บทที่ 4
ผลการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลของการทดลองที่ได้จากโปรแกรมที่ช่วยในการหาการจัดลำดับงานของเครนแบบออนไลน์ ด้วยหลักการของการจำลองสถานการณ์ (Simulation) เกี่ยวกับความสามารถในการทำงานของโปรแกรม และวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนี้

4.1 การรายงานผลการทดลอง

ในการทดลอง วิธีการแก้ปัญหาที่ใช้คือ Middle Heuristic, Left Heuristic และ Right Heuristic รวมเป็น 3 วิธีการแก้ปัญหา เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบค่า CPR ที่ได้จากผลการทดลองว่าวิธีการใดมีประสิทธิภาพดีที่สุด

เมื่อได้ผลลัพธ์ หรือค่า CPR แล้วจะนำค่า CPR ของ 3000 งานที่ได้ไปหา Steady State โดยวิธีการของ Welch's Procedure ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 เพื่อหาช่วงของข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองแต่จากการปรับเรียบข้อมูล ด้วยวิธีการของ Welch's Procedure และปรากฏว่าไม่สามารถหาค่า Steady State ได้เนื่องจากค่า CPR มีแนวโน้มที่ลดลงเข้าใกล้ 1 อย่างต่อเนื่อง ค่าไม่คงที่

ฉะนั้นในการนำผลของการทดลองมาใช้จึงต้องประมาณค่าด้วยสายตา โดยการเลือกช่วงของค่า CPR ที่นำมามีค่าเข้าใกล้ 1 และเริ่มมีค่าใกล้เคียงกันมาหาค่าเฉลี่ย ได้ดังนี้

1) กรณีที่ใช้เครนจัดลำดับงานจำนวน 5 เครน ค่า CPR ที่ช่วง 100 - 3000 งาน
2) กรณีที่ใช้เครนจัดลำดับงานจำนวน 10 เครน ค่า CPR ที่ช่วง 200 - 3000 งาน
3) กรณีที่ใช้เครนจัดลำดับงานจำนวน 20 เครน ค่า CPR ที่ช่วง 400 - 3000 งาน

ในการทำการทดลองจะทำการรันโปรแกรมทั้งหมด 20 ครั้ง ต่อหนึ่งรูปแบบโจทย์ปัญหา จะได้ค่า CPR ของแต่ละงานใน 3000 งาน ซึ่งค่า CPR ที่นำได้นั้นก็มีการเลือกช่วงของข้อมูลไปใช้ตามที่กำหนดไว้ โดยจะนำผลของการรันโปรแกรมที่ได้ 20 ครั้งไปหาค่าเฉลี่ย โดยจะหาค่าเฉลี่ย 2 แบบด้วยกัน คือ

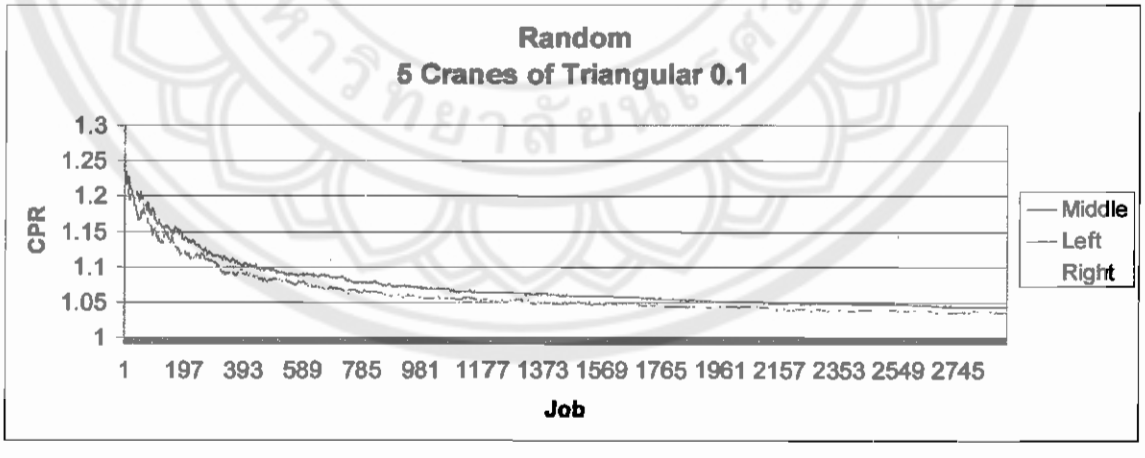
1) หาค่าเฉลี่ย CPR เพียงค่าเดียวจากการรัน 20 ครั้ง คือจะหาค่าเฉลี่ยของการรัน 1 ครั้งไว้ก่อน ซึ่งการหาค่าเฉลี่ย เช่น ถ้า 5 เครน ค่าเฉลี่ย CPR ของงานที่ 100 - 3000 งาน เป็นต้น

จากนั้นนำค่าเฉลี่ย CPR ของการรันโปรแกรมทั้ง 20 ครั้ง มาหาค่าเฉลี่ยอีกครั้งหนึ่ง จะได้ค่าเฉลี่ยออกมาเพียงค่าเดียวเป็น $\overline{X}_i^{(1)}$ โดยจะนำค่าที่ได้นี้ไปใช้ในการวิเคราะห์ผลด้วยวิธีการคำนวณทางสถิติดังที่จะได้กล่าวต่อไป

2) หาค่าเฉลี่ย CPR ที่ได้ในการรันโปรแกรมทั้ง 20 ครั้ง ก็คือการหาค่าเฉลี่ยแต่ละงานของ 3000 งานซึ่งเป็นงานในลำดับงานเดียวกัน ค่าเฉลี่ยนี้จะนำไปใช้ในการ plot graph ที่ใช้ในการรายงานผลของการทดลองและการสรุปผล เพื่อให้เห็นถึงแนวโน้มของค่า CPR และเพื่อเปรียบเทียบ CPR ของแต่ละวิธีการแก้ปัญหา โดยช่วงของค่าเฉลี่ย CPR ที่นำไป plot graph เป็นค่าที่ได้กำหนดเป็นช่วงข้อมูลไว้ เช่น ถ้า 5 เครน ค่า CPR ของงานที่นำไป plot graph จะตัดที่ช่วงของงานที่ 100 - 3000 งาน

4.1.1 ผลการทดลองของการรันโปรแกรม 20 ครั้ง

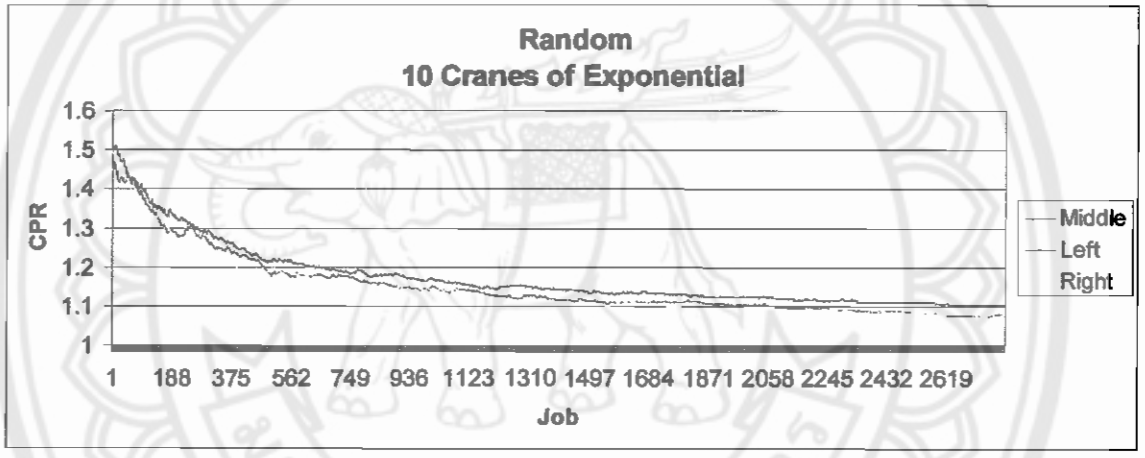
ซึ่งจากผลการทดลองจะสามารถแสดงเป็นกราฟ ของแต่ละรูปแบบของโจทย์ปัญหา ทั้ง 54 แบบ ที่กล่าวไว้ข้างต้น ทั้งโจทย์ปัญหาที่ใช้ค่าของตำแหน่งแบบ Random Exponential และ 1- Exponential ปรากฏว่าค่า CPR ที่ได้มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน ซึ่งจะนำกราฟมาอธิบายผลการทดลองดังตัวอย่างกราฟต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 แสดงกราฟ การสุ่มตำแหน่งแบบ Random ของจำนวนเครน 5 เครน และการแจกแจงเวลาแบบ Triangular 0.1

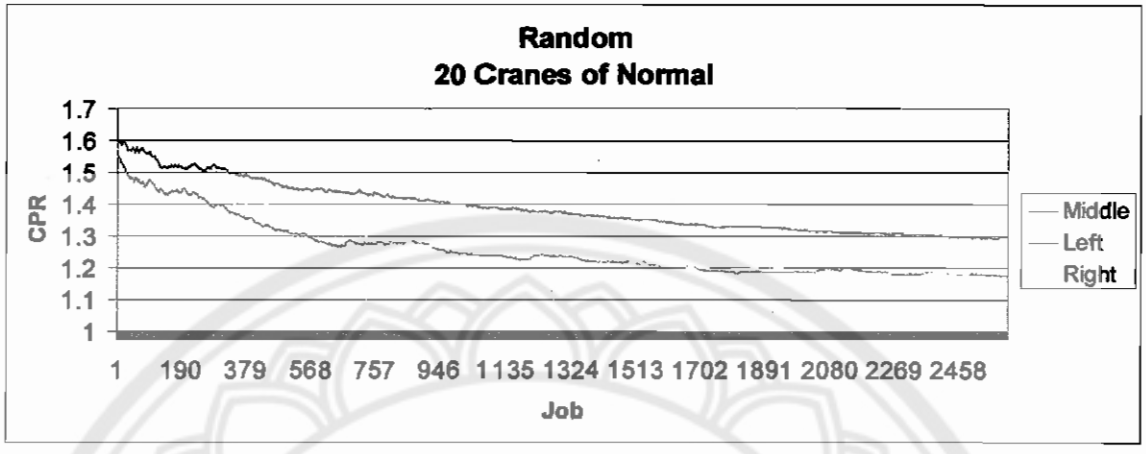
รูปแบบโจทย์ปัญหาที่มีแนวโน้มของค่า CPR ของเครน 5 เครน ที่มีความคล้ายคลึงกับ การแจกแจงเวลาแบบ Triangular 0.1 คือ การแจงแจงเวลาแบบ Uniform ส่วนกราฟของการแจกแจงเวลาแบบ Uniform จะแสดงอยู่ในภาคผนวก ก

จากกราฟในรูปที่ 4.1 การแจกแจงเวลาแบบ Triangular 0.1 และการสุ่มตำแหน่งแบบ Random แสดงให้เห็นได้ว่าวิธีการจัดลำดับการทำงานแบบ Left Heuristic และแบบ Right Heuristic ให้ค่า CPR ที่มีแนวโน้มใกล้เคียงกันและให้ค่า CPR ที่ดีกว่าวิธีการจัดลำดับงานแบบ Middle Heuristic



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟ การสุ่มตำแหน่งแบบ Random ของจำนวนเครน 10 เครน และการแจกแจงเวลาแบบ Exponential

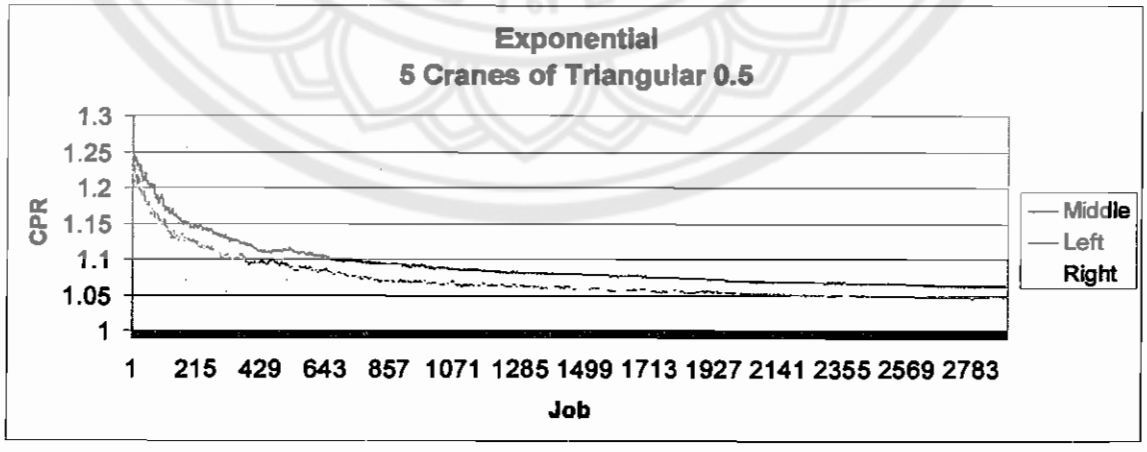
จากกราฟในรูปที่ 4.2 การแจกแจงเวลาแบบ Exponential และการสุ่มตำแหน่งแบบ Random แสดงให้เห็นได้ว่าวิธีการจัดลำดับการทำงานแบบ Left Heuristic และแบบ Right Heuristic ให้ค่า CPR ที่มีแนวโน้มใกล้เคียงกันและให้ค่า CPR ที่ดีกว่าวิธีการจัดลำดับงานแบบ Middle Heuristic



รูปที่ 4.3 **แสดงกราฟ การสุ่มตำแหน่งแบบ** Random **ของจำนวนเครน 20 เครน และการแจกแจงเวลาแบบ** Normal

รูปแบบโจทย์ปัญหาที่มีแนวโน้มของค่า CPR ของเครน 20 เครน ที่มีความคล้ายคลึงกับการแจกแจงเวลาแบบ Normal คือการแจกแจงเวลาแบบ Triangular 0.5 และ Triangular 0.9 ส่วนกราฟของการแจกแจงเวลาแบบ Triangular 0.5 และ Triangular 0.9 จะแสดงอยู่ในภาคผนวก ก

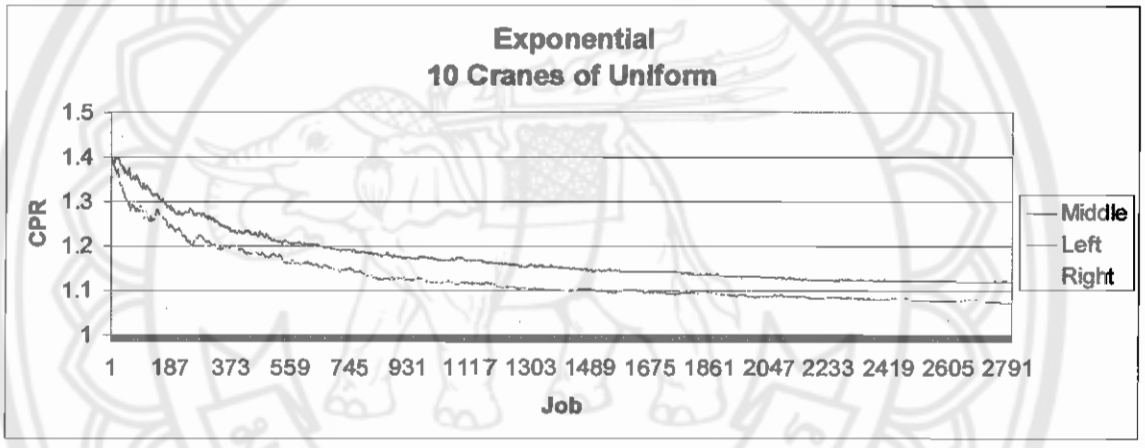
จากกราฟในรูปที่ 4.3 การแจกแจงเวลาแบบ Normal และการสุ่มตำแหน่งแบบ random แสดงให้เห็นได้ว่าวิธีการจัดลำดับการทำงานแบบ Left Heuristic และ Right Heuristic ให้ค่า CPR ที่มีแนวโน้มใกล้เคียงกันและให้ค่า CPR ที่ดีกว่าวิธีการจัดลำดับงานแบบ Middle Heuristic



รูปที่ 4.4 **แสดงกราฟ การสุ่มตำแหน่งแบบ** Exponential **ของจำนวนเครน 5 เครน และการแจกแจงเวลาแบบ** Triangular 0.5

รูปแบบโจทย์ปัญหาที่มีแนวโน้มของค่า CPR ของเครน 5 เครน ที่มีความคล้ายคลึงกับ การแจกแจงเวลาแบบ Triangular 0.5 คือ การแจกแจงเวลาแบบ Triangular 0.9 และ Normal ส่วนกราฟของการแจกแจงเวลาแบบ Triangular 0.9 และ Normal จะแสดงอยู่ในภาคผนวก ก

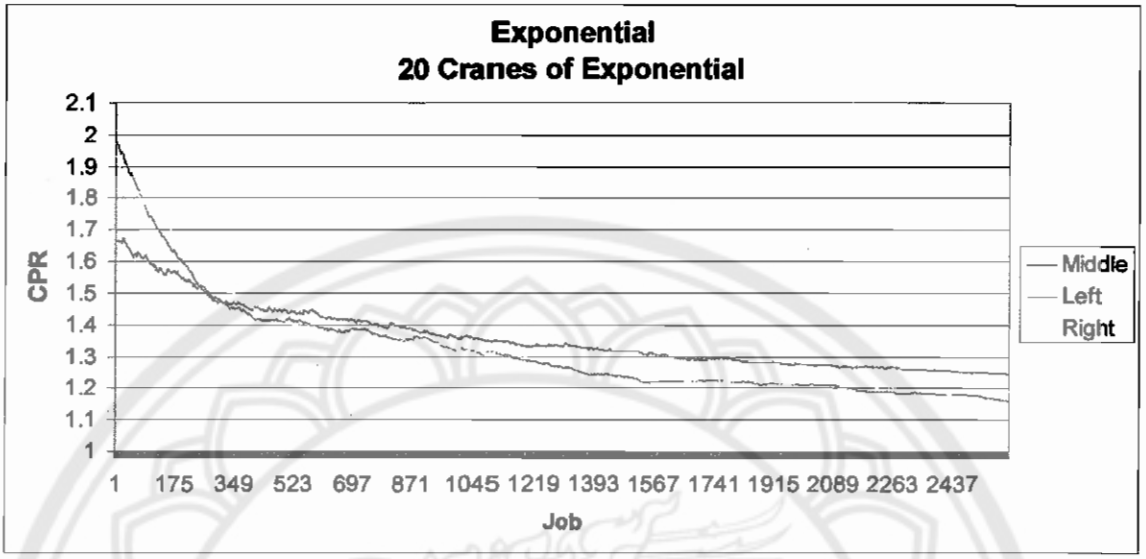
จากกราฟในรูปที่ 4.4 การแจกแจงเวลาแบบ Triangular 0.5 และการสุ่มตำแหน่งแบบ Exponential แสดงให้เห็นได้ว่าวิธีการจัดลำดับการทำงานแบบ Left Heuristic และแบบ Right Heuristic ให้ค่า CPR ที่มีแนวโน้มใกล้เคียงกันและให้ค่า CPR ที่ดีกว่าวิธีการจัดลำดับงานแบบ Middle Heuristic



รูปที่ 4.5 แสดงกราฟ การสุ่มตำแหน่งแบบ Exponential ของจำนวนเครน 10 เครน และการแจกแจงเวลาแบบ Uniform

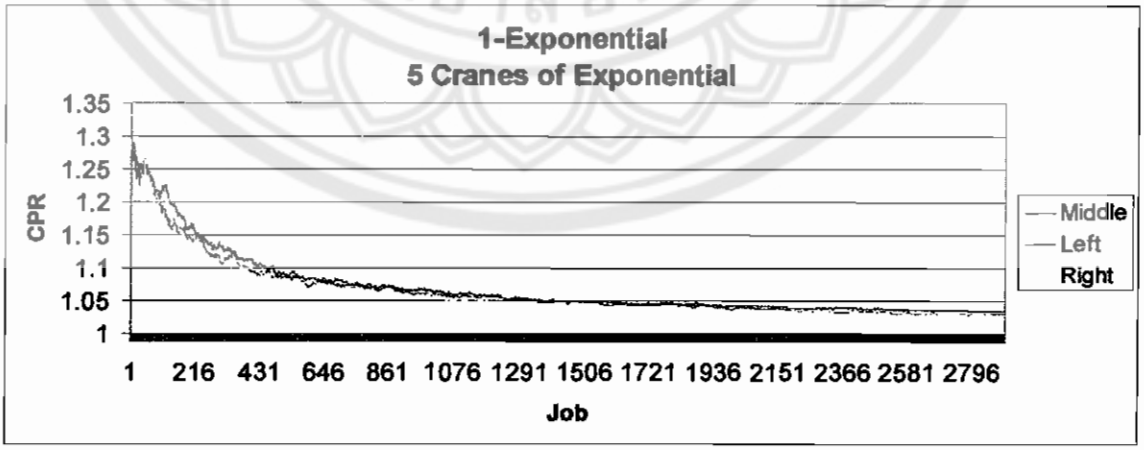
รูปแบบโจทย์ปัญหาที่มีแนวโน้มของค่า CPR ของเครน 10 เครน ที่มีความคล้ายคลึงกับการแจกแจงเวลาแบบ Uniform คือ การแจกแจงเวลาแบบ Triangular 0.1 ส่วนกราฟของการแจกแจงเวลาแบบTriangular 0.1 จะแสดงอยู่ในภาคผนวก ก

จากกราฟในรูปที่ 4.5 การแจกแจงเวลาแบบ Uniform และการสุ่มตำแหน่งแบบ Exponential แสดงให้เห็นได้ว่าวิธีการจัดลำดับการทำงานแบบ Left Heuristic และแบบ Right Heuristic ให้ค่า CPR ที่มีแนวโน้มใกล้เคียงกันและให้ค่า CPR ที่ดีกว่าวิธีการจัดลำดับงานแบบ Middle Heuristic



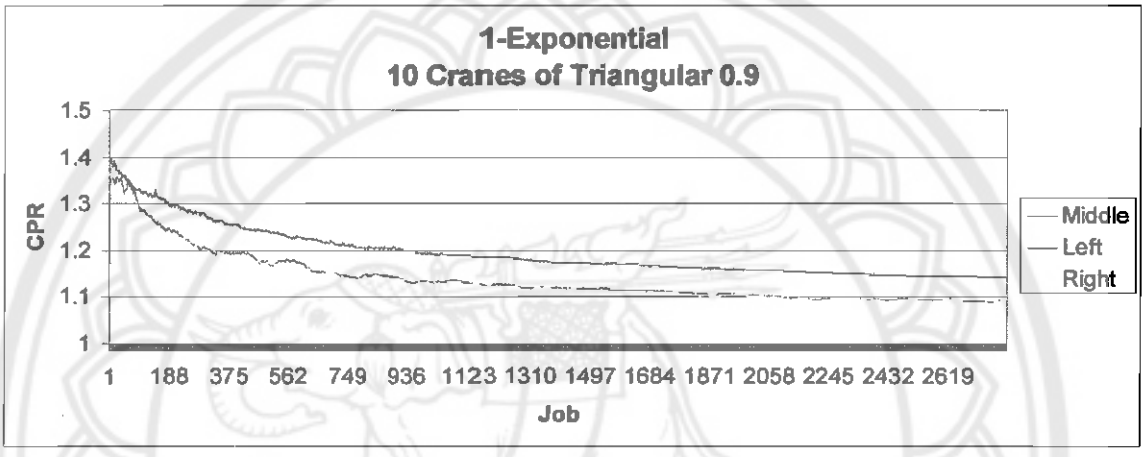
รูปที่ 4.6 แสดงกราฟ การสุ่มตำแหน่งแบบ Exponential ของจำนวนเครน 20 เครน และการแจกแจงเวลาแบบ Exponential

จากกราฟในรูปที่ 4.6 การแจกแจงเวลาแบบ Exponential และการสุ่มตำแหน่งแบบ Exponential แสดงให้เห็นได้ว่าวิธีการจัดลำดับการทำงานแบบ Left Heuristic และแบบ Right Heuristic ให้ค่า CPR ที่มีแนวโน้มใกล้เคียงกันและให้ค่า CPR ที่ดีกว่าวิธีการจัดลำดับงานแบบ Middle Heuristic



รูปที่ 4.7 แสดงกราฟ การสุ่มตำแหน่งแบบ 1- Exponential ของจำนวนเครน 5 เครน และการแจกแจงเวลาแบบ Exponential

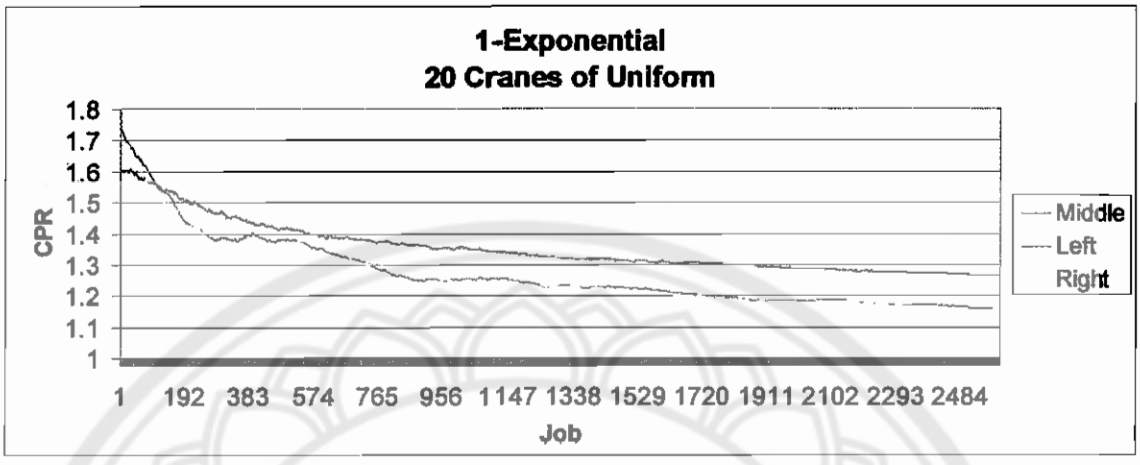
จากกราฟในรูปที่ 4.7 การแจกแจงเวลาแบบ Exponential และการสุ่มตำแหน่งแบบ 1-Exponential แสดงให้เห็นได้ว่าวิธีการจัดลำดับการทำงานแบบ Left Heuristic และแบบ Right Heuristic ให้ค่า CPR ที่มีแนวโน้มใกล้เคียงกันและให้ค่า CPR ที่ดีกว่าวิธีการจัดลำดับงานแบบ Middle Heuristic



รูปที่ 4.8 **แสดงกราฟ การสุ่มตำแหน่งแบบ** 1- Exponential **ของจำนวนเครน** 10 **เครน และการแจกแจงเวลาแบบ** Triangular 0.9

รูปแบบโจทย์ปัญหาที่มีแนวโน้มของค่า CPR ของเครน 10 เครน ที่มีความคล้ายคลึงกับการแจกแจงเวลาแบบ Triangular 0.9 คือ การแจกแจงเวลาแบบ Triangular 0.5 และ Normal ส่วนกราฟของการแจกแจงเวลาแบบ Triangular 0.5 และ Normal จะแสดงอยู่ในภาคผนวก ก

จากกราฟในรูปที่ 4.8 การแจกแจงเวลาแบบ Triangular 0.9 และการสุ่มตำแหน่งแบบ 1-Exponential แสดงให้เห็นได้ว่าวิธีการจัดลำดับการทำงานแบบ Left Heuristic และแบบ Right Heuristic ให้ค่า CPR ที่มีแนวโน้มใกล้เคียงกันและให้ค่า CPR ที่ดีกว่าวิธีการจัดลำดับงานแบบ Middle Heuristic



รูปที่ 4.9 แสดงกราฟ การสุ่มตำแหน่งแบบ 1- Exponential ของจำนวนเครน 20 เครน และการแจกแจงเวลาแบบ Uniform

รูปแบบโจทย์ปัญหาที่มีแนวโน้มของค่า CPR ของเครน 20 เครน ที่มีความคล้ายคลึงกับการแจกแจงเวลาแบบ Uniform คือ การแจกแจงเวลาแบบ Triangular 0.1 ส่วนกราฟของการแจกแจงเวลาแบบ Triangular 0.1 จะแสดงอยู่ในภาคผนวก ก

จากกราฟในรูปที่ 4.9 การแจกแจงเวลาแบบ Uniform และการสุ่มตำแหน่งแบบ 1-Exponential แสดงให้เห็นได้ว่าวิธีการจัดลำดับการทำงานแบบ Left Heuristic และแบบ Right Heuristic ให้ค่า CPR ที่มีแนวโน้มใกล้เคียงกันและให้ค่า CPR ที่ดีกว่าวิธีการจัดลำดับงานแบบ Middle Heuristic

ตารางที่ 4.1 สรุป ค่า CPR เฉลี่ยตัวสุดท้ายของแต่ละรูปแบบโจทย์ปัญหา

เครน	การแจกแจงเวลา	ค่า CPR เฉลี่ย ตัวสุดท้าย								
		การสุ่มค่าตำแหน่ง								
		Random			Exponential			1 - Exponential		
		Middle	Left	Right	Middle	Left	Right	Middle	Left	Right
5	Trianglar 0.1	1.043	1.0355	1.0358	1.0436	1.0353	1.0348	1.0436	1.0355	1.034
	Trianglar 0.5	1.0629	1.046	1.0452	1.061	1.0462	1.0473	1.0622	1.046	1.0455
	Trianglar 0.9	1.0652	1.0494	1.049	1.0646	1.0486	1.0496	1.065	1.0477	1.0479
	Exponential	1.0352	1.0299	1.0324	1.0337	1.0297	1.031	1.0333	1.0298	1.0285
	Normal	1.0766	1.056	1.0567	1.0741	1.0556	1.0563	1.0753	1.056	1.0555
	Uniform	1.0477	1.0336	1.0326	1.0459	1.0350	1.0359	1.0447	1.0352	1.0348
10	Trianglar 0.1	1.1122	1.0717	1.0773	1.1109	1.0739	1.0764	1.1117	1.0732	1.0748
	Trianglar 0.5	1.1393	1.088	1.0942	1.1374	1.0829	1.0917	1.1345	1.0886	1.0885
	Trianglar 0.9	1.1399	1.0904	1.0918	1.1419	1.0901	1.0899	1.1407	1.0916	1.0925
	Exponential	1.1018	1.0797	1.0778	1.091	1.0698	1.0771	1.0975	1.0771	1.0777
	Normal	1.1526	1.0968	1.0972	1.1569	1.0981	1.1000	1.1503	1.0964	1.0956
	Uniform	1.1214	1.0726	1.0732	1.1179	1.0715	1.0764	1.1155	1.0754	1.0783
20	Trianglar 0.1	1.259	1.166	1.1474	1.2521	1.1578	1.1633	1.2533	1.1562	1.1611
	Trianglar 0.5	1.2874	1.1641	1.1755	1.2809	1.1645	1.1681	1.277	1.1636	1.167
	Trianglar 0.9	1.2741	1.165	1.1723	1.2845	1.1639	1.1749	1.2849	1.1592	1.162
	Exponential	1.2415	1.1782	1.1731	1.2437	1.1588	1.1869	1.2489	1.1901	1.1729
	Normal	1.2945	1.1736	1.1671	1.2858	1.1724	1.1745	1.294	1.1748	1.1675
	Uniform	1.266	1.1659	1.1616	1.2662	1.1651	1.1706	1.2644	1.1576	1.1593

จากตารางที่ 4.1 สรุปค่าเฉลี่ยตัวสุดท้ายของแต่ละรูปแบบโจทย์ปัญหา แสดงให้เห็นว่าการจัดลำดับของงานด้วยวิธี Left Heuristic และ Right Heuristic ให้ค่าเฉลี่ยของเวลาดีกว่าวิธี Middle Heuristic ในทุกกรณี โดยค่าเฉลี่ยของเวลาของวิธี Left Heuristic และ Right Heuristicsมีค่าใกล้เคียงกันมาก ซึ่งสรุปได้ว่าวิธี Left Heuristic และ Right Heuristic ให้ค่าเฉลี่ยของเวลาดีกว่าวิธี Middle Heuristic ในทุกกรณี

4.1.2 ผลของการรันโปรแกรมด้วยการเรียงลำดับตำแหน่งของงาน

ในการรันโปรแกรมโดยการใช้ตำแหน่งของงานจากการเรียงลำดับตำแหน่งของงานจากน้อยไปมาก และเรียงจากมากไปน้อย เพื่อจะดูว่าผลลัพธ์หรือค่า CPR ที่ได้จากการรันโปรแกรมมีความถูกต้อง ที่ค่า CPR ของ Left และ Right Heuristic มีคำตอบที่ดีกว่า Middle Heuristic

ในการสุ่มหาตำแหน่งของงานใช้วิธีการแจกแจงแบบ Exponential แล้วนำค่ามาจัดเรียงลำดับจากน้อยไปมาก และเรียงลำดับจากมากไปน้อย ซึ่งได้ยกตัวอย่างของการรันของการแจกแจงเวลาแบบ Normal ของเครน 5 เครนได้ผลดังตาราง

ตารางที่ 4.2 แสดงผลค่า CPR เฉลี่ยตัวสุดท้ายการเรียงลำดับตำแหน่งของงานของ Normal - 5 Cranes

ตำแหน่งของงาน	CPR		
	Middle Heuristic	Left Heuristic	Right Heuristic
เรียงจากน้อยไปมาก	3.033928993	1.577584696	5
เรียงจากมากไปน้อย	2.278253475	5	1.584431123

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าถ้ารันโปรแกรมเรียงตำแหน่งจากน้อยไปมาก ค่า CPR ของ Right Heuristic มีค่าเท่ากับ 5 นั้นหมายความเมื่อการจัดลำดับการทำงานของเครนโดยใช้เครนขวาทำงานก่อนนั้น เครนที่ได้ทำงานก็คือเครนที่ 5 เครนเดียวเพราะเครนอื่นไม่สามารถทำงานได้เนื่องจากการขัดกันของตำแหน่งที่เริ่มต้นด้วยค่าตำแหน่งน้อยสุด ในกรณีเรียงตำแหน่งจากมากไปน้อยก็ให้ผลตรงข้ามกันคือ CPR ของ Left Heuristic มีค่าเท่ากับ 5 เช่นกัน ในการทดลองกับรูปแบบโจทย์ปัญหาอื่นจะแสดงอยู่ในภาคผนวก ก

4.1.3 ผลของการเปรียบเทียบการทดลองด้วยวิธีการทางสถิติ

เป็นการนำผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองของวิธีการแก้ปัญหาทั้ง 3 ชนิดคือ Middle Heuristic, Left Heuristic และ Right Heuristic มาคำนวณเพื่อเปรียบเทียบหา วิธีการแก้ปัญหาที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยใช้วิธีการของ Dudewicz and Dalal ซึ่งจะนำค่า $\bar{X}_i^{(1)}$ ที่ได้จากการรันโปรแกรม 20 ครั้ง (n_0) ไปคำนวณหาค่าต่าง ๆ คำตอบที่ได้จากการคำนวณของแต่ละรูปแบบโจทย์ปัญหาจะใส่เป็นตาราง โดยในการคำนวณได้กำหนดให้ค่า P* = 0.95 (ค่าความเชื่อมั่นที่ 95

%) และ d* = 0.2 ค่า k=3 (i=1,....,k ; i คือเลขดัชนีของแบบจำลองของ Middle, Left และ Right Heuristic)

ในการเปรียบเทียบแบบจำลองของวิธีการแก้ปัญหาทั้ง 3 ชนิด นั้นค่าที่นำมาใช้วิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพนั้นคือค่า $\tilde{X}_i(N_i)$ ถ้าคำตอบของวิธีการใดมีค่าน้อยที่สุดหรือมีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด วิธีการแก้ปัญหาที่ใช้ในโจทย์ปัญหานั้นถือว่าให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ซึ่งจะได้อธิบายตารางการเปรียบเทียบคำตอบของ 3 ชนิด ที่ได้ยกตัวอย่างมาดังนี้

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบคำตอบวิธีการแก้ปัญหาทั้ง 3 ชนิด ของ Random-Triangular (0.1)-5 Cranes

i	$\bar{X}_i^{(1)}(20)$	$S_i^2(20)$	N_i	$\bar{X}_i^{(2)}(N_i-20)$	W_{i1}	W_{i2}	$\tilde{X}_i(N_i)$
1	1.071705	0.000011	21	1.082269	5.529266	-4.52927	<u>1.023856</u>
2	1.060378	0.000016	21	1.051141	4.745465	-3.74547	1.094977
3	1.060736	0.000026	21	1.054196	3.924989	-2.92499	1.079866

จากตารางที่ 4.3 พบว่าในการเปรียบเทียบ ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณของ โจทย์ปัญหาการสุ่มตำแหน่งแบบ Random การแจกแจงเวลาแบบ Triangular (0.1) ของ 5 Cranes นั้น แบบจำลองที่ดีที่สุดคือ Middle Heuristic ให้ผลลัพธ์เป็น 1.023856 มีค่าน้อยที่สุด

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบคำตอบวิธีการแก้ปัญหาทั้ง 3 ชนิด ของ Exponential - Normal 10 Cranes

i	$\bar{X}_i^{(1)}(20)$	$S_i^2(20)$	N_i	$\bar{X}_i^{(2)}(N_i-20)$	W_{i1}	W_{i2}	$\tilde{X}_i(N_i)$
1	1.200672	0.000135	21	1.208126	2.24281	-1.24281	1.191409
2	1.140959	0.000141	21	1.139586	2.214291	-1.21429	<u>1.142626</u>
3	1.142086	0.000101	21	1.134767	2.449391	-1.44939	1.152695

จากตารางที่ 4.4 พบว่าในการเปรียบเทียบ ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณของ โจทย์ปัญหาการสุ่มตำแหน่งแบบ Exponential การแจกแจงเวลาแบบ Normal ของ 10 Cranes นั้น แบบจำลองที่ดีที่สุดคือ Left Heuristic ให้ผลลัพธ์เป็น 1.142626 มีค่าน้อยที่สุด

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบคำตอบวิธีการแก้ปัญหาทั้ง 3 ชนิด ของ 1-Exponential - Exponential 20 Cranes

i	$\bar{X}_i^{(1)}(20)$	$S_i^2(20)$	N_i	$\bar{X}_i^{(2)}(N_i-20)$	W_{i1}	W_{i2}	$\tilde{X}_i(N_i)$
1	1.363422	0.00173	21	1.405253	1.24925	-0.24925	1.352995
2	1.321666	0.00123	21	1.274173	1.329731	-0.32973	1.337326
3	1.321189	0.00115	21	1.330838	1.346657	-0.34666	1.317844

จากตารางที่ 4.5 พบว่าในการเปรียบเทียบ ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณของ โจทย์ปัญหาการสุ่มตำแหน่งแบบ 1-Exponential การแจกแจงเวลาแบบ Exponential ของ 20 Cranes นั้น แบบจำลองที่ดีที่สุดคือ Right Heuristic ให้ผลลัพธ์เป็น 1.317844 มีค่าน้อยที่สุด ในการทดลองกับรูปแบบโจทย์ปัญหาอื่นจะแสดงอยู่ในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.6 สรุปผลของการทดลองจากวิธีการของ Dudewicz and Dalal

การแจกแจงเวลา	จำนวนเครน	การสุ่มของตำแหน่ง		
		Random	Exponential	1-Exponential
Exponential	5	Left	Right	Left
	10	Left	Left	Left
	20	Left	Left	Right
Normal	5	Right	Left	Left
	10	Left	Left	Right
	20	Left	Left	Left
Triangular 0.1	5	Middle	Left	Right
	10	Right	Right	Right
	20	Left	Right	Left
Triangular 0.5	5	Right	Right	Right
	10	Right	Left	Left
	20	Left	Left	Left
Triangular 0.9	5	Right	Middle	Left
	10	Right	Right	Left
	20	Right	Right	Left
Uniform	5	Right	Left	Left
	10	Right	Left	Right
	20	Right	Left	Left

จากตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าผลของการทดลองของทั้งทุกรูปแบบของการแจกแจงเวลาการสุ่มของตำแหน่งงาน และจำนวนเครน ปรากฏว่าผลของการทำการทดลองเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของ วิธีการแก้ปัญหาทั้ง 3 ชนิด ผลของการทดลองของการจัดลำดับงานด้วยวิธี Left Heuristic และ Right Heuristic เป็นวิธีการจัดลำดับงานที่มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการจัดลำดับงานแบบ Middle Heuristic เกือบทุกกรณี ยกเว้นกรณีที่มีการแจกแจงเวลาแบบ Triangular 0.1 จำนวนเครน 5 เครน ที่มีการสุ่มของตำแหน่งงานแบบ Random และกรณีที่มีการแจกแจงเวลาแบบ Triangular 0.9 จำนวนเครน 5 เครน ที่มีการสุ่มของตำแหน่งงานแบบ Exponential ซึ่งผลของการจัดลำดับงานวิธี Middle Heuristic มีประสิทธิภาพกว่า แต่ถึงอย่างไรก็ตามจากผลของการทดลองของรูปแบบปัญหา 54 ปัญหา ผลของการทดลองแสดงให้เห็นว่าการจัดลำดับงานด้วยวิธี Left Heuristic และ Right Heuristic มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธี Middle Heuristic เห็นได้อย่างชัดเจน ฉะนั้นจากตารางจึงสรุปได้ว่าวิธีการจัดลำดับการทำงานของเครนด้วยวิธี Left Heuristic และ Right Heuristic มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการจัดลำดับงานแบบ Middle Heuristic

4.1.4 เวลาที่ใช้ในการรันโปรแกรม

ในการทดลองนี้ การรันโปรแกรมได้ทำการทดลองกับคอมพิวเตอร์จำนวนหลายเครื่องด้วยกัน จึงไม่ได้ทำการเก็บข้อมูลด้านเวลาในการรันโปรแกรมไว้ทั้งหมด แต่เพื่อได้ทราบถึงเวลาการรันโปรแกรม จึงได้ทำการเก็บเวลาการรันโปรแกรมจากเครื่องคอมพิวเตอร์ Intel(R) Pentium(R) Dual CPU E2160 @ 1.80 GHz 1.80 GHz, 992 MB of RAM, Hard disk 250 GB โดยได้รันโปรแกรมของการสุ่มเวลาแบบ Triangular 0.1 การสุ่มค่าตำแหน่งแบบ Random ซึ่งจะแบ่งเป็นเวลาที่ใช้ในการรันโปรแกรมของ 5 เครน, 10 เครน และ 20 เครน จำนวน 5 การรันด้วยกัน ซึ่งเวลาเฉลี่ยของแต่ละการกำหนดเครนเป็นดังนี้

1) เวลาเฉลี่ยในการรันโปรแกรมของ 5 เครน เป็น 1.35 นาที

2) เวลาเฉลี่ยในการรันโปรแกรมของ 10 เครน เป็น 3.65 นาที เป็น 2.7 เท่าของ 5 เครน

3) เวลาเฉลี่ยในการรันโปรแกรมของ 20 เครน เป็น 9.02 นาที เป็น 6.7 เท่าของ 5 เครน

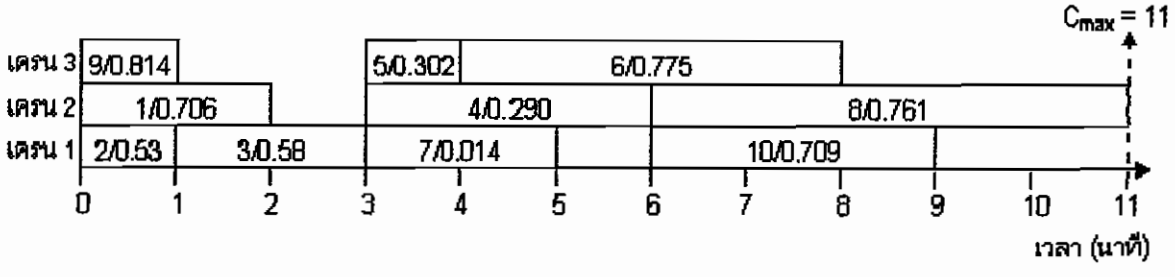
จากเวลาที่ใช้ในการรันโปรแกรมจะเห็นได้ว่า เมื่อมีจำนวนเครนมากขึ้น เวลาที่ใช้ในการรันโปรแกรมก็จะมากขึ้นด้วย เนื่องจากโปรแกรมจะต้องใช้เวลาในการตรวจสอบช่องว่างที่จะกำหนดให้เครนจัดลำดับงาน เมื่อมีจำนวนเครนมากขึ้น การตรวจสอบช่องว่างจึงใช้เวลามากตามไปด้วย

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนี้ จะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ CPR ที่ได้จากการรันโปรแกรมของวิธีการแก้ปัญหาทั้ง 3 ชนิด ดังกราฟ และตารางสรุปค่าเฉลี่ยตัวสุดท้ายของแต่ละรูปแบบโจทย์ปัญหาที่แสดงไว้ข้างต้น รวมทั้งผลจากการคำนวณที่ได้จากวิธีการของ Dudewicz and Dalal

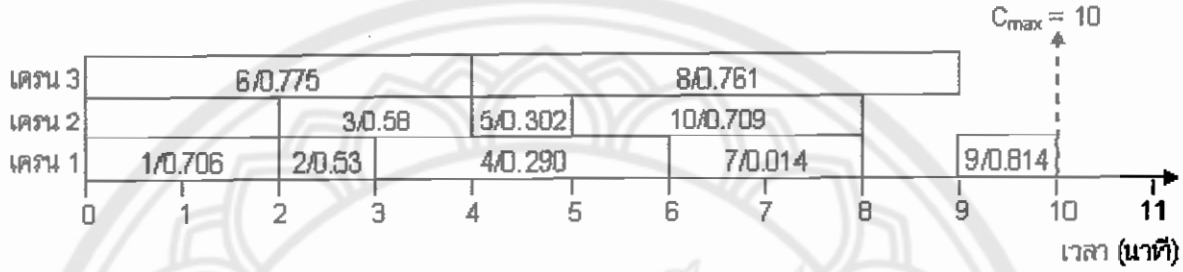
4.2.1 **เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ CPR** ของทั้ง Middle Heuristic, Left Heuristic และ Right Heuristic เมื่อวิเคราะห์จากกราฟที่แสดงแนวโน้ม ของแต่ละโจทย์ปัญหานั้นจะพบว่า ผลที่ได้จาก Left Heuristic และ Right Heuristic ค่า CPR มีแนวโน้มที่เข้าใกล้ 1 ได้มากกว่า Middle Heuristic

ซึ่งหมายความว่า Left Heuristic และ Right Heuristic มีประสิทธิภาพดีกว่า Middle Heuristic ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากการจัดลำดับการทำงานของเครน ที่วิธีการจัดลำดับงานของ Middle Heuristic เครนจะทำงานในลักษณะที่มีการกระจายเท่าๆ กัน ส่วนในวิธีการจัดลำดับงานของ Left Heuristic จะให้เครนที่อยู่ทางซ้ายมือ หรือเครนที่มีเลขดัชนีน้อยกว่าทำงานก่อน และ Right Heuristics จะให้เครนที่อยู่ทางขวามือหรือเครนที่มีเลขดัชนีมากกว่าทำงานก่อน ฉะนั้นเมื่อมีจำนวนของงานมากๆ Left Heuristic และ Right Heuristic ก็มีการที่จะมีช่องว่างให้ใส่ได้มากกว่า Middle Heuristic เพราะการกระจายตัวของเครนไม่มีความสม่ำเสมอ ทำให้ช่องว่างที่เหลือมีลักษณะที่ว่างขนาดใหญ่ และเมื่อมีงานเข้ามาแล้วไม่เกิดการชัดกันของตำแหน่ง การที่จะใส่งานในช่องว่างนั้นจะทำได้มากกว่า ช่องว่างที่เกิดจากวิธีการของ Middle Heuristic ที่มีช่องว่างกระจายตัวอยู่ทุกเครนแต่ช่องว่างนั้นมีขนาดเล็กเกินไปไม่สามารถใส่งานได้เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นถึงผลที่ได้จากการจัดลำดับงานของแต่ละวิธีการแก้ปัญหา จึงได้ยกตัวอย่างของการจัดลำดับของเครน 3 เครน และมีงาน 10 งาน ดังรูป 4.10, 4.11 และ 4.12 (1/0.706 หมายความว่า งานที่ 1 มีตำแหน่งงานเป็น 0.706)



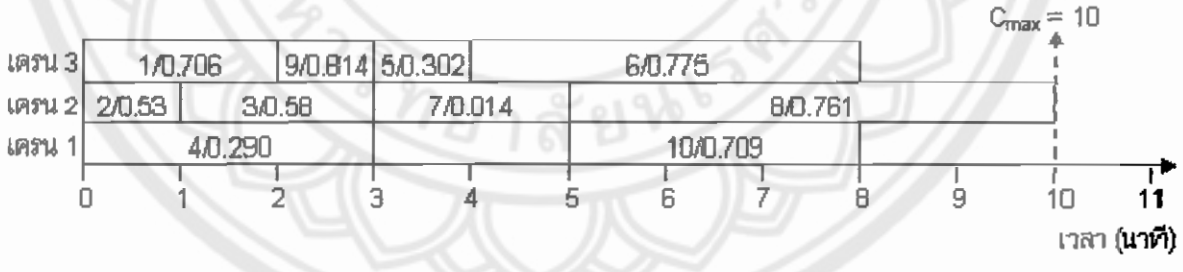
รูปที่ 4.10 แสดงการจัดลำดับงานด้วย Middle Heuristic -- 3 Cranes

จากรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นถึงการจัดลำดับงานด้วย Middle Heuristic ที่มีเครนทำงานที่มีลักษณะการกระจายเท่าๆ กัน ทำให้เกิดช่องว่างกระจายอยู่ทุกเครนซึ่งช่องว่างนั้นอาจมีขนาดเล็กไปไม่สามารถใส่งานได้ เช่น งานที่ 6 ไม่สามารถใส่ในช่องว่าง ณ นาทีที่ 1 ได้



รูปที่ 4.11 **แสดงการจัดลำดับงานด้วย** Left Heuristic – 3 Cranes

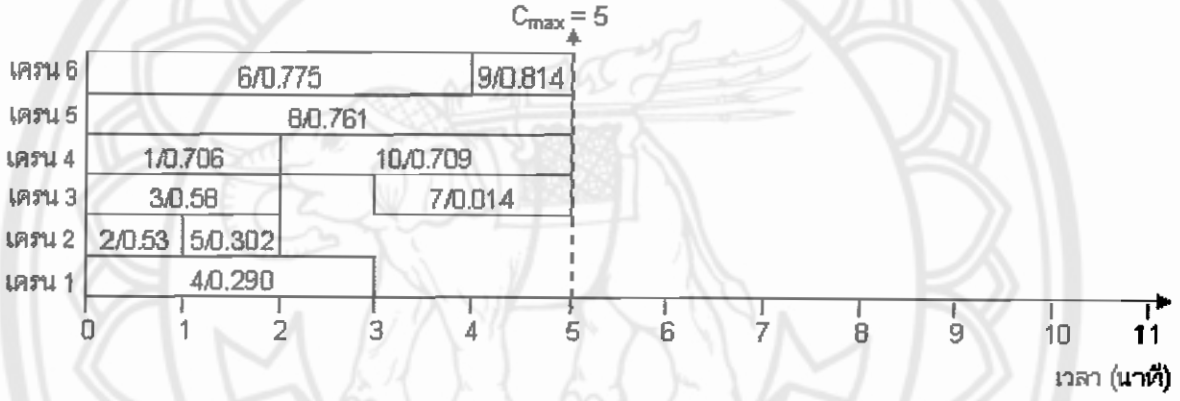
จากรูปที่ 4.11แสดงให้เห็นถึงการจัดลำดับงานด้วย Left Heuristic จะให้เครนที่มีเลขดัชนีน้อยกว่าทำงานก่อน ทำให้มีการทำงานที่เครนที่ 1 มาก พองานที่ไม่ขัดกันของตำแหน่งเข้ามาแล้วเป็นงานขนาดใหญ่เครนอื่นจึงสามารถทำงานได้เลย เช่น งานที่ 6 ทำงานโดยเครน 3 ที่นาทีเท่ากับ 0



รูปที่ 4.12 **แสดงการจัดลำดับงานด้วย** Right Heuristic – 3 Cranes

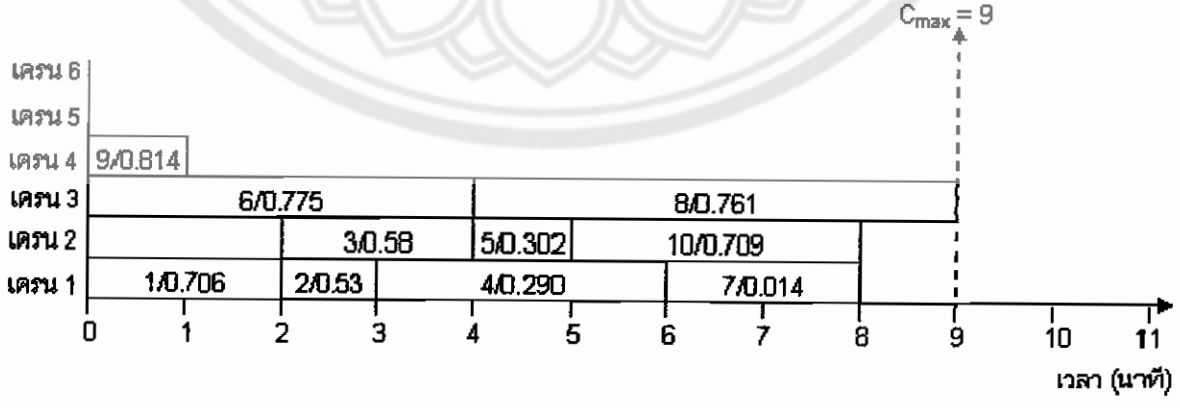
จากรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นถึงการจัดลำดับงานด้วย Right Heuristic จะให้เครนที่มีเลขดัชนีมากกว่าทำงานก่อน พองานที่ไม่ขัดกันของตำแหน่งเข้าจึงมีการทำงานที่เรียงลงมาตามลำดับเครนได้เลย เช่น งานที่ 2 ทำงานโดยเครน 2 ที่นาทีเท่ากับ 0 ต่อจาก งานที่ 1 ทำงานโดยเครน 3 ที่นาทีเท่ากับ 0

4.2.2 เมื่อมีจำนวนเครนที่ให้จัดลำดับงานเพิ่มขึ้น จาก 5 เครน เป็น 10 เครน หรือเป็น 20 เครน และเมื่อมีงานเป็นจำนวนมากด้วยแล้ว ความแตกต่างของค่า CPR ระหว่าง Middle Heuristic กับ Left Heuristic และ Right Heuristic จะมีความแตกต่างกันมากขึ้นเนื่องจาก เครน ของ Left และ Right Heuristics นั้น ยิ่งมากก็จะทำให้โอกาสที่จะมีช่องว่างที่ขนาดงานที่มีขนาดใหญ่ หรือมีเวลาการทำงานมาก เข้ามาในระบบแล้วใส่ในช่องว่างนั้นได้มากกว่า Middle Heuristic ที่เครนทำงานกระจายตัวสม่ำเสมอ แล้วช่องว่านั้นอาจมีเวลาไม่เพียงพอที่จะใส่งานได้ ดังรูปที่ 4.13 จากโจทย์เดียวกับ 4.2.1 เมื่อเพิ่มเครนจาก 3 เครน เป็น 6 เครน



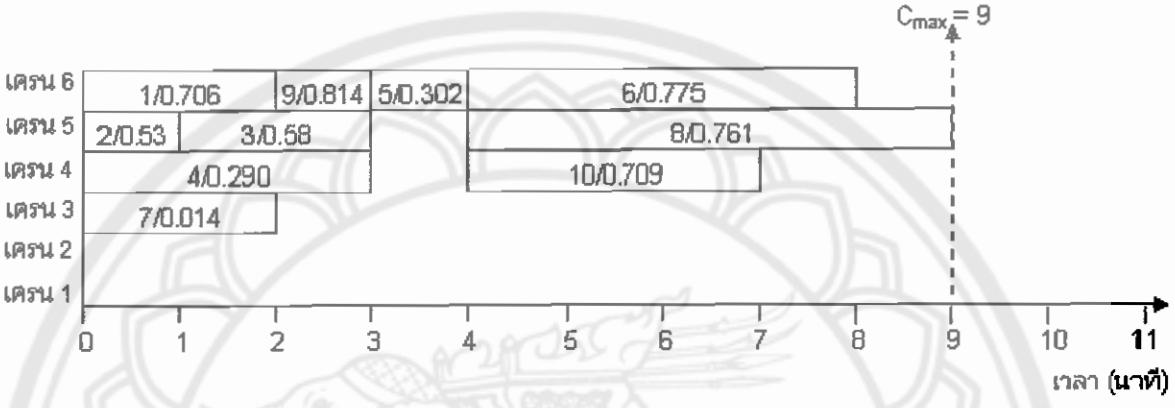
รูปที่ 4.13 แสดงการจัดลำดับงานด้วย Middle Heuristic – 6 Cranes

จากรูปที่ 4.13 แสดงให้เห็นถึงการจัดลำดับงานด้วย Middle Heuristic ที่มีเครนทำงานที่มีลักษณะการกระจายเท่า ๆ กัน ของเครนทั้ง 6 เครน



รูปที่ 4.14 แสดงการจัดลำดับงานด้วย Left Heuristic – 6 Cranes

จากรูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นถึงการจัดลำดับงานด้วย Left Heuristic จะให้เครนที่มีเลขดัชนีน้อยกว่า ทำงานก่อน เครนที่ 5 และ 6 ยังว่างอยู่ แสดงให้เห็นถึงการมีช่องว่างที่งานเข้ามาใหม่และมีขนาดงานที่ใหญ่ใช้เวลาการทำงานมากมีโอกาสการจัดวางได้มากกว่า Middle Heuristic



รูปที่ 4.15 **แสดงการจัดลำดับงานด้วย** Right Heuristic – 6 Cranes

จากรูปที่ 4.15 แสดงให้เห็นถึงการจัดลำดับงานด้วย Right Heuristic จะให้เครนที่มีเลขดัชนีมากกว่าทำงานก่อน เครนที่ 1 และ 2 ยังว่างอยู่ แสดงให้เห็นถึงการมีช่องว่างที่งานเข้ามาใหม่และมีขนาดงานที่ใหญ่ใช่เวลาการทำงานมากมีโอกาสการจัดวางได้มากกว่า Middle Heuristic

4.2.3 **จากผลของการคำนวณที่ได้จากวิธีการของ Dudewicz and Dalal** พบว่าการจัดลำดับงานด้วยวิธี Left Heuristic และ Right Heuristic มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธี Middle Heuristic เห็นได้อย่างชัดเจน จากตารางที่ 4.6 จึงสรุปที่แสดงไว้ข้างต้น และการจัดลำดับการทำงานของเครนด้วยวิธี Left Heuristic มีผลลัพธ์ดีที่สุดถึง 30 รูปแบบโจทย์ปัญหาคิดเป็น 55.55% ของรูปแบบโจทย์ปัญหาทั้งหมด Right Heuristic มีผลลัพธ์ดีที่สุด 22 รูปแบบโจทย์ปัญหาคิดเป็น 40.74% ของรูปแบบโจทย์ปัญหาทั้งหมด และ Middle Heuristicมีผลลัพธ์ดีที่สุด 2 รูปแบบโจทย์ปัญหาคิดเป็น 3.71% ของรูปแบบโจทย์ปัญหาทั้งหมด ซึ่งหมายความว่า Left Heuristic มีประสิทธิภาพมากที่สุด