

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัยและผล

ในรายงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะดำเนินการพัฒนาแบบจำลองสำหรับคำนวณความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า มีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย ตามรายละเอียดดังนี้

3.1 การจัดเตรียมข้อมูล

3.1.1 การจัดเตรียมข้อมูลภาคพื้นดิน

เนื่องจากการพัฒนาแบบจำลองสำหรับคำนวณความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่างๆ ของท้องฟ้า นอกจากต้องใช้ข้อมูลปริมาณเมฆแล้วจำเป็นต้องใช้ข้อมูลความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่างๆ ของท้องฟ้า ซึ่งได้จากการวัดด้วย ดังนั้นผู้ดำเนินโครงการจึงได้ทำการติดตั้งเครื่อง sky scanner เพื่อวัดค่าความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่างๆ ของท้องฟ้า (sky luminance) ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ (18.78°N, 98.98 °E) โดยเริ่มทำการวัดตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงธันวาคม ในปี ค.ศ. 2005 (แสดงดังรูปที่ 3.1)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 3.1 แสดงเครื่อง sky scanner ซึ่งติดตั้งที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ จากนั้นได้ย้ายเครื่อง sky scanner ไปติดตั้งที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา โดยทำการวัดตั้งแต่เดือนพฤษภาคม จนถึงปัจจุบัน (พฤษภาคม 2550)



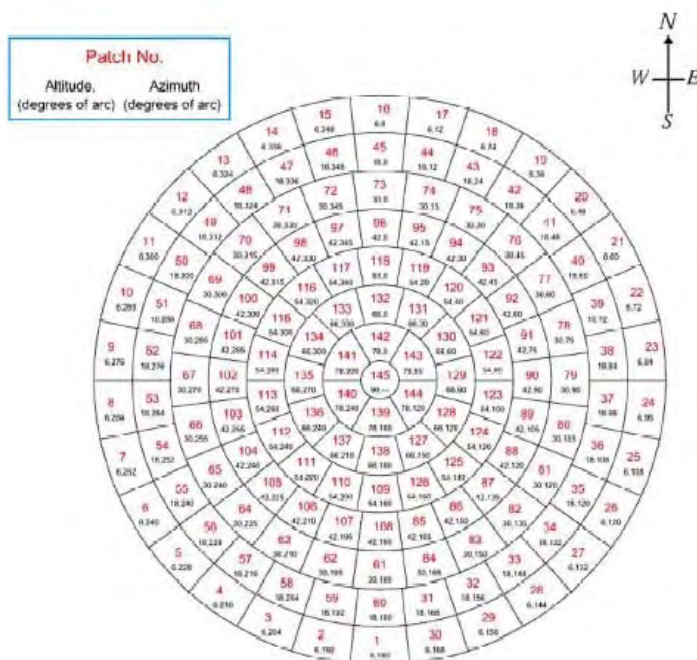
รูปที่ 3.2 แสดงเครื่อง sky scanner ซึ่งติดตั้งที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา

เครื่อง sky scanner จะกวาดท้องฟ้าในแนวอาซิมุท (azimuth) และอัลติจูด (altitude) ทำ

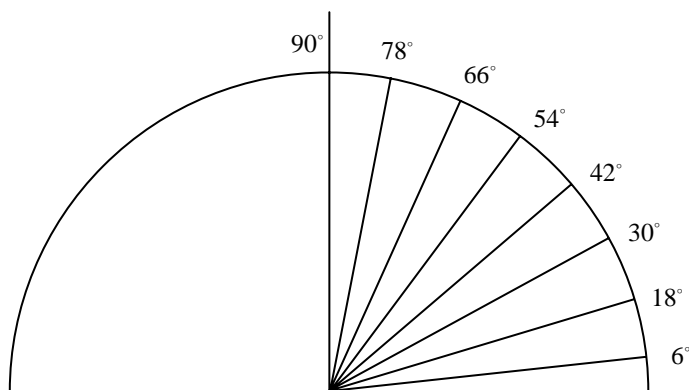
ให้หัววัดของเครื่องชี้ไปยังตำแหน่งต่างๆ ของท้องฟ้าเป็นจำนวน 145 เซลล์ ตามแผนภูมิในรูปที่ 3.3

โดยแต่ละตำแหน่งของท้องฟ้าที่วัดจะรองรับมุม 11 องศา และมีค่าอัลติจูดตามรูปที่ 3.4

มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ สงขลา

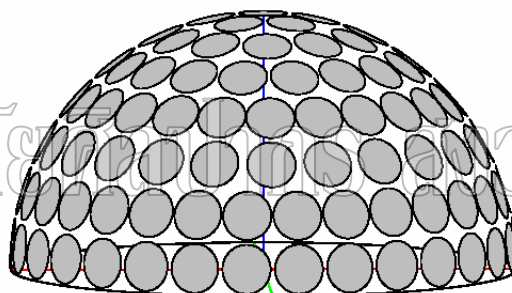


รูปที่ 3.3 แสดงตำแหน่งของท้องฟ้าซึ่งเครื่อง sky scanner ทำการวัดความเข้มแสงสว่าง



รูปที่ 3.4 แสดงอัลติจูดของตำแหน่งของท้องฟ้าที่เครื่อง sky scanner ทำการวัด

145 measurements 11° acceptance angle



รูปที่ 3.5 แสดง sky dome ที่เครื่อง sky scanner ทำการวัดค่า sky luminance

ในการวัดแต่ละครั้ง หัววัดของ sky scanner จะทำการกวาดท้องฟ้าจนครบ 145 เซลล์ ในเวลา 4 นาที สำหรับความถี่ของการวัดแต่ละครั้งสามารถเลือกได้โดยอาศัยการตั้งโปรแกรม คอมพิวเตอร์ที่ควบคุมการทำงานของเครื่อง ซึ่งการวัดค่าความเข้มของแสงสว่างจากส่วนต่างๆ ของท้องฟ้า (sky luminance) ด้วยเครื่อง sky scanner ทั้ง sky dome จำนวน 145 จุด ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.4 โดยติดตั้งเครื่องวัด ณ สถานีตรวจอากาศชั้นบน ศูนย์อู่ศูนย์มหาวิทยาลัยภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ ผู้วิจัยจึงได้ทำการวัดและบันทึกข้อมูล sky luminance ต่อไป โดยติดตั้งโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่อง sky scanner ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยตั้งเวลาในการวัดทุกๆ 15 นาที โดยเริ่มวัด ตั้งแต่เวลา 6:00 น. ไปจนถึงเวลา 18:00 น. ต่อเนื่องกันทุกวัน เมื่อครบ 1 เดือน ผู้วิจัยจะทำการ load ข้อมูลจาก memory ของเครื่องคอมพิวเตอร์ ลงในแผ่น CD พร้อมกับการเก็บข้อมูลสำรองไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์นั้นด้วย (ตัวอย่างของข้อมูล sky luminance ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1)

ตารางที่ 3.1 แสดงตัวอย่างของค่าความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่างๆ ของท้องฟ้า
(sky luminance) ในหน่วย kcd/m^2 ซึ่งวัดได้จาก sky scanner
จากสถานีเชียงใหม่

Title	Sky Scanner MS-321LR Sky Luminance and Radiance distributions								
Date	10/6/2005								
Comment	Chiang Mai								
Longitude	+98 d 9.8 m								
Latitude	+18 d 7.8 m								
Timezone	UTC +7:00								
Unit	kcd/m^2	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$							
			1	2	3	4	5	...	145
L	6:00:00	6:04:34	0.30	0.25	0.26	0.28	0.16	...	0.28
L	6:15:00	6:19:34	0.70	0.77	0.90	1.02	0.75	...	0.46
L	6:30:00	6:34:34	1.17	1.32	1.39	1.77	1.60	...	0.58
L	6:45:00	6:49:34	1.78	1.75	1.85	2.53	2.39	...	0.74
L	7:00:00	7:04:34	2.08	1.83	1.86	1.74	1.82	...	1.23
L	7:15:00	7:19:34	2.41	2.44	2.26	2.05	1.44	...	3.05
L	7:30:00	7:34:35	3.23	3.19	2.78	2.77	2.09	...	5.59
L	7:45:00	7:49:35	3.50	3.52	3.44	3.57	3.65	...	3.81
L	8:00:00	8:04:35	3.40	2.93	2.60	2.75	2.39	...	3.86
L	8:15:00	8:19:34	3.45	3.13	2.68	2.94	2.58	...	9.7
L	8:30:00	8:34:34	3.21	2.82	2.24	2.77	2.57	...	6.06
L	8:45:00	8:49:34	4.5	4.18	3.42	3.57	3.31	...	8.92
L	9:00:00	9:04:34	4.6	3.94	3.93	3.89	3.2	...	11.22
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
L	17:00:00	17:04:34	2.28	2.76	3.7	3.69	2.62	...	3.72
L	17:15:00	17:19:34	1.67	1.94	1.46	1.37	1.12	...	2.43
L	17:30:00	17:34:34	0.54	0.78	0.66	0.82	0.97	...	1.82
L	17:45:00	17:49:34	1.13	1.08	0.76	0.66	0.57	...	2.14
L	18:00:00	18:04:34	0.49	0.51	0.59	0.65	0.63	...	1.69

3.1.2 การคำนวณดัชนีเมฆ (cloud index)

ในการบอกปริมาณของเมฆจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ผู้วิจัยจะใช้วิธีการเดียวกับที่ใช้ในการคำนวณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ด้วยข้อมูลดาวเทียมโดยวิธี Helioat (Cano et al., 1982) กล่าวคือจะใช้ดัชนีเมฆซึ่งมีความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์การสะท้อนของเมฆ และพื้นผิวโลก ดังสมการที่ 3.1

$$n = \frac{\rho - \rho_g}{\rho_c - \rho_g} \quad (3.1)$$

เมื่อ n = ค่าดัชนีเมฆ [-]

ρ = สัมประสิทธิ์การสะท้อนของเมฆและพื้นผิวโลกในสภาพท้องฟ้าทั่วไป [-]

ρ_g = สัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวโลก [-]

ρ_c = สัมประสิทธิ์การสะท้อนสูงสุดของเมฆ [-]

ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนต่างๆ ในสมการที่ 3.1 จะหมายถึงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ยังไม่ได้คำนวณแก้ไขค่า เนื่องจากการกระเจิงและการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ของบรรยากาศ จากสมการจะเห็นว่า กรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆค่า ρ จะเท่ากับ ρ_g ทำให้ค่า n เท่ากับ 0 และกรณีที่ pixel นั้นถูกปกคลุมด้วยเมฆทั้งหมด ค่า ρ จะเท่ากับค่า ρ_c ทำให้ค่า n เป็น 1 สำหรับกรณีที่ pixel นี้ถูกปกคลุมด้วยเมฆบางส่วน ค่า n จะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ดังนั้น n จึงเป็นดัชนีชี้บอกปริมาณเมฆซึ่งสามารถหาได้จากข้อมูลดาวเทียม ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะทำการคำนวณค่าดัชนีเมฆ (cloud index) จากค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนต่างๆ ดังนี้

3.1.2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวโลก (ρ_g)

ผู้วิจัยจะนำค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวโลกในแต่ละเดือน ของสถานีเชียงใหม่ ในปี 2005 และสถานีสงขลา ในปี 2006 มาประกอบการทำวิจัย โดยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวโลก (ρ_g) จะมีเพียงค่าเดียวในแต่ละเดือน ซึ่งสามารถหาได้โดยการนำค่าของ gray level ของ pixel ที่แทนพื้นที่เป้าหมายจากข้อมูลดาวเทียมที่เวลา 12.00 น. มาทำการเปรียบเทียบกัน และคัดเลือกเอาค่า gray level ต่ำสุดมาแปลงเป็นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวโลก (ρ_g) โดยตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวโลก (ρ_g) ของสถานีเชียงใหม่ และสงขลา แสดงไว้ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวโลก (ρ_g) ของสถานีเชียงใหม่ ในปี 2005 และสถานีสงขลา ในปี 2006

ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวโลก (ρ_g)		
เดือน	สถานีเชียงใหม่ ปี 2005	สถานีสงขลา ปี 2006
มกราคม	0.00774	0.11917
กุมภาพันธ์	0.09054	0.12444
มีนาคม	0.10696	0.11098
เมษายน	0.09569	0.10945
พฤษภาคม	0.09549	0.12137
มิถุนายน	0.13993	0.12132
กรกฎาคม	0.10198	0.13587
สิงหาคม	0.17728	0.11217
กันยายน	0.15993	0.13899
ตุลาคม	0.15785	0.13226
พฤศจิกายน	0.13464	0.14310
ธันวาคม	0.14441	0.14430

3.1.2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนสูงสุดของเมฆ (ρ_c)

ผู้วิจัยจะนำค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนสูงสุดของเมฆซึ่งจะกำหนดให้เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนสูงสุดของเมฆ (ρ_c) เท่ากับ 0.8 ซึ่งวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนสูงสุดของเมฆ (ρ_c) จะคล้ายกับการหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวโลก (ρ_g) โดยเปลี่ยนการหาค่า gray level ต่ำสุดมาเป็นการหาค่า gray level สูงสุดแทน

3.1.2.3 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนสูงสุดของเมฆ และพื้นผิวโลก (ρ)

ผู้วิจัยจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนสูงสุดของเมฆ และพื้นผิวโลก (ρ) ที่ได้จากการหาค่าทุกๆ ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 8:30 น.-16:30 น. มาใช้ประกอบการคำนวณเพื่อหาค่าดัชนีเมฆ (cloud index) ซึ่งตัวอย่างของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนสูงสุดของเมฆ และพื้นผิวโลก (ρ) แสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงตัวอย่างของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนสูงสุดของเมฆ และพื้นผิวโลก (ρ) ของสถานีเชียงใหม่ ปี 2005 และสถานีสงขลา ปี 2006

สัมประสิทธิ์การสะท้อนสูงสุดของเมฆ และพื้นผิวโลก (ρ) สถานีเชียงใหม่ ปี 2005									
วัน/เดือน/ปี	8:30	9:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30
1 มกราคม 2005	0.473	0.288	0.292	0.181	0.144	0.149	0.171	0.256	0.422
2 มกราคม 2005	0.349	0.266	0.206	0.178	0.162	0.158	0.195	0.275	0.471
3 มกราคม 2005	0.352	0.259	0.203	0.194	0.203	0.008	0.230	0.266	0.390
4 มกราคม 2005	0.291	0.225	0.182	0.165	0.143	0.146	0.216	0.255	0.484
5 มกราคม 2005	0.319	0.228	0.183	0.162	0.148	0.156	0.184	0.277	0.407
6 มกราคม 2005	0.303	0.233	0.187	0.164	0.150	0.149	0.165	0.246	0.406
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
29 ธันวาคม 2005	0.255	0.220	0.210	0.182	0.148	0.155	0.120	0.155	0.164
30 ธันวาคม 2005	0.342	0.221	0.202	0.157	0.148	0.155	0.120	0.106	0.171
31 ธันวาคม 2005	0.231	0.220	0.202	0.174	0.148	0.155	0.119	0.104	0.106

สัมประสิทธิ์การสะท้อนสูงสุดของเมฆ และพื้นผิวโลก (ρ) สถานีสงขลา ปี 2006									
วัน/เดือน/ปี	8:30	9:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30
1 มกราคม 2006	0.482	0.506	0.349	0.239	0.217	0.173	0.154	0.180	0.430
2 มกราคม 2006	0.381	0.401	0.397	0.317	0.273	0.267	0.270	0.250	0.526
3 มกราคม 2006	0.722	0.587	0.637	0.623	0.567	0.481	0.616	0.612	0.723
4 มกราคม 2006	0.642	0.554	0.480	0.323	0.252	0.291	0.157	0.194	0.311
5 มกราคม 2006	0.306	0.370	0.393	0.351	0.274	0.159	0.219	0.234	0.223
6 มกราคม 2006	0.644	0.430	0.402	0.382	0.393	0.475	0.534	0.279	0.276
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
29 ธันวาคม 2006	0.552	0.502	0.456	0.325	0.360	0.339	0.342	0.309	0.424
30 ธันวาคม 2006	0.351	0.389	0.322	0.439	0.316	0.210	0.248	0.357	0.291
31 ธันวาคม 2006	0.313	0.225	0.205	0.225	0.231	0.179	0.184	0.267	0.194

ข้อมูลดัชนีเมฆ (cloud index, n) ที่จะนำมาใช้ในการแบ่งสภาพท้องฟ้าสำหรับการพัฒนาแบบจำลองเพื่อการคำนวณความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า เป็นข้อมูลจากการคำนวณโดยอาศัยข้อมูลประกอบการหาค่าดัชนีเมฆ อันได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวโลก (ρ_g) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนสูงสุดของเมฆ (ρ_c) และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนสูงสุดของเมฆ และพื้นผิวโลก (ρ) โดยที่ข้อมูลดัชนีเมฆที่หาได้ในการทำวิจัยจะอยู่ในช่วงตั้งแต่เดือนมกราคม 2005 ถึงธันวาคม 2005 ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ ละติจูด 18.78°N ลองจิจูด 98.98°E เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการแบ่งสภาพท้องฟ้าสำหรับการสร้างแบบจำลองความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่างๆ ของท้องฟ้า และข้อมูลดัชนีเมฆที่อยู่ในช่วงตั้งแต่เดือนมกราคม 2006 ถึงธันวาคม 2007 ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา ละติจูด 7.2°N ลองจิจูด 100.6°E เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการแบ่งสภาพท้องฟ้าสำหรับการทดสอบแบบจำลองความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่างๆ ของท้องฟ้า ข้อมูลดัชนีเมฆทั้งหมดที่ได้เป็นข้อมูลราย 1 ชั่วโมง ที่เวลา 8:30, 9:30, 10:30, 11:30, 12:30, 13:30, 14:30, 15:30 และ 16:30 น. ผู้วิจัยจะนำค่าดัชนีเมฆ (cloud index, n) ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0-1 มาทำการแบ่งค่าออกเป็นช่วงๆ แล้วอาศัยค่ากึ่งกลางช่วงเป็นตัวบอกสภาพท้องฟ้าที่ค่า n ต่างๆ ดังนี้

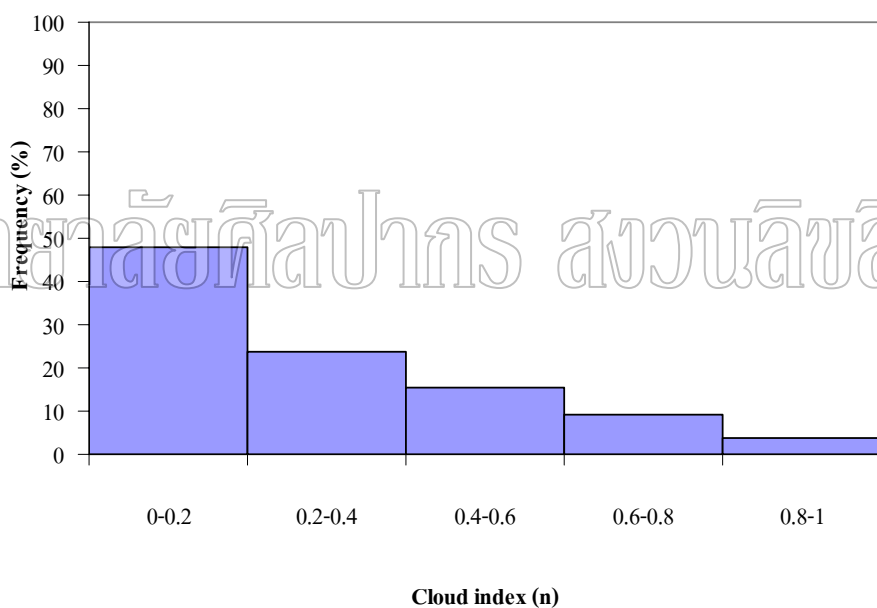
ช่วงที่ 1	แบ่งค่า n ที่ $0 \leq n < 0.2$	ค่า n ตัวแทน คือ $n = 0.1$
ช่วงที่ 2	แบ่งค่า n ที่ $0.2 \leq n \leq 0.4$	ค่า n ตัวแทน คือ $n = 0.3$
ช่วงที่ 3	แบ่งค่า n ที่ $0.4 < n \leq 0.6$	ค่า n ตัวแทน คือ $n = 0.5$
ช่วงที่ 4	แบ่งค่า n ที่ $0.6 < n \leq 0.8$	ค่า n ตัวแทน คือ $n = 0.7$
ช่วงที่ 5	แบ่งค่า n ที่ $0.8 < n \leq 1$	ค่า n ตัวแทน คือ $n = 0.9$

จากนั้นผู้วิจัยจะทำการจัดข้อมูลดัชนีเมฆ สำหรับนำเข้ากระบวนการสร้างแบบจำลอง โดยนำข้อมูลดัชนีเมฆ ดังกล่าว มาจัดเรียงให้ตรงกับวันและเวลาที่เครื่อง sky scanner ทำการวัดและบันทึกข้อมูลความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า ณ ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ โดยช่วงเวลาใน 1 วัน ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง จะเริ่มต้นตั้งแต่ 8:30 จนถึง 16:30 นาฬิกา ของทุกวันตลอดช่วงเดือน มกราคม – ธันวาคม 2005 ซึ่งตัวอย่างข้อมูลดัชนีเมฆ แสดงในตารางที่ 3.4

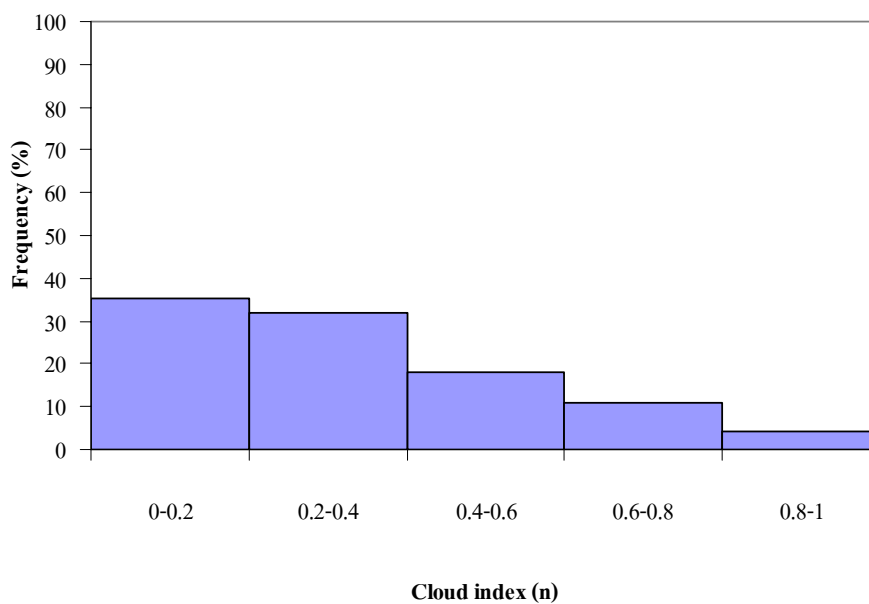
ตารางที่ 3.4 แสดงข้อมูลดัชนีเมฆ ของสถานีเชียงใหม่ ปี 2005 และสถานีสงขลา ปี 2006

ข้อมูลดัชนีเมฆ (cloud index, n) สถานีเชียงใหม่ ปี 2005									
วัน/เดือน/ปี	8:30	9:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30
1 มกราคม 2005	0.520	0.249	0.255	0.092	0.039	0.046	0.078	0.203	0.446
2 มกราคม 2005	0.339	0.217	0.130	0.089	0.065	0.059	0.113	0.230	0.518
3 มกราคม 2005	0.344	0.207	0.125	0.112	0.124	-	0.164	0.217	0.399
4 มกราคม 2005	0.253	0.156	0.094	0.069	0.037	0.041	0.144	0.201	0.537
5 มกราคม 2005	0.295	0.161	0.096	0.064	0.045	0.056	0.097	0.233	0.423
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
28 ธันวาคม 2005	0.298	0.146	0.099	0.063	0.006	0.017	0.033	0.001	0.044
29 ธันวาคม 2005	0.168	0.116	0.099	0.057	0.006	0.016	-	0.017	-
30 ธันวาคม 2005	0.301	0.116	0.088	0.019	0.005	0.016	-	-	0.040
31 ธันวาคม 2005	0.132	0.115	0.087	0.045	0.005	0.016	-	-	-
ข้อมูลดัชนีเมฆ (cloud index, n) สถานีสงขลา ปี 2006									
วัน/เดือน/ปี	8:30	9:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30
1 มกราคม 2006	0.532	0.569	0.338	0.176	0.144	0.079	0.051	0.089	0.456
2 มกราคม 2006	0.384	0.414	0.407	0.290	0.225	0.217	0.221	0.191	0.597
3 มกราคม 2006	0.886	0.687	0.761	0.740	0.658	0.532	0.730	0.724	0.887
4 มกราคม 2006	0.767	0.639	0.530	0.299	0.195	0.253	0.056	0.110	0.282
5 มกราคม 2006	0.274	0.368	0.401	0.340	0.227	0.058	0.147	0.169	0.153
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
28 ธันวาคม 2006	0.629	0.645	0.545	0.433	0.319	0.341	0.257	0.269	0.228
29 ธันวาคม 2006	0.622	0.545	0.475	0.275	0.328	0.297	0.302	0.252	0.427
30 ธันวาคม 2006	0.315	0.373	0.271	0.450	0.262	0.100	0.158	0.325	0.223
31 ธันวาคม 2006	0.258	0.123	0.093	0.123	0.133	0.052	0.061	0.187	0.075

เนื่องจากท้องฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดแสงสว่างธรรมชาติ ซึ่งสามารถนำมาใช้ให้แสงสว่างในอาคารได้ โดยแสงสว่างจากส่วนต่างๆ ของท้องฟ้าจะแปรตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ตำแหน่งบนท้องฟ้า และสภาพท้องฟ้าเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นในขั้นตอนแรกผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาลักษณะทางสถิติของข้อมูลดัชนีเมฆที่สถานีเชียงใหม่ และสถานีสงขลา เพื่อให้ทราบถึงลักษณะโดยทั่วไปของสภาพท้องฟ้าในบริเวณที่จะทำการสร้างแบบจำลองและทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองสำหรับคำนวณความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า ผู้วิจัยจึงได้นำข้อมูลดัชนีเมฆจากสถานีเชียงใหม่ และสถานีสงขลา มาทำการวิเคราะห์ทางสถิติ แล้วสร้างกราฟความสัมพันธ์ขึ้นเพื่อแสดงการแจกแจงสภาพท้องฟ้าได้เป็น 5 แบบ ในรูปของค่า Cloud index (n) ดังแสดงในกราฟรูปที่ 3.6-3.7



รูปที่ 3.6 แสดงการแจกแจงความถี่ของข้อมูลดัชนีเมฆ ของสถานีเชียงใหม่ ปี 2005



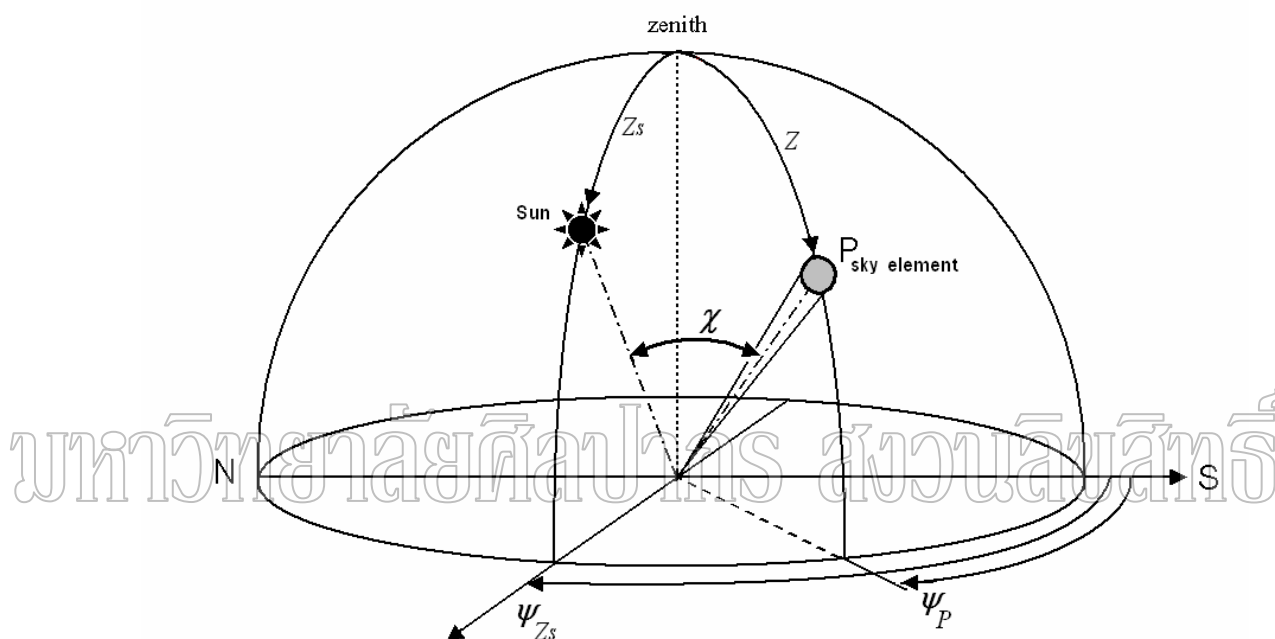
รูปที่ 3.7 แสดงการแจกแจงความถี่ของข้อมูลดัชนีเมฆ ของสถานีสงขลา ปี 2006

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

3.2 การสร้างแบบจำลองสำหรับคำนวณความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่างๆ ของท้องฟ้า

เมื่อเทียบกับความเข้มแสงสว่างจากกลางท้องฟ้า (relative sky luminance)

แบบจำลองที่จะพัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ เป็นแบบจำลองเชิงสถิติ (statistical model) ซึ่งตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่าในสภาพท้องฟ้าแบบหนึ่ง ความเข้มของแสงสว่างที่มาจากตำแหน่งใดๆ บนท้องฟ้าจะขึ้นอยู่กับมุมเซนธิซ (Z) ของจุด ๆ นั้น มุมเซนธิซของดวงอาทิตย์ (Z_s) และระยะห่างเชิงมุมระหว่างจุดๆ นั้นกับดวงอาทิตย์ (χ) ซึ่งแสดงได้ดังแผนภูมิในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และตำแหน่งของท้องฟ้าที่จะหาความเข้มแสงสว่างตามแบบจำลองที่จะพัฒนาขึ้น โดย Z เป็นมุมเซนธิซของจุดที่พิจารณา Z_s เป็นมุมเซนธิซของดวงอาทิตย์ χ เป็นมุมระหว่างจุดบนท้องฟ้าที่พิจารณากับตำแหน่งดวงอาทิตย์ ψ_P เป็นมุมอาซิมุทของจุดที่พิจารณา และ ψ_{Z_s} เป็นมุมอาซิมุทของดวงอาทิตย์

ในการหาแบบจำลองซึ่งจะใช้คำนวณความเข้มแสงสว่างจากตำแหน่งใด ๆ บนท้องฟ้า ผู้วิจัยจะใช้สมมติฐานเดียวกับของ Kittler (1967) กล่าวคือการกระจายของค่าความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า เมื่อเทียบกับค่าความเข้มแสงสว่างที่มาจากท้องฟ้า ณ ตำแหน่งเซนธิซ หรือแสงสว่างจากกลางท้องฟ้า (zenith luminance) โดยสามารถเขียนแยกเป็นผลคูณของ 2 ฟังก์ชันได้ดังนี้

$$\frac{L}{L_z} = \frac{\varphi(Z)}{\varphi(0)} \cdot \frac{f(\chi)}{f(Z_s)} \quad (3.2)$$

เมื่อ L = ความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ บนท้องฟ้า [kcd/m^2]

L_z = ความเข้มแสงสว่าง ณ ตำแหน่งกลางท้องฟ้า (zenith luminance) [kcd/m^2]

$\frac{\varphi(Z)}{\varphi(0)}$ = Gradation function , ฟังก์ชันซึ่งแสดงอิทธิพลของตำแหน่งของจุดบนท้องฟ้า

ที่จะหาความเข้มแสงสว่าง

$\frac{f(\chi)}{f(Z_s)}$ = Indicatrice function, ฟังก์ชันซึ่งแสดงอิทธิพลของระยะเชิงมุมระหว่าง

ตำแหน่งของจุดบนท้องฟ้ากับตำแหน่งของดวงอาทิตย์

Z = มุมเซนธิรของตำแหน่งบนท้องฟ้า ที่ตำแหน่งที่พิจารณา [เรเดียน]

Z_s = มุมเซนธิรของตำแหน่งดวงอาทิตย์ [เรเดียน]

χ = ระยะเชิงมุมระหว่างตำแหน่งของท้องฟ้ากับตำแหน่งดวงอาทิตย์ [เรเดียน]

มหาวิทยาลัยศิลปากร สาขาอนุรักษ์วัฒนธรรม

ในการหา L/L_z ผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อหา $\frac{\varphi(Z)}{\varphi(0)}$ กับ $\frac{f(\chi)}{f(Z_s)}$ แยกกันทีละ

ฟังก์ชัน ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 การกำหนดพื้นที่เป้าหมายที่ใช้พัฒนาและทดสอบแบบจำลอง

ในการสร้างและทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง ผู้วิจัยจะกำหนดพื้นที่เป้าหมายของข้อมูลดัชนีเมฆ ที่เวลาต่างๆ ที่ตรงกับข้อมูลที่ได้จากการวัดจากสถานีวัดภาคพื้นดิน ซึ่งมีพิภคตามตารางที่ 3.5

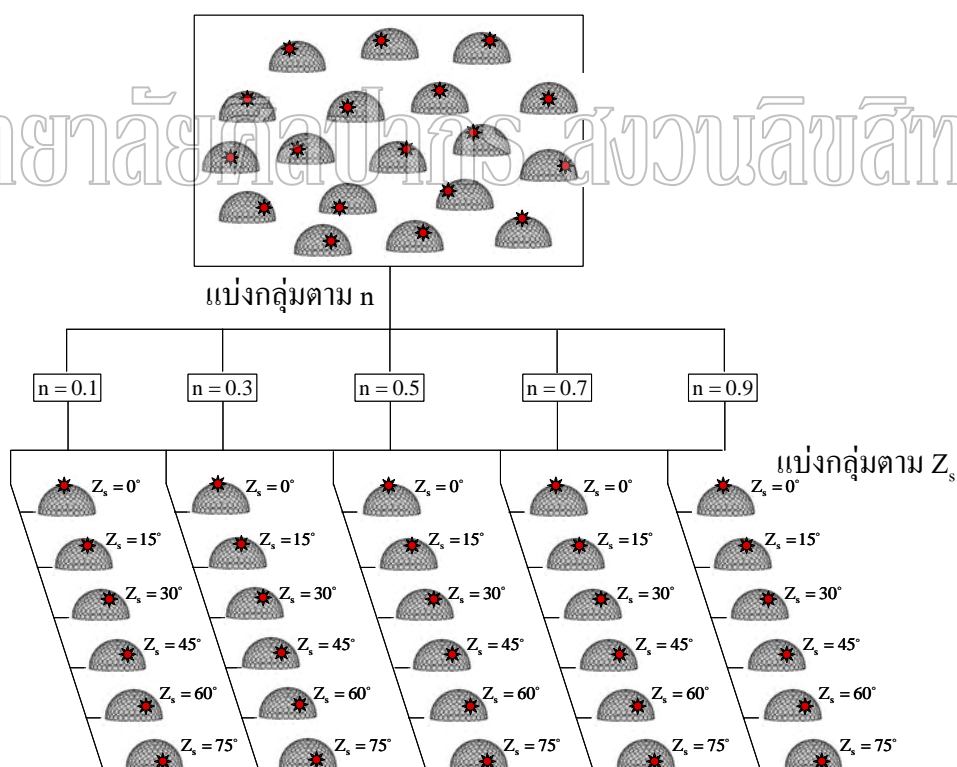
ตารางที่ 3.5 แสดงพิภคของพื้นที่เป้าหมาย

สถานี	ละติจูด (องศาเหนือ)	ลองจิจูด (องศาตะวันออก)	วัตถุประสงค์
1. เชียงใหม่	18.78333	98.98333	สร้างแบบจำลอง
2. สงขลา	7.200000	100.60000	ทดสอบแบบจำลอง

3.2.2 การจัดกลุ่มข้อมูล

ในการจัดกลุ่มข้อมูล ผู้วิจัยจะนำข้อมูลความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า (sky luminance) และข้อมูลดัชนีเมฆ (cloud index, n) ซึ่งอยู่ในช่วงเวลาเดียวกัน (มกราคม 2005 – ธันวาคม 2005) มาแบ่งกลุ่มตามค่า n ออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ $n=0.1$, $n=0.3$, $n=0.5$, $n=0.7$ และ $n=0.9$ โดยที่ค่า n ในแต่ละช่วงจะเป็นตัวบอกรูปภาพท้องฟ้าตั้งแต่สภาพท้องฟ้าแจ่มใส (clear sky) ไปจนถึงสภาพท้องฟ้าปกคลุมด้วยเมฆทั้งหมด (overcast sky) จากการแบ่งกลุ่มดังกล่าว จะทำให้ได้กลุ่มของข้อมูลความเข้มของแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้าตามสภาพท้องฟ้า 5 กลุ่ม จากนั้นจะนำข้อมูลแต่ละกลุ่มมาแบ่งกลุ่มย่อยตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ซึ่งบอกด้วยมุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ โดยแบ่งออกเป็นกลุ่มของข้อมูลที่ดวงอาทิตย์มีตำแหน่งอยู่ในช่วง 0° - 10° , 10° - 20° , 20° - 40° , 40° - 50° , 50° - 70° และ 70° - 80° ซึ่งการจัดกลุ่ม ดังกล่าวสรุปได้ดังแผนภูมิ ในรูปที่ 3.9

ข้อมูล sky luminance ทั้งหมด



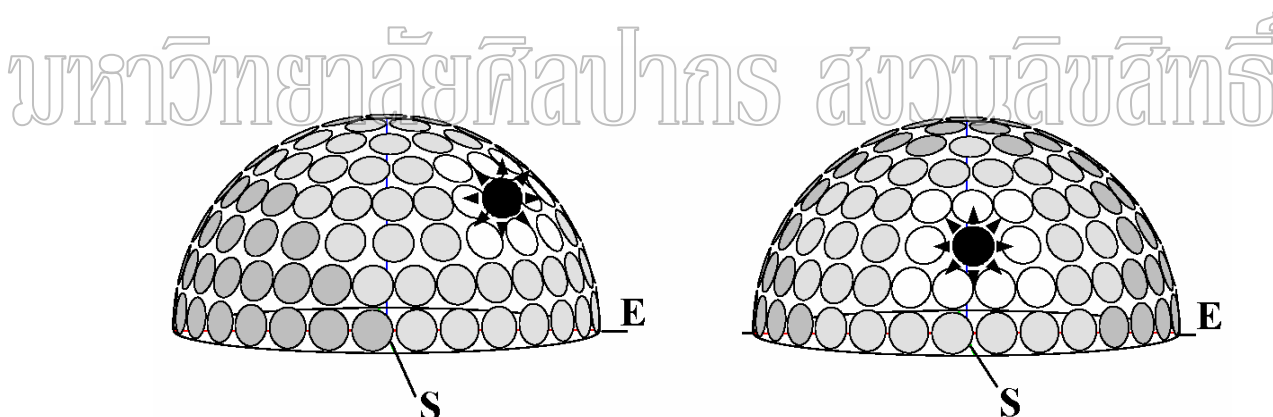
รูปที่ 3.9 แสดงการจัดกลุ่มข้อมูลความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า (sky luminance) ตามสภาพท้องฟ้าซึ่งบอกด้วยค่า cloud index (n) และตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่บอกด้วยมุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ (Z_s) (ค่า Z_s เป็นค่ากึ่งกลางช่วง เช่น $Z_s = 15^\circ$ หมายถึงข้อมูลที่ Z_s อยู่ในช่วง $Z_s = 10^\circ$ ถึง $Z_s = 20^\circ$)

3.2.3 การหาค่าเฉลี่ยความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า (sky luminance)

เนื่องจากแบบจำลองที่จะพัฒนาขึ้นนี้มีได้ใช้สำหรับคำนวณความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้าขณะเวลาใดเวลาหนึ่ง หากแต่เป็นค่าความเข้มแสงเฉลี่ยระยะยาว ดังนั้นข้อมูลที่จะนำมาใช้สร้างแบบจำลองจึงต้องเป็นข้อมูลเฉลี่ย ในกระบวนการหาค่าเฉลี่ยไม่สามารถหาได้โดยตรง ทั้งนี้เพราะที่กลุ่มข้อมูลที่ n ค่าหนึ่งและ Z_s ค่าหนึ่ง ดวงอาทิตย์อาจอยู่ที่ตำแหน่งต่าง ๆ กันที่รอบ ๆ จุดเซนธิช ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการแก้ปัญหา โดยทำการหมุนชุดข้อมูลเพื่อให้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์มาอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันและจากนั้นจึงทำการเฉลี่ยค่าแบบเซลล์ต่อเซลล์ ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.3.1 การหมุนชุดข้อมูล

ผู้วิจัยจะทำการหมุนข้อมูลความเข้มแสงสว่างซึ่งได้จากเครื่อง sky scanner ทุกเซลล์บน sky dome ให้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ไปอยู่ที่มุมอาซิมุทเดียวกัน ซึ่งในที่นี้จะเลือกที่ตำแหน่งมุมอาซิมุทเท่ากับ 0° หรืออยู่ในแนวจากศูนย์กลางไปยังทิศใต้ (ดังรูปที่ 3.10)



รูปที่ 3.10 แผนภูมิแสดงการหมุนเซลล์ข้อมูลความเข้มแสงสว่างให้ดวงอาทิตย์ไปอยู่ทางทิศใต้

3.2.3.2 การเฉลี่ยข้อมูล

หลังจากทำการหมุนชุดข้อมูลความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้าไปทางทิศใต้เรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยจึงทำการเฉลี่ยข้อมูลความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้าแบบเซลล์ต่อเซลล์ ในกลุ่มของชุดข้อมูลค่า cloud index (n) ในค่าเดียวกัน และมุมเซนธิชของดวงอาทิตย์ที่กลุ่มเดียวกัน ทำให้ได้เป็นค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้าจำนวน 145 เซลล์ ต่อ 1 sky dome ที่ค่า Cloud index (n) และ Z_s หนึ่งชุด ดังแสดงรูปที่ 3.11

DATE	$Z_s = 0^\circ$	$Z_s = 15^\circ$	$Z_s = 30^\circ$	$Z_s = 75^\circ$
1 JAN 2005				
2 JAN 2005				
3 JAN 2005				
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
31 DEC 2005				
AVERAGE				

รูปที่ 3.11 แสดงตัวอย่างการเฉลี่ยข้อมูลความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่างๆ ของท้องฟ้าแบบเซลล์ต่อเซลล์ กรณี $n = 0.1$

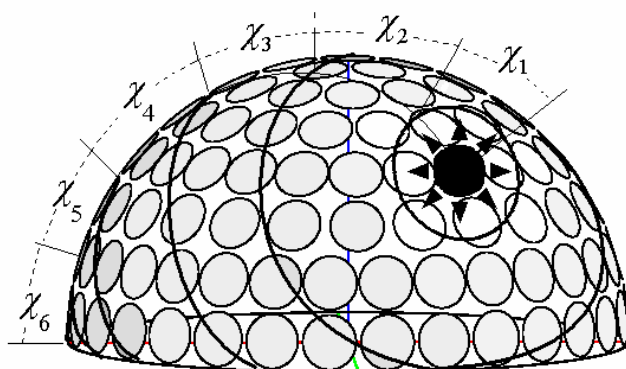
3.2.4 การแบ่งข้อมูลเพื่อใช้แยกฟังก์ชัน φ ออกจาก f

ถึงแม้ว่าค่า L/L_z ในสมการ 3.1 จะขึ้นกับ φ และ f แต่จากการจัดแบ่งข้อมูลที่เหมาะสม เราสามารถหาค่า L/L_z ซึ่งขึ้นกับ φ หรือ f อย่างเดียวได้ ซึ่งในที่นี้จะดำเนินการโดยการนำข้อมูลความเข้มแสงสว่างที่ทำการเฉลี่ยแล้วมาจัดแบ่งเป็นโซน (zone) โดยกรณีที่ต้องการนำข้อมูลไปใช้หาฟังก์ชัน φ จะแบ่งข้อมูลเป็นโซนตามค่ามุมเซนธิค (Z) และสำหรับการนำข้อมูลไปใช้หาฟังก์ชัน f จะจัดแบ่งโซนตามค่าระยะเชิงมุมระหว่างตำแหน่งบนท้องฟ้ากับดวงอาทิตย์ (χ)

3.2.4.1 การแบ่งโซนของเซลล์ข้อมูลเพื่อใช้แยกฟังก์ชัน φ ออกจาก f

จากขั้นตอนในหัวข้อที่แล้วเราจะใช้ชุดของข้อมูลซึ่งเป็นค่า sky luminance ที่ประกอบกันเป็น sky dome 145 เซลล์ โดยแยกเป็น sky dome ที่ค่า n ตั้งแต่ $n = 0.1$, $n = 0.3$, $n = 0.5$, $n = 0.7$, $n = 0.9$ และ Z_s เท่ากับ 0° , 15° , 30° , 45° , 60° และ 75° หรือมีชุดข้อมูล sky

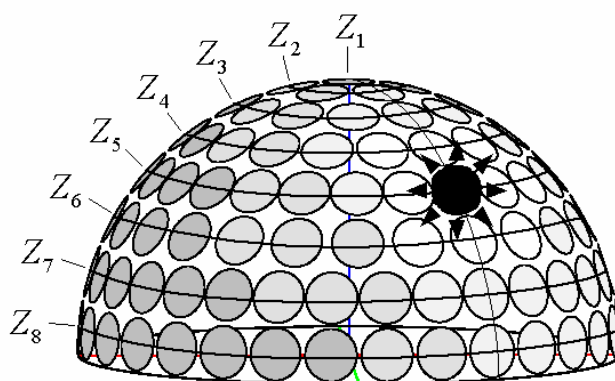
luminance ทั้งหมด 30 sky dome โดยในการหา φ จะแยกข้อมูล sky luminance ใน sky dome ตามค่า χ ที่องศาต่าง ๆ แต่เนื่องจากเซลล์ของข้อมูลที่ค่า χ คงที่ มิได้เรียงต่อกันเป็นระเบียบ และอาจผ่านช่องว่างในแนว Z ก็ได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้แบ่งช่วงของค่า χ ออกเป็นช่วง ๆ จำนวน 6 ช่วง ได้แก่ $0^\circ - 30^\circ$, $30^\circ - 60^\circ$, $60^\circ - 90^\circ$, $90^\circ - 120^\circ$, $120^\circ - 150^\circ$ และ $150^\circ - 180^\circ$ ดังตัวอย่างในรูป และจะใช้ค่าระหว่างกลางช่วงเป็นตัวแทนค่า χ ของช่วงนั้น



รูปที่ 3.12 แสดงตัวอย่างของการแบ่งค่า χ ออกเป็นช่วง ๆ ในกรณีของ $Z_s = 30^\circ$, $n = 0.1$

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

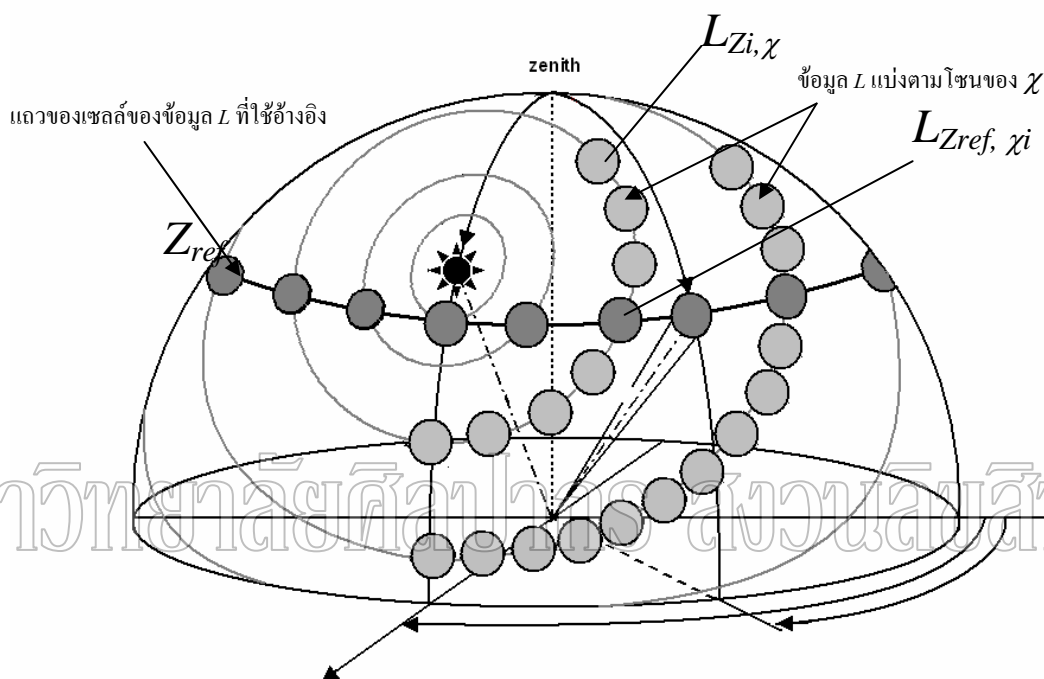
เนื่องจากเซลล์ของข้อมูลในแนว Z จะอยู่ตามค่าของแนว Z ที่แน่นอน ดังนั้น กรณีของการหา f ผู้วิจัยจะทำการแบ่งโซนของข้อมูลตามแนวที่ Z คงที่ค่าต่าง ๆ ออกเป็น 8 ค่า ได้แก่ 0° , 12° , 24° , 36° , 48° , 60° , 72° และ 84° ตามแนวการสแกนของเครื่องวัด หรือแสดงได้ดังตัวอย่างในรูป



รูปที่ 3.13 แสดงตัวอย่างของการแบ่งโซนของข้อมูลตามแนว Z คงที่ค่าต่าง ๆ ในกรณีของ $Z_s = 30^\circ$, $n = 0.1$

3.2.4.2 การเตรียมข้อมูลสำหรับหาฟังก์ชัน $\frac{\varphi(Z)}{\varphi(0)}$

หลังจากที่แบ่งโซนข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยจะเตรียมข้อมูลเป็นตารางสำหรับนำไปใช้หาค่า $\frac{\varphi(Z)}{\varphi(0)}$ โดยการกำหนดค่า sky luminance ของเซลล์อ้างอิง ซึ่งจะเป็นเซลล์อยู่ที่จุดตัดของโซนที่แบ่งตาม Z และแบ่งตาม χ ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การแบ่งข้อมูลความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่างๆ ของท้องฟ้า (L) ออกเป็นโซนตามช่วงของมุม χ และการกำหนดตำแหน่งของเซลล์อ้างอิงตามแนว Z (Z_{ref}) เพื่อเอาค่าของ L ตามโซนของ χ ไปหารด้วย $L(Z_{ref})$ สำหรับกำจัด f

เนื่องจากข้อมูลตามโซนของ χ ที่ Z คงที่ค่าหนึ่ง อาจมีข้อมูลได้หลายเซลล์ ดังนั้นจึงต้องทำการเฉลี่ยข้อมูลในเซลล์เหล่านั้น แล้วใช้เป็นตัวแทนเพื่อเขียนค่าลงในตารางทั้งกรณีของเซลล์ข้อมูลทั่วไปและเซลล์ข้อมูลอ้างอิง ดังตัวอย่างของกรณี $n = n_1$ และ $Z_s = Z_{s1}$ แสดงในตารางที่ 3.6

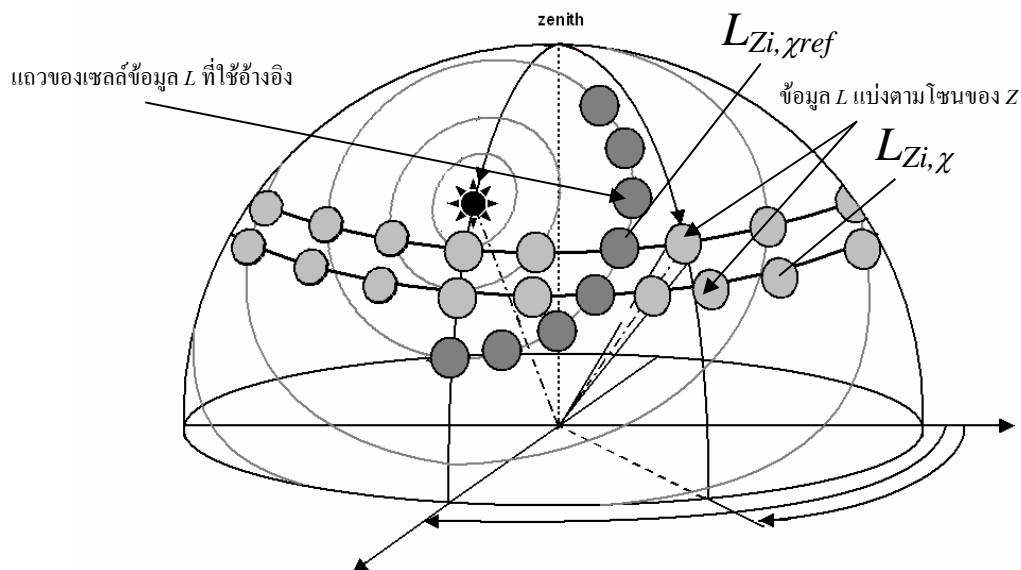
ตารางที่ 3.6 แสดงตัวอย่างการจัดข้อมูลความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า (L) ที่ค่า χ คงที่ เท่ากับ χ_1 ถึง χ_6 โดยแต่ละ χ จะมีค่า Z แปรค่าจาก Z_1 ถึง Z_8 ทั้งนี้เพื่อใช้หา $\frac{\varphi(Z)}{\varphi(0)}$ โดย L_{ref} เป็นความเข้มแสงสว่างบนท้องฟ้าที่ตำแหน่งอ้างอิง Z_{ref}
ชุดข้อมูลดังกล่าวเป็นกลุ่มข้อมูลของกรณี $n = n_1$ และ $Z_s = Z_{s1}$

χ	ข้อมูลความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า (L)							
	$Z=Z_1$	$Z=Z_2$	$Z=Z_3$	$Z=Z_{\text{ref}}$	$Z=Z_5$	$Z=Z_6$	$Z=Z_7$	$Z=Z_8$
$\chi=\chi_1$	$L_{1,1}$	$L_{2,1}$	$L_{3,1}$	$L_{\text{ref},1}$	$L_{5,1}$	$L_{6,1}$	$L_{7,1}$	$L_{8,1}$
$\chi=\chi_2$	$L_{1,2}$	$L_{2,2}$	$L_{3,2}$	$L_{\text{ref},2}$	$L_{5,2}$	$L_{6,2}$	$L_{7,2}$	$L_{8,2}$
$\chi=\chi_3$	$L_{1,3}$	$L_{2,3}$	$L_{3,3}$	$L_{\text{ref},3}$	$L_{5,3}$	$L_{6,3}$	$L_{7,3}$	$L_{8,3}$
$\chi=\chi_4$	$L_{1,4}$	$L_{2,4}$	$L_{3,4}$	$L_{\text{ref},4}$	$L_{5,4}$	$L_{6,4}$	$L_{7,4}$	$L_{8,4}$
$\chi=\chi_5$	$L_{1,5}$	$L_{2,5}$	$L_{3,5}$	$L_{\text{ref},5}$	$L_{5,5}$	$L_{6,5}$	$L_{7,5}$	$L_{8,5}$
$\chi=\chi_6$	$L_{1,6}$	$L_{2,6}$	$L_{3,6}$	$L_{\text{ref},6}$	$L_{5,6}$	$L_{6,6}$	$L_{7,6}$	$L_{8,6}$

3.2.4.3 การเตรียมข้อมูลสำหรับหาฟังก์ชัน $\frac{f(\chi)}{f(Z_s)}$

กรณีของข้อมูลสำหรับหา $\frac{f(\chi)}{f(Z_s)}$ ผู้วิจัยจะกำหนดเซลล์อ้างอิง

เช่นเดียวกับกรณีของฟังก์ชัน $\frac{\varphi(Z)}{\varphi(0)}$ ดังแสดงในรูปที่ 3.15 หลังจากนั้นจะนำข้อมูลที่แบ่งเป็นโซน
แล้วมาเขียนลงตาราง ดังตัวอย่างในตารางที่ 3.7 ซึ่งเป็นของกรณี $n = n_1$ และ $Z_s = Z_{s1}$ สำหรับ
รายละเอียดของข้อมูลที่เป็นตัวเลขจะแสดงไว้ในภาคผนวก



รูปที่ 3.15 การแบ่งข้อมูลความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้าออกเป็นโซนมุม Z และการกำหนดตำแหน่งของเซลล์ อ้างอิงตามแนว χ เพื่อเอาค่าของ L ตามโซนของ Z ไปหาร $L(Z_i, \chi_{ref})$ สำหรับกำจัด φ

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 3.7 แสดงข้อมูลความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า (L) ที่ค่า Z คงที่ เท่ากับ

Z_1 ถึง Z_8 โดยแต่ละ Z จะมีค่า χ ที่แปรค่าจาก χ_1 ไปถึง χ_6 ทั้งนี้เพื่อใช้สำหรับ

วิเคราะห์หา $\frac{f(\chi)}{f(Z_s)}$ โดยข้อมูลในตารางเป็นชุดข้อมูลของกรณี $n = n_1$

และ $Z_s = Z_{s1}$

Z	ข้อมูลความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า (L)					
	$\chi = \chi_1$	$\chi = \chi_{ref}$	$\chi = \chi_3$	$\chi = \chi_4$	$\chi = \chi_5$	$\chi = \chi_6$
$Z = Z_1$	$L_{1,1}$	$L_{1,ref}$	$L_{1,3}$	$L_{1,4}$	$L_{1,5}$	$L_{1,6}$
$Z = Z_2$	$L_{2,1}$	$L_{2,ref}$	$L_{2,3}$	$L_{2,4}$	$L_{2,5}$	$L_{2,6}$
$Z = Z_3$	$L_{3,1}$	$L_{3,ref}$	$L_{3,3}$	$L_{3,4}$	$L_{3,5}$	$L_{3,6}$
$Z = Z_4$	$L_{4,1}$	$L_{4,ref}$	$L_{4,3}$	$L_{4,4}$	$L_{4,5}$	$L_{4,6}$
$Z = Z_5$	$L_{5,1}$	$L_{5,ref}$	$L_{5,3}$	$L_{5,4}$	$L_{5,5}$	$L_{5,6}$
$Z = Z_6$	$L_{6,1}$	$L_{6,ref}$	$L_{6,3}$	$L_{6,4}$	$L_{6,5}$	$L_{6,6}$
$Z = Z_7$	$L_{7,1}$	$L_{7,ref}$	$L_{7,3}$	$L_{7,4}$	$L_{7,5}$	$L_{7,6}$

3.2.4.4 การวิเคราะห์หาฟังก์ชัน $\frac{\varphi(Z)}{\varphi(0)}$

ผู้วิจัยจะนำตาราง 3.6 ของข้อมูลสำหรับค่าของ $\frac{\varphi(Z)}{\varphi(0)}$ มากำหนดค่าอ้างอิงแล้วนำค่าความเข้มแสงสว่างในตารางไปแทนในแบบจำลองตามสมการที่ (3.2) ที่มีค่า Z ต่าง ๆ ยกตัวอย่าง เช่น กรณีตารางข้อมูลที่ $n = 0.1$, $Z_s = Z_{s1}$ และ $\chi = \chi_1$ จะได้ผลดังนี้

ที่ $\chi = \chi_1$, $Z = Z_1$

$$\frac{L_{1,1}}{L_Z} = \frac{\varphi(Z_1)}{\varphi(0)} \cdot \frac{f(\chi_1)}{f(Z_{s1})} \quad (3.3)$$

ที่ $\chi = \chi_1$, $Z = Z_2$

$$\frac{L_{2,1}}{L_Z} = \frac{\varphi(Z_2)}{\varphi(0)} \cdot \frac{f(\chi_1)}{f(Z_{s1})} \quad (3.4)$$

ที่ $\chi = \chi_1$, $Z = Z_3$

$$\frac{L_{3,1}}{L_Z} = \frac{\varphi(Z_3)}{\varphi(0)} \cdot \frac{f(\chi_1)}{f(Z_{s1})} \quad (3.5)$$

ที่ $\chi = \chi_1$, $Z = Z_{ref}$

$$\frac{L_{ref,1}}{L_Z} = \frac{\varphi(Z_{ref})}{\varphi(0)} \cdot \frac{f(\chi_1)}{f(Z_{s1})} \quad (3.6)$$

ที่ $\chi = \chi_1$, $Z = Z_5$

$$\frac{L_{5,1}}{L_Z} = \frac{\varphi(Z_5)}{\varphi(0)} \cdot \frac{f(\chi_1)}{f(Z_{s1})} \quad (3.7)$$

ที่ $\chi = \chi_1$, $Z = Z_6$

$$\frac{L_{6,1}}{L_Z} = \frac{\varphi(Z_6)}{\varphi(0)} \cdot \frac{f(\chi_1)}{f(Z_{s1})} \quad (3.8)$$

ที่ $\chi = \chi_1, Z = Z_7$

$$\frac{L_{7,1}}{L_Z} = \frac{\varphi(Z_7)}{\varphi(0)} \cdot \frac{f(\chi_1)}{f(Z_{s1})} \quad (3.9)$$

ที่ $\chi = \chi_1, Z = Z_8$

$$\frac{L_{8,1}}{L_Z} = \frac{\varphi(Z_8)}{\varphi(0)} \cdot \frac{f(\chi_1)}{f(Z_{s1})} \quad (3.10)$$

จากสมการที่ (3.3) ถึง (3.10) จะเห็นว่าเทอมที่ 2 ของด้านขวามือ จะมีค่าเท่ากันหมดคือเท่ากับ $f(\chi_1)/f(Z_{s1})$ ดังนั้นถ้านำสมการ (3.3) ถึง (3.10) ทหารด้วยสมการ (3.6) จะสามารถกำจัดฟังก์ชัน f ออกไปได้ และจะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง L กับ Z ดังสมการ

$$\frac{L_{1,1}}{L_{\text{ref},1}} = \frac{\varphi(Z_1)}{\varphi(Z_{\text{ref}})} \quad (3.11)$$

$$\frac{L_{2,1}}{L_{\text{ref},1}} = \frac{\varphi(Z_2)}{\varphi(Z_{\text{ref}})} \quad (3.12)$$

$$\frac{L_{3,1}}{L_{\text{ref},1}} = \frac{\varphi(Z_3)}{\varphi(Z_{\text{ref}})} \quad (3.13)$$

$$\frac{L_{\text{ref},1}}{L_{\text{ref},1}} = \frac{\varphi(Z_{\text{ref}})}{\varphi(Z_{\text{ref}})} \quad (3.14)$$

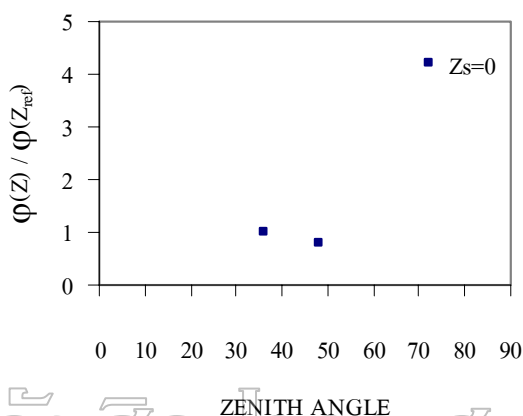
$$\frac{L_{5,1}}{L_{\text{ref},1}} = \frac{\varphi(Z_5)}{\varphi(Z_{\text{ref}})} \quad (3.15)$$

$$\frac{L_{6,1}}{L_{\text{ref},1}} = \frac{\varphi(Z_6)}{\varphi(Z_{\text{ref}})} \quad (3.16)$$

$$\frac{L_{7,1}}{L_{\text{ref},1}} = \frac{\varphi(Z_7)}{\varphi(Z_{\text{ref}})} \quad (3.17)$$

$$\frac{L_{8,1}}{L_{ref,1}} = \frac{\varphi(Z_8)}{\varphi(Z_{ref})} \quad (3.18)$$

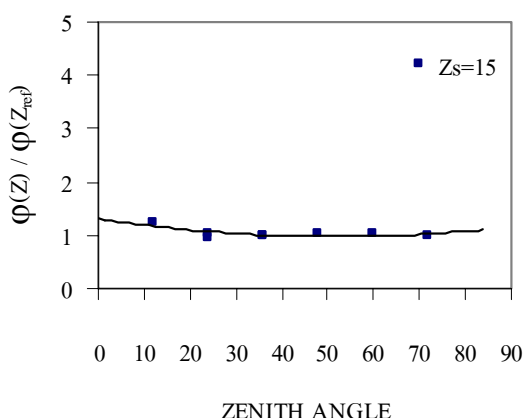
เนื่องจากค่า $L_{1,1}/L_{ref}$ จนถึง $L_{8,1}/L_{ref}$ สามารถหาได้จากตารางข้อมูล ดังนั้น เราจึงสามารถหาค่า $\varphi(Z_1)/\varphi(Z_{ref})$, ..., $\varphi(Z_8)/\varphi(Z_{ref})$ ได้ จากนั้นผู้วิจัยจะดำเนินการแบบเดียวกันกับชุดข้อมูลที่ χ_2 จนถึง χ_6 และ Z_{s2} จนถึง Z_{s7} หลังจากนั้นจะนำค่า $\varphi(Z_1)/\varphi(Z_{ref})$ จนถึงค่า $\varphi(Z_8)/\varphi(Z_{ref})$ ไปเขียนกราฟกับ Z ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.16-3.45



รูปที่ 3.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\varphi(Z)/\varphi(Z_{ref})$ กับ Z ที่มุมเซนนิชของ

ดวงอาทิตย์ $Z_s = 0^\circ$ และ $n = 0.1$ โดยที่ Z เป็นค่ามุมเซนนิชของจุดบน

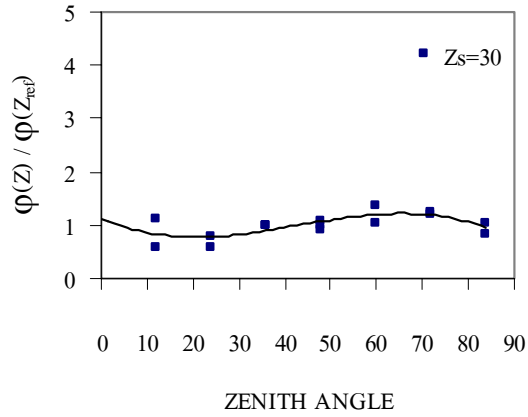
ท้องฟ้าและ Z_{ref} เป็นค่ามุมเซนนิชอ้างอิง



รูปที่ 3.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\varphi(Z)/\varphi(Z_{ref})$ กับ Z ที่มุมเซนนิชของ

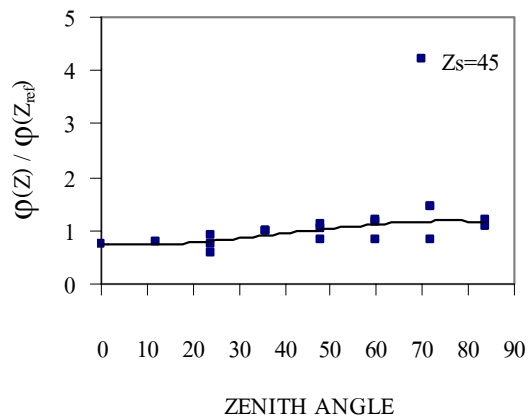
ดวงอาทิตย์ $Z_s = 15^\circ$ และ $n = 0.1$ โดยที่ Z เป็นค่ามุมเซนนิชของจุดบน

ท้องฟ้าและ Z_{ref} เป็นค่ามุมเซนนิชอ้างอิง

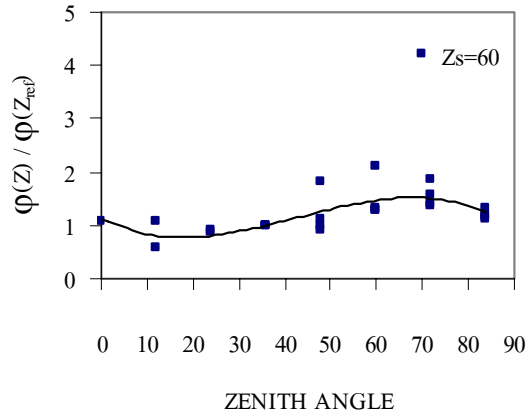


รูปที่ 3.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z)/\phi(Z_{ref})$ กับ Z ที่มุมเซนิตของดวงอาทิตย์ $Z_s = 30^\circ$ และ $n = 0.1$ โดยที่ Z เป็นค่ามุมเซนิตของจุดบนท้องฟ้าและ Z_{ref} เป็นค่ามุมเซนิตอ้างอิง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

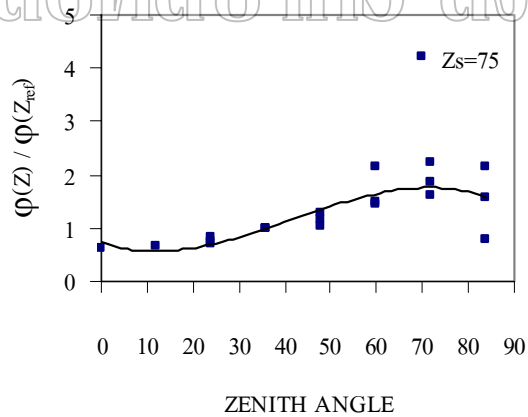


รูปที่ 3.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z)/\phi(Z_{ref})$ กับ Z ที่มุมเซนิตของดวงอาทิตย์ $Z_s = 45^\circ$ และ $n = 0.1$ โดยที่ Z เป็นค่ามุมเซนิตของจุดบนท้องฟ้าและ Z_{ref} เป็นค่ามุมเซนิตอ้างอิง

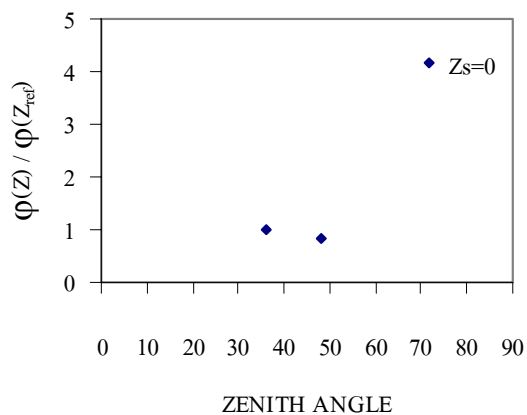


รูปที่ 3.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\varphi(Z) / \varphi(Z_{ref})$ กับ Z ที่มุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ $Z_s = 60^\circ$ และ $n = 0.1$ โดยที่ Z เป็นค่ามุมเซนนิธของจุดบนท้องฟ้าและ Z_{ref} เป็นค่ามุมเซนนิธอ้างอิง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

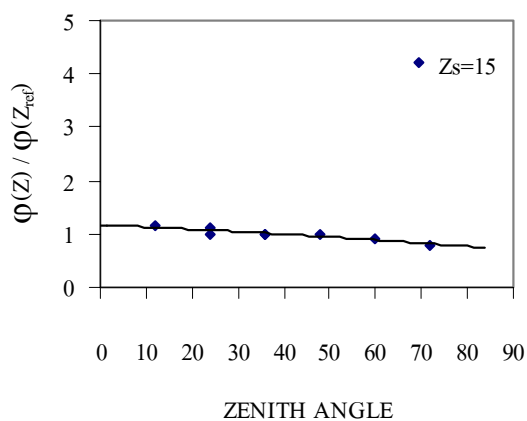


รูปที่ 3.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\varphi(Z) / \varphi(Z_{ref})$ กับ Z ที่มุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ $Z_s = 75^\circ$ และ $n = 0.1$ โดยที่ Z เป็นค่ามุมเซนนิธของจุดบนท้องฟ้าและ Z_{ref} เป็นค่ามุมเซนนิธอ้างอิง

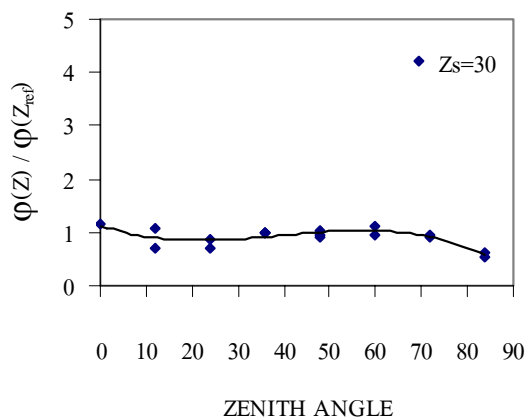


รูปที่ 3.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z)/\phi(Z_{ref})$ กับ Z ที่มุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ $Z_s = 0^\circ$ และ $n = 0.3$ โดยที่ Z เป็นค่ามุมเซนนิธของจุดบนท้องฟ้าและ Z_{ref} เป็นค่ามุมเซนนิธอ้างอิง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

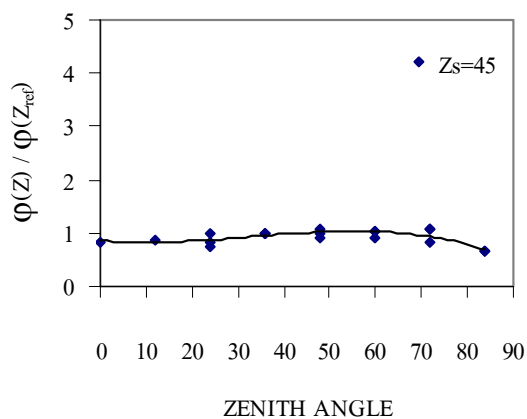


รูปที่ 3.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z)/\phi(Z_{ref})$ กับ Z ที่มุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ $Z_s = 15^\circ$ และ $n = 0.3$ โดยที่ Z เป็นค่ามุมเซนนิธของจุดบนท้องฟ้าและ Z_{ref} เป็นค่ามุมเซนนิธอ้างอิง

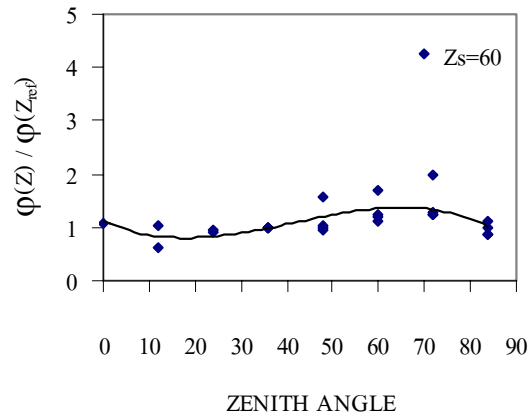


รูปที่ 3.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z)/\phi(Z_{ref})$ กับ Z ที่มุมเซนนิทของดวงอาทิตย์ $Z_s = 30^\circ$ และ $n = 0.3$ โดยที่ Z เป็นค่ามุมเซนนิทของจุดบนท้องฟ้าและ Z_{ref} เป็นค่ามุมเซนนิทอ้างอิง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

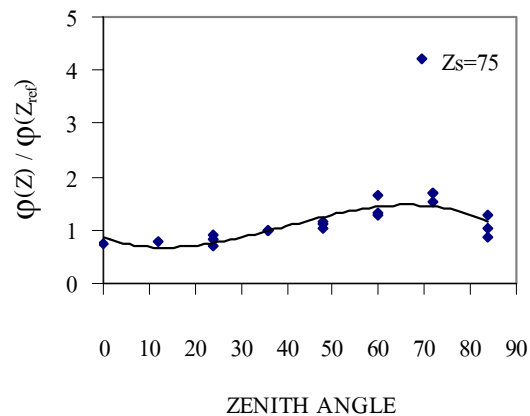


รูปที่ 3.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z)/\phi(Z_{ref})$ กับ Z ที่มุมเซนนิทของดวงอาทิตย์ $Z_s = 45^\circ$ และ $n = 0.3$ โดยที่ Z เป็นค่ามุมเซนนิทของจุดบนท้องฟ้าและ Z_{ref} เป็นค่ามุมเซนนิทอ้างอิง

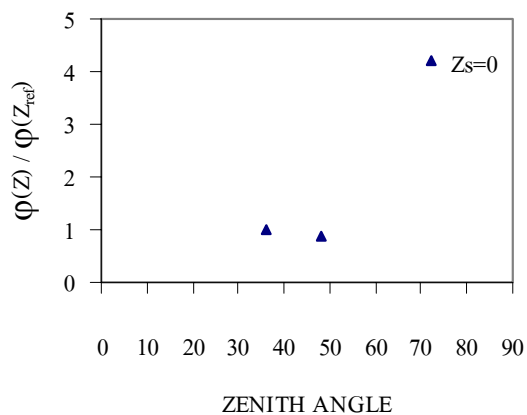


รูปที่ 3.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\varphi(Z)/\varphi(Z_{ref})$ กับ Z ที่มุมเซนนิธของ
 ดวงอาทิตย์ $Z_s = 60^\circ$ และ $n = 0.3$ โดยที่ Z เป็นค่ามุมเซนนิธของจุดบน
 ท้องฟ้าและ Z_{ref} เป็นค่ามุมเซนนิธอ้างอิง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

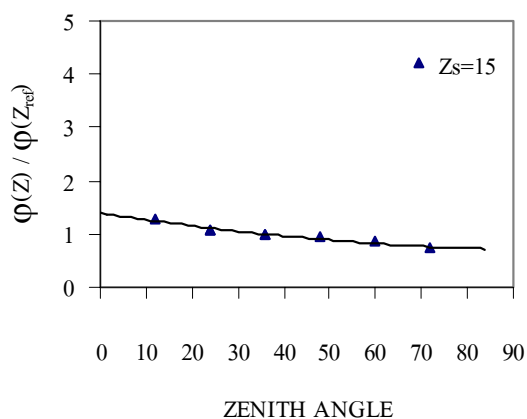


รูปที่ 3.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\varphi(Z)/\varphi(Z_{ref})$ กับ Z ที่มุมเซนนิธของ
 ดวงอาทิตย์ $Z_s = 75^\circ$ และ $n = 0.3$ โดยที่ Z เป็นค่ามุมเซนนิธของจุดบน
 ท้องฟ้าและ Z_{ref} เป็นค่ามุมเซนนิธอ้างอิง

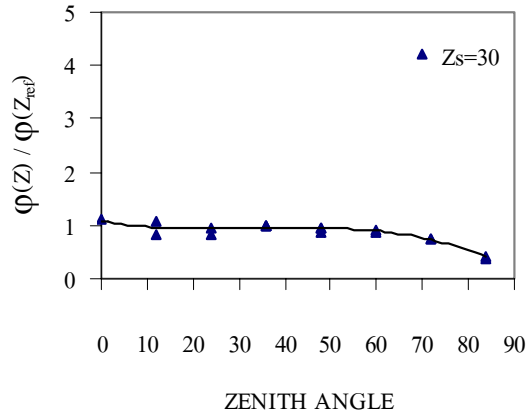


รูปที่ 3.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z)/\phi(Z_{ref})$ กับ Z ที่มุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ $Z_s=0^\circ$ และ $n=0.5$ โดยที่ Z เป็นค่ามุมเซนนิธของจุดบนท้องฟ้าและ Z_{ref} เป็นค่ามุมเซนนิธอ้างอิง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

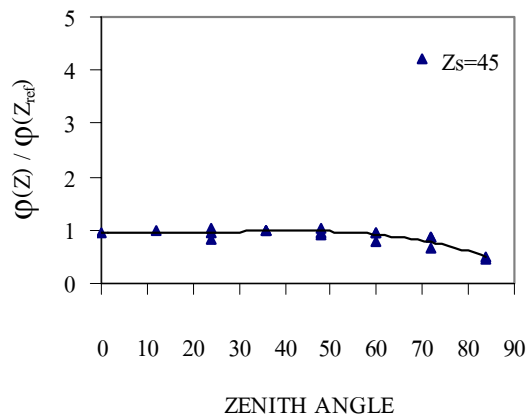


รูปที่ 3.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z)/\phi(Z_{ref})$ กับ Z ที่มุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ $Z_s=15^\circ$ และ $n=0.5$ โดยที่ Z เป็นค่ามุมเซนนิธของจุดบนท้องฟ้าและ Z_{ref} เป็นค่ามุมเซนนิธอ้างอิง

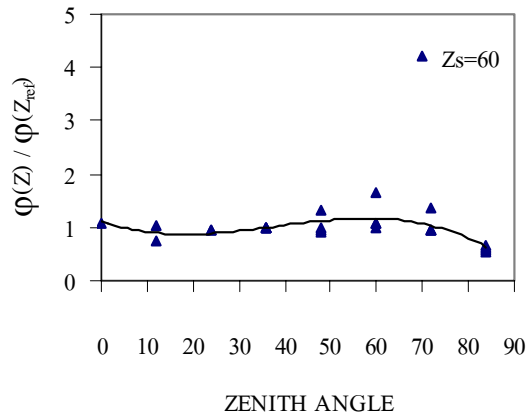


รูปที่ 3.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z)/\phi(Z_{ref})$ กับ Z ที่มุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ $Z_s = 30^\circ$ และ $n = 0.5$ โดยที่ Z เป็นค่ามุมเซนนิธของจุดบนท้องฟ้าและ Z_{ref} เป็นค่ามุมเซนนิธอ้างอิง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

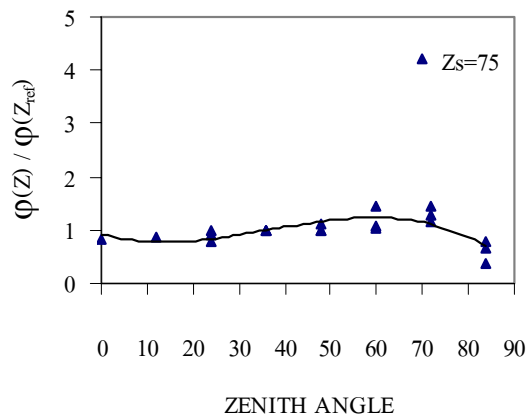


รูปที่ 3.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z)/\phi(Z_{ref})$ กับ Z ที่มุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ $Z_s = 45^\circ$ และ $n = 0.5$ โดยที่ Z เป็นค่ามุมเซนนิธของจุดบนท้องฟ้าและ Z_{ref} เป็นค่ามุมเซนนิธอ้างอิง

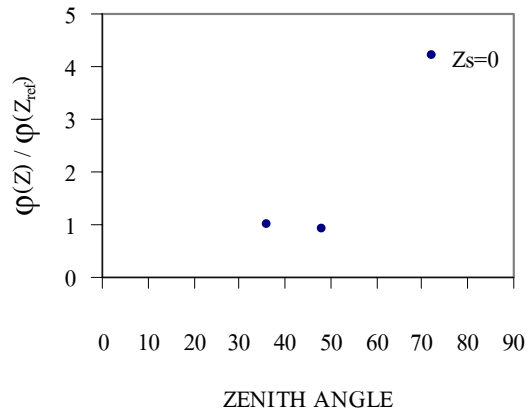


รูปที่ 3.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z)/\phi(Z_{ref})$ กับ Z ที่มุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ $Z_s = 60^\circ$ และ $n = 0.5$ โดยที่ Z เป็นค่ามุมเซนนิธของจุดบนท้องฟ้าและ Z_{ref} เป็นค่ามุมเซนนิธอ้างอิง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

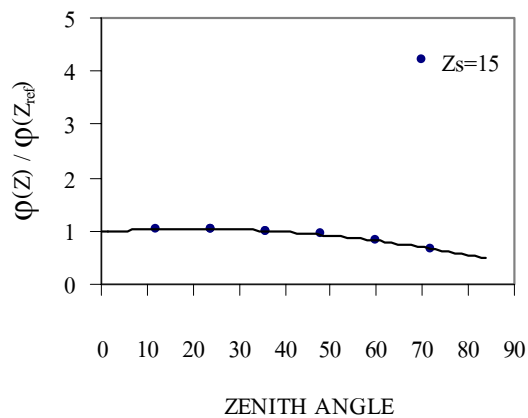


รูปที่ 3.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z)/\phi(Z_{ref})$ กับ Z ที่มุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ $Z_s = 75^\circ$ และ 0.5 โดยที่ Z เป็นค่ามุมเซนนิธของจุดบนท้องฟ้าและ Z_{ref} เป็นค่ามุมเซนนิธอ้างอิง

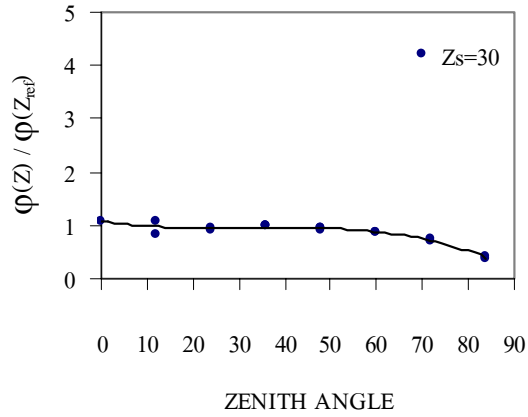


รูปที่ 3.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z)/\phi(Z_{ref})$ กับ Z ที่มุมเซนิตของดวงอาทิตย์ $Z_s=0^\circ$ และ $n = 0.7$ โดยที่ Z เป็นค่ามุมเซนิตของจุดบนท้องฟ้าและ Z_{ref} เป็นค่ามุมเซนิตอ้างอิง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

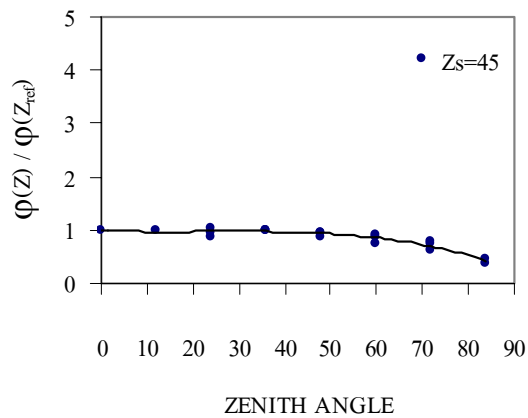


รูปที่ 3.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z)/\phi(Z_{ref})$ กับ Z ที่มุมเซนิตของดวงอาทิตย์ $Z_s=15^\circ$ และ $n = 0.7$ โดยที่ Z เป็นค่ามุมเซนิตของจุดบนท้องฟ้าและ Z_{ref} เป็นค่ามุมเซนิตอ้างอิง

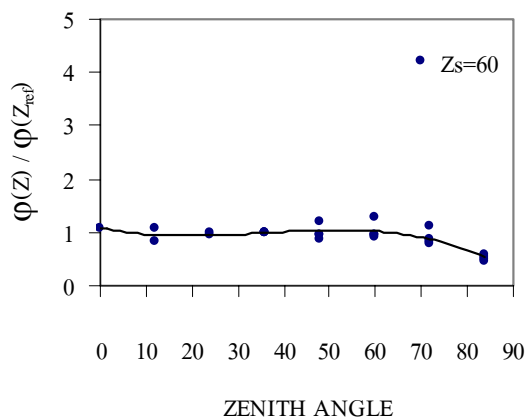


รูปที่ 3.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z)/\phi(Z_{ref})$ กับ Z ที่มุมเซนนิซของ
ดวงอาทิตย์ $Z_s = 30^\circ$ และ $n = 0.7$ โดยที่ Z เป็นค่ามุมเซนนิซของจุดบน
ท้องฟ้าและ Z_{ref} เป็นค่ามุมเซนนิซอ้างอิง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

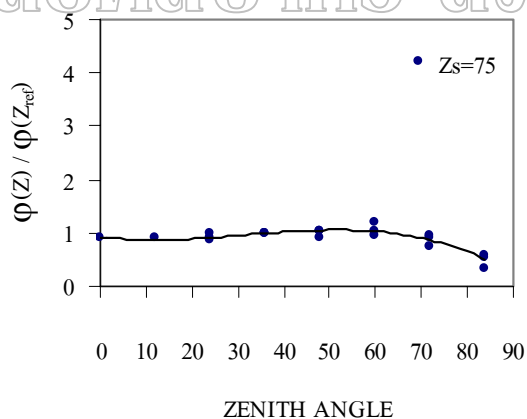


รูปที่ 3.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z)/\phi(Z_{ref})$ กับ Z ที่มุมเซนนิซของ
ดวงอาทิตย์ $Z_s = 45^\circ$ และ $n = 0.7$ โดยที่ Z เป็นค่ามุมเซนนิซของจุดบน
ท้องฟ้าและ Z_{ref} เป็นค่ามุมเซนนิซอ้างอิง

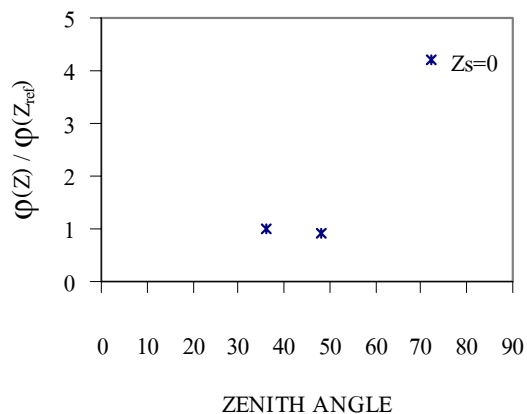


รูปที่ 3.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z)/\phi(Z_{ref})$ กับ Z ที่มุมเซนิตของดวงอาทิตย์ $Z_s = 60^\circ$ และ $n = 0.7$ โดยที่ Z เป็นค่ามุมเซนิตของจุดบนท้องฟ้าและ Z_{ref} เป็นค่ามุมเซนิตอ้างอิง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

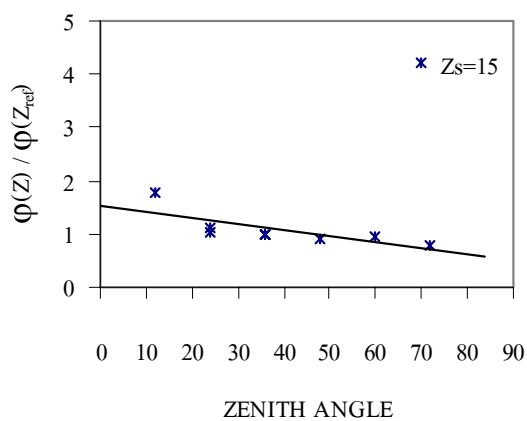


รูปที่ 3.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z)/\phi(Z_{ref})$ กับ Z ที่มุมเซนิตของดวงอาทิตย์ $Z_s = 75^\circ$ และ $n = 0.7$ โดยที่ Z เป็นค่ามุมเซนิตของจุดบนท้องฟ้าและ Z_{ref} เป็นค่ามุมเซนิตอ้างอิง

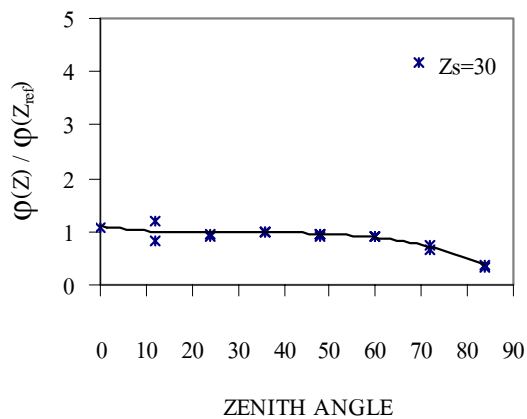


รูปที่ 3.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z)/\phi(Z_{ref})$ กับ Z ที่มุมเซนิตของดวงอาทิตย์ $Z_s = 0^\circ$ และ $n = 0.9$ โดยที่ Z เป็นค่ามุมเซนิตของจุดบนท้องฟ้าและ Z_{ref} เป็นค่ามุมเซนิตอ้างอิง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

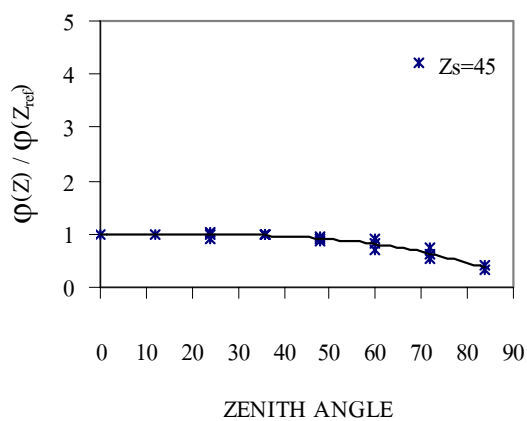


รูปที่ 3.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z)/\phi(Z_{ref})$ กับ Z ที่มุมเซนิตของดวงอาทิตย์ $Z_s = 15^\circ$ และ $n = 0.9$ โดยที่ Z เป็นค่ามุมเซนิตของจุดบนท้องฟ้าและ Z_{ref} เป็นค่ามุมเซนิตอ้างอิง

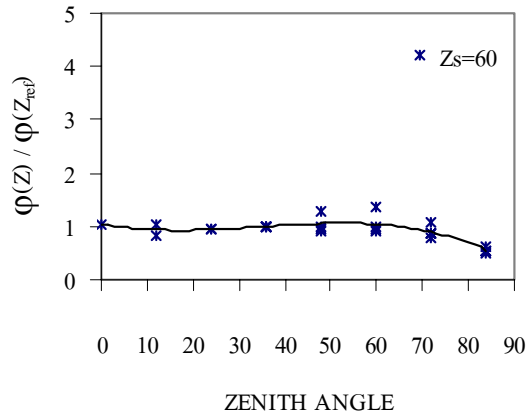


รูปที่ 3.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z)/\phi(Z_{ref})$ กับ Z ที่มุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ $Z_s = 30^\circ$ และ $n = 0.9$ โดยที่ Z เป็นค่ามุมเซนนิธของจุดบนท้องฟ้าและ Z_{ref} เป็นค่ามุมเซนนิธอ้างอิง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

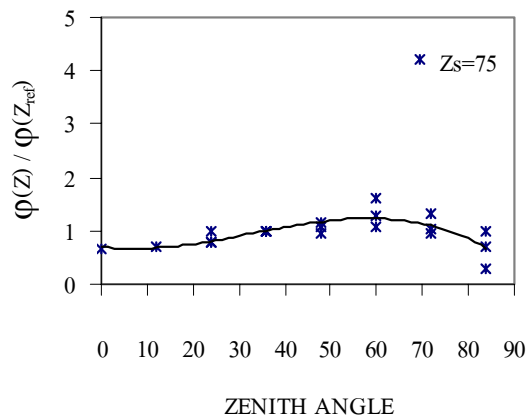


รูปที่ 3.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z)/\phi(Z_{ref})$ กับ Z ที่มุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ $Z_s = 45^\circ$ และ $n = 0.9$ โดยที่ Z เป็นค่ามุมเซนนิธของจุดบนท้องฟ้าและ Z_{ref} เป็นค่ามุมเซนนิธอ้างอิง



รูปที่ 3.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z)/\phi(Z_{ref})$ กับ Z ที่มุมเซนิตของดวงอาทิตย์ $Z_s = 60^\circ$ และ $n = 0.9$ โดยที่ Z เป็นค่ามุมเซนิตของจุดบนท้องฟ้าและ Z_{ref} เป็นค่ามุมเซนิตอ้างอิง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 3.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z)/\phi(Z_{ref})$ กับ Z ที่มุมเซนิตของดวงอาทิตย์ $Z_s = 75^\circ$ และ $n = 0.9$ โดยที่ Z เป็นค่ามุมเซนิตของจุดบนท้องฟ้าและ Z_{ref} เป็นค่ามุมเซนิตอ้างอิง

จากกราฟจะเห็นว่า $\varphi(Z)/\varphi(Z_{\text{ref}})$ ไม่ขึ้นกับ χ ซึ่งเป็นไปตามที่คาดหมายไว้ แต่ยังคงขึ้นอยู่กับ Z_s ทั้งนี้เพราะตำแหน่งของดวงอาทิตย์ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ sky luminance ตามมุมเซนนิทของจุด (Z)

จากกราฟรูปที่ 3.16-3.45 ผู้วิจัยจะทำการฟิตเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง $\varphi(Z)/\varphi(Z_{\text{ref}})$ กับ Z จากนั้นจะใช้จุดตัดแกนตั้ง ซึ่งเท่ากับ $\varphi(0)/\varphi(Z_{\text{ref}})$ มาใช้แปลงข้อมูล $\varphi(Z)/\varphi(Z_{\text{ref}})$ ให้อยู่ในรูปของ $\varphi(Z)/\varphi(0)$ โดยการใช้ค่าจุดตัดแกนดังกล่าวไป normalize กราฟเส้นเดิม ตามวิธีการดังต่อไปนี้

$$\frac{\varphi(Z_1)}{\varphi(0)} = \frac{\varphi(Z_1)}{\varphi(Z_{\text{ref}})} \cdot \frac{\varphi(Z_{\text{ref}})}{\varphi(0)} \quad (3.19)$$

$$\frac{\varphi(Z_2)}{\varphi(0)} = \frac{\varphi(Z_2)}{\varphi(Z_{\text{ref}})} \cdot \frac{\varphi(Z_{\text{ref}})}{\varphi(0)} \quad (3.20)$$

$$\frac{\varphi(Z_3)}{\varphi(0)} = \frac{\varphi(Z_3)}{\varphi(Z_{\text{ref}})} \cdot \frac{\varphi(Z_{\text{ref}})}{\varphi(0)} \quad (3.21)$$

$$\frac{\varphi(Z_4)}{\varphi(0)} = \frac{\varphi(Z_4)}{\varphi(Z_{\text{ref}})} \cdot \frac{\varphi(Z_{\text{ref}})}{\varphi(0)} \quad (3.22)$$

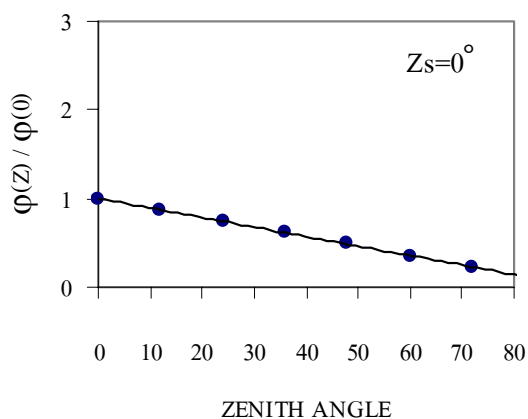
$$\frac{\varphi(Z_5)}{\varphi(0)} = \frac{\varphi(Z_5)}{\varphi(Z_{\text{ref}})} \cdot \frac{\varphi(Z_{\text{ref}})}{\varphi(0)} \quad (3.23)$$

$$\frac{\varphi(Z_6)}{\varphi(0)} = \frac{\varphi(Z_6)}{\varphi(Z_{\text{ref}})} \cdot \frac{\varphi(Z_{\text{ref}})}{\varphi(0)} \quad (3.24)$$

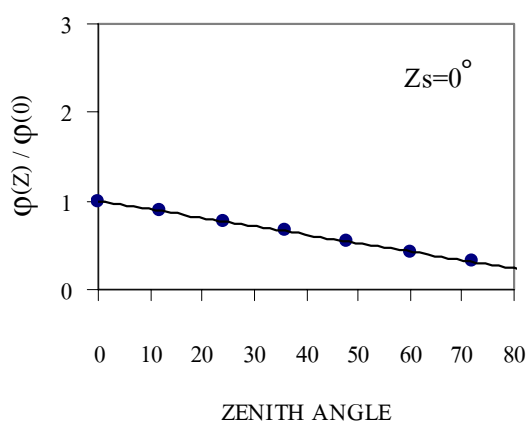
$$\frac{\varphi(Z_7)}{\varphi(0)} = \frac{\varphi(Z_7)}{\varphi(Z_{\text{ref}})} \cdot \frac{\varphi(Z_{\text{ref}})}{\varphi(0)} \quad (3.25)$$

$$\frac{\varphi(Z_8)}{\varphi(0)} = \frac{\varphi(Z_8)}{\varphi(Z_{\text{ref}})} \cdot \frac{\varphi(Z_{\text{ref}})}{\varphi(0)} \quad (3.26)$$

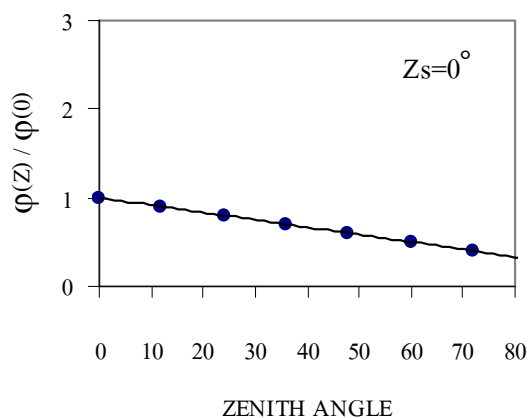
โดยผลการ normalize กราฟเส้นเดิม ตามวิธีการดังกล่าวมาแล้ว ซึ่งผลที่ได้ตั้งแต่
กรณี $Z_s = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ จนถึง 75° จะแสดงไว้ในกราฟรูปที่ 3.46-3.80 โดย 5 รูป
สุดท้ายเป็นรูปแสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้ทั้งหมดที่กรณี n ค่าต่าง ๆ



รูปที่ 3.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\varphi(Z_1)/\varphi(0)$ กับค่ามุมเซนนิธ Z ที่มุมของ
ดวงอาทิตย์ $Z_s = 0^\circ$ และค่า $n = 0.1$

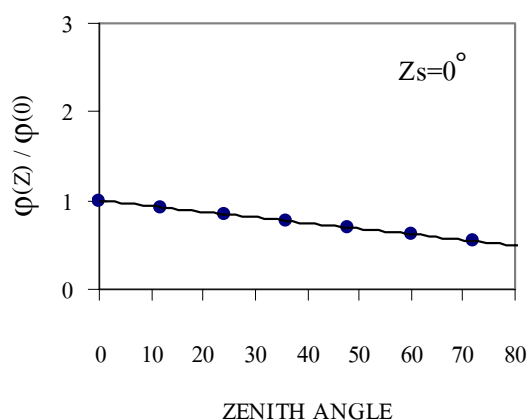


รูปที่ 3.47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\varphi(Z_1)/\varphi(0)$ กับค่ามุมเซนนิธ Z ที่มุมของ
ดวงอาทิตย์ $Z_s = 0^\circ$ และค่า $n = 0.3$

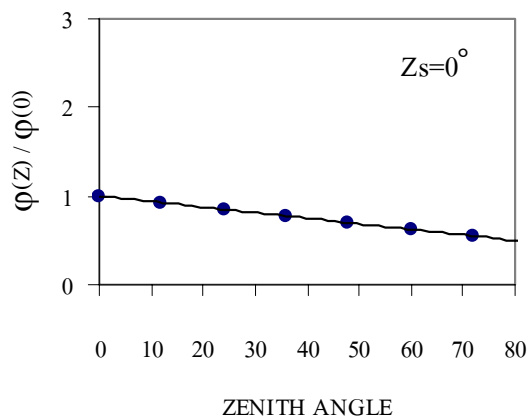


รูปที่ 3.48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z_1)/\phi(0)$ กับค่ามุมเซนนิธ Z ที่มุมของ
ดวงอาทิตย์ $Z_s = 0^\circ$ และค่า $n = 0.5$

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

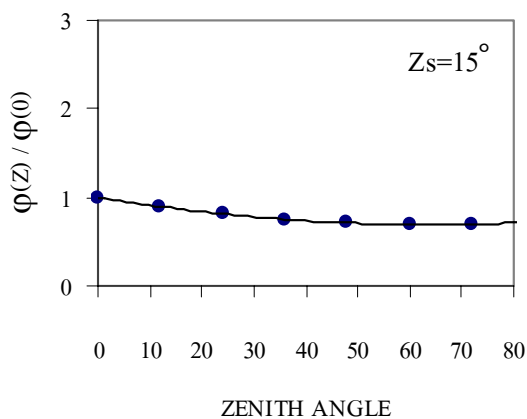


รูปที่ 3.49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z_1)/\phi(0)$ กับค่ามุมเซนนิธ Z ที่มุมของ
ดวงอาทิตย์ $Z_s = 0^\circ$ และค่า $n = 0.7$

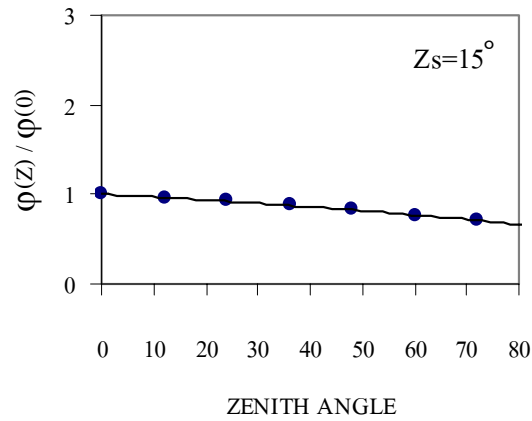


รูปที่ 3.50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z_1)/\phi(0)$ กับค่ามุมเซนนิธ Z ที่มุมของดวงอาทิตย์ $Z_s = 0^\circ$ และค่า $n = 0.9$

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

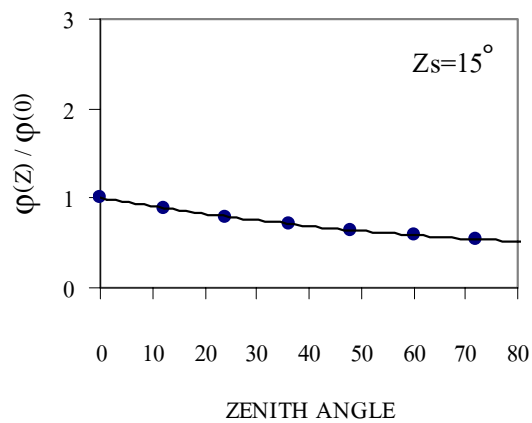


รูปที่ 3.51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z_1)/\phi(0)$ กับค่ามุมเซนนิธ Z ที่มุมของดวงอาทิตย์ $Z_s = 15^\circ$ และค่า $n = 0.1$

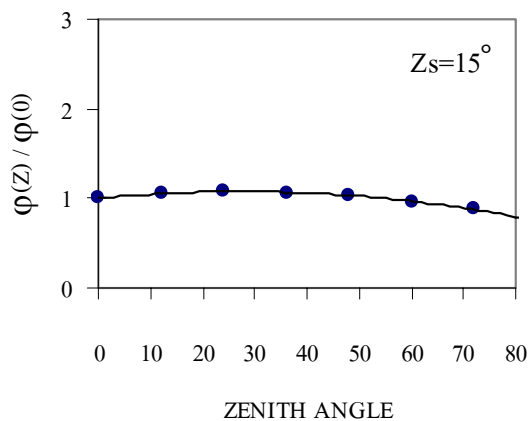


รูปที่ 3.52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z_1)/\phi(0)$ กับค่ามุมเซนนิธ Z ที่มุมของดวงอาทิตย์ $Z_s = 15^\circ$ และค่า $n = 0.3$

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

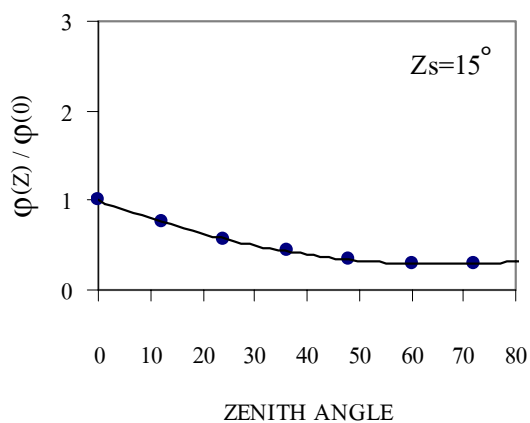


รูปที่ 3.53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z_1)/\phi(0)$ กับค่ามุมเซนนิธ Z ที่มุมของดวงอาทิตย์ $Z_s = 15^\circ$ และค่า $n = 0.5$

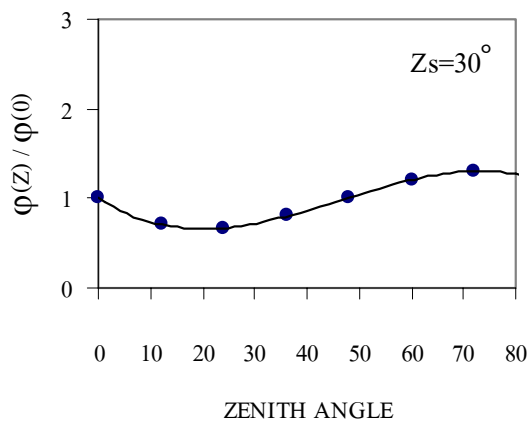


รูปที่ 3.54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z_1)/\phi(0)$ กับค่ามุมเซนนิธ Z ที่มุมของดวงอาทิตย์ $Z_s = 15^\circ$ และค่า $n = 0.7$

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

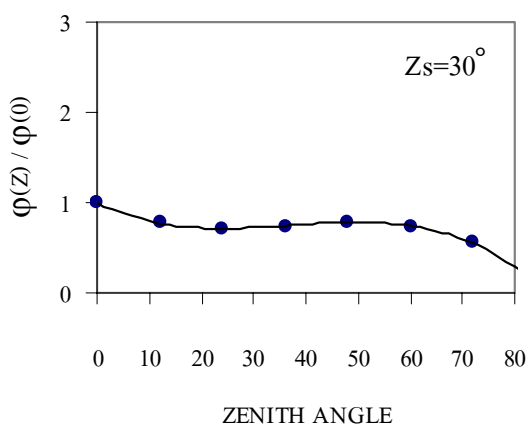


รูปที่ 3.55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z_1)/\phi(0)$ กับค่ามุมเซนนิธ Z ที่มุมของดวงอาทิตย์ $Z_s = 15^\circ$ และค่า $n = 0.9$

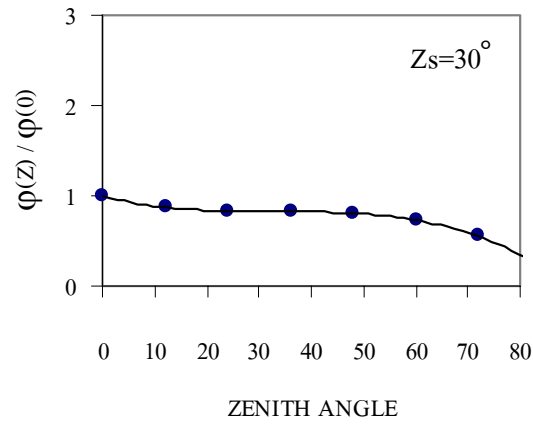


รูปที่ 3.56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z_1)/\phi(0)$ กับค่ามุมเซนนิช Z ที่มุมของดวงอาทิตย์ $Z_s = 30^\circ$ และค่า $n = 0.1$

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

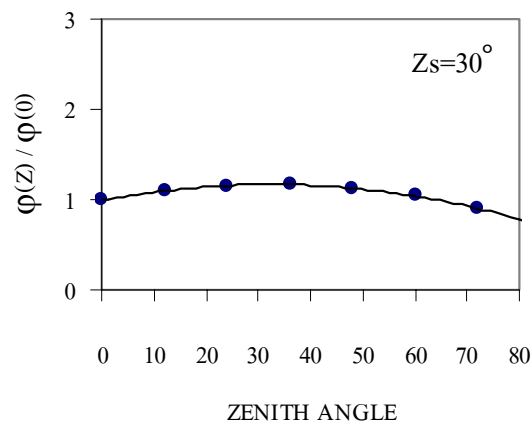


รูปที่ 3.57 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z_1)/\phi(0)$ กับค่ามุมเซนนิช Z ที่มุมของดวงอาทิตย์ $Z_s = 30^\circ$ และค่า $n = 0.3$

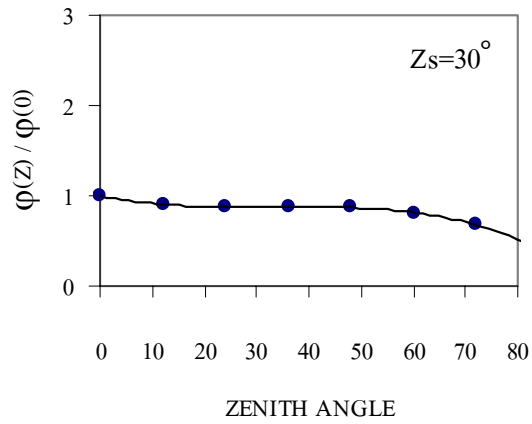


รูปที่ 3.58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z_1)/\phi(0)$ กับค่ามุมเซนนิธ Z ที่มุมของดวงอาทิตย์ $Z_s = 30^\circ$ และค่า $n = 0.5$

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

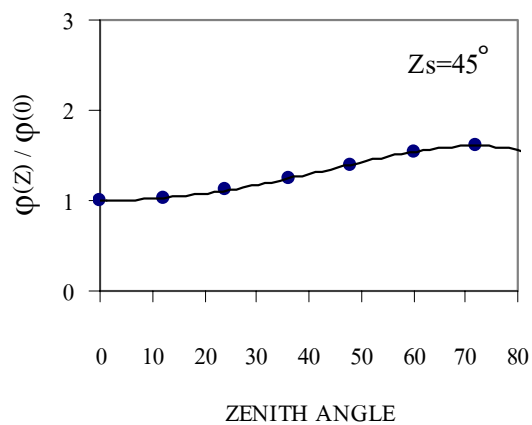


รูปที่ 3.59 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z_1)/\phi(0)$ กับค่ามุมเซนนิธ Z ที่มุมของดวงอาทิตย์ $Z_s = 30^\circ$ และค่า $n = 0.7$

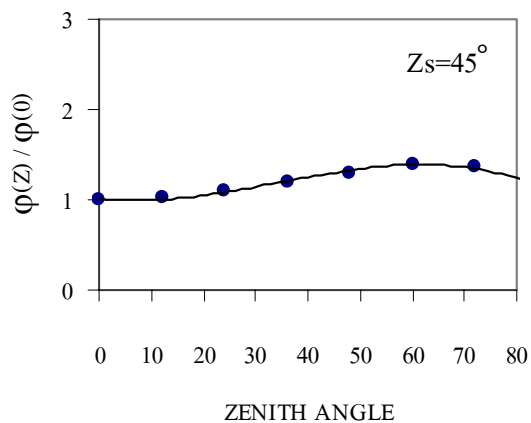


รูปที่ 3.60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z_1)/\phi(0)$ กับค่ามุมเซนนิธ Z ที่มุมของดวงอาทิตย์ $Z_s = 30^\circ$ และค่า $n = 0.9$

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

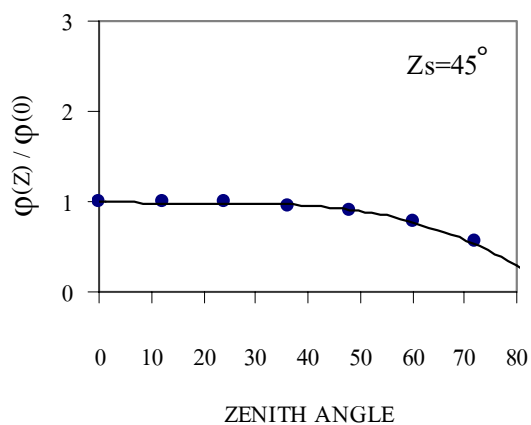


รูปที่ 3.61 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z_1)/\phi(0)$ กับค่ามุมเซนนิธ Z ที่มุมของดวงอาทิตย์ $Z_s = 45^\circ$ และค่า $n = 0.1$

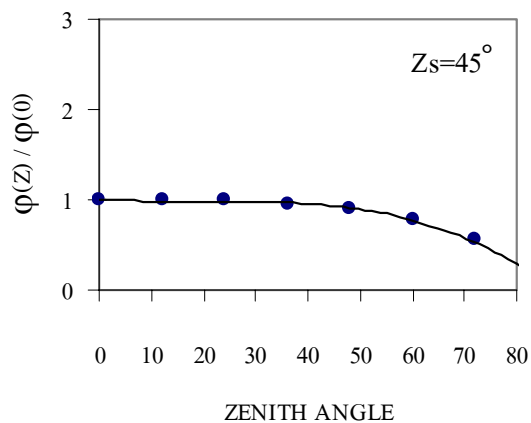


รูปที่ 3.62 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z_1)/\phi(0)$ กับค่ามุมเซนนิธ Z ที่มุมของดวงอาทิตย์ $Z_s = 45^\circ$ และค่า $n = 0.3$

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

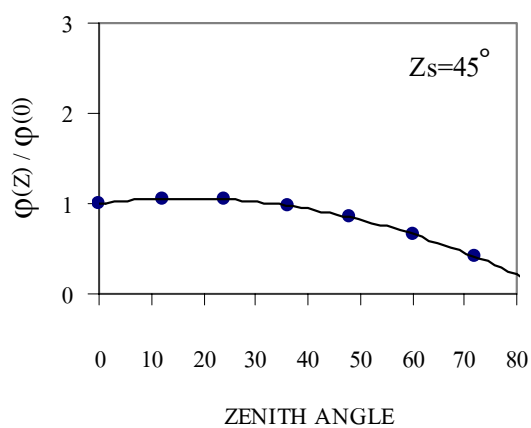


รูปที่ 3.63 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z_1)/\phi(0)$ กับค่ามุมเซนนิธ Z ที่มุมของดวงอาทิตย์ $Z_s = 45^\circ$ และค่า $n = 0.5$

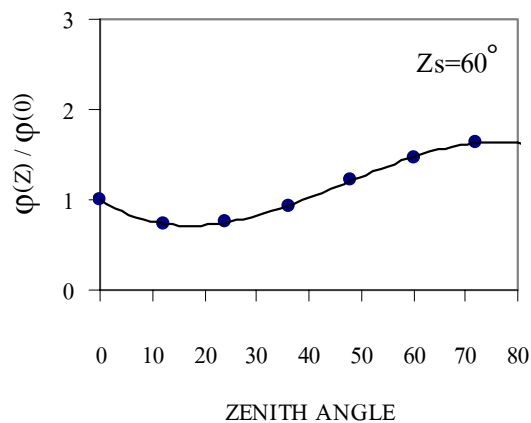


รูปที่ 3.64 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z_1)/\phi(0)$ กับค่ามุมเซนนิธ Z ที่มุมของดวงอาทิตย์ $Z_s = 45^\circ$ และค่า $n = 0.7$

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

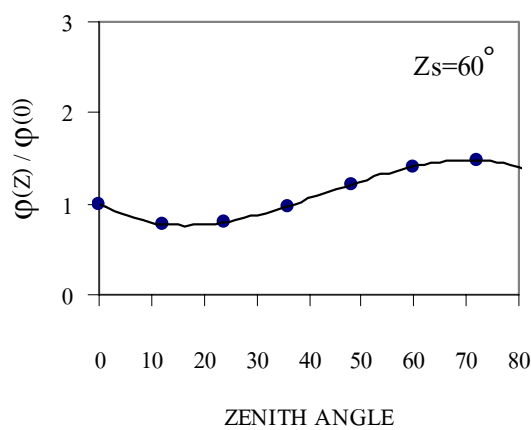


รูปที่ 3.65 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z_1)/\phi(0)$ กับค่ามุมเซนนิธ Z ที่มุมของดวงอาทิตย์ $Z_s = 45^\circ$ และค่า $n = 0.9$

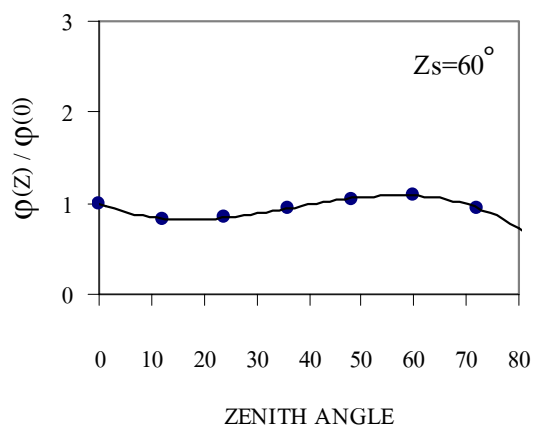


รูปที่ 3.66 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z_1)/\phi(0)$ กับค่ามุมเซนนิธ Z ที่มุมของดวงอาทิตย์ $Z_s = 60^\circ$ และค่า $n = 0.1$

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

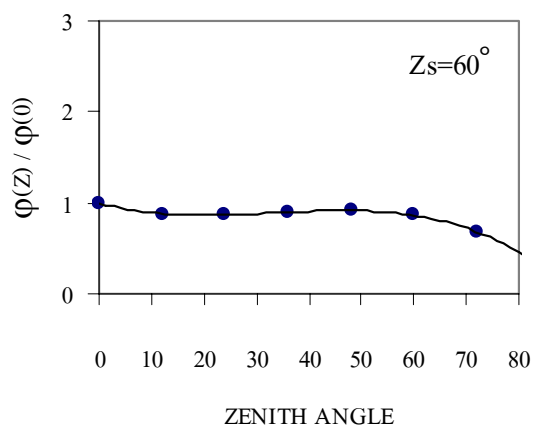


รูปที่ 3.67 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z_1)/\phi(0)$ กับค่ามุมเซนนิธ Z ที่มุมของดวงอาทิตย์ $Z_s = 60^\circ$ และค่า $n = 0.3$

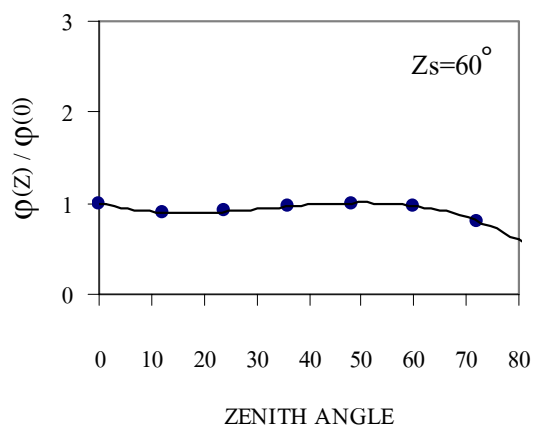


รูปที่ 3.68 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z_1)/\phi(0)$ กับค่ามุมเซนนิธ Z ที่มุมของดวงอาทิตย์ $Z_s = 60^\circ$ และค่า $n = 0.5$

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

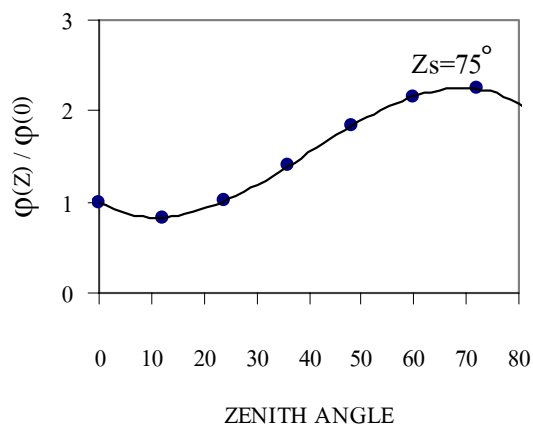


รูปที่ 3.69 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z_1)/\phi(0)$ กับค่ามุมเซนนิธ Z ที่มุมของดวงอาทิตย์ $Z_s = 60^\circ$ และค่า $n = 0.7$

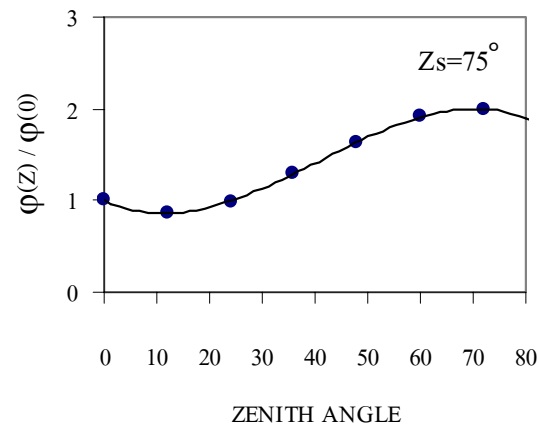


รูปที่ 3.70 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z_1)/\phi(0)$ กับค่ามุมเซนนิธ Z ที่มุมของดวงอาทิตย์ $Z_s = 60^\circ$ และค่า $n = 0.9$

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

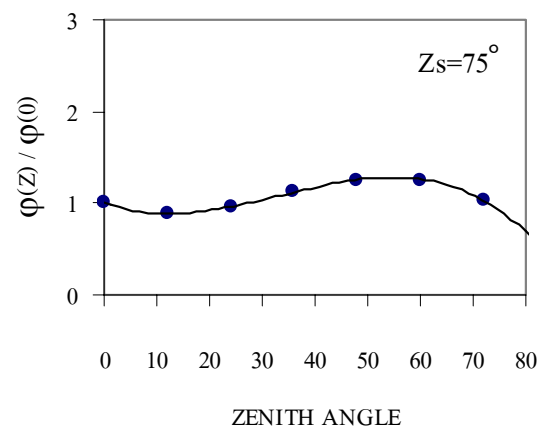


รูปที่ 3.71 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z_1)/\phi(0)$ กับค่ามุมเซนนิธ Z ที่มุมของดวงอาทิตย์ $Z_s = 75^\circ$ และค่า $n = 0.1$

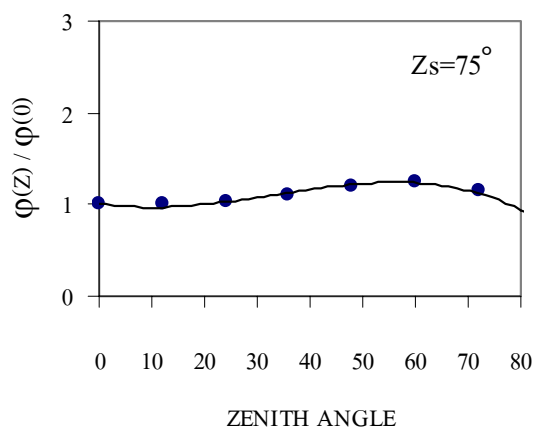


รูปที่ 3.72 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z_1)/\phi(0)$ กับค่ามุมเซนนิธ Z ที่มุมของดวงอาทิตย์ $Z_s = 75^\circ$ และค่า $n = 0.3$

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

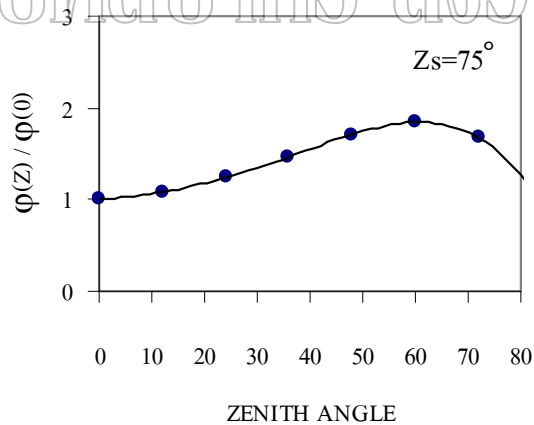


รูปที่ 3.73 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z_1)/\phi(0)$ กับค่ามุมเซนนิธ Z ที่มุมของดวงอาทิตย์ $Z_s = 75^\circ$ และค่า $n = 0.5$

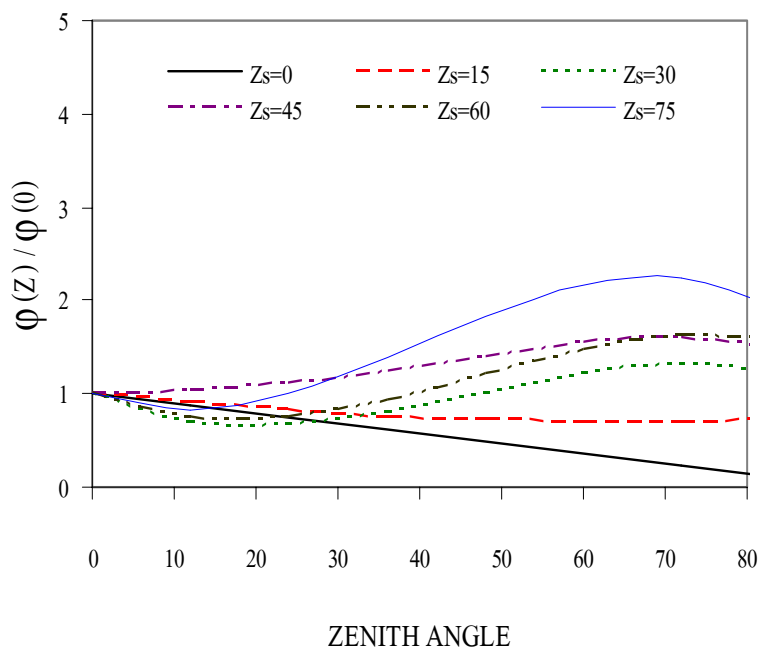


รูปที่ 3.74 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z_1)/\phi(0)$ กับค่ามุมเซนนิธ Z ที่มุมของดวงอาทิตย์ $Z_s = 75^\circ$ และค่า $n = 0.7$

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

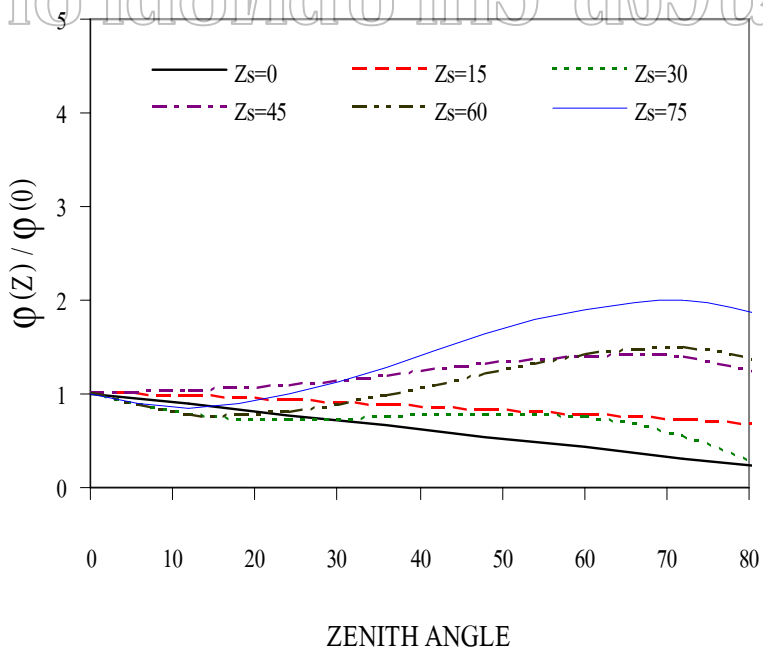


รูปที่ 3.75 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi(Z_1)/\phi(0)$ กับค่ามุมเซนนิธ Z ที่มุมของดวงอาทิตย์ $Z_s = 75^\circ$ และค่า $n = 0.9$



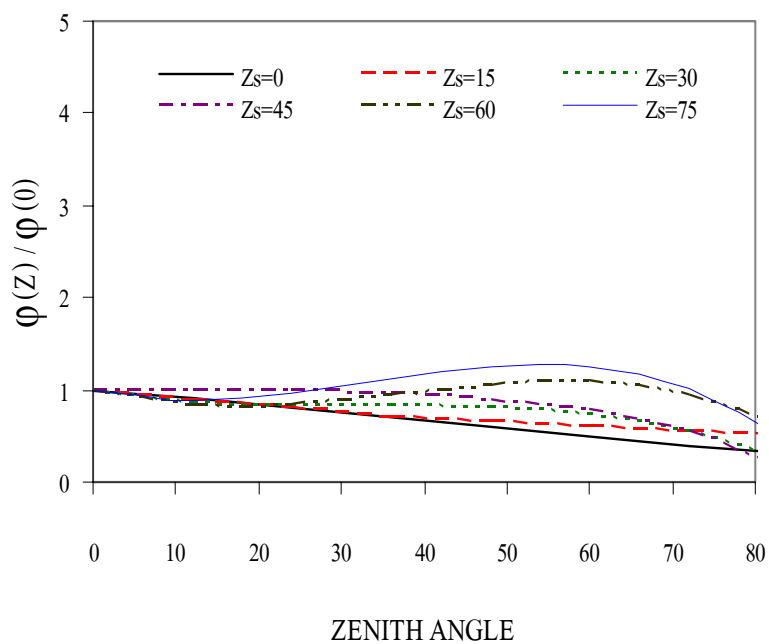
รูปที่ 3.76 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกราฟ $\varphi(Z)/\varphi(0)$ กับ Z ที่ Z_s ค่าต่าง ๆ

และ $n = 0.1$



รูปที่ 3.77 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกราฟ $\varphi(Z)/\varphi(0)$ กับ Z ที่ Z_s ค่าต่าง ๆ

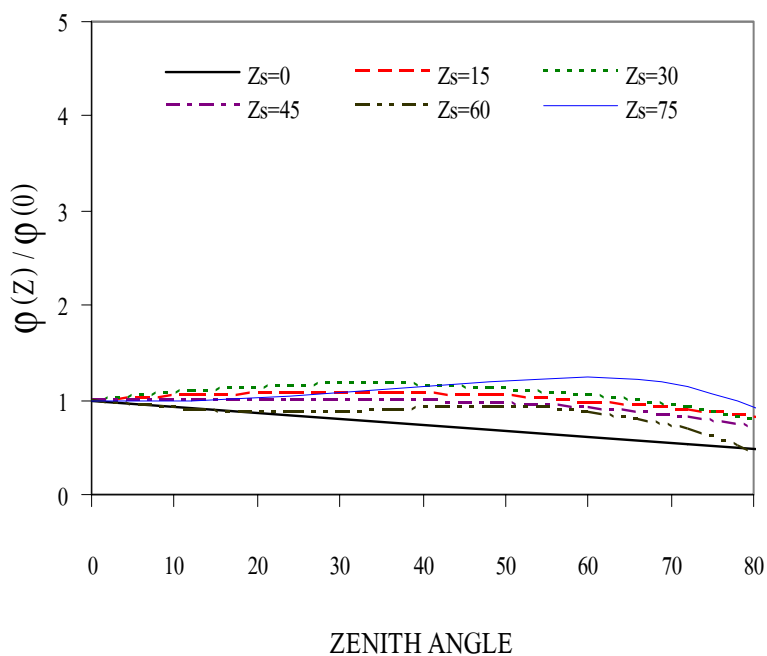
และ $n = 0.3$



รูปที่ 3.78 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกราฟ $\varphi(Z)/\varphi(0)$ กับ Z ที่ Z_s ค่าต่าง ๆ

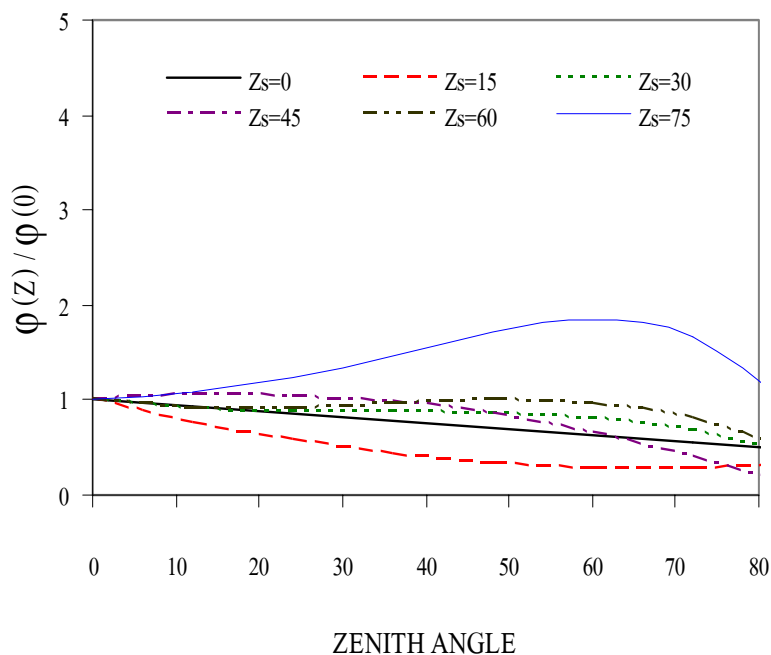
และ $n = 0.5$

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 3.79 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกราฟ $\varphi(Z)/\varphi(0)$ กับ Z ที่ Z_s ค่าต่าง ๆ

และ $n = 0.7$



รูปที่ 3.80 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกราฟ $\varphi(Z)/\varphi(0)$ กับ Z ที่ Z_s ค่าต่าง ๆ

และ $n = 0.9$

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

จากผลการเปรียบเทียบกราฟ $\varphi(Z)/\varphi(0)$ กับ Z ตามรูปที่ 3.76-3.80 จะเห็นว่า $\varphi(Z)/\varphi(0)$ ที่สภาพท้องฟ้าหนึ่งซึ่งกำหนดด้วยค่า n ค่าต่างๆ นอกจากจะแปรตาม Z แล้วยังแปรตาม Z_s ด้วย ผลดังกล่าวนี้ น่าจะสอดคล้องกับความเป็นจริง ทั้งนี้เพราะตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงย่อมส่งผลถึงค่าความสว่างที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนท้องฟ้า

อนึ่ง Darula และ Kittler (2002) พิจารณาว่าความสัมพันธ์ระหว่าง $\varphi(Z)/\varphi(0)$ กับ Z ไม่ขึ้นกับ Z_s ซึ่งไม่ตรงกับผลการวิเคราะห์ที่ได้จากงานวิจัยนี้

หลังจากนั้น ผู้วิจัยจะทำการพิเคราะห์ที่ได้โดยวิธี Multivariable linear regression ซึ่งเขียน $\varphi(Z)/\varphi(0)$ ได้เป็นฟังก์ชันของ Z และ Z_s โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของ regression แบ่งเป็นกลุ่มตามค่า n ผลที่ได้แสดงไว้ในสมการที่ 3.27

$$\begin{aligned} \varphi(Z)/\varphi(0) = & a_0 + a_1Z + a_2Z^2 + a_3Z^3 + a_4Z^4 + a_5Z_s + a_6Z_s^2 + a_7Z_s^3 + a_8Z_s^4 + a_9Z_s^5 \\ & + a_{10}Z^2Z_s + a_{11}ZZ_s^2 + a_{12}Z^3Z_s + a_{13}ZZ_s^3 + a_{14}Z^4Z_s + a_{15}ZZ_s^4 \end{aligned}$$

(3.27)

สมการที่ (3.27) เป็น analytical form ของ $\varphi(Z)/\varphi(0)$ และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.98, 0.97, 0.96, 0.97 และ 0.95 ที่กรณี n เท่ากับ n_1, n_2, n_3 และ n_4 ตามลำดับ โดยค่า a_0, a_2, \dots, a_{15} มีค่าขึ้นอยู่กับ n ดังตาราง 3.8 และ 3.9

ตารางที่ 3.8 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ a_1, a_2, \dots, a_7

n	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7
0.1	1.08	-1.03	0.64	-0.59	0.23	2.46	-21.38	51.59
0.3	0.95	-0.27	-0.34	0.18	-0.05	7.49	-49.30	109.56
0.5	0.95	0.31	-2.31	2.17	-0.64	-0.88	4.69	-6.74
0.7	0.92	0.16	-0.61	0.16	0.02	0.96	-2.50	3.48
0.9	1.07	-0.52	-0.05	-0.10	0.15	-5.74	29.57	-53.66

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 3.9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ a_8, a_9, \dots, a_{15}

n	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}
0.1	-48.07	15.30	2.70	2.19	-0.50	-4.95	-0.47	2.32
0.3	-98.36	30.64	3.27	-6.06	-1.28	8.49	-0.12	-3.33
0.5	3.38	-0.42	5.38	-7.67	-4.19	9.97	0.84	-3.81
0.7	-2.81	0.92	1.23	0.73	-0.26	-3.03	-0.25	1.75
0.9	40.92	-11.19	0.82	-0.01	0.20	-0.72	-0.61	0.80

3.2.4.5 การวิเคราะห์หาฟังก์ชัน $f(\chi)/f(Z_s)$

ในการทำงานเดียวกัน สำหรับการหาฟังก์ชัน $f(\chi)/f(Z_s)$ ผู้ทำวิจัยจะนำค่าในตาราง 3.7 ไปแทนในสมการ (3.2) โดยที่ค่า Z คงที่ค่าหนึ่งจะหาค่า L/L_Z ที่ค่า χ ต่าง ๆ ตัวอย่างเช่นกรณี $n = n_1$, $Z = Z_1$ และ $Z_s = Z_{s1}$ ซึ่งจะได้ผลดังนี้

ที่ $Z = Z_1$ และ $\chi = \chi_1$

$$\frac{L_{1,1}}{L_Z} = \frac{\varphi(Z_1)}{\varphi(0)} \cdot \frac{f(\chi_1)}{f(Z_{s1})} \quad (3.28)$$

ที่ $Z = Z_1$ และ $\chi = \chi_{ref}$

$$\frac{L_{1,ref}}{L_Z} = \frac{\varphi(Z_1)}{\varphi(0)} \cdot \frac{f(\chi_{ref})}{f(Z_{s1})} \quad (3.29)$$

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ที่ $Z = Z_1$ และ $\chi = \chi_3$

$$\frac{L_{1,3}}{L_Z} = \frac{\varphi(Z_1)}{\varphi(0)} \cdot \frac{f(\chi_3)}{f(Z_{s1})} \quad (3.30)$$

ที่ $Z = Z_1$ และ $\chi = \chi_4$

$$\frac{L_{1,4}}{L_Z} = \frac{\varphi(Z_1)}{\varphi(0)} \cdot \frac{f(\chi_4)}{f(Z_{s1})} \quad (3.31)$$

ที่ $Z = Z_1$ และ $\chi = \chi_5$

$$\frac{L_{1,5}}{L_Z} = \frac{\varphi(Z_1)}{\varphi(0)} \cdot \frac{f(\chi_5)}{f(Z_{s1})} \quad (3.32)$$

จากนั้นนำสมการ (3.28) จนถึง (3.32) หาคด้วยสมการ (3.29) จะได้

$$\frac{L_{1,1}}{L_{1,\text{ref}}} = \frac{f(\chi_1)}{f(\chi_{\text{ref}})} \quad (3.33)$$

$$\frac{L_{1,2}}{L_{1,\text{ref}}} = \frac{f(\chi_2)}{f(\chi_{\text{ref}})} \quad (3.34)$$

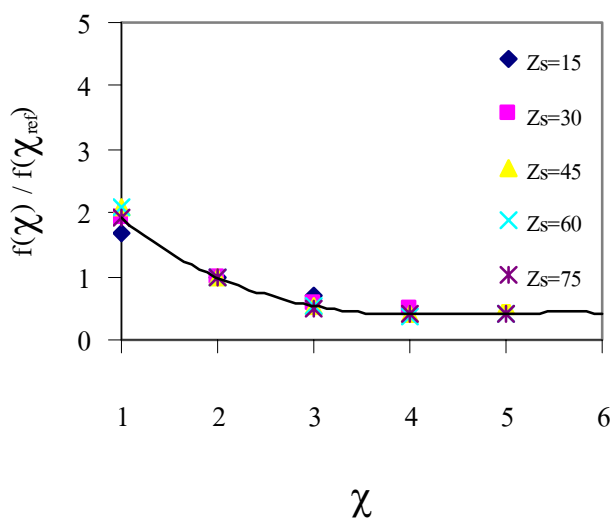
$$\frac{L_{1,3}}{L_{1,\text{ref}}} = \frac{f(\chi_3)}{f(\chi_{\text{ref}})} \quad (3.35)$$

$$\frac{L_{1,4}}{L_{1,\text{ref}}} = \frac{f(\chi_4)}{f(\chi_{\text{ref}})} \quad (3.36)$$

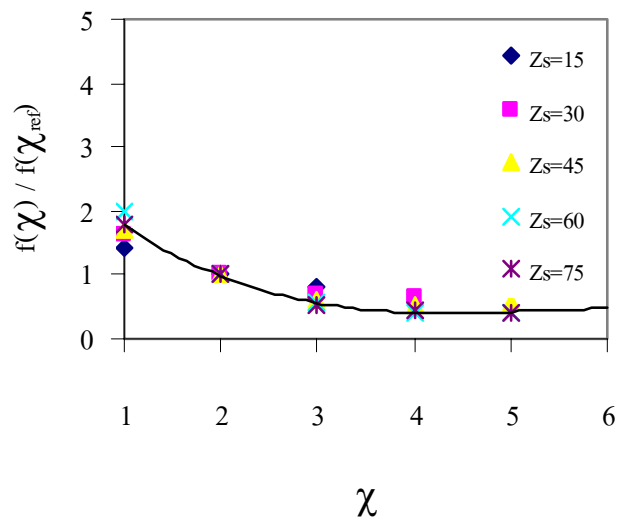
$$\frac{L_{1,5}}{L_{1,\text{ref}}} = \frac{f(\chi_5)}{f(\chi_{\text{ref}})} \quad (3.37)$$

มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนวิจัยสัตว์

เนื่องจากค่า $L_{1,1}/L_{1,\text{ref}}$ จนถึง $L_{1,5}/L_{1,\text{ref}}$ หาได้จากตารางข้อมูล ดังนั้นเราจึงสามารถหาค่า $f(\chi_1)/f(\chi_{\text{ref}})$ จนถึง $f(\chi_5)/f(\chi_{\text{ref}})$ ได้ ในทำนองเดียวกัน ผู้วิจัยจะหาค่าอัตราส่วนของฟังก์ชันดังกล่าวที่กรณีของ n และ Z_s ค่าอื่น ๆ จากนั้นผู้วิจัยจะนำค่า $f(\chi)/f(\chi_{\text{ref}})$ ที่ได้ไปเขียนกราฟกับค่า χ ผลที่ได้แสดงให้เห็นในกราฟดังรูปที่ 3.81-3.91

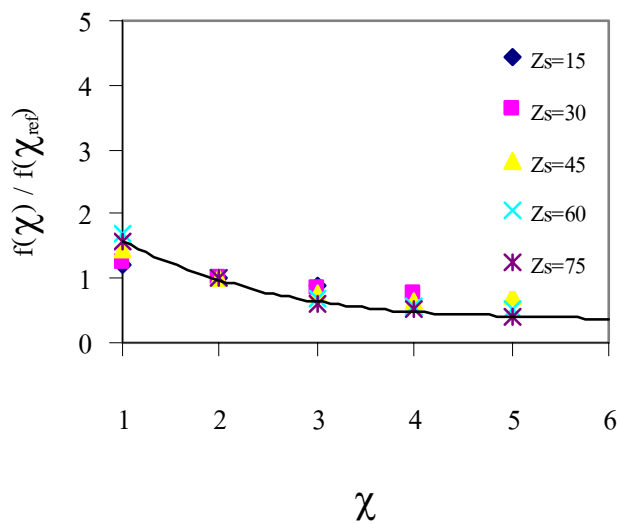


รูปที่ 3.81 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $f(\chi)/f(\chi_{\text{ref}})$ กับ χ ที่ค่า $n = 0.1$

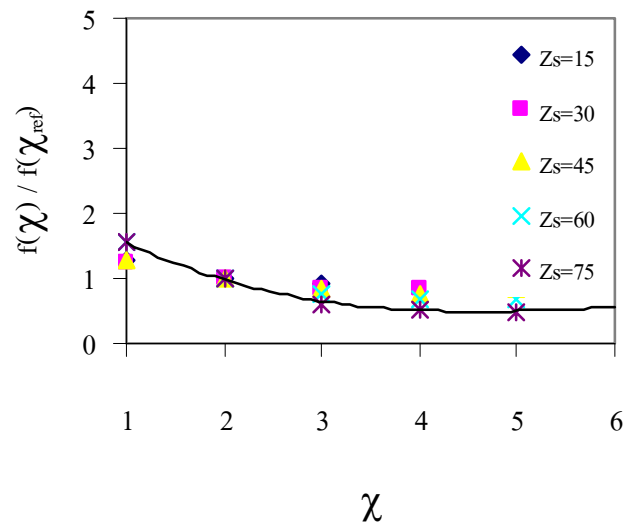


รูปที่ 3.82 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $f(\chi)/f(\chi_{ref})$ กับ χ ที่ค่า $n = 0.3$

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

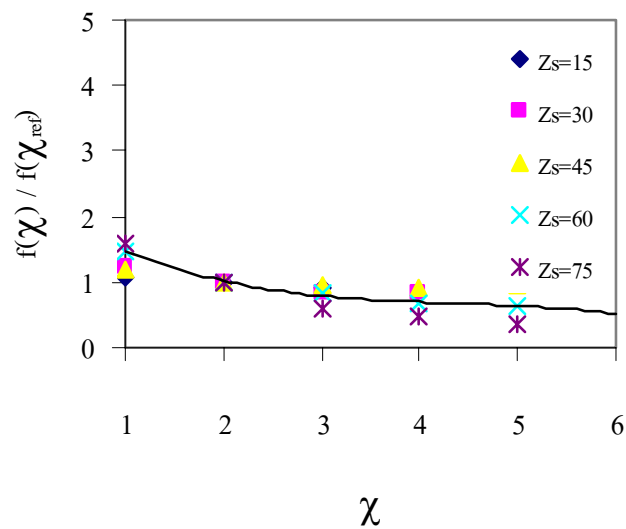


รูปที่ 3.83 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $f(\chi)/f(\chi_{ref})$ กับ χ ที่ค่า $n = 0.5$

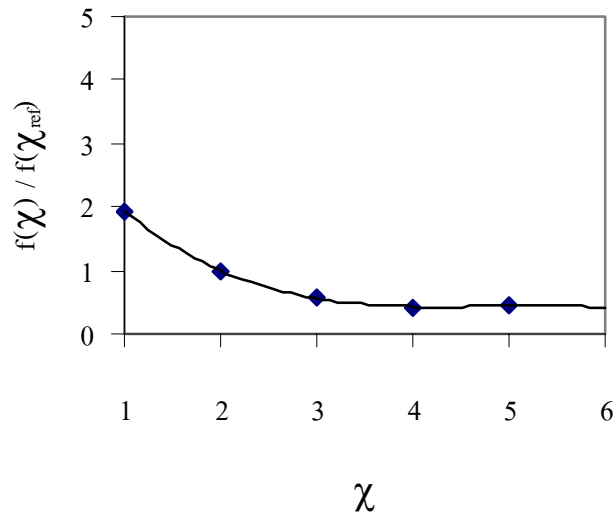


รูปที่ 3.84 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $f(\chi)/f(\chi_{ref})$ กับ χ ที่ค่า $n = 0.7$

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

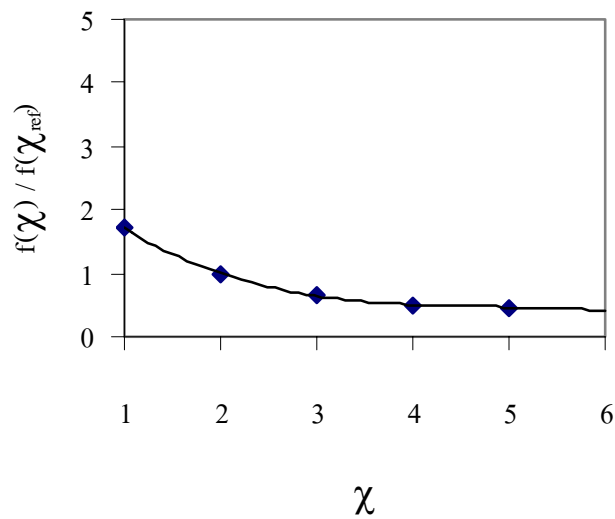


รูปที่ 3.85 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $f(\chi)/f(\chi_{ref})$ กับ χ ที่ค่า $n = 0.9$

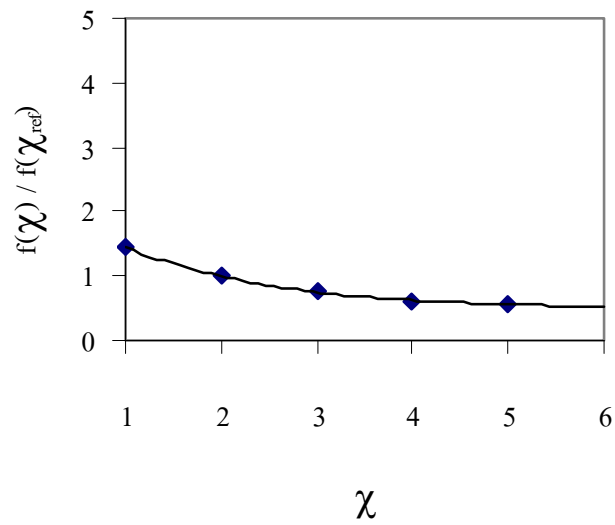


รูปที่ 3.86 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $f(\chi)/f(\chi_{ref})$ เฉลี่ย กับ χ ที่ค่า $n = 0.1$

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

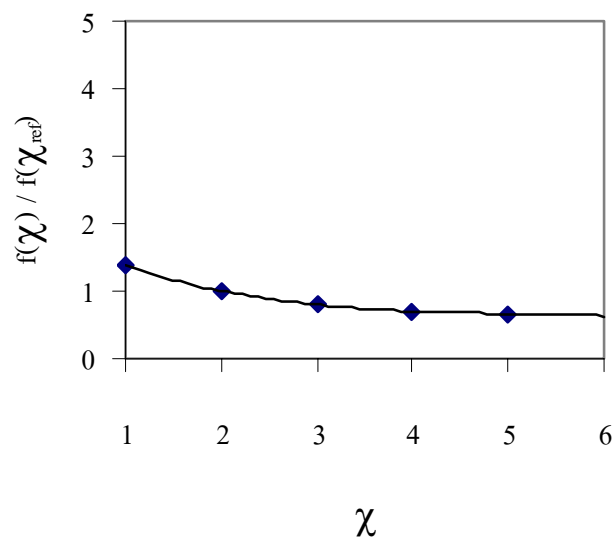


รูปที่ 3.87 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $f(\chi)/f(\chi_{ref})$ เฉลี่ย กับ χ ที่ค่า $n = 0.3$

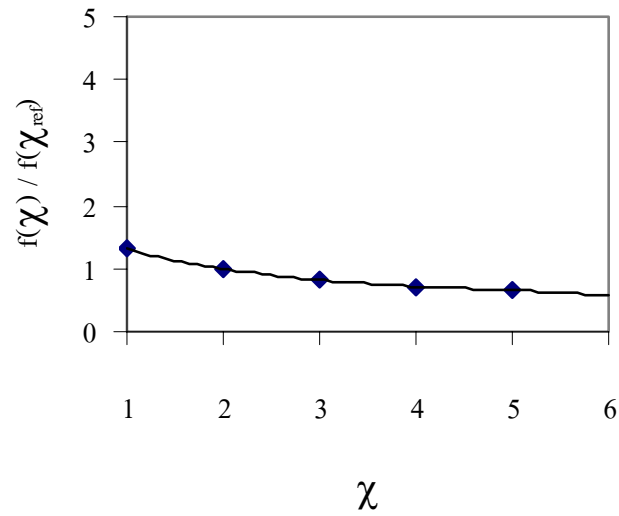


รูปที่ 3.88 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $f(x)/f(x_{ref})$ เฉลี่ย กับ x ที่ค่า $n = 0.5$

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

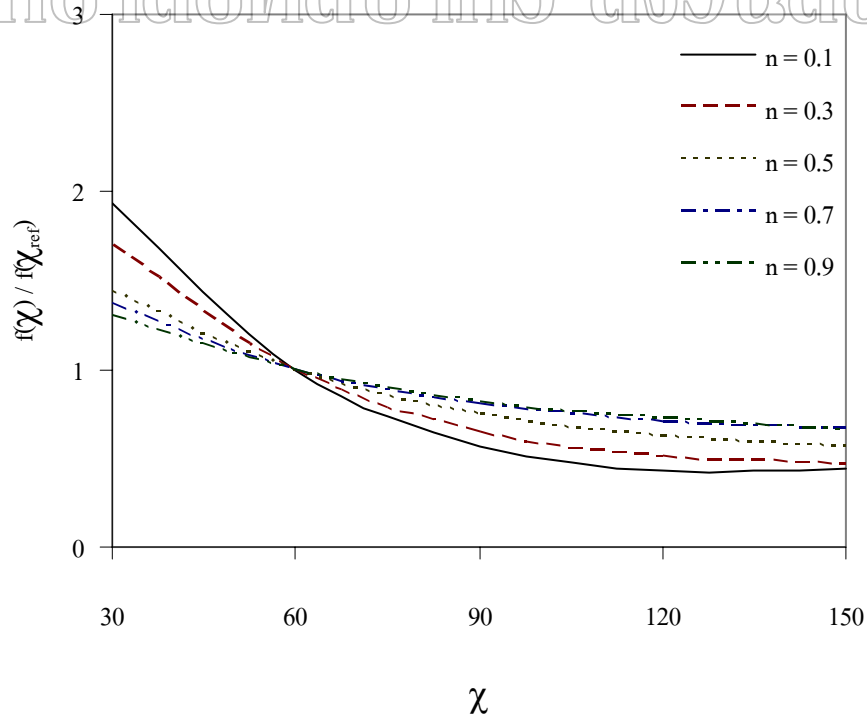


รูปที่ 3.89 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $f(x)/f(x_{ref})$ เฉลี่ย กับ x ที่ค่า $n = 0.7$



รูปที่ 3.90 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $f(\chi)/f(\chi_{ref})$ เฉลี่ย กับ χ ที่ค่า $n = 0.9$

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 3.91 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง $f(\chi)/f(\chi_{ref})$ กับ χ ในสภาพท้องฟ้าแบบต่างๆ

จากกราฟจะเห็นว่าค่า $f(\chi)/f(\chi_{\text{ref}})$ ไม่ขึ้นกับค่า Z_s ซึ่งแตกต่างจากกรณีของ $f(Z)/f(0)$ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการพล็อตกราฟดังกล่าวด้วยสมการโพลิโนเมียล ซึ่งเขียนได้ดังนี้

$$\frac{f(\chi)}{f(\chi_{\text{ref}})} = b_0 + b_1\chi + b_2\chi^2 + b_3\chi^3 \quad (3.38)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ b_0, b_1, b_2, b_3 ของกราฟกรณี n ค่าต่างๆ แสดงไว้ดังตาราง 3.10

ตารางที่ 3.10 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของสมการของ $f(\chi)/f(\chi_{\text{ref}})$

n	b0	b1	b2	b3
0.1	3.54	-3.80	1.53	-0.20
0.3	2.87	-2.74	1.07	-0.14
0.5	1.96	-1.37	0.50	-0.06
0.7	1.96	-1.37	0.50	-0.06
0.9	1.79	-1.13	0.41	-0.06

เมื่อแทนค่า $\chi = Z_s$ ลงในสมการที่ (3.38) จะได้ว่า

$$\frac{f(Z_s)}{f(\chi_{\text{ref}})} = b_0 + b_1Z_s + b_2Z_s^2 + b_3Z_s^3 \quad (3.39)$$

จากนั้นนำสมการ (3.38) หารด้วยสมการ (3.39) จะได้

$$\frac{f(\chi_s)}{f(Z_s)} = \frac{b_0 + b_1\chi + b_2\chi^2 + b_3\chi^3}{b_0 + b_1Z_s + b_2Z_s^2 + b_3Z_s^3} \quad (3.40)$$

สมการที่ (3.40) จะเป็น analytical form ของ $f(\chi)/f(\chi_{\text{ref}})$ ตามที่ต้องการ

3.2.5 ผลการสร้างแบบจำลองความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่างๆ ของท้องฟ้าเทียบกับตำแหน่งกลางท้องฟ้า (relative sky luminance)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้นจะได้ $\varphi(Z)/\varphi(0)$ ตามสมการ (3.27) และ $f(\chi)/f(Z_s)$ ตามสมการ (3.40) จากนั้นจะนำฟังก์ชันที่ได้ไปแทนค่าในสมการ (3.2) จะได้แบบจำลองสำหรับคำนวณ relative sky luminance ตามต้องการ ซึ่งผลที่ได้สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (3.41)

$$\begin{aligned} L/L_z = & (a_0 + a_1Z + a_2Z^2 + a_3Z^3 + a_4Z^4 + a_5Z_s + a_6Z_s^2 + a_7Z_s^3 + a_8Z_s^4 + a_9Z_s^5 \\ & + a_{10}Z^2Z_s + a_{11}ZZ_s^2 + a_{12}Z^3Z_s + a_{13}ZZ_s^3 + a_{14}Z^4Z_s + a_{15}ZZ_s^4) \\ & \times (b_0 + b_1\chi + b_2\chi^2 + b_3\chi^3 / b_0 + b_1Z_s + b_2Z_s^2 + b_3Z_s^3) \end{aligned} \quad (3.41)$$

โดยค่าสัมประสิทธิ์ a_1, \dots, a_{16} และ b_1, \dots, b_4 จะแบ่งเป็นกลุ่มตามค่า n ซึ่งได้จากข้อมูลดัชนีเมฆ ดังแสดงในตารางที่ 3.8, 3.9 และ 3.10 ตามลำดับ

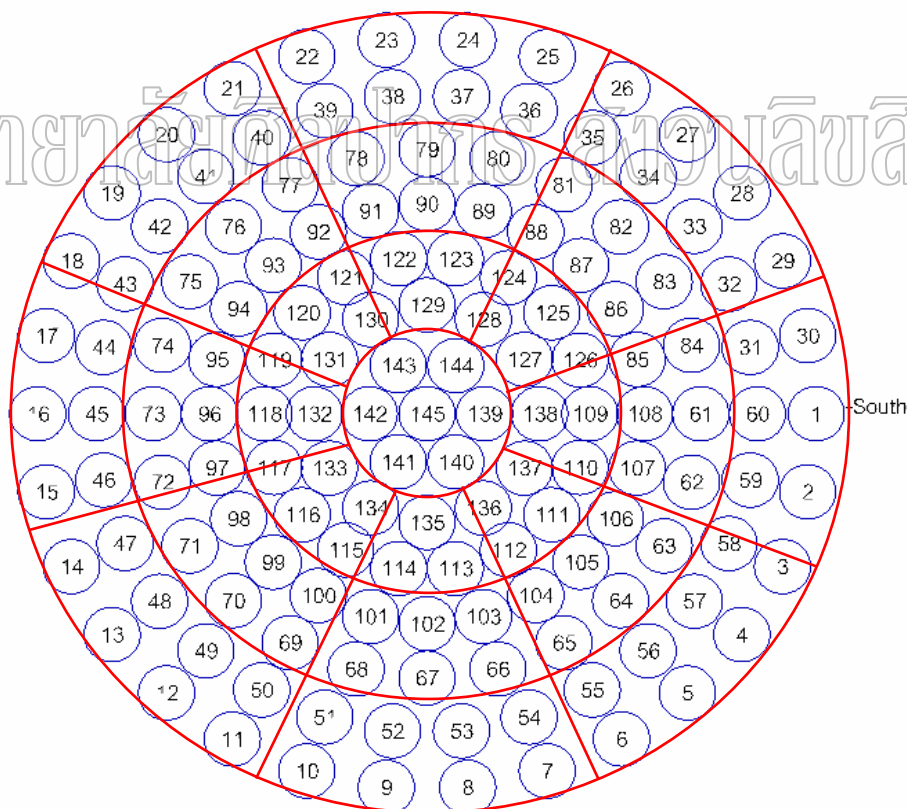
3.2.6 การทดสอบแบบจำลองความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่างๆ ของท้องฟ้าเทียบกับตำแหน่งกลางท้องฟ้า (relative sky luminance)

เมื่อผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบจำลองสำหรับคำนวณค่าความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่างๆ ของท้องฟ้าเทียบกับตำแหน่งกลางท้องฟ้า โดยอาศัยข้อมูลดัชนีเมฆ (cloud index, n) ในการจำแนกสภาพท้องฟ้าออกเป็น 5 แบบ ถึงแม้ว่าขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยจะพิจารณาถึงรายละเอียดต่างๆ ครบถ้วนตามหลักวิชาการแล้วก็ตาม แต่ก่อนที่จะมีการนำแบบจำลองดังกล่าวที่สร้างขึ้นมาใช้ในงานได้นั้น ผู้วิจัยจะต้องทำการทดสอบความถูกต้องแม่นยำในการทำนายผลของแบบจำลองเสียก่อน โดยการนำแบบจำลองที่ได้สร้างขึ้นมากำหนดค่า L/L_z ที่ตำแหน่งของสถานีศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการวัดความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้าด้วยเครื่อง sky scanner โดยเป็นข้อมูลตั้งแต่เดือน พฤษภาคม 2006 ถึง พฤษภาคม 2007

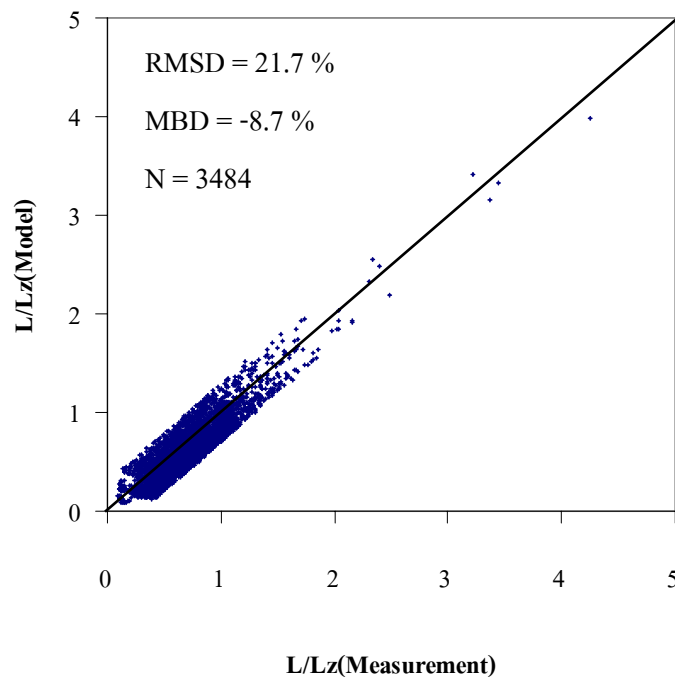
โดยในการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการวัดกับข้อมูลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองที่สร้างขึ้น จะต้องเริ่มจากการหาค่าดัชนีเมฆ ที่ตำแหน่งครอบคลุมสถานีวัดที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา เสียก่อนแล้วจึงนำไปใช้ในการจำแนกสภาพท้องฟ้าให้เหมือนกับแบบจำลอง เพื่อความถูกต้องในการเลือกชุดสัมประสิทธิ์ต่างๆ มาใช้ในการคำนวณ ซึ่งจะทำได้ฟังก์ชัน L/L_z สำหรับในแต่ละเดือน หลังจากนั้นจะใช้ฟังก์ชันที่ได้ มาทำการคำนวณค่า L/L_z ทุกชั่วโมงและทุกวันตลอดทั้งเดือนตามตำแหน่งเซลล์ของ

ท้องฟ้าที่สอดคล้องกับตำแหน่งของเซลล์ข้อมูลความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้าที่ sky scanner ของสถานีสงขลาวัดได้

ในส่วนของข้อมูล L/L_z ของสถานีสงขลา ผู้วิจัยจะนำข้อมูลของแต่ละชั่วโมงที่เซลล์เดียวกันมาเฉลี่ยตลอดทั้งเดือน เนื่องจากการใช้งานจริงโดยทั่วไปไม่ต้องการข้อมูลละเอียด 145 เซลล์ แต่ต้องการข้อมูลเป็นโซนเท่านั้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการแบ่งโซนของท้องฟ้าเป็น 25 โซน ดังรูปที่ 3.92 แล้วจึงเฉลี่ยค่าความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้าของแต่ละเซลล์ในโซนนั้นให้เป็นตัวแทนของโซนนั้น ๆ ทั้งข้อมูลจากแบบจำลองและข้อมูลจากการวัด จากนั้นจึงนำผลที่ได้มาเขียนกราฟเปรียบเทียบดังรูป 3.93 จากการเปรียบเทียบพบว่า ค่า L/L_z ส่วนใหญ่สอดคล้องกันค่อนข้างดี โดยมีค่า root mean square difference (RMSD) ทั้งหมดเท่ากับ 21.7 %



รูปที่ 3.92 แสดงการแบ่งข้อมูล จาก 145 เซลล์ เป็น 25 โซนท้องฟ้า



รูปที่ 3.93 แสดงการเปรียบเทียบค่า L/L_z ซึ่งได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการวัด
ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา

3.2.7 การใช้งานแบบจำลอง

ในการนำแบบจำลองไปใช้งาน ผู้ใช้จะต้องมีข้อมูลดัชนีเมฆ (cloud index, n) ในบริเวณที่ต้องการคำนวณค่าความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่างๆ ของท้องฟ้าเทียบกับตำแหน่งกลางท้องฟ้า ข้อมูลความเข้มแสงสว่างจากกลางท้องฟ้า (L_z) ซึ่งได้จากการวัดหรือได้จากแบบจำลอง และค่ามุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ (Z_s) ซึ่งหาได้จากชั่วโมง วัน และเดือนที่กำหนด จากนั้นจะนำข้อมูล ดัชนีเมฆไปเลือกสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองในตารางที่ 3.8, 3.9 และ 3.10 หลังจากนั้นจึงนำสมการของแบบจำลอง (3.41) ไปคำนวณค่า L/L_z ที่ทุกตำแหน่งบนท้องฟ้า