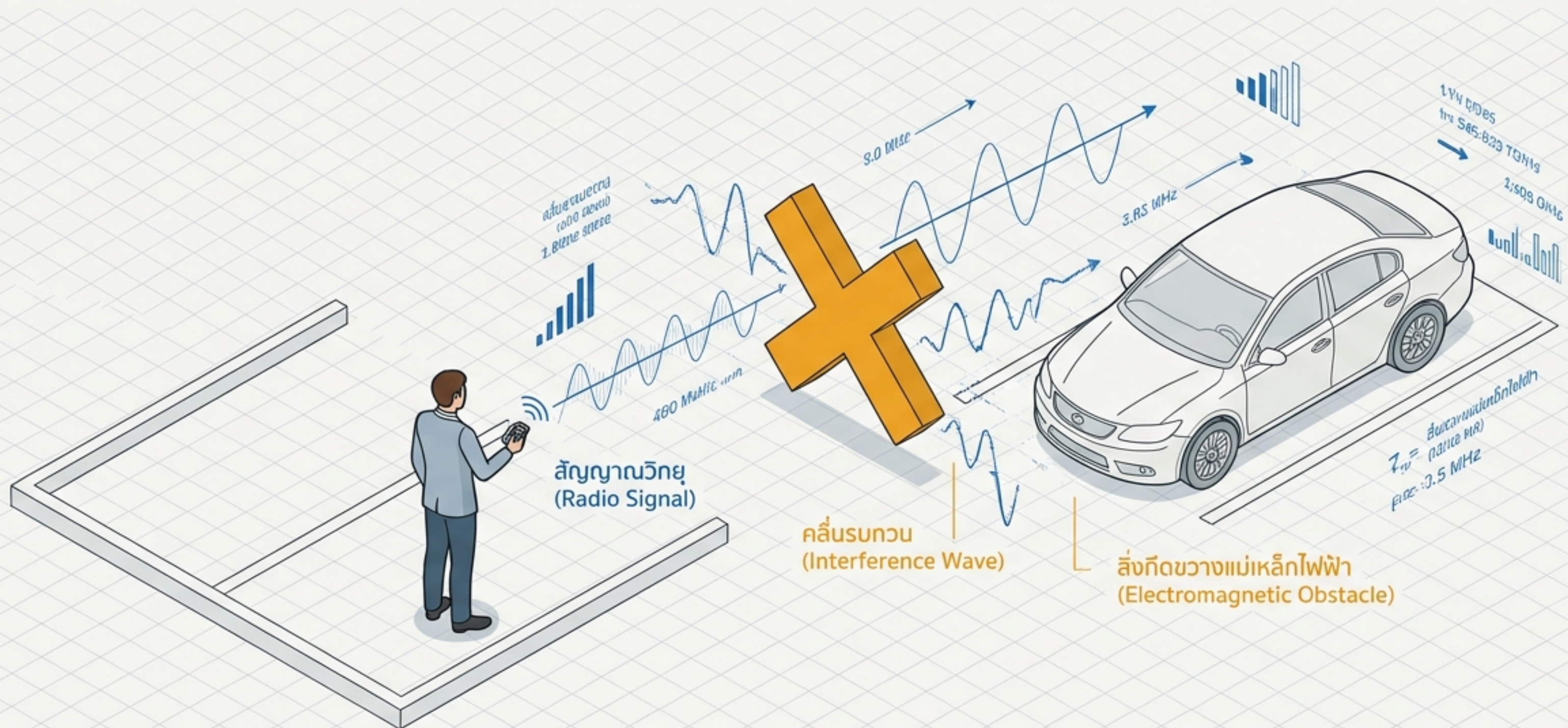


ทำไมรีโมทรถถึงกดไม่ติดในบางพื้นที่?

ไม่ใช่เพราะแบตเตอรี่หมด แต่เป็นเพราะ "ฟิสิกส์คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า" ที่เรามองไม่เห็น



รู้จักกับคลื่นความถี่ 433 MHz



UHF Band: คลื่นวิทยุย่านความถี่สูงพิเศษ (Ultra High Frequency)

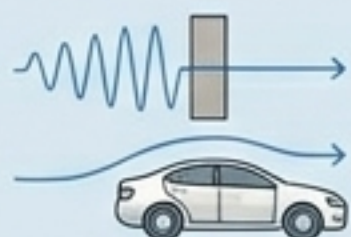
ISM Band: มาตรฐานสากลสำหรับอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ (Industrial, Scientific, Medical) อนุญาตให้ใช้งานได้ทั่วโลก โดยไม่ต้องขอใบอนุญาต

Short-Range Standard: มาตรฐานหลักที่ใช้ในรีโมทรถและอุปกรณ์ไร้สายระยะใกล้

ทำไมวิศวกรถึงเลือกใช้ 433 MHz? (จุดเด่น vs ข้อจำกัด)

✓ จุดเด่น / Pros.

✓ **ทะลุทะลวงดี (High Penetration):**
ความยาวคลื่นยาวกว่า Wi-Fi (2.4/5 GHz) อ้อมผ่านสิ่งกีดขวางและทะลุตัวถังรถได้ดี



✓ **ประหยัดพลังงาน (Low Energy):**
ใช้พลังงานวงจรน้อยกว่า เหมาะสำหรับรีโมทที่ใช้แบตเตอรี่ก้อนเล็ก

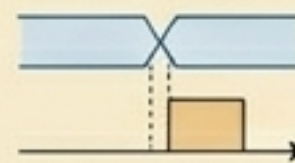


✗ ข้อจำกัด / Cons.

✗ **ความแออัดสูง (High Congestion):**
เป็นย่านสาธารณะยอดนิยม ต้องแย่งกันใช้กับประตูลิฟต์ไฟฟ้าและอุปกรณ์ IoT



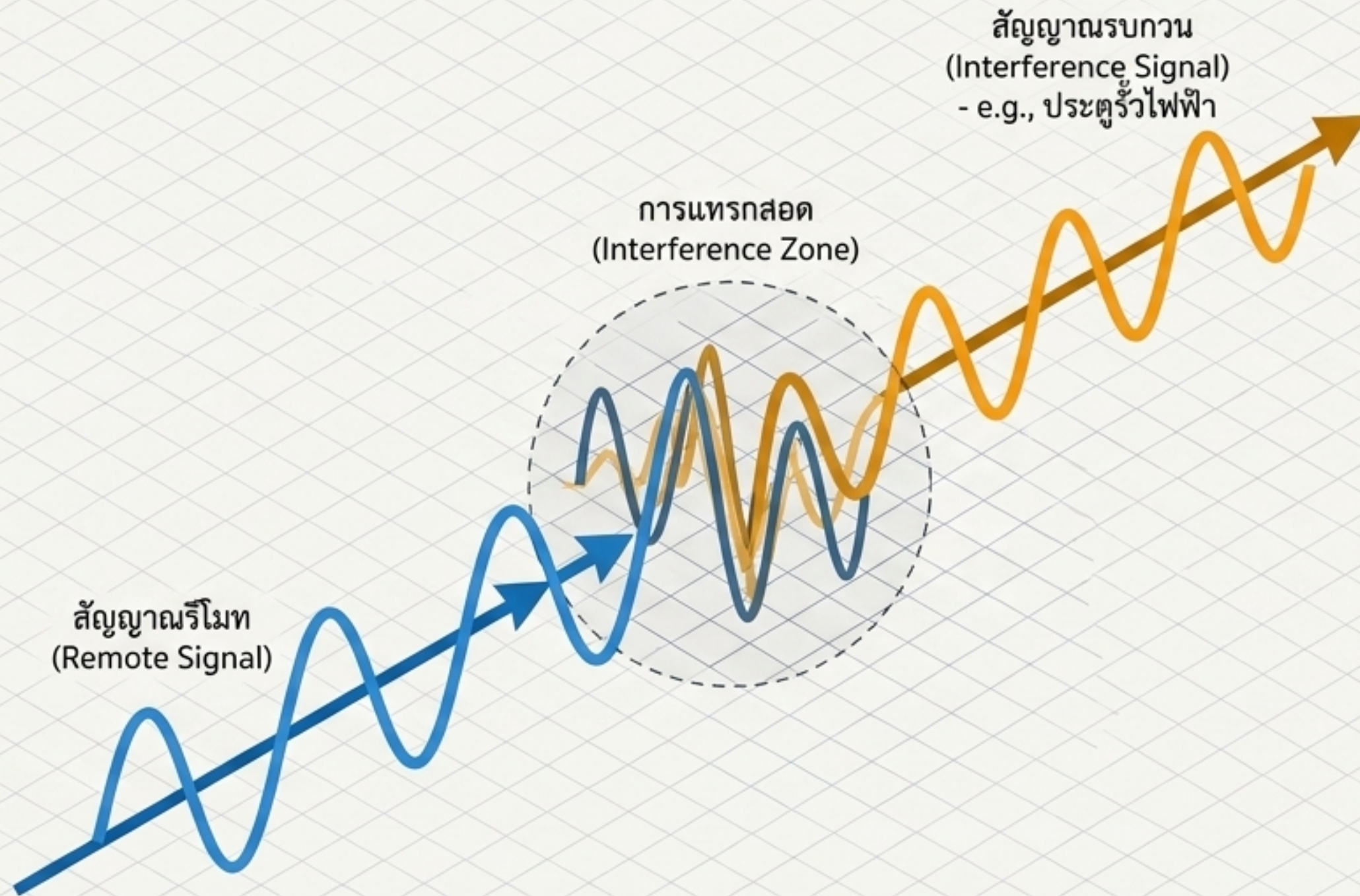
✗ **Bandwidth ต่ำ:** ช่องสัญญาณแคบ ส่งได้แค่รหัสคำสั่งสั้นๆ



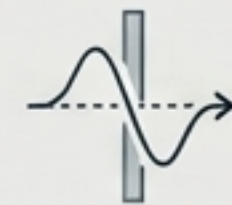
✗ **ระยะทางจำกัด:**
ถูกจำกัดกำลังส่งตามกฎหมาย ใช้งานได้เพียงไม่กี่สิบลเมตร



เมื่อคลื่นชนกัน: หลักการซ้อนทับ (Superposition Principle)



เมื่ออุปกรณ์หลายตัวส่งสัญญาณ ความถี่เดียวกันพร้อมกัน คลื่นจะเกิด การแทรกสอด (Wave Interference)



คลื่นสัญญาณของคุณไม่ได้เดินทางไปถึงรถแบบโล่งๆ แต่ถูกบดเบือนจากคลื่นรอบข้างที่มองไม่เห็น

การแทรกสอด 2 รูปแบบที่ทำให้รีโมทพัง

การแทรกสอดแบบเสริม (Constructive Interference):



ตัวรับที่รบกวนรหัสดับบับไม่ได้

การแทรกสอดแบบหักล้าง (Destructive Interference):



คลื่นหายไปก่อนถึงตัวรถ

Noise Floor: เสียงกระซิบในคอนเสิร์ตที่เสียงดัง

สัญญาณรบกวนพื้นหลัง

(Background Noise / Noise Floor):
ระดับสัญญาณขณะที่มีอยู่ตลอดเวลาใน
สภาพแวดล้อม เกิดจากคลื่น 433 MHz
นับร้อยที่แทรกสอดกันแบบสุ่ม

หน่วยวัด (dBm):

-120 dBm = สัญญาณรบกวนต่ำ
(พื้นที่โล่ง)

-60 dBm = สัญญาณรบกวนสูงมาก
(ลานจอดรถ)

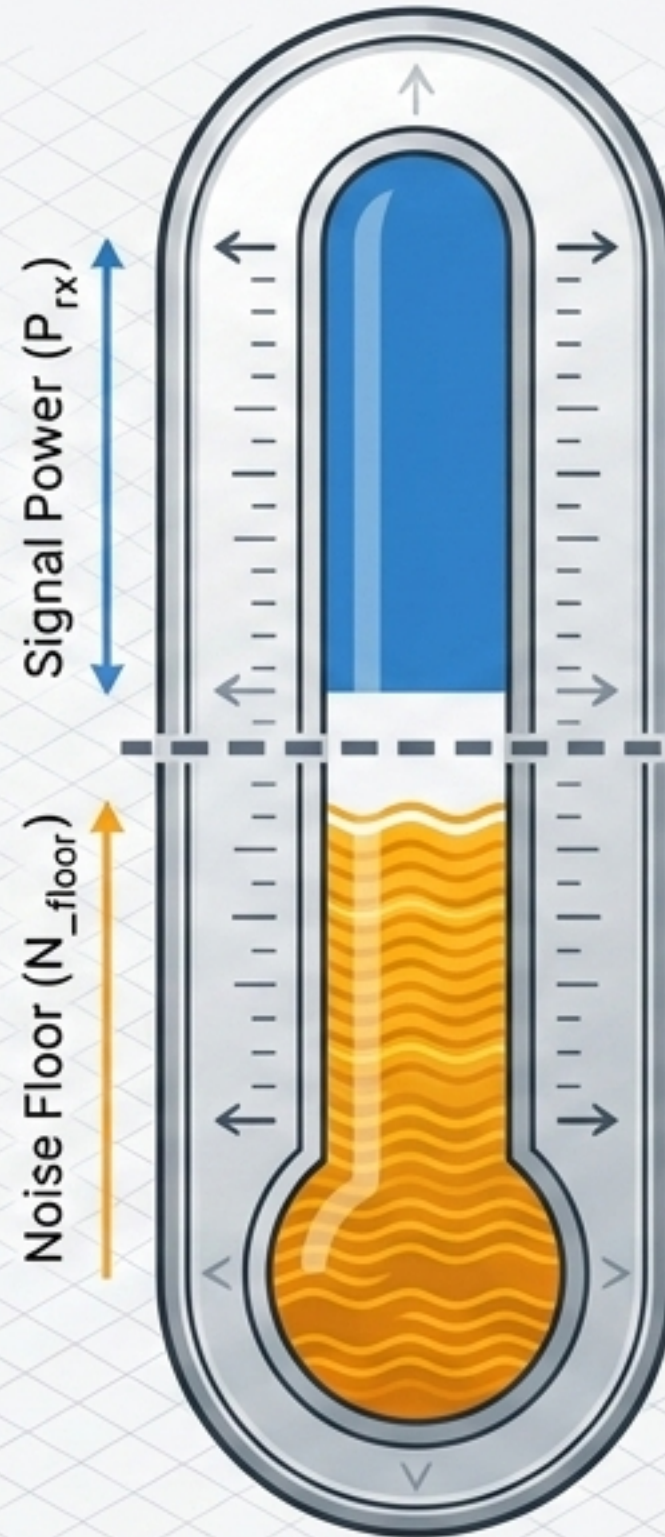


ถ้าสัญญาณรีโมทมากกว่า Noise Floor
ตัวรับที่รถก็จะไม่รู้เลยว่าคุณกดรีโมท

กฎเหล็กของการเชื่อมต่อ: SNR ต้องมากกว่า 10 dB

$$\text{SNR} = P_{\text{rx}} - N_{\text{floor}}$$

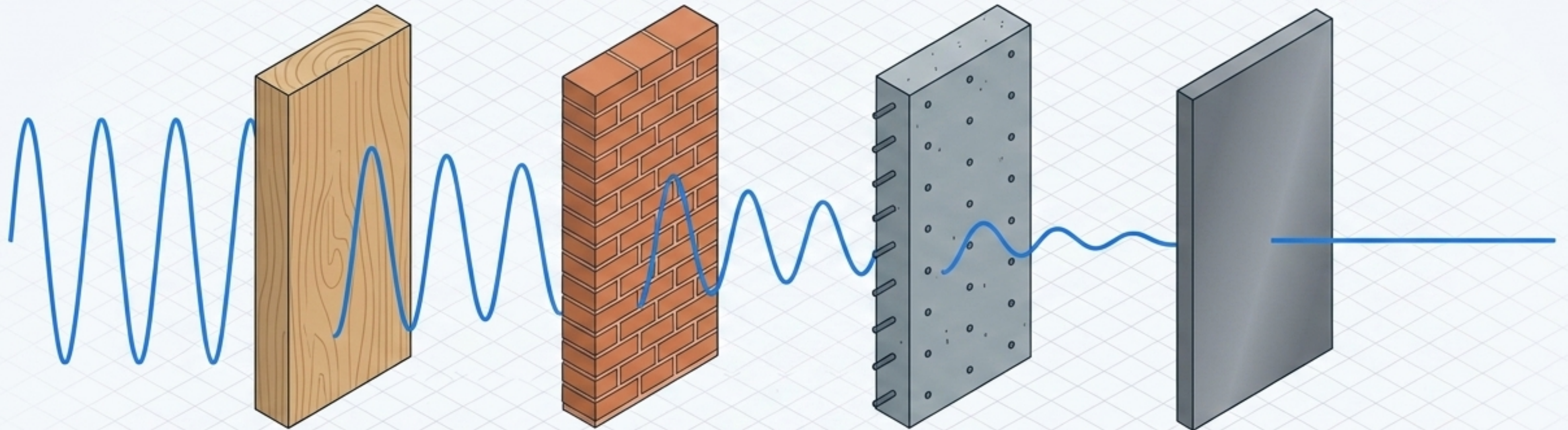
SNR (Signal-to-Noise Ratio): อัตราส่วนระหว่างพลังงานสัญญาณที่เหลืออยู่ (P_{rx}) กับสัญญาณรบกวน (N_{floor})



The Rule:

ระบบจะเชื่อมต่อสำเร็จและปลดล็อกกรงได้ก็ต่อเมื่อความแรงของสัญญาณอยู่เหนือ Noise Floor อย่างน้อย 10 dB

Wall Loss: พิสูจน์ของการทะลุทะลวงสิ่งกีดขวาง



**ไม้
(Wood)**

~2 dB | สูญเสียต่ำ
สัญญาณผ่านได้ดี
SNR ยังคงสูง

**กำแพงอิฐ
(Brick)**

~8 dB | สูญเสียปานกลาง
สัญญาณผ่านได้ในระยะใกล้

**คอนกรีตเสริมเหล็ก
(Concrete)**

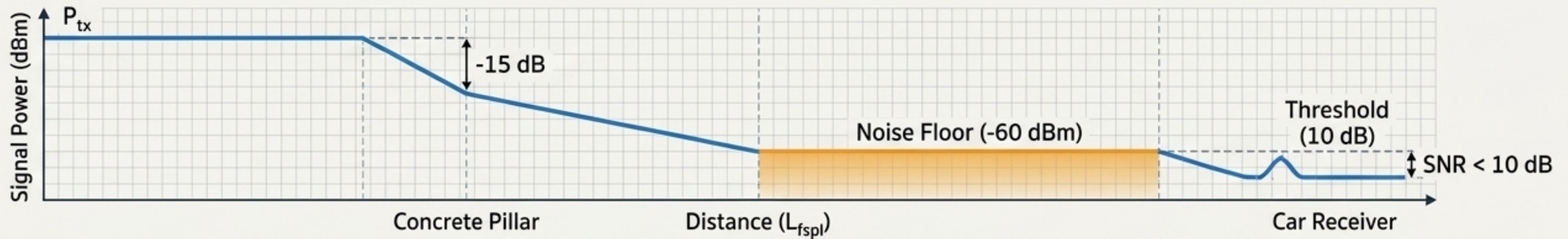
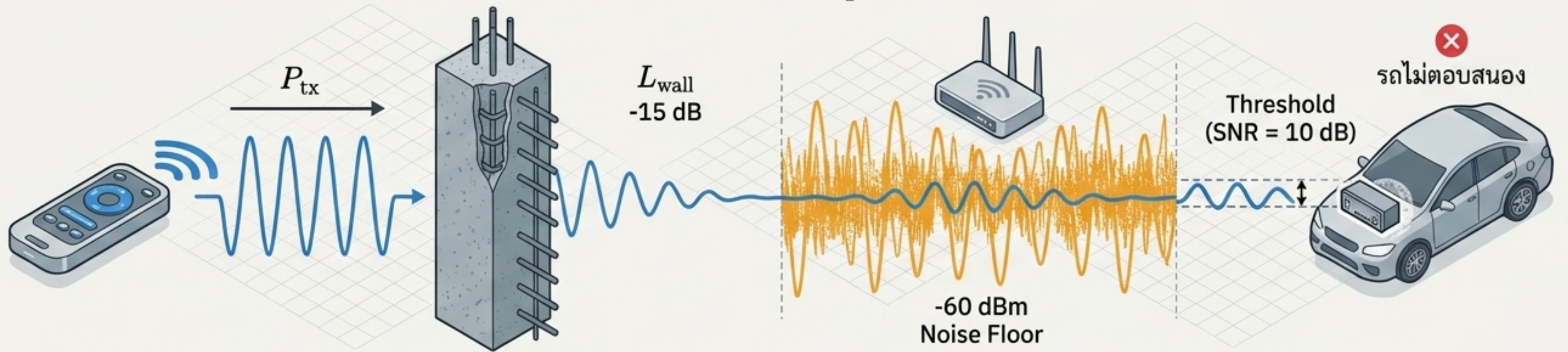
~15 dB | สูญเสียสูง
เริ่มส่งผลกระทบต่อ SNR
อย่างมีนัยสำคัญ

**แผ่นโลหะ
(Metal)**

~40 dB | สะท้อนและ
บล็อกสัญญาณเกือบหมด
SNR ต่ำมากจนเชื่อมต่อไม่ได้

สรุปการเดินทางของคลื่น: ทำไมถึงกดไม่ติด?

$$P_{rx} = P_{tx} - L_{fspl} - L_{wall}$$



1. รัโมทส่งสัญญาณ (P_{tx})
2. คลื่นทะลุเสาคอนกรีต สูญเสียพลังงาน ($L_{wall} -15 \text{ dB}$)
3. ปะทะกับ Noise Floor ที่หนาแน่นในลานจอดรถ (-60 dBm)
4. พลังงานที่เหลือ (P_{rx}) มีระยะห่างจาก Noise ไม่ถึง 10 dB ($\text{SNR} < 10 \text{ dB}$) = รถไม่ตอบสนอง

4 วิธีแก้ปัญหาด้วยหลักการฟิสิกส์ (Actionable Physics)

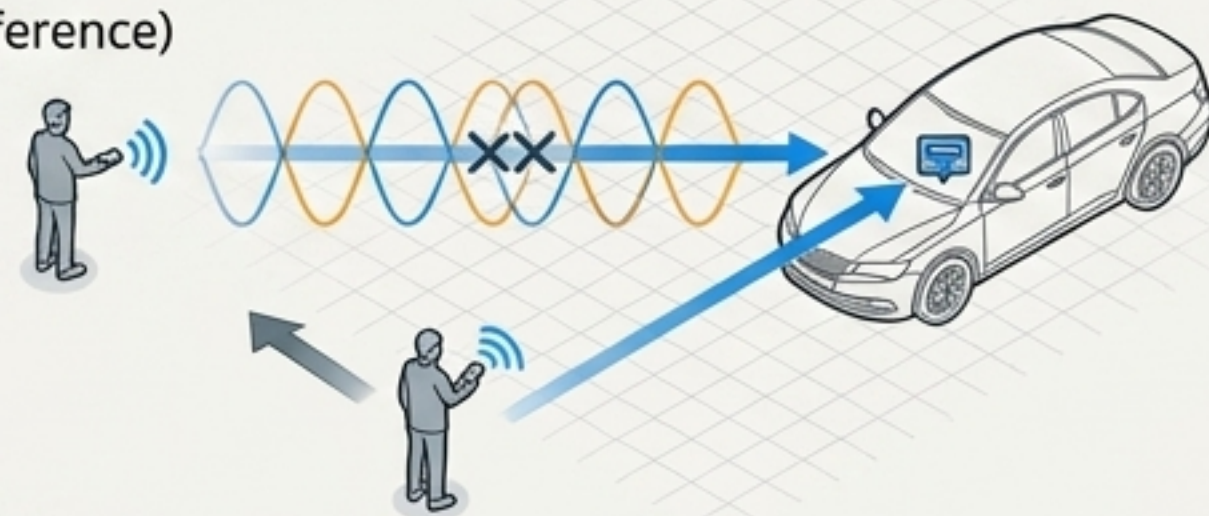
ลดระยะห่าง (Decrease Distance)

เดินเข้าใกล้รถเพื่อเพิ่ม Signal Strength (P_{rx})
ให้อาชนะ Noise Floor



เปลี่ยนมุมและตำแหน่ง (Change Angle)

ขยับตัวเล็กน้อยเพื่อเปลี่ยนเส้นทางคลื่น
หลบหนีจากจุดที่เกิดการแทรกสอดแบบหักล้าง
(Destructive Interference)



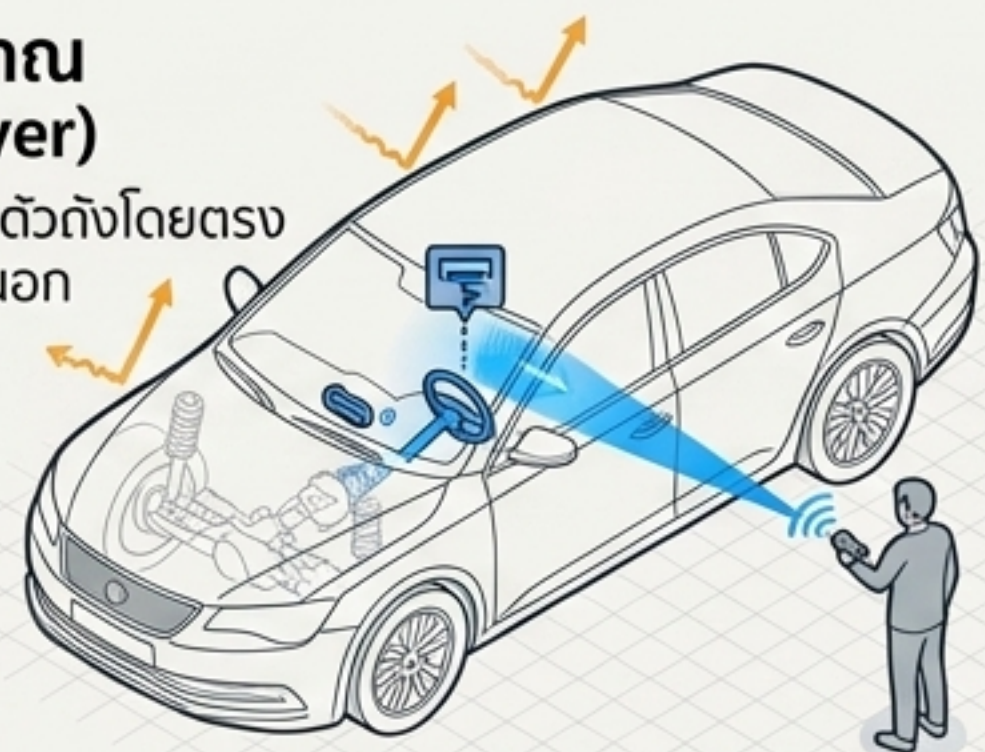
หลีกเลี่ยงแหล่งรบกวน (Avoid Noise)

ไม่กดรีโมทใกล้เสา Wi-Fi
หรือตู้ควบคุมไฟฟ้าขนาดใหญ่
ที่สร้าง Noise Floor สูง



กดใกล้จุดรับสัญญาณ (Target the Receiver)

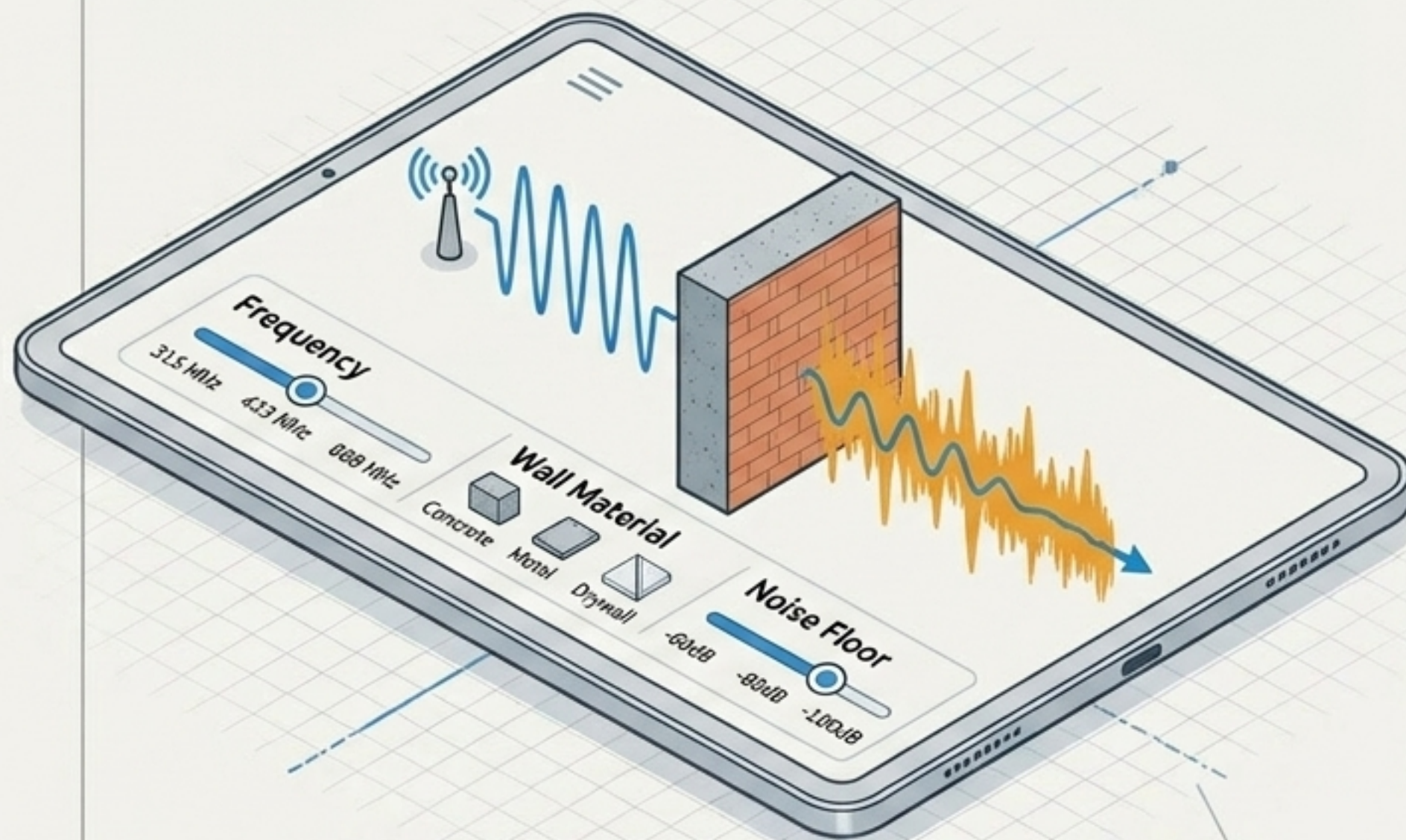
เล็งรีโมทไปที่พวงมาลัยหรือตัวถังโดยตรง
เพื่อลดระยะทางที่คลื่นภายนอก
จะเข้ามาแทรกสอด



Cheat Sheet

เข้าใจฟิสิกส์เบื้องหลัง มองเห็นสิ่งที่มองไม่เห็น

- ✓ **433 MHz:** ทะลุทะลวงดี แต่แออัด
- ✓ **Interference:** คลื่นชนกันทำให้สัญญาณบิดเบี้ยวหรือหายไป
- ✓ **Wall Loss:** วัสดุ (เช่น คอนกรีต/โลหะ) ดरोปพลังงานคลื่น
- ✓ **SNR \geq 10 dB:** สัญญาณต้องดังกว่าคลื่นรบกวน 10 dB เสมอ



อยากลองปรับค่าความถี่, วัสดุกำแพง
และ Noise Floor ด้วยตัวเองไหม?
ลองใช้งาน Panya AI Tutor ฟรี!
สัมผัสแบบจำลองฟิสิกส์ Interactive ได้แล้ววันนี้