สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

การออกแบบระบบแสงสว่างในสนามกอล์ฟ

LIGHTING FOR GOLF COURSE DESIGN

โดย

นายบัญชา ชิรวาณิชย์

นายณฤพนธ์ พานทอง

นายธนัญชย์ ศาสตรสาธิต

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. ศุลี บรรจงจิตร

อ. ชาย ชมภูอินไหว

ปพ.
ป 255
ส5ค
ศ.2

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 34175
วัน, เดือน, ปี - 6 ต.ค. 2542

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา PROJECT II

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2541

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2541

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบระบบแสงสว่างในสนามกอล์ฟ

LIGHTING FOR GOLF COURSE DESIGN

คณะผู้จัดทำ

นายบัญชา ชิรวาณิชย์

นายณฤพนธ์ พานทอง

นายธนัญชย์ ศาสตรสาธิต

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ. ศุลี บรรจงจิตร)

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ.ชาย ชมภูอินไหว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบระบบแสงสว่างในสนามกอล์ฟ

นายบัญชา ชิรวาณิชย์
นายณฤพนธ์ พานทอง
นายธนัญชย์ ศาสตรสาธิต
รศ.ศุลี บรรจงจิตร อาจารย์ที่ปรึกษา
อ.ชาย ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2541

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับ การออกแบบระบบแสงสว่างสำหรับสนามกอล์ฟ โดยในปัจจุบันกอล์ฟเป็นกีฬาที่ผู้นิยมเล่นกันอย่างแพร่หลาย แต่มีเพียงไม่กี่สนามเท่านั้นที่เปิดให้เล่นตอนกลางคืนได้ เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบแสงสว่างในสนามกอล์ฟนั้นสูงมาก ทางคณะผู้จัดทำจึงมีความสนใจที่จะศึกษาในหัวข้อนี้ โดยมีเป้าหมายเพื่อให้นำผลจากการศึกษาไปใช้งานจริงได้ และประหยัดค่าใช้จ่ายที่สุด

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึง ความรู้พื้นฐานทางด้านวิศวกรรมการส่องสว่าง ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกีฬากอล์ฟ หลักการและมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบระบบแสงสว่างสำหรับสนามกอล์ฟ ข้อมูลของหลอดที่ใช้สำหรับสนามกอล์ฟ การออกแบบแสงสว่างภายนอกอาคารโดมฉาย การคำนวณค่าแสงจ้าที่มีผลกับการออกแบบระบบแสงสว่างสำหรับสนามกอล์ฟ การใช้คอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการออกแบบโดยใช้ โปรแกรมออโตลักซ์ ผลการสำรวจสนามกอล์ฟ ผลการออกแบบ และ สรุปและวิจารณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LIGHTING FOR GOLF COURSE DESIGN

Buncha Chiravanich

Narupon Pantong

Thanan Sastarasadhit

Suri Banjongjit advisor

Chai Chompooinwai advisor

ABSTRACT

Golfing has become a popular sport in recent time , but few golf courses can open at night . This project aims to design a lighting system for golf courses with a purpose of practicality and economy.

The project will include the basics of golfing the principles and standards for course lightings, the basics of Illumination engineering ,equipment data , the design of external light, computer aided design using the autolux program , real golf course surveys, final designs and conclusions.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	III
สารบัญตาราง	IV
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ขอบเขตการทำโครงงาน	1
1.3 ขั้นตอนการศึกษา	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 พื้นฐานวิศวกรรมการส่องสว่าง	3
2.1 แสง ดวงตาและการมองเห็น	3
2.2 สี	6
2.3 ศัพท์ทางด้านแสงสว่าง	19
บทที่ 3 ความรู้ทั่วไปและมาตรฐานในการออกแบบระบบแสงสว่างในสนามกอล์ฟ	22
3.1 ลักษณะทั่วไปของสนามกอล์ฟ	22
3.2 ระยะหลุม	23
3.3 การนับคะแนน	25
3.4 อุปสรรค	25
3.5 หลักการและมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ	27
บทที่ 4 ลักษณะของหลอดแต่ละชนิดและโคมฉาย	30
4.1 หลอดแสงจันทร์	30
4.2 หลอดเมทัลฮาไลด์	40
4.3 หลอดโซเดียมความดันไอสูง	48
4.4 การเปรียบเทียบหลอดทั้งสามชนิด	54
4.5 โคมฉาย	56
บทที่ 5 การออกแบบระบบแสงสว่างภายนอกและการพิจารณาคุณภาพแสง	63
5.1 การเลือกกำหนดตำแหน่งของเสา	63
5.2 กฎ 2X-4X	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
5.3 ชนิดของหลอดไฟ	65
5.4 วิธีลูเมน	65
5.5 ความสม่ำเสมอของระดับความสว่าง	68
5.6 การพิจารณาคุณภาพแสง	69
บทที่ 6 การใช้คอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการออกแบบระบบแสงสว่าง	77
บทที่ 7 สนามกอล์ฟที่ทำการสำรวจและผลการออกแบบ	79
ผลการออกแบบสนามกอล์ฟทั้ง 18 หลุม	90
บทที่ 8 สรุปผลและวิจารณ์	91
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงรูปคลื่น	3
รูปที่ 2.2 แสดงถึงสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า	4
รูปที่ 2.3 แสดงปรากฏการณ์การเลือกดูดกลืน	7
รูปที่ 2.4 แสดง subtractive primaries	8
รูปที่ 2.5 แสดง additive primaries	8
รูปที่ 2.6 แสดงส่วนของความเป็นสี (true segment)	10
รูปที่ 2.7 แสดงส่วนของน้ำหนักสีที่คงที่	11
รูปที่ 2.8 แสดงทรงกลมมันเซลล์	11
รูปที่ 2.9 แสดงไดอะแกรม CIE	12
รูปที่ 2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง CRI และอุณหภูมิสี	16
รูปที่ 2.11 แสดงสเกลเคลวินของ CCT	17
รูปที่ 2.12 แสดงความเข้มแสง	20
รูปที่ 2.13 แสดง CCT	21
รูปที่ 3.1 แสดงระยะหลุมสำหรับนักกอล์ฟแต่ละระดับ	24
รูปที่ 3.2 แสดงอุปสรรคชนิดต่างๆ	26
รูปที่ 3.3 บริเวณกรีน	27
รูปที่ 3.4 บริเวณแท่นทีออฟ	28
รูปที่ 3.5 บริเวณแฟร์เวย์	28
รูปที่ 4.1 แสดงโครงสร้างของหลอดแสงจันทร์ประเภทใช้บัลลาสต์	31
รูปที่ 4.2 แสดงรูปทรงของหลอด HID	32
รูปที่ 4.3 การกระจายแสงทางสเปกตรัมของหลอดแสงจันทร์	33
รูปที่ 4.4 หลอดแสงจันทร์ชนิดแก้วใสประเภทใช้บัลลาสต์	34
รูปที่ 4.5 หลอดแสงจันทร์เคลือบสารเรืองแสงปรับปรุงสีประเภทใช้บัลลาสต์	34
รูปที่ 4.6 หลอดแสงผสม	35
รูปที่ 4.7 การกระจายพลังงานแสงของหลอดแสงจันทร์ขนาด 400 w	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 4.8 แสดงค่าการเสื่อมของหลอดแสงจันทร์ขนาด 175 W และใหญ่กว่าต่อ ชั่วโมงการเปิดใช้งาน 39

รูปที่ 4.9 แสดงเปอร์เซ็นต์ของหลอดที่ยังไม่ขาดต่อชั่วโมงการเปิดใช้งานของหลอดแสงจันทร์ขนาด 75 w , 400 w และ 1000 w 40

รูปที่ 4.10 แสดงโครงสร้างของหลอดเมทัลฮาไลด์ 41

รูปที่ 4.11 แสดงสีและการกระจายพลังงานทางสเปกตรัมของหลอดเมทัลฮาไลด์ 42

รูปที่ 4.12 แสดงหลอดเมทัลฮาไลด์ 43

รูปที่ 4.13 แสดงการกระจายพลังงานแสงของหลอดเมทัลฮาไลด์ 44

รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการเสื่อมของหลอดเมทัลฮาไลด์ต่อชั่วโมงการเปิดใช้งาน 46

รูปที่ 4.15 กราฟแสดงเปอร์เซนต์ของหลอดที่ยังไม่ขาดต่อชั่วโมงการเปิดใช้งานของหลอดเมทัลฮาไลด์ขนาด 400 วัตต์ 47

รูปที่ 4.16 แสดงโครงสร้างหลอดโซเดียมความดันไอสูง 48

รูปที่ 4.17 แสดงสีและการกระจายพลังงานทางสเปกตรัมของหลอดโซเดียมความดันไอสูง 49

รูปที่ 4.18 แสดงหลอดโซเดียมความดันไอสูง 50

รูปที่ 4.19 แสดงการกระจายพลังงานแสงของหลอดโซเดียมความดันไอสูงขนาด 400 w 51

รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความเสื่อมหลอดโซเดียมความดันไอสูงต่อชั่วโมงการเปิดใช้งาน 53

รูปที่ 4.21 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์หลอดที่ยังไม่ขาดต่อชั่วโมงการเปิดใช้งาน 10 ชั่วโมง ครั้ง 53

รูปที่ 4.22 แสดงตัวอย่างตารางโฟโตเมตริก 57

รูปที่ 4.23 ตัวอย่าง isoillumination diagram 59

รูปที่ 4.24 สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของโคมฉายหลอดโซเดียมความดันสูง 61

รูปที่ 4.25 มุมจุดศูนย์กลางในแนวดิ่ง 62

รูปที่ 4.26 มุมจุดศูนย์กลางในแนวระดับ 62

รูปที่ 5.1 การกำหนดตำแหน่งของเสาโดยตั้งเสาเพียงสองเสา 63

รูปที่ 5.2 กฎ 2X-4X 64

รูปที่ 5.3 ตัวอย่างการจัดวางโคมไฟสนาม 65

รูปที่ 5.4 ตารางที่ช่วยในการกำหนดจำนวนและขนาดของหลอดไฟที่ต้องการ 66

รูปที่ 5.5 isoillumination diagram ของดวงโคมที่เลือกใช้ 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 5.6 การเลือกตำแหน่งของผู้สังเกตแยกออกจากกัน และกำหนดมุมมองที่แน่นอนที่ลำดับขั้นของมุมเท่ากัน (ทรงกลมแสดงตำแหน่งของกลุ่มโคม) 73

รูปที่ 5.7 แสดงการเลือกตำแหน่งของผู้สังเกตและกำหนดมุมมองแน่นอน อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน (ทรงกลมแสดงตำแหน่งของกลุ่มโคม) 73

รูปที่ 5.8 แสดงการเลือกตำแหน่งของผู้สังเกตที่ตำแหน่ง GRID และกำหนดมุมมองแน่นอน (ทรงกลมแสดงตำแหน่งของกลุ่มโคม) 74

รูปที่ 5.9 แสดงการเลือกทั้งตำแหน่งของผู้สังเกต และการเลือกมุมมองแยกจากกัน (ทรงกลมแสดงตำแหน่งของกลุ่มโคม) 74

รูปที่ 5.10 แสดงการเลือกตำแหน่งของผู้สังเกตแยกจากกัน และการเลือกมุมมองตามแนวเสา (ทรงกลมแสดงตำแหน่งของกลุ่มโคม) 75

รูปที่ 5.11 แสดงการเลือกตำแหน่งของผู้สังเกตแยกจากกันและมุมมองตามแนวโคม (ทรงกลมแสดงตำแหน่งของกลุ่มโคม) 75

รูปที่ 7.1 สนามกอล์ฟกรีนวัลเลย์ คันทรีคลับ 81

รูปที่ 7.2 สนามกอล์ฟเมืองแก้ว 82

รูปที่ 7.3 สโมสรกอล์ฟดุสิตในพระบรมราชูปถัมภ์ 83

รูปที่ 7.4 วินด์มิลล์ พาร์ค คันทรีคลับ 84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	แสดงการเปรียบเทียบของสีและความยาวคลื่น	5
ตารางที่ 2.2	แสดงการแบ่งมาตรฐานของแหล่งกำเนิดแสงตามระบบ CIE	13
ตารางที่ 2.3	แสดงค่าดัชนีการตอบสนองสีของหลอดตาม CIE	14
ตารางที่ 2.4	แสดงอุณหภูมิสีของแหล่งกำเนิดแสงต่าง ๆ	18
ตารางที่ 4.1	ค่าฟลักซ์แสงสว่างและคุณสมบัติทางแสงของหลอดแสงจันทร์ ประเภทใช้บัลลาสต์ ระบบ 220 และ 380 V. 50 Hz.	37
ตารางที่ 4.2	ค่าฟลักซ์แสงสว่างและคุณสมบัติทางแสง ของหลอดแสงจันทร์ประเภทไม่ใช้บัลลาสต์	38
ตารางที่ 4.3	ค่าฟลักซ์แสงสว่างและคุณสมบัติของหลอดเมทัลฮาไลด์ระบบ 220 V.	45
ตารางที่ 4.4	ค่าฟลักซ์แสงสว่างและคุณสมบัติทางแสงของหลอดโซเดียมความดันไอสูงระบบ 220 V. 50 Hz.	51
ตารางที่ 4.5	แสดงการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของหลอด	54
ตารางที่ 4.6	แสดงคุณสมบัติประจำตัวของหลอดต่าง ๆ สำหรับใช้งาน	55
ตารางที่ 4.7	เลขกำกับบอกความกว้างของดวงโคม	58
ตารางที่ 5.1	สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์โดยประมาณของโคมฉาย	67
ตารางที่ 5.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า GR กับ GF	71
ตารางที่ 5.3	แสดงค่าพิกัดแสงจ้ามากที่สุดสำหรับการใช้งานในพื้นที่ส่องสว่างต่างๆ	76
ตารางที่ 5.4	แสดงค่าพิกัดแสงจ้ามากที่สุดสำหรับการให้แสงสว่างเพื่อการเล่นกีฬา	76
ตารางที่ 7.1	สรุปจำนวนโคมและเสาของสนามกอล์ฟทั้ง 18 หลุม	86
ตารางที่ 7.2	เปรียบเทียบจำนวนเสาและดวงโคมที่ติดตั้งจริงกับที่ทำการออกแบบ	88
ตารางที่ 7.3	สรุปค่าความเข้มแสงเฉลี่ยในสนามกอล์ฟทั้ง 18 หลุม	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยมีสนามกอล์ฟที่มีการเปิดบริการไนท์กอล์ฟเพียงไม่กี่แห่งเท่านั้นอีกทั้งผู้ที่ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องการออกแบบระบบแสงสว่างในสนามกอล์ฟมีน้อยมาก ทางกลุ่มของเราจึงมีความสนใจที่จะทำวิจัยเรื่อง การออกแบบระบบแสงสว่างในสนามกอล์ฟโดยมีเป้าหมายให้ใช้งานจริงได้ มีความสว่างถูกต้องตามมาตรฐาน และใช้งบประมาณให้น้อยที่สุด โดยการให้แสงสว่างสนามกอล์ฟได้ดี ผู้ออกแบบควรเล่นเป็นด้วยเพื่อเข้าใจถึงปัญหาของการส่องสว่าง และที่จุดใดที่ต้องระวังเรื่องแสงบาดตา การส่องสว่างสนามกอล์ฟไม่เพียงแต่ให้ความส่องสว่างที่สนามเท่านั้น แต่ต้องสามารถส่องสว่าง ให้มองเห็นลูกในขณะที่ลอยอยู่ในอากาศด้วย ก็คือต้องให้แสงสว่างทั้งในระดับพื้นดินและระดับสูงด้วย

1.2 ขอบเขตการทำโครงงาน

การได้ทราบถึงทฤษฎีพื้นฐานของแหล่งกำเนิดแสง ดวงโคม การออกแบบระบบแสงสว่าง และ ความรู้ทั่วไปและมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ รวมถึงการใช้โปรแกรมออโตลักซ์ในการช่วยออกแบบระบบแสงสว่าง จากนั้นจะเป็นการนำ ทฤษฎีพื้นฐานเหล่านั้นมาใช้ในการออกแบบระบบแสงสว่างในสนามกอล์ฟ และเพื่อความเข้าใจยิ่งขึ้นเพื่อให้เห็นจริงจึงได้เลือกสนามกอล์ฟแห่งหนึ่งเพื่อเป็นตัวอย่างในการศึกษา โดยทำการกำหนดตำแหน่งเสาไฟกำหนดจุดเล็งของโคมฉาย เพื่อการคำนวณแสงสว่างให้ได้ ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้จากการที่ได้ศึกษาการออกแบบระบบแสงสว่างให้กับสนามกอล์ฟนั้น จะเป็นแนวทางในการประยุกต์เพื่อที่จะสามารถออกแบบระบบแสงสว่างให้กับสนามกอล์ฟอื่น ๆ ได้

1.3 ขั้นตอนการศึกษา

- ศึกษาข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบแสงสว่างในสนามกอล์ฟ
- สำรวจสนามกอล์ฟเพื่อหาข้อมูลเพิ่มเติม
- เลือกสนามกอล์ฟที่ใช้อ้างอิง
- ออกแบบระบบแสงสว่างในสนามกอล์ฟโดยใช้โปรแกรมออโตลักซ์
- สรุปผลการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- มีความรู้เรื่องการออกแบบระบบแสงสว่างในสนามกอล์ฟ
- นำผลการออกแบบไปใช้งานจริงได้
- สามารถลดค่าใช้จ่ายในเรื่องระบบแสงสว่างของทางสนามกอล์ฟได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

พื้นฐานวิศวกรรมการส่องสว่าง

วิศวกรรมการส่องสว่าง(Illumination Engineering) เป็นส่วนที่สำคัญในการออกแบบระบบแสงสว่าง ทั้งนี้เพราะการที่จะออกแบบระบบแสงสว่างที่ดี จำเป็นจะต้องคำนึงถึงแหล่งกำเนิดแสง สี การตอบสนองสี ความเข้มแสง และความส่องสว่าง ซึ่งสิ่งเหล่านี้ล้วนจำเป็นต้องใช้ความรู้ทางด้านวิศวกรรมการส่องสว่าง ดังนั้นจึงจะขอกล่าวถึงพื้นฐานทางด้านวิศวกรรมการส่องสว่างในบทนำก่อนเป็นอันดับแรก โดยทั่วๆไปแล้วการคำนวณทางวิศวกรรมแสงสว่างจะคำนวณในส่วนใหญ่ 2 ส่วนคือระบบไฟแสงสว่างภายในและระบบไฟแสงสว่างภายนอก ซึ่งในเนื้อหาของปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้กล่าวถึงเฉพาะการคำนวณระบบไฟแสงสว่างภายนอกเท่านั้น ส่วนเนื้อหาและรายละเอียดภายในบทนี้จะแบ่งเป็นเรื่องแสงควงตาและการมองเห็น สี และศัพท์ทางด้านแสงสว่างโดยจะสามารถพิจารณาได้ดังนี้

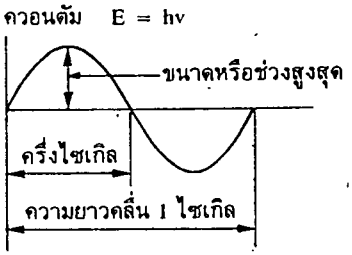
2.1 แสง ดวงตา และการมองเห็น

การมองเห็นวัตถุ แสงที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนสีของแสงเป็นสิ่งที่ทำให้ดวงตามองเห็นวัตถุนั้นและแสดงออกเป็นสีต่าง ๆ ซึ่งรายละเอียดของการมองเห็น แสง และดวงตา จะสามารถพิจารณาได้ดังนี้

2.1.1 ฟิสิกส์ของแสง

ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการค้นคว้าวิจัยทางด้านแสงจะมีอยู่ด้วยกัน 2 ทฤษฎี คือทฤษฎีควอนตัม (quantum theory) และทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic theory) ที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีของคลื่น แต่ทฤษฎีควอนตัมไม่ได้เป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้เพราะว่าไม่สามารถให้ความกระจ่างชัดในเรื่องปรากฏการณ์การรบกวนและปรากฏการณ์ดีแฟรกชัน (defraction phenomena) ได้เพียงพอ

ทฤษฎีดูออลลิตี้ (Duality Theory) ในปีค.ศ.1924 เดอบรอยล์ (De Broglie) ได้ทำการพัฒนาสมมติฐานที่เกี่ยวข้องกันระหว่างทฤษฎีคลื่นและทฤษฎีคอร์พัสคูลา (corpusculartheory) ขึ้นมา และได้แสดงความยาวคลื่น (wave length) ของรูปคลื่น ดังแสดงในรูป 2.1

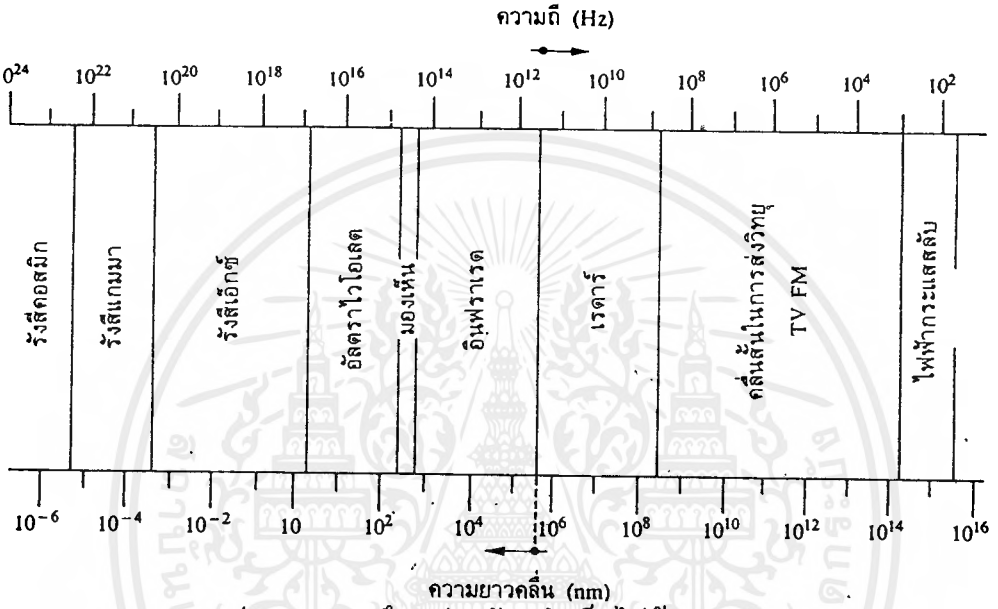


ทฤษฎีคลื่น $\lambda = c/v$
ช่วงเวลา T = เวลาใน 1 ไซเกิล
v หมายถึง ความถี่ (เฮิรตซ์)
ε หมายถึง ควอนตัม
h หมายถึง ค่าคงที่ของแพลงก์ = 6.6256×10^{-27}
λ หมายถึง ความยาวคลื่น
c หมายถึง ความเร็วแสงในสุญญากาศ ประมาณ 186,000 ไมล์/วินาที หรือ 3×10^{8} เมตร/วินาที

รูป 2.1 แสดงรูปคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Spectrum) ทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าจัดว่าเป็นทฤษฎีที่ใช้อธิบายถึงพลังงานการแผ่รังสี (radiant energy) ได้ดี ซึ่งมักจะใช้และพบกันบ่อย ๆ ในวิศวกรที่ศึกษาทางด้านแสง รูปกราฟที่ได้แสดงในรูป 2.2 เป็นการแสดงถึงพลังงานการแผ่รังสีซึ่งจะเรียกว่าสเปกตรัม โดยการพิจารณาพลังงานการแผ่รังสีตั้งแต่รังสีคอสมิก (cosmic ray) จนถึงสัญญาณไฟฟ้า สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า (หรือพลังงานการแผ่รังสี) จะมีช่วงกว้างตั้งแต่ 3,937 10 นิ้ว หรือ 10 นาโนเมตร (nanometer ; nm) ซึ่งเป็นค่ากระแสไฟฟ้าที่ 60 เฮิรตซ์ (hertz)



รูป 2.2 แสดงถึงสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า

ในรูป 2.2 จะพบว่ามีการแบ่งพลังงานการแผ่รังสีออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนหนึ่งด้านขวาจะเป็นความถี่ อีกส่วนหนึ่งทางด้านซ้ายจะเป็นความยาวคลื่น ทั้งนี้เพราะความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นและความถี่จะเป็นส่วนกลับกันคือ การแบ่งพลังงานการแผ่รังสีออกเป็น 2 ส่วนนี้ จะทำการแบ่งในตำแหน่งรอยต่อของอินฟราเรดและเรดาร์ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ถ้าตำแหน่งของพลังงานการแผ่รังสีอยู่ในช่วงอินฟราเรดลงมาจะพิจารณาในรูปแบบของความยาวคลื่น ส่วนพลังงานการแผ่รังสีที่อยู่ในช่วงเรดาร์ขึ้นไปจะพิจารณาในรูปของความถี่ ตัวอย่างเช่น ในระบบไฟฟ้า 50 Hz ถ้าจะกล่าวถึงในเทอมของความยาวคลื่นจะมีค่าประมาณ 10 nm ซึ่งตัวเลขและตามด้วยตัวเลขยกกำลัง 15 ไม่เป็นที่นิยมใช้กัน

สเปกตรัมที่มองเห็นได้ (Visible Spectrum) ในการส่องสว่าง (illumination) จะเกี่ยวข้องกับสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนเล็ก ๆ ส่วนหนึ่ง โดยในส่วนเล็ก ๆ นี้จะเรียกว่าสเปกตรัมที่มองเห็นได้ โดยสเปกตรัมที่มองเห็นได้นี้จะพิจารณาตามหลักของความเป็นจริงที่ว่า ทุก ๆ พลังงานจะให้ความรู้สึกของการมองเห็นเมื่อมีการกระตุ้นของพลังงานกับดวงตา ปกติสเปกตรัมที่มองเห็นได้จะมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง ตั้งแต่แสงสีม่วง (360 nm)ถึงแสงสีแดง (760 nm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตาราง 2.1 เป็นการแสดงถึงส่วนของสเปกตรัมที่มองเห็นได้ ซึ่งจะให้ความรู้สึกของความแตกต่างของสี

ตาราง 2.1 แสดงการเปรียบเทียบของสีและความยาวคลื่น

สี	ความยาวคลื่น (mm)
แดง	760 – 630
แสด	630 – 590
เหลือง	590 – 560
เขียว	560 – 490
น้ำเงิน	490 – 440
คราม	440 – 420
ม่วง	420 – 380

2.1.2 การกำเนิดของแสง

ถ้าเราเผาแท่งเหล็กแท่งหนึ่งที่ความร้อนสูงมากๆ แท่งเหล็กจะเริ่มร้อนแดง และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่แท่งเหล็กมากขึ้นเรื่อยๆมันจะเปลี่ยนสีออกไปทางส้มและเหลืองข้าสว่างในที่สุด ในการเผาแท่งเหล็กดังกล่าวนี้นอกจากเราจะได้พลังงานแสงออกมาแล้วยังมีรังสีอุลตราไวโอเลตและรังสีอินฟราเรดออกมาด้วย แหล่งของพลังงานแสงที่เกิดขึ้นจากการเผาหรือการให้พลังงานความร้อนแก่มันนี้ เราเรียกว่า อินแคนเดสเซนซ์ (incandescence) หรือแหล่งกำเนิดแสงร้อน (hot source) เช่นถ่านแดง ไส้หลอดไฟฟ้า แสงจากการเชื่อมโลหะ ฯลฯ คุณสมบัติประการหนึ่งของแหล่งกำเนิดชนิดอินแคนเดสเซนซ์นี้คือ มันจะให้พลังงานของแสงสีแดงมากกว่าพลังงานของแสงสีน้ำเงิน

แหล่งกำเนิดแสงอีกประเภทหนึ่งที่มิได้เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานแสง แหล่งกำเนิดแสงจำพวกหลังนี้เราเรียกว่า ลูมิเนสเซนซ์ (luminescence) หรือบางทีเราเรียกว่า แหล่งกำเนิดแสงเย็น (cold source) ได้แก่ แสงจากตัวแมลง แสงที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี แสงที่เกิดจากการเปลี่ยนวงโคจรของอิเล็กตรอน รวมไปจนถึงแสงที่เกอดจากการปล่อยประจุ (discharge) ของก๊าซ เช่น แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ แสงจากหลอดแสงจันทร์และแสงจากหลอดโซเดียม เราจะพิจารณาถึงแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่างๆอย่างละเอียดในบทต่อไป

2.1.3 พฤติกรรมของแสง

เมื่อแสงเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสงผ่านออกสู่ตัวกลางชนิดต่างๆนับตั้งแต่ อากาศ ของเหลว วัตถุโปร่งแสง จนกระทั่งถึงวัตถุทึบ มันจะมีพฤติกรรมที่ต่างๆกันออกไป กล่าวคือ ทางเดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแสงจะถูกเปลี่ยนไปเมื่อกระทบตัวกลางเหล่านั้น มันจะหักเห สะท้อน กระจายตัวออกหรือถูกดูดกลืนเข้าไปในตัวกลางนั้นก็ได้

ปรากฏการณ์ต่างๆเหล่านี้ของแสง เป็นเรื่องที่เราต้องคำนึงถึงอย่างรอบคอบเมื่อถึงขั้นตอนของการเลือกใช้ดวงโคม (light fixtures) การออกแบบดวงโคม การเลือกใช้หลอดไฟ (lamp) ตลอดจนถึงขั้นตอนการออกแบบระบบแสงสว่าง (lighting system)

การสะท้อน (reflection) เป็นพฤติกรรมที่แสงตกกระทบบนตัวกลางและสะท้อนตัวออก ถ้าแผ่นตัวกลางดังกล่าวเป็นผิวเรียบขัดมัน การสะท้อนตัวของแสงจะเป็นไปตามที่ว่า มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน

การหักเห (refraction) เป็นปรากฏการณ์ที่ลำแสงหักเหออกจากแนวทางเดินของมัน เมื่อพุ่งผ่านวัตถุโปร่งแสง

การกระจาย (diffusion) คือ การที่แสงกระจายตัวออกเมื่อกระทบถูกผิวของตัวกลาง เช่น แผ่นพลาสติกใสหรือแผ่นผิวหยาบขัดมัน เราใช้ประโยชน์จากการกระจายตัวของลำแสงเมื่อกระทบตัวกลางนี้ เช่น ใช้แผ่นพลาสติกใสปิดดวงโคม เพื่อลดความจ้าของหลอดไฟ

การดูดกลืน (absorbtion) เป็นปรากฏการณ์ที่ลำแสงถูกดูดกลืนหายเข้าไปในตัวกลาง เช่น การฉายแสงสีขาวลงบนกำแพงสีเขียว แสงสีอื่นๆจะถูกดูดกลืนหายเข้าไปในกำแพง ยกเว้นแสงสีเขียวเท่านั้นที่สะท้อนออกมาเข้าสู่ตาเรา

2.2 สี

วิศวกรแสงสว่างจำเป็นที่จะต้องคำนึงและศึกษาในเรื่องที่เกี่ยวกับสี ทั้งนี้เพราะการกระทบของแสงหรือทางเดินของแสงจะสามารถกระทำได้บนวัตถุใด ๆ เหล่านั้นก็จะทำให้ดวงตาเห็นสีได้ สีไม่ใช่เกิดจากคุณสมบัติของวัตถุ แต่สีเป็นสิ่งที่เกิดจากความแตกต่างของความยาวคลื่นของพลังงานการแผ่รังสีที่ตกกระทบลงบนเรตินา แล้วทำให้บุคคลรู้สึกหรือมองเห็นเป็นสีออกมา ซึ่งเหมือนกับเป็นจิตศาสตร์ที่สั่งการขึ้นมา คุณสมบัติของสเปกตรัมที่กระจายในวัตถุจะเป็นตัวสร้างสีเฉพาะขึ้นซึ่งจะไปทำให้ตารู้สึกว่าเป็นสีขึ้นบนวัตถุนั้น ถ้าแหล่งกำเนิดแสงหรือวัตถุมีการเปลี่ยนแปลง สีที่ตาก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าวิศวกรแสงสว่างจำเป็นที่จะต้องรู้ถึงคุณสมบัติของสี เพื่อที่จะทำให้งานออกแบบระบบแสงสว่างเป็นไปอย่างมีคุณภาพ ซึ่งการคำนึงถึงคุณสมบัติของสีจำเป็นต้องคำนึงถึงวัตถุและแหล่งกำเนิดแสงนั่นเอง

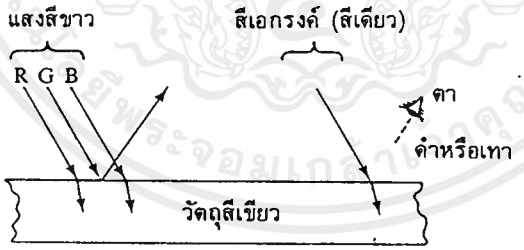
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ทฤษฎีสี (Color Theory)

ในศตวรรษที่ 17 นิวตันได้ค้นพบสีขาวขึ้น โดยสีขาวเกิดจากลำแสงที่มีความแตกต่างของสีหลายลำแสงมารวมกัน ในขณะเดียวกัน ถ้าแสงจากดวงอาทิตย์ฉายผ่านปริซึม จะได้แสงออกมาซึ่งจะแยกแยะสีได้ ที่เราคุ้นกับวิธีการนี้และให้ชื่อเรียกกันทั่วไปว่า สเปกตรัม เมื่อทำการผ่านแสงสเปกตรัมนี้เข้าไปในปริซึมชิ้นที่สอง พลังงานที่ปรากฏออกมาจากปริซึมชั้นที่สองนี้จะเป็นลำแสงเดียวของแสงสีขาวนั่นเอง นิวตันจึงได้สรุปผลการทดลองออกมาคือ สีเจ็ดสีที่ปรากฏในสเปกตรัมเป็นสีพื้นฐานหรือสีปฐมภูมิ

ถ้าแสงที่มีความยาวคลื่นพอเพียงตกกระทบบนเรตินาของดวงตา เช่น ความยาวคลื่น 650nm ความรู้สึกของสีที่เกิดขึ้นจะชัดเจน และจะกระตุ้นบ่งบอกให้รู้ว่าเป็นสีแดง ความรู้สึกของการเห็นสีจะเกิดจากการกระทำของพลังงานแผ่รังสีที่มีความยาวคลื่นจำเพาะต่าง ๆ กระทำลงบนเรตินาของดวงตาบุคคลปกติ

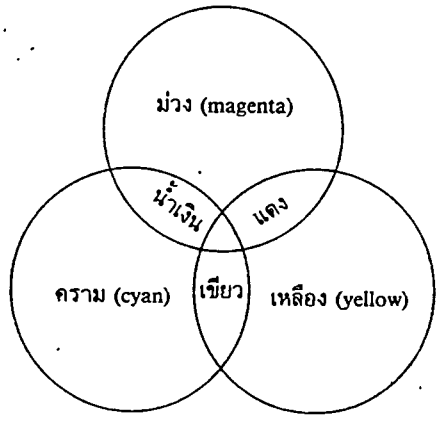
จากการทดลองของนิวตันเป็นการแสดงถึงธรรมชาติของแสงจะมีผลกระทบถึงการเห็นของสี เช่น การมองวัตถุที่มีสภาวะของแสงแตกต่างกันออกไป เช่น ภายใต้แสงเทียน แสงแดดสีที่มองเห็นก็จะมีความแตกต่างกันออกไปด้วย ทั้งนี้เพราะสีที่มองเห็นจะขึ้นอยู่กับแสงที่ตกหรือฉายลงบนวัตถุนั้น ตลอดจนการสะท้อนของวัตถุเองและการตอบสนองของดวงตาด้วย สีที่เกิดขึ้นนี้จะเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การเลือกดูดกลืน (selective adsorption) ดังแสดงไว้ในรูป 2.3



รูป 2.3 แสดงปรากฏการณ์การเลือกดูดกลืน

การเลือกดูดกลืนจะเป็นผลของวัตถุที่แสงมาตกกระทบ บางส่วนก็มีการดูดกลืนเข้าไปในวัตถุ บางส่วนก็มีการสะท้อนกลับออกไป หรือบางส่วนอาจกระจายไป ซึ่งจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุที่เป็นวัตถุนั่นเอง จะเป็นการทำให้เกิดกระบวนการดูดกลืนหรือการลดลงของสี กระบวนการดังกล่าวจะเป็นสิ่งที่อธิบายถึงเหตุผลที่ว่าความยาวคลื่นของแสงบางช่วงจะสามารถสะท้อนออกไปซึ่งจะทำให้วัตถุปรากฏสีออกมา วัตถุที่เป็นสีเทาจะมีเปอร์เซ็นต์ของการดูดกลืนลำแสงแน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

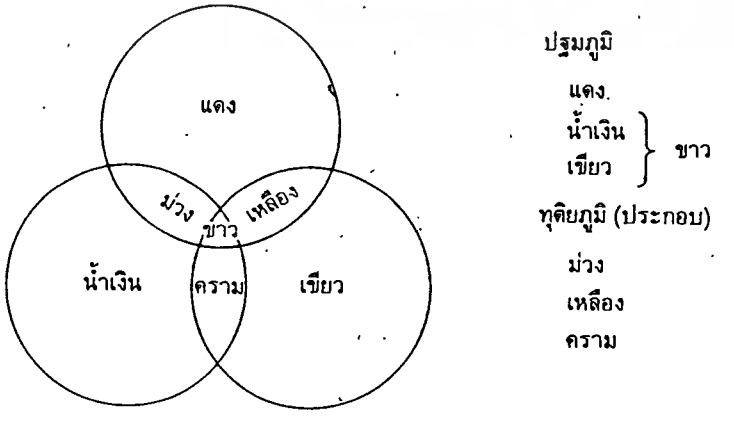


รูป 2.4 แสดง subtractive primaries

ทฤษฎีการผสมสีของสี(Subtractive Colour Mixing Theory)ในรูปที่ 2.4 แสดงสีปฐมภูมิอันประกอบด้วยสีม่วง เหลือง คราม ซึ่งจะเรียกว่า ซับแทร็กทีฟไพรมารี(subtractive primaries) ส่วนที่ผสมกันในรูป 2.4 คือ ส่วนแดง เขียว น้ำเงิน เป็นส่วนที่เกิดจากคู่ของซับแทรกทีฟผสมกันและปรากฏเป็นสีแดง เขียวน้ำเงิน สีดังกล่าวจะเรียกว่าสีประกอบ(complementary) ตัวอย่างเช่น สีน้ำเงินจะเป็นสีประกอบของสีเหลือง และนอกจากนี้ถ้าสีปฐมภูมิทั้ง 3 สีรวมกันจะได้สีดำ

ทฤษฎีการผสมเพิ่มขึ้นของสี(Additive Colour Mixing Theory) ในศตวรรษที่19 โทมัส ยังก์(Thomas Young)ได้ค้นพบทฤษฎีว่า แสงสีขาวจะประกอบด้วยสีปฐมภูมิสามสี หลังจากนั้น เฮล์มโฮลต์(Helmholtz) ได้กล่าวทฤษฎีที่สนับสนุนทฤษฎีของยังก์คือ เส้นประสาท(nerve fiber) 3 กลุ่มจะอยู่ในดวงตา โดยแต่ละกลุ่มของเส้นประสาทจะไวต่อสีซึ่งอยู่ 1 ใน 3 ของสีปฐมภูมิ โดยกลุ่มที่ 1 จะไวต่อสีแดง กลุ่มที่ 2 ไวต่อสีเขียว และกลุ่มที่ 3 จะไวต่อแสงสีน้ำเงิน

ในรูป 2.4 เป็นการผสมกันของสีที่เรียกว่า additive โดยเมื่อ 2 กลุ่มของแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันจะให้สีที่ 3 ออกมา หรือกล่าวได้ว่าในการผสมสีกันของ additive primaries จะให้สีทุติยภูมิออกมา เช่น สีแดงผสมกับเขียวจะให้สีทุติยภูมิเป็นสีเหลือง แดงผสมกับน้ำเงินจะให้สีม่วง และถ้าเป็นการผสมกันของสีแดง เขียว น้ำเงิน จะให้แสงสีขาว



รูป 2.5 แสดง additive primaries

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีประกอบที่แสดงในรูป 2.5 จะได้แก่ สีเหลือง (เป็นสีทุติยภูมิที่เกิดจากการผสมของสีแดงและเขียว) จะเป็นสีประกอบของสีน้ำเงิน(สีปฐมภูมิ)

จิตความรู้สึกของสี (Psychological Effects of Colour) สีจะเกิดจากความรู้สึกทางจิต นอกจากนี้สียังให้ความรู้สึก เช่น

1. อบอุ่น เบิกบาน ได้แก่ สีแดง สีส้ม-แดง สีส้ม สีเหลือง
2. เย็น พักผ่อน ได้แก่ สีน้ำเงิน-เขียว สีม่วง
3. สงบ ได้แก่ สีเหลือง-เขียว สีเขียว

2.2.2 การแยกประเภทของสี (Colour Classification)

จำนวนของระบบการแยกประเภทของสีได้ถูกนำเสนอมานานแล้วแต่สามารถระบุได้ว่าการแยกประเภทของสีจะมีอยู่ด้วยกัน 3 ระบบใหญ่ๆ คือ

1. ระบบมันเซลล์ (Munsell system)
2. ระบบอ็อตวอลด์ (ostwald system)
3. ระบบ CIE (CIE chromaticity system)

ระบบมันเซลล์และอ็อตวอลด์จะใช้ในระบบสีที่ใช้ทา ส่วนระบบ CIE จะใช้ในงานวิจัยสี โรงงานกระบวนการ และการตลาด โดยที่ระบบ CIE จะมีข้อที่ดีคือ จะรวบรวมผลของสีวัตถุสีของแหล่งกำเนิดแสง และระบบการมองเห็น ซึ่งจะทำให้ได้สีภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่ได้

1. ระบบสีมันเซลล์ ในปี ค.ศ. 1898 มันเซลล์ (A.H. Munsell) ได้ค้นพบระบบสีขึ้นมา โดยวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบการสอนเกี่ยวกับสีในห้องเรียน การเริ่มต้นของมันเซลล์ได้เริ่มจากการเตรียมมาลงบนวงกลม ทรงกลม และพัฒนาต่อไป

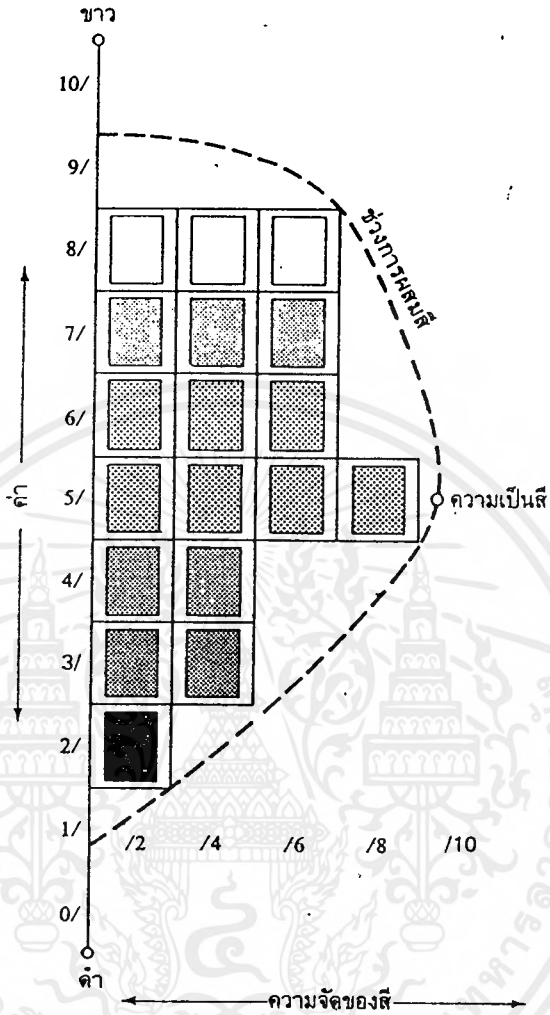
ระบบสีมันเซลล์จะกำหนดประเภทสีตามลักษณะของความเป็นสี (hue) น้ำหนักของสี (value)และความจัดของสี (chroma) โดยความเป็นสีจะแบ่งเป็นสีหลัก 5 สี คือ แดง (R) เหลือง (Y) เขียว (G) น้ำเงิน (B) และ ม่วง (P) กับสีกลาง 5 สี คือ YR , GY , BG , PB และ RP ซึ่งความเป็นสีทั้งสิบนี้ยังถูกแบ่งแยกย่อยออกเป็น 10 ประเภท โดยกำหนดเป็นตัวเลขตั้งแต่ 1 – 10 โดยนำมาใส่หน้าชื่อของความเป็นสีที่อยู่ใกล้ที่สุด เช่น 4R หรือ 7BG

ส่วนน้ำหนักของสี คือค่าความสว่างหรือความมืดของสี ในระบบมันเซลล์จะแบ่งน้ำหนักของสีจาก 0 (ดำ) ไปจนถึง 10 (ขาว) ซึ่งค่าน้ำหนักของสีนี้มีความสัมพันธ์กับค่าการสะท้อนอีกด้วย

ความจัดของสี คือ ความสด หรือ ความบริสุทธิ์ของสีสีหนึ่ง ซึ่งถ้าหากสีนั้นถูกสีขาว เทา หรือ ดำ ผสมเข้าไปแล้วจะทำให้สีสีนั้นมีความจัดน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูป 2.6 แสดงความเป็นสี โดยในแนวตั้งส่วนล่างสุดจะเป็นการแสดงส่วนที่มืดที่สุด และส่วนยอดจะเป็นส่วนที่สว่าง ส่วนในแนวระนาบจะเริ่มต้นจากสีแบบเอกรงค์ (achromatic color)ได้แก่ ดำ เทา หรือ ขาว



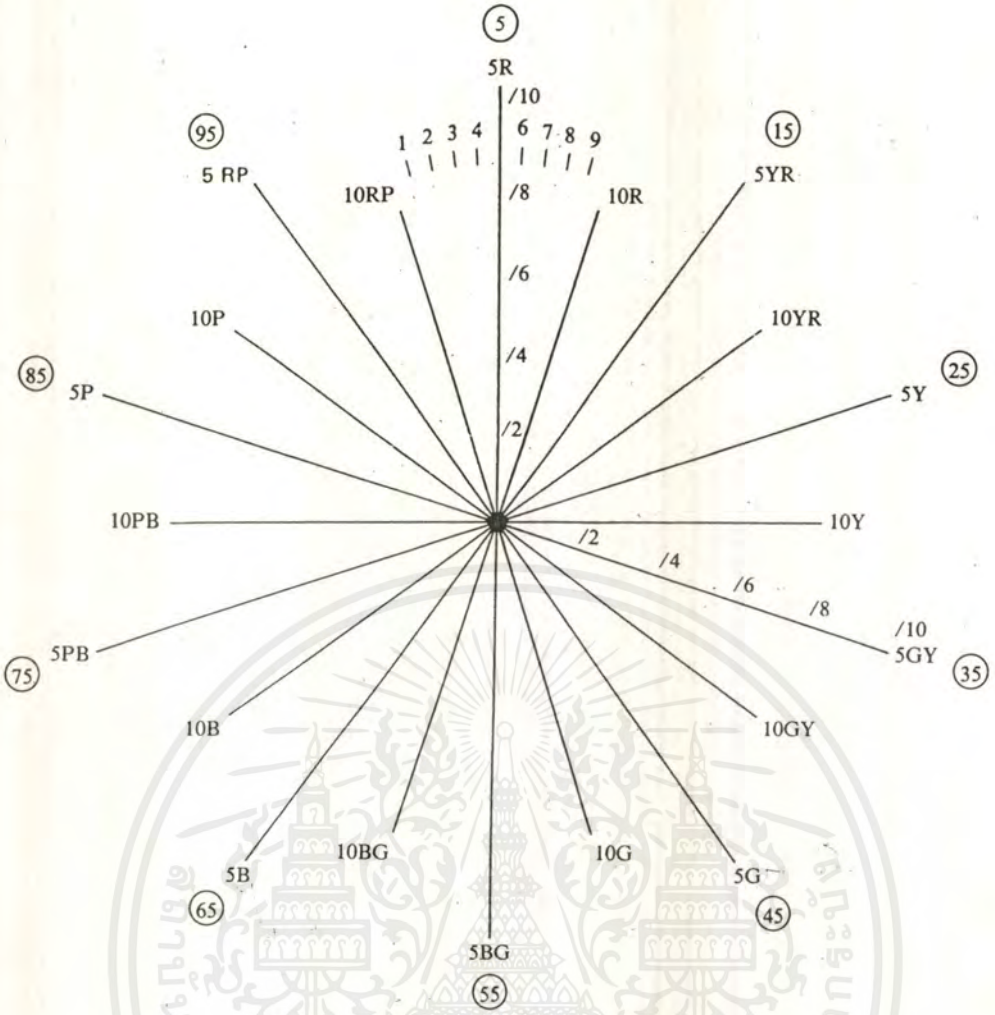
รูป 2.6 แสดงส่วนของความเป็นสี (true segment)

ในรูป 2.7 แสดงน้ำหนักของสี โดยค่าตัวเลขจะแสดงอยู่ 100 จุด สเกลความเป็นมันเซลล์จะแสดงไว้รอบ ๆ วงกลมส่วนนอกของรูป ช สีที่มีความเป็นสีดงที่จะแสดงไว้โดยเส้นรัศมี โดยจะแบ่งความเป็นสีออกเป็น 10 ส่วน ตัวอย่างเช่น ส่วน 1R ถึง 10R

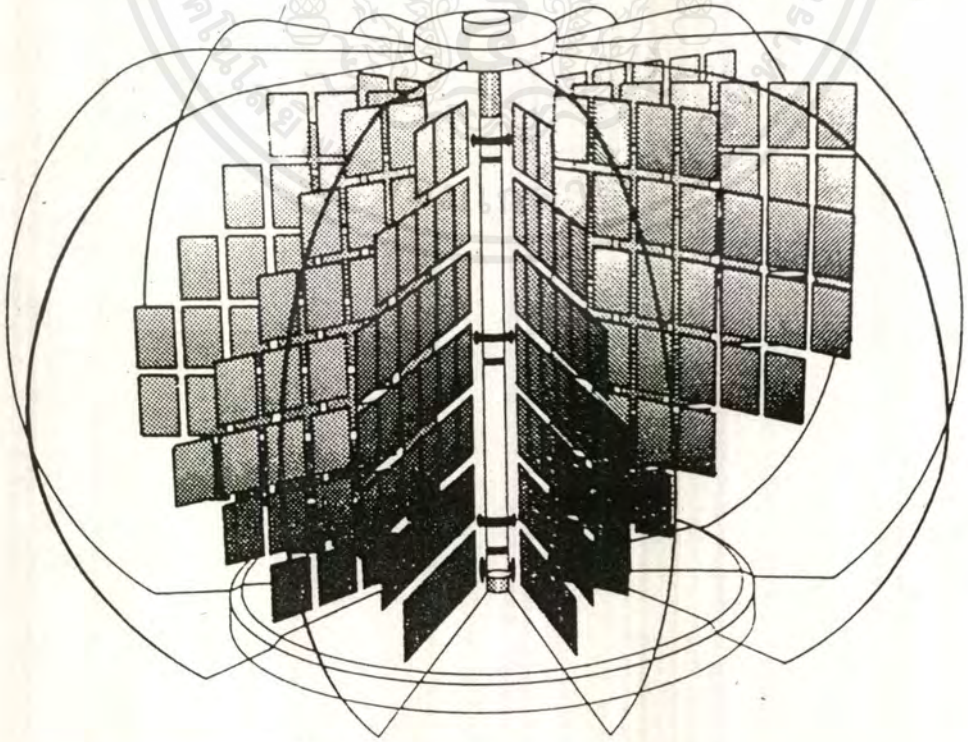
ทรงกลมมันเซลล์ (Muncell Solid) ได้แสดงไว้ในรูป 2.8 ซึ่งเป็นรูป 3 มิติ

การแสดงความหมาย โดยปกติทั่ว ๆ ไป ระบบมันเซลล์จะแสดงสัญลักษณ์อยู่ 3 ตัว ตัวอย่างเช่น 5G7/4 โดยความหมาย 5G คือความเป็นสีเขียว ตัวเลข 7 แสดงถึงน้ำหนักของสี และตัวเลข 4 แสดงความจัดของสี สี 5G7/4 ตามความหมายของการแบ่งความเป็นสีตามรูป ช แล้วจะพบว่าคือค่า 45-7/4 นั่นเอง โดยสรุปแล้วในระบบมันเซลล์สีใด ๆ ก็ตามสามารถกำหนดได้โดยใช้ลักษณะทั้ง 3 อย่างโดยเรียงลำดับอยู่ในรูป ความเป็นสี น้ำหนักสี และความจัดของสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



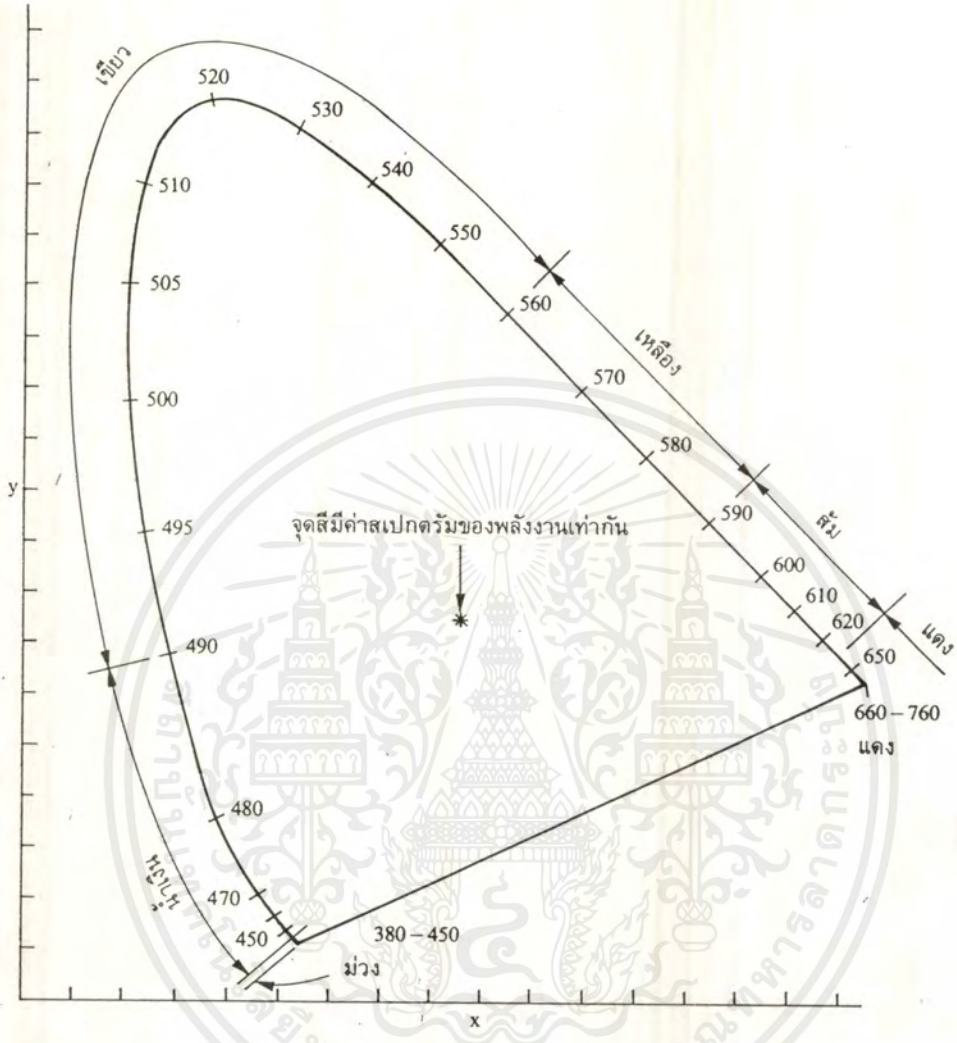
รูป 2.7 แสดงส่วนของน้ำหนักสีที่คงที่



รูป 2.8 แสดงทรงกลมมันเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ระบบ CIE โดย CIE ได้เสนอวิธีกำหนดสีของแสงให้อยู่ในรูปโคออร์ดิเนต (x , y) ในไดอะแกรมสี ดังรูปที่ 2.9



รูป 2.9 แสดงไดอะแกรม CIE

ซึ่งค่าโคออร์ดิเนตของสีเหล่านี้ จะสามารถคำนวณได้จากค่ากระจายสเปกตรัมในการแผ่รังสีของแหล่งกำเนิดแสง โดยจุดต่างๆ ที่อยู่ภายในพื้นที่ล้อมรอบโดยเส้นโลกัส จะแทนสีต่าง ๆ และมีเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างสีแดง กับสีครามและม่วงเพื่อปิดไดอะแกรม

มาตรฐานของแหล่งกำเนิดแสง ตามระบบ CIE จะกำหนดมาตรฐานของแหล่งกำเนิดแสงออกเป็นมาตรฐานด้วยกัน ดังแสดงไว้ในตาราง 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.2 แสดงการแบ่งมาตรฐานของแหล่งกำเนิดแสงตามระบบ CIE

แหล่งกำเนิดแสง	รายละเอียด	จุดโคออร์ดิเนต
มาตรฐาน A	หลอดทังสเตน	x = 0.4476 y = 0.4075
มาตรฐาน B	แสงแดดเที่ยงวันเฉลี่ย (mean noon sunlight)	x = 0.3485 y = 0.3518
มาตรฐาน C	กลางวันเฉลี่ย (average daylight)	x = 0.3101 y = 0.3163

ในรูป 2.9 ซึ่งมีโคออร์ดิเนต (0.33, 0.33) จะเป็นจุด EEW คือเป็นจุดที่แทนจุดสีมีค่าสเปกตรัมของพลังงานเท่ากัน ซึ่งจุดนี้ CIE จะกำหนดให้เป็นสีขาว

2.2.3 การตอบสนองสี

การตอบสนองสีของหลอดเป็นคุณสมบัติการตอบสนองสีของหลอด เมื่อหลอดฉายไปยังวัตถุซึ่งจะสามารถพิจารณาได้ดังนี้คือ

ก. วิธีการเลื่อนสีสำหรับกำหนดคุณสมบัติการตอบสนองสีของหลอดไฟ (color shift method of specifying the color rendering properties of light source) CIE ได้แนะนำวิธีการวัดและกำหนดคุณสมบัติการตอบสนองสีของแหล่งกำเนิดแสง โดยพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในสีของวัตถุที่มองเห็น เมื่อแหล่งกำเนิดแสงที่ทดสอบถูกแทนที่โดยแหล่งกำเนิดแสงอ้างอิง โดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้หมายถึงขนาดของการเลื่อนโคออร์ดิเนตจุดสีในไดอะแกรมสี ซึ่งตัวเลขนี้จะเรียกว่า ดัชนีการตอบสนองสีเฉพาะ (special color rendering index ; R_i) ค่า R_i สูงสุดคือ 100 ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อการกระจายสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ทดสอบ เหมือนกับแหล่งกำเนิดแสงอ้างอิง นอกจากนี้สีของวัตถุที่ใช้จะมีทั้งหมด 8 สี โดยในแต่ละสีจะมีค่า R_i ของตัวมันเอง (R_1- R_8) ซึ่งค่าเฉลี่ยของดัชนีการตอบสนองสีเฉพาะของสีทั้ง 8 สีนี้จะเรียกว่า ดัชนีการตอบสนองสีทั่วไป (general color rendering index :R_a) ถ้าค่า R_a น้อยกว่า 100 มากเท่าใดแสดงถึงคุณสมบัติการตอบสนองสีของหลอดไฟที่ทดสอบจะบิดเบือนจากแหล่งกำเนิดแสงอ้างอิงมากขึ้น นอกจากนี้ สีของวัตถุที่ใช้อาจจะใช้มากกว่านี้อีกก็ได้เช่นตั้งแต่ $R_9 - R_{14}$ เป็นต้น

แหล่งกำเนิดแสงอ้างอิงควรมีอุณภูมีสีเท่ากับหรือใกล้กับสีที่ใช้ทดสอบ ถ้าแหล่งกำเนิดแสงอ้างอิงมีอุณภูมีสี 5,000 K หรือต่ำกว่า ควรเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีโคออร์เนตอยู่ใน Planckian locus และถ้าอุณหภูมิสีมากกว่า 5,000 K ควรเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีสีคล้ายดวงอาทิตย์

ข . คุณสมบัติการตอบสนองสีของหลอดไฟ (color rendering properties of lamp) ในระบบแสงสว่างภายใน ดัชนีการตอบสนองสีทั่วไปที่น้อยที่สุดของหลอดไฟสามารถแบ่งเป็น 4 กลุ่มดังตาราง 2.3 จากตารางกลุ่มพิเศษเป็นกลุ่มที่แหล่งกำเนิดแสงถูกออกแบบให้มีการกระจาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเปกตรัมพิเศษ สำหรับใช้ในกรณีที่เกิดความเพี้ยนของสีที่แตกต่างไปจากสีธรรมชาติทั้งนี้เนื่องจากต้องการเน้นลักษณะบางอย่างของสี

หลอดเผาไส้หรือหลอดอินแคนเดสเซนต์ จะมีดัชนีการตอบสนองสีสูง แต่จะมีประสิทธิภาพต่ำ ส่วนหลอดฟลูออเรสเซนต์มีประสิทธิภาพและคุณสมบัติการตอบสนองสีค่อนข้างดี แต่ถ้าจะให้ปรับปรุงคุณสมบัติการตอบสนองสีให้ดีขึ้นแล้วประสิทธิภาพจะลดลง ซึ่งในบางครั้งการออกแบบอาจต้องออกแบบให้มีการตอบสนองสีดี โดยที่ความสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์จะต่ำ ทั้งนี้เพราะจะทำให้เกิดความพอใจในการมองเห็นมากกว่าการออกแบบให้มีความสว่างสูง แต่กลับมีคุณสมบัติการตอบสนองเลว ส่วนหลอดความดันไอปรอทสูงและหลอดความดันไอโซเดียมต่ำจะมีประสิทธิภาพสูง แต่จะมีคุณสมบัติการตอบสนองสีที่เลว

ตาราง **2.3** แสดงค่าดัชนีการตอบสนองสีของหลอดตาม CIE

การตอบสนองสี	ช่วงของการตอบสนองสี (R_a)	สีที่ปรากฏ	ตัวอย่างการใช้
1.	$R_a \geq 85$	คูล	อุตสาหกรรมทอผ้า สี และ อุตสาหกรรมเกี่ยวกับสี
		อินเตอร์มิเดียต	การแสดงของร้านค้า โรงมหรสพ
		วอร์ม	บ้าน โรงแรม ภัตตาคาร
2.	$70 \leq R_a < 85$	คูล	ออฟฟิศ โรงเรียน ห้างสรรพสินค้า สโตร์ อุตสาหกรรมงานละเอียด (ในภูมิภาคอบอุ่น)
		อินเตอร์มิเดียต	ออฟฟิศ โรงงาน ห้างสรรพสินค้า สโตร์ อุตสาหกรรมงานละเอียด (ในภูมิภาคพอสบาย ๆ)
		วอร์ม	ออฟฟิศ โรงเรียน ห้างสรรพสินค้า สโตร์ สภาวะแวดล้อมที่ถูกวิจารณ์อุตสาหกรรม (ในภูมิภาคเย็น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.3 (ต่อ) แสดงค่าดัชนีการตอบสนองสีของหลอดตาม CIE

การตอบสนองสี	ช่วงของการตอบสนองสี (R_a)	สีที่ปรากฏ	ตัวอย่างการใช้
3.	หลอดไฟที่ $R_a < 70$ แต่มีคุณสมบัติการตอบสนองสีที่ยอมรับได้และใช้สำหรับงานภายในทั่วไป	-	ภายในโดยการตอบสนองสีถือว่ามีความสำคัญน้อย
พิเศษ	หลอดซึ่งมีคุณสมบัติการตอบสนองสีผิดปกติ	-	การใช้งานพิเศษ

2.2.4 ข้อสรุปสีและตัวอย่าง

อุณหภูมิสีจะหมายถึง สีที่ปรากฏจริงของแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งจะแสดงอยู่ในเทอมของวอร์ม (warm) หรือ คูล (cool) ส่วน CRI (ดัชนีการตอบสนองสี) จะเป็นวิธีการวัดค่าว่าหลอดจะมีอิทธิพลต่อสีที่ปรากฏบนวัตถุอย่างไร ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง CRI และอุณหภูมิสีจะสามารถพิจารณาได้จากรูป 2.10

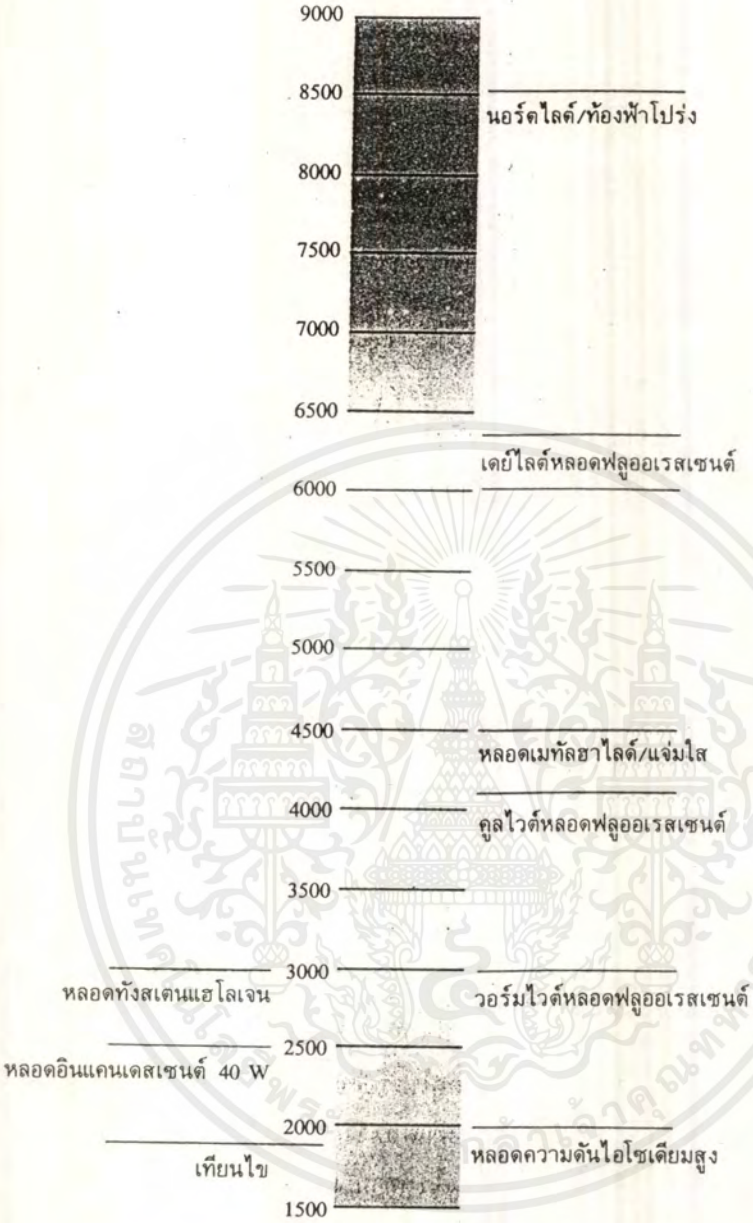
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง CRI และอุณหภูมิสี

นอกจากนี้จะพิจารณาถึงสเกลเคลวิน (Kelvin scale) จะสามารถกล่าวได้ว่า ในการกำหนดอุณหภูมิสีนั้นจะพิจารณาเปรียบเทียบกับแหล่งอ้างอิง ซึ่งทั่ว ๆ ไปที่รู้จักกันจะอยู่ในนามของวัตถุดำ (black body) โดยแหล่งกำเนิดแสงนี้จะคิดว่าเป็นชิ้นส่วนของโลหะซึ่งจะมีสีดำเมื่อเย็นตัวลง แต่ถ้าผ่านพลังงานไฟฟ้าเข้าไปตลอดเนื้อโลหะนี้จะทำให้เกิดความร้อนขึ้นบนโลหะและต่อมาก็จะเกิดการเรืองแสงขึ้น ซึ่งในขณะที่เริ่มเรืองแสงนี้ แสงที่เปล่งออกมาจะเป็นสีแดงส้ม และถ้ายังให้ความร้อนขึ้นไปเรื่อย ๆ อุณหภูมิก็จะสูงขึ้น สีที่ปรากฏออกมาก็จะเปลี่ยนสีกลายเป็นสีส้ม เหลือง และน้ำเงิน และเป็นสีน้ำเงิน- ขาวเมื่ออุณหภูมิสูงมากขึ้น ดังนั้น ณ ตำแหน่งทุกจุดของขั้นตอน ถ้าได้ทำการวัดอุณหภูมิของวัตถุดำ อุณหภูมิของวัดได้จะเป็นอุณหภูมิสี และจะมีหน่วยเป็นสเกลเคลวิน และการวัดสเกลเคลวินนี้จะเปลี่ยนตามสีของวัตถุดำที่ร้อนขึ้นเสมอ

จากหลักการที่กล่าวมาจะพบว่า อุณหภูมิสีเป็นการวัดอุณหภูมิเฉพาะวัดถุดำเท่านั้น ถ้าในการพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงอื่น ๆแล้วจะใช้เทอมที่เรียกว่าอุณหภูมิสีเกี่ยวพันกันหรือ อุณหภูมิสีเทียบเคียง (correlated color temperature ; CCT) แทน ตัวอย่างเช่น แหล่งกำเนิดแสงชนิดหนึ่งมีค่า CCT เท่ากับ 4,100 K จะถือว่าเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดคูลไวท์ (cool white) ซึ่งจะคล้ายกับสีที่ปรากฏบนวัตถุดำ ณ อุณหภูมิ 4,100 K หรืออย่างหลอดเผาไส้มาตรฐานมีค่า CCT 2,700 K ในรูป 2.10 เป็นการแสดงสเกลเคลวินของ CCT และในตาราง 2.4 แสดงถึงอุณหภูมิสีของแหล่งกำเนิดแสงต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.11 แสดงสเกลเคลวินของ CCT

การเปรียบเทียบวอร์มไลท์ และ คูลไลท์ จากการพิจารณาข้างต้นจะพบว่า ถ้าอุณหภูมิสีบนวัตถุดำมีค่าต่ำ สีที่เปล่งออกมาจะเป็นสีแดง-ส้ม และจะเรียกสีที่เปล่งออกมาในช่วงนี้ว่า วอร์ม (warm) เช่นหลอดที่มี CCT ต่ำกว่า 3,200 K จะอยู่ในประเภทวอร์ม และในทางกลับกัน ถ้าอุณหภูมิสีมีค่าสูง สีที่เปล่งออกมาจากวัตถุดำก็จะเป็นสีน้ำเงิน หรือน้ำเงิน-ขาวและจะเรียกหลอดที่เปล่งสีดังกล่าวว่า คูล (cool) ก็จะมีอุณหภูมิสีสูงกว่า 3,900 K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

34175

ตาราง 2.4 แสดงอุณหภูมิสีของแหล่งกำเนิดแสงต่าง ๆ

แหล่งกำเนิดแสง	อุณหภูมิสี (K)
เทียนไข	1,900 – 1,950
หลอดที่มีไส้เป็นคาร์บอน	2,100
หลอดที่มีไส้เป็นทังสเตน	
40W	2,700
150W – 500W	2,800 – 2,900
หลอดโปรเจกเตอร์	2,850 – 3,200
หลอดคาร์บอนอาร์ก	3,700 – 3,800 และมากกว่า
แสงจันทร์ (moonlight)	4,100
แสงแดด (sunlight)	5,300 – 5,800
แสงตะวัน (daylight) (ดวงอาทิตย์ + ท้องฟ้าแจ่มใส)	5,800 – 6,500
ท้องฟ้าครึ้มฝน (overcost sky)	6,400 – 6,900
ท้องฟ้าแจ่มใสสีน้ำเงิน (clear blue sky)	10,000 – 26,000
หลอดฟลูออเรสเซนต์	3,000 – 7,500

ดัชนีการตอบสนองสี (CRI) และอุณหภูมิสี ถึงแม้ว่า CCT จะหมายถึงแสงจริงที่เกิดขึ้นจากหลอดไฟ แต่ไม่ได้หมายถึงว่าหลอดไฟจะมีผลต่อวัตถุในเรื่องของสีที่ปรากฏบนวัตถุนั้น เช่น ถ้ามีแหล่งกำเนิดแสงสองชนิดแต่มีค่า CCT ใกล้เคียงกัน แต่ทำให้สีที่ปรากฏจากวัตถุชนิดเดียวกันกลับแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง เช่น วัตถุสีแดงแต่กลับกลายเป็นสีเขียว นั่นย่อมแสดงว่า CCT ไม่ใช่ข้อมูลที่เพียงพอในการพิจารณาเรื่องเกี่ยวกับสี จึงต้องมีการคำนึงถึงดัชนีการตอบสนองสี (CRI) ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ศัพท์และหน่วยทางแสง

ในงานวิศวกรรมแสงสว่าง มีศัพท์เทคนิคทางด้านแสงสว่าง ซึ่งเนื้อหาในบทนี้จะได้กล่าวถึงเพื่อเป็นประโยชน์และสามารถใช้ในเนื้อหาต่อไปนี้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

มุมเชิงของแข็ง (Solid Angle ; ω) เป็นอัตราส่วนของพื้นที่ผิวทรงกลม (A_m) ต่อรัศมีของทรงกลม (r) ยกกำลังสอง

$$\omega = A_M / r^2$$ หน่วยเป็นสเตอเรเดียน (steradian ; sr)

ฟลักซ์ส่องสว่าง (Luminous Flux ;ϕ) เป็นพลังงานแสงสว่างที่แผ่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงต่อหน่วยเวลา

$$\phi = dQ/dt$$ หน่วยเป็นลูเมน (lumen ; lm)

โดยที่ Q หมายถึง พลังงานแสงสว่าง มีหน่วยเป็น ลูเมน * วินาที (lm*s)

ค่าลูเมนเป็นค่าฟลักซ์ที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแสงแผ่อยู่ภายในมุมเชิงของแข็ง โดยที่แหล่งกำเนิดแสงมีความเข้มแห่งการส่องสว่าง 1 แคนเดลา

ลูเมน = 1 แคนเดลา - สเตอเรเดียน = 1 cd-sr

ความเข้มส่องสว่าง (Luminous Intensity ; I) เป็นความหนาแน่นของฟลักซ์ส่องสว่างจากแหล่งกำเนิดแสงในทิศทางใดๆ ต่อมุมเชิงของแข็ง

$$I = d\phi/d\omega$$ หน่วยเป็น ลูเมน / สเตอเรเดียน หรือ แคนเดลา (cd)

ความส่องสว่าง เป็นค่าความเข้มส่องสว่างในทิศทางที่มองของพื้นที่ย่อยนั้นหารด้วยพื้นที่ของส่วนย่อยนั้นในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางที่มอง นั้นคือความรู้สึกของตาในความส่องสว่างของพื้นที่ผิวที่ส่องแสงหรือ ถูกส่องแสง

$$L = I\theta / dA\theta$$ หน่วยเป็น cd/m^2

ถ้าพื้นที่มีหน่วยเป็นตารางนิ้ว หน่วยของความส่องสว่างจะเป็น $cd/inch^2$ และ 1 ฟุต-แลมเบิร์ต (foot lambert) จะมีค่า $1/144\pi$ $cd/inch^2$

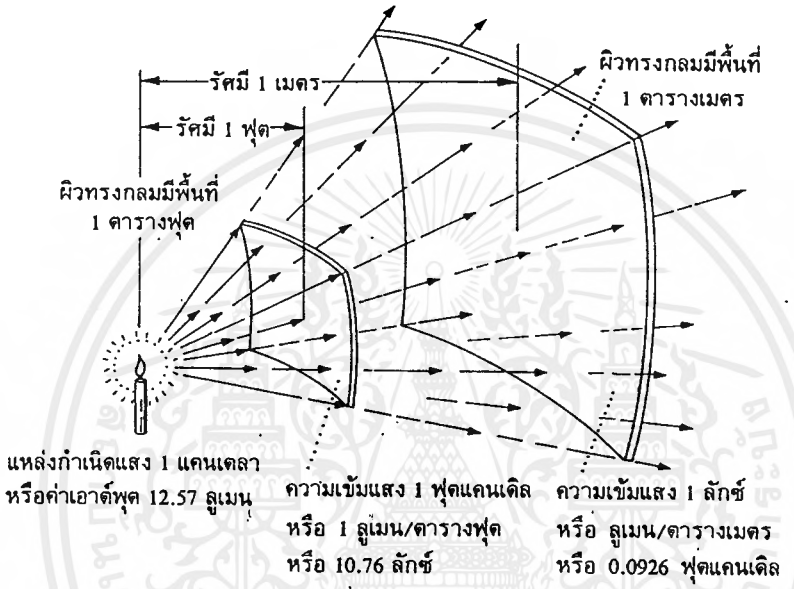
ความเข้มแสง คือ ฟลักซ์ส่องสว่างที่ตกกระทบส่วนย่อยส่วนหนึ่งของพื้นผิวนั้นหารด้วยพื้นที่ส่วนย่อยนั้น โดยถ้าพื้นที่มีหน่วยเป็นตารางเมตร ความเข้มแสงจะมีหน่วยเป็นลักซ์ (lux)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ถ้าพื้นที่มีหน่วยเป็นตารางฟุต ความเข้มแสงจะมีหน่วยเป็นฟุตแคนเดิล (foot candle ; fc) โดยที่

1 fc = 10.764 lux

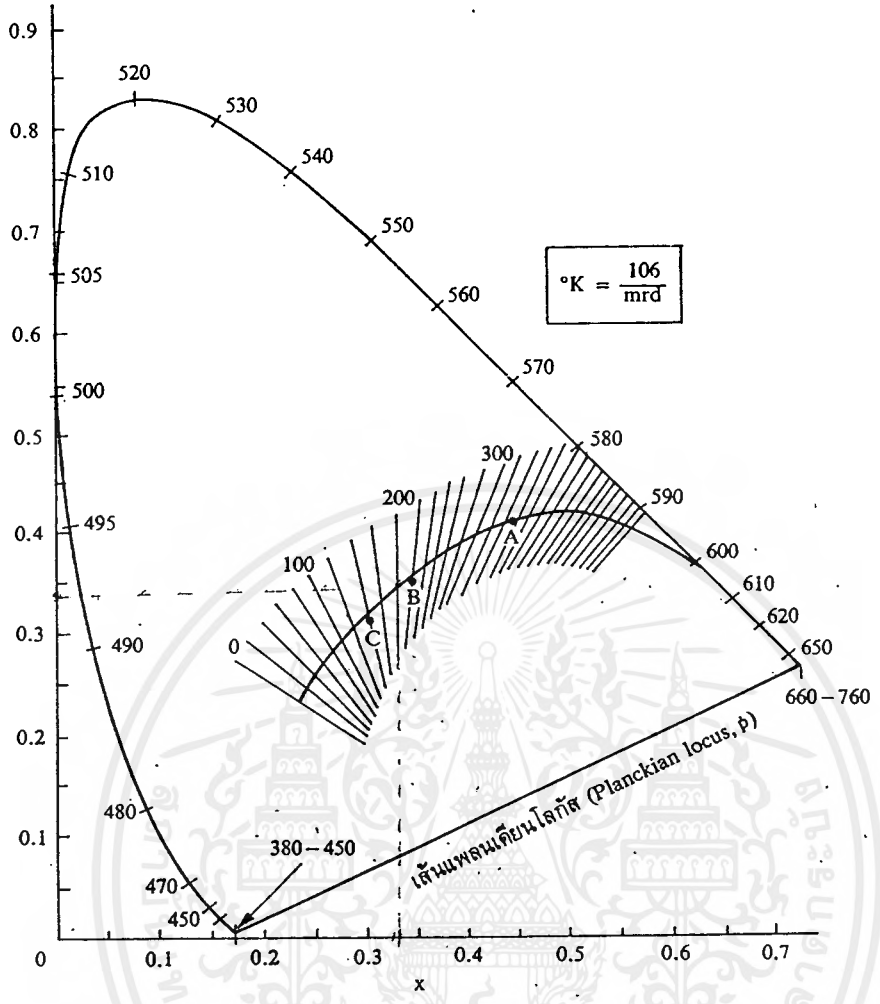
การพิจารณาความเข้มแสงสามารถพิจารณาได้จากรูป 2.12



รูป 2.12 แสดงความเข้มแสง

อุณหภูมิสี (Color Temperature)อุณหภูมิสีใช้เพื่อแสดงสีที่ปรากฏ (color appearance) ของแหล่งกำเนิดแสงเมื่อเปรียบเทียบกับสีของวัตถุดำ ถ้าอุณหภูมิของวัตถุดำมีค่าเท่าใด และสีของแหล่งกำเนิดแสงมีสีเดียวกับสีที่เปล่งจากวัตถุดำ ณ ที่ อุณหภูมิขณะนั้น ก็จะกล่าวว่าแหล่งกำเนิดแสงมีอุณหภูมิสีเท่ากับอุณหภูมิของวัตถุดำ โดยในการกำหนดค่าอุณหภูมิสีจะอยู่ในรูปขององศาเคลวิน (Kelvin ; K)ในรูป 2.13 เป็นไดอะแกรมสีของ CIE โดยแสดงเส้นแลนเดียนโลกัส (Planckian locus ; P) และเส้นอุณหภูมิสีเทียบเคียง (correlated color temperature; CCT) ดังนั้น แหล่งกำเนิดแสงใดที่มีสีบนเส้นโลกัสนี้จะสามารถกำหนดได้โดยอุณหภูมิสี อย่างไรก็ตาม ถ้าแหล่งกำเนิดแสงใดไม่อยู่บนเส้นแพลนเดียนโลกัส ก็สามารถใช้ค่าอุณหภูมิสีเทียบเคียงมากำหนดแทนได้ โดยถือเอาค่าอุณหภูมิของวัตถุดำที่อยู่ใกล้กับค่าของแหล่งกำเนิดแสงนั้นมากที่สุดเป็นค่าอุณหภูมิสีเทียบเคียง โดยต้องอยู่ในแนวขนานกับเส้นโลกัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.13 แสดง CCT

ความส่องสว่าง การสะท้อน และหน่วย Apostilbs ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสง (E)และ ความส่องสว่าง (L) และ ค่าการสะท้อนจะสามารถแสดงได้โดย

ความเข้มแสง * ค่าการสะท้อน=ความส่องสว่าง (หน่วย Apostilbs)

เนื่องจากหน่วย Apostilbs ไม่ใช่หน่วยใน SI แต่เหมาะสมสำหรับการคำนวณจึงทำการหาค่าความส่องสว่าง (หน่วย cd/m^2)โดยทำการนำค่า π ไปหารหน่วย Apostilbs (หรือ นำค่า 0.318 ไปคูณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ความรู้ทั่วไปและมาตรฐานในการออกแบบระบบแสงสว่างในสนามกอล์ฟ

การออกแบบระบบแสงสว่างสนามกอล์ฟให้ได้ดี ผู้ออกแบบควรมีความรู้ในกีฬาชนิดนี้และเล่นเป็นด้วย เพื่อเข้าใจถึงปัญหาของการส่องสว่าง และที่จุดใดที่ต้องระวังเรื่องแสงบาดตา รวมทั้งสามารถส่องสว่าง ให้มองเห็นลูกในขณะที่ลอยอยู่ในอากาศด้วย ก็คือต้องให้แสงสว่างทั้งในระดับพื้นดินและระดับสูงด้วย ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงพื้นฐานของกีฬาประเภทนี้

3.1 ลักษณะทั่วไปของสนามกอล์ฟ

3.1.1 แท่นทีออฟ(tee off) คือบริเวณเริ่มเล่นของแต่ละหลุม แต่ว่าแท่นทีออฟจะมีหลายระยะต่างๆกันสำหรับนักกอล์ฟดังนี้

1) ทีโปรชาย พื้นที่แท่นที 400 ตารางฟุต ประมาณ 5 % ของพื้นที่แท่นทีทั้งหมด ระยะหลุม 270 หลา

2) ทีโปรหญิง พื้นที่แท่นที 1200 ตารางฟุต ประมาณ 20 %ของพื้นที่แท่นทีทั้งหมด ระยะหลุม 240 หลา

3) ทีคนทั่วไปชาย พื้นที่แท่นที 3000 ตารางฟุต ประมาณ 50 %ของพื้นที่แท่นทีทั้งหมด ระยะหลุม 210 หลา

4) ทีคนทั่วไปหญิง พื้นที่แท่นที 900 ตารางฟุต ประมาณ 15 %ของพื้นที่แท่นทีทั้งหมด ระยะหลุม 175 หลา

5) ทีคนแก่ ,คนหัดเล่น พื้นที่แท่นที 600 ตารางฟุต ประมาณ 10 %ของพื้นที่แท่นทีทั้งหมด ระยะหลุม 140 หลา

โดยสนามหนึ่งๆก็จะปักทีมาร์กเกอร์สีต่างๆกัน เพื่อบอกว่าเป็นแท่นทีสำหรับ นักกอล์ฟประเภทใด และการให้แสงสว่างบริเวณแท่นทีออฟต้องไม่ให้มีเงาบังบริเวณตั้งลูกและการยืนเพื่อตีกอล์ฟส่วนใหญ่คนทั่วไปถนัดขวา และยืนขนานไปกับทิศทางการตี โดยทิศทางการตีอยู่ทางด้านซ้ายการส่องสว่างก็ควรติดตั้งโคมให้แสงทางด้านขวา แต่ถ้าคำนึงถึงคนถนัดซ้ายด้วยก็อาจให้แสงทางด้านซ้ายด้วย ความเข้มแสงบนทีควรจะมีอย่างน้อย 50 ลักซ์ในแนวนอนเป็นอย่างน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 แฟร์เวย์(fairway) คือบริเวณกลางสนามนับจากทีถึงกรีน เป็นบริเวณที่ลูกตก โดยการไแสงสว่างควรให้ไปในทางเดียวคือ ไปในทิศทางเข้าหลุมเพื่อไม่ให้แสงเข้าตา บริเวณนี้เป็นบริเวณใหญ่มาก แต่ก็ต้องพิจารณาไม่ให้มีแสงสว่างมากเกินความจำเป็น เพราะสิ้นเปลืองไฟฟ้ามากเนื่องจากพื้นที่มาก ดังนั้นการให้แสงสว่างถ้าต้องการประหยัดอาจพิจารณาการให้แสงมากเฉพาะบริเวณที่ลูกตก นอกจากนี้ก็ต้องพิจารณาถึงเรื่องเงาที่เกิดขึ้นเนื่องจากลักษณะลอนของสนาม อาจต้องให้แสงพิเศษในบริเวณดังกล่าว ความเข้มแสงบนแฟร์เวย์ควรจะมีอย่างน้อย 10-30 ลักซ์

3.1.3 กรีน (green)คือ บริเวณที่อยู่รอบๆหลุมจะตัดหญ้าสั้นกว่าที่อื่น ใช้สำหรับพัทลูก จัดเป็นหัวใจของสนาม และเป็นส่วนที่จะดึงดูดนักกอล์ฟได้มากที่สุด การให้แสงสว่างบนกรีน ควรให้ความส่องสว่างมากเพราะจำเป็นต้องศึกษาแนว หรือ ไลน์ของกรีนด้วย นอกจากนี้ควรให้แสงสว่างไม่น้อยกว่า 2 ทิศทางเพื่อไม่ให้เกิดเงาบังเวลาพัท ความเข้มแสงบนกรีนควรมีอย่างน้อย 50 ลักซ์

การติดตั้งโคมนอกจากต้องให้ความเข้มแสง ให้ได้ลักซ์ที่ต้องการในหลุมนั้นๆ แล้วก็ต้องระวังหลุมข้างเคียงด้วยเพราะ โคมที่ติดตั้งในแต่ละหลุมต้องไม่ให้แสงไปบาดตาหลุมข้างเคียงด้วย ดังนั้นการเลือกมุมแสงของโคม จึงเป็นสิ่งสำคัญมากด้วย นอกจากการติดตั้งโคม ที่ต้องระวังเรื่องเทคนิคการส่องสว่างแล้วก็ต้องระวังเรื่องตำแหน่งที่ตั้งโคมเพื่อไม่ให้อยู่ในวิถีการตีลูกที่อาจไปโดนตัวโคมเสียหายได้

3.2 ระยะหลุม

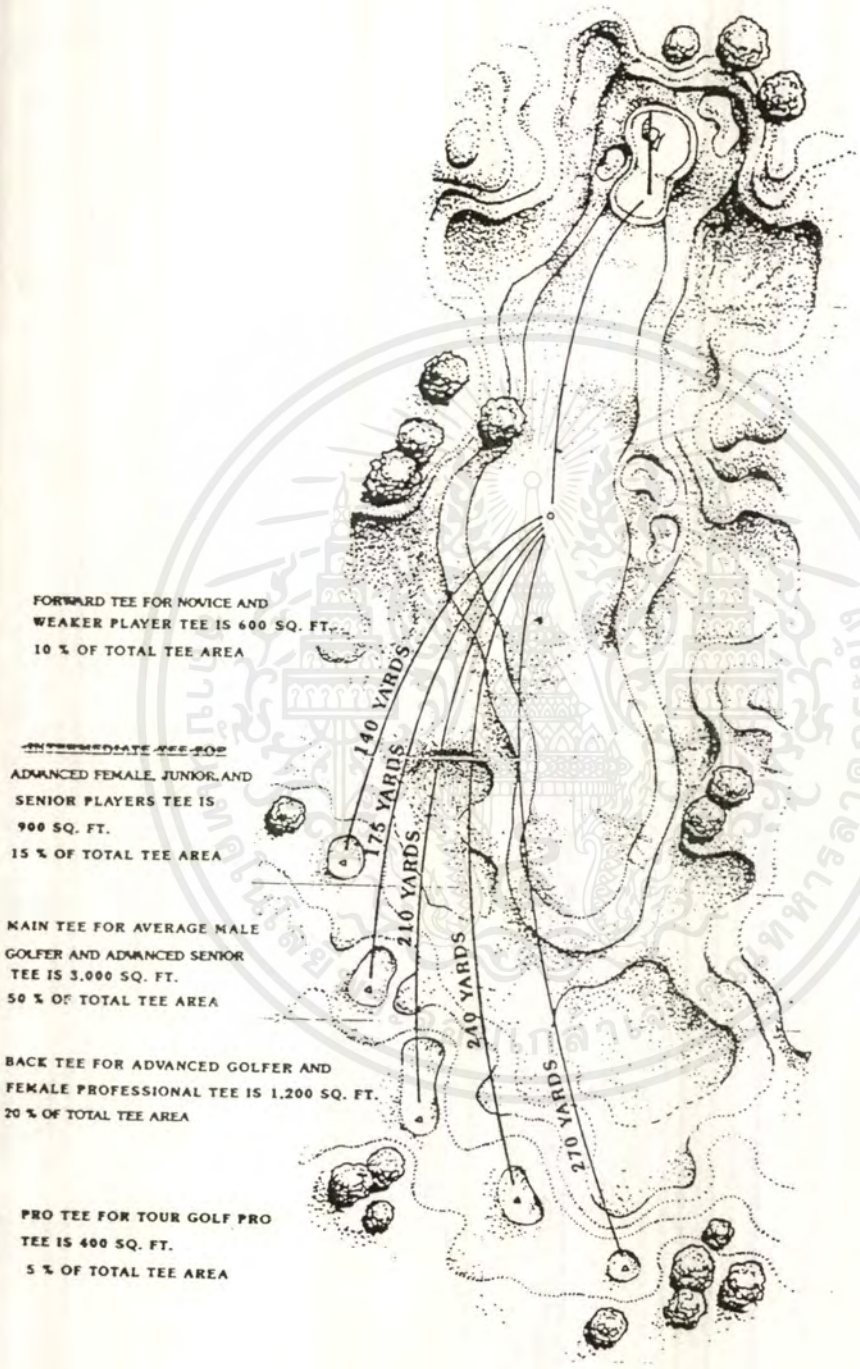
สนามกอล์ฟมี 18 หลุมโดยแต่ละหลุมจะมีระยะต่างๆกัน ขึ้นอยู่กับว่าเป็นหลุมพาร์เท่าไรโดยที่พาร์ คือ จำนวนครั้งที่กำหนดไว้สำหรับตีลูกให้ลงหลุมแบ่งเป็น

พาร์ 3 มีระยะตั้งแต่ 250 หลาลงมา

พาร์4 มีระยะตั้งแต่ 251- 475 หลา

พาร์ 5 มีระยะตั้งแต่ 475 หลาขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงระยะหลุมสำหรับนักกอล์ฟแต่ละระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การนับคะแนน

โฮล อิน วัน (hole in one) คือ การตีครั้งเดียวลงหลุม

อัลบาทรอส (albatross) คือ การตี 3 อันเดอร์พาร์ในหลุมเดียว ทำได้เฉพาะหลุมพาร์ 4 และ พาร์ 5 เท่านั้น แต่นิยมเรียกว่า ดับเบิ้ลอีเกิ้ลมากกว่า

อีเกิ้ล (eagle) คือ การทำ 2 อันเดอร์พาร์ในหลุมเดียว

เบอร์ดี้ (burdie) คือ การทำ 1 อันเดอร์พาร์ในหนึ่งหลุม

พาร์ (สแควร์พาร์, อีเวนพาร์) (squarepar,evenpar) คือ การตีพอดีในแต่ละหลุม (เท่ากับจำนวนพาร์ที่กำหนดไว้)

โบกี้ (bogey)คือ การตีเกิน 1 ครั้ง (1 โอเวอร์พาร์)

ดับเบิ้ลโบกี้ (double bogey) คือการตีเกิน 2 ครั้ง (2 โอเวอร์พาร์)

สำหรับการออกแบบสนามส่วนใหญ่จะมี พาร์ 3 จำนวน 4 หลุม พาร์ 5 จำนวน 4 หลุม นอกนั้นจะเป็น พาร์ 4 จำนวน 10 หลุม ก็จะครบ 18 หลุม (72 พาร์) พอดี และในการออกแบบจะคล้ายๆกัน คือ หลุม 1 จะ เริ่มและก็จะมาจบหลุม 9 ที่กลับเฮาส์ (ครึ่งหนึ่ง) แล้วก็จะเริ่มหลุม 10 และวนมาจบหลุม 18 ที่กลับเฮาส์ (ครึ่งหลัง) ที่เป็นอย่างนี้ก็เพื่อความสะดวกของนักกอล์ฟ

3.4 อุปสรรค

คือ สิ่งที่สนามกำหนดขึ้นเพื่อลงโทษนักกอล์ฟที่ตีผิดพลาด และเป็นสิ่งที่เพิ่มความสนุกให้กับการเล่นกอล์ฟโดยแบ่งเป็นประเภทต่างๆดังนี้

1) หญ้ายาว (rough) โดยทั่วไปนิยมเรียกทับศัพท์ว่า รัฟ มากกว่า เป็นบริเวณที่ตัดหญ้ายาวกว่าปกติโดยยาวประมาณ 2 นิ้ว เพื่อลงโทษนักกอล์ฟที่ตีผิดพลาด อยู่ถัดจากบริเวณแฟร์เวย์

2) พืชที่ขึ้นอยู่บริเวณสนาม (non turf vegetation) เป็นพืชที่ขึ้นอยู่โดยเราไม่ได้ไปทำการปลูก โดยจัดว่าเป็นอุปสรรคอย่างหนึ่ง อยู่ถัดจากบริเวณรัฟ

3) ทางลาด (slope) เกิดจากการออกแบบโดยความยากง่ายขึ้นอยู่กับความลาดชันที่แตกต่างกันไป

4) เนิน (mounds) คล้ายๆ กับทางลาด แต่เนินจะบังสายตานักกอล์ฟที่ตีด้วย ทำให้มองเป้าหมายที่จะตียากขึ้น

5)แอ่ง (depressions) เป็นหลุมกว้าง ๆ แต่ไม่ลึกมากโดยจะเป็นทราย

6) แอ่งหญ้า (grass traps) เหมือนกับ แอ่ง แต่ในแอ่งเป็นหญ้า

7) หลุมทราย (bunkers) อาจอยู่ในสนาม หรือนอกสนามก็ได้ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการออกแบบ การตีจะยากหรือง่ายขึ้นอยู่กับประเภทของทราย และความลึกของหลุมทราย

8) หิน (rocks, stones ,boulders) เป็นอุปสรรคอีกอย่างหนึ่งแต่ไม่ใช้มากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9) สิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น (man made structure) ขึ้นอยู่กับนักออกแบบ

10) ต้นไม้ (trees) มักจะอยู่ด้านนอกสุดของหลุม ไว้ลงโทษนักกอล์ฟที่ตีผิดพลาดมาก ๆ

11)น้ำ (water , lake) สร้างเพื่อความสวยงาม และลงโทษนักกอล์ฟที่ตีผิดพลาด โดยนักกอล์ฟที่ตีตกน้ำ ไม่อาจตีแก้ไขขึ้นมาจากน้ำได้

จริง ๆแล้ว จุดประสงค์ของอุปสรรคต่างๆ ไม่ใช่เพื่อลงโทษนักกอล์ฟที่ตีผิดพลาดอย่างเดียว แต่มีเป้าหมาย 5 ประการดังนี้

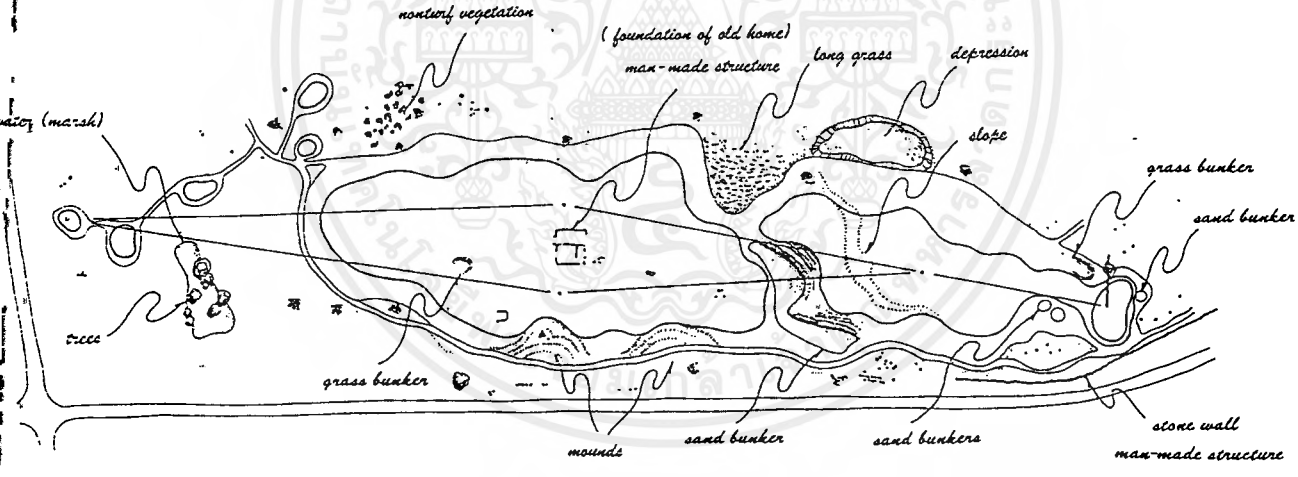
1) ทดสอบกลยุทธ์ในการตี (stratcgic) โดยอุปสรรคต่าง ๆจะมีความยากง่ายต่างๆกันไป

2) กำหนดทิศทางการตี (directional)

3) ความสวยงาม (aesthetic)

4) ความปลอดภัย (safety) กันไม่ให้ตีผิดไปนอกบริเวณหลุม เช่นมีแนวต้นไม้กั้นระหว่างหลุมที่ขนานกัน

5) กันการตีผิดพลาด (retention) เช่นการมีหลุมทรายไว้ข้าง ๆกรีน



รูปที่3.2 แสดงอุปสรรคชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 หลักการและมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ

ในระบบไฟในสนามกอล์ฟที่เล่นในเวลากลางคืนมีปัญหาไม่เหมือนกับกีฬาชนิดอื่นๆ โดยพื้นที่เกี่ยวข้องนั้นใหญ่กว่าหลายเท่านัก ถึงแม้ว่าจะเป็นกีฬาที่เล่นไปในทางเดียวกันตามธรรมชาติ แต่บ่อยครั้งที่การกำหนดทิศทางของแฟร์เวย์ในทิศทางตรงกันข้าม และการเปลี่ยนแปลงอย่างมากในพื้นดิน ทำให้การเลือกที่ตั้งเสา, ชนิดลำแสง และทิศทางการสองสว่าง ทำให้เกิดปัญหามากกว่ากีฬาชนิดอื่น

-ในบริเวณแท่นทีออฟ ควรสว่างพอสมควร เพื่อว่าผู้เล่นที่ถนัดซ้ายหรือขวาจะไม่เกิดเงามาบังลูกกอล์ฟ ค่าความสว่างในแนวตั้งที่ตกลงบนแฟร์เวย์ ควรมีค่าความสว่างที่จะมองตามลูกเห็นในขณะที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 160 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือมากกว่าเพื่อระบุตำแหน่งหลังจากที่ลูกตกแล้ว

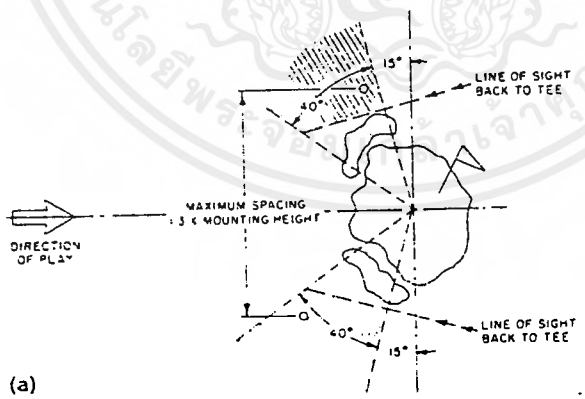
-แต่ละกรีน ควรมีความสว่างสองทิศทางเพื่อลดแสงบาดตา และเงาที่จะเกิด

***ข้อควรระวัง ในการเลือกตำแหน่งและทิศทางของโคมฉาย เพื่อแสงจ้าจากโคมจะไม่เป็นอุปสรรคต่อผู้เล่นที่แฟร์เวย์ใกล้ๆกัน

***ข้อควรพิจารณาพิเศษ บริเวณซึ่งไม่ได้ใช้ระบบแสงสว่างทั่วไปบางแห่งซึ่งเป็นอุปสรรคทางกายภาพ หรือต้องการการเน้นเป็นพิเศษ ตัวอย่างเช่น หลุมทราย, น้ำ, สะพาน, ที่ลาดชัน, หญ้ารก, พื้นที่ใกล้ กรีน, ทางเดิน เป็นต้น

3.5.1 หลักของการติดตั้งเสา

- บริเวณกรีน



รูปที่ 3.3 บริเวณกรีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.ในแต่ละกรีน ควรมีแสงสว่างส่องมาอย่างน้อย 2 ทิศเพื่อลดแสงเงาให้น้อยที่สุด

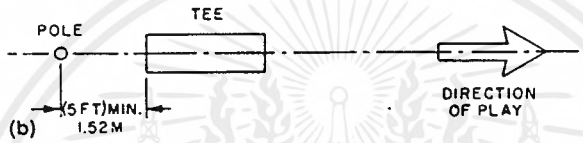
2.ตำแหน่งเสามีขอบเขตจำกัดที่ระยะ 40° ตามพื้นที่แรเงา โดยอยู่ด้านของกรีน

3.ระยะห่างระหว่างเสาเท่ากับ 3 เท่าของความสูงหรือน้อยกว่า

4. ค่าความสองสว่างในแนวนอนที่วัดได้บริเวณบนกรีน ไม่ควรเกิน 3 เท่าของความสว่างน้อยที่สุดที่วัดได้บนกรีน

5.ควรคำนึงถึงตำแหน่งที่ตั้งเสารอบๆ กรีน เพื่อไม่ให้วัตถุบริเวณนั้นเกิดแสงจ้าเข้าตาต่อผู้เล่น และผู้เล่นกลุ่มอื่นบนแฟร์เวย์

- บริเวณแท่นทีออฟ

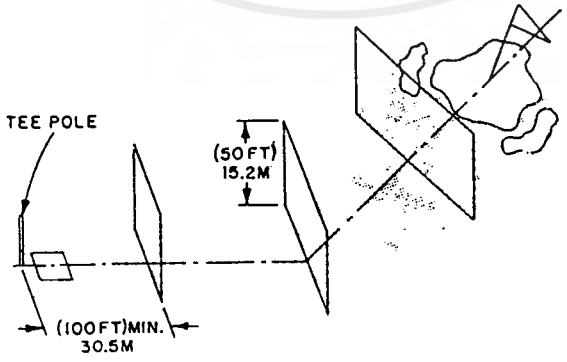


รูปที่ 3.4 บริเวณแท่นทีออฟ

1.ใช้เสา 1 ต้นตั้งห่าง 1.5 เมตรหลังบริเวณแท่นทีออฟ ถ้าบริเวณแท่นทีออฟ กว้างมากให้ใช้ โคมฉาย เพิ่มมากกว่า 1 อัน

2.ความสูงโคมเหนือแท่นทีออฟ ควรเท่ากับ 0.5 ของความกว้างของแท่นทีออฟ กว้างมากกว่าแต่ไม่น้อยกว่า 9 เมตร

-บริเวณแฟร์เวย์



รูปที่ 3.5 บริเวณแฟร์เวย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ใน Vertical planes ควรพิจารณาดังนี้

   1.1) มีความกว้างแผ่ขยายถึงแฟร์เวย์ในจุดซึ่งอาจมีปัญหา

   1.2) ตั้งฉากกับเส้นกึ่งกลางของแฟร์เวย์

   1.3) ขยายจากเส้นกึ่งกลางแฟร์เวย์ และ เหนือจากเส้นกึ่งกลางแฟร์เวย์ 15 เมตร

2) Vertical planes ควรจะอยู่กึ่งกลางระหว่างเสาแฟร์เวย์

3) Vertical planes แรกควรห่างไม่ต่ำกว่า 30 เมตรจากเสา Tee

4) อัตราส่วนระหว่างค่าส่องสว่างที่จุดใด ๆ เฉลี่ยกับค่าส่องสว่างต่ำสุดไม่ควรจะน้อยกว่า 7:1

5) ความสูงเสาต่ำสุด 11 เมตรเหนือฐานเสา อย่างไรก็ตามอาจจะเปลี่ยนตามสภาพที่เป็นอยู่

6) ระยะห่างระหว่างเสาควรพิจารณาตามความสัมพันธ์ของคุณลักษณะทางแสงของดวงโคม ผืนดินบริเวณนั้น และการออกแบบแสงสว่างอื่น ๆ

3.5.2 มาตรฐานสำหรับความเข้มแสงในสนามกอล์ฟ

จากมาตรฐานของ IES Lighting Handbook (1981 Application volume) ได้กำหนดไว้ดังนี้

1.บริเวณแท่นทีออฟควรมีความเข้มแสง 50 ลักซ์

2.บริเวณแฟร์เวย์ ควรมีความเข้มแสง 10 ลักซ์ในแนวนอน และ 30 ลักซ์ในแนวตั้ง

3.บริเวณกรีน ควรมีความเข้มแสง 50 ลักซ์

4.สำหรับสนามไดร์ฟกอล์ฟ

-ที่ระยะ 180 เมตร (200 หลา) มีความเข้มแสง 50 ลักซ์

-บริเวณเหนือแท่นทีออฟ มีความเข้มแสง 100 ลักซ์

5.สนามขนาดย่อม ควรมีความเข้มแสง 100 ลักซ์

6.สนามซ้อมพัต ควรมีความเข้มแสง 100 ลักซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ลักษณะของหลอดแต่ละชนิดและโคมฉาย

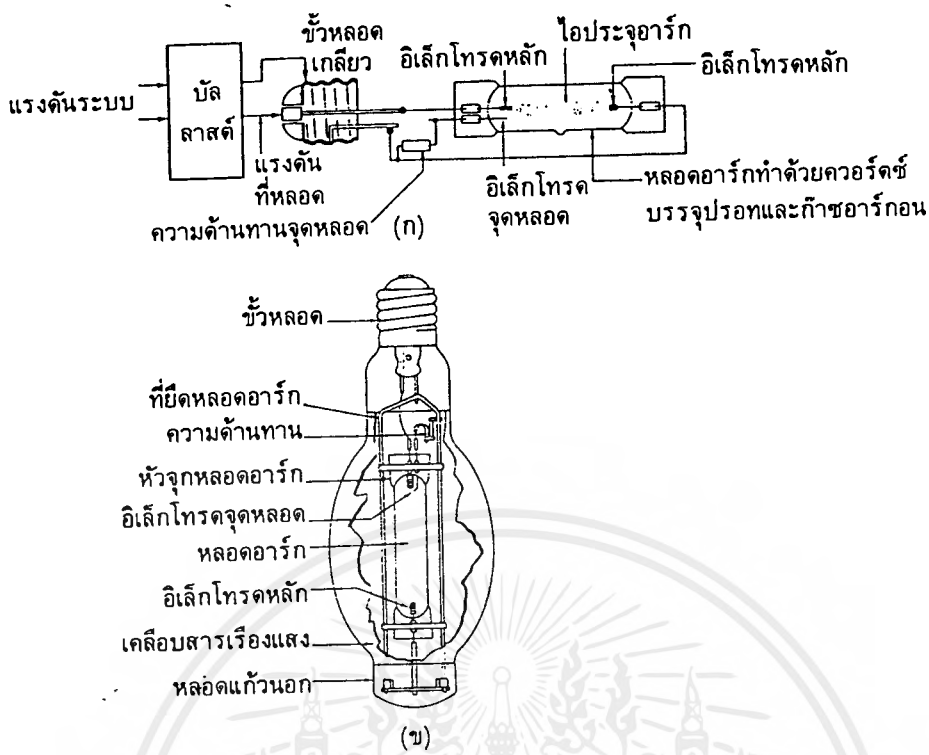
เนื่องจากคุณสมบัติของหลอดไส้ไม่สามารถให้ฟลักซ์ได้มาก ส่วนหลอดฟลูออเรสเซนต์ไม่สามารถทำให้สั้นและเล็ก จึงไม่เหมาะกับบริเวณที่ต้องการแสงสว่างมากและต้องการควบคุมแสงให้ตกลงในบริเวณพื้นที่ที่จำกัด จึงได้มีการพัฒนาหลอดไฟฟ้าแบบใหม่ชนิดแหล่งกำเนิดแสงขนาดเล็กแต่ให้ฟลักซ์แสงสว่างและประสิทธิภาพแสงสว่างสูง หลอดพัฒนาใหม่ตระกูลนี้เรียกว่าหลอดดิสชาร์จความเข้มแสงสูง (high intensity discharge : HID) หลอด HID แบ่งออกเป็น 3 จำพวกด้วยกัน คือหลอดแสงจันทร์ หรือหลอดปรอทความดันไอสูง (mercury vapor lamp) หลอดเมทัลฮาไลด์ (metal halide lamp) และหลอดโซเดียมความดันไอสูง (high pressure sodium vapor lamp)

4.1 หลอดแสงจันทร์

4.1.1 หลอดแสงจันทร์ประเภทใช้บัลลาสต์

แสงจากหลอดแสงจันทร์ผลิตโดยหลอดอาร์ก หลอดอาร์กนี้ทำด้วยแก้วควอร์ตซ์และยอมให้รังสีอัลตราไวโอเลตผ่านได้ ภายในหลอดอาร์กจะบรรจุด้วยปรอท ก๊าซอาร์กอน นีออน และคริปทอนจำนวนเล็กน้อย เมื่อเริ่มเปิดไฟจะเกิดอาร์กระหว่างขั้วอิเล็กโทรดหลัก และ ขั้วอิเล็กโทรดจุดหลอด การอาร์กทำให้ปรอทแตกตัวกลายเป็นไอออนจะเกิดความร้อนทำให้ความต้านทานของหลอดอาร์กลดลง จนกระทั่งความต้านทานของหลอดอาร์ก ต่ำกว่าความต้านทานของหลอดอาร์กต่ำกว่าความต้านทานจุดหลอด ก็จะเริ่มเกิดอาร์กขึ้นระหว่างขั้วอิเล็กโทรดหลักทั้งสองข้าง อาร์กที่เกิดขึ้นจะทำให้ปรอทแตกตัวกลายเป็น ไอออนและอิเล็กตรอนมากขึ้น การไหลของกระแสไฟฟ้าซึ่งเกิดจากการปล่อยประจุอาร์ก ที่วิ่งด้วยความเร็วสูงเกิดการชนของอิเล็กตรอน และไอออนกับโมเลกุลของไอปรอททำให้วงโคจรวงนอกสุดของโมเลกุลไอปรอทเปลี่ยนไปเป็นเหตุให้โมเลกุลไอปรอทขาดเสถียรภาพ จะปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสงสว่างที่ความยาวคลื่น 404.7 , 435.8 , 546.1 , 577.9 นาโนเมตร นอกนั้นเป็นรังสีอัลตราไวโอเลตดังรูป 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงโครงสร้างของหลอดแสงจันทร์ประเภทใช้บัลลาสต์

ส่วนหลอดแก้วนอกมีหน้าที่หลัก 3 ประการ คือ

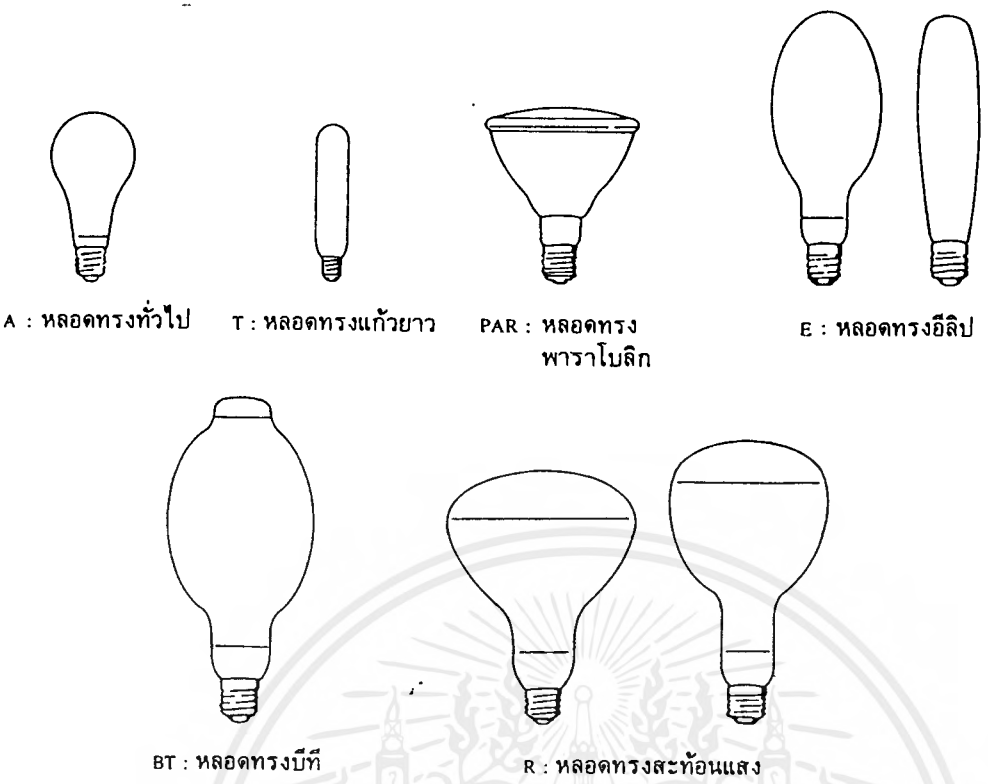
1. หลอดแก้วนอกเป็นแก้วธรรมดาสำหรับกรองรังสีอัลตราไวโอเลต เนื่องจากรังสี นี้ถูกผิวหนังจะทำให้ไหม้ดำคล้ำได้
2. เพื่อรักษาอุณหภูมิหลอดอาร์กให้คงที่เมื่อมีอากาศภายนอกพัดผ่าน
3. เป็นที่เคลือบสารเรืองแสง ทำการปรับปรุงคุณภาพของแสงสีให้เหมาะสมต่อการมองเห็น

สำหรับการจุดติดของหลอดแสงจันทร์นั้นตั้งแต่เริ่มเปิดไฟหลอดจะสว่างขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งหลอดมีแสงสว่างเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 3 ถึง 5 นาที เรียกเวลานี้ว่า เวลาจุดอุ่นหลอด (warm up time) หลังจากนั้นจะให้แสงสว่างเต็มที่ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยจะใช้เวลา 7 ถึง 10 นาที และ ถ้าปิดไฟแล้วเปิดไฟใหม่ทันทีอีกครั้งหนึ่ง หลอดจะไม่ติด ต้องรอให้หลอดเย็นลงจนกระทั่งก๊าซต่าง ๆ ในหลอดอาร์กกลับคืนตัวอยู่ในสภาพก่อนแตกตัวเสียก่อนช่วงนี้เรียกว่าเวลาคืนตัว(restrike time) หลอดจึงติดใหม่อีกครั้งหนึ่งซึ่งจะใช้เวลา 7 นาที

4.1.2 รูปทรงหลอด HID

ที่มีจำหน่ายในปัจจุบันดังรูปที่ 4.2 ตัวเลขที่กำหนดหมายถึงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอด 1/8 นิ้ว เช่น E18 โดยที่ E คือหลอดทรงอีลิปโซ มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 18/8 เท่ากับ 2 .25 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



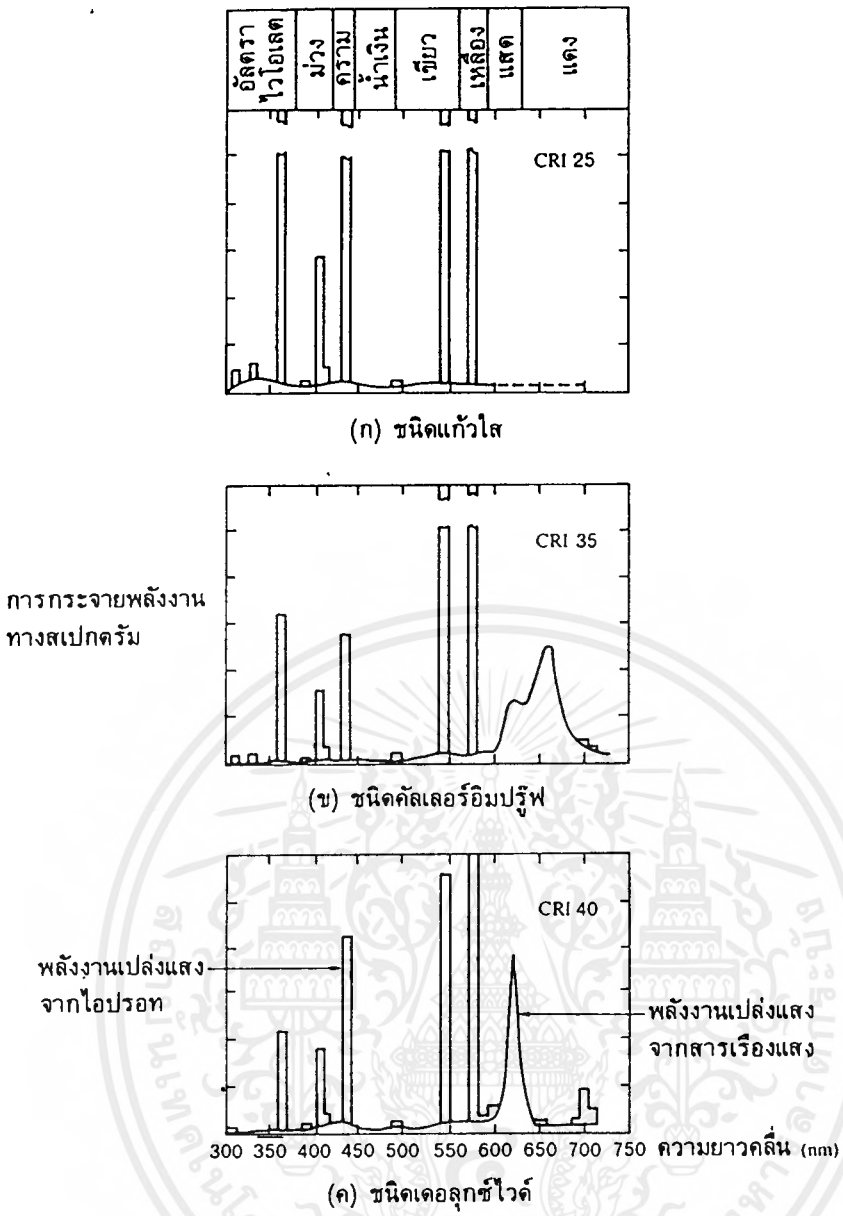
รูปที่ 4.2 แสดงรูปทรงของหลอด HID

4.1.3 สีและการกระจายพลังงานทางสเปกตรัม

โดยปกติหลอดแสงจันทร์ชนิดแก้วใส จะให้สีออกทางน้ำเงินเขียวตามแถบคลื่นของปรอท 4 แถบด้วยกันคือ 404.7 , 435.8 , 546.1 , และ 577.9 นาโนเมตร ส่วนอีกแถบอยู่ในย่านอัลตราไวโอเลตคือ 365 นาโนเมตร ดังรูปที่ 4.3 ก ทำให้สีของวัตถุที่มองเห็นผิดเพี้ยนไปมาก อย่างไรก็ตามหลอดชนิดนี้จะทำให้วัตถุสีน้ำเงิน สีเขียว สีเหลืองดูสดใสขึ้นจึงเหมาะสำหรับส่องบริเวณสนามหญ้าสีเขียว แต่ถ้าเป็นวัตถุสีส้ม สีแดงจะดูซีดจางไม่น่าดู ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงสีโดยการเคลือบสารเรืองแสงเพื่อเพิ่มแสงแถบสีส้มและสีแดงที่ขาดหายไปคือ

1. คัลเลอร์อิมพรูฟ(color improve)ดังรูปที่ 4.3 ข ให้สีแดงไม่ดีไม่แนะนำให้ใช้
2. เดอลุกซ์ไวต์(deluxe white)ดังรูปที่ 4.3 ค สีแดงเพิ่มขึ้น สีดี แนะนำให้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

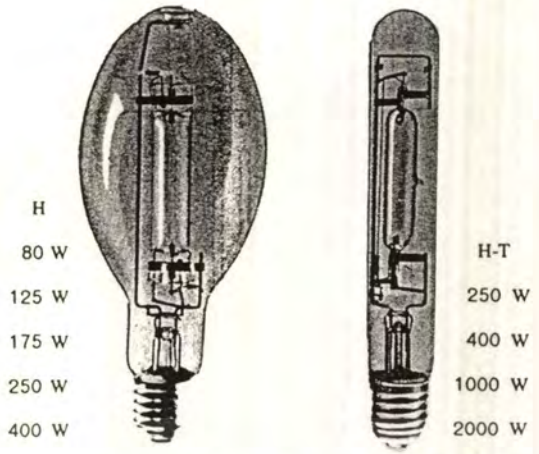


รูปที่ 4.3 การกระจายแสงทางสเปกตรัมของหลอดแสงจันทร์

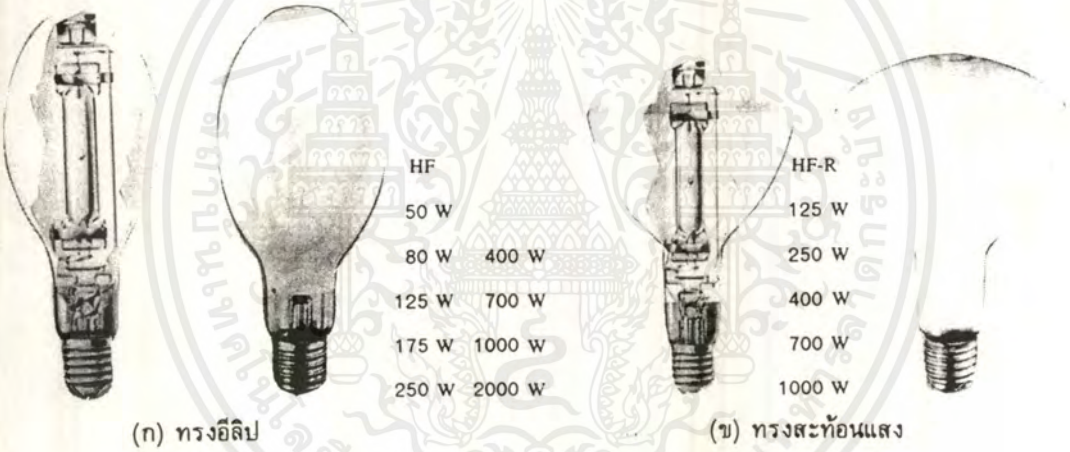
สำหรับรูปที่ 4.4 แสดงหลอดแสงจันทร์ชนิดแก้วใสทรงอีลิปขนาด 80 ถึง 400 w และทรงหลอดแก้วยาวขนาด 250 ถึง 2000 w

ส่วนรูปที่ 4.5 แสดงหลอดแสงจันทร์เคลือบสารเรืองแสงปรับปรุงสี ทรงอีลิปขนาด 50 ถึง 2000 w และทรงสปอร์ตไลท์ขนาด 125 ถึง 1000 w หลอดแสงจันทร์ให้ค่าดัชนีบอกความถูกต้องของสี (CRI) ไม่เกิน 47 และอายุการใช้งานสูงสุดถึง 24,000 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 หลอดแสงจันทร์ชนิดแก้วใสประเภทใช้บัลลาสต์



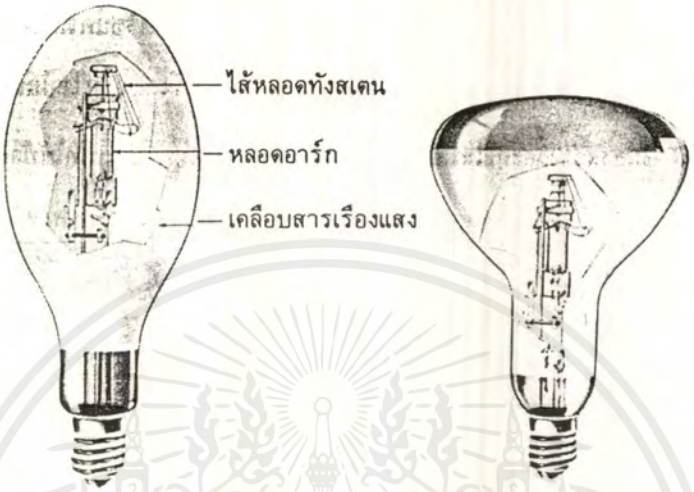
รูปที่ 4.5 หลอดแสงจันทร์เคลือบสารเรืองแสงปรับปรุงสีประเภทใช้บัลลาสต์

4.1.4 หลอดแสงจันทร์ประเภทไม่ใช้บัลลาสต์หรือหลอดแสงผสม (blended lamp)

เนื่องจากการใช้หลอดไส้ให้แสงสว่างนั้นให้แสงสว่างค่อนข้างต่ำ แต่ถ้าจะนำหลอดแสงจันทร์มาใช้แทนจำเป็นต้องมีบัลลาสต์ เนื่องจากบัลลาสต์มีหน้าที่สร้างไฟฟ้าแรงสูงช่วงเริ่มจุดติดและทำหน้าที่ควบคุมกระแสไหลผ่านหลอดให้เหมาะสม จึงได้มีการคิดค้นหลอดแสงจันทร์พิเศษเป็นหลอดที่ผสมระหว่างหลอดไส้และหลอดแสงจันทร์รวมกันอยู่ในหลอดเดียวกันคือ ใช้ไส้หลอดทังสเตนต่ออนุกรมกับหลอดอาร์กของหลอดแสงจันทร์แทนบัลลาสต์ จึงเรียกหลอดชนิดนี้ว่าหลอดแสงผสม หลอดแสงผสมมีลักษณะการทำงานเหมือนกับหลอดไส้ และหลอดแสงจันทร์ผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันดังรูปที่ 4.6 จึงทำให้แสงจากหลอดชนิดนี้มีดัชนีบอกความถูกต้องของสีสูงถึง 58 แต่อายุการใช้งานนั้นสั้นกว่าคือไม่เกิน 16,000 ชั่วโมง



รูปที่ 4.6 หลอดแสงผสม

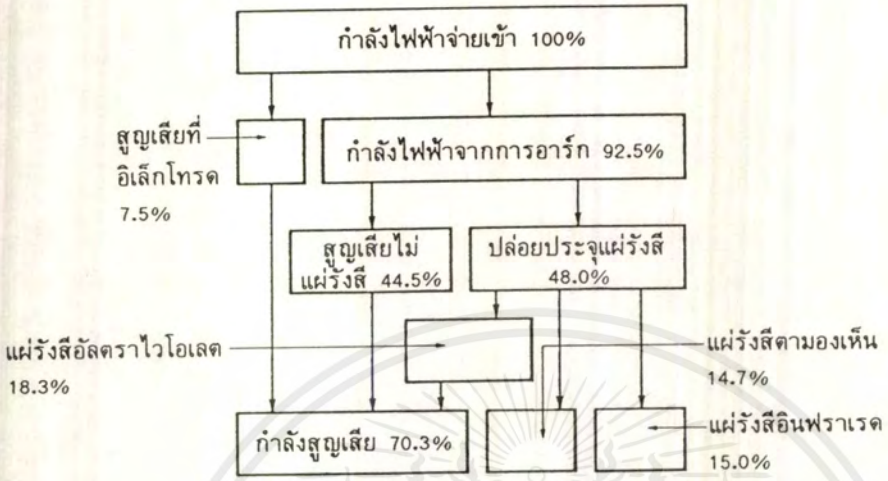
หลอดแสงผสมจะเริ่มทำงานเมื่อเปิดไฟ กระแสจะไหลผ่านไส้หลอดทังสเตนผ่านขั้วอิเล็กโทรดหลักและขั้วอิเล็กโทรดจุดหลอด แสงสว่างที่เกิดขึ้นได้จากการไส้หลอดเป็นส่วนใหญ่ อุณภูมิสูงของไส้หลอดทำให้ก๊าซในหลอดอาร์กแตกตัวระหว่างขั้วอิเล็กโทรดหลักทั้งสอง เมื่อหลอดอาร์กให้แสงสว่างเต็มที่อุณภูมิของไส้หลอดจะลดลงทำให้แสงสว่างที่ให้หลอดลดลง

4.1.5 คุณลักษณะและขีดความสามารถของหลอดแสงจันทร์

1. การกระจายพลังงานแสง

จากกำลังไฟฟ้าที่ป้อน 100 เปอร์เซ็นต์ หลอดแสงจันทร์จะให้แสงแผ่รังสีที่ตามองเห็น 14.7 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 4.7 แสดงการกระจายแสงของหลอดแสงจันทร์ขนาด 400 w ประสิทธิภาพแสงสว่างเฉพาะหลอด 60 lm/w

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 การกระจายพลังงานแสงของหลอดแสงจันทร์ขนาด 400 w

ส่วนค่าฟลักซ์แสงสว่างและคุณสมบัติทางแสงของหลอดแสงจันทร์ ชนิดใช้บัลลาสต์แสดงดังตารางที่ 4.1 จะให้ค่าประสิทธิภาพแสงสว่าง 28 ถึง 61 lm/w (รวมกำลังสูญเสียในบัลลาสต์แล้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าฟลักซ์แสงสว่างและคุณสมบัติทางแสงของหลอดแสงจันทร์ประเภทใช้บัลลาสต์ ระบบ 220 และ 380 V. 50 Hz.

วัตต์	ประเภท	ขั้วหลอด / แรงดันระบบ(V)	แรงดันหลอด (V)	กระแสหลอด (A)	อุณหภูมิสีของแสง (K)	ดัชนีบอกความถูกต้องของสี (CRI)	ฟลักซ์แสงสว่าง (lm)	กำลังสูญเสียบัลลาสต์ (W)	ประสิทธิภาพแสงสว่าง (lm/W) เฉพาะหลอด	ประสิทธิภาพแสงสว่าง (lm/W) หลอดรวมบัลลาสต์	อายุการใช้งาน* (h)
50	H	E27 B22 / 220 V	95	0.60	5700	25	1650	9	33	28	8000
	HF				4100	40	1900		38	32	
	HF-R				4100	40	1300		26	22	
	HF-G				4100	40	1750		35	30	
80	H	E27 B22 / 220 V	115	0.80	5700	25	3000	10	38	33	16000
	HF				4100	40	3600		45	40	
	HF-R				4100	40	2500		31	28	
	HF-G				4100	40	3600		45	40	
125	H	E27 B22 / 220 V	125	1.15	5700	25	5400	14	43	39	24000
	HF				4100	40	6250		50	45	
	HF-R				4100	40	4300		34	31	
	HF-G				4100	40	6250		50	45	
175	H	E40 / 220 V	130	1.50	5700	25	7800	16	45	41	24000
	HF				4100	40	8900		51	47	
250	H	E40 / 220 V	135	2.15	5700	25	12000	18	48	45	24000
	H-T				5700	25	11500		46	43	
	H-R				5700	25	8000		32	30	
	HF				4100	40	13700		55	51	
	HF-R				4100	40	8800		35	33	
	HF-G				4100	40	12800		51	48	
400	H	E40 / 220 V	140	3.25	5700	25	21000	22	53	50	24000
	H-T				5700	25	21000		53	50	
	H-R				5700	25	13500		34	32	
	HF				4100	40	23000		60	57	
	HF-R				4100	40	15500		39	37	
700	H	E40 / 220 V	145	5.40	5700	25	39500	34	56	54	24000
	H-R				5700	25	25000		36	34	
	HF				4100	40	44000		63	60	
	HF-R				4100	40	31000		44	42	
1000	H	E40 / 220 V	145	7.50	5700	25	58000	45	58	56	16000
	H-R				5700	25	36600		37	35	
	HF				4100	40	64000		64	61	
	HF-R				4100	40	46000		46	44	
2000	HF	E40 / 380 V	270	8.00	4100	40	125000	60	63	61	10000

H : หลอดแก้วใส ทรงบีที หรือทรงอีลิป
H-T : หลอดแก้วใส ทรงหลอดยาว
H-R : หลอดแก้วใส ทรงสปอร์ตไลต์
HF : หลอดแก้วเคลือบสาร ทรงบีที หรือทรงอีลิป
HF-R : หลอดแก้วเคลือบสาร ทรงสปอร์ตไลต์
HF-G : หลอดแก้วเคลือบสาร ทรงหลอดกลม

รูปทรงหลอด

การนำไปใช้งาน			
ประเภทหลอดแก้วใส	สนามกอล์ฟ แสงสว่างในสวนหรือสวนสาธารณะ	ประเภทหลอดแก้วเคลือบสาร	ไฟถนน สนามกีฬา โรงงานอุตสาหกรรม สถานีรถไฟ ลานจอดรถ อู่รถและปั๊มน้ำมัน

*วัฏจักรการใช้งาน 10 ชั่วโมง-ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนตารางที่ 4.2 แสดงค่าฟลักซ์แสงสว่างและคุณสมบัติทางแสงของหลอดแสงจันทร์ชนิดที่ไม่ใช้บัลลาสต์ ให้ค่าประสิทธิภาพแสงสว่าง 11 ถึง 31 lm/w สำหรับหลอดแสงจันทร์ชนิดที่ใช้บัลลาสต์ให้ประสิทธิภาพแสงสว่างสูงกว่าประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของหลอดแสงจันทร์ชนิดไม่ใช้บัลลาสต์

ตารางที่ 4.2 ค่าฟลักซ์แสงสว่างและคุณสมบัติทางแสงของหลอดแสงจันทร์ประเภทไม่ใช้บัลลาสต์

วัตต์	ประเภท	ขั้วหลอด / แรงดันระบบ	กระแสจุดหลอด (A)	กระแสปกติ (A)	อุณหภูมิสีของแสง (K)	ดัชนีบอกความถูกต้องของสี (CRI)	ฟลักซ์แสงสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพแสงสว่าง (lm/W)	อายุการใช้งาน* (h)
100	SB-W	E27 / 220 V	0.55	0.50	3700	58	1100	11	6000
160	SB	E27 / 220 V	0.90	0.80	5500	38	2400	15	10000
	SB-W				3700	58	3100	20	
	SBF-R				3700	58	1680	11	
	SBF-PAR				3700	58	1680	11	
250	SB	E27; E40 / 220 V	1.50	1.20	5500	38	5300	21	12000
	SB-W				3700	58	5700	23	
	SBF-R				3700	58	3900	16	
500	SB	E40 / 220 V	3.30	2.40	5500	38	11000	22	16000
	SB-W				3700	58	14000	28	
	SBF-R				3700	58	9100	18	
750	SB	E40 / 220 V	5.40	3.70	5500	38	19500	26	16000
	SB-W				3700	58	21000	28	
	SBF-R				3700	58	14000	19	
1000	SB	E40 / 220 V	6.80	4.90	5500	38	29000	29	16000
	SB-W				3700	58	31000	31	
	SBF-R				3700	58	20000	20	

หลอดแสงจันทร์ไม่ใช้บัลลาสต์	SB : หลอดแก้วใส ทรงบีที หรือทรงอีลิป SB-W : หลอดแก้วเคลือบสารสีขาว ทรงบีที หรือทรงอีลิป SBF-R : หลอดแก้วเคลือบสาร ทรงสปอร์ตไลต์ SBF-PAR : หลอดแก้วเคลือบสาร ทรงสปอร์ตไลต์กระจกหนา	รูปทรงหลอด BT E R PAR

การนำไปใช้งาน			
ประเภทหลอดแก้วใส	สนามกอล์ฟ แสงสว่างในสวนหรือสวนสาธารณะ	ประเภทหลอดแก้วเคลือบสาร	ไฟถนน ลานจอดรถ ปั๊มน้ำมัน โรงงานอุตสาหกรรม โรงฝึกงาน

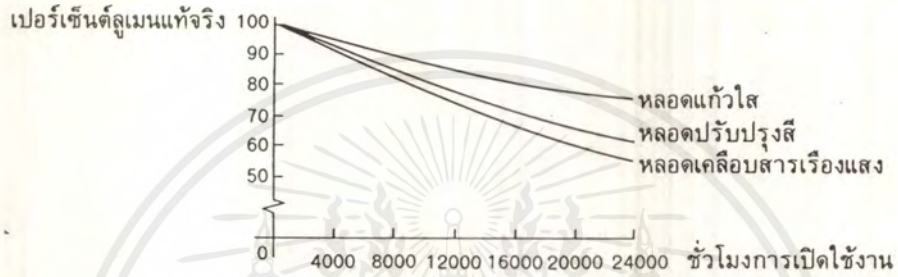
*วัฏจักรการใช้งาน 10 ชั่วโมง-ครั้ง

2. ค่าการเสื่อมของหลอดแสงจันทร์

ฟลักซ์แสงสว่างของหลอดแสงจันทร์จะลดลงไปเรื่อย ๆ ตลอดเวลาของการใช้งาน เนื่องมาจากหลอดเสื่อมคุณภาพดังรูปที่ 4.8 จะเห็นว่าฟลักซ์แสงสว่างของหลอดแสงจันทร์ชนิดแก้วใสจะลดลงน้อยกว่าหลอดแสงจันทร์ชนิดเคลือบสารเรืองแสงนั่นแสดงว่าหลอดแสงจันทร์ชนิดแก้วใสค่าการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสื่อมของหลอดน้อยกว่าชนิดเคลือบสารเรืองแสงเช่นหลอดแสงจันทร์ชนิดเคลือบสารเรืองแสง เมื่อใช้ตลอดอายุการใช้งาน 24,000 ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์ลูเมนที่แท้จริงจะลดลงเหลือประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์

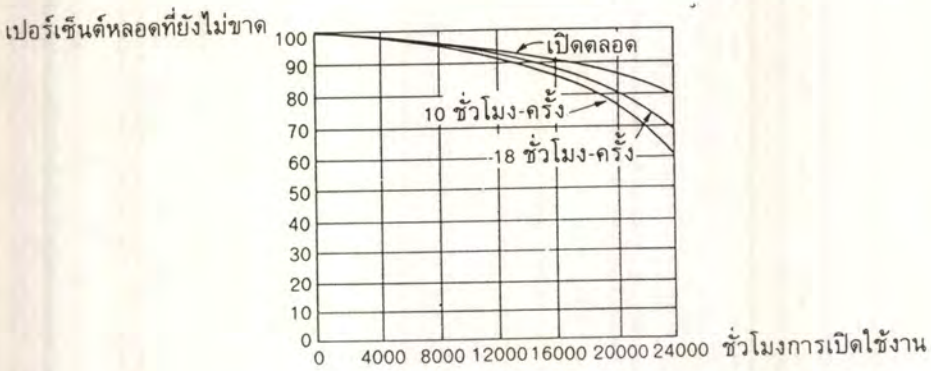


รูปที่ 4.8 แสดงค่าการเสื่อมของหลอดแสงจันทร์ขนาด 175 W และใหญ่กว่าต่อชั่วโมงการเปิดใช้งาน

3. ผลของการปิดเปิดใช้งานต่ออายุการใช้งานของหลอด

โดยปกติอายุการใช้งานของหลอดจะอยู่ระหว่าง 16,000 ถึง 24,000 ชั่วโมง (ตารางที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.2) โดยคิดที่วัฏจักรการใช้งาน 10 ชั่วโมง-ครั้ง ถ้าอายุการใช้งาน 24,000 เปอร์เซ็นต์หลอดที่ยังไม่ขาดเหลือ 60 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 4.9 แต่ถ้าเปิดใช้งานตลอดโดยไม่ปิดเลย เปอร์เซ็นต์หลอดที่ยังไม่ขาดจะเพิ่มขึ้นเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นอายุการใช้งานของหลอดจะยาวนานเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับความบ่อยครั้งในการเปิด – ปิดใช้งาน อายุการใช้งานจะยาวนานเมื่อเปิดไว้ตลอดเวลาโดยไม่ปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงเปอร์เซ็นต์ของหลอดที่ยังไม่ขาดต่อชั่วโมงการเปิดใช้งานของหลอดแสงจันทร์ขนาด 75 w , 400 w และ 1000 w

4.2 หลอดเมทัลฮาไลด์

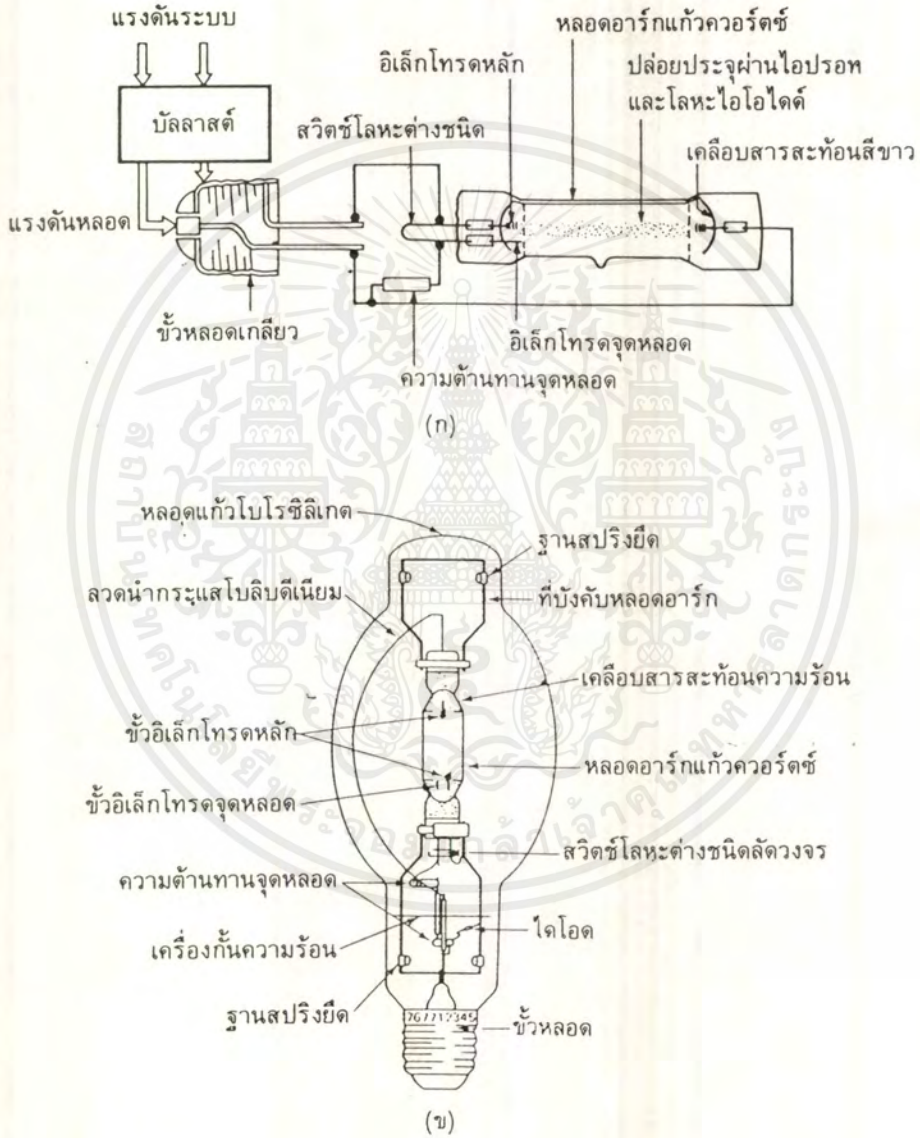
4.2.1 โครงสร้างและการทำงานของหลอดเมทัลฮาไลด์

แสงจากหลอดเมทัลฮาไลด์ผลิตจากหลอดอาร์ก มีโครงสร้างและลักษณะการทำงานเหมือนหลอดแสงจันทร์ โดยใช้เวลาในจุดอุ่นหลอด 2 ถึง 3 นาที และใช้เวลา 4 ถึง 6 นาทีในการให้แสงสว่าง 100 เปอร์เซนต์ จากนั้นใช้เวลาในการคืนตัว 10 ถึง 15 นาที แต่ภายในหลอดอาร์กนอกจากจะบรรจุด้วยปรอทอาร์กอน นีออน และคริปทอนแล้ว ยังบรรจุเกลือฮาไลด์ของโลหะอันได้แก่โซเดียมไอโอไดด์ สเกเดียมไอโอไดด์เป็นสารหลัก ส่วนสารอื่นๆได้แก่ ทอลเลียม อินเดียมและแคลเซียมไอโอไดด์ สารโลหะที่เพิ่มเติมเข้าไปใหม่นี้ทำให้เพิ่มแถบสีเกินกว่าไอปรอทได้แก่ สีแดง สีส้ม และสีเหลือง จึงทำให้แถบสีของเมตัลฮาไลด์ครบตลอดความยาวคลื่น หลอดเมทัลฮาไลด์จึงให้คุณภาพแสงสีดีโดยไม่ต้องใช้สารเรืองแสงช่วยแต่อย่างไร โครงสร้างของหลอดแสดงในรูป 4.10

นอกจากนี้หลอดอาร์กของหลอดเมตัลฮาไลด์นี้จะยึดด้วยฐานสปริง เพื่อให้ทนต่อการกระเทือน เมื่อเริ่มเปิดไฟแรงดันไฟฟ้าที่ใช้จุดหลอดต้องสูงมากพอ (สูงกว่าหลอดแสงจันทร์) ที่จะทำให้เกิดลำอาร์กระหว่างขั้วอิเลคโทรดหลัก และอิเลคโทรดจุดหลอดที่อยู่ใกล้ๆกัน กระบวนการจุดหลอดจะเริ่มต้นขึ้นโดยใช้เวลาจุดอุ่นหลอด 2 ถึง 3 นาที การเกิดไอออนมากพอที่จะทำให้ลำอาร์กที่เกิดขึ้น ระหว่างขั้วอิเลคโทรดหลักทั้งสองข้างได้ ขณะเดียวกันสวิตช์โลหะต่างชนิด จะร้อนโก่งงอทำให้ลัดวงจรระหว่างขั้วอิเลคโทรดหลัก และอิเลคโทรดจุดหลอดที่อยู่ใกล้ๆกัน เพื่อป้องกันแรงดันที่ขั้วอิเลคโทรดหลัก และอิเลคโทรดจุดหลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดเมตัลฮาไลด์บางชนิดอาจใช้ไดโอดร่วมกับสวิตช์โลหะต่างชนิด และหลอดจะสว่างเต็มที่เมื่อเวลาผ่านไป 4 ถึง 6 นาที



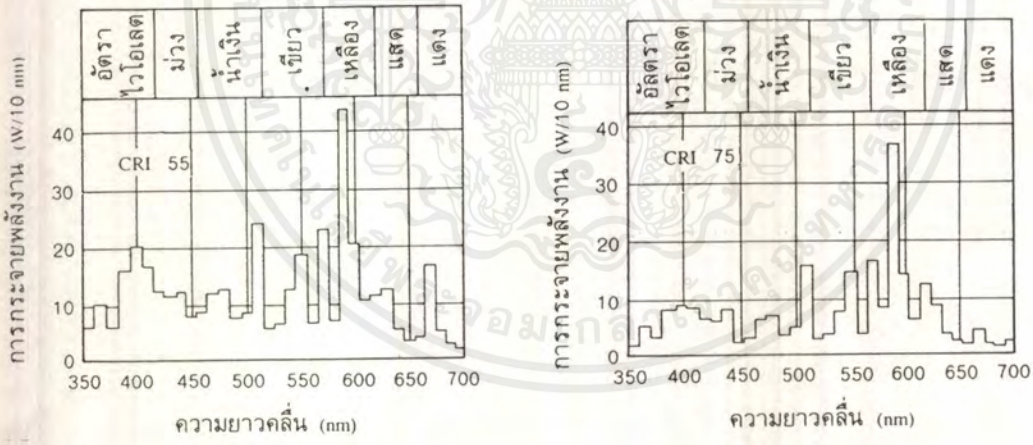
รูปที่ 4.10 แสดงโครงสร้างของหลอดเมทัลฮาไลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 สีและการกระจายพลังงานทางสเปกตรัม

โดยปกติหลอดเมทัลฮาไลด์จะให้แถบสีต่อเนื่องครบตลอดทุกสี นอกจากนี้ยังมีแถบสีอัลตราไวโอเลตอีกบางส่วนดังรูปที่ 4.11 ก แม้จะเป็นหลอดแก้วใสแต่จะให้คุณภาพแสงดีมาก โดยดัชนีความถูกต้องของสีคือ 55 แต่อย่างไรก็ตามอาคารบางชนิด เช่น ศูนย์การค้า อาคารพาณิชย์ หรือสถานที่ที่มีการถ่ายทอดโทรทัศน์ จำเป็นจะต้องให้สีของแสง มีคุณภาพสูง เพื่อให้หลอดเมทัลฮาไลด์ เหมาะกับวัตถุประสงค์ดังกล่าว จึงทำการเคลือบสารเรืองแสงไว้ภายในหลอดแก้วนอก โดยสารเรืองแสงจะกระตุ้นแถบสีแดง สีส้ม และสีเหลืองให้มีปริมาณมากขึ้นดังรูปที่ 4.11 ข ค่าดัชนีความถูกต้องของสีจะมีค่าถึง 75 นอกจากนี้สารเรืองแสงที่เคลือบไว้ยังช่วยลดแสงจ้าบาดตาอีกด้วย

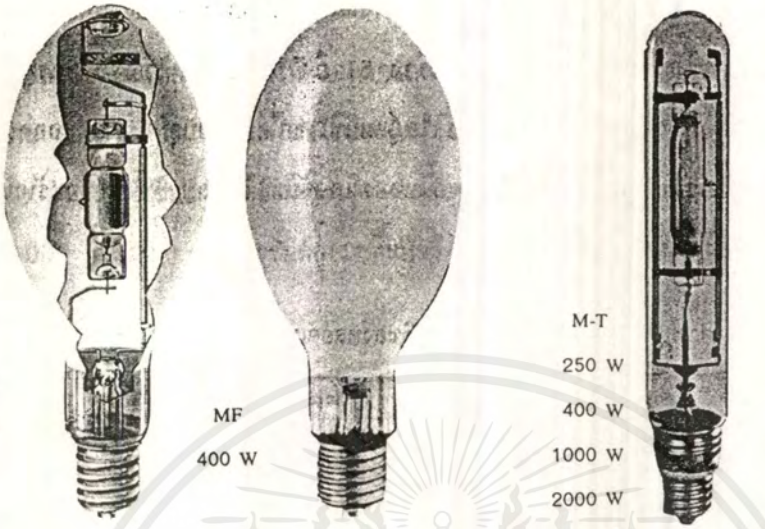
ส่วนรูปที่ 4.12 แสดงหลอดเมทัลฮาไลด์ชนิดเคลือบสารเรืองแสงและชนิดแก้วใส



(ก) หลอดแก้วใส (ข)หลอดเคลือบสารเรืองแสง

รูปที่ 4.11 แสดงสีและการกระจายพลังงานทางสเปกตรัมของหลอดเมทัลฮาไลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



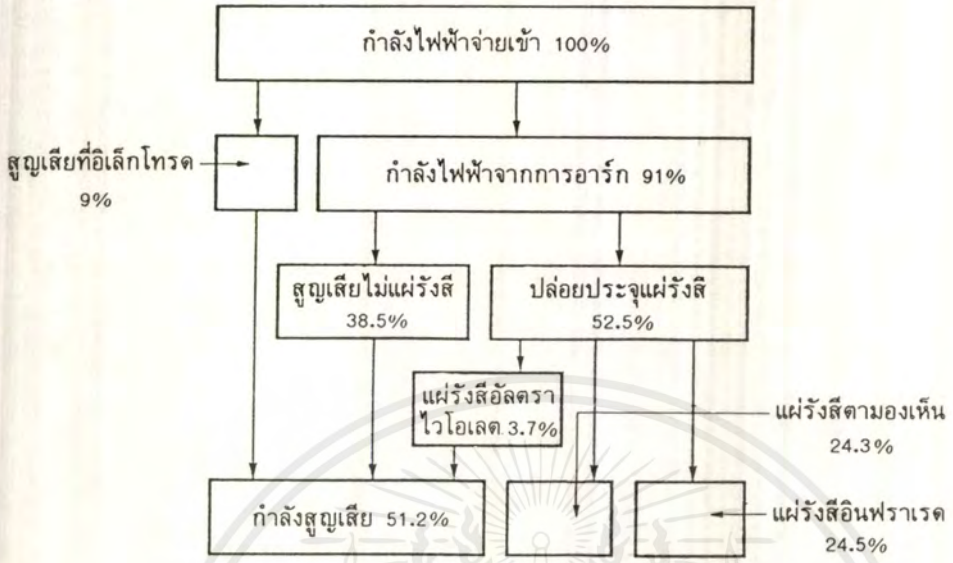
(ก) ชนิดเคลือบสารเรืองแสง (ข) ชนิดแก้วใส

รูปที่ 4.12 แสดงหลอดเมทัลฮาไลด์

4.2.3 คุณลักษณะและขีดความสามารถของหลอดเมทัลฮาไลด์

1.การกระจายพลังงานแสง จากรูปที่ 4.13 หลอดเมทัลฮาไลด์ขนาด 400 วัตต์ เมื่อป้อนกำลังไฟฟ้า 100 เปอร์เซ็นต์ จะได้แสงแผ่รังสีที่ตามองเห็น 24.3 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพแสงสว่างเฉพาะหลอด 100 ลูเมนต่อวัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงการกระจายพลังงานแสงของหลอดเมทัลฮาไลด์

สำหรับค่าฟลักซ์การส่องสว่าง และคุณสมบัติทางแสงของหลอดเมทัลฮาไลด์แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าหลอดชนิดนี้ให้ประสิทธิภาพแสงสว่าง 51 ถึง 95 ลูเมนต่อวัตต์ เมื่อรวมการสูญเสียของบัลลาสต์เรียบร้อยแล้ว นอกจากนี้ยังมีหลอดเมทัลฮาไลด์แบบพิเศษที่ออกแบบอุปกรณ์จุดหลอด(ignitor)ไว้ในหลอด แล้วยังสามารถนำไปใช้กับบัลลาสต์ของหลอดแสงจันทร์ได้เลย ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงความสว่างและคุณภาพของแสงกรณีที่เดิมใช้หลอดแสงจันทร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

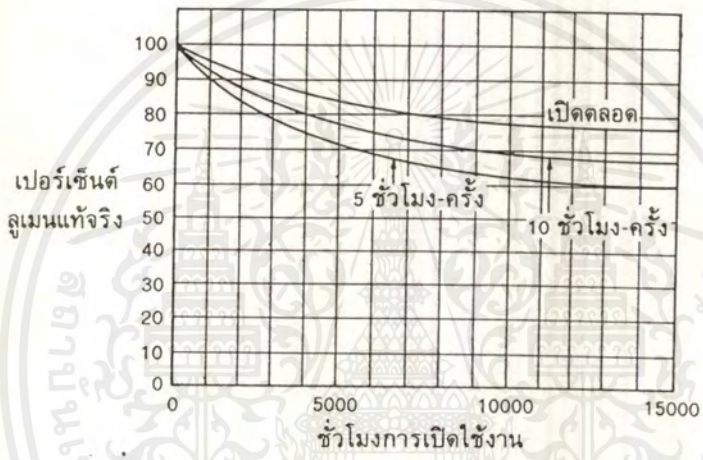
ตาราง 4.3 ค่าฟลักซ์แสงสว่างและคุณสมบัติของหลอดเมทัลฮาไลด์ระบบ 220 และ 380โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์

หลอดเมตัลฮาไลด์ทั่วไป ชนิดที่ใช้กับบัลลาสต์และใช้อุปกรณ์จุดหลอดเมตัลฮาไลด์โดยเฉพาะ											
วัตต์	ประเภท	ขั้วหลอด / แรงดันระบบ(V)	แรงดันหลอด (V)	กระแสหลอด (A)	อุณหภูมิสีของแสง (K)	ดัชนีบอกความถูกต้องของสี (CRI)	ฟลักซ์แสงสว่าง (lm)	กำลังสูญเสียบัลลาสต์ (W)	ประสิทธิภาพแสงสว่าง (lm/W) เฉพาะหลอด	ประสิทธิภาพแสงสว่าง (lm/W) หลอดรวมบัลลาสต์	อายุการใช้งาน* (h)
250	M M-T MF MF-R	E40 / 220 V	125	2.10	4200 4200 3800 3800	65 65 70 70	21500 20000 20000 13700	19	86 80 80 55	80 74 74 51	9000
400	M M-T MF MF-R	E40 / 220 V	125	3.40	4200 4200 3800 3800	65 65 70 70	40000 38000 38000 22000	25	100 95 95 55	94 89 89 52	15000
1000	M M-T MF	E40 / 220 V	130	8.25	4200 4200 3800	65 65 70	90000 85000 87000	46	90 85 87	86 81 83	9000
2000	M M-T MF	E40 / 380 V	240	8.60	4200 4200 3800	65 65 70	185000 180000 180000	52	93 90 90	90 88 88	6000
หลอดเมตัลฮาไลด์แบบพิเศษ ชนิดที่ใช้กับบัลลาสต์ของหลอดแสงจันทร์อย่างเดียว											
125	M MF	E27 / 220 V	125	1.15	4200 3800	65 70	9000 8500	14	72 68	65 61	6000
250	M MX-T MF MFX	E40 / 220 V	135	2.15	4200 6500 3800 6500	65 90 70 90	21500 18200 20000 14500	18	86 73 80 58	80 68 75 54	9000
400	M MX-T MF MFX	E40 / 220 V	140	3.25	4200 6500 3800 6500	65 90 70 90	40000 32000 38000 24500	22	100 80 95 61	95 76 90 58	9000
1000	M MF	E40 / 220 V	145	7.50	4200 3800	65 70	90000 87000	45	90 87	86 83	9000
หลอดเมตัลฮาไลด์	M : หลอดแก้วใส ทรงบีที M-T : หลอดแก้วใส ทรงหลอดยาว MX-T : หลอดแก้วใสปรับปรุงสีพิเศษ ทรงหลอดแก้วยาว MF : หลอดแก้วเคลือบสาร ทรงบีที MFX : หลอดแก้วเคลือบสารปรับปรุงสีพิเศษ ทรงบีที MF-R : หลอดแก้วเคลือบสาร ทรงสปอร์ตไลต์								รูปทรงหลอด BT T R		
การนำไปใช้งาน											
ประเภทหลอดแก้วใสและเคลือบสาร	ไฟถนน สนามกีฬา อาคารพาณิชย์ โรงงานอุตสาหกรรม สนามบิน โคมฉายบริเวณ							ประเภทเคลือบสารปรับปรุงสีพิเศษ	แสงสว่างเพื่อการถ่ายทอดโทรทัศน์สี งานที่ต้องการความถูกต้องของสีสูง		

*วัฏจักรการใช้งาน 10 ชั่วโมง-ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. **ค่าการเสื่อมของหลอดเมทัลฮาไลด์** การเสื่อมของหลอดเมทัลฮาไลด์ นั้นมีสาเหตุมาจากขั้วอิเลคโทรด ปลดปล่อยอิเลคตรอนทำให้ลำอาร์ค นอกจากนี้การเสื่อมของหลอดขึ้นอยู่กับการเปิดปิดใช้งานเช่นถ้าเปิดไว้ตลอดโดยไม่ปิดเลยที่อายุ 1500 ชั่วโมง เปอร์เซนต์ลูเมนที่แท้จริงจะลดลงเหลือ 76 เปอร์เซนต์ แต่ถ้ามีการเปิดปิดที่วัฏจักรการใช้งาน (1500 ชั่วโมง) เปอร์เซนต์ลูเมนที่แท้จริงจะเหลือเพียง 67 เปอร์เซนต์เท่านั้น ดังรูปที่ 4.14

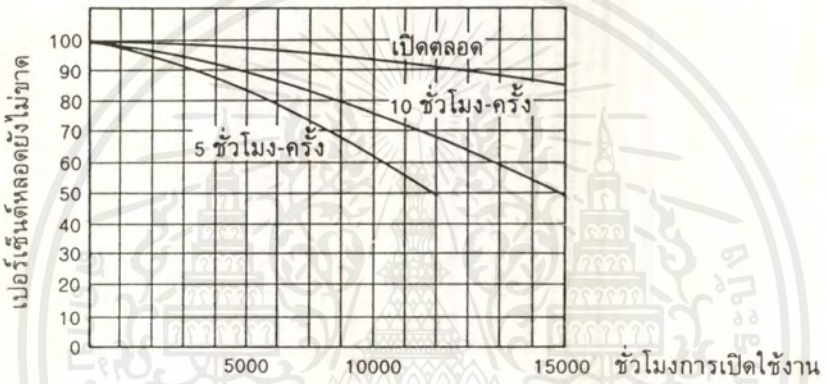


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการเสื่อมของหลอดเมทัลฮาไลด์ต่อชั่วโมงการเปิดใช้งาน

จากตารางที่ 4.3 ถ้าหลอดเมทัลฮาไลด์ขนาด 400 วัตต์ ประเภทหลอดแก้วเคลือบสารฟลักซ์แสงสว่าง 38,000 ลูเมนเปิดไว้โดยไม่ปิดตลอดอายุการใช้งาน(15,000 ชั่วโมง) จะเหลือฟลักซ์แสงสว่างเพียง 38,000 x 0.76 เท่ากับ 28,880 ลูเมนถ้าวัฏจักรการใช้งาน 10 ชั่วโมง/ครั้ง ฟลักซ์แสงสว่างจะเหลือ 38,000 x 0.67 เท่ากับ 25,460 ลูเมนอย่างไรก็ตามถ้ามีการเปิดปิดบ่อยครั้งมากกว่านี้การเสื่อมของหลอดก็จะมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.ผลของการเปิดปิดใช้งานต่ออายุการใช้งานของหลอด อายุการใช้งานของหลอดเมทัลฮาไลด์จะอยู่ระหว่าง 6,000 ถึง 15,000 ชั่วโมง โดยคิดที่วัฏจักรการใช้งาน 10 ชั่วโมง/ครั้ง และโดยเฉลี่ยแล้วอายุการใช้งานจะอยู่ประมาณ 15,000 ชั่วโมง ดังรูปที่ 4.15 ถ้าชั่วโมงเปิดใช้งาน 15,000 ชั่วโมง วัฏจักรการใช้งาน 10 ชั่วโมง/ครั้ง จะเหลือเปอร์เซนต์หลอดที่ยังไม่ขาดเท่ากับ 50 เปอร์เซนต์ แต่ถ้าเปิดไฟไว้ตลอดโดยไม่ปิดเลย เปอร์เซนต์หลอดที่ยังไม่ขาดจะเพิ่มขึ้น 85 เปอร์เซนต์ ดังนั้นจากกราฟจะเห็นได้ว่าถ้าเปิดปิดบ่อยครั้งหลอดจะมีอายุสั้น



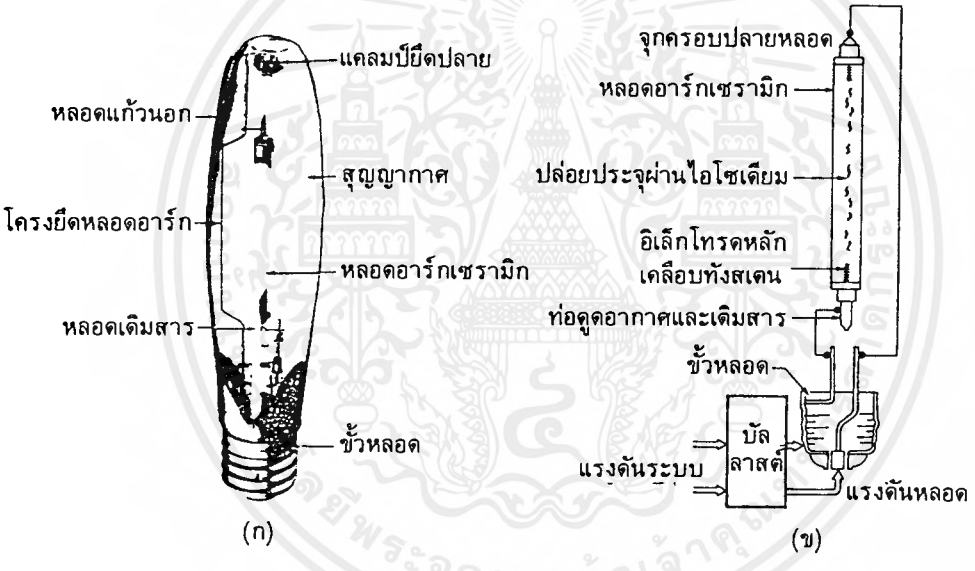
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงเปอร์เซนต์ของหลอดที่ยังไม่ขาดต่อชั่วโมงการเปิดใช้งานของหลอดเมทัลฮาไลด์ขนาด 400 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 หลอดโซเดียมความดันไอสูง

4.3.1 โครงสร้างและการทำงานของหลอดโซเดียมความดันไอสูง

โครงสร้างของหลอดโซเดียมความดันไอสูงดังรูปที่ 4.16 จะใช้เวลาจุดอุ่นหลอด 3 นาที และเวลาคืนตัว 1 นาที ซึ่งแสงจากหลอดชนิดนี้ผลิตโดยหลอดอาร์กเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กจึงทำงานที่อุณหภูมิสูง และเนื่องจากเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กจึงไม่มีขั้วอิเล็กโทรดจุดหลอดอยู่ภายในหลอดอาร์ก จะมีเฉพาะขั้วอิเล็กโทรดหลักอยู่ระหว่างปลายหลอดอาร์กทั้งสองปลายเท่านั้นภายในหลอดอาร์กบรรจุด้วยโซเดียมเป็นสารหลัก นอกจากนี้ยังเติมปรอทเล็กน้อยเพื่อช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางแสงสี และเติมก๊าซเซนอนเพื่อช่วยในการเริ่มจุดหลอด



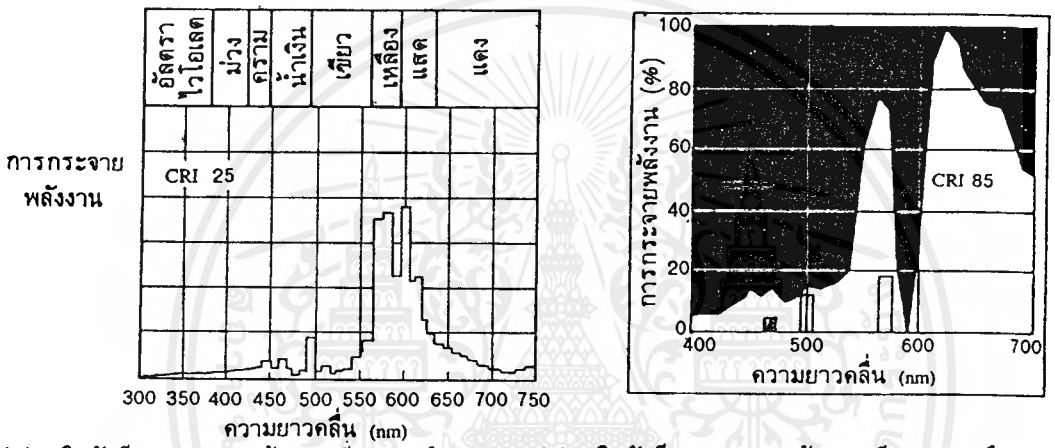
รูปที่ 4.16 แสดงโครงสร้างหลอดโซเดียมความดันไอสูง

เนื่องจากหลอดชนิดนี้ไม่มีขั้วอิเล็กโทรดช่วยจุดหลอด ดังนั้นเมื่อเริ่มเปิดไฟแรงดันไฟฟ้าที่ใช้จุดหลอดต้องสูงมากตั้งแต่ 2500 V. ถึง 5000 V. จึงต้องใช้อุปกรณ์สร้างพัลส์แรงสูงช่วยร่วมกับบัลลาสต์ เพื่อทำให้ก๊าซเซนอนเกิดแตกตัวเปล่งแสงสีขาวน้ำเงินสลัว ๆ ร่วมกับไอปรอทขณะเดียวกันความร้อนทำให้โซเดียมระเหยกลายเป็นไอ การปล่อยประจุอาร์ก จะชนโมเลกุลของไอโซเดียมทำให้โมเลกุลของไอโซเดียมเปลี่ยนไปปลดปล่อยพลังงานในรูปของแสงสว่างเป็นแสงสีเหลืองตามคุณสมบัติของโซเดียมเนื่องจากไอโซเดียมมีการกัดกร่อนแก้วธรรมดาและแก้วควอร์ตซ์สูง ดังนั้นหลอดอาร์กจึงทำด้วยวัสดุเซรามิก (polycrystalline , translucent alumina)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 สีและการกระจายทางสเปกตรัม

หลอดโซเดียมความดันไอสูงจะให้แสงในย่านแถบสีเหลือง – ส้ม ความยาวคลื่น 589 และ 589.6 นาโนเมตร ดังรูปที่ 4.17 เนื่องจากลักษณะแถบคลื่นแสงต่อเนื่องทำให้แสงสีของหลอดชนิดนี้ เป็นสีขาวออกเหลืองทองดัชนีบอกความถูกต้องของสีอยู่ระหว่าง 25 ถึง 85 หลอดโซเดียมความดันไอสูงมีทั้งประเภทเคลือบสาร (calcium pyrophosphate) และประเภทแก้วใส เนื่องจากหลอดชนิดนี้ไม่มีแถบรังสีอัลตราไวโอเลต สารเคลือบที่เคลือบไว้เป็นตัวทำให้แสงสว่างสม่ำเสมอตลอดทั้งหลอด และที่สำคัญยังช่วยลดแสงจ้าบาดตาอีกด้วย

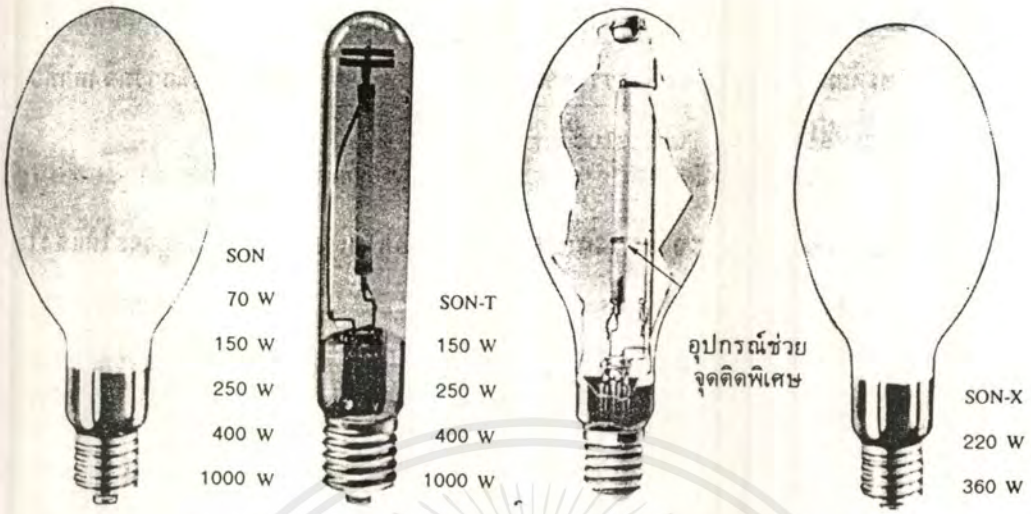


(ก) ชนิดดัชนีบอกความถูกต้องของสี CRI หรือ Ra25 (ข) ชนิดดัชนีบอกความถูกต้องของสีสูง CRI หรือ Ra85

รูปที่ 4.17 แสดงสีและการกระจายพลังงานทางสเปกตรัมของหลอดโซเดียมความดันไอสูง

ส่วนรูปที่ 4.18 แสดงหลอดโซเดียมความดันไอสูงทั่วไปประเภทเคลือบสารดังรูปที่ 4.18 ก และประเภทแก้วใสดังรูปที่ 4.18 ข หลอดโซเดียมความดันไอสูงทั่วไปทั้งสองประเภทต้องใช้กับบัลลาสต์ชนิดโซเดียมความดันไอสูงเท่านั้น จะใช้กับบัลลาสต์ของหลอดประเภทอื่น ๆ ไม่ได้ แต่สำหรับหลอดโซเดียมความดันไอสูงแบบพิเศษดังรูปที่ 4.18 ค ได้รับการออกแบบเป็นพิเศษสามารถใช้กับบัลลาสต์ของหลอดแสงจันทร์ได้แสงสว่างที่ได้รับนั้นจะเหมือนกับหลอดโซเดียมความดันไอสูงทั่วไป นอกจากนี้ยังไม่ต้องมีอุปกรณ์สร้างพัลส์แรงสูงช่วยจุดติดได้จากแรงดันไฟฟ้าด้วยบัลลาสต์หลอดแสงจันทร์เพียงตัวเดียวเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) แบบทั่วไปเคลือบสาร (ข) แบบทั่วไปแก้วใส (ค) แบบพิเศษเคลือบสาร

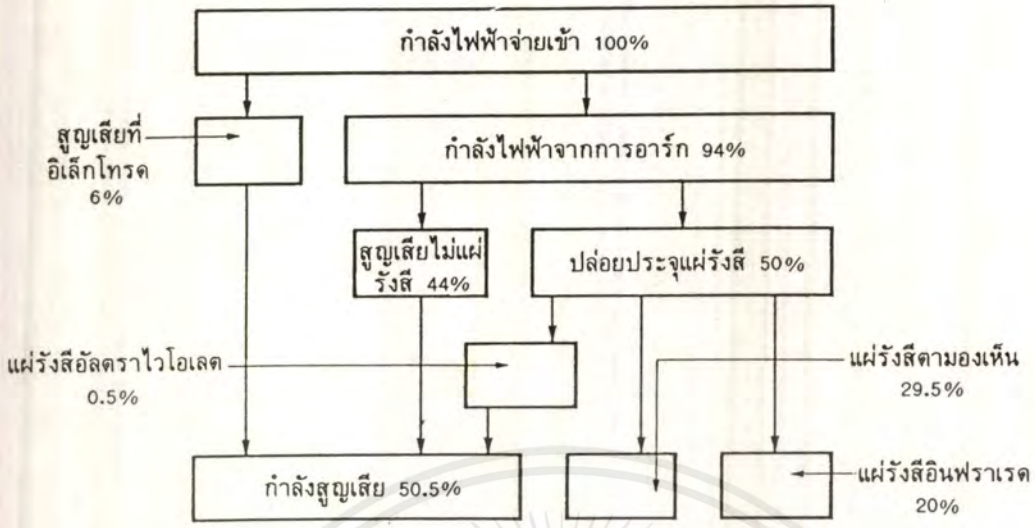
รูปที่ 4.18 แสดงหลอดโซเดียมความดันไอสูง

สำหรับหลอดโซเดียมความดันไอสูงแบบพิเศษขนาด 220 w จะใช้กับบัลลาสต์หลอดแสงจันทร์ 250 w ส่วนหลอดโซเดียมความดันไอสูงแบบพิเศษขนาด 360 w จะใช้กับบัลลาสต์หลอดแสงจันทร์ 400 w หรือขนาดเท่าใดที่เทียบเท่ากันได้ ซึ่งแล้วแต่ข้อกำหนดของบริษัทผู้ผลิตนั้น ๆ อย่างไรก็ตามในการเลือกใช้งานควรเลือกใช้หลอดโซเดียมความดันไอสูงทั่วไปร่วมกับบัลลาสต์ของหลอดโซเดียมโดยเฉพาะจะดีที่สุดทั้งนี้เพื่อประสิทธิภาพแสงและอายุการใช้งานแต่จะเลือกใช้หลอดโซเดียมความดันไอสูงแบบพิเศษในกรณีที่มีบัลลาสต์หลอดแสงจันทร์เดิมติดอยู่แล้วแต่ต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบแสงสว่างโดยถอดหลอดแสงจันทร์ออก แล้วนำหลอดโซเดียมความดันไอสูงแบบพิเศษใส่แทนเข้าไปเท่านั้น

4.3.3 คุณลักษณะและขีด ความสามารถของหลอดโซเดียมความดันไอสูง

1. การกระจายพลังงานทางแสง จากรูปที่ 4.19 แสดงการกระจายพลังงานของหลอดโซเดียมความดันไอสูงขนาด 400 w เมื่อป้อนกำลังไฟฟ้า 100 เปอร์เซ็นต์ จะได้แสงแผ่รังสีที่ตามองเห็น 29.5 เปอร์เซ็นต์ที่ประสิทธิภาพแสงสว่างเฉพาะหลอด 118 lm/w

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 แสดงการกระจายพลังงานแสงของหลอดโซเดียมความดันไอสูงขนาด 400 w

สำหรับค่าฟลักซ์แสงสว่างและคุณสมบัติทางแสงของหลอดโซเดียมความดันไอสูงแสดงไว้ในตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าหลอดชนิดนี้ให้ประสิทธิภาพแสงสว่าง 35 ถึง 150 lm/w เมื่อรวมการสูญเสียของบัลลาสต์เรียบร้อย ดังนั้นหลอดโซเดียมความดันไอสูงจึงเป็นหลอดที่ให้ประสิทธิภาพแสงสว่างสูงสุดในตระกูลหลอด HID ด้วยกัน จึงเหมาะกับงานที่ต้องการแสงสว่างมาก ๆ และไม่ต้องการดัชนีบอกความถูกต้องของสีสูงถึง 85 แต่มีข้อเสียคือประสิทธิภาพแสงสว่างจะลดลง

ตารางที่ 4.4 ค่าฟลักซ์แสงสว่างและคุณสมบัติทางแสงของหลอดโซเดียมความดันไอสูง ระบบ 220 V. 50 Hz.

หลอดโซเดียมความดันไอสูงทั่วไป ชนิดที่ใช้กับบัลลาสต์และอุปกรณ์จุดหลอดโซเดียมความดันไอสูงโดยเฉพาะ											
วัตต์	ประเภท	ขั้วหลอด / แรงดันระบบ(V)	แรงดันหลอด (V)	กระแสหลอด (A)	อุณหภูมิสีของแสง (K)	ดัชนีบอกความถูกต้องของสี (CRI)	ฟลักซ์แสงสว่าง (lm)	กำลังสูญเสียบัลลาสต์ (W)	ประสิทธิภาพแสงสว่าง (lm/W)		อายุการใช้งาน* (h)
									เฉพาะหลอด	หลอดรวมบัลลาสต์	
50	SON	E27 / 220 V	90	0.76	2100	25	3800	9.5	76	64	24000
70	SON SON-T	E27 / 220 V	90	1.00	2100	25	5800 6500	10	83 93	73 81	24000
100	SON SON-T	E40 / 220 V	100	1.20	2100	25	9500 10000	14	95 100	83 88	24000
150	SON SON/DX SON-T SON-R SON/DX-R	E40 / 220 V	100	1.80	2100 2500 2100 2100 2500	25 85 25 25 85	14000 7300 14000 9700 5900	18	93 49 93 65 39	83 43 83 58 35	24000 9000 24000 24000 9000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) ค่าฟลักซ์แสงสว่างและคุณสมบัติทางแสงของหลอดโซเดียมความดันไอสูง ระบบ 220 V. 50 Hz.

วัตต์	ประเภท	ขั้วหลอด / แรงดันระบบ(V)	แรงดันหลอด (V)	กระแสหลอด (A)	อุณหภูมิสีของแสง (K)	ดัชนีบอกความถูกต้องของสี (CRI)	ฟลักซ์แสงสว่าง (lm)	กำลังสูญเสียบัลลาสต์ (W)	ประสิทธิภาพแสงสว่าง (lm/W) เฉพาะหลอด	ประสิทธิภาพแสงสว่าง (lm/W) หลอดรวมบัลลาสต์	อายุการใช้งาน* (h)
250	SON	E40 / 220 V	100	3.00	2100	25	25800	24	103	94	24000
	SON/DX				2500	85	12800		51	47	9000
	SON-T				2100	25	27000		108	99	24000
	SON-R				2100	25	19800		79	72	24000
	SON/DX-R				2500	85	9500		38	35	9000
	SON-G				2100	25	25800		103	94	24000
400	SON	E40 / 220 V	105	4.40	2100	25	47000	31	118	109	24000
	SON/DX				2500	85	23000		58	53	9000
	SON-T				2100	25	47000		118	109	24000
	SON-R				2100	25	33600		84	78	24000
	SON/DX-R				2500	85	18000		45	42	9000
1000	SON	E40 / 220 V	110	10.30	2100	25	120000	55	120	114	24000
	SON-T				2100	25	125000		125	118	
หลอดโซเดียมความดันไอสูงแบบพิเศษ(X) ชนิดที่ใช้กับบัลลาสต์ของหลอดแสงจันทร์อย่างเดียว											
75	SONX	E27 / 220 V	115	0.80	2100	25	6200	10	83	73	20000
110	SONX		125	1.15	2100	25	11000	14	100	89	24000
	SONX-R				2100	25	7400		67	60	
220	SONX	E40 / 220 V	135	2.15	2100	25	26500	18	120	111	24000
	SONX/DX				2150	60	19000		86	80	
	SONX-T				2100	25	28000		127	118	
	SONX-R				2100	25	20000		91	84	
	SONX/DX-R				2150	60	14500		66	61	
360	SONX	E40 / 220 V	140	3.25	2100	25	47500	22	132	124	24000
	SONX/DX				2150	60	36000		100	94	
	SONX-T				2100	25	50000		139	131	
	SONX-R				2100	25	36000		100	94	
	SONX/DX-R				2150	60	27000		75	71	
940	SONX	E40 / 220 V	145	7.50	2100	25	141000	45	150	143	24000
	SONX-T				2100	25	148000		157	150	

หลอดโซเดียมความดันไอสูง

- SON : หลอดแก้วเคลือบสาร ทรงบีที หรือทรงอีลิป
- SON/DX : หลอดแก้วใสปรับปรุงสีพิเศษ ทรงบีที หรือทรงอีลิป
- SON-T : หลอดแก้วใส ทรงหลอดยาว
- SON-R : หลอดแก้วเคลือบสาร ทรงสปอร์ตไลต์
- SON/DX-R : หลอดแก้วใสปรับปรุงสีพิเศษ ทรงสปอร์ตไลต์
- SON-G : หลอดแก้วเคลือบสาร ทรงกลม

รูปทรงหลอด

ขนาดบัลลาสต์หลอดโซเดียมความดันไอสูงแบบพิเศษ เมื่อใช้เทียบกับขนาดบัลลาสต์หลอดแสงจันทร์

หลอดโซเดียมแบบพิเศษ	หลอดแสงจันทร์
75 W	80 W
110 W	125 W
220 W	250 W
360 W	400 W
940 W	1000 W

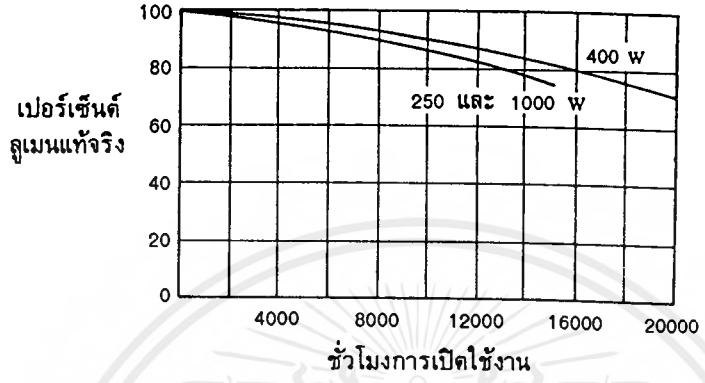
การนำไปใช้งาน

ประเภทดัชนีบอกความถูกต้องของสี 25-60	ไฟถนน ลานจอดรถ สนามบิน สนามกีฬา โรงงานอุตสาหกรรม โคมฉายบริเวณ	ประเภทดัชนีบอกความถูกต้องของสี 85	โคมฉายบริเวณ หรือไฟสนามกีฬา ที่ต้องการความถูกต้องของสีสูง

*วัฏจักรการใช้งาน 10 ชั่วโมง-ครั้ง

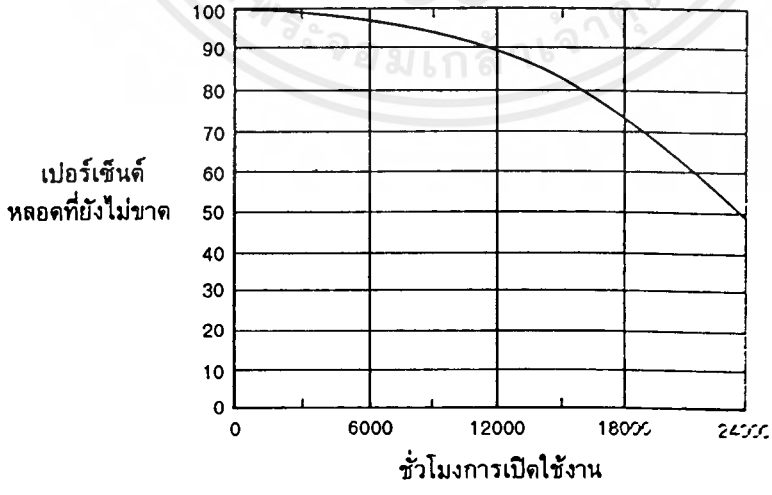
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ค่าการเสื่อมของหลอดโซเดียมความดันไอสูง เมื่อทำการเปิดใช้งานแสงสว่างจะเริ่มลดลงไปเรื่อย ๆ อย่างไรก็ตามแสงสว่างจะลดลงตลอดอายุการใช้งานประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความเสื่อมหลอดโซเดียมความดันไอสูงต่อชั่วโมงการเปิดใช้งาน

3. ผลการปิดเปิดใช้งานต่ออายุการใช้งานของหลอด อายุการใช้ของหลอดโซเดียมความดันไอสูงยาวนานถึง 24,000 ชั่วโมง (ตารางที่ 4.4) โดยคิดที่วัฏจักรการใช้งาน 10 ชั่วโมง- ครั้ง เช่นเดียวกันกับหลอด HID ตระกูลอื่น ๆ แต่ถ้าเปิดไว้ตลอดโดยไม่ปิดเลยอายุการใช้งานจะยาวนานกว่านี้มาก ขณะเดียวกันที่วัฏจักรการใช้งาน 10 ชั่วโมง- ครั้ง เมื่อเปิดใช้งานไปตลอดอายุการใช้งาน 24,000 ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์หลอดที่ยังไม่ขาดจะเหลือ 50 เปอร์เซ็นต์เช่นกัน ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์หลอดที่ยังไม่ขาดต่อชั่วโมงการเปิดใช้งาน 10 ชั่วโมง-ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การเปรียบเทียบหลอดทั้ง 3 ชนิด

ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของหลอด

ชนิดของหลอด	หลอดแสงจันทร์	หลอดความดันไอโซเดียมสูง	หลอดเมทัลฮาไลด์
ประสิทธิภาพ (lm/w)	สูง	สูงมาก	สูงถึงสูงมาก
การตอบสนองสี	ไม่ดีจนถึงดี	ไม่ดีจนถึงดี	ดี
อายุการใช้งาน	นานมาก	นานมาก	นานถึงนานมาก
ความแข็งแรง	พอใช้ถึงดี	พอใช้ถึงดี	พอใช้ถึงดี
จำกัดตำแหน่งจุดลุกร้อน	ไม่	ไม่	ไม่ถึงบางที
การรักษาค่าลูเมน	พอใช้ถึงดี	ดี	ไม่ดีถึงพอใช้
ความร้อนที่แผ่ออกมา	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
ความสว่าง	สูง	สูงถึงสูงมาก	สูงถึงสูงมาก
เวลาจุดหลอด	ต่ำมาก	ต่ำมาก	ต่ำมาก
ความต้องการในตัวบัลลาสต์	มี	มี	มี
การควบคุมทางแสง	ไม่ดี	ดี	ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงคุณสมบัติประจำตัวของหลอดต่าง ๆ สำหรับใช้งาน

คุณสมบัติประจำตัว	หลอดแสงจันทร์	หลอดความดันไอโซเดียมสูง	หลอดเมทัลฮาไลด์
ฟลักซ์ส่องสว่าง (lm)	2,000-125,000	3,300-130,000	19,000-187,000
ประสิทธิภาพ (lm/w) ไม่คิดบัลลาสต์	40-63	70-130	75-95
พิกัด (w)	50-2,000	50-1,000	250-2,000
สีของแสง	อินเตอร์มีเดียต	วอร์มไวท์	คูล
การตอบสนองสี	พอประมาณ	ไม่ดี	ดีมากถึงดี
บัลลาสต์	โช้ค	โช้ค	โช้ค
ชุดสตาร์ท/อิกไนเตอร์	ไม่มี	อิกไนเตอร์แยกหรือรวมเข้ากับหลอด	อิกไนเตอร์
ช่วงเวลาอุ่นหลอด (นาที)	3	5	3
ช่วงเวลารอจุดซ้ำ (นาที)	5	<1	10

จากการเปรียบเทียบหลอดทั้ง 3 ชนิดดังแสดงในตาราง ทำให้เราตัดสินใจที่จะเลือกใช้หลอดเมทัลฮาไลด์ในการออกแบบระบบแสงสว่างในสนามกอล์ฟเนื่องจากข้อดีในเรื่อง ประสิทธิภาพ , การตอบสนองสี , อายุการใช้งาน ,การควบคุมทางแสง และ ลักษณะสีของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 โคมฉาย

ในหัวข้อนี้เราจะพิจารณาถึงการออกแบบระบบแสงสว่างโดยจะเริ่มต้นการอ่านข้อมูลจากตารางโฟโตเมตริก(photometric data) และการใช้ข้อมูลนั้นๆ ในการออกแบบอย่างไรก็ดีผู้อ่านจะต้องระลึกไว้เสมอว่า ถึงแม้ว่าจะได้ดำเนินตามขั้นตอน ของการออกแบบตามที่ได้กล่าวไว้แล้วก็ตาม ความสว่างที่คำนวณได้ก็ยังอาจจะคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้ถึง 20%

4.5.1 ชนิดของดวงโคม

ดวงโคมสำหรับแสงสว่างภายนอกอาคารแบ่งเป็น 2 ชนิดด้วยกัน ชนิดแรกเรียกว่าโคมฉาย (Floodlight) โคมชนิดนี้เราสามารถปรับทิศทางการฉาย (aiming) ได้โคมชนิดที่สองเราไม่สามารถปรับทิศทางการฉายได้ (fixed aiming) เช่นโคมไฟถนน

โดยทั่วไปแล้วโคมไฟถนนจะถูกออกแบบ ให้สามารถทำการการส่องสว่างได้ดีบนพื้นที่ยาวและแคบกล่าวคือ ความสูงของดวงโคม(เสา)จะยาวประมาณสองเท่า หรือ มากกว่าความกว้างของถนนและตำแหน่งของดวงโคม มักจะอยู่ภายในพื้นที่ทำการส่องสว่าง เช่น การส่องสว่างไฟถนน ลานจอดรถ หรือ บริเวณสนามหญ้ารอบอาคาร เป็นต้น แต่สำหรับโคมฉายแล้ว ตำแหน่งของมันมักจะอยู่บริเวณรอบนอกของพื้นที่ที่มันส่องสว่าง และ มักจะส่องสว่างครอบคลุมระยะทาง ที่ไกลออกไปมากกว่าระยะสองเท่าของความสูงของดวงโคม เช่นไฟสนามเทนนิส ไฟสนามฟุตบอล เป็นต้น

ในปัจจุบันนี้ โคมฉายมักจะใช้คู่กับหลอด HID เพราะจะมีประสิทธิภาพสูง และ มีอายุการใช้งานนาน อย่างไรก็ตามยังมีผู้นิยมใช้โคมฉายกับหลอดควอตซ์ฮาโลเจน อยู่ไม่น้อย เนื่องจากราคาถูก และหลอดควอตซ์ฮาโลเจนเองก็มีความคงที่ในการส่องสว่างที่ดีอีกด้วย

โคมฉายที่ผลิตกันออกมามีอยู่หลายชนิดตามขนาดของกำลังไฟที่ ใช้ความกว้างของลำแสง (beam spread)ที่มันฉายออกมา ชนิดของหลอดที่ใช้หรือแม้กระทั่งชนิดของบัลลาสต์ ผู้ออกแบบจึงจำเป็นที่จะต้องศึกษารายละเอียดต่างๆเหล่านี้ ตลอดจนกระทั่งถึงตารางโฟโตเมตริกของโรงงานผู้ผลิตดวงโคมก่อนที่จะตัดสินใจเลือกใช้ดวงโคมชนิดใดชนิดหนึ่ง

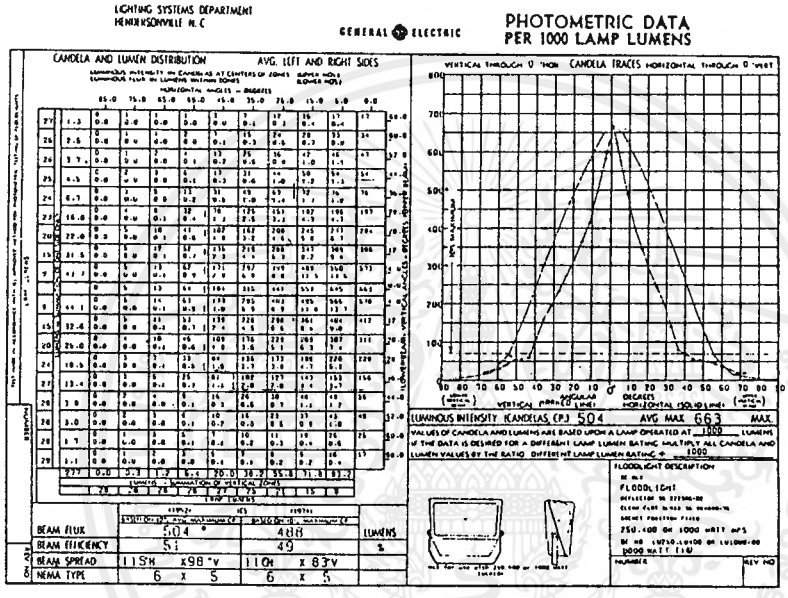
4.5.2 ตารางโฟโตเมตริก

ตารางโฟโตเมตริกที่สมบูรณ์ของโคมชนิดโคมฉาย มักจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนแรกซึ่งอยู่ทางซ้ายมือของรูปที่ 4.22 นั้น จะเป็นตารางแจกแจงแสดงค่าแคนเดลาและลูเมนที่ออกมาดวงโคม ซึ่งเรียกว่าตารางแสดงค่าการกระจายแสง (candela and lumen distribution) ส่วนที่สองซึ่งอยู่ทางขวามือของรูปที่ 4.22 จะบอกให้รู้ว่าลำแสงที่ออกมามีความกว้างมากน้อยเพียงไร ส่วนที่สองนี้เรียกว่า รอยแคนเดลา (candela trace)

โดยทั่วไปแล้ว ตารางค่าการกระจายแสงจะแสดงค่าแคนเดลา และปริมาณลูเมนที่ดวงโคมนั้นๆฉายออกมาเพียงซีกเดียวซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยเพราะค่าต่างๆ เหล่านี้จะสมมาตรกันทั้งซีกซ้ายและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซีกขวา จากรูปที่ 4.22 มุมศูนย์องศาในระดับในแนวดิ่งคือ จุดศูนย์กลางของลำแสง (aiming point) ซึ่งมีค่าความเข้มแห่งความส่องสว่างเท่ากับ 663 แคนเดลาค่าต่างๆ ในตารางแต่ละช่องดังรูป ค่าที่อยู่ด้านบน จะแสดงค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างที่มุมต่างๆเช่นที่มุม 12 องศาขึ้นไปทางด้านบน(upper beam) ของศูนย์กลางลำแสง จะมีค่าเท่ากับ 347 แคนเดลา ตัวเลขข้างล่างในตารางแต่ละช่องจะแสดงปริมาณลูเมนที่พุ่งออกมา เช่น ปริมาณลูเมนที่พุ่งออกมาระหว่าง 25 กับ 35 องศาในแนวระดับ และ 12 กับ 20 องศาลงไปด้านล่าง (lower beam)ใต้จุดศูนย์กลางของลำแสงจะมีค่าเท่ากับ 3.5 ลูเมน เป็นต้น



รูปที่ 4.22 แสดงตัวอย่างตารางโฟโตเมตริก

ค่าความเข้มแห่งความส่องสว่างและปริมาณลูเมน ที่แสดงไว้ในตารางการกระจายแสงนั้น โรงงานผู้ผลิตมักจะบอกไว้เป็นตัวเลขต่อค่ากำลังส่องสว่าง 1,000 ลูเมน กล่าวคือ สมมุติว่าผู้อ่านเลือกใช้หลอดซึ่งมีค่ากำลังส่องสว่างเท่ากับ 50,000 ลูเมนกับดวงโคมนี้ เราก็จะได้ว่าค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างที่จุดศูนย์กลางของลำแสงมีค่าเท่ากับ (663/1,000x50,000) ซึ่งเท่ากับ 33,150 แคนเดลาและค่าปริมาณลูเมนในตัวอย่างที่แล้วก็จะมีค่าจริงเท่ากับ(3.5/1000)x50000 ซึ่งท่ากับ 175 ลูเมน

ตารางแจกแจงแสดง ค่าการกระจายแสงที่ได้กล่าวไปแล้วนี้จะแสดงค่าแคนเดลาและปริมาณลูเมนทั้งหมดที่ออกมาจากดวงโคม อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติเราจะนำเฉพาะค่าที่มากกว่าหนึ่งส่วนสิบของค่าสูงสุด(maximum candela) เท่านั้น (ค่าอยู่ในกรอบเส้นประในรูปที่ 4.22)ไปใช้ในการออกแบบค่าต่างๆที่อยู่ในกรอบเส้นประมีค่าน้อยเกินกว่าการนำไปพิจรณาเราจึงตัดทิ้งไป ปริมาณลูเมนที่ออกมาทั้งหมดภายในกรอบเส้นประดังกล่าวนั้น เราเรียกว่า ฟลักซ์ลำแสง (beam flux) ซึ่งใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีนี้มีค่าเท่ากับ 488 ลูเมน หรือ บางครั้งโรงงานผู้ผลิตอาจจะบอกมาในรูปของประสิทธิภาพของลำแสง(beam efficient) ซึ่งในกรณีนี้มีค่าเท่ากับ 488/100 หรือประมาณ 49%

ส่วนรูปทางขวามือของตารางโฟโตเมตริก ซึ่งเราเรียกว่ารอยแคนเดลานั้น จะเป็นรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความเข้มการส่องสว่างในหน่วยแคนเดลากับค่ามุมในหน่วยองศาที่ทำกับเส้นศูนย์กลางลำแสง (เส้นที่ลากจากดวงโคมไปยังจุดศูนย์กลางลำแสง) เส้นทั้งสองเส้นบนรูปกราฟนั้น เส้นเรียบจะเป็นรอยแคนเดลาของดวงโคมนี้ ในแนวระดับ (ระนาบของเส้นศูนย์กลางลำแสง) ส่วนเส้นที่สองซึ่งอยู่ด้านล่าง จะเป็นรอยแคนเดลาของดวงโคมในแนวดิ่ง(ระนาบตั้งฉากกับเส้นศูนย์กลางลำแสง)

จะเห็นได้ว่าแคนเดลาที่สูงสุดในดวงโคมนี้ทั้งสองระนาบมีค่าเท่ากัน และมีค่าเท่ากับ 663 แคนเดลา และ เมื่อพิจารณาค่าที่เท่ากับ 10 % ของค่าสูงสุดนี้จะมีค่าเท่ากับ 66.3 แคนเดลา ดังรูปที่ 4.22 จะได้ว่า ความกว้างของลำแสงในแนวระดับมีค่าเท่ากับ 110 องศา(55+55) และความกว้างของลำแสงในแนวระดับดิ่งมีค่าเท่ากับ 83 องศา (41.5+41.5) และความกว้างของลำแสงที่กล่าวถึงนี้โดยทั่วไปแล้วจะสมมาตรกันเสมอ ด้านซ้ายกับด้านขวา ด้านบนกับด้านล่าง

NEMA (National Electrical manufacturers Association) ได้กำหนดเลขกำกับขึ้นสำหรับบอกความกว้างของดวงโคมที่กล่าวไปแล้วนั้น ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ยกตัวอย่างเช่นความกว้างลำแสงของดวงโคมในตารางที่ 4.7 นั่นคือ NEMA 6x5 จะสังเกตได้ว่า NEMA จะบอกความกว้างของลำแสงในแนวระดับก่อน แล้วตามด้วยความกว้างของลำแสงในแนวดิ่ง

ความกว้างของลำแสง (องศา)	รหัส NEMA
10-18	1
18-29	2
29-46	3
46-70	4
70-100	5
100-130	6
130 ขึ้นไป	7

ตารางที่ 4.7 เลขกำกับบอกความกว้างของดวงโคม

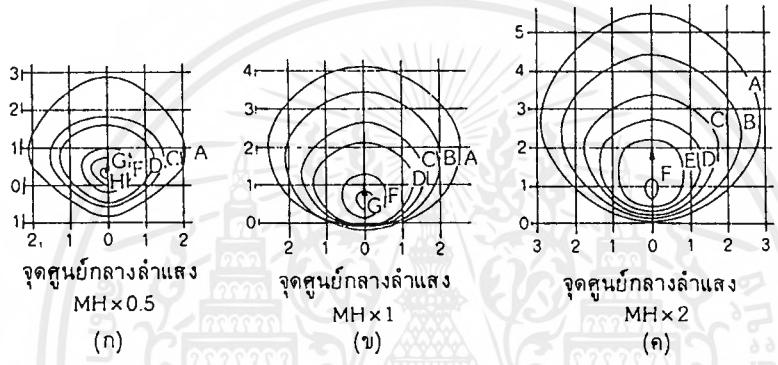
ในกรณีที่ความกว้างของลำแสงของดวงโคมมีค่าเท่ากันทั้งสองแนวเช่น ดวงโคมที่มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม การบอกความกว้างของลำแสง จะกำหนดโดยใช้เลขตัวเดียว เช่น NEMA2 หรือ NEMA5 เป็นต้น จะสังเกตเห็นได้ว่ายิ่งลำแสงมีความกว้างมากขึ้นเท่าไร ค่าตัวเลขที่สัมพันธ์ของเลขกำกับของ NEMA ก็มีค่ามากขึ้นด้วย กล่าวคือดวงโคม NEMA5 จะมีลำแสงกว้างกว่าดวงโคมที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีค่า NEMA3 ในการออกแบบระบบแสงสว่างบนพื้นที่ อยู่ใกล้กับดวงโคมและใช้ดวงโคมที่มีลำแสงแคบส่องครอบคลุมพื้นที่ที่อยู่ไกลออกไป

4.5.3 Isoillumination Diagram

การใช้ตารางโฟโตเมตริกช่วยใน การออกแบบเพียงอย่างเดียวอาจ ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการคำนวนได้ทั้งนี้เพราะตารางโฟโตเมตริกถูกจัดทำขึ้นโดยส่องโคมฉายเข้าไปยังฉากที่ตั้งฉากกับแนวของลำแสง แต่ในทางปฏิบัติแล้ว' โคมฉายจะถูกติดอยู่บนเสาสูง แล้วส่องเอียงมายังพื้น โรงงานผู้ผลิตโคมจึงได้จัดทำ isoillumination diagram หรือ isofootcandle หรือ isolux diagram ขึ้น เพื่อช่วยในการออกแบบระบบแสงสว่างให้ละเอียดถูกต้องยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 4.23



	ความสูงของดวงโคม, 15.2 m (50 ft):	
	lx	Fc
A	1.1	0.1
B	2.2	0.2
C	5.4	0.5
D	10.8	1.0
E	21.5	2.0
F	54.0	5.0
G	108.0	10.0
H	161.0	15.0

รูปที่ 4.23 ตัวอย่าง isoillumination diagram

จากรูปที่ 4.23เป็น isoillumination diagram ของดวงโคมอันหนึ่ง ที่พิกัด 0-0 จะเป็นตำแหน่งของดวงโคม ปลายของลูกศรจะแสดงตำแหน่ง ของจุดศูนย์กลางลำแสงของดวงโคม กล่าวคือ รูป(ก) ดวงโคมจะเล็งออกไปที่ระยะ 0.5 เท่าของระยะความสูงของเสา (mounting height , MH) รูป(ข) ดวงโคมจะเล็งออกไปที่ระยะเท่ากับความสูงของเสา (1MH) และ รูป (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดวงโคมเล็งออกไปที่ระยะเท่ากับสองเท่าของระยะความสูงของเสา (2MH) ตารางพิกัดแต่ละช่องที่แสดงไว้ในรูปจะแทนระยะหนึ่งช่วงเสาของดวงโคม ซึ่งจะเห็นได้ว่า ไม่ว่าระยะความสูงในการติดตั้งดวงโคมจะเป็นเท่าไร เราสามารถปรับ isoillumination diagram เข้าได้เสมอเช่น ความสูงของดวงโคมจะมีค่าเท่ากับ 40 ฟุต หรือ 10เมตร ระยะห่างของเส้นแต่ละเส้น ในตารางก็จะมีค่าเท่ากับ 40 ฟุต หรือ 10 เมตร ตามไปด้วย เส้นโค้ง A,B,C,D บน isoillumination diagram จะบอกค่าระดับความมากน้อยของปริมาณแห่งการส่องสว่างว่ามีค่าเท่าไร โดยที่เส้นโค้งแต่ละเส้นจะมีค่าปริมาณแห่งการส่องสว่างเท่ากัน กล่าวคือ ทุกๆจุดบนเส้นโค้ง A จะมีค่าปริมาณแห่งการส่องสว่างเท่ากับ 1.1 ลักซ์ หรือ 0.1 ฟุตแคนเดิล และทุกๆจุดบนเส้นโค้ง B จะมีค่าปริมาณแห่งการส่องสว่างเท่ากับ 2.2 ลักซ์ หรือ 0.2 ฟุตแคนเดิล เป็นต้น

เมื่อระยะความสูงของดวงโคมเปลี่ยนแปลง รูปแบบของ isoillumination diagram ของดวงโคมนั้นก็ยังคงเหมือนเดิมทุกประการแต่ค่าปริมาณแห่งการส่องสว่างจะเปลี่ยนแปลงไปโดยจะผกผันกับระยะควมสูงยกกำลังสองกล่าวคือ เมื่อความสูงเพิ่มขึ้นค่าปริมาณแห่งการส่องสว่างจะลดลง และเมื่อความสูงลดลงค่าปริมาณแห่งการส่องสว่างก็จะเพิ่มขึ้น

โรงงานผู้ผลิตจะบอกกำกับมาเสมอพร้อมกับตาราง sioillumination diagram ว่าค่าปริมาณแห่งการส่องสว่างบนเส้นโค้ง A,B,C,... แต่ละเส้นได้จากการทดลองที่ระยะความสูงดวงโคมเท่าไร ซึ่งในกรณีความสูงของดวงโคมก็มีค่าเท่ากับ 15.2 เมตร หรือ 5. ฟุต

เมื่อผู้อ่านต้องการรู้ค่าปริมาณแห่งการส่องสว่างที่เกิดจากดวงโคมนี้ในกรณีที่ความสูงของดวงโคมหรือเสาเปลี่ยนไปจาก 50 ฟุต ก็จะสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ ดังนี้

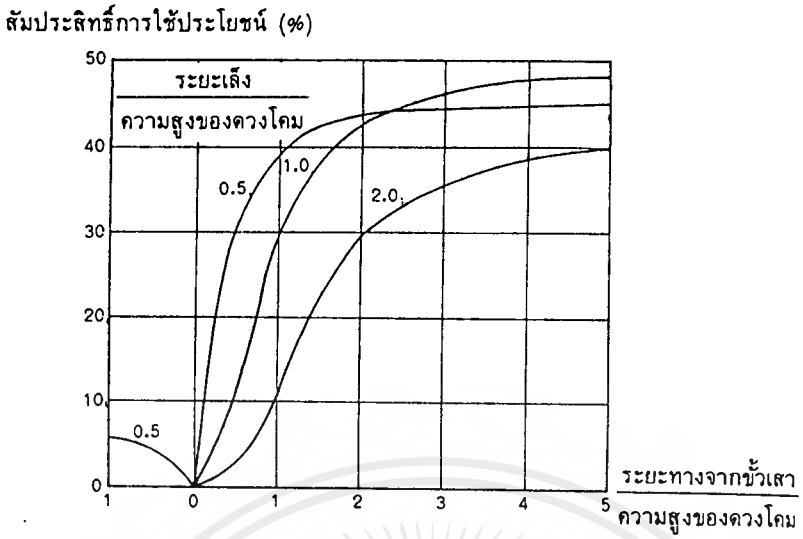
$$E_1/E_2 = (MH_2)^2/(MH_1)^2$$

ผู้อ่านต้องพึงระวังไว้เสมอว่าโคมที่ดูลักษณะภายนอกเหมือนกันทุกประการ แต่ถ้าใช้หลอดไฟที่มีขนาดวัตต์ต่างกันแล้ว isoillumination diagram ก็จะต่างกันไปด้วย จากรูปที่ 4.23 ซึ่งเป็น isoillumination diagram ของหลอดโซเดียมความดันสูงขนาด 1000 วัตต์ถ้าผู้อ่านตั้งใจจะออกแบบโดยกำหนดใช้หลอดโซเดียมความดันสูงขนาด 400 วัตต์ ก็จะต้องขอ iosilumination diagram เฉพาะของมันจากโรงงานผู้ผลิตมาใหม่

4.5.4 ตารางการใช้ประโยชน์(Utilization data)

ตารางการใช้ประโยชน์เป็นข้อมูลอีกอย่างหนึ่ง ซึ่งโรงงานผู้ผลิตดวงไฟมักจะจัดทำควบคู่กับ isoillumination diagram เสมอ ตารางการใช้ประโยชน์จะบอกให้เรารู้ว่าปริมาณแสงที่ออกมาจากดวงโคมทั้งหมดไปตกลงบนพื้นที่ที่เราต้องการส่องสว่างจริงๆกี่เปอร์เซนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



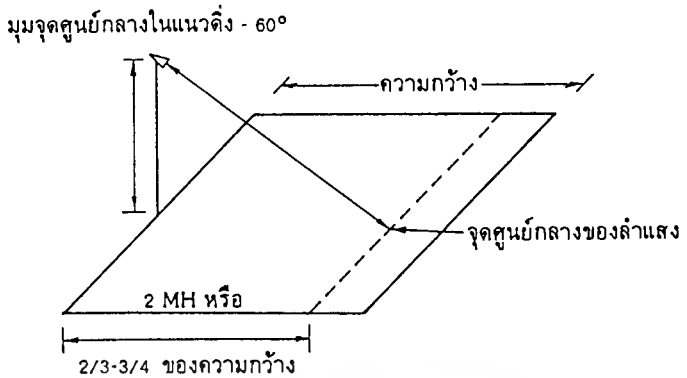
รูปที่ 4.24 สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของโคมฉายหลอดโซเดียมความดันสูง

จากรูปที่ 4.24 สมมุติเราต้องการส่องสว่างครอบคลุมพื้นที่ไกลออกไปเป็นระยะทางสามเท่าของความสูงของดวงโคมโดยกำหนดให้ ดวงโคมเล็งไปที่จุดซึ่งอยู่ไกลออกไปจากเสาเป็นระยะสองเท่าของความสูงของดวงโคม ค่าสัมประสิทธิ์ในการใช้ประโยชน์ในกรณีนี้ จะมีค่าประมาณ 37 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะหมายความว่าปริมาณลูเมนทั้งหมดที่ออกมาจากโคมไฟ จะมีเพียง 37 เปอร์เซนต์เท่านั้น ที่ไปตกลงบนพื้นที่ที่เราต้องการส่องสว่าง เป็นต้น

4.5.5 มุมจุดศูนย์กลางในแนวดิ่ง(Vertical Aiming Angles)

ถ้าพิจารณาการออกแบบระบบแสงสว่างพื้นที่กว้างๆ เช่นลานจอดรถ หรือ สนามหญ้ากว้างๆ และจากผลการทดลองได้ผลว่า ถ้ากำหนดให้ระยะจากจุดศูนย์กลางลำแสง อยู่ในระหว่าง 2/3 –3/4 ของความกว้างของพื้นที่ที่ต้องการการส่องสว่าง หรือ สองเท่าของระยะความสูงของเสาขึ้นอยู่กับว่าระยะไหนจะสั้นกว่ากันแล้ว เราจะได้ระดับความสว่าง(illumination level) มากที่สุดเท่าที่เราจะได้จากดวงโคมนั้นๆ การติดตั้งโคมฉายให้ส่องไกลออกไปมากๆ อาจจะสามารถครอบคุมพื้นที่ที่ต้องการส่องสว่างมากขึ้นได้ แต่ปริมาณแห่งการส่องสว่างจะลดลง และความสม่ำเสมอก็จะเลวลงตามไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.25

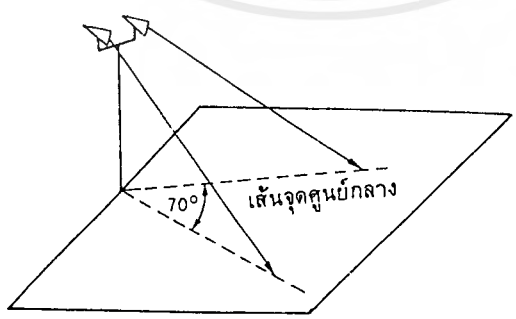
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 มุมจุดศูนย์กลางในแนวดิ่ง

4.5.6 มุมจุดศูนย์กลางในแนวระดับ(Horizontal Aiming Angle)

จำนวนโคมฉายซึ่งติดตั้งบนเสา เพื่อการส่องสว่างครอบคุมพื้นที่หนึ่งๆมักจะมีมากกว่าหนึ่งโคมขึ้นไป การพิจาราว่าควรจะเลือกใช้ ความกว้างของลำแสงในแนวระดับ (Horizontal beam spread) ของโคมฉายกว้างมากน้อยเท่าไร ขึ้นอยู่กับ ตารางโฟโตเมตริกของ โคมฉายนั้นๆกล่าวคือ เราพยายามรักษาระดับความสว่างบนพื้นที่ให้สม่ำเสมอใกล้เคียงกันให้มากที่สุด ส่วนที่ลำแสงของดวงโคมแต่ละโคมมาโอเวอร์แลปกัน ควรจะเป็นจุดที่มีความเข้มแห่งการส่องสว่างไม่เกินครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุดของดวงโคมนั้นๆ อย่างเช่นโคมในรูปที่ 4.22 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 663 แคนเดลา มุมในแนวระดับแต่ละข้างที่ให้ค่าครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุดก็คือ ประมาณ 35 องศา (ดูจากรูปรอยแคนเดลาของรูปที่ 4.22) ฉะนั้นในกรณีนี้มุมระหว่างเส้นจุดศูนย์กลางในแนวระดับของดวงโคมนี้ไม่ควรมีค่ามากกว่า 35+35 = 70 องศา ดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 มุมจุดศูนย์กลางในแนวระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

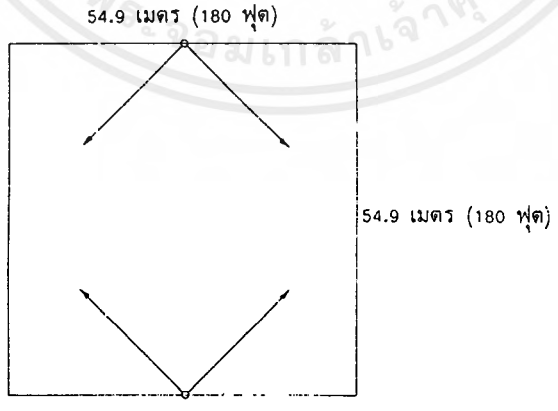
การออกแบบระบบแสงสว่างภายนอกและการพิจารณาคุณภาพแสง

การออกแบบระบบแสงสว่างภายนอกอาคารในบทนี้ จะมุ่งพิจารณาเฉพาะการออกแบบระบบแสงสว่างสำหรับพื้นที่กว้างๆเท่านั้น เช่นลานจอดรถหรือบริเวณรอบๆ ภายนอกอาคารโดยใช้โคมฉายที่ได้ศึกษามาแล้วมาใช้ในการออกแบบ

สิ่งหนึ่งซึ่งผู้ออกแบบจะต้องนำมาพิจารณาร่วมด้วยในขั้นต้น ของการออกแบบเสมอ ก็คือ ตำแหน่งของเสา ตำแหน่งของเสาอาจจะตั้งอยู่บริเวณรอบนอกของพื้นที่ หรือ ตั้งอยู่ภายในกลางพื้นที่ที่ต้องการส่องสว่างก็ได้ หรืออาจจะติดตั้งอยู่กับส่วนใดส่วนหนึ่งของอาคาร แล้วส่องออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของสถานที่ที่จะทำการออกแบบ ความสวยงาม ความเป็นระเบียบเรียบร้อย ตลอดจนกระทั่งถึงความสะดวก ในการควบคุมทางด้านความปลอดภัย ผู้ออกแบบ จะต้องพิจารณาถึงประเด็นต่างๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดร่วมด้วยเสมอ

5.1 การเลือกกำหนดตำแหน่งของเสา

สมมุติว่าเรามีพื้นที่หนึ่งที่จะต้องทำการออกแบบระบบแสงส่างให้กับมัน พื้นที่นี้อาจจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้าก็ได้ วิธีแรกที่เป็นไปได้ ในการกำหนดตำแหน่งของเสาก็คือ ตั้งอยู่ที่มุมทั้งสี่ของรูปสี่เหลี่ยม วิธีนี้เป็น วิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในเทอมของการใช้ประโยชน์และสามารถกำจัดมุมมืดต่างๆหรือเงาที่อาจจะเกิดขึ้นได้ด้วย เพราะแสงพุ่งมาจากทิศทางต่างๆกัน อย่างไรก็ตามมีข้อเสียที่ว่าจะต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากเราจะต้องใช้เสาทั้งสี่มุม อีกวิธีหนึ่งที่ทำได้ก็คือ ตั้งเพียงสองเสาที่ขอบสนามหันหน้าเข้าหากันดังแสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 การกำหนดตำแหน่งของเสาโดยตั้งเสาเพียงสองเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีที่สองนี้จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าวิธีแรกเล็กน้อย แต่จะประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่าเพราะใช้เสาน้อยกว่า การแก้ไขเรื่องความสม่ำเสมอของแสงและเงาที่เกิดขึ้นก็สามารถทำได้โดยติดโคมไฟมากกว่าหนึ่งโคมขึ้นไปที่เสาแต่ละต้น

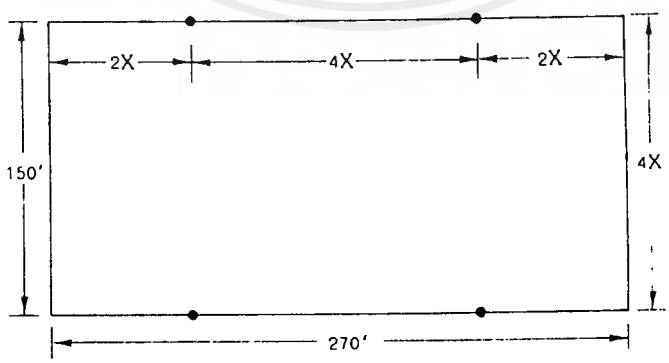
อีกวิธีหนึ่งซึ่งเป็นวิธีที่ประหยัดที่สุดก็คือ ใช้เสาเพียงต้นเดียวติดอยู่ข้างใดข้างหนึ่งของสนามแล้วติดตั้งโคมไฟขึ้นไปนหลายๆโคม ส่องไปตามบริเวณต่างๆ โดยให้ความสว่างทับกันไปเรื่อยๆ วิธีนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพต่ำที่สุดในเทอมของการใช้ประโยชน์และอาจไม่สามารถใช้ได้ในกรณีที่พื้นที่ที่ต้องการส่องสว่างอยู่ไกลออกไปมากๆ

การกำหนดตำแหน่งของเสาทั้งสามวิธีที่ได้กล่าวมาแล้ว เป็นวิธีหลักเท่านั้น ผู้อ่านสามารถที่จะเลือกใช้หรือกำหนดตำแหน่งของเสาขึ้นเองได้ตามความเหมาะสม อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบ ที่จะต้องพิจารณาร่วมด้วย ว่ามีความสำคัญมากน้อยเพียงไร สำหรับงานออกแบบนั้นก็คือความสม่ำเสมอของระดับความสว่าง สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ และค่าใช้จ่าย

ในกรณีที่พื้นที่ที่ต้องการออกแบบ ระบบแสงสว่าง ไม่มีกิจกรรมใดๆ ที่เกิดขึ้นอันเป็นอุปสรรคต่อการตั้งตำแหน่งของเสาภายในสนาม ผู้อ่านอาจจะเลือกใช้วิธีนี้ก็ได้ โดยการกำหนดตำแหน่งเสาขึ้นที่กลางสนาม แล้วใช้โคมหลายโคมติดตั้งหันทิศทางต่างๆ กันไป โคมชนิดนี้จะเป็นโคมอีกชนิดหนึ่งซึ่ง ต่างจากโคมชนิดโคมฉาย เราเรียกว่า high mast luminaire

5.2 กฎ 2X-4X

กฎ 2X-4X เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้กันมากใน การออกแบบระบบส่องสว่างภายนอกอาคาร สามารถทำได้เร็วและสะดวก โดยยึดหลักที่ว่า โคมที่อยู่บนเสาแต่ละต้นไม่ควรส่องสว่างครอบคลุมพื้นที่ที่ไกลออกไปเกินระยะสองเท่าของความสูงของเสา



รูปที่ 5.2 กฎ 2X-4X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

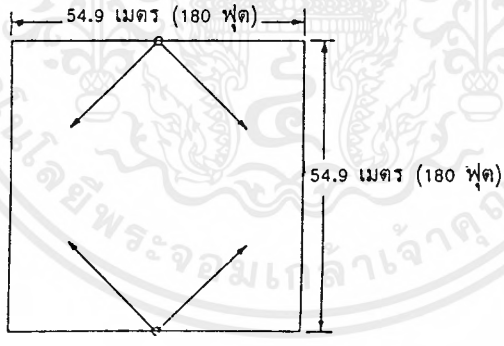
จากรูปที่ 5.2 พื้นที่ ที่ต้องการส่องสว่างมีความกว้าง 150 ฟุต และยาว 270 ฟุต สมมุติว่าเราได้กำหนดที่จะตั้งเสาขึ้นที่ขอบสนามทั้งสองข้าง ดังรูปเมื่อพิจารณาทางด้านกว้าง ความสูงของเสา ควรมีค่าอย่างน้อยเท่ากับ 150/4 =37.5 ฟุต เมื่อพิจารณาทางด้านยาว ความสูงของเสา ก็ควรมีค่าอย่างน้อยเท่ากับ 270/8 = 33.75 ฟุต ฉะนั้นในกรณีนี้เราจึงเลือกใช้เสาที่มีความสูงเท่ากับ 37.5 ฟุต โดยประมาณ

5.3 ชนิดของหลอดไฟ

ชนิดของหลอดไฟก็เป็นอีกตัวเลือกหนึ่งที่ผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาตัดสินใจ ว่าจะเลือกใช้หลอดชนิดใดดี โดยทั่วไปแล้วสิ่งที่ควรคำนึงถึงในกรณีนี้ก็คือ ประสิทธิภาพของหลอดไฟ สีของแสงที่ออกมาจากหลอดไฟนั้น อายุการใช้งานของหลอดไฟเป็นต้น ซึ่งได้กล่าวไว้แล้ว

5.4 วิธีลูเมน (Lumen Method)

ขั้นต่อไปในการออกแบบก็คือ หาจำนวนโคมไฟที่ต้องการใช้เพื่อส่องสว่างพื้นที่นั้น แต่ก่อนอื่นผู้อ่านจะต้องทราบหรือกำหนดระดับความสว่างที่ต้องการขึ้นมาก่อนว่า ต้องการเท่าไร หรืออาจจะหาได้จากตารางที่ IES หรือคู่มือการออกแบบระบบแสงสว่างของโรงงานผู้ผลิตโคมไฟต่างๆ ได้จัดทำขึ้นเป็นแนวทางในการออกแบบก็ได้ ต่อจากนั้นจึงดำเนินขั้นตอนของการออกแบบตามลำดับต่อไป



รูปที่ 5.3 ตัวอย่างการจัดวางโคมไฟสนาม

จากรูปที่ 5.3 เราต้องการออกแบบระบบแสงสว่างครอบคลุม พื้นที่กว้าง 180 ฟุต ยาว 180 ฟุต และได้กำหนดตำแหน่งของเสาและจำนวนดวงโคมขึ้นดังรูป สมมุติว่า ระดับความสว่างที่ต้องการบนพื้นที่นี้มีค่าเท่ากับ 5.4 ฟุตแคนเดิลนี้เป็นความสว่างซึ่งเราต้องการมีไว้ ตลอดชั่วอายุการทำงานของระบบ ฉะนั้นในขั้นตอนของการออกแบบเราจะต้องนำองค์ประกอบอื่น ที่เป็นตัวทำให้ปริมาณลูเมนที่ออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาจาก โคมไฟลดลงมาพิจารณาประกอบด้วยแต่แรกคือ ความเสื่อมของหลอดไฟ (LDD) ซึ่งสามารถหาได้จากคู่มือหลอดและโคมไฟที่โรงงานผู้ผลิตจัดทำขึ้น

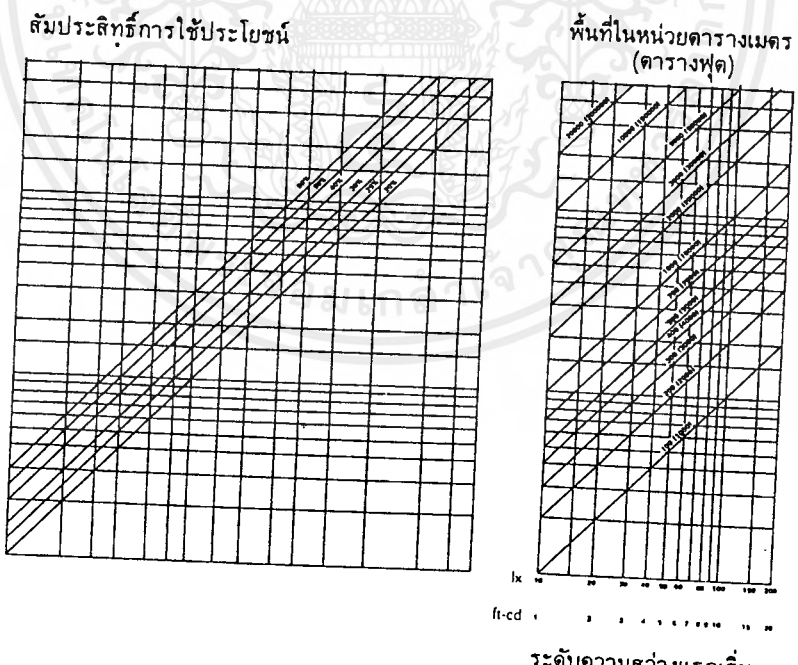
ในกรณีนี้ สมมุติว่าเราได้ว่า LDD = 0.9 แล LDD = 0.95 ค่าระดับความสว่างที่ควรจะเป็นเมื่อระบบแสงสว่างถูกติดตั้งเสร็จแต่แรก คือ

$$5.4 \ / \ (0.9 \times 0.95) \ = \ 6.32 \quad \text{ฟุตแคนเดิล}$$

จากนั้นก็จะใช้ตารางในรูปที่ 5.4 เข้าช่วย ในการกำหนดจำนวนและชนิดของหลอดไฟ ที่ต้องการทั้งหมด โดยเริ่มจากตารางบนขวามือที่ระดับความสว่าง 6.32 ฟุตแคนเดิลในแนวแกน X ลากขึ้นไปตัดกับเส้นเฉียง 32,400 ตารางเมตร (180 X 180) หรือประมาณ 30,000 ตารางเมตร ในรูป จากจุดตัดของเส้นทั้งสองก็ลากเส้นตรงในแนวระดับไปตัดเส้นสัมประสิทธิการใช้ประโยชน์ที่อยู่ในตารางบนซ้ายมือของรูป

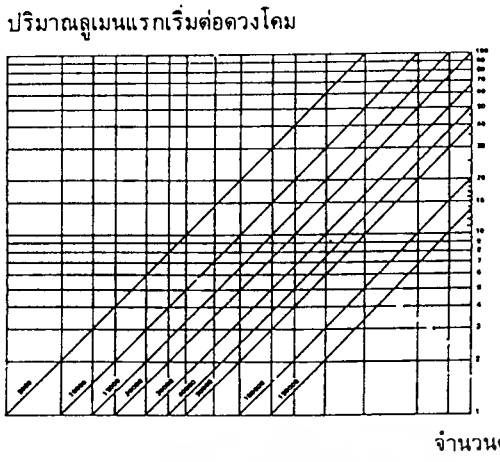
การที่จะลากไปตัดเส้นสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เส้นไหนนั้น ผู้อ่านจะต้องประมาณเอาก่อนในขั้นนี้ อย่างไรก็ตามก็จะมีแนวทางในการประมาณโดยพิจารณา จากระยะที่ว่าโคมไฟจะต้องส่องสว่างครอบคลุมพื้นที่ไกลออกไปเท่าไร ดังตารางที่ 5.1

ในกรณีนี้เราเลือกใช้เสาที่มีความสูง 45 ฟุต(จากกฎ 2x-4x) เพื่อส่องสว่างครอบคลุม พื้นที่ที่ไกลออกไปแต่ละข้าง 90 ฟุต ดังนั้นค่าต่ำสุดโดยประมาณต่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์จึงเท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5.4 ตารางที่ช่วยในการกำหนดจำนวนและขนาดของหลอดไฟที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 (ต่อ) ตารางที่ช่วยในการกำหนดจำนวนและขนาดของหลอดไฟที่ต้องการ

ตารางที่ 5.1 สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์โดยประมาณของโคมฉาย

เสาอยู่ข้างเดียวกัน		เสาอยู่ทั้ง 2 ข้างของสนาม	
ความกว้าง	สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์	ความกว้าง	สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์
2 MH หรือน้อยกว่า	50%	4 MH หรือน้อยกว่า	50%
2-3 MH	40%	4-6 MH	40%
มากกว่า 3 MH	30%	มากกว่า 6 MH	30%

จากนี้ก็กลับไปพิจารณารูปที่ 5.4 อีกครั้งหนึ่งจากจุดตัดบนเส้นสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ 40 เปอร์เซ็นต์ เราก็จะลากเส้นตรงลงมาตัด กับเส้นตรงอีกเส้นหนึ่งคือ เส้นแสดงจำนวนของดวงโคมในกรณีนี้เรากำหนดไว้แล้วในขั้นแรกจากรูปที่ 5.3 ว่า เราจะใช้ 4 ดวงโคม ด้วยเหตุผลทางด้านความสม่ำเสมอ ของระดับความสว่างในการออกแบบแสงสว่างสำหรับพื้นที่นี้ และ จุดตัดของเส้นทั้งสองที่เกิดขึ้นใหม่บนตารางซ้ายมือ ด้านล่างของรูปที่ 5.4 ก็จะอยู่ระหว่างเส้น 100,000 กับ 150,000 ของเส้นลูเมนแรกเริ่มของดวงโคม(initial per luminaire) จากตารางก็จะเห็นได้อีกว่า ถ้าใช้หลอดไฟที่มีกำลังส่องสว่างเท่ากับ 100,000 ลูเมน เราจะต้องใช้หลอดไฟ 4 หลอด และถ้าใช้หลอดไฟที่มีขนาดกำลังส่องสว่าง 150,000 ลูเมน ก็จะใช้หลอดไฟเพียง 3 หลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นก็พิจารณาต่อไปว่า หลอดขนาดเท่าไรที่สามารถ ให้ค่าลูเมนแรกเริ่มออกมาได้อยู่ระหว่าง 100,000 กับ 150,000 ลูเมน ซึ่งจะหาได้จากตารางหลอดไฟ ของโรงงานผู้ผลิตอีกเช่นกัน เราจะได้ว่าหลอดโซเดียมความดันสูงขนาด 1,000 วัตต์ จะสามารถให้กำลังส่องสว่าง ออกมาได้ 140,000 ลูเมน ดั้งนั้นในกรณีนี้เราจึงตกลงเลือกใช้ดวงโคมสำหรับ หลอดโซเดียมความดันสูงขนาด 1000 วัตต์ 4 ดวงโคม โดยติดตั้งสองดวงโคมต่อหนึ่งเสา ดังรูปที่ 5.3

ขั้นตอนการออกแบบยังไม่จบเพียงเท่านี้ ผู้อ่านยังจะต้องหาต่อไปอีกว่า จะกำหนดใช้ดวงโคมที่มีความกว้างของลำแสงอย่างไร จากรูปที่ 5.3 เราจะเห็นได้ว่าดวงโคมแต่ละดวงโคมจะต้องส่องสว่างครอบคลุมมุมกว้างอย่างน้อย 90 องศา (45x2) ดังนั้นความกว้างของลำแสงในแนวระดับของดวงโคมจะต้องอยู่ระหว่าง NEMA5 หรือ 6 นั้นเอง และสำหรับความกว้างลำแสงในแนวดิ่งของดวงโคมก็เช่นกัน เนื่องจากช่วงล่างของดวงโคมแต่ละดวงโคมจะต้อง ส่องสว่างครอบคุมมุมกว้างจากจุดศูนย์กลางลำแสงถอยไปยังโคนเสาของมันและเพื่อให้ได้ระดับความส่องสว่างมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เราจะได้ค่า ดวงโคมที่จะส่องที่ระยะประมาณ สองเท่าของระยะความสูงของเสาซึ่งมีค่าประมาณเท่ากับ 60 องศา ดังนั้นความกว้างของลำแสงในแนวดิ่ง จึงอาจจะเป็น 120 องศา (60+60) หรือ NEMA6 ความกว้างของลำแสงของดวงโคมนี้จึงอาจเขียนได้ว่า NEMA 5x6 เป็นต้น

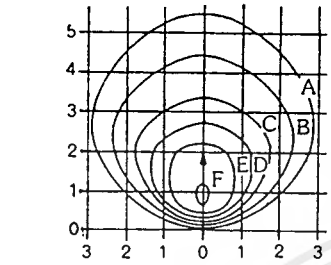
5.5 ความสม่ำเสมอของระดับความสว่าง

หลังจากกำหนดจำนวนและขนาดของดวงโคมเรียบร้อยแล้ว ผู้ออกแบบจะต้องคำนวนหาดูว่าความสว่างสม่ำเสมอของระดับความสว่างบนพื้นที่ที่ออกแบบไว้ เป็นที่ยอมรับในทางปฏิบัติได้หรือไม่ โดยทั่วไปถ้าคำนวนออกมาได้ว่าจุดที่ระดับความสว่างมากที่สุดแล้ว ก็ถือว่าเป็นที่ยอมรับได้ในบางแห่งอาจจะกำหนดถือเอาอัตราส่วน ระหว่างค่าระดับความสว่างค่าเฉลี่ยต่อค่าต่ำสุดว่าไม่เกิน 3:1 เป็นเกณฑ์ก็มี

การตรวจเช็คหาความสม่ำเสมอนี้ทำได้โดยใช้ isoillumination diagram มาช่วยในการออกแบบ

จากรูปที่ 5.5 เป็น isoillumination diagram ของดวงโคมที่เลือกใช้จากตัวอย่างที่แล้ว ซึ่งส่องที่ระยะสองเท่าของความสูงของดวงโคมที่เลือกใช้จากตัวอย่างที่แล้ว จะตกอยู่ในเส้นโค้ง E ของรูปที่ 5.5 ซึ่งมีค่าความสว่างเท่ากับ 2 ฟุตแคนเดิลเมื่อเสาสูง 50 ฟุต หรือ 3.1 ฟุตแคนเดิล เมื่อเสาสูง 40 ฟุต ดังตาราง หรือมีค่าเท่ากับ 2.5 ฟุตแคนเดิลในกรณีซึ่งเสาสูง 45 ฟุตในตัวอย่าง และพื้นที่บางส่วนก็จะตกอยู่ระหว่างเส้นโค้ง E และ D ซึ่งสว่างเพียง 1.3 ฟุตแคนเดิล (ระหว่าง 1.0 กับ 1.6) ฉะนั้นผู้ออกแบบจะต้องทำการตรวจสอบโดยการร่างแบบของ isoillumination diagram ที่เกิดจากดวงโคมทั้งสี่เข้าไปบนพื้นที่ที่ออกแบบไว้ ให้ได้สัดส่วนเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จุดศูนย์กลางลำแสง MXx2
หลอดโซเดียมความดันสูง ขนาด 1000 W

ความสูงของดวงโคม (MH)				
	12 m (40 ft)		15.2 m (50 ft)	
	lx	ft-cd	lx	ft-cd
A	1.7	0.16	1.1	0.1
B	3.3	0.31	2.2	0.2
C	6.4	0.78	5.4	0.5
D	17.2	1.6	10.8	1.0
E	33.4	3.1	21.5	2.0
F	83.9	7.8	54.0	5.0

รูปที่ 5.5 isoillumination diagram ของดวงโคมที่เลือกใช้

จุดที่ isoillumination diagram ของดวงโคมทั้งสองดวงหรือมากกว่ามาตัดกัน จะต้องบวกค่าฟุตแคนเดิลที่อ่านได้จากจำนวนดวงโคมที่ตัดกันนั้นเข้าไปด้วย

เมื่อทำเสร็จเรียบร้อย จะเห็นได้ว่าบางจุดบนพื้นที่นั้นอาจจะมีระดับความสว่างมากหรือน้อยกว่าเฉลี่ยมากๆ ผู้อ่านจะต้องแก้ไข โดยปรับมุมเล็งในแนวระดับของดวงโคมให้แยกจากกันหรือเข้าหากันมากขึ้นเล็กน้อยจนกว่าระดับแสงสว่างบนพื้นที่นั้นจะสม่ำเสมอกันจนเป็นที่ยอมรับได้

5.6 การพิจารณาคุณภาพแสง (GLARE)

ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงการหาค่าแสงจ้าที่ใช้กับพื้นที่ภายนอก (กีฬากลางแจ้ง) เพื่อใช้ตรวจสอบค่าแสงจ้าที่เกิดขึ้นจากการติดตั้ง , การวัดค่าแสงจ้า , การทำนายค่าแสงจ้าจากการติดตั้งใหม่ โดยจะคิดเฉพาะใต้ระดับสายตาเท่านั้นโดยจะต้องรู้ค่าพิกัดแสงจ้า (GLARE RATING) และจะคิดค่าแสงจ้าเฉพาะพื้นที่ส่องสว่างเท่านั้นโดยไม่คิดผลกระทบจากแสงที่มาจากภายนอกพื้นที่ที่พิจารณา

คุณภาพของการติดตั้งระบบแสงสว่างจะพิจารณาจากการเป็นเนื้อเดียวกันของพื้นที่ส่องสว่างและค่าแสงจ้าที่เกิดขึ้น โดยสำหรับพื้นที่ภายนอกทั่วไปเวลาคิดค่าแสงจ้าจะใช้ Ti % (Threshold Increment) และ GR อย่างเช่นเรื่องไฟถนน แต่ในกรณีนี้จะใช้ไม่ได้เพราะ มุมมองของผู้สังเกตจะเปลี่ยนแปลงไม่คงที่ และจุดส่องสว่างไม่ได้เรียงกันเป็นแนว และ ความสูงเสา (Mounting height) ก็จะเกินช่วงที่จะใช้วิธีเดียวกับที่ใช้คำนวณไฟถนนได้ โดยระดับของการติดตั้งที่จะทำให้เกิดแสงจ้าจะขึ้นอยู่กับ การกระจายความเข้มแสง และจุดเล็งของโคม โดยหัวข้อนี้จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บอกการหาค่าแสงจ้า เพื่อที่จะนำไปใช้งานจริงได้ โดยจะต้องคำนึงถึงมุมมองและตำแหน่งของผู้สังเกต

5.6.1 ตัวประกอบที่มีผลต่อระดับของแสงจ้า

แสงจ้า (GLARE) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

- แสงจ้าระคายตา (Discomfort glare) ทำให้การมองไม่สบายตา ลดความสามารถในการมองเห็น
- แสงจ้าพร่านัยน์ตา (Disability glare) ทำให้ลดสมรรถภาพในการมองเห็น โดยไม่เกิดความไม่สบายตา

โดยที่แสงจ้าระคายตา (Discomfort glare) จะไม่ขึ้นอยู่กับความส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงแต่จะขึ้นกับบริเวณแสงที่เข้าตา จะมีผลต่อการมองเห็นมากขึ้นเมื่อเวลามากขึ้น

ส่วนแสงจ้าพร่านัยน์ตา (Disability glare) จะขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดแสงโดยตรง

พารามิเตอร์ที่มีผลกับแสงจ้าระคายตา (Discomfort glare)

L_s ความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงในทิศทางของผู้สังเกต

ω_s มุมเชิงของแข็ง จากแหล่งกำเนิดแสงที่ตาผู้สังเกต

θ มุมที่เคลื่อนไปจากระดับสายตาของผู้สังเกต

L_f ความสว่างของพื้นที่ที่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงระดับสายตาของผู้สังเกต

สำหรับผลของแสงจ้าพร่านัยน์ตา (Disability glare) สามารถอธิบายได้จากค่าความส่องสว่างกำบังที่อยู่ในแนวตั้งฉากกับสายตา ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ 2 พารามิเตอร์ คือ

E_s ความส่องสว่างที่ผู้สังเกตในแนวตั้งฉากกับระดับสายตา

θ มุมระหว่างจุดศูนย์กลางของแสงจ้า และ เส้นระดับสายตา

สำหรับพื้นที่ภายนอก ค่าแสงจ้าที่เกิดขึ้นทำให้มุมมองตามดวงโคมและตามพื้นที่ที่พิจารณา โดยจะขึ้นกับชนิดของดวงโคม ชนิดของหลอด การจัดเรียงของดวงโคม ความสูงเสา (Mounting height) และ จุดเล็ง

สำหรับพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการส่องสว่างที่มีผลกับค่าแสงจ้า ในพื้นที่ภายนอกคือ

L_{vl} คือ ความส่องสว่างกำบังจากโคม

L_{ve} คือ ความส่องสว่างกำบังจากสิ่งแวดล้อม เช่น พื้นที่หน้าผู้สังเกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.2 สูตรพื้นฐานที่ใช้ในการหาค่าแสงจ้า

ระดับของค่าแสงจ้าจะต่างกันไป ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของผู้สังเกต และมุมมอง โดยขึ้นกับค่า L_{vl} และ L_{vc} ด้วยโดยการหาค่า L_v จะใช้สูตร

$$L_v = 10 \sum E_{cyci} / \theta_I^{\ 2} \qquad \text{(สมการ 5.1)}$$

โดยที่ E_{cyci} คือ ความเข้มแสงที่ตาผู้สังเกตในระนาบตั้งฉากกับระดับสายตาจากแหล่งกำเนิดแสง

θ_i คือ มุมระหว่างระดับสายตากับทิศทางของแสงของแหล่งกำเนิดแสงที่ i ($15^\circ < \theta < 60^\circ$)

n คือ จำนวนแหล่งกำเนิดแสง

โดยที่พื้นที่ที่ใช้คำนวณ L_{ve} จะคิดพื้นที่ส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงทั้งหมดประกอบกัน และเนื่องจากเงื่อนไขของมุม θ ($\theta > 1.5^\circ$) ทำให้ L_{vl} คิดจากมุม 2° หรือมาก กว่าและ L_{ve} จะคิดจากศูนย์กลางของพื้นที่การมอง ($2 * 1.5^\circ$)

โดยค่าความสัมพันธ์ของค่า L_{ve} และ L_{vl} จะอธิบายได้ดังสมการ

$$GR = 27 + 24 \log (L_{vl} / L_{ve}^{\ 0.9}) \qquad \text{(สมการ 5.2)}$$

โดยที่ GR คือ ค่าพิกัดแสงจ้า (GLARE RATING) โดยถ้าค่าGR ยิ่งน้อย จะยิ่งดี โดยความสัมพันธ์ระหว่าง GR (GLARE RATING) กับ GF (GLARE CONTROL MARK) คือ

$$GR = (10 - GF) * 10 \qquad \text{(สมการ 5.3)}$$

ตารางที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า GR กับ GF

GF	ผลกระทบต่อสายตา	GR
1	ไม่สามารถทนได้	90
2		80
3	รบกวน	70
4		60
5	สามารถรับได้	50
6		40
7	สามารถสังเกตได้	30
8		20
9	ไม่สามารถสังเกตได้	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการใช้งานจริง GR อยู่ระหว่าง 10 และ 90 โดย GR เปลี่ยนแปลง $\pm 0,5$ จะมีค่าเท่ากับการเปลี่ยนแปลงค่าความเที่ยงตรงของอัตราส่วนการส่องสว่าง $\pm 5\%$

5.6.3 การหาพารามิเตอร์ที่ใช้คิดค่าแสงจ้าโดยประมาณ

ค่า L_{vl} และ L_{ve} ที่ใช้ในการหาค่า GR สามารถคิดจากสมการ 5.1 โดยต้องทราบตำแหน่ง , จุดเล็ง , การกระจายความเข้มแสงจากโคม และการสะท้อนของพื้นที่

ค่า L_{vl} หาได้จากสมการ 6.1 แต่ค่า L_{ve} อาจหาได้จากวิธีประมาณโดยสมการ

$$L_{ve} = 0.035 L_{av} \qquad \text{(สมการ 5.4)}$$

โดยที่ L_{av} คือ ความส่องสว่างเฉลี่ยในแนวระนาบ

และ $$L_{av} = E_{hor\,av} * \rho / (\pi * \Omega_0) \qquad \text{(สมการ 5.5)}$$

โดยที่ $E_{hor\,av}$ ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยในแนวระนาบ

ρ ค่าคงที่การสะท้อน

Ω_0 unity solid angle

โดยการหา L_{ve} โดยประมาณจะได้ค่า GR ที่คำนวณออกมาได้ใกล้เคียงกับการหาค่า GR จากวิธีตรงอย่างมาก

5.6.4 ตำแหน่งของผู้สังเกตและมุมมอง

จากที่อธิบายมาว่า ตำแหน่งของผู้สังเกต และมุมมองอาจมีผลกับค่าแสงจ้าโดยที่GR จะต้องน้อยกว่า GR_{max}

การเลือกตำแหน่งของผู้สังเกตแยกออกจากกัน (รูปที่ 5.6 , 5.9 , 5.10 ,5.11)

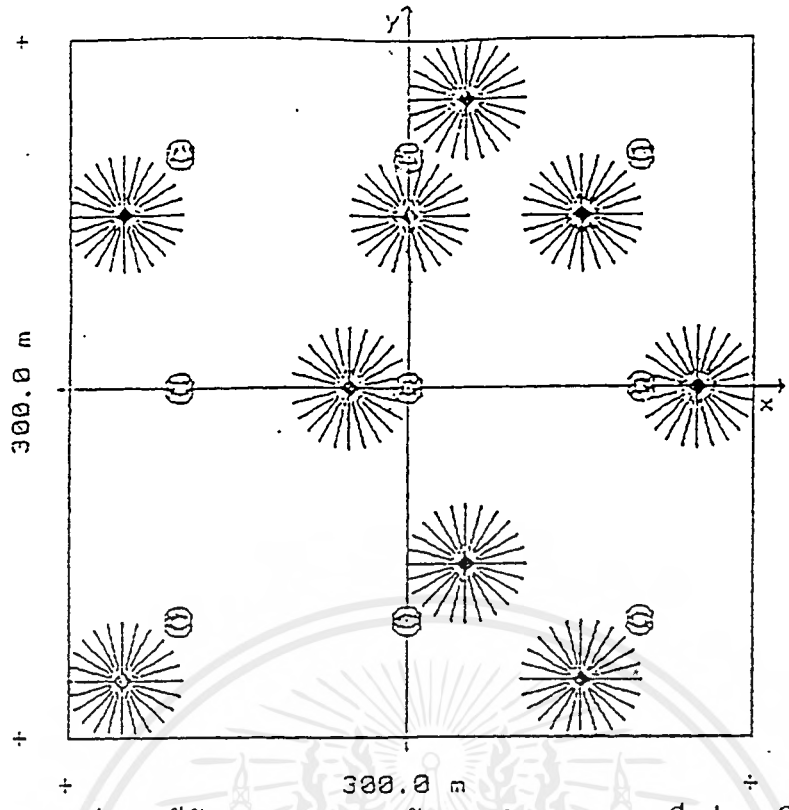
การเลือกตำแหน่งของผู้สังเกตเรียง ๆ กัน (รูปที่ 5.7)

ตำแหน่งของผู้สังเกตที่ใช้ Grid ในการคำนวณความเข้มแสง (รูปที่ 5.8)

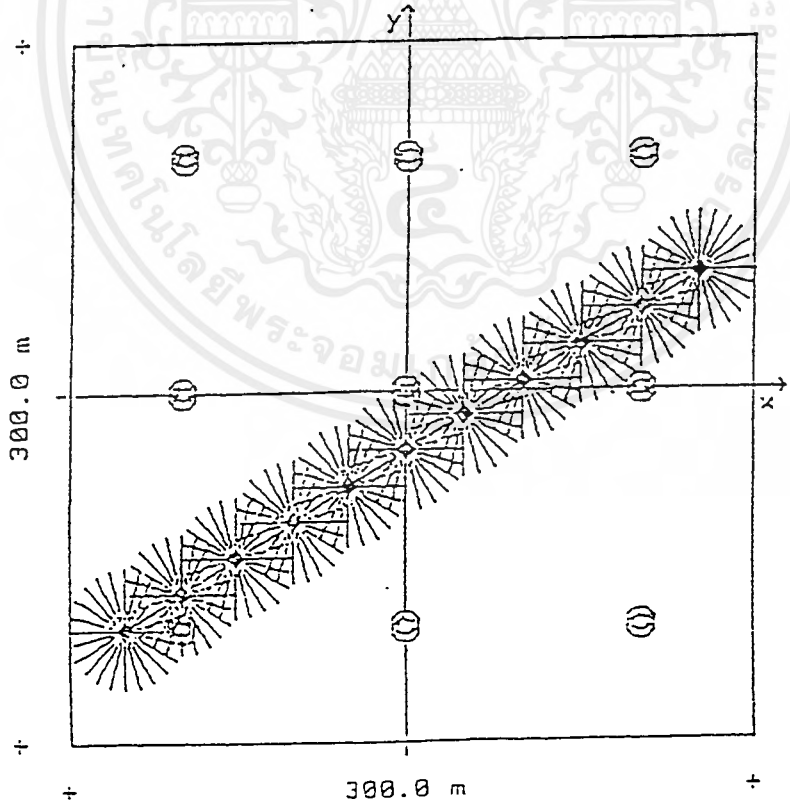
มุมมองที่แยกต่างหากจากกัน (รูปที่ 5.9)

การกำหนดมุมมองแน่นอน (รูปที่ 5.6 , 5.7 ,5.8) โดยการหมุนของผู้สังเกตต้องเป็นมุมเท่า ๆ กัน (5° , 10° , 45°) และในบางกรณีคิดเฉพาะมุมมองตามเสา และตำแหน่งโคม (รูปที่ 5.10 , 5.11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

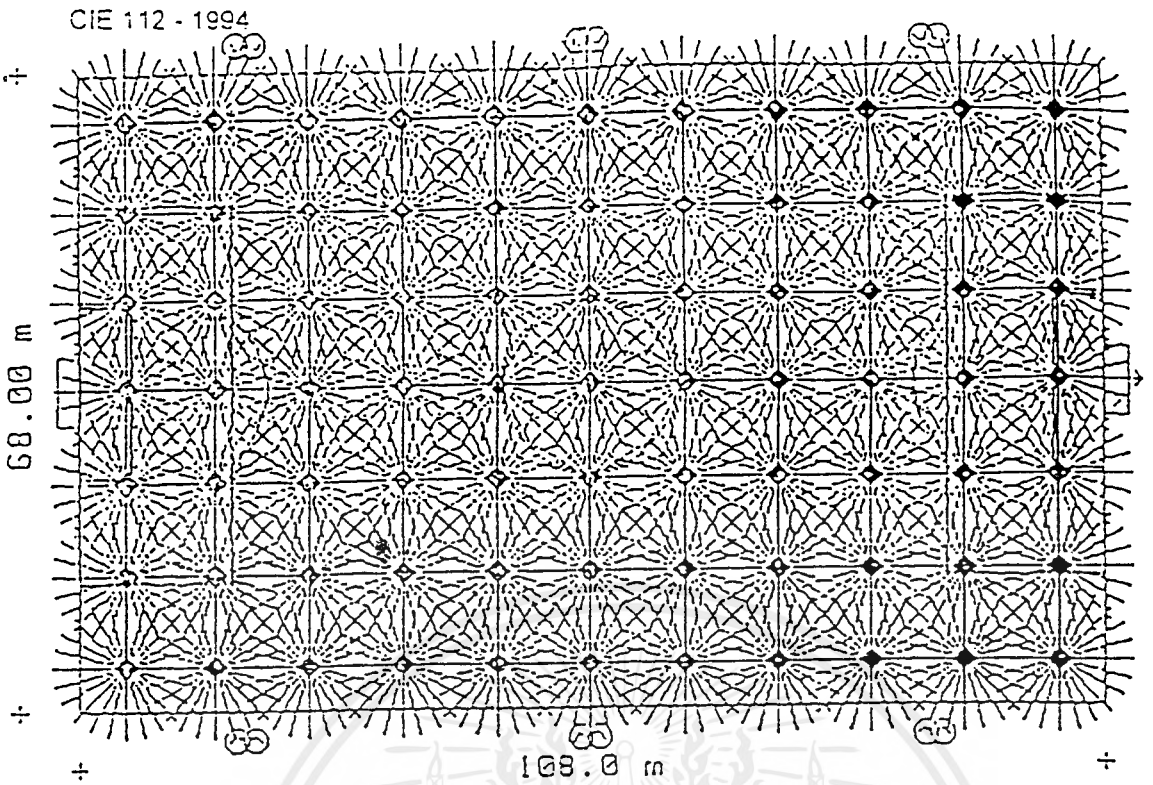


รูปที่ 5.6 การเลือกตำแหน่งของผู้สังเกตแยกออกจากกัน และกำหนดมุมมองที่แน่นอนที่ลำดับขั้นของมุมเท่ากัน (ทรงกลมแสดงตำแหน่งของกลุ่มโคม)

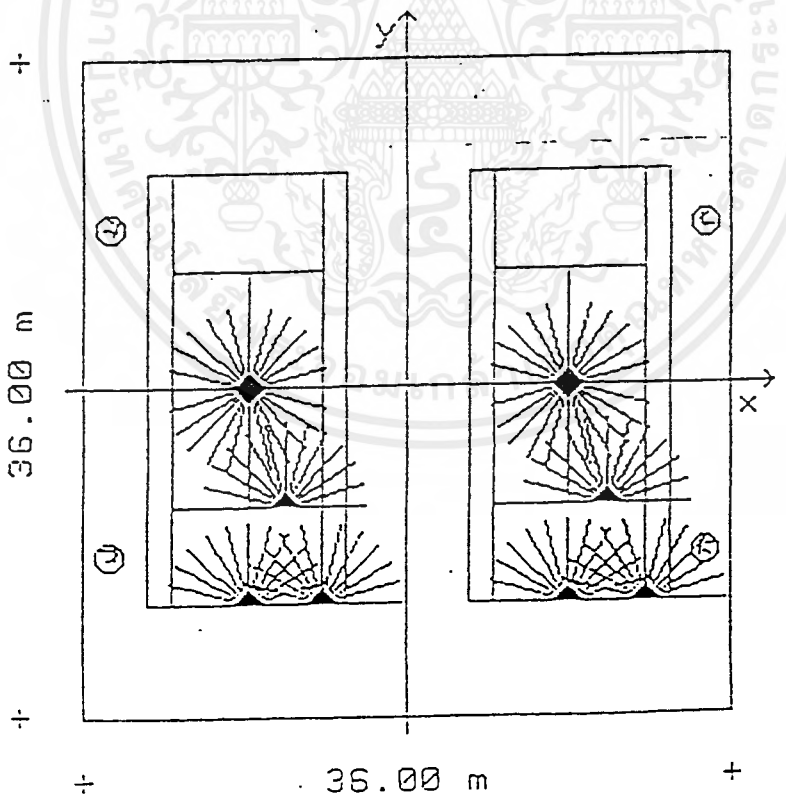


รูปที่ 5.7 แสดงการเลือกตำแหน่งของผู้สังเกตและกำหนดมุมมองแน่นอน อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน (ทรงกลมแสดงตำแหน่งของกลุ่มโคม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

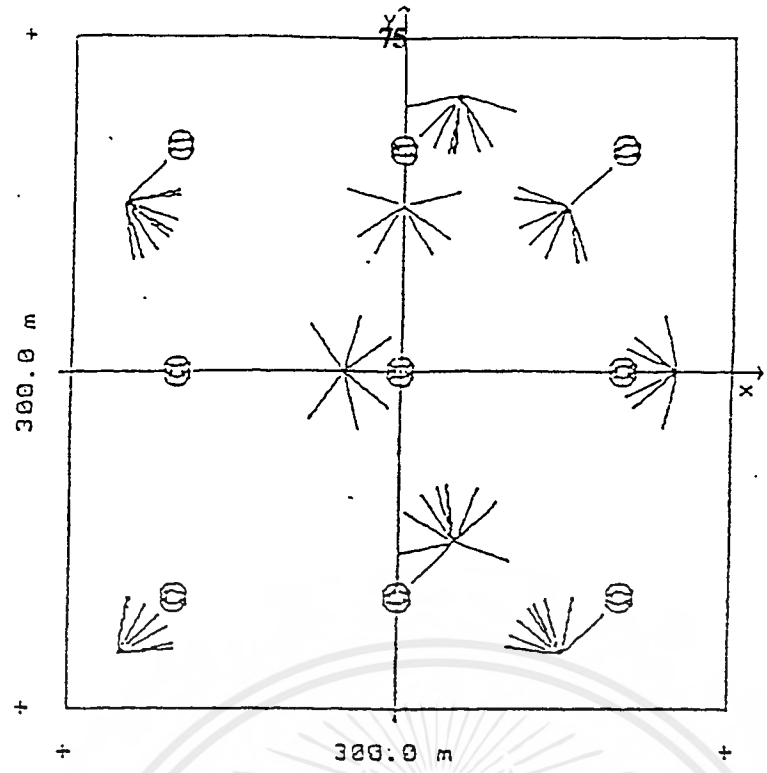


รูปที่ 5.8 แสดงการเลือกตำแหน่งของผู้สังเกตที่ตำแหน่ง GRID และกำหนดมุมมองแน่นอน (ทรง กลมแสดงตำแหน่งของกลุ่มโคม)

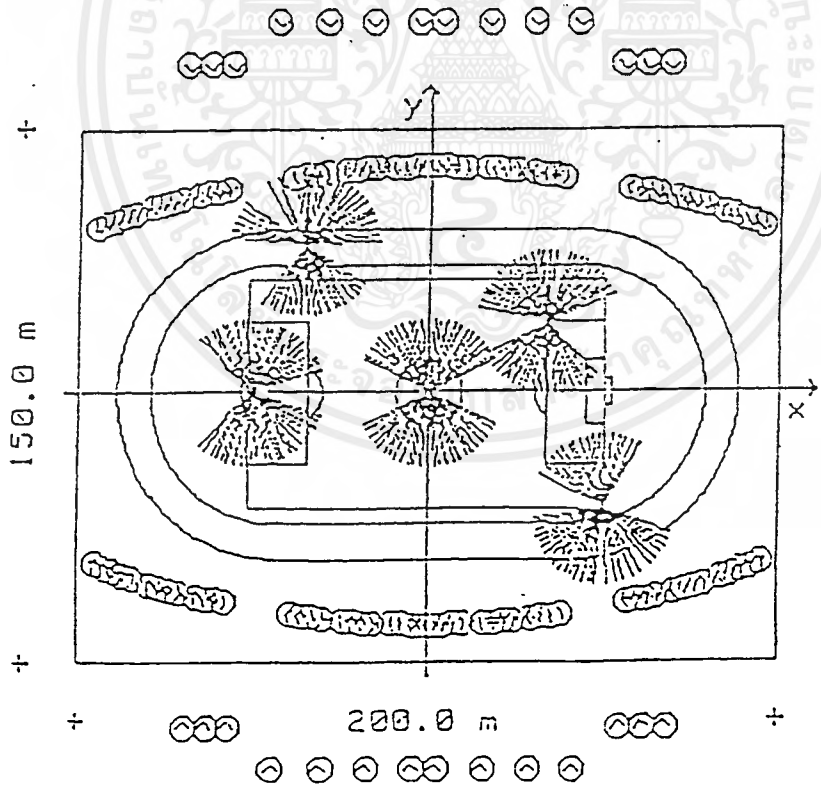


รูปที่ 5.9 แสดงการเลือกทั้งตำแหน่งของผู้สังเกต และการเลือกมุมมองแยกจากกัน (ทรงกลมแสดงตำแหน่งของกลุ่มโคม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 แสดงการเลือกตำแหน่งของผู้สังเกตแยกจากกัน และการเลือกมุมมองตามแนวเสา (ทรงกลมแสดงตำแหน่งของกลุ่มโคม)



รูปที่ 5.11 แสดงการเลือกตำแหน่งของผู้สังเกตแยกจากกันและมุมมองตามแนวโคม (ทรงกลมแสดงตำแหน่งของกลุ่มโคม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.5 ข้อแนะนำสำหรับการจำกัดค่าพิกัดแสงจ้า (Glare rating limits)

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าพิกัดแสงจ้ามากที่สุดสำหรับการใช้งานในพื้นที่ส่องสว่างต่างๆ

ชนิดของการใช้งาน		GR_{max}
การรักษาความปลอดภัย	น้อย	55
	ปานกลาง	50
	มาก	45
บริเวณการจราจร	ทางเดินเท้า	55
	การจราจรที่มีการเคลื่อนที่ช้า	50
	การจราจรปกติ	45
พื้นที่การใช้งาน	ขรุขระมาก	55
	ขรุขระปานกลาง	50
	เรียบ	45

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าพิกัดแสงจ้ามากที่สุดสำหรับการให้แสงสว่างเพื่อการเล่นกีฬา

ชนิดของการใช้งาน	GR_{max}
แสงสว่างสำหรับการฝึกซ้อม	55
แสงสว่างสำหรับการแข่งขัน	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การใช้คอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการออกแบบระบบแสงสว่าง

ในบทนี้จะกล่าวถึงในส่วนของโปรแกรมออโตลักซ์ (AUTOLUX) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณทางด้านแสงสว่าง โดยผลการคำนวณที่ได้จะแสดงอยู่ในรูปของ POINT BY POINT และ ISOLUX CURVE ส่วนรายละเอียดต่าง ๆ ในส่วนโปรแกรม เราสามารถทำความเข้าใจเป็นขั้นตอนได้ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนและรายละเอียดต่าง ๆ ในการใช้โปรแกรมออโตลักซ์ (AUTOLUX)

1) คอมพิวเตอร์ที่ใช้ ต้องมีหน่วยประมวลผลตั้งแต่ 486 ขึ้นไป โดยต้องติดตั้งโปรแกรม AUTOCAD Release 12 For DOS ก่อน เนื่องจาก AUTOLUX จะเป็นโปรแกรมเสริมใน AUTOCAD Release 12

2) ข้อมูลที่ต้องใช้ในโปรแกรม AUTOLUX คือ IES FILE ซึ่งเป็นข้อมูลดวงโคมที่อยู่ในรูป IES FILE โดยจะหาได้จากเว็บไซต์ต่าง ๆในอินเตอร์เนต เช่น www. Ledalite .com , www. GE .com เป็นต้น

3) เมื่อเริ่มต้นใช้งานโปรแกรมพิมพ์ C:\ ACADR12 เพื่อเข้าสู่โปรแกรม AUTOCAD

4) เริ่มใช้โปรแกรม ให้เลือกเมนู file ด้านบนที่ open drawing จากนั้นให้เลือก file โดยจะมี file ของ AUTOLUX 2 file คือ ALINT และ ALEXT ซึ่งคือการคำนวณระบบแสงสว่างภายในอาคาร และภายนอกอาคารตามลำดับ

ในที่นี้เราจะเลือกใช้ ALEXT สำหรับการคำนวณระบบแสงสว่างในสนามกอล์ฟ โดยเมื่อเลือก ALEXT แล้วให้คลิกที่ AUTOLUX ที่เมนูด้านขวาของ AUTOCAD

5) ให้ทำการเขียนแบบของสนามที่จะทำการคำนวณก่อนด้วย AUTOCAD

6) หลังจากเลือกเมนู AUTOLUX จะปรากฏเมนูขึ้นมา โดยมีวิธีการใช้ดังต่อไปนี้

6.1 ALUNITS : เป็นการกำหนดหน่วยที่ใช้สำหรับ Drawing units

โดย 1 = feet 2 = meters 3 = mm.

และหน่วยที่ใช้ในการคำนวณค่าความสว่าง

โดย 1 = FC (footcandle) 2 = LUX

ซึ่งค่าดังกล่าวใช้เพื่อกำหนดหน่วยต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบ

6.2 VANTAGE : เป็นมุมมองของพื้นที่ที่ทำการออกแบบ

โดย N = เหนือ E = ตะวันออก W = ตะวันตก S = ใต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 GRIDPTS : เป็นการกำหนดค่า GRID โดยการป้อนค่า number of grid (1 - 10) จากนั้นโปรแกรมจะให้ป้อนค่าต่าง ๆ ดังนี้

- จุดเริ่มต้นของ GRID (GRID ORIGIN)
- ระยะความสูงแกน z
- ขอบเขตของ GRID
- ระยะระหว่างแถว (row)
- ระยะระหว่างหลัก (column)

ในการกำหนด GRIDPTS นี้เพื่อสามารถแยกพื้นที่ในการคำนวณ โดย GRIDPTS ก็ถือตำแหน่งที่โปรแกรม จะทำการคำนวณค่าแสงสว่าง

6.4 CONCEAL : เป็นคำสั่งใช้ซ่อน GRID POINTS

6.5 POLETOP : เป็นการกำหนดรูปแบบเสา

6.6 POLE XY : เป็นการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเสา และมุมที่เสาหมุนไป

6.7 LUMINAIR :เลือกรูปแบบของโคมไฟ

6.8 LUMXY : location of unit ตำแหน่งที่ติดตั้งโคม
Rotion angle มุมหมุนของโคม

6.9 CROSSARM : เป็นรูปแบบเสาที่ใช้ติดตั้งโคมฉาย โดยเลือกแบบและความสูงเสา

6.10 CROSSXY : เลือกตำแหน่งที่ติดตั้งเสา เลือกมุมที่เสาหมุนไป

6.11 BEAMTYPE : เลือกรูปแบบของเส้น Aiming และป้อนค่าต่าง ๆดังนี้
IES CANDELA FILE ระบุค่า IES FILE ของหลอดที่ใช้
LUMEN PER LAMP ค่าลูเมนการออกแบบต่อหลอด
LLF ค่าแฟกเตอร์การสูญเสียของหลอด
DESCRIPTION การแสดงรายละเอียดของการออกแบบ

6.12 AIMINGPTS : เลือกเสาที่จะใช้เล็งโดยจะปรากฏรูปเสาอยู่บน AUTOCAD และเลือกจุดที่จะเล็งในพื้นที่สนาม

หลังจากกำหนดหนดข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบเสร็จแล้ว จะสามารถคำนวณค่าความสว่างที่ปรากฏบน GRIDPOINTS ที่กำหนดไว้ โดยเลือกจากเมนู

7. CALCULATE : เป็นคำสั่งให้โปรแกรมคำนวณโดยโปรแกรมจะสามารถแสดงผลของค่าความสว่างได้ 2 แบบ คือ

- PT * PT (POINT BY POINT) จะแสดงค่าความสว่างในตำแหน่งที่กำหนด GRID ไว้
- ISOLINE จะแสดงเส้น CONTOUR ตามค่าความสว่างที่เลือกไว้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สนามกอล์ฟที่ออกสำรวจและผลการออกแบบ

สนามกอล์ฟที่ออกสำรวจ

1. กรีนวัลล์เล่ คันทรีคลับ Green Valley Country Club
   92 หมู่ 3 ถนน บางนา-ตราด (กม.15) อ.บางพลี สมุทรปราการ 10540
   Tel. 3125883-89 17
2. สนามกอล์ฟ เมืองแก้ว Muang Kaew Golf Course
   52 หมู่ 8 ถนน บางนา-ตราด (กม.7) สมุทรปราการ 10540
   Tel. 3163918-21
   Fax. 3163922
3. สโมสรกอล์ฟดุสิตในพระบรมราชูปถัมภ์ Royal dusit Golf club
   183 ถนน พิษนุโลก เขตดุสิต กรุงเทพ 10300
   Tel. 2811330-1
4. วินมิลล์ พาร์ค คันทรีคลับ WINDMILL PARK COUNTRYCLUB
   ถนน บางนา-ตราด (กม.10.5) อ.บางพลี สมุทรปราการ 10540
   Tel. 7479383
5. ปิยรมสปอร์ตคลับ (DRIVING RANGE)
   Tel. 7479800-8 ต่อ 302
   Fax 7479383

โดยสนามกอล์ฟที่ได้ทำการออกสำรวจทั้งหมดนั้นมีเพียงสนามกอล์ฟวินด์มิลล์เท่านั้นที่มีการติดตั้งระบบแสงสว่างสำหรับเล่นกลางคืน โดยข้อมูลต่างๆเกี่ยวกับระบบเสาไฟ ระบบแสงสว่าง และ ระบบไฟฟ้า มีดังต่อไปนี้

1) ระบบเสาไฟในสนามกอล์ฟ โดยปกติทั่วไปแล้ว เสาไฟตามสถานที่ต่างๆเป็นระบบเสายืนต้นจำนวนมาก ทำให้ทำลายทัศนียภาพของสนามกอล์ฟในตอนกลางวัน แต่ระบบเสาไฟของสนามกอล์ฟวินด์มิลล์ จะเป็นระบบเสาไฟที่สามารถยืดตัว หดตัวได้ เพื่อรักษาภูมิทัศน์ของสนามกอล์ฟวินด์มิลล์ ซึ่งได้ตกแต่งสวยงามเป็นพิเศษอยู่แล้ว โดยช่วงเช้าถึงเย็นเสาไฟจะลดระดับลงเสมอกับต้นไม้ และในเวลาเย็นที่จะเริ่มใช้ไฟ เสาไฟทั้ง 53 ต้น จะค่อยๆ ยืดตัวขึ้นพร้อมกันทั้งสนามในความสูงถึง 20 เมตร ความสูงเสาไฟนั้น จะช่วยให้ระบบไฟส่องสว่างครอบคลุมสนามกอล์ฟทั้ง 18 หลุม อีกทั้งยังทำให้นักกอล์ฟมีความรู้สึกใหม่ๆที่สดใสหมือนกับการตีกอล์ฟตอนกลางวันในบรรยากาศที่เย็นสบาย

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ระบบแสงสว่างที่ใช้ในสนามกอล์ฟ ทีมงานวิศวกรได้นำโคมไฟขนาดใหญ่ที่มีกำลังส่องสว่างถึงหลอดละ 1500 วัตต์ ระบบไฟส่องสว่างดังกล่าว ทีมงานได้นำระบบแสงชนิด metalhalide มาใช้ ซึ่งแสงที่ส่องสว่างจะเป็นสีขาวนวลให้ความรู้สึกที่เป็นธรรมชาติเหนือนกับว่าท่านนักกอล์ฟกำลังเล่นในช่วงเวลาบ่าย 2 โมง

จากการที่เสาไฟสูงถึง 20 เมตรนั้น ทำให้ระบบของแสงไฟที่ส่องสว่างจะไม่ย้อนเข้าตานักกอล์ฟและจากการคำนวณมุมของแสงไฟ จะทำให้นักกอล์ฟเล่นด้วยความมั่นใจไม่ว่าจะเป็นการตีลูกออกจากแท่นทีออฟ, ตีลูกในแฟร์เวย์, ชิพลูกขึ้นกรีน ตลอดจนการพัตลูกบนกรีนหรือ การตีลูกโค่ง ก็สามารถเห็นลูกกอล์ฟได้ชัดเจน

3) ระบบกระแสไฟในสนามกอล์ฟ สนามกอล์ฟกลางคืนโดยทั่วไป หรือทุกสนามในประเทศไทยนั้น จะใช้ไฟจากการไฟฟ้านครหลวง การใช้กระแสไฟจำนวนมาก ๆ อาจจะทำให้กระแสไฟที่นำมาใช้ไม่เพียงพอ และยังเป็นการแย่งกระแสไฟจากประชาชน ซึ่งจะใช้กันมากในช่วงหัวค่ำ แต่ระบบไฟฟ้าที่นำมาใช้กับระบบไฟส่องสว่างในสนามกอล์ฟวินด์มิลล์นั้น เสาไฟแต่ละต้นจะใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของตัวเองทุกต้น โดยไม่รบกวนการใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้านครหลวงเลย ดังนั้นปัญหาเรื่องกำลังไฟของหลอดไฟ จึงไม่เป็นปัญหากับระบบไฟของสนามกอล์ฟวินด์มิลล์ อีกทั้งยังมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองใช้ในกรณีฉุกเฉินอีกด้วย นอกจากนี้ การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังกล่าว จะไม่ส่งเสียงรบกวนนักกอล์ฟ ทำให้นักกอล์ฟเล่นกอล์ฟอย่างมีสมาธิที่สุด

โดยลักษณะสนามกอล์ฟต่างๆ จะมีรูปแสดงดังต่อไปนี้

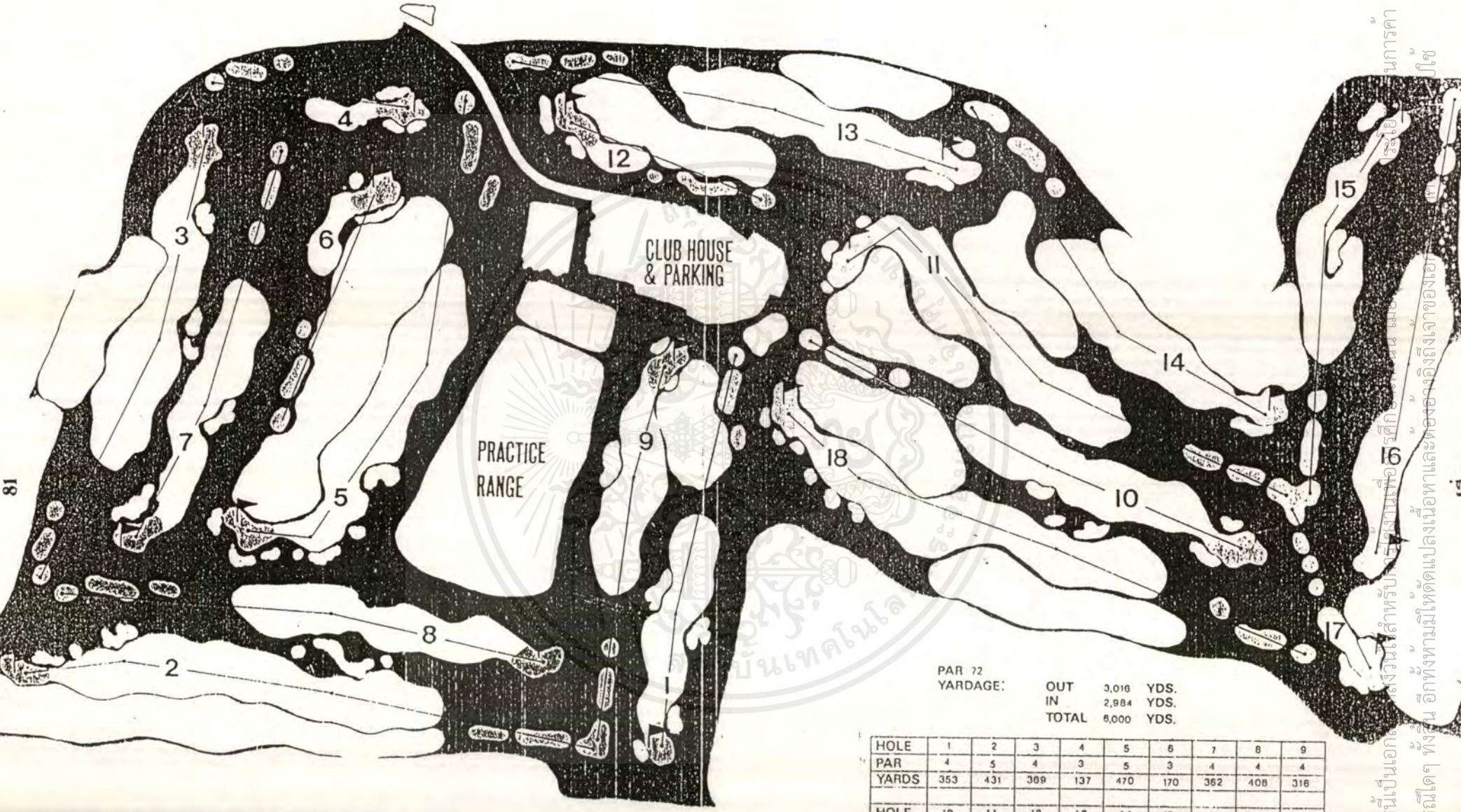
รูปที่ 7.1 สนามกอล์ฟกรีนวัลเลย์ คันทรีคลับ

รูปที่ 7.2 สนามกอล์ฟเมืองแก้ว

รูปที่ 7.3 สโมสรกอล์ฟดุสิตในพระบรมราชูปถัมภ์

รูปที่ 7.4 วินด์มิลล์ พาร์ค คันทรีคลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PAR 72
YARDAGE:

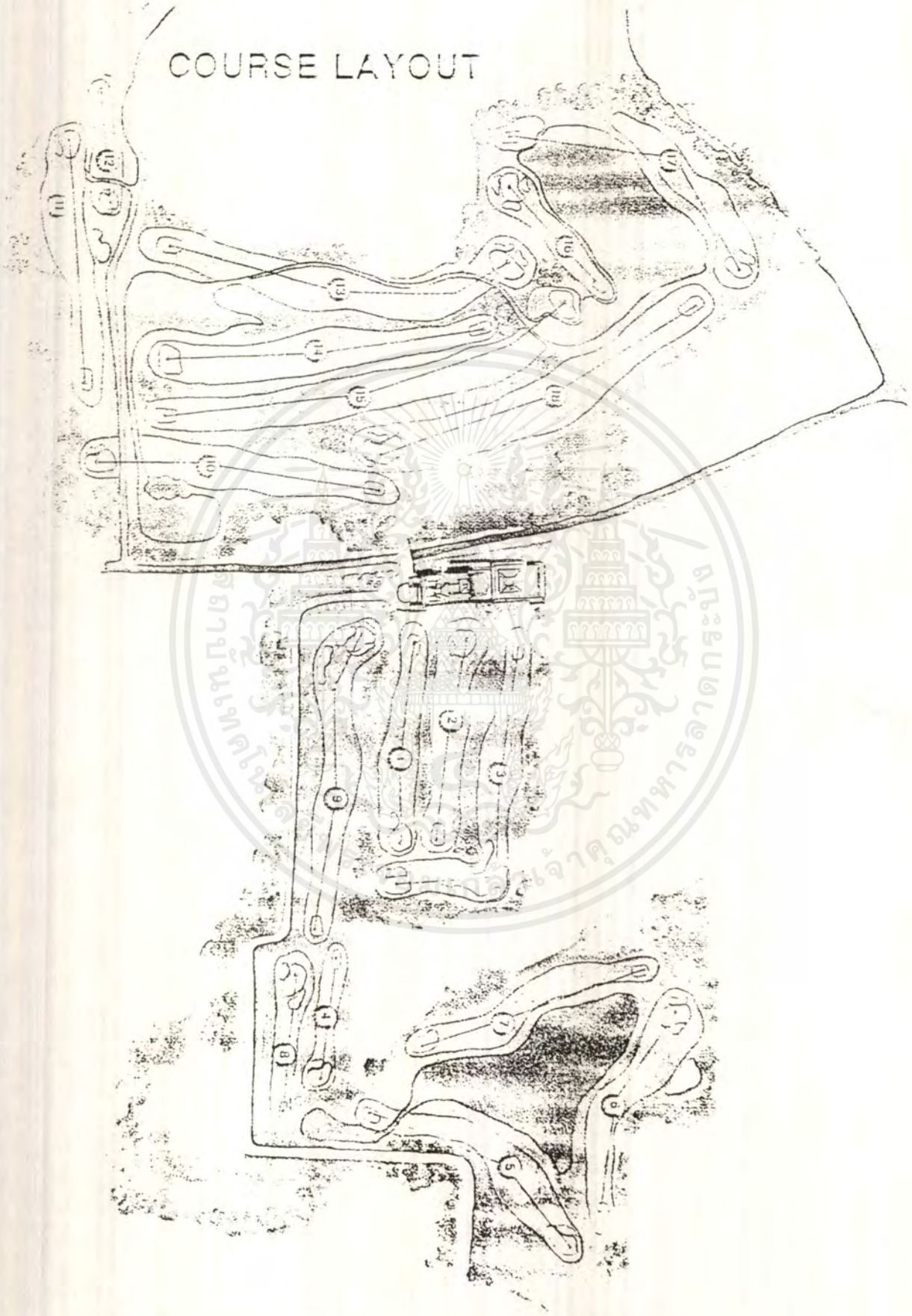
OUT	3,016	YDS.
IN	2,984	YDS.
TOTAL	6,000	YDS.

HOLE	1	2	3	4	5	6	7	8	9
PAR	4	5	4	3	5	3	4	4	4
YARDS	353	431	369	137	470	170	362	408	316
HOLE	10	11	12	13	14	15	16	17	18
PAR	4	5	3	4	4	4	4	3	5
YARDS	357	468	129	370	355	300	381	117	507

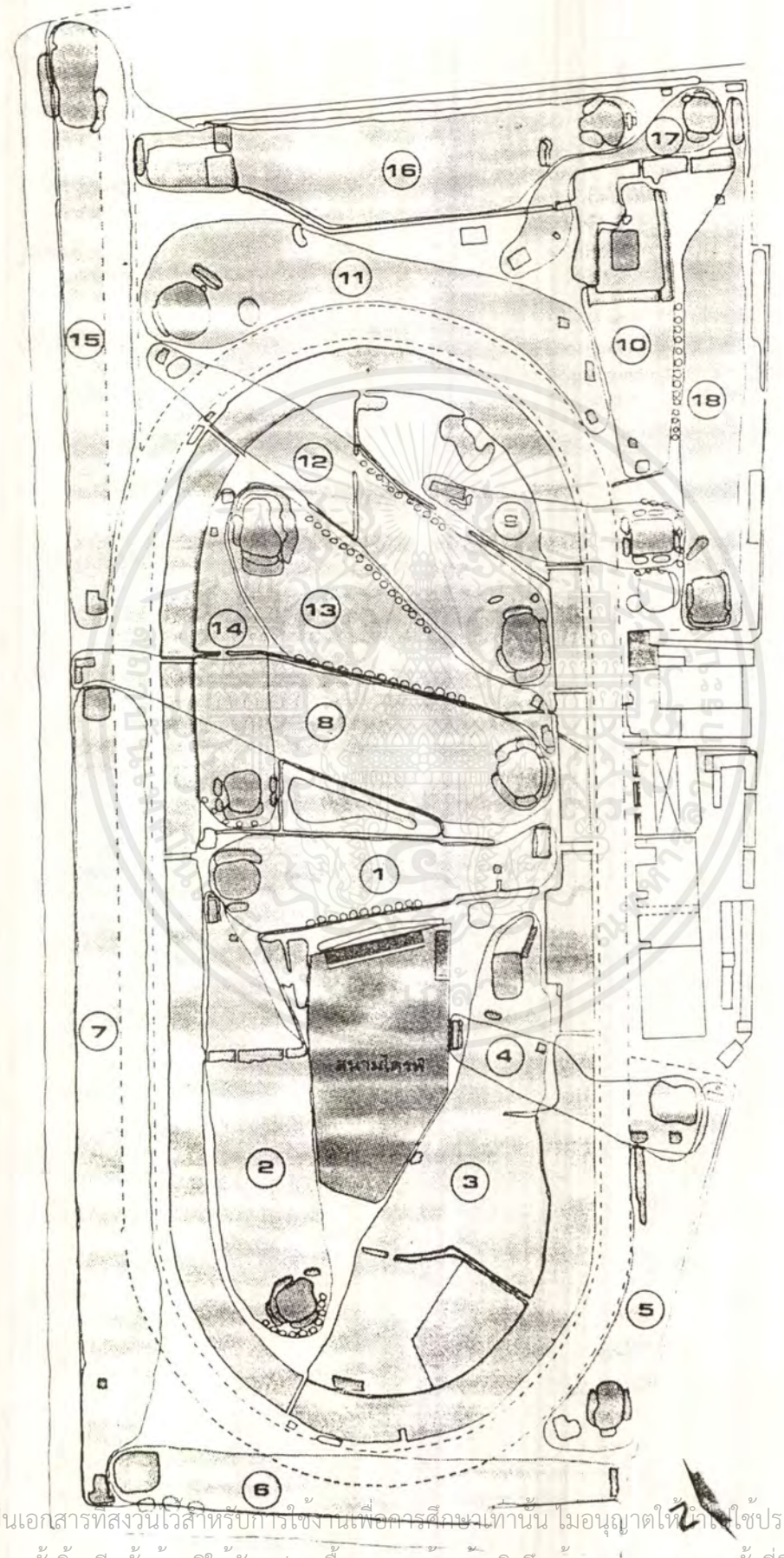
GREEN VALLEY COUNTRY CLUB

SAMUTPRAKARN, THAILAND

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ ในกรณีใดๆ ห้ามมิให้ใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์

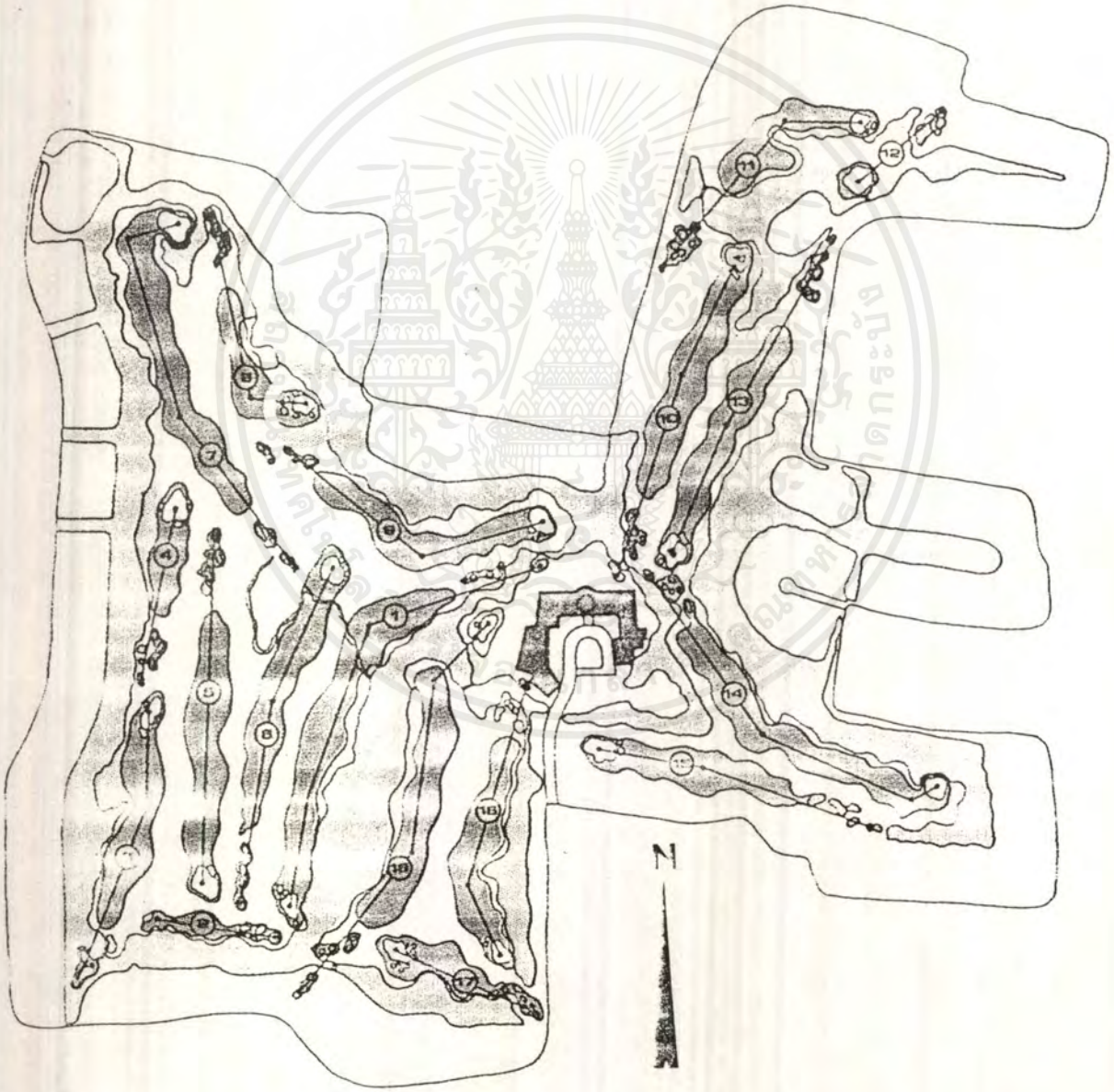


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COURSE LAYOUT



รูปที่ 7.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามกอล์ฟที่ทำการออกแบบ

ในโครงงานนี้จะใช้สนามกอล์ฟวินด์มิลล์ พาร์ค คันทรีคลับ ในการออกแบบ โดยใช้ข้อมูลอ้างอิงจากทางสนาม และ ใช้มาตรฐานของ IES ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ในการออกแบบ และใช้โปรแกรมออโตลักซ์ (AUTOLUX) มาคำนวณค่าความสว่าง

ซึ่งในสนามกอล์ฟวินด์มิลล์ ที่เปิดบริการไนท์กอล์ฟจริง ๆ นั้นมีรายละเอียดทางระบบแสงสว่างทั้ง 18 หลุมดังนี้

เสารวมทั้งหมด	= 53	เสา
"EYE" 1500 W LIGHTING	= 575	หลอด
"EYE" 1000 W LIGHTING	= 56	หลอด
รวมหลอด	= 631	หลอด

และสำหรับรายละเอียดของการออกแบบที่คณะผู้จัดทำได้ทำขึ้น จะมีการสรุปเป็นตารางจำนวนเสา และ หลอด ผลการออกแบบจะแสดงค่าความสว่างเป็นแบบ POINT BY POINT และเป็นเส้น ISOLUX CURVE ดังต่อไปนี้

<u>หมายเหตุ</u> <u>การอ่านค่าจากตารางสรุปจำนวนเสาและหลอด</u>

ตัวอย่าง : หลุมที่ 1 (1H) , เสาต้นที่ 1 (P1)

8 1-1 หมายถึง ในเสาต้นที่ 1-1 มีโคมทั้งหมด 12 โคมส่องไปยัง

(12) (9-4) หลุม 1 จำนวน 8 โคม และอีก 4 โคม ส่องไปยัง

หลุม 9 โดยเป็นเสาต้นที่ 9-4 ในหลุมที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.1 จำนวนโคมและเสาของสนามกอล์ฟทั้ง 18 หลุม

HOLE	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	TOTAL	
									LAMP	POLE
1H	8 1-1 (12) (9-4)	5 1-2 (7) (6-5)	5 1-3 (11) (6-4)	4 1-4 (9) (6-3)	3 1-5 (6) (6-2)	3 1-6 (9) (6-1)	3 1-7		31	7 [7]
2H	6 2-1	3 2-2	5 2-3 (11) (3-2)	4 2-4					18	4 [4]
3H	2 3-1	6 3-2 (11) (2-3)	3 3-3 (6) (5-4)	3 3-4 (6) (5-3)	2 3-5				16	5 [4]
4H	5 4-1 (8) (5-2)	6 4-2	4 4-3 (11) (5-1)	4 4-4					22	4 [4]
5H	7 5-1 (11) (4-3)	3 5-2 (8) (4-1)	3 5-3 (6) (3-4)	3 5-4 (6) (3-3)	3 5-5	2 5-6			21	6 [2]
6H	6 6-1 (9) (1-6)	3 6-2 (6) (1-5)	5 6-3 (9) (1-4)	6 6-4 (11) (1-3)	2 6-5 (7) (1-2)	2 6-6 (7) (7-1)			24	5 [1]
7H	5 7-1 (7) (6-6)	5 7-2 (12) (8-4)(9-1)	6 7-3 (10) (8-3)	5 7-4 (11) (8-2)	2 7-5	3 7-6 (7) (8-1)			26	6 [5]
8H	4 8-1 (7) (7-6)	6 8-2 (11) (7-4)	4 8-3 (10) (7-3)	4 8-4 (12) (7-2)(9-1)	4 8-5	3 8-6			25	6 [2]
9H	3 9-1 (12) (8-4)(7-2)	6 9-2	5 9-3	4 9-4 (12) (1-1)	4 9-5				22	5 [3]
TOTAL									205	48 [32]

(ต่อ) ตารางสรุปจำนวนโคมและเสาของสนามกอล์ฟทั้ง 18 หลุม

HOLE	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	TOTAL	
									LAMP	POLE
10H	5 10-1 (8) (13-4)	5 10-2 (13) (13-3)	6 10-3	4 10-4 (11) (13-2)	4 10-5 (8) (11-1)				24	5 [5]
11H	4 11-2 (8) (10-5)	4 11-2	4 11-3	3 11-3	4 11-5 (8) (12-2)				19	5 [4]
12H	6 12-1	4 12-4 (8) (11-5)	4 12-3						14	3 [2]
13H	5 13-1	7 13-2 (11) (10-4)	8 13-3 (13) (10-2)	3 13-4 (8) (10-1)	3 13-5 (8) (14-1)				26	5 [2]
14H	5 14-1 (8) (13-5)	4 14-2 (6) (15-4)	8 14-3	4 14-4 (8) (15-2)	3 14-5 (8) (15-1)	3 14-6			27	6 [5]
15H	5 15-1 (8) (14-5)	4 15-2 (8) (14-4)	5 15-3	2 15-4 (6) (14-2)	2 15-5				18	5 [2]
16H	7 16-1	3 16-2 (7) (16-4)	3 16-3 (10) (18-2)	2 16-4 (7) (17-2)	3 16-5				18	5 [5]
17H	4 17-1	5 17-2 (7) (16-4)	4 17-3 (10) (18-2)	4 17-4					19	4 [3]
18H	7 18-1	6 18-2 (10) (17-3)	6 18-3 (9) (16-3)	4 18-4 (11) (16-1)	3 18-5				26	5 [2]
TOTAL									191	43 [30]
SUMTOTAL									396	91 [62]

ไม่อาจนำไปใช้ พิมพ์ เผยแพร่ ดัดแปลง ดัดแปลงเนื้อหาและต่อยอดองค์ความรู้ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นการนำไปใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น

ตาราง 7.2 เปรียบเทียบจำนวนเสาและดวงโคมที่ติดตั้งจริงกับที่ทำการออกแบบ

	ที่ติดตั้งจริง	ที่ทำการออกแบบ
เสารวมทั้งหมด	53	62
1500 W LIGHTING	575	-
1000 W LIGHTING	56	396
จำนวนโคมทั้งหมด	631	396

จากการสรุปเปรียบเทียบการติดตั้งเสาและจำนวนดวงโคมที่มีการติดตั้งจริงกับที่ทำการออกแบบจะเห็นว่าสามารถลดจำนวนโคมลง แต่จำนวนเสานั้นเพิ่มขึ้นเนื่องจากเราต้องการเน้นความเข้มแสงในบางจุดเช่นในบริเวณกรีน โดยจะมีการตั้งเสาเพิ่มขึ้นเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐาน IES 1981

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 7.3 สรุปค่าความเข้มแสงเฉลี่ยในสนามกอล์ฟทั้ง 18 หลุม

HOLE	ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย (lux)		
	กรีน	แฟร์เวย์	ทีออฟ
1	72.05	41.42	80.21
2	77.48	41.95	98.55
3	92.29	37.73	61.66
4	80.91	34.84	95.84
5	80.83	47.35	87.21
6	78.12	30.91	102.23
7	76.62	31.52	77.22
8	108.82	39.12	66.85
9	90.72	46.47	79.87
10	81.63	35.2	70
11	104.22	24.15	55.62
12	97.77	61	77
13	82	23.68	69.66
14	79.62	58.8	83
15	62.33	37.7	100
16	71.15	31.65	100
17	72.43	30.66	100
18	104	30	80.66

มาตรฐาน ค่าความเข้มแสง IES std.

1 กรีน 50 lux 2. แฟร์เวย์ 10 lux 3. ทีออฟ 50 lux

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการออกแบบ
สนามกอล์ฟทั้ง 18 หลุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Floodlight Location, Mounting Height= 20 m
Number Poles this type = 7

metalhelide
1000 W

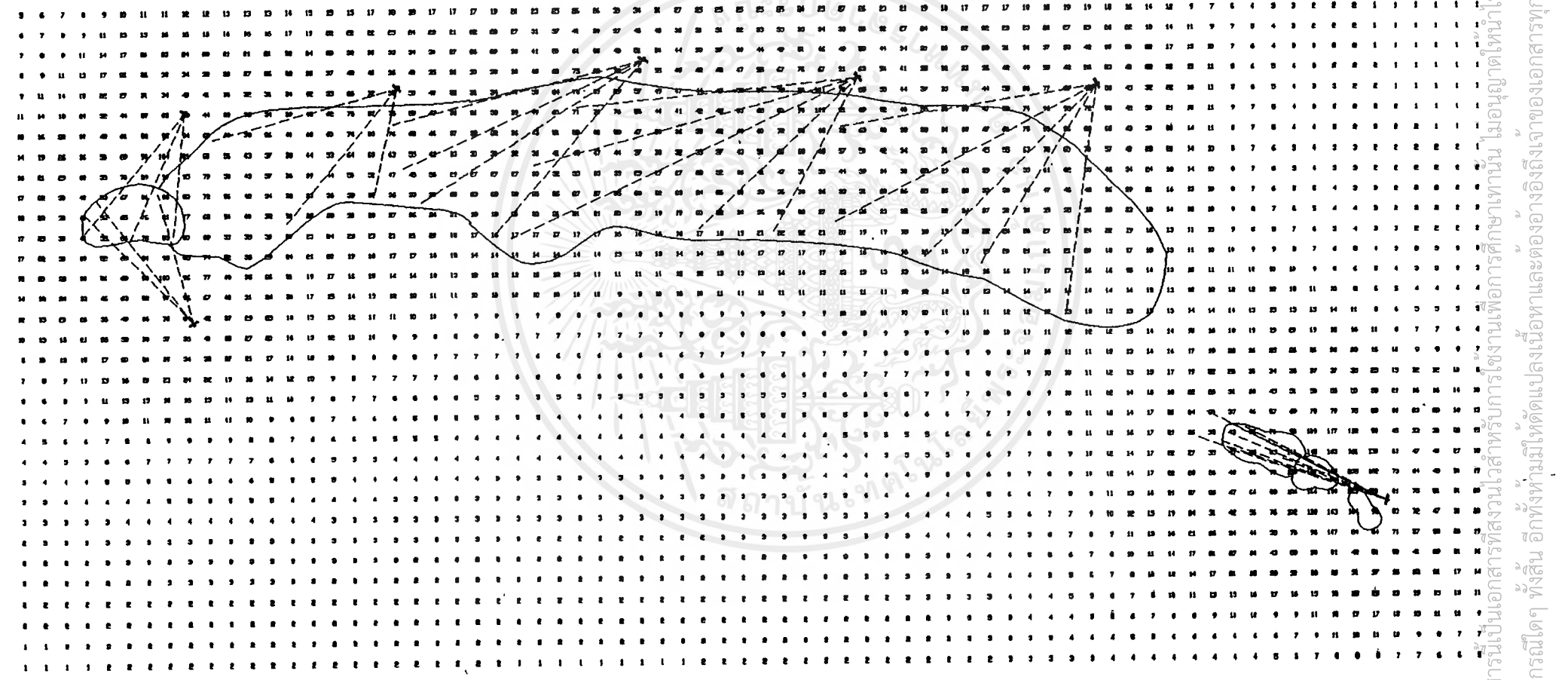
Initial Lumens per Lamp= 90000.
Light Loss Factor (LLF) = 1.0
Number Floodlights this type = 31

ILLUMINANCE IS IN HORIZONTAL LUX.
TARGET PLANE AT Z = 0 METERS.

Summary

# POINTS	2376
AVERAGE	20.1
MAXIMUM	213.1
MINIMUM	0.8
AVG/MIN	25.98
MAX/MIN	275.24
STD DEV	24.31
COEF VAR	1.21

POINT X POINT
1 HOLE S=1/1500



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Floodlight Location, Mounting Height= 20 m
Number Poles this type = 4

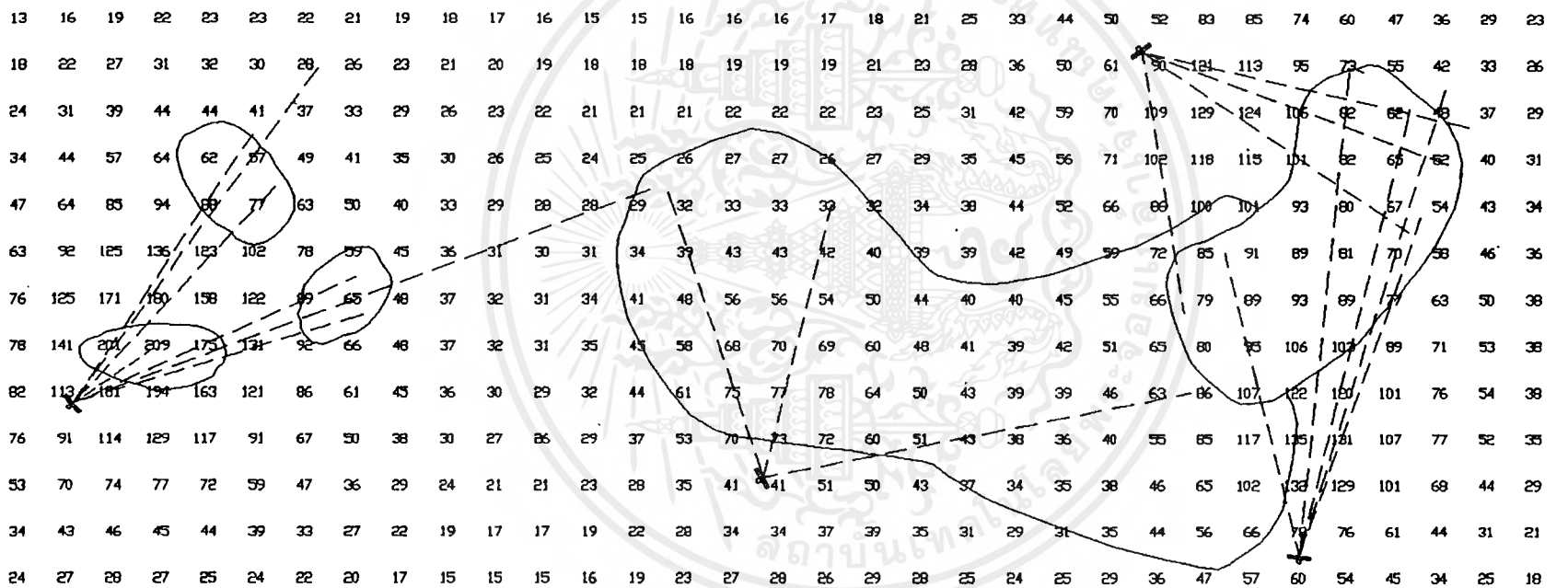
metalhalide
1000 W
IES Candela File: c:\ies\ge8789.ies
Initial Lumens per Lamp= 90000.
Light Loss Factor (LLF) = 1.0
Number Floodlights this type = 19

ILLUMINANCE IS IN HORIZONTAL LUX.
TARGET PLANE AT Z = 0 METERS.

Summary

# POINTS	561
AVERAGE	44.3
MAXIMUM	208.9
MINIMUM	5.4
AVG/MIN	8.25
MAX/MIN	38.88
STD DEV	34.62
COEF VAR	0.78

POINT X POINT
2 HOLE S=1/1000



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Floodlight Location, Mounting Height= 20 m
Number Poles this type = 5

metalhalide
1000 w
IES Candela File: c:\ies\ge8789.ies
Initial Lumens per Lamp= 90000.
Light Loss Factor (LLF) = 1.0
Number Floodlights this type = 16

ILLUMINANCE IS IN HORIZONTAL LUX.
TARGET PLANE AT Z = 0 METERS.

Summary

# POINTS	184
AVERAGE	29.1
MAXIMUM	125.2
MINIMUM	2.5
AVG/MIN	11.85
MAX/MIN	50.92
STD DEV	25.00
COEF VAR	0.86

POINT X POINT
3 HOLE S=1/1500

2	3	4	3	3	3	4	4	6	7	9	10	10	11	11	11	11	12	13	18	23	20	17
5	6	6	5	5	4	5	6	8	11	13	15	15	15	16	16	16	16	19	27	35	47	31
11	14	12	9	6	6	6	9	13	18	22	24	22	22	24	24	22	20	22	40	72	81	53
30	35	24	14	9	7	8	12	21	33	41	38	32	31	37	39	33	25	28	44	84	96	65
69	76	40	18	10	8	10	17	34	62	78	61	44	40	55	61	45	30	28	43	97	125	78
71	78	38	18	10	9	11	20	49	92	122	81	48	39	57	75	46	25	23	37	64	96	57
20	32	21	12	8	8	12	22	45	62	98	70	42	35	42	36	28	19	16	20	29	28	24
7	7	7	6	6	7	10	18	33	48	47	33	26	23	25	25	18	12	11	12	15	16	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Floodlight Location, Mounting Height= 20 m
Number Poles this type = 4

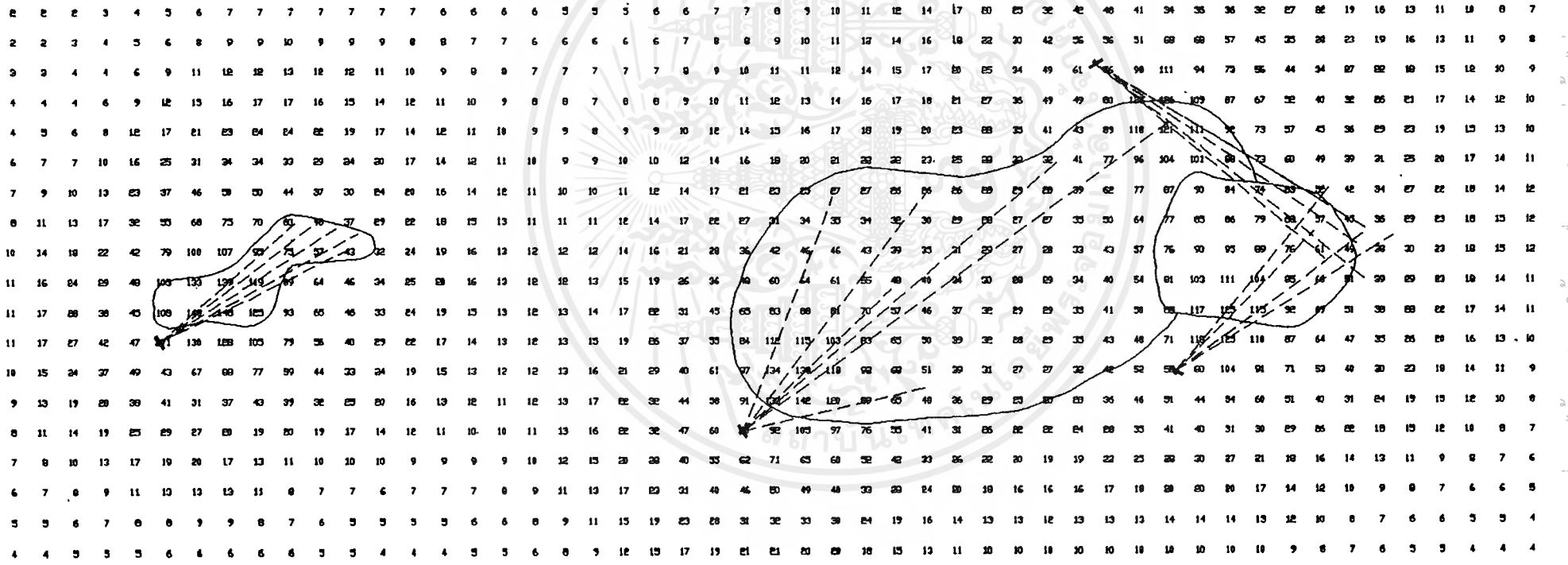
metalhalide
1000 W
IES Candela File: c:\ies\ge8789.ies
Initial Lumens per Lamp= 90000.
Light Loss Factor (LLF) = 1.0
Number Floodlights this type = 20

ILLUMINANCE IS IN HORIZONTAL LUX.
TARGET PLANE AT Z = 0 METERS.

Summary

# POINTS	969
AVERAGE	30.1
MAXIMUM	148.8
MINIMUM	1.9
AVG/MIN	15.91
MAX/MIN	78.66
STD DEV	28.35
COEF VAR	0.94

POINT X POINT
4 HOLE S=1/1000



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Floodlight Location, Mounting Height= 20 m
Number Poles this type = 6

metalhalide
1000 W
IES Candela File: c:\ies\ge8789.ies
Initial Lumens per Lamp= 90000.
Light Loss Factor (LLF) = 1.0
Number Floodlights this type = 21

ILLUMINANCE IS IN HORIZONTAL LUX.
TARGET PLANE AT Z = 0 METERS.

Summary

# POINTS	225
AVERAGE	33.6
MAXIMUM	178.5
MINIMUM	5.4
AVG/MIN	6.23
MAX/MIN	33.04
STD DEV	28.64
COEF VAR	0.85

POINT X POINT
5 HOLE S=1/1500

8	12	18	20	18	17	18	19	17	16	19	19	16	14	15	18	15	11	8	6	5	6	7	7	6
14	23	30	38	31	25	32	39	32	27	28	39	31	26	28	28	28	16	11	9	9	9	11	13	12
23	43	82	90	52	42	63	75	49	49	74	64	38	38	62	86	53	26	13	12	16	22	25	29	26
29	58	98	105	64	53	78	89	63	57	75	72	43	42	63	79	52	26	17	16	24	42	70	64	55
31	58	90	85	55	46	54	59	50	45	49	46	34	32	40	43	32	20	17	20	33	67	129	179	102
26	52	83	74	40	33	35	35	33	31	30	28	23	22	23	23	19	15	15	20	34	65	131	177	121
17	29	40	35	30	24	23	22	22	21	19	18	16	15	14	14	12	11	13	17	28	49	77	95	72
10	16	23	24	19	16	15	15	15	14	13	12	11	10	10	9	9	9	10	14	20	30	41	45	37
8	10	12	13	12	11	11	11	10	10	9	9	8	7	7	7	7	7	8	10	14	18	22	23	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Floodlight Location, Mounting Height= 20 m
Number Poles this type = 6

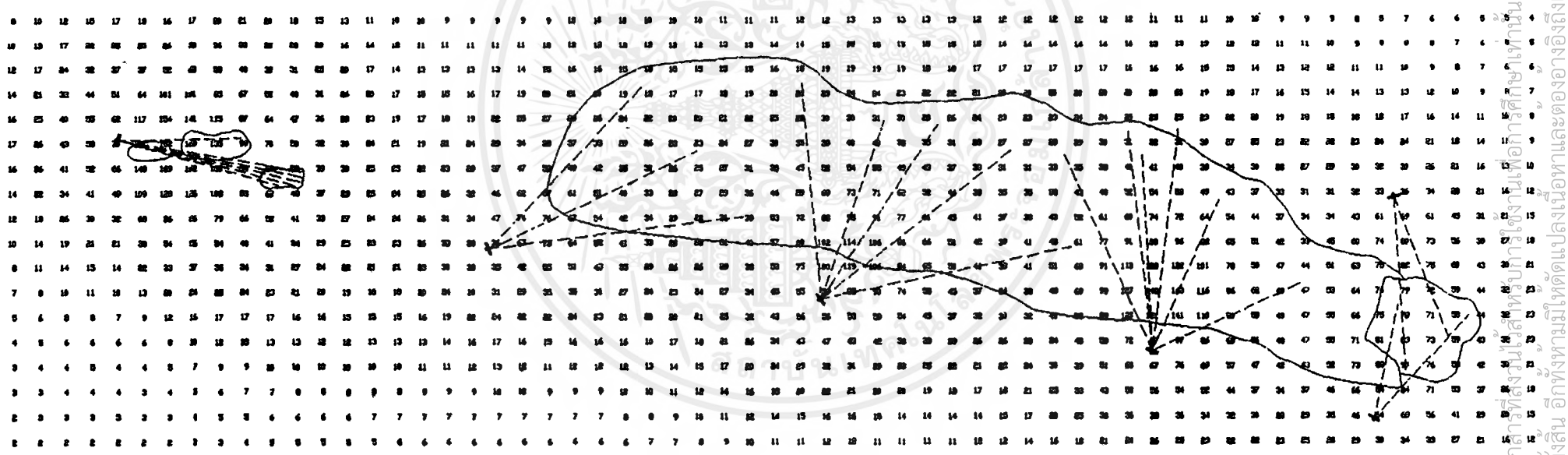
metalhalide
1000 W
IES Candela File: c:\ies\ge8789.ies
Initial Lumens per Lamp= 90000.
Light Loss Factor (LLF) = 1.0
Number Floodlights this type = 24

ILLUMINANCE IS IN HORIZONTAL LUX.
TARGET PLANE AT Z = 0 METERS.

Summary

# POINTS	1098
AVERAGE	32.4
MAXIMUM	182.4
MINIMUM	1.9
AVG/MIN	16.80
MAX/MIN	94.70
STD DEV	27.38
COEF VAR	0.85

POINT X POINT
6 HOLE S=1/1500



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ไม่การณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

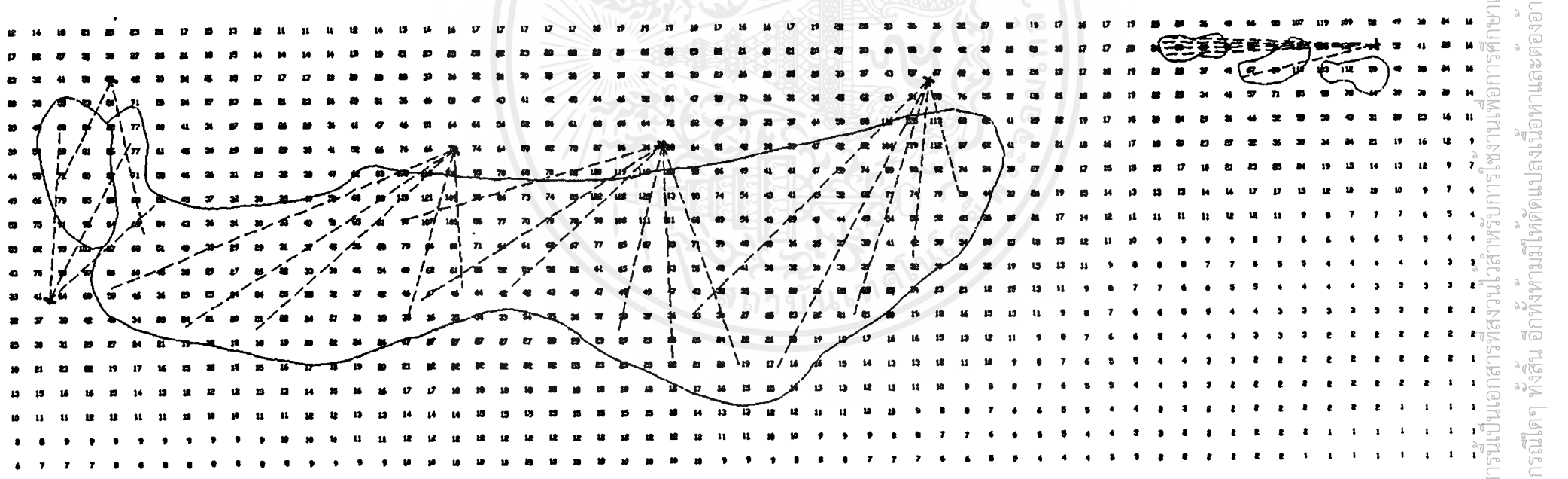
Floodlight Location, Mounting Height= 20 m
Number Poles this type = 6

metalhalide
1000 W
IES Candela File: c:\ies\ge8789.ies
Initial Lumens per Lamp= 90000.
Light Loss Factor (LLF) = 1.0
Number Floodlights this type = 26

ILLUMINANCE IS IN HORIZONTAL LUX.
TARGET PLANE AT Z = 0 METERS.

	Outfield	Infield
# POINTS	1210	25
AVERAGE	30.1	8.0
MAXIMUM	135.4	17.7
MINIMUM	0.9	4.1
AVG/MIN	33.48	1.95
MAX/MIN	150.55	4.35
STD DEV	26.68	3.21
COEF VAR	0.89	0.40

POINT X POINT
7 HOLE S=1/1500



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Floodlight Location, Mounting Height= 20 m
Number Poles this type = 6

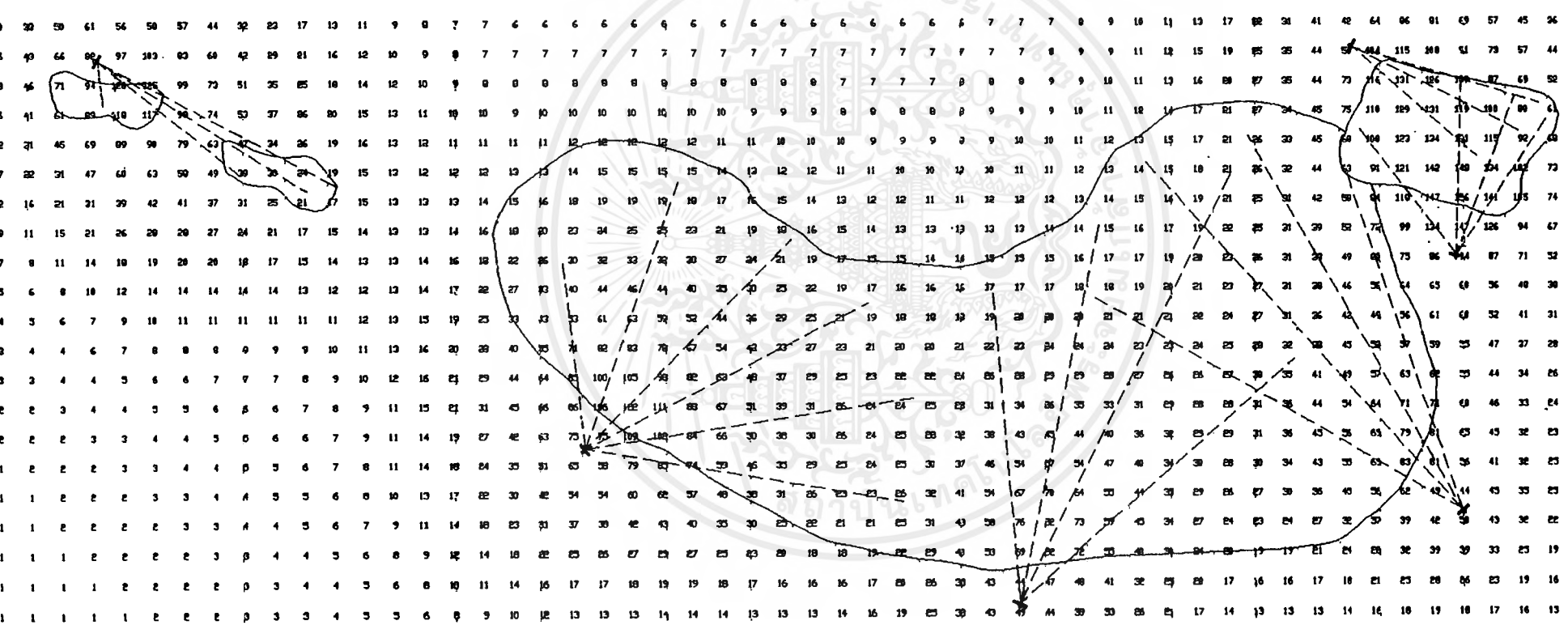
metalhalide
1000 W
IES Candela File: c:\ies\ge8789.ies
Initial Lumens per Lamp= 90000.
Light Loss Factor (LLF) = 1.0
Number Floodlights this type = 25

ILLUMINANCE IS IN HORIZONTAL LUX.
TARGET PLANE AT Z = 0 METERS.

Summary

# POINTS	1176
AVERAGE	29.5
MAXIMUM	155.7
MINIMUM	0.8
AVG/MIN	35.17
MAX/MIN	185.98
STD DEV	27.14
COEF VAR	0.92

POINT X POINT
8 HOLE S=1/1000



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

Floodlight Location, Mounting Height= 20 m
Number Poles this type = 5

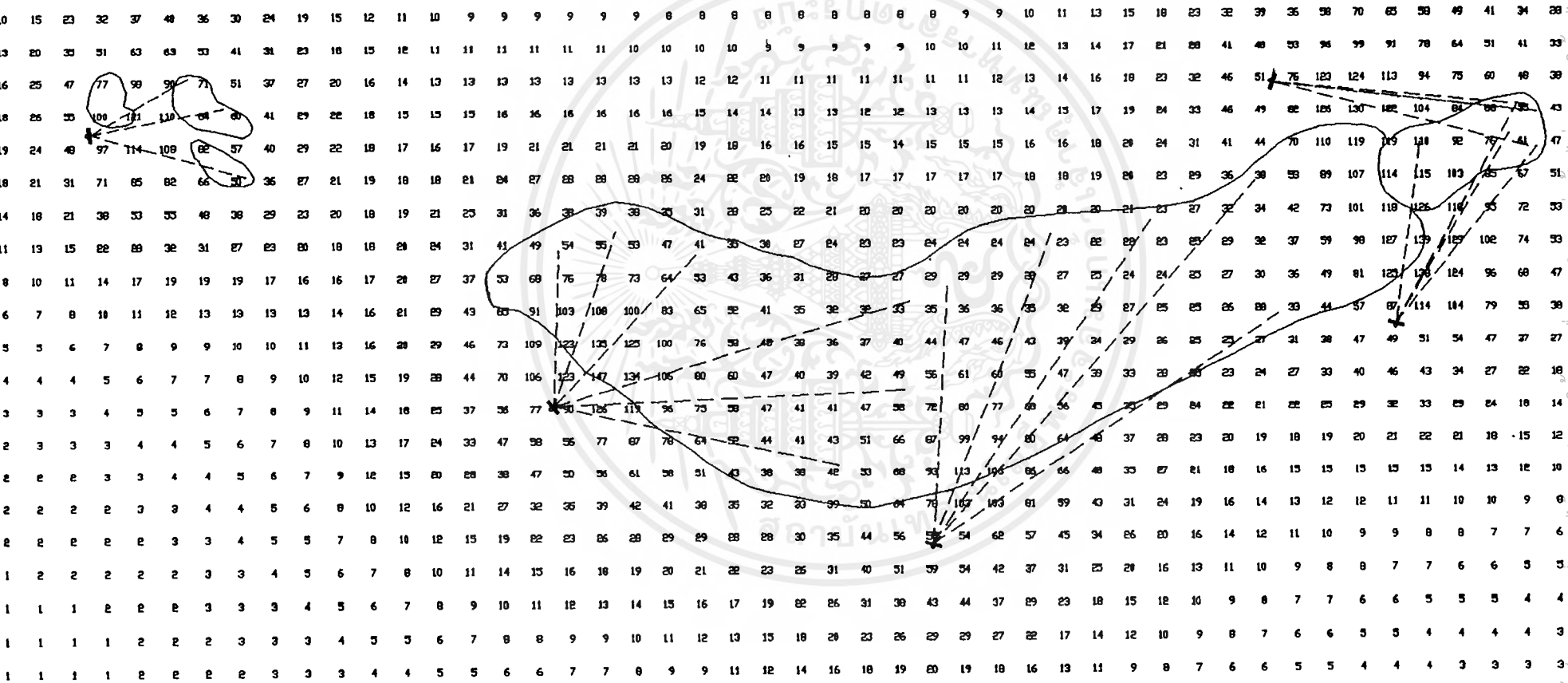
metalhalide
1000 W
IES Candela File: c:\ies\ge8789.ies
Initial Lumens per Lamp= 90000.
Light Loss Factor (LLF) = 1.0
Number Floodlights this type = 22

ILLUMINANCE IS IN HORIZONTAL LUX.
TARGET PLANE AT Z = 0 METERS.

Summary

# POINTS	1050
AVERAGE	30.5
MAXIMUM	146.9
MINIMUM	1.0
AVG/MIN	30.61
MAX/MIN	147.31
STD DEV	28.80
COEF VAR	0.94

POINT X POINT
9 HOLE S=1/1500



ใช้ประโยชน์ทางการศึกษาเท่านั้น ห้ามมิให้ใช้ประโยชน์ทางการค้า ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Floodlight Location, Mounting Height= 20 m
Number Poles this type = 5

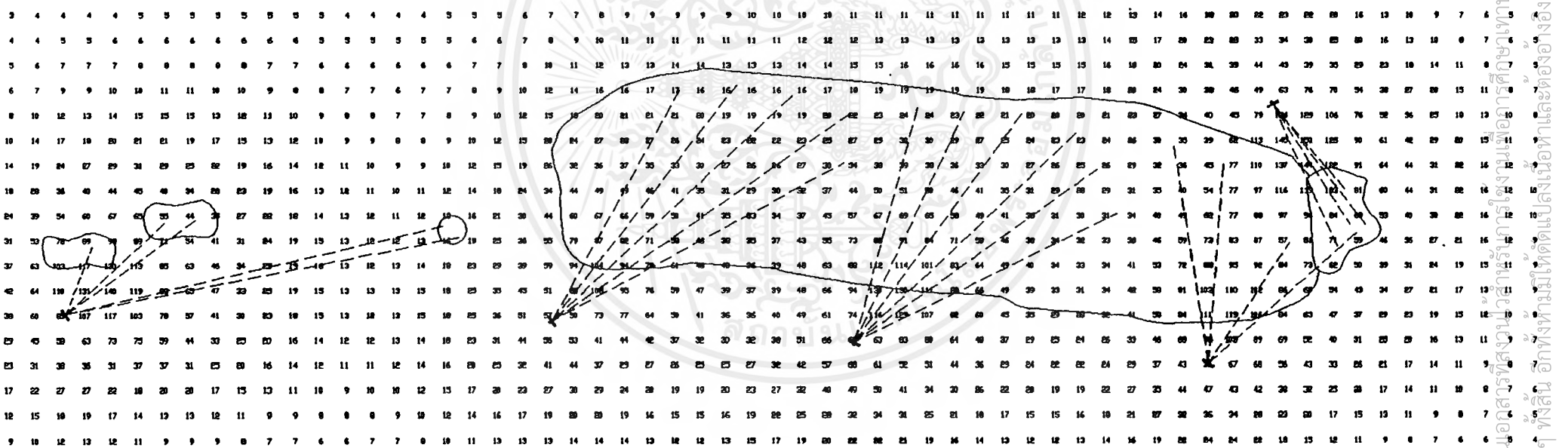
metalhalide
1000 W
IES Candela File: c:\ies\ge8789.ies
Initial Lumens per Lamp= 90000.
Light Loss Factor (LLF) = 1.0
Number Floodlights this type = 24

ILLUMINANCE IS IN HORIZONTAL LUX.
TARGET PLANE AT Z = 0 METERS.

Summary

# POINTS	1098
AVERAGE	31.5
MAXIMUM	150.2
MINIMUM	3.0
AVG/MIN	10.62
MAX/MIN	50.63
STD DEV	27.24
COEF VAR	0.86

POINT X POINT
10 HOLE S=1/1500



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

Floodlight Location, Mounting Height= 20 m
Number Poles this type = 5

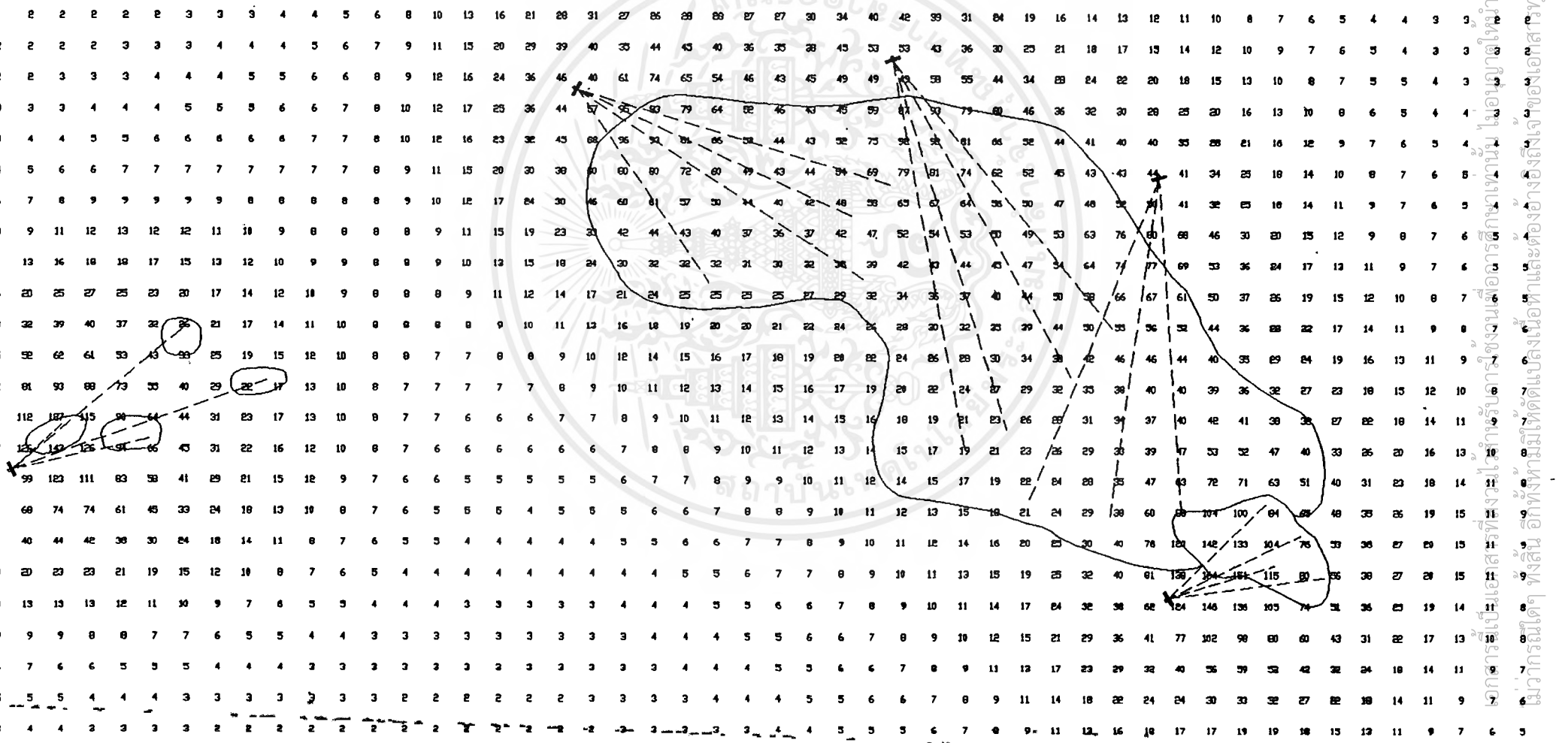
metalhalide
1000 W
IES Candela File: c:\ies\ge8789.ies
Initial Lumens per Lamp= 90000.
Light Loss Factor (LLF) = 1.0
Number Floodlights this type = 19

ILLUMINANCE IS IN HORIZONTAL LUX.
TARGET PLANE AT Z = 0 METERS.

Summary

# POINTS	1200
AVERAGE	23.6
MAXIMUM	163.8
MINIMUM	1.5
AVG/MIN	15.98
MAX/MIN	110.86
STD DEV	24.90
COEF VAR	1.05

POINT X POINT
11 HOLE S=1/1500



ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Floodlight Location, Mounting Height= 20 m
Number Poles this type = 3

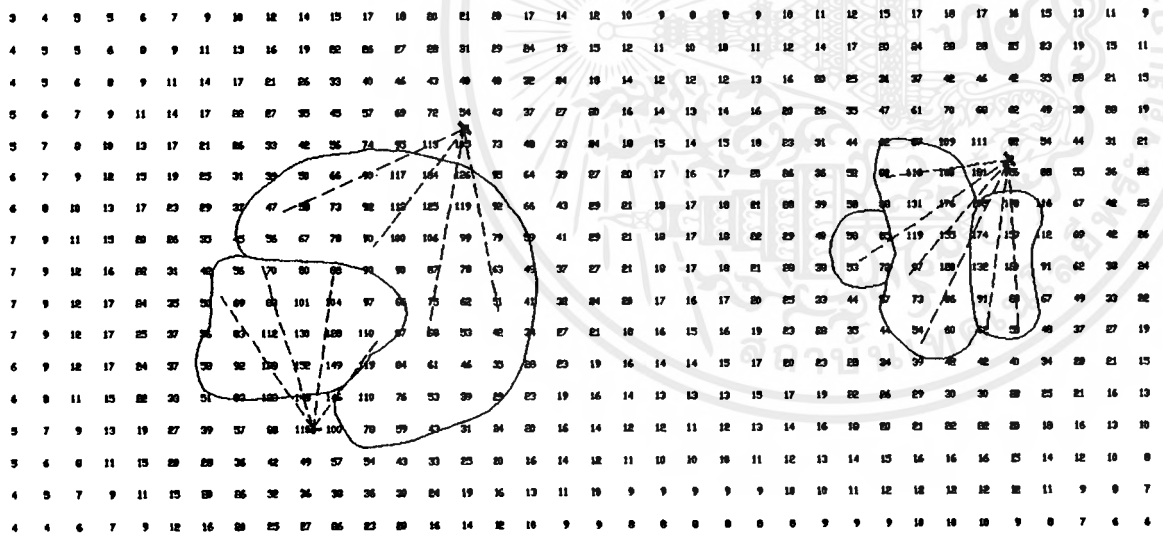
metalhalide
1000 W
IES Candela File: c:\ies\ge8789.ies
Initial Lumens per Lamp= 90000.
Light Loss Factor (LLF) = 1.0
Number Floodlights this type = 14

ILLUMINANCE IS IN HORIZONTAL LUX.
TARGET PLANE AT Z = 0 METERS.

Summary

# POINTS	612
AVERAGE	35.9
MAXIMUM	195.4
MINIMUM	3.4
AVG/MIN	10.55
MAX/MIN	57.42
STD DEV	34.82
COEF VAR	0.97

POINT X POINT
12 HOLE S=1/1000



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Floodlight Location, Mounting Height= 20 m
Number Poles this type = 5

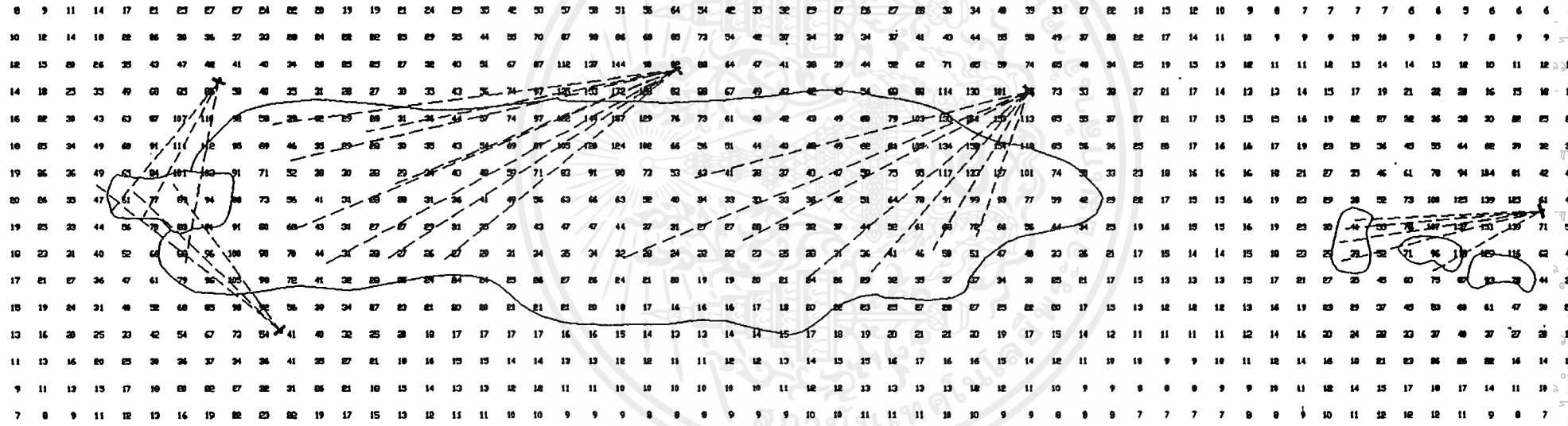
metalhalide
1000 W
IES Candela File: c:\ies\ge8789.ies
Initial Lumens per Lamp= 90000.
Light Loss Factor (LLF) = 1.0
Number Floodlights this type = 26

ILLUMINANCE IS IN HORIZONTAL LUX.
TARGET PLANE AT Z = 0 METERS.

Summary

# POINTS	960
AVERAGE	37.1
MAXIMUM	171.8
MINIMUM	4.2
AVG/MIN	8.90
MAX/MIN	41.21
STD DEV	30.53
COEF VAR	0.82

POINT X POINT
13 HOLE S=1/1500



ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Floodlight Location, Mounting Height= 20 m
Number Poles this type = 6

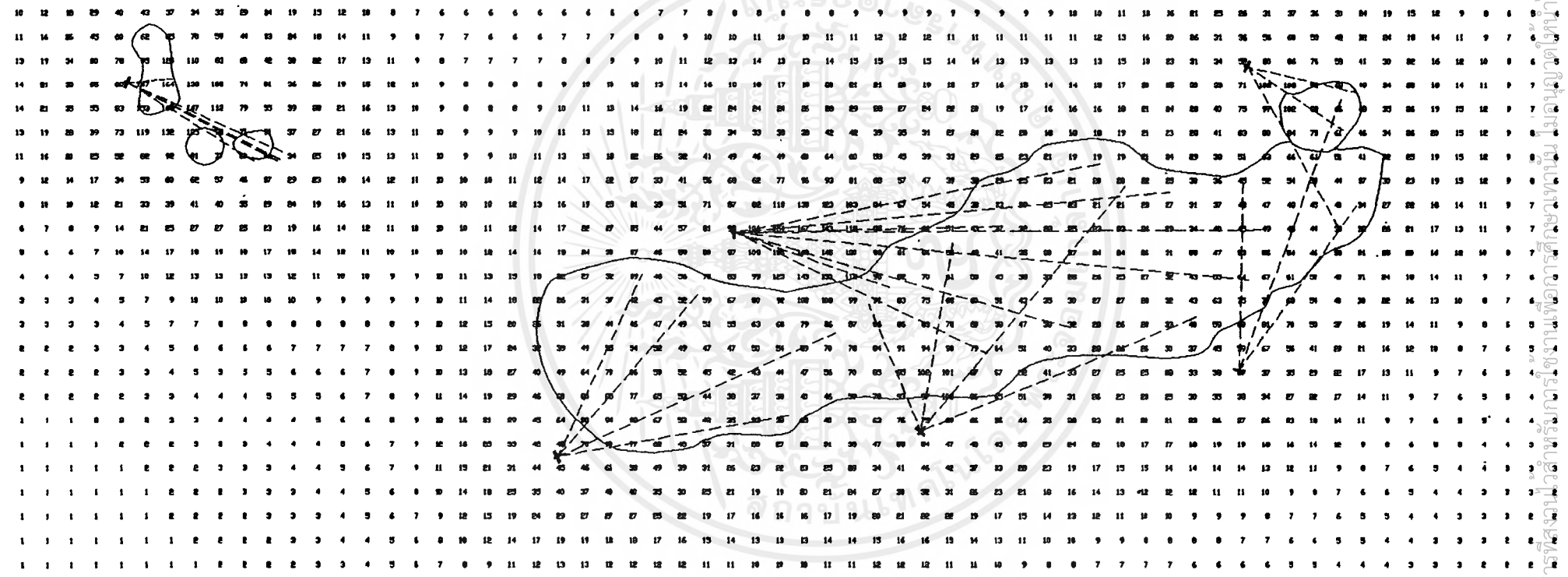
metalhalide
1000 W
IES Candela File: c:\ies\ge8789.ies
Initial Lumens per Lamp= 90000.
Light Loss Factor (LLF) = 1.0
Number Floodlights this type = 27

ILLUMINANCE IS IN HORIZONTAL LUX.
TARGET PLANE AT Z = 0 METERS.

Summary

# POINTS	1536
AVERAGE	27.0
MAXIMUM	168.3
MINIMUM	0.7
AVG/MIN	40.32
MAX/MIN	251.04
STD DEV	27.46
COEF VAR	1.02

POINT X POINT
14 HOLE S=1/1500



ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Floodlight Location, Mounting Height= 20 m
Number Poles this type = 5

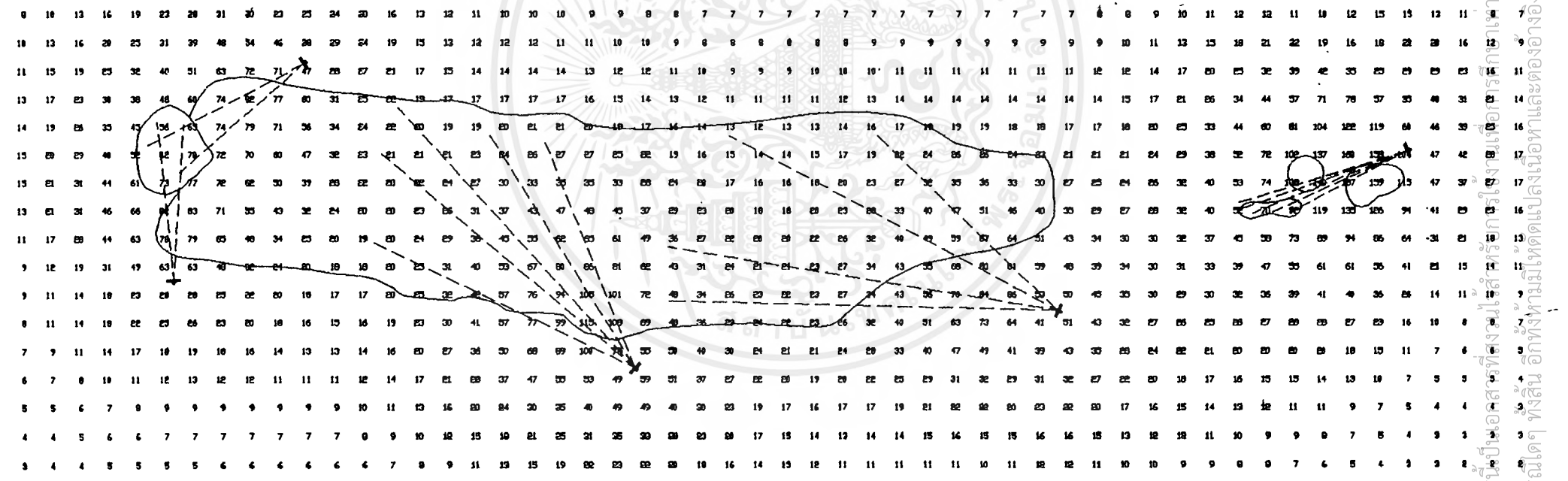
metalhalide
1000 W
IES Candela File: c:\ies\ge8789.ies
Initial Lumens per Lamp= 90000.
Light Loss Factor (LLF) = 1.0
Number Floodlights this type = 18

ILLUMINANCE IS IN HORIZONTAL LUX.
TARGET PLANE AT Z = 0 METERS.

Summary

# POINTS	918
AVERAGE	28.4
MAXIMUM	166.6
MINIMUM	2.2
AVG/MIN	12.60
MAX/MIN	75.04
STD DEV	24.11
COEF VAR	0.85

POINT X POINT
15 HOLE S=1/1500



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและข้อความอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Floodlight Location, Mounting Height= 20 m
Number Poles this type = 5

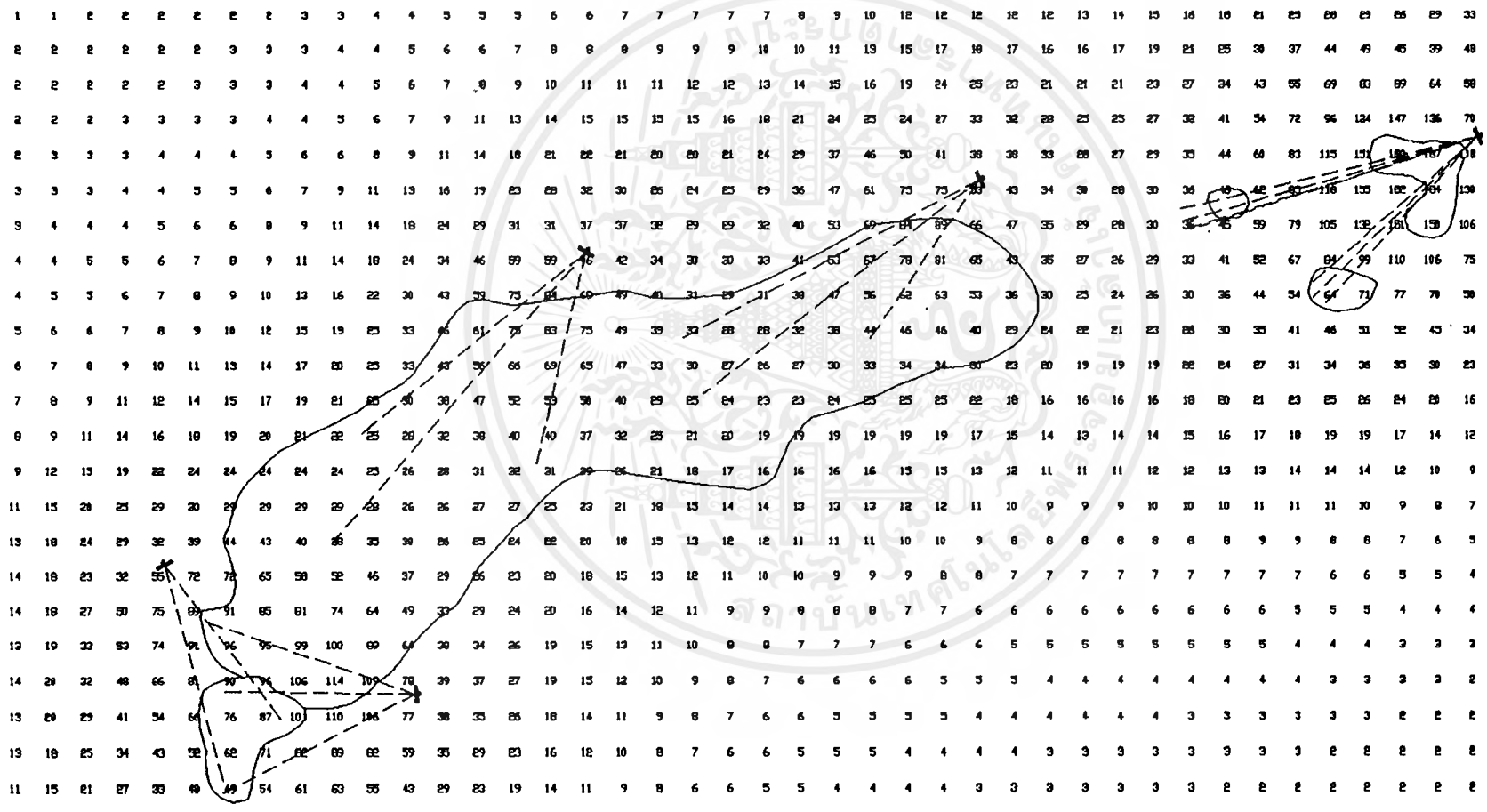
metalhalide
1000 W
IES Candela File: c:\ies\ge8789.ies
Initial Lumens per Lamp= 90000.
Light Loss Factor (LLF) = 1.0
Number Floodlights this type = 18

ILLUMINANCE IS IN HORIZONTAL LUX.
TARGET PLANE AT Z = 0 METERS.

Summary

# POINTS	1248
AVERAGE	22.6
MAXIMUM	187.2
MINIMUM	0.6
AVG/MIN	36.40
MAX/MIN	301.35
STD DEV	25.94
COEF VAR	1.15

POINT X POINT
16 HOLE S=1/1500



Floodlight Location, Mounting Height= 20 m
Number Poles this type = 4

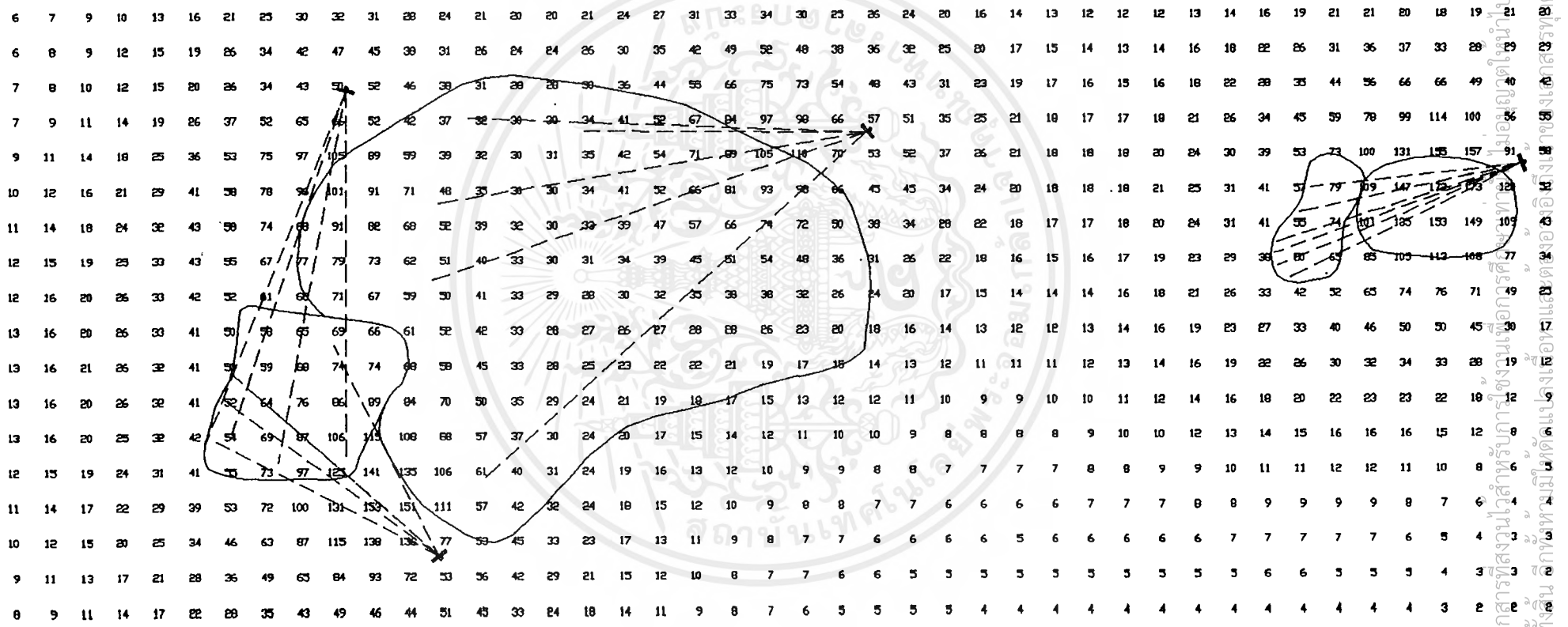
metalhalide
1000 W
IES Candela File: c:\ies\ge8789.ies
Initial Lumens per Lamp= 90000.
Light Loss Factor (LLF) = 1.0
Number Floodlights this type = 20

ILLUMINANCE IS IN HORIZONTAL LUX.
TARGET PLANE AT Z = 0 METERS.

Summary

# POINTS	792
AVERAGE	34.0
MAXIMUM	172.9
MINIMUM	2.0
AVG/MIN	16.78
MAX/MIN	85.39
STD DEV	29.99
COEF VAR	0.88

POINT X POINT
17 HOLE S=1/1500



Floodlight Location, Mounting Height= 20 m
Number Poles this type = 6

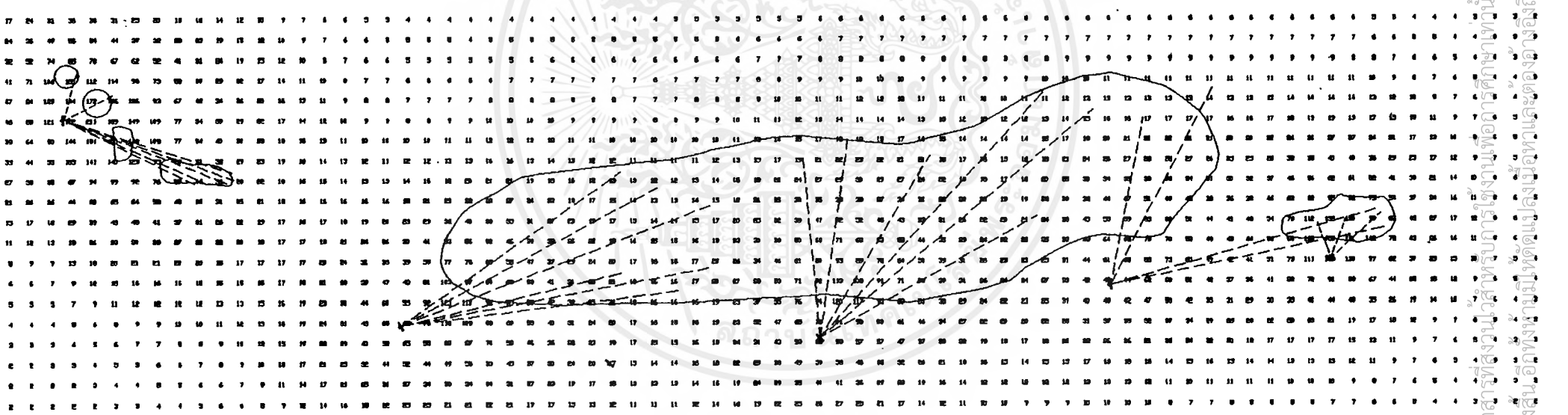
metalhalide
1000 W
IES Candela File: c:\ies\ge8789.ies
Initial Lumens per Lamp= 90000.
Light Loss Factor (LLF) = 1.0
Number Floodlights this type = 26

ILLUMINANCE IS IN HORIZONTAL LUX.
TARGET PLANE AT Z = 0 METERS.

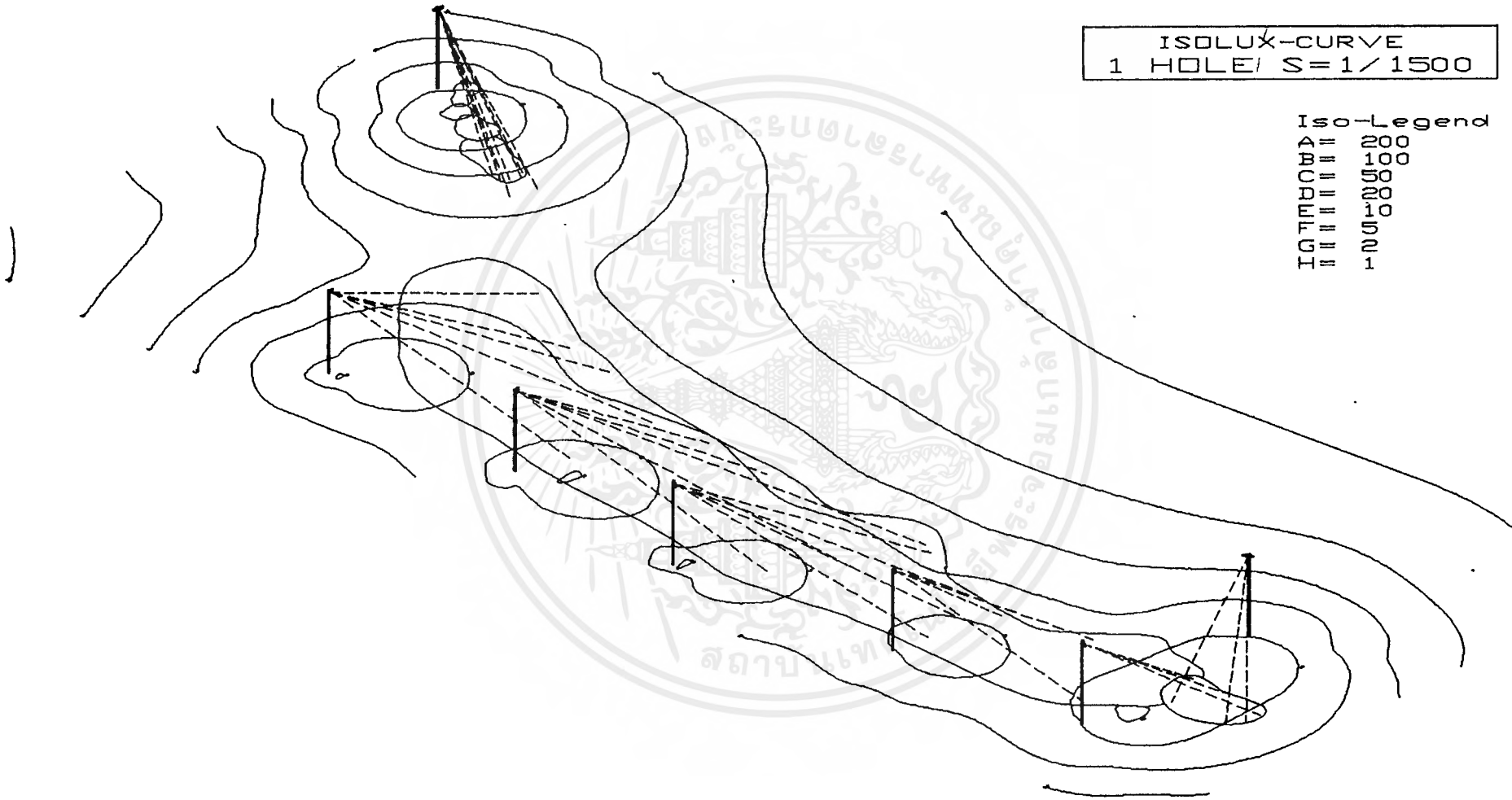
Summary

# POINTS	1520
AVERAGE	25.5
MAXIMUM	211.2
MINIMUM	1.7
AVG/MIN	15.06
MAX/MIN	124.81
STD DEV	27.17
COEF VAR	1.07

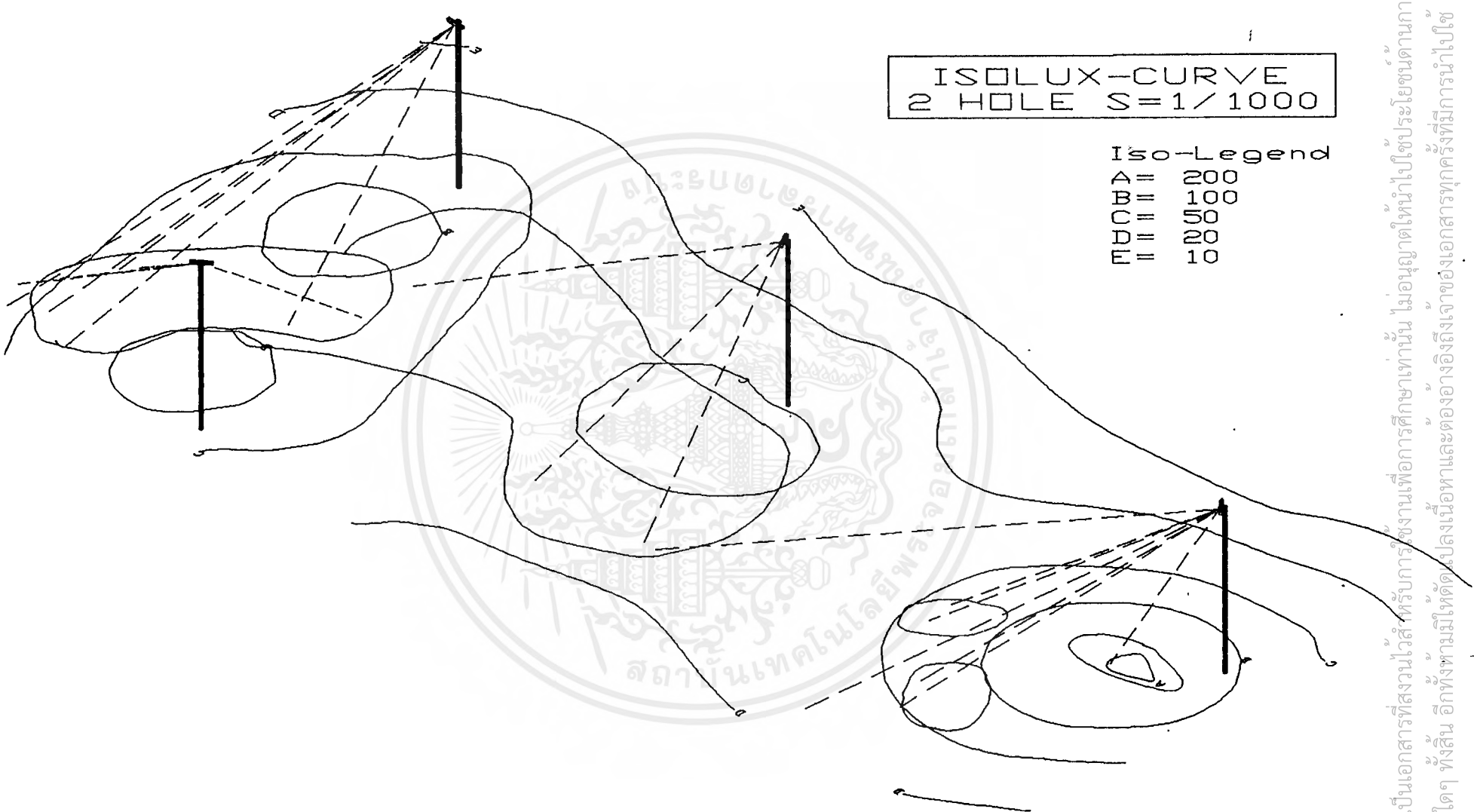
POINT X POINT
18 HOLE S=1/2000



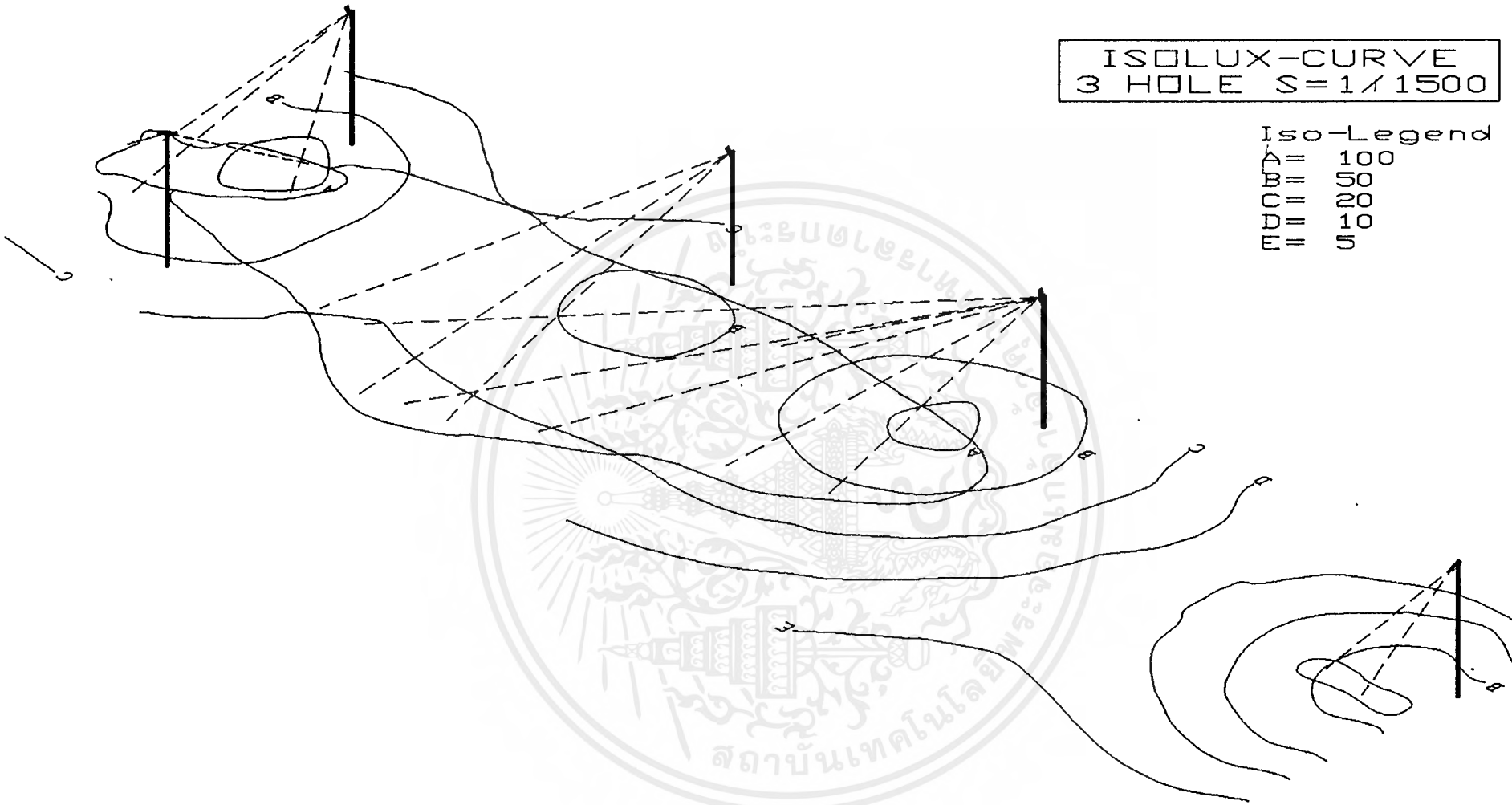
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



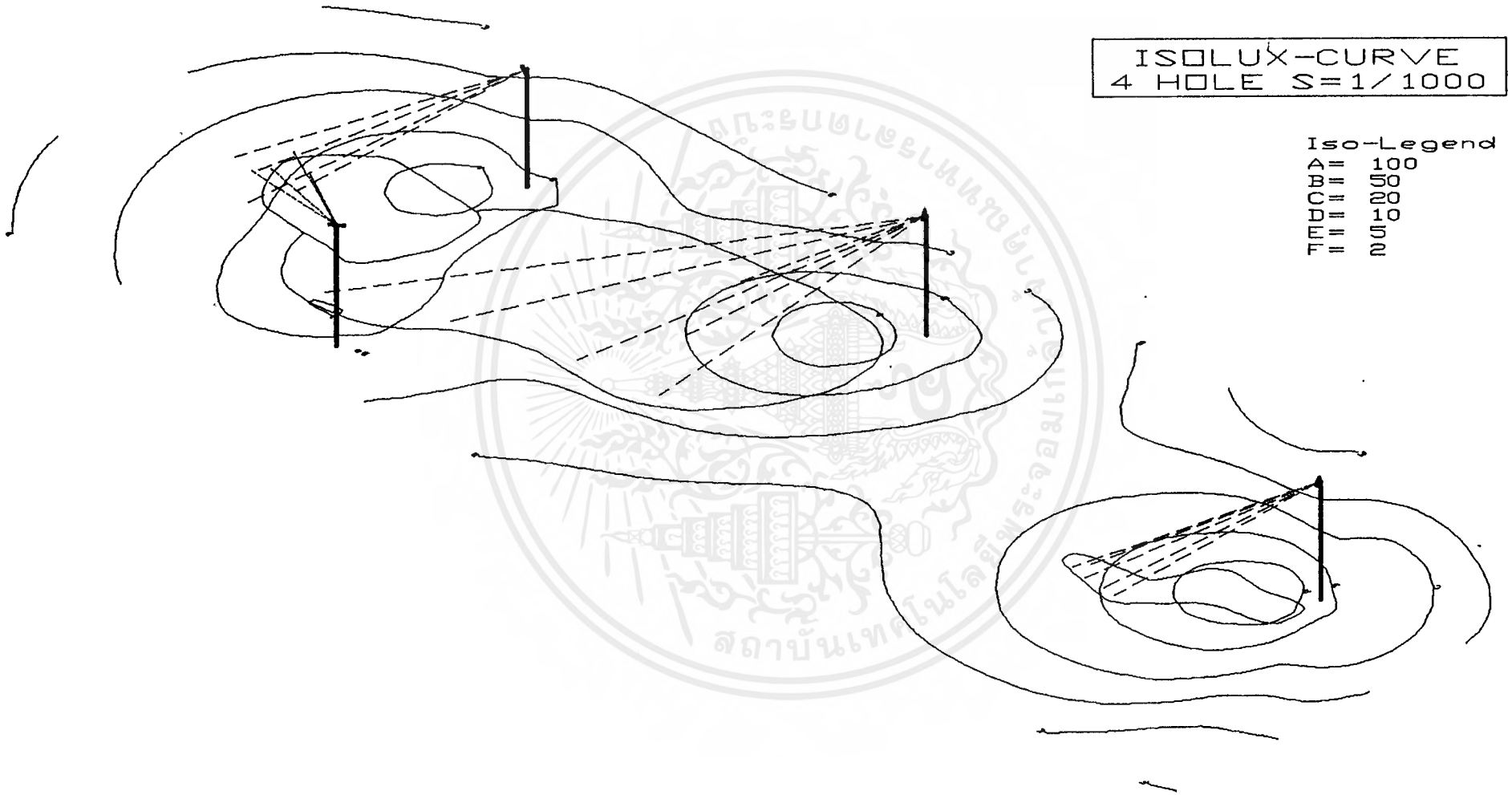
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



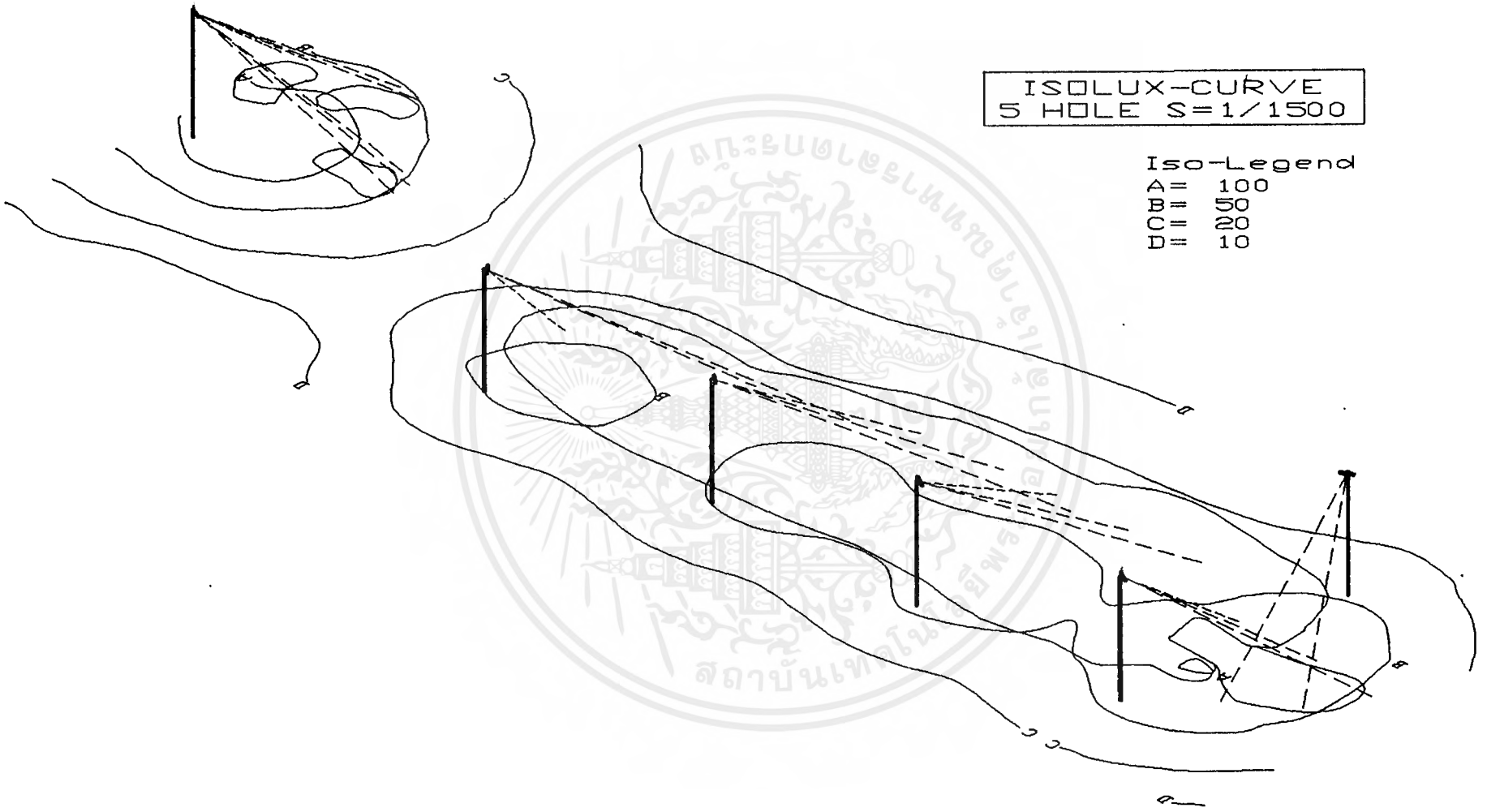
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



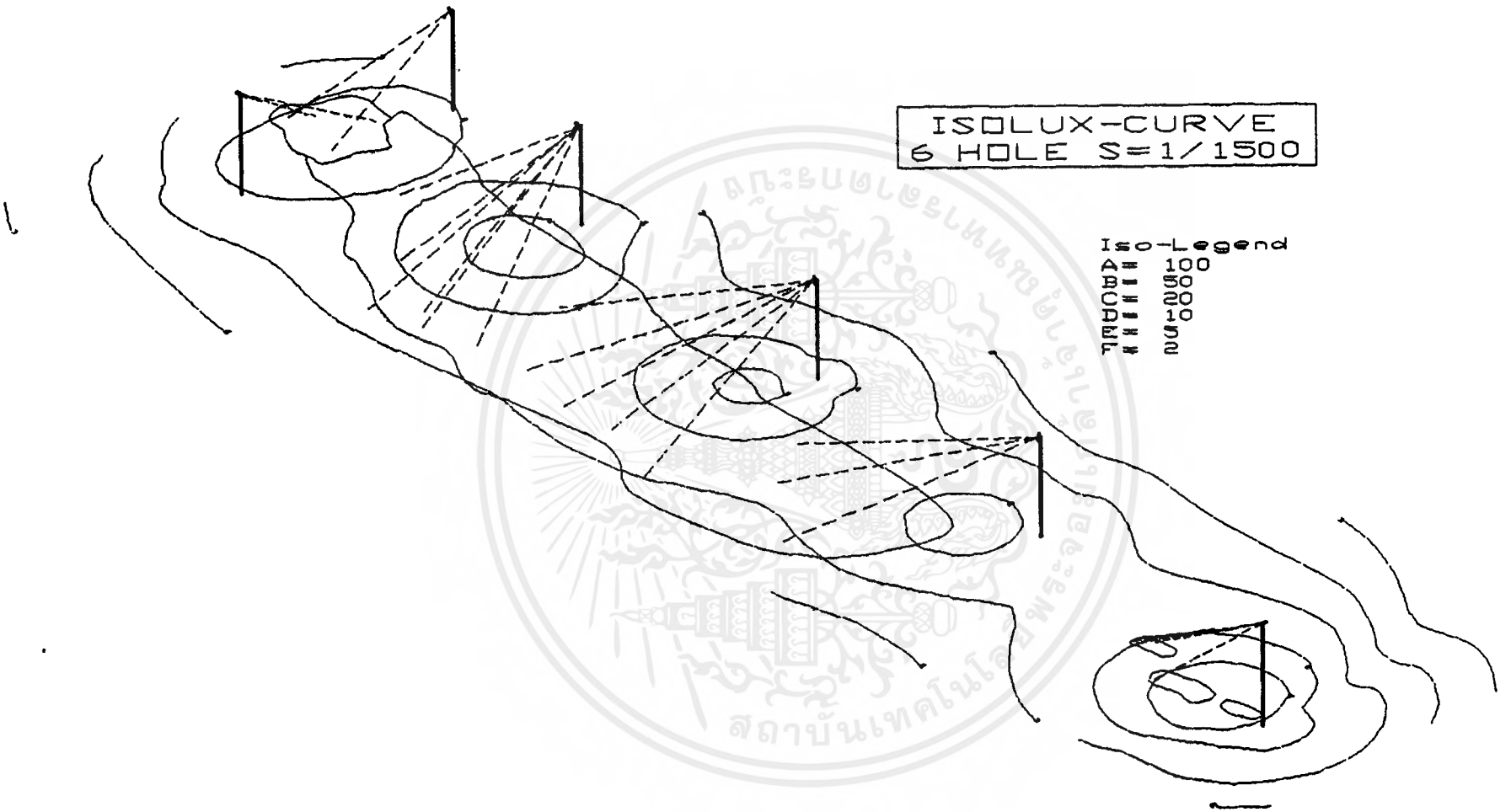
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้นำไปดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ใบกรณีที่ต้องการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ กรุณาติดต่อขอรับอนุญาตได้ที่ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับเอกสารนี้ก่อน



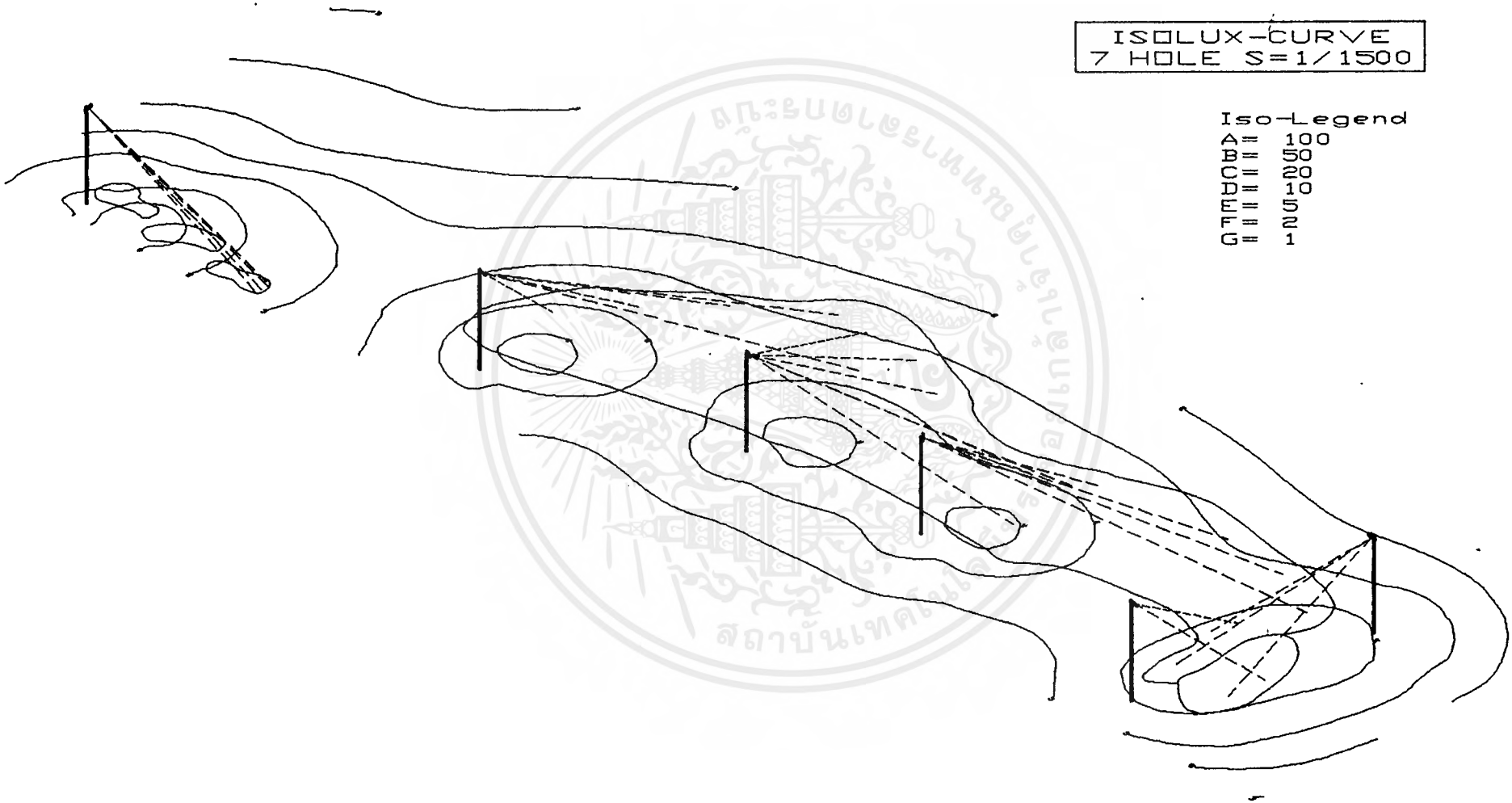
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



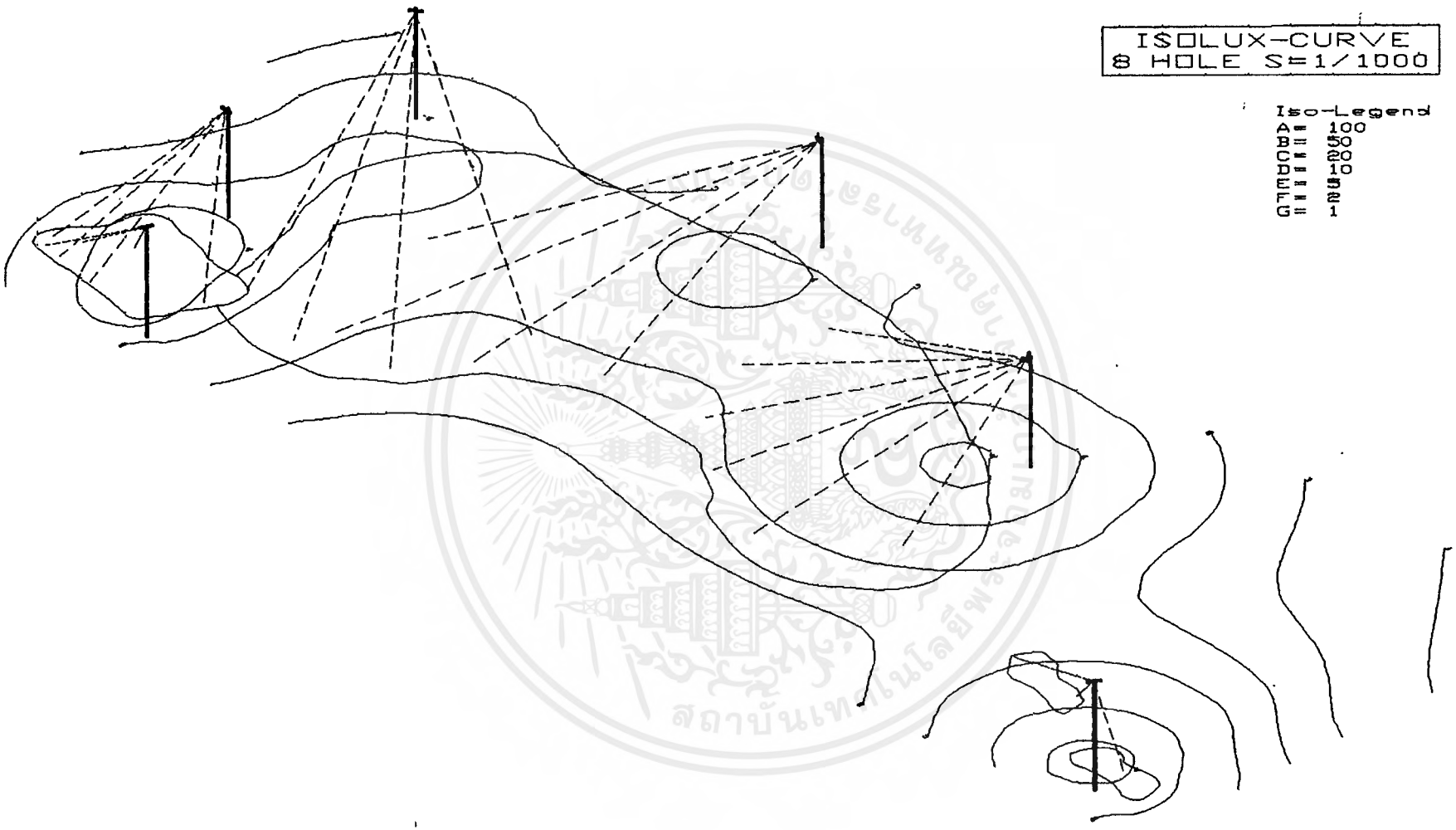
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

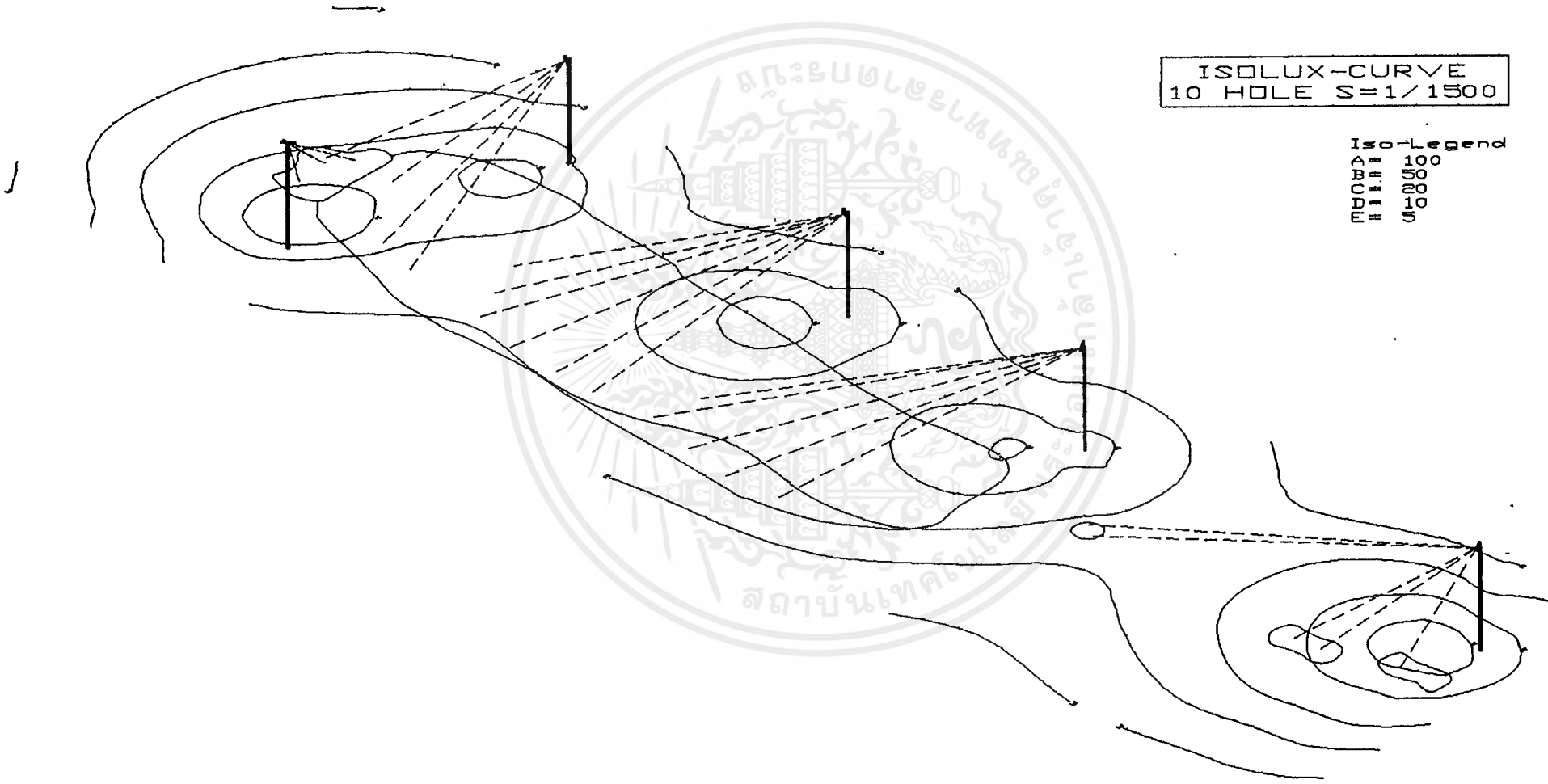


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

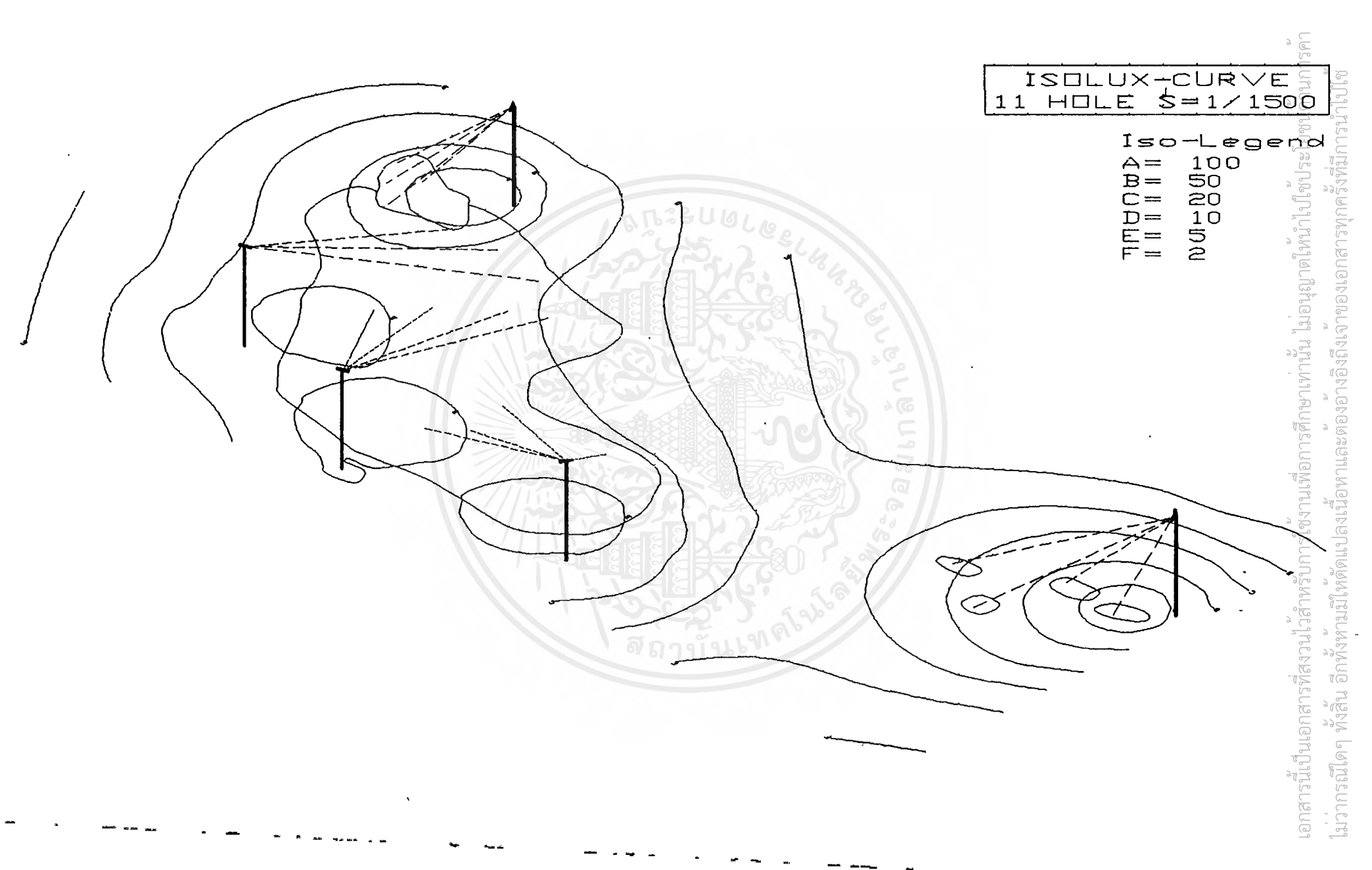


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

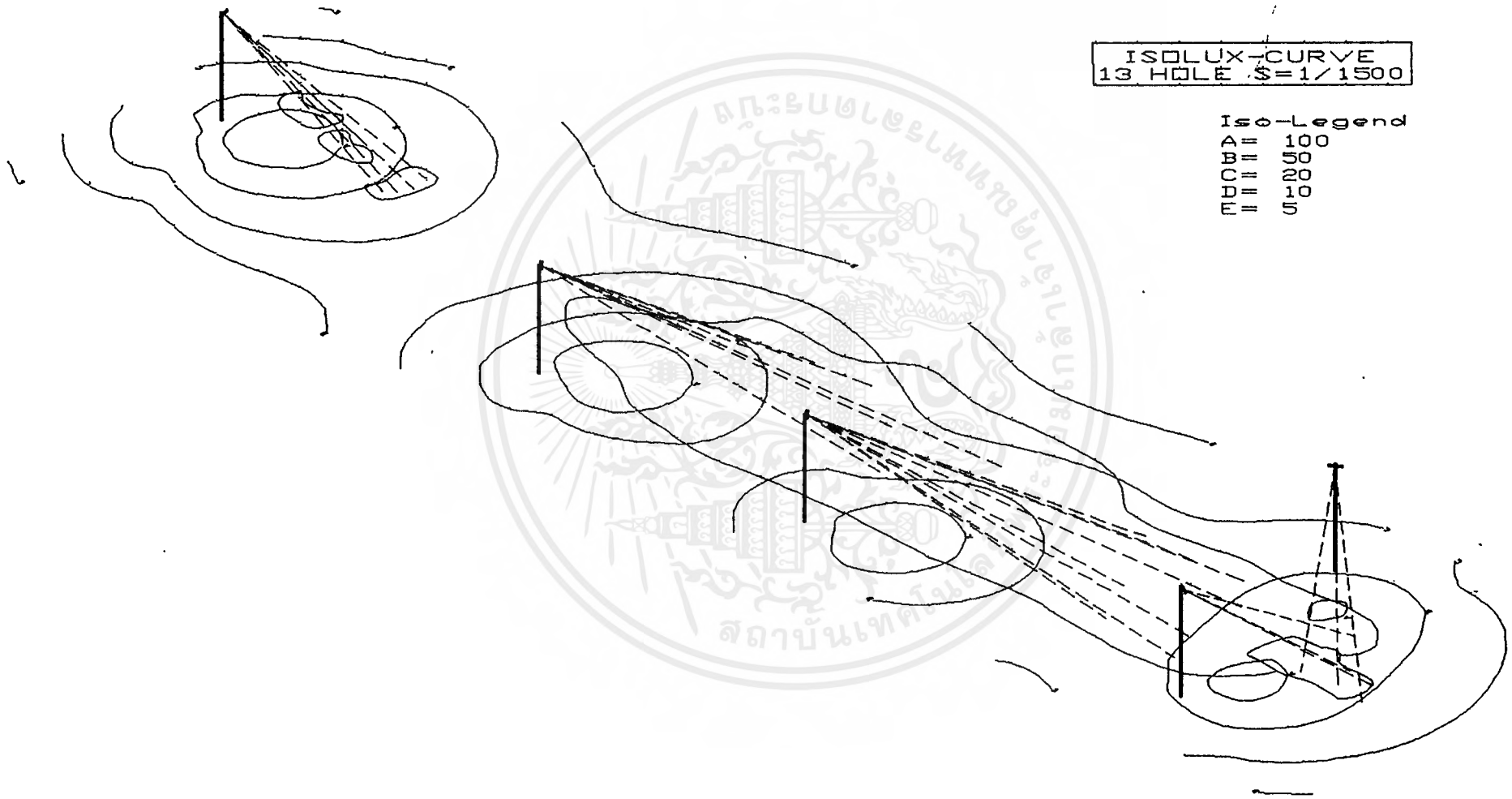


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

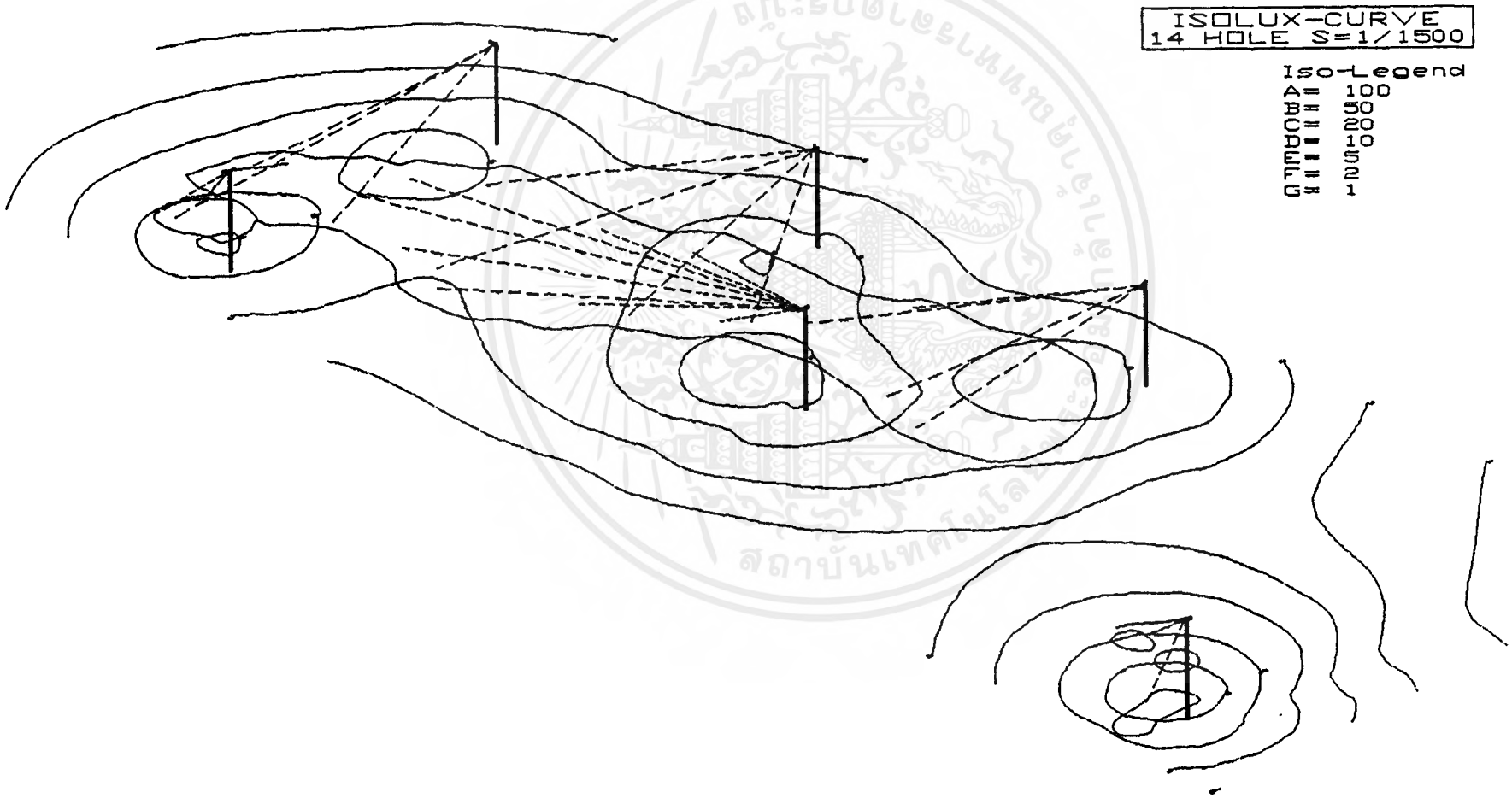


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

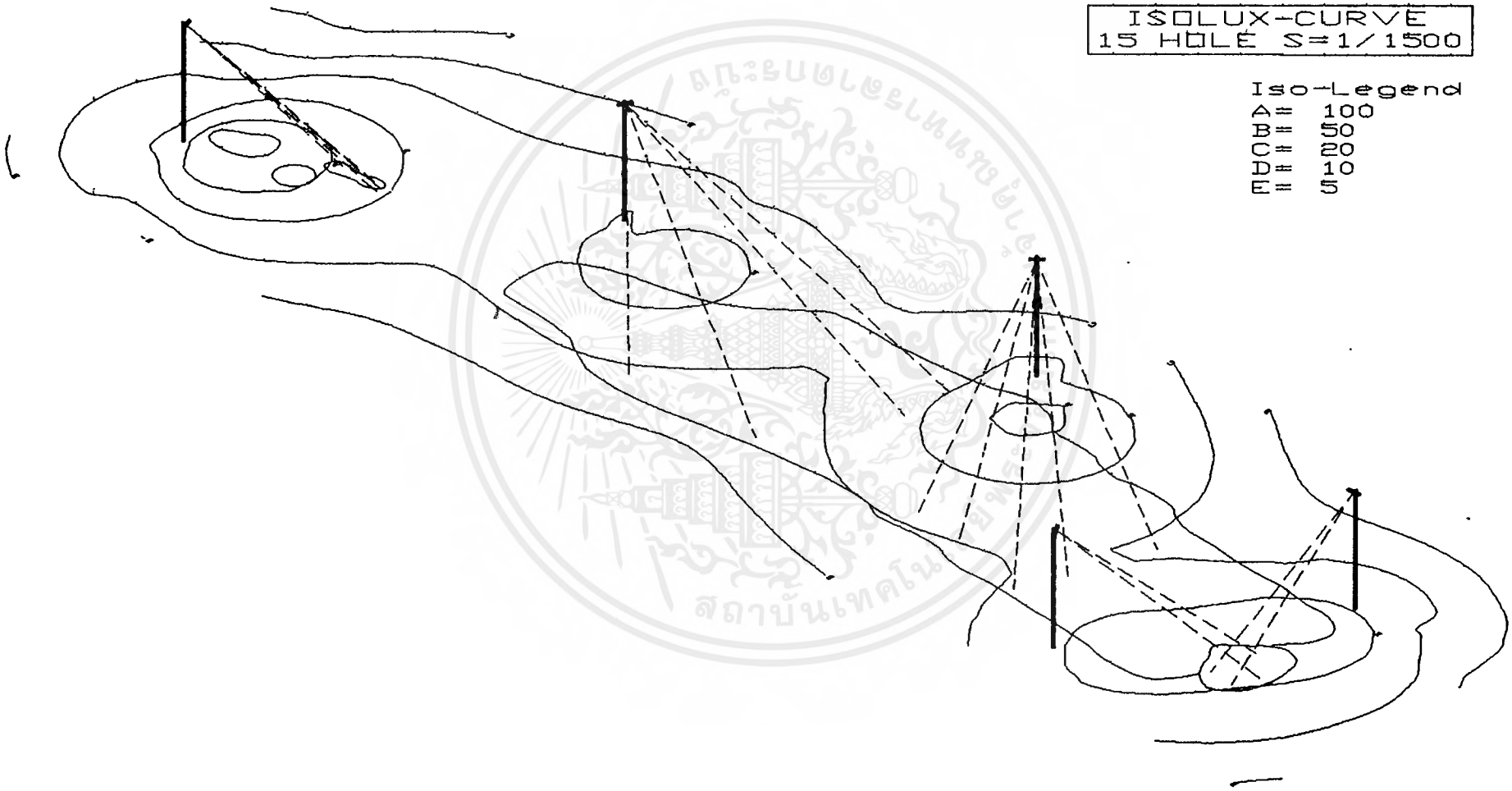
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



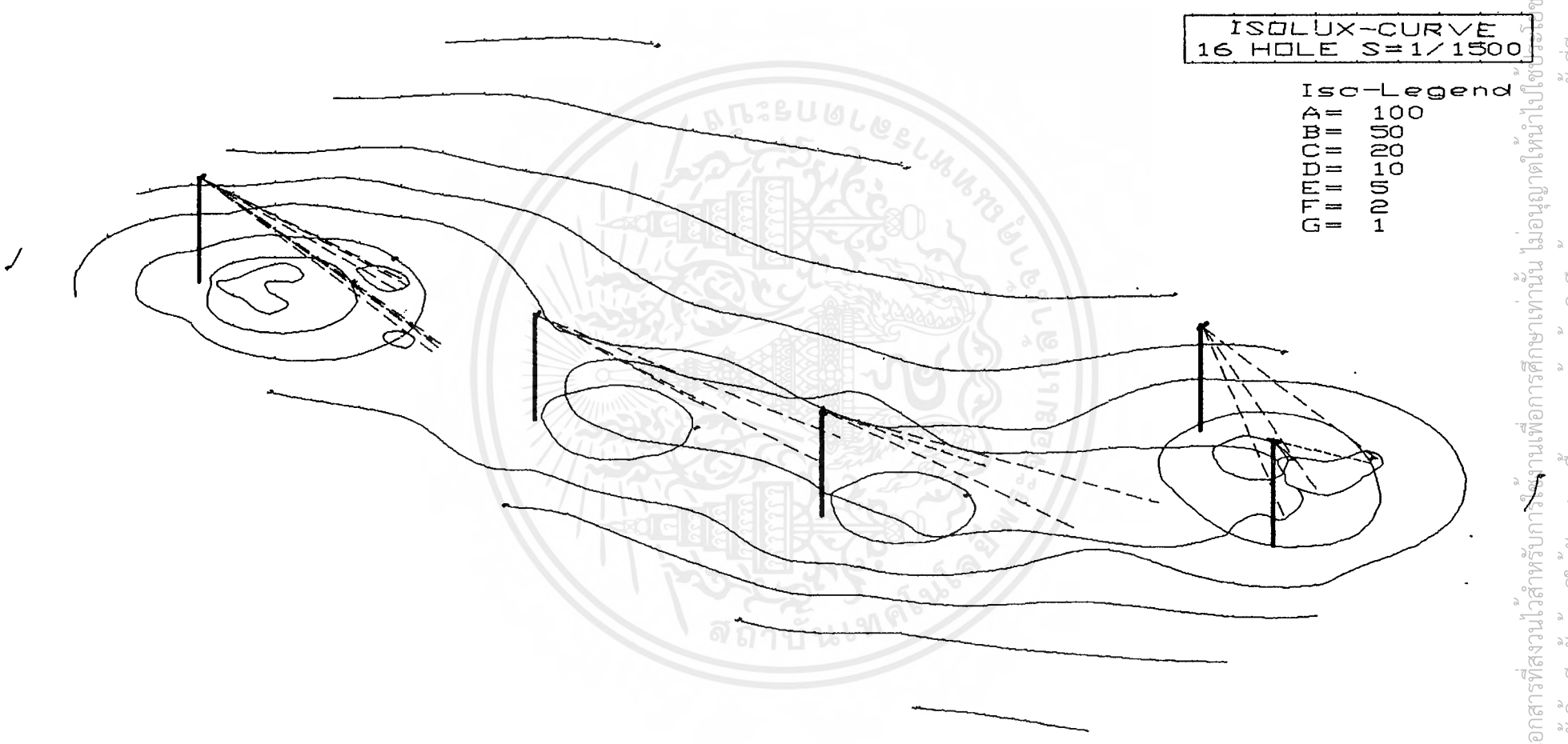
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



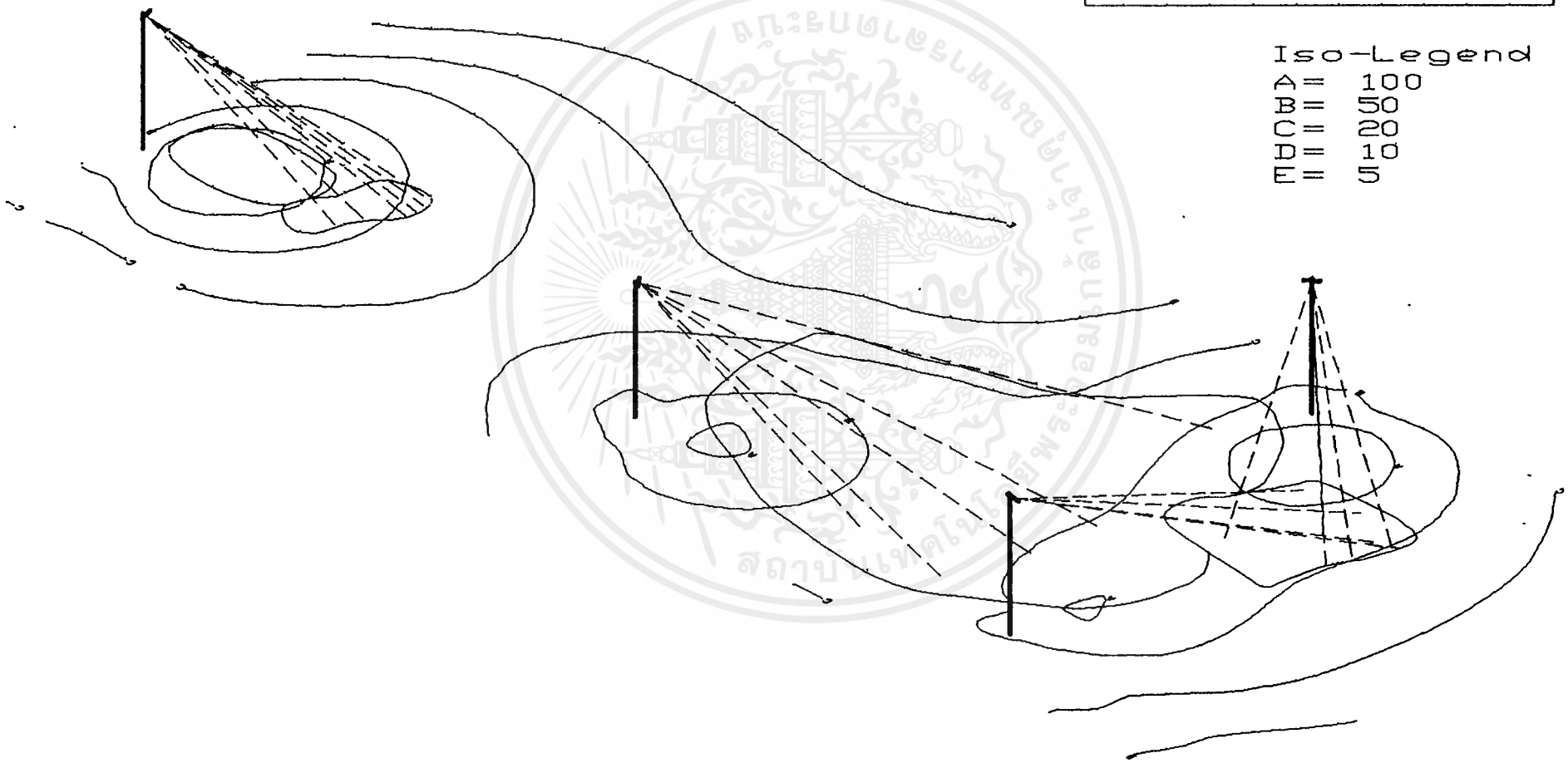
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



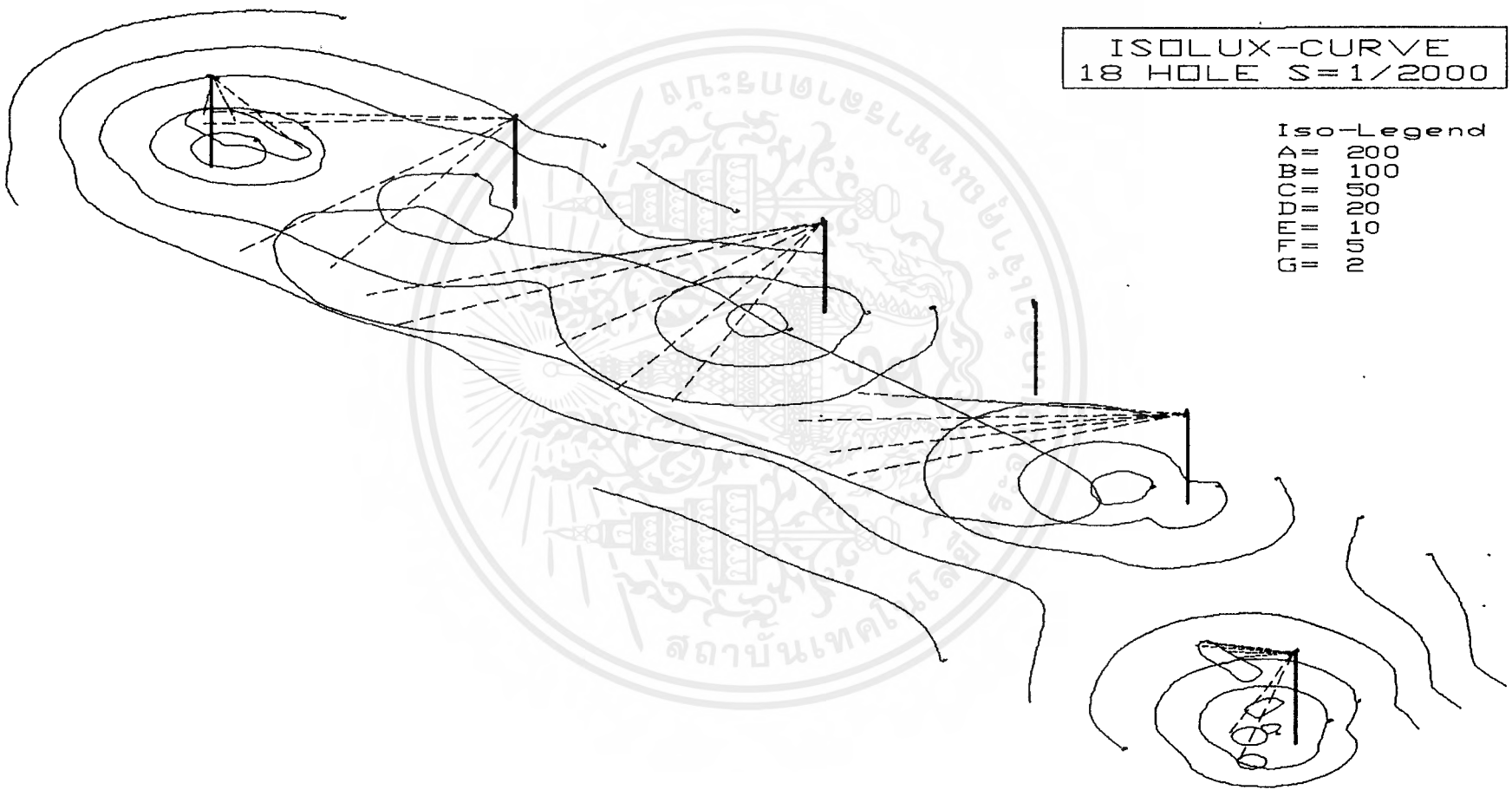
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ISOLUX-CURVE
17 HOLE S=1/1500

Iso-Legend
A= 100
B= 50
C= 20
D= 10
E= 5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8
สรุปผลและวิจารณ์

จากวัตถุประสงค์ของโครงงานที่ต้องทำการศึกษาถึงพื้นฐานในการออกแบบระบบแสงสว่างในสนามกอล์ฟ ทฤษฎีพื้นฐานทางด้านวิศวกรรมการส่องสว่างโดยจะสามารถนำในออกแบบระบบแสงสว่างได้จริงนั้น คณะผู้จัดทำได้ศึกษาและทำการออกแบบสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ของโครงงานทุกประการ ผลการออกแบบที่ได้ถูกต้องตามมาตรฐาน สามารถนำไปใช้งานจริงได้ โดยสามารถที่จะดูเนื้อหาและรายละเอียดต่าง ๆ และแบบแปลนสนามกอล์ฟทั้ง 18 หลุม โดยแยกรายละเอียดให้ดูทีละหลุมตั้งแต่หลุม 1 ถึงหลุมที่ 18 ที่ทำการออกแบบได้ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ปริญญานิพนธ์ "LIGHTING FOR GOLF COURSE DESIGN" หรือ "การออกแบบระบบแสงสว่างในสนามกอล์ฟ" นี้เป็นโครงงานใหม่ ซึ่งยังไม่มีใครทำมาก่อน ดังนั้นเนื้อหาและข้อมูลต่าง ๆ ในการออกแบบระบบแสงสว่างในสนามกอล์ฟที่มีอยู่ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้อาจมีอยู่น้อยและไม่ครบถ้วน สำหรับแปลนสนามกอล์ฟที่ใช้ทำการออกแบบ และข้อมูลอ้างอิงต่าง ๆ ในเรื่องการติดตั้งเสานั้นได้นำมาจาก สนามกอล์ฟวินด์มิลล์ บางนาตราด ซึ่งมีการเปิดให้บริการไนท์กอล์ฟอยู่จริง สำหรับการออกแบบที่ทางสนามแห่งนี้ทำไว้มีความเป็นมาตรฐานพอสมควรและเป็นสนามที่เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในบรรดานักกอล์ฟ ดังนั้นปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จึงถือได้ว่าเป็นปริญญานิพนธ์ที่สามารถใช้อ้างอิงได้อย่างดีเล่มหนึ่ง และยังสามารถใช้เป็นกรณีศึกษาสำหรับการออกแบบระบบแสงสว่างในสนามกอล์ฟได้อีกด้วย

อย่างไรก็ตามการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ค่อนข้างที่จะลำบากในการค้นหาข้อมูลเนื่องจากตำราในประเทศไทยที่ใช้ในการค้นคว้ามีอยู่น้อยมากหรืออาจกล่าวได้ว่าแทบจะไม่มีเลย นอกจากนั้น ตำราต่างประเทศก็ไม่ค่อยมีการนำเข้ามาศึกษากันมากนักอีกทั้งสนามกอล์ฟที่เปิดไนท์กอล์ฟในประเทศนั้นมีเพียงไม่กี่แห่ง ทางคณะผู้จัดทำจึงต้องอาศัยการศึกษาหาความรู้จากผู้มีประสบการณ์ตามบริษัทต่างๆที่เกี่ยวข้องในเนื้อหาแต่ละบทและจากสนามกอล์ฟหลายแห่งโดยตรง รวมถึงข้อมูลทางด้านการติดตั้งเสาและข้อมูลของดวงโคม บ้างก็ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่ง บ้างก็มีการปกปิดข้อมูลที่สำคัญบางประการ เนื่องจากมีปัญหาทางด้านลิขสิทธิ์ในการออกแบบทางสนามจึงให้ข้อมูลได้เพียงบางส่วนเท่านั้น

จากการที่ได้ออกสำรวจ และเห็นถึงวิธีการออกแบบระบบแสงสว่างในสนามกอล์ฟข้างต้น ทำให้คณะผู้จัดเกิดความคิดและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาและเป็นแนวทางในการออกแบบสำหรับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำหรับวิธีในการออกแบบ คณะผู้จัดทำได้ใช้โปรแกรมออโตลักซ์มาคำนวณค่าต่าง ๆ ซึ่งจัดทำไว้ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม การศึกษาปริญญานิพนธ์ในหัวข้อนี้มีขอบเขตที่กว้าง จึงสามารถที่จำทำการศึกษาในลักษณะอื่นได้อีก เช่น การเขียนโปรแกรมเพื่อใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมแสงสว่าง หรือการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้ในการออกแบบระบบแสงสว่าง เป็นต้น โดยสามารถอ้างอิงได้จากหนังสือต่าง ๆ ที่คณะผู้จัดทำได้เรียบเรียงไว้ในส่วน " เอกสารอ้างอิง " ซึ่งอยู่หน้าหลังสุดของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เพื่อเป็นแหล่งข้อมูลในการค้นคว้า รวมถึงบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กล่าวถึงในส่วนของ " กิตติกรรมประกาศ " ซึ่งสามารถให้ความรู้ได้เป็นอย่างดีพอสมควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี ก็เนื่องมาจากความกรุณา ในด้านความรู้ ข้อมูล เอกสาร และสิ่งต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาปริญญานิพนธ์นี้ จึงขอกล่าวนามของบุคคลและบริษัทต่างๆที่ให้ความอนุเคราะห์ดังกล่าวเป็นอย่างยิ่ง และทางคณผู้จัดทำ จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

1. บริษัทบุญธนาภัณฑ์ จำกัด
2. คุณพีรพน นะมาตร์ ผู้จัดการสนามกอล์ฟบางไทรกอล์ฟ แอนด์ คันทรีครับ
3. ผู้จัดการสนามกอล์ฟวินด์มิลล์
4. คุณจุฑารัตน์ ผู้จัดการสนามไดร์ฟกอล์ฟ ปิยรมย์สปอร์ตครับ
5. อ.เชาว์ ชมภูอินไหว ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ไฟฟ้า สจล.
6. อ. ชาย ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษา
7. รศ. ศุลี บรรจงจิตร อาจารย์ที่ปรึกษา
8. อ.สมโภชน์ ประไพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ศุลี บรรจงจิตร , "วิศวกรรมการส่องสว่าง", บริษัท ซีเอดยูเคชั่น จำกัด , 2538

[2] Independent Testing Laboratories , Inc , " User's Guide AutoLUX Vertion 5 "

[3] IES Lighting handbook 1981 : Application Volume

[4] IES Lighting handbook 1981 : Reference Volume

[5] ชำนาญ ห่อเกียรติ , "เทคนิคการส่องสว่าง", บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด

[6] ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช , "การออกแบบระบบแสงสว่าง", บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น

[7] มงคล ทองสงความ , "วิศวกรรมการส่องสว่าง", บริษัทรามาการพิมพ์

[8] พิบูลย์ ดิษฐอุดม , "การออกแบบระบบแสงสว่าง", บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น

[9] Dr. Michael J. Hurdzan , "Golf course architecture", Golf course superintendents association.

[10] ปริญญานิพนธ์ "Lighting for Entertainment" , คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาไฟฟ้า สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นาย บัญชา ชิรวาณิชย์ ชื่อเล่น โจโจ้ , กัมพ์
224/11 ถ.ราชวิถี แขวงบางขี่ขัน
เขตบางพลัด กรุงเทพ ฯ 10700
โทรศัพท์ 4351735 ,4345389
เพจเจอร์ 142 -4007492

นายณฤพนธ์ พานทอง ชื่อเล่น แอ๊ด
68 ถ.ไทรบุรี ซอย 15 ต.บ่อยาง
อ.เมือง จ . สงขลา 90000
โทรศัพท์ (074) 312300
เพจเจอร์ 1188 – 4147810

นายธนัญชย์ ศาสตรสาธิต ชื่อเล่น ตั๋ง
292 ม.1 ซอยร่วมใจ ถ.เพชรเกษม
ต.ไร่ส้ม อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76000
โทรศัพท์ (032) 427864
เพจเจอร์ 1500 - 788297

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้