



การศึกษาความถูกต้องและแม่นยำในการวัดมุมในแนวตั้งของอุปกรณ์ไจโรในสามตำแหน่ง

A study of the accuracy and precision of the vertical angle measurement of the gyro device in three positions.

มหิตยา สรณำคำ¹, ชนะ รักษ์ศิริ²

E-mail: mahitaya.sr@ku.th

โทรศัพท์: 08-4683-5544

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบกระบวนการวัดและวิเคราะห์ค่าความผิดพลาด โดยใช้ชุดอุปกรณ์ตรวจวัดเซ็นเซอร์วัดความเร็วเชิงมุม (Gyroscope) เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบค่าความผิดพลาดเชิงมุม ซึ่งกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ และการทำซ้ำเพื่อทดสอบความแม่นยำของเครื่องมือ ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นอาจเกิดได้จากความผิดพลาดจากการวัดโดยผู้วัด ความผิดพลาดของเครื่องมือวัด ความผิดพลาดจากสิ่งแวดล้อม ความผิดพลาดจากการอ่านค่า รวมถึงความผิดพลาดจากการคำนวณ เมื่อรวมความผิดพลาดในการวัดทั้งหมดเข้ากับการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับการประเมินความผันแปรของการวัดคือความสามารถในการทำซ้ำ ผู้วิจัยจึงประเมินผลการทดลองโดยใช้ Gage R&R ซึ่ง Gage R&R สามารถระบุได้ว่าความแปรปรวนทั้งหมดที่เกิดขึ้นได้ในกระบวนการมาจากการผลิตหรือจากระบบการวัด

คำสำคัญ: เซ็นเซอร์วัดความเร็วเชิงมุม, ความผิดพลาด, การทำซ้ำ

Abstract

This research presents the design of measurement and error analysis processes. By using a set of angular velocity sensors (Gyroscope) as a tool to check the angular error value. which defines the parameters used and repeatability to test the accuracy of the instrument. The resulting error value may be caused by the measurement error by the measurer. measuring instrument error environmental error reading error including calculation errors When all measurement errors are included with product or process variations A powerful tool for assessing measurement variation is reproducibility. The researchers therefore evaluated the experimental results using Gage R&R. Gage R&R was able to determine whether all variance observed in the process came from production or from measurement systems.

Keywords: Gyroscope, error, repeatability

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

² ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

ความเป็นมาของปัญหา

เครื่องมืออุตสาหกรรมจำนวนมากต้องการความแม่นยำสำหรับการใช้งานหลายประเภท เช่น การผลิตและกระบวนการควบคุมต่างๆ การใช้งานเป็นเวลานานและบ่อยครั้ง อายุการใช้งานอาจมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งความเปลี่ยนแปลงหรือความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือที่เกิดขึ้น อาจเกิดจากสภาวะแวดล้อมต่างๆ การใช้งาน และการเก็บรักษา ส่งผลให้ผลการวัดที่ได้รับไม่น่าเชื่อถือ หรือหากนำเครื่องมือดังกล่าวไปใช้งานในกระบวนการผลิตจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของการออกแบบและกระบวนการผลิต

การเปลี่ยนแปลงของเครื่องมือวัด ไม่สามารถกำจัดได้ แต่สามารถที่จะตรวจพบและแก้ไขได้โดยผ่านกระบวนการสอบเทียบที่สามารถสอบกลับได้ ดังนั้นการสอบเทียบเป็นปัจจัยที่สำคัญ ที่ช่วยสร้างความมั่นใจในผลการวัดของเครื่องมือวัดที่จะทำให้ผลการวัดที่เกิดขึ้นเป็นที่เชื่อถือได้

การประเมินผลการวัดโดยใช้ Gage R & R ตรวจสอบความสามารถในการทำซ้ำของอุปกรณ์และความสามารถในการทำซ้ำของผู้วัด Gage R & R สามารถทำนายเปอร์เซ็นต์หรือความน่าจะเป็นของข้อผิดพลาดในการวัดและรู้แหล่งที่มาของการเปลี่ยนแปลง (อุปกรณ์หรือผู้วัด) ด้วยการกำหนดว่ามีการเปลี่ยนแปลงในระบบการวัดที่ใด เราจึงจะสามารถดำเนินการที่เหมาะสมและปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลของเราได้ ข้อมูลที่ดีขึ้นนำไปสู่การตัดสินใจที่ดีขึ้น ข้อผิดพลาดน้อยลงและมีคุณภาพสูงขึ้น

จากที่กล่าวมาข้างต้นจึงต้องการศึกษาเกี่ยวกับความถูกต้องและแม่นยำในการวัดมุมในแนวตั้งของชุดอุปกรณ์ตรวจวัดเซ็นเซอร์วัดความเร็วเชิงมุม (Gyroscope) ในสามตำแหน่ง โดยจะวัดเทียบกับโต๊ะหมุน (rotary table) และการทำซ้ำจะทำให้เกิดความแม่นยำเส้นทาง เนื่องจากอุปกรณ์ต้องใช้ความละเอียด ความแม่นยำสูงในการทำงาน และเพื่อลดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นของเครื่องมือ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อทดสอบความถูกต้องและแม่นยำในการเปลี่ยนตำแหน่งการวัดมุมในแนวตั้งไม่ได้มีผลต่อการอ่านค่าของอุปกรณ์ไจโร
2. เพื่อทดสอบความถูกต้องและแม่นยำของชุดคำสั่ง ภายใต้สภาวะความไม่แน่นอน

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาหาความถูกต้องและแม่นยำในการวัดมุมในแนวตั้งของเซ็นเซอร์วัดการหมุน (Gyroscope Sensor) ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์ที่ทำงานโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกในการตรวจจับทิศทาง โดยจะอาศัยโรเตอร์ (Rotor) ที่ถูกตรึงเอาไว้ในกรอบเซ็นเซอร์ ซึ่งตัวโรเตอร์จะสามารถขยับได้เมื่อมีแรงมากระทำ เมื่อตัวโรเตอร์ "เตะ" กับเซ็นเซอร์ที่อยู่ตามกรอบ ก็จะสามารถนำค่าข้อมูลที่ได้ไปคำนวณออกมาเป็นผลลัพธ์ข้อมูลทิศทางที่อุปกรณ์เคลื่อนที่ได้ วัดเทียบกับโต๊ะหมุน (Rotary table) โดยได้กำหนดตำแหน่งของไจโรทั้งหมดสามตำแหน่ง และทำการวัดซ้ำเพื่อให้เกิดความแม่นยำของเส้นทาง เมื่อได้ค่าการวัดออกมาแล้วจะนำค่าการวัดที่ได้ไปประเมินผลการวัดโดยใช้ Gage R&R เนื่องจาก Gage R&R เป็นระบบการวัดที่มีความน่าเชื่อถือ และให้ตัวเลขที่แสดงถึงความสามารถในการวัด



รูปที่ 1 ตำแหน่งการวัดที่ 1



รูปที่ 2 ตำแหน่งการวัดที่ 2



รูปที่ 3 ตำแหน่งการวัดที่ 3

ตารางที่ 1 ข้อมูลจำเพาะของ Single Axis Gyroscope Sensor รุ่น TL750D

PERFORMANCE	TL750D
Azimuth Measurement Axial	Z -axis azimuth (± 180)
Acquisition Broadband	100Hz
Resolution	0.01°/s
Position Accuracy(rms)	< 0.05°/1m
Azimuth Accuracy(rms)	< 1mm/m
Gyro Static Zero Drift	< 0.5°/h
Gyro Dynamic Zero Drift	< 5°/h
Start Time	5s(still)
Output Rate	5Hz/15Hz/35Hz/50Hz/100Hz

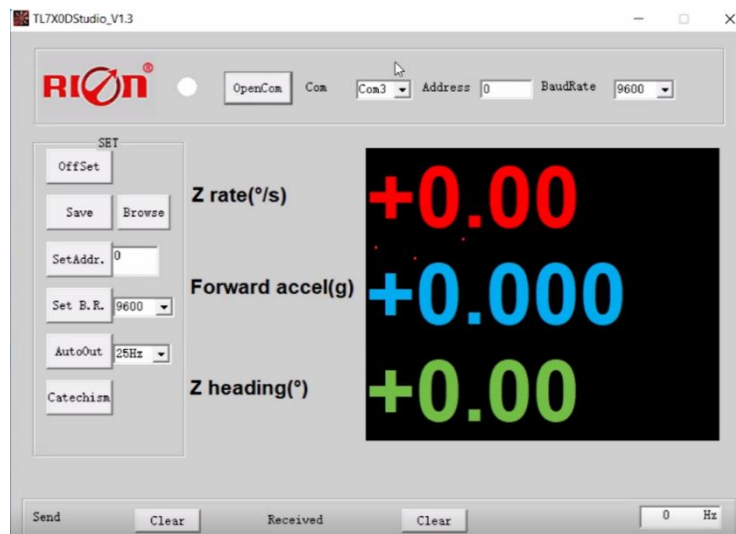
ความสามารถในการเคลื่อนที่ของโต๊ะหมุน (Rotary table) แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งทำการเก็บผลการทดลองแบบไปและกลับ (Forward-Backward Motion) จำนวน 30 ครั้งในแต่ละตำแหน่ง โดยตำแหน่งการหมุน แสดงดังตารางที่ 2 จากนั้นทำการหมุนโต๊ะหมุนไปยังมุมเป้าหมายที่กำหนด

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดผล

Point		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Nominal (°)		0	-20	-40	-60	-80	-100	-120	-140	-160	180	160	140	120	100	80	60	40	20	0
	1																			
	2																			
	3																			
	4																			
	5																			
	6																			
	7																			
	8																			
	9																			
	10																			
	11																			
	12																			
	13																			
	14																			
	15																			
	16																			
	17																			
	18																			
	19																			
	20																			
	21																			
	22																			
	23																			
	24																			
	25																			
	26																			
	27																			
	28																			
	29																			
	30																			



การอ่านผลของอุปกรณ์เซ็นเซอร์วัดการหมุน (Gyroscope Sensor) จะอ่านค่าผ่านโปรแกรม TL7X0Studio_V1.3 แสดงดังรูปที่ 4 โดยค่าที่ได้จะแสดงออกมาที่ Z heading เป็นค่ามุมในหน่วยองศา (°)



รูปที่ 4 โปรแกรม TL7X0Studio_V1.3 สำหรับอ่านค่าอุปกรณ์เซ็นเซอร์วัดการหมุน (Gyroscope Sensor)

ผลการวิจัย

การเก็บผลการทดลองจะถูกรายงานและวิเคราะห์ผลเป็นค่ามุมเป้าหมายการเคลื่อนที่ของโต๊ะหมุน (Rotary table) ให้เคลื่อนที่แบบไป-กลับ (Forward-Backward Motion) โดยแสดงผลในตารางที่ 3-5 อธิบายถึงผลการวัดที่ได้ของมุมในแต่ละตำแหน่ง ค่าเฉลี่ยของการวัดในแต่ละมุม (average) และช่วงของผลการวัด (Range)

ตารางที่ 3 ผลการวัดในตำแหน่งที่ 1

Point		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			
Nominal ()		0	-20	-40	-60	-80	-100	-120	-140	-160	180	160	140	120	100	80	60	40	20	0	A/G		
Gyro Angle meter Standard ()	1	0	-20.77	-40.8	-61.16	-81.48	-101.2	-121.78	-141.85	-161.98	179.8	158.5	138.19	118.54	98.62	78.7	59.31	39.23	19.07	-0.36	8.346316		
	2	-0.3	-20.17	-40.33	-60.31	-80.37	-100.21	-120.32	-140.44	-160.2	179.48	159.45	139.33	119.28	99.36	79.58	59.45	39.46	19.42	-0.4	9.018947		
	3	0.02	-20.09	-40.12	-60.24	-80.38	-100.38	-120.23	-140.33	-160.21	179.81	160.12	139.93	119.89	100.22	80.21	60.84	40.93	22.74	0.92	9.665789		
	4	0.5	-19.57	-39.42	-59.84	-79.95	-99.81	-120.15	-139.89	-160.27	179.95	159.95	139.9	119.96	100.06	80.29	60.24	40.32	19.99	0.03	9.594211		
	5	0.12	-20.49	-40.24	-60.35	-80.47	-100.69	-120.48	-140.72	-160.37	179.36	159.28	139.4	119.28	99.19	79.27	59.34	39.24	19.06	-0.68	8.997368		
	6	0.02	-19.98	-40.2	-60.1	-80.23	-100.47	-120.36	-140.54	-160.6	179.33	159.28	139.29	119.27	99.31	79.42	59.56	39.51	19.17	-0.72	8.997895		
	7	0.05	-19.54	-39.24	-58.74	-78.86	-98.02	-117.9	-137.73	-157.26	177.14	163.46	143.89	124.03	104.18	84.56	64.96	45.48	25.3	5.89	12.19211		
	8	8.84	-10.82	-29.91	-49.66	-69.18	-88.86	-108.44	-129.28	-149.24	170.22	169.42	149.21	128.33	108.59	87.95	67.47	47.22	26.56	6.3	17.61684		
	9	0.01	-20.44	-40.38	-60.51	-80.56	-100.58	-120.51	-140.56	-160.66	178.98	159.05	139.21	119.28	99.19	79.36	59.51	39.29	19.25	-0.75	8.851579		
	10	-1.28	-21.06	-41.28	-60.99	-81.01	-101.22	-120.96	-140.82	-160.7	179.22	159.34	139.5	119.67	99.81	79.92	59.95	39.93	19.82	-0.29	8.818421		
	11	-0.23	-20.77	-40.74	-61.24	-81.42	-101.12	-121.1	-141.23	-161.38	178.47	158.5	138.49	118.33	98.37	78.48	58.45	38.5	18.34	-1.4	8.173684		
	12	-2.16	-22.14	-42.19	-62.48	-81.88	-101.7	-121.87	-141.41	-161.8	178.09	158.39	138.4	118.42	98.7	78.58	58.58	38.63	18.39	-1.42	7.743684		
	13	-0.14	-20.31	-40.45	-60.47	-80.37	-100.69	-120.75	-140.71	-160.72	178.95	158.96	139.12	119.11	99.22	79.26	59.18	39.18	18.94	-0.71	8.768421		
	14	-0.68	-21.16	-40.73	-60.69	-80.59	-100.5	-120.62	-140.56	-160.59	179.35	159.24	139.23	119.08	99.45	79.46	59.23	39.22	19.04	-0.74	8.76		
	15	-0.76	-20.25	-40.61	-60.42	-80.68	-100.53	-120.74	-140.77	-160.62	179.23	159.45	139.93	119.1	99.38	79.55	59.69	39.2	19.76	-0.66	8.907895		
	16	-0.51	-20.12	-40.44	-60.1	-80.57	-100.09	-120.51	-140.48	-160.25	179.42	159.58	140.15	119.24	99.36	79.63	59.89	39.41	19.18	-0.67	9.058947		
	17	-0.1	-20.4	-40.56	-60.6	-80.61	-100.22	-120.19	-140.2	-160.19	179.8	159.83	139.9	119.95	100.33	80.5	60.45	40.46	20.31	0.44	9.415789		
	18	0.62	-19.23	-39.24	-59.05	-79.28	-99.42	-119.26	-139.26	-159.19	179.3	160.65	140.71	120.79	100.84	81.03	61.04	41.07	20.8	0.47	10.17842		
	19	0.59	-20.32	-40.35	-60.34	-80.69	-100.36	-120.42	-140.8	-160.83	179.17	159.14	139.29	119.03	99.17	79.35	59.4	39.26	19.24	-0.19	8.86		
	20	-0.93	-21.27	-40.84	-60.89	-81.05	-100.88	-120.6	-140.64	-160.65	179.28	159.41	139.48	119.52	99.74	79.77	59.86	39.87	19.61	-0.14	8.876316		
	21	-0.07	-20.86	-40.93	-60.95	-81.1	-100.83	-120.89	-141.06	-160.82	179.31	159.48	139.36	119.7	101.64	82.04	62.01	42.06	22.16	2.56	9.621579		
	22	-0.11	-21.2	-41.03	-62.01	-82.58	-101.96	-121.92	-141.98	-161.68	179.16	159.05	139.95	118.52	101.44	81.92	61.53	41.57	21.56	2	9.064737		
	23	-1.19	-21.16	-41	-60.02	-80.94	-101.09	-120.82	-140.75	-161.02	179.45	159.56	139.67	119.9	99.94	80.1	60.16	39.98	20.04	1.73	9.081053		
	24	-1.23	-20.45	-40.67	-61.14	-80.64	-100.75	-121.11	-140.37	-161.2	179.02	160.18	139.98	120.23	100.04	80.38	60.28	40.02	20.12	1.98	9.193158		
	25	0	-20.29	-40.17	-60.06	-80.05	-100.14	-120.4	-140.45	-160.41	179.4	159.74	139.69	119.77	99.78	80.14	60.43	40.03	19.95	0.8	9.355789		
	26	0.1	-20.97	-41.05	-61.12	-80.82	-101.33	-121	-141.02	-160.85	179.21	158.75	138.88	119.12	98.78	79.19	59.51	39.49	19.13	0.76	8.871579		
	27	0.71	-19.8	-38.9	-59.02	-79.04	-99.06	-119.48	-139.2	-159.15	179.47	160.45	140.38	120.32	100.39	80.39	60.38	40.68	20.64	0.64	10.058263		
	28	0.92	-18.76	-38.15	-58.98	-78.81	-98.23	-119.01	-138.12	-158.02	179.01	160.67	140.89	120.74	100.8	80.72	60.98	40.9	20.91	0.58	10.37053		
	29	-0.04	-20.46	-40.64	-60.56	-80.41	-100.46	-120.86	-140.66	-160.6	179.42	159.6	139.35	119.79	99.86	79.94	60.29	40.1	20.26	0.45	9.188642		
	30	0.22	-19.82	-39.41	-59.5	-79.51	-99.44	-119.5	-139.62	-159.87	179.7	160.44	140.32	120.5	100.57	80.61	60.74	40.79	20.54	0.49	9.934211		
	A/G		0.099667	-20.0797	-40.0007	-60.0513	-80.1243	-100.008	-120.079	-140.062	-160.078	178.9167	159.964	140.014	119.9663	100.211	80.34333	60.43033	40.36767	20.31	0.563667	Xabar	9.51
	Range		11.00	11.32	12.28	12.82	13.40	13.10	13.48	12.70	12.74	9.73	11.03	11.02	10.00	10.22	9.47	9.02	8.72	8.22	7.72	Rebar	10.95



ตารางที่ 4 ผลการวัดในตำแหน่งที่ 2

Point		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
Nominal (°)		0	-20	-40	-60	-80	-100	-120	-140	-160	180	160	140	120	100	80	60	40	20	0	AVG	
Gyro Angle meter Standard (°)	1	-0.01	-20.17	-39.88	-59.84	-79.7	-99.41	-119.1	-138.91	-158.51	178.25	162.74	142.98	122.79	103.17	83.48	64.15	43.55	24.27	3.27	11.21684	
	2	1.21	-18.72	-38.59	-58.88	-78.93	-98.81	-118.92	-138.92	-158.84	179.32	160.77	140.65	120.6	100.53	80.42	60.53	40.12	20.21	3.76	10.39526	
	3	-0.13	-20.82	-40.48	-60.32	-80.25	-100.16	-120.11	-139.93	-159.92	179.88	160.14	140.59	120.7	100.65	80.88	60.68	40.87	21.21	1.05	9.712105	
	4	1.92	-17.92	-37.68	-57.77	-77.69	-97.8	-117.44	-137.51	-158.04	178.1	162.3	142.2	122.1	101.88	81.82	61.79	41.88	21.5	0.79	11.28579	
	5	0.05	-20.51	-39.88	-60.13	-80.24	-99.93	-119.88	-139.83	-159.63	179.7	160.48	141.22	120.91	101.2	81.12	61.52	41.82	21.73	1.15	10.04737	
	6	1.95	-17.95	-37.72	-57.72	-77.77	-97.84	-118.38	-137.89	-157.97	177.9	161.97	141.99	122.06	101.99	82.05	62.06	41.94	21.9	1.19	11.24684	
	7	-0.06	-20.23	-39.9	-59.99	-79.81	-99.67	-120.01	-139.88	-160.11	179.81	159.72	139.57	119.8	99.48	79.7	59.58	39.52	19.16	-0.5	9.272632	
	8	-2.01	-22.14	-42.04	-61.64	-81.92	-101.48	-121.2	-140.96	-160.94	178.83	159.2	139.3	119.24	99.48	79.68	59.72	39.82	19.59	-0.054	8.446105	
	9	-0.16	-20.74	-40.4	-60.63	-80.56	-100.5	-120.22	-140.13	-160.06	179.77	159.92	140.27	120.32	100.21	80.46	60.71	40.98	20.76	0.84	9.517895	
	10	0.38	-17.79	-38.2	-57.89	-78.06	-98.09	-118.07	-138.43	-158.11	178.35	161.64	141.59	121.64	101.63	81.52	61.6	41.4	21.29	0.85	10.90632	
	11	0.11	-20.11	-40.4	-60.4	-80.08	-100.39	-120.4	-140.22	-160.05	179.69	159.97	139.97	120.34	100.32	80.84	60.69	41.22	21.09	1.5	9.664211	
	12	0.77	-18.29	-38.1	-58.41	-78.27	-98.36	-118.43	-138.72	-158.68	178.6	161.41	141.45	121.65	101.45	81.66	61.61	41.62	21.46	1.53	10.83947	
	13	0.05	-20.19	-40.18	-60.35	-80.4	-100.3	-120	-140.1	-159.92	179.82	160.11	140.41	120.37	100.78	80.8	61.06	41.1	20.79	0.87	9.722105	
	14	0.06	-20.13	-40.22	-60.3	-80.37	-100.36	-119.92	-140.02	-159.8	179.74	160.21	140.32	120.48	100.78	80.74	60.99	41.04	20.65	0.92	7.20842	
	15	-0.77	-20.2	-40.25	-60.18	-80	-100.38	-119.89	-139.77	-159.73	179.9	160.54	140.67	120.8	101.06	81.05	61.34	41.44	21.41	1.01	9.997368	
	16	-0.89	-20.25	-40.19	-60.28	-80.12	-100.35	-119.99	-139.93	-159.79	179.87	160.44	140.59	120.72	101	80.98	61.26	41.5	21.36	1.05	9.841053	
	17	0.05	-19.92	-40.06	-60.99	-81.63	-101.81	-122.36	-142.77	-163.34	176.62	155.94	136.3	115.78	96.93	75.82	56.02	36.24	19.67	0.99	7.551579	
	18	0.01	-20.02	-40.22	-61.2	-81.85	-101.97	-122.52	-142.99	-163.45	177.84	155.8	136.2	116.62	96.84	74.46	55.8	37.42	19.54	0.97	9.014737	
	19	-0.02	-24.11	-44.13	-63.72	-83.52	-103.56	-123.38	-143.43	-162.85	177.15	157.58	137.79	118.15	98.49	78.62	59	39.39	19.83	1.02	7.20842	
	20	-0.08	-24.97	-44.68	-63.66	-83.69	-103.6	-123.47	-143.6	-162.99	177.01	157.5	137.7	118.09	98.44	78.71	59.89	39.26	19.38	1.24	7.130826	
	21	0.12	-19.96	-40.15	-60.51	-80.2	-99.97	-119.86	-139.99	-159.86	179.88	160.6	140.48	120.56	100.53	80.68	60.02	41.07	20.96	1.32	9.774737	
	22	0.29	-20.15	-40.02	-60.72	-80.82	-100.75	-120.46	-140.49	-161.71	179.59	160.12	139.92	120.22	100.46	80.04	61	40.91	22.35	1.42	9.515789	
	23	-1.87	-23.89	-43.44	-63.28	-81.72	-101.46	-122.13	-141.69	-161.47	178.8	159.17	139.44	119.91	100.26	80.7	60.93	41.34	21.39	1.52	15.21421	
	24	-1.95	-24.25	-44.1	-63.2	-82.74	-102.54	-122.19	-141.74	-160.53	179.63	160.09	140.12	120.87	101.17	81.56	61.24	41.82	21.89	1.4	7.66842	
	25	0.02	-20.22	-39.82	-60.15	-79.88	-99.68	-119.68	-139.72	-159.73	179.51	160.7	140.78	120.85	100.89	80.81	61.4	41.53	20.89	1.2	9.984211	
	26	0	-20.7	-41	-60.91	-81.05	-100.34	-120.37	-140.45	-160.22	179.98	160.57	140.19	120.48	100.24	81.37	62.11	42.06	21.63	1.49	9.741053	
	27	-0.26	-20.19	-40.16	-60.11	-80.15	-100.1	-120.12	-140.08	-159.9	179.96	160.04	140.1	120.1	100.04	80.16	60.47	40.92	20.4	1.67	9.999474	
	28	-0.35	-19.8	-39.56	-59.6	-79.53	-99.45	-119.72	-139.9	-159.41	179.07	160.39	140.23	120	100.55	80.04	60.68	40.64	20.36	1.72	13.97623	
	29	-0.02	-20.42	-40.44	-60.45	-80.54	-100.49	-120.56	-140.68	-160.42	179.46	159.55	139.7	119.34	99.92	79.94	59.84	39.85	20.06	0.08	9.143158	
	30	0.06	-19.76	-39.8	-59.84	-79.79	-99.9	-120.28	-139.93	-160.04	179.99	159.99	140.02	120.05	100.25	80.46	60.52	40.57	20.38	0.23	9.641053	
	AVG	-0.11867	-20.484	-37.7523	-56.217	-80.376	-100.315	-120.299	-140.287	-159.301	179.073	159.9643	140.2113	120.1847	100.4873	80.38233	60.707	40.8133	20.89333	1.1832	Xbar	9.93
	Range	3.96	7.18	84.24	127.00	6.00	5.80	6.03	6.09	26.89	3.37	6.94	5.28	7.01	4.73	9.02	8.13	6.13	5.11	4.26	Rbar	17.54

ตารางที่ 5 ผลการวัดในตำแหน่งที่ 3

Point		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			
Nominal ()		0	-20	-40	-60	-80	-100	-120	-140	-160	180	160	140	120	100	80	60	40	20	0	AVG		
Gyro Angle meter Standard ()	1	-0.13	-20.33	-39.88	-60.1	-79.82	-99.75	-119.86	-139.7	-159.69	179.86	160.64	139.89	120.03	99.93	79.92	60.07	39.9	19.92	-0.19	9.511053		
	2	-1.19	-22.1	-41.91	-62.1	-82.09	-102.23	-122.01	-141.88	-161.76	178.78	158.27	138.41	118.4	98.59	78.72	59.07	39.37	19.2	-0.24	7.963158		
	3	-0.07	-20.74	-40.79	-60.93	-81	-101.44	-121.47	-141.43	-161.55	178.14	158.09	137.71	117.62	97.65	77.45	57.3	37.06	16.73	-0.04	7.46842		
	4	-2.63	-22.42	-42.1	-62.07	-81.03	-101.73	-121.62	-141.44	-161.46	178.83	158.89	138.88	118.17	98.4	78.54	58.65	38.94	19.79	-0.1	8.288947		
	5	-0.8	-20.34	-40.82	-60.99	-81.16	-101.43	-121.28	-141.51	-161.33	178.43	158.32	137.97	117.87	97.85	77.86	57.62	37.19	16.98	-2.99	7.76		
	6	-0.51	-20.82	-40.27	-60.23	-80.32	-100.32	-120.3	-140.33	-160.45	179.65	159.7	139.84	119.67	99.97	80.03	60.15	40.32	20.33	0.01	9.288262		
	7	-0.1	-20.48	-40.34	-60.22	-80.12	-100.1	-120.04	-139.92	-159.83	179.81	160.38	139.89	120.02	99.99	80.07	60.29	40.18	20.14	0.55	9.482632		
	8	-0.57	-19.98	-40.29	-60.02	-80.08	-100.3	-120.05	-139.46	-160.02	179.94	160.1	139.89	120.11	100.08	80.26	60.34	40.19	20.22	0.62	9.528263		
	9	-0.06	-20.19	-40.15	-60.23	-80.2	-100.42	-120.18	-140.44	-160.09	179.83	159.85	139.92	119.92	100.28	80.24	60.06	40.05	20.14	0.69	9.422105		
	10	0.71	-19.57	-39.96	-59.06	-79.11	-99.12	-119.16	-139.24	-159.31	179.5	160.63	120.72	100.75	80.81	60.79	40.78	20.6	0.63	37.31368			
	11	0.01	-20.44	-40.38	-60.51	-80.56	-100.58	-120.51	-140.56	-160.66	178.98	159.05	139.21	119.28	99.19	79.36	59.51	39.29	19.25	-0.75	8.851579		
	12	-1.28	-21.06	-41.28	-60.99	-81.01	-101.22	-120.96	-140.82	-160.7	179.22	159.34	139.5	119.67	99.81	79.92	59.95	39.93	19.82	-0.29	8.818421		
	13	-0.77	-20.2	-40.25	-60.18	-80	-100.38	-119.89	-139.77	-159.73	179.9	160.54	140.67	120.8	101.06	81.05	61.34	41.44	21.41	1.01	9.997368		
	14	-0.89	-20.25	-40.19	-60.28	-80.12	-100.35	-119.99	-139.93	-159.79	179.87	160.44	140.59	120.72	101	80.98	61.26	41.5	21.36	1.05	9.841053		
	15	0.02	-20.09	-40.12	-60.24	-80.38	-100.38	-120.23	-140.33	-160.21	179.81	160.12	139.93	119.89	100.22	80.21	60.84	40.93	22.74	0.92	9.665789		
	16	0.5	-19.57	-39.42	-59.84	-79.95	-99.81	-120.15	-139.89	-160.27	179.95	159.95	139.9	119.96	100.06	80.29	60.24	40.32	19.99	0.03	9.994211		
	17	-0.02	-20.42	-40.44	-60.45	-80.54	-100.49	-120.56	-140.68	-160.42	179.46	159.55	139.7	119.34	99.92	79.94	59.84	39.85	20.06	0.08	9.143158		
	18	0.06	-19.76	-39.8	-59.84	-79.79	-99.9	-120.28	-139.93	-160.04	179.99	159.99	140.02	120.05	100.25	80.46	60.52	40.57	20.38	0.23	9.641053		
	19	-0.23	-20.77	-40.74	-61.24	-81.42	-101.12	-121.1	-141.23	-161.38	178.47	158.5	138.49	118.33	98.37	78.48	58.45	38.5	19.34	-1.4	8.173684		
20	-2.16	-22.14	-42.19	-62.48	-81.88	-101.7	-121.87	-141.41	-161.8	178.09	158.39	138.4	118.42	98.7	78.58	58.58	38.63	18.39	-1.42	7.743684			
21	-0.13	-20.82	-40.48	-60.32	-80.25	-100.16	-120.11	-139.93	-159.92	179.88	160.14	140.59	120.7	100.65	80.88	60.68	40.87	21.21	1.05	9.712105			
22	1.92	-17.92	-37.68	-57.77	-77.69	-97.8	-117.44	-137.51	-158.04	178.1	162.3	142	122.1	101.88	81.82	61.79	41.88	21.5	0.79	11.28879			
23	0.99	-20.32	-40.35	-60.34	-80.69	-100.36	-120.42	-140.8	-160.83	179.17	159.14	138.29	119.03	99.17	79.35	59.4	39.26	19.24	-0.19	8.86			
24	-0.93	-21.27	-40.84	-60.89	-81.05	-100.88	-120.6	-140.64	-160.65	179.28	159.41	139.48	119.52	99.74	79.97	59.86	39.87	19.61	-0.14	8.876316			
25	0.12	-19.96	-40.15	-60.51	-80.2	-99.97	-119.96	-139.99	-159.86	179.88	160.6	140.48	120.56	100.53	80.68	60.02	41.07	20.96	1.32	9.774737			
26	0.29	-20.15	-40.02	-60.72	-80.82	-100.75	-120.48	-140.49	-161.71	179.99	160.12	139.82	120.22	100.46	80.04	61	40.91	22.35	1.42	9.518789			
27	0.12	-20.49	-40.24	-60.35	-80.47	-100.69	-120.46	-140.72	-160.37	179.99	159.28	139.4	119.28	99.19	79.27	59.34	39.24	19.06	-0.68	8.897368			
28	0.02	-19.98	-40.2	-60.1	-80.23	-100.47	-120.36	-140.54	-160.6	179.33	159.28	139.29	119.27	99.31	79.42	59.56	39.51	19.17	-0.72	8.997985			
29	0.02	-20.22	-39.82	-60.15	-79.88	-99.68	-119.86	-139.72	-159.73	179.51	160.7	140.78	120.85	100.89	80.81	61.4	41.53	20.89	1.2	9.984211			
30	0	-20.7	-41	-60.91	-81.05	-100.34	-120.37	-140.45	-160.22	179.98	160.57	140.19	120.48	100.24	81.37	62.11	42.06	21.63	1.49	9.741053			
	AVG	-0.26867	-20.44	-40.433	-60.4887	-80.4903	-100.449	-112.432	-131.074	-160.414	179.353	159.7473	139.6539	119.7333	99.83787	79.91933	60.0343	40.078	20.047	0.031333	Xcbar	10.11	
	Range	4.55	4.50	4.51	4.71	4.40	4.40	4.43	24.117	281.12	3.76	1.90	4.21	6.59	4.48	4.23	4.31	4.81	5.00	6.01	4.53	Xcbar	31.43



ค่าเฉลี่ยทั้งหมดจาก 90 ผลการวัด	(\bar{x})	=	9.85
ช่วงการใช้งานเฉลี่ยจากผลการวัดทั้ง 3 ตำแหน่ง	(R)	=	19.97
$X_{diff} = \max x - \min x = 0.60$			
K1 คือจำนวนในการวัดซ้ำ หาจาก $1/d2$			
ความแปรปรวนที่เกิดจากเครื่องมือ	$EV=R*K1$	=	5.751980758
ความแปรปรวนที่เกิดจากผู้วัด	$AV = \sqrt{(X_{diff}*K2)^2 - (EV/(n*r))}$	=	0.184128007
K2 คือจำนวนคนวัด			
$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$	=	5.754927086	
K3 คือจำนวนชิ้นงานที่นำมาวัด			
ความแปรปรวนของตัวงานที่เกิดจากระหว่างตัวงานหลายๆชิ้น	$PV = R_p * K3$	=	26.72952435
ความแปรปรวนในระบบการวัดทั้งหมด	$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$	=	27.34203097
สรุปค่า GR&R จะทำออกมาในรูปของเปอร์เซ็นต์ โดยใช้สูตรต่อไปนี้			
%EV	=	$100(EV/TV)$	= 21.0371379
%AV	=	$100(AV/TV)$	= 0.673424762
%GRR	=	$100(GRR/TV)$	= 21.04791371
%PV	=	$100(PV/TV)$	= 97.75983494
Ndc	=	$1.41(PV/GRR)$	= 6.548932552

อภิปรายผล

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบกระบวนการวัดและวิเคราะห์ค่าความผิดพลาด โดยใช้ชุดอุปกรณ์ตรวจวัดเซ็นเซอร์วัดความเร็วเชิงมุม (Gyroscope sensor) ในสามตำแหน่ง โดยจะวัดเทียบกับโต๊ะหมุน (rotary table) ซึ่งทำการเก็บผลการทดลองแบบไปและกลับ (Forward-Backward Motion) และการทำซ้ำตำแหน่งละ 30 ครั้งรวมทั้งหมด 90 ครั้ง เพื่อให้เกิดความแม่นยำเส้นทางผลการทดลองที่ประเมินโดยใช้ Gage R&R พบว่า %GRR เท่ากับ 21% ซึ่งระบบการวัดอาจจะยอมรับได้แต่ต้องกำหนดแผนปฏิบัติการเพื่อลดความผันแปร และค่าพารามิเตอร์ในการวัดที่ใช้มีการเปลี่ยนแปลงไม่เพียงพออาจจะต้องปรับค่าพารามิเตอร์ เพื่อให้ได้ผลการวัดที่มีประสิทธิภาพและลดความเสี่ยงของเครื่องมือที่จะส่งผลกระทบต่อการผลิต สำหรับการประเมินการวิเคราะห์ Gage R&R ของโดยใช้ NDC เท่ากับ 6.55 ซึ่งการวิเคราะห์นี้สามารถเชื่อถือได้

สรุปผลการวิจัย

จากการเก็บผลการทดลองแบบไปและกลับ (Forward-Backward Motion) และการทำซ้ำทั้งหมด 90 ครั้ง เพื่อให้เกิดความแม่นยำเส้นทาง ผลการทดลองที่ประเมินโดยใช้ Gage R&R และการประเมินการวิเคราะห์ Gage R&R โดยใช้ NDC การทดลองนี้มีความถูกต้องและแม่นยำ เนื่องจากการเปลี่ยนตำแหน่งของอุปกรณ์ตรวจวัดเซ็นเซอร์วัดความเร็วเชิงมุม (Gyroscope sensor) ในแนวตั้งไม่ได้มีผลต่อการอ่านค่าของอุปกรณ์

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. นักวิจัยและผู้สนใจด้านงานวิจัยสามารถนำผลการวิจัยนี้ไปใช้ประโยชน์การวางแผนดำเนินการวิจัยได้



2. หน่วยงานหรือองค์กรด้านงานวิจัยสามารถนำผลการวิจัยนี้ไปพัฒนาและประยุกต์ใช้เพื่อจัดกระบวนการการบริหารจัดการงานวิจัยให้มีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการใช้เครื่องมือที่หลากหลายในการเก็บรวบรวมข้อมูล เช่นอาจจะเพิ่มอุปกรณ์อื่นนอกเหนือจาก อุปกรณ์ตรวจจับเซ็นเซอร์วัดความเร็วเชิงมุม (Gyroscope sensor)
2. ควรมีการเปรียบเทียบอุปกรณ์ 2 อุปกรณ์ขึ้นไปเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Stephanie Bell, **A Beginner's Guide to Uncertainty of Measurement**, Measurement Good Practice Guide No. 11, Issue 2. Centre for Basic, Thermal and Length Metrology National Physical Laboratory.
- _____. **ความผิดพลาดจากการวัด**. แหล่งที่มา: <http://blog.bru.ac.th/wp-content/uploads/bp-attachments/9206/บทที่-1.pdf>. 3 เมษายน 2565
- รสริน โกมลโชติกุล. **การวิเคราะห์ค่าความผิดพลาดเชิงมุมของแกนหมุนที่มีผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของการเคลื่อนที่เชิงเส้นตรงของปลายแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่อิสระ 6 แกน** (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2564)
- UKAS publication M 3003. **The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement Edition 4**, October 2019.
- กาญจน์เชจร ชูชีพ. (2018). **การประเมินความถูกต้อง (Accuracy Assessment): Remote Sensing Technical Note No. 3**. Faculty of Forestry, Kasetsart University.
- พัชรนิสา เสนีกาญจน์. **การศึกษาสาเหตุความผิดพลาดในการวัดขนาดของงานพลาสติก ด้วยหลักการวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) กรณีศึกษา โรงงานชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์** (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2561)
- Anatole M. et al. (2011). **Device and method of gyro sensor calibration**. This application claims priority from U.S. Provisional Application No. 61: 456-467.
- Achkar, Issam-Maurice, et al. (1996). **Rate gyro calibration method and apparatus for a three-axis stabilized satellite**. U.S. Patent No. 5,562,266.