# ขั้นตอนวิธีอินเตอร์เซกชันแบบเอสวีเอสโดยใช้การข้าม

# A SKIPING APPROACH TO SVS INTERSECTION ALGORITHM

จรัสเดช ชัชวาลย์

JARATDECH CHATCHAVAL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

KMITL-2007-SC-M-002-040

# ขั้นตอนวิธีอินเตอร์เซกชันแบบเอสวีเอสโดยใช้การข้าม

# A SKIPPING APPROACH TO SVS INTERSECTION ALGORITHM

จรัสเดช ชัชวาลย์

JARATDECH CHATCHAVAL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

KMITL-2007-SC-M-002-040

# A SKIPPING APPROACH TO SVS INTERSECTION ALGORITHM

JARATDECH CHATCHAVAL

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN COMPUTER SCIENCE

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2007

KMITL-2007-SC-M-002-040

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

| | |
|---|---|
| **หัวข้อวิทยานิพนธ์** | ขั้นตอนวิธีอินเตอร์เซกชันแบบเอสวีเอสโดยใช้การข้าม |
| **นักศึกษา** | นายจรัสเดช ชัชวาลย์ |
| **รหัสประจำตัว** | 48067505 |
| **ปริญญา** | วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต |
| **สาขาวิชา** | วิทยาการคอมพิวเตอร์ |
| **พ.ศ.** | 2550 |
| **อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์** | รศ. ดร. วีระ บุญจริง |

# บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงขั้นตอนวิธีอินเตอร์เซกชันแบบเอสวีเอสโดยใช้การข้ามในเซตที่เล็กกว่าเพื่อลดขอบเขตของการค้นหา ขั้นตอนวิธีเอสวีเอสใหม่นี้เรียกว่าขั้นตอนวิธีเอสวีเอสแบบข้าม งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเพื่อหาความเหมาะสมของแนวความคิดการข้ามนี้ โดยใช้ชุดข้อมูลแบบสุ่ม โดยได้ทดสอบแนวคิดนี้กับขั้นตอนวิธีเอสวีเอสที่ใช้การค้นแบบทวิภาคและการค้นแบบประมาณค่าในช่วง ผลการทดลองพบว่า (1) ขั้นตอนวิธีเอสวีเอสใหม่ที่ใช้วิธีการค้นแบบทวิภาคสามารถลดจำนวนครั้งการเปรียบเทียบได้ประมาณ 41% เทียบกับจำนวนครั้งในการเปรียบเทียบของขั้นตอนวิธีเอสวีเอสมาตรฐาน และ (2) ขั้นตอนวิธีเอสวีเอสใหม่ที่ใช้วิธีการค้นแบบประมาณค่าในช่วง แบบข้ามสองตำแหน่งมีจำนวนครั้งในการเปรียบเทียบอย่างมากเท่ากับขั้นตอนวิธีเอสวีเอสแบบเดิมที่ใช้การค้นแบบประมาณค่าในช่วง

| | |
|---|---|
| **Thesis** | A Skipping Approach to SVS Intersection Algorithm |
| **Student** | Mr. Jaratdech Chatchaval |
| **Student ID** | 48067505 |
| **Degree** | Master of Science |
| **Program** | Computer Science |
| **Year** | 2007 |
| **Thesis Advisor** | Assoc. Prof. Dr. Veera Boonjing |

# ABSTRACT

This research is an improvement of the SVS intersection algorithm by skipping position in the smaller set to reduce a searching boundary. The new SVS algorithm is known as the skipping SVS algorithm. Experiments are made on random data sets to determine appropriateness of the new algorithm based on two search algorithms used in this SVS algorithm: binary search and interpolation search. The results show that (1) the binary search based algorithm can reduce approximately 41% on the number of comparisons of the standard SVS algorithm and (2) the interpolation search based algorithm with two skipping positions gives number of comparisons at most the same as the original SVS algorithm using interpolation search.

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้มิอาจจะสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี หากมิได้รับคำแนะนำ คำชี้แจง ความรู้ และความเอาใจใส่จาก รศ. ดร. วีระ บุญจริง ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งท่านได้สละเวลาให้กับข้าพเจ้าอย่างเต็มที่ จึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ. ดร. จีรพร ศรีสวัสดิ์ ผศ. ดร. ศรัณย์ อินทโกสุม และ ดร. เฉลิมศักดิ์ เลิศวงศ์เสถียร คณะกรรมการสอบหัวข้อและโครงร่างวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะจนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอบคุณบิดา และมารดา ที่สนับสนุนให้ได้ศึกษาในระดับที่ตั้งใจ อีกทั้งยังให้การดูแลในเรื่องค่าใช้จ่ายต่างๆ ระหว่างทำการศึกษาเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ นางสาวนิพาพร ไฝขาว และ นางสาวเจนจิรา ชัชวาลย์ ที่คอยให้ความเอื้อเฟื้อช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ และช่วยอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ

สำหรับคุณงามความดี และประโยชน์อันใดที่เกิดขึ้นจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดา มารดา อาจารย์ทุกท่านซึ่งเป็นที่เคารพรักยิ่ง ตลอดจนญาติพี่น้อง และเพื่อนๆ ทุกคน

จรัสเดช ชัชวาลย์

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย ..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... II

กิตติกรรมประกาศ ..... III

สารบัญ ..... IV

สารบัญตาราง ..... VII

สารบัญรูป ..... VIII

บทที่ 1 บทนำ ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ..... 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา ..... 3

1.3 สมมติฐานของการศึกษา ..... 3

1.4 ขอบเขตการศึกษา ..... 3

1.5 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์ ..... 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 5

2.1 การทำงานของเสิร์จเอ็นจิน และการค้นหาแบบบูลีน ..... 5

2.1.1 การทำงานของเสร์จเอ็นจิน ..... 5

2.1.2 การค้นหาแบบบูลีน ..... 7

2.2 นิยามและคุณสมบัติของอินเตอร์เซกชัน ..... 10

2.2.1 นิยามของอินเตอร์เซกชัน ..... 10

2.2.2 คุณสมบัติของเซตบางประการที่ควรทราบ ..... 10

2.3 ขั้นตอนวิธีอินเตอร์เซกชัน ..... 11

2.3.1 ขั้นตอนวิธีแบบปรับตัวได้ ..... 11

2.3.2 ขั้นตอนวิธีเอสวีเอส ..... 14

2.4 การค้นหา ..... 17

2.4.1 การค้นหาแบบทวิภาค ..... 17

2.4.2 การค้นหาขอบเขตแบบแกลลอป ..... 19

2.4.3 การค้นหาแบบประมาณค่าในช่วง ..... 20

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 22

# สารบัญ(ต่อ)

หน้า


2.6 การวัดประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธี ..... 23

2.6.1 การนับจำนวนครั้งของการใช้งานคำสั่ง ..... 24

2.6.2 คำสั่งมาตรเวลา ..... 25

2.6.3 สัญกรณ์โอใหญ่ ..... 25

บทที่ 3 ขั้นตอนวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม ..... 28

3.1 หลักการของเอสวีเอสโดยใช้การข้าม ..... 28

3.2 ข้อเหมือนและข้อแตกต่างของขั้นตอนวิธีเอสวีเอสและเอสวีเอสแบบข้ามค้นหา ..... 31

3.2.1 ข้อเหมือน ..... 32

3.2.2 ข้อแตกต่าง ..... 32

3.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม ..... 33

3.3.1 กรณีที่ดีสุด ..... 35

3.3.2 กรณีที่แย่สุด ..... 37

3.3.3 กรณีเฉลี่ย ..... 39

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง ..... 40

4.1 เครื่องมือที่ใช้ทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง ..... 40

4.2 ลักษณะข้อมูล การเลือกข้อมูลและเหตุผลการเลือก ..... 40

4.3 วิธีการวัดผลการทดลอง ..... 41

4.3.1 การวัดขอบเขตการค้นหา ..... 41

4.3.2 การวัดจำนวนการเรียกใช้คำสั่งเปรียบเทียบ ..... 41

4.4 ผลการทดลอง ..... 42

4.4.1 ขอบเขตการค้นหา ..... 42

4.4.2 จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบ ..... 43

บทที่ 5 สรุปผลและแนวทางการพัฒนาวิจัย ..... 55

5.1 สรุปผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง ..... 55

5.2 แนวทางการพัฒนาวิจัย ..... 56

# สารบัญ(ต่อ)

หน้า

เอกสารอ้างอิง ..... 57

ภาคผนวก ก ..... 59

ภาคผนวก ข ..... 67

ภาคผนวก ค ..... 89

ประวัติผู้ทำวิจัย ..... 92

# สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ตัวปฏิบัติการและความหมายที่ใช้ในการค้นหาแบบบูลีน ....8

3.1 ขอบเขตการค้นหาของวิธีเอสวีเอส และเอสวีเอสโดยใช้การข้าม ....30

3.2 แสดงจำนวนรอบคำสั่งแต่ละบรรทัดของขั้นตอนวิธีที่ 4 ....34

4.1 แสดงร้อยละของผลรวมขอบเขตการค้นหาที่สามารถลดลงได้เทียบกับวิธีเอสวีเอส ....43

4.2 แสดงจำนวนตำแหน่งในการข้ามที่ทำให้จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบน้อยที่สุด
เมื่อเซตข้อมูลมีขนาด m และ n ใช้การค้นหาแบบทวิภาค ....44

4.3 แสดงคำสั่งเปรียบเทียบน้อยที่สุดเมื่อเซตข้อมูลมีขนาด m และ n
โดยเป็นค่าเฉลี่ยของการทดลองจำนวน 30 ครั้ง ใช้การค้นหาแบบทวิภาค ....44

4.4 ค่าสถิติต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอย ของสมการที่ 4.1 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ....46

4.5 แสดงจำนวนตำแหน่งในการข้ามที่ทำให้จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบน้อยที่สุด
เมื่อเซตข้อมูลมีขนาด m และ n ....48

4.6 แสดงจำนวนตำแหน่งในการข้ามซึ่งได้จากการคำนวณของสมการที่ 4.3
เมื่อเซตข้อมูลมีขนาด m และ n ....48

4.7 แสดงจำนวนตำแหน่งที่คลาดเคลื่อนจากการคำนวณของสมการที่ 4.3 ....49

4.8 แสดงจำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอส
และวิธีเอสวีเอสที่ใช้สมการ 4.3 คำนวณตำแหน่งการข้าม และร้อยละที่ลดลงได้ ....50

4.9 แสดงจำนวนตำแหน่งในการข้ามที่ทำให้จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบน้อยที่สุด
เมื่อเซตข้อมูลมีขนาด m และ n ใช้การค้นหาแบบประมาณค่าในช่วง ....50

4.10 แสดงคำสั่งเปรียบเทียบน้อยที่สุดเมื่อเซตข้อมูลมีขนาด m และ n เป็นค่าเฉลี่ยของการทดลองซ้ำ
จำนวน 30 ครั้ง ใช้การค้นหาแบบประมาณค่าในช่วง ....51

4.11 ผลการทดสอบสมมติฐาน 4.1 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ....53

4.12 ผลการทดสอบสมมติฐาน 4.2 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ....53

4.13 ผลรวมคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอส และเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 2 ตำแหน่ง
ที่ใช้การค้นหาแบบประมาณค่าในช่วง และค่าร้อยละที่สามารถลดลงได้ ....54

# สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 การทำงานของส่วนประกอบแต่ละส่วนในระบบเสิร์จเอ็นจิน ....6
2.2 ตัวอย่างตารางดัชนีผกผัน ....7
2.3 ตัวอย่างการหาเซตของเอกสารผลลัพธ์จากการค้นหาแบบบูลีน ....9
2.4 ขั้นตอนการทำงานของวิธีแบบปรับตัวได้ ....14
2.5 ขั้นตอนการทำงานของเอสวีเอส ....16
2.6 ตัวอย่างการค้นหาแบบทวิภาค ....18
2.7 ผังงานของการค้นหาแบบทวิภาค ....18
2.8 การกระโดดตำแหน่งของแกลลอปแบบยกกำลังฐานสอง ....20
2.9 แสดงลักษณะข้อมูลที่ได้รับการจัดเรียงแล้ว ....21
2.10 แสดงการเติบโตของ f(n) และ c g(n) ....26
3.1 แสดงขอบเขตของการค้นหาแต่ละครั้งของเอสวีเอส ....28
3.2 ขั้นตอนการทำงานของวิธีเอสวีเอสแบบข้าม ....29
3.3 ลำดับการค้นหาในลิสต์ข้อมูลของเอสวีเอส และเอสวีเอสแบบข้าม 2 ตำแหน่ง ....32
3.4 แสดงขั้นตอนการทำงานของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้ามในกรณีที่ดีสุดเทียบกับวีเอสวีเอส ....36
3.5 แสดงขั้นตอนการทำงานของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้ามในกรณีที่แย่สุดกับวิธีเอสวีเอส ....38
4.1 แผนภูมิแสดงผลรวมของขอบเขตการค้นหา(ในหน่วยล้าน) ของวิธีเอสวีเอส
และเอสวีเอสแบบใช้การข้ามตั้งแต่ 2 ถึง 20 ตำแหน่ง ....42
4.2 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่งที่ใช้ในการข้าม กับขนาดข้อมูล n
ใช้การค้นหาแบบทวิภาค ....45
4.3 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่งที่ใช้ในการข้าม กับขนาดข้อมูล m
ใช้การค้นหาแบบทวิภาค ....45
4.4 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่งที่ใช้ในการข้าม กับขนาดข้อมูล m
ใช้การค้นหาแบบประมาณค่าในช่วง ....51
4.5 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่งที่ใช้ในการข้าม กับขนาดข้อมูล n
ใช้การค้นหาแบบประมาณค่าในช่วง ....52

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การค้นหาแบบบูลีน เป็นรูปแบบการค้นคืนสารสนเทศ ซึ่งมีไว้ให้ผู้ใช้ได้ค้นคืนสารสนเทศจากคำค้นมากกว่า 1 คำ ผู้ใช้สามารถระบุตัวปฏิบัติการกับคำค้นได้เหมือนประโยคตรรกะได้แก่ และ(AND) หรือ(OR) ไม่(NOT) มีข้อดีคือให้ความหมายตรงไปตรงมา มีประสิทธิภาพ และง่ายต่อการใช้งาน จึงทำให้การค้นคืนรูปแบบนี้ เป็นที่นิยมใช้งานในเสิร์จเอ็นจินอย่าง Yahoo, Excite AltaVista หรือแม้กระทั่ง Google

โดยทั่วไปแล้วผู้ใช้ส่วนใหญ่จะใช้ตัวปฏิบัติการ "AND" มากกว่าตัวปฏิบัติการอื่นในการค้นหาแบบบูลีน[11] ดังนั้นเสิร์จเอ็นจินส่วนใหญ่ เช่น Google, AltaVista และ Yahoo จะระบุตัวปฏิบัติการ "AND" ให้โดยอัตโนมัติหากผู้ใช้ไม่ใส่ตัวปฏิบัติการในคิวรี่

กลไกในการหาผลลัพธ์ของคิวรี่ที่ใช้ตัวปฏิบัติการ "AND" จะเริ่มโดยการนำคำค้นแต่ละคำเข้าไปสอบถามในตารางดัชนีผกผัน ซึ่งจะได้ออกมาเป็นเซตของหมายเลขเอกสาร จากนั้นจึงนำเซตของหมายเลขเอกสารของแต่ละคำค้นมาอินเตอร์เซกชัน แล้วแสดงรายละเอียดของเอกสารผลลัพธ์ต่อผู้ใช้

ในปัจจุบันข้อมูลข่าวสารและสารสนเทศนั้นเกิดขึ้นใหม่ตลอดเวลา ระบบค้นคืนสารสนเทศอย่างเสิร์จเอ็นจินจึงต้องเก็บสาระสำคัญของข้อมูลเหล่านั้นจากทั่วทุกมุมโลกเพื่อให้เนื้อหาครอบคลุมต่อการใช้งานของผู้สืบค้น ทำให้คลังข้อมูลของเสิร์จเอ็นจินมีขนาดใหญ่ จากการทดลองคิวรี่คำว่า "data" ลงในเสิร์จเอ็นจิน Google และ Yahoo พบว่าเซตของเอกสารผลลัพธ์มีจำนวนมากกว่าหนึ่งพันล้านเอกสาร

ขั้นตอนวิธีอินเตอร์เซกชัน เป็นการค้นหาสมาชิกร่วมกันของเซต หากเซตที่นำมาอินเตอร์เซกชันกัน มีขนาดใหญ่จะทำให้จำนวนการค้นหาสมาชิกร่วมกันของเซตเพิ่มตามมาด้วย ประกอบกับระบบค้นคืนสารสนเทศที่ดีต้องรองรับผู้ใช้งานจำนวนมากพร้อมกัน ทำให้ระบบต้องประมวลผลงานอย่างหนัก ดังนั้นประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีอินเตอร์เซกชันที่ดี จึงเป็นสิ่งสำคัญต่อระบบค้นคืนสารสนเทศ เพราะมีผลต่อประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบที่มีคลังข้อมูลขนาดใหญ่ อย่างเสิร์จเอ็นจิน

การพัฒนาขั้นตอนวิธีอินเตอร์เซกชันให้มีประสิทธิภาพดี จึงเป็นงานวิจัยที่ได้รับความสนใจจากนักวิจัยอย่างมากโดยงานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นในด้านพัฒนาและปรับปรุงขั้นตอนวิธีอินเตอร์เซกชันให้ใช้เวลาในการประมวลผลงานน้อยที่สุด

[3, 6] เสนอขั้นตอนวิธีปรับตัวได้ ใช้หลักการของตัวนำหน้าของเซตที่ได้ค้นหา เพื่อละเว้นการค้นหา เช่น A={1, 3, 4, 7} และ B={8, 10, 20, 30} จะพบว่า {7} เป็นตัวนำหน้าของ {8} ซึ่งอยู่ในเซต B เมื่อนำ A ∩ B จะได้ว่า ตัวนำหน้าของ {7} ในเซต A ไม่เป็นสมาชิกของเซตผลลัพธ์ จึงไม่จำเป็นต้องนำ {1, 3, 4 }ไปค้นหาในเซต B นอกจากนั้นในงานวิจัยนี้ยังได้นำเสนอการค้นหาแบบประมาณค่าในช่วง(Interpolation Search) และนอกช่วงแบบปรับปรุง(Extrapolation Ahead) แทนที่การค้นหาแบบทวิภาคที่ใช้อยู่เดิม โดยใช้เซตข้อมูลจาก Google ผลการทดลองพบว่าการแทนที่ด้วยการค้นหาแบบใหม่ จะทำให้จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของขั้นตอนวิธีแบบปรับตัวได้ลดลงเมื่อเทียบกับการใช้วิธีการค้นหาแบบทวิภาค(Binary Search)

ขั้นตอนวิธีของ Beaza Yates[2] ใช้การนำค่าสมาชิกในตำแหน่งกึ่งกลางของเซตที่มีจำนวนสมาชิกน้อยที่สุดมาค้นหาค่าในเซตที่มีขนาดใหญ่กว่า ทำให้เกิดการแบ่งเซตเป็นสองสับเซต ต่อจากนั้นทำซ้ำวิธีเดิมกับสับเซตที่เหลือจนกว่าสมาชิกในสับเซตที่ถูกค้นหาใดๆ เป็นเซตว่างจึงหยุดพิจารณาสับเซตที่นำไปค้นหานั้น

ขั้นตอนวิธีเอสวีเอสในงานวิจัย[7] ได้อธิบายไว้ว่า เป็นการนำค่าในเซตที่มีขนาดเล็กที่สุดมาค้นหาในเซตที่มีขนาดใหญ่กว่าโดยตำแหน่งที่ทำการค้นหาคือตำแหน่งล่าสุดที่ค้นหาก่อนหน้าจนถึงตำแหน่งท้ายสุดของเซตที่ถูกค้นหา นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังได้ทดลองใช้การค้นหาขอบเขตแบบแกลลอป ก่อนการค้นหาค่าแบบทวิภาค ส่งผลให้จำนวนการเปรียบเทียบลดลงในกรณีเฉลี่ย

ในงานวิจัย[4] ได้นำขั้นตอนวิธีอินเตอร์เซกชันแบบต่างๆ มาทดลองกับเซตข้อมูลที่ได้จากการสุ่มตัวเลขในช่วง 1-$10^9$ ชุดละสองเซต ผลการทดลองพบว่าในกรณีเฉลี่ยจำนวนการเปรียบเทียบของเอสวีเอส มีค่าต่ำกว่าแบบอื่น ซึ่งหมายความว่าเวลาที่ใช้ประมวลผลขั้นตอนวิธีนี้น่าจะน้อยกว่าแบบอื่นด้วย หากมีแนวทางใดที่ทำให้อัลกอริทึมนี้มีจำนวนการเปรียบเทียบลดลงได้อีก ก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการใช้งานอัลกอริทึมนี้เพิ่มขึ้น และอาจกลายเป็นมาตรฐานในการนำขั้นตอนวิธีเอสวีเอสไปใช้งานในระบบค้นคืนสารสนเทศต่อไป

เนื่องจากเอสวีเอสมีข้อดีตรงที่ใช้คำสั่งเปรียบเทียบจำนวนน้อยในกรณีเฉลี่ย และง่ายต่อการพัฒนาโปรแกรม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษา ขั้นตอนวิธีอินเตอร์เซกชันแบบเอสวีเอส แล้วทำการปรับเปลี่ยนวิธีการทำงาน จากแบบเดิมที่เป็นการค้นหาตามลำดับมาเป็นแบบใช้การข้ามค้นหาในเซตที่นำไปค้นหา เพื่อลดขอบเขตข้อมูลของการค้นหา ซึ่งส่งผลให้จำนวนการเปรียบเทียบลดลงในกรณีเฉลี่ย โดยแสดงประสิทธิภาพด้วยการทดลองเปรียบเทียบกับวิธีเอสวีเอสแบบเดิม ในการทดลองจะใช้เซตข้อมูลแบบสุ่มเช่นเดียวกับงานวิจัย[4, 2] วัดผลการทดลองจากขอบเขตข้อมูลใน

เซตที่ถูกค้นหา และจำนวนการเรียกใช้คำสั่งเปรียบเทียบในโปรแกรม จากนั้นจึงวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาขั้นตอนวิธีอินเตอร์เซกชันแบบเอสวีเอสให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยการลดขอบเขตการค้นหา ซึ่งจะนำไปสู่การใช้คำสั่งเปรียบเทียบที่น้อยลง ทำให้ประสิทธิภาพเชิงเวลาดีขึ้นตามมา

## 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การปรับเปลี่ยนลำดับการค้นหา จากแบบตามลำดับมาเป็นการข้ามของวิธีอินเตอร์เซกชันแบบเอสวีเอส จะช่วยลดขอบเขตการค้นหาและจำนวนคำสั่งเปรียบเทียบให้น้อยลงได้ในกรณีเฉลี่ย

## 1.4 ขอบเขตการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้มีขอบเขตของการวิจัย ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 ด้านทฤษฎี

ทำการศึกษาขั้นตอนวิธีอินเตอร์เซกชันแบบเอสวีเอส และวิธีการค้นหาแบบต่างๆ แล้วนำมาปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานเชิงเวลา โดยให้ความสนใจกับเซตข้อมูลที่นำมาอินเตอร์เซกชันของเซตจำนวนสองเซต

ส่วนที่ 2 ด้านการประยุกต์ใช้งาน

นำทฤษฎีที่ได้ทำการศึกษามาในส่วนแรกมาพัฒนาโดยใช้ภาษาซี (C Language) จากนั้นทำการทดลองโดยใช้เซตข้อมูลตัวเลขที่ได้จากการสุ่มในช่วง $1\text{-}10^9$ และมีการกระจายแบบเอกรูป วัดประสิทธิภาพจากผลรวมของขอบเขตการค้นหา และจำนวนการใช้คำสั่งเปรียบเทียบ

## 1.5 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

ส่วนที่เหลือของวิทยานิพนธ์นี้ ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้ บทที่ 2 จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง บทที่ 3 กล่าวถึงขั้นตอนวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม บทที่ 4 กล่าวถึงการทดลองและผลการทดลอง และบทที่ 5 กล่าวถึงการสรุปผลและแนวทางการพัฒนางานวิจัย

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะอธิบายถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวกับอินเตอร์เซกชัน โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 ส่วนดังนี้ ส่วนที่หนึ่งกล่าวถึงการทำงานของเสิร์จเอ็นจินและการค้นหาแบบบูลีน ส่วนที่สองกล่าวถึงนิยามและคุณสมบัติของอินเตอร์เซกชัน ส่วนที่สามจะกล่าวถึงอัลกอริทึมอินเตอร์เซกชันที่ได้ศึกษามา ส่วนที่สี่วิธีการค้นหา ส่วนที่ห้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และส่วนสุดท้ายกล่าวถึงการวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึม

## 2.1 การทำงานของเสิร์จเอ็นจิน และการค้นหาแบบบูลีน

เนื่องจากงานวิจัยนี้มีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับระบบค้นคืนสารสนเทศ ที่มีคลังข้อมูลขนาดใหญ่อย่างเสิร์จเอ็นจิน ดังนั้นจึงขอกล่าวถึงการทำงานของเสิร์จเอ็นจิน และการค้นหาแบบบูลีนพอสังเขป เพื่อให้เข้าใจถึงการนำงานวิจัยนี้ไปใช้งานจริง ซึ่งได้ศึกษามาจาก [1, 18]

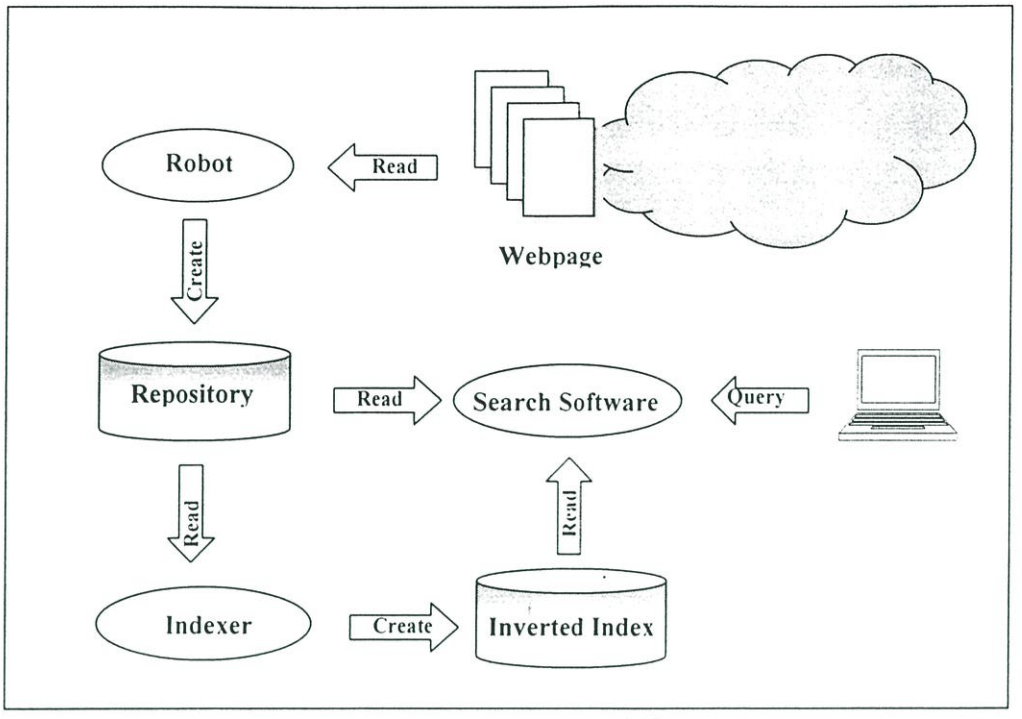
### 2.1.1 การทำงานของเสิร์จเอ็นจิน

แบ่งองค์ประกอบต่างๆ ของเสิร์จเอ็นจินตามหน้าที่การทำงานได้ 3 ส่วนดังรูปที่ 2.1 โดยที่แต่ละส่วนมีการทำงานดังต่อไปนี้

**โรบอต** หรือ สไปเดอร์ หรือ ครอว์เลอร์ ทำหน้าที่เดินทางไปยังไซต์ต่างๆ เพื่อสะสมไฟล์เอชทีเอ็มแอล (HTML) ของเว็บเพจ แล้วติดตามลิงค์จากเว็บเพจนั้นไปยังเว็บเพจอื่นๆ ภายหลังจากที่โรบอตได้อ่านเว็บเพจใดๆแล้ว โรบอตจะกลับไปยังไซต์ที่เคยสำรวจแล้วเพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงตามจังหวะเวลาที่กำหนด

**อินเด็กเซอร์** (Indexer, Catalog) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่สร้างดัชนีค้นหาจากไฟล์เอชทีเอ็มแอลที่โรบอตหามา เว็บเพจใดๆจะสามารถสืบค้นได้จากเสิร์จเอ็นจินก็ต่อเมื่อเว็บเพจนั้นผ่านการทำดัชนีมาแล้วเท่านั้น ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงใดๆ กับเว็บเพจจะต้องปรับปรุงข้อมูลดัชนีใหม่

**โปรแกรมค้นหา**(เสิร์จเอ็นจินซอฟต์แวร์) เป็นโปรแกรมทำหน้าที่รับคำศัพท์ที่ต้องการค้นหาผ่านทางซีจีไอ(CGI, Common Gateway Interface) เพื่อหาเว็บเพจที่ตรงกับความต้องการของผู้ค้นหาในฐานข้อมูล เสิร์จเอ็นจินแต่ละตัวจะมีวิธีจัดเรียงลำดับผลลัพธ์แตกต่างกันออกไป

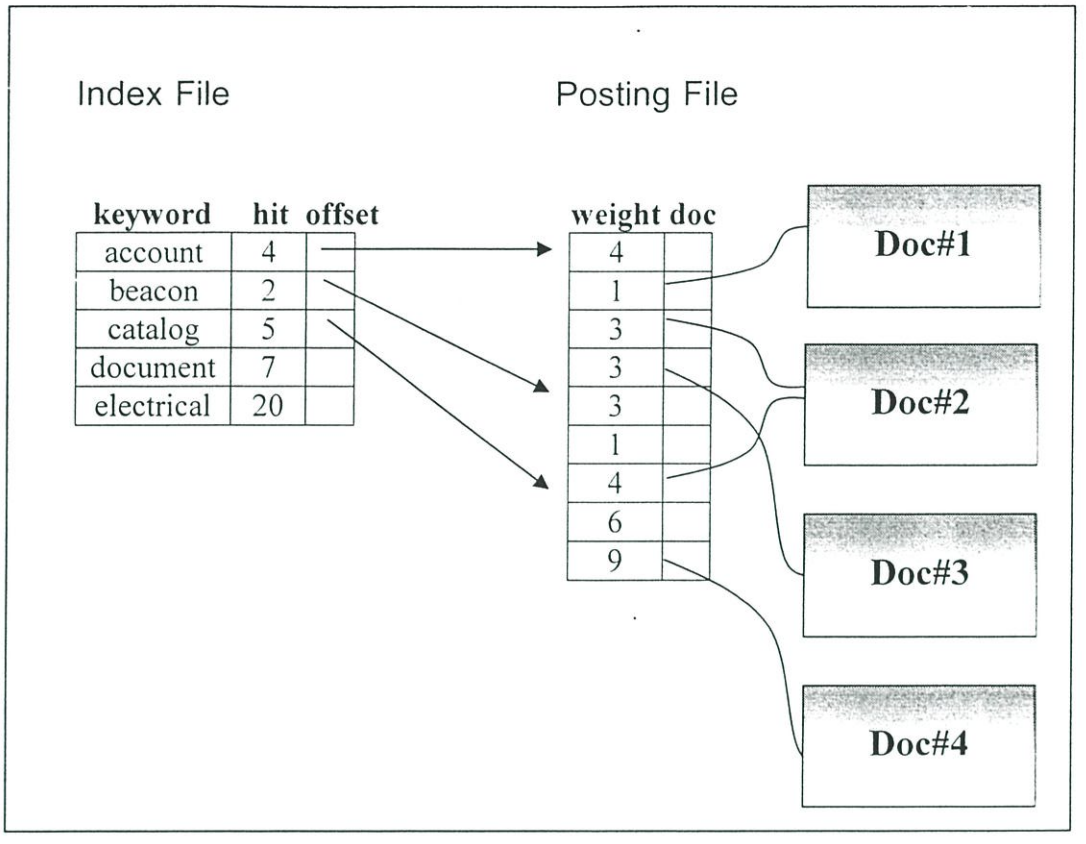



**รูปที่ 2.1** การทำงานของส่วนประกอบแต่ละส่วนในระบบเสิร์จเอ็นจิน

การทำงานของโปรแกรมอินเด็กเซอร์นั้นมีวิธีในการสร้างดัชนีค้นหาอยู่หลายวิธี เช่น แบบดัชนีผกผัน(inverted index) ซิกเนเจอร์ไฟล์ เวกเตอร์สเปซโมเดล(vector space model) เป็นต้น แต่สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการทดลองโดยจำลองข้อมูลมาจากตารางดัชนีผกผัน ก่อนที่จะอธิบายถึงวิธีการจัดเก็บข้อมูลของดัชนีผกผัน จะขอยกตัวอย่างเพื่ออธิบายหลักการทำงานของดัชนีผกผันดังนี้

หากมีหนังสือเล่มหนึ่งและต้องการค้นหาคำว่า "network" ในหนังสือเล่มนั้น เราย่อมไม่ใช้วิธีเปิดทีละหน้าอ่านทีละบรรทัดเพื่อค้นว่ามีคำว่า "network" อยู่ที่ใด หากแต่เรามักใช้วิธีเปิดไปที่ท้ายเล่มเพื่อดูดัชนีคำศัพท์ของหนังสือเล่มนั้นว่ามีคำว่า "network" อยู่ที่หน้าใดรูปแบบของดัชนีค้นหาของดัชนีผกผันก็อาศัยหลักการเดียวกันกับดัชนีท้ายเล่มของหนังสือ ดัชนีผกผันก็คือตารางของคำศัพท์ที่ถูกสร้างขึ้นมาไว้สำหรับค้นหา โดยที่ภายในของดัชนีผกผันนั้นจัดเก็บคำศัพท์และตำแหน่งที่อยู่ของคำศัพท์เหล่านั้นว่าปรากฏอยู่ที่ใด เมื่อต้องการค้นหาก็ไม่จำเป็นต้องค้นหาคำศัพท์จากเอกสารทีละเอกสารแต่สามารถตรวจดูที่ดัชนีผกผันได้ทันทีว่าคำศัพท์คำที่ต้องการค้นหาอยู่ที่ใด

โปรแกรมอินเด็กเซอร์มีหน้าที่สร้างตารางดัชนีผกผัน ข้อมูลในดัชนีผกผัน นั้นนอกจากจะเก็บตำแหน่งที่อยู่ของคำศัพท์แล้วจะมีค่าสำคัญอื่นๆ อีกหลายค่าด้วยกัน ซึ่งค่าเหล่านี้มีไว้สำหรับช่วยให้โปรแกรมเสิร์จเอ็นจินสามารถจัดเรียงลำดับของผลลัพธ์ได้ดียิ่งขึ้น อาทิ ค่าน้ำหนักที่ใช้ในการจัดเรียงลำดับ เป็นต้น




**รูปที่ 2.2** ตัวอย่างตารางดัชนีผกผัน

จากตัวอย่างตารางดัชนีผกผันในรูปที่ 2.2 อธิบายได้ว่า คำศัพท์ "account" นั้นมีปรากฏอยู่ในเอกสารทั้งหมดจำนวน 4 เอกสาร โดยที่เอกสารทั้ง 4 นี้มีค่าน้ำหนักที่ใช้ในการจัดเรียงลำดับ 4, 1, 3 และ 3 ตามลำดับ ค่าน้ำหนักที่ใช้ในการจัดเรียงลำดับนี้ เสิร์จเอ็นจินแต่ละแห่งจะมีวิธีการในการคำนวณที่แตกต่างกันออกไป แต่ส่วนใหญ่จะคำนวณมาจากค่าพารามิเตอร์ เช่น ค่าความถี่ของคำศัพท์ ในเอกสาร ค่าความถี่ของคำศัพท์ในชุดของเอกสารทั้งหมด จำนวนของคำศัพท์ในเอกสาร เป็นต้น

### 2.1.2 การค้นหาแบบบูลีน

การค้นหาแบบบูลีน จะอยู่บนพื้นฐานแนวคิดเชิงตรรกะ หรือพีชคณิตบูลีน คำที่คิวรี่ จะเชื่อมด้วยตัวเชื่อมทางตรรกะหรือพีชคณิตซึ่งได้แก่ และ(AND) หรือ(OR) ไม่(NOT) ดังนั้นการค้นหาแบบบูลีนจึงใช้สำหรับคิวรี่ที่มีคำมากกว่าหนึ่งคำ โดยการใช้ตัวเชื่อมหรือตัวปฏิบัติการต่างๆ เพื่อระบุรูปแบบการค้นหา

**ตารางที่ 2.1** ตัวปฏิบัติการและความหมายที่ใช้ในการค้นหาแบบบูลีน

| ตัวปฏิบัติการ | ความหมาย |
|---|---|
| AND | เป็นการกำหนดว่าจะต้องมีทั้งสองคำที่ถูกเชื่อมอยู่ในเอกสารที่ถูกค้นคืน |
| OR | เป็นการกำหนดว่าอย่างน้อยที่สุดหนึ่งในสองคำนั้นต้องมีอยู่ในเอกสารที่ถูกค้นคืน |
| NOT | เป็นการกำหนดว่าคำที่ระบุต้องไม่ปรากฏในเอกสารที่ค้นคืน |

ข้อดีของการค้นหาแบบบูลีน คือ คิวรี่มีความหมายเข้าใจง่าย กำหนดความต้องการได้ว่าจะใช้คำไหนซึ่งเป็นลักษณะง่ายๆ ที่มีรูปแบบไม่ซับซ้อน คิวรี่ข้อมูลจะมีลักษณะเหมือนประโยคตรรกะ ใช่ / ไม่ใช่ เจอ / ไม่เจอ แต่ข้อเสียก็มีเช่นเดียวกัน คือ ไม่มีการจัดลำดับของเอกสาร (Ranking) และ ไม่มีการวัดความตรงประเด็น(Relevance) ใช้คิวรี่ที่มีความซับซ้อนไม่ได้และไม่มีความยืดหยุ่นเพราะว่ามีตัวปฏิบัติการแค่ AND OR NOT ควบคุมจำนวนเอกสารยาก มีความลำบากในการยอมรับว่าตรงกับความหมายที่ผู้ใช้ต้องการหรือไม่ ถึงแม้การค้นหาแบบบูลีนจะมีปัญหาดังที่ได้กล่าว แต่การค้นหาแบบบูลีนก็มีความนิยมใช้งานอย่างสูงบนเสิร์จเอ็นจิน เช่น Yahoo Excite AltaVista Google เพราะความง่ายในการใช้งานและมีประสิทธิภาพ

สำหรับเสิร์จเอ็นจินแต่ละตัวจะใช้ คำหรือสัญลักษณ์แทนตัวปฏิบัติการแตกต่างกัน ใน Google จะใช้ “AND”, “OR”, “–” แทนการใช้ตัวปฏิบัติการ “AND”, “OR”, “NOT” ตามลำดับ ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างคิวรี่จากเสิร์จเอ็นจินในงานวิจัย[18] โดยระบบนี้ใช้ “+”, “&”, “-” แทนปฏิบัติการ “AND”, “OR”, “NOT”

เมื่อเสิร์จเอ็นจินรับคิวรี่มาจากผู้ใช้และตรวจพบว่าเป็นรูปแบบการค้นหาแบบบูลีน โปรแกรมค้นหาจะทำการจัดเรียงลำดับของคำที่ผู้ใช้ค้นหาใหม่โดยนำคำที่มีเครื่องหมาย “&” มาไว้ข้างหน้าสุดตามมาด้วยคำที่มีเครื่องหมาย “+” และเครื่องหมาย “–” อยู่ท้ายสุด ทั้งนี้เพื่อความถูกต้องในการค้นหา เช่น “–เชียงใหม่ &กรุงเทพ +ประเทศไทย &สงขลา” จะถูกจัดเรียงใหม่เป็น “&กรุงเทพ &สงขลา +ประเทศไทย –เชียงใหม่” หากไม่มีการใส่เครื่องหมายใดๆ หน้าคำศัพท์โปรแกรมจะใส่เครื่องหมาย & นำหน้าให้โดยอัตโนมัติ สาเหตุที่จะต้องจัดเรียงลำดับใหม่เนื่องจากลำดับของการค้นหามีผลต่อผลลัพธ์ การค้นหาชุดของคำศัพท์ที่มีคำศัพท์และเครื่องหมายเหมือนกันแต่ลำดับไม่เหมือนกันอาจให้ผลที่ไม่เหมือนกัน เช่น “+กรุงเทพ –เชียงใหม่ &สงขลา” อาจให้ผลไม่เหมือนกับ “&สงขลา +กรุงเทพ-เชียงใหม่”

จากนั้นโปรแกรมค้นหาจะนำคำแต่ละคำไปค้นหาเอกสารในตารางดัชนีผกผัน ซึ่งจะได้ออกมาเป็นเซตหมายเลขเอกสารที่ตรงกับคำนั้น จากนั้นก็ทำการรวมเซตผลลัพธ์เข้าด้วยกันทีละคำจากซ้ายไปขวา โดยรวมเซตของเอกสารที่ได้จากคำศัพท์ที่มีเครื่องหมาย "&" อินเตอร์เซ็กชันกับเซตของคำศัพท์ที่มีเครื่องหมาย "+" หลังจากนั้นจึงมาลบ ออกด้วยเซตของคำศัพท์ที่มีเครื่องหมาย ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.3 การรวมผลลัพธ์จะรวมโดยใช้สูตรต่อไปนี้

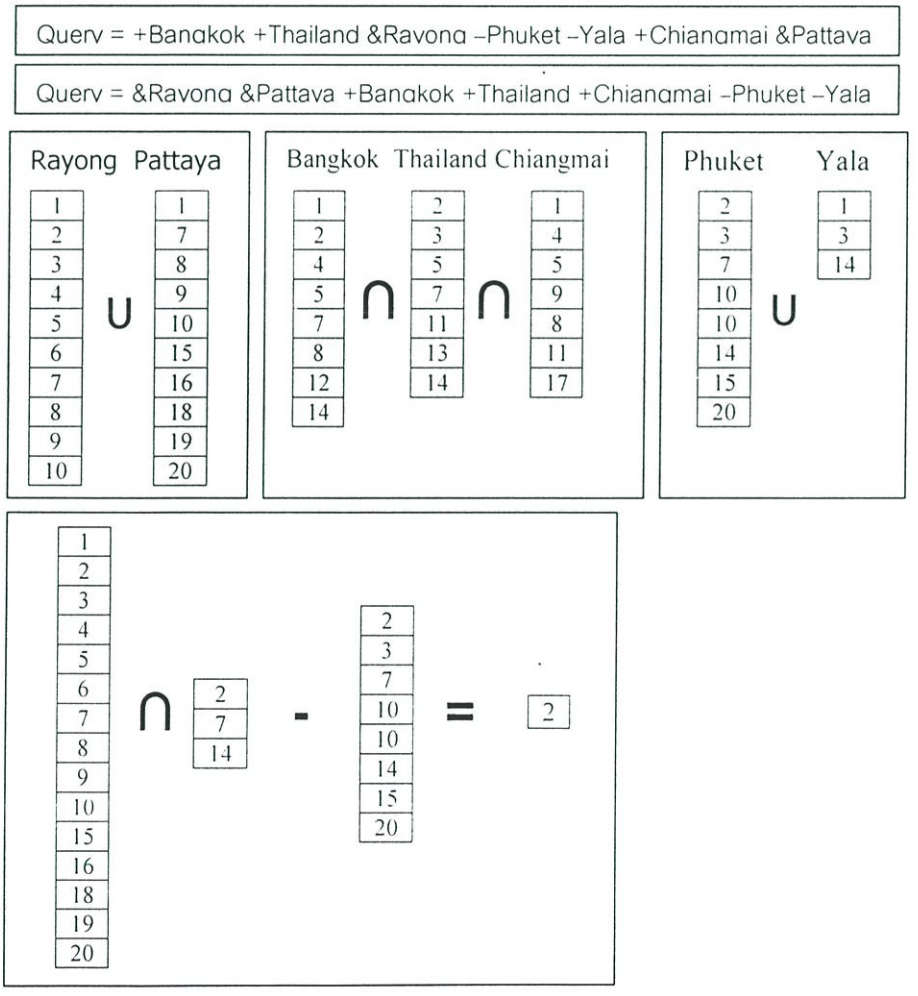
$$D_{output} = (o_1 \text{ Y } o_2 \text{ Y } \ldots o_j) \text{ Y } (i_1 \text{ I } i_2 \text{ I } \ldots i_j) - (m_1 \text{ Y } m_2 \text{ Y } \ldots m_k)$$

$D_{output}$ เซ็ตของเอกสารผลลัพธ์

o เซ็ตของเอกสารที่มีคำศัพท์ที่มีเครื่องหมาย "&" นำหน้า

i เซ็ตของเอกสารที่มีคำศัพท์ที่มีเครื่องหมาย "+" นำหน้า

m เซ็ตของเอกสารที่มีคำศัพท์ที่มีเครื่องหมาย "-" นำหน้า




**รูปที่ 2.3** ตัวอย่างการหาเซตของเอกสารผลลัพธ์จากการค้นหาแบบบูลีน

เมื่อได้ผลลัพธ์ออกมา โปรแกรมค้นหาก็จะแสดงรายละเอียดของเอกสารผลลัพธ์สู่ผู้ใช้ การใช้งานจริงบนเสิร์จเอ็นจินนั้นเซตของหมายเลขเอกสารที่คิวรี่ออกมาของคำแต่ละคำ จะมีลักษณะเป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่มีค่าไม่ซ้ำกัน และมีจำนวนสมาชิกมากกว่าตัวอย่างใน รูปที่ 2.3 อาจมีจำนวนมากถึงหนึ่งพันล้านเอกสาร ดังนั้นขั้นตอนวิธีของตัวปฏิบัติการ จึงต้องมีประสิทธิภาพไม่ก่อให้เกิดภาระกับระบบมากเกินไปทำให้ตอบสนองต่อผู้ใช้ได้อย่างรวดเร็ว อันเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ โดยจะให้ความสนใจเฉพาะขั้นตอนวิธีของตัวปฏิบัติการ อินเตอร์เซกชันเท่านั้น

## 2.2 นิยามและคุณสมบัติของอินเตอร์เซกชัน

### 2.2.1 นิยามของอินเตอร์เซกชัน

อินเตอร์เซกชันของเซต A และ B เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $A \cap B$ ซึ่งเป็นสับเซตของเอกภพสัมพัทธ์ u และมีความหมายตามนิยามต่อไปนี้

**นิยามที่ 2.1** อินเตอร์เซกชันของ A และ B คือเซตที่ประกอบด้วยสมาชิก ซึ่งเป็นสมาชิกของ A และ B ทั้งสองเซต นั่นคือ $A \cap B = \{ x \in u | x \in A \text{ และ } x \in B \}$

**ตัวอย่าง**

$A = \{ 2, 4, 5, 8, 20, 50 \}$; $B = \{ 3, 4, 5, 8, 30, 51, 59 \}$

$A \cap B = \{ 4, 5, 8 \}$

### 2.2.2 คุณสมบัติของเซตบางประการที่ควรทราบ

ให้ A, B, C เป็นสับเซตของ เอกภพสัมพัทธ์ u สมบัติต่อไปนี้เป็นจริง

**2.2.2.1 กฎการสลับที่** $A \cap B = B \cap A$

**2.2.2.2 กฎการเปลี่ยนกลุ่ม** $A \cap (B \cap C) = (A \cap B) \cap C$

**2.2.2.3 กฎเอกลักษณ์** $u \cap A = A \cap u = A$

$A \cap \emptyset = \emptyset \cap A = \emptyset$

## 2.3 ขั้นตอนวิธีอินเตอร์เซกชัน

เนื้อหาส่วนนี้จะอธิบายถึงขั้นตอนวิธีอินเตอร์เซกชันสองแบบ ได้แก่ แบบปรับตัวได้ และแบบเอสวีเอส เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิจัยและทำการทดลอง และเนื่องจากขอบเขตของงานวิจัยนี้ให้ความสนใจเฉพาะวิธีอินเตอร์เซกชันกับเซต 2 เซต ดังนั้นการยกตัวอย่างเพื่ออธิบายเนื้อหาส่วนนี้จะมีเซตตัวอย่างเพียง 2 เซต เงื่อนไขอีกประการหนึ่งของวิธีอินเตอร์เซกชันที่จะนำเสนอต่อไปนี้ คือ เซตที่จะนำมาอินเตอร์เซกชันกันจะต้องเป็นลิสต์ที่ได้รับการจัดเรียงไว้เรียบร้อยแล้วเพื่อความสะดวกต่อการค้นหา

### 2.3.1 ขั้นตอนวิธีแบบปรับตัวได้

ขั้นตอนวิธีแบบปรับตัวได้(Adaptive) มีการนำเสนอในงานวิจัย[6] โดยใช้ตัวนำหน้าและตัวตามหลังในการหลีกเลี่ยงการค้นหาที่ไม่จำเป็น นิยามของตัวนำหน้าและตามหลังเป็นดังนี้

กำหนดให้ $S = \{s_1, s_2, \ldots, s_n\}$ โดยที่ $s_1 < s_2 < \ldots < s_n$

$s_i$ คือสมาชิกตัวที่ i ในเซต S แล้ว

**นิยามที่ 2.2** ตัวนำหน้า(predecessor) ของ $s_i$ คือสมาชิกในเซต S ที่มีค่ามากที่สุดแต่น้อยกว่า $s_i$

**นิยามที่ 2.3** ตัวตามหลัง(successor ) ของ $s_i$ คือสมาชิกในเซต S ที่มีค่าน้อยที่สุดแต่มากกว่า $s_i$

หากมีเซตสองเซตคือ A และ B มีรายละเอียดดังนี้

$A=\{a_1, a_2, \ldots, a_m\}$; $a_1 < a_2 < \ldots < a_m$

$B=\{b_1, b_2, \ldots, b_l\}$; $b_1 < b_2 < \ldots < b_l$

โดยที่ A และ B เป็นสับเซตของ S

**ข้อเสนอแทรกที่ 2.1** เมื่อสมาชิกที่พิจารณาอยู่คือ $a_i$ หาก$ตัวนำหน้าของ $a_i$ ที่อยู่ในเซต B คือ $b_p$ มีอยู่จริงจะได้ว่า $b_p$ และตัวนำหน้าทุกตัวของ $b_p$จะมีค่าน้อยกว่า $a_i$

**ตัวอย่างที่ 2.1** กำหนดให้ A={8, 10, 20, 30} และ B={1, 3, 4, 7} และ {8} คือสมาชิกที่พิจารณาอยู่ จะเห็นได้ว่าตัวนำหน้าของ {8} ในเซต B คือ {7} และตัวนำหน้าทุกตัวของ {7} คือ {1 ,3, 4} มีค่าน้อยกว่า {8}

**ข้อเสนอแทรกที่ 2.2** จากข้อเสนอแทรกที่ 2.1 หากนำเซต A และ B มาหาสมาชิกร่วมกันจะได้ว่า $b_p$ และตัวนำหน้าทุกตัวของ $b_p$ คือสมาชิกที่ไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณาค้นหาตัวร่วมอีก

จากตัวอย่างที่ 2.1 หากนำ A ∩ B แล้วสมาชิกในเซต B ที่ไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณาอีกคือ {1, 3, 4. 7} เพราะมีค่าน้อยกว่าสมาชิกที่น้อยที่สุดในเซต A

**ข้อเสนอแทรกที่ 2.3** จากข้อเสนอแทรกที่ 2.1 และ 2.2 สมาชิกที่จะนำมาพิจารณาหาตัวร่วมต่อไปก็คือ ตัวตามหลัง ของ $a_i$ ในเซต B

```
1: Choose eliminator e = set[0][0], in the set elimset ← 0.
2: Consider the first set, i ← 1
3: while the eliminator e ≠ ∞ do
4:       perform one step of the galloping search in set[i].
5:       if the gallop overshot then
6:            binary search in set[i] for e.
7:              if e was found then
8:                 increase the occurrence counter, and let i← i+1 mod k, i ≠ elimset.
9:                 if the value of occurrence counter is k then
10:                      output e and let e ← set[i][succ(e)], elimset ← i
                         i ← i + 1 mod k, i≠elimset.
11:                else
12:                      set e to the first element in set[i] which is larger than e.
13:                      update the set elimset ← i and consider the next set:
14:                      i ← i + 1 mod k, i ≠ elimset.
15:                end if
16:             end if
17:    end if
18: end while
```

**ขั้นตอนวิธีที่ 1** วิธีอินเตอร์เซกชันแบบปรับตัวได้

เนื่องจากตัวอย่างที่ 2.1 ผลลัพธ์ของอินเตอร์เซกชันของ A และ B มีค่าเป็นเซตว่าง และไม่สามารถหาค่าตัวตามหลังใน B ได้อีกจึงไม่สามารถยกตัวอย่างข้อเสนอแทรกที่ 2.3 ได้ แต่จะเสนอในตัวอย่างที่ 2.2 สำหรับรหัสเทียมของขั้นตอนวิธีแบบปรับตัวได้จะเป็นดังขั้นตอนวิธีที่ 1

**ตัวอย่างที่ 2.2** มีเซตสองเซตคือ A และ B เป็นลิสต์ของตัวเลขจำนวนเต็มที่ได้รับการเรียงลำดับแล้ว มีข้อมูลดังนี้

A = { 4, 8, 9, 10, 20} และ B = { 1, 3, 4, 5, 8, 15, 17, 18, 20, 25 }

จากนิยามที่ 1 ผลลัพธ์ของ A ∩ B = { 4, 8, 20 } ขั้นตอนอินเตอร์เซกชันแบบปรับตัวได้บนลิสต์แสดงได้เป็นขั้นตอนดังรูปที่ 2.4 และอธิบายได้ดังนี้

ขั้นที่ 1 เริ่มจากการพิจารณาสมาชิกตัวแรกของเซต A ในที่นี้คือ 4 แล้วนำ 4 เข้าไปค้นหาในเซต B ซึ่งพบในตำแหน่งที่ 3 แล้วแสดงผล ต่อจากนั้นเก็บค่าตัวตามหลังในเซต B ไว้เป็นตัวพิจารณาต่อไปซึ่งตัวตามหลังของ 4 ในเซต B คือ 5 ส่วนค่า 1 และ 3 จะไม่ถูกพิจารณาค้นหาอีกต่อไปตามข้อเสนอแทรกที่ 2.2

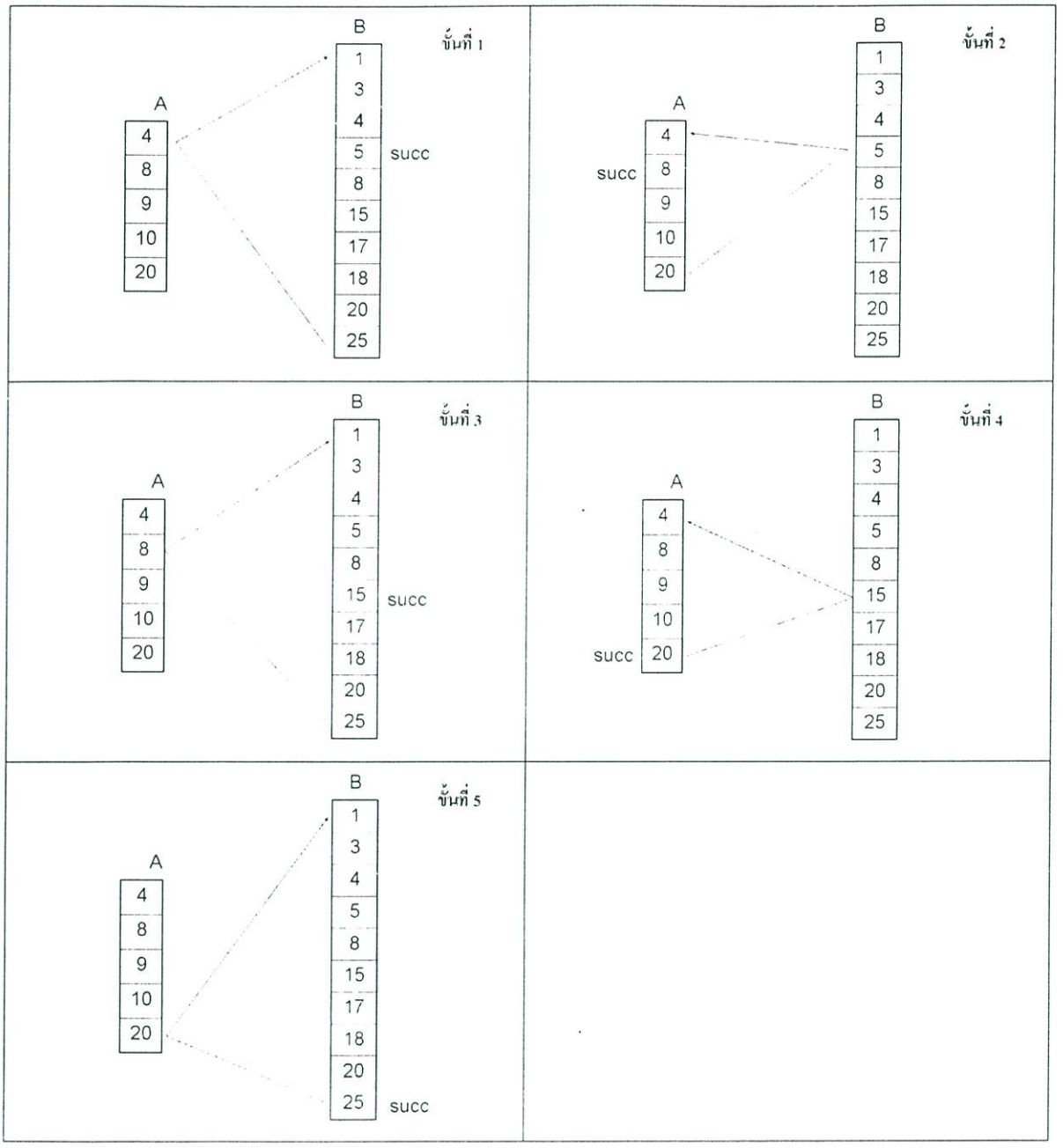
ขั้นที่ 2 นำ 5 เข้าไปค้นหาในเซต A ดังข้อเสนอแทรกที่ 2.3 ซึ่งไม่พบจึงเก็บค่าตัวตามหลังไว้พิจารณาต่อไปในที่นี้คือ 8

ขั้นที่ 3 นำ 8 เข้าไปค้นหาในเซต B ซึ่งพบในตำแหน่งที่ 5 ทำการแสดงผลแล้วเก็บค่าตัวตามหลัง มีค่าเป็น 15ไว้พิจารณาต่อไป

ขั้นที่ 4 นำ 15 เข้าไปค้นหาในเซต A ซึ่งไม่พบ แล้วเก็บค่าตัวตามหลัง 20 ไว้พิจารณาต่อไป

ขั้นที่ 5 นำ 20 เข้าไปค้นหาในเซต B ซึ่งไม่พบ และจบการทำงานเนื่องจาก 20 เป็นสมาชิกตัวสุดท้ายในเซต A แล้ว

จากขั้นตอนทั้งหมดจะสังเกตได้ว่าสมาชิกในเซต A ที่ไม่ถูกพิจารณาค้นหาคือ { 9, 10 } สมาชิกในเซต B ที่ไม่ถูกพิจารณาค้นหาคือ { 1, 3, 4, 8, 17, 18, 20, 25 } มีขั้นตอนการค้นหาทั้งหมด 5 ครั้ง จึงจัดได้ว่าวิธีแบบปรับตัวได้ เป็นวิธีที่สามารถลดจำนวนการค้นหาได้ ซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานเชิงเวลา ข้อดีที่เห็นได้ชัดของวิธีแบบปรับตัวได้ คือสามารถหลีกเลี่ยงการค้นหาสมาชิกที่อยู่นอกขอบเขตของเซตผลลัพธ์ได้ดี ดังในตัวอย่างที่ 2.1 ซึ่งจำนวนการค้นหามีเพียงแค่หนึ่งครั้งเท่านั้น สำหรับประสิทธิภาพด้านรอบการทำงานของวิธีนี้ในกรณีที่ดีที่สุดจะขึ้นอยู่กับ O(k) โดยที่ k คือจำนวนเซตที่นำมาอินเตอร์เซกชัน




**รูปที่ 2.4** ขั้นตอนการทำงานของวิธีแบบปรับตัวได้

### 2.3.2 ขั้นตอนวิธีเอสวีเอส

เอสวีเอส(SVS) เป็นขั้นตอนวิธีที่เข้าใจง่าย ตรงไปตรงมา และมีประสิทธิภาพ ทำให้วิธีนี้มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ปรับปรุงมาจากวิธีการรวมสมาชิกเซตเข้าด้วยกันในงานวิจัย[8] เอสวีเอสเป็นคำย่อของภาษาอังกฤษของ "Small Versus Small" มีการนำเสนอหลักการไว้ใน [3, 4, 7] โดยหลักการ คือหาคำตอบทีละสองเซตก่อน(ในกรณีที่มีเซตมากกว่าสอง) โดยเลือกคู่เซตที่มีจำนวนสมาชิกน้อยที่สุดมาหาผลลัพธ์ก่อน จากนั้นจึงจะนำผลลัพธ์ที่ได้ไปหาผลลัพธ์ต่อกับเซตที่เหลืออยู่

การเลือกเซตที่มีจำนวนสมาชิกน้อยสุดมาพิจารณาหาผลลัพธ์ก่อน จะไม่มีผลต่อคำตอบของผลลัพธ์ เพราะอินเตอร์เซกชันมีคุณสมบัติการสลับที่และเปลี่ยนกลุ่มตามที่กล่าวมาในหัวข้อที่ 2.2.2

ในการค้นหาสมาชิกร่วมกันของขั้นตอนวิธีเอสวีเอสจะนำสมาชิกแต่ละตัวในเซตที่มีจำนวนสมาชิกน้อยที่สุดเข้าไปค้นหาค่าในเซตที่มีจำนวนสมาชิกมากกว่า ซึ่งจะไม่เหมือนกับวิธีแบบปรับตัวได้ ที่ใช้ตัวพิจารณาค้นหาจากตัวตามหลังของเซตอื่น จำนวนการค้นหาแต่ละคู่เซตของเอสวีเอสนี้จะมีค่าเท่ากับจำนวนสมาชิกของเซตที่มีค่าน้อยสุดเสมอ นอกจากนั้นเอสวีเอสยังให้ความสนใจกับการลดขอบเขตข้อมูลในเซตที่ถูกค้นหาด้วย ทำให้การเรียกใช้คำสั่งเปรียบเทียบมีจำนวนลดน้อยลง และให้ประสิทธิภาพเชิงเวลาที่ดีตามมา

รอบการทำงานของเอสวีเอส จะขึ้นอยู่กับ $\Omega(r \log n)$ และ $O(n \log(n/k))$ โดยที่ r คือ จำนวนสมาชิกผลลัพธ์ n คือ ผลรวมของจำนวนสมาชิกที่นำมาอินเตอร์เซกชันซึ่งมีเซตทั้งหมด k เซต[7] รหัสเทียมของขั้นตอนวิธีแบบเอสวีเอสจะเป็นดังขั้นตอนวิธีที่ 2

```
1: Sort the sets by size (|set[0]| ≤ |set[1]| ≤ . . . ≤ |set[k]|).
2: Let the smallest set s[0] be the candidate answer set.
3: initialize succ = 0.
4: for each set s[i], i = 1 . . . k do
5:       for each element e in the candidate answer set do
6:          binary search for e in s[i] in the range succ to |s[i]|,
7:          and update succ to the last position probed in the previous step.
8:          if e was not found then
9:                remove e from candidate answer set,
10:               and advance e to the next element in the answer set.
11:         end if
12:      end for
13: end for
```

**ขั้นตอนวิธีที่ 2** วิธีการแบบเอสวีเอส

**ตัวอย่างที่ 2.3** มีเซตสองเซตคือ A และ B เป็นลิสต์ของตัวเลขจำนวนเต็มและได้รับการเรียงลำดับแล้ว และมีข้อมูลเหมือนกับตัวอย่างที่ 2.2

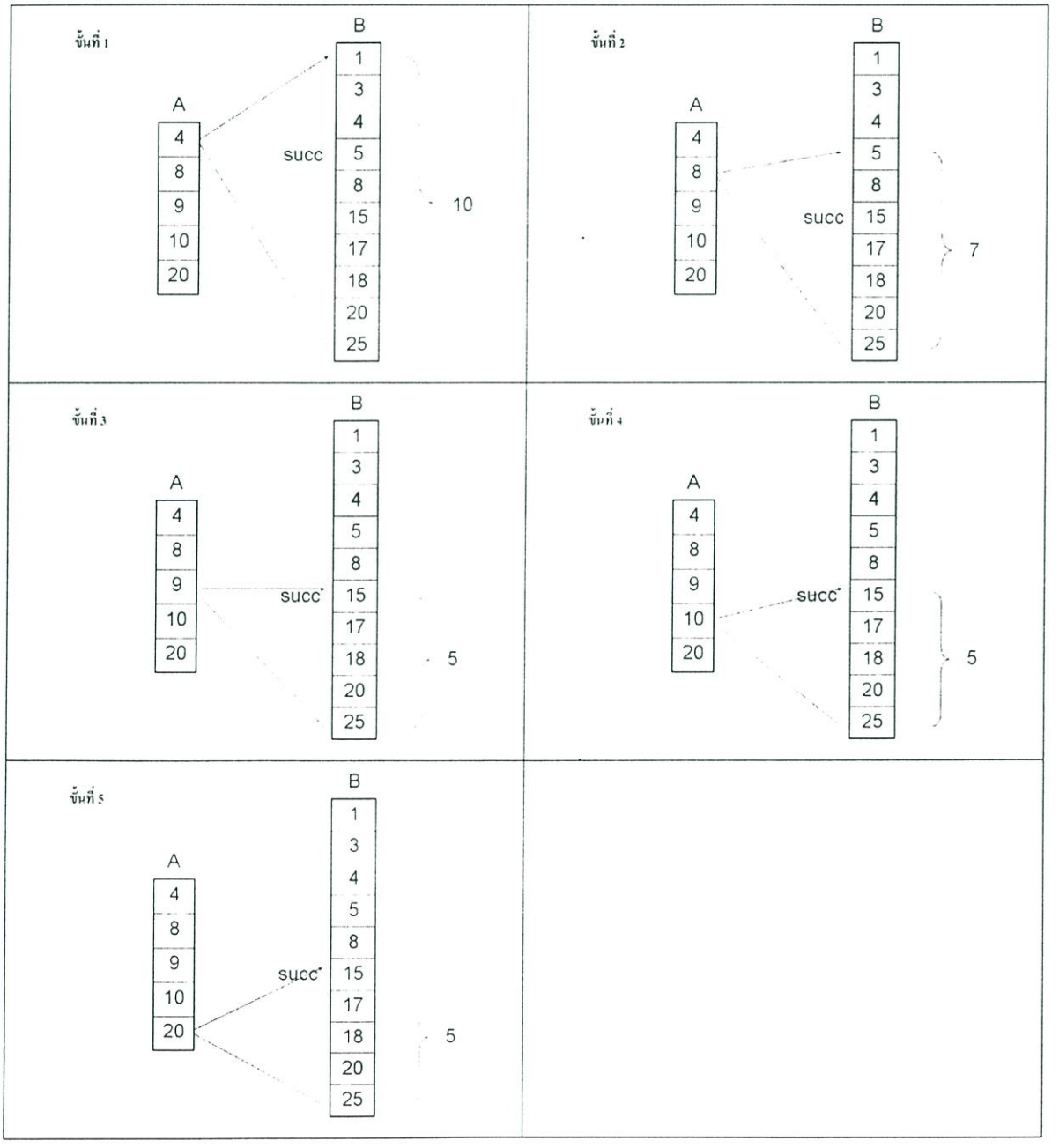
จากนิยามที่ 1 ผลลัพธ์ของ $A \cap B = \{ 4, 8, 20 \}$ ขั้นตอนวิธีเอสวีเอสแสดงได้ดังรูปที่ 2.5 และอธิบายได้ดังนี้

ขั้นที่ 1 นำสมาชิกตัวแรกในเซต A คือ 4 เข้าไปค้นหาในเซต B ซึ่งพบในตำแหน่งที่ 3 แล้วแสดงผล ในเซต B และในการค้นหาครั้งแรกนี้จะมีขอบเขตการค้นหาเท่ากับจำนวนสมาชิกทั้งหมด

ในเซต B นั่นคือ 10 และเก็บตำแหน่งตัวตามหลังไว้เพื่อเป็นกำหนดจุดเริ่มต้นในการค้นหาครั้งต่อไป

ขั้นที่ 2 นำสมาชิกตัวถัดไปในเซต A คือ 8 เข้าไปค้นหาในเซต B โดยขอบเขตการค้นหาคือตำแหน่งตัวตามหลังที่ได้เก็บไว้ในขั้นที่ 1 จนถึงตำแหน่งสุดท้ายในเซต B ซึ่งถูกลดลงมาเหลือ 7 พบค่าในตำแหน่งที่ 5 จึงแสดงผล และเก็บตำแหน่งตัวตามหลังไว้

ขั้นที่ 3 นำสมาชิกตัวถัดไปในเซต A คือ 9 เข้าไปค้นหาในเซต B โดยขอบเขตในการค้นหาลดลงเหลือ 5 และเก็บตำแหน่งตัวตามหลังไว้




**รูปที่ 2.5** ขั้นตอนการทำงานของวิธีเอสวีเอส

ขั้นที่ 4 นำสมาชิกตัวถัดไปในเซต A คือ 10 เข้าไปค้นหาในเซต B และเก็บตำแหน่งตัวตามหลังไว้ซึ่งในขั้นตอนนี้ ตัวตามหลังของ 10 คือ 15 ตำแหน่งตัวตามหลังจึงมีค่าเท่าเดิม

ขั้นที่ 5 นำสมาชิกตัวถัดไปในเซต A คือ 20 เข้าไปค้นหาในเซต B ซึ่งพบในตำแหน่งที่ 9 จึงแสดงผล และ จบการทำงาน เนื่องจากเป็นสมาชิกตัวสุดท้ายในเซต A

## 2.4 การค้นหา

จากเนื้อหาในส่วนที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าขั้นตอนวิธีอินเตอร์เซกชันทั้งสองวิธี ล้วนแล้วแต่ต้องมีการค้นหาสมาชิกร่วมกันทั้งสิ้น รูปแบบการค้นหาของอินเตอร์เซกชันแบบดั้งเดิมนั้นจะเป็นการค้นหาแบบทวิภาคในลิสต์ที่ได้รับการจัดเรียงแล้ว ในส่วนนี้จะอธิบายขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบต่างๆ ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอินเตอร์เซกชันได้

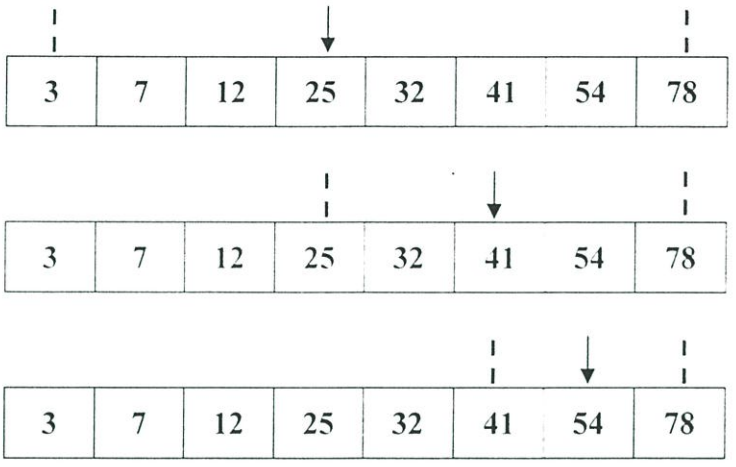
### 2.4.1 การค้นหาแบบทวิภาค

การค้นหาแบบทวิภาค(Binary Search) มีการนำเสนอครั้งแรกโดย John Mauchly [9] หลักการของการค้นหาแบบทวิภาคสามารถเข้าใจได้ง่ายจากเรื่องการค้นหาเบอร์โทรจากชื่อในสมุดโทรศัพท์ หากเปิดดูรายชื่ออยู่ที่หน้าใดหน้าหนึ่ง จะสามารถบอกได้ทันทีว่า ชื่อที่ต้องการหานั้นอยู่ที่หน้าก่อนหน้า หรืออยู่หลังหน้าที่กำลังพิจารณาอยู่ โดยใช้การเปรียบเทียบ

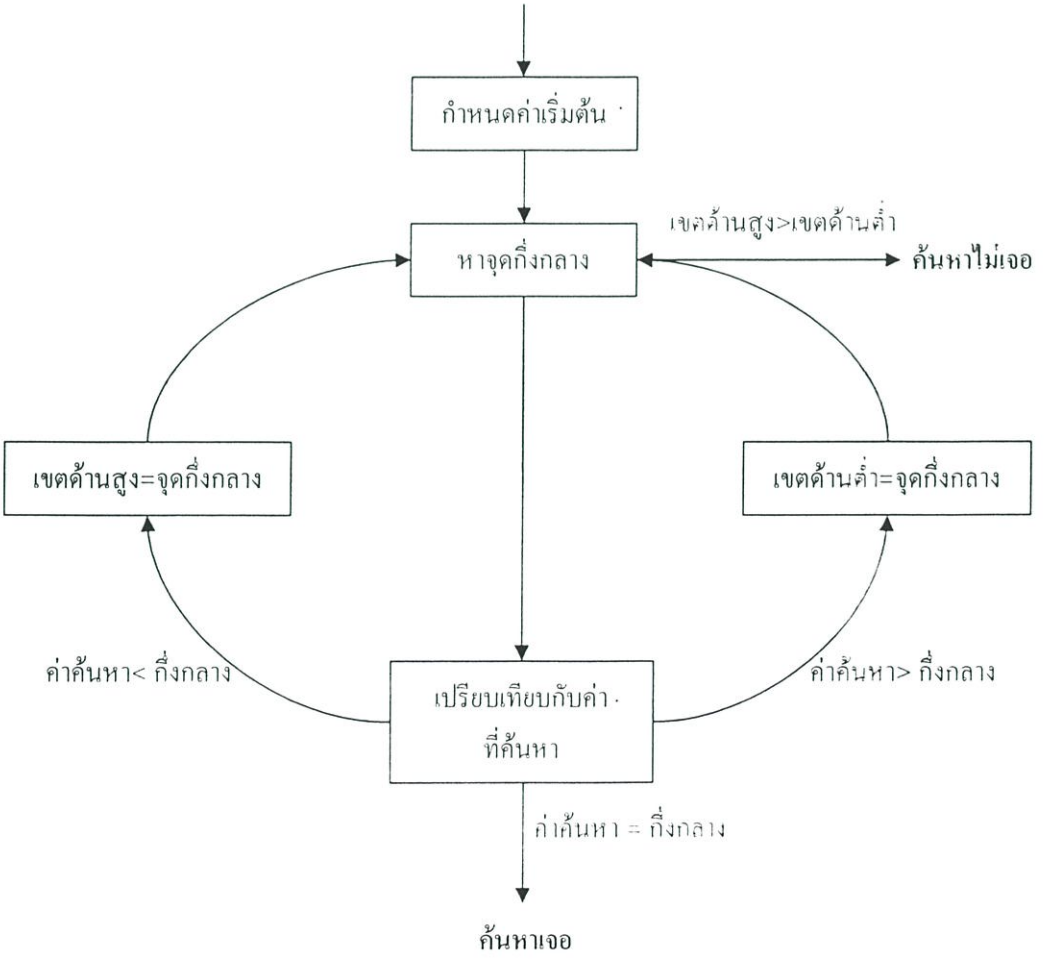
การค้นหาแบบทวิภาคจะเริ่มต้นที่หน้ากลาง จากนั้นพิจารณาว่ารายชื่อที่ต้องการค้นหานั้นอยู่ที่ส่วนต้นหรือส่วนปลายของสมุดโทรศัพท์ การเปรียบเทียบครั้งต่อไปจะทำโดยการลดขนาดของสมุดโทรศัพท์ลงอีกครึ่งหนึ่งของส่วนที่พบ และทำเช่นนี้จนลดขนาดของสมุดโทรศัพท์เหลือหนึ่งหน้า ก็จะได้หน้าที่มีชื่อที่ค้นหา

วิธีการค้นหาแบบทวิภาคในลิสต์แสดงดังตัวอย่างที่ 2.4 เริ่มโดยการเปรียบเทียบค่าที่ค้นหาในตำแหน่งกึ่งกลางซึ่งในขั้นตอนนี้คือ 25 พบว่า 54 มีค่ามากกว่า การพิจารณาครั้งต่อไปจะค้นหาด้านที่มีค่ามากกว่า ต่อจากนั้นจึงนำ 54 ไปเปรียบเทียบในตำแหน่งกึ่งกลางของด้านที่มากกว่า ในขั้นตอนนี้มีค่าเท่ากับ 41 ซึ่งน้อยกว่า 54 ต่อจากนั้นจึงเปรียบเทียบในด้านที่มากกว่าซึ่งพบค่า 54 ในการเปรียบเทียบตำแหน่งกึ่งกลางของด้านที่มากกว่าพอดี

**ตัวอย่างที่ 2.4** ค้นหาค่า 54 ในลิสต์ข้อมูลดังนี้ 3, 7, 12, 25, 32, 41, 54, 78 โดยวิธีการค้นหาแบบทวิภาค




**รูปที่ 2.6** ตัวอย่างการค้นหาแบบทวิภาค




**รูปที่ 2.7** ผังงานของการค้นหาแบบทวิภาค

```
BinarySearch(List, value, low, high)
1: begin
2:   mid := (low + high) / 2
3:     if (A[mid] > value)
4:       BinarySearch(A, value, low, mid-1)
5:     else if (A[mid] < value)
6:       BinarySearch(A, value, mid+1, high)
7:     else
8:       Output A[mid]
9: end.
```

**ขั้นตอนวิธีที่ 3** การค้นหาแบบทวิภาค

ขั้นตอนวิธีที่ 3 แสดงให้เห็นรหัสเทียมของการค้นหาแบบทวิภาค ประสิทธิภาพเชิงเวลาของการค้นหาแบบทวิภาค จะขึ้นอยู่กับ $O(\log_2 n)$ ในกรณีเฉลี่ยและแย่ที่สุด โดยที่ n คือจำนวนสมาชิกทั้งหมดในลิสต์

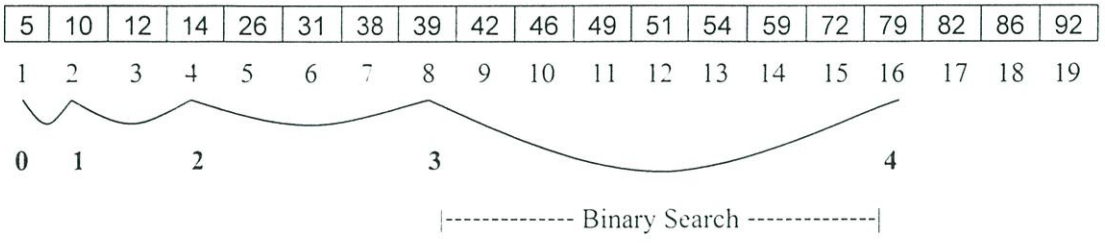
**2.4.2 การค้นหาขอบเขตแบบแกลลอป**

การค้นหาแบบแกลลอป(Galloping Search) ไม่ใช่การค้นหาค่าตำแหน่งในลิสต์เหมือนกับการค้นหาแบบอื่น แต่เป็นการลดขอบเขตการค้นหาให้แคบลงเพื่อให้เข้าใกล้กับค่าที่ทำการค้นหา เมื่อขอบเขตการค้นหาลดลงจะทำให้จำนวนคำสั่งที่ใช้ในการเปรียบเทียบลดลงด้วย ดังนั้นการค้นหาแบบแกลลอป จึงถูกใช้ร่วมกับการค้นหาตำแหน่งแบบอื่น เช่น การค้นหาแบบทวิภาค เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหา

การค้นหาแบบแกลลอป เรียกได้อีกหลายชื่อ ได้แก่ การค้นหาแบบเอกซ์โปเนนเชียล (Exponential Search) การค้นหาแบบทวิภาคด้านเดียว(One Sided Binary Search) การค้นหาแบบซ้อน(Doubling Search) โดยในครั้งแรกแกลลอปถูกใช้ในการค้นหาขอบเขตของลิสต์ที่ไม่ทราบจำนวน(Unbound Search) โดยการกระโดดตำแหน่งแบบเพิ่มกำลังฐานสอง($2^i$ โดยที่ i= 0, 1, 2, 3 ,...) แกลลอปจะเริ่มเปรียบเทียบค่าที่ค้นหาในตำแหน่งที่ 1 ก่อน ถ้าน้อยกว่าจะกระโดดไปตำแหน่งที่ 2, 4, 8, 16 จนกระทั่งค่าในตำแหน่งที่กระโดดมากกว่าค่าที่ค้นหาจึงหยุดกระโดด หากการกระโดดหยุดที่ตำแหน่งที่ $2^i$ จึงใช้การค้นหาแบบทวิภาคทำการค้นหาค่าในขอบเขตตั้งแต่ $2^{i-1}$ ถึง $2^i$

จากรูปที่ 2.8 หากค้นหา 50 ในลิสต์นี้โดยใช้แกลลอปร่วมกับการค้นหาแบบทวิภาคจะต้องกระโดดตำแหน่งจน i มีค่าเท่ากับ 4 แล้วจึงทำการค้นหาแบบทวิภาคระหว่าง i=3 และ i=4 ซึ่งก็คือตำแหน่งระหว่าง 8 จนถึง 16 ในลิสต์ข้อมูลการกระโดดจะอยู่ในรูปแบบฟังก์ชันยกกำลัง( $x^i$ ) ในงานวิจัย [7] ได้ทำการทดลอง ค้นหาข้อมูลในเซตข้อมูลขนาดใหญ่ที่มีการกระจายแบบเอกรูปโดยใช้การค้นหาขอบเขตแบบแกลลอปแบบเลขฐานเป็น 2 และ 4 พบว่าการใช้เลขฐาน 2 ช่วยในการ

ค้นหาขอบเขตแบบแกลลอปร่วมกับการค้นหาแบบทวิภาค ใช้คำสั่งเปรียบเทียบจำนวนน้อยกว่าการใช้ 4 เป็นเลขฐาน ดังนั้นการใช้งานแกลลอปส่วนใหญ่มักนิยมใช้เลขฐานเป็นสอง



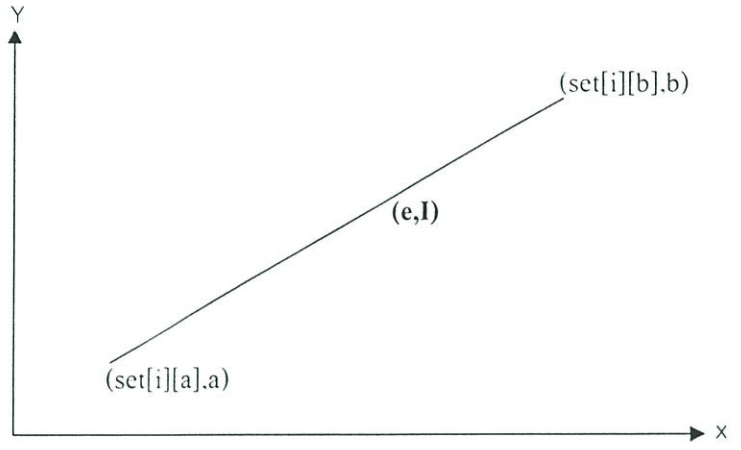

**รูปที่ 2.8** การกระโดดตำแหน่งแบบยกกำลังฐานสอง

ข้อดีของแกลลอป คือ สามารถช่วยลดรอบการประมวลผลในการค้นหาแบบทวิภาคในเซตข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ ประสิทธิภาพด้านรอบการประมวลผลของการค้นหาขอบเขตแบบแกลลอปจะมีค่าเป็น 2 log (p+1) โดยที่ p คือขอบเขตที่ค้นหาพบ

### 2.4.3 การค้นหาแบบประมาณค่าในช่วง

การค้นหาแบบประมาณค่าในช่วง(Interploation Search) มีการนำเสนอครั้งแรกโดย W. W. Peterson [9] หลักการจะคล้ายกับการค้นหาคำในพจนานุกรม โดยปกติหากเราจะหาคำศัพท์เรามักจะใช้วิธีคาดคะเนว่าอยู่ส่วนใดของเล่ม เช่น คำว่า Animal น่าจะอยู่ไม่เกิน 1 ใน 4 ส่วนของเล่ม ซึ่งน่าจะทำให้เราพบคำศัพท์ได้เร็วกว่าการค้นหาแบบสุ่มหรือค้นหาทีละหน้า

เนื่องจากลิสต์ข้อมูลที่ได้จากการค้นคืนแต่ละครั้งในคลังข้อมูลสารสนเทศเป็นหมายเลขเอกสารที่มีการกระจายแบบเอกรูป เมื่อนำมาจัดเรียงลำดับจากน้อยไปมากแล้วสร้างเป็นกราฟบนระนาบ x และ y โดยแนวแกน y คือตำแหน่งบนลิสต์ และแกน x คือค่าข้อมูลในลิสต์ จะมีลักษณะคล้ายเส้นตรงดังรูปที่ 2.9 คุณสมบัติของเส้นตรง คือ ความชันระหว่างจุดใดๆ บนเส้นตรงเส้นหนึ่งจะมีค่าเท่ากัน เมื่อเราทราบค่าในลิสต์ทำให้เราสามารถหาตำแหน่งโดยประมาณในลิสต์ได้โดยใช้สมการที่ 2.4




**รูปที่ 2.9** แสดงลักษณะข้อมูลที่ได้รับการจัดเรียงแล้ว

ที่มาของสมการที่ 2.4 สามารถอธิบายได้ดังนี้ เส้นตรงมีจุดเริ่มต้น คือ (set[i][a].a) และมีจุดสิ้นสุดคือ (set[i][b].b]) ดังรูปที่ 2.9 ความชันของเส้นตรงจะเป็นดังสมการที่ 1

$$slope_{b-a} = \frac{b-a}{set[i][b]-set[i][a]} \tag{2.1}$$

หากมีจุด (e,I) เป็นจุดบนเส้นตรงนี้ สามารถหาความชันโดยใช้จุด (set[i][a].a) ได้ดังสมการที่ 2.2

$$slope_{I-a} = \frac{I-a}{e-set[i][a]} \tag{2.2}$$

แต่เนื่องจากบนเส้นตรงใดๆ นั้น ความชันระหว่างจุดใดๆ บนเส้นตรงจะมีค่าเท่ากัน ดังนั้น

$$slope_{I-a} = slope_{b-a} \tag{2.3}$$

นั่นคือ

$$\frac{I-a}{e-set[i][a]} = \frac{b-a}{set[i][b]-set[i][a]}$$

หาก e คือค่าที่ต้องการค้นหาในลิสต์ และ I คือตำแหน่งบนลิสต์ที่ต้องการประมาณสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$I = \left( \frac{e-set[i][a]}{set[i][b]-set[i][a]} (b-a) \right) + a \tag{2.4}$$

ในการใช้งานจริงนั้นการใช้สมการที่ 2.4 เพียงครั้งเดียวอาจไม่ได้คำตอบทันที เนื่องจากกราฟของเซตข้อมูลไม่ได้เป็นเส้นตรงแนวเดียวกันเหมือนในรูปที่ 2.9 จึงต้องมีการประมาณค่าต่อไปจนกว่าจะพบตำแหน่งของค่าที่ค้นหา โดยใช้ตำแหน่งที่ประมาณได้เป็นตำแหน่งประมาณค่าต่อไป ดังตัวอย่างต่อไปนี้

**ตัวอย่างที่ 2.5** ค้นหา 50 ในลิสต์ข้อมูลที่ถูกจัดเรียงแล้วดังต่อไปนี้โดยวิธีการประมาณค่าในช่วง

| 5 | 10 | 12 | 14 | 26 | 31 | 38 | 39 | 42 | 46 | 49 | 51 | 54 | 59 | 72 | 79 | 82 | 86 | 92 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |

ตำแหน่งเริ่มต้น a = 1 ตำแหน่งสิ้นสุด b = 19 ประมาณค่าตำแหน่งโดยใช้สมการ 2.4 จะได้

$$mid = 1 + \frac{50-5}{92-5} \times (19-1) = 10.31 \approx 10$$

ค่าในตำแหน่งที่ 10 ในลิสต์คือ 46 ซึ่งน้อยกว่า 50 ทำการประมาณค่าใหม่โดยที่ a = 11

$$mid = 11 + \frac{50-49}{92-49} \times (19-11) = 11.18 \approx 11$$

ค่าในตำแหน่งที่ 11 ในลิสต์คือ 49 ซึ่งน้อยกว่า 50 ทำการประมาณค่าใหม่โดยที่ a = 12

$$mid = 12 + \frac{50-51}{92-51} \times (19-12) = 11.83 \approx 11$$

ค่าตำแหน่งที่คำนวณได้อยู่ที่ตำแหน่งเดิม แสดงว่าค่า 50 ไม่มีอยู่ในลิสต์นี้ การค้นหาแบบประมาณค่าในช่วงจะใช้วิธีการคำนวณเพื่อหาตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับค่าที่ค้นหาทำให้การค้นหาแบบนี้มีรอบการประมวลผลนับจากคำสั่งเปรียบเทียบค่อนข้างต่ำ ประสิทธิภาพในกรณีเฉลี่ยของการค้นหาแบบประมาณค่าในช่วงจะขึ้นอยู่กับ O(log log n) และกรณีแย่ที่สุดคือ log(n) ในกรณีที่เซตข้อมูลมีการกระจายแบบเอกรูป [5]

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอินเตอร์เซกชัน งานส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพให้ของขั้นตอนวิธี โดยนำเสนอเป็นรูปแบบการทดลองกับเซตข้อมูลขนาดใหญ่

ในปี ค.ศ. 2001 E. D. Demaine, A. López-Ortiz และ J. I. Munro [7] ได้นำขั้นตอนวิธีแบบเอสวีเอส และแบบปรับตัวได้ มาทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ โดยนับจำนวน

การเรียกใช้คำสั่งเปรียบเทียบในขั้นตอนการค้นหา ในการทดลองจำลองมาจากการค้นหาแบบบูลีนในเสิร์จเอ็นจิน ใช้คลังข้อมูลจาก Google คิวรี่ตัวอย่างที่ใช้ทดลองมีทั้งหมด 2.858 คิวรี่ ผลการทดลองพบว่า เอสวีเอสมีการเรียกใช้คำสั่งเปรียบเทียบน้อยกว่าแบบปรับตัวได้ ต่อจากนั้นจึงปรับปรุงอัลกอริทึมแบบเอสวีเอสโดยเพิ่มการค้นหาขอบเขตแบบแกลลอป ก่อนการค้นหาแบบทวิภาคทำให้สามารถลดจำนวนคำสั่งเปรียบเทียบได้อีกจากวิธีเดิม

ในปี ค.ศ. 2006 Jérémy Barbay [3] และคณะได้นำวิธีการค้นหาแบบประมาณค่าในช่วงมาประยุกต์ใช้กับขั้นตอนวิธีอินเตอร์เซกชันแบบต่างๆ ได้แก่ แบบลำดับต่อเนื่อง(Sequential) แบบปรับตัวได้ และแบบเอสวีเอสผสมผสานกับแบบปรับตัวได้(Small Adaptive) ผลการทดลองพบว่าการค้นหาแบบประมาณค่าในช่วงสามารถลดจำนวนคำสั่งเปรียบเทียบได้ดีกว่าการค้นหาแบบเดิมที่เป็นแบบทวิภาค

ในปี ค.ศ. 2007 Jérémy Barbay [4] และคณะได้ทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพขั้นตอนวิธีต่างๆ ได้แก่ แบบเอสวีเอส แบบเอสวีเอสสลับด้าน(Swapping SVS) แบบลำดับต่อเนื่องแบบ Baeza-Yates และแบบเอสวีเอสผสมผสานกับแบบปรับตัวได้ โดยทดลองกับเซตข้อมูลสามแบบได้แก่ เซตข้อมูลที่ได้จากการสุ่มเช่นเดียวกับงานวิจัย[2] เซตข้อมูลตัวอย่างจาก Google และเซตข้อมูลจาก TREC GOV2 โดยวัดประสิทธิภาพสองแบบ แบบแรกเป็นการวัดการใช้จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบ แบบที่สองวัดเวลาในการประมวลผล ผลการทดลองพบว่าวิธีเอสวีเอสจะใช้คำสั่งเปรียบเทียบต่ำสุด เมื่อใช้เซตข้อมูลแบบสุ่ม และเซตข้อมูลจาก Google ส่วนเซตข้อมูลจาก TREC GOV2 เอสวีเอสจะใช้เวลาในการประมวลผลต่ำสุด(สถาปัตยกรรมของซันไมโครซิสเต็ม)

## 2.6 การวัดประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธี

การวัดประสิทธิภาพเป็นสิ่งสำคัญต่อการทำงานวิจัย เนื่องจากเป็นสิ่งพิสูจน์ว่าการแก้ปัญหาหรือพัฒนางานวิจัยนั้นประสบความสำเร็จมากน้อยเพียงใด โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานที่เปรียบเทียบประสิทธิภาพกับวิธีเดิมในปัญหาเดียวกัน การวัดประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีก็เช่นเดียวกัน ขั้นตอนวิธีที่ดีเมื่อนำมาสร้างเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต้องใช้ทรัพยากรระบบและเวลาทำงานให้ได้น้อยที่สุด แต่สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการวัดประสิทธิภาพในด้านเวลาการทำงานเท่านั้น ในส่วนนี้จึงกล่าวเฉพาะวิธีการวัดประสิทธิภาพด้านเวลาการทำงานเพียงอย่างเดียว

ในการวัดเวลาการทำงานของขั้นตอนวิธี สามารถทำได้โดยสร้างโปรแกรมตามขั้นตอนวิธีที่ต้องการวัดผล แล้วนำไปทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ นับเวลาที่โปรแกรมนั้นเริ่มทำงานจนเสร็จสิ้น แต่วิธีการนี้มีปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้การวัดผลเกิดความคลาดเคลื่อน เช่น มีโปรเซสอื่นใช้ทรัพยากรร่วมอยู่ แพลตฟอร์มของระบบปฏิบัติการที่ใช้ทดลอง สถาปัตยกรรมของเครื่องที่ใช้ทดลอง จึงต้องมีการควบคุมหรือกำหนดปัจจัยดังกล่าวอย่างเคร่งครัด

อีกวิธีหนึ่งในการวัดประสิทธิภาพด้านเวลาการทำงานของขั้นตอนวิธี คือ การวิเคราะห์การทำงานเชิงเวลา โดยอาศัยการนับจำนวนครั้งของการใช้งานคำสั่งต่างๆ ในโปรแกรมระหว่างการทำงาน[17] ซึ่งเขียนบรรยายจำนวนครั้งที่นับได้นี้เป็นฟังก์ชันของขนาดข้อมูลขาเข้าของปัญหา อัตราการเติบโตของฟังก์ชันนี้เองจะสะท้อนให้เห็นถึงแนวโน้มการเพิ่มของเวลาการทำงานเมื่อขนาดของข้อมูลเพิ่มขึ้นว่ามีลักษณะอย่างไร โดยวิเคราะห์เวลาการทำงานสำหรับข้อมูลขาเข้ากรณีที่แย่สุด(Worst Case) กรณีที่ดีสุด(Best Case) และกรณีเฉลี่ย(Average Case) และงานวิจัยนี้ก็จะใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงเวลาเป็นตัวบอกประสิทธิภาพวิธีหนึ่งของขั้นตอนวิธีที่ได้ปรับปรุง

### 2.6.1 การนับจำนวนครั้งของการใช้งานคำสั่ง

การวิเคราะห์เชิงเวลาคือการหาผลรวมของเวลาการทำงานของคำสั่งต่างๆ ในโปรแกรมที่ถูกใช้งาน จะขอยกตัวอย่างจากโปรแกรมสั้นๆ ข้างล่างนี้ กำหนดให้เวลาการทำงานของคำสั่งในบรรทัดที่ $i$ เป็น $t_i$ วินาที

```
01: function sum( var x : vector; n : integer ) : integer;
02:     var i, s : integer;
03: begin
04:     s := 0;
05:     for i:=1 to n do
06:             s := s + x[i];
07:     sum := s;
08: end;
```

โปรแกรมนี้ทำหน้าที่หาผลรวมของจำนวนในเวกเตอร์ x (ซึ่งสร้างด้วยแถวลำดับ) ตั้งแต่ช่องที่ 1 ถึง $n$ โดยใช้เวลารวมทั้งสิ้นเท่ากับ

$$t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + \sum_{i=1}^{n}(t_5 + t_6) + t_5 + t_7 + t_8$$

จุดประสงค์ของการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงเวลาก็เพื่อวิเคราะห์ให้เห็นแนวโน้มของเวลาการทำงานของโปรแกรมเมื่อขนาดของข้อมูลเพิ่มขึ้น นั่นคือทำให้ประมาณได้ว่า เมื่อข้อมูลเพิ่มขึ้น $k$ เท่าแล้วเวลาการทำงานจะเพิ่มเท่าไร ถ้ากำหนดให้ $t_i \leq c_1$ สำหรับทุกๆ $i$ หมายความว่าให้ $c_1$ เป็นค่าคงตัวซึ่งมีค่าเท่ากับเวลาการทำงานของคำสั่งที่ทำงานนานสุดในโปรแกรม ดังนั้นจากตัวอย่างเวลาการทำงานที่แสดงข้างบนนี้ สามารถลดรูปให้แลดูกะทัดรัดขึ้นดังนี้

$$t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + \sum_{i=1}^{n}(t_5 + t_6) + t_5 + t_7 + t_8 \le 4c_1 + \left(\sum_{i=1}^{n} 2c_1\right) + 3c_1 = c_1(2n+7)$$

ในการกำหนดให้ $c_1$ เป็นเวลาการทำงานของคำสั่งที่ทำงานนานสุดในโปรแกรม จะต้องเป็นคำสั่งซึ่งใช้เวลาการทำงานไม่แปรตามจำนวนข้อมูล เรียกว่าเป็นคำสั่งมูลฐานซึ่งคือคำสั่งง่ายๆ เช่น บวก ลบ คูณ หาร เปรียบเทียบ ที่ใช้เวลาไม่แปรตามจำนวนข้อมูล เพราะถ้าไม่ใช่คำสั่งมูลฐาน เช่น ฟังก์ชันยกกำลังอาจทำให้การวิเคราะห์โดยวิธีนี้ผิดเพี้ยนไป เพราะเวลาการทำงานของฟังก์ชันยกกำลังจะแปรตามตัวเลขที่ใช้ยกกำลัง

จากตัวอย่างนับคำสั่งต่างๆ ในฟังก์ชัน sum ทีใช้ทำงานได้เป็นจำนวน $2n + 7$ ครั้ง แต่ละครั้งใช้เวลาไม่เกิน $c1$ ได้ผลรวมเป็น $c1(2n + 7)$

**2.6.2 คำสั่งมาตรเวลา**

หลายคำสั่งในโปรแกรมที่เขียนขึ้นนั้น บางคำสั่งถูกเรียกใช้งานเป็นจำนวนคงตัวไม่ขึ้นกับขนาดของข้อมูล บางคำสั่งก็ถูกเรียกใช้น้อยกว่าคำสั่งอื่นอย่างเห็นได้ชัด เช่น begin และ end ซึ่งหมายความว่าคำสั่งเหล่านี้ไม่ได้มีส่วนกำหนดอัตราการเติบโตของเวลาการทำงานโดยรวม และเพื่อลดภาระการนับคำสั่งเหล่านี้ ก่อนจะเริ่มนับควรพิจารณาก่อนว่าคำสั่งใดในโปรแกรม ที่เป็นตัวกำหนดเวลาการทำงานโดยรวม ซึ่งคำสั่งประเภทนี้เรียกว่า คำสั่งมาตรเวลา(ซึ่งมีได้มากกว่าหนึ่งคำสั่งในโปรแกรม) คำสั่งมาตรเวลาเป็นคำสั่งที่ถูกใช้ทำงานมากที่สุดในโปรแกรม นั่นคือเวลาการทำงานโดยรวมจะแปรโดยตรงตามจำนวนครั้งที่คำสั่งมาตรเวลาถูกใช้งาน จากฟังก์ชัน sum ในหัวข้อที่ 2.6.1 คำสั่ง for ในบรรทัดที่ 5 ถือเป็นคำสั่งมาตรเวลาของโปรแกรมนี้ คำสั่งนี้ถูกเรียกใช้งานเป็นจำนวน n+1 ครั้ง (เนื่องจากเป็นวงวนแบบ for ซึ่งให้ $i$ เริ่มที่ 1 เพิ่มทีละหนึ่งจนถึง n+1 จึงหลุดจากวงวน) หรือจะใช้คำสั่งที่บรรทัดที่ 6 ภายในวงวน for ก็ได้ เมื่อกำหนดให้ $n > 0$ ถ้าเรานับเฉพาะคำสั่งที่บรรทัดที่ 6 จะได้จำนวนครั้งที่ถูกเรียกใช้งานเป็นจำนวน n ครั้ง สรุปได้ว่าฟังก์ชัน sum ใช้เวลาการทำงานเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของ n

**2.6.3 สัญกรณ์โอใหญ่**

การบรรยายเวลาการทำงานของโปรแกรมด้วยฟังก์ชันซึ่งวิเคราะห์มาได้จากการนับคำสั่งมาตรเวลาตามที่ได้นำเสนอมานั้น บางครั้งอาจได้ผลที่ดูลุ่มล่ามเช่น f(n) = 10n2 + n log n + 27n + 4 เป็นต้น วิธีแทนฟังก์ชันที่แลดูยุ่งยากให้กะทัดรัดมากขึ้น คือการใช้สัญกรณ์โอใหญ่(Big O notation) โดยจะเขียน f(n) = O(g(n)) เมื่อ f(n) เป็นฟังก์ชันที่โตไม่เร็วกว่า g(n) เชิงเส้นกำกับ นั่นคือ

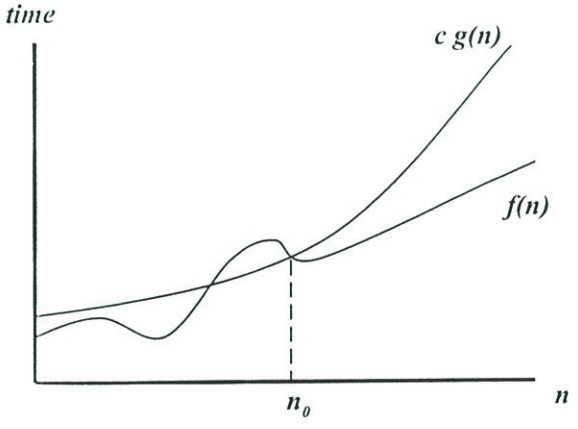
$f(n) = O(g(n))$ เมื่อ $\lim_{n\to\infty} \frac{f(n)}{g(n)} = c$ โดยที่ $c \geq 0$ และ $c \neq \infty$

เช่น $10n^2 + n \log n + 27n + 4 = O(n^2)$ ตีความได้ว่า $10n^2 + n \log n + 27n + 4$ เป็นฟังก์ชันที่โตไม่เร็วกว่า $n^2$ เชิงเส้นกำกับ ซึ่งให้ความรู้สึกกับผู้อ่านได้ทันทีว่าโปรแกรมที่ใช้เวลาการทำงานแบบ $O(n^2)$ มีอัตราการเติบโตของเวลาการทำงานไม่แย่ไปกว่าแบบ $n^2$ เมื่อ n มีค่ามาก ดังนั้นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงเวลาระหว่างโปรแกรมต่างๆ จึงกระทำได้ง่ายขึ้น

นิยามสัญกรณ์โอใหญ่ในอีกรูปแบบหนึ่งทำได้โดยการกำหนดให้ $O(g(n))$ คือเซตของฟังก์ชันต่างๆ ที่โตไม่เร็วกว่า $g(n)$ เขียนได้ดังนี้

$O(g(n)) = \{ f(n) \mid$ มีค่าคงตัวบวกสองตัวคือ c และ $n_0$ ที่ทำให้ $f(n) \leq cg(n)$ เมื่อ $n \geq n_0 \}$

หมายความว่าถ้า $f(n) \in O(g(n))$ แสดงว่าการเติบโตของ $f(n)$ จะถูกกำหนดขอบเขตด้านบนไว้ด้วยลักษณะการเติบโตของ $g(n)$ ดังรูปที่ 2.10 และสามารถหาค่าคงตัวบวก c ที่ $f(n) \leq cg(n)$ เมื่อ $n \geq n_0$ ได้ดังตัวอย่างที่ 2.6




**รูปที่ 2.10** $f(n) \in O(g(n))$

**ตัวอย่าง 2.6** จงแสดงให้เห็นจริงว่า $2n^2 + 500n + 1000 \log n = O(n^2)$

ต้องหาค่า c และ $n_0$ ที่ทำให้ $2n^2 + 500n + 1000 \log n \leq cn^2$ เป็นจริงเสมอ

เมื่อ $n \geq n_0$ กำหนดให้ $c = 2+500+1000 = 1502$

ดังนั้นอสมการ $2n^2 + 500n + 1000 \log n \leq cn^2$

เป็นจริงเสมอเมื่อ $n \geq 1$

**ตัวอย่าง 2.7** จงแสดงให้เห็นจริงว่า $\log_b n = O(\log_b n)$ สำหรับค่าคงตัว $a, b > 1$

สามารถแปลงฐานของ log จากฐาน a ไปเป็นฐาน b ได้ด้วยการหารด้วยค่าคงตัว $\log_b a$ นั่นคือ $\log_a n = (\log_b n) / (\log_b a)$ ดังนั้นสรุปได้ว่า $\log_a n = O(\log_b n)$

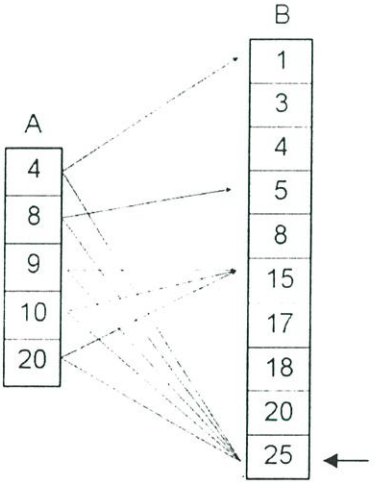
จากตัวอย่างที่ 2.7 ชี้ให้เห็นว่าเรามักจะไม่ใส่ฐานของ log ในสัญกรณ์เชิงเส้นกำกับ เช่น O(log n) เพราะว่านอกจากจะสะดวกแล้วยังไม่มีผลใดๆ ด้วย ดังนั้นในเชิงเส้นกำกับแล้ว $\log_{1.1} n$ กับ $\log_{100} n$ มีอัตราการเติบโตเท่ากัน

# บทที่ 3
# ขั้นตอนวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม

## 3.1 หลักการของเอสวีเอสโดยใช้การข้าม

ในส่วน 2.3.2 จะเห็นได้ว่าขั้นตอนวิธีเอสวีเอส ให้ความสนใจกับการลดขอบเขตของการค้นหา โดยใช้วิธีเก็บตำแหน่งตัวตามหลังในเซตที่ถูกค้นหาของการค้นหาก่อนหน้า เพื่อไปใช้ในการกำหนดจุดเริ่มต้นขอบเขตการค้นหาครั้งต่อไป ทำให้ไม่ต้องค้นหาในขอบเขตทั้งหมดของเซตที่ถูกค้นหา มีผลทำให้ประสิทธิภาพเชิงเวลาลดลง

จากขั้นตอนวิธีที่ 2 และตัวอย่างที่ 2.3 ผู้วิจัยได้สังเกตเห็นว่าตำแหน่งสุดท้ายของขอบเขตการค้นหาแต่ละครั้งจะสิ้นสุดที่ตำแหน่งสุดท้ายของลิสต์ที่ถูกค้นหาเสมอ แสดงดังรูปที่ 3.1

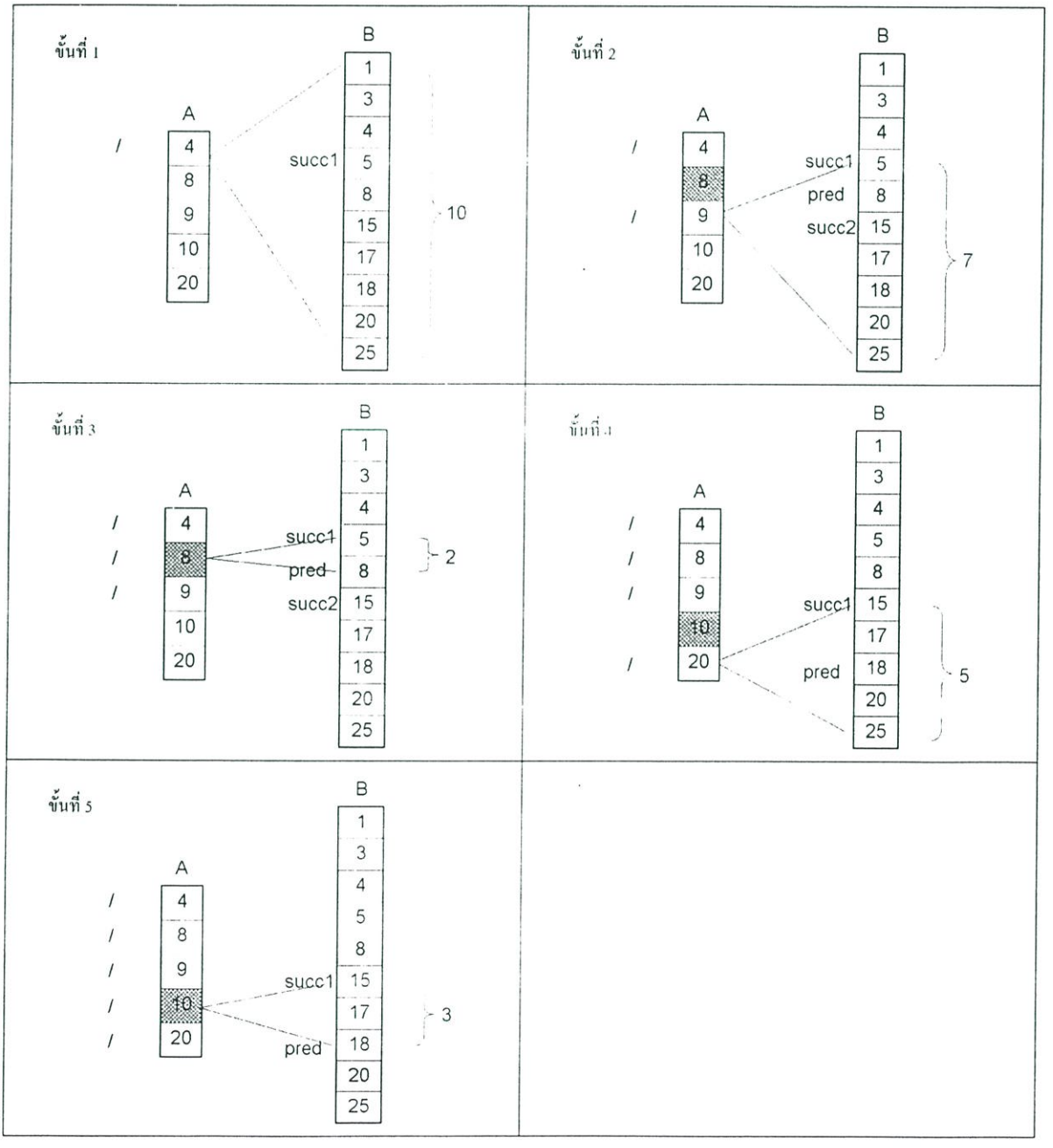



**รูปที่ 3.1** แสดงขอบเขตของการค้นหาแต่ละครั้งของเอสวีเอส

จึงเกิดแนวคิดในการหาวิธีที่จะลดขอบเขตของการค้นหาแต่ละครั้ง โดยที่ขอบเขตการค้นหาไม่จำเป็นต้องสิ้นสุดที่ตำแหน่งสุดท้ายเสมอ หากสามารถทำได้จริง เมื่อใช้การค้นหาเป็นแบบทวิภาคซึ่งมีประสิทธิภาพการทำงานในกรณีเฉลี่ยคือ O(log n) และจะทำให้ n มีขนาดลดลงส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงเวลาดีขึ้นตามมา

ในงานวิจัยนี้ได้เห็นความสำคัญในการลดขอบเขตการค้นหาในเซตที่ถูกค้นหา จึงพยายามหาวิธีการที่จะทำให้ขอบเขตการค้นหาลดลงโดยปรับปรุงจากวิธีเอสวีเอส และวิธีหนึ่งที่ค้นพบ คือ ใช้การข้ามค้นหาแสดงดังตัวอย่างที่ 3.1

**ตัวอย่างที่ 3.1** วิธีอินเตอร์เซกชันของเอสวีเอสโดยใช้การข้าม ครั้งละ 2 ตำแหน่ง และใช้เซตข้อมูลเช่นเดียวกับตัวอย่างที่ 2.2 และ 2.3 แสดงได้ดังรูปที่ 3.2 และมีขั้นตอนดังนี้




**รูปที่ 3.2** ขั้นตอนการทำงานของวิธีเอสวีเอสแบบข้าม

ขั้นที่ 1 นำ 4 ในลิสต์ A ไปค้นหาค่าในลิสต์ B โดยขอบเขตการค้นหาครั้งแรกนี้คือ 10 ซึ่งเท่ากับจำนวนสมาชิกทั้งหมดในเซต B และเก็บตำแหน่งตัวตามหลัง ในที่นี้คือตำแหน่งที่ 4 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5

ขั้นที่ 2 ข้ามการค้นหาโดยการเพิ่มตำแหน่งไปอีก 2 ตำแหน่ง ซึ่งจะมีค่าคือ 9 ไปค้นหาในลิสต์ B โดยขอบเขตการค้นหาเริ่มตั้งแต่ตำแหน่งตัวตามหลังที่ได้เก็บไว้ในขั้นตอนก่อนหน้า จนถึงตำแหน่งสุดท้ายในลิสต์ที่ถูกค้นหา แล้วเก็บตำแหน่งตัวนำหน้าและตัวตามหลังไว้ ซึ่งก็คือตำแหน่งที่ 5 และ 6 ตามลำดับ

ขั้นที่ 3 กลับไปค้นหาสมาชิกที่ได้ข้ามมาซึ่งก็คือค่า 8 โดยช่วงของการค้นหาจะอยู่ระหว่างตำแหน่งของตัวตามหลังที่ได้เก็บไว้ในขั้นตอนแรกและตัวนำหน้าที่ได้เก็บไว้ในขั้นตอนที่สอง ขั้นตอนนี้มีขอบเขตการค้นหาคือ 2

ขั้นที่ 4 ข้ามการค้นหาโดยการเพิ่มตำแหน่งไปอีก 2 ตำแหน่ง นำค่า 20 เข้าไปค้นหาในลิสต์ B โดยขอบเขตการค้นหาจะเริ่มตั้งแต่ตำแหน่งของตัวตามหลังที่ได้เก็บไว้ล่าสุด(ตำแหน่งที่ 6) จนถึงตำแหน่งสุดท้ายในลิสต์ B แล้วเก็บตำแหน่งตัวนำหน้าใหม่

ขั้นที่ 5 กลับไปค้นหาค่าที่ได้ข้ามมา คือค่า 10 มีขอบเขตการค้นหาตั้งแต่ตำแหน่งตัวตามหลังที่ได้เก็บไว้ในขั้นที่ 2 จนถึงตัวนำหน้าที่ได้เก็บไว้ในขั้นที่ 4

ขอบเขตของการค้นหาแต่ละครั้งของวิธีเอสวีเอสแบบเดิมในตัวอย่างที่ 2.3 และเอสวีเอสแบบข้ามค้นหาในตัวอย่างที่ 3.1 จะเป็นดังตารางที่ 3.1

**ตารางที่ 3.1** ขอบเขตการค้นหาของเอสวีเอส และ เอสวีเอสโดยใช้การข้าม

| ครั้งที่ | ขอบเขตการค้นหา | |
|---|---|---|
| | SvS | ใช้การข้าม |
| 1 | 10 | 10 |
| 2 | 7 | 7 |
| 3 | 5 | 2 |
| 4 | 5 | 5 |
| 5 | 5 | 3 |
| รวม | 32 | 27 |

จากตารางที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้ามค้นหามีผลรวมของขอบเขตการค้นหาน้อยกว่าเอสวีเอสแบบเดิม อันที่จริงแล้วการข้ามค้นหาในขั้นที่ 2 และ 4 นั้นเป็นการกั้นขอบเขตไว้ก่อนล่วงหน้าโดยใช้ประโยชน์จากตัวนำหน้า และตัวตามหลัง ทำให้ขอบเขตการค้นหา

ที่ได้ข้ามไปนั้นไม่จำเป็นต้องสิ้นสุดที่ตำแหน่งสุดท้ายของเซตที่ถูกค้นหา เห็นได้จากขอบเขตการค้นหาครั้งที่ 3 และ 5

เพื่อให้แน่ใจว่าตำแหน่งที่ได้ข้ามไป ยังคงอยู่ในขอบเขตของการกั้นในเซตที่ถูกค้นหา ผู้วิจัยจึงขอแสดงความจริงดังบทพิสูจน์ต่อไปนี้

กำหนดให้ S เป็นเอกภพสัมพัทธ์

กำหนดให้ $A = \{ a_1, a_2, \ldots, a_m \}$ $a_1<a_2<\ldots<a_m$

กำหนดให้ $B = \{ b_1, b_2, \ldots, b_l \}$ $b_1<b_2<\ldots<b_l$

A และ B เป็นสับเซตของ S

**ข้อเสนอแทรกที่ 3.1** เมื่อตัวตามหลัง ของ $b_{i-1}$ ที่อยู่ในเซต A คือ $a_s$ และตัวนำหน้า ของ $b_{i+1}$ ที่อยู่ในเซต A คือ $a_p$ แล้ว $a_s \leq b_i \leq a_p$

**พิสูจน์** จากคุณสมบัติของตัวตามหลังและตัวนำหน้า ในนิยามที่ 2.3 และ นิยามที่ 2.2 ตามลำดับ

จะได้ $b_{i-1}< a_s$ และ $b_{i-1}> a_p$

แต่ $b_{i-1}< b_i$ และ $b_{i-1}> b_i$

ดังนั้น $b_i \geq a_s$ และ $b_i \leq a_p$

หรือ $a_s \leq b_i \leq a_p$ (3.1)

จากตัวอย่างที่ 3.1 ในขั้นที่ 1 ถึง 3 จะเห็นได้ว่า ตัวตามหลังของ 4 ในเซต B คือ 5 และตัวนำหน้าของ 9 ในเซต B คือ 8 ดังนั้น 8 ในเซต A จะมีค่าระหว่าง 5 ถึง 8 ซึ่งตรงกับความจริงในข้อเสนอแทรกที่ 3.1

รหัสเทียมของวิธีเอสวีเอสแบบข้ามค้นหาของเซต k เซต จะแสดงดังขั้นตอนวิธีที่ 4 อย่างไรก็ตามตัวอย่างที่ 3.1 เพียงตัวอย่างเดียวไม่สามารถที่จะสรุปได้ว่าวิธีนี้ดีกว่าแบบเดิม งานวิจัยนี้จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ขั้นตอนวิธี และทดลองกับเซตข้อมูลที่มากพอแล้วหาประสิทธิภาพจึงจะสามารถสรุปผลได้

## 3.2 ข้อเหมือนและข้อแตกต่างของขั้นตอนวิธีเอสวีเอสและเอสวีเอสโดยใช้การข้าม

ในส่วนนี้จะวิเคราะห์ถึงข้อเหมือนและข้อแตกต่าง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการสร้างโปรแกรมเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีที่ได้ปรับปรุงกับวิธีเดิม

**3.2.1 ข้อเหมือน**

3.2.1.1 เป็นวิธีการหาคำตอบของอินเตอร์เซกชัน โดยพิจารณาสมาชิกเซตที่มีจำนวนน้อยกว่าเพื่อนำไปค้นหาสมาชิกร่วมในเซตที่มีจำนวนมากกว่า

3.2.1.2 จำนวนการค้นหาแต่ละคู่อินเตอร์เซกชัน จะมีค่าเท่ากับจำนวนสมาชิกของเซตที่มีจำนวนน้อยที่สุด

**3.2.2 ข้อแตกต่าง**

3.2.2.1 ลำดับการค้นหาของวิธีเอสวีเอสแบบเดิม จะค้นหาตามลำดับจากตำแหน่งแรกจนถึงตำแหน่งสุดท้าย แต่เอสวีเอสแบบใช้การข้ามค้นหาจะข้ามตำแหน่งไปเพื่อกั้นขอบเขตแล้วกลับมาค้นหาค่าที่ได้ข้ามไปทำเช่นนี้จนครบทุกค่าในเซตที่พิจารณาค้นหา ดังรูปที่ 3.3

**รูปที่ 3.3** ลำดับการค้นหาในลิสต์ข้อมูลของเอสวีเอส และเอสวีเอสแบบข้าม 2 ตำแหน่ง

3.2.2.2 ในการกำหนดช่วงการค้นหาเอสวีเอสแบบเดิมจะใช้ประโยชน์จากการเก็บตำแหน่งตัวนำหน้าของการค้นหาก่อนหน้า แต่เอสวีเอสแบบใช้การข้ามจะใช้ประโยชน์จากตัวนำหน้าและตัวตามหลังของการค้นหาก่อนหน้า

## 3.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม

ขั้นตอนวิธีที่ 4 แสดงให้เห็นบรรทัดคำสั่งพื้นฐานที่ใช้ในเอสวีเอสโดยใช้การข้ามจำนวน Step ตำแหน่ง ในการอินเตอร์เซกชันของลิสต์จำนวน k ลิสต์ และใช้การค้นหาแบบทวิภาค ตัวแปร i ใช้ในการระบุลิสต์ที่พิจารณาซึ่งมีทั้งหมด k ลิสต์ ตัวแปร succ1 และ succ2 ใช้สำหรับเก็บตำแหน่งตัวตามหลัง ส่วน pred ใช้เก็บตำแหน่งตัวนำหน้า ตัวแปร j และ l ใช้ชี้ตำแหน่งในลิสต์ i

```
1: Sort the sets by size (|set[0]| < |set[1]| < . . . < |set[k]|).
        Let the smallest set s[0] be the candidate answer set.
2: for each set s[i], i = 1 . . . k do
3:      binary search s[0][j] in s[i] in the range 0 to |s[i]|,
4:              and update succ1 to the last position probed in the previous step.
5:                      if s[0][j] was not found then
6:              remove s[0][j] from candidate answer set,
7:      end if
8:      while s[0][j+step]!=empty
9:              j:=j+step
10:             binary search s[0][j] in s[i] in the range succ1 to |s[i]|,
11:             and update succ2 and pred of s[0][j] in s[i].
12:             if s[0][j] was not found then
13:                     remove s[0][j] from candidate answer set.
14:             end if
15:             for each set s[0][l], l = j+1 to j+step-1 do
16:                     binary search s[0][l] in s[i] in the range succ1 to pred,
17:                     and update succ1 of s[0][l] in s[i].
18:                     if s[0][l] was not found then
19:                             remove s[0][l] from candidate answer set,
20:                     end if
21:             end for
22:             succ1:=succ2
23:     end while
24:     for each set s[0][l], l = j+1 to j+((|s[0]|-1) mod step) do
25:             binary search s[0][l] in s[i] in the range succ1 to |s[i]|,
26:             and update succ1 of s[0][l] in s[i].
27:             if s[0][l] was not found then
28:                     remove s[0][l] from candidate answer set.
29:             end if
30:     end for
31: end for
```

**ขั้นตอนวิธีที่ 4** เอสวีเอสโดยใช้การข้ามค้นหา

บรรทัดที่ 1 คือการจัดเรียงลิสต์ตามจำนวนสมาชิกจากน้อยไปมากเพื่อนำลิสต์ที่จำนวนสมาชิกน้อยที่สุด เป็นตัวพิจารณาค้นหาให้เซตอื่นที่มีจำนวนมากกว่า

บรรทัดที่ 3 เป็นการนำค่าในตำแหน่งแรกของลิสต์ s[0] เข้าไปค้นหาโดยมีขอบเขตการค้นหาเท่ากับจำนวนสมาชิกทั้งหมดในลิสต์ s[i] ในบรรทัดที่ 4 ทำการเก็บค่าตัวตามหลังเพื่อใช้ในการค้นหาต่อไป หากการค้นหาในครั้งนี้ไม่พบก็จะไม่นำค่านี้ไปพิจารณาค้นหาอินเตอร์เซกชันกับเซตถัดไป

บรรทัดที่ 8 เป็นวงวนตรวจสอบว่าตำแหน่งที่พิจารณาเกินขอบเขตของลิสต์หรือไม่ ถ้าไม่เกินก็จะทำการข้ามค้นหา ในบรรทัดที่ 9 จะข้ามค้นหาโดยการเพิ่มตำแหน่งจำนวน step ตำแหน่ง

บรรทัดที่ 10 ทำการค้นหาตำแหน่งที่ทำการข้ามโดยขอบเขตการค้นหาจะใช้ตำแหน่งตัวตามหลังที่ได้เก็บไว้ก่อนหน้านี้จนถึงตำแหน่งสุดท้ายของลิสต์ ในบรรทัดที่ 11 ทำการเก็บค่าตัวตามหลังและตัวนำหน้าใหม่ไว้ในตัวแปร succ2 และ pred ตามลำดับ

บรรทัดที่ 15 ทำการค้นหาตำแหน่งที่ได้ข้ามค้นหามาโดยขอบเขตจะการค้นหาจะสิ้นสุดที่ตำแหน่ง pred ซึ่งได้เก็บค่าไว้ก่อนหน้านี้ เมื่อทำการค้นหาตำแหน่งที่ได้ข้ามมาจนครบทุกตัวแล้ว ในบรรทัดที่ 22 จึงปรับปรุงค่า succ1 ใหม่เพื่อใช้ในการกำหนดขอบเขตในการข้ามค้นหาขั้นต่อไป ในวงวนบรรทัดที่ 8 จนกระทั่งตำแหน่งที่ได้ข้ามนั้นออกนอกขอบเขตลิสต์ที่พิจารณาค้นหา

**ตารางที่ 3.2** แสดงจำนวนรอบคำสั่งแต่ละบรรทัดของขั้นตอนวิธีที่ 4

| บรรทัดคำสั่ง | จำนวนรอบคำสั่ง | บรรทัดคำสั่ง | จำนวนรอบคำสั่ง |
|---|---|---|---|
| 1 | k log k | 17 | k((\|s[0]\|/step)-1)(step-1) |
| 2 | K | 18 | k((\|s[0]\|/step)-1)(step-1) |
| 3 | k log (\|s[i]\|) | 19 | k((\|s[0]\|/step)-1)(step-1) |
| 4 | K | 20 | k((\|s[0]\|/step)-1)(step-1) |
| 5 | K | 21 | k((\|s[0]\|/step)-1)(step-1) |
| 6 | K | 22 | k((\|s[0]\|/step)-1) |
| 7 | K | 23 | k((\|s[0]\|/step)-1) |
| 8 | k((\|s[0]\|/step)-1) | 24 | k((\|s[0]\|-1) mod step) |
| 9 | k((\|s[0]\|/step)-1) | 25 | k((\|s[0]\|-1) mod step)log(\|s[i]\|-succ1) |
| 10 | k((\|s[0]\|/step)-1) log (\|s[i]\|-succ1) | 26 | k((\|s[0]\|-1) mod step) |
| 11 | k((\|s[0]\|/step)-1) | 27 | k((\|s[0]\|-1) mod step) |
| 12 | k((\|s[0]\|/step)-1) | 28 | k((\|s[0]\|-1) mod step) |
| 13 | k((\|s[0]\|/step)-1) | 29 | k((\|s[0]\|-1) mod step) |
| 14 | k((\|s[0]\|/step)-1) | 30 | k((\|s[0]\|-1) mod step) |
| 15 | k((\|s[0]\|/step)-1)(step-1) | 31 | k |
| 16 | k((\|s[0]\|/step)-1)(step-1)log(pred-succ1) | | |

บรรทัดที่ 24 จะทำการตรวจสอบว่าการข้ามค้นหาครั้งสุดท้ายนั้นยังเหลือส่วนที่ยังไม่ได้ค้นหาเท่าไหร่ แล้วทำการพิจารณาค้นหาจนครบทุกตัวโดยขอบเขตการค้นหาจะเริ่มตั้งแต่ตัวตามหลัง succ1 จนถึงตำแหน่งสุดท้ายของลิสต์ที่ถูกค้นหา

เมื่อพิจารณาผลรวมจำนวนรอบคำสั่งของขั้นตอนวิธีที่ 4 จะเป็นดังนี้

$$f(n) = k \log k + 6k + k \log (|s[i]|) + 8k((|s[0]|/step)-1) + k((|s[0]|/step)-1) \log (|s[i]|-succ1) + 6k((|s[0]|/step)-1)(step-1) + k((|s[0]|/step)-1)(step-1)\log(pred-succ1) + 6k(step-1) + k(step-1)\log(|s[i]|-succ1)$$

เพื่อให้การนับรอบคำสั่งดูไม่ลุ่มล่าม จึงทำการแทนค่าตัวแปรต่างๆ โดยประมาณดังนี้

$$|s[i]|=n/k,\ |s[i]|-succ1<=n/k\ .\ (|s[0]|-1) \bmod step<=step-1$$

|s[i]| คือจำนวนสมาชิกทั้งหมดในลิสต์ i เมื่อ n คือผลรวมของจำนวนสมาชิกทั้งหมดในลิสต์ k ลิสต์ ดังนั้น n/k จึงเป็นค่าเฉลี่ยของจำนวนสมาชิกแต่ละลิสต์ จึงทำการแทนค่าจำนวนสมาชิกในลิสต์ใดๆ ด้วย n/k

|s[i]|-succ1 เป็นขอบเขตของการค้นหาในตำแหน่งที่ทำการข้ามซึ่งจะมีค่ามากที่สุดเท่ากับจำนวนสมาชิกในเซตที่พิจารณาค้นหาจึงทำการแทนด้วย n/k

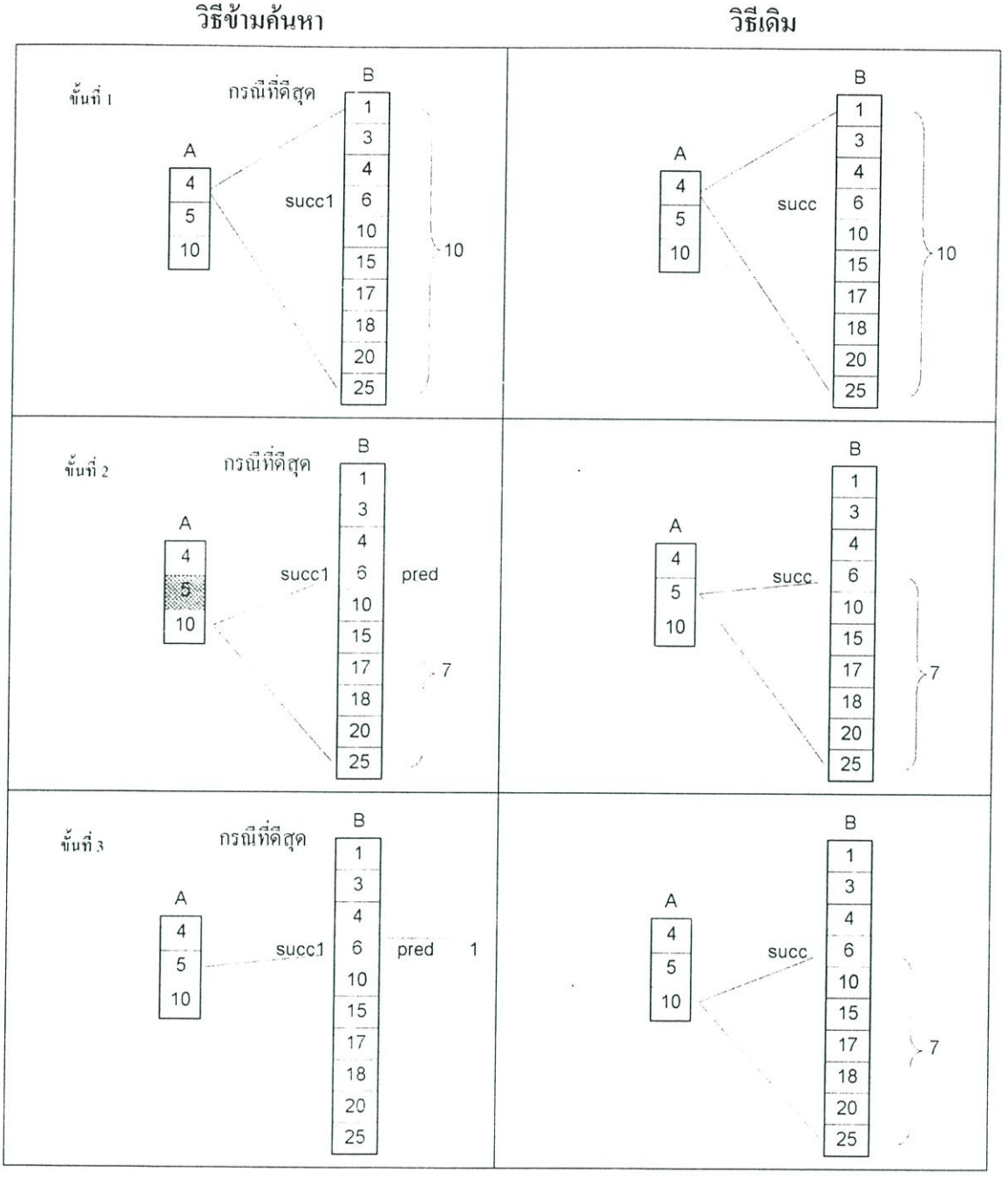
(|s[0]|-1) mod step คือ ตำแหน่งที่เหลือจากการข้ามค้นหา ซึ่งจะมีค่าไม่เกินค่า step จึงแทนด้วย step-1

หลังจากแทนค่าต่างๆ ลงใน f(n) แล้ว ทำการลดเทอมต่างๆ ของสมการให้สั้นลงจะได้ผลรวมรอบคำสั่งดังนี้

$$f(n) = k \log k + k(step)\log (n/k) + ((n/step)-k)(8 + \log (n/k) + (step-1) + (step-1)\log(pred-succ1)) + 6k(step) \quad (3.1)$$

**3.3.1 กรณีที่ดีสุด**

จุดประสงค์ของวิธีเอสวีเอสแบบใช้การข้ามนั้น คือการลดขอบเขตของการค้นหาในตำแหน่งที่ได้ข้ามไปในเซตที่พิจารณาค้นหา ดังนั้นในการพิจารณากรณีที่ดีสุด จะพิจารณาจากขนาดขอบเขตที่ลดลงได้มากที่สุด ในกรณีที่ดีสุดพบว่าวิธีข้ามค้นหานี้สามารถลดขอบเขตการค้นหาจนเหลือเพียง 1 ตำแหน่ง ทำให้การค้นหานั้นใช้คำสั่งเปรียบเทียบเพียง 1 ครั้งเท่านั้น และจะเกิดขึ้น เมื่อตำแหน่งตัวตามหลัง(succ1) มีค่าตรงกับตำแหน่งตัวนำหน้า(pred) ตัวอย่างเซตข้อมูลกรณีที่ดีสุดแสดงได้ดังรูปที่ 3.4 จะเห็นได้ว่าในขั้นที่ 3 การค้นหาค่าในตำแหน่งที่ได้ข้ามมามีขอบเขตการค้นหาคือ 1 ทำให้ผลรวมของขอบเขตการค้นหามีค่าน้อยกว่าวิธีเอสวีเอสแบบเดิม




**รูปที่ 3.4** แสดงการทำงานของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้ามในกรณีที่ดีสุดเทียบกับวิธีเอสวีเอส

หากจะพิจารณาหาฟังก์ชันรอบคำสั่ง ในกรณีที่ดีสุดนั้นสามารถแทนขอบเขตของการค้นหาที่ได้ข้ามมา คือ pred - succ1 ด้วย 1 ในสมการ 3.1 ดังนี้

$$f(n) = k \log k + k(step)\log (n/k) + ((n/step)-k) (8 + \log (n/k) + (step-1) + \mathbf{(step-1)log(1)}) + 6k(step)$$

ทำการลดรูปสมการให้สั้นลงโดยใช้ตัวร่วมดังนี้

$$
\begin{aligned}
f(n) &= k \log k + k(step)\log (n/k) + \mathbf{((n/step)-k)\ (8 + log\ (n/k) + (step-1)} + 0\ ) \\
&\quad + 6k(step) \\
&= k \log k + k(step)\log (n/k) + 8\mathbf{((n/step)-k)} + ((n/step)-k) \log (n/k) \\
&\quad + (step-1)\ \mathbf{((n/step)-k)} + 6k(step) \\
&= k \log k + k(step)\log (n/k) + (7+step)\mathbf{((n/step)-k)} + ((n/step)-k) \log (n/k) \\
&\quad + 6k(step) \\
&= k \log k + k(step)\mathbf{log\ (n/k)} + (7+step)((n/step)-k) + ((n/step)-k)\ \mathbf{log\ (n/k)} \\
&\quad + 6k(step) \\
&= k \log k + (k(step)+(n/step)-k)\mathbf{log\ (n/k)} + (7+step)((n/step)-k) + 6k(step) \\
f(n) &= k \log k + (k(step-1)+(n/step))\log (n/k) + (7+step)((n/step)-k) \\
&\quad + 6k(step)
\end{aligned}
\tag{3.2}
$$

เพื่อความสะดวกในการพิจารณาแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของรอบคำสั่งเมื่อจำนวนข้อมูลเพิ่มขึ้น(ในที่นี้คือ n เพิ่มขึ้น) จึงต้องวิเคราะห์สัญกรณ์โอใหญ่ ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.6.3 โดยการพิจารณาเทอมที่มีค่ามากที่สุด

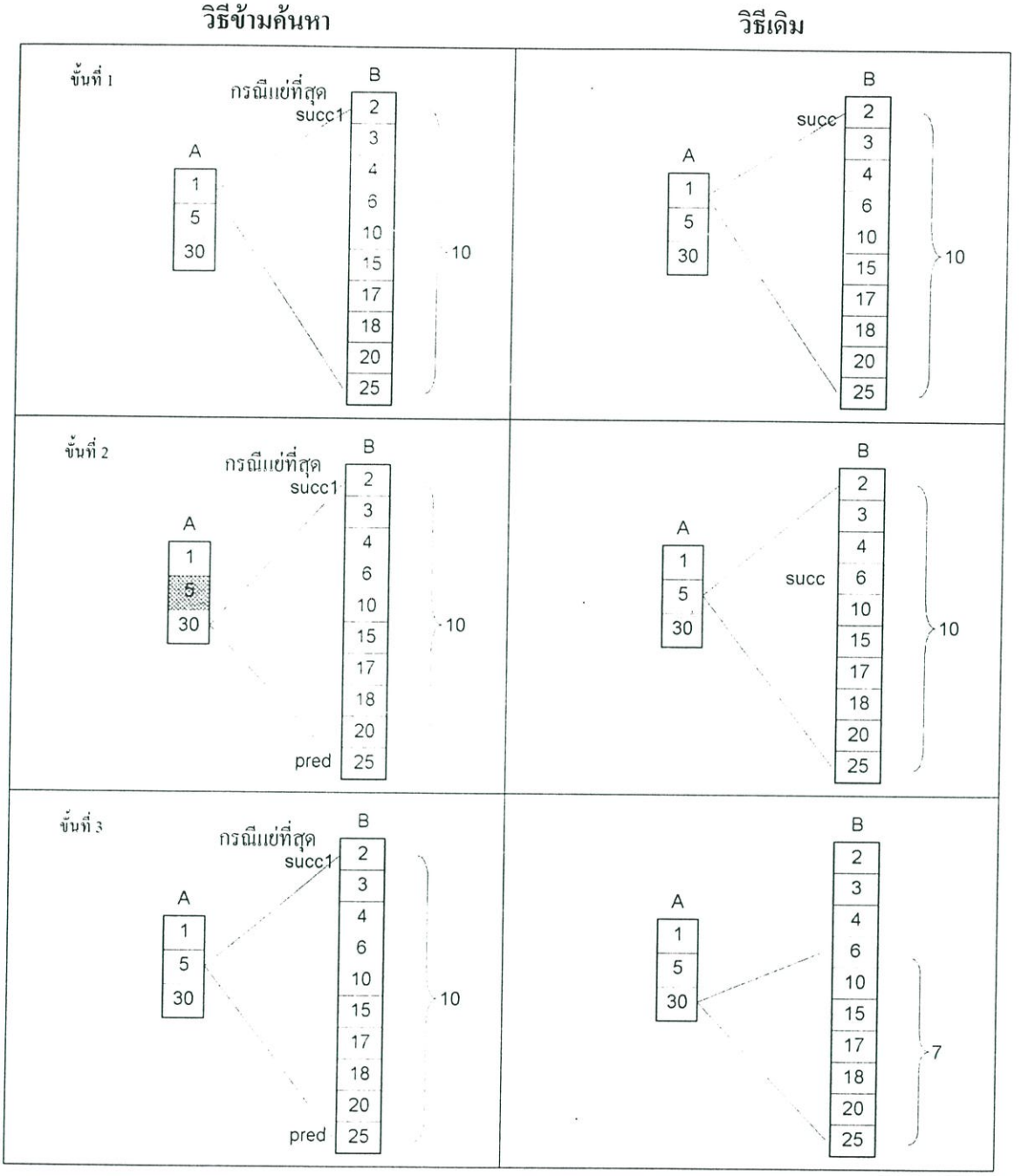
จากสมการที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าเทอมที่มีผลต่อขนาดข้อมูลคือ (k(step-1)+(n/step))log (n/k) และ (7+step)((n/step)-k) เพราะมีค่า n อยู่ในเทอม และพบว่าเทอม (k(step-1)+(n/step))log (n/k) มีการเติบโตมากที่สุด อธิบายด้วยการทดสอบลิมิต เมื่อ n มีค่าเป็นอนันต์

$$\lim_{n\to\infty} \frac{(7+step)(\frac{n}{step}-k)}{(k(step-1)+\frac{n}{step})\log(\frac{n}{k})} = 0$$

แสดงว่าเทอม (k(step-1)+(n/step))log(n/k) เติบโตเร็วกว่า (7+step)((n/step)-k) ดังนั้นในกรณีที่ดีสุดจึงได้ O((k(step-1)+(n/step))log(n/k))

### 3.3.2 กรณีที่แย่สุด

ในกรณีแย่ที่สุดของวิธีใช้การข้ามค้นหานั้น คือ ไม่สามารถลดขอบเขตของสมาชิกตัวที่ข้ามมาได้เลย นั่นคือขอบเขตของการค้นหาของสมาชิกที่ข้ามไปนั้นมีค่าเท่ากับจำนวนข้อมูลในลิสต์ที่ถูกค้นหาจะเกิดขึ้นเมื่อค่าที่ใช้ค้นหาอยู่นอกขอบเขตของลิสต์ที่ถูกค้นหาแสดงได้ดังรูปที่ 3.5




**รูปที่ 3.5** แสดงขั้นตอนวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้ามในกรณีที่แย่สุด กับวิธีเอสวีเอส

ในการวิเคราะห์จำนวนรอบการทำงาน สามารถแทนขอบเขตของการค้นหาที่ได้ข้ามมา คือ **pred - succ1** ด้วย n/k ในสมการ 3.1 จึงได้เป็นดังนี้

$$f(n) = k \log k + k(step)\log (n/k) + ((n/step)-k) (8 + \log (n/k) + (step-1) + (step-1)\log(\mathbf{n/k}))+ 6k(step)$$

ทำการลดรูปสมการให้สั้นลงโดยใช้ตัวร่วมดังนี้

$$
\begin{aligned}
f(n) &= k \log k + k(step)\log (n/k) + ((n/step)-k)\ (8 + \mathbf{log\ (n/k)} + (step-1) \\
&\quad + (step-1)\mathbf{log(n/k)}) + 6k(step) \\
&= k \log k + k(step)\log (n/k) + \mathbf{((n/step)-k)}\ (8 + (step) \log (n/k) \\
&\quad + (step-1)) + 6k(step) \\
&= k \log k + k\mathbf{(step)log\ (n/k)} + 8((n/step)-k) + ((n/step)-k)\ \mathbf{(step)\ log\ (n/k)} \\
&\quad + ((n/step)-k)\ (step-1) + 6k(step) \\
&= k \log k + (n/step)(step)\log (n/k) + 8((n/step)-k) + ((n/step)-k)\ (step-1) \\
&\quad + 6k(step) \\
&= k \log k + n \log (n\ k) + 8\mathbf{((n/step)-k)} + \mathbf{((n/step)-k)}\ (step-1) + 6k(step) \\
f(n) &= k \log k + n \log (n\ k) + (7+step)\mathbf{((n/step)-k)} + 6k(step) \qquad (3.3)
\end{aligned}
$$

จากสมการที่ 3.3 จะเห็นได้ว่าเทอมที่มีผลต่อขนาดข้อมูลคือ n log(n/k) และ (7+step)((n/step)-k) เพราะมีค่า n อยู่ในเทอม และพบว่าเทอม n log (n/k) มีการเติบโตมากที่สุด อธิบายด้วยการทดสอบลิมิต เมื่อ n มีค่าเป็นอนันต์

$$\lim_{n\to\infty} \frac{(7+step)(\frac{n}{step}-k)}{(n)\log(\frac{n}{k})} = 0$$

สรุปได้ว่า n log(n/k) เติบโตเร็วกว่า (7+step)((n/step)-k) ดังนั้นในกรณีที่แย่สุดจึงได้ O(n log (n/k))

### 3.3.3 กรณีเฉลี่ย

ในการวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่ได้ปรับปรุงในกรณีเฉลี่ยนั้น ประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับรูปแบบเซตข้อมูลที่นำมาใช้งาน เนื่องจากงานวิจัยนี้ให้ความสนใจในการนำวิธีอินเตอร์เซกชันไปใช้กับการค้นหาแบบบูลีนในระบบค้นคืนสารสนเทศ ซึ่งเซตข้อมูลมีขนาดใหญ่ จึงใช้วิธีการนำขั้นตอนวิธีมาสร้างเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์แล้วนำไปทดลองกับเซตข้อมูลจริง วัดประสิทธิภาพจากคำสั่งมาตรเวลา ซึ่งจะกล่าวถึงการทดลองใน บทที่ 4 และสรุปผลใน บทที่ 5

# บทที่ 4

# การทดลองและผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ให้ความสนใจกับการนำวิธีอินเตอร์เซกชันไปใช้งานด้านการค้นคืนสารสนเทศ ในการแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของวิธีที่ได้ปรับปรุงนั้นจำเป็นต้องมี การทดลองกับข้อมูลที่เสมือนจริง และมีจำนวนมากเพียงพอเพื่อให้ผลการวิจัยมีความน่าเชื่อถือ ในบทนี้จะอธิบายถึงขั้นตอนการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้เซตข้อมูลที่ได้จากการสุ่ม และแสดงผลการทดลองออกมาในรูปแบบร้อยละและแผนภูมิ เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองของวิธีที่ปรับปรุงกับวิธีเดิม

## 4.1 เครื่องมือที่ใช้ทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1) ส่วนประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์

   ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ทำการทดลองเป็นคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล มีองค์ประกอบดังนี้

   ก) แผงวงจรรวม(Mother Board)

   ข) หน่วยประมวลผล (CPU) ยี่ห้อ AMD Athlon XP 1.2 กิกะเฮิร์ต

   ค) หน่วยความจำหลัก(RAM) 512 เมกะไบต์

   ง) หน่วยความจำสำรอง(Disk Storage) ขนาด 40 กิกะไบต์

2) ส่วนประกอบทางด้านซอร์ฟแวร์

   ก) ระบบปฏิบัติการ Windows XP Service Pack 2 Professional

   ข) ตัวแปรภาษาซี ของบริษัทบอร์แลนด์ เวอร์ชัน 5.5

   ค) โปรแกรมตารางการคำนวณ Microsoft Excel 2003

## 4.2 ลักษณะข้อมูล การเลือกข้อมูล และเหตุผลการเลือก

ในส่วนที่ 2.1.1 และ 2.2.2 ได้อธิบายถึงการนำอินเตอร์เซกชันไปใช้งานด้านการค้นคืนสารสนเทศ จะเห็นได้ว่าเป็นการนำเซตหมายเลขเอกสารมาอินเตอร์เซกชันกันโดยแต่ละเซตจะมีลักษณะเป็นเลขจำนวนเต็มที่มีค่าไม่ซ้ำกัน

สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการทดลองนี้ จำลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำการสุ่มตัวเลขขึ้นมาสองชุด จำนวน m และ n ตามลำดับ เช่นเดียวกับในงาน[2] โดยที่ m มีค่าตั้งแต่ 100 และเพิ่ม

จำนวนทีละ 100 จนถึง 1,000 ส่วน m จะเริ่มตั้งแต่ 1,000 เพิ่มจำนวนทีละ 3,000 จนถึง 22,000 ทำให้เซตข้อมูลมีขนาดแตกต่างกันทั้งหมด 80 แบบ การที่ต้องทำการทดลองกับคู่เซตข้อมูลที่มีขนาดต่างกันนี้ เพื่อที่จะทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของโปรแกรมเมื่อขนาดเซตข้อมูลเปลี่ยนไปในแบบต่างๆ

เนื่องจากการทดลองกับขนาดข้อมูลเดียวกันเพียงครั้งเดียว อาจให้ผลการทดลองที่ไม่ถูกต้องสำหรับการวัดผลในกรณีเฉลี่ย งานวิจัยนี้จึงทำการสุ่มข้อมูลขึ้นมาอินเตอร์เซกชันใหม่ 30 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยเพื่อให้ผลการทดลองนั้นมีความน่าเชื่อในกรณีเฉลี่ย โดยเหตุการณ์ในการสุ่มแต่ละครั้งจะเป็นอิสระต่อกัน ทำให้ข้อมูลแต่ละเซตมีการแจกแจงแบบเอกรูป(Uniform Distribution) อย่างไรก็ตามค่าตัวเลขในเซตข้อมูลเดียวกันจะต้องไม่ซ้ำกัน ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบตัวเลขที่สุ่มขึ้นมา หากมีค่าซ้ำจะต้องทำการสุ่มใหม่จนกว่าจะได้ค่าไม่ซ้ำกัน จำนวนเอกสารผลลัพธ์ในคลังข้อมูลของเสิร์จเอ็นจินในปัจจุบันมีมากกว่าหนึ่งพันล้านเอกสาร ดังนั้นตัวเลขที่ทำการสุ่มขึ้นมานี้จะมีค่าอยู่ในช่วง $1 - 10^9$ จึงทำให้การสุ่มแต่ละครั้งมีความน่าจะเป็น คือ $1/10^9$

## 4.3 วิธีการวัดผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้จะทำการทดลองโดยการนำขั้นตอนวิธีเอสวีเอส และเอสวีเอสโดยใช้การข้ามมาสร้างเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์แล้วนำไปประมวลผลโดยใช้ตัวอย่างเดียวกัน ทำซ้ำในจำนวนคู่ตัวอย่างขนาดเท่ากัน 30 ครั้ง วัดผลรวมของขอบเขตการค้นหา และจำนวนการใช้คำสั่งเปรียบเทียบแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อใช้วิเคราะห์ต่อไป

### 4.3.1 การวัดขอบเขตการค้นหา

เนื่องจากวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม มีจุดประสงค์ คือการลดขอบเขตการค้นหา ในการทดลองจึงทำการวัดผลรวมขอบเขตของการค้นหาของแต่ละคู่ตัวอย่าง เพื่อจะได้ทราบว่าวิธีที่ได้ปรับปรุงนั้นสามารถลดขอบเขตการค้นหาได้หรือไม่ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีเดิม

### 4.3.2 การวัดจำนวนการเรียกใช้คำสั่งเปรียบเทียบ

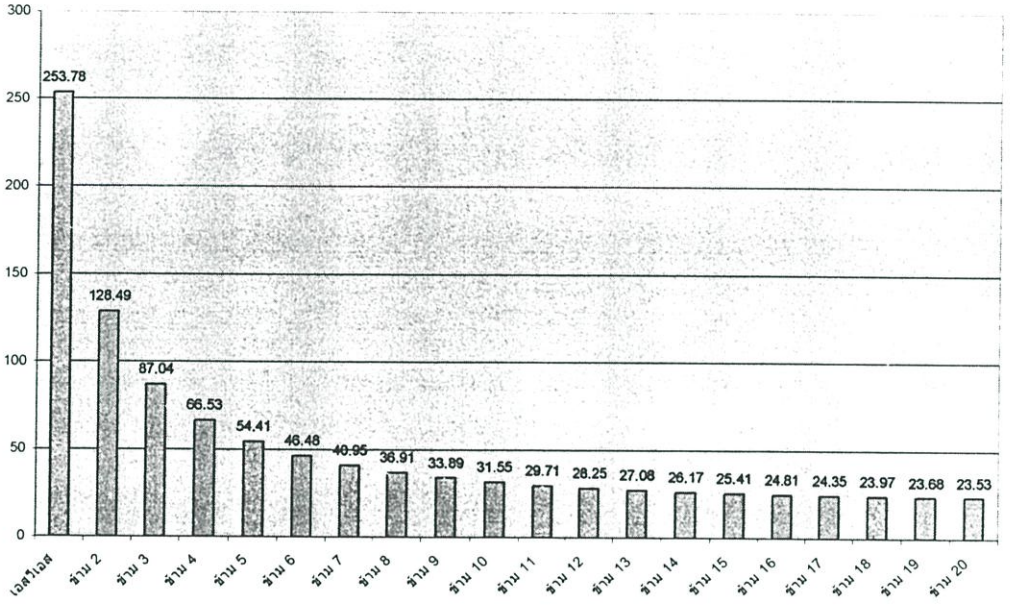
ในส่วนที่ 2.6.1 ได้กล่าวถึงการวัดประสิทธิภาพเชิงเวลาของโปรแกรม โดยวิธีการนับรอบคำสั่งแต่ละบรรทัด หากโปรแกรมนั้นมีหลายบรรทัดคงจะไม่สะดวกในการนับ อีกวิธีหนึ่งในการวัดประสิทธิภาพเชิงเวลาที่สะดวกและรวดเร็วกว่า คือการนับการใช้งานคำสั่งมาตรเวลาของการประมวลผลโปรแกรม ดังที่ได้กล่าวไว้ในส่วนที่ 2.6.2 สำหรับขั้นตอนวิธีเอสวีเอสและเอสวีเอสแบบใช้การข้ามนั้น คำสั่งมาตรเวลา คือคำสั่งเปรียบเทียบที่อยู่ในขั้นตอนการค้นหา ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีใส่คำสั่งสำหรับนับ แทรกลงในบรรทัดก่อนหน้าคำสั่งเปรียบเทียบแล้วนำโปรแกรมไป

ประมวลผล นำผลการนับคำสั่งของวิธีอินเตอร์เซกชันทั้งสองวิธีมาใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดลองต่อไป

## 4.4 ผลการทดลอง

### 4.4.1 ขอบเขตการค้นหา

เมื่อทำการทดลองโดยใช้ตัวอย่างขนาด m และ n ที่แตกต่างกันจำนวน 80 คู่ ทดลองจำนวนคู่ละ 30 ครั้ง ได้ผลรวมของขอบเขตการค้นหาจำแนกตามวิธีที่อินเตอร์เซกชันเป็นดังรูปที่ 4.1




**รูปที่ 4.1** แผนภูมิแสดงผลรวมของขอบเขตการค้นหา(ในหน่วยล้าน) ของวิธีเอสวีเอส และเอสวีเอสแบบใช้การข้ามตั้งแต่ 2 ถึง 20 ตำแหน่ง

จากตารางที่ 4.1 เมื่อใช้การข้ามตำแหน่งเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ผลรวมขอบเขตการค้นหานั้นลดลงมากขึ้นตามมา เห็นได้จากวิธีเอสวีเอสแบบใช้การข้าม 20 ตำแหน่ง จะสามารถลดขอบเขตการค้นหาได้มากที่สุดถึงร้อยละ 90.73 เมื่อเทียบกับวิธีเอสวีเอสแบบเดิม อย่างไรก็ตามขนาดของขอบเขตการค้นหาไม่ได้แปรผันตามประสิทธิภาพเชิงเวลา แต่ต้องวัดจากจำนวนการเรียกใช้คำสั่งเปรียบเทียบซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

**ตารางที่ 4.1** แสดงร้อยละของผลรวมขอบเขตการค้นหาที่สามารถลดลงได้เทียบกับวิธีเอสวีเอส

| ตำแหน่งที่ข้าม | ร้อยละที่ลดได้ |
|---|---|
| 2 | 49.37 |
| 3 | 65.70 |
| 4 | 73.78 |
| 5 | 78.56 |
| 6 | 81.68 |
| 7 | 83.86 |
| 8 | 85.45 |
| 9 | 86.65 |
| 10 | 87.57 |
| 11 | 88.29 |
| 12 | 88.87 |
| 13 | 89.33 |
| 14 | 89.69 |
| 15 | 89.99 |
| 16 | 90.22 |
| 17 | 90.41 |
| 18 | 90.55 |
| 19 | 90.67 |
| 20 | 90.73 |

### 4.4.2 จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบ

วิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้ามนั้น จะทำการกำหนดขอบเขตการค้นหาในลิสต์ที่ทำการค้นหาก่อน แล้วจึงนำค่าที่ต้องการค้นหาเข้าไปค้นหาในลิสต์โดยใช้ขอบเขตที่ได้กำหนดไว้ ในงานวิจัยนี้จะทำการทดลองกับการค้นหาสองแบบ ได้แก่ การค้นหาแบบทวิภาค และแบบประมาณค่าในช่วง วัดประสิทธิภาพจากการเรียกใช้คำสั่งเปรียบเทียบ ซึ่งจำนวนคำสั่งเปรียบเทียบนี้จะบ่งบอกถึงประสิทธิภาพเชิงเวลาตามที่ได้กล่าวมาในหัวข้อ 2.6 และ 3.3

#### 4.4.2.1 เอสวีเอสโดยใช้การค้นหาแบบทวิภาค

ประสิทธิภาพเชิงเวลาของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้ามที่ได้วิเคราะห์ไว้ในหัวข้อ 3.3 คือ O((k(step-1)+(n/step))log(n/k)) โดยที่ k คือจำนวนเซตที่นำมาอินเตอร์เซกชัน จะเห็นได้ว่าขนาดของข้อมูล n และตำแหน่งที่ใช้ข้าม step มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพเชิงเวลา ดังนั้นในการใช้งานจริงจึงต้องพิจารณาขนาดของข้อมูลด้วยว่าจะใช้การข้ามตำแหน่งด้วยจำนวนเท่าใด จึงทำให้การใช้คำสั่งเปรียบเทียบหรือประสิทธิภาพเชิงเวลานั้นออกมาดีที่สุด ผู้วิจัยจึงทำการพิจารณาขนาดเซตข้อมูล m และ n ขนาดต่างๆ ว่าการข้ามเป็นจำนวนตำแหน่งเท่าใดที่มีการเรียกใช้งานคำสั่งเปรียบเทียบน้อยที่สุด ซึ่งผลของการพิจารณาจะเป็นดังตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3

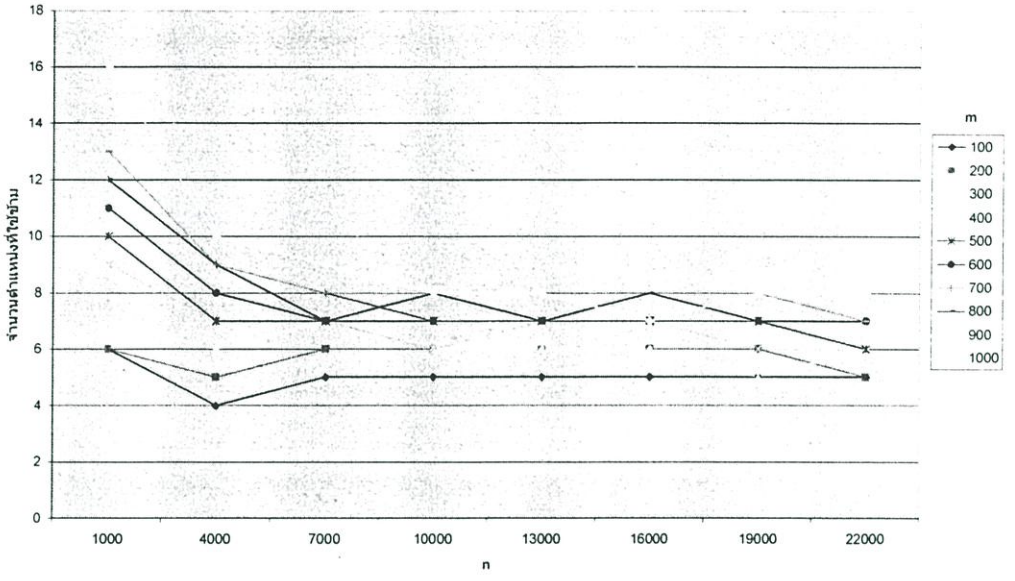
เมื่อนำตารางที่ 4.2 มาสร้างเป็นแผนภูมิเพื่อหาความสัมพันธ์ของขนาดข้อมูลกับจำนวนตำแหน่งที่ใช้ข้ามจะได้ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 ซึ่งอธิบายได้ว่าในการเรียกใช้คำสั่งเปรียบเทียบที่น้อยที่สุด เมื่อขนาดข้อมูล n เพิ่มขึ้นจะใช้ตำแหน่งการข้ามน้อยลง และเมื่อขนาดข้อมูล m มีค่าเพิ่มมากขึ้นจะทำให้กราฟของความสัมพันธ์ระหว่างขนาดข้อมูล n และตำแหน่งที่ใช้ในการข้ามมีลักษณะเป็นเอกโปเนนเชียลทางลบ

**ตารางที่ 4.2** แสดงจำนวนตำแหน่งในการข้ามที่ทำให้จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบน้อยที่สุดเมื่อเซตข้อมูลมีขนาด m และ n ใช้การค้นหาแบบทวิภาค

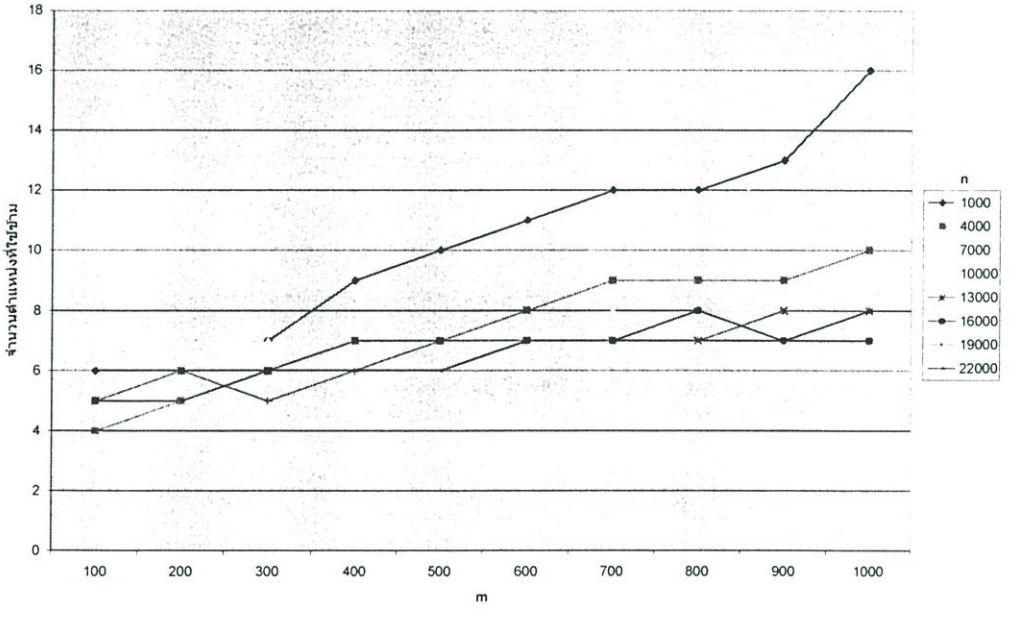
| n\m | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1,000** | 5 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| **4,000** | 5 | 6 | 6 | 7 | 7 | 8 | 8 | 8 | 9 | 9 |
| **7,000** | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| **10,000** | 5 | 5 | 6 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 | 8 |
| **13,000** | 5 | 5 | 7 | 6 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 |
| **16,000** | 5 | 6 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 | 7 |
| **19,000** | 5 | 5 | 6 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 |
| **22,000** | 5 | 5 | 6 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 |

**ตารางที่ 4.3** แสดงคำสั่งเปรียบเทียบน้อยที่สุดเมื่อเซตข้อมูลมีขนาด m และ n โดยเป็นค่าเฉลี่ยของการทดลองจำนวน 30 ครั้ง ใช้การค้นหาแบบทวิภาค

| n\m | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1,000** | 541 | 895 | 1,179 | 1,427 | 1,644 | 1,837 | 2,026 | 2,192 | 2,352 | 2,507 |
| **4,000** | 755 | 1,328 | 1,827 | 2,282 | 2,688 | 3,083 | 3,437 | 3,782 | 4,105 | 4,410 |
| **7,000** | 839 | 1,504 | 2,092 | 2,636 | 3,138 | 3,600 | 4,068 | 4,498 | 4,901 | 5,303 |
| **10,000** | 891 | 1,614 | 2,255 | 2,853 | 3,416 | 3,951 | 4,463 | 4,947 | 5,408 | 5,880 |
| **13,000** | 932 | 1,691 | 2,382 | 3,017 | 3,622 | 4,197 | 4,757 | 5,285 | 5,812 | 6,274 |
| **16,000** | 961 | 1,751 | 2,469 | 3,150 | 3,786 | 4,405 | 4,976 | 5,532 | 6,095 | 6,622 |
| **19,000** | 990 | 1,803 | 2,547 | 3,260 | 3,913 | 4,554 | 5,169 | 5,758 | 6,336 | 6,884 |
| **22,000** | 1,008 | 1,848 | 2,615 | 3,342 | 4,029 | 4,697 | 5,328 | 5,948 | 6,533 | 7,119 |




**รูปที่ 4.2** แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่งที่ใช้ในการข้ามกับขนาดข้อมูล n




**รูปที่ 4.3** แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่งที่ใช้ในการข้าม กับขนาดข้อมูล m

จากแผนภูมิที่ 4.3 อธิบายได้ว่าเมื่อขนาดข้อมูล m เพิ่มขึ้นจะใช้ตำแหน่งการข้ามเพิ่มขึ้นจึงจะทำให้การเรียกใช้คำสั่งเปรียบเทียบมีค่าน้อยที่สุด หลังจากวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งที่ใช้ในการข้ามกับขนาดข้อมูล m และ n โดยใช้แผนภูมิที่ 4.2 และ 4.3 จะได้ความสัมพันธ์คือ

จำนวนตำแหน่งที่ใช้ข้าม แปรผันตรงกับ n **ความสัมพันธ์ที่ 1**

จำนวนตำแหน่งที่ใช้ข้าม แปรผันตรงกับ m log(n) **ความสัมพันธ์ที่ 2**

จำนวนตำแหน่งที่ใช้ข้าม แปรผกผันกับ m **ความสัมพันธ์ที่ 3**

$$step = b_1m+b_2n+b_3m/\log(n)+e \quad (4.1)$$

จากความสัมพันธ์ที่ 1 ถึง 3 สามารถสร้างเป็นสมการที่ 4.1 เพื่อใช้พยากรณ์จำนวนตำแหน่งในการข้ามที่เหมาะสม เมื่อขนาดข้อมูลมีค่าเป็น m และ n ต่อจากนั้นผู้วิจัยจึงนำข้อมูลในตารางที่ 4.4 และสมการที่ 4.1 ไปวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์พหุคูณของกลุ่มประชากรโดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซล ซึ่งศึกษามาจาก [14, 15, 16]

ได้ค่าสถิติต่างๆ ดังตารางที่ 4.4 อธิบายได้ว่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Multiple R) = 0.967 หมายความว่าตัวแปร n และ mในสมการที่ 4.1 มีความสัมพันธ์กันกับตัวแปร step และมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง เนื่องจากค่า R มีค่ามากเข้าใกล้ 1

**ตารางที่ 4.4** ค่าสถิติต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอย ของสมการที่ 4.1 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

| *Regression Statistics* | |
|---|---|
| Multiple R | 0.967 |
| R Square | 0.935 |
| Adjusted R Square | 0.933 |
| Standard Error | 0.500 |
| Observations | 80.000 |

| | *Coefficients* | *Standard Error* | *t Stat* | *P-value* | *Lower 99.9%* | *Upper 99.9%* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Intercept | 3.628792811 | 0.19 | 21.89 | 1.48E-34 | 3.508 | 4.809 |
| M | -0.01899288 | 1.16E-03 | -16.35 | 1.36E-26 | -0.023 | -0.015 |
| N | 6.8076E-05 | 1.28E-05 | 5.34 | 9.38E-07 | 2.44E-05 | 1.12E-04 |
| m/log(n) | 0.089357844 | 4.44E-03 | 20.15 | 3.28E-32 | 0.074 | 0.105 |

สัมประสิทธิ์การกำหนด ($R^2$) = 0.933 หมายความว่า อิทธิพลของตัวแปร m และ n ในสมการที่ 4.1 มีผลต่อตัวแปร step คิดเป็นร้อยละ 93.3 ที่เหลืออีกร้อยละ 6.7 เป็นผลเนื่องมาจากตัวแปรอื่น

ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณ (Standard Error) = 0.5 หมายความว่า การประมาณค่าตัวแปร step โดยใช้สัมประสิทธิ์การถดถอยพหุคูณที่คำนวณได้ในตาราง 4.4 มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเท่ากับ 0.5 ตำแหน่ง แต่ตำแหน่งในการข้ามค้นหาจะต้องเป็นเลขจำนวนเต็ม ดังนั้นความคลาดเคลื่อนจึงมีค่าเป็น 1 ตำแหน่ง ($0.5 \approx 1$)

สมการที่ 4.1 คือสมการถดถอยพหุคูณเชิงเส้นของกลุ่มตัวอย่าง แล้วสมการที่ 4.2 คือ สมการถดถอยพหุคูณเชิงเส้นของกลุ่มประชากร

$$step = \beta_1 m + \beta_2 n + \beta_3 m/\log(n) + \varepsilon \quad (4.2)$$

ทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปร step กับ ตัวแปร m ของสมการที่ 4.2

1. $H_0 : \beta_1 = 0$ $H_1 : \beta_1 \neq 0$
2. สถิติทดสอบ คือ t = -16.35
3. ค่า P-value = 1.36E-26
4. ระดับนัยสำคัญ($\alpha$) = 0.01
5. ค่า P-value < $\alpha$ แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก นั่นคือ $\beta 1 \neq 0$ หมายความว่าตัวแปร step มีความสัมพันธ์กับตัวแปร m ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และมีสัมประสิทธิ์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น คือ -0.01899288

การทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปร step กับ ตัวแปร n ของสมการที่ 4.2

1. $H_0 : \beta_2 = 0$ $H_1 : \beta_2 \neq 0$
2. สถิติทดสอบ คือ t = 5.34
3. ค่า P-value = 9.38E-07
4. ระดับนัยสำคัญ($\alpha$) = 0.01
5. ค่า P-value < $\alpha$ แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก นั่นคือ $\beta_2 \neq 0$ หมายความว่าตัวแปร step มีความสัมพันธ์กับตัวแปร n ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และมีสัมประสิทธิ์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น คือ 6.8076E-05

การทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปร step กับ m/log(n) ของสมการที่ 4.2

1. $H_0 : \beta_3 = 0$ $H_1 : \beta_3 \neq 0$
2. สถิติทดสอบ คือ t = 20.15
3. ค่า P-value = 3.28E-32
4. ระดับนัยสำคัญ($\alpha$) = 0.01
5. ค่า P-value < $\alpha$ แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก นั่นคือ $\beta_3 \neq 0$ หมายความว่าตัวแปร step มีความสัมพันธ์กับ m/log(n) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และมีสัมประสิทธิ์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น คือ 0.089357844

ค่าคงที่ $\varepsilon$ มีค่าเป็น 3.628792811 และสามารถเปลี่ยนแปลงได้ในช่วง 3.508 ถึง 4.809 ดังนั้นจึงได้สมการที่ใช้พยากรณ์ค่าตำแหน่งในการข้ามที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มประชากร เมื่อข้อมูลมีขนาดเป็น m และ n คือ

$$step = -0.01899288(m) + 6.8076E\text{-}05(n) + 0.089357844(m/\log(n)) + 3.628792811 \quad (4.3)$$

เพื่อพิสูจน์ว่าสมการที่ 4.3 สามารถนำไปใช้งานได้จริง จึงทำการทดลองอีกครั้งโดยใช้เซตข้อมูลที่มีการสุ่มตัวอย่างใหม่ แต่มีขนาดเท่าเดิม วัดผลจากจำนวนการใช้คำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสแบบเดิม เอสวีเอสโดยใช้การข้าม 2 ถึง 20 ตำแหน่ง และวิธีเอสวีเอสโดยใช้สมการที่ 4.3 เลือกจำนวนตำแหน่งที่ใช้ข้าม

**ตารางที่ 4.5** แสดงจำนวนตำแหน่งในการข้ามที่ทำให้จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบน้อยที่สุดเมื่อเซตข้อมูลมีขนาด m และ n

| n\m | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1,000 | 6 | 6 | 7 | 9 | 10 | 11 | 12 | 12 | 13 | 16 |
| 4,000 | 4 | 5 | 6 | 7 | 7 | 8 | 9 | 9 | 9 | 10 |
| 7,000 | 5 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 | 7 | 8 | 9 |
| 10,000 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 7 | 8 | 8 | 8 |
| 13,000 | 5 | 6 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 | 8 |
| 16,000 | 5 | 6 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 | 7 | 7 |
| 19,000 | 5 | 6 | 5 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 | 8 |
| 22,000 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 |

**ตารางที่ 4.6** แสดงจำนวนตำแหน่งในการข้ามซึ่งได้จากการคำนวณของสมการที่ 4.3 เมื่อเซตข้อมูลมีขนาด m และ n

| n\m | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1,000 | 5 | 6 | 7 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 4,000 | 5 | 6 | 6 | 7 | 7 | 8 | 8 | 9 | 10 | 10 |
| 7,000 | 5 | 5 | 6 | 6 | 7 | 7 | 8 | 8 | 8 | 9 |
| 10,000 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 7 | 8 | 8 |
| 13,000 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 |
| 16,000 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 19,000 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 22,000 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |

**ตารางที่ 4.7** แสดงจำนวนตำแหน่งที่คลาดเคลื่อนจากการคำนวณของสมการที่ 4.3

| n\m | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1,000** | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | 1 |
| **4,000** | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | -1 | 0 |
| **7,000** | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 |
| **10,000** | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| **13,000** | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| **16,000** | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| **19,000** | -1 | 0 | -1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| **22,000** | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

ผลการทดลองพบว่าการใช้สมการที่ 4.3 คำนวณตำแหน่งการข้าม สามารถคำนวณตำแหน่งในการข้ามที่ทำให้จำนวนการเรียกใช้คำสั่งเปรียบเทียบมีค่าน้อยที่สุดได้ดี โดยมีการคำนวณตำแหน่งผิดพลาดไป 29 คู่ โดยค่าความผิดพลาดจะไม่มากกว่า 1 ตำแหน่ง ดังแสดงในตารางที่ 4.7 ค่าลบ หมายถึงคำนวณเกินตำแหน่งจริง และค่าบวก หมายถึงคำนวณได้ต่ำกว่าตำแหน่งจริง

จากนั้นผู้วิจัยจึงทำการหาค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error) โดยใช้สมการที่ 4.4 และข้อมูลจากตารางที่ 4.5 ถึง 4.7 ได้ค่าประมาณร้อยละ 5 ซึ่งอธิบายได้ว่า ในการใช้งานสมการที่ 4.3 พยากรณ์ตำแหน่งที่ใช้ในการข้าม โดยใช้ตัวอย่าง 100 คู่เซต จะมี 95 คู่เซต ที่การคำนวณถูกต้องแม่นยำโดยตรงกับตำแหน่งการข้ามที่ทำให้มีการใช้คำสั่งเปรียบเทียบน้อยที่สุด ส่วนอีก 5 คู่เซต จะไม่ตรงกับตำแหน่งการข้ามที่ทำให้มีการใช้คำสั่งเปรียบเทียบน้อยที่สุดโดยจะผิดพลาดไม่เกินค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณซึ่งมีค่าเท่ากับ 1

$$MAPE = \frac{\sum |y_0 - y_c| / y_0 \times 100}{N} \tag{4.4}$$

โดยที่ $y_0$ = ตัวเลขประชากรจริง (Observed Value)

$y_C$ = ตัวเลขประชากรที่ได้จากการคาดการณ์โดยแบบจำลอง (Calculated Value)

N = จำนวนข้อมูล

ตารางที่ 4.8 เป็นจำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอส และวิธีเอสวีเอสแบบใช้สมการคำนวณตำแหน่งการข้าม โดยขนาดข้อมูล m มีค่าตั้งแต่ 100 ถึง 1,000 เมื่อหาผลรวมออกมาพบว่าวิธีเอสวีเอสแบบใช้สมการคำนวณการข้าม สามารถลดจำนวนการเรียกใช้คำสั่งเปรียบเทียบได้ร้อยละ 41.46 ของวิธีเอสวีเอสแบบเดิม และยังพบอีกว่าเมื่อขนาดข้อมูล m มีค่ามากขึ้น วิธีเอสวีเอส

โดยใช้การข้ามแบบคำนวณตำแหน่งจะสามารถลดจำนวนการเรียกใช้คำสั่งเปรียบเทียบได้มากขึ้น เมื่อเทียบกับวิธีเอสวีเอสแบบเดิม โดยใช้การค้นหาแบบทวิภาค

**ตารางที่ 4.8** แสดงจำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอส และวิธีเอสวีเอสที่ใช้สมการ 4.3 คำนวณตำแหน่งการข้าม และร้อยละที่ลดลงได้

| m | เอสวีเอส | สมการ | ร้อยละ |
|---|---|---|---|
| **100** | 9,209 | 6,923 | 24.83 |
| **200** | 18,122 | 12,440 | 31.36 |
| **300** | 26,785 | 17,399 | 35.04 |
| **400** | 35,238 | 21,976 | 37.64 |
| **500** | 43,476 | 26,270 | 39.57 |
| **600** | 51,586 | 30,341 | 41.18 |
| **700** | 59,430 | 34,194 | 42.46 |
| **800** | 67,238 | 37,985 | 43.51 |
| **900** | 74,874 | 41,552 | 44.50 |
| **1,000** | 82,261 | 45,020 | 45.27 |
| **รวม** | 468,219 | 274,098 | 41.46 |

#### 4.4.2.1 เอสวีเอสโดยใช้การค้นหาแบบประมาณค่าในช่วง

ในการทดลองต่อไปนี้จะนำวิธีการค้นหาแบบประมาณค่าในช่วงแทนที่การค้นหาแบบทวิภาคและนำไปทดลองกับเซตข้อมูลเช่นเดียวกับวิธีเอสวีเอสที่ใช้การค้นหาแบบทวิภาค

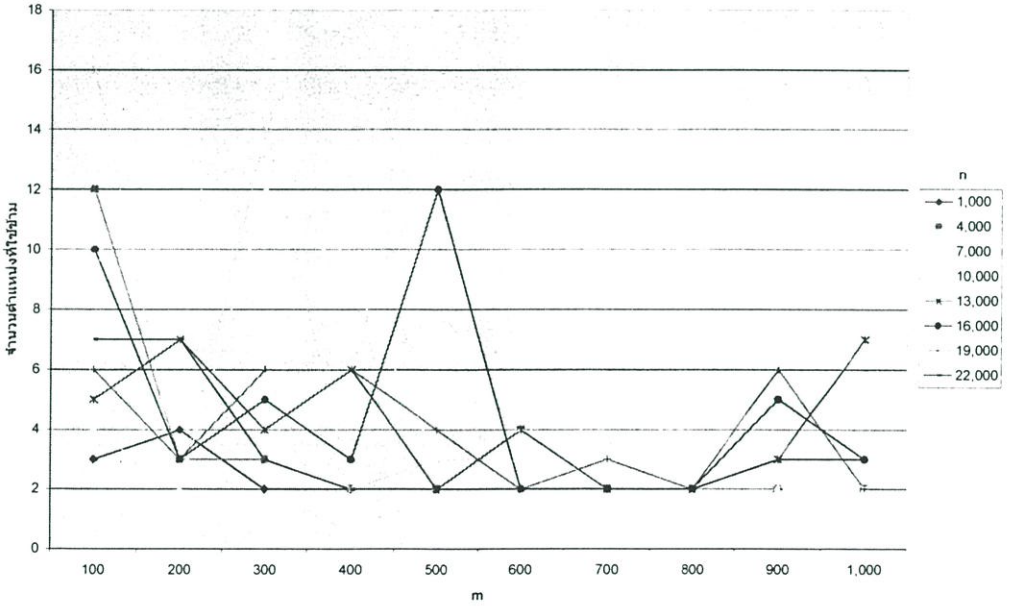
**ตารางที่ 4.9** แสดงจำนวนตำแหน่งในการข้ามที่ทำให้จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบน้อยที่สุด เมื่อเซตข้อมูลมีขนาด m และ n ใช้การค้นหาแบบประมาณค่าในช่วง

| n\m | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1,000** | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| **4,000** | 12 | 3 | 3 | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| **7,000** | 4 | 2 | 12 | 9 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| **10,000** | 16 | 2 | 14 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| **13,000** | 5 | 7 | 4 | 6 | 2 | 4 | 2 | 2 | 3 | 7 |
| **16,000** | 10 | 3 | 5 | 3 | 12 | 2 | 2 | 2 | 5 | 3 |
| **19,000** | 6 | 3 | 6 | 6 | 4 | 2 | 3 | 2 | 6 | 2 |
| **22,000** | 7 | 7 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 |

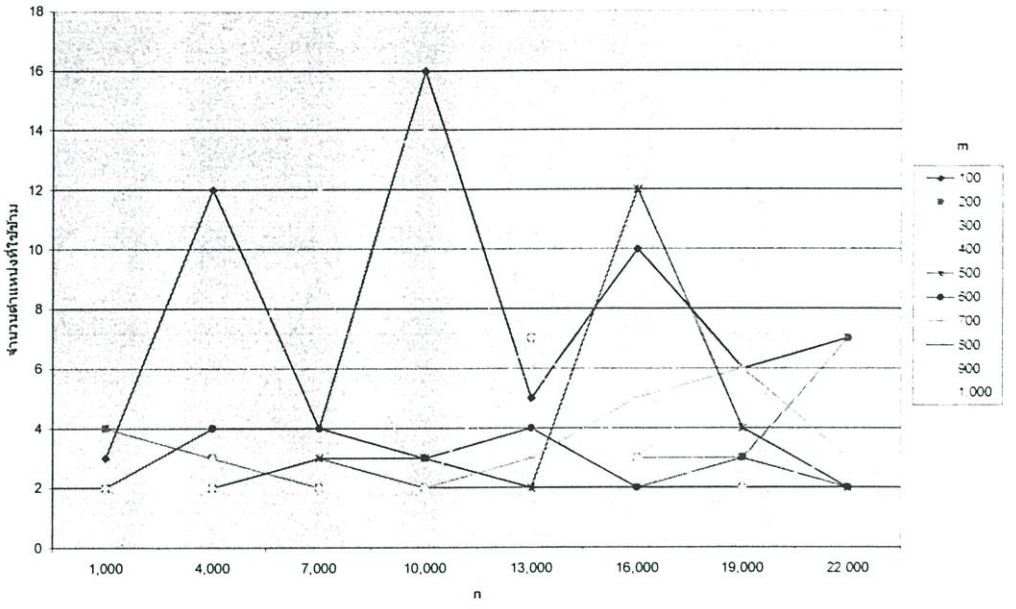
**ตารางที่ 4.10** แสดงคำสั่งเปรียบเทียบน้อยที่สุดเมื่อเซตข้อมูลมีขนาด m และ n เป็นค่าเฉลี่ยของการทดลองซ้ำจำนวน 30 ครั้ง ใช้การค้นหาแบบประมาณค่าในช่วง

| n\m | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1,000** | 459 | 810 | 1,095 | 1,334 | 1,565 | 1,767 | 1,942 | 2,095 | 2,260 | 2,392 |
| **4,000** | 560 | 1,022 | 1,460 | 1,853 | 2,221 | 2,559 | 2,909 | 3,218 | 3,522 | 3,816 |
| **7,000** | 591 | 1,106 | 1,580 | 2,033 | 2,443 | 2,862 | 3,232 | 3,626 | 3,992 | 4,330 |
| **10,000** | 619 | 1,150 | 1,656 | 2,131 | 2,583 | 3,032 | 3,422 | 3,843 | 4,254 | 4,647 |
| **13,000** | 625 | 1,176 | 1,697 | 2,189 | 2,663 | 3,127 | 3,575 | 4,017 | 4,437 | 4,853 |
| **16,000** | 630 | 1,209 | 1,734 | 2,246 | 2,733 | 3,230 | 3,664 | 4,135 | 4,563 | 5,012 |
| **19,000** | 647 | 1,221 | 1,773 | 2,297 | 2,781 | 3,285 | 3,772 | 4,212 | 4,690 | 5,145 |
| **22,000** | 654 | 1,238 | 1,787 | 2,326 | 2,839 | 3,338 | 3,832 | 4,295 | 4,776 | 5,234 |

จากตารางที่ 4.9 สามารถสร้างเป็นกราฟเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งที่ใช้ข้ามได้ดังรูปที่ 4.4 และ รูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าขนาดของข้อมูล m และ n ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตำแหน่งที่ใช้ข้ามหรืออาจมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก จึงยากต่อการสร้างสมการพยากรณ์ตำแหน่งและวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น




**รูปที่ 4.4** แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่งที่ใช้ในการข้าม กับขนาดข้อมูล m




**รูปที่ 4.5** แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่งที่ใช้ในการข้าม กับขนาดข้อมูล n

ผู้วิจัยสังเกตจากตารางที่ 4.9 พบว่าวิธีเอสวีเอสแบบใช้การค้นหาแบบประมาณค่าในช่วง โดยใช้การข้ามเป็นจำนวน 2 ตำแหน่งจะปรากฏมากที่สุดในตารางซึ่งพบทั้งหมด 36 ครั้ง และการข้ามเป็นจำนวน 2 ตำแหน่ง อาจจะใช้จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบที่น้อยกว่าวิธีเดิม ผู้วิจัยจึงทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้สถิติทีซึ่งศึกษามาจาก[14. 15] โดยตั้งสมมติฐานแบบทางเดียว ดังนี้

$H_0: \mu \geq \mu_0$ **สมมติฐาน 4.1**

$H_1: \mu < \mu_0$

โดยที่ $\mu_0$ คือ ค่าเฉลี่ยคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอส และ $\mu$ คือ ค่าเฉลี่ยคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 2 ตำแหน่ง โดยทั้งสองวิธีใช้การค้นหาแบบประมาณค่าในช่วง ผลการทดสอบสมมติฐาน $H_0$ โดยใช้ Microsof Excel 2003 ซึ่งจะใช้สถิติทดสอบทีในการทดสอบ(t-Test:Pared Two Sample for Means) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 (Alpha = 0.05) ได้ผลเป็นดังตารางที่ 4.11 ซึ่งอธิบายได้ว่า ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสกับวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 2 ตำแหน่ง สำหรับเซตข้อมูลขนาด m และ n ซึ่งมีขนาดแตกต่างกัน 80 คู่ พบว่ามีอยู่ 60 คู่ ที่ปฏิเสธสมมติฐาน $H_0$ หมายความว่า ค่าเฉลี่ยจำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธี เอสวีเอสโดยใช้การข้าม 2 ตำแหน่ง มีค่าน้อยกว่าวิธีเอสวีเอส ส่วนที่เหลืออีก 20 คู่ จะยอมรับ $H_0$ และยังสรุปไม่ได้ว่าค่าเฉลี่ยจำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การ

ข้าม 2 ตำแหน่ง มีค่ามากกว่า หรือเท่ากับวิธีเอสวีเอส จึงต้องทำการทดสอบสมมติฐานสองทางโดยตั้งสมมติฐานดังนี้

$H_0: \mu = \mu_0$ **สมมติฐาน 4.2**

$H_1: \mu \neq \mu_0$

โดยที่ $\mu_0$ คือ ค่าเฉลี่ยคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอส และ $\mu$ คือ ค่าเฉลี่ยคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 2 ตำแหน่ง ผลการทดสอบสมมติฐานเป็นดังตารางที่ 4.12 อธิบายได้ว่าในการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสกับวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 2 ตำแหน่ง มีค่าเฉลี่ยของคำสั่งเปรียบเทียบไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

**ตารางที่ 4.11** ผลการทดสอบสมมติฐาน 4.1 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

| n\m | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1,000 | ยอมรับ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ |
| 4,000 | ยอมรับ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ |
| 7,000 | ยอมรับ | ยอมรับ | ยอมรับ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ |
| 1,000 | ยอมรับ | ปฏิเสธ | ยอมรับ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ |
| 13,000 | ยอมรับ | ยอมรับ | ยอมรับ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ |
| 16,000 | ยอมรับ | ยอมรับ | ปฏิเสธ | ยอมรับ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ |
| 19,000 | ยอมรับ | ยอมรับ | ยอมรับ | ยอมรับ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ |
| 22,000 | ยอมรับ | ยอมรับ | ยอมรับ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ | ปฏิเสธ |

**ตารางที่ 4.12** ผลการทดสอบสมมติฐาน 4.2 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

| n\m | 100 | 200 | 300 | 400 |
|---|---|---|---|---|
| 1,000 | ยอมรับ | - | - | - |
| 4,000 | ยอมรับ | - | - | - |
| 7,000 | ยอมรับ | ยอมรับ | ยอมรับ | - |
| 1,000 | ยอมรับ | - | ยอมรับ | - |
| 13,000 | ยอมรับ | ยอมรับ | ยอมรับ | - |
| 16,000 | ยอมรับ | ยอมรับ | - | ยอมรับ |
| 19,000 | ยอมรับ | ยอมรับ | ยอมรับ | ยอมรับ |
| 22,000 | ยอมรับ | ยอมรับ | ยอมรับ | - |

จากผลการทดสอบสมมติฐาน 4.1 และ 4.2 ทำให้สามารถสรุปได้ว่า การใช้การค้นหาแบบประมาณค่าในช่วง กับวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 2 ตำแหน่ง มีค่าเฉลี่ยคำสั่งเปรียบเทียบน้อยกว่าหรือเท่ากับวิธีเอสวีเอสแบบเดิม

**ตารางที่ 4.13** ผลรวมคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอส และเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 2 ตำแหน่ง ที่ใช้การค้นหาแบบประมาณค่าในช่วง และค่าร้อยละที่สามารถลดลงได้

| m | เอสวีเอส | ข้าม 2 ตำแหน่ง | ร้อยละ |
|---|---|---|---|
| **100** | 4,834 | 4,822 | 0.25 |
| **200** | 9,037 | 8,959 | 0.86 |
| **300** | 12,908 | 12,815 | 0.72 |
| **400** | 16,598 | 16,437 | 0.97 |
| **500** | 20,060 | 19,853 | 1.03 |
| **600** | 23,500 | 23,214 | 1.22 |
| **700** | 26,720 | 26,359 | 1.35 |
| **800** | 29,891 | 29,464 | 1.43 |
| **900** | 33,018 | 32,518 | 1.52 |
| **1,000** | 35,973 | 35,448 | 1.46 |
| **รวม** | 212,544 | 209,893 | 1.25 |

ตารางที่ 4.13 ผลรวมคำสั่งเปรียบเทียบของทั้งสองวิธี โดยใช้การค้นหาแบบประมาณค่าในช่วง จะเห็นได้ว่าเมื่อขนาดข้อมูล m มากขึ้น วิธีใช้การข้าม 2 ตำแหน่ง จะสามารถลดการใช้คำสั่งเปรียบเทียบได้มากขึ้นตามมา สำหรับจำนวนคำสั่งเปรียบเทียบในการทดลองทั้งหมด วิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 2 ตำแหน่งจะสามารถลดการใช้คำสั่งเปรียบเทียบได้ร้อยละ 1.25 เทียบกับวิธีเอสวีเอสแบบเดิม

# บทที่ 5
# สรุปผลและแนวทางการพัฒนางานวิจัย

## 5.1 สรุปผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ขั้นตอนวิธีเอสวีเอสเป็นขั้นตอนวิธีอินเตอร์เซกชันวิธีหนึ่ง โดยใช้วิธีการนำเซตข้อมูลที่มีขนาดเล็กที่สุดไปทำการค้นหาสมาชิกร่วมกันในเซตข้อมูลที่มีขนาดใหญ่กว่า และใช้ตำแหน่งตัวตามหลังของการค้นหาก่อนหน้าลดขอบเขตการค้นหาปัจจุบัน ในงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงขั้นตอนวิธีเอสวีเอส โดยใช้การข้าม และใช้ประโยชน์จากตัวนำหน้าและตัวตามหลังของการค้นหาแต่ละครั้งช่วยลดขอบเขตการค้นหาให้เข้าใกล้กับค่าที่ค้นหามากขึ้น ทำให้มีการใช้จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบที่น้อยลง และส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงเวลาดีขึ้นตามมา

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการวัดประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่ได้ปรับปรุงในรูปแบบการทดลอง จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนตำแหน่งการข้ามมากขึ้น จะทำให้ผลรวมขอบเขตการค้นหามีค่าลดลง แต่มิได้เป็นเช่นเดียวกับจำนวนการใช้คำสั่งเปรียบเทียบ เนื่องจากว่าการข้ามด้วยจำนวนตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมจะทำให้การกลับไปค้นหาค่าที่ได้ข้ามมาแต่ละครั้งมีขอบเขตมากขึ้นตามมาด้วย ทำให้ใช้คำสั่งเปรียบเทียบมากในการค้นหา แต่เมื่อทำการหาผลรวมของขอบเขตการค้นหาออกมาแล้วจะมีค่าน้อย ดังนั้นจึงต้องกำหนดจำนวนตำแหน่งที่ใช้ข้ามให้เหมาะสมกับขนาดข้อมูลที่นำมาอินเตอร์เซกชัน

จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง พบว่าการใช้การค้นหาแบบทวิภาคในขั้นตอนวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้ามนั้นควรใช้สมการที่ 4.3 ในการเลือกจำนวนตำแหน่งการข้ามที่เหมาะสมจึงจะทำให้จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบนั้นออกมาดี โดยสามารถลดจำนวนคำสั่งเปรียบเทียบได้ประมาณร้อยละ 41 เทียบกับวิธีเอสวีเอสแบบเดิม ส่วนการใช้การค้นหาแบบประมาณค่าในช่วงกับวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้ามพบว่า การข้ามจำนวน 2 ตำแหน่ง จะใช้จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบน้อยที่สุด โดยสามารถลดจำนวนคำสั่งเปรียบเทียบได้ประมาณร้อยละ 1 เทียบกับวิธีเอสวีเอสแบบเดิม ซึ่งลดได้น้อย เนื่องมาจากการค้นหาแบบประมาณค่าในช่วงนั้นใช้วิธีการคำนวณตำแหน่งที่ได้ใกล้เคียงกับตำแหน่งจริงด้วยคำสั่งเปรียบเทียบที่น้อยถึงแม้จะมีขอบเขตการค้นหามาก ดังนั้นการลดขอบเขตการค้นหาของเอสวีเอสโดยใช้การข้าม จึงลดจำนวนคำสั่งเปรียบเทียบไม่ได้มากเมื่อเทียบกับวิธีเดิม อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้ทำการทดสอบสมมติฐานความแตกต่างของค่าเฉลี่ย พบว่าในการใช้การค้นหาแบบประมาณค่าในช่วงกับวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้ามจำนวนสองตำแหน่ง มีการใช้คำสั่ง

เปรียบเทียบไม่มากไปกว่าวิธีเอสวีเอสแบบเดิม ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นในการใช้งานจริงก็สามารถนำเอาวิธีที่ได้ปรับปรุงนี้ไปใช้งานให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นกว่าแบบเดิมได้

## 5.2 แนวทางการพัฒนางานวิจัย

5.2.1 งานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการวัดประสิทธิภาพเชิงเวลาของวิธีอินเตอร์เซกชันที่พัฒนาขึ้นด้วยการนับจำนวนคำสั่งเปรียบเทียบ แต่หากสามารถวัดประสิทธิภาพออกมาเป็นเวลาที่ใช้ประมวลผลจริง(CPU Time) ก็จะช่วยสนับสนุนข้อสรุปสมมติฐานของงานวิจัยนี้ และเป็นแนวทางในการนำไปใช้งานจริง โดยเฉพาะการนำขั้นตอนวิธีเอสวีเอสแบบข้ามที่ใช้การค้นหาแบบประมาณค่าในช่วงไปใช้กับเซตข้อมูลขนาดใหญ่นั้น จะมีการคำนวณที่ซับซ้อนจากการประมาณค่าตำแหน่งซึ่งใช้เวลาในการประมวลผลจริง(CPU Time) มากกว่าการใช้การค้นหาแบบทวิภาค โดยในการวัดเวลาประมวลผลนั้นจะต้องควบคุมตัวแปรต่างๆ ที่ทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน เช่น โปรเซสที่ทำงานร่วมอยู่ ชนิดระบบปฏิบัติการที่ใช้ทดลอง ภาษาที่ใช้พัฒนาโปรแกรม สถาปัตยกรรมของระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้ทำการทดลองเป็นต้น

5.2.2 ในมุมมองของการใช้พื้นที่หน่วยความจำของระบบยังไม่ได้มีการวิเคราะห์และวัดประสิทธิภาพออกมา จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจในการศึกษาวิจัยต่อ

5.2.3 หากมีวิธีที่สามารถทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละสัมบูรณ์เฉลี่ยของสมการที่ 4.3 ลดลงได้อีก ก็จะเป็นการช่วยให้การคำนวณตำแหน่งการข้ามมีความแม่นยำมากขึ้น และสามารถลดจำนวนคำสั่งเปรียบเทียบได้มากขึ้นตามมา

5.2.4 งานวิจัยนี้ใช้เซตข้อมูลแบบสุ่มจำนวนสองเซตที่จำลองมาจากงานด้านการค้นคืนสารสนเทศ และยังไม่ได้นำไปใช้กับเซตข้อมูลจริง จึงเป็นการดีหากนำเอาขั้นตอนวิธีที่ได้ปรับปรุงไปทดลองวัดประสิทธิภาพกับเซตข้อมูลมาตรฐานแบบอื่น อย่างเช่น เซตข้อมูลจาก Google หรือ TREC GOV2 ซึ่งอาจจะให้ข้อสรุปที่แตกต่างจากการใช้เซตข้อมูลแบบสุ่ม

# เอกสารอ้างอิง


[1] Baeza-Yates, R.A. Ribeiro-Neto, B. **Modern Information Retrieval.** ACM Press Addison-Wesley, England. 1999.

[2] Baeza-Yates, R.A. Salinger, A. "Experimental Analysis of a Fast Intersection Algorithm for Sorted Sequences." **In Proceedings of 12th International Conference on String Processing and Information Retrieval, SPIRE,** 2005. pp.13-24.

[3] Barbay, J. López-Ortiz, A. and Lu, T. "Faster adaptive set intersections for text searching." **In Alvarez, C., Serna, M.J, Experimental Algorithms, 5th International Workshop, WEA. Volume 4007 of LNCS,** Springer, 2006. pp.146-157.

[4] Barbay, J. López-Ortiz, A. and Lu, T. and Salinger, A. "Faster Set Intersection Algorithms for Text Searching." **University of Waterloo Technical Report,** CS-2007-13, 2007.

[5] Demaine, E.D. Jones, T.R. and Mihai Patrascu. "Interpolation search for non-independent data." **In proceedings of the 15th Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms, SODA,** 2004. pp.529-530.

[6] Demaine, E.D. López-Ortiz, A. and Munro, J.I. "Adaptive set inter-sections, unions, and differences." **In Proceedings of the 11th Annual ACM-SIAM Symposium, on Discrete Algorithms, SanFrancisco, Califonia, SODA,** January, 2000. pp.743-752.

[7] Demaine, E.D. López-Ortiz, A. and Munro, J.I. "Experiments on adaptive set intersections for text retrieval systems." **In Proceedings of the 3rd Workshop on Algorithm Engineering and Experiments, Lecture Notes in Computer Science, Washington DC,** January, 2001. pp.5-6.

[8] Fernandez, A.M. Santha, M. "Average case analysis of the merging algorithm of Hwang and Lin." **Algorithmica journal,** vol.22, 1991. pp.483-489.

[9] Knuth, D.E. **The Art of Computer Programming,** vol.3, Addison-Wesley, 1968.

[10] Miles, J. **"Regression with Excel / Multiple Regression with Excel."** [Online]. Available : http://www.jeremymiles.co.uk/regressionbook/extras/appendix2/excel/index.html. 2000.

[11] Silverstein, C. Henzinger, M. Marais, H. and Moricz, M. "Analysis of a Very Large Web search Engine Query Log." **ACM SIGIR (Fall 1999),** vol.33, Issue 1, Fall, 1999. pp.6-12.

[12] Srinakharinwirot University Online Teaching/Learning. **"Implementation and Use of Abstract Data Type."** [Online]. Available : http://sot.swu.ac.th/cp341/pdf/lesson02.pdf. 2002.

[13] Wikipedia, the free encyclopedia. **"Interpolation search"** [Online]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Interpolation_search. August 2007.

[14] กัลยา วานิชย์บัญชา. **การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล.** กรุงเทพฯ: ซีเค แอนด์ เอส โฟโต้สตูดิโอ. 2544.

[15] ฉลอง สีแก้วสิ่ว. **"สถิติประยุกต์."** [Online]. Available : http://www.statistics007.th.gs. 2550.

[16] **วรรณศิลป์ พีรพันธุ์. "การคาดการณ์ประชากร (2)."** [Online]. Available : http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~pwannasi/population2.pdf. 2546.

[17] สมชาย ประสิทธิ์จูตระกูล. **การออกแบบและวิเคราะห์อัลกอริทึม.** ปทุมธานี:งานประชาสัมพันธ์ และมัลติมีเดีย ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ. 2545.

[18] สุทธิพล วรางฤทธิ์. **การออกแบบและพัฒนาระบบเสิร์จเอ็นจินแบบกระจาย.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2545.

# ภาคผนวก ก.

**ผลรวมของขอบเขตการค้นหา** (ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 30 ครั้ง ของการทดลองครั้งแรก)

**ตารางที่ ก.1** ผลรวมของขอบเขตการค้นหาของวิธีเอสวีเอส

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 5.08E+04 | 2.04E+05 | 3.62E+05 | 5.03E+05 | 6.65E+05 | 8.16E+05 | 9.71E+05 | 1.13E+06 |
| 200 | 9.97E+04 | 4.05E+05 | 7.03E+05 | 1.01E+06 | 1.31E+06 | 1.61E+06 | 1.92E+06 | 2.21E+06 |
| 300 | 1.51E+05 | 5.99E+05 | 1.06E+06 | 1.50E+06 | 1.96E+06 | 2.42E+06 | 2.88E+06 | 3.31E+06 |
| 400 | 2.01E+05 | 8.06E+05 | 1.40E+06 | 2.01E+06 | 2.61E+06 | 3.19E+06 | 3.84E+06 | 4.45E+06 |
| 500 | 2.52E+05 | 1.00E+06 | 1.75E+06 | 2.51E+06 | 3.26E+06 | 4.02E+06 | 4.78E+06 | 5.52E+06 |
| 600 | 3.05E+05 | 1.20E+06 | 2.10E+06 | 3.00E+06 | 3.91E+06 | 4.84E+06 | 5.74E+06 | 6.62E+06 |
| 700 | 3.54E+05 | 1.40E+06 | 2.44E+06 | 3.50E+06 | 4.57E+06 | 5.58E+06 | 6.66E+06 | 7.70E+06 |
| 800 | 4.04E+05 | 1.60E+06 | 2.80E+06 | 4.00E+06 | 5.21E+06 | 6.42E+06 | 7.63E+06 | 8.86E+06 |
| 900 | 4.53E+05 | 1.80E+06 | 3.16E+06 | 4.49E+06 | 5.83E+06 | 7.25E+06 | 8.55E+06 | 9.90E+06 |
| 1,000 | 5.03E+05 | 2.02E+06 | 3.51E+06 | 5.03E+06 | 6.50E+06 | 8.00E+06 | 9.47E+06 | 1.10E+07 |

**ตารางที่ ก.2** ผลรวมของขอบเขตการค้นหาของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 2 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 2.71E+04 | 1.09E+05 | 1.93E+05 | 2.69E+05 | 3.55E+05 | 4.35E+05 | 5.18E+05 | 6.01E+05 |
| 200 | 5.16E+04 | 2.09E+05 | 3.64E+05 | 5.20E+05 | 6.76E+05 | 8.32E+05 | 9.91E+05 | 1.14E+06 |
| 300 | 7.74E+04 | 3.06E+05 | 5.40E+05 | 7.70E+05 | 1.00E+06 | 1.24E+06 | 1.47E+06 | 1.69E+06 |
| 400 | 1.02E+05 | 4.10E+05 | 7.10E+05 | 1.02E+06 | 1.33E+06 | 1.62E+06 | 1.95E+06 | 2.27E+06 |
| 500 | 1.28E+05 | 5.08E+05 | 8.88E+05 | 1.27E+06 | 1.65E+06 | 2.04E+06 | 2.42E+06 | 2.80E+06 |
| 600 | 1.54E+05 | 6.07E+05 | 1.06E+06 | 1.52E+06 | 1.98E+06 | 2.45E+06 | 2.90E+06 | 3.35E+06 |
| 700 | 1.79E+05 | 7.09E+05 | 1.23E+06 | 1.77E+06 | 2.31E+06 | 2.82E+06 | 3.36E+06 | 3.89E+06 |
| 800 | 2.04E+05 | 8.08E+05 | 1.41E+06 | 2.02E+06 | 2.63E+06 | 3.24E+06 | 3.85E+06 | 4.47E+06 |
| 900 | 2.28E+05 | 9.06E+05 | 1.59E+06 | 2.26E+06 | 2.94E+06 | 3.65E+06 | 4.31E+06 | 4.99E+06 |
| 1,000 | 2.53E+05 | 1.02E+06 | 1.77E+06 | 2.53E+06 | 3.27E+06 | 4.03E+06 | 4.77E+06 | 5.55E+06 |

**ตารางที่ ก.3** ผลรวมของขอบเขตการค้นหาของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 2 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 1.96E+04 | 7.85E+04 | 1.39E+05 | 1.94E+05 | 2.56E+05 | 3.14E+05 | 3.74E+05 | 4.33E+05 |
| 200 | 3.59E+04 | 1.45E+05 | 2.53E+05 | 3.62E+05 | 4.70E+05 | 5.78E+05 | 6.89E+05 | 7.93E+05 |
| 300 | 5.31E+04 | 2.10E+05 | 3.70E+05 | 5.28E+05 | 6.87E+05 | 8.50E+05 | 1.01E+06 | 1.16E+06 |
| 400 | 6.96E+04 | 2.79E+05 | 4.84E+05 | 6.97E+05 | 9.06E+05 | 1.11E+06 | 1.33E+06 | 1.54E+06 |
| 500 | 8.68E+04 | 3.44E+05 | 6.03E+05 | 8.63E+05 | 1.12E+06 | 1.38E+06 | 1.64E+06 | 1.90E+06 |
| 600 | 1.04E+05 | 4.11E+05 | 7.19E+05 | 1.03E+06 | 1.34E+06 | 1.66E+06 | 1.96E+06 | 2.26E+06 |
| 700 | 1.21E+05 | 4.79E+05 | 8.33E+05 | 1.19E+06 | 1.56E+06 | 1.90E+06 | 2.27E+06 | 2.62E+06 |
| 800 | 1.38E+05 | 5.45E+05 | 9.54E+05 | 1.36E+06 | 1.77E+06 | 2.18E+06 | 2.59E+06 | 3.01E+06 |
| 900 | 1.54E+05 | 6.10E+05 | 1.07E+06 | 1.52E+06 | 1.98E+06 | 2.46E+06 | 2.90E+06 | 3.36E+06 |
| 1,000 | 1.70E+05 | 6.84E+05 | 1.19E+06 | 1.70E+06 | 2.20E+06 | 2.71E+06 | 3.21E+06 | 3.74E+06 |

**ตารางที่ ก.4** ผลรวมของขอบเขตการค้นหาของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 3 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **100** | 1.60E+04 | 6.43E+04 | 1.14E+05 | 1.59E+05 | 2.09E+05 | 2.57E+05 | 3.06E+05 | 3.54E+05 |
| **200** | 2.83E+04 | 1.15E+05 | 1.99E+05 | 2.85E+05 | 3.70E+05 | 4.56E+05 | 5.43E+05 | 6.25E+05 |
| **300** | 4.12E+04 | 1.63E+05 | 2.87E+05 | 4.10E+05 | 5.33E+05 | 6.59E+05 | 7.83E+05 | 9.01E+05 |
| **400** | 5.36E+04 | 2.15E+05 | 3.73E+05 | 5.36E+05 | 6.97E+05 | 8.51E+05 | 1.02E+06 | 1.19E+06 |
| **500** | 6.65E+04 | 2.64E+05 | 4.62E+05 | 6.61E+05 | 8.58E+05 | 1.06E+06 | 1.26E+06 | 1.45E+06 |
| **600** | 7.96E+04 | 3.13E+05 | 5.49E+05 | 7.84E+05 | 1.02E+06 | 1.26E+06 | 1.50E+06 | 1.73E+06 |
| **700** | 9.20E+04 | 3.64E+05 | 6.35E+05 | 9.10E+05 | 1.19E+06 | 1.45E+06 | 1.73E+06 | 2.00E+06 |
| **800** | 1.05E+05 | 4.14E+05 | 7.25E+05 | 1.03E+06 | 1.35E+06 | 1.66E+06 | 1.97E+06 | 2.29E+06 |
| **900** | 1.17E+05 | 4.63E+05 | 8.13E+05 | 1.16E+06 | 1.50E+06 | 1.87E+06 | 2.20E+06 | 2.55E+06 |
| **1,000** | 1.29E+05 | 5.18E+05 | 9.01E+05 | 1.29E+06 | 1.67E+06 | 2.05E+06 | 2.43E+06 | 2.83E+06 |

**ตารางที่ ก.5** ผลรวมของขอบเขตการค้นหาของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 4 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **100** | 1.40E+04 | 5.64E+04 | 9.98E+04 | 1.40E+05 | 1.84E+05 | 2.26E+05 | 2.69E+05 | 3.11E+05 |
| **200** | 2.39E+04 | 9.68E+04 | 1.68E+05 | 2.41E+05 | 3.13E+05 | 3.85E+05 | 4.59E+05 | 5.28E+05 |
| **300** | 3.43E+04 | 1.36E+05 | 2.39E+05 | 3.41E+05 | 4.43E+05 | 5.48E+05 | 6.51E+05 | 7.50E+05 |
| **400** | 4.42E+04 | 1.77E+05 | 3.07E+05 | 4.42E+05 | 5.74E+05 | 7.01E+05 | 8.43E+05 | 9.79E+05 |
| **500** | 5.45E+04 | 2.16E+05 | 3.78E+05 | 5.42E+05 | 7.03E+05 | 8.68E+05 | 1.03E+06 | 1.19E+06 |
| **600** | 6.50E+04 | 2.56E+05 | 4.48E+05 | 6.40E+05 | 8.35E+05 | 1.03E+06 | 1.22E+06 | 1.41E+06 |
| **700** | 7.49E+04 | 2.97E+05 | 5.17E+05 | 7.41E+05 | 9.66E+05 | 1.18E+06 | 1.41E+06 | 1.63E+06 |
| **800** | 8.50E+04 | 3.37E+05 | 5.89E+05 | 8.41E+05 | 1.09E+06 | 1.35E+06 | 1.60E+06 | 1.86E+06 |
| **900** | 9.46E+04 | 3.75E+05 | 6.60E+05 | 9.38E+05 | 1.22E+06 | 1.51E+06 | 1.79E+06 | 2.07E+06 |
| **1,000** | 1.05E+05 | 4.20E+05 | 7.30E+05 | 1.05E+06 | 1.35E+06 | 1.66E+06 | 1.97E+06 | 2.29E+06 |

**ตารางที่ ก.6** ผลรวมของขอบเขตการค้นหาของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 5 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **100** | 1.29E+04 | 5.19E+04 | 9.18E+04 | 1.28E+05 | 1.69E+05 | 2.07E+05 | 2.47E+05 | 2.86E+05 |
| **200** | 2.11E+04 | 8.55E+04 | 1.49E+05 | 2.13E+05 | 2.77E+05 | 3.40E+05 | 4.05E+05 | 4.67E+05 |
| **300** | 2.98E+04 | 1.18E+05 | 2.08E+05 | 2.96E+05 | 3.85E+05 | 4.76E+05 | 5.66E+05 | 6.52E+05 |
| **400** | 3.81E+04 | 1.53E+05 | 2.64E+05 | 3.81E+05 | 4.95E+05 | 6.05E+05 | 7.26E+05 | 8.43E+05 |
| **500** | 4.66E+04 | 1.85E+05 | 3.24E+05 | 4.64E+05 | 6.02E+05 | 7.43E+05 | 8.83E+05 | 1.02E+06 |
| **600** | 5.54E+04 | 2.18E+05 | 3.82E+05 | 5.46E+05 | 7.12E+05 | 8.80E+05 | 1.04E+06 | 1.20E+06 |
| **700** | 6.36E+04 | 2.52E+05 | 4.39E+05 | 6.30E+05 | 8.21E+05 | 1.00E+06 | 1.20E+06 | 1.38E+06 |
| **800** | 7.21E+04 | 2.85E+05 | 4.99E+05 | 7.13E+05 | 9.27E+05 | 1.14E+06 | 1.36E+06 | 1.58E+06 |
| **900** | 8.01E+04 | 3.18E+05 | 5.58E+05 | 7.94E+05 | 1.03E+06 | 1.28E+06 | 1.51E+06 | 1.75E+06 |
| **1,000** | 8.85E+04 | 3.55E+05 | 6.17E+05 | 8.85E+05 | 1.14E+06 | 1.41E+06 | 1.67E+06 | 1.94E+06 |

**ตารางที่ ก.7** ผลรวมของขอบเขตการค้นหาของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 6 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 1.23E+04 | 4.92E+04 | 8.70E+04 | 1.22E+05 | 1.60E+05 | 1.97E+05 | 2.34E+05 | 2.72E+05 |
| 200 | 1.93E+04 | 7.79E+04 | 1.36E+05 | 1.95E+05 | 2.53E+05 | 3.11E+05 | 3.71E+05 | 4.26E+05 |
| 300 | 2.68E+04 | 1.06E+05 | 1.87E+05 | 2.66E+05 | 3.46E+05 | 4.28E+05 | 5.08E+05 | 5.85E+05 |
| 400 | 3.38E+04 | 1.36E+05 | 2.35E+05 | 3.38E+05 | 4.40E+05 | 5.38E+05 | 6.45E+05 | 7.49E+05 |
| 500 | 4.12E+04 | 1.63E+05 | 2.86E+05 | 4.10E+05 | 5.32E+05 | 6.56E+05 | 7.79E+05 | 9.00E+05 |
| 600 | 4.87E+04 | 1.92E+05 | 3.36E+05 | 4.80E+05 | 6.26E+05 | 7.73E+05 | 9.17E+05 | 1.06E+06 |
| 700 | 5.58E+04 | 2.21E+05 | 3.85E+05 | 5.52E+05 | 7.19E+05 | 8.80E+05 | 1.05E+06 | 1.21E+06 |
| 800 | 6.30E+04 | 2.50E+05 | 4.37E+05 | 6.23E+05 | 8.11E+05 | 9.99E+05 | 1.19E+06 | 1.38E+06 |
| 900 | 6.99E+04 | 2.77E+05 | 4.87E+05 | 6.93E+05 | 9.00E+05 | 1.12E+06 | 1.32E+06 | 1.53E+06 |
| 1,000 | 7.70E+04 | 3.09E+05 | 5.37E+05 | 7.70E+05 | 9.95E+05 | 1.22E+06 | 1.45E+06 | 1.69E+06 |

**ตารางที่ ก.8** ผลรวมของขอบเขตการค้นหาของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 8 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 1.18E+04 | 4.76E+04 | 8.44E+04 | 1.18E+05 | 1.55E+05 | 1.90E+05 | 2.27E+05 | 2.62E+05 |
| 200 | 1.81E+04 | 7.31E+04 | 1.27E+05 | 1.82E+05 | 2.37E+05 | 2.91E+05 | 3.46E+05 | 3.99E+05 |
| 300 | 2.45E+04 | 9.74E+04 | 1.71E+05 | 2.44E+05 | 3.18E+05 | 3.92E+05 | 4.67E+05 | 5.37E+05 |
| 400 | 3.08E+04 | 1.23E+05 | 2.14E+05 | 3.08E+05 | 4.00E+05 | 4.89E+05 | 5.87E+05 | 6.82E+05 |
| 500 | 3.72E+04 | 1.48E+05 | 2.58E+05 | 3.70E+05 | 4.81E+05 | 5.93E+05 | 7.04E+05 | 8.14E+05 |
| 600 | 4.38E+04 | 1.73E+05 | 3.02E+05 | 4.32E+05 | 5.63E+05 | 6.96E+05 | 8.25E+05 | 9.51E+05 |
| 700 | 5.00E+04 | 1.98E+05 | 3.45E+05 | 4.95E+05 | 6.45E+05 | 7.88E+05 | 9.40E+05 | 1.09E+06 |
| 800 | 5.63E+04 | 2.23E+05 | 3.90E+05 | 5.57E+05 | 7.24E+05 | 8.93E+05 | 1.06E+06 | 1.23E+06 |
| 900 | 6.23E+04 | 2.47E+05 | 4.35E+05 | 6.18E+05 | 8.03E+05 | 9.97E+05 | 1.18E+06 | 1.36E+06 |
| 1,000 | 6.86E+04 | 2.75E+05 | 4.78E+05 | 6.86E+05 | 8.86E+05 | 1.09E+06 | 1.29E+06 | 1.50E+06 |

**ตารางที่ ก.9** ผลรวมของขอบเขตการค้นหาของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 9 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 1.17E+04 | 4.72E+04 | 8.32E+04 | 1.17E+05 | 1.53E+05 | 1.88E+05 | 2.25E+05 | 2.61E+05 |
| 200 | 1.72E+04 | 6.95E+04 | 1.21E+05 | 1.73E+05 | 2.25E+05 | 2.77E+05 | 3.30E+05 | 3.81E+05 |
| 300 | 2.30E+04 | 9.11E+04 | 1.61E+05 | 2.29E+05 | 2.97E+05 | 3.68E+05 | 4.38E+05 | 5.04E+05 |
| 400 | 2.85E+04 | 1.14E+05 | 1.98E+05 | 2.85E+05 | 3.71E+05 | 4.53E+05 | 5.43E+05 | 6.31E+05 |
| 500 | 3.43E+04 | 1.36E+05 | 2.38E+05 | 3.40E+05 | 4.42E+05 | 5.46E+05 | 6.48E+05 | 7.49E+05 |
| 600 | 4.01E+04 | 1.58E+05 | 2.77E+05 | 3.95E+05 | 5.15E+05 | 6.37E+05 | 7.56E+05 | 8.73E+05 |
| 700 | 4.56E+04 | 1.81E+05 | 3.15E+05 | 4.52E+05 | 5.88E+05 | 7.20E+05 | 8.57E+05 | 9.92E+05 |
| 800 | 5.12E+04 | 2.03E+05 | 3.55E+05 | 5.07E+05 | 6.59E+05 | 8.12E+05 | 9.66E+05 | 1.12E+06 |
| 900 | 5.66E+04 | 2.25E+05 | 3.95E+05 | 5.61E+05 | 7.29E+05 | 9.05E+05 | 1.07E+06 | 1.24E+06 |
| 1,000 | 6.22E+04 | 2.49E+05 | 4.33E+05 | 6.21E+05 | 8.03E+05 | 9.88E+05 | 1.17E+06 | 1.36E+06 |

**ตารางที่ ก.10** ผลรวมของขอบเขตการค้นหาของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 10 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 1.16E+04 | 4.65E+04 | 8.29E+04 | 1.16E+05 | 1.52E+05 | 1.87E+05 | 2.24E+05 | 2.58E+05 |
| 200 | 1.66E+04 | 6.73E+04 | 1.17E+05 | 1.67E+05 | 2.18E+05 | 2.68E+05 | 3.19E+05 | 3.67E+05 |
| 300 | 2.19E+04 | 8.67E+04 | 1.53E+05 | 2.18E+05 | 2.83E+05 | 3.49E+05 | 4.14E+05 | 4.79E+05 |
| 400 | 2.68E+04 | 1.07E+05 | 1.87E+05 | 2.68E+05 | 3.48E+05 | 4.26E+05 | 5.11E+05 | 5.93E+05 |
| 500 | 3.20E+04 | 1.27E+05 | 2.22E+05 | 3.18E+05 | 4.12E+05 | 5.09E+05 | 6.05E+05 | 6.99E+05 |
| 600 | 3.73E+04 | 1.47E+05 | 2.57E+05 | 3.67E+05 | 4.79E+05 | 5.91E+05 | 7.02E+05 | 8.09E+05 |
| 700 | 4.22E+04 | 1.67E+05 | 2.92E+05 | 4.18E+05 | 5.45E+05 | 6.66E+05 | 7.94E+05 | 9.17E+05 |
| 800 | 4.72E+04 | 1.87E+05 | 3.27E+05 | 4.68E+05 | 6.08E+05 | 7.49E+05 | 8.91E+05 | 1.03E+06 |
| 900 | 5.21E+04 | 2.07E+05 | 3.63E+05 | 5.16E+05 | 6.71E+05 | 8.33E+05 | 9.83E+05 | 1.14E+06 |
| 1,000 | 5.71E+04 | 2.29E+05 | 3.98E+05 | 5.71E+05 | 7.37E+05 | 9.08E+05 | 1.08E+06 | 1.25E+06 |

**ตารางที่ ก.11** ผลรวมของขอบเขตการค้นหาของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 11 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 1.17E+04 | 4.69E+04 | 8.33E+04 | 1.17E+05 | 1.53E+05 | 1.88E+05 | 2.23E+05 | 2.60E+05 |
| 200 | 1.63E+04 | 6.55E+04 | 1.14E+05 | 1.63E+05 | 2.12E+05 | 2.61E+05 | 3.10E+05 | 3.59E+05 |
| 300 | 2.10E+04 | 8.34E+04 | 1.46E+05 | 2.09E+05 | 2.71E+05 | 3.35E+05 | 4.00E+05 | 4.61E+05 |
| 400 | 2.55E+04 | 1.02E+05 | 1.78E+05 | 2.55E+05 | 3.31E+05 | 4.05E+05 | 4.86E+05 | 5.64E+05 |
| 500 | 3.01E+04 | 1.20E+05 | 2.10E+05 | 3.00E+05 | 3.90E+05 | 4.81E+05 | 5.71E+05 | 6.62E+05 |
| 600 | 3.50E+04 | 1.38E+05 | 2.42E+05 | 3.45E+05 | 4.50E+05 | 5.56E+05 | 6.59E+05 | 7.61E+05 |
| 700 | 3.95E+04 | 1.57E+05 | 2.73E+05 | 3.91E+05 | 5.10E+05 | 6.23E+05 | 7.43E+05 | 8.59E+05 |
| 800 | 4.41E+04 | 1.75E+05 | 3.06E+05 | 4.36E+05 | 5.67E+05 | 7.00E+05 | 8.31E+05 | 9.65E+05 |
| 900 | 4.85E+04 | 1.92E+05 | 3.38E+05 | 4.81E+05 | 6.25E+05 | 7.75E+05 | 9.15E+05 | 1.06E+06 |
| 1,000 | 5.31E+04 | 2.13E+05 | 3.70E+05 | 5.30E+05 | 6.85E+05 | 8.44E+05 | 9.99E+05 | 1.16E+06 |

**ตารางที่ ก.12** ผลรวมของขอบเขตการค้นหาของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 12 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 1.17E+04 | 4.73E+04 | 8.35E+04 | 1.17E+05 | 1.54E+05 | 1.89E+05 | 2.25E+05 | 2.58E+05 |
| 200 | 1.60E+04 | 6.42E+04 | 1.12E+05 | 1.60E+05 | 2.08E+05 | 2.56E+05 | 3.05E+05 | 3.53E+05 |
| 300 | 2.03E+04 | 8.06E+04 | 1.42E+05 | 2.02E+05 | 2.63E+05 | 3.25E+05 | 3.87E+05 | 4.45E+05 |
| 400 | 2.45E+04 | 9.82E+04 | 1.70E+05 | 2.45E+05 | 3.18E+05 | 3.89E+05 | 4.67E+05 | 5.41E+05 |
| 500 | 2.88E+04 | 1.14E+05 | 2.00E+05 | 2.87E+05 | 3.71E+05 | 4.58E+05 | 5.45E+05 | 6.30E+05 |
| 600 | 3.32E+04 | 1.31E+05 | 2.29E+05 | 3.28E+05 | 4.27E+05 | 5.28E+05 | 6.26E+05 | 7.22E+05 |
| 700 | 3.73E+04 | 1.48E+05 | 2.58E+05 | 3.70E+05 | 4.81E+05 | 5.89E+05 | 7.01E+05 | 8.12E+05 |
| 800 | 4.15E+04 | 1.64E+05 | 2.88E+05 | 4.11E+05 | 5.34E+05 | 6.59E+05 | 7.83E+05 | 9.09E+05 |
| 900 | 4.55E+04 | 1.81E+05 | 3.18E+05 | 4.52E+05 | 5.87E+05 | 7.29E+05 | 8.61E+05 | 9.96E+05 |
| 1,000 | 4.98E+04 | 1.99E+05 | 3.47E+05 | 4.97E+05 | 6.43E+05 | 7.91E+05 | 9.37E+05 | 1.09E+06 |

**ตารางที่ ก.13** ผลรวมของขอบเขตการค้นหาของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 13 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 1.18E+04 | 4.80E+04 | 8.38E+04 | 1.18E+05 | 1.54E+05 | 1.89E+05 | 2.25E+05 | 2.62E+05 |
| 200 | 1.57E+04 | 6.36E+04 | 1.11E+05 | 1.59E+05 | 2.06E+05 | 2.53E+05 | 3.03E+05 | 3.49E+05 |
| 300 | 1.99E+04 | 7.91E+04 | 1.39E+05 | 1.98E+05 | 2.58E+05 | 3.20E+05 | 3.78E+05 | 4.36E+05 |
| 400 | 2.37E+04 | 9.47E+04 | 1.65E+05 | 2.36E+05 | 3.08E+05 | 3.77E+05 | 4.52E+05 | 5.24E+05 |
| 500 | 2.76E+04 | 1.10E+05 | 1.92E+05 | 2.75E+05 | 3.57E+05 | 4.41E+05 | 5.23E+05 | 6.05E+05 |
| 600 | 3.17E+04 | 1.26E+05 | 2.20E+05 | 3.14E+05 | 4.08E+05 | 5.04E+05 | 5.97E+05 | 6.91E+05 |
| 700 | 3.55E+04 | 1.41E+05 | 2.46E+05 | 3.52E+05 | 4.59E+05 | 5.62E+05 | 6.69E+05 | 7.74E+05 |
| 800 | 3.94E+04 | 1.56E+05 | 2.74E+05 | 3.91E+05 | 5.08E+05 | 6.25E+05 | 7.44E+05 | 8.64E+05 |
| 900 | 4.32E+04 | 1.71E+05 | 3.01E+05 | 4.28E+05 | 5.56E+05 | 6.90E+05 | 8.15E+05 | 9.44E+05 |
| 1,000 | 4.71E+04 | 1.88E+05 | 3.28E+05 | 4.70E+05 | 6.08E+05 | 7.48E+05 | 8.86E+05 | 1.03E+06 |

**ตารางที่ ก.14** ผลรวมของขอบเขตการค้นหาของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 5 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 1.22E+04 | 4.90E+04 | 8.60E+04 | 1.21E+05 | 1.59E+05 | 1.95E+05 | 2.31E+05 | 2.70E+05 |
| 200 | 1.58E+04 | 6.33E+04 | 1.11E+05 | 1.59E+05 | 2.06E+05 | 2.55E+05 | 3.02E+05 | 3.47E+05 |
| 300 | 1.96E+04 | 7.76E+04 | 1.36E+05 | 1.95E+05 | 2.53E+05 | 3.12E+05 | 3.71E+05 | 4.28E+05 |
| 400 | 2.31E+04 | 9.25E+04 | 1.61E+05 | 2.31E+05 | 3.00E+05 | 3.67E+05 | 4.39E+05 | 5.11E+05 |
| 500 | 2.68E+04 | 1.06E+05 | 1.87E+05 | 2.67E+05 | 3.46E+05 | 4.27E+05 | 5.07E+05 | 5.87E+05 |
| 600 | 3.05E+04 | 1.21E+05 | 2.12E+05 | 3.02E+05 | 3.94E+05 | 4.86E+05 | 5.77E+05 | 6.66E+05 |
| 700 | 3.41E+04 | 1.35E+05 | 2.36E+05 | 3.38E+05 | 4.41E+05 | 5.40E+05 | 6.42E+05 | 7.43E+05 |
| 800 | 3.78E+04 | 1.50E+05 | 2.62E+05 | 3.74E+05 | 4.86E+05 | 5.99E+05 | 7.12E+05 | 8.26E+05 |
| 900 | 4.11E+04 | 1.64E+05 | 2.87E+05 | 4.09E+05 | 5.31E+05 | 6.59E+05 | 7.78E+05 | 9.01E+05 |
| 1,000 | 4.48E+04 | 1.80E+05 | 3.12E+05 | 4.48E+05 | 5.78E+05 | 7.12E+05 | 8.43E+05 | 9.81E+05 |

**ตารางที่ ก.15** ผลรวมของขอบเขตการค้นหาของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 15 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 1.23E+04 | 4.96E+04 | 8.73E+04 | 1.22E+05 | 1.60E+05 | 1.96E+05 | 2.32E+05 | 2.72E+05 |
| 200 | 1.58E+04 | 6.39E+04 | 1.11E+05 | 1.59E+05 | 2.05E+05 | 2.54E+05 | 3.02E+05 | 3.48E+05 |
| 300 | 1.93E+04 | 7.66E+04 | 1.35E+05 | 1.93E+05 | 2.51E+05 | 3.10E+05 | 3.68E+05 | 4.26E+05 |
| 400 | 2.25E+04 | 9.07E+04 | 1.58E+05 | 2.27E+05 | 2.94E+05 | 3.61E+05 | 4.31E+05 | 5.00E+05 |
| 500 | 2.60E+04 | 1.04E+05 | 1.82E+05 | 2.60E+05 | 3.37E+05 | 4.15E+05 | 4.95E+05 | 5.73E+05 |
| 600 | 2.96E+04 | 1.17E+05 | 2.05E+05 | 2.94E+05 | 3.82E+05 | 4.72E+05 | 5.60E+05 | 6.45E+05 |
| 700 | 3.29E+04 | 1.31E+05 | 2.28E+05 | 3.26E+05 | 4.25E+05 | 5.21E+05 | 6.19E+05 | 7.17E+05 |
| 800 | 3.63E+04 | 1.44E+05 | 2.52E+05 | 3.60E+05 | 4.68E+05 | 5.77E+05 | 6.86E+05 | 7.95E+05 |
| 900 | 3.96E+04 | 1.57E+05 | 2.76E+05 | 3.92E+05 | 5.10E+05 | 6.32E+05 | 7.46E+05 | 8.63E+05 |
| 1,000 | 4.29E+04 | 1.72E+05 | 2.99E+05 | 4.29E+05 | 5.54E+05 | 6.81E+05 | 8.09E+05 | 9.39E+05 |

**ตารางที่ ก.16** ผลรวมของขอบเขตการค้นหาของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 16 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 1.26E+04 | 5.08E+04 | 8.97E+04 | 1.25E+05 | 1.63E+05 | 2.03E+05 | 2.41E+05 | 2.77E+05 |
| 200 | 1.59E+04 | 6.39E+04 | 1.11E+05 | 1.59E+05 | 2.07E+05 | 2.55E+05 | 3.03E+05 | 3.46E+05 |
| 300 | 1.91E+04 | 7.62E+04 | 1.34E+05 | 1.91E+05 | 2.48E+05 | 3.06E+05 | 3.65E+05 | 4.18E+05 |
| 400 | 2.23E+04 | 8.97E+04 | 1.56E+05 | 2.24E+05 | 2.92E+05 | 3.57E+05 | 4.25E+05 | 4.96E+05 |
| 500 | 2.55E+04 | 1.02E+05 | 1.78E+05 | 2.54E+05 | 3.31E+05 | 4.08E+05 | 4.84E+05 | 5.61E+05 |
| 600 | 2.88E+04 | 1.14E+05 | 2.00E+05 | 2.85E+05 | 3.71E+05 | 4.59E+05 | 5.43E+05 | 6.27E+05 |
| 700 | 3.19E+04 | 1.27E+05 | 2.21E+05 | 3.17E+05 | 4.13E+05 | 5.05E+05 | 6.03E+05 | 6.96E+05 |
| 800 | 3.51E+04 | 1.39E+05 | 2.44E+05 | 3.48E+05 | 4.53E+05 | 5.59E+05 | 6.63E+05 | 7.70E+05 |
| 900 | 3.81E+04 | 1.52E+05 | 2.66E+05 | 3.78E+05 | 4.92E+05 | 6.10E+05 | 7.20E+05 | 8.34E+05 |
| 1,000 | 4.13E+04 | 1.65E+05 | 2.88E+05 | 4.12E+05 | 5.33E+05 | 6.57E+05 | 7.79E+05 | 9.06E+05 |

**ตารางที่ ก.17** ผลรวมของขอบเขตการค้นหาของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 17 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 1.29E+04 | 5.24E+04 | 9.05E+04 | 1.30E+05 | 1.70E+05 | 2.07E+05 | 2.46E+05 | 2.85E+05 |
| 200 | 1.59E+04 | 6.40E+04 | 1.13E+05 | 1.60E+05 | 2.09E+05 | 2.56E+05 | 3.07E+05 | 3.53E+05 |
| 300 | 1.90E+04 | 7.59E+04 | 1.33E+05 | 1.91E+05 | 2.46E+05 | 3.06E+05 | 3.63E+05 | 4.18E+05 |
| 400 | 2.20E+04 | 8.82E+04 | 1.54E+05 | 2.20E+05 | 2.87E+05 | 3.52E+05 | 4.19E+05 | 4.86E+05 |
| 500 | 2.50E+04 | 1.00E+05 | 1.75E+05 | 2.50E+05 | 3.25E+05 | 4.01E+05 | 4.75E+05 | 5.51E+05 |
| 600 | 2.83E+04 | 1.12E+05 | 1.95E+05 | 2.80E+05 | 3.64E+05 | 4.50E+05 | 5.32E+05 | 6.16E+05 |
| 700 | 3.12E+04 | 1.24E+05 | 2.16E+05 | 3.10E+05 | 4.03E+05 | 4.94E+05 | 5.87E+05 | 6.80E+05 |
| 800 | 3.42E+04 | 1.35E+05 | 2.37E+05 | 3.39E+05 | 4.41E+05 | 5.43E+05 | 6.45E+05 | 7.48E+05 |
| 900 | 3.70E+04 | 1.47E+05 | 2.58E+05 | 3.67E+05 | 4.77E+05 | 5.92E+05 | 6.99E+05 | 8.10E+05 |
| 1,000 | 4.00E+04 | 1.60E+05 | 2.79E+05 | 4.00E+05 | 5.17E+05 | 6.36E+05 | 7.53E+05 | 8.76E+05 |

**ตารางที่ ก.18** ผลรวมของขอบเขตการค้นหาของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 18 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 1.30E+04 | 5.34E+04 | 9.26E+04 | 1.32E+05 | 1.72E+05 | 2.10E+05 | 2.52E+05 | 2.88E+05 |
| 200 | 1.62E+04 | 6.53E+04 | 1.14E+05 | 1.62E+05 | 2.11E+05 | 2.60E+05 | 3.11E+05 | 3.58E+05 |
| 300 | 1.91E+04 | 7.57E+04 | 1.33E+05 | 1.89E+05 | 2.46E+05 | 3.05E+05 | 3.64E+05 | 4.18E+05 |
| 400 | 2.20E+04 | 8.77E+04 | 1.52E+05 | 2.19E+05 | 2.85E+05 | 3.49E+05 | 4.17E+05 | 4.85E+05 |
| 500 | 2.48E+04 | 9.84E+04 | 1.73E+05 | 2.47E+05 | 3.20E+05 | 3.96E+05 | 4.70E+05 | 5.45E+05 |
| 600 | 2.78E+04 | 1.10E+05 | 1.92E+05 | 2.75E+05 | 3.58E+05 | 4.42E+05 | 5.24E+05 | 6.05E+05 |
| 700 | 3.05E+04 | 1.21E+05 | 2.12E+05 | 3.03E+05 | 3.94E+05 | 4.84E+05 | 5.74E+05 | 6.66E+05 |
| 800 | 3.33E+04 | 1.32E+05 | 2.31E+05 | 3.31E+05 | 4.30E+05 | 5.29E+05 | 6.29E+05 | 7.30E+05 |
| 900 | 3.60E+04 | 1.43E+05 | 2.51E+05 | 3.58E+05 | 4.65E+05 | 5.77E+05 | 6.81E+05 | 7.89E+05 |
| 1,000 | 3.88E+04 | 1.55E+05 | 2.71E+05 | 3.88E+05 | 5.01E+05 | 6.18E+05 | 7.31E+05 | 8.50E+05 |

**ตารางที่ ก.19** ผลรวมของขอบเขตการค้นหาของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 19 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 1.34E+04 | 5.51E+04 | 9.63E+04 | 1.37E+05 | 1.76E+05 | 2.18E+05 | 2.61E+05 | 3.00E+05 |
| 200 | 1.62E+04 | 6.56E+04 | 1.15E+05 | 1.62E+05 | 2.13E+05 | 2.60E+05 | 3.10E+05 | 3.61E+05 |
| 300 | 1.92E+04 | 7.62E+04 | 1.34E+05 | 1.90E+05 | 2.48E+05 | 3.07E+05 | 3.64E+05 | 4.20E+05 |
| 400 | 2.18E+04 | 8.71E+04 | 1.52E+05 | 2.18E+05 | 2.84E+05 | 3.48E+05 | 4.16E+05 | 4.84E+05 |
| 500 | 2.45E+04 | 9.78E+04 | 1.71E+05 | 2.45E+05 | 3.18E+05 | 3.91E+05 | 4.66E+05 | 5.37E+05 |
| 600 | 2.73E+04 | 1.08E+05 | 1.89E+05 | 2.70E+05 | 3.52E+05 | 4.36E+05 | 5.15E+05 | 5.96E+05 |
| 700 | 3.00E+04 | 1.19E+05 | 2.07E+05 | 2.98E+05 | 3.87E+05 | 4.74E+05 | 5.66E+05 | 6.54E+05 |
| 800 | 3.27E+04 | 1.30E+05 | 2.27E+05 | 3.24E+05 | 4.21E+05 | 5.20E+05 | 6.16E+05 | 7.16E+05 |
| 900 | 3.52E+04 | 1.40E+05 | 2.45E+05 | 3.49E+05 | 4.55E+05 | 5.62E+05 | 6.65E+05 | 7.70E+05 |
| 1,000 | 3.78E+04 | 1.52E+05 | 2.64E+05 | 3.78E+05 | 4.89E+05 | 6.02E+05 | 7.13E+05 | 8.30E+05 |

**ตารางที่ ก.20** ผลรวมของขอบเขตการค้นหาของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 20 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 1.40E+04 | 5.62E+04 | 9.92E+04 | 1.42E+05 | 1.82E+05 | 2.27E+05 | 2.68E+05 | 3.14E+05 |
| 200 | 1.67E+04 | 6.75E+04 | 1.18E+05 | 1.67E+05 | 2.19E+05 | 2.68E+05 | 3.18E+05 | 3.66E+05 |
| 300 | 1.93E+04 | 7.74E+04 | 1.35E+05 | 1.93E+05 | 2.52E+05 | 3.10E+05 | 3.66E+05 | 4.24E+05 |
| 400 | 2.18E+04 | 8.75E+04 | 1.52E+05 | 2.17E+05 | 2.84E+05 | 3.48E+05 | 4.17E+05 | 4.84E+05 |
| 500 | 2.44E+04 | 9.74E+04 | 1.70E+05 | 2.43E+05 | 3.17E+05 | 3.90E+05 | 4.62E+05 | 5.34E+05 |
| 600 | 2.71E+04 | 1.07E+05 | 1.88E+05 | 2.68E+05 | 3.49E+05 | 4.32E+05 | 5.11E+05 | 5.90E+05 |
| 700 | 2.96E+04 | 1.17E+05 | 2.05E+05 | 2.94E+05 | 3.82E+05 | 4.68E+05 | 5.59E+05 | 6.45E+05 |
| 800 | 3.21E+04 | 1.27E+05 | 2.23E+05 | 3.18E+05 | 4.14E+05 | 5.10E+05 | 6.07E+05 | 7.04E+05 |
| 900 | 3.45E+04 | 1.37E+05 | 2.41E+05 | 3.43E+05 | 4.46E+05 | 5.52E+05 | 6.52E+05 | 7.57E+05 |
| 1,000 | 3.70E+04 | 1.48E+05 | 2.58E+05 | 3.70E+05 | 4.78E+05 | 5.90E+05 | 6.98E+05 | 8.13E+05 |

# ภาคผนวก ข.

**ข.1 จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบโดยใช้การค้นหาแบบทวิภาค** (ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 30 ครั้ง ของการทดลองครั้งแรก)

**ตารางที่ ข.1.1** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอส

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 795.70 | 1,042.17 | 1,132.60 | 1,179.93 | 1,228.10 | 1,259.17 | 1,287.10 | 1,306.53 |
| 200 | 1,458.03 | 2,030.17 | 2,224.97 | 2,344.00 | 2,424.60 | 2,491.17 | 2,546.17 | 2,588.93 |
| 300 | 2,041.73 | 2,971.20 | 3,293.57 | 3,472.70 | 3,614.50 | 3,708.33 | 3,786.40 | 3,864.33 |
| 400 | 2,556.80 | 3,869.90 | 4,331.80 | 4,584.57 | 4,784.80 | 4,910.33 | 5,042.50 | 5,137.83 |
| 500 | 3,005.97 | 4,734.67 | 5,343.67 | 5,670.00 | 5,929.63 | 6,110.67 | 6,257.10 | 6,392.40 |
| 600 | 3,415.07 | 5,603.27 | 6,309.17 | 6,751.00 | 7,051.83 | 7,299.17 | 7,473.80 | 7,632.37 |
| 700 | 3,813.23 | 6,395.93 | 7,279.93 | 7,821.17 | 8,195.10 | 8,438.33 | 8,678.63 | 8,854.50 |
| 800 | 4,140.57 | 7,187.20 | 8,249.57 | 8,867.90 | 9,289.10 | 9,586.27 | 9,866.23 | 10,084.90 |
| 900 | 4,459.50 | 7,886.23 | 9,154.20 | 9,850.33 | 10,402.30 | 10,766.43 | 11,044.23 | 11,295.23 |
| 1,000 | 4,759.00 | 8,628.27 | 10,051.40 | 10,911.87 | 11,396.13 | 11,868.60 | 12,181.63 | 12,488.10 |

**ตารางที่ ข.1.2** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 2 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 620.23 | 829.53 | 911.20 | 960.03 | 1,002.03 | 1,033.17 | 1,062.40 | 1,080.77 |
| 200 | 1,113.43 | 1,538.87 | 1,708.50 | 1,816.00 | 1,893.13 | 1,951.70 | 2,004.47 | 2,047.93 |
| 300 | 1,558.53 | 2,201.53 | 2,467.30 | 2,620.40 | 2,745.13 | 2,833.63 | 2,907.53 | 2,976.20 |
| 400 | 1,970.53 | 2,842.73 | 3,190.77 | 3,405.97 | 3,565.73 | 3,681.13 | 3,794.67 | 3,883.27 |
| 500 | 2,350.23 | 3,466.77 | 3,896.33 | 4,162.40 | 4,367.03 | 4,521.63 | 4,647.50 | 4,765.03 |
| 600 | 2,690.60 | 4,068.77 | 4,582.67 | 4,911.83 | 5,143.87 | 5,348.03 | 5,493.50 | 5,630.97 |
| 700 | 3,028.40 | 4,653.43 | 5,260.33 | 5,647.67 | 5,924.73 | 6,135.57 | 6,323.83 | 6,473.03 |
| 800 | 3,319.73 | 5,221.90 | 5,924.73 | 6,362.73 | 6,678.90 | 6,927.47 | 7,143.27 | 7,328.97 |
| 900 | 3,601.90 | 5,752.80 | 6,567.83 | 7,056.90 | 7,441.20 | 7,724.23 | 7,951.60 | 8,153.73 |
| 1,000 | 3,875.00 | 6,300.93 | 7,212.10 | 7,773.13 | 8,149.40 | 8,483.03 | 8,730.40 | 8,964.57 |

**ตารางที่ ข.1.3** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 3 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 565.27 | 776.40 | 858.97 | 907.20 | 950.03 | 979.70 | 1,008.07 | 1,028.87 |
| 200 | 981.37 | 1,399.57 | 1,567.37 | 1,675.80 | 1,752.37 | 1,813.03 | 1,864.23 | 1,908.27 |
| 300 | 1,356.77 | 1,964.13 | 2,225.37 | 2,381.43 | 2,506.00 | 2,596.03 | 2,666.33 | 2,736.03 |
| 400 | 1,707.93 | 2,504.33 | 2,843.87 | 3,054.87 | 3,218.47 | 3,336.70 | 3,450.90 | 3,534.03 |
| 500 | 2,029.83 | 3,010.07 | 3,437.57 | 3,704.17 | 3,903.53 | 4,059.53 | 4,189.03 | 4,305.90 |
| 600 | 2,339.77 | 3,518.97 | 4,005.37 | 4,325.87 | 4,568.93 | 4,763.60 | 4,915.80 | 5,049.97 |
| 700 | 2,639.83 | 3,987.93 | 4,568.03 | 4,940.13 | 5,225.43 | 5,429.77 | 5,619.87 | 5,774.33 |
| 800 | 2,902.13 | 4,459.03 | 5,112.83 | 5,535.90 | 5,853.37 | 6,095.93 | 6,311.80 | 6,493.93 |
| 900 | 3,171.37 | 4,900.07 | 5,635.57 | 6,108.77 | 6,483.80 | 6,765.63 | 6,995.50 | 7,194.80 |
| 1,000 | 3,421.30 | 5,348.30 | 6,159.07 | 6,704.83 | 7,066.40 | 7,390.13 | 7,648.30 | 7,873.53 |

**ตารางที่ ข.1.4** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 4 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 549.27 | 760.57 | 841.57 | 893.07 | 936.13 | 963.93 | 991.93 | 1,011.33 |
| 200 | 927.93 | 1,349.17 | 1,520.47 | 1,628.40 | 1,706.63 | 1,770.33 | 1,818.17 | 1,866.03 |
| 300 | 1,263.33 | 1,874.37 | 2,135.47 | 2,294.63 | 2,416.90 | 2,507.00 | 2,580.47 | 2,650.17 |
| 400 | 1,570.13 | 2,368.10 | 2,713.90 | 2,926.47 | 3,086.77 | 3,207.10 | 3,320.23 | 3,409.17 |
| 500 | 1,858.50 | 2,824.90 | 3,258.10 | 3,522.10 | 3,724.33 | 3,888.57 | 4,011.33 | 4,133.77 |
| 600 | 2,134.93 | 3,272.07 | 3,771.70 | 4,106.57 | 4,332.00 | 4,543.73 | 4,688.93 | 4,823.60 |
| 700 | 2,404.10 | 3,691.53 | 4,280.47 | 4,660.50 | 4,941.40 | 5,151.13 | 5,347.93 | 5,500.17 |
| 800 | 2,651.53 | 4,101.63 | 4,765.20 | 5,199.23 | 5,519.00 | 5,769.10 | 5,981.60 | 6,171.57 |
| 900 | 2,902.20 | 4,491.53 | 5,238.63 | 5,716.67 | 6,097.27 | 6,378.63 | 6,608.77 | 6,812.10 |
| 1,000 | 3,128.30 | 4,883.87 | 5,694.27 | 6,250.90 | 6,623.70 | 6,954.77 | 7,199.77 | 7,431.70 |

**ตารางที่ ข.1.5** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 5 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 540.83 | 754.90 | 838.80 | 891.20 | 931.90 | 960.93 | 990.47 | 1,008.03 |
| 200 | 904.17 | 1,332.57 | 1,505.43 | 1,614.40 | 1,690.80 | 1,752.83 | 1,802.73 | 1,847.67 |
| 300 | 1,216.03 | 1,839.30 | 2,103.80 | 2,266.37 | 2,389.70 | 2,474.53 | 2,549.97 | 2,622.00 |
| 400 | 1,496.63 | 2,304.03 | 2,659.37 | 2,875.77 | 3,036.23 | 3,155.97 | 3,273.43 | 3,356.30 |
| 500 | 1,760.57 | 2,738.13 | 3,178.73 | 3,444.97 | 3,654.73 | 3,811.47 | 3,938.07 | 4,058.17 |
| 600 | 2,016.00 | 3,164.67 | 3,664.03 | 4,002.83 | 4,243.93 | 4,444.90 | 4,600.10 | 4,732.80 |
| 700 | 2,259.37 | 3,554.40 | 4,148.60 | 4,531.43 | 4,821.80 | 5,035.20 | 5,227.37 | 5,385.37 |
| 800 | 2,487.37 | 3,928.83 | 4,604.70 | 5,041.33 | 5,372.63 | 5,620.87 | 5,836.10 | 6,025.70 |
| 900 | 2,710.70 | 4,285.03 | 5,045.10 | 5,526.87 | 5,917.23 | 6,211.00 | 6,436.20 | 6,651.00 |
| 1,000 | 2,935.43 | 4,641.13 | 5,476.20 | 6,038.87 | 6,405.83 | 6,747.27 | 7,015.53 | 7,240.07 |

**ตารางที่ ข.1.6** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 6 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 542.50 | 759.57 | 843.63 | 893.30 | 935.07 | 963.17 | 993.43 | 1,012.67 |
| 200 | 895.07 | 1,327.60 | 1,503.70 | 1,615.43 | 1,691.63 | 1,751.03 | 1,802.90 | 1,849.37 |
| 300 | 1,190.77 | 1,827.23 | 2,091.93 | 2,254.70 | 2,383.50 | 2,469.27 | 2,547.03 | 2,615.03 |
| 400 | 1,457.43 | 2,285.40 | 2,635.60 | 2,852.67 | 3,017.17 | 3,150.33 | 3,259.50 | 3,341.70 |
| 500 | 1,702.67 | 2,700.27 | 3,149.10 | 3,422.10 | 3,621.83 | 3,787.77 | 3,917.87 | 4,042.10 |
| 600 | 1,936.10 | 3,110.87 | 3,619.43 | 3,962.67 | 4,206.63 | 4,406.57 | 4,566.17 | 4,701.17 |
| 700 | 2,165.07 | 3,479.03 | 4,092.90 | 4,478.20 | 4,770.13 | 4,989.90 | 5,171.50 | 5,334.97 |
| 800 | 2,381.50 | 3,846.67 | 4,530.97 | 4,974.27 | 5,307.97 | 5,553.27 | 5,776.03 | 5,957.90 |
| 900 | 2,590.73 | 4,173.53 | 4,945.37 | 5,449.87 | 5,840.90 | 6,133.63 | 6,368.83 | 6,582.47 |
| 1,000 | 2,793.60 | 4,515.90 | 5,360.80 | 5,940.97 | 6,316.40 | 6,656.60 | 6,917.90 | 7,145.27 |

**ตารางที่ ข.1.7** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 7 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 547.13 | 762.57 | 847.80 | 900.83 | 940.87 | 971.00 | 999.80 | 1,018.00 |
| 200 | 894.77 | 1,328.57 | 1,510.57 | 1,620.13 | 1,698.27 | 1,759.03 | 1,812.40 | 1,854.97 |
| 300 | 1,182.43 | 1,830.50 | 2,099.73 | 2,258.60 | 2,382.17 | 2,474.23 | 2,548.60 | 2,624.87 |
| 400 | 1,435.33 | 2,282.03 | 2,640.60 | 2,860.00 | 3,030.80 | 3,150.27 | 3,260.87 | 3,350.20 |
| 500 | 1,669.00 | 2,687.83 | 3,138.40 | 3,415.60 | 3,628.40 | 3,785.80 | 3,913.20 | 4,029.43 |
| 600 | 1,889.47 | 3,094.27 | 3,600.33 | 3,951.27 | 4,196.83 | 4,404.53 | 4,554.00 | 4,696.50 |
| 700 | 2,107.63 | 3,448.80 | 4,068.60 | 4,463.47 | 4,756.90 | 4,975.93 | 5,168.87 | 5,327.70 |
| 800 | 2,310.97 | 3,803.60 | 4,507.27 | 4,946.60 | 5,284.50 | 5,532.03 | 5,758.30 | 5,947.87 |
| 900 | 2,504.03 | 4,124.63 | 4,907.37 | 5,411.03 | 5,811.67 | 6,101.90 | 6,335.63 | 6,533.43 |
| 1,000 | 2,703.73 | 4,450.77 | 5,318.13 | 5,891.97 | 6,278.53 | 6,621.57 | 6,891.53 | 7,119.83 |

**ตารางที่ ข.1.8** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 8 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 550.97 | 769.90 | 854.53 | 904.47 | 943.77 | 977.10 | 1,009.47 | 1,025.87 |
| 200 | 897.73 | 1,344.27 | 1,522.37 | 1,632.37 | 1,709.10 | 1,776.07 | 1,818.93 | 1,864.97 |
| 300 | 1,179.10 | 1,836.80 | 2,105.77 | 2,268.67 | 2,394.97 | 2,481.43 | 2,564.73 | 2,629.50 |
| 400 | 1,427.87 | 2,289.07 | 2,651.37 | 2,871.30 | 3,036.27 | 3,165.67 | 3,274.40 | 3,366.00 |
| 500 | 1,654.57 | 2,694.10 | 3,144.43 | 3,422.93 | 3,638.03 | 3,799.83 | 3,924.57 | 4,050.90 |
| 600 | 1,864.93 | 3,083.13 | 3,610.50 | 3,968.23 | 4,199.50 | 4,417.80 | 4,566.17 | 4,703.17 |
| 700 | 2,071.60 | 3,437.20 | 4,068.47 | 4,470.50 | 4,770.10 | 4,979.57 | 5,184.97 | 5,336.20 |
| 800 | 2,261.07 | 3,782.47 | 4,498.23 | 4,960.63 | 5,284.50 | 5,551.27 | 5,762.27 | 5,957.93 |
| 900 | 2,448.33 | 4,105.23 | 4,900.60 | 5,408.07 | 5,811.80 | 6,095.27 | 6,343.27 | 6,547.93 |
| 1,000 | 2,639.77 | 4,418.47 | 5,303.20 | 5,880.07 | 6,274.07 | 6,623.00 | 6,883.53 | 7,119.33 |

**ตารางที่ ข.1.9** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 9 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 557.53 | 779.83 | 863.70 | 914.50 | 954.60 | 987.40 | 1,017.73 | 1,037.70 |
| 200 | 904.17 | 1,349.67 | 1,531.33 | 1,638.17 | 1,714.70 | 1,781.70 | 1,832.63 | 1,879.07 |
| 300 | 1,184.97 | 1,847.83 | 2,125.87 | 2,283.10 | 2,403.83 | 2,500.43 | 2,579.30 | 2,648.67 |
| 400 | 1,426.60 | 2,295.23 | 2,660.60 | 2,884.50 | 3,049.97 | 3,177.83 | 3,292.67 | 3,375.10 |
| 500 | 1,646.80 | 2,701.47 | 3,162.40 | 3,434.10 | 3,652.67 | 3,813.90 | 3,949.10 | 4,065.10 |
| 600 | 1,848.40 | 3,098.97 | 3,624.50 | 3,969.30 | 4,221.57 | 4,428.33 | 4,591.27 | 4,730.37 |
| 700 | 2,043.97 | 3,447.50 | 4,083.63 | 4,484.63 | 4,783.37 | 4,999.73 | 5,190.57 | 5,359.47 |
| 800 | 2,230.83 | 3,786.30 | 4,507.03 | 4,967.53 | 5,304.27 | 5,556.47 | 5,793.90 | 5,982.90 |
| 900 | 2,411.40 | 4,104.90 | 4,913.03 | 5,431.07 | 5,828.70 | 6,126.00 | 6,364.63 | 6,580.90 |
| 1,000 | 2,589.80 | 4,410.00 | 5,305.13 | 5,895.67 | 6,284.73 | 6,639.77 | 6,901.80 | 7,147.27 |

**ตารางที่ ข.1.10** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 10 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13.000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 561.27 | 779.67 | 870.73 | 924.13 | 962.40 | 994.13 | 1,026.63 | 1,040.47 |
| 200 | 910.03 | 1,367.97 | 1,542.00 | 1,652.10 | 1,733.10 | 1,795.80 | 1,846.23 | 1,889.10 |
| 300 | 1,190.33 | 1,865.23 | 2,141.93 | 2,304.00 | 2,430.53 | 2,517.73 | 2,592.43 | 2,668.30 |
| 400 | 1,427.33 | 2,313.33 | 2,685.23 | 2,902.70 | 3,069.50 | 3,192.00 | 3,310.00 | 3,396.10 |
| 500 | 1,643.53 | 2,717.73 | 3,187.73 | 3,462.03 | 3,672.63 | 3,837.37 | 3,975.73 | 4,088.30 |
| 600 | 1,842.97 | 3,110.97 | 3,645.73 | 4,002.10 | 4,246.90 | 4,449.90 | 4,610.63 | 4,748.43 |
| 700 | 2,033.40 | 3,465.80 | 4,108.43 | 4,512.30 | 4,813.73 | 5,031.80 | 5,229.10 | 5,384.80 |
| 800 | 2,213.13 | 3,802.43 | 4,528.50 | 4,993.87 | 5,336.60 | 5,583.47 | 5,814.90 | 6,007.97 |
| 900 | 2,383.77 | 4,107.20 | 4,927.07 | 5,442.17 | 5,860.90 | 6,160.87 | 6,390.53 | 6,615.00 |
| 1,000 | 2,557.97 | 4,411.20 | 5,323.37 | 5,914.27 | 6,306.77 | 6,669.63 | 6,945.10 | 7,180.03 |

**ตารางที่ ข.1.11** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 11 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 570.93 | 791.67 | 878.23 | 926.47 | 971.20 | 1,002.17 | 1,029.17 | 1,047.93 |
| 200 | 922.77 | 1,377.60 | 1,554.17 | 1,660.97 | 1,743.53 | 1,807.77 | 1,854.33 | 1,907.93 |
| 300 | 1,196.03 | 1,882.37 | 2,151.83 | 2,316.30 | 2,439.13 | 2,533.07 | 2,614.17 | 2,688.80 |
| 400 | 1,430.70 | 2,330.93 | 2,701.23 | 2,917.10 | 3,081.87 | 3,221.00 | 3,326.67 | 3,421.27 |
| 500 | 1,643.87 | 2,733.43 | 3,198.33 | 3,482.07 | 3,696.90 | 3,861.80 | 3,992.30 | 4,123.97 |
| 600 | 1,837.33 | 3,121.30 | 3,677.00 | 4,026.60 | 4,268.43 | 4,484.57 | 4,641.17 | 4,778.27 |
| 700 | 2,026.80 | 3,481.67 | 4,121.13 | 4,537.57 | 4,839.80 | 5,046.80 | 5,260.37 | 5,416.87 |
| 800 | 2,200.50 | 3,818.13 | 4,549.07 | 5,021.27 | 5,357.37 | 5,621.57 | 5,845.57 | 6,033.60 |
| 900 | 2,370.13 | 4,114.80 | 4,945.33 | 5,474.70 | 5,891.37 | 6,191.97 | 6,423.53 | 6,645.27 |
| 1,000 | 2,538.90 | 4,427.77 | 5,348.80 | 5,945.30 | 6,356.37 | 6,707.23 | 6,965.90 | 7,214.50 |

**ตารางที่ ข.1.12** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 12 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 573.03 | 799.00 | 881.13 | 931.37 | 975.90 | 1,006.53 | 1,034.97 | 1,050.47 |
| 200 | 923.93 | 1,383.20 | 1,563.60 | 1,674.83 | 1,752.33 | 1,817.63 | 1,867.90 | 1,919.33 |
| 300 | 1,202.33 | 1,891.50 | 2,169.67 | 2,328.33 | 2,461.03 | 2,550.80 | 2,632.20 | 2,696.73 |
| 400 | 1,437.80 | 2,348.40 | 2,719.27 | 2,940.83 | 3,105.57 | 3,237.10 | 3,354.43 | 3,441.93 |
| 500 | 1,649.07 | 2,748.67 | 3,230.60 | 3,512.93 | 3,719.47 | 3,884.57 | 4,025.67 | 4,141.23 |
| 600 | 1,837.13 | 3,154.80 | 3,687.90 | 4,051.63 | 4,298.43 | 4,515.10 | 4,670.27 | 4,811.97 |
| 700 | 2,026.00 | 3,495.17 | 4,145.93 | 4,564.30 | 4,865.10 | 5,089.47 | 5,283.97 | 5,444.23 |
| 800 | 2,198.07 | 3,837.50 | 4,578.07 | 5,051.30 | 5,396.73 | 5,653.47 | 5,882.70 | 6,071.50 |
| 900 | 2,357.40 | 4,137.73 | 4,989.23 | 5,513.60 | 5,926.43 | 6,225.43 | 6,472.83 | 6,689.03 |
| 1,000 | 2,526.23 | 4,444.67 | 5,366.37 | 5,984.97 | 6,389.37 | 6,737.40 | 7,011.03 | 7,247.67 |

**ตารางที่ ข.1.13** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 13 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 576.77 | 802.00 | 887.30 | 938.37 | 979.33 | 1,008.90 | 1,037.43 | 1,057.87 |
| 200 | 929.43 | 1,391.47 | 1,572.17 | 1,688.53 | 1,765.67 | 1,827.27 | 1,879.47 | 1,927.77 |
| 300 | 1,213.90 | 1,911.73 | 2,191.87 | 2,355.50 | 2,478.67 | 2,580.20 | 2,647.43 | 2,715.93 |
| 400 | 1,448.17 | 2,359.00 | 2,741.53 | 2,958.73 | 3,134.10 | 3,259.57 | 3,380.67 | 3,456.77 |
| 500 | 1,654.47 | 2,769.70 | 3,239.70 | 3,524.57 | 3,749.83 | 3,909.53 | 4,037.17 | 4,165.33 |
| 600 | 1,841.93 | 3,172.90 | 3,718.87 | 4,078.97 | 4,326.10 | 4,531.50 | 4,691.33 | 4,842.23 |
| 700 | 2,028.07 | 3,519.20 | 4,175.10 | 4,598.10 | 4,891.43 | 5,116.93 | 5,324.93 | 5,483.93 |
| 800 | 2,191.50 | 3,863.17 | 4,611.33 | 5,082.73 | 5,432.30 | 5,679.73 | 5,914.10 | 6,110.73 |
| 900 | 2,356.73 | 4,162.80 | 5,017.23 | 5,544.50 | 5,955.80 | 6,253.23 | 6,504.27 | 6,718.33 |
| 1,000 | 2,514.10 | 4,472.17 | 5,408.20 | 6,020.27 | 6,428.77 | 6,790.83 | 7,048.93 | 7,302.97 |

**ตารางที่ ข.1.14** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 14 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 587.03 | 809.27 | 895.73 | 948.10 | 990.77 | 1,018.10 | 1,047.03 | 1,067.70 |
| 200 | 941.30 | 1,404.63 | 1,587.77 | 1,705.93 | 1,777.90 | 1,846.30 | 1,894.87 | 1,938.00 |
| 300 | 1,224.77 | 1,922.70 | 2,199.80 | 2,367.47 | 2,492.43 | 2,581.10 | 2,661.87 | 2,737.43 |
| 400 | 1,456.10 | 2,382.97 | 2,764.13 | 2,983.70 | 3,157.23 | 3,275.80 | 3,391.17 | 3,484.50 |
| 500 | 1,665.73 | 2,793.37 | 3,275.00 | 3,556.53 | 3,779.47 | 3,939.27 | 4,072.77 | 4,196.60 |
| 600 | 1,847.03 | 3,194.07 | 3,742.77 | 4,111.97 | 4,361.20 | 4,573.17 | 4,735.77 | 4,871.17 |
| 700 | 2,032.27 | 3,540.83 | 4,212.30 | 4,629.17 | 4,934.03 | 5,163.77 | 5,360.90 | 5,516.03 |
| 800 | 2,197.57 | 3,891.83 | 4,652.33 | 5,121.10 | 5,474.30 | 5,722.70 | 5,959.17 | 6,145.60 |
| 900 | 2,352.20 | 4,190.40 | 5,050.40 | 5,578.77 | 6,005.40 | 6,307.77 | 6,553.33 | 6,757.67 |
| 1,000 | 2,507.47 | 4,500.20 | 5,442.20 | 6,060.07 | 6,457.60 | 6,827.63 | 7,098.03 | 7,344.23 |

**ตารางที่ ข.1.15** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 15 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 590.93 | 816.00 | 901.73 | 950.73 | 991.47 | 1,023.33 | 1,050.83 | 1,071.70 |
| 200 | 947.23 | 1,422.20 | 1,601.27 | 1,714.97 | 1,786.13 | 1,852.03 | 1,903.13 | 1,949.73 |
| 300 | 1,232.37 | 1,936.53 | 2,221.30 | 2,386.50 | 2,514.80 | 2,606.80 | 2,682.00 | 2,756.90 |
| 400 | 1,463.93 | 2,396.83 | 2,784.00 | 3,007.13 | 3,174.07 | 3,305.63 | 3,419.13 | 3,503.97 |
| 500 | 1,666.30 | 2,813.83 | 3,300.70 | 3,580.60 | 3,794.87 | 3,958.00 | 4,099.77 | 4,223.47 |
| 600 | 1,860.10 | 3,215.80 | 3,768.40 | 4,146.37 | 4,394.80 | 4,606.73 | 4,771.40 | 4,896.90 |
| 700 | 2,039.13 | 3,571.70 | 4,239.87 | 4,659.50 | 4,963.17 | 5,192.27 | 5,385.07 | 5,556.37 |
| 800 | 2,200.97 | 3,913.77 | 4,685.10 | 5,153.70 | 5,501.47 | 5,771.03 | 6,001.77 | 6,188.70 |
| 900 | 2,356.67 | 4,218.33 | 5,076.50 | 5,616.03 | 6,036.23 | 6,347.87 | 6,582.23 | 6,796.63 |
| 1,000 | 2,507.10 | 4,519.80 | 5,480.50 | 6,106.47 | 6,496.43 | 6,860.03 | 7,153.83 | 7,384.50 |

**ตารางที่ ข.1.16** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 16 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 594.47 | 820.17 | 905.87 | 956.20 | 996.80 | 1,031.00 | 1,061.63 | 1,077.07 |
| 200 | 956.73 | 1,430.97 | 1,607.20 | 1,723.53 | 1,800.87 | 1,865.90 | 1,919.33 | 1,953.07 |
| 300 | 1,238.13 | 1,953.20 | 2,237.47 | 2,398.53 | 2,523.90 | 2,611.27 | 2,699.90 | 2,761.90 |
| 400 | 1,477.63 | 2,425.97 | 2,807.10 | 3,033.13 | 3,209.53 | 3,333.83 | 3,439.87 | 3,540.47 |
| 500 | 1,681.93 | 2,832.87 | 3,311.90 | 3,603.20 | 3,830.63 | 3,995.87 | 4,121.90 | 4,253.10 |
| 600 | 1,865.80 | 3,229.57 | 3,795.23 | 4,161.07 | 4,411.57 | 4,628.00 | 4,781.53 | 4,919.90 |
| 700 | 2,048.33 | 3,594.87 | 4,261.87 | 4,693.97 | 5,002.40 | 5,220.97 | 5,434.60 | 5,584.83 |
| 800 | 2,202.20 | 3,944.57 | 4,709.90 | 5,199.37 | 5,539.67 | 5,812.40 | 6,036.63 | 6,233.93 |
| 900 | 2,359.53 | 4,243.43 | 5,117.27 | 5,652.57 | 6,086.60 | 6,381.03 | 6,629.87 | 6,848.73 |
| 1,000 | 2,512.27 | 4,544.60 | 5,519.03 | 6,137.53 | 6,538.57 | 6,920.47 | 7,190.37 | 7,438.40 |

**ตารางที่ ข.1.17** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 17 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 602.53 | 830.20 | 909.63 | 968.07 | 1,010.00 | 1,038.57 | 1,067.10 | 1,085.30 |
| 200 | 964.13 | 1,434.23 | 1,625.57 | 1,733.60 | 1,814.17 | 1,872.93 | 1,932.77 | 1,976.33 |
| 300 | 1,245.83 | 1,966.17 | 2,246.23 | 2,419.53 | 2,533.33 | 2,636.27 | 2,710.47 | 2,776.63 |
| 400 | 1,483.30 | 2,430.53 | 2,822.63 | 3,041.33 | 3,212.37 | 3,348.10 | 3,452.37 | 3,542.03 |
| 500 | 1,689.17 | 2,860.73 | 3,339.73 | 3,622.33 | 3,848.57 | 4,019.60 | 4,148.40 | 4,275.03 |
| 600 | 1,879.47 | 3,261.67 | 3,814.77 | 4,194.77 | 4,446.13 | 4,661.93 | 4,815.73 | 4,970.83 |
| 700 | 2,061.93 | 3,628.00 | 4,294.30 | 4,731.53 | 5,038.80 | 5,256.13 | 5,464.33 | 5,628.13 |
| 800 | 2,213.40 | 3,968.90 | 4,743.40 | 5,232.60 | 5,582.00 | 5,841.67 | 6,068.93 | 6,261.43 |
| 900 | 2,368.83 | 4,274.57 | 5,153.73 | 5,697.47 | 6,118.80 | 6,431.83 | 6,676.47 | 6,890.70 |
| 1,000 | 2,519.30 | 4,589.23 | 5,561.47 | 6,187.03 | 6,600.00 | 6,961.33 | 7,229.10 | 7,478.00 |

**ตารางที่ ข.1.18** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 18 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 602.17 | 833.63 | 916.17 | 969.97 | 1,012.53 | 1,040.67 | 1,073.57 | 1,089.33 |
| 200 | 972.00 | 1,454.37 | 1,633.37 | 1,743.97 | 1,821.90 | 1,886.03 | 1,943.43 | 1,986.73 |
| 300 | 1,263.10 | 1,978.20 | 2,263.63 | 2,423.23 | 2,552.37 | 2,645.90 | 2,731.67 | 2,798.53 |
| 400 | 1,495.67 | 2,452.20 | 2,834.13 | 3,066.60 | 3,236.63 | 3,365.77 | 3,481.57 | 3,569.87 |
| 500 | 1,703.67 | 2,874.07 | 3,371.93 | 3,657.50 | 3,873.90 | 4,041.27 | 4,176.13 | 4,303.30 |
| 600 | 1,892.67 | 3,292.83 | 3,844.50 | 4,215.13 | 4,477.63 | 4,693.30 | 4,848.93 | 4,987.27 |
| 700 | 2,067.70 | 3,651.73 | 4,330.00 | 4,756.10 | 5,058.50 | 5,292.67 | 5,481.37 | 5,653.83 |
| 800 | 2,219.43 | 3,993.70 | 4,772.27 | 5,258.40 | 5,616.47 | 5,870.80 | 6,110.00 | 6,303.17 |
| 900 | 2,377.37 | 4,299.37 | 5,187.20 | 5,734.97 | 6,166.60 | 6,471.37 | 6,716.17 | 6,944.93 |
| 1,000 | 2,521.33 | 4,606.50 | 5,591.57 | 6,222.10 | 6,621.57 | 6,999.80 | 7,271.43 | 7,526.17 |

**ตารางที่ ข.1.19** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 19 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 607.80 | 838.90 | 924.50 | 977.30 | 1,016.20 | 1,048.23 | 1,077.53 | 1,095.73 |
| 200 | 980.97 | 1,460.10 | 1,643.93 | 1,747.57 | 1,830.43 | 1,895.87 | 1,945.77 | 1,998.87 |
| 300 | 1,268.93 | 1,996.50 | 2,284.03 | 2,440.20 | 2,571.33 | 2,666.47 | 2,738.27 | 2,814.47 |
| 400 | 1,510.50 | 2,463.33 | 2,855.93 | 3,082.67 | 3,260.27 | 3,389.07 | 3,500.13 | 3,598.83 |
| 500 | 1,711.47 | 2,899.07 | 3,392.00 | 3,680.03 | 3,905.73 | 4,059.23 | 4,193.60 | 4,316.83 |
| 600 | 1,898.10 | 3,307.77 | 3,871.53 | 4,240.90 | 4,495.10 | 4,723.97 | 4,869.13 | 5,016.67 |
| 700 | 2,078.80 | 3,674.47 | 4,350.50 | 4,799.77 | 5,095.40 | 5,317.47 | 5,539.03 | 5,692.43 |
| 800 | 2,233.93 | 4,031.67 | 4,814.37 | 5,299.33 | 5,651.17 | 5,916.93 | 6,134.23 | 6,341.83 |
| 900 | 2,381.67 | 4,334.70 | 5,214.20 | 5,769.63 | 6,209.07 | 6,485.87 | 6,753.27 | 6,964.57 |
| 1,000 | 2,527.30 | 4,643.83 | 5,631.20 | 6,254.13 | 6,683.87 | 7,035.57 | 7,311.90 | 7,572.00 |

**ตารางที่ ข.1.20** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 20 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 615.87 | 843.37 | 932.17 | 986.83 | 1,024.80 | 1,057.33 | 1,086.13 | 1,108.20 |
| 200 | 994.17 | 1,480.60 | 1,659.13 | 1,768.90 | 1,849.37 | 1,915.73 | 1,964.63 | 2,005.90 |
| 300 | 1,283.63 | 2,017.30 | 2,295.10 | 2,464.70 | 2,602.33 | 2,682.73 | 2,753.80 | 2,831.37 |
| 400 | 1,520.03 | 2,493.73 | 2,880.43 | 3,099.50 | 3,282.27 | 3,406.57 | 3,529.20 | 3,618.40 |
| 500 | 1,729.37 | 2,924.43 | 3,414.77 | 3,698.80 | 3,927.40 | 4,091.63 | 4,227.87 | 4,341.17 |
| 600 | 1,911.27 | 3,335.77 | 3,900.83 | 4,279.03 | 4,525.83 | 4,752.10 | 4,906.00 | 5,047.60 |
| 700 | 2,092.60 | 3,699.13 | 4,383.57 | 4,817.70 | 5,133.03 | 5,355.87 | 5,565.70 | 5,721.93 |
| 800 | 2,241.93 | 4,051.40 | 4,846.70 | 5,327.40 | 5,686.53 | 5,944.97 | 6,188.93 | 6,386.53 |
| 900 | 2,393.13 | 4,358.97 | 5,262.20 | 5,813.70 | 6,243.23 | 6,539.33 | 6,789.40 | 7,026.17 |
| 1,000 | 2,535.57 | 4,673.70 | 5,665.20 | 6,295.73 | 6,712.13 | 7,089.73 | 7,362.97 | 7,616.97 |

**ข.2 จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบโดยใช้การค้นหาแบบทวิภาค** (ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 30 ครั้ง ของการทดลองครั้งที่สอง)

**ตารางที่ ข.2.1** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอส

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 786.60 | 1,045.73 | 1,129.47 | 1,179.27 | 1,226.73 | 1,250.90 | 1,283.60 | 1,306.83 |
| 200 | 1,471.53 | 2,023.97 | 2,226.13 | 2,344.63 | 2,437.77 | 2,489.17 | 2,549.30 | 2,579.73 |
| 300 | 2,043.73 | 2,980.37 | 3,299.47 | 3,478.50 | 3,611.00 | 3,702.33 | 3,803.20 | 3,866.57 |
| 400 | 2,550.83 | 3,879.07 | 4,344.03 | 4,594.23 | 4,773.47 | 4,920.97 | 5,044.00 | 5,131.40 |
| 500 | 3,014.07 | 4,742.83 | 5,322.57 | 5,685.70 | 5,941.73 | 6,119.60 | 6,258.57 | 6,390.70 |
| 600 | 3,442.73 | 5,566.27 | 6,329.90 | 6,767.10 | 7,034.13 | 7,319.70 | 7,489.77 | 7,636.77 |
| 700 | 3,799.37 | 6,390.07 | 7,306.07 | 7,793.23 | 8,168.10 | 8,440.60 | 8,677.83 | 8,854.83 |
| 800 | 4,136.23 | 7,143.97 | 8,261.40 | 8,837.57 | 9,289.97 | 9,619.73 | 9,863.73 | 10,084.93 |
| 900 | 4,445.87 | 7,893.83 | 9,147.37 | 9,881.37 | 10,387.10 | 10,739.40 | 11,053.10 | 11,325.67 |
| 1,000 | 4,726.57 | 8,610.63 | 10,055.47 | 10,881.97 | 11,444.80 | 11,847.97 | 12,204.83 | 12,488.90 |

**ตารางที่ ข.2.2** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 2 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 616.03 | 830.87 | 908.47 | 958.90 | 1,001.47 | 1,030.37 | 1,059.60 | 1,080.60 |
| 200 | 1,115.13 | 1,537.53 | 1,708.63 | 1,813.90 | 1,897.73 | 1,953.87 | 2,003.60 | 2,045.30 |
| 300 | 1,564.50 | 2,211.83 | 2,468.00 | 2,626.57 | 2,745.37 | 2,832.50 | 2,915.30 | 2,978.07 |
| 400 | 1,964.20 | 2,852.80 | 3,198.00 | 3,406.97 | 3,559.20 | 3,688.33 | 3,799.23 | 3,879.23 |
| 500 | 2,340.17 | 3,470.43 | 3,892.77 | 4,170.93 | 4,369.47 | 4,524.23 | 4,648.67 | 4,761.57 |
| 600 | 2,709.80 | 4,061.83 | 4,588.37 | 4,912.43 | 5,139.97 | 5,353.10 | 5,499.60 | 5,631.43 |
| 700 | 3,026.13 | 4,649.80 | 5,264.50 | 5,633.47 | 5,919.80 | 6,130.93 | 6,329.27 | 6,475.77 |
| 800 | 3,317.77 | 5,211.77 | 5,932.47 | 6,354.53 | 6,686.10 | 6,935.37 | 7,137.93 | 7,319.73 |
| 900 | 3,602.23 | 5,765.83 | 6,570.40 | 7,072.53 | 7,433.90 | 7,708.13 | 7,949.10 | 8,157.63 |
| 1,000 | 3,849.30 | 6,304.57 | 7,212.87 | 7,773.47 | 8,163.10 | 8,478.57 | 8,745.33 | 8,968.47 |

**ตารางที่ ข.2.3** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 3 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 561.07 | 777.47 | 857.50 | 907.13 | 949.43 | 976.50 | 1,005.87 | 1,026.13 |
| 200 | 985.30 | 1,395.60 | 1,567.80 | 1,673.97 | 1,756.00 | 1,815.97 | 1,868.30 | 1,904.73 |
| 300 | 1,363.77 | 1,972.07 | 2,228.30 | 2,385.90 | 2,501.40 | 2,592.83 | 2,672.63 | 2,739.87 |
| 400 | 1,700.10 | 2,505.17 | 2,850.40 | 3,061.97 | 3,216.73 | 3,344.27 | 3,451.57 | 3,536.07 |
| 500 | 2,024.57 | 3,018.90 | 3,431.67 | 3,709.87 | 3,907.03 | 4,063.13 | 4,188.40 | 4,301.00 |
| 600 | 2,348.10 | 3,502.90 | 4,016.50 | 4,337.10 | 4,564.57 | 4,770.33 | 4,914.50 | 5,051.57 |
| 700 | 2,632.07 | 3,992.10 | 4,569.70 | 4,935.23 | 5,209.10 | 5,433.37 | 5,625.33 | 5,775.60 |
| 800 | 2,903.00 | 4,445.67 | 5,117.33 | 5,533.67 | 5,858.47 | 6,113.10 | 6,309.30 | 6,493.87 |
| 900 | 3,177.87 | 4,894.80 | 5,644.63 | 6,121.67 | 6,478.70 | 6,755.30 | 6,997.90 | 7,200.50 |
| 1,000 | 3,407.37 | 5,338.87 | 6,163.53 | 6,698.07 | 7,087.63 | 7,390.47 | 7,661.20 | 7,874.37 |

**ตารางที่ ข.2.4** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 4 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 543.83 | 758.97 | 841.53 | 893.43 | 933.37 | 962.73 | 992.60 | 1,011.73 |
| 200 | 931.93 | 1,349.60 | 1,517.90 | 1,627.47 | 1,709.93 | 1,768.57 | 1,816.33 | 1,863.23 |
| 300 | 1,265.37 | 1,880.47 | 2,138.03 | 2,297.70 | 2,418.03 | 2,508.87 | 2,586.80 | 2,652.60 |
| 400 | 1,569.27 | 2,366.27 | 2,716.93 | 2,934.10 | 3,081.30 | 3,213.17 | 3,322.60 | 3,407.40 |
| 500 | 1,858.87 | 2,834.33 | 3,251.80 | 3,526.73 | 3,731.27 | 3,888.63 | 4,010.93 | 4,129.70 |
| 600 | 2,139.43 | 3,262.63 | 3,775.97 | 4,105.13 | 4,336.83 | 4,544.97 | 4,694.10 | 4,829.63 |
| 700 | 2,402.60 | 3,689.70 | 4,282.37 | 4,655.33 | 4,931.90 | 5,151.27 | 5,352.17 | 5,499.93 |
| 800 | 2,648.00 | 4,096.67 | 4,775.47 | 5,194.50 | 5,527.27 | 5,778.90 | 5,981.10 | 6,165.37 |
| 900 | 2,893.03 | 4,492.03 | 5,241.57 | 5,721.90 | 6,092.67 | 6,366.67 | 6,608.57 | 6,818.63 |
| 1,000 | 3,115.70 | 4,875.40 | 5,700.87 | 6,233.90 | 6,637.03 | 6,950.40 | 7,212.67 | 7,433.93 |

**ตารางที่ ข.2.5** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 5 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **100** | 539.60 | 759.33 | 838.67 | 890.60 | 931.93 | 958.27 | 989.47 | 1,007.63 |
| **200** | 906.50 | 1,330.17 | 1,501.87 | 1,613.70 | 1,693.07 | 1,754.13 | 1,807.27 | 1,844.37 |
| **300** | 1,216.20 | 1,845.23 | 2,105.43 | 2,266.97 | 2,383.97 | 2,477.90 | 2,555.70 | 2,625.67 |
| **400** | 1,497.07 | 2,311.13 | 2,654.80 | 2,880.57 | 3,037.50 | 3,164.50 | 3,273.87 | 3,356.73 |
| **500** | 1,759.93 | 2,743.03 | 3,170.23 | 3,453.33 | 3,659.23 | 3,814.77 | 3,951.07 | 4,060.47 |
| **600** | 2,012.10 | 3,146.60 | 3,677.77 | 4,012.40 | 4,243.80 | 4,444.63 | 4,604.63 | 4,738.63 |
| **700** | 2,255.20 | 3,545.57 | 4,149.80 | 4,523.70 | 4,817.03 | 5,034.00 | 5,228.23 | 5,370.57 |
| **800** | 2,487.73 | 3,918.47 | 4,608.23 | 5,039.43 | 5,375.63 | 5,633.00 | 5,832.17 | 6,017.13 |
| **900** | 2,717.73 | 4,281.07 | 5,045.53 | 5,545.87 | 5,912.80 | 6,196.67 | 6,436.83 | 6,643.63 |
| **1,000** | 2,922.33 | 4,636.13 | 5,480.40 | 6,023.17 | 6,428.70 | 6,743.83 | 7,021.00 | 7,240.17 |

**ตารางที่ ข.2.6** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 6 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **100** | 538.47 | 759.90 | 843.43 | 895.10 | 933.73 | 960.70 | 992.43 | 1,012.07 |
| **200** | 898.13 | 1,331.90 | 1,500.23 | 1,610.73 | 1,688.73 | 1,753.73 | 1,805.47 | 1,846.00 |
| **300** | 1,192.10 | 1,835.30 | 2,098.17 | 2,258.70 | 2,375.57 | 2,474.73 | 2,556.50 | 2,616.20 |
| **400** | 1,459.37 | 2,284.83 | 2,642.33 | 2,862.93 | 3,022.50 | 3,144.50 | 3,255.40 | 3,344.70 |
| **500** | 1,704.53 | 2,707.13 | 3,142.50 | 3,424.70 | 3,633.50 | 3,789.60 | 3,920.40 | 4,029.23 |
| **600** | 1,941.33 | 3,102.33 | 3,629.97 | 3,975.97 | 4,205.10 | 4,410.60 | 4,568.57 | 4,699.33 |
| **700** | 2,164.20 | 3,478.40 | 4,093.00 | 4,464.67 | 4,753.60 | 4,987.83 | 5,185.60 | 5,342.17 |
| **800** | 2,379.27 | 3,837.67 | 4,540.23 | 4,973.10 | 5,306.33 | 5,566.73 | 5,777.27 | 5,962.97 |
| **900** | 2,591.73 | 4,176.60 | 4,953.43 | 5,460.87 | 5,838.00 | 6,113.57 | 6,361.83 | 6,577.47 |
| **1,000** | 2,788.73 | 4,510.43 | 5,358.50 | 5,923.20 | 6,337.87 | 6,653.73 | 6,929.23 | 7,148.40 |

**ตารางที่ ข.2.7** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 7 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **100** | 542.37 | 767.10 | 849.30 | 900.90 | 940.27 | 970.13 | 999.63 | 1,017.80 |
| **200** | 898.93 | 1,332.57 | 1,508.67 | 1,621.50 | 1,700.10 | 1,760.00 | 1,812.93 | 1,851.40 |
| **300** | 1,184.13 | 1,837.07 | 2,095.03 | 2,262.70 | 2,383.10 | 2,483.07 | 2,562.00 | 2,623.60 |
| **400** | 1,439.60 | 2,281.93 | 2,641.93 | 2,863.53 | 3,021.83 | 3,143.07 | 3,262.30 | 3,351.27 |
| **500** | 1,669.63 | 2,696.70 | 3,129.37 | 3,421.77 | 3,629.17 | 3,788.17 | 3,918.67 | 4,034.40 |
| **600** | 1,895.53 | 3,076.03 | 3,613.93 | 3,963.17 | 4,193.27 | 4,400.30 | 4,558.77 | 4,692.33 |
| **700** | 2,106.37 | 3,451.50 | 4,077.27 | 4,445.73 | 4,743.03 | 4,973.70 | 5,165.60 | 5,327.00 |
| **800** | 2,306.50 | 3,790.30 | 4,505.57 | 4,951.00 | 5,283.07 | 5,562.00 | 5,760.90 | 5,952.50 |
| **900** | 2,505.03 | 4,121.00 | 4,920.27 | 5,426.00 | 5,807.10 | 6,086.57 | 6,343.60 | 6,547.07 |
| **1,000** | 2,696.27 | 4,443.53 | 5,311.00 | 5,878.70 | 6,300.70 | 6,620.90 | 6,897.53 | 7,126.10 |

**ตารางที่ ข.2.8** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 8 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 547.17 | 768.47 | 853.10 | 905.03 | 943.50 | 976.20 | 1,003.57 | 1,024.17 |
| 200 | 902.17 | 1,341.57 | 1,517.00 | 1,627.37 | 1,711.20 | 1,773.83 | 1,820.53 | 1,863.00 |
| 300 | 1,184.27 | 1,842.23 | 2,111.40 | 2,272.17 | 2,394.87 | 2,489.33 | 2,568.43 | 2,631.57 |
| 400 | 1,428.13 | 2,287.47 | 2,649.30 | 2,875.80 | 3,030.83 | 3,162.13 | 3,273.37 | 3,364.23 |
| 500 | 1,656.97 | 2,698.10 | 3,139.53 | 3,427.97 | 3,646.13 | 3,796.87 | 3,928.33 | 4,042.83 |
| 600 | 1,868.30 | 3,075.33 | 3,619.50 | 3,966.20 | 4,206.70 | 4,410.07 | 4,582.37 | 4,709.37 |
| 700 | 2,069.17 | 3,440.20 | 4,075.07 | 4,458.00 | 4,747.83 | 4,981.27 | 5,176.47 | 5,330.27 |
| 800 | 2,261.20 | 3,781.37 | 4,506.27 | 4,948.67 | 5,290.90 | 5,556.00 | 5,763.47 | 5,958.30 |
| 900 | 2,444.10 | 4,101.53 | 4,902.63 | 5,412.47 | 5,806.60 | 6,092.37 | 6,340.03 | 6,552.30 |
| 1,000 | 2,629.93 | 4,412.40 | 5,305.27 | 5,869.67 | 6,294.37 | 6,624.30 | 6,891.17 | 7,119.83 |

**ตารางที่ ข.2.9** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 9 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 555.93 | 779.70 | 864.80 | 913.37 | 954.47 | 984.67 | 1,012.73 | 1,032.93 |
| 200 | 905.37 | 1,356.20 | 1,526.47 | 1,636.07 | 1,718.30 | 1,782.40 | 1,829.37 | 1,876.47 |
| 300 | 1,184.80 | 1,854.60 | 2,120.53 | 2,286.83 | 2,404.70 | 2,503.30 | 2,589.13 | 2,654.80 |
| 400 | 1,421.23 | 2,300.50 | 2,663.87 | 2,890.07 | 3,050.37 | 3,179.73 | 3,289.00 | 3,380.70 |
| 500 | 1,650.37 | 2,704.07 | 3,153.03 | 3,444.97 | 3,662.57 | 3,814.60 | 3,950.10 | 4,060.27 |
| 600 | 1,854.00 | 3,079.63 | 3,634.80 | 3,988.77 | 4,222.13 | 4,428.70 | 4,594.27 | 4,727.87 |
| 700 | 2,041.40 | 3,438.13 | 4,084.47 | 4,472.17 | 4,769.77 | 5,002.07 | 5,195.93 | 5,362.57 |
| 800 | 2,228.43 | 3,777.07 | 4,512.63 | 4,962.03 | 5,306.37 | 5,576.57 | 5,787.63 | 5,982.30 |
| 900 | 2,406.93 | 4,096.87 | 4,902.93 | 5,425.37 | 5,820.83 | 6,118.63 | 6,371.90 | 6,577.50 |
| 1,000 | 2,581.20 | 4,407.87 | 5,305.07 | 5,886.90 | 6,315.60 | 6,634.63 | 6,914.33 | 7,151.70 |

**ตารางที่ ข.2.10** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 10 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 558.27 | 786.47 | 868.43 | 920.17 | 964.10 | 991.87 | 1,017.43 | 1,037.93 |
| 200 | 913.13 | 1,365.40 | 1,539.10 | 1,653.37 | 1,733.00 | 1,795.13 | 1,845.20 | 1,883.37 |
| 300 | 1,189.77 | 1,869.60 | 2,138.17 | 2,301.30 | 2,419.37 | 2,518.07 | 2,601.40 | 2,665.00 |
| 400 | 1,426.17 | 2,314.77 | 2,679.67 | 2,903.40 | 3,066.90 | 3,196.27 | 3,312.63 | 3,393.87 |
| 500 | 1,646.73 | 2,719.50 | 3,175.70 | 3,473.13 | 3,683.57 | 3,845.70 | 3,982.50 | 4,094.30 |
| 600 | 1,848.37 | 3,098.43 | 3,651.57 | 4,016.37 | 4,253.43 | 4,456.40 | 4,625.47 | 4,764.43 |
| 700 | 2,031.13 | 3,459.20 | 4,100.17 | 4,496.37 | 4,795.33 | 5,031.13 | 5,225.33 | 5,379.77 |
| 800 | 2,206.80 | 3,788.70 | 4,527.97 | 4,986.17 | 5,332.90 | 5,601.93 | 5,819.93 | 6,004.23 |
| 900 | 2,377.97 | 4,101.90 | 4,923.97 | 5,462.10 | 5,841.60 | 6,141.53 | 6,397.57 | 6,602.97 |
| 1,000 | 2,551.47 | 4,405.43 | 5,324.63 | 5,899.83 | 6,333.33 | 6,658.57 | 6,942.20 | 7,176.80 |

**ตารางที่ ข.2.11** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 11 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 563.90 | 792.67 | 878.13 | 929.97 | 964.83 | 998.60 | 1,029.87 | 1,050.03 |
| 200 | 920.27 | 1,371.63 | 1,551.90 | 1,665.93 | 1,747.20 | 1,808.70 | 1,855.40 | 1,901.33 |
| 300 | 1,200.03 | 1,884.63 | 2,157.23 | 2,316.83 | 2,445.33 | 2,534.23 | 2,614.53 | 2,682.07 |
| 400 | 1,432.17 | 2,328.07 | 2,703.03 | 2,926.20 | 3,092.63 | 3,220.27 | 3,326.77 | 3,425.20 |
| 500 | 1,647.57 | 2,736.07 | 3,194.67 | 3,492.47 | 3,711.47 | 3,858.93 | 3,995.80 | 4,110.37 |
| 600 | 1,844.07 | 3,102.20 | 3,679.10 | 4,022.07 | 4,271.37 | 4,486.70 | 4,642.17 | 4,787.20 |
| 700 | 2,029.10 | 3,479.17 | 4,127.37 | 4,512.97 | 4,815.93 | 5,059.23 | 5,255.07 | 5,418.17 |
| 800 | 2,200.10 | 3,806.53 | 4,554.83 | 5,015.63 | 5,367.53 | 5,626.30 | 5,852.37 | 6,046.40 |
| 900 | 2,365.93 | 4,114.17 | 4,954.03 | 5,487.80 | 5,881.83 | 6,162.60 | 6,435.57 | 6,652.63 |
| 1,000 | 2,527.70 | 4,418.67 | 5,340.47 | 5,930.60 | 6,368.77 | 6,697.83 | 6,974.07 | 7,213.23 |

**ตารางที่ ข.2.12** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 12 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 568.90 | 793.93 | 881.20 | 933.37 | 973.40 | 1,006.07 | 1,031.40 | 1,054.23 |
| 200 | 929.40 | 1,383.53 | 1,557.83 | 1,675.80 | 1,754.97 | 1,823.67 | 1,870.50 | 1,909.20 |
| 300 | 1,204.37 | 1,898.63 | 2,171.80 | 2,341.00 | 2,460.23 | 2,555.70 | 2,641.27 | 2,702.63 |
| 400 | 1,440.60 | 2,347.77 | 2,728.83 | 2,951.90 | 3,112.87 | 3,233.30 | 3,350.57 | 3,442.73 |
| 500 | 1,652.63 | 2,752.57 | 3,219.47 | 3,514.93 | 3,731.97 | 3,894.00 | 4,017.83 | 4,134.47 |
| 600 | 1,849.03 | 3,137.30 | 3,704.67 | 4,072.03 | 4,298.70 | 4,516.13 | 4,678.37 | 4,821.10 |
| 700 | 2,023.20 | 3,496.27 | 4,154.00 | 4,555.03 | 4,846.37 | 5,088.67 | 5,288.17 | 5,459.97 |
| 800 | 2,188.77 | 3,831.57 | 4,586.37 | 5,042.77 | 5,392.67 | 5,670.63 | 5,886.87 | 6,071.03 |
| 900 | 2,355.60 | 4,135.83 | 4,985.30 | 5,522.47 | 5,923.03 | 6,211.27 | 6,467.33 | 6,685.87 |
| 1,000 | 2,514.63 | 4,438.47 | 5,363.93 | 5,963.93 | 6,406.77 | 6,741.53 | 7,013.47 | 7,249.40 |

**ตารางที่ ข.2.13** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 13 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 571.00 | 800.17 | 889.57 | 937.77 | 979.70 | 1,009.67 | 1,036.50 | 1,056.10 |
| 200 | 937.97 | 1,390.87 | 1,576.67 | 1,687.67 | 1,772.63 | 1,829.70 | 1,878.53 | 1,920.80 |
| 300 | 1,212.83 | 1,917.50 | 2,196.03 | 2,348.67 | 2,481.87 | 2,570.37 | 2,653.43 | 2,723.00 |
| 400 | 1,446.33 | 2,361.13 | 2,741.23 | 2,965.80 | 3,138.77 | 3,270.43 | 3,375.30 | 3,464.30 |
| 500 | 1,658.17 | 2,768.43 | 3,236.73 | 3,533.73 | 3,749.37 | 3,911.57 | 4,051.63 | 4,159.83 |
| 600 | 1,852.67 | 3,157.53 | 3,735.77 | 4,089.70 | 4,332.27 | 4,546.23 | 4,704.70 | 4,854.83 |
| 700 | 2,025.07 | 3,515.00 | 4,182.50 | 4,578.23 | 4,886.57 | 5,117.27 | 5,323.07 | 5,487.40 |
| 800 | 2,191.83 | 3,843.73 | 4,617.50 | 5,073.23 | 5,434.13 | 5,711.83 | 5,919.63 | 6,109.87 |
| 900 | 2,347.60 | 4,153.03 | 5,012.77 | 5,551.90 | 5,955.17 | 6,239.07 | 6,504.07 | 6,735.53 |
| 1,000 | 2,502.53 | 4,467.93 | 5,403.00 | 5,996.37 | 6,451.70 | 6,785.50 | 7,065.67 | 7,293.87 |

**ตารางที่ ข.2.14** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 14 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 582.90 | 812.63 | 894.97 | 950.13 | 985.73 | 1,020.70 | 1,048.27 | 1,066.63 |
| 200 | 947.27 | 1,405.27 | 1,586.97 | 1,703.17 | 1,781.77 | 1,842.60 | 1,898.60 | 1,936.17 |
| 300 | 1,223.30 | 1,925.43 | 2,193.40 | 2,374.17 | 2,485.80 | 2,591.27 | 2,664.23 | 2,738.30 |
| 400 | 1,457.87 | 2,384.10 | 2,759.50 | 2,988.47 | 3,153.13 | 3,281.00 | 3,395.23 | 3,482.07 |
| 500 | 1,666.97 | 2,797.30 | 3,262.07 | 3,564.13 | 3,782.23 | 3,947.40 | 4,076.13 | 4,190.53 |
| 600 | 1,859.87 | 3,179.07 | 3,758.63 | 4,119.13 | 4,347.40 | 4,571.47 | 4,725.30 | 4,880.97 |
| 700 | 2,032.10 | 3,543.23 | 4,222.63 | 4,610.47 | 4,920.03 | 5,153.93 | 5,348.77 | 5,520.27 |
| 800 | 2,192.17 | 3,875.77 | 4,646.63 | 5,121.87 | 5,466.03 | 5,749.27 | 5,966.13 | 6,147.93 |
| 900 | 2,350.23 | 4,188.30 | 5,042.83 | 5,585.07 | 5,983.60 | 6,282.40 | 6,552.37 | 6,769.03 |
| 1,000 | 2,501.83 | 4,485.97 | 5,436.33 | 6,044.60 | 6,488.20 | 6,824.47 | 7,101.97 | 7,346.73 |

**ตารางที่ ข.2.15** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 15 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 581.90 | 816.30 | 897.63 | 948.67 | 995.50 | 1,020.67 | 1,050.40 | 1,071.77 |
| 200 | 953.27 | 1,417.90 | 1,593.00 | 1,710.27 | 1,791.17 | 1,851.43 | 1,906.13 | 1,945.97 |
| 300 | 1,232.77 | 1,943.10 | 2,218.67 | 2,382.47 | 2,504.10 | 2,605.33 | 2,696.27 | 2,753.23 |
| 400 | 1,467.27 | 2,398.37 | 2,768.30 | 3,010.47 | 3,166.20 | 3,305.77 | 3,422.57 | 3,520.17 |
| 500 | 1,680.50 | 2,815.53 | 3,280.30 | 3,589.63 | 3,804.07 | 3,965.77 | 4,114.60 | 4,222.17 |
| 600 | 1,871.73 | 3,204.27 | 3,789.77 | 4,151.77 | 4,392.90 | 4,606.60 | 4,765.13 | 4,896.37 |
| 700 | 2,037.33 | 3,567.23 | 4,245.70 | 4,643.37 | 4,951.37 | 5,186.87 | 5,387.77 | 5,551.60 |
| 800 | 2,190.40 | 3,898.13 | 4,668.70 | 5,145.13 | 5,496.43 | 5,779.47 | 5,995.83 | 6,190.77 |
| 900 | 2,353.00 | 4,209.10 | 5,085.43 | 5,633.30 | 6,033.57 | 6,333.87 | 6,591.07 | 6,800.53 |
| 1,000 | 2,500.63 | 4,513.70 | 5,483.93 | 6,082.13 | 6,531.57 | 6,851.47 | 7,156.57 | 7,381.77 |

**ตารางที่ ข.2.16** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 16 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 588.43 | 819.40 | 907.10 | 958.10 | 997.63 | 1,029.57 | 1,060.77 | 1,081.43 |
| 200 | 963.20 | 1,422.63 | 1,607.13 | 1,722.23 | 1,804.57 | 1,867.23 | 1,912.53 | 1,958.27 |
| 300 | 1,244.37 | 1,953.87 | 2,232.93 | 2,400.07 | 2,527.63 | 2,621.30 | 2,707.60 | 2,765.57 |
| 400 | 1,475.40 | 2,423.03 | 2,798.70 | 3,039.20 | 3,200.73 | 3,330.33 | 3,439.67 | 3,538.47 |
| 500 | 1,688.30 | 2,841.93 | 3,308.83 | 3,620.13 | 3,838.57 | 3,991.23 | 4,124.03 | 4,241.30 |
| 600 | 1,879.73 | 3,218.13 | 3,802.50 | 4,168.57 | 4,417.80 | 4,621.40 | 4,797.03 | 4,928.80 |
| 700 | 2,039.30 | 3,588.90 | 4,272.33 | 4,667.43 | 4,976.97 | 5,219.57 | 5,424.37 | 5,585.27 |
| 800 | 2,202.60 | 3,922.27 | 4,718.53 | 5,189.50 | 5,540.10 | 5,819.70 | 6,035.30 | 6,235.00 |
| 900 | 2,358.10 | 4,242.47 | 5,118.13 | 5,657.13 | 6,071.57 | 6,378.33 | 6,635.33 | 6,847.97 |
| 1,000 | 2,500.00 | 4,545.20 | 5,522.93 | 6,115.43 | 6,572.83 | 6,917.60 | 7,198.90 | 7,431.57 |

**ตารางที่ ข.2.17** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 17 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 591.87 | 833.53 | 911.57 | 965.93 | 1,003.07 | 1,038.13 | 1,066.77 | 1,089.40 |
| 200 | 970.93 | 1,440.67 | 1,621.87 | 1,734.60 | 1,821.97 | 1,879.07 | 1,928.43 | 1,969.90 |
| 300 | 1,249.97 | 1,968.63 | 2,247.07 | 2,418.93 | 2,535.73 | 2,638.17 | 2,716.40 | 2,781.47 |
| 400 | 1,488.90 | 2,439.20 | 2,817.03 | 3,045.90 | 3,215.30 | 3,344.73 | 3,458.10 | 3,547.93 |
| 500 | 1,699.27 | 2,859.03 | 3,324.93 | 3,633.13 | 3,853.03 | 4,016.47 | 4,159.80 | 4,271.37 |
| 600 | 1,891.27 | 3,250.83 | 3,833.40 | 4,208.13 | 4,437.50 | 4,670.47 | 4,827.63 | 4,967.17 |
| 700 | 2,053.83 | 3,626.37 | 4,297.17 | 4,712.07 | 5,012.93 | 5,257.73 | 5,463.33 | 5,627.63 |
| 800 | 2,213.80 | 3,961.13 | 4,752.20 | 5,214.67 | 5,576.57 | 5,865.03 | 6,077.63 | 6,266.63 |
| 900 | 2,358.17 | 4,267.47 | 5,159.73 | 5,710.50 | 6,114.23 | 6,409.90 | 6,667.87 | 6,887.63 |
| 1,000 | 2,503.70 | 4,573.83 | 5,552.93 | 6,155.83 | 6,614.43 | 6,950.13 | 7,244.67 | 7,480.03 |

**ตารางที่ ข.2.18** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 18 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 597.33 | 831.93 | 916.07 | 969.30 | 1,010.00 | 1,038.90 | 1,069.57 | 1,087.17 |
| 200 | 981.43 | 1,456.10 | 1,629.77 | 1,745.83 | 1,822.90 | 1,892.13 | 1,937.47 | 1,981.57 |
| 300 | 1,260.87 | 1,984.10 | 2,260.47 | 2,431.57 | 2,551.07 | 2,654.70 | 2,745.40 | 2,797.90 |
| 400 | 1,495.60 | 2,456.37 | 2,838.70 | 3,074.23 | 3,234.47 | 3,367.50 | 3,476.53 | 3,568.40 |
| 500 | 1,714.10 | 2,876.90 | 3,354.10 | 3,664.20 | 3,880.00 | 4,041.37 | 4,176.23 | 4,286.00 |
| 600 | 1,900.43 | 3,277.37 | 3,859.67 | 4,234.20 | 4,473.53 | 4,690.63 | 4,851.57 | 4,991.33 |
| 700 | 2,064.73 | 3,646.00 | 4,329.53 | 4,734.23 | 5,041.00 | 5,289.03 | 5,497.23 | 5,656.13 |
| 800 | 2,217.63 | 3,987.63 | 4,781.13 | 5,247.57 | 5,603.20 | 5,889.43 | 6,101.47 | 6,302.47 |
| 900 | 2,366.33 | 4,306.23 | 5,172.83 | 5,747.47 | 6,153.80 | 6,458.70 | 6,709.83 | 6,936.27 |
| 1,000 | 2,510.50 | 4,609.10 | 5,591.67 | 6,205.00 | 6,661.23 | 6,994.13 | 7,290.93 | 7,536.40 |

**ตารางที่ ข.2.19** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 19 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 603.97 | 832.77 | 919.27 | 977.20 | 1,014.63 | 1,042.47 | 1,072.63 | 1,090.07 |
| 200 | 987.73 | 1,457.60 | 1,637.67 | 1,753.47 | 1,838.80 | 1,900.90 | 1,956.37 | 1,992.30 |
| 300 | 1,271.13 | 1,999.43 | 2,271.33 | 2,436.47 | 2,574.37 | 2,666.43 | 2,739.87 | 2,814.87 |
| 400 | 1,513.13 | 2,476.00 | 2,862.43 | 3,098.87 | 3,264.83 | 3,388.90 | 3,506.60 | 3,581.47 |
| 500 | 1,722.20 | 2,890.10 | 3,376.20 | 3,682.93 | 3,895.90 | 4,066.13 | 4,196.90 | 4,316.80 |
| 600 | 1,909.63 | 3,288.07 | 3,885.20 | 4,263.87 | 4,500.43 | 4,722.43 | 4,879.17 | 5,020.37 |
| 700 | 2,068.73 | 3,667.07 | 4,359.97 | 4,759.80 | 5,082.43 | 5,329.23 | 5,530.17 | 5,692.50 |
| 800 | 2,225.90 | 4,008.87 | 4,813.23 | 5,281.30 | 5,651.17 | 5,934.90 | 6,154.20 | 6,342.27 |
| 900 | 2,373.27 | 4,310.93 | 5,223.77 | 5,768.77 | 6,193.27 | 6,490.63 | 6,761.47 | 6,964.23 |
| 1,000 | 2,515.17 | 4,643.93 | 5,621.33 | 6,239.90 | 6,704.57 | 7,031.97 | 7,335.90 | 7,570.00 |

**ตารางที่ ข.2.20** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 20 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 614.87 | 843.60 | 930.53 | 984.27 | 1,024.53 | 1,052.13 | 1,082.23 | 1,099.97 |
| 200 | 1,002.73 | 1,473.60 | 1,648.37 | 1,769.03 | 1,851.47 | 1,912.40 | 1,964.33 | 2,002.17 |
| 300 | 1,284.30 | 2,015.37 | 2,297.77 | 2,464.40 | 2,585.70 | 2,683.57 | 2,764.07 | 2,833.47 |
| 400 | 1,524.90 | 2,492.40 | 2,877.17 | 3,111.37 | 3,278.53 | 3,409.10 | 3,527.17 | 3,612.77 |
| 500 | 1,732.80 | 2,920.53 | 3,402.63 | 3,721.87 | 3,928.87 | 4,098.83 | 4,238.73 | 4,347.17 |
| 600 | 1,927.63 | 3,321.73 | 3,910.47 | 4,297.77 | 4,537.30 | 4,753.47 | 4,915.47 | 5,060.73 |
| 700 | 2,082.80 | 3,708.40 | 4,389.27 | 4,801.30 | 5,104.87 | 5,346.33 | 5,556.10 | 5,716.30 |
| 800 | 2,238.07 | 4,035.57 | 4,843.30 | 5,324.17 | 5,688.70 | 5,965.90 | 6,184.00 | 6,378.87 |
| 900 | 2,383.40 | 4,349.10 | 5,246.53 | 5,820.93 | 6,223.27 | 6,534.33 | 6,791.33 | 7,009.67 |
| 1,000 | 2,527.80 | 4,669.23 | 5,660.60 | 6,288.93 | 6,727.70 | 7,081.77 | 7,372.73 | 7,618.00 |

**ตารางที่ ข.2.21** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้ามโดยใช้สมการที่ 4.3 คำนวณตำแหน่งที่ใช้ข้าม

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 539.60 | 759.33 | 838.67 | 890.60 | 931.93 | 958.27 | 992.43 | 1,012.07 |
| 200 | 898.13 | 1,331.90 | 1,501.87 | 1,613.70 | 1,688.73 | 1,753.73 | 1,805.47 | 1,846.00 |
| 300 | 1,184.13 | 1,835.30 | 2,098.17 | 2,258.70 | 2,375.57 | 2,474.73 | 2,556.50 | 2,616.20 |
| 400 | 1,421.23 | 2,281.93 | 2,642.33 | 2,862.93 | 3,022.50 | 3,144.50 | 3,255.40 | 3,344.70 |
| 500 | 1,646.73 | 2,696.70 | 3,129.37 | 3,424.70 | 3,633.50 | 3,789.60 | 3,920.40 | 4,029.23 |
| 600 | 1,844.07 | 3,075.33 | 3,613.93 | 3,963.17 | 4,193.27 | 4,400.30 | 4,558.77 | 4,692.33 |
| 700 | 2,023.20 | 3,440.20 | 4,075.07 | 4,445.73 | 4,743.03 | 4,973.70 | 5,165.60 | 5,327.00 |
| 800 | 2,191.83 | 3,777.07 | 4,506.27 | 4,951.00 | 5,283.07 | 5,562.00 | 5,760.90 | 5,952.50 |
| 900 | 2,350.23 | 4,101.90 | 4,902.63 | 5,412.47 | 5,807.10 | 6,086.57 | 6,343.60 | 6,547.07 |
| 1,000 | 2,500.63 | 4,405.43 | 5,305.07 | 5,869.67 | 6,294.37 | 6,620.90 | 6,897.53 | 7,126.10 |

**ข.3 จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบโดยใช้การค้นหาแบบประมาณค่าในช่วง** (ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 30 ครั้ง ของการทดลองครั้งแรก)

**ตารางที่ ข.3.1** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอส

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 464.13 | 563.93 | 600.67 | 624.47 | 629.40 | 638.77 | 654.53 | 658.40 |
| 200 | 826.60 | 1,038.60 | 1,115.50 | 1,164.87 | 1,186.60 | 1,220.27 | 1,235.30 | 1,249.73 |
| 300 | 1,120.00 | 1,484.40 | 1,592.27 | 1,665.93 | 1,701.67 | 1,756.87 | 1,788.53 | 1,798.60 |
| 400 | 1,365.67 | 1,878.90 | 2,057.20 | 2,146.73 | 2,225.00 | 2,262.53 | 2,313.13 | 2,349.27 |
| 500 | 1,599.60 | 2,251.07 | 2,471.40 | 2,625.00 | 2,688.27 | 2,749.87 | 2,811.97 | 2,863.03 |
| 600 | 1,811.67 | 2,606.53 | 2,893.57 | 3,072.47 | 3,151.80 | 3,261.70 | 3,315.03 | 3,388.00 |
| 700 | 2,008.27 | 2,954.47 | 3,286.20 | 3,463.83 | 3,625.80 | 3,703.40 | 3,803.07 | 3,875.20 |
| 800 | 2,173.43 | 3,278.40 | 3,687.67 | 3,901.53 | 4,069.93 | 4,181.67 | 4,267.93 | 4,331.20 |
| 900 | 2,355.00 | 3,589.73 | 4,073.90 | 4,299.20 | 4,493.20 | 4,619.27 | 4,759.67 | 4,828.87 |
| 1,000 | 2,508.03 | 3,881.40 | 4,386.47 | 4,706.97 | 4,916.73 | 5,071.73 | 5,199.30 | 5,303.13 |

**ตารางที่ ข.3.2** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 2 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 463.23 | 559.33 | 600.03 | 618.27 | 626.67 | 635.33 | 649.67 | 653.33 |
| 200 | 804.80 | 1,034.23 | 1,112.63 | 1,147.30 | 1,191.87 | 1,209.90 | 1,213.40 | 1,244.43 |
| 300 | 1,087.73 | 1,457.23 | 1,570.93 | 1,646.47 | 1,703.40 | 1,735.17 | 1,772.70 | 1,794.20 |
| 400 | 1,334.87 | 1,857.40 | 2,038.23 | 2,130.73 | 2,193.97 | 2,249.20 | 2,288.13 | 2,343.33 |
| 500 | 1,562.53 | 2,216.50 | 2,459.30 | 2,575.87 | 2,669.47 | 2,740.90 | 2,817.47 | 2,843.40 |
| 600 | 1,750.57 | 2,595.80 | 2,858.67 | 3,037.10 | 3,131.60 | 3,220.70 | 3,285.53 | 3,344.23 |
| 700 | 1,940.57 | 2,906.47 | 3,251.50 | 3,441.83 | 3,577.20 | 3,685.00 | 3,765.00 | 3,825.47 |
| 800 | 2,098.87 | 3,228.47 | 3,624.03 | 3,853.30 | 4,023.23 | 4,131.80 | 4,218.73 | 4,309.43 |
| 900 | 2,262.40 | 3,538.93 | 3,987.80 | 4,244.77 | 4,448.63 | 4,590.40 | 4,672.30 | 4,793.67 |
| 1,000 | 2,403.73 | 3,813.57 | 4,338.57 | 4,653.87 | 4,849.93 | 5,013.47 | 5,115.57 | 5,237.57 |

**ตารางที่ ข.3.3** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 3 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 458.93 | 555.80 | 600.40 | 621.00 | 629.80 | 636.40 | 653.60 | 655.80 |
| 200 | 800.83 | 1,036.20 | 1,110.53 | 1,150.27 | 1,185.87 | 1,207.20 | 1,224.40 | 1,242.00 |
| 300 | 1,090.70 | 1,459.67 | 1,571.27 | 1,651.47 | 1,701.27 | 1,738.57 | 1,769.87 | 1,794.13 |
| 400 | 1,341.33 | 1,857.00 | 2,036.90 | 2,134.40 | 2,189.67 | 2,255.73 | 2,293.20 | 2,333.13 |
| 500 | 1,568.00 | 2,224.50 | 2,464.47 | 2,586.10 | 2,679.30 | 2,745.00 | 2,808.07 | 2,842.97 |
| 600 | 1,768.10 | 2,587.80 | 2,862.80 | 3,030.27 | 3,145.27 | 3,211.53 | 3,281.20 | 3,338.47 |
| 700 | 1,962.80 | 2,910.53 | 3,245.20 | 3,431.33 | 3,577.57 | 3,674.93 | 3,773.27 | 3,837.00 |
| 800 | 2,123.73 | 3,236.87 | 3,626.07 | 3,855.03 | 4,020.93 | 4,143.07 | 4,233.00 | 4,312.40 |
| 900 | 2,296.10 | 3,531.03 | 3,989.27 | 4,258.47 | 4,454.07 | 4,589.40 | 4,684.53 | 4,780.50 |
| 1,000 | 2,443.47 | 3,832.93 | 4,345.73 | 4,655.27 | 4,850.13 | 5,008.17 | 5,120.67 | 5,224.87 |

**ตารางที่ ข.3.4** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 4 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 461.00 | 562.20 | 600.87 | 614.13 | 627.73 | 634.73 | 649.93 | 650.20 |
| 200 | 806.43 | 1,034.13 | 1,111.33 | 1,148.53 | 1,175.60 | 1,207.73 | 1,223.00 | 1,245.13 |
| 300 | 1,093.83 | 1,463.80 | 1,578.73 | 1,653.87 | 1,702.93 | 1,736.50 | 1,782.47 | 1,790.07 |
| 400 | 1,343.93 | 1,857.87 | 2,036.23 | 2,129.67 | 2,196.20 | 2,256.67 | 2,293.40 | 2,336.27 |
| 500 | 1,577.20 | 2,228.37 | 2,465.13 | 2,586.97 | 2,678.70 | 2,739.20 | 2,806.20 | 2,851.10 |
| 600 | 1,785.87 | 2,591.83 | 2,860.33 | 3,031.07 | 3,134.67 | 3,220.73 | 3,282.73 | 3,348.97 |
| 700 | 1,977.00 | 2,919.67 | 3,244.40 | 3,445.90 | 3,585.63 | 3,693.67 | 3,759.53 | 3,824.53 |
| 800 | 2,146.33 | 3,243.50 | 3,632.37 | 3,858.33 | 4,026.40 | 4,143.87 | 4,238.47 | 4,324.20 |
| 900 | 2,317.30 | 3,554.73 | 3,999.77 | 4,252.20 | 4,465.60 | 4,602.00 | 4,683.40 | 4,785.43 |
| 1,000 | 2,467.67 | 3,845.03 | 4,360.97 | 4,662.00 | 4,849.27 | 5,017.83 | 5,112.47 | 5,244.07 |

**ตารางที่ ข.3.5** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 5 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 460.93 | 554.60 | 601.33 | 616.60 | 628.67 | 633.73 | 651.60 | 649.47 |
| 200 | 803.87 | 1,030.13 | 1,106.60 | 1,147.93 | 1,188.60 | 1,209.33 | 1,219.87 | 1,246.53 |
| 300 | 1,096.87 | 1,457.87 | 1,579.47 | 1,653.33 | 1,701.33 | 1,742.50 | 1,782.27 | 1,796.67 |
| 400 | 1,349.33 | 1,858.13 | 2,035.90 | 2,131.87 | 2,203.53 | 2,256.87 | 2,300.20 | 2,336.47 |
| 500 | 1,579.47 | 2,234.47 | 2,472.40 | 2,577.17 | 2,672.03 | 2,756.00 | 2,811.73 | 2,854.43 |
| 600 | 1,782.70 | 2,601.60 | 2,868.47 | 3,030.93 | 3,137.60 | 3,221.87 | 3,289.93 | 3,361.23 |
| 700 | 1,983.87 | 2,922.60 | 3,260.40 | 3,433.73 | 3,601.70 | 3,686.00 | 3,767.33 | 3,838.73 |
| 800 | 2,160.00 | 3,246.40 | 3,635.53 | 3,870.67 | 4,034.27 | 4,153.60 | 4,244.60 | 4,312.40 |
| 900 | 2,337.43 | 3,552.93 | 4,008.13 | 4,254.93 | 4,460.47 | 4,602.33 | 4,693.67 | 4,777.03 |
| 1,000 | 2,488.73 | 3,839.00 | 4,356.33 | 4,664.53 | 4,841.87 | 5,010.63 | 5,137.87 | 5,244.93 |

**ตารางที่ ข.3.6** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 6 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 460.67 | 559.20 | 598.07 | 615.53 | 631.40 | 637.33 | 650.33 | 654.00 |
| 200 | 804.97 | 1,031.40 | 1,111.40 | 1,147.00 | 1,183.40 | 1,207.73 | 1,227.40 | 1,241.20 |
| 300 | 1,095.33 | 1,457.87 | 1,583.33 | 1,662.13 | 1,697.33 | 1,745.43 | 1,786.47 | 1,804.73 |
| 400 | 1,347.53 | 1,863.73 | 2,036.37 | 2,142.20 | 2,201.33 | 2,254.40 | 2,291.07 | 2,339.80 |
| 500 | 1,582.60 | 2,232.83 | 2,467.20 | 2,588.90 | 2,678.37 | 2,754.00 | 2,817.53 | 2,857.70 |
| 600 | 1,786.93 | 2,604.80 | 2,869.87 | 3,039.53 | 3,138.40 | 3,236.60 | 3,286.47 | 3,343.57 |
| 700 | 1,991.97 | 2,931.67 | 3,271.67 | 3,430.27 | 3,588.83 | 3,694.67 | 3,775.00 | 3,836.53 |
| 800 | 2,166.37 | 3,247.47 | 3,641.00 | 3,862.17 | 4,029.67 | 4,149.80 | 4,245.47 | 4,327.33 |
| 900 | 2,340.77 | 3,558.00 | 4,010.40 | 4,257.87 | 4,467.67 | 4,609.07 | 4,693.47 | 4,788.10 |
| 1,000 | 2,497.63 | 3,849.20 | 4,362.67 | 4,665.13 | 4,862.07 | 5,028.23 | 5,129.80 | 5,258.93 |

**ตารางที่ ข.3.7** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 7 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 462.80 | 557.60 | 601.00 | 614.80 | 626.93 | 635.60 | 651.33 | 652.73 |
| 200 | 802.40 | 1,032.27 | 1,104.07 | 1,147.73 | 1,185.13 | 1,207.67 | 1,226.07 | 1,242.33 |
| 300 | 1,102.00 | 1,459.27 | 1,584.00 | 1,657.73 | 1,700.13 | 1,737.50 | 1,783.60 | 1,798.73 |
| 400 | 1,354.80 | 1,864.40 | 2,035.43 | 2,130.33 | 2,202.60 | 2,261.53 | 2,300.93 | 2,338.60 |
| 500 | 1,581.47 | 2,232.53 | 2,459.67 | 2,579.43 | 2,678.70 | 2,754.73 | 2,810.60 | 2,856.63 |
| 600 | 1,786.77 | 2,592.80 | 2,871.93 | 3,036.53 | 3,138.00 | 3,227.20 | 3,287.00 | 3,349.37 |
| 700 | 1,996.87 | 2,933.47 | 3,256.47 | 3,438.47 | 3,602.50 | 3,700.40 | 3,771.33 | 3,839.27 |
| 800 | 2,170.63 | 3,261.60 | 3,632.80 | 3,858.37 | 4,031.47 | 4,149.40 | 4,244.60 | 4,324.67 |
| 900 | 2,352.20 | 3,560.87 | 4,012.47 | 4,256.93 | 4,464.27 | 4,621.67 | 4,689.60 | 4,804.23 |
| 1,000 | 2,507.47 | 3,840.80 | 4,364.00 | 4,675.87 | 4,849.27 | 5,039.97 | 5,133.73 | 5,254.13 |

**ตารางที่ ข.3.8** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 8 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 463.80 | 553.93 | 601.33 | 620.60 | 631.87 | 635.80 | 657.33 | 654.67 |
| 200 | 807.60 | 1,036.80 | 1,114.53 | 1,149.13 | 1,176.93 | 1,204.00 | 1,224.60 | 1,243.20 |
| 300 | 1,101.00 | 1,461.67 | 1,580.73 | 1,661.73 | 1,696.93 | 1,740.70 | 1,781.87 | 1,800.60 |
| 400 | 1,356.67 | 1,862.80 | 2,036.17 | 2,141.87 | 2,210.60 | 2,253.13 | 2,295.53 | 2,336.27 |
| 500 | 1,579.77 | 2,236.33 | 2,462.07 | 2,587.50 | 2,681.10 | 2,757.00 | 2,819.20 | 2,855.63 |
| 600 | 1,795.23 | 2,606.13 | 2,876.27 | 3,031.73 | 3,135.80 | 3,225.87 | 3,290.67 | 3,351.90 |
| 700 | 1,993.00 | 2,938.33 | 3,262.47 | 3,446.27 | 3,590.03 | 3,703.07 | 3,776.87 | 3,841.67 |
| 800 | 2,171.43 | 3,254.67 | 3,640.00 | 3,862.80 | 4,027.13 | 4,151.40 | 4,248.67 | 4,328.87 |
| 900 | 2,352.77 | 3,575.27 | 4,019.47 | 4,253.33 | 4,471.13 | 4,602.73 | 4,688.40 | 4,785.70 |
| 1,000 | 2,515.50 | 3,857.47 | 4,370.33 | 4,675.07 | 4,854.13 | 5,033.70 | 5,132.73 | 5,248.47 |

**ตารางที่ ข.3.9** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 9 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 461.73 | 555.47 | 600.73 | 616.73 | 627.53 | 633.67 | 651.07 | 654.73 |
| 200 | 808.17 | 1,042.40 | 1,113.93 | 1,151.67 | 1,181.87 | 1,210.73 | 1,226.73 | 1,238.93 |
| 300 | 1,100.03 | 1,464.13 | 1,583.20 | 1,651.93 | 1,698.80 | 1,739.83 | 1,781.07 | 1,803.73 |
| 400 | 1,355.13 | 1,870.20 | 2,033.17 | 2,141.73 | 2,207.60 | 2,257.93 | 2,287.27 | 2,334.20 |
| 500 | 1,584.60 | 2,240.47 | 2,473.93 | 2,593.37 | 2,676.30 | 2,758.93 | 2,811.40 | 2,861.90 |
| 600 | 1,792.20 | 2,605.67 | 2,875.13 | 3,047.07 | 3,146.73 | 3,227.07 | 3,281.07 | 3,358.57 |
| 700 | 1,998.07 | 2,930.00 | 3,262.47 | 3,433.73 | 3,592.77 | 3,705.20 | 3,781.13 | 3,838.07 |
| 800 | 2,175.93 | 3,258.00 | 3,646.87 | 3,867.60 | 4,042.67 | 4,158.33 | 4,238.13 | 4,323.53 |
| 900 | 2,348.77 | 3,576.27 | 4,002.60 | 4,264.13 | 4,479.07 | 4,603.13 | 4,695.93 | 4,786.43 |
| 1,000 | 2,506.60 | 3,852.87 | 4,376.33 | 4,672.73 | 4,872.53 | 5,027.23 | 5,140.47 | 5,252.67 |

**ตารางที่ ข.3.10** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 10 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 463.73 | 560.47 | 603.87 | 619.27 | 626.67 | 637.60 | 647.93 | 655.47 |
| 200 | 805.93 | 1,033.33 | 1,112.80 | 1,147.27 | 1,184.33 | 1,209.40 | 1,222.07 | 1,247.67 |
| 300 | 1,099.93 | 1,465.00 | 1,583.73 | 1,649.60 | 1,695.00 | 1,739.43 | 1,776.67 | 1,795.87 |
| 400 | 1,354.80 | 1,859.40 | 2,036.90 | 2,139.33 | 2,207.73 | 2,256.80 | 2,296.13 | 2,340.13 |
| 500 | 1,585.27 | 2,244.00 | 2,476.00 | 2,586.77 | 2,687.10 | 2,757.67 | 2,817.73 | 2,866.90 |
| 600 | 1,793.73 | 2,606.67 | 2,880.67 | 3,033.67 | 3,144.87 | 3,231.87 | 3,289.93 | 3,372.30 |
| 700 | 1,996.60 | 2,931.93 | 3,266.53 | 3,434.67 | 3,595.50 | 3,699.53 | 3,788.07 | 3,847.80 |
| 800 | 2,174.33 | 3,255.87 | 3,647.73 | 3,873.07 | 4,037.13 | 4,165.00 | 4,244.00 | 4,325.93 |
| 900 | 2,348.93 | 3,572.47 | 4,023.67 | 4,266.20 | 4,470.27 | 4,615.00 | 4,690.40 | 4,802.43 |
| 1,000 | 2,510.93 | 3,857.33 | 4,377.07 | 4,684.27 | 4,854.73 | 5,032.43 | 5,153.53 | 5,259.47 |

**ตารางที่ ข.3.11** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 11 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 465.80 | 558.60 | 599.47 | 618.33 | 630.13 | 634.00 | 654.07 | 655.07 |
| 200 | 803.63 | 1,035.13 | 1,108.47 | 1,148.27 | 1,183.27 | 1,207.67 | 1,224.87 | 1,246.80 |
| 300 | 1,105.10 | 1,467.87 | 1,589.93 | 1,659.53 | 1,701.93 | 1,744.63 | 1,777.80 | 1,797.13 |
| 400 | 1,357.87 | 1,859.53 | 2,033.77 | 2,144.27 | 2,213.13 | 2,254.33 | 2,298.40 | 2,339.13 |
| 500 | 1,585.67 | 2,246.00 | 2,466.53 | 2,595.90 | 2,682.70 | 2,764.87 | 2,808.73 | 2,861.57 |
| 600 | 1,795.47 | 2,608.00 | 2,877.87 | 3,046.80 | 3,146.53 | 3,237.73 | 3,284.87 | 3,358.70 |
| 700 | 1,996.07 | 2,939.13 | 3,268.47 | 3,430.53 | 3,588.63 | 3,711.93 | 3,783.13 | 3,847.20 |
| 800 | 2,174.93 | 3,252.47 | 3,637.80 | 3,873.33 | 4,039.93 | 4,160.93 | 4,237.60 | 4,321.87 |
| 900 | 2,357.10 | 3,581.53 | 4,012.80 | 4,250.33 | 4,473.87 | 4,612.67 | 4,699.67 | 4,796.43 |
| 1,000 | 2,511.07 | 3,857.67 | 4,365.13 | 4,682.93 | 4,864.80 | 5,025.57 | 5,151.93 | 5,254.40 |

**ตารางที่ ข.3.12** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 12 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 465.40 | 555.53 | 600.80 | 615.60 | 630.13 | 635.80 | 651.07 | 655.93 |
| 200 | 807.07 | 1,032.87 | 1,113.33 | 1,148.93 | 1,184.80 | 1,203.13 | 1,228.20 | 1,241.87 |
| 300 | 1,099.73 | 1,464.07 | 1,588.73 | 1,657.00 | 1,697.20 | 1,738.17 | 1,783.33 | 1,801.73 |
| 400 | 1,352.80 | 1,867.87 | 2,036.43 | 2,149.80 | 2,208.73 | 2,258.00 | 2,298.80 | 2,340.73 |
| 500 | 1,590.00 | 2,240.33 | 2,479.53 | 2,588.57 | 2,688.90 | 2,755.73 | 2,817.40 | 2,855.83 |
| 600 | 1,801.00 | 2,613.20 | 2,879.40 | 3,044.20 | 3,144.73 | 3,229.67 | 3,287.87 | 3,352.10 |
| 700 | 1,999.90 | 2,943.80 | 3,269.00 | 3,447.60 | 3,592.10 | 3,704.40 | 3,778.60 | 3,844.33 |
| 800 | 2,171.80 | 3,255.73 | 3,644.93 | 3,865.40 | 4,045.73 | 4,161.40 | 4,255.47 | 4,321.20 |
| 900 | 2,349.70 | 3,575.73 | 4,014.07 | 4,272.40 | 4,482.20 | 4,627.73 | 4,697.53 | 4,801.63 |
| 1,000 | 2,515.80 | 3,867.80 | 4,377.13 | 4,681.33 | 4,871.60 | 5,042.63 | 5,137.20 | 5,265.47 |

**ตารางที่ ข.3.13** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 13 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 466.47 | 559.20 | 596.20 | 617.67 | 634.07 | 636.00 | 650.87 | 651.40 |
| 200 | 807.47 | 1,037.47 | 1,106.80 | 1,149.73 | 1,188.67 | 1,208.33 | 1,228.60 | 1,238.87 |
| 300 | 1,102.33 | 1,461.80 | 1,589.07 | 1,661.47 | 1,699.93 | 1,739.50 | 1,779.67 | 1,798.53 |
| 400 | 1,352.40 | 1,872.20 | 2,032.70 | 2,140.73 | 2,203.07 | 2,257.20 | 2,294.47 | 2,334.73 |
| 500 | 1,586.40 | 2,252.27 | 2,481.13 | 2,600.37 | 2,691.50 | 2,753.80 | 2,815.53 | 2,868.83 |
| 600 | 1,792.43 | 2,617.53 | 2,885.73 | 3,055.80 | 3,149.07 | 3,237.53 | 3,298.73 | 3,367.63 |
| 700 | 1,998.07 | 2,939.53 | 3,262.87 | 3,447.67 | 3,595.57 | 3,700.80 | 3,780.07 | 3,847.07 |
| 800 | 2,171.80 | 3,256.40 | 3,640.80 | 3,870.93 | 4,051.20 | 4,155.40 | 4,243.67 | 4,333.33 |
| 900 | 2,343.03 | 3,582.37 | 4,028.20 | 4,266.47 | 4,477.00 | 4,616.87 | 4,701.80 | 4,800.57 |
| 1,000 | 2,512.93 | 3,858.53 | 4,387.93 | 4,691.47 | 4,870.67 | 5,027.50 | 5,133.07 | 5,252.40 |

**ตารางที่ ข.3.14** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 14 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 467.20 | 556.67 | 600.33 | 615.07 | 629.33 | 638.07 | 650.00 | 654.13 |
| 200 | 806.60 | 1,037.00 | 1,107.00 | 1,146.27 | 1,186.60 | 1,201.33 | 1,224.93 | 1,237.47 |
| 300 | 1,105.07 | 1,462.53 | 1,589.87 | 1,656.53 | 1,705.27 | 1,738.10 | 1,786.53 | 1,804.47 |
| 400 | 1,355.20 | 1,868.93 | 2,044.43 | 2,143.07 | 2,210.13 | 2,266.07 | 2,300.40 | 2,344.13 |
| 500 | 1,587.67 | 2,243.47 | 2,470.93 | 2,593.77 | 2,686.77 | 2,752.93 | 2,812.47 | 2,858.30 |
| 600 | 1,799.33 | 2,615.73 | 2,886.07 | 3,050.87 | 3,144.80 | 3,235.60 | 3,288.67 | 3,356.37 |
| 700 | 2,002.47 | 2,941.07 | 3,265.27 | 3,452.00 | 3,603.30 | 3,702.33 | 3,794.93 | 3,841.80 |
| 800 | 2,170.30 | 3,265.80 | 3,651.53 | 3,872.30 | 4,041.60 | 4,160.20 | 4,250.47 | 4,326.93 |
| 900 | 2,355.27 | 3,576.13 | 4,017.87 | 4,271.47 | 4,470.07 | 4,627.80 | 4,698.00 | 4,806.43 |
| 1,000 | 2,506.77 | 3,857.20 | 4,380.40 | 4,686.93 | 4,865.87 | 5,044.30 | 5,146.27 | 5,263.20 |

**ตารางที่ ข.3.15** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 15 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 465.47 | 559.53 | 604.87 | 617.27 | 630.07 | 636.40 | 649.53 | 653.60 |
| 200 | 807.20 | 1,037.67 | 1,116.13 | 1,146.67 | 1,188.07 | 1,212.87 | 1,224.53 | 1,242.40 |
| 300 | 1,104.67 | 1,459.47 | 1,588.27 | 1,664.60 | 1,707.87 | 1,744.57 | 1,788.53 | 1,799.87 |
| 400 | 1,359.33 | 1,863.27 | 2,040.57 | 2,144.07 | 2,210.53 | 2,256.87 | 2,292.47 | 2,335.13 |
| 500 | 1,593.40 | 2,244.60 | 2,470.07 | 2,595.17 | 2,684.97 | 2,759.20 | 2,820.20 | 2,868.23 |
| 600 | 1,801.27 | 2,604.47 | 2,885.13 | 3,047.53 | 3,141.47 | 3,236.00 | 3,292.13 | 3,367.17 |
| 700 | 1,993.33 | 2,940.40 | 3,268.20 | 3,444.93 | 3,597.43 | 3,698.93 | 3,785.07 | 3,847.27 |
| 800 | 2,170.93 | 3,253.87 | 3,649.33 | 3,879.27 | 4,055.07 | 4,166.40 | 4,250.87 | 4,340.13 |
| 900 | 2,350.20 | 3,577.33 | 4,025.93 | 4,270.00 | 4,475.33 | 4,619.47 | 4,700.67 | 4,796.77 |
| 1,000 | 2,514.27 | 3,859.40 | 4,376.47 | 4,693.73 | 4,875.67 | 5,028.50 | 5,154.07 | 5,264.20 |

**ตารางที่ ข.3.16** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 16 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 464.00 | 556.07 | 603.33 | 616.87 | 628.93 | 636.47 | 656.33 | 656.73 |
| 200 | 807.40 | 1,038.07 | 1,115.20 | 1,149.87 | 1,189.53 | 1,206.93 | 1,222.00 | 1,241.20 |
| 300 | 1,105.00 | 1,464.13 | 1,592.60 | 1,657.73 | 1,709.73 | 1,742.43 | 1,784.53 | 1,795.93 |
| 400 | 1,361.87 | 1,868.60 | 2,047.57 | 2,145.53 | 2,212.20 | 2,258.20 | 2,303.07 | 2,340.13 |
| 500 | 1,587.83 | 2,240.27 | 2,472.13 | 2,599.90 | 2,688.50 | 2,751.00 | 2,821.47 | 2,861.37 |
| 600 | 1,797.80 | 2,607.27 | 2,878.33 | 3,048.07 | 3,134.27 | 3,231.47 | 3,298.60 | 3,359.70 |
| 700 | 2,000.80 | 2,945.13 | 3,270.67 | 3,445.07 | 3,595.10 | 3,707.33 | 3,780.73 | 3,844.67 |
| 800 | 2,178.07 | 3,255.33 | 3,636.73 | 3,866.80 | 4,039.60 | 4,158.40 | 4,254.20 | 4,326.33 |
| 900 | 2,350.07 | 3,586.80 | 4,030.73 | 4,272.53 | 4,480.93 | 4,625.73 | 4,687.13 | 4,810.50 |
| 1,000 | 2,514.97 | 3,862.87 | 4,384.87 | 4,693.20 | 4,869.67 | 5,046.10 | 5,148.13 | 5,263.47 |

**ตารางที่ ข.3.17** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 17 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 464.80 | 553.80 | 596.00 | 613.13 | 626.53 | 638.53 | 654.00 | 653.60 |
| 200 | 804.73 | 1,034.87 | 1,112.67 | 1,150.67 | 1,184.07 | 1,210.07 | 1,224.27 | 1,243.73 |
| 300 | 1,106.93 | 1,461.73 | 1,594.07 | 1,658.00 | 1,703.47 | 1,743.03 | 1,787.53 | 1,805.53 |
| 400 | 1,360.47 | 1,867.47 | 2,041.70 | 2,151.33 | 2,209.27 | 2,256.20 | 2,303.80 | 2,336.07 |
| 500 | 1,592.40 | 2,242.13 | 2,480.27 | 2,609.50 | 2,689.63 | 2,758.60 | 2,810.87 | 2,863.83 |
| 600 | 1,795.17 | 2,611.93 | 2,888.93 | 3,057.67 | 3,145.00 | 3,230.40 | 3,294.93 | 3,365.43 |
| 700 | 1,993.80 | 2,945.67 | 3,278.23 | 3,455.67 | 3,593.43 | 3,710.27 | 3,768.33 | 3,841.27 |
| 800 | 2,167.80 | 3,266.07 | 3,649.33 | 3,884.33 | 4,050.20 | 4,156.67 | 4,247.80 | 4,319.73 |
| 900 | 2,350.87 | 3,578.93 | 4,033.00 | 4,269.40 | 4,485.13 | 4,628.20 | 4,695.20 | 4,816.43 |
| 1,000 | 2,507.27 | 3,862.67 | 4,392.67 | 4,695.20 | 4,874.20 | 5,038.37 | 5,152.13 | 5,257.33 |

**ตารางที่ ข.3.18** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 18 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 462.93 | 557.87 | 597.73 | 615.60 | 630.93 | 637.40 | 648.47 | 654.33 |
| 200 | 808.43 | 1,040.73 | 1,117.40 | 1,147.00 | 1,184.93 | 1,207.13 | 1,222.07 | 1,240.53 |
| 300 | 1,102.33 | 1,461.87 | 1,589.00 | 1,661.93 | 1,699.67 | 1,746.30 | 1,779.73 | 1,804.80 |
| 400 | 1,358.93 | 1,868.33 | 2,040.17 | 2,149.47 | 2,213.13 | 2,262.53 | 2,299.53 | 2,335.93 |
| 500 | 1,586.33 | 2,252.40 | 2,478.27 | 2,599.70 | 2,685.50 | 2,757.80 | 2,823.13 | 2,868.57 |
| 600 | 1,798.53 | 2,607.87 | 2,887.20 | 3,053.73 | 3,147.13 | 3,232.33 | 3,290.40 | 3,361.10 |
| 700 | 1,997.73 | 2,934.27 | 3,273.13 | 3,443.60 | 3,596.77 | 3,704.67 | 3,782.80 | 3,844.73 |
| 800 | 2,172.47 | 3,266.60 | 3,648.87 | 3,874.00 | 4,053.07 | 4,162.67 | 4,259.27 | 4,327.67 |
| 900 | 2,349.73 | 3,586.60 | 4,017.47 | 4,271.27 | 4,491.80 | 4,629.67 | 4,703.60 | 4,802.23 |
| 1,000 | 2,511.47 | 3,863.07 | 4,387.87 | 4,691.07 | 4,881.87 | 5,034.43 | 5,155.53 | 5,271.13 |

**ตารางที่ ข.3.19** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 19 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 465.80 | 556.27 | 600.60 | 619.67 | 634.93 | 635.40 | 649.93 | 655.33 |
| 200 | 803.93 | 1,034.67 | 1,117.67 | 1,152.60 | 1,183.47 | 1,209.07 | 1,226.00 | 1,244.73 |
| 300 | 1,105.93 | 1,461.40 | 1,585.73 | 1,659.80 | 1,711.27 | 1,748.63 | 1,783.93 | 1,808.80 |
| 400 | 1,360.13 | 1,874.93 | 2,041.43 | 2,146.07 | 2,205.93 | 2,262.13 | 2,295.93 | 2,337.07 |
| 500 | 1,592.87 | 2,245.20 | 2,489.13 | 2,598.43 | 2,688.77 | 2,755.20 | 2,819.33 | 2,869.23 |
| 600 | 1,802.40 | 2,613.27 | 2,877.73 | 3,049.20 | 3,152.93 | 3,234.93 | 3,287.67 | 3,360.50 |
| 700 | 1,998.93 | 2,944.20 | 3,273.07 | 3,444.20 | 3,607.10 | 3,696.47 | 3,790.67 | 3,842.67 |
| 800 | 2,174.03 | 3,257.67 | 3,643.80 | 3,872.23 | 4,045.80 | 4,166.80 | 4,254.40 | 4,331.20 |
| 900 | 2,351.27 | 3,588.47 | 4,023.47 | 4,270.93 | 4,483.53 | 4,628.67 | 4,703.73 | 4,796.70 |
| 1,000 | 2,509.20 | 3,874.27 | 4,392.80 | 4,692.73 | 4,884.67 | 5,047.10 | 5,161.80 | 5,266.00 |

**ตารางที่ ข.3.20** จำนวนคำสั่งเปรียบเทียบของวิธีเอสวีเอสโดยใช้การข้าม 20 ตำแหน่ง

| m\n | 1,000 | 4,000 | 7,000 | 10,000 | 13,000 | 16,000 | 19,000 | 22,000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **100** | 465.40 | 556.67 | 605.40 | 616.80 | 629.93 | 637.20 | 651.40 | 657.33 |
| **200** | 805.93 | 1,034.60 | 1,113.07 | 1,151.20 | 1,187.67 | 1,209.13 | 1,225.87 | 1,243.93 |
| **300** | 1,103.00 | 1,464.33 | 1,589.13 | 1,654.47 | 1,704.60 | 1,739.50 | 1,783.80 | 1,798.00 |
| **400** | 1,358.27 | 1,868.40 | 2,032.77 | 2,142.40 | 2,208.20 | 2,261.13 | 2,298.20 | 2,340.47 |
| **500** | 1,590.80 | 2,248.40 | 2,483.47 | 2,600.37 | 2,692.90 | 2,764.53 | 2,818.47 | 2,865.90 |
| **600** | 1,798.93 | 2,612.67 | 2,884.67 | 3,045.40 | 3,143.40 | 3,231.53 | 3,287.33 | 3,366.03 |
| **700** | 2,003.67 | 2,936.40 | 3,280.33 | 3,455.87 | 3,596.23 | 3,710.27 | 3,785.47 | 3,843.67 |
| **800** | 2,174.20 | 3,265.27 | 3,649.13 | 3,887.07 | 4,057.73 | 4,171.73 | 4,254.13 | 4,339.40 |
| **900** | 2,351.07 | 3,588.60 | 4,041.00 | 4,277.40 | 4,484.67 | 4,629.87 | 4,703.40 | 4,806.43 |
| **1,000** | 2,513.20 | 3,862.40 | 4,386.47 | 4,693.33 | 4,874.13 | 5,039.37 | 5,157.13 | 5,268.20 |

# ภาคผนวก ค.

# ค่าสถิติที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน

เป็นค่าสถิติที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม Microsoft Excel 2003 โดยใช้ Data Analysis Tools เมนู t-Test:Pared Two Sample for Means เพื่อใช้ทดสอบสมมติฐาน ที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.5.2.1

**ตารางที่ ค** ค่าสถิติที่ใช้ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสมมติฐาน 4.1 แล 4.2

| | | | ทดสอบสมมติฐาน 4.1 | | | ทดสอบสมมติฐาน 4.2 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| m | n | t Stat | p(T<=t) | t Critical | $H_0$ | p(T<=t) | t Critical | $H_0$ |
| 100 | 1,000 | 0.55776 | 0.581288 | 2.04523 | ยอมรับ | 0.290644 | 1.69913 | ยอมรับ |
| 100 | 4,000 | 0.48966 | 0.628057 | 2.04523 | ยอมรับ | 0.314029 | 1.69913 | ยอมรับ |
| 100 | 7,000 | 1.05498 | 0.300145 | 2.04523 | ยอมรับ | 0.150073 | 1.69913 | ยอมรับ |
| 100 | 1,000 | 0.4147 | 0.681415 | 2.04523 | ยอมรับ | 0.340707 | 1.69913 | ยอมรับ |
| 100 | 13,000 | 0.63565 | 0.52999 | 2.04523 | ยอมรับ | 0.264995 | 1.69913 | ยอมรับ |
| 100 | 16,000 | 0.06017 | 0.95243 | 2.04523 | ยอมรับ | 0.476215 | 1.69913 | ยอมรับ |
| 100 | 19,000 | 0.41881 | 0.678438 | 2.04523 | ยอมรับ | 0.339219 | 1.69913 | ยอมรับ |
| 100 | 22,000 | -0.11978 | 0.905481 | 2.04523 | ยอมรับ | 0.45274 | 1.69913 | ยอมรับ |
| 200 | 1,000 | 5.08755 | 1.99E-05 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 200 | 4,000 | 3.55122 | 0.001332 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 200 | 7,000 | 1.51186 | 0.141392 | 2.04523 | ยอมรับ | 0.070696 | 1.69913 | ยอมรับ |
| 200 | 1,000 | 2.74355 | 0.010314 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 200 | 13,000 | 0.60301 | 0.551187 | 2.04523 | ยอมรับ | 0.275593 | 1.69913 | ยอมรับ |
| 200 | 16,000 | 1.14054 | 0.263391 | 2.04523 | ยอมรับ | 0.131696 | 1.69913 | ยอมรับ |
| 200 | 19,000 | 0.64992 | 0.520862 | 2.04523 | ยอมรับ | 0.260431 | 1.69913 | ยอมรับ |
| 200 | 22,000 | 1.32537 | 0.195395 | 2.04523 | ยอมรับ | 0.097698 | 1.69913 | ยอมรับ |
| 300 | 1,000 | 6.38566 | 5.56E-07 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 300 | 4,000 | 3.55425 | 0.001321 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 300 | 7,000 | 1.12518 | 0.269739 | 2.04523 | ยอมรับ | 0.13487 | 1.69913 | ยอมรับ |
| 300 | 1,000 | 0.9056 | 0.372609 | 2.04523 | ยอมรับ | 0.186305 | 1.69913 | ยอมรับ |
| 300 | 13,000 | 0.34987 | 0.728968 | 2.04523 | ยอมรับ | 0.364484 | 1.69913 | ยอมรับ |
| 300 | 16,000 | 2.36208 | 0.025099 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 300 | 19,000 | 1.68112 | 0.103481 | 2.04523 | ยอมรับ | 0.051741 | 1.69913 | ยอมรับ |
| 300 | 22,000 | 1.26377 | 0.216377 | 2.04523 | ยอมรับ | 0.108189 | 1.69913 | ยอมรับ |
| 400 | 1,000 | 10.646 | 1.57E-11 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 400 | 4,000 | 5.85696 | 2.36E-06 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 400 | 7,000 | 2.68758 | 0.011795 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 400 | 1,000 | 2.79937 | 0.009012 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 400 | 13,000 | 3.2966 | 0.00259 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 400 | 16,000 | 1.6232 | 0.115369 | 2.04523 | ยอมรับ | 0.057684 | 1.69913 | ยอมรับ |
| 400 | 19,000 | 1.22218 | 0.231479 | 2.04523 | ยอมรับ | 0.11574 | 1.69913 | ยอมรับ |
| 400 | 22,000 | 2.97741 | 0.005818 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 500 | 1,000 | 9.67885 | 1.38E-10 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 500 | 4,000 | 4.66916 | 6.36E-05 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 500 | 7,000 | 3.12179 | 0.004049 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 500 | 1,000 | 4.46924 | 0.000111 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 500 | 13,000 | 5.57593 | 5.13E-06 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 500 | 16,000 | 2.27941 | 0.030184 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |

| | | | ทดสอบสมมติฐาน 4.1 | | | ทดสอบสมมติฐาน 4.2 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| m | n | t Stat | p(T<=t) | t Critical | $H_0$ | p(T<=t) | t Critical | $H_0$ |
| 500 | 19,000 | 3.04094 | 0.004964 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 500 | 22,000 | 3.51623 | 0.001461 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 600 | 1,000 | 13.6783 | 3.54E-14 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 600 | 4,000 | 7.81789 | 1.27E-08 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 600 | 7,000 | 5.08626 | 2E-05 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 600 | 1,000 | 3.54376 | 0.001359 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 600 | 13,000 | 2.48577 | 0.018937 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 600 | 16,000 | 4.70114 | 5.82E-05 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 600 | 19,000 | 3.63587 | 0.001065 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 600 | 22,000 | 5.82861 | 2.55E-06 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 700 | 1,000 | 13.9699 | 2.07E-14 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 700 | 4,000 | 8.05073 | 7.05E-09 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 700 | 7,000 | 6.26299 | 7.76E-07 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 700 | 1,000 | 7.18694 | 6.53E-08 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 700 | 13,000 | 9.7853 | 1.08E-10 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 700 | 16,000 | 4.7972 | 4.46E-05 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 700 | 19,000 | 3.50131 | 0.001519 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 700 | 22,000 | 5.72241 | 3.42E-06 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 800 | 1,000 | 19.4988 | 3.26E-18 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 800 | 4,000 | 9.76126 | 1.14E-10 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 800 | 7,000 | 6.4902 | 4.19E-07 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 800 | 1,000 | 5.62933 | 4.42E-06 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 800 | 13,000 | 6.35531 | 6.04E-07 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 800 | 16,000 | 4.57862 | 8.17E-05 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 800 | 19,000 | 5.37462 | 8.96E-06 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 800 | 22,000 | 4.45244 | 0.000116 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 900 | 1,000 | 20.7651 | 5.92E-19 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 900 | 4,000 | 11.5365 | 2.34E-12 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 900 | 7,000 | 9.64955 | 1.47E-10 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 900 | 1,000 | 4.69261 | 5.96E-05 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 900 | 13,000 | 7.84694 | 1.18E-08 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 900 | 16,000 | 4.70849 | 5.7E-05 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 900 | 19,000 | 6.39544 | 5.42E-07 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 900 | 22,000 | 4.35514 | 0.000151 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 1,000 | 1,000 | 27.0224 | 4.12E-22 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 1,000 | 4,000 | 10.0512 | 5.88E-11 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 1,000 | 7,000 | 7.76832 | 1.44E-08 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 1,000 | 1,000 | 7.76882 | 1.44E-08 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 1,000 | 13,000 | 6.11039 | 1.18E-06 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 1,000 | 16,000 | 8.09742 | 6.27E-09 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 1,000 | 19,000 | 5.537 | 5.71E-06 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |
| 1,000 | 22,000 | 5.87727 | 2.23E-06 | 2.04523 | ปฏิเสธ | | | |

# ประวัติผู้เขียน

| | |
|---|---|
| ชื่อ – สกุล | นายจรัสเดช ชัชวาลย์ |
| วัน เดือน ปีเกิด | 12 พฤศจิกายน 2523 |
| ที่อยู่ | 18/2 หมู่ 2 ตำบลศาลาแดง อำเภอเมือง จังหวัดอ่างทอง 14000 |
| ประวัติการศึกษา | |
| 2546 | จบการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต |
| | สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ สถาบันราชภัฏพระนครศรีอยุธยา |
| ประวัติการทำงาน | |
| กรกฎาคม 2547 | ข้าราชการครู โรงเรียนอ่างทองปัทมโรจน์วิทยาคม จังหวัดอ่างทอง |