

มุมเอียง · ทิศทาง · ปริมาณแสงแดด

หันแผงไปทางทิศใต้จริง เอียงประมาณ 20° ช่วง 15°–25° ให้ผลต่างจากค่าที่ดีที่สุดไม่ถึงครึ่งเปอร์เซ็นต์

รายงานนี้แสดงปริมาณแสงแดดที่พื้นที่นี้ได้รับ และมุมเอียงกับทิศทางที่รับแสงได้มากที่สุดตลอดทั้งปี จากนั้นนำผลไปใช้กับโครงสร้างทั้งสามแบบในแบบปัจจุบัน ได้แก่ หลังคาโรงจอดรถ โครงยึดพื้นทรง A และลึ่มขนาด 64 × 67 ซม.

แสงแดดบนพื้นราบ	มุมเอียงคงที่ที่ดีที่สุด	ทิศทางที่ดีที่สุด (อะซิมุต)	ผลผลิตไฟฟ้าโดยประมาณ
≈1,795 kWh/m²·ปี เฉลี่ย ≈4.9 kWh/m ² ต่อวัน (ค่ารังสีอาทิตย์)	≈20° ช่วง 15–25° ต่างจากค่าที่ดีที่สุดไม่เกิน 0.5%	180° ใต้ ทิศใต้จริง เบี่ยงได้ถึง ±20° สูญเสียไม่ถึง 1%	≈1,500 kWh/kWp·ปี ที่มุมใกล้ค่าที่ดีที่สุด สมมติค่า Performance Ratio 0.80

1 · พื้นที่นี้ได้รับแสงแดดเท่าไร

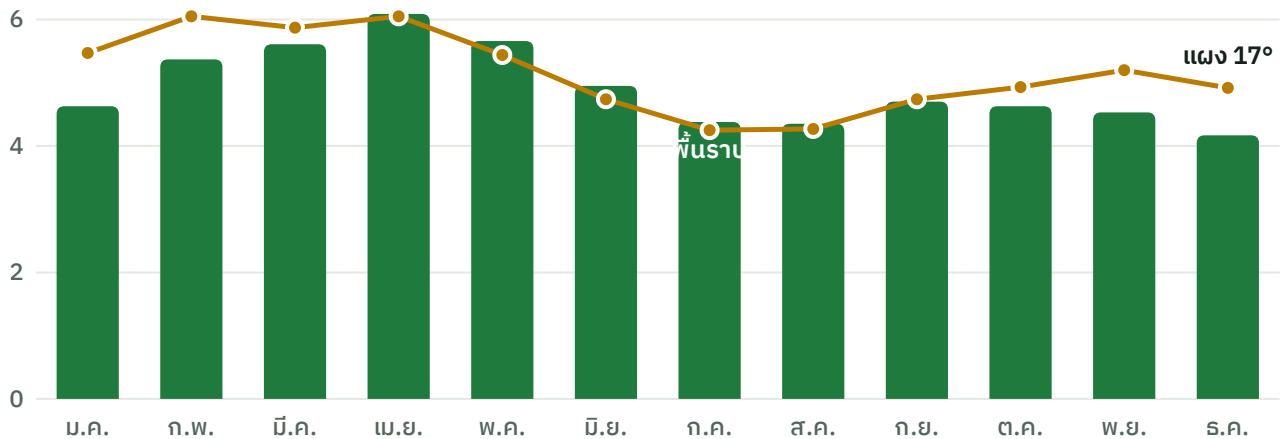
ประเทศไทยได้รับพลังงานแสงอาทิตย์บนพื้นราบประมาณ 18–20 MJ/m² ต่อวัน หรือ 5.0–5.6 kWh/m² โดยรวมครึ่งหนึ่งของประเทศได้รับ 18–19 MJ/m² ต่อวัน⁶⁷ สำหรับภาคเหนือ ผู้ติดตั้งในไทยระบุค่า 1,680–1,780 kWh/m² ต่อปี และผลผลิตจำเพาะ 1,350–1,450 kWh/kWp สำหรับเชียงใหม่และลำพูน⁴ โรงไฟฟ้าภาคพื้นดินขนาด 9.5 MW ที่อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย ออกแบบให้ผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 15,000 MWh ต่อปี หรือราว 1,580 kWh/kWp⁸

เพื่อให้ได้ข้อมูลรายเดือนของจุดนี้โดยเฉพาะ เราใช้สถิติชั่วโมงแสงแดดระยะยาวของเชียงราย (พ.ศ. 2524–2553)² ร่วมกับวิธี Ångström–Prescott ของ FAO-56³ ได้ค่าประมาณ **1,795 kWh/m² ต่อปี** บนพื้นราบ ซึ่งสูงกว่าช่วงค่าของภูมิภาคข้างต้นเล็กน้อย จึงควรถือเป็นค่าด้านสูง ในหนึ่งปีแบ่งได้ชัดเจนเป็นสามช่วง:

- **ฤดูร้อน (ก.พ.–พ.ค.):** เดือนที่แดดมากที่สุด สูงสุดประมาณ 6.1 kWh/m²/วัน ในเดือนเมษายน ในบางปีหมอกควันจากการเผาตามฤดูกาลอาจทำให้แสงในช่วงนี้ลดลง¹⁰
- **ฤดูมรสุม (มิ.ย.–ก.ย.):** มีแดดประมาณ 4 ชั่วโมงต่อวัน และฝนตก 300–370 มม. ต่อเดือนในเดือนกรกฎาคมและสิงหาคม แสงส่วนใหญ่เป็นแสงกระจาย (แสงที่ผ่านเมฆ) มุมเอียงจึงมีผลน้อยในช่วงนี้
- **ฤดูหนาว (พ.ย.–ม.ค.):** ท้องฟ้าแจ่มใสแต่ดวงอาทิตย์ต่ำ อยู่สูง 46.7° เหนือขอบฟ้าทิศใต้ในเวลาเที่ยงของวันที่ 21 ธันวาคม ช่วงนี้การเอียงแผงไปทางทิศใต้ได้ประโยชน์มากที่สุด

แสงแดดเฉลี่ยต่อวันรายเดือน - KWH/M² ต่อวัน

■ พื้นราบ (แนวนอน) — แผงเอียง 17° หันทิศใต้



ตั้งแต่พฤษภาคมจนถึงกุมภาพันธ์ แผงที่เอียง 17° รับแสงได้มากกว่าพื้นราบ 13–18% ส่วน พฤษภาคมถึงสิงหาคมรับได้น้อยกว่า 2–4% เพราะดวงอาทิตย์เกือบอยู่ตรงศีรษะ ตลอดทั้งปีแผงเอียงได้มากกว่าประมาณ 5%

2 · ตำแหน่งดวงอาทิตย์ที่ละติจูด 19.85° เหนือ

พื้นที่นี้อยู่ในเขตร้อน (ต่ำกว่าละติจูด 23.44°) ดวงอาทิตย์จึงผ่านตรงศีรษะปีละสองครั้ง ประมาณสองเดือนในช่วงกลางปี ดวงอาทิตย์เวลาเที่ยงจะอยู่ค่อนข้างไปทางทิศเหนือเล็กน้อย ช่วงที่เหลือของปี โดยเฉพาะเดือนที่อากาศเย็นและแห้ง ดวงอาทิตย์จะอยู่ทางทิศใต้ ดังนั้นแผงแบบติดตั้งคงที่ควรหันไปทางทิศใต้ โดยเอียงในระดับปานกลางเท่านั้น

19 พ.ค. · 24 ก.ค.

ดวงอาทิตย์อยู่ตรงศีรษะเวลาเที่ยงสุริยะ (ประมาณ 12:17 และ 12:27 น. เวลาท้องถิ่น)

สูง 46.7° ทางทิศใต้

ดวงอาทิตย์เวลาเที่ยงวันที่ 21 ธันวาคม กลางวันยาว 10 ชม. 56 นาที

สูง 86.4° ทางทิศเหนือ

ดวงอาทิตย์เวลาเที่ยงวันที่ 21 มิถุนายน กลางวันยาว 13 ชม. 20 นาที

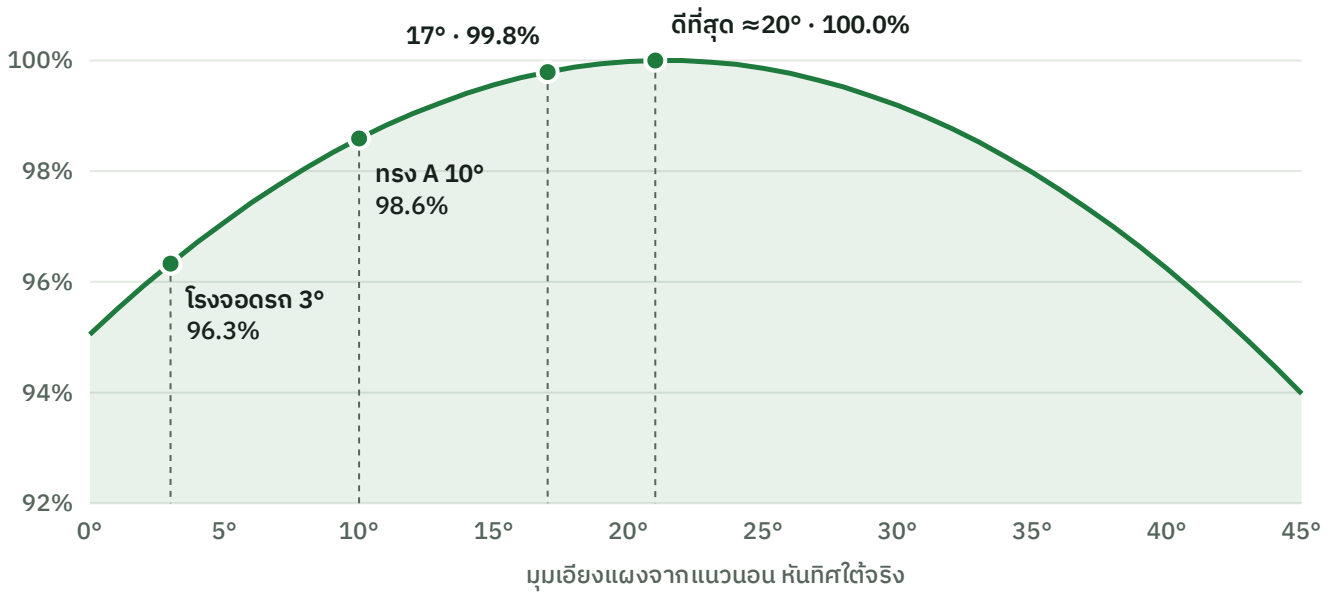
3 · มุมเอียงที่ดีที่สุด

งานวิจัยมุมเอียงที่เหมาะสมทั่วโลก (Jacobson & Jadhav, *Solar Energy*, 2018)

สร้างสูตรจากละติจูดไปสู่มุมเอียงที่ดีที่สุด ที่ 19.85° เหนือ ได้ $\approx 20.2^\circ$ ¹ คู่มือระดับ

ภูมิภาคของไทยแนะนำ 19° สำหรับเชียงใหม่ และ 18° สำหรับเชียงใหม่⁵ แบบจำลองของพื้นที่นี้ให้ผลสอดคล้องกัน คือดีที่สุดที่ 20–22° และเส้นกราฟแบนมากรอบจุดสูงสุด

แสงแดดรายปีบนแผงเทียบกับมุมเอียง · หันทิศใต้ · % ของค่าดีที่สุด



แผงวางราบรับแสงได้ 95% ของค่าดีที่สุด ทุกองศาที่เพิ่มระหว่าง 0° ถึง 10° ได้เพิ่มประมาณ 0.35% และเมื่อเกิน 15° เส้นกราฟเกือบราบ มุมที่ชันกว่า 30° เริ่มลดลงอีกครั้ง: 40° ได้ 96% และสามเหลี่ยม 51° ที่คุยกันก่อนหน้านี้จะได้ประมาณ 91%

มุมเอียงอย่างน้อย 10° เพื่อให้ทำความสะอาดตัวเองได้ หากต่ำกว่าประมาณ 10° น้ำฝนไหลออกไม่เร็วพอที่จะชะล้างฝุ่นและละอองเกสร ผู้ติดตั้งในไทยรายงานว่าแผงที่เกือบราบผลิตไฟฟ้าได้น้อยลง 5–10% ในช่วงหน้าแล้ง⁵ งานวิจัยระดับโลกพบเช่นกันว่าความสูญเสียจากฝุ่นลดลงเมื่อมุมเอียงเพิ่มขึ้น¹² Jacobson & Jadhav แนะนำอย่างน้อย ±10° ในเขตร้อนด้วยเหตุผลเดียวกัน¹ ฝุ่นจากการเกษตรและหมอกควันในหน้าแล้งทำให้เรื่องนี้สำคัญยิ่งขึ้นในภาคเหนือ

4 · ทิศทางที่ดีที่สุด (อะซิมุท)

หันแผงไปที่ทิศใต้จริง (อะซิมุท 180°) ตารางแสดงให้เห็นว่าเบี่ยงได้พอสมควร ที่มุมเอียงต่ำทิศทางแทบไม่มีผล เพราะแผงเกือบราบ เมื่อมุมเอียงมากขึ้น การหันออกจากทิศใต้จะเสียมากขึ้น แผงที่หันทิศเหนือเสียมากที่สุด จึงเป็นเหตุผลที่ด้านเหนือของโครงทรง A ต้องเอียงน้อย

แสงแดดรายปีบนแผง · % ของค่าดีที่สุด (20–21° ทิศใต้จริง)

ทิศที่หัน ↓ / มุมเอียง →	0°	3°	5°	10°	15°	17°	20°	25°	30°	40°
ใต้ 180°	95.1	96.3	97.1	98.6	99.6	99.8	100.0	99.9	99.2	96.2
ใต้ค่อนข้างออก/ตะวันตก ±22°	95.1	96.2	96.9	98.2	99.0	99.2	99.3	99.0	98.2	95.0
ตะวันออก/ตะวันตกเอียงใต้ ±45°	95.1	95.9	96.4	97.3	97.6	97.6	97.4	96.7	95.5	91.7
ตะวันออก / ตะวันตก 90°	95.1	95.0	94.8	94.0	92.8	92.2	91.1	89.1	86.8	81.3
เหนือ 0°	95.1	93.6	92.5	89.5	86.0	84.5	82.0	77.7	73.0	63.0

สีเขียวเข้มหมายถึงแสงมากกว่า ตัวอย่าง: ทิศใต้ 10° ได้ 98.6% ทิศตะวันออกเอียงใต้ 10° ได้ 97.3% ทิศตะวันออกหรือตะวันตก 10° ได้ 94.0% และทิศเหนือ 10° ได้ 89.5% ให้ใช้ทิศเหนือจริง ไม่ใช่ทิศเหนือของเข็มทิศ ในภาคเหนือของไทยทิศเหนือแม่เหล็กต่างจากทิศเหนือจริงไม่ถึงประมาณ 1° ดังนั้นเข็มทิศในโทรศัพท์ที่ตั้งเป็น "ทิศเหนือจริง" ก็แม่นยำเพียงพอ

5 · การนำไปใช้กับงานติดตั้งนี้

หลังคาโรงจอดรถ 28 แผง

แบบปัจจุบัน: เอียง $\approx 3^\circ$ (เสาน้ำ 2.30 ม. เสาหลัง 2.50 ม.) ได้ 96.3% ของค่าที่ดีที่สุด

ข้อเสนอ: ยกเป็น 10° หันทิศใต้ แสงเพิ่ม 2.3% หรือประมาณ +580 kWh ต่อปี และน้ำฝนช่วยล้างแผงได้เอง

ที่ 10° บนช่วงคาน 3.78 ม. เสาหลังจะสูงขึ้นจาก 2.50 ม. เป็นประมาณ 2.97 ม. เสาหน้าและเสาหลังรวมกันยาว 5.27 ม. ยังตัดจากท่อ 6 ม. หนึ่งในสี่ต่อโครงได้ ค่าเหล็กแทบไม่เปลี่ยน หลังคาที่สูงขึ้นรับแรงลมมากขึ้น วิศวกรจึงต้องตรวจสอบโครงและฐานรากใหม่

โครงทรง A ใต้ 7 + เหนือ 7

แบบปัจจุบัน: เอียง 10° ทั้งสองด้าน ด้านใต้ 98.6% ด้านเหนือ 89.5% เฉลี่ย 94.0%

คงไว้ที่ 10° หากเน้นต้นทุนและพื้นที่ขนาดเล็ก การเพิ่มมุมด้านเหนือจะเสียมากขึ้น ที่ 15° ลดลงเหลือ 86%

หากต้องการพลังงานสูงสุด ให้ติดตั้งทั้ง 14 แผง หันทิศใต้ที่ 17° – 20° จะได้เพิ่มประมาณ 6% ($\approx +760$ kWh ต่อปี) แต่ต้องใช้แถวลาดเดี่ยวยาว 16 ม. และเหล็กมากขึ้น ตามที่เราพบตอนคิดราคากลางเลือกต่าง ๆ

ลี้ม $64 \times 67 \times 19.8$ ซม.

เอียง 17.2° ได้ 99.8% ของค่าที่ดีที่สุด

ใช้ได้ดีตามเดิม หันไปทิศใต้จริง ที่ 17° ยังระบายฝุ่นและน้ำฝนได้ดี

แบบที่สูง 51 ซม. (38.6 – 49.6°) จะได้เพียงประมาณ 91–97% ของค่าที่ดีที่สุด และโครงที่สูงกว่ารับแรงลมมากกว่า

ทางเลือก	มุมเอียง / ทิศทาง	แสงแดดบนแผง	พลังงานโดยประมาณต่อปี*
โรงจอดรถตามแบบ	3° · ใต้	1,819 kWh/m ²	$\approx 26,500$ kWh (18.2 kWp)
โรงจอดรถยกมุม	10° · ใต้	1,859 kWh/m ²	$\approx 27,100$ kWh (+580)
ทรง A ตามแบบ	10° · ใต้ 7 + เหนือ 7	1,777 kWh/m ² เฉลี่ย	$\approx 12,900$ kWh (9.1 kWp)
ทรง A หันใต้ทั้งหมด	17° · ใต้	1,881 kWh/m ²	$\approx 13,700$ kWh (+760)

*พลังงาน = แสงแดดบนแผง $\times$ Performance Ratio 0.80 $\times$ kWp เป็นค่าประมาณสำหรับเปรียบเทียบทางเลือก ก่อนเสนอราคาลูกค้า ควรตรวจสอบตัวเลขจริงกับ PVGIS หรือ Global Solar Atlas สำหรับจุดนี้⁹

6 · ปัจจัยอื่นที่สำคัญหน้างาน

- **เงาสำคัญกว่ามุม** ต้นไม้ เสา หรืออาคารที่บังแผงบางส่วนในช่วงเช้าหรือบ่าย อาจทำให้สูญเสียมากกว่าการเลือกมุมเอียงใด ๆ ตรวจสอบขอบฟ้าทางทิศตะวันออก ใต้ และตะวันตก โดยเฉพาะดวงอาทิตย์ฤดูหนาวที่ต่ำทางทิศใต้ อยู่สูง 47° ตอนเที่ยงและต่ำกว่านั้นมากในตอนเช้า
- **ความร้อน** แผงที่ร้อนผลิตไฟได้น้อยลง ประมาณ 0.3% ต่อทุก 1°C ที่ร้อนขึ้น โรงจอดรถและโครงทรง A ที่ยกสูงมีอากาศถ่ายเทด้านล่าง จึงเย็นกว่าแผงที่ติดแนบหลังคา
- **การทำความสะอาด** วางแผนล้างแผงช่วงปลายหน้าแล้ง (มีนาคม–เมษายน) ซึ่งฝุ่นและหมอกควันสะสมมาก และล้างบ่อยขึ้นหากมุมเอียงต่ำกว่า 10°
- **แต่ละสตรึงควรหันทิศเดียวกัน** สำหรับโครงทรง A ด้านใต้และด้านเหนือควรต่อเข้า MPPT แยกกัน หรืออย่างน้อยแยกสตรึง เพราะผลิตไฟสูงสุดคนละเวลา

วิธีการและสมมติฐาน

ค่าแสงแดดรายเดือนบนพื้นราบคำนวณจากชั่วโมงแสงแดดของเชียงใหม่ (พ.ศ. 2524–2553) จากกรมชลประทาน² ด้วยสูตร Ångström–Prescott และค่าสัมประสิทธิ์มาตรฐานของ FAO-56 คือ $a = 0.25$ และ $b = 0.50$ ³ จากนั้นกระจายค่ารายเดือนเป็นรายชั่วโมงด้วยแบบจำลองท้องฟ้าแจ่มใสของ pvlib (Linke turbidity 4.0) และแยกเป็นแสงตรงและแสงกระจาย (วิธี Erbs) แล้วคำนวณแสงบนแผงในแต่ละมุมเอียงและทิศทางด้วยแบบจำลองท้องฟ้า Hay–Davies ค่าการสะท้อนของพื้น 0.2 และรวมความสูญเสียจากมุมตกกระทบทั้งหมดคำนวณด้วย pvlib-python¹¹ ผลเชิงสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์และมุมที่ดีที่สุด) เชื่อกันได้ ส่วนค่า kWh สัมบูรณ์ขึ้นกับการแปลงชั่วโมงแสงแดดเป็นพลังงาน ซึ่งให้ผลรวมสูงกว่าค่าที่เผยแพร่ของภูมิภาคเล็กน้อย⁴ จึงควรถือเป็นค่าด้านสูง เราไม่สามารถดึงข้อมูล PVGIS และ NASA POWER ของจุดนี้ได้จากที่นี่ การตรวจสอบกับเครื่องมือเหล่านั้นจึงเป็นขั้นตอนสุดท้ายที่เหมาะสม

เอกสารอ้างอิง

1. Jacobson, M. Z. & Jadhav, V. (2018). World estimates of PV optimal tilt angles and ratios of sunlight incident upon tilted and tracked PV panels relative to horizontal panels. *Solar Energy*. [Stanford PDF](#)
2. ตารางภูมิอากาศเชียงราย: ชั่วโมงแสงแดด พ.ศ. 2524–2553 (กรมชลประทาน) ค่าปกติ WMO พ.ศ. 2534–2563 [Wikipedia – Chiang Rai](#)
3. Allen, R. G. et al. (1998). FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Chapter 3: Meteorological data (สูตร Ångström) [FAO](#)
4. CapSolar. ผลผลิตไฟฟ้าและ Performance Ratio ในประเทศไทย (คู่มือ kWh/kWp) [capsolar.co.th](#)
5. Green Energy Thailand. บุนและทิศทางแผงโซลาร์ที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย: คู่มือบุนเอียงรายภูมิภาค (2026) [greenenergythailand.com](#)
6. พลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย: ข้อมูลศักยภาพจาก พพ. (DEDE) [Wikipedia](#)
7. Solaris Green Energy. แผนที่ Solar GIS ของประเทศไทย [solaris.co.th](#)
8. REC Group (2013). กรณีศึกษา: โรงไฟฟ้า 9.5 MW อำเภอแม่จัน เชียงราย [REC PDF](#)
9. World Bank / Global Solar Atlas. ประเทศไทย: แผนที่รังสีอาทิตย์และศักยภาพพลังงาน PV [World Bank Data Catalog](#)
10. NASA Earth Observatory. หมอกควันปกคลุมภาคเหนือของไทย [NASA](#)
11. pvlib-python: แบบจำลองตำแหน่งดวงอาทิตย์ ท้องฟ้าแจ่มใส การแยกองค์ประกอบ และการแปลงค่าแสงบนระนาบเอียง [pvlib documentation](#)
12. Analysis of soiling loss in photovoltaic modules: a review (2023). *Sustainability* 15(24):16669. [MDPI](#)