

บทที่ 1

ความรู้พื้นฐานด้านการสื่อสารข้อมูล

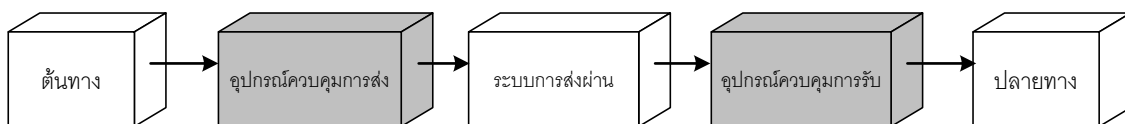
1.1 ความนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์มีความก้าวหน้าอย่างยิ่ง มีสมรรถนะด้านความเร็วในการประมวลผลสูงมาก สามารถต่อพ่วงกับอุปกรณ์รอบข้างที่มีประสิทธิภาพและทันสมัย มีความสะดวกในการใช้งาน ในขณะเดียวกันกลับมีขนาดเล็กลงจนสามารถพกพาไปไหนมาไหนได้อีกทั้งปัจจัยด้านราคาก็ลดลงอย่างเห็นได้ชัดหากเทียบกับราคาในทศวรรษที่ผ่านมา ด้วยเหตุนี้ ทำให้คอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ทุกเพศ ทุกวัย เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ มีการใช้งานอย่างแพร่หลายตามบ้านเรือน สถาบันการศึกษา ตลอดจนหน่วยงานภาครัฐหรือภาคเอกชนทั่วไป ทิศทางความก้าวหน้าของระบบคอมพิวเตอร์ เริ่มจากการใช้งานส่วนตัวภายในเครื่องเพียงเครื่องเดียว (stand alone) จากนั้นจึงปรับเปลี่ยนมุ่งเน้นไปสู่แนวทางการเชื่อมต่อไปยังเครื่องอื่น เหตุผลเพราะต้องการใช้ทรัพยากรร่วมกัน ใช้เป็นอุปกรณ์สื่อสารระหว่างกัน และใช้เพื่อการแลกเปลี่ยนถ่ายโอนข้อมูลระหว่างกัน ก่อให้เกิดเป็นเครือข่ายของการเชื่อมต่อสื่อสารจำนวนมากที่เรียกว่าเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (computer network) และทราบได้ที่ข้อมูลสารสนเทศที่มนุษย์ได้มาจากการเชื่อมต่อยังคงความสำคัญ ศาสตร์ทางด้านเครือข่ายคอมพิวเตอร์และการสื่อสารข้อมูล ก็จะมีมีความสำคัญและจำเป็นต้องศึกษาอย่างถ่องแท้ เพื่อก่อให้เกิดการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตามไปด้วย

ความก้าวหน้าทางเครือข่ายคอมพิวเตอร์และการสื่อสารข้อมูลที่เห็นได้ชัดคือ การเติบโตของเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งถือได้ว่าเป็นเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในปัจจุบัน ส่วนของการสื่อสารข้อมูลจากที่เคยถูกจำกัดด้วยระยะทาง ปริมาณของการเชื่อมต่อ ความแตกต่างทางเทคโนโลยี หรือแม้กระทั่งข้อจำกัดทางวัฒนธรรม ได้รับการปรับปรุงและพัฒนาจนสามารถติดต่อสื่อสารข้อมูลกันได้ทั่วโลก

1.2 โครงสร้างของการสื่อสารข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์

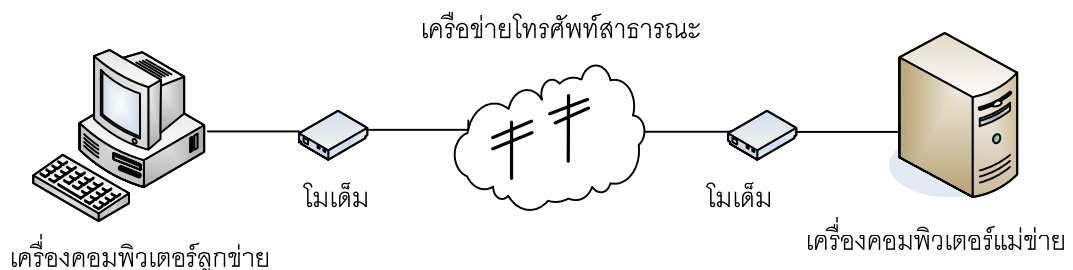
โครงสร้างของการสื่อสารข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ เป็นการโอนถ่ายหรือแลกเปลี่ยนข้อมูลกันระหว่างต้นทาง (source) และปลายทาง (destination) ผ่านทางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือคอมพิวเตอร์ ระบบการสื่อสารข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ จำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์หรือเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ช่วยในการควบคุมการโอนถ่ายข้อมูล (transmitter) ขณะที่ส่งกรณีที่ต้นทางไม่สามารถส่งข้อมูลได้โดยตรง และมีอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการรับข้อมูล (receiver) ในฝั่งรับปลายทางกรณีที่ปลายทางไม่สามารถควบคุมการรับส่งได้เอง รวมทั้งต้องอาศัยสื่อกลางการส่ง (transmission medium) ในการนำข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทาง การสื่อสารข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่มักจะมีซอฟต์แวร์ควบคุมทำงานควบคู่ไปกับการทำงานของฮาร์ดแวร์ เพื่อให้การสื่อสารข้อมูลเป็นไปอย่างถูกต้อง ครบถ้วนและมีประสิทธิภาพตามความต้องการ หากเป็นการสื่อสารข้อมูลขนาดใหญ่ มีอุปกรณ์เชื่อมต่ออยู่เป็นจำนวนมาก มีระยะทางที่ห่างไกลกัน ก็จำเป็นต้องมีระบบการส่งผ่านข้อมูล (transmission system) มาช่วยในการโอนถ่ายข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทาง ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แผนภาพพื้นฐานการสื่อสารข้อมูล
ที่มา (Stallings, 1997, p.3)

ตัวอย่างการสื่อสารข้อมูลที่แสดงการทำงานได้ครบตามโครงสร้างคือ การใช้งานเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ดังแสดงในรูปที่ 1.2 เครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย (client computer) หรือเครื่องเทอร์มินัล (terminal) ต้องการสื่อสารข้อมูลกับเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (host computer) ที่อยู่ห่างไกลออกไป ตามหลักความเป็นจริงพบว่ามีส่วนน้อยที่เครื่องทั้งคู่ จะทำการเชื่อมต่อกันโดยตรง ดังนั้นจำเป็นต้องอาศัยสื่อกลางการส่งที่มีในระบบโครงสร้างพื้นฐานเดิม (infrastructure)

นั่นก็คือระบบเครือข่ายโทรศัพท์สาธารณะ (public telephone network) เพื่อใช้ในการสลับเส้นทางเพื่อให้สามารถรับส่งข้อมูลได้ครอบคลุมทุกพื้นที่ และเป็นตัวกลางเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่ายต้นทางกับเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายที่ปลายทาง ตามปกติแล้วคอมพิวเตอร์มีการประมวลผลข้อมูลแบบดิจิทัล ในขณะที่สายโทรศัพท์ที่ใช้เป็นสื่อกลางถูกออกแบบมาให้ส่งสัญญาณเสียงซึ่งเป็นสัญญาณแอนะล็อกไป ดังนั้นเพื่อให้การสื่อสารข้อมูลเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ ระบบนี้จึงจำเป็นต้องมีการติดตั้งโมเด็ม เพื่อทำหน้าที่ควบคุมการส่งผ่านข้อมูล โดยทำการเข้ารหัส (encode) จากข้อมูลดิจิทัลให้เป็นสัญญาณแอนะล็อก แล้วจัดส่งลงไปยังสายสื่อสารผ่านเครือข่ายโทรศัพท์และใช้เครือข่ายโทรศัพท์สาธารณะทำการสลับเส้นทางไปจนถึงตำแหน่งปลายทาง ขณะที่ข้อมูลเดินทางถึงปลายทางข้อมูลจะไม่ใช่ในรูปแบบดิจิทัลที่เครื่องแม่ข่ายปลายทางสามารถนำเอาไปใช้ได้ ผังปลายทางจำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการรับข้อมูลในฝั่งผู้รับ ในที่นี้คือโมเด็มฝั่งรับ เพื่อทำการถอดรหัส (decode) สัญญาณที่รับมาให้เป็นข้อมูลดิจิทัล ส่งให้แก่เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายปลายทางเพื่อใช้ในการประมวลผลต่อไป



รูปที่ 1.2 ตัวอย่างของการสื่อสารข้อมูลในระบบอินเทอร์เน็ต
ที่มา (Stallings, 1997, p.3)

1.3 องค์ประกอบพื้นฐานของการสื่อสารข้อมูล

องค์ประกอบพื้นฐานของการสื่อสารที่ทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ ประกอบด้วย 4 ส่วน ได้แก่ ผู้ส่ง (sender) กับอุปกรณ์ควบคุมการส่ง และผู้รับ (receiver) กับอุปกรณ์ควบคุมการรับ, โปรโตคอล (protocol), ข้อมูล (data) และสื่อกลางการส่ง (transmission medium)

1.3.1 ผู้ส่งกับอุปกรณ์ควบคุมการส่ง และผู้รับกับอุปกรณ์ควบคุมการรับ

ผู้ส่งเป็นต้นทางของการสื่อสารข้อมูลมีหน้าที่ก่อให้เกิดข้อมูล หากต้นทางไม่สามารถส่งผ่านข้อมูลไปสู่สื่อกลางการส่งได้โดยตรง ต้องใช้อุปกรณ์ควบคุมการส่งในการเข้ารหัสข้อมูลให้เป็นสัญญาณ (signal) ที่ต้องการ แล้วส่งลงไปยังสื่อกลางการส่งไปยังฝั่งผู้รับ ส่วนผู้รับเป็นฝั่งปลายทางของการสื่อสารข้อมูลมีหน้าที่รับข้อมูลเพื่อนำไปใช้งาน หากปลายทางไม่สามารถรับข้อมูลได้โดยตรง ต้องใช้อุปกรณ์ควบคุมการรับในการถอดรหัสสัญญาณที่มาตามสื่อกลางการส่งให้เป็นข้อมูลที่ต้องการ ก่อนที่จะส่งต่อไปยังปลายทาง ทั้งอุปกรณ์ต้นทางและอุปกรณ์ปลายทางอาจเป็นอุปกรณ์ชนิดเดียวกันหรือต่างกันได้ อุปกรณ์รับส่งข้อมูลจำแนกได้ 2 ชนิด คือ ดีทีอี (Data Terminal Equipment: DTE) เป็นแหล่งกำเนิดข้อมูลและรับข้อมูลไปใช้ อาทิ คอมพิวเตอร์ลูกข่าย คอมพิวเตอร์แม่ข่าย เครื่องพิมพ์ ส่วนดีซีอี (Data Communications Equipment :DCE) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการรับส่งข้อมูลเพื่อให้การสื่อสารเป็นไปได้อย่างดี อาทิ โมเด็ม อุปกรณ์ทวนสัญญาณ อุปกรณ์สลับเส้นทาง อุปกรณ์ค้นหาเส้นทาง และจานดาวเทียม เป็นต้น

1.3.2 โปรโตคอล

โปรโตคอล คือมาตรฐาน วิธีการ หรือกฎระเบียบที่ใช้ควบคุมระบบการสื่อสารข้อมูลเพื่อให้ผู้รับและผู้ส่งสามารถรับส่งข้อมูลที่ถูกต้องโดยการควบคุมการทำงานของฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ รูปแบบและข้อกำหนดของข้อมูล ตัวอย่างของโปรโตคอลระบบการสื่อสารข้อมูล อาทิ ซีเอสเอ็มเอ/ซีดี, ทีซีพี/ไอพี, เอ็กซ์.25, ไอเอสไอ, เอสดีแอลซี และเฮชดีแอลซี เป็นต้น โปรโตคอลประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน (Stallings, 1997, p.12) คือ ส่วนที่หนึ่งคือวากยสัมพันธ์ (syntax) ประกอบด้วยรูปแบบของข้อมูล การเข้ารหัสการถอดรหัสข้อมูล และการสร้างระดับของสัญญาณในการรับส่ง ส่วนที่สองคือ ข้อกำหนด (semantics) ประกอบด้วยระเบียบการควบคุมข้อมูลสำหรับการเชื่อมต่อ และการจัดการกับข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการรับส่งข้อมูล และส่วนสุดท้ายคือ เวลา ประกอบด้วยความเร็วที่สอดคล้องกันของผู้รับผู้ส่งและลำดับของการลำเลียงข้อมูลที่สัมพันธ์กัน ไม่ว่าสถาปัตยกรรมของการสื่อสารข้อมูลนั้น ๆ จะมีลักษณะแตกต่างกันอย่างไร แต่ละ

สถาปัตยกรรมมักถูกควบคุมด้วยโปรโตคอลเฉพาะของตนเสมอ โปรโตคอลของการสื่อสารข้อมูลโดยทั่วไป สามารถจำแนกกลุ่มหน้าที่ได้ดังต่อไปนี้

1.3.2.1 การแบ่งส่วน(segmentation) และการรีแอสเซมบลี (reassembly)

ในการติดต่อสื่อสารระหว่างต้นทางและปลายทางมีการโอนถ่ายกลุ่มของข้อมูลที่มีขนาดคงที่ อาทิ เครือข่ายเอทีเอ็ม (Asynchronous Transfer Mode: ATM) มีขนาดของกลุ่มข้อมูลคงที่เท่ากับ 53 ไบต์ หรือ เครือข่ายอีเทอร์เน็ต (ethernet) มีขนาดของกลุ่มข้อมูลสูงสุดไม่เกิน 1,526 ไบต์ เป็นต้น รูปแบบข้อมูลของกลุ่มข้อมูลประกอบด้วยส่วนของข้อมูลจริงที่ต้องการส่งกับส่วนควบคุม (control field) ส่วนควบคุมข้อมูลมาจากการเติมสิ่งที่เรียกว่าพิดิยู (Protocol Data Unit: PDU) ที่ได้จากการทำงานในแต่ละชั้น (กรณีแบบจำลองโอเอสไอ มี 7 ชั้น) ตามหน้าที่เข้าด้วยกันกับข้อมูลจริง การเติมพิดิยูเข้ากับข้อมูลจริงในแต่ละชั้นของการทำงานเรียกว่าการรีแอสเซมบลี เมื่อรวมกันแล้วจะส่งลงไปยังชั้นที่อยู่ต่ำกว่าและทำซ้ำไปเรื่อย ๆ จนไปถึงชั้นต่ำสุด จึงสามารถส่งข้อมูลผ่านสื่อกลางไปยังฝั่งผู้รับ เมื่อข้อมูลเดินทางถึงฝั่งผู้รับ หากทั้ง 2 ฝั่งใช้โปรโตคอลเดียวกัน ฝั่งผู้รับเมื่อรับเอาข้อมูลขึ้นมา ในแต่ละชั้นของตนจะทราบว่าได้เติมพิดิยูลงไป ณ ตำแหน่งใดในกลุ่มของข้อมูล จากนั้นจะต้องทำการแบ่งส่วน เพื่อดึงเอาพิดิยูของชั้นของตนออกมาตรวจสอบ หากถูกต้องก็ดำเนินการส่งกลุ่มข้อมูลที่เหลือไปยังชั้นที่สูงกว่าต่อไป

1.3.2.2 การเอ็นแคปซูลชัน (encapsulation) เป็นการจัดการหลังจากที่มีการรีแอสเซมบลีแล้ว นั่นคือ เมื่อเกิดการรีแอสเซมบลีจะนำเอาพิดิยูมาต่อเข้ากับข้อมูลจริงที่ได้รับก่อนจะส่งไปยังชั้นถัดไป จะมีการผสมผสานข้อมูลจริงกับพิดิยูเข้าด้วยกัน กลายเป็นกลุ่มข้อมูลใหม่ในชั้นถัดไป เมื่อได้รับข้อมูลแล้วจะไม่สามารถแยกแยะได้ว่า ส่วนใดคือข้อมูลจริง ส่วนใดเป็นส่วนควบคุม เรียกการผสมผสานข้อมูลนี้ว่าการเอ็นแคปซูลชัน

1.3.2.3 การควบคุมการเชื่อมต่อ (connection control) เป็นกระบวนการควบคุมการรับส่งข้อมูลเพื่อให้มีกฎเกณฑ์ที่แน่นอน งานที่ทำในขั้นนี้ อาทิ ควรมีการสร้างการเชื่อมต่ออุปกรณ์ในลักษณะใด มีการส่งสัญญาณไปยังผู้รับให้รู้ตัวก่อนการรับส่งข้อมูลหรือไม่ หากต้องการส่งข้อมูลอย่างอิสระ สามารถส่งไปได้ทันทีโดยไม่ต้องติดต่อไปยังฝั่งผู้รับจะดำเนินการ

อย่างไร การรับข้อมูลในแต่ละครั้งควรมีสัญญานตอบรับ (acknowledge) กลับไปหรือไม่ มีการกำหนดการยืนยันกับข้อมูลที่ตอบกลับอย่างไร และมีกระบวนการสิ้นสุดการเชื่อมต่ออย่างไร เป็นต้น การควบคุมการเชื่อมต่อมีสถานะของการเชื่อมต่อ 5 สถานะคือ การร้องขอ (request) ให้ปลายทางทำงานบางอย่าง การได้รับแจ้ง (indication) ข่าวสารบางอย่าง การตอบสนอง (response) ข่าวสารที่ได้รับ การได้รับการยืนยัน (confirmation) กับข่าวสารที่ตอบสนอง และการสิ้นสุด (termination) กระบวนการเชื่อมต่อ

1.3.2.4 การเรียงลำดับข้อมูลที่มาถึง (ordered delivery) ในการสื่อสารข้อมูลที่มีการติดต่อกันจำนวนมาก จะประสบปัญหากับความเสถียรของข้อมูลที่เดินทางมายังผู้รับไม่ครบ ดังนั้นเพื่อเป็นการประกันในส่วนของผู้รับว่าข้อมูลที่มาถึงตนนั้นครบถ้วนหรือไม่ สามารถทำได้โดยการเรียงลำดับข้อมูลที่มาถึง กลุ่มข้อมูลชุดใดสูญหายก็สามารถร้องขอต้นทางเพื่อทำการส่งมาให้ใหม่ได้

1.3.2.5 การควบคุมการไหลของข้อมูล (flow control) เป็นการดำเนินการควบคุมความต่อเนื่องของข้อมูลที่โอนถ่าย หากต้นทางต้องการส่งข้อมูลปริมาณมาก ๆ หรือข้อมูลมีขนาดใหญ่ กลุ่มข้อมูลเหล่านั้น จะถูกแบ่งให้เป็นกลุ่มข้อมูลเล็ก ๆ และบรรจุหมายเลขตำแหน่งที่อยู่ลงไป จากนั้นจึงจะดำเนินการลำเลียงส่งออกไปตามลำดับ หากเกิดการสูญหายหรือเสียหายระหว่างทาง เป็นผลให้การไหลของกลุ่มข้อมูลไม่เป็นไปอย่างต่อเนื่อง ผู้รับก็สามารถตรวจสอบข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้ เพื่อจะดำเนินการแก้ไขต่อไป

1.3.2.6 การควบคุมข้อผิดพลาด (error control) เป็นเทคนิคในการตรวจสอบว่าข้อมูลที่ได้รับถูกต้องหรือไม่ กรณีที่มีการส่งข้อมูลระยะไกล หรือมีการรบกวนมาก ๆ ข้อมูลอาจสูญหาย เสียหายหรือถูกปลอมแปลง ก่อนที่จะเดินทางมาถึงปลายทาง ดังนั้นต้องหาวิธีที่ปลายทางดำเนินการพิสูจน์ให้ได้ว่า ข้อมูลที่ตนได้รับเป็นข้อมูลที่ถูกต้องส่งมาจากต้นทางจริง และเป็นข้อมูลชุดที่ถูกต้องครบถ้วน เพราะถ้าหากมีข้อผิดพลาดแม้แต่บิตเดียว อาจทำให้เกิดความเสียหายกับข้อมูลทั้งหมดได้ อาทิ การรับส่งแฟ้มข้อมูลที่สามารถทำงานได้ (executed file) ถ้ามีการผิดพลาดแม้แต่บิตเดียว แฟ้มข้อมูลนี้อาจเรียกมาใช้งานไม่ได้อีกต่อไป เป็นต้น

1.3.2.7 การจัดการเกี่ยวกับตำแหน่งที่อยู่ (addressing) เป็นหน้าที่ซึ่งไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ในระบบการสื่อสารข้อมูลที่มีการเชื่อมต่อปริมาณมาก ๆ การที่ข้อมูลจากต้นทางทำการถ่ายโอนไปจนถึงปลายทางนั้น จำเป็นต้องมีการอ้างตำแหน่งที่อยู่ของต้นทางและปลายทาง อาจใช้ตำแหน่งที่อยู่เชิงฮาร์ดแวร์ที่ติดมากับอุปกรณ์ เช่น ตำแหน่งที่อยู่แมค (Medium Access Control: MAC) ที่ติดมากับแผ่นวงจรประสานเครือข่าย (Network Interface Card: NIC) ทุกใบ หรืออาจใช้ตำแหน่งเชิงซอฟต์แวร์ที่อยู่ที่มีมนุษย์กำหนดขึ้นมาเอง เช่น ตำแหน่งที่อยู่ไอพี (Internet Protocol: IP) ซึ่งเป็นเลขขนาด 8 บิต 4 ชุด รวมเป็น 32 บิต เลขแต่ละชุดถูกคั่นด้วยจุด (ไอพีรุ่นที่ 4) นอกจากนี้ ยังทำหน้าที่ในการจัดการเกี่ยวกับเทคนิคการหาเส้นทางในการนำส่งข้อมูลให้ไปยังจุดหมายที่ต้องการ โดยมีการจัดภาวะการกำหนดตำแหน่งที่อยู่ (addressing mode) ซึ่งในระบบการสื่อสารข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์มีทั้งสิ้น 3 ภาวะ (Stallings, 1997, p.508) ภาวะที่ 1 คือยูนิคาสต์ (unicast) เป็นการส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังสถานีปลายทางเพียง 1 สถานี ที่เรียกว่าการส่งแบบ 1 ต่อ 1 ภาวะที่ 2 คือมัลติคาสต์ (multicast) เป็นการส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังสถานีปลายทางหลายสถานี โดยสถานีที่สามารถรับข้อมูลได้จะเป็นสถานีที่อยู่ในกลุ่มเดียวกับผู้ส่งต้นทางเท่านั้น และภาวะที่ 3 คือบรอดคาสต์ (broadcast) เป็นการส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังสถานีปลายทางทุกสถานีที่สถานีต้นทางเชื่อมต่อกับ

1.3.2.8 การมัลติเพล็กซ์ (multiplex) เป็นการรวมเอาหลาย ๆ งานเข้าไว้ด้วยกันแล้วส่งลงมายังช่องทางการสื่อสารเดียวกัน โดยช่องทางร่วมควรมีความจุและความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูง ๆ เพื่อให้เกิดอัตราประโยชน์สูงสุดในการใช้ช่องทางร่วมกัน

1.3.2.9 การบริการอื่น ๆ เช่น การกำหนดระดับความสำคัญ (priority) เพื่อทำให้สามารถแก้ปัญหาที่จะเกิดได้จะมีการให้ระดับความสำคัญในการทำงานแตกต่างกันไปตามลำดับความสำคัญของผู้ใช้ อาทิ ผู้ดูแลระบบมีระดับความสำคัญสูงกว่าผู้ใช้ทั่วไป อุปกรณ์ค้นหาเส้นทางหลักมีระดับความสำคัญกว่าอุปกรณ์ทวนสัญญาณธรรมดา เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการบริการเรื่องกำหนดระดับของการให้บริการ (grade of service) และการจัดระบบการรักษาความปลอดภัย (security) เป็นต้น

1.3.3 ข้อมูล

ข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ที่ส่งผ่านไปในระบบสื่อสารมี 2 แบบ คือข้อมูลดิจิทัล (digital data) และข้อมูลแอนะล็อก (analog data) ลักษณะการโอนถ่ายข้อมูลลงไปในสื่อกลางเพื่อลำเลียงจากผู้ส่งไปยังผู้รับจำเป็นต้องมีการเข้ารหัสข้อมูลให้เป็นสัญญาณเสียก่อน ทั้งนี้เนื่องจากสัญญาณเท่านั้นที่สื่อกลางสามารถนำพาไปได้ รูปแบบของข้อมูลที่ส่งออกไปอาจเป็นได้ทั้งข้อความเอกสาร รูปภาพ เสียงและวีดิทัศน์

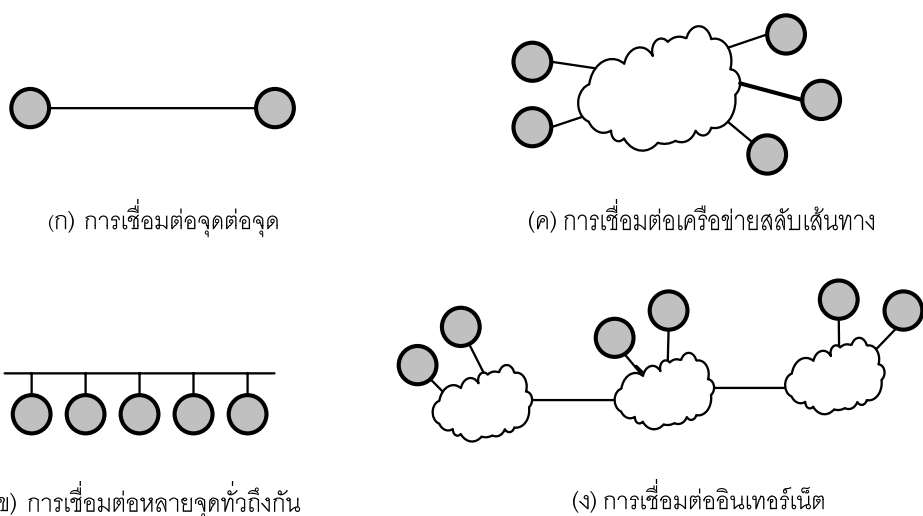
1.3.4 สื่อกลางการส่ง

สื่อกลางการส่งเป็นตัวกลางในการนำข้อมูลจากต้นทางลำเลียงไปยังปลายทางในการสื่อสารข้อมูลมีการจำแนกสื่อกลางการส่งเป็น 2 ชนิด (Stallings, 1997, p.75) คือสื่อกลางการส่งแบบกำหนดเส้นทางได้ (guide transmission media) สามารถระบุเส้นทางที่ข้อมูลจะทำการลำเลียงจากจุดใดไปยังจุดใดได้ชัดเจน อาทิ สายสื่อสารที่ทำด้วยโลหะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเหนี่ยวนำไปกับโลหะ และสายสื่อสารที่ทำด้วยแก้วหรือพลาสติกที่ลำแสงสามารถเดินทางผ่านไปได้ อีกชนิดคือสื่อกลางการส่งแบบกำหนดเส้นทางไม่ได้ (unguided transmission media) ไม่สามารถกำหนดจุดหมายปลายทางที่ชัดเจนเฉพาะเจาะจงลงไปได้ ทราบแต่เพียงเมื่อข้อมูลผ่านสื่อกลางการส่งไปแล้ว ปลายทางจะอยู่ในบริเวณที่สามารถรับข้อมูลได้ อาทิ คลื่นทางอากาศ เช่น คลื่นไมโครเวฟ คลื่นอินฟราเรด หรือคลื่นวิทยุที่นิยมใช้กับเครือข่ายไร้สาย (wireless network) ในปัจจุบัน เป็นต้น

1.4 วิวัฒนาการของการเชื่อมต่อในระบบสื่อสารข้อมูล

การเชื่อมต่อของการสื่อสารข้อมูลมีบริบทเริ่มต้นจากการเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์ 2 เครื่องเข้าหากันโดยตรงผ่านช่องทางอนุกรม (serial port) ในลักษณะจุดต่อจุด (point to point) เรียกว่าการเชื่อมต่อโดยไม่ใช้โมเด็ม (null modem) ผลจากการเชื่อมต่อทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์ 2 เครื่องสามารถใช้ทรัพยากรร่วมกันได้ ดังรูปที่ 1.3 (ก) จากนั้นจึงมีการพัฒนาไปสู่การเชื่อมต่อหลาย ๆ เครื่อง พร้อม ๆ กัน เกิดเป็นกลุ่มหรือเป็นเครือข่ายภายในบริเวณเดียวกัน ตัวอย่างที่

สำคัญ ได้แก่ เครือข่ายท้องถิ่น (local area network : LAN) ลักษณะเช่นนี้จัดว่าเป็นการเชื่อมต่อเครือข่ายแบบหลายจุดทั่วถึงกัน (multipoint broadcast network) ดังรูปที่ 1.3 (ข) การเชื่อมต่อในลักษณะนี้ จะทำให้เกิดการเชื่อมโยงกันได้ที่ละมาก ๆ แต่ยังประสบปัญหากรณีที่เครื่องลูกข่ายมีปริมาณมากเกินไป จะทำให้เกิดการคับคั่งของข้อมูลในเครือข่ายเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เหตุนี้จึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีอุปกรณ์ที่เรียกว่าสวิตช์ขึ้นมา เพื่อให้สามารถแบ่งเครือข่ายท้องถิ่นขนาดใหญ่ออกจากกันเป็นเครือข่ายเล็ก ๆ หลาย เครือข่ายโดยที่เครือข่ายย่อย ๆ นั้นยังสามารถติดต่อกันได้ เกิดเป็นการเชื่อมต่อแบบใหม่เรียกว่าการเชื่อมต่อเครือข่ายสลับเส้นทาง (switched network) ดังรูปที่ 1.3 (ค) เป็นผลให้มีขีดความสามารถในการควบคุมปริมาณความคับคั่งในเครือข่ายได้ดียิ่งขึ้น แต่กระนั้นยังมีข้อจำกัดเรื่องโปรโตคอลที่หลากหลาย ตลอดจนวงจรตรรกะของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อเข้ามามีความแตกต่างกัน ไม่สามารถใช้งานร่วมกันได้ เมื่อการเชื่อมต่อไม่มีมาตรฐานเดียว ก่อให้เกิดความยุ่งยากในการเชื่อมต่อเครือข่ายแต่ละเครือข่ายเข้าด้วยกัน ต่อมาจึงได้มีการจัดตั้งองค์กรกลางเพื่อทำหน้าที่กำหนดมาตรฐาน จุดประสงค์เพื่อให้แต่ละองค์กรที่ต้องการนำเครือข่ายของตน มาเชื่อมต่อรวมกับผู้อื่นยึดเป็นแนวปฏิบัติภายใต้กฎเกณฑ์เดียวกัน อันจะทำให้เครือข่ายของทุก ๆ แห่ง สามารถทำงานร่วมกันได้ เกิดการขยายตัวของเครือข่ายภายใต้มาตรฐานเดียวกันที่มีการเชื่อมต่อปริมาณมากที่สุดในโลก ภายใต้ชื่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตขึ้นในที่สุด ดังรูปที่ 1.3 (ง)



รูปที่ 1.3 วิวัฒนาการของการเชื่อมต่อในระบบสื่อสารข้อมูล

ที่มา (Stallings, 1997, p.499)

1.5 องค์การที่กำหนดมาตรฐานสากลในการสื่อสารข้อมูล

ระหว่างทำการสื่อสารข้อมูล อุปกรณ์ฝั่งผู้รับต้องรู้จักหรือเข้าใจข้อมูลข่าวสารที่อุปกรณ์ฝั่งผู้ส่งส่งมาให้ ดังนั้นอุปกรณ์ของผู้รับและผู้ส่งจะต้องเรียนรู้วิธีการรับส่งโดยใช้ตัวประสาน (interface) การเข้ารหัสและวิธีการตรวจสอบข้อผิดพลาดให้เป็นรูปแบบเดียวกัน หรือสามารถแปลงให้เป็นรูปแบบเดียวกันได้

ดังนั้นเพื่อความเป็นระเบียบและความสะดวกแก่ผู้ผลิตและผู้ใช้ ได้มีการสร้างระบบอิสระขึ้นมา ผู้ผลิตก็ผลิตสินค้าให้เป็นไปตามข้อกำหนดของระบบ ผู้ใช้ก็ติดตั้งอุปกรณ์และเชื่อมต่อตามที่ระบบต้องการ ระบบอิสระที่กล่าวมานี้เรียกว่าระบบเปิด (open system) มีองค์การที่รับผิดชอบในการกำหนดมาตรฐานสากลสำหรับระบบการติดต่อสื่อสารข้อมูลประกอบด้วย มาตรฐานสากลหรือโปรโตคอล สถาปัตยกรรมของการสื่อสาร และมาตรฐานของรหัสข้อมูล องค์การที่กำหนดมาตรฐานสากลในการสื่อสารข้อมูลที่สำคัญ ๆ มีดังนี้

1.5.1 ไอเอสโอ

ไอเอสโอ (ISO) ย่อมาจาก International Organization for Standardization เป็นองค์กรพัฒนามาตรฐานสากล ก่อตั้งมาตั้งแต่ปี ค.ศ.1946 ตั้งอยู่ที่กรุงเจนีวา ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ มาตรฐานที่ไอเอสโอได้ประกาศใช้มีมากกว่า 5,000 มาตรฐาน ที่พบเห็นในชีวิตประจำวันเช่น มาตรฐาน ISO 9000, ISO 9001 และ ISO 9002 เป็นมาตรฐานควบคุมการผลิตของผลิตภัณฑ์ ISO 14000 เป็นมาตรฐานควบคุมด้านสิ่งแวดล้อม ในเรื่องของการสื่อสารข้อมูล ไอเอสโอมีการพัฒนาแบบจำลองไอเอสโอ (Open Systems Interconnection: OSI) ที่พิมพ์ภายใต้มาตรฐานไอเอสโอหมายเลข 7498 ในราวกลางปี ค.ศ.1970 (Stallings, 1997, p.200) ซึ่งต่อมากลายเป็นแบบจำลองของสถาปัตยกรรมเครือข่ายในระบบเปิด โดยมีการแบ่งโครงสร้างการติดต่อสื่อสารออกเป็น 7 ชั้น (layers) แต่ละชั้นจัดการงานตามที่กำหนด สำหรับการเชื่อมโยงการสื่อสารในเครือข่ายระหว่างคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ที่มีความแตกต่างกัน

1.5.2 ซีซีไอทีที

ซีซีไอทีที (CCITT) ย่อมาจาก Consultative Committee in International Telegraphy and Telephony เป็นองค์กรพัฒนามาตรฐานสากลในเรื่องของการสื่อสารข้อมูลอีกสถาบันหนึ่ง มาตรฐานที่ซีซีไอทีทีประกาศใช้อยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ มาตรฐานวี และเอ็กซ์ โดยที่มาตรฐานวีจะประยุกต์ใช้สำหรับโทรศัพท์และโมเด็ม ส่วนมาตรฐานเอ็กซ์จะประยุกต์ใช้กับเครือข่ายข้อมูลสาธารณะเช่น เครือข่ายเอ็กซ์.25 และเครือข่ายสลับเส้นทาง

1.5.3 แอนซี

แอนซี (ANSI) ย่อมาจาก American National Standards Institute เป็นองค์กรพัฒนามาตรฐานในประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นหนึ่งในตัวแทนของกลุ่มประเทศสมาชิกในไอเอสโอ มาตรฐานที่แอนซีกำหนดขึ้นส่วนใหญ่จะเกี่ยวกับการให้ความหมายหรือข้อกำหนดของลักษณะของระบบผลิตและรับสัญญาณ คุณภาพและคุณลักษณะของข้อมูลที่ส่งออกไป และให้บริการเกี่ยวกับมาตรฐานสากลที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารข้อมูลและระบบเครือข่าย ส่วนใหญ่จะเป็นมาตรฐานการประดิษฐ์ตัวเลข ตัวอักษรในการติดต่อสื่อสารข้อมูล อีกทั้งรับผิดชอบในการกำหนดมาตรฐานการสื่อสารในเครือข่ายเฟดดิไ (Fiber Distributed Data Interface: FDDI)

1.5.4 ไอทรีเฟลอี

ไอทรีเฟลอี (IEEE) ย่อมาจาก Institute of Electrical and Electronic Engineers เป็นกลุ่มนักวิชาการและผู้ประกอบอาชีพทางสาขาไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศสหรัฐอเมริกา มาตรฐานที่ไอทรีเฟลอีกำหนดขึ้นส่วนใหญ่จะเป็นมาตรฐานทางวิศวกรรมและอุตสาหกรรมทางด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ และมาตรฐานเกี่ยวกับไมโครโพรเซสเซอร์และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในไมโครคอมพิวเตอร์ มาตรฐานที่สำคัญ เช่น ไอทรีเฟลอี 802.3 สำหรับระบบเครือข่ายแบบอีเทอร์เน็ต ไอทรีเฟลอี 802.5 สำหรับระบบเครือข่ายแบบโทเคนริง และไอทรีเฟลอี 802.11g สำหรับระบบเครือข่ายไร้สายความเร็ว 54 เมกะบิตต่อวินาที เป็นต้น

1.5.5 อีไอเอ

อีไอเอ (EIA) ย่อมาจาก Electronics Industries Association เป็นองค์กรที่กำหนดมาตรฐานทางอุตสาหกรรมไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศสหรัฐอเมริกา มาตรฐานของอีไอเอ มักจะขึ้นต้นด้วยอาร์เอส (Recommended Standard: RS) เช่น การต่อประสานของโมเด็ม RS-232C, RS-232D และ RS-449 เป็นต้น นอกจากนี้ยังกำหนดมาตรฐานของสายที่ใช้ในการสื่อสาร เช่น มาตรฐาน EIA-568 เป็นต้น

1.5.6 ไออีทีเอฟ

ไออีทีเอฟ (IETF) ย่อมาจาก Internet Engineering Task Force เป็นองค์กรที่รับผิดชอบเกี่ยวกับการตีพิมพ์การร้องขอหมายเหตุ (Requests for Comment: RFCs) จากหน่วยงานต่าง ๆ ที่ยื่นเรื่องเกี่ยวกับการขอจัดทำมาตรฐานหรือแนวคิดใหม่ โดยให้ความเห็นชอบจากสมาชิกในองค์กร นอกจากนี้ยังทำหน้าที่การคิดค้นบริการใหม่บนอินเทอร์เน็ต คิดค้นเทคนิคการค้นหาเส้นทาง และคิดค้นระบบการรักษาความปลอดภัยในเครือข่าย เป็นต้น

1.5.7 ไอทียู

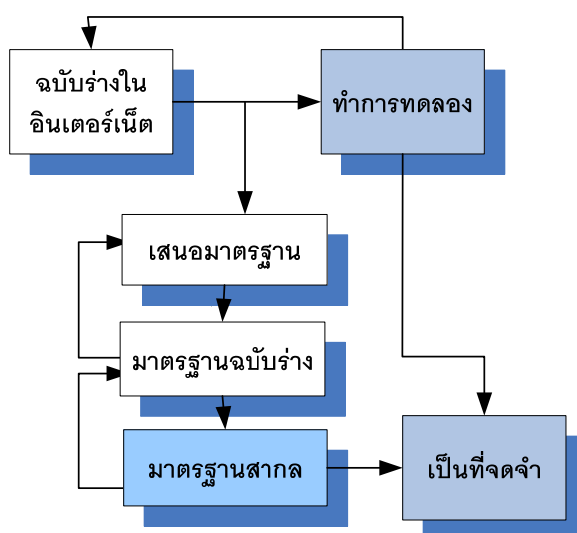
ไอทียู (ITU) ย่อมาจาก International telecommunication Union เป็นองค์กรสากลที่กำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับการสื่อสารทางไกลแบ่งกลุ่มการทำงานหลักเป็น 3 กลุ่มคือ ไอทียู-อาร์ (ITU-R) รับผิดชอบเกี่ยวกับการรับส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุ ไอทียู-ที (ITU-T) เกี่ยวข้องกับการสื่อสารข้อมูลด้วยโทรศัพท์และรูปแบบของข้อมูลที่ใช้ส่งผ่านไปรษณีย์โทรเลข ไอทียู-ดี (ITU-D) เกี่ยวข้องกับการพัฒนานวัตกรรมใหม่ ๆ ในการสื่อสารระยะไกล

1.5.8 ไอเอบี

ไอเอบี (IAB) ย่อมาจาก Internet Architecture Board เป็นองค์กรสากลที่มีหน้าที่ตรวจสอบการขอมาตรฐานบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต มีการตั้งอนุกรรมการเพื่อตรวจสอบมาตรฐานที่ผู้ขอกำหนดและขอจัดทำมาตรฐานมา และทำการให้หมายเหตุสำหรับการร้องขอในกรณีที่มาตรฐานเหล่านั้นยังพบข้อผิดพลาดอยู่ โดยมากมักทำงานประสานกันกับไออีทีเอฟ

1.6 มาตรฐานสากลในการสื่อสารข้อมูล

การที่จะได้มาซึ่งมาตรฐานสากลแต่ละมาตรฐานนั้นจะต้องมีขั้นตอนวิธีการตามผังงานรูปที่ 1.4 อธิบายเป็นขั้นตอนได้โดยเริ่มจากความต้องการทำมาตรฐานใหม่ของสมาชิก จะต้องมีการจัดทำกรร่างรายละเอียดในการเสนอโปรโตคอลแล้วทำการส่งไปสมาชิกทุก ๆ เพื่อทำการตรวจสอบเป็นการประกาศสู่สาธารณะ ขั้นตอนนี้ใช้เวลาอย่างน้อย 6 เดือน (Stallings, 1998, p.32) หากมีข้อผิดพลาดจะทำการแก้ไขและออกเป็นมาตรฐานฉบับร่างในเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ขั้นตอนนี้ทางกฎหมายห้ามมีการละเมิดลิขสิทธิ์ทางปัญญาแล้ว เมื่อมีการเสนอมาตรฐานจะมีองค์กรที่มีหน้าที่ตรวจสอบคือไออีทีเอฟและไอเอบี โดยจะทำการตรวจสอบและส่งไปให้ห้องวิจัยต่าง ๆ ทำการทดลอง และได้จัดทำเป็นมาตรฐานฉบับร่าง (draft standard) ไว้ก่อน ขั้นตอนนี้อาจทำซ้ำหลายรอบเพื่อหาข้อบกพร่องใช้เวลาอย่างน้อย 4 เดือนหากไม่มีหมายเหตุจากการตรวจสอบให้ทำการแก้ไข จึงจะกำหนดให้เป็นมาตรฐานสากลเป็นที่ยอมรับ และใช้งานไปจนกว่าจะล้าสมัย แต่หากมีข้อผิดพลาดให้กลับไปแก้ไขในขั้นตอนที่มีข้อผิดพลาด ตัวอย่างมาตรฐานสากลในการสื่อสารข้อมูลที่สำคัญ ๆ มีดังต่อไปนี้



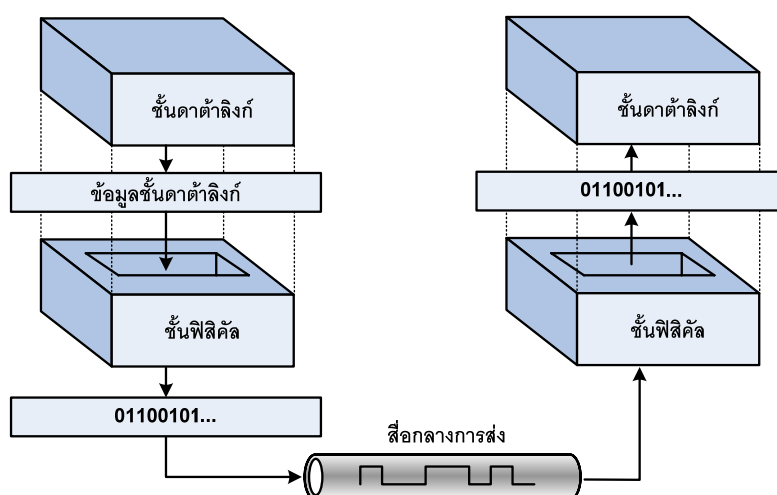
รูปที่ 1.4 ผังงานแสดงการสร้างโปรโตคอลใหม่

ที่มา (Stallings, 1997, p.28)

1.6.1 แบบจำลองไอเอสไอ

แบบจำลองไอเอสไอได้รับการออกแบบมาตรฐานจากไอเอสไอ โดยมีการแบ่งหน้าที่การทำงานในระบบการสื่อสารออกเป็นชั้นของสื่อสาร อาศัยแนวคิดคือ ชั้นแต่ละชั้นถูกกำหนดขึ้นมาตามบทบาทที่ต่างกัน แต่ละชั้นทำหน้าที่ตามขอบเขตที่ได้รับมอบหมาย หน้าที่การทำงานของแต่ละระดับต้องมีการคัดเลือกให้สอดคล้องกับมาตรฐานสากล ขอบเขตของระดับชั้นต้องมีการคัดเลือก โดยการกำหนดขีดจำกัดต่ำสุดของข้อมูลที่จะโอนถ่าย ผ่านการเชื่อมต่อ และจำนวนของระดับชั้นต้องมากพอที่จะบอกลักษณะการทำงานได้อย่างชัดเจน โดยมีหน้าที่ไม่มากเกินไปจนเกิดความสับสน รูปแบบจำลองไอเอสไอมีการแบ่งโครงสร้างของสถาปัตยกรรมออกเป็น 7 ชั้น ดังต่อไปนี้

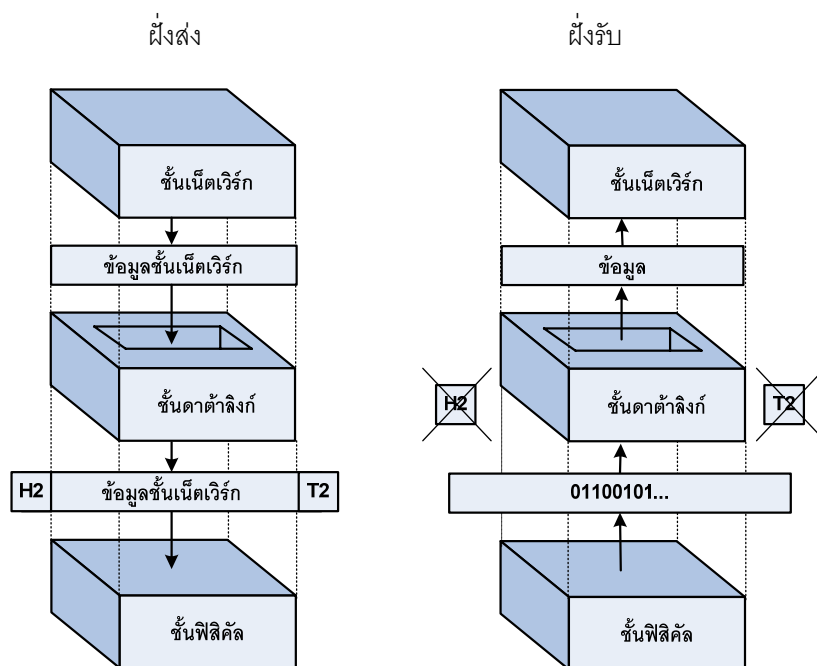
1.6.1.1 ชั้นฟิสิคัล (physical layer) เป็นชั้นล่างสุดของการติดต่อสื่อสาร ทำหน้าที่ในการควบคุมการรับส่งกระแสบิตที่ไม่มีโครงสร้างลงไปยังสื่อกลางการส่ง โดยรับข้อมูลมาจากชั้นดาต้าลิงก์ นับจนครบแล้วจึงส่งไปยังสื่อกลางการส่ง ดังรูปที่ 1.5 การทำงานจะเกี่ยวข้องกับกายภาพของอุปกรณ์และสิ่งที่อุปกรณ์เชื่อมต่อด้วย ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ หรืออุปกรณ์จักรกลใด ๆ



รูปที่ 1.5 จำลองการรับส่งข้อมูลในชั้นฟิสิคัล

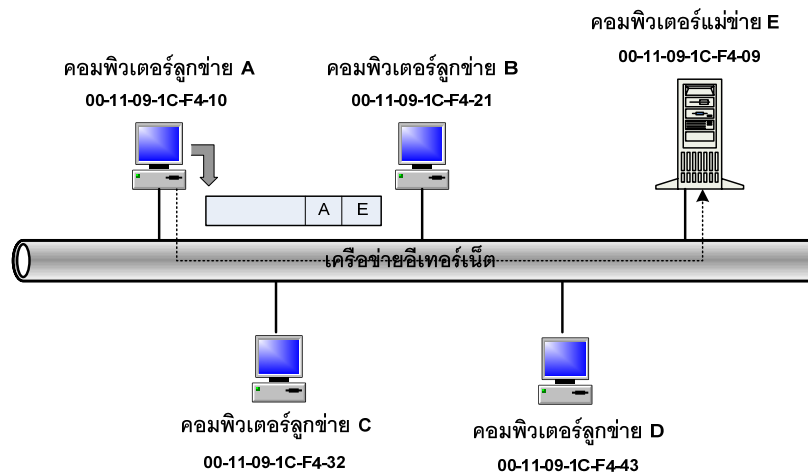
1.6.1.2 ชั้นดาต้าลิงก์ (data link layer) ในชั้นนี้ฝั่งส่งมีหน้าที่รับข้อมูล

จากชั้นเน็ตเวิร์ก โดยการเติมพีดียูส่วนหัว H2 และส่วนท้าย T2 เพื่อให้ในการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล ควบคุมการไหลของข้อมูลและหาวิธีกำจัดเฟรมที่ซ้ำกัน แล้วส่งกลุ่มของบิตลงไปยังชั้นฟิสิคัล ส่วนฝั่งรับมีหน้าที่รับข้อมูลจากชั้นฟิสิคัล จัดข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่มีโครงสร้างเป็นกลุ่มของบิตที่มีขนาดคงที่เรียกว่าเฟรม (frame) ตรวจสอบความถูกต้อง ตรวจสอบลำดับการไหลของข้อมูล ถ้าถูกต้องจะแบ่งส่วน H2 และ T2 ออกจากกลุ่มบิตและส่งที่เหลือขึ้นไปยังชั้นที่สูงกว่าต่อไป ดังรูปที่ 1.6 หน้าที่สำคัญอีกหน้าที่หนึ่งในขั้นนี้คือการรักษาสมดุลของการรับส่ง เพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องส่ง ส่งข้อมูลเร็วจนเกินขีดความสามารถของเครื่องรับ



รูปที่ 1.6 จำลองการรับส่งข้อมูลในชั้นดาต้าลิงก์

1.6.1.3 ชั้นเน็ตเวิร์ก (network layer) เป็นชั้นที่มีหน้าที่ควบคุมการติดต่อรับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ ให้เป็นไปด้วยความเรียบร้อย และสำคัญที่สุดคือการกำหนดตำแหน่งที่อยู่ (รูปที่ 1.7 เป็นตัวอย่างของการใช้ตำแหน่งที่อยู่แมคติดต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์ลูกข่าย A กับคอมพิวเตอร์แม่ข่าย E) นอกจากนี้ในชั้นนี้ยังมีส่วนในการหาเส้นทางเดินทางของข้อมูลที่ได้รับส่ง ในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ต้นทางและปลายทาง โดยเลือกเส้นทางที่ใช้เวลาในการสื่อสารน้อยที่สุดและระยะทางสั้นที่สุดด้วย ข้อมูลที่รับมาแบ่งออกเป็นกลุ่มเล็ก ๆ เรียกว่าแพ็กเก็ต (packet)



รูปที่ 1.7 การกำหนดตำแหน่งที่อยู่ในชั้นเน็ตเวิร์กโดยใช้ตำแหน่งที่อยู่แมค

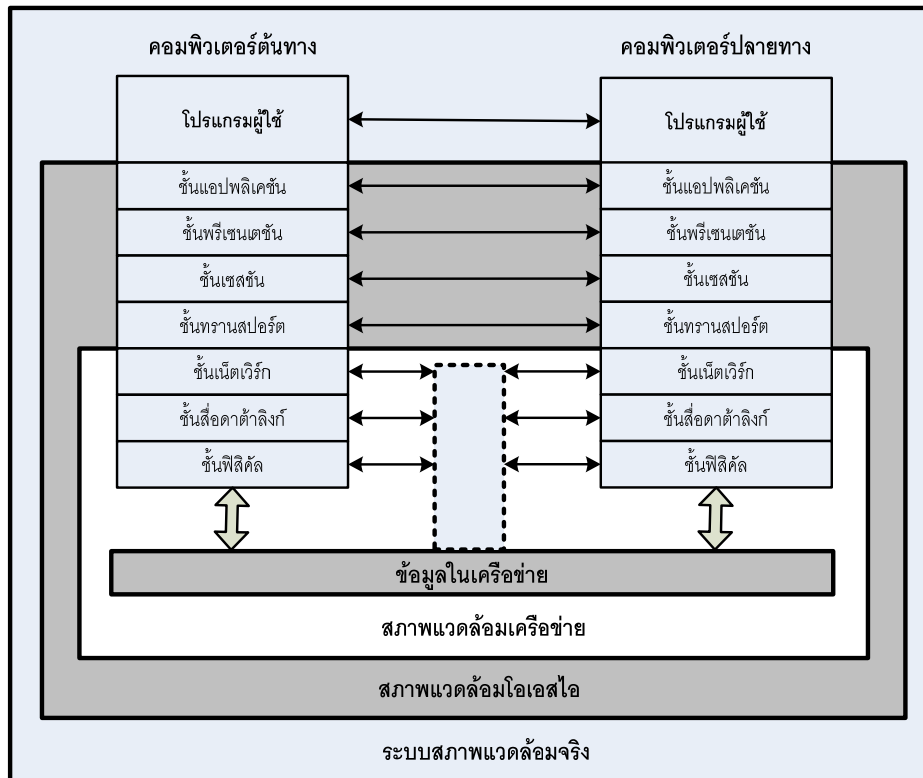
1.6.1.4 ชั้นทรานสปอร์ต (transport layer) บางครั้งเรียกว่าชั้นจุดต่อจุด ในชั้นนี้เป็นการสื่อสารกันระหว่างคอมพิวเตอร์ต้นทางกับคอมพิวเตอร์ปลายทางจริง ๆ ทำหน้าที่ตรวจสอบว่าข้อมูลที่ส่งมาจากชั้นที่สูงกว่านั้นไปถึงปลายทางจริง ดังนั้นการกำหนดตำแหน่งช่องทางของข้อมูลจึงเป็นเรื่องสำคัญในชั้นนี้ เนื่องจากจะต้องรู้ว่าใครคือผู้ส่ง ใครคือผู้รับ และรับส่งกันที่ช่องทางใด

1.6.1.5 ชั้นเซสชัน (session layer) ทำหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างโปรแกรมของผู้ใช้งานกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์เครื่องอื่น โดยผู้ใช้ใช้คำสั่งหรือข้อความที่กำหนดไว้ป้อนเข้าไปในระบบ ดูแลรักษาให้โปรแกรมของผู้ใช้ติดต่อกันโดยไม่ขาดการติดต่อ รวมถึงการตัดการสื่อสารระหว่างโปรแกรมของผู้ใช้เมื่อเลิกใช้งานแล้ว

1.6.1.6 ชั้นพรีเซนเตชัน (presentation layer) ทำหน้าที่รวบรวมข้อความและแปลงรหัส หรือแปลงรูปแบบของข้อมูลให้สามารถใช้งานกับข้อมูลที่มีรหัสต่างกันได้ เช่น แปลงรหัสจากรหัสแอสกีของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์เป็นรหัสเอ็บซีดิกของเครื่องเมนเฟรม เพื่อช่วยในการลดปัญหาต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นกับโปรแกรมของผู้ใช้งานในระบบ นอกจากนั้นในชั้นนี้ยังรับผิดชอบในการย่อข้อมูล (compress data) ที่จัดส่งลงไปยังสื่อกลางการส่งอีกด้วย

1.6.1.7 ชั้นแอปพลิเคชัน (application layer) เป็นชั้นบนสุดของแบบจำลองโอเอสไอ เป็นชั้นที่ใช้ติดต่อระหว่างผู้ใช้โดยตรง ซึ่งได้แก่ คอมพิวเตอร์ลูกข่าย หรือคอมพิวเตอร์แม่ข่าย โปรแกรมในชั้นนี้สามารถนำเข้า หรือออกจากระบบเครือข่ายได้โดยไม่จำเป็นต้องสนใจว่ามีขั้นตอนการทำงานอย่างไร หรือเครือข่ายจะมีระบบฮาร์ดแวร์ต่างกันหรือไม่

โดยทั่วไปสภาพแวดล้อมจริงที่ผู้ใช้ต้องการในการสื่อสารข้อมูลคือ การประมวลผลแบบเพียร์ (peer process) หมายถึงวิธีการที่ชั้นที่ n ใด ๆ บนอุปกรณ์เครื่องหนึ่งทำการสื่อสารกับชั้นที่ n บนอีกเครื่องหนึ่งโดยตรงเลย แต่ในความเป็นจริงแล้วข้อมูลไม่ได้มีการส่งผ่านโดยตรงในลักษณะดังกล่าว แต่ละชั้นที่อยู่ในชั้นสูงกว่าจะส่งข้อมูลจริง และส่วนควบคุมที่ผ่านการเอ็นแคปซูลชันแล้วลงไปยังชั้นที่ต่ำกว่า เมื่อชั้นที่ต่ำกว่าได้รับข้อมูลจะทำการเติมส่วนควบคุมที่ชั้นตนรับผิดชอบเข้าไป ทำการรีแอสเซมบลีและเอ็นแคปซูลชัน จากนั้นจึงจะดำเนินการส่งต่อไปยังชั้นที่ต่ำกว่าอีกและทำอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าถึงระดับชั้นต่ำสุด ซึ่งเป็นชั้นที่เชื่อมต่อกับสื่อกลางการส่งกายภาพที่สามารถส่งข้อมูลได้จริง เมื่อข้อมูลเดินทางถึงผู้รับอุปกรณ์รับข้อมูลจะทำการรับข้อมูลจากสื่อกลาง แล้วทำการลำเลียงส่งต่อไปยังชั้นที่อยู่สูงกว่า โดยก่อนที่จะส่งขึ้นไป จะทำการแบ่งส่วนควบคุมในชั้นที่ตนรับผิดชอบออกจากกลุ่มข้อมูลทั้งหมดที่รับมา แล้วนำส่วนควบคุมนั้นตรวจสอบตามหน้าที่ ถ้าไม่เกิดข้อผิดพลาดจะตัดส่วนควบคุมในชั้นของตนทิ้งไป และส่งกลุ่มข้อมูลที่เหลือขึ้นไปยังชั้นที่สูงกว่า ทำซ้ำไปเรื่อย ๆ จนถึงระดับชั้นสูงสุด ปลายทางจะได้รับข้อมูลเสมือนกับจัดการในลักษณะประมวลผลแบบเพียร์ ทั้งหมดทำภายใต้สภาพแวดล้อมของโอเอสไอ แต่กรณีที่ถูกอุปกรณ์รับส่งไม่ได้เชื่อมต่อกันโดยตรง มีอุปกรณ์เครือข่ายบางตัวคั่นกลางอยู่ ต้องพิจารณาว่าอุปกรณ์คั่นกลางทำงานถึงชั้นใด ถ้าทำงานไม่เกินชั้นเน็ตเวิร์ก จะถือว่าอุปกรณ์รับส่งและอุปกรณ์ที่คั่นกลางทำงานในสภาพแวดล้อมเครือข่ายดังแสดงในรูปที่ 1.8



รูปที่ 1.8 สถาปัตยกรรมเครือข่ายแบบจำลองไอเอสไอ

ที่มา (Halsall, 1996, p.14)

1.6.2 โปรโตคอลทีซีพี/ไอพี

โปรโตคอลทีซีพี/ไอพี มีชื่อย่อมาจาก Transmission Control Protocol/Internet Protocol ถูกพัฒนามานานกว่า 20 ปี เริ่มจากการวิจัยที่สนับสนุนโดยกระทรวงกลาโหมสหรัฐฯ โดยออกแบบสถาปัตยกรรมเครือข่ายบริเวณกว้างภายใต้เครือข่ายชื่อว่าอาร์พาเน็ต (ARPANET) เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ต่างรูปแบบกันให้สามารถสื่อสารกันผ่านเครือข่ายได้ใช้กันอย่างแพร่หลายบนระบบปฏิบัติการยูนิกซ์ (UNIX) การจัดการแตกต่างจากแบบจำลองไอเอสไออย่างเห็นได้ชัดคือ ลำดับการติดต่อสื่อสารในแต่ละชั้น แบบจำลองไอเอสไอจะมีความยืดหยุ่นน้อยกว่า เพราะกำหนดให้ชั้นที่ n ต้องติดต่อกับ $n-1$ ในขณะที่โปรโตคอลทีซีพี/ไอพี จะสื่อสารผ่านชั้นที่อยู่ติดกันหรือไม่ก็ได้ โปรโตคอลทีซีพี/ไอพี มีการออกแบบโดยแบ่งเป็นชั้น ๆ 5 ชั้น (Stallings, 1998, p.25) ดังต่อไปนี้

1.6.2.1 ชั้นฟิสิคัล (physical layer) เป็นชั้นที่ควบคุมการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์และการลำเลียงข้อมูลมายังสื่อกลางการส่ง เกี่ยวพันกับคุณลักษณะพิเศษของการโอนถ่ายข้อมูล อาทิส่งข้อมูลลงไป ในสื่อกลางการส่งแบบสื่อสารทางเดียว แบบสื่อสารสองทางครึ่งอัตรา หรือแบบสื่อสารสองทางเต็มอัตรา ทั้งยังเกี่ยวข้องกับธรรมชาติของสัญญาณ และอัตราเร็วในการส่ง

1.6.2.2 ชั้นเน็ตเวิร์กแอ็กเซส (network access layer) เกี่ยวพันกับการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างฮาร์ดแวร์กับการรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายโดยมิได้มีการระบุโปรโตคอลเฉพาะเจาะจงลงไปทำให้สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายได้หลายโปรโตคอล อาทิ เชื่อมต่อกับเครือข่ายอีเทอร์เน็ต โทเคนริง และเอพดีดีไอ เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถทำให้ใช้งานบนเครือข่ายท้องถิ่น เครือข่ายระดับเมือง หรือเครือข่ายบริเวณกว้างได้

1.6.2.3 ชั้นอินเทอร์เน็ต (internet layer) มีหน้าที่ควบคุมให้ข้อมูลเป็นไปตามกำหนดรูปแบบข้อมูลและกฎการสื่อสารตามโปรโตคอลไอพี (Internet Protocol: IP) ซึ่งใช้วิธีการส่งข้อมูลในเครือข่ายสลับกลุ่มข้อมูลแบบคอนเน็กชันเลส ซึ่งกลไกในการสื่อสารข้อมูลไม่จำเป็นต้องให้ฝั่งผู้รับรู้ตัว ไม่ต้องการการตอบรับแพ็กเก็ต แพ็กเก็ตแต่ละชุดมีอิสระในการค้นหาเส้นทางมายังฝั่งผู้รับ ทำให้การส่งแต่ละแพ็กเก็ตอาจมาถึงไม่เป็นไปตามลำดับ แพ็กเก็ตที่ส่งก่อนอาจมาถึงล่าช้ากว่าก็เป็นได้ ดังนั้นจึงเป็นหน้าที่ของโปรแกรมในชั้นที่สูงกว่าต้องทำหน้าที่ในการเรียงลำดับเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง

1.6.2.4 ชั้นทรานสปอร์ต (transport layer) เรียกอีกอย่างว่าชั้นโฮสต์ทูโฮสต์ (host to host) ในชั้นนี้มีโปรโตคอลย่อย 2 โปรโตคอลคือทีซีพี (Transmission Control Protocol: TCP) ทำหน้าที่ให้บริการการติดต่อแบบคอนเน็กชันโอเรียนเต็ด โดยมีหลักการทำงานคือ ก่อนจะมีการสื่อสารข้อมูลต้องสร้างเส้นทางการเชื่อมต่อไปยังผู้รับฝั่งปลายทาง ผู้รับต้องตอบรับการยืนยันในการสื่อสารจึงจะสามารถสื่อสารข้อมูลระหว่างกันได้ และยูดีพี (User Datagram Protocol: UDP) ทำหน้าที่ให้บริการการติดต่อแบบไม่ต่อเนื่อง สำหรับการสื่อสารที่ต้องการความเร็วแต่ไม่ต้องการเสถียรภาพมากนัก

1.6.2.5 ชั้นแอปพลิเคชัน (application layer) ชั้นนี้เป็นการเข้าใช้ทรัพยากรในระยะไกล การใช้ทรัพยากรร่วมกันในรูปแบบของโปรแกรมอ้างอิงโปรโตคอลย่อย อาทิ เทลเน็ต (telnet) เป็นโปรโตคอลเข้าทำงานระยะไกล โปรโตคอลเอฟทีพี (File Transfer Protocol: FTP) สำหรับโอนถ่ายแฟ้มข้อมูล โปรโตคอลดีเอ็นเอส (Domain Name System: DNS) สำหรับจัดการตำแหน่งที่อยู่และรายชื่อของเครื่องคอมพิวเตอร์ในระบบเครือข่าย เป็นต้น

1.7 รหัสสากลที่ใช้ในการส่งข้อมูล

รหัสสากลที่ใช้ในการส่งข้อมูลรูปแบบแรกที่เกิดขึ้นในโลกคือรหัสมอร์ส (morse code) (ฉัตรชัย สุมาลย์, 2540, หน้า 8) ปัจจุบันรูปแบบและเทคนิคการส่งข่าวสารได้เปลี่ยนไปตามความเจริญก้าวหน้าของเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ ข่าวสารที่ติดต่อสื่อสารสามารถเป็นได้ทั้งตัวอักษร ตัวเลข และสัญลักษณ์รวมเรียกว่าอักขระ ขณะที่ส่งข้อมูลลงไปยังสื่อกลางการส่งในระบบการสื่อสารข้อมูล จะมีการแปลงอักขระดังกล่าวให้เป็นสัญญาณดิจิทัลไฟฟ้าอีกครั้งหนึ่ง รหัสสากลในวงการสื่อสารข้อมูล ได้แก่ รหัสแอสกี รหัสบอดิ รหัสบีซีดี รหัสเอชซีดีค และรหัสยูนิโคด เป็นต้น

1.7.1 รหัสแอสกี

รหัสแอสกี (ASCII code) ย่อมาจาก American Standard Code for Information Interchange เป็นรหัสที่มีการใช้แพร่หลายกันมากในไมโครคอมพิวเตอร์ไอบีเอ็มและเครื่องเทียบเคียงไอบีเอ็ม รหัสแอสกีเป็นมาตรฐานที่กำหนดขึ้นโดยองค์กรแอนซี ประกอบด้วยรหัสข้อมูล 7 บิต บวกกับ 1 บิตภาวะคู่หรือคี่ เท่ากับ 8 บิต ต่อหนึ่งอักขระซึ่งแต่ละบิตจะแทนด้วยเลข “0” หรือ “1”

จำนวนของอักขระหรือสัญลักษณ์ทั้งหมดที่แทนด้วยรหัสแอสกีคำนวณได้จาก 7 บิตแรก ที่เป็น “0” หรือ “1” คือ 2^7 หรือ 128 ตัว โดยตัวที่มีค่า 0 ถึง 31 จะเป็นรหัสควบคุม ส่วนตัวที่ 32 เป็นต้นไปจะใช้เป็นอักขระหรืออักขระที่ใช้ในงานพิมพ์เอกสาร ดังแสดงไว้ในตารางที่

ตารางที่ 1.1 แสดงรหัสแอสกี

ในการใช้ตารางนี้ให้นำ 3 บิต ในคอลัมน์มาตั้ง แล้วนำ 4 บิตในแถวอนมาต่อท้าย เช่นอักขระ "A"ประกอบด้วยเลขฐานสอง 100 0001 และ "b" ประกอบด้วยเลขฐานสอง 110 0010								
	000	001	010	011	100	101	110	111
0000	NUL	DLE	SPACE	0	@	P	'	p
0001	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0010	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0011	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0100	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
0101	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0110	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0111	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
1000	BS	CAN	(	8	11	X	h	x
1001	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1010	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1011	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
1100	FF	FS	,	<	L	\	l	
1101	CR	GS	-	=	M	]	m	}
1110	SO	RS	.	>	N	^	n	~
1111	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

ที่มา (Halsall, 1996, p.99)

1.7.2 รหัสบอดิ

รหัสบอดิ (Baudot code) ตั้งชื่อตามชื่อของวิศวกรชาวฝรั่งเศสที่ทำงานในไปรษณีย์โทรเลขของฝรั่งเศส รหัสบอดิเป็นมาตรฐานของซีซีไอทีที ซึ่งใช้ในระบบโทรเลขทั่วโลก ประกอบด้วย รหัสขนาด 5 บิต ดังนั้นจึงใช้แทนตัวอักษรได้ 2^5 เท่ากับ 32 ตัว ซึ่งจะเห็นว่าไม่เพียงพอแก่การใช้งาน ดังนั้นจึงมีการเพิ่มอักขระพิเศษขึ้นอีก 2 ตัว เพื่อเป็นตัวบอกให้เครื่องทราบว่ากำลังใช้กลุ่มตัวอักษรกลุ่มใด นั่นคือ 11111 ใช้เป็นตัวเลื่อนเข้าสู่กลุ่มตัวอักษร (Letter Shift character : LS) และ 11011 ใช้เป็นตัวเลื่อนเข้าสู่กลุ่มรูปสัญลักษณ์ (Figure Shift character :FS) เหมือนกับการกดแป้นตรึงอักษรตัวใหญ่บนแป้นพิมพ์ เพื่อเปลี่ยนตัวอักษรตัวพิมพ์เล็กเป็น

ตัวพิมพ์ใหญ่ ซึ่งทำให้มีรหัสแทน ตัวอักษรเพิ่มอีก 32 ตัว โดยมีอักขระซ้ำกับกลุ่มตัวอักษรเดิม 6 ตัว ดังนั้นรหัสบอโดสามารถใช้แทนอักขระได้ทั้งหมด $32+32-6$ เท่ากับ 58 ตัว รหัสบอโดที่ใช้ในการสื่อสารของประเทศไทยมีขนาด 6 บิต เนื่องจากภาษาไทยมีพยัญชนะและสระมากกว่าภาษาอังกฤษ (สุริยัน ศรีสวัสดิ์กุล, 2539, หน้า 21)

1.7.3 รหัสบีซีดี

รหัสบีซีดี (BCD code) ย่อมาจาก Binary Coded Decimal ใช้การเข้ารหัสแบบ 6 บิตแทน 1 ตัวอักษรสามารถแทนอักขระได้ทั้งสิ้น 64 ตัว ในการสื่อสารมักเพิ่มบิตภาวะคู่หรือคี่เข้าไปอีก 1 บิตเพื่อใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องรวมทั้งสิ้นเป็น 7 บิต

1.7.4 รหัสเอชซีดีค

รหัสเอชซีค (EBCDIC code) ย่อมาจาก Extended Binary Coded Decimal Interchange Code พัฒนาขึ้นโดยบริษัท IBM ใช้บนเครื่องเมนเฟรมและเครื่องมินิ รหัสเอชซีคมีขนาด 8 บิต ต่อหนึ่งอักขระ บิตที่ 9 เป็นบิตภาวะคู่หรือคี่ ดังนั้นจึงสามารถใช้แทนอักขระได้ 2^8 เท่ากับ 256 ตัว นั่นคือ สองเท่าของรหัสแอสกี รหัสเอชซีคถือว่าเป็นรหัสมาตรฐานในการเข้ารหัสตัวอักษรของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในปัจจุบัน

1.7.5 รหัสยูนิโค้ด

รหัสยูนิโค้ด (unicode) กำหนดมาตรฐานโดยสมาคมยูนิโค้ด (Unicode consortium) มุ่งเน้นในการรวมรหัสทุกตัว ที่มีใช้เข้าไว้เป็นหนึ่งเดียว เป็นรหัสขนาด 16 บิต สามารถแทนตัวอักษรได้ 65,536 ตัวโดย 128 ตัวแรกเป็นไปตามมาตรฐานแอสกี เมื่อสามารถแทนอักขระจำนวนมากได้ ดังนั้นจึงแทนอักขระของภาษาเกือบทั่วโลก ภาษาไทยเริ่มพยัญชนะ ก ที่ค่า OE01 ฐานสิบหก หรือลำดับที่ 3,585 ฐานสิบ นอกจากนี้รหัสยูนิโค้ดยังเพิ่มประสิทธิภาพในการที่ไม่ต้องค้นหาอักขระที่ใช้ร่วมกับตัวอื่น ไม่ต้องมีการสร้างโปรแกรมฝังตัวในหน่วยความจำเพื่อสลับแป้นพิมพ์จากภาษาหนึ่งไปยังภาษาหนึ่ง ในปัจจุบันมีการร่วมมือระหว่างสมาคมนี้กับไอเอสโอในการขยายรหัสยูนิโค้ดเป็น 31 บิตภายใต้มาตรฐานไอเอสโอหมายเลข 10646 (Unicode Consortium, 2005)

1.8 อักขระควบคุมที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล

อักขระควบคุมของรหัสแอสกี เป็นอักขระที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์เพื่อควบคุมกระบวนการรับส่งข้อมูล ตัวอย่างอักขระควบคุมที่ใช้บ่อย ๆ ในการสื่อสารแสดงในตารางที่

1.2

ตารางที่ 1.2 อักขระควบคุมรหัสแอสกีที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูล

อักขระ	ความหมาย
NUL	อักขระว่าง (null) โดยมากใช้เติมลงไปเพื่อให้ครบจำนวน
SOH	ส่วนหัวของข่าวสาร (start of heading) ระบุส่วนหัวของกลุ่มข้อมูล
STX	เริ่มต้นข้อความที่ต้องการจะส่งให้ (start of text) ต่อจากนี้คือข้อความจริง
ETX	สิ้นสุดข้อความที่ต้องการส่งให้ (end of text)
EOT	สิ้นสุดการส่งข้อมูล (end of transmission)
ENQ	เรียกการตอบสนองจากผู้รับข้อมูล (enquiry)
ACK	รหัสที่ผู้รับตอบรับยืนยันว่าได้รับข้อมูลถูกต้องครบถ้วน (acknowledge)
DLE	ระบุว่าอักขระที่ตามมาจะเป็นรหัสควบคุมการส่งข้อมูล (data link escape)
DC1 - 4	รหัสควบคุมขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ (device control)
NAK	รหัสที่ผู้รับตอบกลับว่ามีความผิดพลาดในการส่ง (negative acknowledge)
SYN	อักขระที่ใช้ปรับสัญญาณนาฬิกาของผู้รับและผู้ส่งให้ตรงกัน (synchronous)
ETB	สิ้นสุดกลุ่มข้อมูลที่ทำกรส่ง (end of transmission block)
CAN	เกิดมีความผิดพลาดในการส่งข้อมูล ให้ยกเลิกข้อมูลเก่าที่ค้างอยู่ได้ (cancel)
SUB	แทนอักขระที่ผิดพลาด (substitute)
ESC	อักขระที่ใช้ร่วมกับตัวอื่นทำให้ตัวควบคุมมีเพิ่มหลายแบบ (escape)
FS	ขอบเขตในทางตรรกะของกลุ่มข้อมูลที่โอนถ่าย (file separator)
GS	อักขระคั่นกลาง ใช้แสดงขอบเขตของกลุ่มข้อมูลที่ส่งออกไป (group separator)
RS	อักขระคั่นกลาง ใช้แสดงการคั่นระหว่างระเบียบที่ส่งไป (record separator)
US	อักขระคั่นกลาง ใช้แสดงการคั่นข้อมูลที่แตกต่างกันไป (unit separator)
DEL	ระบุให้ลบตัวอักขระที่ไม่ต้องการออกไป (delete)
SP	เป็นรหัสที่ไม่มีการพิมพ์อักษรใด ๆ ใช้เป็นตัวแยกคำต่าง ๆ (space)

ที่มา (สุริยัน ศรีสวัสดิ์กุล, 2539, หน้า 53-55)

1.9 บทสรุป

ระบบการสื่อสารข้อมูลและระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ด้วยขีดความสามารถและความสะดวกในการใช้งานที่เพิ่มขึ้น ทำให้นำไปประยุกต์ใช้ในงานได้หลายด้าน ตัวอย่างใกล้ตัวที่เห็นได้ชัดทางการศึกษา คือการเรียนการสอนทางไกลระบบอิเล็กทรอนิกส์ (E-learning) นักศึกษามีเพียงเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อเข้ามาในระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ก็สามารถเข้ามาเรียน ส่งงาน ติดต่อกับอาจารย์ ลงทะเบียน ตรวจเกรด ตรวจสอบการสำเร็จการศึกษาได้อย่างง่ายดาย

สิ่งที่จำเป็นในระบบการสื่อสาร นอกจากผู้ส่งผู้รับอุปกรณ์รับส่ง สื่อกลางการส่ง ที่เป็นฮาร์ดแวร์แล้ว ยังมีส่วนที่สำคัญขาดไม่ได้เลยในการสื่อสารทุกชนิดนั่นก็คือโปรโตคอล รูปแบบมาตรฐานที่องค์กรต่าง ๆ กำหนดไว้ ทำให้อุปกรณ์ที่แตกต่างกันแต่ทำตามกฎระเบียบเดียวกันยังคงสามารถสื่อสารกันได้ โดยทั่วไปในระบบเครือข่ายต่าง ๆ ในการเรียนรู้มักเทียบกับแบบจำลองโอเอสไอ หรือทีซีพี/ไอพี ซึ่งแต่ละโปรโตคอลมีการทำงานเป็นชั้น มีจำนวนชั้นและหน้าที่แตกต่างกันไปตามที่คณะผู้จัดทำกำหนด และไม่ว่าจะเป็นโปรโตคอล หรืออุปกรณ์ชนิดใด ถ้าพิจารณาในแง่ของการสื่อสารแล้ว ต่างก็ถูกสร้างขึ้นมาจากจุดประสงค์หลักคือ ทำให้ระบบการสื่อสารข้อมูลมีความเร็ว มีความถูกต้อง ครบถ้วน และปลอดภัยในการส่งข้อมูลทั้งสิ้น

1.10 คำถามท้ายบท

1. องค์ประกอบของระบบการสื่อสารข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วยอะไรบ้าง อธิบาย
2. เหตุใดจึงต้องมีองค์กรที่มีหน้าที่กำหนดมาตรฐานในระบบการสื่อสารข้อมูล และเครือข่าย จงยกตัวอย่างองค์กรพร้อมทั้งมาตรฐานที่กำหนดมา 3 องค์กร
3. โปรโตคอลในการสื่อสารคืออะไร เหตุใดจึงต้องมีโปรโตคอล จงยกตัวอย่างโปรโตคอลสากลที่ใช้กันแพร่หลายในระบบการสื่อสารข้อมูลมา 2 โปรโตคอล พร้อมทั้งหน้าที่และข้อกำหนดของแต่ละโปรโตคอล
4. โปรโตคอลโอเอสไอมีการทำงาน 7 ชั้น ถ้าสมมติให้มีการสลับชั้นระหว่างชั้นที่ 2 คือชั้นดาต้าลิงก์ กับชั้นที่ 3 คือชั้นเน็ตเวิร์ก จะเกิดเหตุการณ์ใดในระบบการสื่อสารข้อมูล
5. จงยกตัวอย่างรหัสสากลที่ใช้ในระบบการสื่อสารข้อมูลมา 2 รหัส อธิบายคุณลักษณะมาพอสังเขป ถ้าต้องการให้คอมพิวเตอร์ 2 เครื่องที่ใช้รหัสแตกต่างกันสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ควรเป็นหน้าที่ของชั้นใด ในแบบจำลองโอเอสไอ
6. จงยกตัวอย่างอักขระควบคุมของรหัสแอสกีมา 5 อักขระ พร้อมทั้งความหมายและหน้าที่ของทุกรหัส
7. อาซีพม์คูเทคก์ ทำหน้าที่เปรียบได้กับแบบจำลองโอเอสไอชั้นใด เพราะเหตุใด
8. บอกข้อแตกต่างที่เห็นได้ชัดของแบบจำลองโอเอสไอกับโปรโตคอลทีซีพีไอพีมาพอสังเขป
9. หากไม่มีตัวเลื่อนเข้าสู่กลุ่มตัวอักษรของรหัสบอโด จะสามารถแทนตัวอักษรได้กี่ตัว
10. ตัวเลขอาระบิกทั้งหมดในรหัสแอสกีเริ่มจากค่าใดและสิ้นสุดที่ค่าใดในเลขฐานสิบ

เอกสารอ้างอิง

ฉัตรชัย สุมาลย์. (2540). การสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์และระบบเครือข่าย. กรุงเทพฯ : ไอบีซี พับลิชิ่ง.

สุริยัน ศรีสวัสดิ์กุล. (2539). ระบบการสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์. กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์.

Halsall, F. (1996). Data Communications, Computer Networks, and Open systems (4th ed.). New York: Addison-Wesley.

Stallings, W.(1997). Data and Computer Communication (5th ed.). New Jersey: Prentice-Hall.

Stallings, W.(1998). High-Speed Networks:TCP/IP and ATM Design Principles. New Jersey: Prentice-Hall.

Unicode Consortium.(2005). ISO 10646 and UTF-8 [On-line]. Available:
<http://www.unicode.org>.