รายงานสรุปผลการวิเคราะห์พฤติกรรม Trading Agent

(TD3 Algorithm)

การวิเคราะห์พฤติกรรมและการเรียนรู้ของ Deep Reinforcement Learning Agent ในการบริหารพอร์ตการลงทุนจัดสรรสินทรัพย์ประเภท ETF (DIA, QQQ, SPY) ร่วมกับการใช้ตัวชี้วัดทางเทคนิคและสภาวะมหภาค (VIX, Bond Yield, Gold, WTI, Fed Rate, M2)

---

1. ภาพรวมสถาปัตยกรรมและการตั้งค่าระบบ (System Setup)

- **Model:** Twin Delayed DDPG (TD3) ร่วมกับ NormalActionNoise
- **Assets:** ETF ดัชนีหลัก 3 ตัว (DIA, QQQ, SPY)
- **Reward Function Design:**
  1. **Asymmetric Penalty:** ทำโทษการขาดทุนเป็น 2 เท่า ของสัดส่วนผลตอบแทน เพื่อสร้างพฤติกรรม "กลัวการขาดทุน" (Loss Aversion)
  2. **VIX Market Risk Penalty:** หักคะแนนความเสี่ยงเพิ่มหาก Agent ถือครองสินทรัพย์สูงในช่วงที่ตลาดผันผวน ($VIX > 20$)
  3. **Transaction Cost Scaling:** หักค่าธรรมเนียมการเทรด 0.1% ทั้งขาซื้อและขาขาย

2. พฤติกรรมช่วงการฝึกสอน (Training Phase: 1999 - 2019)

ข้อมูลย้อนหลัง 20 ปีครอบคลุมหลายสภาวะตลาด (เช่น วิกฤต Dot-com ปี 2000 และ Subprime ปี 2008)

Timesteps	Actor Loss	Critic Loss	พฤติกรรมและการเรียนรู้ของ Agent
2,048	2.26×10^3	4.97×10^3	เริ่มต้นสุ่ม Action มีความผันผวนในการประเมินมูลค่าพอร์ตสูง
4,096	1.42×10^3	1.50×10^3	ค่า Loss ลดลงอย่างรวดเร็ว Agent เริ่มจับทิศทางราคาและสภาวะ VIX ได้
8,192	8.12×10^2	2.29×10^3	Actor Loss เสถียรขึ้น เริ่มเรียนรู้การหลบเลี่ยงความเสี่ยงช่วงตลาดผันผวน
10,240 - 14,336	5.88×10^2 ถึง 5.65×10^2	9.76×10^2 ถึง 1.35×10^3	Critic และ Actor ลดลงเหลือน้อยกว่า 1,000 แสดงว่าโมเดลเริ่มนิ่งและแม่นยำขึ้น สภาพการเรียนรู้เข้าสู่นิยามของการลู่เข้า (Convergence) และพร้อมใช้งาน

สรุปพฤติกรรมช่วง Training:

Agent เรียนรู้ได้อย่างสม่ำเสมอ โดยสังเกตได้จาก Actor Loss ที่ลดลงจาก 2,260 เหลือเพียง 565 นโยบายการเทรด (Policy) มีความเสถียร ไม่เกิดอาการลู่ออก (Divergence)

3. พฤติกรรมช่วงประเมินผล (Validation Phase: 2020 - 2023)

ช่วงข้อมูลทดสอบเป็นช่วงที่ตลาดมีความผันผวนสูงมากจากวิกฤต COVID-19 และการขึ้นดอกเบี้ยนโยบายอย่างรวดเร็ว ผลงานในการสอบ Validation (ข้อสอบย้อนหลัง 4 ปี) มีดังนี้:

- **เงินทุนเริ่มต้น:** 1,000,000.00 USD
- **เงินทุนสิ้นสุด:** 1,537,148.00 USD (กำไรสุทธิ +53.71%)
- **จำนวนการเทรดทั้งหมด:** 2,028 ครั้ง (เฉลี่ยประมาณ 2 ครั้ง/วันทำการ)
- **ค่าธรรมเนียมการเทรดรวม:** 1,926.78 USD
- **Sharpe Ratio:** 0.590
- **Episode Reward:** 53.27 +/- 0.00 (ค่า Mean Reward คงที่ตลอดการ Eval)

สรุปพฤติกรรมช่วง Validation:

Agent แสดงพฤติกรรม "Active Rebalancing" หรือปรับพอร์ตสม่ำเสมอตามสัญญาณ VIX และเทรนด์มหภาค แม้ตลาดช่วงปี 2020-2023 จะผันผวนรุนแรง แต่ตัวคูณทำโทษ Asymmetric Loss ช่วยให้ Agent เอาตัวรอดได้ สามารถสร้างกำไรเติบโต +53.71% โดยเสียค่าธรรมเนียมเพียง 1,926.78 USD เท่านั้น

4. พฤติกรรมช่วงทดสอบจริง (Out-of-Sample Test: 2024 - 2026)

การนำโมเดลที่ดีที่สุดจากช่วง Validation มารันแบบไม่เห็นข้อมูลมาก่อน (Unseen Data) ในช่วงตลาดกระทิงและสภาวะการเงินเปลี่ยนผ่าน สรุปผลงานบอทเทรดในหน้าต่างทดสอบจริงได้ดังนี้:

60.03%	**20.23%**	**-18.76%**	**1.25**
กำไรสะสม (Total Return)	ผลตอบแทนทบต้น (CAGR)	จุดขาดทุนสูงสุด (Max Drawdown)	ความคุ้มค่าความเสี่ยง (Sharpe Ratio)

- **อัตราความแม่นยำรายวัน (Win Rate):** 56.77%

สรุปพฤติกรรมช่วง Test Set:

1. **ประสิทธิภาพสูงขึ้นอย่างก้าวกระโดด:**

   Sharpe Ratio พุ่งขึ้นจาก 0.590 (Validation) เป็น 1.25 (Test) สะท้อนว่า Agent สามารถเก็บเกี่ยวผลตอบแทนจากสภาวะตลาดในช่วงปี 2024-2026 ได้อย่างคุ้มค่าเมื่อเทียบกับความเสี่ยง

2. **การคุม Drawdown อยู่ในเกณฑ์ดีมาก:**

   Max Drawdown อยู่ที่ -18.76% ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับมาตรฐานของกองทุนเชิงรุก (Aggressive Fund) ไม่ปล่อยให้พอร์ตเสียหายรุนแรง

3. **Win Rate สอดคล้องกับ DRL สไตล์ Trend Following:**

   อัตราความแม่นยำ 56.77% อยู่ในจุดที่สร้าง Edge ทางคณิตศาสตร์อย่างยั่งยืน เมื่อรวมกับ Asymmetric Reward ที่คุมความเสียหายฝั่งขาดทุน

5. บทสรุปภาพรวมและข้อเสนอแนะ (Executive Summary)

1. **กลยุทธ์ผ่านการพิสูจน์ (Robustness):** Agent ไม่เกิด Overfitting เนื่องจากผลงานช่วง Test Set (CAGR 20.23%, Sharpe 1.25) ทำได้ดีกว่าช่วง Validation Set (Sharpe 0.590) อย่างชัดเจน
2. **ความสำเร็จของ Reward Function:** การลงโทษเมื่อ VIX สูง และการคูณ 2 เท่ากับการขาดทุน ทำให้ Agent มีพฤติกรรมเน้น "รักษาเงินต้นในช่วงวิกฤต และโถมกำไรในช่วงตลาดเป็นเทรนด์"
3. **การควบคุมต้นทุนธุรกรรม:** ค่าธรรมเนียมการเทรดที่เกิดขึ้นจริงคิดเป็นสัดส่วนที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับกำไรสุทธิ ทำให้ระบบสามารถนำไปปรับใช้ในบัญชีเทรดจริง (Live Trading) ได้อย่างคุ้มค่า