GRID TRADING MASTERY · PART 6

# Pair Grid + Relative Value Switching

BTC/ETH Spread Grid · Cointegration Test · Relative Value Signal

Multi-Asset Grid Portfolio · Switching Between Instruments

อ้างอิง: Statarb Ch.4–6 (Cointegration, Spread, OU Process)

**แก่นของ PART นี้**

Pair Grid ไม่ใช้ grid บน BTC price โดยตรง แต่ใช้ grid บน **spread ระหว่างสองสินทรัพย์** (เช่น BTC/ETH ratio) — spread cointegrated มี mean-reversion ที่แข็งแกร่งกว่าราคาเดี่ยว + ไม่ขึ้นกับทิศทางตลาด

```
Spread = log(BTC/USDT) − β × log(ETH/USDT) · Grid on
spread reversion to mean
```

## 6.1 ทำไม Pair Grid?

ปัญหาของ Single-Asset Grid: ถ้า BTC uptrend → grid ขาย inventory เร็ว (ดี) แต่ถ้า BTC downtrend → inventory สะสม (ไม่ดี)

Pair Grid แก้ด้วย: สร้าง grid บน spread ที่ cointegrated — spread revert ไม่ว่า BTC จะขึ้นหรือลง (ตราบใดที่ BTC/ETH ratio กลับสู่ค่าเฉลี่ย)

**BTC/USDT**
Long BTC ถ้า spread ต่ำกว่า mean
(BTC "ถูก" เทียบ ETH)

↔

**SPREAD = log(BTC) − β·log(ETH)**
Grid บน spread
BUY spread ต่ำ → SELL spread สูง

↔

**ETH/USDT**
Short ETH ถ้า spread ต่ำกว่า mean
(ETH "แพง" เทียบ BTC)

# 6.2 Cointegration — พื้นฐาน Pair Grid

**Correlation ≠ Cointegration**

BTC และ ETH อาจมี correlation สูง (ขึ้นลงพร้อมกัน) แต่นั่นไม่รับประกันว่า spread จะ mean-revert — ต้องผ่าน Cointegration Test จึงจะ trade ได้อย่างมั่นใจ

**สถิติพื้นฐานที่ต้องรู้ก่อนอ่านต่อ (ใช้ตลอดหัวข้อนี้)**

**Null Hypothesis ($H_0$):** ข้อสมมติฐาน "ค่าเริ่มต้น" ที่เราพยายามหาหลักฐานมาหักล้าง — ในที่นี้ $H_0$ คือ "spread *ไม่* mean-revert" (มี unit root แปลว่าเดินสุ่มไม่มีจุดดึงกลับ) เราอยาก **reject $H_0$** (ปฏิเสธมันได้) เพื่อสรุปว่า spread mean-revert จริง

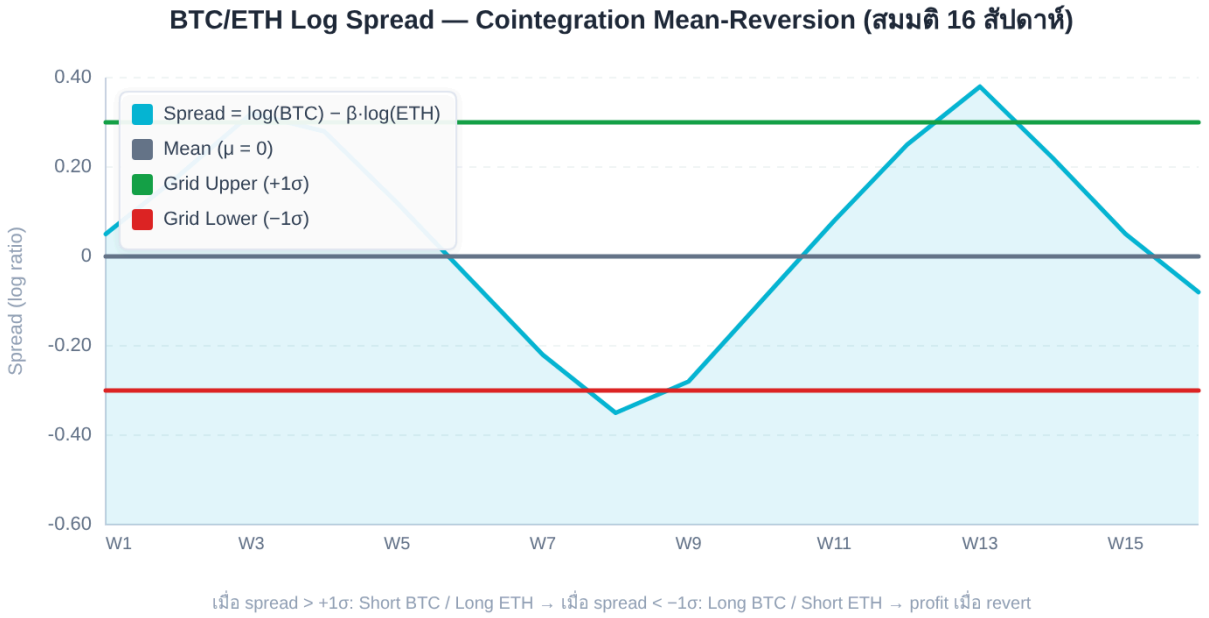
**ADF Test statistic กับ Critical Value:** ADF test คำนวณตัวเลขหนึ่งตัว (test statistic) แล้วเทียบกับ "เกณฑ์ตัดสิน" (critical value) ที่กำหนดไว้ล่วงหน้า — ถ้า test statistic *ต่ำกว่า* (ติดลบมากกว่า) critical value ถือว่ามีหลักฐานพอจะ reject $H_0$

**p-value:** ความน่าจะเป็นที่จะเห็นผลลัพธ์แบบนี้ (หรือรุนแรงกว่า) ถ้า $H_0$ เป็นจริง — p-value ยิ่งต่ำ ยิ่งมีหลักฐานค้าน $H_0$ มาก ธรรมเนียมทั่วไปคือ $p < 0.05$ ถือว่า reject $H_0$ ได้ (นี่คือที่มาของ "ระดับนัยสำคัญ 5%" ที่จะเห็นซ้ำๆ ด้านล่าง)

Cointegration (จาก Statarb Ch.5) หมายความว่า: แม้ราคาสองตัวจะ random walk แต่ linear combination ของมันเป็น stationary:

$$\text{Spread}_t = \log(P_{BTC,t}) - \beta \cdot \log(P_{ETH,t}) - \alpha \sim \text{Stationary}$$

β (beta) คือความชันจาก linear regression ระหว่าง log(BTC) กับ log(ETH) — บอกว่าถ้า log(ETH) เปลี่ยน 1% แล้ว log(BTC) มักเปลี่ยนตามกี่% โดยเฉลี่ยในอดีต เช่น β=0.80 หมายความว่า log(ETH) เปลี่ยน 1% → log(BTC) เปลี่ยนตามเฉลี่ย 0.80% ใช้ค่านี้ถ่วงน้ำหนัก ETH ในสมการ spread เพื่อให้ spread นิ่งที่สุดเท่าที่จะทำได้ (ไม่ใช่แค่ลบราคาตรงๆ)




BTC/ETH Spread (log ratio) — mean-revert กลับสู่ค่าเฉลี่ยอยู่เสมอ → Grid บน spread ทำกำไรได้ต่อเนื่อง

```
ทดสอบ Cointegration สำหรับ Pair Grid:

def test_cointegration(btc_prices, eth_prices, significance=0.05):
    """
    Engle-Granger 2-step cointegration test
    Returns: (is_cointegrated, beta, alpha, adf_stat, p_value)
    """
    import numpy as np
    from scipy import stats

    log_btc = np.log(btc_prices)
    log_eth = np.log(eth_prices)

    # Step 1: OLS regression log_BTC = alpha + beta × log_ETH
    slope, intercept, r, p, se = stats.linregress(log_eth, log_btc)
    beta  = slope
    alpha = intercept

    # Step 2: คำนวณ spread (residuals)
    spread = log_btc - beta * log_eth - alpha

    # Step 3: ADF test บน spread
    adf_stat = adf_test(spread)  # implementation ดูใน statarb
    p_value  = adf_p_value(adf_stat, len(spread))

    is_cointegrated = p_value < significance
    return is_cointegrated, beta, alpha, spread
```

```
# ตัวอย่าง BTC/ETH (180 วัน):
# OLS: log(BTC) = 2.14 + 0.82 × log(ETH)  → beta = 0.82
# ADF stat = −3.47 (critical at 5% = −2.89) → p < 0.05 → cointegrated ✓
# Half-life of spread reversion = ln(2) / |AR coeff| ≈ 8 days
# (สูตรเต็มคือ −ln(2)/ln(φ) โดย φ=AR(1) coefficient — ln(2)/|AR coeff|
#  ด้านบนคือ approximation เมื่อ κ=1−φ มีค่าน้อย ซึ่ง ln(φ)≈−κ)
```

**Johansen Test — ดีกว่า Engle-Granger สำหรับ Pair Grid**

Engle-Granger มี low statistical power ("power" ในที่นี้คือความสามารถของ test ในการจับ cointegration ที่มีอยู่จริงให้เจอ — power ต่ำ = พลาด cointegration จริงบ่อย แม้มันมีอยู่จริง) — ใช้ Johansen เป็น confirmation:

```
from statsmodels.tsa.vector_ar.vecm import coint_johansen

def johansen_cointegration(btc_prices, eth_prices,
significance_level=0.05):
    """
    Johansen test — ดีกว่า Engle-Granger สำหรับ 2+ variables
    Returns True ถ้า cointegrated
    """
    import numpy as np
    data = np.column_stack([np.log(btc_prices), np.log(eth_prices)])
    result = coint_johansen(data, det_order=0, k_ar_diff=1)

    # Trace statistic: critical values at 5%
    # result.cvt[:, 1] = 5% critical values
    trace_stat = result.lr1[0]  # rank=0 hypothesis
    crit_val = result.cvt[0, 1]  # 5% critical value

    is_cointegrated = trace_stat > crit_val
    return {
        "cointegrated": is_cointegrated,
        "trace_stat": trace_stat,
        "crit_val_5pct": crit_val,
        "eigenvectors": result.evec  # loading vectors
    }

# ใช้ทั้งสอง test ร่วมกัน:
```

```
# ถ้า Engle-Granger AND Johansen ทั้งคู่ = cointegrated → เชื่อถือได้สูง
# ถ้าแค่อันเดียว → ระวัง (อาจเป็น spurious)
```

> ⚠️ **Cointegration Break Risk**
>
> Cointegration ไม่ถาวร — ความสัมพันธ์ระหว่าง BTC/ETH อาจพังได้เมื่อ:
>
> - Structural regime change (เช่น ETH ถูก SEC classify เป็น security)
> - Exchange listing/delisting ของ asset ใดอีกตัว
> - Regulatory event ที่กระทบ asset ตัวใดตัวหนึ่งเฉพาะ
>
> **เมื่อ cointegration พัง:** spread ไม่ revert → Pair Grid สะสม unrealized loss ไม่จำกัด ต้องปิด position ทันที
>
> **Re-validate ทุก 30 วัน:** run ADF test + Johansen test ใหม่ ถ้า p-value > 0.05 → หยุด Pair Grid ทันที

```
def rolling_cointegration_check(btc_prices, eth_prices, window=60,
step=5):
    """
    ตรวจ cointegration แบบ rolling — ความสัมพันธ์อาจเปลี่ยนตาม regime
    window: วันที่ใช้ test
    step: ขยับ window ทีละกี่วัน
    """
    from statsmodels.tsa.stattools import coint
    results = []

    for start in range(0, len(btc_prices) - window, step):
        end = start + window
        _, pvalue, _ = coint(btc_prices[start:end],
eth_prices[start:end])
        results.append({
            "start_day": start,
            "end_day": end,
            "p_value": pvalue,
            "cointegrated": pvalue < 0.05
        })

    # นับ % ของ windows ที่ cointegrated
    cointegrated_pct = sum(r["cointegrated"] for r in results) /
len(results)
```

```
    return results, cointegrated_pct

# ถ้า cointegrated_pct < 70% → relationship ไม่เสถียร → ระวัง Pair Grid
```

## 6.3 Spread Grid — โครงสร้าง

เมื่อรู้ว่า spread cointegrated แล้ว วาง grid บน spread โดยตรง:

```
Spread Grid Setup:

spread_mean  = 0.0     (โดย construction จาก OLS)
spread_std   = 0.045   (จาก historical spread distribution)
zone_width   = 3σ each side = ±0.135

# Grid levels (spread units)
spread_levels = [-0.135, -0.090, -0.045, 0.0, +0.045, +0.090, +0.135]
               = [-3σ,   -2σ,   -1σ,   0,   +1σ,    +2σ,   +3σ  ]

# แต่ละ level: ถ้า spread < level → BUY BTC + SHORT ETH
#               ถ้า spread > level → SELL BTC + LONG ETH

def pair_grid_signal(current_spread, spread_levels, prev_spread, beta,
                     btc_price, eth_price, q_btc):
    """
    ตรวจสอบว่า spread ข้ามผ่าน level ไหน → ส่ง orders
    """
    orders = []
    q_eth = q_btc * btc_price / eth_price * beta  # ETH qty ที่ match BTC

    for level in spread_levels:
        if prev_spread > level and current_spread <= level:
            # Spread ลงผ่าน level → spread กำลังต่ำ → BUY spread (Long
BTC, Short ETH)
            orders.append({"action": "BUY_SPREAD",
                           "btc": f"BUY {q_btc} BTC",
                           "eth": f"SHORT {q_eth:.4f} ETH",
                           "tp_spread": level + 0.045})  # TP ที่ level +
1σ

        elif prev_spread < level and current_spread >= level:
            # Spread ขึ้นผ่าน level → spread กำลังสูง → SELL spread (Short
BTC, Long ETH)
            orders.append({"action": "SELL_SPREAD",
                           "btc": f"SHORT {q_btc} BTC",
```

```
                                "eth": f"BUY {q_eth:.4f} ETH",
                                "tp_spread": level - 0.045})  # TP ที่ level −
1σ

    return orders
```

## ยิ่งไกลยิ่งน่าเข้า? — จุดที่ควรเลิกรอ

grid ข้างบนวางถึง ±3σ ทุก level ถือว่า "น่าเข้า" พอๆ กันหมด แต่ยิ่งไกลจาก mean ยิ่งน่าเข้าจริงเหรอ หรือมีจุดที่ควรเลิกคิดว่ามันจะกลับ?

ลองนึกภาพรอเพื่อนที่นัดไว้ — สาย 10 นาทีปกติ สาย 30 นาทีเริ่มกังวล สาย 2 ชั่วโมง ไม่ใช่ "ยิ่งสายนานยิ่งใกล้จะมาถึง" แต่กลับเป็นสัญญาณว่ามีอะไรผิดปกติ

spread ก็เหมือนกัน: ยิ่งเบี่ยงจาก mean ไกลเกินระดับหนึ่ง ความเป็นไปได้ที่ **cointegration พังไปแล้ว** (ไม่ใช่แค่รอ mean-reversion ตามปกติ) ก็ยิ่งสูงขึ้น เพราะเหตุนี้ "โซนที่ควรเข้า" จึงมีขอบเขตจำกัดเสมอ อยู่**ก่อนถึง**จุดยอมแพ้เสมอ (ไม่ใช่ยิ่งไกลยิ่งซื้อเพิ่มไม่มีที่สิ้นสุด — เลยจุดยอมแพ้ไปแล้วคือเลิกเข้าเพิ่ม ไม่ใช่ยิ่งเข้าหนักขึ้น)

เพราะฉะนั้น grid ของ spread ควรมี **จุดยอมแพ้ (give-up point)** กำกับไว้ 2 แบบ:

- **ตามราคา:** ±4σ (นอกช่วง 7 levels ข้างบน) = ปิด position ฉุกเฉินทันที ไม่ว่ากำไรหรือขาดทุน — ระดับนี้ไม่ใช่ level ให้ "เข้าเพิ่ม" แต่เป็นสัญญาณให้ออก
- **ตามเวลา:** ถ้าถือ position เกิน ~3 เท่าของ half-life (half-life = เวลาเฉลี่ยที่ spread ใช้ "กลับมาครึ่งทาง" สู่ค่าเฉลี่ยหลังเบี่ยงออกไป — จาก §6.2 half-life ≈ 8 วัน → ยอมแพ้ที่ ~24 วัน) โดยยังไม่ถึง TP ให้ re-run cointegration test ทันที — ไม่ต้องรอรอบเช็ค 30 วันตามปกติ (ดูกล่อง Cointegration Break Risk ด้านบน)

อ่านต่อ (ไม่จำเป็นต้องอ่านเพื่อใช้เล่มนี้): Leung & Li, "Optimal Mean Reversion Trading with Transaction Costs and Stop-Loss Exit" (2015) — พิสูจน์ว่าโซนเข้าซื้อของ mean-reversion ที่ optimal มีขอบเขตจำกัดเสมอ ไม่ใช่ยิ่งไกลยิ่งเข้า

## 6.4 Capital Allocation สำหรับ Pair Grid

```
Capital Allocation — Pair Grid:

สมมติ: BTC = $100k · ETH = $3,500 · beta = 0.82
Q_btc = 0.01 BTC per level

Q_eth = Q_btc × BTC_price / ETH_price × beta
      = 0.01 × $100,000 / $3,500 × 0.82
      = 0.01 × 28.57 × 0.82 = 0.2343 ETH

# ตรวจ dollar parity
BTC_notional = 0.01 × $100k = $1,000
ETH_notional = 0.2343 × $3,500 = $820

# beta-adjusted hedge ratio ทำให้ไม่ต้องเท่ากันพอดี (beta = 0.82 ≠ 1)

Capital ต่อ level (worst case):
  Long BTC:  $1,000 (ซื้อ BTC)
  Short ETH: margin $82 (10× leverage)
  Total per level: $1,082

# 7 levels total:
Total pair grid capital: 7 × $1,082 ≈ $7,574

กำไรต่อรอบ (spread กลับ 1σ = 0.045):
  BTC leg:  0.01 BTC × $100k × 0.045 = $45 (ถ้า spread mean-reverts ผ่าน
1σ)
  ETH leg:  0.2343 ETH × $3,500 × 0.045 × 0.82 ≈ $30
  Net gain: ≈ $45 − $30 = $15 per cycle (net of both legs)
  Note: กำไรจาก spread convergence ไม่ใช่ price direction
```

⚠️ **Beta (β) ระหว่าง BTC/ETH ไม่คงที่ตาม Regime**

Beta ที่คำนวณจาก 60–90 วัน อาจเปลี่ยนมากใน regime ต่างกัน:

- Bull market: β ≈ 1.1–1.3 (ETH outperforms BTC)
- Bear market: β ≈ 0.8–1.0 (ETH underperforms ชัดกว่า)

- ถ้าใช้ static β ที่คำนวณในช่วง bull แล้วเข้าสู่ bear → spread signal ผิดทั้งหมด

**แก้:** ใช้ rolling β (window 30 วัน) และ recalibrate ทุก 2 สัปดาห์ หรือตรวจ β drift > 20% → หยุด Pair Grid ชั่วคราว

```
def rolling_beta(btc_returns, eth_returns, window=30):
    """คำนวณ beta แบบ rolling"""
    betas = []
    for i in range(window, len(btc_returns)):
        x = btc_returns[i-window:i]
        y = eth_returns[i-window:i]
        beta = np.cov(x, y)[0,1] / np.var(y)
        betas.append(beta)
    return betas

# ถ้า |beta_current - beta_initial| > 0.2 → recalibrate หรือหยุด Pair
Grid
```

**ข้อดีของ Pair Grid vs Single-Asset Grid**

- Market-neutral: BTC pump/dump ไม่ affect pair grid มากนัก (ถ้า cointegration คงอยู่)
- Spread mean-reversion แข็งแกร่งกว่า price mean-reversion (half-life สั้นกว่า)
- 2 sources of income: spread reversion + funding rate ของ short leg

## 6.5 Relative Value Switching — เลือก Asset ที่ดีที่สุด

เมื่อมีหลาย pair หรือหลาย asset — Relative Value Switching เลือก grid บน pair/asset ที่มี mean-reversion signal แรงที่สุด ณ เวลานั้น

สังเกตในสูตรด้านล่างว่า Hurst ได้น้ำหนักตั้ง 40% — มากกว่า spread z-score เสียอีก ทำไม? ลองนึกภาพสปริงสองเส้น: เส้นหนึ่งแข็ง ดึงออกนิดเดียวก็ดีดกลับเร็ว อีกเส้นอ่อน ดึงออกเท่ากันแต่คืนตัวช้ากว่ามาก **z-score บอกแค่ "ตอนนี้ยืดออกไปเท่าไหร่" ส่วน Hurst บอกว่า "สปริงเส้นนี้แข็งหรืออ่อน" — คือจะดีดกลับเร็วแค่ไหน** คู่ที่ z สูงมากแต่ H ก็สูงด้วย (สปริงอ่อน) อาจยืดต่อไปอีกนานกว่าจะกลับ ในขณะที่คู่ที่ z ปานกลางแต่ H ต่ำมาก (สปริงแข็ง) มีโอกาสกลับไวกว่าเยอะ — และยิ่งกลับไว ยิ่งเก็บรอบต่อวันได้มากกว่า break-even ที่ Part 0 พูดถึงได้ง่ายขึ้น นี่คือเหตุผลที่ H ควรมีน้ำหนักมากกว่า z-score ในการจัดอันดับว่าคู่ไหนน่าเล่นที่สุด

```
Relative Value Score — เปรียบ 3 grids:

ตัวเลือก:
  A: BTC/USDT Spot Grid
  B: BTC/ETH Pair Grid
  C: ETH/USDT Spot Grid

Score ต่อ asset (0–100):
  = 0.40 × Hurst_score + 0.30 × Spread_z_score + 0.30 × Momentum_score

def relative_value_score(hurst, spread_zscore, momentum_reversal):
    """
    spread_zscore = |current spread − mean| / std (ยิ่งสูง = ยิ่งน่า trade)
    momentum_reversal = RSI extreme (ดูจาก Part 3B)
    """
    h_score = hurst_score_for_grid(hurst)  # จาก Part 3B

    # Spread z-score: ยิ่งสูง ยิ่งดี (spread ห่างจาก mean มาก)
    z_score_clamped = min(3.0, abs(spread_zscore))
    z_score_score = z_score_clamped / 3.0 * 100  # map to 0–100

    mom_score = rsi_score_for_grid(momentum_reversal)  # จาก Part 3B

    return 0.40 * h_score + 0.30 * z_score_score + 0.30 * mom_score

# ตัวอย่าง:
```

```
# A (BTC Spot): Hurst=0.48→h_score=65, z=0.5→z_score=16.67,
RSI=45→mom=55
#   score = 0.40×65 + 0.30×16.67 + 0.30×55 = 26.0+5.0+16.5 = 47.5
# B (BTC/ETH): Hurst=0.43→h_score=85, z=2.1→z_score=70.0, RSI=32→mom=68
#   score = 0.40×85 + 0.30×70.0 + 0.30×68 = 34.0+21.0+20.4 = 75.4 ←
WINNER
# C (ETH Spot): Hurst=0.53→h_score=40, z=0.8→z_score=26.67,
RSI=50→mom=50
#   score = 0.40×40 + 0.30×26.67 + 0.30×50 = 16.0+8.0+15.0 = 39.0

# → Allocate 70% capital ไปที่ Pair Grid (B) + 30% ไปที่ BTC Spot (A)
```

## 6.6 Multi-Asset Grid Portfolio

เมื่อมี capital มากพอ — เปิดหลาย grid พร้อมกัน แต่ต้องจัดการ correlation ระหว่าง assets:

| Grid | Asset | Correlation กับ BTC Grid | Max Allocation (ตามสูตรด้านล่าง) |
|---|---|---|---|
| Grid 1 | BTC/USDT Spot | 1.0 (ตัวเอง) | 20% (corr สูงสุด → cap ต่ำสุด) |
| Grid 2 | ETH/USDT Spot | 0.75 (สูง) | 25% |
| Grid 3 | BTC/ETH Pair | 0.10 (ต่ำ — market neutral) | 50% (corr ต่ำสุด → cap สูงสุด) |
| Grid 4 | SOL/USDT | 0.55 (ปานกลาง) | 35% |

แต่ละแถวคือ ceiling อิสระต่อ grid เดียว (มาจาก max_allocation_by_correlation ด้านล่าง) ไม่ใช่สัดส่วนที่ต้องรวมกันได้ 100% พอดี — portfolio จริงต้องเลือก allocation ของแต่ละ grid ให้อยู่ใต้ cap ของตัวเอง *และ* รวมกันไม่เกิน 100% ของทุนทั้งหมด

```
Portfolio Correlation Management:

def max_allocation_by_correlation(correlation_with_btc):
    """
    ยิ่ง correlation สูง → max allocation น้อยลง (ป้องกัน concentration)
    """
    if correlation_with_btc > 0.80:
        return 0.20   # max 20%
    elif correlation_with_btc > 0.60:
        return 0.25   # max 25%
    elif correlation_with_btc > 0.40:
        return 0.35   # max 35%
    else:
        return 0.50   # market-neutral: max 50%

ข้อดี Multi-Asset Grid:
  + Diversification ลด drawdown รวม
  + เมื่อ BTC trending (grid BTC หยุด) → Pair Grid ยังทำงาน
  + ลด "idle capital" ในช่วง single-asset dead zone

ข้อเสีย:
  - ต้องการ capital มากกว่า
```

```
  - การ monitor ซับซ้อนขึ้น
  - Correlation พัง ใน market crash (all correlate to 1)
```

## 6.7 Running Example — BTC/ETH Pair Grid

🔁 **Running Example: BTC/ETH Pair Grid Implementation**

**Setup:** Capital $15,000 · BTC=$102k · ETH=$3,600 · beta=0.80 · spread_std=0.040

```
Step 1: คำนวณ Q
  Q_btc = 0.008 BTC per level (จาก capital / N × price)
  Q_eth = 0.008 × $102k / $3,600 × 0.80 = 0.1813 ETH

Step 2: Spread levels (7 levels ±3σ)
  σ = 0.040 → levels: −0.12, −0.08, −0.04, 0, +0.04, +0.08, +0.12

Step 3: Current spread
  log(102,000) − 0.80 × log(3,600) = 11.533 − 0.80×8.188 = 11.533
− 6.550 = 4.983
  spread_mean (OLS fit) ≈ 4.983 → normalized spread =
(4.983−4.983)/0.040 = 0

Day 5: BTC ลง $4k → $98k, ETH ขึ้น $200 → $3,800
  new spread = log(98k) − 0.80×log(3,800) = 11.493 − 0.80×8.243 =
11.493−6.594 = 4.899
  normalized: (4.899 − 4.983)/0.040 = −2.1σ → ใกล้ −2σ level

Action: BUY spread ที่ −2σ
  BUY 0.008 BTC @ $98,000 = $784
  SHORT 0.1813 ETH @ $3,800 = $689 notional (margin 10× = $69)
  TP: spread กลับมา −1σ level

Day 8: BTC $100k, ETH $3,740 → spread = log(100k) −
0.80×log(3,740) = 11.513 − 6.581 = 4.932
  normalized: (4.932−4.983)/0.040 = −1.3σ → ยังไม่ถึง TP (−1σ) ยังถือ
position

Day 10: BTC $106k, ETH $3,650 → spread = log(106k) −
0.80×log(3,650) = 11.571 − 6.562 = 5.009
  normalized: (5.009−4.983)/0.040 = +0.66σ → ผ่าน TP (−1σ) ไปแล้ว
(spread น่าจะข้าม −1σ
  จริงระหว่าง Day 8–10 แต่ตัวอย่างนี้ snapshot แค่วันเว้นวัน ไม่ได้ track ทุกวัน
```

```
  เพื่อความง่าย จึงคำนวณ P&L จากราคา ณ Day 10 ไม่ใช่ราคา ณ จุดที่ TP ถูกแตะจริง —
  P&L จริงถ้า execute ทันทีที่ −1σ อาจน้อยกว่านี้)
  TP hit!
  BTC gain: 0.008 × ($106k − $98k) = $64
  ETH short gain: 0.1813 × ($3,800 − $3,650) = $27.2
  Net P&L: $64 + $27.2 = $91.2 per cycle (ใน 5 วัน)
  ≈ $91 / $853 capital used = 10.7% ใน 5 วัน  ← best-case (spread revert ตรงเวลา, ไม่มี slippage)

Note: BTC ขึ้น $8k แต่ ETH ขึ้นน้อยกว่า (relative) → spread converge → กำไรจาก spread ไม่ใช่ direction
ในทางปฏิบัติ spread ไม่ revert ทุก cycle — ผลจริงต่ำกว่านี้ได้
```

## 6.8 แบบฝึกหัด

**แบบฝึกหัด Part 6**

▶ ข้อ 1: ADF stat = −2.45 บน BTC/ETH spread · Critical value 5% = −2.89 — Cointegrated หรือไม่?

▶ ข้อ 2: Pair Grid BTC/ETH มี correlation กับ BTC Spot Grid ต่ำ (~0.10) — ทำไม Pair Grid ถึง market-neutral?

▶ ข้อ 3: beta=0.80 · Q_btc=0.01 BTC · BTC=$100k · ETH=$4,000 — Q_eth เท่าไหร่? Dollar value match ไหม?

▶ ข้อ 4: ทำไม correlation ระหว่าง assets พัง (→ 1) ใน market crash? และ Pair Grid จะเป็นอย่างไร?