจน์ วงศ์วิภาพร, *การจัดตารางเรียนแบบจำลองโดยจีเนติกอัลกอริทึม* วารสารวิศวกรรมสาร, ปีที่ 46, เล่มที่ 12, ธันวาคม 2536, หน้า 81-84.
- [6] กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ, *คู่มือการจัดทำตารางสอนห้องเรียนที่ใช้หลักสูตรมัธยมศึกษาตอนปลาย พุทธศักราช 2524*, จงเจริญการพิมพ์, กรุงเทพฯ, 2524.
- [7] ฝ่ายวิชาการ โรงเรียนหอวัง, *ตารางแสดงรายวิชาตลอดหลักสูตร*, กรุงเทพฯ, โรงเรียนหอวัง, 2533.

GA Parameters

```

Type of preconverge (ttypconv) = CONVERGE
Maximum # of preconverge (maxconv) = 2000
Random seed (randomseed) = 0.800000
Type of object func. (ttypobjfn) = MIN FN.
Maximum # of generation (maxgen) = 1500
Population size (popsize) = 70
Chromosome length (lchrom) = 203
Type of selection (ttypselect) = RANK
Type of ranking (typrank) = NONLINEAR
Ranking constant (crank) = 0.400000
Type of sampling (ttypsample) = SR.W/O
Prob. of crossover (pcross) = 0.700000
Prob. of mutation (pmutate) = 0.005000
#Point of crossover (ptcrs) = 1
Generation Gap (gengap) = 0.900000
Type of reproduction (ttypstate) = SSwoDUP
Elitist (elitist) = WITH

```

APP (Time Table) Parameters

```

# Class (numclass) = 7
# Subject (numsubj) = 15
# Teacher (numteacher) = 29
# Group class cond. (numtgsubj) = 2
# Teaching cond. (numttsclass) = 99

```

gen	best	w1	CcrashPR	w2	CuseADJSUBJ	w3	TcrashPR	w4	TovrADJPR	w5	GSnotsamePR
0	72.7000	0.3000x	160	0.1000x	21	0.3000x	58	0.1000x	51	1.0000x	11
200	11.4000	0.3000x	20	0.1000x	1	0.3000x	0	0.1000x	3	1.0000x	4
400	7.4000	0.3000x	10	0.1000x	1	0.3000x	0	0.1000x	3	1.0000x	3
600	3.0000	0.3000x	2	0.1000x	1	0.3000x	0	0.1000x	3	1.0000x	1
800	2.6000	0.3000x	4	0.1000x	1	0.3000x	0	0.1000x	3	1.0000x	0
1000	1.7000	0.3000x	0	0.1000x	1	0.3000x	0	0.1000x	6	1.0000x	0
1200	1.3000	0.3000x	0	0.1000x	0	0.3000x	0	0.1000x	3	1.0000x	0
1400	1.0000	0.3000x	0	0.1000x	0	0.3000x	0	0.1000x	0	1.0000x	0
1500	1.0000	0.3000x	0	0.1000x	0	0.3000x	0	0.1000x	0	1.0000x	0

รูปที่ 2 ผลการทำงานของ GA ในการจัดตารางสอน

DAY TIMETABLE									
DAY	CNO.	#PR	1	2	3	4	5	6	7
M	1	35	S048	T401	A011	K011	V441*	V441*	KK
	2	35	K011	V421*	V421*	K011	A011	S048	KK
	3	35	A031	V441*	V441*	S401	A011	A031	KK
	4	35	V431*	V431*	V421*	V421*	S401	S048	KK
	5	35	ISR	A031	A011	K011	V421*	V421*	KK
	6	35	S401	T401	S048	ISR	V431*	V431*	KK
	7	35	T401	ISR	V441*	V441*	V441*	V441*	KK
T	1	35	ISR	A011	K011	P401	PCH	K011	A031
	2	35	A011	K011	V441*	V441*	PCH	V431*	V431*
	3	35	V431*	V431*	V421*	V421*	PCH	ISR	S401
	4	35	T401	NN	S401	K011	PCH	V421*	V421*
	5	35	NN	P401	V431*	V431*	PCH	T401	K011
	6	35	K011	P021	S048	A011	PCH	V431*	V431*
	7	35	T401	S401	P021	K011	PCH	S048	A011
W	1	35	V421*	V421*	V431*	V431*	K011	V421*	V421*
	2	35	T401	ISR	T401	NN	V441*	V441*	A031
	3	35	A011	S048	NN	K011	V431*	V431*	S048
	4	35	K011	S048	V431*	V431*	K011	ISR	A011
	5	35	A031	V441*	V441*	S048	V441*	V441*	S401
	6	35	NN	K011	A031	A011	V421*	V421*	K011
	7	35	K011	A011	V421*	V421*	K011	S401	P401
H	1	35	S401	A011	K011	S048	T401	S401	A031
	2	35	A031	S401	K011	A011	K011	S401	S048
	3	35	P401	K011	T401	K011	K011	A011	P021
	4	35	V441*	V441*	A031	P021	V441*	V441*	A031
	5	35	S401	A011	V421*	V421*	S048	K011	A011
	6	35	K011	A011	V441*	V441*	V421*	V421*	S401
	7	35	V431*	V431*	K011	A011	A031	S048	A011
F	1	35	V441*	V441*	A011	P021	V431*	V431*	NN
	2	35	P401	A011	V431*	V431*	P021	V421*	V421*
	3	35	V421*	V421*	A011	K011	T401	V441*	V441*
	4	35	A011	K011	A011	P401	K011	T401	A011
	5	35	T401	P021	K011	A011	K011	V431*	V431*
	6	35	A031	T401	V441*	V441*	A011	K011	P401
	7	35	K011	NN	V431*	V431*	V421*	V421*	A031

รูปที่ 3 ผลลัพธ์ตารางสอนรวมชั้นเรียน

TEACHER TIMETABLE							
HOURL	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
T1	T401.C7	T401.C1					
T2		T401.C6					
T3							
T4			A011.C1				
T5				A011.C2			
T6				A011.C3			
T7	A031.C3	A031.C5	A011.C5			A031.C3	
T8							JJK
T9		ISR.C7					JJK
T10				K011.C1			
T11	K011.C2			K011.C2			
T12				K011.C5			
T13							
T14							
T15		V421.C2	V421.C2	V421.C4	V421.C5	V421.C5	JJK
T16		V421.C3	V421.C3	V421.C4	V421.C5	V421.C5	
T17		V441.C3	V441.C3	V441.C7	V441.C7	V441.C7	
T18			V441.C7	V441.C7	V441.C7	V441.C7	
T19							
T20				ISR.C6			JJK
T21	V431.C4	V431.C4			V431.C6	V431.C6	
T22							
T23	S048.C1						
T24	S401.C6			S401.C3	S401.C4		
T25			S048.C6				JJK
T26						S048.C4	JJK
T27						S048.C2	JJK
T28							
T29	ISR.C5						JJK
HOURL	T1	T2	T3	T4 *	T5	T6	T7
T1	T401.C7					T401.C5	
T2	T401.C4						A031.C1
T3							A011.C7
T4	A011.C2	A011.C1		A011.C6			
T5							
T6							
T7							
T8							
T9					PCH		
T10					PCH		
T11			K011.C1	K011.C7		K011.C1	
T12		K011.C2		K011.C4			
T13							K011.C5
T14	NN.C5	NN.C4					
T15	ISR.C1				PCH		
T16			V421.C3	V421.C3		V421.C4	V421.C4
T17			V441.C2	V441.C2			
T18							
T19	V431.C3	V431.C3				V431.C2	V431.C2
T20					PCH		
T21			V431.C5	V431.C5		V431.C6	V431.C6
T22		P401.C5		P401.C1			
T23		P021.C6	P021.C7				
T24							
T25		S401.C7	S401.C4				S401.C3
T26			S048.C6				
T27					PCH	ISR.C3	
T28					PCH	S048.C7	
T29					PCH		
HOURL	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7
T1							
T2	T401.C2		T401.C2				
T3							
T4		A011.C7					
T5				A011.C6			
T6	A011.C3						
T7	A031.C5						A011.C4
T8							
T9		ISR.C2	A031.C6				A031.C6
T10	K011.C7				K011.C7		
T11					K011.C1		
T12	K011.C4				K011.C4		
T13							
T14	NN.C6		NN.C3	K011.C3	NN.C2		
T15	V421.C1	V421.C1				V421.C1	V421.C1
T16							
T17					V441.C2	V441.C2	
T18					V441.C5	V441.C5	
T19		V441.C5	V441.C5	V431.C1	V431.C3	V431.C3	
T20			V421.C7	V421.C7	V421.C6	V421.C6	
T21			V431.C4	V431.C4			
T22							P401.C7
T23							
T24							
T25						S401.C7	
T26		S048.C3					S048.C3
T27		S048.C4				ISR.C4	
T28				S048.C5			
T29							S401.C5

HOURL	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
T1					T401.C1		
T2			T401.C3				
T3							A031.C1
T4		A011.C1		A011.C7	A031.C7		A011.C7
T5		A011.C6		A011.C2			
T6			A031.C4			A011.C3	A031.C4
T7							
T8		A011.C5					A011.C5
T9	A031.C6						
T10			K011.C7				
T11			K011.C1				
T12			K011.C2		K011.C2	K011.C5	
T13		K011.C3		K011.C3			
T14							
T15							
T16			V421.C5	V421.C5			
T17	V441.C4	V441.C4			V441.C4	V441.C4	
T18			V441.C6	V441.C6			
T19							
T20					V421.C6	V421.C6	
T21	V431.C7	V431.C7					
T22	P401.C3						
T23				P021.C4			P021.C3
T24				S048.C1			
T25	S401.C1					S401.C1	S401.C6
T26							
T27					S048.C5	S048.C7	
T28							S048.C2
T29	S401.C5	S401.C2				S401.C2	
HOURL	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
T1	T401.C5						
T2		T401.C6			T401.C3	T401.C4	
T3							
T4			A011.C1				
T5		A011.C2			A011.C6		A031.C7
T6			A011.C3				
T7	A011.C4		A011.C4				A011.C4
T8				A011.C5			
T9	A031.C6						
T10	K011.C7						
T11							
T12		K011.C4			K011.C4		
T13			K011.C5	K011.C3	K011.C5		
T14							NN.C1
T15		NN.C7				V421.C2	V421.C2
T16	V421.C3	V421.C3					
T17	V441.C1	V441.C1				V441.C3	V441.C3
T18			V441.C6	V441.C6			
T19			V431.C2	V431.C2	V431.C1	V431.C1	
T20					V421.C7	V421.C7	
T21			V431.C7	V431.C7		V431.C5	V431.C5
T22	P401.C2			P401.C4			P401.C6
T23		P021.C5		P021.C1	P021.C2		
T24							
T25							
T26							
T27							
T28							
T29							

รูปที่ 4 ผลลัพธ์ตารางสอนรวมครูผู้สอน