คุณสุวิทย์ ศรีสุข

ขอเล่าเท่าที่รู้...

การเลือกขนาดสายไฟฟ้าอย่างง่ายๆ ด้วยแบบฝึกหัดง่ายๆ

ขอเล่าเท่าที่รู้...**การเลือกขนาดสายไฟฟ้าอย่างง่ายๆ ด้วยแบบฝึกหัดง่ายๆ** อ้างอิงมาจากหนังสือชื่อ *"a practical guide to the 17th edition of the wiring regulation"* เขียนโดย Christopher Kitcher เป็นฉบับพิมพ์ครั้งที่ 1 ปี ค.ศ. 2010 (ปี พ.ศ. 2553) สำนักพิมพ์ Newnes ในอิตาลี [ISBN 978-0-08-096560-4] ในความคิดประกายเบื้องปฐมที่ได้ยินคำร่ำลือว่า **เราจักธำรงทิศทางมาตรฐานประเทศไปในแนวของ IEC พร่ำค้นหาหนังสือในประเทศไทยนับจักสิบปีเห็นจักได้** ยังมองไม่เห็นว่า *"เรา"* (หมายถึงผู้เขียน) จักเข้าถึงแลเข้าใจอย่างไรได้ หนังสือแนะนำการใช้งานพอหาได้ แต่ตัวมาตรฐาน ไม่ว่าจักเป็นตาม IET ฤๅแม้นแต่เอกสารประกาศความก้าวมาเป็นมาตรฐานอย่างเอกสารของ IEE พอก้าวมาถึง พ.ศ. 2556 วสท. ได้ปรับแก้ไขบทที่ 5 ให้ใช้สายไฟฟ้าตามมาตรฐาน มอก. ของ สมอ. ที่เป็นมาตรฐานของชาติไทยของเรา ทำให้รู้สึกว่า อาจถึงเวลาปัดฝุ่นหนังสือเก่ามาอ่านอีกครั้ง กอปรกับที่ได้รับทราบข้อมูลมาตรฐานของ BS7671:2008 (2011) incorporating amendment no 1:2011 ชื่อหนังสือคือ British standard, requirements for electrical installations, IET wiring regulations 17th edition ซึ่งตารางต่างๆ ที่อ้างอิงในงานเขียนนี้จักนำมาจากมาตรฐานข้างต้น งานเขียนนี้จักเป็นการนำเสนอ กระบวนการคำนวณเพื่อเลือกขนาดสายไฟฟ้าตามที่มาตรฐานต้นทางใช้ทำงานในประเทศที่อ้างอิง เช่นในประเทศอังกฤษ เป็นต้น

โจทย์...ก่อนอื่นต้องทำความเข้าใจข้อมูลที่ต้องการให้คำนวณเป็นตัวอย่างดังนี้ กำหนดให้สายไฟฟ้าที่ใช้เป็นชนิด 70 องศาเซลเซียส เทอร์โมพลาสติก สายแกนเดียว ติดตั้งในท่อ ร่วมกับอีกหนึ่งวงจรย่อย ติดตั้งท่อเดินลอยผนังอิฐ (brick surface) แลโหลดไฟฟ้าเฟสเดียว ขนาด 11 kW วงจรที่จำหน่ายยาว 18 เมตร (L) ป้องกันวงจรด้วย BS 88 fuse วงจรนี้ทำงานในอุณหภูมิแวดล้อมที่ 35 องศาเซลเซียส แลไม่มี Ir ได้ (ค่า Ir เท่ากับ 100% ฤค่า Ir=1.0In) เรื่องนี้เป็นความจำเป็นที่ทั้งผู้ออกแบบต้องตระหนัก ผู้รับเหมาเอง ฤแม้นแต่ผู้ควบคุมงาน ผู้ตรวจสอบเพื่อรับงานก็ต้องเข้าใจเรื่องในเทือกนี้ด้วย ไม่เว้นใครผู้ใดต้องทำหน้าที่แบกรับภาระนี้ไต้ในฐานะผู้ทำงานมืออาชีพ

จากโจทย์กำหนดให้ในหนึ่งท่อมีสองวงจรแลอุณหภูมิแวดล้อมที่ 35 องศาเซลเซียสให้ดูตารางที่ 4C1 3B1 ดังแสดงในรูปที่ 1, 2 ตามลำดับ

TABLE 4C1 – Rating factors for one circuit or one multicore cable or for a group of circuits, or a group of multicore cables, to be used with current-carrying capacities of Tables 4D1A to 4J4A

Item	Arrangement (cables touching)	Number of circuits or multicore cables												To be used with current-carrying capacities, Reference Method
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20	
1.	Bunched in air, on a surface, embedded or enclosed	1.00	0.80	0.70	0.65	0.60	0.57	0.54	0.52	0.50	0.45	0.41	0.38	A to F
2.	Single layer on wall or floor	1.00	0.85	0.79	0.75	0.73	0.72	0.72	0.71	0.70	0.70	0.70	0.70	C
3.	Single layer multicore on a perforated horizontal or vertical cable tray system	1.00	0.88	0.82	0.77	0.75	0.73	0.73	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	E
4.	Single layer multicore on cable ladder system or cleats etc.,	1.00	0.87	0.82	0.80	0.80	0.79	0.79	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	

รูปที่ 1 แสดงค่า Cg จากจำนวนวงจรในช่องทางเดินสายไฟฟ้าเดียวกัน (table 4C1)

องค์ประกอบอื่นใดมาเกี่ยวข้องกับวงจรนี้ แรงดันไฟฟ้าขนาด 230 โวลต์แลค่าอิมพิแดนซ์รวมภายนอกฝั่งจำหน่าย (หม้อแปลงไฟฟ้า สายแรงต่ำมาที่ตู้เมนไฟฟ้าแลสายไปยังหลักดิน) เท่ากับ 0.4 โอห์ม (external loop impedance: Ze) ซึ่งในงานเขียนจักได้วิเคราะห์ที่มาที่ไป เรื่องนี้อยากให้ได้ติดตามกันให้ใกล้ชิดนะ

มาเริ่มคำนวณกันเลยโดยหาค่ากระแสของโหลดเท่ากับ 11kW/230V เท่ากับ 47.82 แอมป์เป็นขนาดกระแสออกแบบ (Ib) ในที่นี้ให้เลือกขนาดกระแสของวงจรเป็น 50 แอมป์เป็นขนาดกระแสป้องกันวงจร (In) ขอขยายความนิดว่า ขนาดนี้อาจหมายถึงค่า Ir ที่เป็นสัดส่วนของ In ด้วยในกรณีที่อุปกรณ์ป้องกันเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่สามารถปรับตั้งค่ากระแสป้องกันวงจรได้ ในการออกแบบหากสามารถกำหนดได้ ผู้ออกแบบจักต้องกำหนดลงในแบบด้วยว่า วงจรที่ออกแบบนั้นออกแบบไว้ที่ค่า In แลฤค่า Ir เท่าใด ฤกำหนดเป็นค่า In ในกรณีที่ไม่สามารถปรับตั้งค่า

TABLE 4B1 – Rating factors (C_a) for ambient air temperatures other than 30 °C

Ambient temperature [a] °C	Insulation				
				Mineral [a]	
	60 °C thermosetting	70 °C thermoplastic	90 °C thermosetting	Thermoplastic covered or bare and exposed to touch 70 °C	Bare and not exposed to touch 105 °C
25	1.04	1.03	1.02	1.07	1.04
30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
35	0.91	0.94	0.96	0.93	0.96
40	0.82	0.87	0.91	0.85	0.92
45	0.71	0.79	0.87	0.78	0.88
50	0.58	0.71	0.82	0.67	0.84
55	0.41	0.61	0.76	0.57	0.80
60		0.50	0.71	0.45	0.75
65		–	0.65	–	0.70
70		–	0.58	–	0.65
75		–	0.50	–	0.60
80		–	0.41	–	0.54
85		–	–	–	0.47
90		–	–	–	0.40
95		–	–	–	0.32

a For higher ambient temperatures, consult manufacturer.

รูปที่ 2 แสดงค่า Ca จากอุณหภูมิสภาวะแวดล้อมของสถานที่ติดตั้งสายไฟฟ้า (table 4B1)

จากรูปที่ 1 (table 4C1) ที่ item 1 number of circuit 2 จักได้ค่า Cg เท่ากับ 0.8 จากรูปที่ 2 (table 4B1) ที่อุณหภูมิสภาวะแวดล้อมของสถานที่ติดตั้งสายไฟฟ้าที่ 35 องศาเซลเซียส สายไฟฟ้าชนิด 70 องศาเซลเซียส ประเภทเทอร์โมพลาสติก จักได้ค่า Ca เท่ากับ 0.94 นำมาคำนวณหาค่ากระแสของสายไฟฟ้าจากตารางพิกัดกระแสของวงจรที่ชดเชยสองค่าตัวแปรข้างต้นที่เรียกว่า ค่า It มีค่าไม่น้อยกว่า In/(Cg*Ca) แทนค่าได้เท่ากับ 50/(0.8*0.94) ได้ขนาดของ It ได้ไม่น้อยกว่า 66.48 แอมป์ นั่นหมายความว่า ขนาดของพิกัดกระแสของสายไฟฟ้าต้องมีขนาดไม่ต่ำกว่า 66.48 แอมป์ นำค่า It ไปเปิดตารางที่ 4D1A ดังแสดงในรูปที่ 3

จากรูปที่ 3 (table 4D1A) ขนาดสายไฟฟ้าสามารถเลือกได้จาก method B column 4 จักเห็นว่าขนาดของสายไฟฟ้าขนาด 16 ตร.มม.สามารถรองรับกระแสไฟฟ้าได้ 76 แอมป์ หลังจากได้ขนาดสายไฟฟ้าแล้วเราจักคำนวณขนาดของแรงดันตกคร่อมอยู่ในพิกัดฤไม่ เราสามารถคำนวณได้จากตารางที่ 4D1B ดังแสดงในรูปที่ 4

TABLE 4D1A – Single-core 70 °C thermoplastic insulated cables, non-armoured, with or without sheath (COPPER CONDUCTORS)

CURRENT-CARRYING CAPACITY (amperes): Ambient temperature: 30 °C; Conductor operating temperature: 70 °C

Conductor cross-sectional area	Reference Method A (enclosed in conduit in thermally insulating wall etc.)		Reference Method B (enclosed in conduit on a wall or in trunking etc.)		Reference Method C (clipped direct)		Reference Method F (in free air or on a perforated cable tray horizontal or vertical)				
							Touching			Spaced by one diameter	
	2 cables, single-phase a.c. or d.c.	3 or 4 cables, three-phase a.c.	2 cables, single-phase a.c. or d.c.	3 or 4 cables, three-phase a.c.	2 cables, single-phase a.c. or d.c. flat and touching	3 or 4 cables, three-phase a.c. flat and touching or trefoil	2 cables, single-phase a.c. or d.c. flat	3 cables, three-phase a.c. flat	3 cables, three-phase a.c trefoil	2 cables, single-phase a.c. or d.c. or 3 cables three-phase a.c. flat	
										Horizontal	Vertical
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(mm^2)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)
1	11	10.5	13.5	12	15.5	14	-	-	-	-	-
1.5	14.5	13.5	17.5	15.5	20	18	-	-	-	-	-
2.5	20	18	24	21	27	25	-	-	-	-	-
4	26	24	32	28	37	33	-	-	-	-	-
6	34	31	41	36	47	43	-	-	-	-	-
10	46	42	57	50	65	59	-	-	-	-	-
16	61	56	76	68	87	79	-	-	-	-	-
25	80	73	101	89	114	104	131	114	110	146	130
35	99	89	125	110	141	129	162	143	137	181	162
50	119	108	151	134	182	167	196	174	167	219	197
70	151	136	192	171	234	214	251	225	216	281	254
95	182	164	232	207	284	261	304	275	264	341	311
120	210	188	269	239	330	303	352	321	308	396	362
150	240	216	300	262	381	349	406	372	356	456	419
185	273	245	341	296	436	400	463	427	409	521	480
240	321	286	400	346	515	472	546	507	485	615	569
300	367	328	458	394	594	545	629	587	561	709	659
400	-	-	546	467	694	634	754	689	656	852	795
500	-	-	626	533	792	723	868	789	749	982	920
630	-	-	720	611	904	826	1005	905	855	1138	1070
800	-	-	-	-	1030	943	1086	1020	971	1265	1188
1000	-	-	-	-	1154	1058	1216	1149	1079	1420	1337

■ *รูปที่ 3 แสดงขนาดของสายไฟฟ้า จากขนาดของกระแสไฟฟ้าตามค่า It (table 4D1A)*

TABLE 4D1B

VOLTAGE DROP (per ampere per metre): Conductor operating temperature: 70 °C

Conductor cross-sectional area	2 cables d.c.	2 cables, single-phase a.c.									3 or 4 cables, three-phase a.c.											
		Reference Methods 3 & 4 (enclosed in conduit etc. in or on a wall)			Reference Methods 1 & 11 (clipped direct or on trays, touching)			Reference Method 12 (spaced*)			Reference Methods 3 & 4 (enclosed in conduit etc. in or on a wall)			Reference Methods 1, 11 & 12 (in trefoil)			Reference Methods 1 & 11 (flat and touching)			Reference Method 12 (flat spaced*)		
1	2	3			4			5			6			7			8			9		
(mm^2)	(mV/A/m)	(mV/A/m)			(mV/A/m)			(mV/A/m)			(mV/A/m)			(mV/A/m)			(mV/A/m)			(mV/A/m)		
		r	x	z	r	x	z	r	x	z	r	x	z	r	x	z	r	x	z	r	x	z
1	44	44			44			44			38			38			38			38		
1.5	29	29			29			29			25			25			25			25		
2.5	18	18			18			18			15			15			15			15		
4	11	11			11			11			9.5			9.5			9.5			9.5		
6	7.3	7.3			7.3			7.3			6.4			6.4			6.4			6.4		
10	4.4	4.4			4.4			4.4			3.8			3.8			3.8			3.8		
16	2.8	2.8			2.8			2.8			2.4			2.4			2.4			2.4		
25	1.75	1.80	0.33	1.80	1.75	0.20	1.75	1.75	0.29	1.80	1.50	0.29	1.55	1.50	0.175	1.50	1.50	0.25	1.55	1.50	0.32	1.55
35	1.25	1.30	0.31	1.30	1.25	0.195	1.25	1.25	0.28	1.30	1.10	0.27	1.10	1.10	0.170	1.10	1.10	0.24	1.10	1.10	0.32	1.15
50	0.93	0.95	0.30	1.00	0.93	0.190	0.95	0.93	0.28	0.97	0.81	0.26	0.85	0.80	0.165	0.82	0.80	0.24	0.84	0.80	0.32	0.86
70	0.63	0.65	0.29	0.72	0.63	0.185	0.66	0.63	0.27	0.69	0.56	0.25	0.61	0.55	0.160	0.57	0.55	0.24	0.60	0.55	0.31	0.63
95	0.46	0.49	0.28	0.56	0.47	0.180	0.50	0.47	0.27	0.54	0.42	0.24	0.48	0.41	0.155	0.43	0.41	0.23	0.47	0.40	0.31	0.51
120	0.36	0.39	0.27	0.47	0.37	0.175	0.41	0.37	0.26	0.45	0.33	0.23	0.41	0.32	0.150	0.36	0.32	0.23	0.40	0.32	0.30	0.44
150	0.29	0.31	0.27	0.41	0.30	0.175	0.34	0.29	0.26	0.39	0.27	0.23	0.36	0.26	0.150	0.30	0.26	0.23	0.34	0.26	0.30	0.40
185	0.23	0.25	0.27	0.37	0.24	0.170	0.29	0.24	0.26	0.35	0.22	0.23	0.32	0.21	0.145	0.26	0.21	0.22	0.31	0.21	0.30	0.36
240	0.180	0.195	0.26	0.33	0.185	0.165	0.25	0.185	0.25	0.31	0.17	0.23	0.29	0.160	0.145	0.22	0.160	0.22	0.27	0.160	0.29	0.34
300	0.145	0.160	0.26	0.31	0.150	0.165	0.22	0.150	0.25	0.29	0.14	0.23	0.27	0.130	0.140	0.190	0.130	0.22	0.25	0.130	0.29	0.32
400	0.105	0.130	0.26	0.29	0.120	0.160	0.20	0.115	0.25	0.27	0.12	0.22	0.25	0.105	0.140	0.175	0.105	0.21	0.24	0.100	0.29	0.31
500	0.086	0.110	0.26	0.28	0.098	0.155	0.185	0.093	0.24	0.26	0.10	0.22	0.25	0.086	0.135	0.160	0.086	0.21	0.23	0.081	0.29	0.30
630	0.068	0.094	0.25	0.27	0.081	0.155	0.175	0.076	0.24	0.25	0.08	0.22	0.24	0.072	0.135	0.150	0.072	0.21	0.22	0.066	0.28	0.29
800	0.053		-		0.068	0.150	0.165	0.061	0.24	0.25		-		0.060	0.130	0.145	0.060	0.21	0.22	0.053	0.28	0.29
1000	0.042		-		0.059	0.150	0.160	0.050	0.24	0.24		-		0.052	0.130	0.140	0.052	0.20	0.21	0.044	0.28	0.28

NOTE: * Spacings larger than those specified in Method 12 (see table 4A) will result in larger voltage drop.

■ *รูปที่ 4 แสดงข้อมูลเพื่อใช้ในการคำนวณแรงดันตกคร่อม (table 4D1B)*

จากรูปที่ 4 (table 4D1B) ขนาดแรงดันตกคร่อมที่สายไฟฟ้าข้างต้นสามารถเลือกได้จาก method A ถึง B column 3 จักเห็นว่าขนาดของสายไฟฟ้าขนาด 16 ตร.มม. มีขนาดของแรงดันตกคร่อม 2.8 โวลต์ต่อแอมป์ต่อเมตร (VD) เมื่อได้ข้อมูลครบเราสามารถคำนวณขนาดแรงดันตกคร่อมได้จากสูตร VD * Ib * L แทนค่าในสูตรได้ 2.8*47.82*18/1000 เท่ากับ 2.41 โวลต์ ขนาดของแรงดันตกคร่อมที่ยอมรับได้จักไม่เกิน 5 % ของแรงดันใช้งาน ในที่นี้ที่แรงดัน 230 โวลต์จักต้องจำกัดแรงดันตกคร่อมไม่เกิน 230*5/100 เท่ากับ 11.5 โวลต์ จากขนาดแรงดันตกคร่อมที่คำนวณได้ (2.41 โวลต์) ไม่มากกว่า 11.5 โวลต์ จึงสามารถยอมรับได้ ขั้นต่อไปเห็นจักเป็นสิ่งที่เราไม่เคยทำเลยก็ได้ แต่แรกที่เห็นผมก็เรียนรู้ได้ว่า นี่ไงงานวิศวกรรม คิดเข้าไป คำนวณเพื่อหาตัวเลขมาเป็นตัวชี้วัดการประยุกต์ใช้งานวิทยาศาสตร์ที่พร่ำเรียนมาที่เราได้รับปลูกฝังมาว่าวิชาชีพของเราคือ apply science มาถึงมาร่วมแล้วที่เราทั้งโลกของนักวิชาชีพนี้ต้องมุ่งมั่นรับภาระนี้ด้วยเต็มใจเพื่อดูแลพี่น้องประชาชนของเราให้ปลอดภัยไม่ว่าเค้าจักเป็นญาติของเราฤไม่ เรื่องที่อารัมภบทมาซะยืดยาวนั้นคือการคำนวณหาค่า circuit earth loop impedance: Zs เราต้องเริ่มต้นที่การอ้างอิงหนังสือชื่อ on-site guide ตารางที่ table 9A แต่ที่เสียดายคือผู้เขียนไม่มีหนังสือเล่มนี้ แต่เท่าที่ค้นข้อมูลเล่มนี้จักออกฉบับเล่มที่ 7 ในเดือน กรกฎาคม 2561 นี้ราคาประมาณ 1,400 บาท ผู้เขียนคงรอไม่ไหวเลยไปค้นหนังสือเก่าของผู้เขียนชื่อ *"Modern wiring practice design and installation ..."* 13th edition รุ่นที่แก้ไขแลปรับปรุงตามมาตรฐาน BS7671:2005 ฉบับพิมพ์ปี 2006 เห็นไหมล่ะว่าเก่าจริง (ตั้ง 22 ปีเห็นจักได้) แต่ข้อมูลน่าจักยังคงใช้ได้เกี่ยวกับค่าความต้านทาน ที่เทียบเท่ากับตารางของ on-site guide ตารางที่ table 9A ดังแสดงในรูปที่ 5

จากรูปที่ 5 เราจักเห็นว่าสานไฟฟ้าขนาด 16 ตร.มม. (R1) มีค่าความต้านทานเท่ากับ 1.15 โอห์มต่อ 1000 เมตร แลเพื่อเป็นการทดสอบกระแสลัดวงจรลงดินผ่านสายตัวนำลงดิน (สายดิน: สายสีเขียว ฤสายสีเขียวแถบเหลือง) ในที่นี้ขอทดลองเลือกสายดินขนาด 4 ตร.มม. (R2) มีค่าความต้านทานเท่ากับ 4.61 โอห์มต่อ 1000 เมตร เพราะฉะนั้นค่าความต้านทานรวมของสายไฟฟ้าทั้งขนาด 16 ตร.มม.แลขนาด 4 ตร.มม. มีค่าความต้านทานรวมเท่ากับ 5.76 โอห์มต่อ 1000 เมตร ดังนั้นจักได้ค่าความต้านทานรวมตามความยาวที่ติดตั้งจริงจึงเท่ากับ (R1+R2)*L แทนค่าในสูตรจักได้ 5.76*18/1000 เท่ากับ 0.1 โอห์ม การคำนวณข้างต้นต้องไม่ลืมว่า เป็นค่าความต้านทานที่ค่าอุณหภูมิตัวนำที่ 20 องศาเซลเซียส แต่สายไฟฟ้าที่ใช้มีโอกาสใช้งานที่ 70 องศาเซลเซียส ดังนั้นเราต้องปรับค่าความต้านทานให้สามารถรองรับค่าอุณหภูมิที่ขึ้นไปได้ (temperature rise) ตามเคยมีตารางสำหรับหาตัวแปรเป็นตารางที่ 9C ใน on-site guide ผู้เขียนขอนำตารางที่ 4B2 ใน IET book มาดัดแปลงตามตารางที่แสดงในรูปที่ 6

102 *Modern wiring practice*

Table 3.7 *Cable resistance for solid copper and aluminium conductors*

Cross-sectional area (mm²)	*Resistance (ohms per 1000 metres) Bare conductors at 20°C Copper*	*Aluminium*
0.5	36.00	
1.0	18.10	
1.5	12.10	18.10
2.5	7.41	12.10
4.0	4.61	7.41
6.0	3.08	4.61
10.0	1.83	3.08
16.0	1.15	1.91
25.0	0.727	1.20
35.0	0.524	0.868

Note: For live conductor resistance under short circuit fault conditions, the values given above must be multiplied by the following factors:

For PVC insulation	1.38
For 85°C rubber insulation	1.53
For Mineral Insulation	1.55

For protective conductor resistance under short circuit fault conditions, the values given above must be multiplied by the following factors:

For PVC insulation	1.30
For 85°C rubber insulation	1.42.

■ *รูปที่ 5 แสดงข้อมูลค่าความต้านทานของสายทองแดง (on-site guide: table 9A)*

The cable resistance given in Table 9A is at 20 °C and the Z_s for protective devices given in the tables in BS 7671 is for cables at their operating temperature of 70 °C. The cable resistance must be adjusted by calculation to allow for the increase in resistance due to the rise in temperature. The resistance of the copper conductor will increase 2% for each 5 °C rise in temperature. If a cable temperature alters from 20 °C to 70 °C, the resistance will rise by 20%.

■ *รูปที่ 6 แสดงข้อมูลค่าตัวคูณเพิ่มค่าความต้านทานของสายไฟฟ้า (on-site guide: table 9C)*

จากรูปที่ 6 จักเห็นได้ว่า ค่าตัวคูณเพิ่มค่าความต้านทานใช้หลักการที่ว่า ค่าความต้านทานของสายตัวนำทองแดงจักเพิ่มขึ้น 2% ที่ทุก ๆ ค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 5 องศาเซลเซียส ถ้าสายไฟฟ้าชนิดทองแดงจักต้องเปลี่ยนค่าอุณหภูมิจาก 20 องศาเซลเซียสเป็น 70 องศาเซลเซียสจักทำให้ค่าความต้านทานสูงขึ้น 20% ดังนั้นสายไฟฟ้าชนิดทองแดงมีค่าอุณหภูมิขึ้นที่ 70 องศาเซลเซียสมีขนาดเท่ากับ 0.1*1.2 = 0.12 โอห์ม นั่นคือค่าความต้านทานรวม (R1+R2) ที่ 70 องศาเซลเซียสมีขนาดเท่ากับ 0.12 โอห์ม

ต่อไปเป็นแนวความคิดแลวิธีสำรวจหาค่า earth loop impedance (Ze) เริ่มตั้งแต่ค่า Z0 ที่เกิดขึ้นจากหม้อแปลงไฟฟ้า บวกเพิ่มค่า ZL ทางด้านสายแรงต่ำจากหม้อแปลงไฟฟ้า แลบวกเพิ่มค่า ZE ทางด้านสายต่อหลักดิน ก็จักได้ Ze = Z0 + ZL + ZE แนวคิดนี้นำมาจากหนังสือ A practical guide to the wiring regulation / Geoffrey Stokes. - 4th ed.

คำนวณค่าความต้านทานลัดวงจรทั้งวงจร (Zs) เท่ากับ Ze+(R1+R2) แทนค่าในสูตร 0.4+0.12 = 0.52 โอห์ม เมื่อได้ค่านี้แล้วนำไปคำนวณค่ากระแสลัดวงจรเพื่อตรวจสอบว่า อุปกรณ์ที่เลือกไว้สามารถรองรับได้ฤไม่ เริ่มด้วยตามกฎของโอห์ม (I=V/R) กระแสลัดวงจรที่ฟิวส์(If)เท่ากับแรงดันใช้งาน(V0) หารด้วยความต้านทานลัดวงจร(Zs) แทนค่าได้ Is = V0/Zs = 230/0.52 = 442.3 แอมป์

ต่อไปนี้เป็นการตรวจสอบขนาดสายดินที่เลือกว่าเพียงพอฤไม่ จากตารางที่ 3.3A ดังแสดงในรูปที่ 7

Maximum operating time/current characteristics for fuses to BS 88-2 fuse systems E and G

Fuse rating	Current for time				
	0.1 sec	0.2 sec	0.4 sec	1 sec	5 secs
6 A	36 A	32 A	28 A	24 A	18A
20 A	180 A	150 A	130 A	110 A	78A
32 A	310 A	260 A	220 A	180 A	125 A
50 A	550 A	460 A	380 A	300 A	220 A
80 A	1100 A	900 A	750 A	580 A	400 A
125 A	1750 A	1500 A	1250 A	1000 A	680 A
200 A	3100 A	2600 A	2200 A	1700 A	1200 A

Note: Fuses to BS 88-2 type G have ratings up to 125 A.

รูปที่ 7 แสดงข้อมูลค่าการทำงานของฟิวส์ 50-A BS 88 fuse (on-site guide: table 3.3A)

ในข้อกำหนดนี้ เราสามารถใช้ตารางนี้เพื่อคำนวณหาระยะเวลาการทำงานของฟิวส์ (50-A BS 88 fuse) จากตารางนี้เราจักพบว่าสำหรับพิกัดฟิวส์ขนาด 45 แอมป์มีระยะเวลาทำงานของฟิวส์อยู่ที่ 0.2 วินาทีเมื่อฟิวส์มีกระแสลัดวงจรขนาด 460 แอมป์ ขณะที่กระแสลัดวงจรมีขนาดน้อยกว่าคือค่า 442.3 แอมป์ ดังนั้นให้ตรวจสอบจากตารางในรูปที่ 7 พบว่า ที่กระแสลัดวงจรที่ 380 แอมป์จักมีระยะเวลาทำงานของฟิวส์อยู่ที่ 0.4 วินาที แลเวลาที่ได้นี้นำไปคำนวณต่อไป ts = 0.4 วินาที

ขั้นต่อไปจักทดสอบขนาดของสายดินว่าสามารถรองรับกระแสลัดวงจรได้ฤไม่ ให้เริ่มต้นด้วยการตรวจสอบค่า k จากตารางที่ 54.3 ตามมาตรฐานดังแสดงในรูปที่ 8

TABLE 54.3 –
Values of k for protective conductor incorporated in a cable or bunched with cables, where the assumed initial temperature is 70 °C or greater

Material of conductor	Insulation material		
	70 °C thermoplastic	90 °C thermoplastic	90 °C thermosetting
Copper	115/103*	100/86*	143
Aluminium	76/68*	66/57*	94
Assumed initial temperature	70 °C	90 °C	90 °C
Final temperature	160 °C/140 °C*	160 °C/140 °C*	250 °C

* Above 300 mm²

รูปที่ 8 แสดงข้อมูลค่า k เพื่อหาขนาดพื้นที่หน้าตัดน้อยที่สุด (BS 7671: 2008 table 54.3)

จากรูปที่ 8 เราสามารถหาค่า k สำหรับสายไฟฟ้าชนิดทองแดงที่ 70 องศาเซลเซียส เทอร์โมพลาสติกจักมีค่า k เท่ากับ 115 (ที่ขนาดของสายไฟฟ้าไม่เกิน 300 ตร.มม.) k = 115 เราสามารถคำนวณขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายไฟฟ้า (S) ด้วยสูตร S = sqrt ((Is^2)*ts/k) แทนค่าในสูตรจักได้ = sqrt ((442.3^2)*0.4)/115 = 2.4 ตร.มม. นี้หมายความว่า ขนาดพื้นที่หน้าตัดน้อยที่สุดของอุปกรณ์ป้องกันนี้คือ 2.4 ตร.มม. ข้อพิสูจน์นี้แสดงว่า สาย ๆฟฟ้าขนาด 4 ตร.มม. จักทำหน้าที่เป็นสายดินสามารถรองรับกระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน BS 7671 แต่ขอยืนยันให้เข้าใจว่า จากผลการคำนวณไม่ได้แสดงว่า สายไฟฟ้าขนาด 2.5 ตร.มม. จักสามารถทำหน้าที่เป็นสายดินได้ (ยังคงยืนยันขนาดสายดินว่าเป็นขนาด 4 ตร.มม.) หากยังสงสัยว่า สายขนาด 4 ตร.มม. อาจจักทำหน้าที่เป็นสายดินที่สามารถรองรับกระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน BS 7671 เราจักต้องเริ่มคำนวณใหม่ตั้งแต่ต้น เนื่องเพราะค่า R1 R2 ที่จักมีผลให้ กระแสลัดวงจร และระยะเวลาปลดวงจรเปลี่ยนไปด้วย

จากการคำนวณข้างต้นแม้นจักเป็นเพียงการคำนวณง่าย ๆ แต่กระบวนการที่ดำเนินไปจักเป็นพื้นฐานที่ทำให้การคำนวณเลือกขนาดสายไฟฟ้ามีประสิทธิผล แลสามารถประยุกต์ดัดแปลงนำไปใช้งานอื่น ๆ ได้อีกมากมาย ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่า จักเป็นประโยชน์ต่อท่านผู้สนใจบ้างไม่มากก็น้อยครับ...

ส่วนตัวผู้เขียน

นายสุวิทย์ ศรีสุข
วิศวกรไฟฟ้า-ที่ปรึกษาอิสระ
การศึกษา
- ปริญญาตรี-วิศวกรรมศาสตร์ ไฟฟ้ากำลัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ปริญญาโท-วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม บางเขน

ประสบการณ์ ทำงานกว่า 31 ปี งานด้านไฟฟ้ากำลัง