บทที่ 4

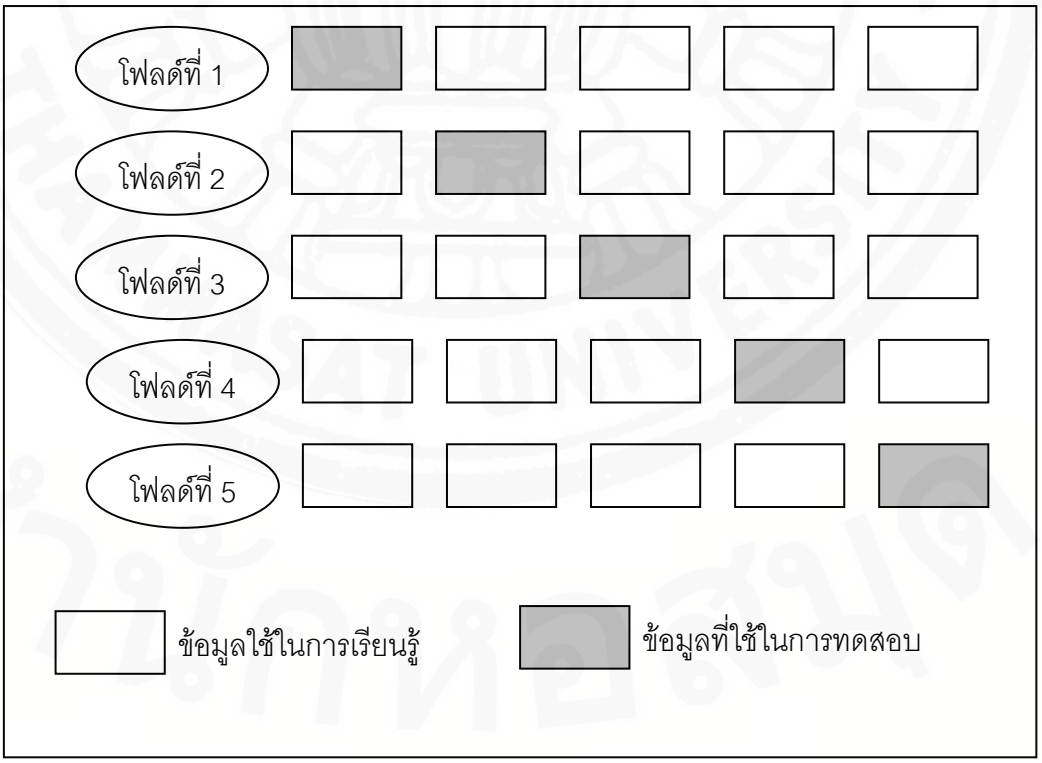
ผลการทดลอง

4.1 วิธีขั้นตอนในการทดลอง

4.1.1 กลุ่มข้อมูลตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลทดลองที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ ใช้วิธีการแบ่งแบบไขว้ข้าม 5 กลุ่ม โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 5 กลุ่มและใช้ 4 กลุ่มข้อมูลในการเรียนรู้ และ 1 กลุ่มข้อมูลในการทดสอบ วัดค่าความถูกต้องแม่นยำ ดังนั้นการทดลองที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะจำนวนรอบตามภาพ

ภาพที่ 4.1
ภาพแสดงการจัดแบ่งข้อมูลในการทดลอง



4.1.2 **วิธีการจำแนกข้อมูลที่ใช้ในแต่ละรอบการทดลอง**

ในแต่ละชุดข้อมูลจะผ่านวิธีการเรียนรู้ทั้งหมดสามวิธีคือ 1) การเรียนรู้เพื่อจำแนกข้อมูลจากกฎกึ่งเกียจคร้าน 2) การเรียนรู้เพื่อจำแนกข้อมูลด้วยกฎแบบกฎย่อยถ่วงน้ำหนัก 3) การเรียนรู้โดยโปรแกรมตรรกะเชิงอุปนัย ในข้อมูลแบบสองกลุ่ม หรือ การเรียนรู้โดยโปรแกรมตรรกะเชิงอุปนัยแบบลงคะแนนเสียง สำหรับข้อมูลแบบหลายกลุ่ม

4.1.3 **ค่าที่ใช้วัดผลในการทดลอง**

ค่าที่เก็บไว้เพื่อเปรียบเทียบผลในการทดลองได้แก่ ค่าความถูกต้องของการจำแนกข้อมูล, เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการเรียนรู้ของแต่ละวิธีการเรียนรู้ และจำนวนกฎที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการเรียนรู้โดยค่าที่ใช้ในการวัดนั้นมีวิธีการดังนี้

4.1.3.1 **ค่าความถูกต้องของการจำแนกข้อมูล**

การเปรียบเทียบว่าการจำแนกข้อมูลนั้นถูกต้องหรือไม่นั้นแบ่งตามวิธีการเรียนรู้ได้ดังนี้

- <u>การเรียนรู้โดยโปรแกรมตรรกะเชิงอุปนัย และการเรียนรู้โดยโปรแกรมตรรกะเชิงอุปนัยแบบลงคะแนน</u> ความถูกต้องจะหาได้จากคำตอบที่กฎของโปรแกรมตรรกะเชิงอุปนัยตอบออกมา เปรียบเทียบกับกลุ่มที่เป็นคำตอบที่คาดหวังไว้ของข้อมูลตัวอย่างทดสอบ ถ้าเป็นกลุ่มเดียวกันจะถือว่าถูกต้อง

- <u>การเรียนรู้โดยกฎกึ่งเกียจคร้าน และการเรียนรู้ด้วยกฎย่อยแบบถ่วงน้ำหนัก</u> ทั้งสองวิธีนี้ใช้คำตอบที่ได้ผลลัพธ์ที่ผ่านนิวรอลเน็ตเวิร์ก โดยใช้ค่าคำตอบของโหนดผลลัพธ์ที่มากที่สุดถือเป็นกลุ่มคำตอบที่ได้จากนิวรอลเน็ตเวิร์ก เปรียบเทียบกับกลุ่มที่เป็นคำตอบที่คาดหวังไว้ของข้อมูลตัวอย่างทดสอบ ถ้าเป็นกลุ่มเดียวกันจะถือว่าถูกต้อง

4.1.3.2 **เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการเรียนรู้**

โดยเวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ของแต่ละวิธีการเรียนรู้นั้นประกอบด้วย

- การเรียนรู้โดยโปรแกรมตรรกะเชิงอุปนัย จะเก็บข้อมูลเวลาในขั้นตอนของการเรียนรู้โดยโปรแกรมตรรกะเชิงอุปนัยเป็นสำคัญ โดยใช้คำสั่งที่ช่วยในการวัดเวลาในการเรียนรู้ คำสั่งในโปรแกรม ALEPH “time (induce)”

ตัวอย่างผลลัพธ์การวัดเวลาที่ได้จากการเรียนรู้ของโปรแกรมตรรกะเชิงอุปนัย

Accuracy = 0.249699

[Training set summary] [[415, 4982, 0, 1243]]

[time taken] [357.266]

[total clauses constructed] [70288]

% 98,868,845 inferences, 361.05 CPU in **416.47 seconds** (87% CPU, 273839 Lips)

- การเรียนรู้โดยกฎย่อยแบบถ่วงน้ำหนัก เวลาในการเรียนรู้จะประกอบด้วย 3 ส่วนคือ 1) เวลาในขั้นตอนการเรียนรู้ของโปแกรมตรรกะเชิงอุปนัย 2) เวลาที่ใช้แบ่งกฎย่อย และ 3) เวลาที่ใช้นิวรอลเน็ตเวิร์กถ่วงน้ำหนักให้กับกฎ

- การเรียนรู้โดยกฎกึ่งเกียจคร้าน เวลาในการเรียนรู้จะประกอบด้วย 3 ส่วนคือ 1) เวลาในขั้นตอนการเรียนรู้ของโปแกรมตรรกะเชิงอุปนัย 2) เวลาที่ใช้ในการเลือกกฎ และ 3) เวลาที่ใช้นิวรอลเน็ตเวิร์กถ่วงน้ำหนักให้กับกฎ

4.1.3.3 จำนวนกฎที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการเรียนรู้

การเก็บข้อมูลจำนวนกฎที่อยู่ในขั้นตอนการเรียนรู้แบ่งได้นี้

- การเรียนรู้โดยโปรแกรมตรรกะเชิงอุปนัย จะเก็บค่าจำนวนกฎที่เกิดขึ้นหลังจากขั้นตอนการเรียนรู้ของโปรแกรมตรรกะเชิงอุปนัย

- การเรียนรู้โดยกฎย่อยแบบถ่วงน้ำหนัก จะเก็บค่าจำนวนกฎที่เกิดขึ้นหลังจากการแบ่งกฎย่อยแล้ว

- การเรียนรู้โดยกฎกึ่งเกียจคร้าน จะเก็บค่าจำนวนกฎที่เกิดขึ้นสองครั้งคือ 1) จำนวนกฎหลังจากการค้นหารูปแบบซ้ำๆ จนได้กฎกึ่งเกียจคร้าน 2) จำนวนกฎหลังจากการเลือกกฎ

4.2 กลุ่มข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

4.2.1 กลุ่มข้อมูลองค์ประกอบจำกัดของโครงข่าย

กลุ่มข้อมูลองค์ประกอบจำกัดของโครงข่าย (Finite Element Mesh Design) เป็นข้อมูลแบบหลายกลุ่ม ประกอบด้วยจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 643 ตัวอย่าง อยู่ใน 16 กลุ่ม

4.2.2 กลุ่มของข้อมูลความสามารถก่อกลายพันธุ์ของโมเลกุล

กลุ่มของข้อมูลความสามารถก่อกลายพันธุ์ของโมเลกุล (Mutagenecity of molecules) เป็นข้อมูลแบบสองกลุ่ม ประกอบด้วยจำนวนตัวอย่างทั้งหมด ตัวอย่าง โดยเป็นตัวอย่างบวก 125 ตัวอย่าง ตัวอย่างลบ 63 ตัวอย่าง

4.2.3 กลุ่มข้อมูลการก่อมะเร็ง

กลุ่มข้อมูลการก่อมะเร็ง (Carcinogenesis) เป็นข้อมูลแบบสองกลุ่ม ประกอบด้วยจำนวนตัวอย่างทั้งหมด ตัวอย่าง โดยเป็นตัวอย่างบวก 162 ตัวอย่าง ตัวอย่างลบ 136 ตัวอย่าง

4.3 ผลการทดลอง

ผลของการทดลองจากตารางที่ 4.1 ซึ่งแสดงเวลาจะเห็นได้ว่าเวลาในการเรียนรู้เมื่อใช้การค้นหารูปแบบซ้ำๆ ของกฎเพื่อได้เป็นกฎแบบกึ่งเกียจคร้านตามแนวคิดของงานวิจัย (Luc Dehaspe, 1998) สามารถลดเวลาการเรียนรู้ไปได้อย่างมาก เนื่องจากการใช้แนวคิดของการเรียนรู้กึ่งเกียจคร้านที่หลีกเลี่ยงการค้นหากฎที่ดีที่สุดแบบโปรแกรมตรรกะเชิงอุปนัย

เมื่อเปรียบเทียบเวลาของการจำแนกโดยกฎย่อยแบบถ่วงน้ำหนักพบว่าใช้เวลามากกว่า การเรียนรู้แบบโปรแกรมตรรกะเชิงอุปนัยอยู่ไม่มากนัก เนื่องจากการจำแนกด้วยกฎย่อยจำเป็นต้องเรียนรู้ด้วยโปรแกรมตรรกะเชิงอุปนัยก่อนหนึ่งรอบอย่างสมบูรณ์ แล้วจึงมาแบ่งกฎออกเป็นกฎย่อย ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเสียเวลาส่วนหนึ่งในการสร้างกฎย่อยและทดสอบตัวอย่างทั้งหมดกับกฎย่อยที่สร้างมาเพื่อเก็บค่าความครอบคลุมไปใช้เป็นข้อมูลในการถ่วงน้ำหนัก ซึ่งใน

ความเป็นจริงการจำแนกข้อมูลด้วยกฎแบบกึ่งเกียจคร้านนั้นต้องนำกฎกึ่งเกียจคร้านมาทดสอบเพื่อหาค่าความครอบคลุมเช่นกัน แต่เมื่อรวมกับเวลาการเรียนรู้แบบค้นหากฎซ้ำๆ แล้ว เวลาที่ใช้ในการเรียนรู้รวมกันทั้งสองขั้นตอนนั้นยังน้อยกว่าการเรียนรู้แบบโปรแกรมตรรกะเชิงอุปนัย

ตารางที่ 4.1
ตารางแสดงเวลาโดยเฉลี่ยของการเรียนรู้แบบต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง
(หน่วยเป็นวินาที)

ชุดข้อมูล	โปรแกรมตรรกะเชิงอุปนัย	กฎย่อยแบบถ่วงน้ำหนัก	กฎแบบกึ่งเกียจคร้าน
ขอบจำกัดโครงข่าย	12673	14673	7832
ความสามารถก่อกลายพันธุ์ของโมเลกุล	1507	1980	1190
การก่อมะเร็ง	3710	4830	2230

ตารางที่ 4.2
ตารางแสดงเวลาในการเรียนรู้ของการจำแนกโดยใช้กฎย่อยแบบถ่วงน้ำหนักแบบแจกแจงตามขั้นตอน (หน่วยเป็นวินาที)

ชุดข้อมูล	การเรียนรู้แบบโปรแกรมตรรกะเชิงอุปนัย	การแยกกฎออกเป็นกฎย่อย	การถ่วงน้ำหนักด้วยนิวรอลเน็ตเวิร์ก
ขอบจำกัดโครงข่าย	12673	784	1216
ความสามารถก่อกลายพันธุ์ของโมเลกุล	1507	168	300
การก่อมะเร็ง	3710	504	612

ตารางที่ 4.3
ตารางแสดงเวลาในการเรียนรู้ของการจำแนกโดยใช้กฎกึ่งเกียจคร้าน
แจกแจงตามขั้นตอน (หน่วยเป็นวินาที)

ชุดข้อมูล	การค้นหารูปแบบซ้ำๆ เพื่อสร้างกฎกึ่งเกียจคร้าน	การคัดเลือกกฎกึ่งเกียจคร้าน	การถ่วงน้ำหนักด้วยนิวรอลเน็ตเวิร์ก
ขอบจำกัดโครงข่าย	384	6240	1208
ความสามารถก่อกลายพันธุ์ของโมเลกุล	95	780	315
การก่อมะเร็ง	122	1392	716

จากตารางที่ 4.2 และ 4.3 เมื่อเปรียบเทียบเวลาในแต่ละขั้นตอนของการเรียนรู้นั้น พบว่า เวลาในการเรียนรู้โดยรวมทั้งหมดการจำแนกข้อมูลด้วยกฎกึ่งเกียจคร้านนั้นใช้เวลาน้อยกว่าวิธีการเรียนรู้จากโปรแกรมตรรกะเชิงอุปนัยปกติ และ วิธีกฎย่อยแบบถ่วงน้ำหนัก โดยขั้นตอนที่เวลาการเรียนรู้ต่างกันมากที่สุดคือ ขั้นตอนการค้นหากฎ โดยการค้นหากฎด้วยวิธีของโปรแกรมตรรกะเชิงอุปนัยปกตินั้นจะใช้เวลานากว่า วิธีการสร้างกฎกึ่งเกียจคร้านที่ใช้วิธีค้นหารูปแบบซ้ำๆ ของกฎลำดับที่หนึ่ง

ดังนั้นถึงแม้วิธีการเรียนรู้แบบกฎย่อยถ่วงน้ำหนักและกฎกึ่งเกียจคร้านจะมีการถ่วงน้ำหนักให้กับกฎด้วยนิวรอลเน็ตเวิร์กเหมือนกัน แต่เวลาการเรียนรู้โดยรวมก็จะไม่เท่ากันเนื่องจากที่มาของกฎย่อยนั้นต้องมีการเรียนรู้แบบปกติมาก่อน

แต่การเรียนรู้ด้วยกฎกึ่งเกียจคร้านถึงแม้จะลดเวลาในการสร้างกฎลงไปได้มาก แต่ต้องมาเสียเวลาในการคัดเลือกกฎที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งดูจากตารางจะพบว่าใช้เวลาส่วนใหญ่ไปกับการเลือกกฎ สาเหตุที่ในขั้นตอนนี้ต้องใช้เวลานานเนื่องจาก กฎที่ได้จากการค้นหารูปแบบซ้ำๆ ให้ผลลัพธ์เป็นจำนวนกฎที่มาก และการคัดเลือกกฎจำเป็นต้องนำกฎมาทบสอบกับตัวอย่างทั้งหมดเพื่อเก็บค่าความครอบคลุมไปใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์เลือกกฎ แต่ถึงแม้จะใช้เวลาไปมากแต่ก็ยังน้อยกว่าการที่ให้โปรแกรมตรรกะเชิงอุปนัยเรียนรู้จนได้กฎที่ดีที่สุด

ตารางที่ 4.4
ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ของผลการจำแนกข้อมูลที่ถูกต้อง
ของการเรียนรู้แบบต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

ชุดข้อมูล	โปรแกรมตรรกะเชิงอุปนัย	กฎย่อยแบบถ่วงน้ำหนัก	กฎแบบกึ่งเกียจคร้าน
ขอบจำกัดโครงข่าย	52.12±1.72	54.62±3.42**	55.57±3.14***
ความสามารถก่อกลายพันธุ์ของโมเลกุล	77.30±4.52	84 ±5.60**	80.54±6.45**
การก่อมะเร็ง	48.66±3.80	50.66±3.45**	51.33±2.98**

เครื่องหมาย * แสดงระดับความมีนัยสำคัญโดย

* อยู่ที่ระดับ 0.1

** อยู่ที่ระดับ 0.1-0.05

*** อยู่ที่ระดับ 0.05-0.01

**** อยู่ที่ระดับ 0.01

จากตารางที่ 4.4 จากผลลัพธ์การจำแนกข้อมูลของวิธีกึ่งเกียจคร้านรวมกับการถ่วงน้ำหนักของแบ็คพร็อพพาเกชั่น นิวรอลเน็ตเวิร์คนั้นให้ความถูกต้องสูงที่สุดในการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของวิธีการจำแนกทั้ง 3 วิธี เนื่องจากกฎที่ได้จากการค้นหารูปแบบซ้ำๆ ของกฎกึ่งเกียจคร้านเมื่อเปรียบเทียบกับกฎจากการเรียนรู้ของโปรแกรมตรรกะเชิงอุปนัยแบบปกติ กฎกึ่งเกียจคร้านสามารถครอบคลุมตัวอย่างได้ดีกว่า และเมื่อเปรียบเทียบกับกฎย่อยที่สร้างจากกฎจากการเรียนรู้แบบตรรกะเชิงอุปนัยที่แม้จะทำการลดความเฉพาะเจาะจงของกฎปกติลงแล้ว แต่กฎกึ่งเกียจคร้านยังให้กฎที่มีความหลากหลายเงื่อนไขมากกว่า ความหลากหลายที่มีมากกว่านี้มาจากการเลือกรูปแบบซ้ำๆ ของกฎที่ไม่ได้มีการถูกตัดทิ้งด้วยตัวอย่างบวกและตัวอย่างลบของการเรียนรู้โปรแกรมตรรกะเชิงอุปนัย เช่นนี้เองถึงแม้ว่ากฎย่อยจะลดความเฉพาะเจาะจงของกฎปกติไปได้แต่เนื่องจากเงื่อนไขบางอย่างถูกตัดทิ้งตั้งแต่การเรียนรู้สมบูรณ์ของโปรแกรมตรรกะเชิงอุปนัยไป จึงทำให้ความหลากหลายยังน้อยกว่ากฎแบบกึ่งเกียจคร้านซึ่งมีโอกาสมีเงื่อนไขที่มากกว่า ความหลากหลายของเงื่อนไขที่มากกว่านี้จะส่งผลให้กฎกึ่งเกียจคร้านสามารถให้ค่าความครอบคลุมที่

ดีกว่ากับตัวอย่างใหม่ๆ ที่ไม่เคยเรียนรู้มากก่อน ซึ่งจะเห็นผลได้ชัดเจนกับการจำแนกข้อมูลแบบหลายกลุ่ม(ข้อมูลขอบจำกัดโครงข่าย) ที่กฎแบบกึ่งเกียจคร้านจะให้ผลการจำแนกดีกว่ากฎย่อยแบบถ่วงน้ำหนักมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการจำแนกข้อมูลแบบสองกลุ่ม