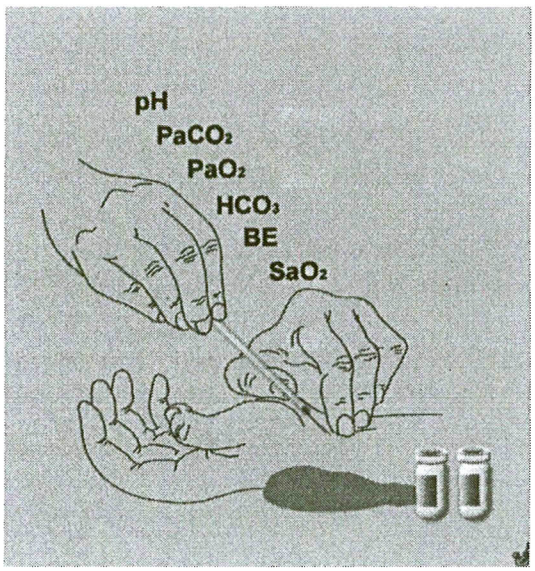
บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ก๊าซในเลือดแดง

ก๊าซในเลือดแดง (Arterial Blood Gases) การวิเคราะห์ก๊าซในเลือดเป็นการตรวจทางห้องปฏิบัติการที่มีส่วนช่วยให้เข้าใจถึงการทำงานของเซลล์และพยาธิสภาพที่เกิดขึ้น เพื่อประโยชน์ในการวินิจฉัยโรค การดำเนินโรคและการประเมินผลการรักษาผู้ป่วยอย่างใกล้ชิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบการหายใจและการไหลเวียนเลือด ซึ่งการวิเคราะห์ก๊าซในเลือดแดงสามารถแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การวิเคราะห์ก๊าซในเลือดแดง

ด้วยเหตุที่ออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่มีความสัมพันธ์ในกระบวนการ เมตะบอลิซึมของร่างกาย ดังนั้นการวิเคราะห์ก๊าซในเลือดจึงมีส่วนช่วยให้เข้าใจถึงการทำงานของเซลล์และพยาธิสภาพที่เกิดขึ้นได้ เพื่อประโยชน์ในการวินิจฉัยโรค การดำเนินโรคและการประเมินผลการรักษาผู้ป่วยทางคลินิก โดยทั่วไปใบรายงานผลก๊าซในเลือดจะแสดงข้อมูลที่สำคัญและคำย่อต่อไปนี้

pH	ภาวะความเป็นกรดด่าง (Acid Base Status)
PaO_2	แรงดันออกซิเจนในเลือดแดง (Partial Pressure of Oxygen in Arterial Blood)
$PaCO_2$	แรงดันคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดแดง (มม.ปรอท)
HCO_2	ความเข้มข้นไบคาร์บอเนตในพลาสม่า (mEq/L)
BE	ปริมาณ Base Excess ในร่างกาย (mEq/L)
mEq/L	Milliequivalent Per Litre
SaO_2	ค่าความอิ่มตัวของฮีโมโกลบินในเลือดแดง (Arterial Oxygen Saturation)
SpO_2	ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดแดง (Percutaneous Oxygen Saturation)
CO_2	ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายอยู่ในพลาสม่า (มม.ปรอท)
CaO_2	ปริมาณออกซิเจนในเลือดแดง (Arterial Oxygen Content)
PiO_2	Partial Pressure of Inspired Oxygen
PtO_2	แรงดันออกซิเจนในเนื้อเยื่อ (Partial Pressure of Tissue Oxygen)
$PECO_2$	Partial Pressure of Expired Carbon Dioxide
Hb	ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin)
HbCO	คาร์บอกซีฮีโมโกลบิน (Carboxyhemoglobin)
HbO_2	ออกซีฮีโมโกลบิน (Oxyhemoglobin)
MetHb	เมททิโมโกลบิน (Methemoglobin)
HCO_3^-	ความเข้มข้นไบคาร์บอเนตในพลาสม่า (mEq/L)
CaO_2	ปริมาณออกซิเจนในเลือดแดง (O_2 Content)
$FiCO_2$	สัดส่วนของคาร์บอนไดออกไซด์ (Fraction of Inspired Carbon Dioxide)
FiO_2	สัดส่วนของออกซิเจนที่ร่างกายหายใจเข้าไป (Fraction of Inspired Oxygen)

O_2	ก๊าซออกซิเจน (Oxygen)
CO	ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ (Carbon Monoxide)
$P\bar{v}O_2$	แรงดันออกซิเจนในเลือดดำ
$P\bar{v}CO_2$	แรงดันคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดดำ
$S\bar{v}O_2$	ค่าความอิ่มตัวของฮีโมโกลบินในเลือดดำ (Mixed Venous Oxygen Saturation)
$\dot{V}O_2$	ปริมาณการใช้ออกซิเจน (Oxygen Consumption)
$\dot{Q}$	ปริมาตรเลือดที่ออกจากหัวใจ (Perfusion Cardiac Output)
$\dot{V}_A$	การระบายอากาศของถุงลมปอด (Alveolar Ventilation)

2.1.1 SaO_2

SaO_2 หมายถึง สัดส่วน % ของฮีโมโกลบินส่วนที่จับกับออกซิเจนในเลือดแดง หรือค่าความอิ่มตัวของฮีโมโกลบินด้วยออกซิเจนในเลือดแดง ออกซิเจนในเลือดประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่ละลายในพลาสม่าเป็น PaO_2 และส่วนที่จับกับฮีโมโกลบินคือ HbO_2 เมื่อฮีโมโกลบินปล่อยออกซิเจนให้กับเซลล์แล้วจะเรียกว่า "Deoxygenated Hemoglobin" (HbH^+) ซึ่งการคำนวณ SaO_2 สามารถคำนวณได้จาก

$$SaO_2 = \frac{HbO_2}{HbO_2 + HbH^+} \times 100 \qquad (2.1)$$

โดยปกติค่าความอิ่มตัวของฮีโมโกลบินในเลือดแดง (SaO_2) จะมีค่าประมาณ 95 - 99 % และค่าความอิ่มตัวของฮีโมโกลบินในเลือดดำ ($S\bar{v}O_2$) จะมีค่าประมาณ 75%

SaO_2 99% หมายความว่า ในเลือดแดงมีฮีโมโกลบิน (Hb) 99 ส่วนใน 100 ส่วนที่สามารถจับกับก๊าซออกซิเจน (O_2) ส่วน $S\bar{v}O_2$ 75% หมายความว่า ในเลือดดำมีฮีโมโกลบิน (Hb) 75 ส่วนใน 100 ส่วนที่สามารถจับกับก๊าซออกซิเจน (O_2)

SaO_2 มีความสำคัญช่วยบอกให้ทราบถึงค่า PaO_2 โดยอาศัยความสัมพันธ์ของ SaO_2 และ PaO_2 ตาม Oxyhemoglobin Dissociation Curve การคำนวณ CaO_2 และปริมาณการใช้ออกซิเจน (Oxygen Consumption: $\dot{V}O_2$)

2.1.2 CaO_2

CaO_2 หมายถึง ปริมาณออกซิเจนในเลือดแดง (O_2 Content) ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนแรกมากกว่า % 98 จับกับฮีโมโกลบินและส่วนที่เหลืออีกเพียงเล็กน้อยจะละลายในพลาสมา

ปริมาณ O_2 ในเลือดแดง = (ปริมาณ O_2 ใน Hb) + (ปริมาณ O_2 ในพลาสมา)

$$CaO_2 = (1.34 \times Hb \times SaO) + (0.003 \times PaO_2)$$

2.1.3 HbCO

ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ (Carbon Monoxide: CO) เป็นก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ สามารถจับกับฮีโมโกลบินดีกว่าออกซิเจน 200 - 250 เท่า จะได้เป็นคาร์บอกซีฮีโมโกลบิน(Carboxyhemoglobin: HbCO)

HbCO ในคนปกติมีค่าประมาณ 1 - 2 % แต่ในผู้ป่วยที่สูบบุหรี่จัด ซึ่งมีค่าประมาณ 10 % ถ้า HbCO > 30 % จะทำให้ผู้ป่วยมีอาการปวดศีรษะอย่างรุนแรง มึนงง อ่อนเพลีย ตาพร่ามัวและถ้า HbCO > 70 % อาจทำให้ผู้ป่วยเสียชีวิตได้

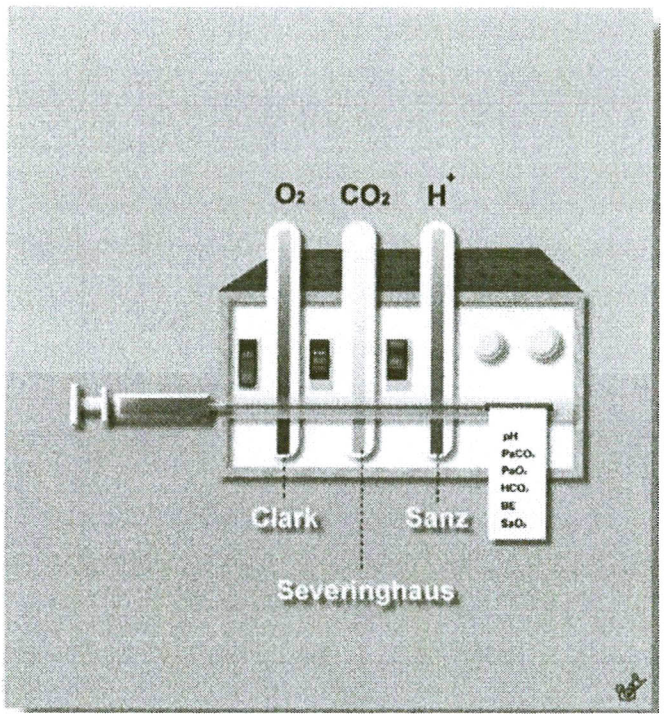
2.1.4 MetHb

เม็ดเลือดแดงประกอบด้วยฮีโมโกลบินซึ่งมีธาตุเหล็กวาเลนซี 2 (Fe^{+2}) ทำให้ฮีโมโกลบิน 1 โมเลกุล จับกับออกซิเจนได้ 4 อะตอม เรียกว่า "ออกซีฮีโมโกลบิน" (Oxyhemoglobin: HbO_2) เมื่อฮีโมโกลบินถูกออกซิไดซ์ (Oxidized) คือ ให้อิเล็กตรอนทำให้เลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้นจะทำให้ Fe^{+2} เปลี่ยนเป็น Fe^{+3} เรียกว่า "เมทฮีโมโกลบิน" (Methemoglobin: MetHb) ซึ่งไม่สามารถจับกับออกซิเจนได้เลยและในคนปกติมีค่าประมาณ 2% MetHb จึงไม่มีส่วนช่วยในการนำออกซิเจนไปให้กับเซลล์และเนื้อเยื่อ ถ้ามีปริมาณสูงอาจเป็นสาเหตุทำให้ผู้ป่วยมีภาวะออกซิเจนต่ำได้

2.2 เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซ

โดยทั่วไปเครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซจะประกอบด้วยขั้วบวก (Anode) และขั้วลบ (Cathode) ซึ่งสามารถตรวจปริมาณประจุไฟฟ้าได้ โดยการวัดส่วนที่ละลายในพลาสมา (PaO_2) อาศัยขั้วลบ Cathode ที่เรียกว่า "Clark Electrode" สำหรับ $PaCO_2$ ใช้ขั้วลบ ที่เรียกว่า "Severinghaus Electrode" และไฮโดรเจนไอออน (H^+)

ซึ่งใช้วิธีวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าโดย Sanz Electrode ส่วนปริมาณไบคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) และปริมาณ Base Excess ในร่างกาย (BE) เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งสามารถแสดงเครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซ

เครื่องวิเคราะห์ก๊าซบางรุ่น ยังอาจประกอบด้วยเครื่องมือในการตรวจหาค่าอิเล็กโทรไลท์ (Electrolytes) หรือเครื่อง CO Oximeter ซึ่งใช้สำหรับตรวจวัด % คาร์บอกซีฮีโมโกลบิน (% HbCO)

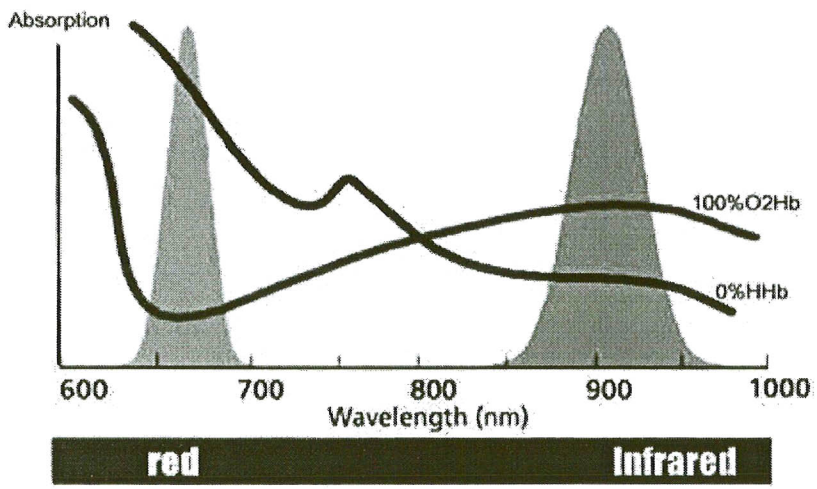
โดยทั่วไปเครื่องวิเคราะห์ก๊าซต้องได้รับการปรับเทียบความถูกต้อง (Calibration) ทุก 8 ชั่วโมง หรือเมื่อตรวจเลือดไปแล้วทุกๆ 50 ตัวอย่าง ด้วยเหตุนี้ เครื่องจึงควรได้รับการตรวจสอบคุณภาพจากบริษัทผู้ขายอย่างสม่ำเสมอ

ปัจจุบัน มีเครื่องวิเคราะห์ก๊าซบางรุ่นที่สามารถตรวจวัดและบันทึกการเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซในเลือดได้ตลอดเวลา (Continuous Blood Gas Monitoring) ซึ่งทำให้ผู้ป่วยไม่ต้องเสียเลือดในการตรวจแต่ละครั้งและยังได้ผลการตรวจตรงตามการเปลี่ยนแปลงของอาการทางคลินิกของผู้ป่วยจริง ๆ (Real Time) ในขณะนั้นด้วย

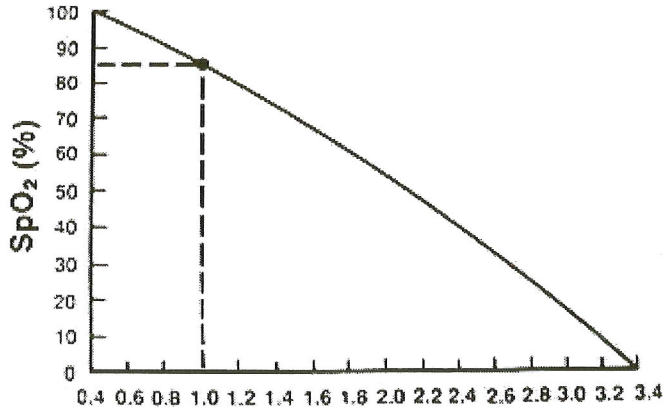
2.3 การหาค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด

การวัดค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดแดง โดยอาศัยการดูดซับคลื่นแสงของฮิโมโกลบินในหลอดเลือดแดงที่แตกต่างกัน โดยที่ฮิโมโกลบินที่จับตัวกับออกซิเจน (oxyhemoglobin, HbO_2) จะดูดซับคลื่นแสงสีแดงในช่วงความยาวคลื่น 600 – 750 นาโนเมตร และฮิโมโกลบินที่ไม่จับตัวกับออกซิเจน (deoxyhemoglobin หรือ reduced hemoglobin, HbR) จะดูดซับคลื่น แสงอินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่น 850 – 1000 นาโนเมตร [3] ดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยอาศัยการที่คลื่นแสงเดินทางผ่านนิ้วโดยที AC คือสัญญาณคลื่นแสงช่วงที่มีเลือดไหลผ่านตามการบีบตัวของหัวใจและ DC คือสัญญาณคลื่นแสงช่วงที่ไม่มีเลือดไหลผ่าน จึงนำค่าการดูดซับคลื่นแสงสีแดง และแสงอินฟราเรด มาคำนวณอัตราส่วน (R) ของการดูดซับคลื่นแสงดังสมการที่ 2.2 แล้วนำค่า (R) ที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบหาเปอร์เซ็นต์ SpO_2 [3]-[4] ดังรูปที่ 2.4 โดยที AC_{RED}, DC_{RED} คือสัญญาณคลื่นแสง สีแดงช่วง AC, DC ส่วน AC_{IR}, DC_{IR} คือสัญญาณคลื่นแสงอินฟราเรดช่วง AC, DC เช่นกัน

$$(R) = \left(\frac{AC_{RED}/DC_{RED}}{AC_{IR}/DC_{IR}} \right) \tag{2.2}$$



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงการดูดซับคลื่นแสงของ HbO_2 และ HbR



รูปที่ 2.4 กราฟเปรียบเทียบการหาเปอร์เซ็นต์ SpO_2

2.4 การติดต่อสื่อสาร RS-232

การสื่อสารแบบอนุกรม นับว่ามีความสำคัญต่อการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์มาก เพราะสามารถใช้แป้นพิมพ์และจอภาพของ PC เป็นอินพุต และเอาต์พุตในการติดต่อหรือ ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยสัญญาณอย่างน้อยเพียง 3 เส้นเท่านั้น คือ

- สายส่งสัญญาณ TX
- สายรับสัญญาณ RX
- สาย GND

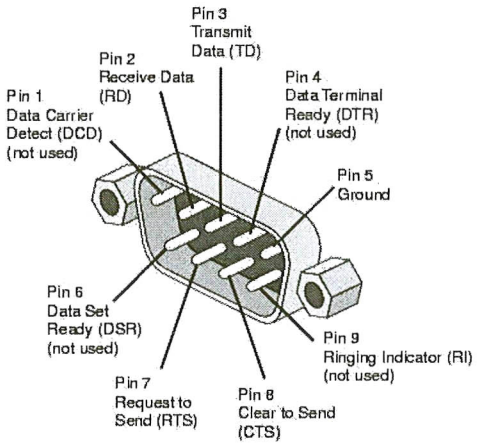
โดยปกติพอร์ตอนุกรม RS-232C จะสามารถต่อสายได้ยาว 50 ฟุตโดยประมาณ ขึ้นอยู่กับชนิดของสายสัญญาณ, ระยะทาง, และปริมาณสัญญาณรบกวน

รูปที่ 2.5 พอร์ต DB9 ตัวผู้ (Male) และ พอร์ต DB9 ตัวเมีย (Female)

พอร์ตอนุกรมของ PC จะเป็นคอนเน็คเตอร์แบบ DB9 ตัวผู้ (Male)

พอร์ตอนุกรมของอุปกรณ์ภายนอกจะเป็นคอนเน็คเตอร์แบบ DB9 ตัวเมีย(FeMale)

แสดงการจัดขา ของคอนเน็กเตอร์อนุกรมแบบ DB9 และหน้าที่การใช้งานต่างๆ



รูปที่ 2.6 คอนเน็กเตอร์แบบ DB9

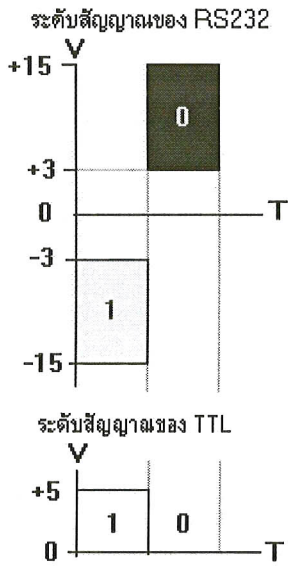
1. Data Carrier Detect (DCD) Input
2. Received Data (RXD) Input
3. Transmitted Data (TXD) Output
4. Data Terminal Ready (DTR) Output
5. Signal Ground (GND) Input
6. Data Set Ready (DSR) Input
7. Request To Send (RTS) Output
8. Clear to Send (CTS) Input
9. Ring Indicator (RI) Input

2.5 การทำงานของขาสัญญาณ DB9

TXD เป็นขาที่ใช้ส่งข้อมูล RXD เป็นขาที่ใช้รับข้อมูล DTR แสดงสภาวะพอร์ตว่าเปิดใช้งาน, DSR ตรวจสอบว่าพอร์ตที่ติดต่อด้วยเปิดอยู่หรือไม่ เมื่อเปิดพอร์ตอนุกรมขา DTR จะ ON เพื่อให้อุปกรณ์ได้รับทราบว่าต้องการติดต่อด้วยในขณะเดียวกันก็จะตรวจสอบขา DSR ว่าอุปกรณ์พร้อมหรือไม่ RTS แสดง

สภาวะพอร์ตว่าต้องการส่งข้อมูล, CTS ตรวจสอบว่าพอร์ตที่ติดต่ออยู่ต้องการส่งข้อมูลหรือไม่ เมื่อต้องการส่งข้อมูลขา RTS จะ ON และจะส่งข้อมูลออกที่ขา TXD เมื่อส่งเสร็จก็จะ OFF ในขณะเดียวกันก็จะตรวจสอบขา CTS ว่าอุปกรณ์ต้องการที่จะส่งข้อมูลหรือไม่

ระดับสัญญาณของ RS232



รูปที่ 2.7 ระดับสัญญาณของ RS232

- สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในสายนำสัญญาณ มักจะมีแรงดันเป็นบวกเมื่อเทียบกับกราวน์ เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนนี้ จึงออกแบบแรงดันของโลจิก "1" เป็นลบ คืออยู่ในช่วง -3V ถึง -15V ส่วนแรงดันของโลจิก "0" อยู่ในช่วง +3V ถึง +15V และเหตุที่ระดับสัญญาณของ RS232 อยู่ในช่วง +15V ถึง -15V ก็เพื่อให้ต่อสายสัญญาณไปได้ไกลขึ้น
- ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องมีวงจรเปลี่ยนระดับแรงดันของ RS232 มาเป็นระดับแรงดันของ TTL

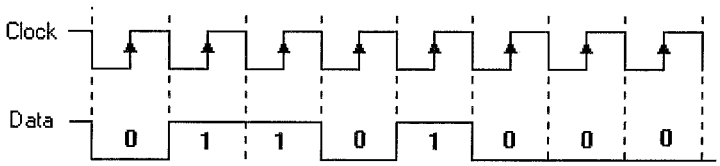
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย

2.6 อัตราการส่งข้อมูล

อัตราการส่งข้อมูล (Baud rate) คือ ความเร็วของการรับ-ส่งข้อมูล เป็นจำนวนบิทต่อวินาทีเช่น 300, 1,200, 2,400, 4,800, 9,600,14,400, 19,200, 38,400, 56,000 เป็นต้น การเลือกอัตราการส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับชนิดของสายสัญญาณ, ระยะทาง และปริมาณสัญญาณรบกวน รูปแบบการสื่อสารแบบอนุกรมมีด้วยกันอยู่สองแบบ คือ แบบซิงโครนัส (Synchronous) และ แบบอะซิงโครนัส (Asynchronous)

2.6.1 การสื่อสารแบบซิงโครนัส

การรับส่งข้อมูล จะมีสัญญาณนาฬิกาซึ่งเป็นตัวกำหนดจังหวะเวลา การส่งข้อมูลร่วมอยู่ด้วยอีกเส้นหนึ่งใช้คู่กับสัญญาณข้อมูล ตัวอย่างเช่น การส่งสัญญาณจากคีย์บอร์ด



รูปที่ 2.8 การสื่อสารแบบซิงโครนัส

2.6.2 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส

การรับส่งข้อมูล โดยที่ไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิการ่วมด้วย แต่จะใช้ให้ตัวส่ง และตัวรับมีอัตราส่งข้อมูลที่เท่ากัน รูปแบบข้อมูลแบบอะซิงโครนัสประกอบด้วยสี่ส่วน คือ

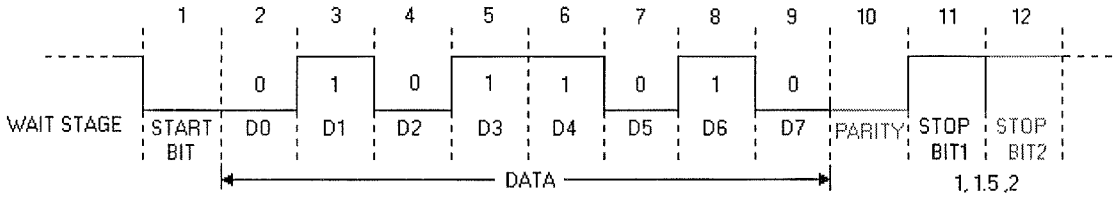
1) บิตเริ่มต้น (Start bit) มีขนาด1 บิต

2) บิตข้อมูล (Data) มีขนาด 5, 6, 7 หรือ 8 บิต

3) บิตตรวจสอบพาริตี้ (Parity bit) มีขนาด 1 บิตหรือไม่มี

4) บิตหยุด (Stop bit) มีขนาด 1, 1.5, 2 บิต

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 7 มี.ค. 2555
245930



รูปที่ 2.9 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส

เมื่อไม่มีการส่งข้อมูล ขา data จะมีสถานะเป็นโลจิก "1" หรือ สถานะหยุดรอ (Waiting stage) เมื่อเริ่มต้นส่งข้อมูลจะให้ขา data เป็นโลจิก "0" เป็นจำนวน 1 บิต เรียกว่าบิตเริ่มต้น (Start bit) จากนั้นก็จะเริ่มต้นส่งข้อมูล โดยส่งบิตต่ำไปก่อน (LSB) แล้วตามด้วยพาริตี้บิต (จะมีหรือไม่ก็ได้ขึ้นอยู่กับการติดตั้งค่าของทั้งสองฝ่าย) สุดท้ายตามด้วยโลจิก "1" อย่างน้อย 1 บิต (มีขนาด 1, 1.5, หรือ 2 บิต) เพื่อแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูล

การรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมยังแบ่งออกเป็นลักษณะการใช้งานได้ 3 แบบคือ

1) แบบซิมเพลกซ์ (Simplex) เป็นการส่งหรือรับข้อมูลแบบทิศทางเดียว

2) แบบฮาล์ฟดูเพลกซ์ (Half Duplex) เป็นการส่งและรับข้อมูลแบบสลับกันส่งคือ เมื่อด้านหนึ่งส่ง อีกด้านหนึ่งเป็นฝ่ายรับ สลับกันไม่สามารถรับ-ส่งในเวลาเดียวกันได้

3) แบบฟลูดูเพลกซ์ (Full Duplex) สามารถรับ-ส่งข้อมูลในเวลาเดียวกันได้