

บันทึกทางเทคนิค · โครงสร้างติดตั้งแผงบนพื้นดิน STR-02 · TN-20261019-STR-FTG02 Rev01

ฐานรากทางเลือกสำหรับโครงสร้าง STR-02

ฐานราก 4 แบบที่มีกำลังและความต้านทานแรงลมเท่ากับฐานรากแผ่ตามสัญญา

เอกสารเพิ่มเติมของ TN-20261019-STR-FTG01 (ขยายความจากเอกสารแนบ E) สำหรับใช้ตามข้อ 2 (ฐานราก) ของสัญญา

โครงการ	ระบบแผงโซลาร์ออฟกริด LONGi 650 W จำนวน 45 แผง บนโครงสร้างติดตั้งบนพื้นดินแบบต่ำ STR-02 เสา 36 ต้น
สถานที่ติดตั้ง	พื้นที่ติดตั้งในจังหวัดเชียงราย ประเทศไทย · ลูกค้าเอกชน
เอกสาร / วันที่	TN-20261019-STR-FTG02 Rev01 · 19 ต.ค. 2569

วัตถุประสงค์ ข้อ 2 ของสัญญาอนุญาตให้บริษัท โซลาร์ เอสส์ จำกัด เปลี่ยนแบบฐานรากที่หน้างานได้เมื่อสภาพพื้นที่จำเป็น โดยฐานรากใหม่ต้องออกแบบรับแรงลมและแรงถอนอย่างถูกต้อง บันทึกนี้นำเสนอฐานรากทางเลือก 4 แบบที่ออกแบบไว้พร้อมใช้ ซึ่งแต่ละแบบผ่านการตรวจสอบการออกแบบทุกข้อเทียบเท่าฐานรากแผ่ตามสัญญา สามารถใช้แบบใดแบบหนึ่งแทนฐานรากแผ่ได้ทีละบางต้นหรือทั้ง 36 ต้น โดยไม่ต้องเปลี่ยนโครงสร้างส่วนบน สลักยึด (anchor bolt) ระดับแป หรือราคาตามสัญญา

1. เกณฑ์ความเทียบเท่า (อ้างอิงจากฐานรากตามสัญญา)

รายการตรวจสอบ	ข้อกำหนดที่ฐานรากทางเลือกทุกแบบต้องผ่าน
แรงถอนจากลม (มยผ. 1311-50, เชียงราย, $V = 25 \text{ m/s}$)	446 kgf ที่เสาภายใน (223 kgf ที่เสาปลายแถว) ค่าความปลอดภัย ≥ 1.5 โดยคิณ้ำหนักบรรทุกคงที่เพียง 90% ฐานรากแผ่ตามสัญญาได้ 1.58
น้ำหนักที่ต้องการ	$0.9 \times (\text{น้ำหนักฐานราก} + \text{น้ำหนักโครงสร้างที่แบ่งรับ } 70 \text{ kg}) \geq 1.5 \times 446 \rightarrow \text{น้ำหนักฐานราก (คอนกรีต + ดินที่ทับอยู่)} \geq \mathbf{673 \text{ kg}}$ เว้นแต่พิสูจน์กำลังดินด้วยการทดสอบแรงดึง
แรงลมด้านข้าง	62 kgf ที่โคนเสา ค่าความปลอดภัยต่อการเลื่อนไถล ≥ 1.5
กำลังรับน้ำหนักของดิน	$\leq 5 \text{ t/m}^2$ สำหรับดินเดิมที่แน่น (ค่าสมมติ เท่ากับแบบตามสัญญา)
การเชื่อมต่อ	J-bolt M12 จำนวน 2 ตัว ระยะ 110 mm และแผ่นเหล็กฐาน $160 \times 160 \times 6 \text{ mm}$ เหมือนเดิม (กำลังต้านการถอนของสลัก ≥ 4 เท่าของแรงที่ต้องการ)
โครงสร้างส่วนบน	ท้องแปอยู่ที่ +0.40 m (ด้านหน้า) และ +0.59 m (ด้านหลัง) เหนือระดับดินที่ปรับแล้ว แผงจึงอยู่ตำแหน่งตามแบบทุกประการ

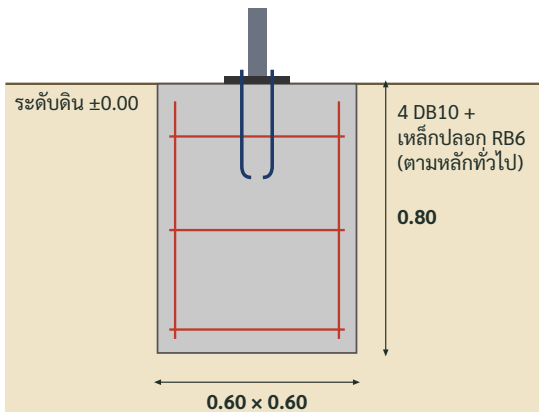
2. สรุปฐานรากทางเลือกทั้ง 4 แบบ

ฐานราก	ขนาด (ต่อเสา)	คอนกรีต ต่อเสา	คอนกรีต 36 เสา	งานชุด	SF แรงถอน	ข้อดีหลัก	สิ่งที่ต้องใช้
ตามสัญญา: ฐานรากแผ่เสริม เหล็ก + ตอม่อ	ฐานแผ่ $0.80 \times 0.80 \times 0.15$ m ที่ความลึก 0.60 m ตอม่อ 0.25×0.25 m	0.124 m ³	4.5 m ³	หลุม $1.0 \times 1.0 \times 0.65$ m	1.58	ใช้คอนกรีตน้อยที่สุด	แบบหล่อ ตะแกรงเหล็ก บด อัดดินเป็นชั้น
A: แท่งคอนกรีต ล้นหลอมในหลุม	0.60×0.60 m ลึก 0.80 m ผิวบนเสมอ ระดับดิน	0.288 m ³	10.4 m ³	หลุม $0.6 \times 0.6 \times 0.8$ m (ผนังหลุม เป็นแบบหล่อ)	1.54	เทครั้งเดียว ไม่ต้องใช้ แบบหล่อ ไม่ต้องบดอัด ดินกลบ ช่างท้องถิ่นทำได้ ง่ายที่สุด	ผนังหลุมต้องตั้ง อยู่ได้ไม่พัง
B: แท่งถ่วงน้ำ หนักแบบตัน	$1.00 \times 1.00 \times 0.30$ m ฝังลงดิน 0.15 m	0.300 m ³	10.8 m ³	ปาดหน้าดิน 0.15 m เท่านั้น	1.59	แทบไม่ต้องชุด หล่อ สำเร็จได้และย้ายภายหลัง ได้	แท่งหนัก 720 kg: หลอมในที่ หรือยก ด้วยรถเครน
C: เสาเข็มเจาะ คอนกรีต	$\varnothing 0.40$ m ลึก 1.20 m	0.151 m ³	5.4 m ³	เจาะด้วยสว่าน ไม่ต้องกลบดิน	≥ 1.5 เมื่อ ผ่านการ ทดสอบ	เร็วที่สุดหากมีสว่านเจาะ ดิน พื้นที่ผิวน้อย	สว่านเจาะดิน ทดสอบแรงดึงที่ หน้างาน 1 ต้น
D: สกรูเกลียดยึด ดิน (ground screw)	สกรูชุบสังกะสี $\varnothing 76$ mm ยาว 1.6 m มีหน้า แปลนด้านบน	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี (ขันลงดิน)	≥ 1.5 เมื่อ ผ่านการ ทดสอบ	ไม่ใช้คอนกรีต ไม่ต้องบ่ม ตั่งเสาได้ในวันเดียวกัน	เครื่องขันสกรู ทดสอบแรงดึงที่ หน้างาน

SF = ค่าความปลอดภัยต่อแรงถอนจากลมที่เสายาวใน (กรณีวิกฤตที่สุด) คำนวณน้ำหนักบรรทุกคงที่ 90% แบบ A และ B พิสูจน์ได้ด้วยน้ำหนักเพียงอย่างเดียว เช่นเดียวกับฐานรากตามสัญญา แบบ C และ D อาศัยแรงเสียดทานของดินหรือแรงยึดของเกลียวสกรูด้วย จึงยอมรับใช้ได้หลังผ่านการทดสอบแรงดึงที่หน้างานตามหัวข้อ 4 เท่านั้น

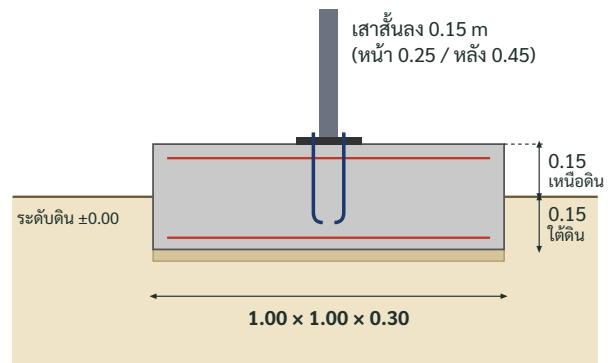
3. แบบรูปตัด

A – แท่งคอนกรีตสั้นลงในหลุม



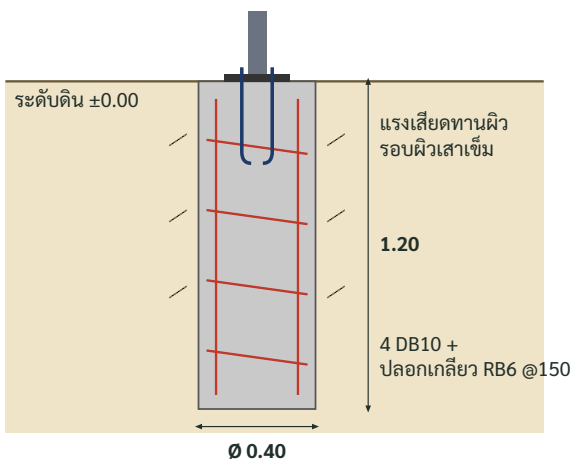
เทคอนกรีตชิดดินเดิมที่ไม่ถูกรบกวน ใช้เสาเดิมไม่เปลี่ยน

B – แท่งถ่วงน้ำหนักแบบตัน

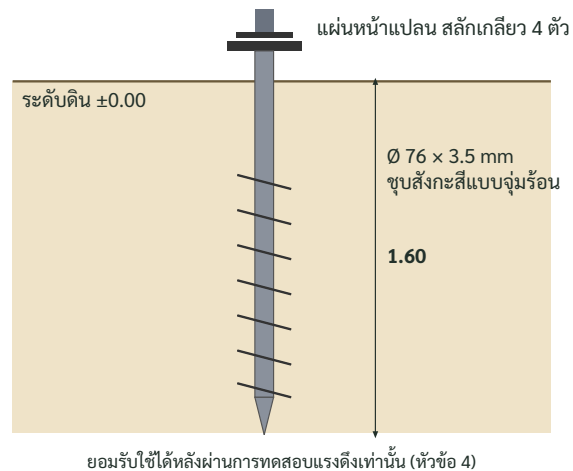


ตะแกรงเหล็ก DB10 @200 ทั้งบนและล่าง รองพื้นหินกรวด 50 mm

C – เสาเข็มเจาะคอนกรีต



D – สกรูเกลียดยึดดิน



ยอมรับใช้ได้หลังจากการทดสอบแรงดึงเท่านั้น (หัวข้อ 4)

รูปที่ 1 – รูปตัดทั่วไปของฐานรากทางเลือกทั้ง 4 แบบ (มาตราส่วนแต่ละรูปไม่เท่ากัน หน่วยเป็นเมตร) ทุกแบบใช้เสา แผ่นเหล็กฐาน และสลักยึด M12 จำนวน 2 ตัว เหมือนฐานรากตามสัญญา ยกเว้นแบบ D ซึ่งยึดแผ่นเหล็กฐานของเสาเข้ากับหน้าแปลนของสกรูด้วยสลักเกลียว

4. การออกแบบฐานรากแต่ละแบบ

แบบ A — แท่งคอนกรีตล้นหลอม (0.60 × 0.60 × 0.80 m)

รายการตรวจสอบ	การคำนวณ	ผลลัพธ์
น้ำหนักคอนกรีต: $0.60 \times 0.60 \times 0.80 = 0.288 \text{ m}^3$ $\times 2,400 \text{ kg/m}^3$	691 kg รวมน้ำหนักโครงสร้างที่แบ่งรับ 70 kg → 761 kg	
แรงถอน (ไม่คิดแรงเสียดทานด้านข้าง)	$0.9 \times 761 = 685 \text{ kg} \div 446 \text{ kgf}$	SF 1.54
เสาปลายแถว	$0.9 \times (691 + 37) = 655 \text{ kg} \div 223 \text{ kgf}$	SF 2.9
กำลังรับน้ำหนักของดิน	$(446 + 761) \text{ kg} \div 0.36 \text{ m}^2 = 3.4 \text{ t/m}^2$ เทียบกับ 5 t/m^2	ผ่าน
แรงดันข้าง	แรงดันดินแบบพาสซีฟบนหน้ากว้าง 0.60 m ลึก $0.80 \text{ m} \approx \frac{1}{2} \times 3 \times 1,600 \times 0.8^2 \times 0.6 = 922 \text{ kg}$ เทียบกับ 62 kgf	SF > 10
สลักยึด	J-bolt M12 จำนวน 2 ตัว ฝังในคอนกรีต 250 mm (เหมือนแบบตามสัญญา)	ผ่าน

วิธีก่อสร้าง: ขุดหลุม $0.60 \times 0.60 \text{ m}$ ให้เรียบร้อย ลึก 0.80 m ผนังหลุมตรง ใส่โครงเหล็กขนาดเล็ก 4 DB10 (ยาว 0.75 m) พร้อมเหล็กปลอก RB6 สามเส้น เพื่อยึดตำแหน่งสลักและควบคุมการแตกร้าว แล้วเทคอนกรีตครั้งเดียวจนถึงระดับดิน ติดตั้งสลักด้วยแบบกำหนดตำแหน่ง (template) และปาดผิวบนให้ได้ระดับ ไม่ต้องใช้แบบหล่อ ไม่ต้องรองหินกรวด และไม่ต้องบดอัดดินเป็นชั้น

เหมาะสำหรับ: ทุกพื้นที่ที่ผนังหลุมตั้งอยู่ได้ไม่พังทลาย (ดินเหนียวหรือดินตะกอนทรายแข็งที่แน่นส่วนใหญ่) หากเป็นทรายหลวมหรือดินถมให้ใช้แบบ B

ค่าความปลอดภัยจริงสูงกว่านี้: คอนกรีตที่เทชิดดินเดิมยังยึดเกาะกับผนังหลุมด้วย ซึ่งไม่ได้นำมาคิด

แบบ B — แท่งถ่วงน้ำหนักแบบตื้น ($1.00 \times 1.00 \times 0.30 \text{ m}$ ฝังในดิน 0.15 m)

รายการตรวจสอบ	การคำนวณ	ผลลัพธ์
น้ำหนักคอนกรีต: $1.00 \times 1.00 \times 0.30 = 0.30 \text{ m}^3 \times 2,400 \text{ kg/m}^3$	720 kg รวมน้ำหนักโครงสร้างที่แบ่งรับ 70 kg → 790 kg	
แรงถอน	$0.9 \times 790 = 711 \text{ kg} \div 446 \text{ kgf}$	SF 1.59
เสาปลายแถว	$0.9 \times (720 + 37) = 681 \text{ kg} \div 223 \text{ kgf}$	SF 3.1
กำลังรับน้ำหนักของดิน	$(446 + 790) \text{ kg} \div 1.0 \text{ m}^2 = 1.2 \text{ t/m}^2$ เทียบกับ 5 t/m^2	ผ่าน
การเลื่อนไถลขณะรับแรงถอนเต็มที่	น้ำหนักสุทธิ $711 - 446 = 265 \text{ kg} \times$ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน $0.45 = 119 \text{ kg}$ บวกแรงต้านของดินที่หน้าฝัง 0.15 m เทียบกับ 62 kgf	SF 1.9
ความยาวเสา	ผิวบนแท่งอยู่ที่ $+0.15 \text{ m}$ เสาจึงสั้นลง 0.15 m : ด้านหน้า 0.25 m ด้านหลัง 0.45 m ระดับแปไม่เปลี่ยน	ผ่าน

วิธีก่อสร้าง: ปาดหน้าดิน 0.15 m บดอัด รองหินกรวด 50 mm ตั้งแบบไม้ขนาด $1.0 \times 1.0 \text{ m}$ วางตะแกรงเหล็ก DB10 @200 mm ทั้งบนและล่าง ติดตั้งสลักด้วยแบบกำหนดตำแหน่ง แล้วเทคอนกรีต หรือหล่อสำเร็จนอกพื้นที่ (หนัก 720 kg ต้องใช้รถเครน และหล่อห้วยยกฝังไว้ 2 จุด)

เหมาะสำหรับ: พื้นที่ที่มีหินหรือระดับน้ำใต้ดินสูงใกล้ผิวดิน มีท่อฝังอยู่ หรือพื้นที่ที่อาจต้องย้ายฐานรากหรือขยายแผงในอนาคต

หมายเหตุ: การฝังลึก 0.15 m คือสิ่งที่ป้องกันการเลื่อนไถล ห้ามวางแท่งคอนกรีตบนผิวดินเฉย ๆ

แบบ C — เสาเข็มเจาะคอนกรีต (Ø 0.40 m x 1.20 m)

รายการตรวจสอบ	การคำนวณ	ผลลัพธ์
น้ำหนักคอนกรีต: $\pi \times 0.20^2 \times 1.20 = 0.151 \text{ m}^3 \times 2,400 \text{ kg/m}^3$	362 kg รวมน้ำหนักโครงสร้างที่แบ่งรับ $\rightarrow 432 \text{ kg}$; $0.9 \times 432 = 389 \text{ kg}$	
แรงเสียดทานผิวที่ต้องการเพื่อให้ได้ SF 1.5	$1.5 \times 446 - 389 = 280 \text{ kg}$ กระจายบนผิวเสาคement ส่วนที่ต่ำกว่า 0.2 m ($\pi \times 0.40 \times 1.0 = 1.26 \text{ m}^2$) $\rightarrow 0.22 \text{ t/m}^2$ (2.2 kPa)	
แรงเสียดทานผิวทั่วไปของดินเหนียวหรือดินตะกอนที่แน่น	10–30 kPa คิดเป็น 5 ถึง 14 เท่าของค่าที่ต้องการ 2.2 kPa	ยืนยันด้วยการทดสอบ
กำลังรับน้ำหนักและแรงดันข้าง	น้ำหนักกดลงรับด้วยแรงแบกทานที่ปลายและแรงเสียดทานผิว แรงดันข้าง 62 kgf ด้านด้วยความลึกฝัง 1.2 m	ผ่าน

วิธีก่อสร้าง: เจาะหลุม Ø 0.40 m ลึก 1.20 m ทำความสะอาดกันหลุม หย่อนโครงเหล็ก 4 DB10 (ยาว 1.15 m) พร้อมปลอกเกลียว RB6 @150 mm เทคอนกรีตถึงระดับดิน และติดตั้งสลักไม้ไม่ต้องกลบดิน

เกณฑ์การยอมรับ: ก่อนทำครบ 36 ต้น ให้สร้างเสาคement ทดสอบ 1 ต้น บ่ม 7 วัน แล้วดึงด้วยแม่แรงยันกับคานรับแรงจนถึง 670 kgf (1.5×446) การเคลื่อนตัวภายใต้แรงต่อน้อยกว่า 5 mm หากสภาพดินเปลี่ยนไปในแต่ละส่วนของพื้นที่ ให้ทดสอบแถวละ 1 ต้น

แบบ D — สกรูเหล็กยึดดินซูปสังกะสี (Ø 76 mm x 1.6 m)

รายการ	ข้อกำหนด
สกรู	ท่อเหล็ก Ø 76 x 3.5 mm มีใบเกลียวต่อเนื่อง ยาว 1.6 m ซูปสังกะสีแบบจุ่มร้อนอย่างน้อย 80 µm หน้าแปลนด้านบนพร้อมสลักเกลียว 4 ตัว ยึดกับแผ่นเหล็กฐานของเสา
การทดสอบแรงดึง (แรงถอน)	สกรูทดสอบอย่างน้อย 3 ต้น กระจายทั่วพื้นที่ แต่ละต้นรับแรง 670 kgf ค้างไว้ 5 นาที การเคลื่อนตัวน้อยกว่า 5 mm
การทดสอบแรงดันข้าง	95 kgf (1.5×62) กระทำที่ความสูง 0.6 m เหนือดิน การโก่งตัวที่ปลายบนน้อยกว่า 10 mm
แรงบิดขณะติดตั้ง	บันทึกแรงบิดสุดท้ายของสกรูทดสอบแต่ละต้น สกรูที่ติดตั้งจริงทุกต้นต้องได้แรงบิดอย่างน้อยเท่ากัน มิฉะนั้นให้เพิ่มความยาวหรือใช้แบบ A ที่เสาต้นนั้น

ข้อดี: ไม่ใช้คอนกรีต ไม่ต้องบ่ม และไม่มีดินเหลือทิ้ง ตั้งเสาได้ในวันเดียวกัน และถอนสกรูออกได้ในภายหลัง

ข้อจำกัด: ต้องใช้เครื่องขันสกรู สกรูอาจติดหินหรือก้อนหินขนาดใหญ่ กำลังรับแรงขึ้นอยู่กับผลการทดสอบที่หน้างานทั้งหมด

5. เลือกใช้แบบใด

สภาพพื้นที่หรือสิ่งที่มีความสำคัญ	ฐานรากที่แนะนำ
ดินแน่นปกติ ใช้แรงงานช่างท้องถิ่น	แบบ A: เทครึ่งเดียว ไม่ต้องใช้แบบหล่อหรือบดอัด ก่อสร้างให้ถูกต้องได้ง่ายที่สุด
มีหิน น้ำ หรือท่อใกล้ผิวดิน ทรายนลวม หรือดินถม อาจย้ายในอนาคต	แบบ B: แท่งคอนกรีตแบบตื้น ชุดน้อย
มีส่วนเจาะดิน ดินเหนียวแน่น ต้องการความเร็ว	แบบ C หลังผ่านการทดสอบแรงดึง
ตั้งโครงสร้างได้เร็วที่สุด ไม่ใช้คอนกรีต มีเครื่องจักร	แบบ D หลังผ่านการทดสอบแรงดึงและแรงดันข้าง
ใช้คอนกรีตน้อยที่สุด ดินเหมาะกับการบดอัด	ฐานรากแผ่ตามสัญญา

สามารถใช้ฐานรากหลายแบบผสมกันในพื้นที่ได้ทีละต้น เพราะทุกแบบให้ความต้านทานแรงถอนและแรงดันข้างเท่ากัน และให้ระดับแปเท่ากัน การเปลี่ยนแปลงทุกครั้งต้องบันทึกพร้อมรหัสฐานราก (A1 ... F6) รูปถ่าย และเหตุผล และรายงานในการแจ้งความคืบหน้าตามที่ข้อ 2 ของสัญญากำหนด

6. หมายเหตุ

- เกณฑ์การออกแบบ น้ำหนักบรรทุกทุก และสมมติฐานของดิน เหมือนกับ TN-20261019-STR-FTG01: แรงลมตาม มยผ. 1311-50 สำหรับเชียงราย น้ำหนักบรรทุกคงที่คิด 90% คอนกรีต 240 ksc เหล็ก DB10 SD40 ดินเดิมที่แน่นโดยสมมติกำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้ 5 t/m²
- แบบ A และ B อาศัยน้ำหนักเพียงอย่างเดียวและไม่ต้องทดสอบดิน แบบ C และ D อาศัยแรงเสียดทานของดินหรือแรงยึดของเกลียวสกรู และยอมรับใช้ได้หลังผ่านการทดสอบที่หน้างานตามที่ระบุไว้ข้างต้นเท่านั้น
- ปริมาณคอนกรีตเป็นปริมาณสุทธิ ควรเผื่อสูญเสียประมาณ 10% แบบ B ต้องใช้เสาสั้นลง 0.15 m แบบอื่นทั้งหมดใช้เสาตามเอกสารแนบ A โดยไม่เปลี่ยนแปลง