บทที่ 3

แนวคิด และ ทฤษฎี

ฐานข้อมูล (database) เป็นการจัดเก็บรวบรวมข้อมูลเข้าไว้ด้วยกัน โดยมีระบบจัดการฐานข้อมูล เป็นผู้ดำเนินการจัดเก็บ ค้นหา เพิ่มเติม แก้ไข ลบ ข้อมูลเหล่านี้ องค์ประกอบหลักของฐานข้อมูลคือ ข้อมูล และระบบจัดการฐานข้อมูล

1. ระบบฐานข้อมูล[5,6,7,8,9,10]

ระบบฐานข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบใหญ่ๆ คือ ระบบฐานข้อมูลแบบรวมศูนย์ และ ระบบฐานข้อมูลแบบกระจายศูนย์

1.1 ระบบฐานข้อมูลแบบรวมศูนย์ (centralized database system) หมายถึงระบบฐานข้อมูลซึ่งองค์ประกอบทั้งหมดของฐานข้อมูลซึ่งประกอบด้วย ข้อมูล และ ระบบจัดการฐานข้อมูล อยู่บนเครื่องเครื่องเดียวกัน ถึงแม้ว่าอาจจะมีการเข้าถึงข้อมูลจากทางไกล (remote access) ก็ยังคงถือว่าเป็นระบบฐานข้อมูลแบบรวมศูนย์ เนื่องจากองค์ประกอบหลักอยู่บนเครื่องเครื่องเดียว

1.2 ระบบฐานข้อมูลแบบกระจายศูนย์ (distributed database system) หมายถึงระบบฐานข้อมูลซึ่งองค์ประกอบของฐานข้อมูลซึ่งประกอบด้วย ข้อมูล และ ระบบจัดการฐานข้อมูล อยู่บนเครื่องคนละเครื่องกัน มากกว่า 1 เครื่องขึ้นไป โดยมีการติดต่อสื่อสารกันผ่านทางระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ซึ่งในระบบฐานข้อมูลแบบกระจายศูนย์เดียวกัน ผู้ใช้สามารถอยู่ที่โหนดไหนก็ได้ในระบบฐานข้อมูลแบบกระจายศูนย์เดียวกันสามารถที่จะเข้าถึงข้อมูลทั้งหมดภายในระบบฐานข้อมูลแบบกระจายศูนย์เดียวกันได้ เสมือนว่าข้อมูลนั้นเก็บอยู่ที่เดียวกัน

1.2.1 ระบบฐานข้อมูลแบบกระจายศูนย์ แบ่งกว้างๆ ได้ 2 ประเภทคือ

1. ระบบที่มีความเหมือนกัน (homogeneous) หมายถึงระบบที่ทุกโหนดมีเครื่องคอมพิวเตอร์หรือ ฮาร์ดแวร์ที่เหมือนกัน และยังมีระบบจัดการฐานข้อมูล หรือซอฟต์แวร์ที่เหมือนกัน

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ระบบที่มีความแตกต่างกัน (heterogeneous) หมายถึงระบบที่มีบางโหนดมีเครื่องคอมพิวเตอร์หรือฮาร์ดแวร์ ที่ไม่เหมือนกัน หรือมีบางโหนดมีระบบจัดการฐานข้อมูล หรือซอฟต์แวร์ที่ไม่เหมือนกัน

ซึ่งความเหมือนกันและความแตกต่างกันนี้ยังแบ่งออกได้เป็นอีก 4 ระดับ คือ

1. เหมือนกันทั้งฮาร์ดแวร์ และซอฟท์แวร์
2. ฮาร์ดแวร์เหมือนกัน แต่ซอฟท์แวร์แตกต่างกัน
3. ฮาร์ดแวร์แตกต่างกัน แต่ซอฟท์แวร์เหมือนกัน
4. แตกต่างกันทั้งฮาร์ดแวร์ และซอฟท์แวร์

1.2.2. การแตกกระจายข้อมูล (data fragmentation)

1. การแตกกระจายตามแนวนอน (horizontal fragmentation) เป็นการแตกกระจายข้อมูลตามรายการข้อมูล เหมาะกับการใช้ข้อมูลในลักษณะที่ขึ้นอยู่กับสถานที่ตั้งฐานข้อมูล เช่นฐานข้อมูลของคณะวิศวกรรมศาสตร์ ก็จะใช้เฉพาะข้อมูลของคณะวิศวกรรมศาสตร์ ไม่ใช้ข้อมูลของคณะอื่น ตัวอย่างการแตกกระจายตามแนวนอน

รหัสผู้ใช้	เงินเดือน	จำนวนคนในครอบครัว	.....	รหัสคณะ
O010001	5000	4	.....	01
O010002	5500	3	.....	01
O150001	6000	4	.....	15
O150002	6500	5	.....	15

ตาราง 3.1 ตารางผู้ใช้ก่อนการแตกกระจายตามแนวนอน

รหัสผู้ใช้	เงินเดือน	จำนวนคนในครอบครัว	.....	รหัสคณะ
O010001	5000	4	.....	01
O010002	5500	3	.....	01

ตาราง 3.2 ตารางผู้ใช้ของคณะพาณิชศาสตร์และการบัญชี ตามการแตกกระจายตามแนวนอน

รหัสผู้ใช้	เงินเดือน	จำนวนคนในครอบครัว	.....	รหัสคณะ
O150001	6000	4	.....	15
O150002	6500	5	.....	15

ตาราง 3.3 ตารางผู้ใช้ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ ตามการแตกกระจายตามแนวนอน

2. การแตกกระจายตามแนวตั้ง (vertical fragmentation) เป็นการแตกกระจายข้อมูลตามฟิลด์ เหมาะกับการใช้งานของมูลในลักษณะที่ขึ้นอยู่กับหน้าที่การทำงาน เช่นฐานข้อมูลของคณะวิศวกรรมศาสตร์ ฝ่ายการเงินก็ต้องการใช้ฟิลด์เงินเดือน แต่ไม่ต้องการใช้ฟิลด์จำนวนคนในครอบครัว ซึ่งอยู่ในตารางเดียวกัน ตัวอย่างการแตกกระจายตามแนวตั้ง

รหัสผู้ใช้	**เงินเดือน**	**จำนวนคนในครอบครัว**	**.....**	**รหัสคณะ**
O010001	5000	4	.....	01
O010002	5500	3	.....	01
O150001	6000	4	.....	15
O150002	6500	5	.....	15

ตาราง 3.4 ตารางผู้ใช้ก่อนการแตกกระจายตามแนวตั้ง

รหัสผู้ใช้	**เงินเดือน**
O010001	5000
O010002	5500
O150001	6000
O150002	6500

ตาราง 3.5 ตารางผู้ใช้ของฝ่ายการเงิน ตามการแตกกระจายตามแนวตั้ง

รหัสผู้ใช้	**จำนวนคนในครอบครัว**
O010001	4
O010002	3
O150001	4
O150002	5

ตาราง 3.6 ตารางผู้ใช้ของฝ่ายบุคคล ตามการแตกกระจายตามแนวตั้ง

3. การแตกกระจายแบบผสม (mixed fragmentation) เป็นการผสมกันระหว่างการแตกกระจายตามแนวนอน และการแตกกระจายตามแนวตั้ง

1.2.3 รูปแบบของระบบฐานข้อมูลแบบกระจายศูนย์ แบ่งออกได้เป็น 4 รูปแบบ

1. รูปแบบกระจาย (distributed) ในระบบฐานข้อมูลเดียวกัน มีตาราง บางตารางอยู่ในฐานข้อมูลที่อยู่สถานที่ที่หนึ่ง ในขณะที่บางตารางอยู่ในฐานข้อมูลที่อยู่ในสถานที่อีกที่หนึ่ง
2. รูปแบบแบ่งส่วน (partitioned) ข้อมูลในตารางเดียวกันแต่อาจถูกแบ่งไปอยู่บนฐานข้อมูลคนละฐานข้อมูลกัน ตามสถานที่ที่ตั้งของฐานข้อมูล แต่อยู่ในระบบฐานข้อมูลเดียวกัน
3. รูปแบบเรพลิเคท (replicated) ข้อมูลชนิดเดียวกันตารางเดียวกันที่เหมือนกันแต่มีการคัดลอกไว้ ณ ฐานข้อมูลมากกว่า 1 ฐานที่อยู่ต่างสถานที่กัน
4. รูปแบบผสม (mixed) เป็นการผสมรูปแบบทั้ง 3 แบบข้างต้น คือรูปแบบกระจาย (distributed) รูปแบบแบ่งส่วน(partitioned) และรูปแบบเรพลิเคท(replicated) เข้าด้วยกัน

1.2.4 กฎ 12 ข้อของซีเจเดทสำหรับฐานข้อมูลแบบกระจาย (C.J.Date's Commandments for Distributed Databases)[5,8,14]

1. ความเป็นอิสระของฐานข้อมูล (local autonomy) กล่าวคือฐานข้อมูลแต่ละฐาน ในฐานข้อมูลแบบกระจายศูนย์เดียวกันเป็นอิสระต่อกัน ข้อมูลในท้องถิ่น ก็จะมีฐานข้อมูลท้องถิ่นเป็นเจ้าของและจัดการ ในขณะที่ฐานข้อมูลท้องถิ่นทำงานเสมือนเป็นส่วนหนึ่งของระบบฐานข้อมูลแบบกระจายศูนย์ ฐานข้อมูลท้องถิ่นก็ยังคงปฏิบัติงานท้องถิ่นอย่างเป็นอิสระจากระบบกระจายศูนย์ทั้งหมด
2. ความไม่ขึ้นกับฐานข้อมูลกลาง (no reliance on a central site) กล่าวคือฐานข้อมูลแต่ละฐานมีความสำคัญเท่าเทียมกัน ไม่มีฐานข้อมูลใดฐานข้อมูลหนึ่งมีความสำคัญมากกว่าฐานข้อมูลอื่น
3. ความต่อเนื่องของการปฏิบัติการ (continuous operation) กล่าวคือโดยทฤษฎีแล้วจะไม่มีการหยุดการปฏิบัติการเพื่อที่จะกระทำกระบวนการใดกระบวนการหนึ่งเป็นพิเศษ

4. ความเป็นอิสระของสถานที่ (location independence) กล่าวคือผู้ใช้ไม่จำเป็นที่จะต้องรับทราบว่าสถานที่ตั้งทางกายภาพของฐานข้อมูลที่ข้อมูลนั้นถูกจัดเก็บอยู่ ตั้งอยู่ ณ สถานที่ใด
5. ความเป็นอิสระของการแบ่ง (fragmentation independence) กล่าวคือ การแบ่งข้อมูลสามารถกระทำได้อย่างอิสระโดยไม่ต้องขึ้นกับโปรแกรม หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือสามารถทำการแบ่งข้อมูลใหม่ได้โดยไม่กระทบกับโปรแกรมเดิม
6. ความเป็นอิสระของการทำเรพลิเคท (replication independence) กล่าวคือ การทำเรพลิเคทสามารถทำได้อย่างเป็นอิสระโดยไม่ขึ้นกับโปรแกรม สามารถสร้าง หรือ ทำลายทิ้งได้โดยไม่มีผลกระทบกับโปรแกรมเดิม
7. การประมวลผลการสอบถามแบบกระจายศูนย์ (distributed query processing) ฐานข้อมูลจะแบ่งการสอบถาม(query) ไปเป็นส่วนย่อยของการสอบถาม(subquery) และกระจายไปยังฐานข้อมูลต่างๆ ในระบบฐานข้อมูลแบบกระจายศูนย์เพื่อทำการสอบถามข้อมูล (query)
8. การจัดการชุดข้อมูลแบบกระจาย (distributed transaction management) กล่าวคือสามารถทำการปรับปรุง ประมวลผลชุดข้อมูลได้ ณ สถานที่ต่าง ๆ กัน
9. ความเป็นอิสระของอุปกรณ์ (hardware independence) ระบบสามารถทำงานได้บนอุปกรณ์ที่แตกต่างกัน
10. ความเป็นอิสระของระบบปฏิบัติการ (operating system independence) ระบบสามารถทำงานได้บนระบบปฏิบัติการที่แตกต่างกัน
11. ความเป็นอิสระของเครือข่าย (network independence) ระบบสามารถทำงานได้บนเครือข่ายที่แตกต่างกัน
12. ความเป็นอิสระของฐานข้อมูล (database independence) ระบบสามารถทำงานได้บนฐานข้อมูลที่แตกต่างกัน

2. ระบบฐานข้อมูลแบบเรพลิเคท (replicate database system) [12,13]

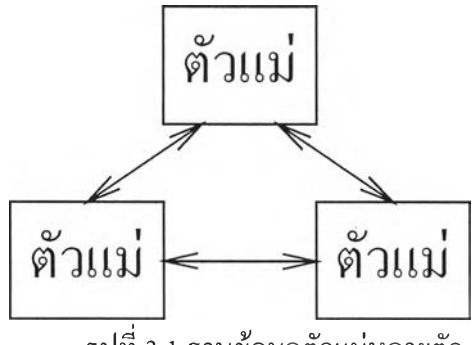
เป็นระบบหนึ่งของระบบฐานข้อมูลแบบกระจาย โดยเป็นการกระจายแบบเรพลิเคท ฐานข้อมูลจะปรากฏอยู่ ณ สถานที่ต่างกันมากกว่า 1สถานที่ โดยที่ฐานข้อมูลที่เป็นเรพลิเคทกันจะมีข้อมูลที่เป็นข้อมูลเดียวกัน ปรากฏอยู่ซ้ำกันบนฐานข้อมูลมากกว่า 1 ตัวขึ้นไป เมื่อมีการปรับปรุงข้อมูลที่อยู่ในฐานข้อมูลตัวหนึ่งตัวใด ฐานข้อมูลตัวอื่นที่มีข้อมูลตัวเดียวกันนี้ปรากฏอยู่และเรพลิเคทกันจะถูกทำการปรับปรุงตามไปด้วย

2.1 ประเภทของฐานข้อมูลเรพลิเคท แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. ฐานข้อมูลเรพลิเคทแบบเป็นจังหวะเดียวกัน (synchronous distributed) เมื่อฐานข้อมูลตัวหนึ่งตัวใดถูกปรับปรุงแก้ไขข้อมูล จะทำการปรับปรุงฐานข้อมูลตัวอื่นในทันที วิธีนี้ทำให้ระบบมีความง่ายไม่ซับซ้อน แต่อาจมีปัญหาถ้าระบบเครือข่ายเกิดความล่าช้า หรือขาดจากกัน
2. ฐานข้อมูลเรพลิเคทแบบไม่เป็นจังหวะเดียวกัน (asynchronous distributed) เมื่อฐานข้อมูลตัวหนึ่งตัวใดถูกปรับปรุงแก้ไขข้อมูล ฐานข้อมูลตัวอื่นจะยังไม่ถูกปรับปรุงข้อมูลในทันที จะมีช่วงเวลาที่ฐานข้อมูลทุกๆตัวจะทำการปรับปรุงข้อมูลที่เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น วิธีนี้ระบบจะมีความซับซ้อนมาก แต่สามารถลดปัญหาความล่าช้าของระบบเครือข่ายได้

2.2 รูปแบบของฐานข้อมูลแบบเรพลิเคท มี 3 รูปแบบ

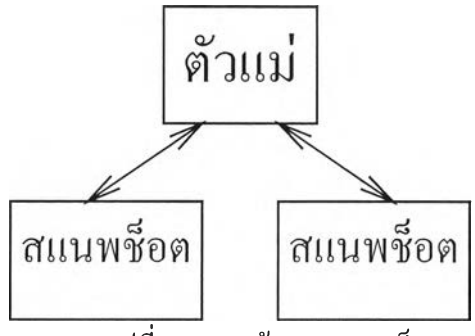
2.2.1 รูปแบบมีฐานข้อมูลตัวแม่หลายตัว (multiple masters)



รูปที่ 3.1 ฐานข้อมูลตัวแม่หลายตัว

เมื่อมีการปรับปรุงข้อมูลในฐานข้อมูลตัวแม่ตัวใดตัวหนึ่ง ข้อมูลจะถูกส่งไปปรับปรุงยังฐานข้อมูลตัวแม่ทุกๆตัว

2.2.2 รูปแบบฐานข้อมูลสแนพช็อต (snapshots) หมายถึงฐานข้อมูลที่คัดลอกมาจากฐานข้อมูลตัวแม่ ซึ่งอาจจะเป็นการคัดลอกทั้งหมด หรือคัดลอกบางส่วนก็ได้



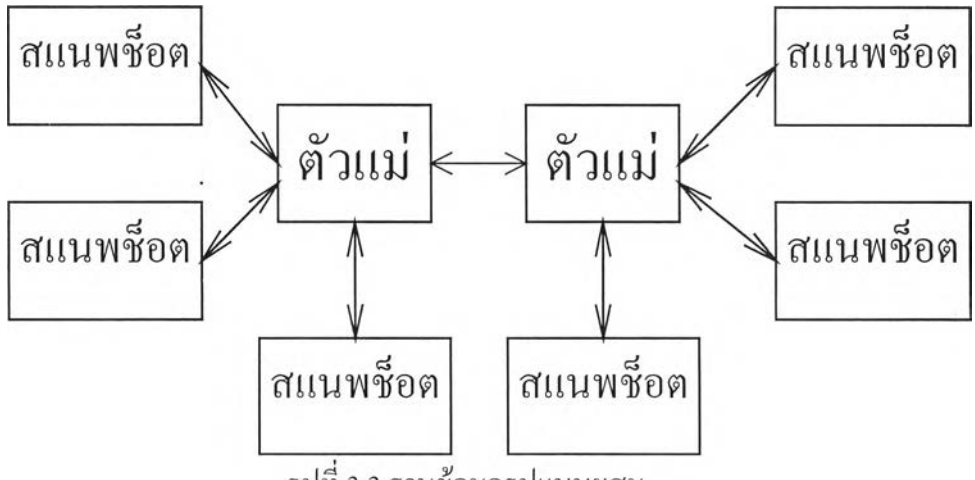
รูปที่ 3.2 ฐานข้อมูลสแนพช็อต

ฐานข้อมูลสแนพช็อตยังแบ่งออกได้อีกเป็น 2 แบบ คือ

1. ฐานข้อมูลสแนพช็อตแบบอ่านได้อย่างเดียว ไม่สามารถปรับปรุงข้อมูลได้
2. ฐานข้อมูลสแนพช็อตแบบปรับปรุงข้อมูลได้

เมื่อมีการปรับปรุงข้อมูลในฐานข้อมูลสแนพช็อตตัวใดตัวหนึ่ง ข้อมูลจะถูกส่งไปปรับปรุงที่ฐานข้อมูลตัวแม่ของฐานข้อมูลสแนพช็อตตัวนั้น ๆ แล้วจึงส่งข้อมูลจากฐานข้อมูลตัวแม่ไปปรับปรุงข้อมูลบนฐานข้อมูลสแนพช็อตตัวอื่น ๆ ต่อไป

2.2.3 รูปแบบผสม (hybrid configurations)



รูปที่ 3.3 ฐานข้อมูลรูปแบบผสม

เป็นการผสม 2 แบบ มีทั้งฐานข้อมูลตัวแม่หลาย ๆ ตัว และมีทั้งฐานข้อมูลสแนพช็อต

3. พิธีการยืนยัน 2 ระยะ (2 phase commit protocol)[5,6,7,10,14]

หลักการของพิธีการยืนยัน 2 ระยะ จะแบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบซึ่งทำหน้าที่เป็นผู้ประสานงาน (coordinator) ซึ่งจะเรียกว่าระบบผู้ประสานงาน และระบบที่ทำหน้าที่เป็นผู้ร่วมงาน (participant) ซึ่งจะเรียกว่าระบบผู้ร่วมงาน ระบบผู้ประสานงานจะทำหน้าที่ในการประสานงานกับระบบผู้ร่วมงาน ซึ่งอาจมีได้มากกว่า 1 ระบบ โดยระบบผู้ประสานงาน จะทำหน้าที่ตัดสินใจในการยืนยันความสำเร็จ (commit) หรือยกเลิกการทำงาน (abort) ของการกระทำกับรายการข้อมูล ส่วนระบบผู้ร่วมงานจะมีหน้าที่ในการปฏิบัติตามผลการตัดสินใจของระบบผู้ประสานงาน โดยการตัดสินใจกระทำต่อรายการข้อมูลจะมีเพียง'ยืนยันการทำงาน' หรือ 'ยกเลิกการทำงาน' เท่านั้น ซึ่งในการทำงานจะแบ่งออกเป็น 2 ระยะ โดยในระยะที่ 1จะเป็นการทำงานเพื่อให้ได้มาซึ่งผลการตัดสินใจร่วมของระบบ ในระยะที่ 2 เป็นการปฏิบัติตามผลการตัดสินใจร่วมของระบบจากขั้นที่ 1 ซึ่งมีขั้นตอนการปฏิบัติงานดังรายละเอียด

ระยะที่ 1 (phase 1)

ระบบผู้ประสานงาน (coordinator)

1. ระบบผู้ประสานงานบันทึกรายการ 'เตรียมพร้อม' ลงในแฟ้มปูม (log file) เป็นการเริ่มการปฏิบัติการ
2. ระบบผู้ประสานงานส่งคำสั่ง 'เตรียมพร้อม' ไปยังระบบผู้ร่วมงาน และเริ่มจับเวลาเพื่อตรวจสอบกลไกการหมดเวลา (ในกรณีที่ระบบผู้ร่วมงานไม่มีการตอบสนองภายในช่วงเวลาที่กำหนด จะถือว่าหมดเวลา)
3. รอรับคำตอบจากระบบผู้ร่วมงาน

ระบบผู้ร่วมงาน (participant)

1. เมื่อระบบผู้ร่วมงานได้รับคำสั่ง 'เตรียมพร้อม' จากระบบผู้ประสานงาน ถ้าระบบพร้อมที่จะกระทำรายการข้อมูล จะไปกระทำขั้นที่ 2 แต่ถ้าระบบไม่พร้อมจะไปกระทำขั้นที่ 3
2. ถ้าระบบพร้อมที่จะกระทำรายการข้อมูล จะทำการบันทึกรายการข้อมูลและรายการควบคุมพร้อมคำสั่ง 'เตรียมพร้อม' ลงในแฟ้มปูม และส่งคำสั่ง 'พร้อม' กลับไปยังระบบผู้ประสานงาน และเริ่มจับเวลาเพื่อตรวจสอบกลไกการหมดเวลา
3. ถ้าระบบไม่พร้อมที่จะกระทำรายการข้อมูล จะบันทึกรายการควบคุม และคำสั่ง 'ยกเลิก' ลงในแฟ้มปูม และส่งคำส่ง 'ยกเลิก' กลับไปยังระบบผู้ประสานงาน และหยุดการทำงาน

ระยะที่ 2 (phase 2)

ระบบผู้ประสานงาน (coordinator)

1. ถ้าคำตอบจากระบบผู้ร่วมงานเป็น 'ยกเลิก' หรือหมดเวลาตามกลไกการหมดเวลา จะทำการบันทึกรายการ 'ยกเลิกการทำงาน' ลงในแฟ้มปูม พร้อมส่งคำสั่ง 'ยกเลิกการทำงาน' ไปยังระบบผู้ร่วมงาน และหยุดการทำงาน
2. ถ้าคำตอบจากระบบผู้ร่วมงานเป็น 'พร้อม' จะทำการบันทึกรายการ 'ยืนยันการทำงาน' ลงในแฟ้มปูม พร้อมส่งคำสั่ง 'ยืนยันการทำงาน' ไปยังระบบผู้ร่วมงาน
3. รอรับผลการทำงาน ถ้าผลการทำงานของระบบผู้ร่วมงานเสร็จสมบูรณ์ จะทำการบันทึกรายการ 'เสร็จสมบูรณ์' ลงในแฟ้มปูม

ระบบผู้ร่วมงาน (participant)

1. ถ้าคำสั่งจากระบบผู้ประสานงานเป็น 'ยกเลิกการทำงาน' หรือหมดเวลาตามกลไกการหมดเวลา จะไปกระทำขั้นที่ 2 แต่ถ้าเป็นคำสั่ง 'ยืนยันการทำงาน' จะไปกระทำขั้นที่ 3
2. กรณี 'ยกเลิกการทำงาน' จะทำการบันทึกรายการ 'ยกเลิกการทำงาน' ลงในแฟ้มปูม แล้วส่งข่าวสารยืนยันการปฏิบัติงานเสร็จสิ้น(acknowledge message) แล้วหยุดการทำงาน
3. กรณี 'ยืนยันการทำงาน' จะทำการบันทึกรายการ 'ยืนยันการทำงาน' ลงในแฟ้มปูม แล้วส่งข่าวสารยืนยันการปฏิบัติงานเสร็จสิ้น(acknowledge message) แล้วปฏิบัติการต่อรายการข้อมูลจนเสร็จสิ้น แล้วหยุดการทำงาน

4. การควบคุมความพร้อมกัน (concurrency control)[5,6,7,8,9,10,14]

การควบคุมความพร้อมกัน เป็นการควบคุมการเข้าถึงข้อมูลเพื่อรักษาความเป็นบูรภาพ (integrity) และความตรงกัน(consistancy) ของฐานข้อมูลเอาไว้ หลักการพื้นฐานที่ใช้ในการควบคุมความพร้อมกันคือการล็อค

4.1 การควบคุมความพร้อมกันของฐานข้อมูลแบบรวมศูนย์ (concurrency control in centralized database) ใช้วิธีการล็อครายการข้อมูล สามารถทำการล็อคได้หลายระดับ เช่นถ้าต้องการเพียงแค่อ่านข้อมูลอย่างเดียว อาจใช้การล็อคแบบใช้ร่วมกันได้ (share) หรือถ้าต้องการปรับปรุงรายการข้อมูล (update) อาจจะต้องใช้การล็อคแบบผู้ใช้คนเดียว (exclusive)

เมื่อต้องการใช้รายการข้อมูลใดก็จะทำการล็อครายการข้อมูลนั้น แต่ถ้ารายการข้อมูลนั้นถูกล็อคอยู่ก่อนแล้ว จะต้องดูต่อว่าเป็นการล็อคแบบใช้ร่วมกันได้ หรือเป็นการล็อคแบบผู้ใช้คนเดียว ถ้าเป็นการล็อคแบบใช้ร่วมกันได้ ก็สามารถล็อคได้หลายผู้ใช้ แต่ต้องเป็นการล็อคแบบใช้ร่วมกันได้

ทั้งหมด จะไม่สามารถล็อคแบบผู้ใช้คนเดียวได้ถ้ามีการล็อคแบบใช้ร่วมกันได้อยู่ก่อนแล้ว แต่ถ้าการล็อคอยู่ก่อนแล้วเป็นการล็อคแบบผู้ใช้คนเดียว จะต้องรอจนกว่ารายการข้อมูลนั้นจะได้รับการปลดปล่อยเป็นอิสระเสียก่อน จึงจะสามารถเข้าทำการล็อครายการข้อมูล เพื่อใช้รายการข้อมูลนั้นต่อไป และเมื่อล็อคแบบผู้ใช้คนเดียวแล้วจะไม่สามารถมีใครใช้ข้อมูลได้อีกจนกว่าการล็อคจะได้รับการปลดปล่อย

4.2 การควบคุมความพร้อมกันของฐานข้อมูลแบบกระจายศูนย์ (concurrency control in distributed database) โดยพื้นฐานแล้วใช้หลักการควบคุมความพร้อมกันของฐานข้อมูลแบบรวมศูนย์เป็นหลัก โดยส่วนที่ทำงานของระบบรวมศูนย์จะถือว่าเป็นการทำงานในระดับท้องถิ่นเรียกว่าผู้จัดการรายงานท้องถิ่น (local transaction manager - LTM) หน้าที่คือทำการล็อคและปลดปล่อยรายการข้อมูลในระดับท้องถิ่น โดยผู้จัดการรายงานท้องถิ่น จะทำหน้าที่โดยรับคำสั่งมาจากผู้จัดการรายการกระจาย (distributed transaction manager - DTM) ผู้จัดการรายงานท้องถิ่นจะไม่รับรู้ถึงการมีรายการข้อมูลที่เหมือนกันซึ่งได้เก็บไว้ในฐานข้อมูลอื่นๆ ในระบบฐานข้อมูลแบบกระจายศูนย์เดียวกัน ดังนั้นจึงเป็นหน้าที่ของผู้จัดการรายการกระจาย ที่จะต้องประสานงานกันในการทำงานตามพิธีการล็อคสองระยะ เพื่อให้ได้ผลการล็อคที่เป็นหนึ่งเดียวกัน

5. การแก้ปัญหาความขัดแย้ง (conflict resolution method) [12,13]

5.1 ชนิดของความขัดแย้ง

5.1.1 ความขัดแย้งเนื่องจากการปรับปรุงข้อมูล (update conflict) เกิดขึ้นเนื่องจากขณะปรับปรุงข้อมูล ตรวจพบว่าข้อมูลเดิมกับข้อมูลที่เป็นอยู่จริงมีค่าไม่ตรงกัน เช่นนิสิตภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ลาออก 1 คน ที่โหนดคณะวิศวกรรมศาสตร์ ต้องปรับปรุงตารางจำนวนนิสิตของภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งเดิมมีค่า 200 ให้เหลือ 199 ในชุดคำสั่งปรับปรุงข้อมูล (update transaction) จะมีค่าใหม่ 199 ค่าเดิม 200 เมื่อชุดคำสั่งนี้ถูกส่งมายังฐานข้อมูลกลางของมหาวิทยาลัย ซึ่งอยู่ในระบบฐานข้อมูลแบบเรพลิเคทเดียวกัน เพื่อปรับปรุงตารางที่เรพลิเคทให้ถูกต้องตรงกัน ระบบจัดการฐานข้อมูลก็จะเปรียบเทียบค่าเดิมจากชุดคำสั่ง ซึ่งมีค่า 200 กับค่าที่มีอยู่จริงบนตารางจำนวนนิสิตของฐานข้อมูลมหาวิทยาลัย ซึ่งพบว่ามีค่า 201 ซึ่งไม่ตรงกัน ก็จะเกิดความขัดแย้งเนื่องจากการปรับปรุงข้อมูลขึ้น

5.1.2 ความขัดแย้งเนื่องจากความเป็นเอกภาพ (unique constraint) เกิดขึ้นเนื่องจากการละเมิดความเป็นเอกภาพ คือมีข้อมูลเรคคอร์ดนี้อยู่แล้ว แต่ยังมีการเพิ่มข้อมูลที่มีคีย์เดียวกัน ซึ่งจะละเมิดความเป็นเอกภาพ

5.1.3 ความขัดแย้งเนื่องจากการลบข้อมูล (delete conflict) จะเกิดขึ้นเนื่องจากมีการปรับปรุงข้อมูลที่โหนดทางไกล หลังจากเกิดการลบข้อมูลนั้นที่โหนดท้องถิ่น ความขัดแย้งเนื่องจากการลบเกิดขึ้นเพราะว่าค่าเดิมในโหนดท้องถิ่น ไม่ตรงกับค่าปัจจุบันที่ปรากฏบนโหนดทางไกล

5.2 วิธีการแก้ไขความขัดแย้ง

5.2.1 ค่าที่น้อยที่สุด (minimum value) ถ้ามีความขัดแย้งกันเกิดขึ้น จะเลือกค่าที่น้อยที่สุด เหมาะกับข้อมูลที่ค่ามีแนวโน้มลดลงอยู่ตลอดเวลา

5.2.2 ค่าที่มากที่สุด (maximum value) ถ้ามีความขัดแย้งกันเกิดขึ้น จะเลือกค่าที่มากที่สุด เหมาะกับข้อมูลที่ค่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอยู่ตลอดเวลา

5.2.3 ประทับเวลาแรกสุด (earliest timestamp) ถ้ามีความขัดแย้งกันเกิดขึ้น จะถือเอาข้อมูลชุดที่ประทับเวลาแรกสุดเป็นหลัก โดยอาศัยคอลัมน์สำหรับประทับเวลา ซึ่งเป็นชนิดวันที่ (type date) เก็บเวลาท้องถิ่น (local sysdate)

5.2.4 ประทับเวลาล่าสุด (latest timestamp) ถ้ามีความขัดแย้งกันเกิดขึ้น จะถือเอาข้อมูลชุดที่ประทับเวลาล่าสุดเป็นหลัก โดยอาศัยคอลัมน์สำหรับประทับเวลา ซึ่งเป็นชนิดวันที่ (type date) เก็บเวลาท้องถิ่น (local sysdate)

5.2.5 ลำดับความสำคัญของกลุ่ม (priority group) ถ้ามีความขัดแย้งกันเกิดขึ้น จะยึดถือข้อมูลที่มาจากกลุ่มที่มีลำดับความสำคัญมากกว่าเป็นหลัก

5.2.6 ลำดับความสำคัญของโหนดสูงสุด (site priority) ถ้ามีความขัดแย้งกันเกิดขึ้นจะยึดถือข้อมูลที่มาจากโหนดที่มีค่าลำดับความสำคัญสูงที่สุดเป็นหลัก

5.2.7 การเขียนทับ (overwrite) ถ้ามีความขัดแย้งกันเกิดขึ้น จะนำค่าของข้อมูลชุดใหม่ที่เกิดความขัดแย้งกัน เขียนทับข้อมูลบนฐานข้อมูล

5.2.8 การละทิ้ง (discard) ถ้ามีความขัดแย้งกันเกิดขึ้น จะทำการทิ้งข้อมูลที่เกิดการขัดแย้งกันขึ้น และยึดถือค่าเดิม โดยไม่มีการปรับปรุงข้อมูลบนฐานข้อมูล

5.2.9 ค่าเฉลี่ย (average) ถ้ามีความขัดแย้งกันเกิดขึ้น จะทำการนำค่าใหม่ กับค่าที่ปรากฏอยู่มาทำการเฉลี่ยกัน

5.2.10 การบวกเพิ่ม (additive) ถ้ามีความขัดแย้งกันเกิดขึ้น จะนำค่าผลต่างของค่าใหม่ และค่าเก่าไปบวกเพิ่มให้กับค่าที่ปรากฏปัจจุบัน

5.3 วิธีการแก้ไขความขัดแย้งเนื่องจากการปรับปรุงข้อมูล วิธีต่างๆ ที่กล่าวมาใน 4.2 บางวิธีอาจเหมาะสมกับบางสภาวะเท่านั้น บางวิธีอาจใช้ไม่ได้ในสภาวะแวดล้อมบางสภาวะ ซึ่งโดยทั่วๆไป แบ่งออกได้เป็น 3 สภาวะใหญ่ๆ

5.3.1 สภาวะแวดล้อมที่มีโหนดหลัก (master site) เพียงโหนดเดียว วิธีที่เหมาะสม

มี

1. ค่าที่น้อยที่สุด (minimum value)
2. ค่าที่มากที่สุด (maximum value)
3. ประทับเวลาแรกสุด (earliest timestamp)
4. ประทับเวลาล่าสุด (latest timestamp)
5. ลำดับความสำคัญของกลุ่ม (priority group)
6. ลำดับความสำคัญของโหนดสูงสุด (site priority)
7. การเขียนทับ (overwrite)
8. การละทิ้ง (discard)
9. ค่าเฉลี่ย (average)
10. การบวกเพิ่ม (additive)

5.3.2 สภาวะแวดล้อมที่มีโหนดหลัก 1-2 โหนด

1. ค่าที่น้อยที่สุด (minimum value)
2. ค่าที่มากที่สุด (maximum value)
3. ประทับเวลาแรกสุด (earliest timestamp)
4. ประทับเวลาล่าสุด (latest timestamp)
5. ลำดับความสำคัญของกลุ่ม (priority group)
6. ลำดับความสำคัญของโหนดสูงสุด (site priority)
7. การบวกเพิ่ม (additive)

5.3.3 สภาวะแวดล้อมที่มีโหนดหลักมากกว่า 2 โหนด

1. ค่าที่น้อยที่สุด (minimum value)
2. ค่าที่มากที่สุด (maximum value)
3. ประทับเวลาล่าสุด (latest timestamp)
4. การบวกเพิ่ม (additive)

5.4 วิธีการแก้ไขความขัดแย้งเนื่องจากความเป็นเอกภาพ (unique constraint conflicts)

1. เพิ่มคอลัมน์ชื่อสากล (global name) เพื่อเก็บชื่อโหนดต้นทาง (orginating site)
2. เพิ่มคอลัมน์เลขลำดับจากโหนดต้นทาง
3. ทิ้งข้อมูลจากโหนดต้นทาง

อย่างไรก็ดี ทั้งสามวิธีใช้ได้กับระบบที่มีฐานข้อมูลหลัก(master site) เพียงตัวเดียว

5.5 วิธีการแก้ไขความขัดแย้งเนื่องจากการลบ ยังไม่มีวิธีการแก้ไขความขัดแย้งเนื่องจากการลบ

6. การออกแบบฐานข้อมูลแบบกระจายศูนย์ และ แบบเรพลิเคท[6,7,8,9,14]

ในฐานข้อมูลแบบกระจายศูนย์ จะมีความซับซ้อนกว่าฐานข้อมูลแบบรวมศูนย์ซึ่งมีข้อควรพิจารณาในการออกแบบฐานข้อมูลแบบกระจายศูนย์ดังนี้

6.1. ความครบในตัวเอง (self contain) ของแต่ละฐาน

6.2. ความสำคัญของตารางลุคอัพ (lookup table) ควรพิจารณาออกแบบให้ตารางลุคอัพปรากฏอยู่บนโหนดทุกโหนด เพื่อในกรณีที่ระบบเครือข่ายไม่สามารถใช้การได้ ฐานข้อมูลบนโหนดแต่ละโหนดจะยังคงสามารถเข้าถึงข้อมูลที่อยู่บนฐานข้อมูลท้องถิ่นได้ โดยใช้คีย์จากตารางที่ปรากฏอยู่บนฐานข้อมูลท้องถิ่น

6.3. ความถี่ของการใช้ข้อมูล ตารางข้อมูลใดๆ ที่มีความถี่ในการเข้าถึงข้อมูลสูง ควรพิจารณาเพื่อทำการกระจาย หรือทำการเรพลิเคท เพื่อให้ตารางที่มีการใช้งานสูงปรากฏอยู่บนฐานข้อมูลท้องถิ่น เพื่อประหยัดและลดค่าใช้จ่ายในการเข้าถึงข้อมูลผ่านระบบเครือข่าย

6.4. ปริมาณของข้อมูลในแต่ละฐานข้อมูล ปริมาณของข้อมูลเป็นข้อควรพิจารณาในการพิจารณาว่าจะออกแบบให้ตารางไหนอยู่ที่โหนดไหน เช่นตารางที่มีขนาดใหญ่มากไม่สามารถเก็บอยู่บนฐานข้อมูลท้องถิ่นได้ เนื่องจากโหนดของฐานข้อมูลท้องถิ่นมีฮาร์ดดิสก์ความจุน้อย อาจย้ายตารางนี้ไปอยู่บนฐานข้อมูลทางไกลที่โหนดมีฮาร์ดดิสก์ที่มีความจุเพียงพอ หรือในกรณีที่เครือข่ายการติดต่อสื่อสารเป็นโมเด็มผ่านสายโทรศัพท์ ซึ่งมีอัตราการถ่ายเทข้อมูลต่ำ อาจมีปัญหากับการเข้าถึงตารางข้อมูลที่มีปริมาณข้อมูลมากได้ ก็ควรพิจารณาออกแบบให้ตารางที่มีปริมาณข้อมูลมากอยู่บนฐานข้อมูลท้องถิ่น

6.5. ความเร็วและประสิทธิภาพของเครือข่าย และการติดต่อสื่อสาร เครือข่ายที่มีประสิทธิภาพของการติดต่อสื่อสารดี และมีอัตราการถ่ายเทข้อมูลสูงพอ เป็นข้อคำนึงในการพิจารณากระจายระบบฐานข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ออกจากกัน โดยกระจายตารางที่มีขนาดใหญ่ไปไว้บนฐานข้อมูลตัวอื่นที่อยู่บนระบบฐานข้อมูลเดียวกัน แล้วทำการเข้าถึงข้อมูลโดยผ่านทางเครือข่ายแทน หรือในกรณีที่เครือข่ายมีประสิทธิภาพต่ำ หรือมีอัตราการถ่ายเทข้อมูลที่ต่ำ อาจไม่สามารถรองรับการถ่ายเทข้อมูลปริมาณมากของตารางที่มีขนาดใหญ่ได้ อาจพิจารณาออกแบบให้ตารางนี้อยู่บนฐานข้อมูลท้องถิ่นแทน

6.6. ความเร็วและประสิทธิภาพของแต่ละโหนดในเครือข่าย โหนดที่ประสิทธิภาพ และความเร็วต่ำ อาจไม่สามารถรองรับฐานข้อมูลขนาดใหญ่ได้ การเข้าถึงข้อมูลอาจใช้เวลานานมาก เป็นข้อคำนึงในการพิจารณาแยกตารางที่มีขนาดใหญ่ ออกไปไว้บนฐานข้อมูลทางไกล ที่มีประสิทธิภาพเพียงพอแทน

6.7. ความสำคัญของการรักษาความปลอดภัย ข้อมูลบางอย่างที่มีความสำคัญ หรือเป็นความลับ จะต้องพิจารณาถึงเรื่องการรักษาความปลอดภัยด้วย เช่นข้อมูลเงินเดือนของพนักงาน การที่จะทำการเรพลิเคท หรือกระจายศูนย์ออกไปอยู่ตามฐานข้อมูลหลายๆ แห่ง อาจเกิดความยุ่งยากในการรักษาความปลอดภัย ในขณะที่การคงข้อมูลที่เป็นความลับนี้ไว้บนฐานข้อมูลเดียวอาจจะสะดวกในการรักษาความปลอดภัยมากกว่า

6.8. ความสำคัญของข้อมูล ข้อมูลที่มีความสำคัญมากอาจพิจารณาเพื่อทำการเรพลิเคทเอาไว้บนฐานข้อมูลท้องถิ่น เพื่อป้องกันในกรณีที่ระบบเครือข่ายไม่สามารถใช้งานได้ ทำให้ยังสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ถ้าทำการเรพลิเคทตารางที่สำคัญเอาไว้บนฐานข้อมูลท้องถิ่น หรือเพื่อเป็นการสำรอง และป้องกันกรณีที่ฐานข้อมูลเกิดการเสียหาย

6.9. สภาพแวดล้อมในการใช้งานของข้อมูล เพื่อเลือกวิธีการแตกกระจายของฐานข้อมูล (database fragmentation) ที่เหมาะสม เช่นในระบบบุคลากรของมหาวิทยาลัยนี้ ลักษณะการใช้งานข้อมูลจะขึ้นอยู่กับสถานที่ตั้งเป็นสำคัญ เช่น คณะวิศวกรรมศาสตร์ ก็มีความจำเป็นในการใช้ข้อมูลเฉพาะส่วนของคณะวิศวกรรมศาสตร์ ไม่มีความจำเป็นต้องใช้ข้อมูลส่วนที่เป็นของคณะพาณิชศาสตร์และการบัญชี ในทำนองเดียวกัน คณะพาณิชศาสตร์และการบัญชี ก็มีความจำเป็นในการใช้ข้อมูลในส่วนเฉพาะที่เป็นของคณะพาณิชศาสตร์และการบัญชี โดยไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ข้อมูลของคณะวิศวกรรมศาสตร์ กรณีเช่นนี้ ควรเลือกวิธีการแตกกระจายตามแนวนอน ตัวอย่างอื่น เช่น การออกแบบฐานข้อมูลแบบกระจายศูนย์สำหรับฐานข้อมูลภายในคณะเดียวกันสำหรับฝ่ายต่างๆ ในฝ่ายต่างๆ จำเป็นจะต้องใช้ข้อมูลของบุคลากรทุกๆคนที่อยู่ในคณะ แต่ใช้ข้อมูลตามฟิลด์ (field) ที่แตกต่างกัน กรณีเช่นนี้ควรเลือกวิธีการแตกกระจายตามแนวตั้ง

7. ระบบผู้ให้บริการและผู้รับบริการ (client /server system) [8,14]

ระบบผู้ให้บริการ (client system) เป็นโปรแกรมประยุกต์ที่ทำหน้าที่ในลักษณะของผู้รับการบริการ ทำหน้าที่ติดต่อกับผู้ใช้ในการค้นข้อมูล หรือเพิ่มเติมแก้ไขข้อมูล จากระบบผู้รับบริการ

ระบบผู้รับบริการ (server system) เป็นระบบที่มีระบบฐานข้อมูลทำงานอยู่ โดยฐานข้อมูลเป็นส่วนเก็บข้อมูล และมีกระบวนการเข้าถึงข้อมูล

ข้อดีของระบบฐานข้อมูลแบบระบบผู้ให้บริการและผู้รับบริการ

1. เป็นการแยกงานระหว่างระบบผู้รับบริการ และผู้ให้บริการฐานข้อมูล สามารถใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพต่ำเป็นผู้ให้บริการได้ และนำเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นผู้รับบริการแทน
2. สามารถใช้โปรแกรมประยุกต์ได้หลายแบบโดยไม่ขึ้นกับระบบฐานข้อมูล
3. การรักษาความถูกต้องของข้อมูลจะดีขึ้น ข้อมูลจะถูกจัดการอยู่ที่ระบบผู้รับบริการโดยระบบฐานข้อมูลเท่านั้น ซึ่งจะลดปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้งานผู้ใช้หลายคนได้

ข้อเสียของระบบฐานข้อมูลแบบระบบผู้ให้บริการและผู้รับบริการ

1. ค่าใช้จ่ายในส่วนของเจ้าหน้าที่ที่จะบำรุงรักษาผู้ให้บริการฐานข้อมูล สูงขึ้น
2. ค่าใช้จ่ายทางด้านฮาร์ดแวร์สูงขึ้น เนื่องจากผู้ให้บริการฐานข้อมูล จะทำงานได้ดีเมื่ออยู่บนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง
3. ค่าใช้จ่ายทางด้านซอฟท์แวร์สูงขึ้น เนื่องจากระบบฐานข้อมูลมักมีราคาสูงกว่าซอฟท์แวร์ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

8. ระบบเครือข่าย

ระบบเครือข่ายประกอบไปด้วยการเชื่อมต่อกันของคอมพิวเตอร์ผ่านทางอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ (hardware) และสื่อกลางในการเชื่อมต่อ(media) และซอฟต์แวร์(software) ซึ่งเป็นตัวควบคุมการติดต่อสื่อสารกัน

8.1 การนำคอมพิวเตอร์มาเชื่อมต่อกันเป็นระบบเครือข่ายมีวัตถุประสงค์

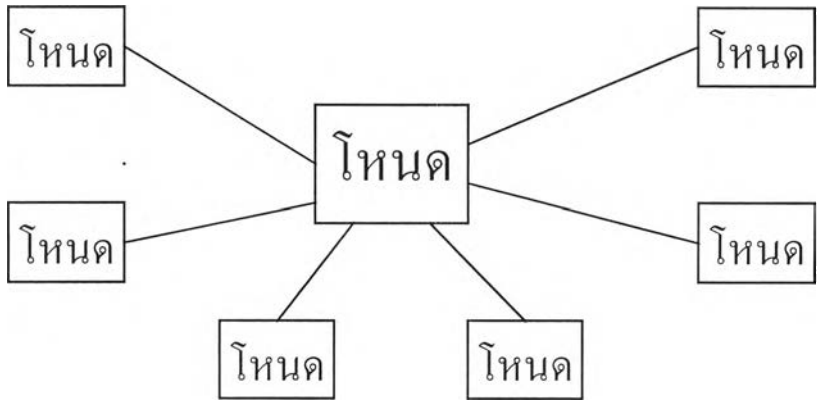
1. เพื่อใช้ทรัพยากรร่วมกัน
2. เพื่อติดต่อสื่อสาร
3. เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูล

8.2 เครือข่ายแบ่งออกเป็นหลายประเภทตามลักษณะต่างๆ ดังนี้

8.2.1 แบ่งตามโครงสร้างการเชื่อมต่อระหว่างสถานี (topology)

1. ระบบเครือข่ายรูปดาว (star)

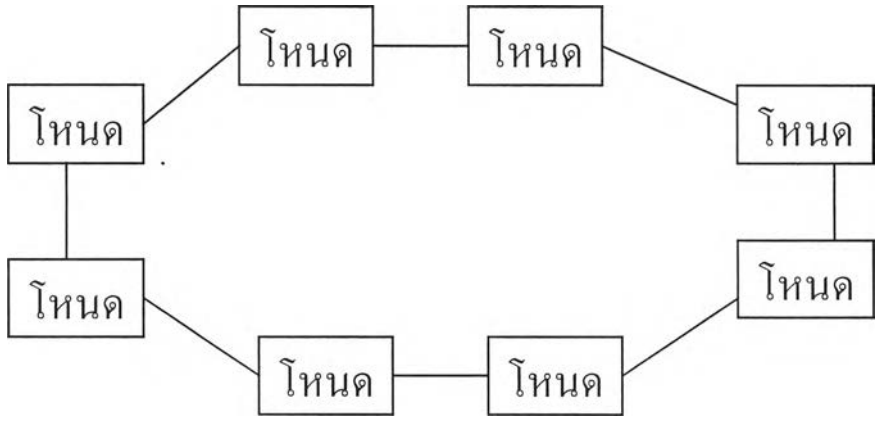
การเชื่อมต่อในระบบเครือข่ายรูปดาวมีลักษณะการเชื่อมต่อออกจากโหนดซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางซึ่งอาจเป็นอุปกรณ์เครือข่าย ไปยังโหนดปลายทางซึ่งอาจเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือ อุปกรณ์เครือข่าย ตามรูป 3.4



รูปที่ 3.4 เครือข่ายรูปดาว

2. ระบบเครือข่ายแบบวงแหวน (ring)

การเชื่อมต่อในระบบเครือข่ายแบบวงแหวน มีลักษณะการเชื่อมต่อจากโหนดไปยังโหนดถัดไป ในลักษณะเชื่อมต่อเป็นวงกลม โดยไม่มีโหนดใดเป็นจุดศูนย์กลาง ตามรูป 3.5

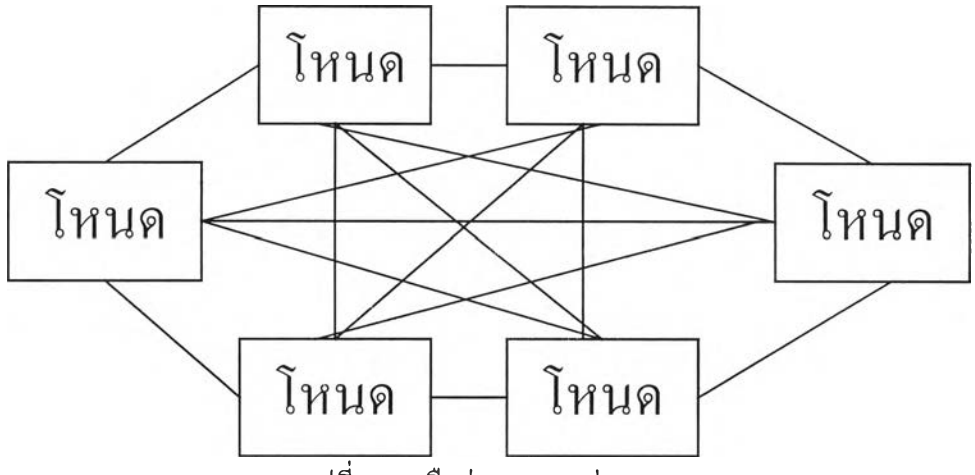


รูปที่ 3.5 เครือข่ายแบบวงแหวน

I 18056040

3. ระบบเครือข่ายแบบตาข่าย (mesh)

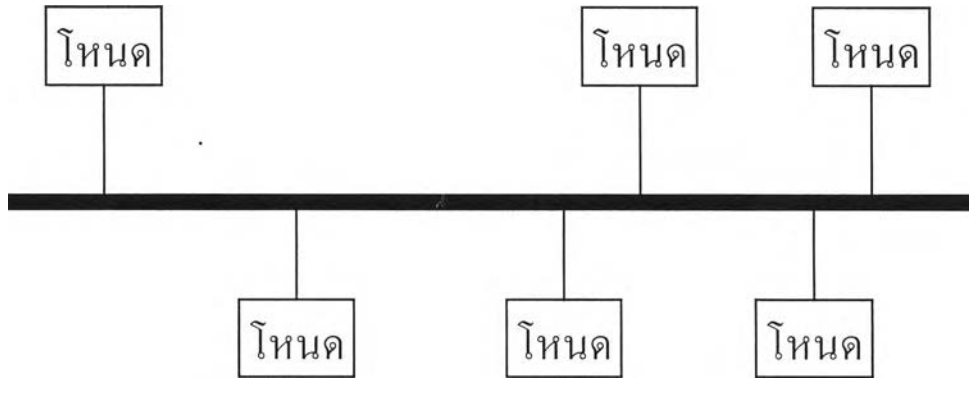
การเชื่อมต่อในระบบเครือข่ายแบบตาข่าย มีลักษณะการเชื่อมต่อจากโหนดใดๆ ไปยังทุกโหนดในลักษณะเหมือนกับตาข่าย ตามรูป 3.6



รูปที่ 3.6 เครือข่ายแบบตาข่าย

4. ระบบเครือข่ายแบบบัส (bus)

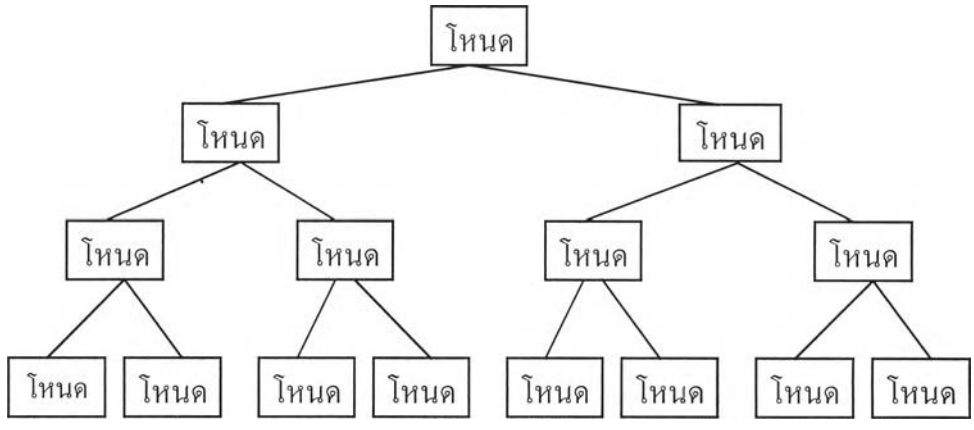
การเชื่อมต่อในระบบเครือข่ายแบบบัส จะมีเส้นเครือข่ายหลักอยู่หนึ่งเส้น เป็นกระดูกสันหลัง(back bone) โดยโหนดจะเชื่อมต่อกับจุดต่างๆบนกระดูกสันหลัง ตามรูป 3.7



รูปที่ 3.7 เครือข่ายแบบบัส

5. ระบบเครือข่ายแบบลำดับขั้น (hierarchical)

การเชื่อมต่อในระบบเครือข่ายแบบลำดับขั้น มีลักษณะการเชื่อมต่อจากโหนดไปโหนด เป็นลำดับขั้น ตามรูป 3.8



รูปที่ 3.8 เครือข่ายแบบลำดับขั้น

8.2.2. แบ่งตามรูปแบบการส่งข้อมูล

1. เครือข่ายประเภทส่งข้อมูลแบบจุดต่อจุด (point-to-point channel)
2. เครือข่ายประเภทส่งข้อมูลแบบทีเดียวให้หลายจุด (multi-point network)

8.2.3. แบ่งตามพื้นที่ทางภูมิศาสตร์

1. เครือข่ายระยะใกล้ หรือเครือข่ายท้องถิ่น (local area network - LAN)
2. เครือข่ายระยะไกล (wild area network - WAN)

8.3. ฮาร์ดแวร์ของระบบเครือข่าย ประกอบไปด้วย

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะเรียกว่าโหนด เป็นอุปกรณ์ปลายทางของระบบเครือข่าย
2. เน็ทเวิร์คการ์ด (network card) เป็นอุปกรณ์สำหรับเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์กับสื่อกลาง
3. อุปกรณ์เชื่อมต่อ ซึ่งจะเรียกว่าโหนดเช่นเดียวกันกับเครื่องคอมพิวเตอร์ แต่หน้าที่ต่างกัน อุปกรณ์เชื่อมต่อจะทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อโหนดที่เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์เข้าเป็นระบบเครือข่าย หรืออาจทำหน้าที่เชื่อมต่อระบบเครือข่ายหลายเครือข่ายให้เข้าเป็นระบบเครือข่ายที่ใหญ่ขึ้น

8.4. สื่อกลางในการเชื่อมต่อ แบ่งออกได้เป็น 2 จำพวกคือ

8.4.1. แบบไม่ใช้สาย (wireless) โดยการใช้คลื่นวิทยุเป็นสื่อกลางในการเชื่อมต่อ ใช้ได้กับทั้งเครือข่ายระยะใกล้ โดยใช้อุปกรณ์ไวรเลสฮับ (wireless hub) และใช้ได้กับเครือข่ายระยะไกล โดยเป็นการสื่อสารผ่านดาวเทียม

8.4.2. แบบใช้สาย (hardwire) ยังแบ่งประเภทของสายออกได้อีกเป็น 2 ประเภท

1. สายทองแดง (copper wire)
2. เส้นใยนำแสง (optical fibre)

โดยแบบใช้สายสามารถใช้ได้กับเครือข่ายระยะใกล้ โดยใช้สายทองแดงเช่น สาย THIN สาย UTP หรือ สายโทรศัพท์ หรือใช้เส้นใยนำแสง และใช้ได้กับเครือข่ายระยะไกล โดยใช้เส้นใยนำแสง หรือสายโทรศัพท์

8.5. ซอฟต์แวร์ของระบบเครือข่าย ในระดับซอฟต์แวร์ จะมีโพรโตคอลอยู่หลายประเภททั้งที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย และใช้ในวงจำกัด โดยโพรโตคอลที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมี

1. โพรโตคอล ไอพีเอ็กซ์ (IPX protocol) ซึ่งเป็นโพรโตคอลที่กำหนดโดยบริษัทเน็ทแวร์ (netware) เพื่อใช้กับโปรแกรมเน็ทแวร์ ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับจัดการเครือข่ายระยะใกล้
2. โพรโตคอล ทีซีพี/ไอพี (TCP/IP protocol) เป็นโพรโตคอลที่กำหนดโดยองค์กรอาร์พา (ARPA) เพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารสำหรับเครือข่ายระยะไกล
3. โพรโตคอล เน็ทบูอี (NETBEUI protocol) ซึ่งเป็นโพรโตคอลที่กำหนดโดยบริษัทไมโครซอฟต์ (Microsoft) เพื่อใช้กับโปรแกรมวินโดว์ (windows) ซึ่งเป็นใช้สำหรับจัดการเครือข่ายระยะใกล้

นอกจากนี้ยังมีโพรโตคอลอีกมากมายที่กำหนดโดยบริษัทต่างๆ แต่เนื่องจากเป็นโพรโตคอลที่ใช้กันในกลุ่มเล็กๆ ไม่ได้ใช้กันอย่างแพร่หลายจึงขอไม่นำมากล่าว ณ ที่นี้