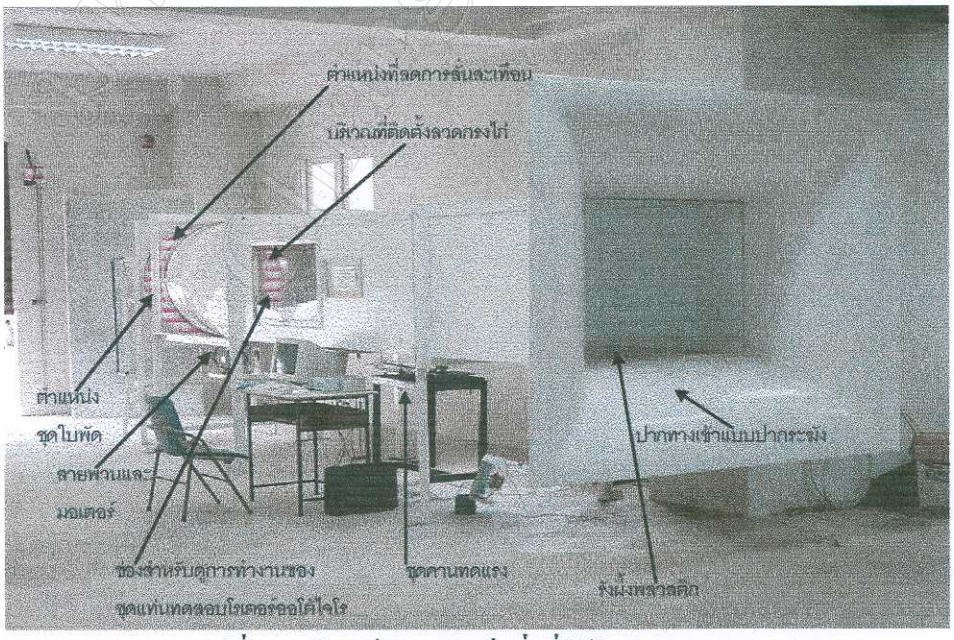
บทที่ 3
อุปกรณ์และเครื่องมือวัดสำหรับการวิจัย

อุปกรณ์และเครื่องมือวัดสำหรับการทดสอบชุดแท่นทดสอบโรเตอร์ออโต้ไจโร จะแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 อุโมงค์ลมสำหรับการทดสอบ

อุโมงค์ลมที่ใช้ในการทดสอบเป็นอุโมงค์ลมแบบเปิดความเร็วต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 มีขนาดหน้าตัดทำงาน 0.9×1.2 เมตร และมีความยาวตลอดประมาณ 6 เมตร ซึ่งคิดระยะตั้งแต่ปากทางเข้าตลอดจนถึงปากทางออกของลม ภายในจะบุผนังด้วยไม้อัดหนา 0.01 เมตร เคลือบด้วยฟอร์เมกา มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ปากทางเข้าแบบปากระฆังหน้าตัด 1.8×2.1 เมตร มีรังผึ้งพลาสติกโดยมีขนาดของช่องเล็กๆ (พื้นที่หน้าตัด × ความลึก) เป็น 0.1×0.1×0.2 เมตร ติดตั้งที่ด้านทางเข้า มีลวดกรงไก่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดประมาณ 0.0016 เมตร ขนาดช่อง 0.025×0.025 เมตร เพื่อใช้สำหรับกันวัสดุหลุดจากชุดแท่นทดสอบที่อาจจะไปทำอันตรายชุดใบพัดดูดอากาศ มีใบพัดดูดอากาศมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เมตร มี 6 กลีบใบ ถูกขับด้วยสายพานผ่านมอเตอร์ยี่ห้อ MISUBISHI ขนาด 3.7 กิโลวัตต์ (5 แรงม้า) 3 เฟส และใช้ร่วมกับชุดควบคุมรอบมอเตอร์แบบเปลี่ยนความถี่ยี่ห้อ YASKAWA รุ่น 606PC3 ขนาด 3.7 กิโลวัตต์ 3 เฟส



รูปที่ 3.1 อุโมงค์ลมความเร็วต่ำที่ใช้ในการทดสอบ

3.2 ชุดแท่นทดสอบโรเตอร์ออโต้ไจโร

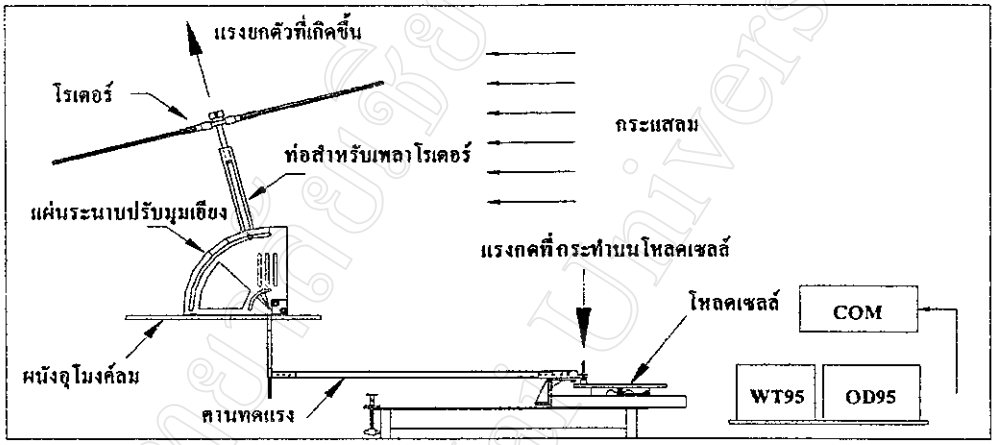
ชุดโรเตอร์ออโต้ไจโร

ชุดคานทดแรง

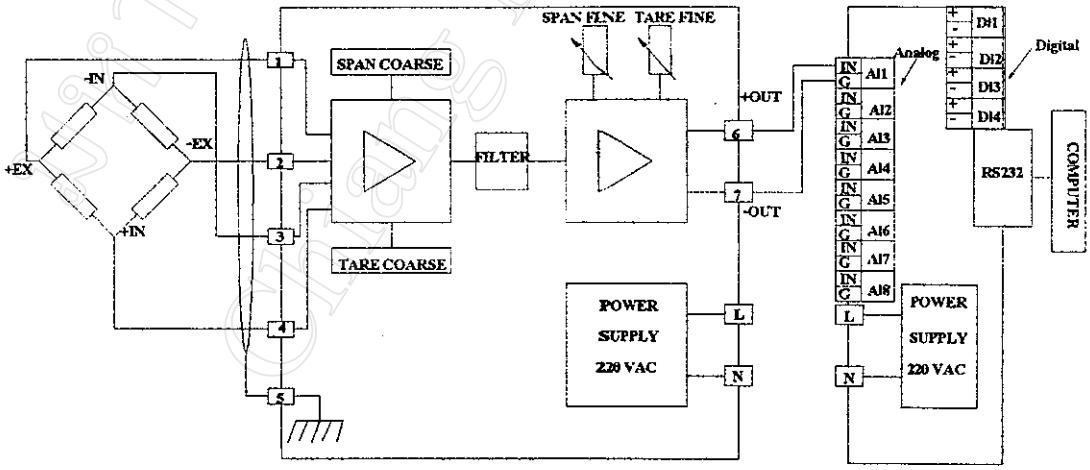
รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบที่สำคัญของชุดแท่นทดสอบโรเตอร์ออโต้ไจโร

ชุดแท่นทดสอบโรเตอร์ออโต้ไจโรสร้างขึ้นเพื่อใช้สำหรับทดสอบแรงยกที่เกิดขึ้นในแนวแกนโรเตอร์แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนที่สำคัญคือ ชุดโรเตอร์ออโต้ไจโรและชุดคานทดแรง ดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยมีรูปแบบการทำงานดังแสดงในรูปที่ 3.3 คือ เมื่อมีกระแสลมไหลผ่าน

ชุดโรเตอร์ออโต้ไจโรอย่างสม่ำเสมอทำให้โรเตอร์สามารถหมุนได้อย่างต่อเนื่องซึ่งจะทำให้เกิดแรงยกตัวขึ้น แรงยกตัวที่เกิดขึ้นอยู่ในรูปของแรงดึงจะถูกส่งผ่านจากเพลาโรเตอร์ไปสู่คานทดแรงทำให้เกิดแรงคู่ควบขึ้นที่ปลายคานอีกด้านโดยอยู่ในรูปของแรงกดที่กระทำบนโหลดเซลล์ (Load cell) จากนั้นโหลดเซลล์จะส่งสัญญาณของแรงกดนี้ในรูปของแรงดันไปยังเครื่องขยายสัญญาณ WT 95 เพื่อส่งสัญญาณอะนาล็อก (1 ช่องสัญญาณ) ต่อไปยังเครื่องรับสัญญาณ OD 95 ที่ซึ่งจะส่งสัญญาณไปแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์โดยมีแผนผังวงจรการทำงานดังแสดงในรูปที่ 3.4



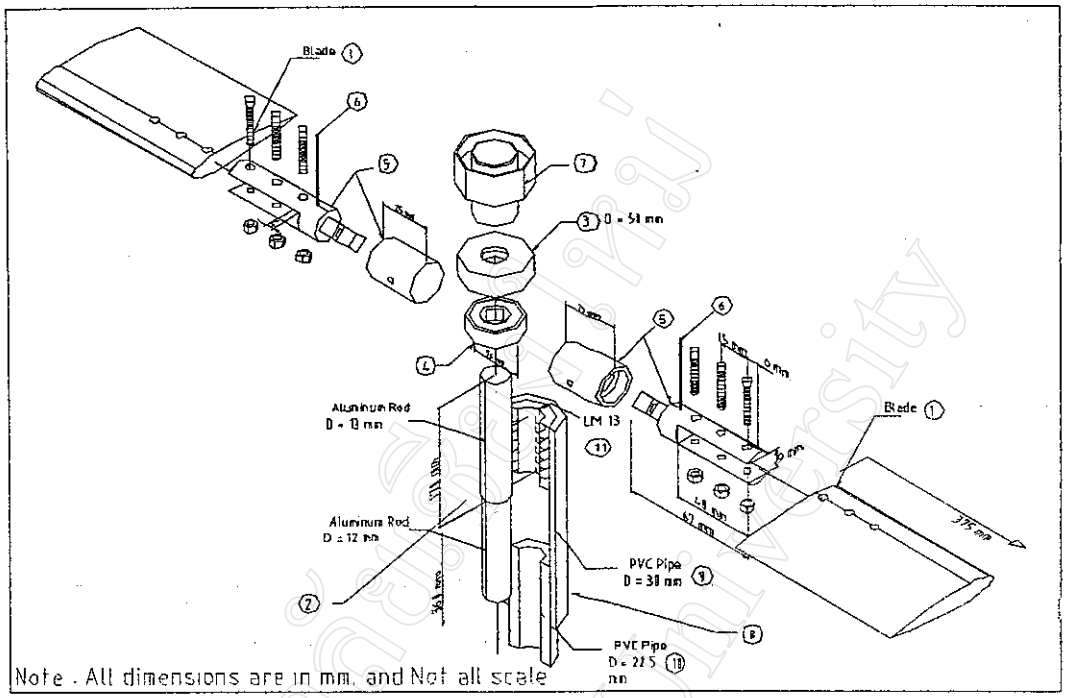
รูปที่ 3.3 แสดงรูปแบบการทำงานร่วมกันของชุดโรเตอร์ออโต้ไจโรและชุดคานทดแรง



รูปที่ 3.4 แสดงวงจรการทำงานของชุดวัดแรงในชุดคานทดแรง

สำหรับชุดแท่นทดสอบโรเตอร์ออโต้ไจโรมีองค์ประกอบที่สำคัญเป็นลำดับดังต่อไปนี้คือ

<u>ส่วนแรก</u> เป็นชุดโรเตอร์ที่ซึ่งเป็นส่วนที่ถูกติดตั้งในอุโมงค์ลม เพื่อใช้สำหรับทำให้เกิดแรงยกในแนวแกนเมื่อมีกระแสลมไหลผ่าน โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญดังแสดงในรูปที่ 3.5 คือ



รูปที่ 3.5 แสดงองค์ประกอบของชุดโรเตอร์ออโต้ไจโร

3.2.1 ปีกจำนวน 2 ใบ (หมายเลข 1) สร้างด้วยวิธีการหล่อขึ้นรูปโดยใช้โพลีเอสเตอร์เรซิ่น (Polyester Resin) และใช้ไม้บัลซ่าร์เป็นแกนในปีก มีลักษณะภาคตัดปีกแบบ NACA 0015 และมีขนาดคอร์ด × ความยาว คือ 0.06×0.375 เมตร คงที่ตลอดความยาวปีก 0.375 เมตร และไม่มีการบิดตลอดความยาวปีกเช่นกัน ผิวนอกของปีกจะเคลือบด้วยพลาสติกผิวมันพีวีซี (PVC) (ไม้บัลซ่าร์เป็นไม้เนื้ออ่อนมีลักษณะเบาจึงนิยมนำมาใช้ทำกรอบรูปหรือเครื่องร่อนเป็นต้น)

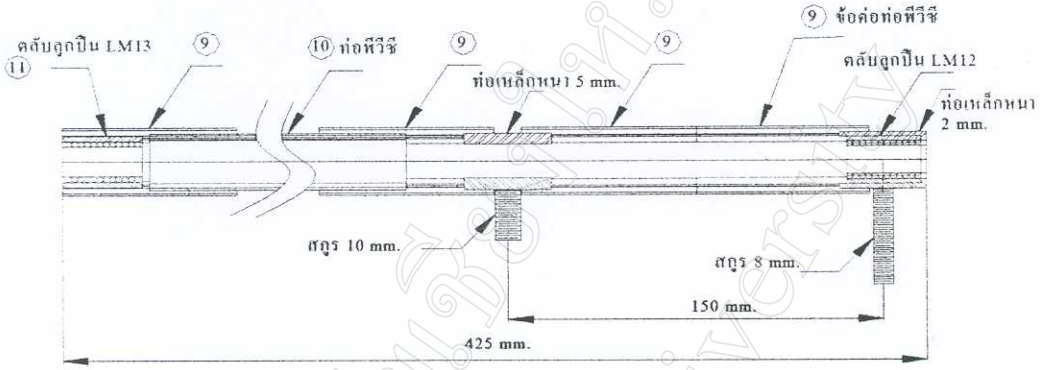
3.2.2 เพลาและดุมโรเตอร์ เพลา (หมายเลข 2) สร้างโดยใช้เพลาอะลูมิเนียม (Aluminum Rod) ขนาดความยาว 0.53 เมตร แบ่งเส้นผ่าศูนย์กลางหน้าตัดออกเป็น 2 ขนาด โดยเริ่มจากปลายสุดของเพลาที่ใช้สำหรับประกอบเข้ากับดุมโรเตอร์จนกระทั่งมีระยะความยาว 0.17 เมตร ในช่วงระยะดังกล่าวนี้จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหน้าตัดคือ 0.013 เมตร และจากระยะตำแหน่งที่ความยาว 0.17 เมตร ไปจนกระทั่งถึงปลายสุดอีกข้างหนึ่งจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.012 เมตรตลอดความยาว สำหรับดุมโรเตอร์จะสร้างโดยใช้อลูมิเนียม (หมายเลข 3) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.05 เมตร หนา 0.012 เมตร ที่ถูกกลึงให้พอดีสำหรับอัดตลับลูกปืนยี่ห้อ THK รุ่น 608LLB/1K (หมายเลข 4) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในและภายนอก 0.013 และ 0.026 เมตรตามลำดับ ที่ผิวนอกของดุมโรเตอร์จะเชื่อมด้วยตัวยึดจับปีก 2 ชุด (หมายเลข 5) ในตำแหน่งตรงข้ามกัน สำหรับตัวยึดจับปีกทำจากอะลูมิเนียมแบ่งออกเป็น 2 ชิ้นส่วน โดยในชิ้นส่วนที่หนึ่งจะถูกเชื่อมติดกับดุมโรเตอร์จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางหน้าตัด×ความยาว คือ 0.19×0.25 เมตร และในส่วนที่สองจะถูกใช้ยึดจับปีกมีระยะในการยึดปีก 0.04 เมตร และมีความยาวตลอด 0.067 เมตร สำหรับตัวยึดจับปีกนอกจากจะใช้

ในการยึดปีกแล้วยังใช้ในการปรับมุมพิทช์ของปีกโดยใช้เข็มเล็ง (หมายเลข 6) ที่ทำมุมตั้งฉากกับคอร์ดของปีกที่ขนานกับแนวระดับร่วมกับตัวช่วยปรับมุมพิทช์ที่ซึ่งสร้างด้วยไม้บัลซ่าร์และเคลือบผิวด้วยพลาสติกพีวีซีสีขาวโดยได้จัดทำสเกลครึ่งวงกลมรัศมี 0.05 เมตรดังแสดงในรูปที่ 3.6 เพื่อช่วยให้มองเห็นมุมได้ชัดขึ้นและทำให้ปรับมุมง่ายและแม่นยำมากยิ่งขึ้น และชิ้นส่วนสำหรับวัดรอบการหมุน (RPM) (หมายเลข 7) ได้ถูกติดแถบสะท้อนแสงของเครื่องวัดรอบบนชิ้นส่วนนี้ซึ่งได้นำมาติดตั้งบนดุมโรเตอร์

รูปที่ 3.6 แสดงการวัดมุมพิทช์ของปีกโดยใช้ตัวช่วยปรับมุมพิทช์

3.2.3 ท่อสำหรับเพลาโรเตอร์ (หมายเลข 8) เพื่อใช้สำหรับบังคับให้เพลาโรเตอร์เคลื่อนที่ได้เฉพาะในแกนโดยใช้ข้อต่อท่อพีวีซี (หมายเลข 9) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงนอก 0.03 เมตร ยาว 0.07 เมตร หนา 0.0038 เมตร จำนวน 4 ชิ้น ท่อพีวีซี (หมายเลข 10) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงนอก 0.0225 เมตร ยาว 0.17 เมตร หนา 0.002 เมตร จำนวน 1 ชิ้น นำข้อต่อและท่อพีวีซีประกอบเข้ากับท่อเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.025 เมตร ยาว 0.035 เมตร จำนวน 2 ชิ้น โดยที่ท่อเหล็กชิ้นหนึ่งมีความหนา 0.003 เมตร เชื่อมกับสกรู (Screw) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.01 เมตร ยาว 0.03 เมตร ส่วนท่อเหล็กชิ้นที่สองมีความหนา 0.002 เมตร เชื่อมกับสกรูที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.008 เมตร ยาว 0.05 เมตร เมื่อชิ้นส่วนทั้งหมดประกอบเข้าด้วยกันเรียบร้อยจะได้ความยาวตลอดท่อ 0.425 เมตร โดยระยะห่างระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางสกรูทั้งสองคือ 0.15 เมตร และได้ติดตั้งตลับลูกปืนยี่ห้อ THK รุ่น LM13 (หมายเลข 11) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในและภายนอก 0.013 และ 0.023 เมตร ตามลำดับ

ยาว 0.032 เมตร ที่ปลายสุดข้างหนึ่งใกล้ดุมปีกหมุน และตลับลูกปืนยี่ห้อ THK รุ่น LM12 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในและภายนอก 0.012 และ 0.021 เมตร ตามลำดับ ยาว 0.030 เมตร ที่ปลายอีกข้างหนึ่งดังแสดงใน รูปที่ 3.7 (ตลับลูกปืน LM คือ ตลับลูกปืนที่ใช้สำหรับเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวแกนเท่านั้น โดยหมายเลข 13 และ 12 ที่ต่อจากอักษร LM เป็นตัวบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน)



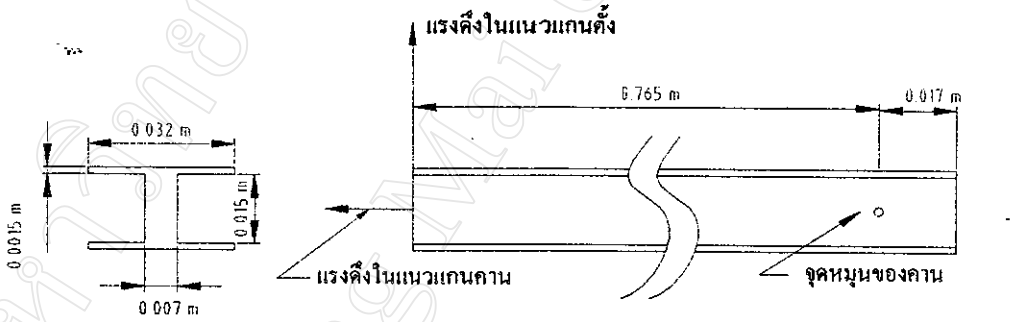
รูปที่ 3.7 แสดงหน้าตัดของท่อสำหรับเพลาโรเตอร์

3.2.4 แผ่นระนาบปรับมุมเอียง สร้างโดยใช้เหล็กหนา 0.006 เมตร มีลักษณะเป็นส่วนโค้ง ¼ ของวงกลม ได้ทำการเซาะร่องเป็นส่วนโค้ง ¼ ของวงกลม 2 ร่อง ร่องวงในจะมีรัศมี 0.05 เมตร ขนาดความกว้างของร่อง 0.008 เมตร ร่องวงนอกจะมีรัศมี 0.20 เมตร ขนาดความกว้างของร่อง 0.01 เมตร และทำสัญลักษณ์บ่งบอกมุมเอียง 0 15 30 และ 45 องศา ดังแสดงในรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 แสดงแผ่นระนาบปรับมุมเอียง

<u>ส่วนที่สอง</u> เป็นชุดคานทดแรงดังแสดงในรูปที่ 3.2 เพื่อใช้สำหรับทำการวัดแรงยกที่เกิดขึ้นในแนวแกนเพลาโรเตอร์ออโต้ไจโร เป็นการทำงานร่วมกันระหว่างคานทดแรงและชุดวัดแรงซึ่งประกอบด้วยโหลดเซลล์ เครื่องขยายและรับสัญญาณ WT 95 และ OD 95 และคอมพิวเตอร์โดยมีแผนผังวงจรการทำงานดังแสดงในรูปที่ 3.4 สำหรับรายละเอียดขององค์ประกอบที่สำคัญของชุดคานทดแรงจะแสดงตามลำดับต่อไปนี้คือ

3.2.5 คานทดแรง สร้างโดยใช้อลูมิเนียมหน้าตัดรูปตัวไอดังแสดงในรูปที่ 3.9 มีระยะความยาว 0.782 เมตรตลอดคานโดยแบ่งความยาวออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกเป็นความยาวที่วัดจากปลายด้านหนึ่งที่ใช้รับแรงยกจากเพลาโรเตอร์ที่มีความยาวห่างจากจุดหมุนของคาน 0.765 เมตร สำหรับส่วนที่สองมีความยาว 0.017 เมตร โดยที่ปลายสุดจะกดลงบนโหลดเซลล์เมื่อมีแรงกระทำกับคาน การออกแบบกำหนดว่าคานจะรับแรงดึงสูงสุดในแนวแกนตั้งที่ปลายคานได้ไม่เกิน 23 นิวตัน (N) โดยที่ระยะแอ่นของคานจะไม่มีผลกระทบต่อแรงที่วัดได้ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก ฉ.

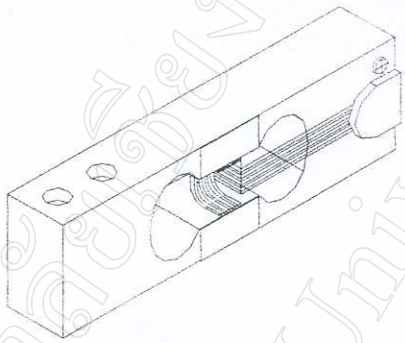


รูปที่ 3.9 แสดงหน้าตัดไอของคานและลักษณะของคาน

3.2.6 โหลดเซลล์แบบคานสำหรับวัดแรงกดที่ประกอบด้วยสเตนเกจ 4 ตัว ต่อกันฟูลบริดจ์ (Full Bridge) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับอ่านค่าของแรงยกที่เกิดขึ้นบนโรเตอร์ออโต้ไจโร โหลดเซลล์ที่ใช้ยี่ห้อ MNB รุ่น C2G1 ใช้สำหรับวัดแรงกดในช่วง 0 ถึง 981 นิวตัน มีค่าความไม่แน่นอนในการส่งสัญญาณ 0.015% ของโหลดสูงสุด โดยมีขนาดสัญญาณแรงดันคือ 2 มิลลิโวลต์ต่อโวลต์ (mV/V) และมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.10

3.2.7 เครื่องขยายและรับสัญญาณ WT 95 และ OD 95 แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่รับสัญญาณแรงดันจากโหลดเซลล์แล้วขยายสัญญาณให้อยู่ในรูปอะนาล็อกหรือดิจิตอลซึ่งจะเรียกส่วนนี้ว่า เครื่องขยายสัญญาณ WT 95 ยี่ห้อ Wisco มีความสามารถในการรับสัญญาณจากโหลดเซลล์หรือสเตนเกจที่มีขนาดสัญญาณแรงดันในช่วง 0.4 ถึง 3 มิลลิโวลต์ต่อโวลต์ และปรับขยายสัญญาณในช่วง 0 ถึง 10 โวลต์ (V) โดยมีค่าความไม่แน่นอนของการขยายสัญญาณน้อยกว่า 0.1% ของค่า

สัญญาณที่ขยายสูงสุด สามารถปรับสัญญาณเริ่มต้นให้เป็นศูนย์และแสดงผลการบันทึกทุกๆ 2 วินาที ใช้ได้กับไฟขนาด 220 VAC สำหรับส่วนที่สองคือตัวรับสัญญาณอะนาล็อกหรือดิจิตอลจากตัวขยายสัญญาณเพื่อส่งไปยังคอมพิวเตอร์จะเรียกส่วนนี้ว่า เครื่องรับสัญญาณ OD 95 ยี่ห้อ Wisco จะมี RS 232 สำหรับต่อเข้าคอมพิวเตอร์ และมี 8 ช่องสัญญาณสำหรับรับค่าสัญญาณอะนาล็อกแต่มี 4 ช่องสัญญาณสำหรับรับค่าสัญญาณดิจิตอลจากเครื่องขยายสัญญาณ WT 95 สำหรับเครื่องขยายและรับสัญญาณ WT 95 และ OD 95 จะถูกแสดงในรูปที่ 3.11 สำหรับแผนผังวงจรการทำงานได้ถูกแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะของโหลดเซลล์แบบคาน

รูปที่ 3.11 เครื่องขยายและรับสัญญาณ WT 95 และ OD 95

3.2.8 คอมพิวเตอร์ ใช้ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows 95 หรือ สูงกว่า ขนาด RAM อย่างน้อย 16 เมกกะไบต์ขึ้น เนื้อที่ในฮาร์ดดิสก์อย่างน้อย 50 เมกกะไบต์ (MB) และหน่วยประมวลผลกลางรุ่น 80486 หรือสูงกว่า

3.3 น้ำหนักมาตรฐาน

เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดแรงดึงสำหรับใช้ในการทดสอบคานและใช้เป็นน้ำหนักอ้างอิงสำหรับการขยายสัญญาณของ WT 95 น้ำหนักมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบจะมีขนาด 10 5 2 และ 1 กิโลกรัม โดยมีค่าความไม่แน่นอน $\pm$0.2 $\pm$0.1 $\pm$0.0 และ $\pm$0.0 กรัม ตามลำดับ และขนาด 0.50 0.20 0.10 0.05 0.02 0.01 0.005 0.002 0.001 และ 0.0005 กิโลกรัม โดยมีค่าความไม่แน่นอน $\pm$2.5 $\pm$1.1 $\pm$0.6 $\pm$0.5 $\pm$0.4 $\pm$0.4 $\pm$0.4 $\pm$0.4 $\pm$0.4 และ $\pm$0.4 มิลลิกรัมตามลำดับ ซึ่งได้ทำการตรวจวัดความไม่แน่นอนจากศูนย์ชั่งตวงวัดภาคเหนือ (เชียงใหม่) ดังแสดงในรูปที่ 3.12

รูปที่ 3.12 น้ำหนักมาตรฐาน

3.4 เครื่องชั่งดิจิตอล

ใช้ในการชั่งขนาดน้ำหนักของปีกและใช้ในการตั้งค่าสมดุลของโรเตอร์แบบสแตติค (Static Balance) มีความสามารถในการชั่งไม่เกิน 9.81 นิวตัน ยี่ห้อ TANITA รุ่น MODEL 1140 ความไม่แน่นอน $\pm$0.00981 นิวตัน

3.5 เครื่องวัดความเร็วลมแบบลวดร้อน

ยี่ห้อ TSI รุ่น VelociCalc Plus ใช้ในการวัดความเร็วลม (v) อุณหภูมิของกระแสลม (T) และอัตราไหลของกระแสลมที่ไหลผ่านชุดแท่นทดสอบโรเตอร์ออโต้ไจโร สามารถแสดงผลของความเร็วได้ถึง 1/100 เมตรต่อวินาที และสามารถบันทึกความเร็วลมได้ทุกๆ 2 5 10 15 และ 20 วินาที (s) ลงในคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.13

3.6 เครื่องวัดความเร็วรอบ

ใช้สำหรับวัดความเร็วรอบของโรเตอร์ (ω) มีความสามารถในการวัดรอบ (RPM) ได้ตั้งแต่ 5 ถึง 500,000 รอบต่อนาที สำหรับความไม่แน่นอนใน 3 ช่วงการวัดของการทดสอบ (10 ถึง 99 100 ถึง 999 และ 1,000 ถึง 9,999 รอบต่อนาที) คือ ± 0.001 ± 0.01 และ ± 0.1 รอบต่อนาที ระยะในการส่งสัญญาณเซ็นเซอร์ (Sensor) และมุมในการวัดไม่เกิน 0.9144 เมตร และ 45 องศาตามลำดับ ยี่ห้อ MONARCH รุ่น TACH-4A ดังแสดงในรูปที่ 3.14

รูปที่ 3.13 เครื่องวัดความเร็วลมแบบลวดร้อน

รูปที่ 3.14 เครื่องวัดความเร็วรอบสามารถวัดรอบ (RPM)ได้ตั้งแต่ 5 ถึง 500,000 รอบต่อนาที

3.7 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ

ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของห้องทดสอบ (*T*) โดยใช้ร่วมกับสายเทอร์โมคับเปิลชนิดเค (K-Type Thermocouple) วัดอุณหภูมิได้ 2 จุด ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 006P ดังแสดงในรูปที่ 3.15

รูปที่ 3.15 เครื่องมือวัดอุณหภูมิใช้ร่วมกับสายเทอร์โมคับเปิลชนิด K

3.8 เครื่องวัดความหนา

เพื่อใช้สำหรับวัดความหนาของปีกที่หล่อขึ้น สามารถวัดได้ในช่วง 0 ถึง 0.0254 เมตร (หรือ 0 ถึง 1 นิ้ว) และมีความละเอียดในการวัด 25.4 ไมครอน (Micron) (หรือ 0.001 นิ้ว) ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น NO.101-105 ดังแสดงในรูปที่ 3.16

3.9 นาฬิกาจับเวลา

ใช้สำหรับดูเวลาในการอ่านรอบการหมุนของโรเตอร์ ยี่ห้อ Hanhart มีผลระเอียดสูงสุดที่ 1/5 วินาที

3.10 เครื่องวัดความดันบรรยากาศ

ใช้สำหรับอ่านค่าความดันบรรยากาศ (*P*) ยี่ห้อ WALCH ซึ่งสามารถแสดงผลได้ถึง 1/1,000 มิลลิเมตรปรอท (mm.Hg) ดังแสดงในรูปที่ 3.17

รูปที่ 3.16 เครื่องวัดความหนา มีช่วงการวัด 0 ถึง 0.0254 เมตร และความละเอียด 25.4 ไมครอน

รูปที่ 3.17 เครื่องวัดความดันบรรยากาศ ซึ่งสามารถแสดงผลได้ถึง 1/1,000 มิลลิเมตรปรอท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University