

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	n
บทที่ 1 ความหมายของมาตรวิทยาและความสำคัญ	1
1.1 ความหมายของมาตรวิทยา	2
1.2 ความสำคัญของมาตรวิทยาในงานวิจัย	5
1.3 ความสำคัญของมาตรวิทยาในงานอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี	6
1.4 หน่วยรากฐานและนิยาม	9
บทที่ 2 การวัดปริมาณตามหลักมาตรวิทยา	15
2.1 ความรู้ทางสถิติพื้นฐานในการวัดปริมาณ	15
2.1.1 ค่าเฉลี่ย	15
2.1.2 ค่าเฉลี่ยจำกัด และค่าจริง	16
2.1.3 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	19
2.1.4 ความผิดพลาดในการวัด	20
2.1.5 ความถูกต้องและความแม่นยำ	22
2.2 เงื่อนไขและขอบเขตในการวัดปริมาณ	25
2.2.1 นิยาม	26
2.2.2 ทฤษฎีพื้นฐาน	26
2.2.3 เครื่องมืออุปกรณ์	27
2.2.4 วิธีการทั่วไปของการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัด	27
บทที่ 3 การวัดมวลและความหนาแน่น	31
3.1 นิยามหน่วยรากฐานของมวล	31
3.2 มาตรฐานมวล	34

	หน้า
3.3 การวัดมวล	39
3.4 การวัดความหนาแน่น	45
3.5 การสอบเทียบมวลและความหนาแน่น	48
บทที่ 4 การวัดความยาว	75
4.1 นิยามหน่วยรากฐานความยาว	75
4.2 มาตรฐานความยาว	77
4.2.1 มาตรฐานแท่งเทียบ	85
4.2.2 มาตรฐานความยาวโดยใช้คลื่นแสง	89
4.3 การวัดความยาว	100
4.4 การสอบเทียบเครื่องวัดความยาว	121
บทที่ 5 การวัดอุณหภูมิ	133
5.1 นิยามหน่วยรากฐานอุณหภูมิ	133
5.2 หน่วยวัดอุณหภูมิระหว่างประเทศ	134
5.3 มาตรฐานอุณหภูมิ	149
5.3.1 มาตรฐานอุณหภูมิจากจุดแข็งตัวของสารบริสุทธิ์	150
5.3.2 เทอร์โมมิเตอร์ชนิดความต้านทานแพลตตินัม	150
5.3.3 เทอร์โมคัปเปิล	154
5.3.4 เครื่องวัดอุณหภูมิโดยใช้แสง	158
5.4 การวัดอุณหภูมิ	160
5.5 การสอบเทียบเครื่องวัดอุณหภูมิ	172
บทที่ 6 การวัดปริมาณทางไฟฟ้า	195
6.1 นิยามหน่วยรากฐานทางไฟฟ้า	195

	หน้า	
6.2	มาตรฐานทางไฟฟ้า	198
6.2.1	มาตรฐานแรงเคลื่อนไฟฟ้า	198
6.2.2	มาตรฐานความต้านทาน	203
6.2.3	มาตรฐานความจุและความเหนี่ยวนำ	206
6.3	การวัดทางไฟฟ้า	215
6.3.1	การวัดกระแสไฟฟ้า	215
6.3.2	การวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า	218
6.3.3	การวัดความต้านทาน	220
6.3.4	การวัดความจุ	225
6.3.5	การวัดความเหนี่ยวนำ	227
6.4	การสอบเทียบเครื่องวัดทางไฟฟ้า	229
บทที่ 7	การวัดเวลาและความถี่	233
7.1	นิยามหน่วยรากฐานเวลาและความถี่	233
7.2	มาตรฐานเวลาและความถี่	235
7.3	การวัดเวลาและความถี่	250
7.4	การสอบเทียบเวลาและความถี่	255
บทที่ 8	การวัดปริมาณทางแสง	257
8.1	นิยามหน่วยรากฐานทางแสง	258
8.2	มาตรฐานทางแสง	259
8.2.1	มาตรฐานความเข้มของการส่องสว่าง	262
8.2.2	มาตรฐานฟลักซ์ของการส่องสว่าง	262
8.3	การวัดความเข้มทางแสง	263
8.4	การวัดฟลักซ์ทางแสง	264

	หน้า
8.5 การสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มทางแสงและฟลักซ์ทางแสง	273
บรรณานุกรม	277
ภาคผนวกที่ 1	282
ภาคผนวกที่ 2	286
ภาคผนวกที่ 3	291
ภาคผนวกที่ 4	294
ภาคผนวกที่ 5	298
ภาคผนวกที่ 6	299
ภาคผนวกที่ 7	300

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงผลการยิงปืนของนักยิงปืนทั้งสี่คน	24
3.1	ต้นแบบมวลกิโลกรัมระหว่างประเทศ	35
3.2	ตม้หน้าหนักมาตรฐาน	38
3.3	เครื่องชั่งชนิด 2 จาน	51
3.4	เครื่องชั่งกล	52
3.5	ไฮโดรมิเตอร์	66
3.6	การสอบเทียบไฮโดรมิเตอร์	70
4.1	Cross section of the Standard meter bar in 1889	75
4.2	Length Standard	79
4.3	Traceability of Length Standard	80
4.4	Flow chart of length standard for gauge block	81
4.5	Flow chart of length standard for line standards	82
4.6	Length Standards Calibration Flow Chart	83
4.7	แท่งเทียบ	85
4.8		86
4.9		86
4.10		89
4.11		90'
4.12	CONDITIONS WHEN A SURFACE IS BEING EXAMINED WITH AN OPTICAL FLAT	91
4.13	แถบแสง	93
4.14	The Outside of interferometer	93
4.15	Michelson Interferometer for length measurement	95

รูปที่	หน้า
4.16 Principle of calibration of gauge blocks	96
4.17 Determination and calculation of length of gauge block	98
4.18	99
4.19	101
4.20 These are the three types of dials used on dial indicators, and the method for designating	102
4.21	103
4.22	104
4.23 เวอร์เนียคาลิปเปอร์	105
4.24	105
4.25	106
4.26	107
4.27	107
4.28	108
4.29 ไมโครมิเตอร์	111
4.30	113
4.31	114
4.32	115
4.33	116
4.34	117
4.35	119
4.36	120
4.37 Schematic diagram of the electronic comparator	122
4.38 แสดงการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์	125

รูปที่	หน้า
4.39 Alignment of the stylus axis	125
4.40 กราฟระหว่างน้ำหนักและค่าที่อ่านได้	126
4.41 แสดงตำแหน่งการวัดความขนาน	129
4.42 แสดงการวัดความเรียบผิว	130
4.43	131
4.44 หน้าสัมผัสวัดของแกนไมโครมิเตอร์	132
5.1 Schematic diagram of an optical pyrometer	159
5.2	167
5.3 Three - Lead Bridge	168
5.4	169
5.5	170
5.6 NML precision resistance bridge	171
5.7 High precision ASL AC bridge	172
5.8 เทอร์มิเตอร์แบบหลอดแก้ว	174
5.9 Water triple point cell	180
5.10 Metal freezing point cell	182
5.11 Freezing curve of tin	183
5.12 Freezing curve of zinc	184
5.13	185
5.14	186
5.15	188
5.16	189
6.1 นิยามของฟาร์ต	197
6.2 นิยามของเฮนรี	197
6.3 เซลล์มาตรฐานชนิดอิมิตัว	198

รูปที่	หน้า	
6. 4	คุณลักษณะของแรงเคลื่อนไฟฟ้า-กระแสไฟฟ้าของซีเนอร์ไดโอด	201
6. 5	วงจรแรงเคลื่อนไฟฟ้าคงที่	202
6. 6	มาตรฐานแรงเคลื่อนไฟฟ้าปรับได้	203
6. 7	การพันแบบไบโพลาร์	203
6. 6	ความต้านทานมาตรฐานแบบโทมัส 1 โอห์ม	205
6. 9	ตัวจูนเงิน-ไมก้า	207
6. 10	ตัวจูนพีวีซีควอเตอร์ชนิดแผ่น	207
6. 11	ตัวจูนพีวีซีควอเตอร์พร้อมการ์ด	207
6. 12	ตัวจูนพีวีซีควอเตอร์	208
6. 13	ตัวจูนเปลี่ยนค่าได้	208
6. 14	ตัวเหนี่ยวนำที่มีค่านั่นนอน	209
6. 15	แสดงค่าความแตกต่างของโวลต์ของประเทศต่างๆ เมื่อเทียบกับ ของ SI	210
6. 16	US ohm ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา	214
6. 17	รูป ก. เครื่องมือวัดกระแสแบบคล่องเกี่ยว ชนิดหม้อแปลงกระแส และส่วนของเข็มวัดอยู่รวมเป็นเครื่องเดียวกัน	217
	รูป ข. หม้อแปลงกระแสไฟฟ้ารูปตัว"ยู" (ซึ่งต้องใช้กับส่วนของ เข็มวัดรูป ค.)	217
	รูป ค. ส่วนที่เป็นหม้อแปลงกระแส(ไฟฟ้า) และส่วนของเข็มวัดกับ หน้าปัทม์	218
6. 18	เครื่องวัดแบบชดลวดเคลื่อนที่	218
6. 19	การวัดค่าความต้านทานด้วยโวลต์และแอมมิเตอร์	220
6. 20	การวัดค่าความต้านทานด้วยโพเทนชิโอมิเตอร์	221
6. 21	การวัดค่าความต้านทานด้วยวีดส์โตนบริดจ์	222
6. 22	การวัดค่าความต้านทานค่าต่ำโดยวิธีใช้บริดจ์คู่ของเคลวิน	223

6.23	วงจรวัดจําค่าความจุของวิน	225
6.24	วงจรวัดจําค่าความจุ	226
6.25	วงจรมแมกซ์เวลล์วัดจําค่าความจุ	227
6.26	วงจรมแมกซ์เวลล์-วินวัดจําค่าความจุ	229
6.27	ไดอะแกรมวงจรมการสอบเทียบโวลต์มิเตอร์กระแสตรง	230
6.28	ไดอะแกรมวงจรมการสอบเทียบแอมป์มิเตอร์กระแสตรง	230
7.1	ความสัมพันธ์ระหว่างวันจริงกับวันสมมติ	234
7.2	อุปกรณ์รักษาเวลามาตรฐานประเทศไทย	240
7.3	นาฬิกา Caesium และนาฬิกา Quartz	240
7.4	แผนภาพของวงจรมอิเล็กทรอนิกส์ของ Caesium Beam Frequency Reference Mode 5062 C ของ HP	242
7.5		244
7.6	ดาวเทียม GPS	247
7.7	ผังการทำงานระบบรักษาเวลามาตรฐานประเทศไทย	250
7.8	Caesium Frequency Standard XSC with Digital Clock CADM	251
7.9	Simplified block diagram of Caesium Frequency Standard XSC (basic unit only)	251
7.10	Principle Diagram of the Caesium Beam Tube	252
7.11	Beam Tube Ramsey Response	252
7.12	Active Hydrogen Maser Frequency Standard (CH1-75)	253
7.13	Block Diagram - Active Hydrogen Maser	254
7.14	Synchronization Unit Block Diagram	254
7.15	Frequency Standard Calibration System	255
7.16	Block Diagrams for Calibration	256

รูปที่		หน้า
8.1	วัตต์ด่ำ	260
8.2	หลอดไฟมาตรฐานทุติยภูมิ	261
8.3	การจัดเครื่องมือสำหรับทดสอบหลอดไฟความเข้มของการส่องสว่าง	264
8.4	วงจรสำหรับหลอดอินแคนเดสเซนต์	268
8.5	วงจรการต่ออุปกรณ์การวัดและจุดหลอดสำหรับการทดสอบหลอด ฟลูออเรสเซนต์	272
8.6	การสอบเทียบเครื่องวัดแสง Lux Meter	273

รายการตารางประกอบ

ตารางที่	หน้า
1.1	12
3.1	43
3.2	44
3.3 ความคลาดเคลื่อนมากที่สุด	45
4.1 Measurement Capability for Calibration of Length	84
4.2 Variation in length of gauge block	88
5.1 IPTS-68 อุณหภูมิอ้างอิง (reference temperature) หรือ fixed points	135
5.2 Fixed points of ITS-90	141
5.3 ค่าคงที่ $A_0, A_1, B_0, B_1, C_0, C_1, D_0$ และ D_1 ในสมการ Reference function (3), (4), (5) และ(6)	144
5.4 การเปรียบเทียบ IPTS-68 กับ ITS-90	149
5.5 Properties of materials used in the sensors of resistance thermometer	152
5.6 แสดงผลการสอบเทียบอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลของ CSIRO	191
5.7 ผลการสอบเทียบอุณหภูมิจากเทอร์โมคัปเปิลทั้งสอง	193
5.8 ผลการสอบเทียบอุณหภูมิจากเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน และจาก โรงงาน	194
6.1 ลักษณะของเซลล์มาตรฐานที่มีคุณภาพดี	200
6.2 แสดงความแตกต่างของหน่วยทางไฟฟ้าหลังวันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 1990 ตาม SI	211