Report for Noob

คู่มือเข้าใจง่าย: เราพิสูจน์อะไร และรู้ได้อย่างไร

การตรวจจับรอยแตกกระดูกด้วยการกระเจิงรังสีเอกซ์ (SPR)

สำหรับผู้อ่านที่**ไม่คุ้นเคยกับสถิติวิจัย** — อธิบายทุกอย่างจากศูนย์

Baanwit Academy • July 15, 2026

รายงานนี้คืออะไร?

เราทำการทดลอง (จำลองด้วยคอมพิวเตอร์) เพื่อตอบคำถามว่า “รอยแตกกระดูกเล็ก ๆ ทิ้งร่องรอยที่ตรวจจับได้ใน **การกระเจิงของรังสีเอกซ์** หรือไม่” รายงานนี้จะพาคุณไปทีละขั้น: (1) แต่ละการทดลอง**ตั้งคำถาม (สมมติฐาน)** ว่าอย่างไร, (2) เราใช้**เครื่องมือสถิติ**อะไรตัดสิน (พร้อมตัวอย่างคำนวณจริง), (3) **กราฟอ่านอย่างไร** และมันบอกอะไร, (4) สรุปทั้งหมด — โดย**ไม่ถือว่าคุณรู้สถิติมาก่อน**

สารบัญ

1 ปูพื้นฐาน: ศัพท์สถิติที่ต้องรู้ (แบบบ้าน ๆ) 2

1.1 สมมติฐาน (Hypothesis) — คำถามที่จะพิสูจน์ . . . 2
1.2 ค่าเฉลี่ย, การกระจาย, และ “สัญญาณเทียบ noise” (t-value) . . . 2
1.3 p-value — “โอกาสที่จะเป็นเรื่องบังเอิญ” . . . 2
1.4 ช่วงความเชื่อมั่น (Confidence Interval) และ Bootstrap . . . 2
1.5 การทดสอบด้วยการสลับ (Permutation / Null test) . . . 2
1.6 กำลังทางสถิติ (Power) — “ต้องวัดกี่ครั้งถึงจะเห็น” . . . 3
1.7 สหสัมพันธ์ (Correlation, Spearman ρ) . . . 3
1.8 การจับคู่ (Paired / within-seed) — เคล็ดลับเพิ่มความแม่น . . . 3

2 การทดลองทีละอัน: สมมติฐาน $\longrightarrow$ วิธี $\longrightarrow$ สถิติ $\longrightarrow$ กราฟ 4

2.1 CL-0 — “เห็นสัญญาณของรอยแตกไหม?” . . . 4
2.2 CL-1 — “สัญญาณมั่นคงแค่ไหน? รอยแตกเล็กสุดเชื่อได้ไหม?” . . . 4
2.3 CL-2 — “เครื่องมือเราโกหกไหม? (ผลบวกลวง)” . . . 5
2.4 CL-7 — “ทำไมสัญญาณอิ่มตัว? เป็นของจริงหรือข้อจำกัดการวัด?” . . . 5
2.5 CL-3 — “สัญญาณเป็นไปตามฟิสิกส์ของพลังงานรังสีไหม?” . . . 5
2.6 CL-6 — “สัญญาณขึ้นกับมุมยิงรังสีตามเรขาคณิตไหม?” . . . 6

3 สรุปทั้งหมด (ฉบับเข้าใจง่าย) 8

1. ปูพื้นฐาน: ศัพท์สถิติที่ต้องรู้ (แบบบ้าน ๆ)

ก่อนดูการทดลอง เรามาทำความรู้จัก “เครื่องมือ” ที่ใช้ตัดสินกันก่อน — อธิบายด้วยภาษาคน

1.1 สมมติฐาน (Hypothesis) — คำถามที่จะพิสูจน์

คืออะไร

สมมติฐานคือข้อความที่เราจะทดสอบว่าจริงไหม เช่น “รอยแตกทำให้สัญญาณ SPR เปลี่ยน”. นักสถิติชอบตั้ง **คู่ตรงข้าม** 2 อัน: **H0 (null)** = “ไม่มีอะไรเกิดขึ้น / เป็นเรื่องบังเอิญ” และ **H1** = “มีผลจริง”. งานของเราคือหาหลักฐานว่า H0 ไม่น่าจะจริง เพื่อจะเชื่อ H1

1.2 ค่าเฉลี่ย, การกระจาย, และ “สัญญาณเทียบ noise” (t-value)

เวลาเราวัดอะไรหลาย ๆ ครั้ง ค่าจะไม่เท่ากันเป๊ะ (มี noise). เราสนใจ 2 อย่าง: **ค่าเฉลี่ย** (สัญญาณ) และ **ความกระจาย** (noise).

t-value = สัญญาณหารด้วย noise

$$t = \frac{\text{ค่าเฉลี่ย}}{\text{ความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย}} = \frac{\overline{x}}{s/\sqrt{N}}$$

($\overline{x}$ = ค่าเฉลี่ย, s = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, N = จำนวนครั้งที่วัด). $|t|$ **ยิ่งมากยิ่งดี** = สัญญาณเด่นชัดเหนือ noise. โดยคร่าว ๆ $|t| > 2$ เริ่มน่าเชื่อ

ตัวอย่าง: ในการทดลอง CL-0 รอยแตก 0.306 มม. เราวัด 8 ครั้ง ได้ค่าเฉลี่ย $\overline{x} = -3.33$ (หน่วย $\times 10^{-5}$), ความกระจาย $s = 3.02$. ความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย $= s/\sqrt{8} = 3.02/2.83 = 1.07$. ดังนั้น $t = -3.33/1.07 = -3.12$ — แปลว่าสัญญาณ (ค่าเฉลี่ยติดลบ) เด่นกว่า noise ประมาณ 3 เท่า (เครื่องหมายลบ บอกทิศทาง = SPR “ลดลง”)

1.3 p-value — “โอกาสที่จะเป็นเรื่องบังเอิญ”

p-value คืออะไร

สมมติว่า **จริง ๆ แล้วไม่มีผลอะไรเลย (H0 จริง) — p-value คือความน่าจะเป็นที่เราจะเห็นผลลัพธ์ สุดขั้วขนาดนี้ (หรือกว่านั้น) โดยบังเอิญ. p น้อย = โอกาสฟลุ๊คน้อย = ผลน่าจะจริง**. เกณฑ์มาตรฐานที่นักวิจัย ใช้กันคือ $p < 0.05$ (โอกาสฟลุ๊คต่ำกว่า 5%) เรียกว่า “มีนัยสำคัญ (significant)”

ตัวอย่าง: เปรียบเหมือน**โยนเหรียญ**: ถ้าเพื่อนบอกว่าเหรียญยุติธรรม (H0) แต่คุณโยนได้หัว 9 ครั้งจาก 10 — โอกาสที่ เหรียญยุติธรรมจะให้ผลเอียงขนาดนี้โดยบังเอิญมีน้อยมาก (p เล็ก) คุณจึงเริ่มเชื่อว่า “เหรียญนี้ไม่ยุติธรรม (H1)”. ในงานเรา CL-0 ที่ 0.306 มม. ได้ $p = 0.017$ = ถ้ารอยแตกไม่มีผลจริง โอกาสเห็นสัญญาณแรงขนาดนี้โดยบังเอิญ มีแค่ **1.7%** — น้อยพอจะเชื่อว่าเป็นของจริง

1.4 ช่วงความเชื่อมั่น (Confidence Interval) และ Bootstrap

95% CI = “ช่วงที่ค่าจริงน่าจะอยู่”

ค่าเฉลี่ยที่เราวัดได้เป็นแค่การประมาณ. **ช่วงความเชื่อมั่น 95%** คือช่วงตัวเลขที่เรามั่นใจ 95% ว่าค่าจริง อยู่ในนั้น. **ถ้าช่วงนี้ไม่คร่อมเลข 0** แปลว่าเรามั่นใจว่ามีผลจริง (ไม่ใช่ศูนย์). วิธี **bootstrap** คือ เอาข้อมูลที่มีมา “สุ่มหยิบใหม่ซ้ำ ๆ หลายหมื่นครั้ง” เพื่อดูว่าคำตอบแกว่งแค่ไหน

ตัวอย่าง: CL-1 รอยแตก 0.54 มม.: ช่วงความเชื่อมั่น 95% ของสัญญาณ $= [-6.84, -3.16]$ ($\times 10^{-5}$) — ทั้งช่วง**ติดลบหมด ไม่แตะ 0** จึงมั่นใจว่ารอยแตกทำให้ SPR ลดลงจริง

1.5 การทดสอบด้วยการสลับ (Permutation / Null test)

เช็คว่าเครื่องมือเราไม่ “โกหก”

เราอยากรู้ว่าวิธีของเรา**สร้างสัญญาณลวง**หรือเปล่า จึงลอง**สร้างสถานการณ์ที่ไม่มีรอยแตกจริง** (เช่น เอาภาพปกติมาเทียบกันเอง) แล้วดูว่ายังได้ “ผลบวก” บ่อยแค่ไหน. ถ้าเครื่องมือซื่อสัตย์ มันควรได้ผลบวกลวง **ประมาณ 5% พอดี** (ตรงกับเกณฑ์ $p < 0.05$)

1.6 กำลังทางสถิติ (Power) — “ต้องวัดกี่ครั้งถึงจะเห็น”

ทำไมบางทีเห็นไม่ชัด

ถ้าสัญญาณเล็กและเราวัดน้อยครั้ง noise อาจกลบสัญญาณ — เหมือน**ฟังเสียงกระซิบในห้องที่มีคนคุยกันเซ็งแซ่**. วัดมากขึ้น = ห้องเงียบลง = ได้ยินชัดขึ้น. **Power analysis** บอกว่าต้องวัด (ในงานเรา = จำนวน “seed”) กี่ครั้งถึงจะมั่นใจว่าเห็นสัญญาณ

1.7 สหสัมพันธ์ (Correlation, Spearman ρ)

สองสิ่งไปด้วยกันไหม

ρ **(โร)** วัดว่า 2 อย่างเปลี่ยนไปด้วยกันแค่ไหน: $+1$ = ไปทางเดียวกันเป๊ะ, -1 = สวนทางกันเป๊ะ, 0 = ไม่เกี่ยวกัน

ตัวอย่าง: CL-3: เมื่อพลังงานรังสีเพิ่มขึ้น ค่า SPR พื้นฐานลดลง**ทุกครั้ง** ได้ $\rho = -1.00$ = สวนทางกันอย่างสมบูรณ์ (พฤติกรรมตรงตามฟิสิกส์)

1.8 การจับคู่ (Paired / within-seed) — เคล็ดลับเพิ่มความแม่น

เทียบของสิ่งเดียวกัน 2 สภาวะ

แทนที่จะเทียบ “กลุ่ม A vs กลุ่ม B” (ซึ่งต่างกันหลายเหตุ) เรา**เทียบสิ่งเดียวกันภายใต้ 2 เงื่อนไข** — เหมือนวัด**คะแนนนักเรียนคนเดิม ก่อน/หลังติว** จะเห็นผลของการติวชัด เพราะตัดความต่างระหว่างคนออก. ในงานเรา “นักเรียน” คือ **seed สุ่ม** (เราตั้งให้ทุกการทดลองใช้ seed ชุดเดียวกัน — เรียก “common random numbers”) วิธีนี้ทรงพลังกว่าการเทียบข้ามกลุ่มมาก

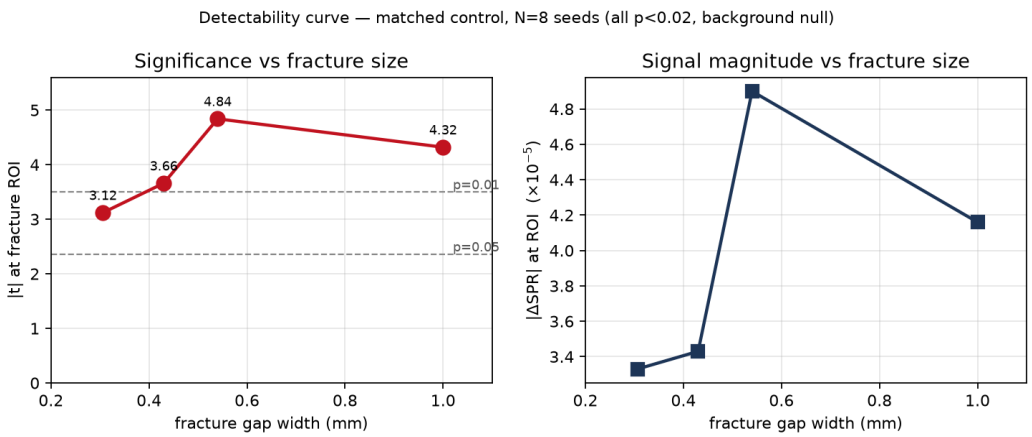
2. การทดลองทีละอัน: สมมติฐาน ⟶ วิธี ⟶ สถิติ ⟶ กราฟ

แต่ละการทดลองเราเรียกว่า “CL-x”. ทุกอันจะเล่าเหมือนกัน 4 ช่วง: **สมมติฐาน / วิธีทดสอบ / สถิติ (+ตัวอย่าง) / กราฟและวิธีอ่าน**

2.1 CL-0 — “เห็นสัญญาณของรอยแตกไหม?”

สมมติฐาน: รอยแตก (ช่องอากาศในกระดูก) ทำให้ค่า SPR ที่ตำแหน่งนั้น**เปลี่ยนไปอย่างวัดได้**
วิธีทดสอบ: จำลองภาพของ “กระดูกมีรอยแตก” เทียบกับ “กระดูกเดียวกันแต่ถมรอยแตกแล้ว” (เรียก matched control) แล้ววัดผลต่าง ΔSPR ที่ตำแหน่งรอยแตก ทำซ้ำ 8 ครั้ง (8 seeds) กับรอยแตก 4 ขนาด
สถิติที่ใช้: **t-test** (สัญญาณเทียบ noise) — ดูว่าค่าเฉลี่ย ΔSPR ต่างจาก 0 ไหม

> **ตัวอย่าง:** รอยแตก 0.54 มม.: ค่าเฉลี่ย -4.9×10^{-5}, ได้ $t = -4.84$, $p = 0.002$ = โอกาสฟลุ๊คแค่ 0.2% ⟶ **เห็นสัญญาณจริง**. เครื่องหมายลบ = SPR “ลดลง” (สมเหตุผล: ช่องอากาศให้รังสีทะลุมากขึ้น)

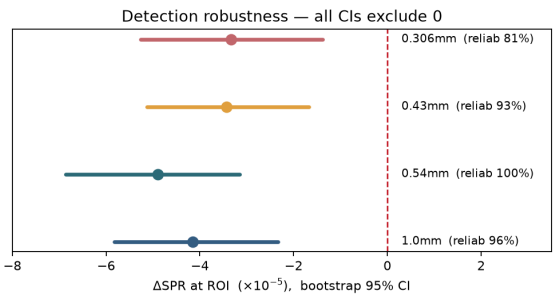


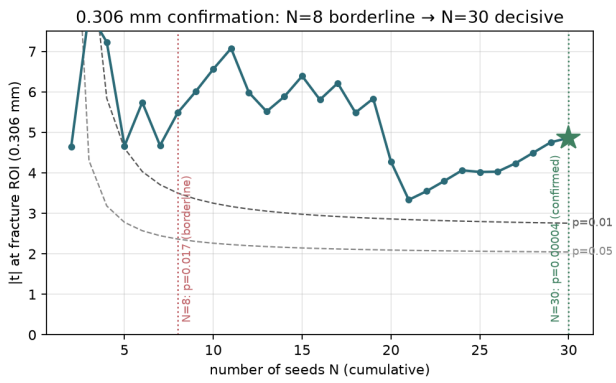
> **อ่านกราฟ:** แกนนอน = ขนาดรอยแตก (มม.), แกนตั้งซ้าย = ความแรงสัญญาณ ($|t|$), แกนตั้งขวา = ขนาดสัญญาณ. **จุดยิ่งสูง = สัญญาณยิ่งชัด**. เส้นประคือเกณฑ์นัยสำคัญ ($p = 0.05$ และ 0.01) — **ทุกจุดอยู่เหนือเส้น** $p = 0.05$ แปลว่ารอยแตก**ทุกขนาดตรวจพบได้**. สัญญาณเพิ่มขึ้นจาก 0.3 ถึง 0.5 มม. แล้ว**อิ่มตัว** (ไม่โตต่อ) — ประเด็นนี้ไปเจาะใน CL-7
>
> **สนับสนุนสมมติฐานอย่างไร:** จุดทั้งหมดเหนือเกณฑ์ = “เห็นสัญญาณจริง” ตามที่ตั้งไว้

2.2 CL-1 — “สัญญาณมั่นคงแค่ไหน? รอยแตกเล็กสุดเชื่อได้ไหม?”

สมมติฐาน: ถ้าสัญญาณจริง การวัดซ้ำมากขึ้นควรยิ่งยืนยัน โดยเฉพาะรอยแตกเล็กสุด (0.306 มม.) ที่ก้ำกึ่ง
วิธีทดสอบ: ใช้ bootstrap (ช่วงความเชื่อมั่น), power analysis (ต้องวัดกี่ครั้ง), แล้ว**รันเพิ่มจาก 8 เป็น 30 ครั้ง**เพื่อยืนยัน
สถิติที่ใช้: bootstrap CI + t-test

> **ตัวอย่าง:** รอยแตก 0.306 มม.: ตอนวัด 8 ครั้ง $p = 0.017$ (ก้ำกึ่ง, ความน่าเชื่อถือ 80%). Power analysis บอกว่าวัด ∼13 ครั้งก็พอ. **พอวัด 30 ครั้ง ได้** $t = -4.86$, $p = 0.00004$ = โอกาสฟลุ๊ค 4 ในแสน ⟶ ยืนยันเด็ดขาด





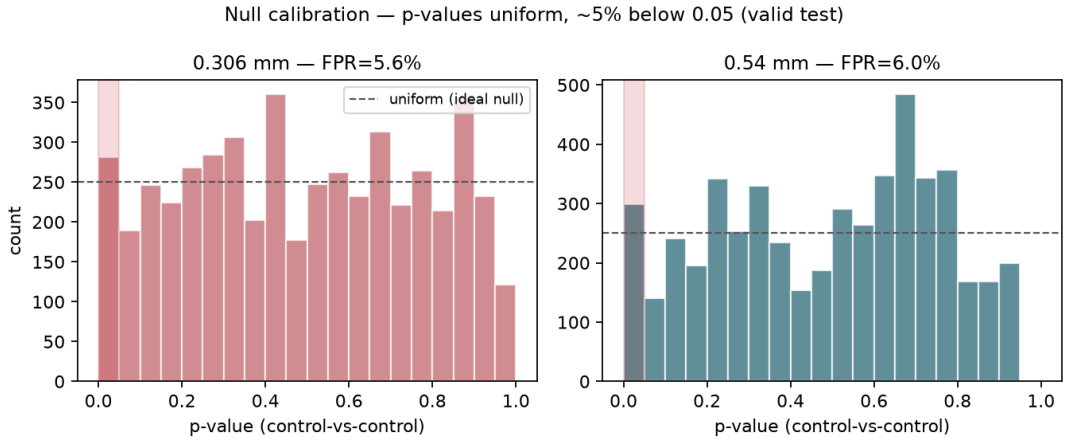
อ่านกราฟ: **ซ้าย (forest plot):** แต่ละเส้นแนวนอนคือช่วงความเชื่อมั่นของรอยแตกแต่ละขนาด, จุดคือค่ากลาง, **เส้นประแดงคือเลข 0**. **ทุกเส้นอยู่ซ้ายของ 0 (ไม่แตะ)** = มั่นใจว่าเห็นสัญญาณจริงทุกขนาด.
ขวา (การยืนยัน): แกนนอน = จำนวนครั้งที่วัด (seed), แกนตั้ง = ความแรง $|t|$. เส้นไต่ขึ้นและ**ดาวเขียว ที่ 30 ครั้ง** อยู่เหนือเส้น $p = 0.01$ ชัดเจน = รอยแตกเล็กสุดยืนยันแล้ว

สนับสนุนสมมติฐานอย่างไร: วัดมากขึ้น ⟶ สัญญาณชัดขึ้นตามคาด และ CI ไม่แตะ 0 = ของจริง

2.3 CL-2 — "เครื่องมือเราโกหกไหม? (ผลบวกลวง)"

สมมติฐาน: วิธีของเรา**ไม่**สร้างสัญญาณลวงเมื่อไม่มีรอยแตกจริง
วิธีทดสอบ: เอาภาพ "ปกติ vs ปกติ" (ไม่มีรอยแตก) มาเทียบกัน แล้วนับว่าได้ "ผลบวก" บ่อยแค่ไหน
สถิติที่ใช้: **permutation / null test** — อัตราผลบวกลวง (false-positive rate) ควร $\approx 5\%$

ตัวอย่าง: เทียบภาพปกติกันเอง 5,000 คู่: ได้ "มีนัยสำคัญ" เพียง **5.6%** — ตรงกับเกณฑ์ 5% พอดี = เครื่องมือ ซื่อสัตย์ ไม่ตื่นตูม



อ่านกราฟ: แกนนอน = ค่า p, แกนตั้ง = จำนวนครั้ง. เมื่อ**ไม่มีสัญญาณจริง** ค่า p ควรกระจาย**สม่ำเสมอ (แท่งสูงเท่า ๆ กัน)** — และนี่เป็นเช่นนั้น. **แถบสีแดง** คือโซน $p < 0.05$ ซึ่งมีแค่ ∼5% ของทั้งหมด

สนับสนุนสมมติฐานอย่างไร: ผลบวกลวง = 5% ตามที่ควรเป็น ⟶ เวลาเครื่องมือบอกว่า "เจอ" ในการทดลองจริง จึงเชื่อถือได้

2.4 CL-7 — "ทำไมสัญญาณอิ่มตัว? เป็นของจริงหรือข้อจำกัดการวัด?"

สมมติฐาน: ภาวะอิ่มตัว (รอยแตก 0.54 กับ 1.0 มม. ให้สัญญาณพอ ๆ กัน) เป็น**คุณสมบัติจริงของฟิสิกส์** ไม่ใช่แค่วิธีวัดของเรา
วิธีทดสอบ: วัด "สัญญาณรวมทั้งบริเวณ" (integrated) ซึ่งถ้าเป็นแค่ข้อจำกัดการวัด มันควรยังโตต่อ
สถิติที่ใช้: paired t-test (เทียบ 0.54 กับ 1.0)

ตัวอย่าง: สัญญาณรวม: 0.54 มม. = 10.4, 1.0 มม. = 9.4 (พอ ๆ กัน); เทียบกันได้ $p = 0.73$ = **แยกไม่ออก** ⟶ สัญญาณรวมก็อิ่มตัวเหมือนกัน = อิ่มตัวจริงเชิงฟิสิกส์

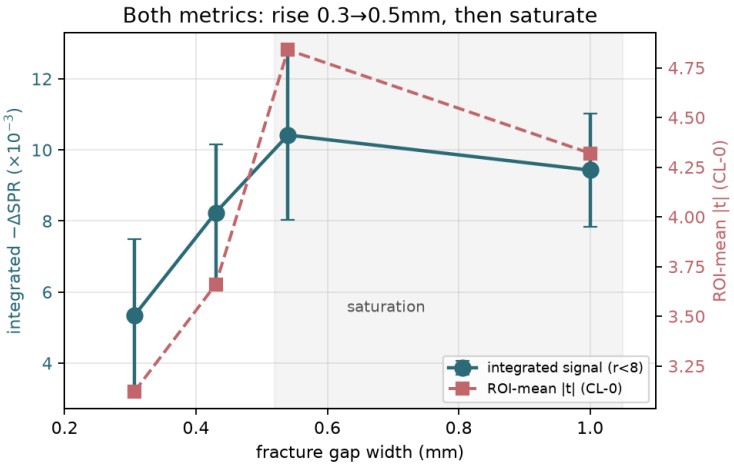
อ่านกราฟ: แกนนอน = ขนาดรอยแตก, เส้นน้ำเงิน = สัญญาณรวม, เส้นแดง = ความแรง. **ทั้งสองเส้นขึ้นช่วง 0.3–0.5 มม. แล้วแบนราบ (แถบเทา "saturation")** = อิ่มตัวพร้อมกัน

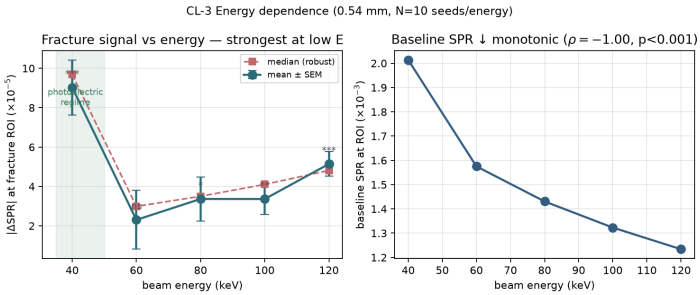
สนับสนุนสมมติฐานอย่างไร: ถ้าอิ่มตัวเป็นแค่ข้อจำกัดการวัด สัญญาณรวมต้องยังโต — แต่มันแบนด้วย จึงเป็น **ของจริง**. ความหมายเชิงประยุกต์: **SPR เก่งเรื่อง "บอกว่ามีรอยแตก" แต่ไม่เก่งเรื่อง "บอกว่ากว้างแค่ไหน"** เมื่อรอยแตกใหญ่กว่า 0.5 มม.

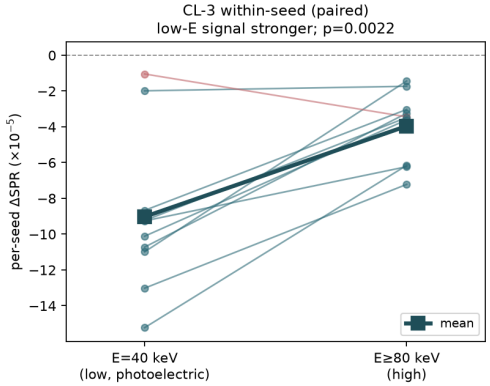
2.5 CL-3 — "สัญญาณเป็นไปตามฟิสิกส์ของพลังงานรังสีไหม?"

สมมติฐาน: ถ้าสัญญาณมาจากรอยแตกจริง มันควร**แปรตามพลังงานรังสี**ตามหลักฟิสิกส์ (พลังงานต่ำ กระดูก ดูดกลืนแรง ⟶ รอยแตกเห็นชัดกว่า)
วิธีทดสอบ: กวาดพลังงาน 40–120 keV แล้วดูแนวโน้ม
สถิติที่ใช้: **paired within-seed** (จับคู่ seed เดียวกัน) + Spearman correlation

ตัวอย่าง: เทียบสัญญาณที่ 40 keV กับ ≥80 keV **จับคู่ต่อ seed**: 9 ใน 10 seeds ให้สัญญาณที่ 40 keV แรงกว่า, $p = 0.0022$ = พลังงานต่ำเห็นรอยแตกชัดกว่าจริง (ตามฟิสิกส์ photoelectric). และ SPR พื้นฐาน vs พลังงาน ได้ $\rho = -1.00$ (สวนทางสมบูรณ์)







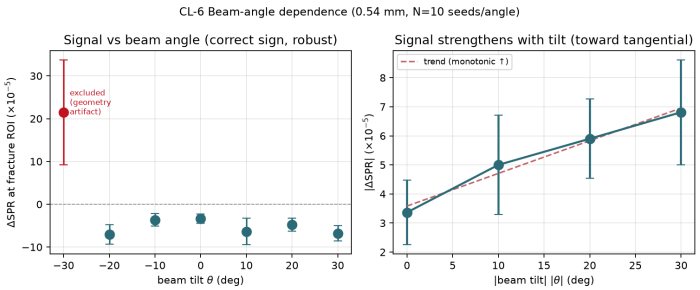
อ่านกราฟ: ซ้าย: แกนนอน = พลังงาน (keV). กราฟซ้ายบน สัญญาณ**สูงสุดที่ 40 keV** (แถบเขียว); กราฟขวา (baseline) **ลดลงเรื่อย ๆ. ขวา (paired):** แต่ละเส้นคือ 1 seed เชื่อมจาก "40 keV" ไป "$\geq$80 keV"; **เกือบ ทุกเส้นชี้ขึ้น** (สัญญาณอ่อนลงเมื่อพลังงานสูง) = แนวโน้มสม่ำเสมอ

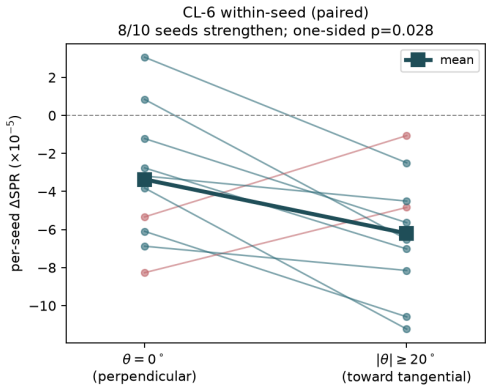
สนับสนุนสมมติฐานอย่างไร: สัญญาณแรงที่พลังงานต่ำ + baseline สวนทางพลังงาน = ตรงตามฟิสิกส์การดูดกลืน ของกระดูก จึง**ยืนยันว่าสัญญาณมาจากรอยแตกจริง ไม่ใช่ตัวเลขมั่ว**

2.6 CL-6 — "สัญญาณขึ้นกับมุมยิงรังสีตามเรขาคณิตไหม?"

สมมติฐาน: รอยแตกเป็นระนาบบาง — ถ้ายิงรังสี**เลียบไปตามระนาบ** (tangential) รังสีจะผ่านอากาศยาวขึ้น สัญญาณควร**แรงขึ้น** (ตรงกับหลักที่หมอเอียงมุมถ่ายเพื่อหารอยแตก)
วิธีทดสอบ: เอียงมุมลำแสง $\pm 30^\circ$ แล้วดูว่าสัญญาณแรงขึ้นตามการเอียงไหม
สถิติที่ใช้: within-seed paired + one-sided test (ทดสอบทางเดียวเพราะเราทำนายทิศไว้ก่อนแล้ว)

ตัวอย่าง: ตอนแรกใช้วิธีเทียบข้ามกลุ่ม ได้ $p = 0.19$ (ไม่ผ่าน) — แต่วิธีนั้น**ไม่เหมาะ**เพราะไม่ได้จับคู่ seed. พอใช้ paired ที่ถูกต้อง: 8 ใน 10 seeds ให้สัญญาณที่มุมเอียงแรงกว่ามุมตั้งฉาก, $p = 0.028 \rightarrow$ **มีนัยสำคัญ**





อ่านกราฟ: **ซ้ายบน (กราฟขวาของรูปคู่):** แกนนอน = มุมเอียง, แกนตั้ง = ขนาดสัญญาณ; **ยิ่งเอียงมาก สัญญาณยิ่งแรง** (เส้นไต่ขึ้น). **ขวา (paired):** แต่ละเส้นคือ 1 seed จาก “มุมตั้งฉาก” ไป “มุมเอียง”; **8 ใน 10 เส้นชี้ลง** (แรงขึ้น)

สนับสนุนสมมติฐานอย่างไร: สัญญาณแรงขึ้นเมื่อเอียงเข้าหา tangential = ตรงตามเรขาคณิตของรอยแตกที่ทำนายไว้ (แม้ผลจะ “เฉียดเส้น” marginal — ควรวัดเพิ่มเพื่อความมั่นใจสูงสุด)

3. สรุปทั้งหมด (ฉบับเข้าใจง่าย)

เราพิสูจน์อะไรได้บ้าง

เราถามว่า “รอยแตกกระดูกเล็ก ๆ ทิ้งร่องรอยที่ตรวจจับได้ในการกระเจิงรังสี (SPR) ไหม” — คำตอบคือ **ได้ และเชื่อถือได้** โดยผ่าน 6 ด่านทดสอบ:

ด่าน	ถามว่า	คำตอบ
CL-0	เห็นสัญญาณไหม	เห็น — ทุกขนาด ($p < 0.02$)
CL-1	มั่นคงไหม	มั่นคง — เล็กสุดยืนยัน $p = 0.00004$
CL-2	เครื่องมือโกหกไหม	ไม่ — ผลบวกลวงแค่ 5%
CL-7	อิ่มตัวเพราะอะไร	อิ่มตัวจริง — เก่ง “ตรวจพบ” > “วัดขนาด”
CL-3	ตามฟิสิกส์พลังงานไหม	ใช่ — แรงที่พลังงานต่ำ ($p = 0.002$)
CL-6	ตามมุมเรขาคณิตไหม	ใช่ (เฉียดเส้น) — $p = 0.028$

สรุปเป็นประโยคเดียว

สัญญาณ SPR จากรอยแตกเป็นของจริง (ไม่ใช่บังเอิญ ไม่ใช่ข้อผิดพลาดของเครื่องมือ) **และมีที่มาเชิงฟิสิกส์** (เปลี่ยนตามพลังงานและมุมยิงตามที่ทฤษฎีทำนาย) **ตรวจจับได้ถึงรอยแตกเล็กราว 0.3 มม.** — ข้อจำกัดที่ซื่อตรง: มันบอก “มี/ไม่มี” รอยแตกได้ดี แต่บอก “กว้างแค่ไหน” ได้ไม่ดีเมื่อรอยแตกใหญ่กว่า 0.5 มม.; และการทดสอบเชิงมุม (CL-6) ยังเฉียดเส้น ควรวัดเพิ่มเพื่อความมั่นใจสูงสุด. **โดยรวม = หลักฐานเบื้องต้นที่หนักแน่นพอจะเดินหน้าต่อ**