บทที่ 2
ทฤษฎี และหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึง ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการทำโครงการวิจัย โดยมีการศึกษาในทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยอันประกอบด้วย พื้นฐานโรคไตวายเรื้อรัง พื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรรักษาระดับแรงดัน โฟโต้คอนดัคตีฟเซลล์ อุปกรณ์เก็บบันทึกข้อมูล ไอซีฐานเวลาจริง วงจรขยายอินสตรูเมนเตชั่น รีดสวิตซ์ อีอีพรอมโหลดเซลล์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 โรคไตเรื้อรัง (Chronic kidney disease/CKD)

โรคไตเรื้อรัง (Chronic kidney disease/CKD) เป็นโรคที่เป็นปัญหาสาธารณสุขโรคหนึ่ง ซึ่งจำนวนผู้ป่วยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆทั้งในประเทศที่พัฒนาแล้วและประเทศที่กำลังพัฒนา โรคไตเรื้อรัง แบ่งเป็น 5 ระยะตามระดับอัตราการกรองของไต หรือ อัตราการทำงานของไต (Estimated Glomerular filtration rate/eGFR))

- **ระยะที่ 1**ไตมีพยาธิสภาพโดยที่ยังมีค่า eGFR มากกว่าหรือเท่ากับ 90 ซีซี/ลูกบาศก์เซนติ เมตร (CC/Cubic centrimetre) ต่อนาทีต่อพื้นที่ผิวกาย 1.73 ตารางเมตร
- **ระยะที่ 2, 3, 4** เป็นระยะที่ไตมีพยาธิสภาพ โดยมีค่า eGFR น้อยกว่า 90, 60, 30 ซีซี ต่อนาทีต่อพื้นที่ผิวกาย 1.73 ตารางเมตร ตามลำดับ
- และ**โรคไตเรื้อรังระยะที่ 5** หรือโรคไตระยะสุดท้าย (End stage kidney disease) มีค่า eGFR น้อยกว่า 15 ซีซีต่อนาทีต่อพื้นที่ผิวกาย 1.73 ตารางเมตร เป็นระยะที่จำเป็นต้องรักษาโดยการทดแทนไต (Renal replacement therapy หรือ Chronic renal replacement thera py/CRRT) ด้วยการล้างไต (Kidney dialysis หรือ Renal dialysis) หรือ การเปลี่ยนไต (การผ่า ตัดปลูกถ่ายไต/Kidney transplantation)

โรคไตเรื้อรังระยะแรกๆ ผู้ป่วยจะยังไม่มีอาการ ต่อมาเมื่อผู้ป่วยมีการเสื่อมของไตมากขึ้นโดยเฉพาะโรคไตเรื้อรังระยะที่ 4 หรือระยะที่ 5 จะมีภาวะแทรกซ้อน/ผลข้างเคียง ได้แก่ โลหิตจาง/ซีด ภาวะความดันโลหิตสูง มีความผิดปกติของสมดุลน้ำและเกลือแร่ มีการคั่งของของเสีย ทำให้ผู้ป่วยมีอาการบวม มีภาวะน้ำท่วมปอด ปัสสาวะออกน้อยลง มีอาการอ่อนเพลีย หอบเหนื่อย คลื่นไส้อาเจียน ไม่อยากอาหาร ในบางรายอาจมีอาการทางระบบประสาท เช่น อาการซึม หรืออาการชัก รวมทั้งผู้ป่วยมีโอกาสเสียชีวิตได้สูงขึ้น ผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังที่มีภาวะแทรกซ้อนจะมีความเสี่ยงสูงในการเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือดซึ่งพบว่า เป็นสาเหตุหลักของการเสียชีวิตของผู้ป่วยโรคไตเรื้อรัง

ในประเทศที่พัฒนาแล้วรวมทั้งเริ่มมีแนวโน้มในประเทศกำลังพัฒนาซึ่งรวมถึงประเทศไทยเช่นกัน สมาคมโรคไตแห่งประเทศไทยได้ดำเนินโครงการคัดกรองและประมาณเบื้องต้นในผู้ป่วยโรคไต (SEEK project: Screening and Early Evaluation of Kidney Disease Project) ในช่วงปีพ.ศ. 2551 และได้รายงานความชุกของโรคไตเรื้อรังทุกระยะดังนี้ (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 ความชุกของโรคไตเรื้อรังในประชากรไทย

เพศ	ความชุกของโรคไตเรื้อรัง แบ่งตามระยะของโรค (%)				รวม
	ระยะที่ 1	ระยะที่ 2	ระยะที่ 3	ระยะที่ 4 เป็นต้นไป	
ชาย	2.6	5.9	6.9	0.9	16.3
หญิง	3.8	5.5	8.1	1.3	18.7
รวม	3.3	5.7	7.6	1.1	317.6
	8.9		8.6		

จากข้อมูลทางสถิติข้างต้น ทำให้คาดการณ์ได้ว่าปัจจุบันมีประชากรไทยป่วยเป็นโรคไตเรื้อรังตั้งแต่ระยะที่ 3 เป็นต้นไป ประมาณ 5.5 ล้านคน โดยสาเหตุส่วนใหญ่ของโรคไตเรื้อรังระยะสุดท้ายเกิดจาก โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง โรคไตอักเสบ และโรคนิ่วในไต

หลักสำคัญของการรักษาโรคไตเรื้อรังในระยะเบื้องต้นคือ การรักษาที่สาเหตุของโรคและให้การรักษาเพื่อชะลอความเสื่อมของไต การรักษาจึงประกอบด้วยยาเพื่อควบคุมระดับความดันโลหิตและระดับน้ำตาลในเลือดให้ได้ตามเป้าหมาย ร่วมกับการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมสุขภาพโดยเฉพาะอย่างยิ่งการลดการบริโภคเกลือโซเดียมและโปรตีน การใช้ยาให้ถูกต้องและการออกกำลังกาย

เมื่อผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังมีความเสื่อมของไตเข้าช่วงท้ายของโรคไตระยะที่ 4 หรือระยะที่ 5 ซึ่งเป็นระยะที่เริ่มมีอาการแทรกซ้อนต่างๆดังที่กล่าวไปแล้ว แพทย์และพยาบาลจะให้คำแนะนำ และเตรียมความพร้อมสำหรับการบำบัดทดแทนไตเพื่อรักษาอาการแทรกซ้อนต่างๆ และเพื่อช่วยให้ผู้ป่วยมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น

การบำบัดทดแทนไตคือ อะไร และมีกี่วิธี

การบำบัดทดแทนไต เป็นกระบวนการการรักษาเพื่อทดแทนไตที่ไม่สามารถทำงานได้เองอย่างเพียงพอ เพื่อช่วยให้มีการขจัดของเสียที่คั่งอยู่ในร่างกาย ขจัดน้ำส่วนเกินจากร่างกาย รักษาสมดุลน้ำและเกลือแร่ต่างๆ และรักษาภาวะแทรกซ้อน/ผลข้างเคียงที่เกิดจากภาวะไตวายเรื้อรัง เพื่อช่วยให้ผู้ป่วยสามารถมีชีวิตอยู่รอดได้และมีคุณภาพชีวิตที่ดีพอสมควร

การบำบัดทดแทนไตมี 3 วิธี คือ

1. การฟอกเลือดด้วยเครื่องไตเทียม (Hemodialysis)
2. การล้างไตทางช่องท้อง (Peritoneal Dialysis)
3. การผ่าตัดปลูกถ่ายไต (Kidney transplantation)

คณะอนุกรรมการลงทะเบียนรักษาทดแทนไตของสมาคมโรคไต ได้รายงานข้อมูลผู้ป่วยที่ได้รับการบำบัดทดแทนไตในประเทศไทย ดังตารางที่ 2.2 และ 2.3

ตารางที่ 2.2 จำนวนผู้ป่วยรวมทั้งหมดที่ได้รับการบำบัดทดแทนไตในปี พ.ศ. 2551-2553

วิธีการรักษา	ปี 2551		ปี 2552		ปี 2553	
	จำนวนผู้ป่วยรวม	จำนวนผู้ป่วยต่อประชากร 1 ล้านคน	จำนวนผู้ป่วยรวม	จำนวนผู้ป่วยต่อประชากร 1 ล้านคน	จำนวนผู้ป่วยรวม	จำนวนผู้ป่วยต่อประชากร 1 ล้านคน
การฟอกเลือดด้วยไตเทียม	26,438	417.1	27,056	425.9	30,835	9482.6
การล้างไตทางช่องท้อง	2,760	43.5	5,133	80.8	6,829	106.9
การผ่าตัดปลูกถ่ายไต	2,298	36.3	2,923	46	3,181	49.8
รวม	31,496	496.9	35,112	552.8	40,845	639.3

ตารางที่ 2.3 จำนวนผู้ป่วยใหม่ที่ได้รับการบำบัดทดแทนไตในแต่ละปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551-2553

วิธีการรักษา	ปี 2551		ปี 2552		ปี 2553	
	จำนวนผู้ป่วยรวม	จำนวนผู้ป่วยต่อประชากร 1 ล้านคน	จำนวนผู้ป่วยรวม	จำนวนผู้ป่วยต่อประชากร 1 ล้านคน	จำนวนผู้ป่วยรวม	จำนวนผู้ป่วยต่อประชากร 1 ล้านคน
การฟอกเลือดด้วยไตเทียม	4,688	73.96	3,991	62.83	6,244	97.73
การล้างไตทางช่องท้อง	1,330	20.98	3,532	55.6	4,979	77.93
การผ่าตัดปลูกถ่ายไต	342	5.39	308	4.84	354	5.54
รวม	6,360	100.34	7,825	123.28	11,577	181.2

จากตารางที่ 2 และ 3 พบว่าจำนวนผู้ป่วยโรคไตวายเรื้อรังทั้งหมดที่เข้ารับการรักษาและมีชีวิตรอดทั่วประเทศไทยจนถึงวันสิ้นปี พ.ศ. 2553 พบว่ามีจำนวนผู้เข้ารับการฟอกเลือดด้วยเครื่องไตเทียมมากถึง 30,835 คน มีผู้ป่วยฟอกล้างช่องท้องถาวรจำนวน 6,829 คน และมีผู้ที่ได้รับการผ่าตัดปลูกถ่ายไตจำนวน 3,181 คน รวมทั้งสิ้นคิดเป็นสัดส่วนผู้รับการรักษาทั้งสามวิธีเท่ากับ 639.3 รายต่อประชากร 1 ล้านคน และหากดูจำนวนผู้ป่วยที่เข้ามารับการรักษาใหม่ในปี พ.ศ. 2553 ทั้งหมดพบว่ามีจำนวนทั้งสิ้นมากถึง 11,577 รายต่อปีคิดเป็น 181.20 รายต่อประชากร 1 ล้านคน และถึงแม้ว่าจะมีผู้ป่วยใหม่ที่ได้รับการผ่าตัดปลูกถ่ายไตเพิ่มขึ้นปีละประมาณ 300 รายต่อปี แต่พบว่ามีผู้ป่วยใหม่ที่ได้รับการล้างไตทางช่องท้องปีละมากกว่า 4,000 ราย และมีผู้ป่วยใหม่ที่ได้รับการฟอกเลือดด้วยไตเทียมปีละมากกว่า 6,000 ราย ทำให้มีผู้ป่วยรอรับบริจาคไตอีกเป็นจำนวนมาก และมีผู้เสียชีวิตระหว่างการรอรับอวัยวะบริจาคไตอีกจำนวนไม่น้อย ดังนั้น ระหว่างรอรับบริจาคไต ผู้ป่วยโรคไตวายเรื้อรังระยะสุดท้าย ควรได้รับการดูแลบำบัดทด แทนไตอย่างเหมาะสม เพื่อการมีคุณภาพชีวิตที่ดี มีชีวิตที่ยืนยาว ไม่เป็นภาระกับครอบครัวและคนรอบข้าง

การบำบัดทดแทนไตทั้ง สาม วิธีแตกต่างกันอย่างไร

- **การปลูกถ่ายไต หรือ การเปลี่ยนไต**

การผ่าตัดทำโดยวางไตใหม่ไว้ในอุ้งเชิงกรานข้างใดข้างหนึ่งของผู้ป่วย แล้วต่อหลอดเลือดของไตใหม่เข้ากับหลอดเลือดของผู้ป่วย และต่อท่อไตใหม่เข้าในกระเพาะปัสสาวะของผู้ป่วย
การปลูกถ่ายไตนี้ใช้ไตเพียงข้างเดียวก็พอ ถ้าร่างกายของผู้ป่วยรับไตใหม่ได้ดีและไม่มีภาวะแทรกซ้อน/ผลข้างเคียงอื่นๆ ไตที่ได้รับใหม่จะทำงานได้ดี แต่ผู้ป่วยต้องได้รับยากดภูมิต้านทานตลอดชีวิต และจะต้องอยู่ในความดูแลของแพทย์ตลอดไป/ตลอดชีวิตเช่นกัน หากขาดยากดภูมิต้านทาน ร่างกายจะต่อต้านไตที่ได้รับใหม่ทำให้ไตใหม่นั้นเสีย และยังอาจเป็นอันตรายถึงชีวิตได้

ปัจจุบันการปลูกถ่ายไตถือเป็นการรักษาภาวะไตวายขั้นสุดท้ายที่ดีที่สุด แต่การรักษาวิธีนี้ก็ยังมีความเสี่ยงอยู่และมีมากกว่าวิธีอื่น แต่ถ้าผลที่ได้รับดีกว่า ผู้ป่วยจะมีชีวิตใกล้เคียงคนปกติมากกว่าวิธีอื่น ผลการรักษาจะดีถ้าเป็นผู้ที่ไม่มีโรคของระบบอื่นนอกเหนือจากโรคไต ไม่มีภาวะติดเชื้อ และอายุไม่มาก เป็นต้น ในการปลูกถ่ายไตแพทย์จึงต้องพิจารณาอย่างละเอียดถี่ถ้วนและรอบคอบ ว่าผู้ป่วยเหมาะสมกับการรักษาด้วยวิธีนี้หรือไม่ รวมทั้งต้องเตรียมความพร้อมทั้งด้านร่างกายและจิตใจให้ผู้ป่วยด้วย มิฉะนั้นผลการรักษาจะไม่ดี และในบางครั้งอาจเสียชีวิตได้

ผู้ป่วยโรคไตที่ไม่เหมาะสมกับการปลูกถ่ายไต หรือผู้ป่วยที่อยู่ระหว่างรอรับการบริจาค ผู้ป่วยต้องบำบัดทดแทนไตไปตลอดชีวิต ซึ่งทำได้ 2 วิธีคือ การฟอกเลือดด้วยเครื่องไตเทียม และการล้างไตทางช่องท้อง ทั้งสองวิธีไม่ทำให้หายจากโรคไตวาย แต่เป็นการทำงานแทนไตที่เสียไป คือ ล้างเอาน้ำและของเสียออกจากร่างกาย รักษาสมดุลน้ำและเกลือแร่ต่างๆ ซึ่งเมื่อหยุดล้างไต น้ำและของเสียในเลือดก็จะสะสมขึ้นมาอีก ทำให้ผู้ป่วยมีภาวะแทรกซ้อน เช่น อาการบวม อ่อนเพลีย หอบเหนื่อย มีภาวะน้ำท่วมปอด คลื่นไส้อาเจียน ไม่อยากอาหาร ซึม สับสน หรืออาการชัก เป็นต้น เพราะฉะนั้นผู้ป่วยไตวายเรื้อรัง จึงต้องล้างไตอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง เพื่อให้มีคุณภาพชีวิตที่ดี และให้มีชีวิตอยู่ได้เช่นคนทั่วไป
คือ การนำไตของผู้อื่นที่เข้าได้กับผู้ป่วยมาปลูกถ่ายให้กับผู้ป่วย มิใช่การเปลี่ยนเอาไตผู้ป่วยออกแล้วเอาไตผู้อื่นใส่เข้าไปแทนที่ในตำแหน่งไตเดิม

- **การฟอกเลือดด้วยเครื่องไตเทียม** หรือ ที่เรียกกันทั่วไปว่า "การฟอกเลือด" เป็นการนำเลือดจากหลอดเลือด (ต้องมีการเตรียมหลอดเลือดไว้ล่วงหน้า) ออกจากร่างกาย ผ่านเข้ามาในตัวกรองของเสียที่เครื่องไตเทียมเพื่อดึงน้ำและของเสียออกจากร่างกาย เลือดที่ถูกกรองแล้วจะไหลกลับเข้าร่างกายทางหลอดเลือดอีกหลอดหนึ่ง วิธีการนำเลือดเข้า - ออกทางหลอดเลือดนี้คล้ายกับการให้เลือดหรือน้ำเกลือทางหลอดเลือด (มิใช่การผ่าตัดเอาเลือดออกมาล้าง) โดยทั่วไปทำครั้งละ 4-5 ชั่วโมง สัปดาห์ละ 2-3 ครั้ง ผู้ป่วยต้องมาโรงพยาบาลหรือศูนย์ไตเทียมสัปดาห์ละ 2-3 ครั้ง เนื่องจากการฟอกเลือดต้องทำที่ศูนย์ไตเทียมหรือโรงพยาบาล โดยพยาบาลผู้เชี่ยวชาญไตเทียม ในปัจจุบันมีการฟอกเลือดที่บ้าน (Home hemodialysis) แต่ยังไม่เป็นที่แพร่หลายเนื่องจากเป็นภาระและใช้การลงทุนที่ค่อนข้างสูง
- **การล้างไตทางช่องท้อง** วิธีนี้อาศัยเยื่อบุช่องท้องช่วยกรองของเสียออกจากร่างกาย โดยการใส่น้ำยาเข้าในช่องท้องทางสายพลาสติกที่แพทย์ได้ทำผ่าตัดฝังไว้ในช่องท้อง ทิ้งน้ำ ยาไว้ในช่องท้องประมาณ 4-6 ชั่วโมง แล้วปล่อยน้ำยาออกจากช่องท้องแล้วทิ้งไป น้ำและของเสียในเลือดที่ซึมออกมาอยู่ในน้ำยาจะถูกกำจัด

จากร่างกาย ผู้ป่วยและญาติสามารถเปลี่ยนน้ำ ยาได้เองที่บ้าน โดยทั่วไปจะทำการเปลี่ยนน้ำยาวันละ 4 ครั้ง ต้องทำต่อเนื่องทุกวัน ผู้ป่วยและญาติสามารถปรับเปลี่ยนการเปลี่ยนถุงน้ำยาให้เข้ากับกิจวัตรประจำวันของผู้ป่วยได้ โดยขณะที่มีน้ำยาในช่องท้อง ผู้ป่วยสามารถทำงานและมีกิจกรรมได้ตามปกติ

ผู้ป่วยรายใดที่ควรเตรียมตัวเพื่อการบำบัดทดแทนไต เมื่อไรควรเริ่มล้างไต

ผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังควรได้รับคำแนะนำให้เตรียมตัวเพื่อการบำบัดทดแทนไต เมื่อเริ่มเข้าสู่โรคไตเรื้อรังระยะที่ 4 (eGFR น้อยกว่า 30 ซีซี/นาที/ต่อพื้นที่ผิวกาย 1.73 ตารางเมตร) โดยผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังระยะที่ 4 ขึ้นไปและญาติ ควรได้รับความรู้เรื่องโรคไตเรื้อรังและการรักษาโดยการล้างไต การปลูกถ่ายไต และการรักษาแบบประคับประคอง รวมถึงสิทธิประโยชน์ต่างๆที่พึงได้จากรัฐบาล หรือหน่วยงานอื่นๆ

ควรพิจารณาเริ่มทำการล้างไต เมื่ออัตราการกรองของไต (eGFR) น้อยกว่า 10 ซีซี/นาที /พื้นที่ผิวกาย 1.73 ตารางเมตร หรืออาจพิจารณาเมื่ออัตราการกรองของไต (eGFR) 10-15 ซีซี/นาทีต่อ 1.73 ตารางเมตร และมีข้อบ่งชี้ทางคลินิก เช่น

- ภาวะน้ำเกินในร่างกาย (Volume overload) ที่ไม่ตอบสนองต่อยาขับปัสสาวะ
- ภาวะเยื่อหุ้มหัวใจอักเสบหรือเยื่อหุ้มปอดอักเสบที่เกิดจากการคั่งของของเสีย (Ure mic pericarditis or pleuritis)
- ภาวะขาดสารอาหาร อ่อนเพลีย คลื่นไส้อาเจียน ไม่อยากอาหาร
- อาการซึม สับสน หรืออาการชัก ที่เกิดจากการคั่งของของเสีย (Uremic encephalo pathy)
- ภาวะเป็นกรดของเลือด (Metabolic acidosis) ภาวะโปแตสเซี่ยมสูงในเลือด (Hyper kalemia) ที่ไม่ตอบสนองต่อการใช้ยารักษา
- ภาวะเลือดออกที่เกิดจากการคั่งของของเสีย (Bleeding diathesis due to uremia)

ไม่ควรรอจนอัตราการกรองของไต (eGFR) น้อยกว่า 5 ซีซี/นาที/พื้นที่ผิวกาย 1.73 ตารางเมตร จึงเริ่มการรักษาบำบัดทางไต เนื่องจากการเริ่มล้างไตเมื่อผู้ป่วยมีอาการมากจะมีความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะแทรกซ้อนสูงกว่าการเริ่มล้างไตในผู้ป่วยที่มีอาการน้อยกว่า

การล้างไตทางช่องท้อง (PD) คืออะไร

การล้างไตทางช่องท้อง (PD) เป็นการทำความสะอาดเลือดและขจัดของเหลวส่วนเกินออกจากร่างกาย โดยใช้ตัวกรองที่มีอยู่ตามธรรมชาติซึ่งก็คือ เยื่อบุผนังช่องท้องของร่างกายนั่นเอง เยื่อบุผนังช่องท้องเป็นเยื่อบางๆ ที่ห่อหุ้มช่องท้อง หรือเป็นเยื่อที่แบ่งช่องในท้อง ซึ่งบรรจุอวัยวะต่างๆ ทั้งกระเพาะอาหาร ม้าม ตับ และลำไส้ น้ำยาล้างไตจะถูกใส่เข้าไปในช่องท้อง เยื่อบุผนังช่องท้องจะทำหน้าที่กรองของเสียและของเหลวออกจากเลือดไปสู่น้ำยาล้างไต หลังจากนั้น 2-3 ชั่วโมง น้ำยาล้างไตที่มีของเสียอยู่จะถูกปล่อยออกจากช่องท้องและถูกแทนที่ด้วยน้ำยาใหม่ที่เติมเข้าไป ทั้งหมดนี้เรียกว่า การเปลี่ยนถ่ายน้ำยาล้างไตและการแลกเปลี่ยนของเสีย (Exchange) พยาบาลผู้มีประสบการณ์ในการล้างไตทางช่องท้องจะช่วยฝึกสอนให้คุณสามารถทำการล้างไตทางช่องท้องได้ด้วยตนเองที่หน่วยบริการล้างไตในฐานะผู้ป่วยนอกได้ ผู้ป่วยส่วนใหญ่สามารถทำการล้างไตทางช่องท้องได้เองหลังจากได้รับการฝึกอบรมประมาณ 5-7 ครั้ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบการเรียนรู้ของแต่ละบุคคล

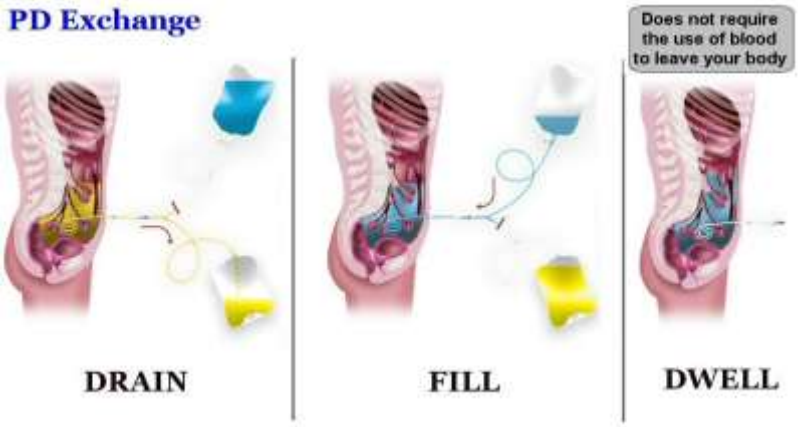
สายท่อล้างไตทางช่องท้อง (Peritoneal Dialysis Catheter)

สายท่อล้างไต (catheter) เป็นสายท่ออ่อนขนาดเล็กที่ใส่เข้าไปในช่องท้องผ่านทางผนังหน้าท้องดังในรูปที่ 2.1 เพื่อเป็นช่องทางให้น้ำยาล้างไตไหลเข้าออก การใส่สายท่อล้างไตเข้าไปในช่องท้องใช้เพียงการผ่าตัดเล็กแบบผู้ป่วยนอก และควรปล่อยให้แผลสมานดีเสียก่อนที่จะเริ่มทำการล้างไต ซึ่งอาจใช้เวลาประมาณ 2-3 สัปดาห์ โดยปกติแล้วสายท่อล้างไตจะไม่สร้างความเจ็บปวด และจะติดอยู่กับร่างกายของผู้ป่วยตลอดการล้างไตทางช่องท้อง

รูปที่ 2.1 สายท่อล้างไตที่ต่อจากช่องท้อง

การเปลี่ยนถ่ายน้ำยาล้างไต (Exchange)

การเปลี่ยนถ่ายน้ำยาล้างไต แบ่งเป็น 3 ระยะดังในรูปที่ 2.2 คือระยะปล่อยน้ำยาล้างไตออกจากช่องท้อง ระยะใส่น้ำยาล้างไตกลับเข้าสู่ช่องท้อง และระยะค้างน้ำยาล้างไตไว้ในช่องท้อง ซึ่งวิธีการล้างไตทางช่องท้องนี้จะไม่มีการสูญเสียเลือดจากร่างกาย



รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนถ่ายน้ำยาล้างไต

ควรล้างไตด้วยวิธีไหน การล้างไตในปัจจุบันมี 2 วิธีดังที่กล่าวไปแล้ว คือ การฟอกเลือดด้วยเครื่องไตเทียม และการล้างไตทางช่องท้อง ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกวิธีล้างไต คือ

- โรคประจำตัวของผู้ป่วย
- มีข้อห้ามในการล้างไตในแต่ละวิธีหรือไม่
- สิทธิการรักษา
- สภาวะทางการเงินและสังคมของผู้ป่วย เป็นต้น

ถ้าผู้ป่วยไม่มีปัญหาโรคประจำตัวอื่นๆนอกจากโรคไตเรื้อรัง ไม่มีข้อห้ามของการล้างไตทั้ง 2 วิธี ไม่มีปัญหาด้านสภาวะการเงินและสังคม หรือมีสิทธิการรักษาที่สามารถรักษาได้ทั้ง 2 วิธี ผู้ป่วยกลุ่มนี้สามารถเลือกวิธีการล้างไตได้ทั้ง 2 วิธี

การฟอกเลือดด้วยเครื่องไตเทียม

ข้อดี คือ ผู้ป่วยและญาติไม่ต้องทำเอง และการฟอกเลือดแต่ละครั้งใช้เวลาไม่มาก นอกจาก นี้การฟอกเลือดสามารถแก้ไขภาวะแทรกซ้อนที่เกิดจากการที่ของเสียคั่ง ภาวะเกลือแร่ผิดปกติ หรือภาวะน้ำท่วมปอดได้อย่างรวดเร็ว เหมาะกับการรักษาในกรณีที่ผู้ป่วยมาด้วยภาวะแทรกซ้อนที่รุนแรง

ข้อเสีย คือ ต้องมาโรงพยาบาลหรือศูนย์ไตเทียมบ่อย อย่างน้อยอาทิตย์ละ 2-3 ครั้ง ไม่เหมาะสำหรับผู้ป่วยที่มีที่อยู่ห่างไกลหรือไม่สะดวกที่จะมาศูนย์ไตเทียม และ ไม่ได้มีการขจัดของเสียอยู่ตลอดเวลาอย่างการรักษาทางช่องท้อง ส่วนในผู้สูงอายุ หรือในโรคเบาหวาน ที่มีปัญหาเรื่องของหลอดเลือด ไม่สามารถทำหลอดเลือดสำหรับการฟอกเลือดได้ ก็ไม่เหมาะสมกับการฟอกเลือด นอกจากนี้ผู้ป่วยที่มีปัญหาเรื่องโรคหัวใจ และหลอดเลือดที่รุนแรง การฟอกเลือดด้วยเครื่องไตเทียมอาจจะทำให้สัญญาณชีพ (ชีพจร อัตราการหายใจ อุณหภูมิร่างกาย และความดันโลหิต) ไม่คงที่ (Hemodynamic instability) และ มีความดันโลหิตต่ำขณะฟอกเลือดได้

- **การล้างไตทางช่องท้อง มีข้อดี ข้อเสียดังนี้**

ข้อดี คือ มีการขจัดของเสียตลอดเวลา เนื่องจากผู้ป่วยล้างไตทางช่องท้องทุกวัน ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณชีพที่รุนแรงและรวดเร็วเหมือนการฟอกเลือดด้วยเครื่องไตเทียม จึงเหมาะกับผู้ป่วยโรคหัวใจและหลอดเลือดที่รุนแรง และช่วยชะลอการสูญเสียการทำงานของไตที่เหลืออยู่ (Residual renal function) ได้ดีกว่า ผู้ป่วยและญาติสามารถทำเองได้ที่บ้าน และไม่ต้องมาโรงพยาบาลบ่อย ผู้ป่วยสามารถทำงานได้ตามปกติ และในกรณีเกิดภัยพิบัติ การล้างไตทางช่องท้องก็จะมีความคล่องตัวมากกว่า

ข้อเสีย คือ หากไม่ระมัดระวังความสะอาดให้ดีโดยเฉพาะในการเปลี่ยนถุงน้ำยาจะเกิดการติดเชื้อที่บริเวณที่ใส่สายหรือติดเชื้อในช่องท้องได้ (เยื่อบุช่องท้องอักเสบ) นอกจากนี้ยังไม่เหมาะกับผู้ป่วยตัวใหญ่ ผู้ป่วยที่ไม่เหลือการทำงานของไตเดิมเลย และข้อจำกัดอีกหลายประการของการล้างไตทางช่องท้องคือ ผู้ป่วยที่เคยมีการผ่าตัดแล้วเกิดพังผืดในหน้าท้อง/ช่องท้องอย่างมาก ผู้ที่เคยมีประวัติการผ่าตัดลำไส้ทะลุ ผู้ป่วยที่กำลังมีภาวะติดเชื้อในช่องท้องก่อนที่จะใส่สายล้างไตที่ท้อง ผู้ป่วยที่มีความผิดปกติของผนังหน้าท้องที่ไม่สามารถแก้ไขได้ จะไม่สามารถล้างไตทางช่องท้องได้

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ อาดูโน่ (Arduino)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ แบบหนึ่งที่รวมเอาหน่วยประมวลผลหน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก วงจรรับสัญญาณอินพุต (Input) วงจรส่งสัญญาณเอาท์พุท (Output) รวมถึงหน่วยความจำวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาไว้ด้วยกันทำให้สามารถนำไปใช้งานแทนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดี โดยไมโครคอนโทรลเลอร์มาจากคำสองคำรวมกัน คือ “ไมโคร” ซึ่งหมายถึง ไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) เป็นอุปกรณ์ประมวลผลข้อมูลขนาดเล็กภายในประกอบด้วยหน่วยประมวลผลกลาง หรือซีพียู (CPU) อีกคำหนึ่งคือคำว่า “คอนโทรลเลอร์” หมายถึง อุปกรณ์ควบคุม

2.2.1 ชุดโมดูลบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ อาดูโน่

เป็นไมโครคอนโทลเลอร์ตระกูลเอวีอาร์ (AVR) โดยใช้ไมโครคอนโทลเลอร์เบอร์เอทีเมก้า 328 (ATmega 328) เป็นเอ็มซียู (MCU) ประจำบอร์ด โดยเอ็มซียูรุ่นนี้ มีขาทั้งหมด 28 ขา และมีจุดเด่นคือเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ขนาดเล็กแต่เพียบพร้อมไปด้วยทรัพยากรพื้นฐานต่าง ๆ อย่างครบถ้วนจึงมีความเหมาะสมเป็นอย่างยิ่งในการใช้งานทั่วไป สำหรับภายในมีระบบฮาร์ดแวร์ และสามารถใช้ในการพัฒนาโปรแกรมด้วยอาดูโน่ดังรูปที่ 2.3 ได้ทันที

รูปที่ 2.3 ชุดโมดูลบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ อาดูโน่

2.2.2 คุณสมบัติของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

ชุดโมดูลบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโน่มีเอทีเมก้า 328เป็นเอ็มซียู ตระกูลเอวีอาร์ ประจำบอร์ด (Broad) โดยเลือกใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบคริสตัล (Crystal) ที่มีค่า 16 เมกกะเฮิร์ตซ์ (MHz) เพื่อให้สามารถใช้งานพอร์ทสื่อสารอนุกรมได้อย่างลงตัว

- บอร์ดสามารถเปลี่ยนการติดตั้งเอ็มซียูเป็นแบบ 28 ขา หรือเบอร์อื่นในอนุกรมเดียวกันได้ โดยไม่ต้องมีการดัดแปลงใด ๆ เช่น เอทีเมก้า 88 เป็นต้น
- มีหน่วยความจำแบบแฟลช (Flash) 32 กิโลไบต์ (Kbyte) โดยแบ่งเป็นบูท โหลดเดอร์ (Boot loader) 2 กิโลไบต์
- มี อีพีรอม (EPROM) 1 กิโลไบต์ต่อเอสแรม (SRAM) 2 กิโลไบต์

- มีพอร์ต (Port) ดิจิตอลอินพุต และเอาต์พุต (Digital input/output) 14 ขา ซึ่งมี 6 ขา สามารถสร้างเป็นสัญญาณพัลส์ (PWM outputs)
- มีพอร์ตอะนาลอกอินพุต และเอาต์พุต (Analog input/output) 6 ขา
- ไฟกระแสตรง มีขา อินพุต และเอาต์พุต มีค่า 40 มิลลิแอมป์ (mA)
- ไฟกระแสตรง มีขา 3.3 โวลต์ (Volt) มีค่า 50 มิลลิแอมป์
- เอ็มซียู ประจำบอร์ดที่ได้รับการติดตั้งบูท โหลดเดอร์สามารถอัพโหลดโค้ด (Upload Code) ให้บอร์ดผ่านทางพอร์ตสื่อสารแบบอนุกรมได้ทันที
- มีขั้วยูเอสบีเชื่อมต่อ (USB Interface) สื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมเข้าคอมพิวเตอร์ได้
- มีแอลอีดีสำหรับแสดงสถานะไฟเลี้ยง
- มีแอลอีดี (LED) แสดงสถานการณ์รับส่งข้อมูล
- ใช้ไฟเลี้ยง ประจำบอร์ด 7-12 โวลต์

2.2.3 ทฤษฎีภาษาอาดูโน่

“อาดูโน่” เป็นภาษาอิตาลีซึ่งเป็นชื่อของโครงการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลเอวีอาร์แบบเปิด (Open source) ที่ได้รับการปรับปรุงมาจากโค้ดโปรแกรมแบบเปิดของเอวีอาร์ อาดูโน่ มีจุดเด่นในเรื่องของความง่ายในการเรียนรู้ และใช้งาน เนื่องจากมีการออกคำสั่งต่าง ๆ ขึ้นมาสนับสนุนการใช้งานด้วยรูปแบบที่ง่ายไม่ซับซ้อน ซึ่งแม้ว่าอาดูโน่ จะมีรูปแบบการใช้งานคล้ายกับไมโครคอนโทรลเลอร์ขั้นตอนพื้นฐาน (Basic Step) ของ พาลาแล็ก (Parallax) แต่ก็มีจุดเด่นกว่ารายอื่นคือ

- ราคาไม่แพง เนื่องจากมีโค้ดโปรแกรม (Source Code) และวงจรแจกให้ฟรีสามารถต่อวงจรขึ้นมาใช้เองได้รวมถึงมีการเปิดเผยวงจรโค้ดโปรแกรมทั้งหมดทำให้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดได้ดีทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟแวร์
- รูปแบบคำสั่งง่ายต่อการใช้งานแต่สามารถนำไปใช้งานจริงกับส่วนที่มีความซับซ้อนมากได้และยังสามารถสร้างคำสั่งรวมถึงไลบรารี่ใหม่ๆ ขึ้นมาใช้งานเองได้ เมื่อมีความชำนาญมากขึ้น

2.2.4 เปรียบเทียบภาษาซีกับอาดูโน่

สำหรับการเขียนโปรแกรมของอาดูโน่นั้นใช้ภาษาซีพลัสพลัส (C++) ซึ่งเป็นรูปแบบของภาษาซี (C) ประยุกต์รูปแบบหนึ่งที่มีโครงสร้างการทำงานของตัวภาษาโปรแกรมโดยรวมคล้ายกับภาษาซีมาตรฐานทั่วไปเพียงแต่ได้มีการปรับปรุงเพื่อลดความยุ่งยากในการใช้งานลดลง และให้ผู้ใช้สามารถใช้งานเขียนโปรแกรมได้ง่ายสะดวกมากกว่าการเขียนภาษาซีแบบมาตรฐาน แต่ในความเป็นจริงนั้นโปรแกรมดังกล่าวไม่ใช่การประมวลผลโค้ด (C-compiler) โดยตรง เนื่องจากอาดูโน่จะมีลักษณะการทำงานเช่นเดียวกับการแก้ไขข้อความ (Text Editor) ของภาษาซีพลัสพลัส ตัวหนึ่งโดยจะทำงานร่วมกับสิ่งที่เป็นประโยชน์ (Utility) บางส่วนที่อาดูโน่สร้างขึ้นมารองรับโดยอาดูโน่จะใช้รูปแบบการทำงานของการแก้ไข (Editor) เป็นฉากหน้าในการติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้เท่านั้น ส่วนเบื้องหลังแล้ว อาดูโน่จะไปเรียกใช้ตัวแปลภาษาซี และสิ่งที่เป็นประโยชน์อื่นที่ใช้เป็นเครื่องมือพัฒนาโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลเอวีอาร์อีกทีหนึ่ง

2.2.5 โครงสร้างการเขียนโปรแกรมภาษาซีของอาดูโน่

ภาษาซีของอาดูโน่จะจัดแบ่งรูปแบบโครงสร้างของการเขียนโปรแกรมเป็นส่วนย่อย ๆ หลายๆ ส่วน โดยเรียกแต่ละส่วนว่า “ฟังก์ชั่น (Function)” และเมื่อนำฟังก์ชันมารวมเข้าด้วยกัน ก็จะเรียกว่า

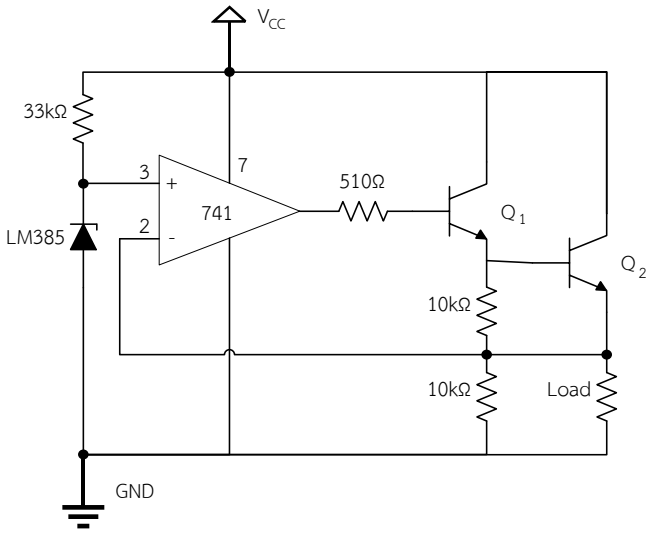
“โปรแกรม” โดยโครงสร้างการเขียนโปรแกรมของอาดูโน่ทุก ๆ โปรแกรมจะประกอบไปด้วยฟังก์ชั่นจำนวนเท่าใดก็ได้ แต่อย่างน้อยสุดต้องมี 2 ฟังก์ชั่นคือ เซ็ทอัพ() (setup()) และ ลูป() (loop()) [4]

- เซ็ทอัพ() : เป็นฟังก์ชั่นบังคับที่ต้องกำหนดให้มีทุก ๆ โปรแกรมถึงแม้ว่าบางโปรแกรมจะไม่ต้องการใช้งานก็ยังจำเป็นต้องประกาศไว้เสมอเพียงแต่ไม่ต้องเขียนคำสั่งไว้หลังวงเล็บปีกกา {} ที่ใช้เป็นตัวกำหนดขอบเขตของฟังก์ชั่น โดยฟังก์ชันนี้จะใช้สำหรับบรรจุคำสั่งที่ต้องการให้โปรแกรมทำงานเพียงรอบเดียว ตอนเริ่มต้นทำงานของโปรแกรมครั้งแรกเท่านั้น ซึ่งได้แก่คำสั่งเกี่ยวกับการจัดการ ค่าการทำงานต่าง ๆ เช่น การกำหนดหน้าที่ของการใช้งานของ พินโหมด (PinMode)

- Loop() : เป็นส่วนฟังก์ชั่นบังคับที่ต้องกำหนดให้มีในทุกโปรแกรม เช่นเดียวกันกับฟังก์ชั่นเซ็ทอัพ() โดยฟังก์ชั่นลูป() นี้จะใช้ในการบรรจุคำสั่งที่ต้องการให้โปรแกรมทำงานเป็นวนรอบซ้ำ ๆ กันไปไม่รู้จบ ซึ่งเปรียบเทียบได้กับฟังก์ชั่นเมน() (main ())

2.3 วงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรม

วงจรรักษาระดับแรงดัน (Voltage Regulators) มีหน้าที่รักษาระดับแรงดันไฟตรงที่จ่ายให้ภาระมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนตามสภาพภาระ โดยทั่วไปสามารถแบ่งชนิดของวงจรรักษาระดับแรงดันออกเป็น 2 ชนิด คือ วงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรม (Series Regulator) และวงจรรักษาระดับแรงดันแบบสวิตช์ชิ่ง (Switching Regulator)

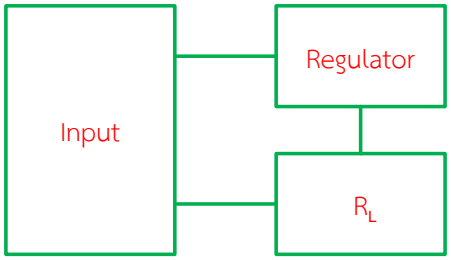


รูปที่ 2.4 พื้นฐานของวงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรม

วงจรรักษาแรงดันแบบอนุกรมจะทำหน้าที่ควบคุมแรงดันเอาต์พุตให้คงที่ได้โดยการใช้ตัวเปรียบเทียบแรงดันกับเอาต์พุตที่ย้อนกลับมาส่วนวงจรรักษาระดับแรงดันแบบสวิตช์ชิ่งนั้นจะทำงานในลักษณะ เปิด – ปิด จากนั้นสัญญาณที่ได้ก็จะผ่านวงจรกรองกระแสแบบตัวเหนี่ยวนำตัวเก็บประจุ (LC Filter) เพื่อกรองกระแสให้เรียบเป็นไฟตรงส่วนการควบคุมแรงดันเอาต์พุตให้คงที่ทำได้โดยการปรับค่าเวลาในการเปิด “On” (Ton) วงจร

รักษาระดับแรงดันแบบอนุกรมดังในรูปที่ 2.4 เป็นหลักการทำงานของวงจรรักษาระดับแรงดันของวงจรรวม หรือไอซี (Integrated Circuit, IC) ที่ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดัน โดยทั่วไปในปัจจุบันไม่ว่าว่าจะเป็นไอซีตระกูล 78XX หรือ 79XX

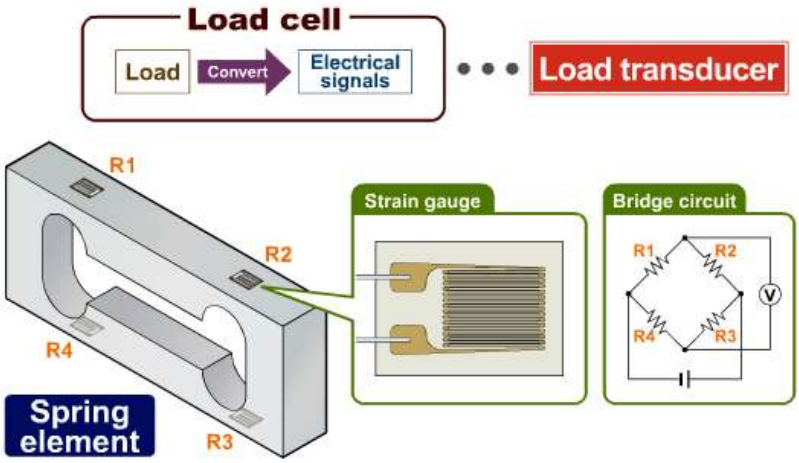
จากวงจรเป็นวงจรเบื้องต้นของวงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรม เพื่อให้ง่ายในการทำความเข้าใจ เราสามารถจำลองออกมาเป็นแผนผังดังในรูปที่ 2.5 ได้ดังนี้



รูปที่ 2.5 จำลองแผนผังวงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรม

2.4 เซนเซอร์ตรวจวัดน้ำหนัก

2.4.1 โหลดเซลล์ (Load cell) เป็นระบบเซนเซอร์ที่แปลงค่าน้ำหนักทางกลของสิ่งของ (กรัม, กิโลกรัม) ให้เป็นปริมาณทางไฟฟ้า (แรงดัน, V) ซึ่งประกอบด้วย สเตรนเกจ (Strain gauge) ซึ่งจะคอยแปลงค่าความเครียดทางกลอันเนื่องจากน้ำหนักของวัตถุ มาเป็นค่าความต้านทานไฟฟ้า เมื่อนำค่าความต้านทานที่ได้จาก สเตรนเกจ ต่อเข้ากับวงจรบริดจ์ (Bridge Circuit) ซึ่งต่อเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง (DC Voltage) ก็จะสามารถหาค่าเอาท์พุทของน้ำหนักวัตถุที่เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าได้ ซึ่งสามารถนำสัญญาณไฟฟ้าที่ได้ไปต่อกับวงจรแอลอีดี 7 ส่วน (LED 7 Segment) เพื่อแสดงผลค่าน้ำหนักออกมาเป็นตัวเลขได้



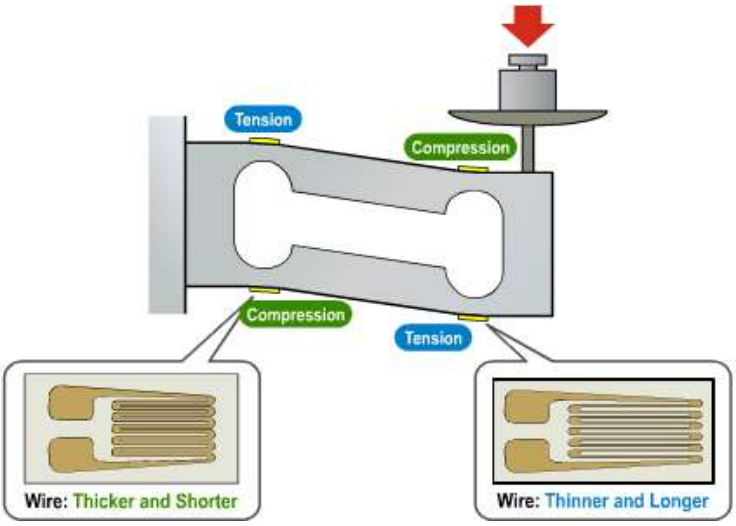
รูปที่ 2.6 โหลดเซลล์

2.4.2 สเตรนเกจ (Strain Gage)

สเตรนเกจเป็นตัวแปลงแบบเฉื่อยงาน (Passive Transducer) ซึ่งทำหน้าที่แปลงแรงดึงที่ภาษาทางกลศาสตร์เรียกว่า ความเครียด (Strain) กระทำบนตัวอุปกรณ์ให้เป็นการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานทางไฟฟ้า สเตรนเกจจึงมีการนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น การวัดน้ำหนัก ความดัน แรงเชิงกล และการเคลื่อนที่

สเตรนเกจสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบยึดติด (Bonded Strain Gage) และแบบไม่ยึดติด (Unbounded Strain Gage) โดยสเตรนเกจทั้งสองชนิดจะมีลักษณะโครงสร้างและการทำงานที่คล้ายกันคือทำด้วยเส้น ลวดเล็ก ๆ ขดไปขดมาและนำไปติดกับวัตถุที่ต้องการตรวจวัดความเครียด

หลักการทำงานของสเตรนเกจจะอาศัยการเปลี่ยนรูปของเส้นลวดอันเนื่องมาจากแรงที่มากระทำ ซึ่งการเปลี่ยนรูปได้นี้ จะเป็นสัดส่วนกันแรงที่มากระทำ ซึ่งแรงที่มากระทำอาจทำให้ลวดยืดออกหรือหดเข้าหากัน โดยอาศัยความสัมพันธ์จากสมการความต้านทานของเส้นลวด เมื่อเส้นลวดมีการเปลี่ยนแปลง ไม่ว่าจะเป็นผลให้เส้นลวดหดตัวหรือยืดออก ก็จะมีผลต่อค่าความต้านทานของลวดตัวนำ ตัวอย่างการใช้งานสเตรนเกจจากรูปที่ 2.7

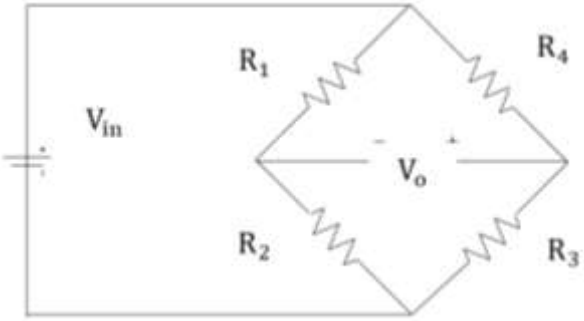


รูปที่ 2.7 แสดงการใช้งานสเตรนเกจ

2.4.3 วงจรบริดจ์

เนื่องจากค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไปมีค่าค่อนข้างต่างดังนั้นในทางปฏิบัติจึงนิยมนำสเตรนเกจมาใช้ งานโดยต่อวงจรแบบบริดจ์ เมื่อเราป้อนแรงดันให้แก่วงจรบริดจ์ระหว่างขั้วอินพุตบวกและอินพุตลบ ในสภาวะที่ยังไม่มีแรงมากระทำหรือ ยังไม่มีน้ำหนักมากระทำต่อโหลดเซลล์ ค่าความต้านทานของสเตรนเกจภายในจะที่ค่าเท่ากันทำให้วงจรบริดจ์อยู่ในสภาวะสมดุล แรงดันเอาท์พุทที่ออกมาระหว่างขั้วเอาท์พุทบวกและเอาท์พุทลบจะมีค่าเป็นศูนย์ และเมื่อมีแรงมา กระทำหรือมีน้ำหนักมากระทำต่อโหลดเซลล์จะทำให้สเตรนเกจยืดออกหรืองอเข้าจะทำให้ค่าความต้านทานภายใน สเตรนเกจของแต่ละตัวนั้นเปลี่ยนค่าไปทำให้วงจรบริดจ์อยู่

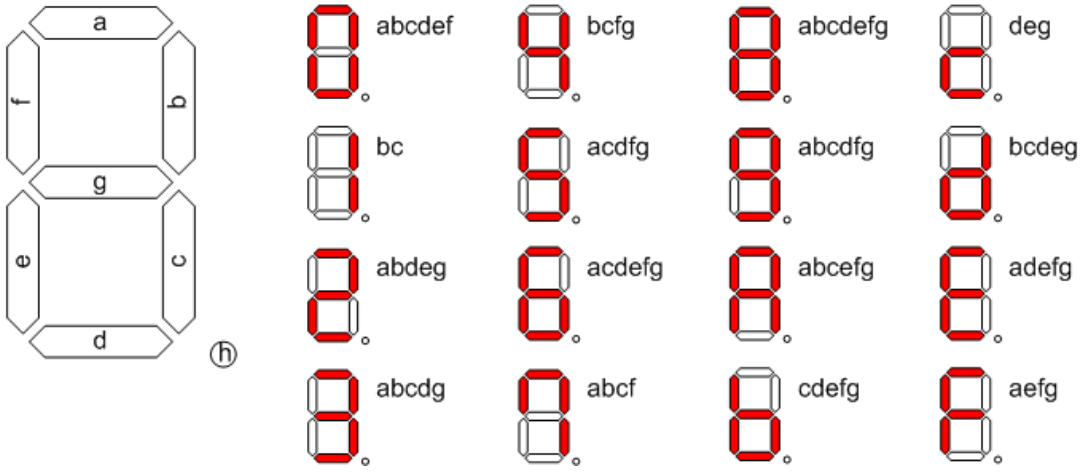
ในสภาวะที่ไม่สมดุล ทำให้สามารถวัดแรงดันที่เอาท์พุทออกมาได้ ยิ่งมีน้ำหนักหรือวัตถุที่มากระทำต่อโหลดเซลล์มากเพียงใดก็จะทำให้ค่าความต้านทานของสเตรนเกจนั้น เปลี่ยนค่าไปมากขึ้นและยังทา ให้แรงดันเอาท์พุทมีค่ามากขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามแรงดันเอาท์พุทที่ได้จากวงจรบริดจ์นั้นมี ค่าน้อยมากจึงต้องอาศัยวงจรขยายสัญญาณเพื่อให้แรงดันเอาท์พุทนั้นมีค่าเพิ่มมากขึ้นเพื่อที่จะนำแรงดันที่ได้ไประมวล ผลในกระบวนการต่อไปโดยแรงดันเอาท์พุทภายในวงจรบริดจ์จะเป็นไปตามรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 วงจรบริดจ์เมื่อเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟ

2.5 แอลอีดีเจ็ดส่วน

การแสดงผลทางเอาต์พุต ถ้าต้องการให้เอาต์พุตแสดงออกมาเป็นตัวแทนไดโอดเรืองแสง ที่ปรากฏแต่ละเอาท์พุท การแสดงผลออกมาในภาพของ ไดโอดเรืองแสงแบบแอลอีดี 7 ส่วนจะทำให้ อ่านการแสดงผลได้ง่ายขึ้น วงจรถอดรหัสจะต้องเป็นวงจรถอดรหัสการแสดงผลแอลอีดี 7 ส่วน แต่ ก่อนที่จะกล่าวถึงวงจรถอดรหัสเลขฐานสองเป็นเอาต์พุตที่แอลอีดี 7 ส่วน จะต้องทำการเข้าใจ เกี่ยวกับแอลดีดี 7 ส่วน



รูปที่ 2.9 แอลอีดี 7 ส่วน [7]

โครงสร้างสำหรับภายในของแอลอีดี 7 ส่วน จะประกอบด้วย ไดโอดเรืองแสง 7 ถึง 8 ตัว (ขึ้นอยู่กับบริษัทที่ผลิต) ถ้ามีจุดด้อยก็จะมีไดโอด 8 ตัว แต่ถ้าไม่มีจุดก็เหลือไดโอดเพียง 7 ตัว แต่ละตัวจะมีชื่อเรียกตามลำดับ ตั้งแต่บนสุดแล้ววนลงมาทางขวามือ และไปสิ้นสุดตรงกลาง โดยจะมีชื่อเรียกเรียงตามลำดับ จากตัว a b c d f และ g ดังรูปที่ 2.9 ผู้ออกแบบวงจรสามารถ ออกแบบวงจรถอดรหัสให้แอลอีดี 7 ส่วนแต่ละตัวแสดงผลได้ตั้งแต่ค่า 0 จนถึง 9

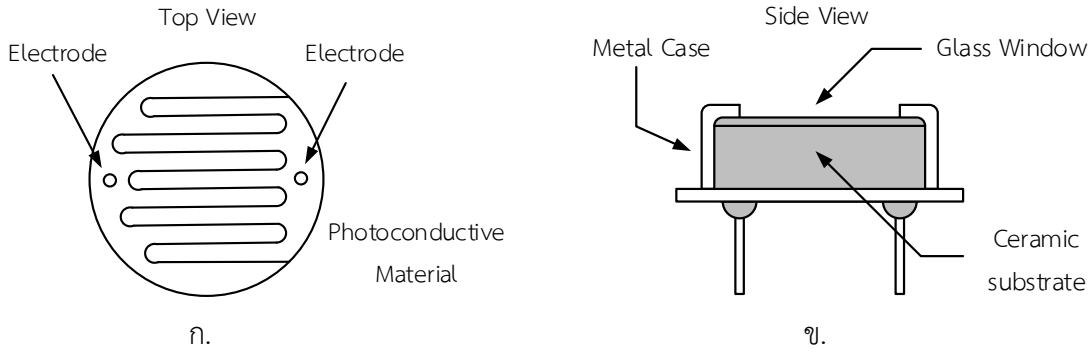
การทำงานของไดโอด (Diode) เรืองแสงแต่ละตัวจะมีจำนวนขา 2 ขา คือขาแอโนด และขาแคโทด (Cathode) ไดโอดจะเรืองแสงได้จะต้องจ่ายไฟให้ถูกขา หมายความว่า แอโนด (Anode) ต้องการไฟบวก ส่วนแคโทด ต้องการไฟลบถ้าป้อนไฟถูกต้อง ไดโอดจะเรืองแสงแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ คอมมอนแคโทด (Common Cathode) และคอมมอนแอโนด (Common Anode)

2.6 โฟโต้คอนดัคตีฟเซลล์ (Photo Conductive Cell)

โฟโต้คอนดัคตีฟเซลล์ เป็นทรานสดิวเซอร์ (Transducer) อีกชนิดหนึ่งที่จัดอยู่ในกลุ่มของอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์แบบเฉื่อย (Passive Transducer) ซึ่งในบางครั้งเรียกว่า “เซลล์นำพลังแสง” หรือ “ตัวต้านทานพลังแสง” (Photo Resister) แต่โดยทั่วไปมักเรียกว่า “แอลดีอาร์ (LDR)” (Light Dependent Resister) ดังแสดงโครงสร้างและรูปร่างได้ในรูปที่ 2.10 และ 2.11

รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะของแอลดีอาร์ที่ใช้งานทั่วไป

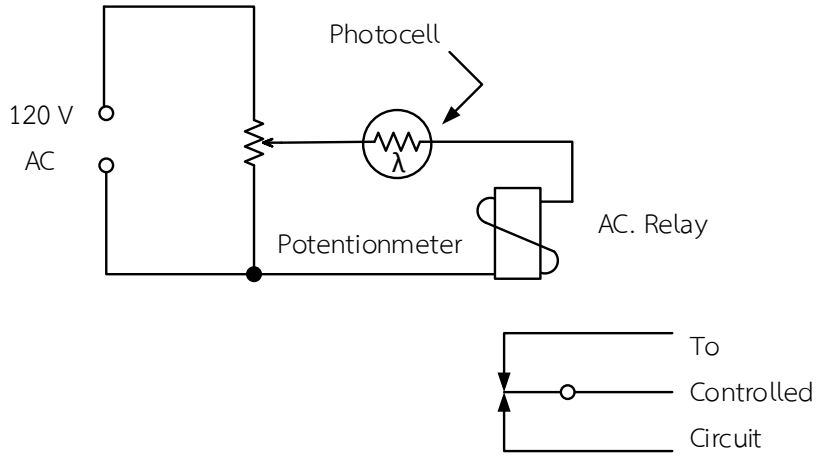
เนื่องจากค่าความต้านทานภายในของวัสดุที่ใช้สร้างอุปกรณ์เซนเซอร์ชนิดนี้ คือ สารกึ่งตัวนำชนิดแคดเมี่ยมซัลไฟด์ (Cadmium Sulfide ; Cds) หรือแคดเมียม ซีลีไนด์ (Cadmium Selenide ; CdSe) จะขึ้นอยู่กับความเข้มของแสง นั้นคือ ถ้าไม่มีแสงมาตกกระทบลงบนตัว LDR จะทำให้ความต้านทานภายในของ แอลดีอาร์มีค่าสูง แต่ในขณะเดียวกันเมื่อมีแสงมาตกกระทบค่าความต้านทานภายในของ แอลดีอาร์ก็จะลดต่ำลงจนเกิดเป็นสภาพความนำไฟฟ้า (Conductivity)



รูปที่ 2.11 ลักษณะโครงสร้างของโฟโต้คอนดัคตีฟเซลล์ หรือแอลดีอาร์
ก. ภาพด้านบนของแอลดีอาร์
ข. ภาพด้านข้างของแอลดีอาร์

รูปที่ 2.12 แสดงเครื่องมือวัดความเข้มแสงด้วยการเซนเซอร์จากแอลดีอาร์

การประยุกต์ใช้งาน แอลดีอาร์สามารทำได้หลายลักษณะ เช่น ใช้เป็นตัวเซนเซอร์ภายในเครื่องมือวัดความเข้มแสง (Lux meter) เพื่อตรวจวัดความเข้มของแสงสว่างดังแสดงในรูปที่ 2.12 หรือใช้เป็นอุปกรณ์ควบคุม การเปิดและปิดหลอดไฟโดยอัตโนมัติในช่วงเวลากลางวันและกลางคืนเป็นต้น ในรูปที่ 2.13 แสดงของลักษณะการต่อใช้งาน แอลดีอาร์ร่วมกับโพเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer) ในลักษณะของวงจรแบ่งแรงดันเพื่อควบคุมรีเลย์ (Relay) สำหรับปรับค่าชดเชยผลตอบสนองความไวของแสงสว่างที่ตกกระทบลงบนแอลดีอาร์ หลักการทำงานคือ เมื่อแอลดีอาร์ได้รับแสงสว่างเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานภายในของ แอลดีอาร์จะลดต่ำลงมีผลทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านรีเลย์มีค่าเพิ่มขึ้นและสูงพอที่จะทำให้รีเลย์ทำงาน ในทำนองเดียวกันเมื่อความสว่างของแสงลดลงค่าความต้านทานภายในของแอลดีอาร์ก็จะเพิ่มสูงขึ้นทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านรีเลย์ลดน้อยลงรีเลย์จึงหยุดทำงาน ดังนั้นจึงได้สัญญาณไฟฟ้าทางด้านเอาท์พุทเป็นลักษณะ ไบนารี่ (Binary) หรือเปิด-ปิด (ON – OFF)



รูปที่ 2.13 การควบคุมวงจรรีเลย์ด้วยแอลดีอาร์

2.7 ทฤษฎีไอซีฐานเวลาจริง

คุณสมบัติของ ดีเอส1307 (DS1307) ในชิปสนับสนุน (Chips Support) ประเภทนาฬิกา (Real Time Clock (RTC)) แบบ เวลา วัน เดือน และปี ณ ปัจจุบัน ขนาดเล็กซึ่ง ถูกพัฒนาและคิดคนโดย “Dallas Semiconductor” ซึ่งใชสำหรับทำหน่าที่เกี่ยวกับระบบฐานเวลา ในลักษณะของนาฬิกา เวลา และปฏิทินเป็นหลัก โดยลักษณะการทำงานของอุปกรณตัวนี้จะทำหน่าที่ในการนับเวลา โดยใหหน่วยการนับแยกออกเป็นหลายๆหน่วยไม่วาจะเป็น วินาที นาที ชั่วโมง วันที่ วันในหนึ่งสัปดาห เดือน และป ค.ศ. ซึ่งจะช่วยในเรื่องการสนับสนุนการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอรใหมีความคลองตัวและสะดวกมากขึ้น เมื่อจำเป็นที่ตองประยุกตใชงาน ไมโครคอนโทรลเลอรในลักษณะที่ตองเกี่ยวของกับระบบเวลาต่าง ๆ ข้างต้น

โดยฐานเวลานาฬิกา เบอรดีเอส 1307 นั้นเป็นชิปฐานเวลาภายในตัวจะบรรจุวงจรนับของฐานเวลาไวใหใชงานอย่างครบถวน ตั้งแต่ วินาที นาที ชั่วโมง วันที่ เดือน วันในหนึ่งสัปดาหและ ป ค.ศ. นอกจากนี้ยังมีความอ่อนตัวในการใชงานค่อนข้างดีเกี่ยวกับ ระบบเวลา เชน คาของชั่วโมงสามารถกำหนดได้จากโปรแกรมวาจะใหเป็น 12 ชั่วโมงหรือ 24 ชั่วโมง และในสวนของวันที่และวันในสัปดาหก็สามารถปรับเปลี่ยนได้เองวาเดือนใดมี 28/29/30 หรือ 31 วันอย่างอัตโนมัติ ซึ่งนอกจากนี้จะใชงานเป็นฐานเวลานาฬิกา แลว ดีเอส1307 นี้ยังมี หน่วยความจำแรม (RAM) ขนาด 8 บิต จำนวน 56 ไบต์ สำหรับใหผู้ใชนำไปใชงานเก็บขอมูลได้อย่างอิสระ เชน อาจนำไปใชในการเก็บคาการตั้ง เวลา เพื่อใชตั้งเวลาเปิด-ปด อุปกรณไฟฟา เป็นตน สำหรับคุณสมบัติโดยรวมของนาฬิกา เบอรดีเอส1307 มีคุณสมบัติที่นาสนใจดังนี้

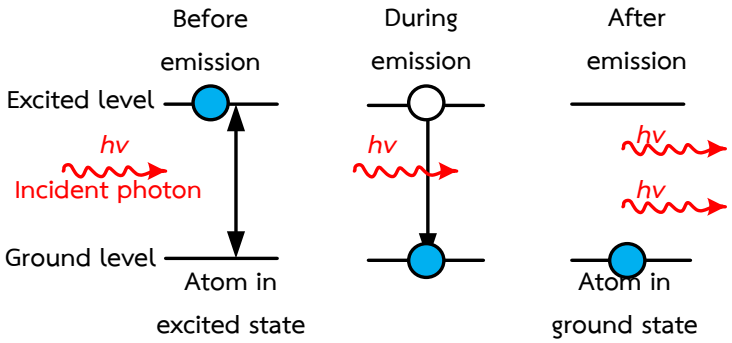
- เป็นนาฬิกาที่สามารถจะใหขอมูลออกมาเป็น วินาที นาที ชั่วโมง วันที่ สัปดาห เดือน และ ปี ซึ่งชดเชยคาแลว สามารถใชงานได้ถึงป 2100
- มี แรม จำนวน 56 ไบต์
- สามารถตั้งโปรแกรมใหส่งสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม (Square Wave) ออกที่เอาท์พุทได้
- สามารถตรวจสอบระบบไฟเลี้ยง และสลับไปใชแบตเตอรี่ ได้โดยอัตโนมัติ
- เมื่อใชพลังงานจากแบตเตอรี่จะใชไฟนอยกวา 500 นาโนแอมแปรที่ 25 องศาเซลเซียส

- สามารถเลือกนาฬิกา เบอร ดีเอส1307 รุนที่ใชงานในอุตสาหกรรมได้โดยสามารถใชงาน อุณหภูมิได้ในชวง –40 ถึง +85 องศาเซลเซียส
- ใชการเชื่อมตอแบบอนุกรม
- สามารถโปรแกรมการทำงานของนาฬิกาเนแบบ 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมงได้
- ใชงานกับความถี่ 32.768 เมกกะเฮิรตซ์

ดีเอส 1307 เป็นอุปกรณที่ตออยูกับบัสแบบอนุกรมโดยที่จะทำตัวเขาถึงขอมูล ภายในจะสามารถทำได้โดยการสงเงื่อนไข รหัสเลขประจำตัว และมีตำแหน่งเลขแอดเดรสของรีจิสเตอร์ ตามลำดับลงบนบัสแบบอนุกรม ที่มี ดีเอส1307 ตอร่วมอยู โดยรีจิสเตอร์จะถูกเขาถึงตอไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งเกิดเงื่อนไข ขึ้นในระบบบัสและเมื่อแรงดันที่ขา VCC ตกลงต่ำกว่าแรงดันที่ขา VBAT แลว ดีเอส1307 จะสลับตัวเองเขาสู่โหมดประหยัดพลังงานและใชพลังงานจากแบตเตอรี่ที่ทำหนาที่เป็นตัวไฟเลี้ยงสำรองเพื่อไมใหขอมูลผิดเพี้ยน แต่ในทางกลับกัน DS1307 นั้นจะกลับไปทำงานในโหมดปกติเมื่อมีแรงดันที่ขา VCC และขา VBAT ประมาณ 0.2 โวลต์

2.8 เลเซอร์

แสงเลเซอร์เป็นแสงประเภทความถี่เดียวมีแสงสีเดียวต่างจากแสงประเภทอื่น ๆ ที่มีองค์ประกอบสีของแสงหลายสีมีความเข้มมากกว่าแสงธรรมดามีความเบี่ยงเบนน้อยกว่าแสงปกติ และเดินทางออกจากแหล่งกำเนิดแสงในลักษณะที่ได้รับการจดัระเบียบให้พร้อมกันเป็นลำแสงแคบ ๆ แต่สามารถปรับขนาดของลำแสงให้ได้ตามความต้องการได้โดยเลเซอร์ (Laser) ตรงกับคำภาษาอังกฤษที่ว่า Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation ซึ่งแปลความได้ว่าการขยายแสงโดยอาศัยหลักการแผ่รังสีแบบกระตุ้น โครงสร้างของแสงเลเซอร์เกิดจากการกระตุ้นในระดับอะตอม



รูปที่ 2.14 กระบวนการเปล่งแสงแบบเร่งเร้า

โดยปกติอะตอมหรือโมเลกุลจะอยู่ในชั้นพลังงานต่ำเสมอ (E1) แต่เมื่อถูกกระตุ้นจะในระดับอะตอมหรือโมเลกุล จะในชั้นพลังงานที่สูงกว่า (E2) แต่สำหรับการเปล่งแสงแบบเร่งเร้า (Stimulated Emission) ซึ่งเป็นหลักการของแสงเลเซอร์ เมื่ออะตอมหรือโมเลกุลขึ้นไปอยู่ที่ระดับพลังงานที่สูงกว่าใน E2 และมีการฉายแสงเข้าไปโดยแสงที่ฉายเข้าไปนั้นจะต้องมีค่าพลังเท่ากับผลต่างของชั้นพลังงาน E2-E1 ที่ อะตอมหรือโมเลกุลได้

ดูดกลืนเอาไว้ และแสงที่เข้าไปนี้เองที่จะทำให้อะตอมหรือโมเลกุลคาย พลังงานที่ดูดกลืนเอาไว้ก่อนเวลาทำให้เกิดแสงที่มีขนาดเท่าๆ กันทั้งแสงที่ถูกปล่อยออกมาและแสงที่ถูกฉายเข้าไปเพื่อเร่งเร้าทั้งพลังงานที่เท่ากัน มีทิศทางการเคลื่อนที่ในทางเดียวกัน และเฟสของคลื่นที่เหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.14

2.8.1 เลเซอร์สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Laser)

เลเซอร์สารกึ่งตัวนำดังรูปที่ 2.15 ซึ่งเป็นเลเซอร์ที่มีสารกึ่งตัวนำเป็นตัวกลางที่แสงสามารถเดินทางผ่านได้มีลักษณะคล้ายหลอดไฟขนาดเล็กแต่มีลักษณะจำเพาะ คือ จะให้แสงจากเลเซอร์ แบบนี้จะให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรด คือ ประมาณ 650 – 900 นาโนเมตร ในเลเซอร์ประเภทสีแดง และมีความยาวคลื่น 900 – 1500 นาโนเมตร

รูปที่ 2.15 เลเซอร์สารกึ่งตัวนำ

ในเลเซอร์ประเภทสีเขียว ดังนั้นจึงมีการใช้งานที่แตกต่างกันตามลักษณะ และคุณสมบัติของค่าความยาวคลื่นนั้นโครงสร้างของเลเซอร์กึ่งตัวนำ ได้แก่ หัวต่อพีเอ็น (PN) แบบเฮตเตอโรจังชั่น (Hetero Junction) ทำให้ประสิทธิภาพของเลเซอร์ไดโอด มีค่าสูงขึ้น เพราะใช้กระแสที่เลเซอร์ไดโอดเริ่มทำงานน้อยลง การฉีดกระแสไฟฟ้าผ่านหัวต่อพีเอ็นของเลเซอร์ไดโอดเป็น เพื่อให้เกิดการรวมตัวของพาหะนำไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำ และนำมาสู่การเปล่งแสง แสง ที่เปล่งออกมาจะถูกขยายสัญญาณให้มีความเข้มสูงขึ้น

2.8.2 เลเซอร์ประเภทแสงสีแดง

เลเซอร์ประเภทแสงสีแดง มีความยาวคลื่นอยู่ที่ 650 – 850 นาโนเมตร จัดว่ามี ความยาวคลื่นที่น้อยกว่า เลเซอร์ในสีประเภทอื่น เช่น เลเซอร์สีเขียวมีความยาวคลื่น อยู่ที่ 1,050 – 1,400 นาโนเมตร เลเซอร์สีแดงจึงเหมาะสมกับการนำ ไปในการวัดระยะวัดปริมาณ หมอกควัน มากกว่าเลเซอร์สีอื่น เพราะสามารถถูกลดทอนได้ง่ายจากสภาวะต่าง ๆ

2.8.3 การลดทอนของแสงเลเซอร์ (Laser Beam Attenuation)

การลดทอนของแสงเลเซอร์มีหลักการเดียวกับการลดทอนของแสงปกติ เมื่อแสงเดิน ทางผ่านตัวกลางชนิดต่างกัน เมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านระหว่างตัวกลางที่ต่างกันนั้น ทำให้เกิดการลดทอนของแสง ทำให้

ลำแสงมีความสว่างน้อยลง หรือถ้าตัวกลางที่ต่างชนิดกันนั้นอยู่ในระนาบ เดียวจะเกิดการลดทอนของแสงที่ผ่านตัวกลางนั้น ๆ แต่ในกรณีของแสงเลเซอร์ที่วิ่งเป็นเส้นตรง จะเกิดจากการที่มีตัวกลางต่างชนิดมีขนาดใหญ่กว่าลำแสงของแสงเลเซอร์ จนทำให้เกิดการเปลี่ยนทิศทาง เช่น แสงเลเซอร์วิ่งผ่านผิวน้ำทำให้ลำแสงที่อยู่ใต้น้ำเปลี่ยนทิศทาง ไปยังทิศทางอื่น ส่วนในกรณีที่แสงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางต่างชนิดที่มีขนาดเล็กกว่าลำแสง จะทำให้เกิดการลดทอนค่าความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์

2.8.4 มาตรฐานทางทัศนวิสัย

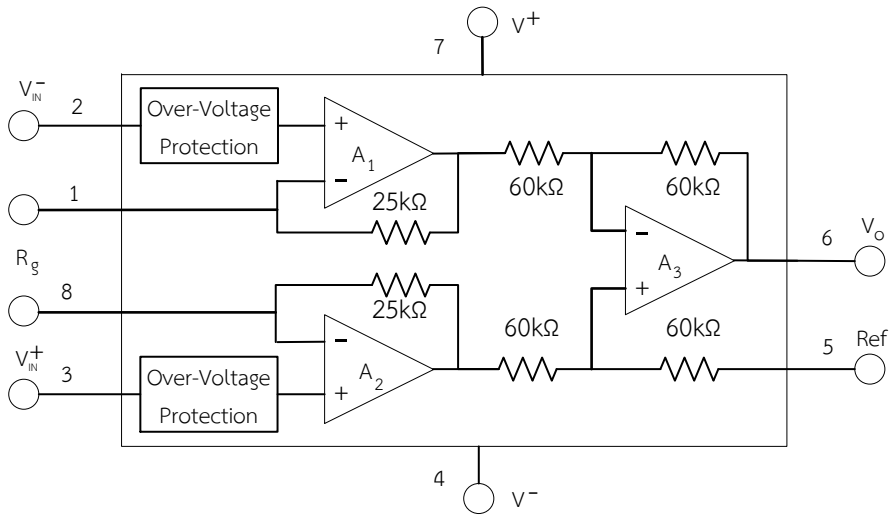
มาตรฐานทางทัศนวิสัย กำหนดขึ้นโดยสำนักงานอุตุนิยมวิทยาแห่งประเทศสหรัฐ อเมริกา และมีการใช้อย่างแพร่หลายจนกำหนดชื่อขึ้นเป็น International Classification of Visibility จากตารางที่ 2.4 ของมาตรฐานทางทัศนวิสัย

ตารางที่ 2.4 International Classification of Visibility (Meteorological Office1969)

Visibility	Description	Visibility	Description
Less than 40 m	Dense Fog	2 ~ 4 km	Haze
40 ~ 200 m	Thick Fog	4 ~ 10 km	Poor Visibility
200 ~ 1000 m	Fog	10 ~ 40 km	Good Visibility
1 ~ 2 km	Mist	More than 40 km	Excellent Visibility

2.9 วงจรขยายอินสตรูเมนเตชั่น (Instrument Amplifier)

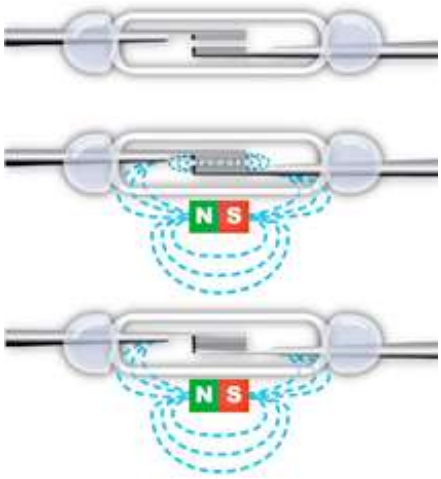
วงจรขยายอินสตรูเมนเตชั่นเป็นวงจรรวม (Integrated Circuit : IC) สำเร็จรูปเบอร์ ไอเอ็มเอ114 (INA 114) ของบริษัทเบอรบราวคอรเปอร์เรชั่น โดยมีแผนผังวงจรดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 วงจรขยายอินสตรูเมนเตชั่น (Instrument Amplifier)

2.10 รีดสวิตซ์

รีดสวิตซ์ (Reed Switch) คือ แม็กเนติกเซนเซอร์ที่มีลักษณะเป็นแบบหน้าสัมผัส ซึ่งโดยปกติทั่วไปแล้วจะเป็นหน้าสัมผัสแบบปกติเปิด (Normally Open : NO) สวิตซ์นี้จะทำงานโดยอาศัยสนามแม่เหล็ก ซึ่งอาจจะเห็นแม่เหล็กถาวร หรือแม่เหล็กไฟฟ้าก็ได้ แผ่นหน้าสัมผัสจะทำมาจากสารที่มีผลต่อสนามแม่เหล็ก (ferromagnetic) และติดตั้งอยู่ภายในกระเปาะแก้วเล็ก ๆที่มีการเติมก๊าซเฉื่อย เพื่อทำให้การตัดต่อการส่งกระแสไฟฟ้าได้เร็วยิ่งขึ้น และสวิตซ์ที่ควบคุมการทำงานโดยใช้แม่เหล็ก ในการใช้งาน จะยึดรีดสวิตซ์ไว้ที่ตัวกระบอกสูบจากรูปที่ 2.17 โดยตัวกระบอกสูบต้องทำจากอลูมิเนียม ลูกสูบต้องมีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กถาวร ซึ่งการใช้รีดสวิตซ์มีความสะดวกในเรื่องของการติดตั้งที่ง่ายกว่าลิมิตสวิตซ์ทั่วไป การทำงาน เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่เข้าสุด อำนาจแม่เหล็กที่ตัวลูกสูบจะไปดึงดูดให้หน้าติดต่อของรีดสวิตซ์ต่อกัน ซึ่งปกติหน้าติดต่อจะเป็นหน้าติดต่อปกติเปิด เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่มาตรงกับตำแหน่งของรีดสวิตซ์ รีดสวิตซ์ก็จะปิดวงจร และเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ออกไปตรงกับตำแหน่งของรีดสวิตซ์ตัวนอก อำนาจแม่เหล็กของลูกสูบก็จะดึงดูดให้รีดสวิตซ์ปิดวงจรเช่นกัน



รูปที่ 2.17 การทำงานของรีดสวิตซ์

2.11 อีอีพรอม (EEPROM)

อีอีพรอม (EEPROM) มาจาก Electrical Erasable Programmable Read Only Memory ดังรูปที่ 2.18 เป็นรอม (ROM) ที่ถูกพัฒนามาจาก อีพรอม (EPROM) แต่การใช้งานจะง่ายกว่าเนื่องจากเป็นการลงโปรแกรมและการเพิ่มโปรแกรมใหม่ด้วยกระแสไฟฟ้า ซึ่งการใช้งานจะง่ายกว่า ในปัจจุบันมีการใช้งาน อีอีพรอม แทน อีพรอม อย่างแพร่หลายเพราะความสะดวกในการใช้งานพร้อมกันนั้นยังมีคุณสมบัติที่ไม่แตกต่างจาก อีพรอม เลยแม้แต่น้อย สิ่งที่ทำให้ อีอีรอม (EEROM) โดดเด่นกว่า อีพรอม นั้นก็คือความสามารถในการลงโปรแกรมแก้ไขและลบโปรแกรมที่มีความเร็วและสะดวกกว่าแบบ อีพรอม แต่การลบข้อมูลของ อีอีพรอม นั้นจะเป็นการลบข้อมูลทั้งหมดเราไม่สามารถเลือกลบโปรแกรมบ้างส่วนได้ โดยอายุการใช้งานของ อีอีพรอม นั้นจะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของ อีอีพรอม ตัวนั้นจะกำหนดให้สามารถลบและเขียนข้อมูลได้สูงสุดเท่าไร อาทิ 10 ครั้ง หรือ 100

ครั้ง ซึ่งความสามารถของอีอีพรอม อีกอย่างก็คือสามารถที่จะใช้ไฟฟ้าที่มีอยู่ในคอมพิวเตอร์ลบและลงโปรแกรมใหม่ได้ด้วย สำหรับอาดูโน่เป็น หน่วยความจำอีกอันหนึ่งซึ่งสามารถอ่านและเขียนโดยโปรแกรมที่ทำงานอยู่แต่ข้อจำกัดของมันคือต้องอ่านทีละ ไบต์ ทำให้เวลาใช้งานยุงยากหน่อยและการอ่านก็ช้ากว่า เอสแรม นอกจากนี้ก็ยังมีข้อจำกัดในการเขียนที่ 100,000 การอ่าน (write cycle) โดยในปัจจุบันเรายังสามารถเห็น อีพรอม ตามเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปได้อยู่ แต่ส่วนมากแล้วถ้าเป็นอุปกรณ์ที่ทันสมัยและต้องการความยืดหยุ่นในการใช้งานก็จะใช้รอมประเภท อีอีพรอม และ เอฟอีพรอม (FEPROM) เพราะทั้งสองแบบนี้สามารถเขียนและลบโปรแกรมได้ด้วยกระแสไฟฟ้านั่นเอง

รูปที่ 2.18 ตัวอย่างชิป อีอีพรอม