บทที่ 3

การออกแบบโครงสร้าง

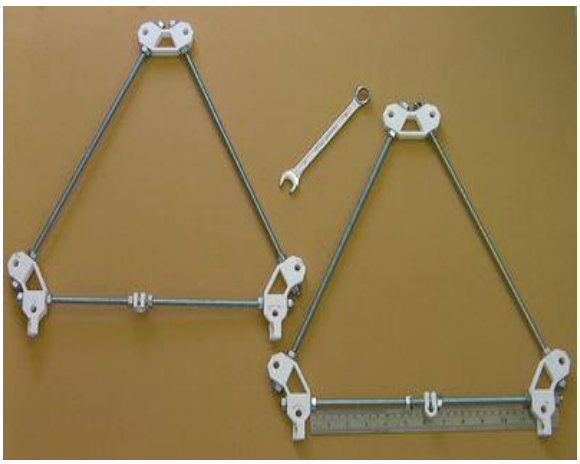
ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบโครงงานเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ทั้งการออกแบบโครงสร้างการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงงานเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ประกอบด้วย การออกแบบโครงสร้างเครื่องพิมพ์ 3 มิติ การออกแบบสเต็ปปิ้งมอเตอร์ การออกแบบบอร์ดขับเคลื่อนสเต็ปปิ้งมอเตอร์ การออกแบบหัวฉีด (Nozzle) การออกแบบแผ่นความร้อน (Heat Bed) การออกแบบบอร์ดของ (Arduino)

3.1 การออกแบบโครงสร้างเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

จากบทที่ 2 จะเห็นว่าโครงสร้างของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ มีหลายรูปแบบดังนั้นในโครงงานนี้จึงเลือกใช้ เพื่อให้ง่ายต่อการสร้างรูปแบบ Cartesian แบบฐานวางชิ้นงานอยู่กับที่ จะใช้ระบบสายพานในการเลื่อนตำแหน่งของแนวแกน X,-Y,-Z ที่จะเคลื่อนที่อยู่บนแท่งลิเนียร์สไลด์ทำให้มีความแม่นยำและความละเอียดต่อชิ้นงาน ซึ่งสามารถสร้างชิ้นงานได้ตามขอบเขตจะได้ชิ้นงานขนาด 18 x 18 x 16 เซนติเมตร จึงได้เลือกทำโครงสร้างเครื่องพิมพ์ 3 มิติ แบบ Cartesian แบบฐานวางชิ้นงานอยู่กับที่ เนื่องจากมีขั้นตอนในการทำโครงสร้างที่ไม่ค่อยซับซ้อนมากจนเกินไปและวัสดุที่นำมาใช้ทำโครงสร้างนั้นมีราคาไม่สูงมากและหาซื้อได้ตามท้องตลาด นอกจากนี้โครงสร้างเครื่องพิมพ์ 3 มิติ แบบ Cartesian แบบฐานวางชิ้นงานอยู่กับที่ นั้นยังเหมาะสำหรับผู้ที่จะเริ่มต้นสร้างเครื่องพิมพ์ 3 มิติ อีกด้วย และยังสามารถนำมาพัฒนาต่อเพื่อสร้างชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่มากขึ้นจากขอบเขตที่ตั้งไว้

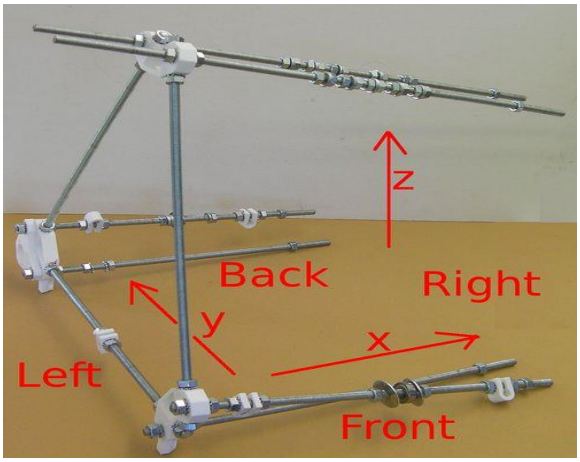
3.1.1 การออกแบบโครงสร้าง

นำแท่งเหล็กสตัดขนาด 8 มิลลิเมตร มาทำการตัดให้ได้ขนาด 37 เซนติเมตร จำนวน 6 แท่ง ซึ่งสามารถรองรับในการสร้างชิ้นงานชิ้นนี้ได้ จากนั้นนำมาประกอบเป็นรูปสามเหลี่ยมดังภาพที่ 3.1 โดยมีพลาสติกที่ทำจากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ เป็นจุดยึดทั้ง 3 มุม



ภาพที่ 3.1 ส่วนประกอบด้านข้าง

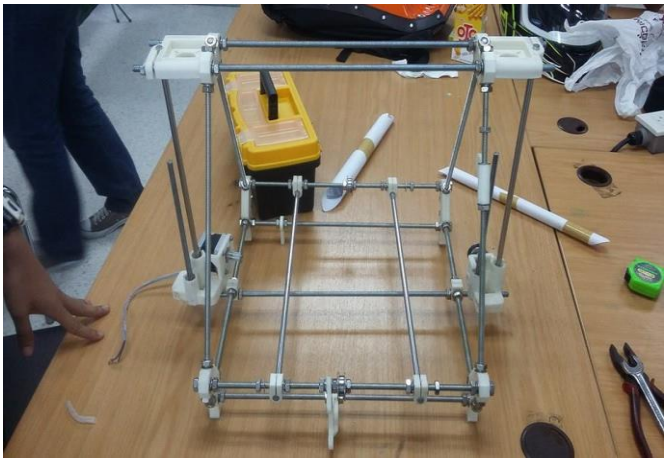
จากนั้นนำแท่งเหล็กสตัดมาตัดขนาด 37 เซนติเมตร จำนวน 4 แท่ง นำมาประกอบเข้าด้วยกันกับโครงสร้างที่เป็นสามเหลี่ยมจะได้แกน X, Y และใช้เหล็กสตัดมาตัดขนาด 47 เซนติเมตร จำนวน 2 แท่ง เพื่อทำเป็นแนวแกน Z เพื่อช่วยให้โครงสร้างแข็งแรงทนต่อการรับน้ำหนักได้ดังภาพที่ 3.2 และ 3.3



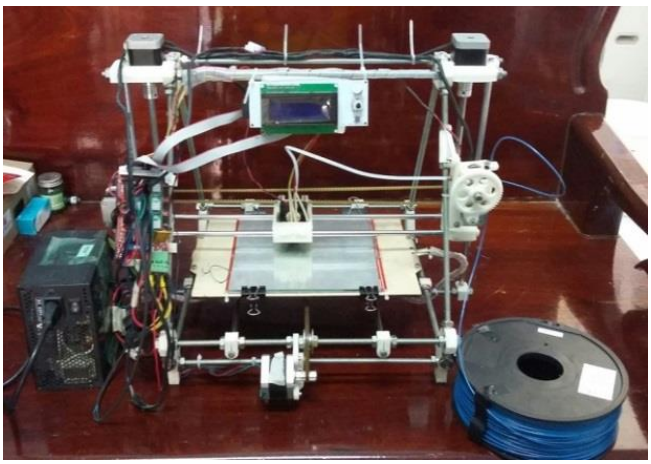
ภาพที่ 3.2 ประกอบเป็นแกน X, Y, Z

ภาพที่ 3.3 แบบโครงสร้างเมื่อประกอบแกน X, Y, Z

จากนั้นนำแท่งลิเนียร์สไลด์ ขนาด 8 มิลลิเมตร มาตัดขนาด 37 เซนติเมตร จำนวน 2 แท่ง และขนาด 40 เซนติเมตร จำนวน 4 แท่ง เพื่อให้ลื่นไหลต่อการเคลื่อนที่ของหัวฉีดและแผ่นกันความร้อนในแนวแกน X, Y, Z นำเหล็กขนาด 37 เซนติเมตร มาประกอบในทางแนวแกน Z เพื่อใช้เป็นแนวแกนสำหรับยึดกับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ และ นำแท่งแกนลิเนียร์สไลด์ 4 แท่ง ขนาด 40 เซนติเมตร มาประกอบเป็นตัวยึดในทางแนวแกน X, Y เพื่อให้หัวฉีดเคลื่อนที่ไปมาตามแนวแกน X และฐานลองให้กับแผ่นกันความร้อนที่จะใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์ควบคุมให้แผ่นกันความร้อนเลื่อนไปมาตามแนวแกน Y ดังภาพที่ 3.4 และ 3.5



ภาพที่ 3.4 แกนลิเนียร์สไลด์มายึดทางแนวแกน Z และ แกน Y



ภาพที่ 3.5 โครงสร้างสมบรูณ์

3.2 การออกแบบสเต็ปปิ้งมอเตอร์

จากการออกแบบโครงสร้างในหัวข้อ 3.1 ช่างน้ำหนักของโครงสร้างของสเต็ปปิ้งมอเตอร์มีค่าเท่ากับ 0.22 Kg ดังนั้นจึงนำค่านี้ไปแทนในสมการที่ 3.1 จึงได้เลือกใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์ (Nema 17) เป็นมอเตอร์ไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ซึ่งมี อินพุต เป็นกลุ่มของ แรงดันไฟฟ้าไบนารี และ เอาต์พุต เป็นการเคลื่อนที่ในเชิงมุม (หมุน) แกนหมุนเพลา (Shaft) เป็น สเต็ป โดยความละเอียดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.1 - 30 องศา ซึ่งขึ้นอยู่กับโครงสร้างของสเต็ปปิ้งมอเตอร์หรือบอกเป็นจำนวน สเต็ป ต่อ 1 รอบ สเต็ปปิ้งมอเตอร์ในงานของเราที่นำมาใช้นั้นเป็นสเต็ปปิ้งมอเตอร์ 1.8 องศา น้ำหนัก 220 กรัม แรงบิด 1.6 นิวตัน/เมตร ซึ่ง สามารถควบคุมตำแหน่งการหมุนได้ดีเป็นสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบไบโพล่า 4 สาย มีความยืดหยุ่นในการนำมาใช้งาน ทำให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานกับตัว หัวฉีด ของเราได้อย่างเหมาะสม ถ้าใช้ ฟลูสเต็ป องศาการหมุนเท่ากับ 1.8 องศา ใช้ ครึ่งสเต็ป องศาการหมุนเท่ากับ 0.9 องศา มีกระแสสูงสุดที่ 1.5 - 1.8 A คุณสมบัติที่สามารถนำมาใช้งานและมีองศา/สเต็ป ที่เพียงพอกับการใช้ จะรองรับแรงไฟฟ้าได้โดยประมาณที่ช่วง 5 - 12 V เนื่องจากมีน้ำหนักเบาและเป็นมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนด้วยพัลส์ สเต็ปปิ้งมอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่นิยมใช้กับเครื่องพิมพ์ 3 มิติ และยังเป็นสเต็ปปิ้งมอเตอร์ขนาดเล็กนิยมใช้กับพวกแขนกล, แขนหุ่นยนต์ ขนาดเล็กหรือกลไกเคลื่อนไวต่าง ๆ และจากสมการในบทที่ 2 สามารถคำนวณหาค่าแรงบิดเพื่อเลือกใช้สเต็ปมอเตอร์เพื่อให้ตรงกับความต้องการแสดงการคำนวณดังสมการที่ 3.1 และ 3.2

น้ำหนักโครงสร้างของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ 0.22 Kg แทนในสมการที่ 2.1 จะได้สมการที่ 3.1

$$F = (0.22\ Kg \times 9.8\ m/s^2) \quad (3.1)$$

$$F = 2{,}156\ N$$

เอา F ไปหาแรงบิด ไปแทนค่าในสมการที่ 2.2 ดังแสดงในสมการที่ 3.2

$$Torque = \frac{(F) \times (P)}{(2) \times (Pi) \times (e)} \quad (3.2)$$

$$Torque = \frac{(2156) \times (0.001)}{(2) \times (3.14) \times (0.8)}$$

$$Torque = 0.429\ Nm$$

ดังนั้นสามารถเลือกใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์ตัวนี้ได้ เพราะค่าแรงบิดที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าแรงบิดสูงสุดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ (Nema 17) ซึ่งมีคุณสมบัติตามสเปค

คุณสมบัติ สเต็ปปิ้งมอเตอร์ (Nema 17)

แรงดันพิกัด 12 - 24 V

สเต็ป การหมุน 1.8 องศา

ความต้านทานฉนวน 500 V (DC) 100 MΩ

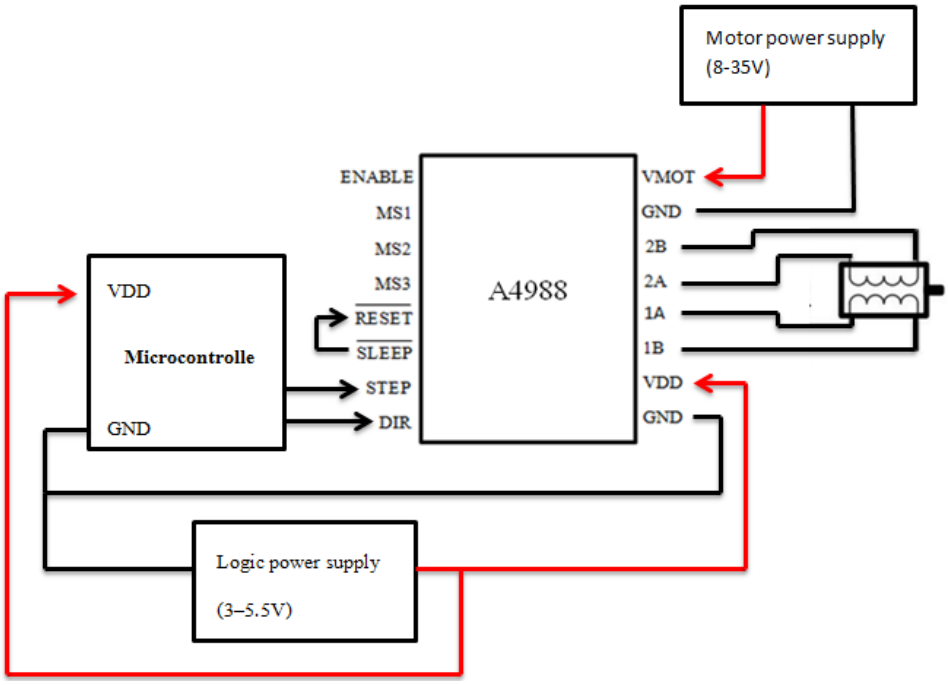
ความแข็งแรงฉนวน 50 Hz 1 นาที 500 V

อุณหภูมิแวดล้อม -20 - +50 องศาเซลเซียส

3.3 การออกแบบบอร์ดขับเคลื่อนสเต็ปปิ้งมอเตอร์

เนื่องจากการเลือกใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์ (Nema 17) จากการออกแบบหัวข้อที่ 3.3 ดังนั้นในโครงงานเครื่องพิมพ์ 3 มิติ จะเลือกใช้บอร์ดขับเคลื่อน เบอร์ A4988 เนื่องจากสามารถควบคุมได้ทั้งแบบ ยูนิโพล่าร์ (Unipolar) และ ไบโพล่าร์ (Bipolar) ซึ่งสามารถควบคุมกระแสได้สูงสุด 2 A จึง

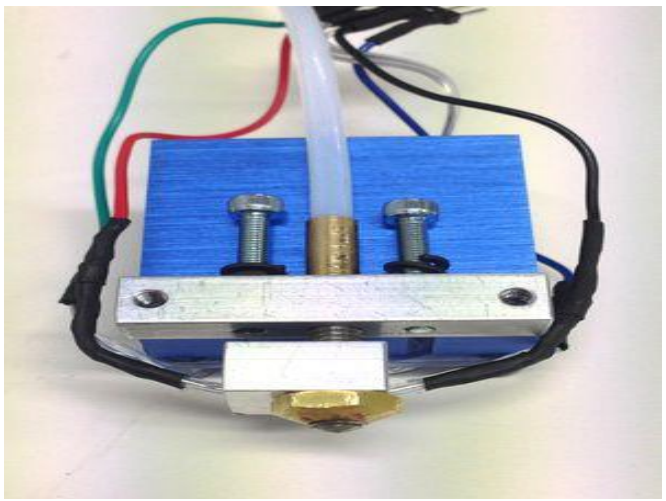
เลือกใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์ (Nema 17) ซึ่งสเต็ปปิ้งมอเตอร์นี้สามารถกินกระแสสูงที่ 1.5 - 1.8 A และมีสัญญาณควบคุมรองรับ 3.3 V กับ 5 V ทำหน้าที่แปลงสัญญาณพัลส์ เป็นสัญญาณขับเคลื่อนมอเตอร์เพื่อป้อนให้กับสเต็ปปิ้งมอเตอร์แกน X, Y, Z และ หัวฉีด จึงสามารถใช้บอร์ดขับเคลื่อนเบอร์ A4988 การต่อบอร์ดขับเคลื่อนสเต็ปปิ้งมอเตอร์ดังภาพที่ 3.7 มีบอร์ดขับเคลื่อนมอเตอร์เป็นแบบ H-บริดจ์ ที่ใช้มอสเฟตเป็นอุปกรณ์ขับเคลื่อนทำให้มีค่าความต้านทานต่ำมาก ส่งผลให้การขับเคลื่อนสเต็ปปิ้งมอเตอร์มีประสิทธิภาพ ทั้งในการขับเคลื่อนให้สเต็ปปิ้งมอเตอร์หมุนและการเบรกเพื่อบังคับแกนหมุนของมอเตอร์ให้หยุดนิ่งสัญญาณควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ใช้ได้ในย่านกว้างตั้งแต่ 0 ถึง 5 V (ต้องมีค่าไม่เกินแรงดันไฟเลี้ยงลอจิกที่ต่อกับขา +Vcc) โดยป้อนเข้าที่ขา AIN1 กับ AIN2 สำหรับวงจรขับเคลื่อนสเต็ปปิ้งมอเตอร์ช่อง A และ BIN1 กับ BIN2 สำหรับวงจรขับเคลื่อนสเต็ปปิ้งมอเตอร์ช่อง B ส่วนความเร็วในการขับเคลื่อนสเต็ปปิ้งมอเตอร์มาจากสัญญาณ PWM ที่ต้องป้อนเข้าที่ขาอินพุต PWMA (ช่อง A) และ PWMB (ช่อง B) ความถี่สูงสุดของสัญญาณ PWM ที่รับได้คือ 100KHz ด้านไฟเลี้ยงวงจรขับเคลื่อนสเต็ปปิ้งมอเตอร์ภายในไอซีเบอร์ A4988 รองรับแรงดันสูงถึง 35 V ,กระแสสูงถึง 2 A สามารถนำมาขับเคลื่อนสเต็ปปิ้งมอเตอร์ (Nema 17) ได้



ภาพที่ 3.6 การต่อบอร์ดขับเคลื่อนสเต็ปปิ้งมอเตอร์

3.4 การออกแบบหัวฉีด (Nozzle)

จากโครงงานเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ได้นำเส้นพลาสติกแบบ ABS และ PLA จะนำมาใช้โดยที่เส้นพลาสติก ABS จะมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ประมาณ 200 - 250 องศาเซลเซียส และเส้นพลาสติก PLA จะมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ประมาณ 160 - 220 องศาเซลเซียส ดังนั้นในโครงงานนี้จึงเลือกใช้หัวฉีดที่สามารถทำความร้อนได้ประมาณ 190 - 250 องศาเซลเซียส และมีหัวฉีดที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 มิลลิเมตร และมีการตรวจจับและวัดอุณหภูมิที่เป็นตัวตรวจสอบและส่งสัญญาณไปยังส่วนควบคุมอุณหภูมิ หัวฉีดร้อนนี้ทำมาจากโลหะบรรจุในบล็อกอลูมิเนียมและมีแผ่นระบายความร้อน และมีสเต็ปปิ้งมอเตอร์ควบคุมกลไกป้อนเส้นพลาสติกเข้าที่หัวฉีดเนื่องจากพิมพ์ชิ้นงานนี้มีขนาด 18 x 18 x 16 เซนติเมตร ซึ่งขนานชิ้นงานไม่ใหญ่มาก ดังนั้นถ้าเราเลือกหัวฉีดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่จะทำให้ได้ชิ้นงานที่ได้มีความระเอียดน้อย ดังนั้นในโครงงานนี้จึงเลือกใช้หัวฉีดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 มิลลิเมตร ซึ่งทำให้ชิ้นงานละเอียดในระดับที่ใช้งานได้แสดงภาพที่ใช้งานใน ภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 หัวฉีด (Nozzle)

3.5 การออกแบบแผ่นความร้อน (Heat Bed)

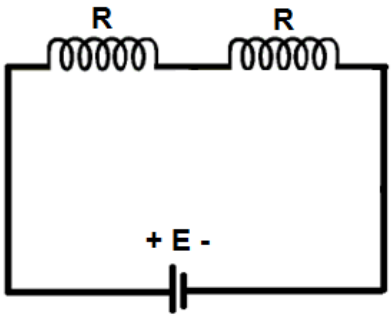
เนื่องจากในการสร้างเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ต้องมีแผ่นความร้อนที่ฐานเพื่อให้ความร้อนกับชิ้นงานเกาะอยู่กับแผ่นความร้อนโดยไม่ร้อนจนเกินไปหรือเย็นจนเกินไปซึ่งจากอุณหภูมิหลอมเหลวของหมึก ABS อยู่ที่ 200 - 250 องศาเซลเซียส และ PLA อยู่ที่ 180 - 220 องศาเซลเซียส

หรือประมาณค่าแผ่นความร้อนอยู่ที่อุณหภูมิอยู่ที่ 80 - 100 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่ทำให้หมึกละลายและไม่เย็นจนเกินไป การทำงานของแผ่นความร้อนที่เราเลือกสามารถจ่ายแรงดันไฟได้ 2 รูปแบบ 12 V และ 24 V ดังตารางที่ 3.1 เมื่อต่อไฟบวกเข้ากับขา 2 และไฟลบเข้ากับขา 3 จะมีความต้านทาน 4.8 Ω ใน 24 V ดังแสดงในภาพที่ 3.9 จะได้กำลังวัตต์ออกมาน้อยกว่าแบบ 12 V ทำให้แผ่นความร้อนอุณหภูมิจะขึ้นช้ากว่า ดังสมการที่ 3.3 และเมื่อต่อไฟบวกกับขา 1 และไฟลบเข้ากับ 2 กับ 3 ใน 12 V มีความต้านทานอยู่ที่ 1.2 Ω ดังแสดงในภาพที่ 3.10 จะได้กำลังวัตต์ออกมามากกว่าแบบ 24 V ทำให้แผ่นความร้อนอุณหภูมิจะขึ้นไวกว่า ดังแสดงในสมการที่ 3.4 แสดงภาพที่ใช้งานจริงดังแสดงในภาพที่ 3.8 ดังนั้นในโครงงานนี้จึงเลือกใช้แผ่นความร้อน (Heat Bed)

ภาพที่ 3.8 แผ่นความร้อน (Heat Bed)

ตารางที่ 3.1 การต่อแผ่นความร้อน (Heat Bed)

PIN	POWER	
	12 V	24 V
1	+	
2	-	+
3	-	-

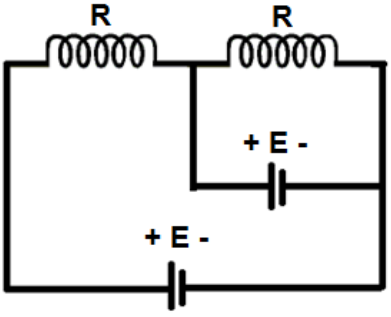


ภาพที่ 3.9 วงจรแผ่นความร้อน 24 V

จากภาพที่ 3.9 การต่อแผ่นความร้อนจะได้สูตรการคำนวณกำลัง (W)

$$P = \left[\frac{E^2}{R} \right] \qquad \text{(W)} \qquad (3.3)$$

โดยที่ P คือ กำลังมีหน่วยเป็นวัตต์ (W)
E คือ แรงดันมีหน่วยเป็นโวลท์ (V)
R คือ ความต้านทานมีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)



ภาพที่ 3.10 วงจรแผ่นความร้อน 12 V

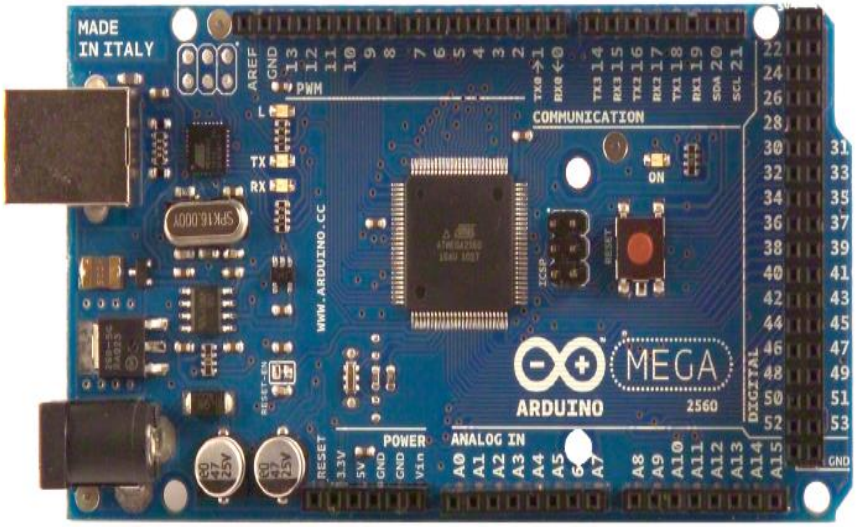
จากภาพที่ 3.10 การต่อแผ่นความร้อนจะได้สูตรการคำนวณกำลังวัตต์ (W)

$$P = \left[\frac{E^2}{R} + \frac{E^2}{R} \right] \qquad \text{(W)} \qquad (3.4)$$

$$P = \left[\frac{2E^2}{R} \right] \qquad \text{(W)}$$

3.6 การออกแบบบอร์ดของ (Arduino)

จากโครงงานนี้ต้องการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงานของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ซึ่งมีส่วนประกอบด้วยที่ต้องใช้พอร์ต อินพุต/เอาต์พุต สเต็ปปิ้งมอเตอร์ใช้ 20 บิต หัวฉีดและเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ 2 บิต ผานความร้อนและเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ 2 บิต จอ LCD 16 บิต ลิมิตสวิทช์ 3 บิต อินพุต/เอาต์พุต ทั้งหมด 43 บิต ดังนั้นในโครงงานนี้จึงเลือกใช้บอร์ดของ Arduino MEGA2560 ซึ่งมีจำนวนมีจำนวน อนาล็อก พอร์ต อินพุต 16 ช่อง อินพุตแบบดิจิตอล 54 ช่อง PWM 4 ช่อง หน่วยความจำ 256 KB แรม (RAM) 8 KB ใช้ไฟเลี้ยง 7 ถึง 12 V แรงดันของระบบอยู่ที่ 5 V มี Digital อินพุต/เอาต์พุต มากถึง 54 ขา (เป็น PWM ได้ 14 ขา) มี อนาล็อก อินพุต 16 ขา Serial UART 4 ชุด I2C 1 ชุด SPI 1 ชุด เขียนโปรแกรมบน Arduino IDE และโปรแกรมผ่าน USB เนื่องจากราคาย่อมเยา และได้ พอร์ต อินพุต/เอาต์พุต เหมาะสำหรับผู้ที่สนใจเริ่มต้นเรียนรู้การพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ต้องการบอร์ด Arduino ที่มีหน่วยความจำและขาสัญญาณต่าง ๆ



ภาพที่ 3.12 บอร์ด Arduino Mega 2560