

คณิตศาสตร์ของธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์: ยิลด์ฟาร์มมิ่ง
(Mathematics of Decentralized Finance: Yield Farming)

นางสาวณัฐนิชา จิรคุปต์
รหัส 620510494

ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2565

คณิตศาสตร์ของธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์: ยิลด์ฟาร์มมิ่ง
(Mathematics of Decentralized Finance: Yield Farming)

ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาคณิตศาสตร์

คณะกรรมการควบคุมการค้นคว้าอิสระ:

Pattana Phutpradit ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาคภูมิ เพ็ชรประดับ)

Imkong Nul กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมพล บุญปก)

คณิตศาสตร์ของธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์: ยีลด์ฟาร์มมิ่ง
(Mathematics of Decentralized Finance: Yield Farming)

นางสาวณัฐนิชา จิรคุปต์
รหัส 620510494

ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2565

กิตติกรรมประกาศ

งานค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในกระบวนวิชา 206499 การค้นคว้าอิสระ (Independent Study) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ นักศึกษาได้ศึกษาค้นคว้า รวมทั้งประยุกต์ใช้ทฤษฎีและแนวคิดทางคณิตศาสตร์ในการทำงานค้นคว้าอิสระ

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาคภูมิ เพ็ชรประดับ อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะต่าง ๆ รวมถึงตรวจสอบ พิจารณา แก้ไขงานค้นคว้าอิสระนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมพล บุญปก อาจารย์กรรมการสอบงานค้นคว้าอิสระ ที่ให้ความอนุเคราะห์ตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสม และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์สำหรับการปรับปรุงและพัฒนางานค้นคว้าอิสระนี้

ขอขอบคุณ คณาจารย์ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน ให้ความรู้ทั้งในและนอกตำราเรียนแก่ข้าพเจ้า รวมถึงข้อเสนอแนะต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาค้นคว้าอิสระนี้

ขอขอบคุณ บิดา มารดา ผู้คอยให้การสนับสนุนอย่างสม่ำเสมอตลอดการค้นคว้าอิสระนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณ เพื่อน รุ่นพี่ ในภาควิชาคณิตศาสตร์ทุกคนที่มีส่วนช่วยให้คำปรึกษา และกำลังใจในงานค้นคว้าอิสระ มา ณ ที่นี้ด้วย

หากผลงานการค้นคว้าอิสระนี้เป็นประโยชน์ประการใดต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง หรือผู้ที่สนใจศึกษาต่อ ขออุทิศความดีนี้แด่คณาจารย์ และบุคลากรที่ได้ให้การสนับสนุนในการค้นคว้าอิสระ แต่หากมีข้อผิดพลาดประการใดผู้จัดทำขออภัยมา ณ ที่นี้ และน้อมรับข้อผิดพลาดนั้นแต่เพียงผู้เดียว

ณัฐธินิชา จิรคุปต์

บทคัดย่อ

ในช่วงปี 2020 – ต้นปี 2022 สกุลเงินดิจิทัล หรือ คริปโตเคอร์เรนซีได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก มูลค่าการลงทุนด้วยสกุลเงินดิจิทัลเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับการลงทุนในธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์ หรือ DeFi ซึ่งเป็นการลงทุนที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างสูง อย่างไรก็ตามในปี 2022 มูลค่าการลงทุนด้วยสกุลเงินดิจิทัลลดลงอย่างมากจากช่วงปี 2020 มูลค่าของสกุลเงินดิจิทัลหลายสกุลลดลง หรือบางสกุลก็สูญเสียมูลค่าไป นักลงทุนหลายคนประสบปัญหาการขาดทุน

ในการค้นคว้าอิสระนี้ผู้จัดทำจึงได้ศึกษาหลักการทำงานของธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์ในรูปแบบการลงทุนแบบยิลด์ฟาร์มมิ่ง โดยสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม รวมถึงการหาขั้นตอนวิธีและเขียนรหัสคำสั่งเพื่อจำลองหลักการทำงานของธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์ในรูปแบบการลงทุนแบบ Yield Farming เพื่อคาดการณ์ผลตอบแทนที่เกิดขึ้นจากการลงทุนในกรณีต่าง ๆ ตามที่พบในสถานการณ์จริง

From 2020 to 2022, cryptocurrency received significant attention. Investments in cryptocurrencies gained value, particularly decentralized finance (DeFi) in yield farming, the most common investment. However, the value of cryptocurrencies has dramatically reduced during 2022. Several cryptocurrencies have suffered a drop in value, while certain currencies lost most of their value. As a result, some investors in cryptocurrency took a loss of their money.

In this independent study, we consider the mathematical principle of decentralized finance for investment in yield farming via mathematical modeling. Moreover, we derive the algorithm for the simulation of the investment in order to predict the value of return depend on the real situation.

สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	III
1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์	1
1.2 นิยามเชิงปฏิบัติการ	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
2 ความรู้พื้นฐาน	6
2.1 ความน่าจะเป็น	6
2.2 การเติบโตเชิงเส้น	7
2.3 การจำลองแบบมอนติคาร์โล	8
2.4 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ	10
3 วิธีการศึกษา	11
3.1 โปรแกรมพิเศษ	11
3.2 กำหนดค่าเริ่มต้นของปัญหา	11
3.3 ขั้นตอนการศึกษา	13
4 ผลการศึกษา	20
5 สรุปผลการศึกษา	37
บรรณานุกรม	39
ภาคผนวก	

บทที่ 1

บทนำ

ธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์ หรือ DeFi (Decentralized Finance) ด้วยการลงทุนแบบยิลด์ฟาร์มมิ่ง (Yield Farming) ซึ่งเป็นรูปแบบการลงทุนที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างสูงในกลุ่มผู้ที่มีความสนใจในการลงทุนในสกุลเงินดิจิทัล หรือ Cryptocurrency และผู้ต้องการหลีกเลี่ยงปัญหาเงินเฟ้อในช่วงปี 2020 - ต้นปี 2022 ที่เศรษฐกิจถดถอย อันเนื่องมาจากนโยบายปิดประเทศของหลายประเทศเพื่อป้องกันการแพร่ระบาดของเชื้อโคโรนาไวรัส 2019 แต่อย่างไรก็ตามในปี 2022 มูลค่าของสกุลเงินดิจิทัลต่าง ๆ กลับปรับตัวลดลงอย่างรวดเร็ว เพราะนักลงทุนหลายรายขาดความรู้ ความเข้าใจ และความเชื่อมั่นในการลงทุนในสกุลเงินดิจิทัล ส่งผลให้มีนักลงทุนหลายรายประสบปัญหาขาดทุน โดยการศึกษาหาคำอธิบาย สร้างขั้นตอนวิธี รวมถึงรหัสคำสั่งเพื่อจำลองการทำงานของธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์ด้วยการลงทุนแบบยิลด์ฟาร์มมิ่ง

ในงานค้นคว้านี้ผู้จัดทำได้ศึกษา และสร้างขั้นตอนวิธีเพื่อจำลองการทำงานของธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์ โดยบทที่ 2 จะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานที่จะช่วยให้ผู้อ่านทำความเข้าใจงานค้นคว้าอิสระนี้ได้ดียิ่งขึ้น บทที่ 3 จะอธิบายเกี่ยวกับวิธีการศึกษาและสร้างขั้นตอนวิธีในการจำลองการทำงานของธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์ด้วยการลงทุนแบบยิลด์ฟาร์มมิ่ง บทที่ 4 เป็นการแสดงผลการศึกษาที่ได้รับจากขั้นตอนวิธีดังกล่าว และสรุปผลการศึกษาในบทที่ 5

1.1 วัตถุประสงค์

1.1.1. ศึกษาหลักการทำงานทางคณิตศาสตร์ของธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์ด้วยการลงทุนแบบยิลด์ฟาร์มมิ่ง

1.1.2. สร้างขั้นตอนวิธีและเขียนรหัสคำสั่งเพื่อจำลองหลักการทำงานของธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์ด้วยการลงทุนแบบยิลด์ฟาร์มมิ่ง

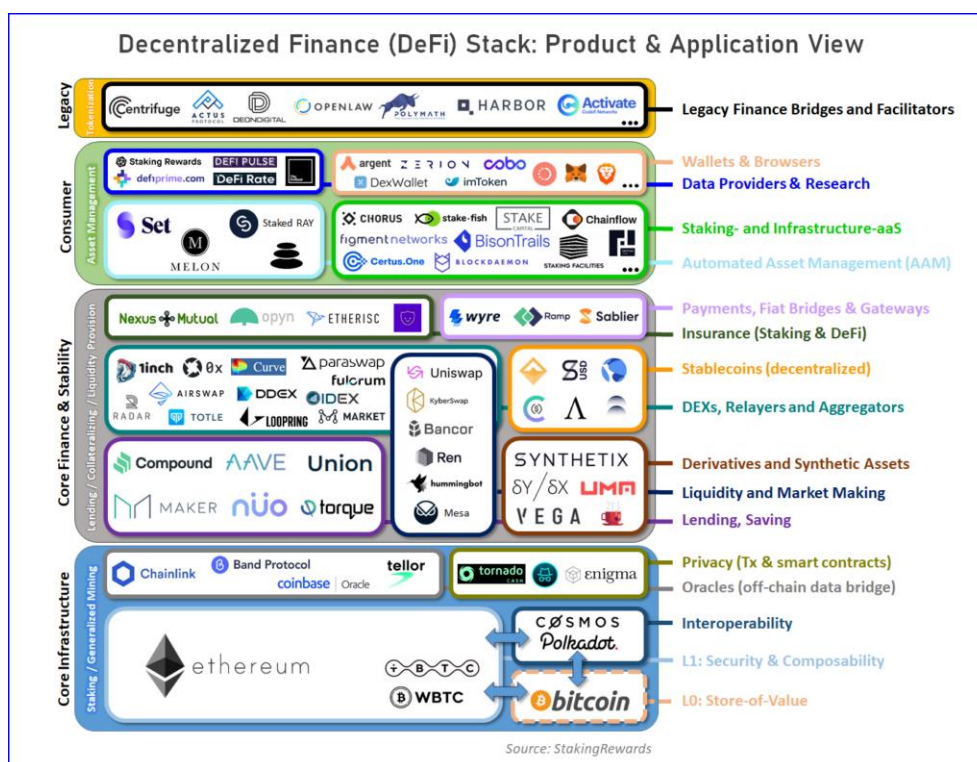
1.1.3. หาค่าคาดการณ์ของมูลค่ากลุ่มหลักทรัพย์ลงทุนในอนาคตภายใต้ธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์ด้วยการลงทุนแบบยิลด์ฟาร์มมิ่ง

1.2 นิยามเชิงปฏิบัติการ

1.2.1 **บล็อกเชน (Block Chain)** คือ เทคโนโลยีการประมวลผลและจัดเก็บข้อมูลแบบกระจายศูนย์ (Distributed Ledger Technology: DLT) ซึ่งเป็นรูปแบบการบันทึกข้อมูลที่ใช้หลักการ Cryptography ร่วมกับกลไก Consensus โดยข้อมูลที่ถูกบันทึกในระบบบล็อกเชนนี้นั้นจะแก้ไขเปลี่ยนแปลงได้ยาก ซึ่งช่วยเพิ่มความถูกต้อง และความน่าเชื่อถือของข้อมูล

1.2.2 **สัญญาอัจฉริยะ (Smart Contract)** คือ ข้อตกลงประเภทหนึ่งที่ทำงานคล้ายกับสัญญาที่เป็นลายลักษณ์อักษร แต่ทำงานอัตโนมัติและเก็บรักษาข้อมูลไว้ในโดเมนสาธารณะ ซึ่งบันทึกและจัดทำเป็นเอกสารเหมือนสัญญาทั่วไปบนบล็อกเชนและไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ บล็อกเชนถูกใช้เพื่อจัดการธุรกรรมทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับ Smart contract และสามารถเปิดใช้งานได้ทันที โดยไม่ต้องมีการตรวจสอบจากบุคคลที่สาม

1.2.3 **ธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์ (Decentralized Finance: DeFi)** คือ ระบบการเงินไร้ตัวกลางที่สามารถดำเนินธุรกรรมได้เหมือนกับธุรกิจการเงินแบบรวมศูนย์ (Centralized Finance: CeFi) เช่น ธนาคาร สถาบันทางการเงิน ได้ นั่นคือ ผู้ใช้บริการสามารถทำธุรกรรมทางการเงินระหว่างกันและกันได้โดยไม่ต้องผ่านตัวกลาง โดยมี Smart Contract เป็นสิ่งที่เพิ่มความเชื่อมั่น



ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์ที่มีอยู่จริง

(ที่มา: <https://zipmex.com/th/learn/decentralized-finance-defi-explained/>)

1.2.4 **ตลาดแลกเปลี่ยนแบบกระจายศูนย์ (Decentralized Exchange: DEX)** คือ แพลตฟอร์มแลกเปลี่ยนสินทรัพย์ดิจิทัลแบบ Peer-to-Peer (P2P) ซึ่งทำการซื้อขายระหว่างผู้ซื้อและผู้ขายโดยตรง ต่างจากตลาดแลกเปลี่ยนแบบรวมศูนย์ (Centralized Exchange: CEX) เช่น ธนาคาร ร้านแลกเงิน

1.2.5 **เหรียญประจำบล็อกเชน (Native Coin)** คือ เหรียญประจำบล็อกเชนใช้สำหรับจ่ายค่าธรรมเนียม (Gas Fee) ในการทำธุรกรรมต่าง ๆ บนบล็อกเชนนั่น ๆ เช่น เหรียญ Ethereum เป็นเหรียญประจำบล็อกเชนของบล็อกเชน Ethereum และเหรียญ BNB เป็นเหรียญประจำบล็อกเชนของบล็อกเชน Binance Smart Chain

1.2.6 **เหรียญประจำแพลตฟอร์ม (Governance Token)** คือ เหรียญที่ออกโดยผู้พัฒนา สร้างขึ้นมาเพื่อให้ผู้ถือสามารถเสนอแนะและมีส่วนในการตัดสินใจและพัฒนาโปรโตคอล ผู้ถือเหรียญจะมีอำนาจในการตัดสินใจเกี่ยวกับโครงการใหม่ที่เกิดขึ้น เช่น การเสนอกฎระเบียบและคุณลักษณะใหม่ รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงและการดูแลระบบนั้น ผู้ถืออาจจะได้รับเหรียญประจำแพลตฟอร์มผ่านการระดมทุนของผู้พัฒนาสำหรับพัฒนาแพลตฟอร์มการลงทุนนั้น หรืออาจจะได้รับผ่านการทำยิลด์ฟาร์มมิ่งก็ได้เช่นกัน

1.2.7 **เงินตรา หรือ เงินกระดาษ (Fiat Money)** คือ เงินที่สามารถจับต้องได้และถูกใช้เนื่องจากคำสั่งของรัฐบาล ดังนั้น คุณค่าของเงินจะขึ้นอยู่กับนโยบายการคลังที่รับผิดชอบและกฎหมายต่าง ๆ เพื่อช่วยให้ธนาคารกลางสามารถควบคุมเศรษฐกิจได้ดียิ่งขึ้น เช่น เงินดอลลาร์สหรัฐ เงินบาท เป็นต้น

1.2.8 **Gas Fee** คือ ค่าธรรมเนียมสำหรับการทำธุรกรรมต่าง ๆ บนบล็อกเชนนั่น ๆ โดยกำหนดจ่ายเป็นสกุลเงินของเหรียญประจำบล็อกเชนนั่น ๆ

1.2.9 **Processing Fee** คือ ค่าธรรมเนียมสำหรับการแลกเปลี่ยนเงินกระดาษเป็นสกุลเงินดิจิทัล

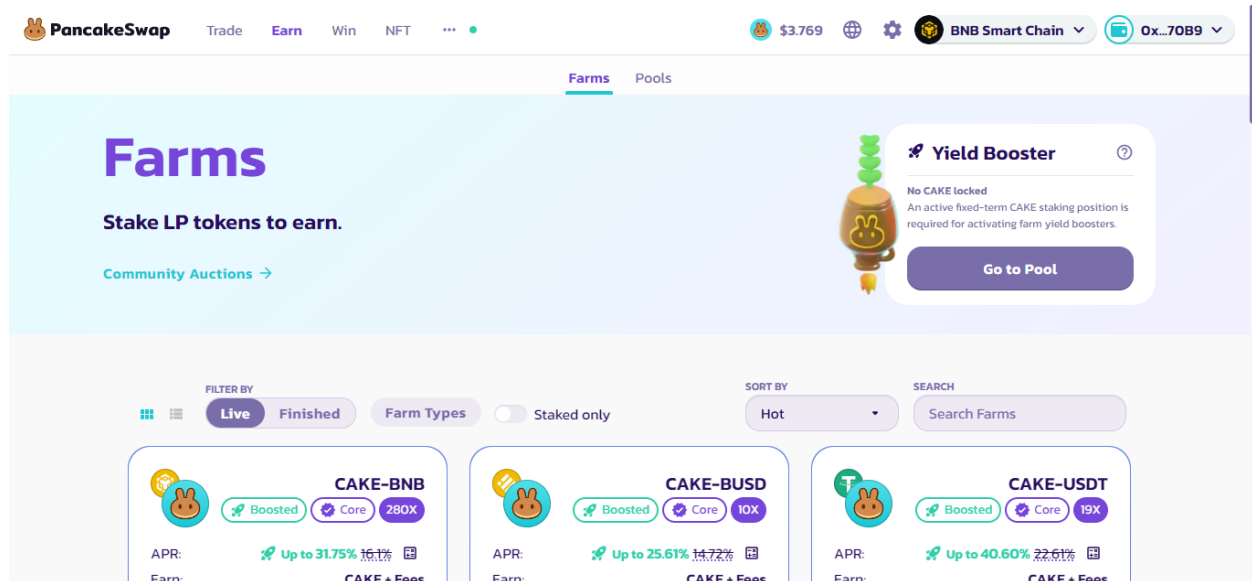
1.2.10 **Swap Fee** คือ ค่าธรรมเนียมสำหรับการแลกเปลี่ยนเหรียญ โดยกำหนดจ่ายเป็นสกุลของเหรียญประจำบล็อกเชนให้กับ DEX และเป็น 0.25% ของมูลค่าการแลกเปลี่ยน

1.2.11 **สภาพคล่อง (Liquidity Pool: LP)** คือ เป็นการนำเหรียญมาลงทุนกับ DEX โดยแต่ละ DEX จะนำเหรียญเหล่านั้นไปปล่อยกู้หรือแลกเปลี่ยนเป็นสกุลเงินต่าง ๆ ซึ่งผู้ที่มาวางสภาพคล่อง (Liquidity Providers: LPs) จะได้รับค่าตอบแทนเป็น Reward และค่าธรรมเนียม

1.2.12 **ยิลด์ฟาร์มมิ่ง (Yield Farming)** คือ วิธีการลงทุนด้วยสกุลเงินดิจิทัลรูปแบบหนึ่งที่นักลงทุนสามารถทำกำไรจากการฝากสินทรัพย์ดิจิทัลกับสภาพคล่องของ DEX เพื่อรับส่วนแบ่งค่าธรรมเนียมและเหรียญรางวัล โดยการทำยิลด์ฟาร์มมิ่ง จะเป็นการฝากเหรียญ 2 สกุลที่มีมูลค่าเท่ากันกับสภาพคล่องของ DEX

1.2.13 **Transaction** คือ ธุรกรรมที่ดำเนินการบนระบบบล็อกเชน โดย 1 Transaction ที่เกิดขึ้นจะถูกบันทึกในแต่ละบล็อกทุก ๆ 3 วินาที

1.2.14 PancakeSwap คือ DEX ที่ทำงานบน Binance Smart Chain ซึ่งเป็นบล็อกเชนชนิดหนึ่ง



ภาพที่ 2.2 หน้าต่างการลงทุนแบบ Yield Farming บน PancakeSwap

(ที่มา: <https://pancakeswap.finance/farms>)

1.2.15 **กลุ่มหลักทรัพย์ลงทุน (Portfolio)** คือ หลักทรัพย์ทั้งหมดในความครอบครองของผู้ลงทุนรายใดรายหนึ่ง ซึ่งจะต้องประกอบด้วยหลักทรัพย์จำนวนตั้งแต่ 2 ชนิด หรือ 2 บริษัทขึ้นไป วัตถุประสงค์ในการสร้าง Portfolio ของผู้ลงทุนก็เพื่อกระจายความเสี่ยงในการลงทุน ด้วยการกระจายการลงทุนในหลักทรัพย์ของหลายกิจการหรือหลายประเภท โดยในงานค้นคว้าอิสระนี้ กำหนดให้กลุ่มหลักทรัพย์ลงทุนของผู้ที่มาร่วมสภาพคล่องประกอบไปด้วย เหรียญ A ซึ่งทำหน้าที่เป็นเหรียญประจำบล็อกเชนของบล็อกเชน A และเหรียญ B ซึ่งเป็นเหรียญที่ออกโดย DEX B

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

งานนี้ศึกษาหาแบบจำลองมูลค่ารวมจากการลงทุนในธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์ด้วยการลงทุนแบบยิลด์ฟาร์มมิ่ง โดยพิจารณาจาก Pancake Swap เท่านั้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1. เข้าใจหลักการทำงานทางคณิตศาสตร์ของธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์ด้วยการลงทุนแบบยิลด์ฟาร์มมิ่ง

1.4.2. รหัสคำสั่งที่สร้างช่วยเพิ่มความเข้าใจหลักการทำงานทางคณิตศาสตร์ของธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์ด้วยการลงทุนแบบยิลด์ฟาร์มมิ่ง

1.4.3. ทราบค่าคาดการณ์ของมูลค่าของกลุ่มหลักทรัพย์ลงทุนในอนาคตภายใต้ธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์ด้วยการลงทุนแบบยิลด์ฟาร์มมิ่ง

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐาน

ในบทนี้ได้รวบรวมเนื้อหาที่เป็นความรู้พื้นฐานที่ใช้ในงานค้นคว้าอิสระนี้เพื่อเพิ่มความเข้าใจให้แก่ผู้อ่าน โดยเริ่มจากพื้นฐานความน่าจะเป็น การเติบโตเชิงเส้น และ Monte Carlo Method ซึ่งนำมาสู่ผลลัพธ์ของงานค้นคว้าอิสระนี้

2.1 ความน่าจะเป็น (Probability)

บทนิยาม 2.1.1 การทดลองสุ่ม (Random Experiment) คือ การทดลองที่ทราบผลลัพธ์ทั้งหมดที่เกิดขึ้น แต่ไม่สามารถระบุผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นแต่ละครั้งได้อย่างแน่นอน

บทนิยาม 2.1.2 ปริภูมิตัวอย่าง (Sample Space) คือ เซตของผลลัพธ์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการทดลองสุ่มเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ Ω

บทนิยาม 2.1.3 ตัวแปรสุ่ม (Random Variable) X คือ ฟังก์ชันค่าจริงที่กำหนดค่าสมาชิกแต่ละตัวในปริภูมิตัวอย่าง ซึ่ง $X: \Omega \rightarrow \mathbb{R}$

บทนิยาม 2.1.4 สำหรับ X ที่เป็นตัวแปรสุ่มใด ๆ จะเป็นตัวแปรสุ่มต่อเนื่อง (Continuous Random Variable) ถ้ามีฟังก์ชัน $f_X(x): \mathbb{R} \rightarrow [0, \infty)$ ซึ่งสำหรับแต่ละ a, b ที่เป็นจำนวนจริงใด ๆ และ $a \leq b$ แล้ว

$$P(a \leq x \leq b) = \int_a^b f_X(x) dx$$

จะเรียก $f_X(x)$ ว่า ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (Probability Density Function)

บทนิยาม 2.1.5 ตัวแปรสุ่ม X มีการแจกแจงปกติด้วยพารามิเตอร์ μ และ σ^2 เขียนแทนด้วย $X \sim N(\mu, \sigma^2)$

บทนิยาม 2.1.6 จากนิยาม 2.1.5 ได้ว่า μ คือ ค่าคาดหวังของ X และ σ^2 คือ ความแปรปรวนของ X

2.2 การเติบโตเชิงเส้น (Linear Growth)

บทนิยาม 2.2.1 การเติบโตเชิงเส้น (Linear Growth) คือ การเพิ่มขึ้นด้วยค่าคงที่ในทุกหนึ่งหน่วยเวลา เขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ ดังนี้

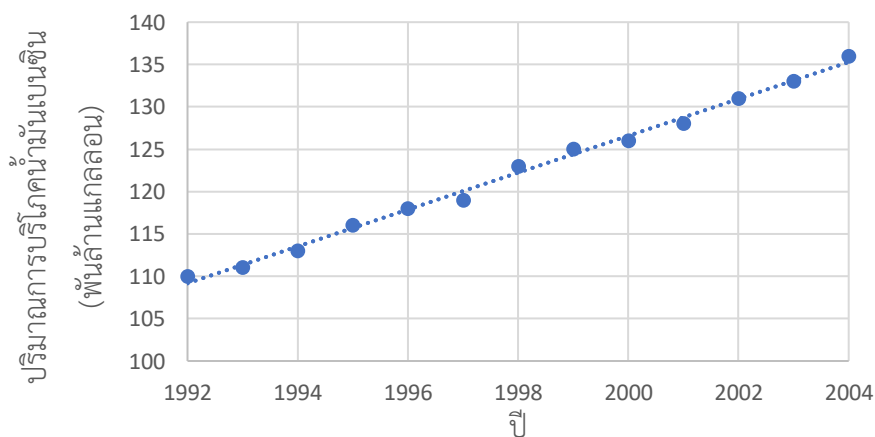
รูปแบบเวียนเกิด (Recursive form): $P_{t+1} = P_t + d$

หรือ รูปแบบโดยชัดแจ้ง (Explicit form): $P_t = P_0 + dt$

เมื่อ d แทน การเปลี่ยนแปลงต่อหนึ่งหน่วยเวลา

ตัวอย่าง 2.2.2 การบริโภคน้ำมันเบนซินในประเทศสหรัฐอเมริกาเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ในช่วงปี ค.ศ.1992 ถึงปี ค.ศ.2004 โดยมีข้อมูลดังตาราง

ปี	'92	'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01	'02	'03	'04
ปริมาณ (พันล้าน แกลลอน)	110	111	113	116	118	119	123	125	126	128	131	133	136



จากกราฟแสดงปริมาณการบริโภคน้ำมันเบนซินของประเทศสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปี ค.ศ.1992 ถึงปี ค.ศ. 2004 พบว่ามีความสัมพันธ์ในแนวเส้นตรง

การสร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายพฤติกรรมของการบริโภคน้ำมันเบนซินในประเทศสหรัฐอเมริกา กำหนดให้ $n = 0$ คือ ปี ค.ศ.1993 นั่นคือ $P_0 = 111$ พันล้านแกลลอน และในปี ค.ศ.2003 ซึ่ง $n = 10$ และ $P_{10} = 133$ ดังนั้น โดยเฉลี่ยแล้วประเทศสหรัฐอเมริการบริโภคน้ำมันเพิ่มขึ้นปีละ

$$d = \frac{P_0 - P_{10}}{\Delta n} = \frac{133 - 111}{10 - 0} = \frac{22}{10} = 2.2 \text{ พันล้านแกลลอน}$$

จากนั้นจะได้แบบจำลองที่มี $P_0 = 111$ ในรูปแบบเวียนเกิด คือ $P_n = P_{n-1} + 2.2$ และในรูปแบบ
ชัดแจ้ง คือ $P_n = P_0 + 2.2n = 111 + 2.2n$

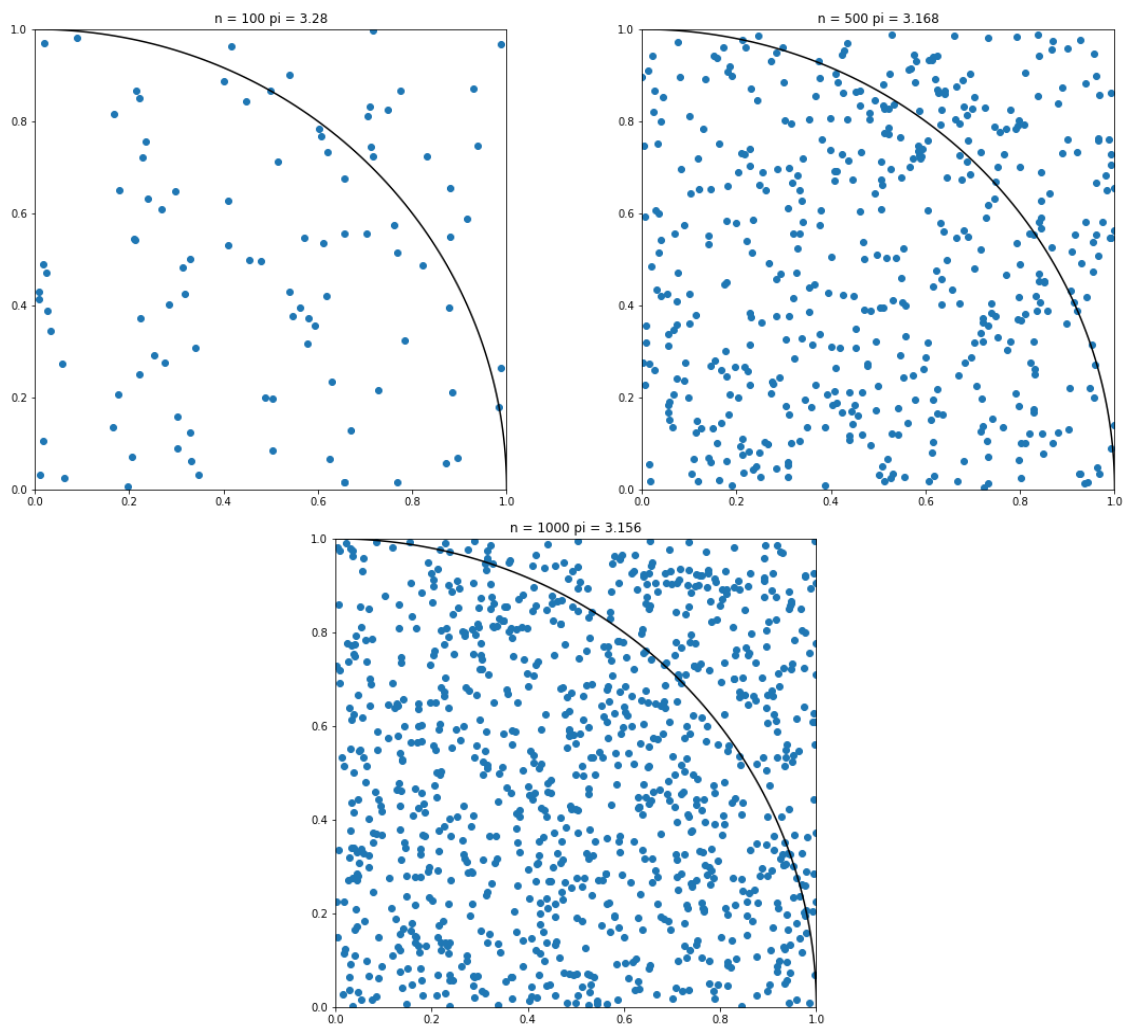
เมื่อเราได้สมการแบบชัดแจ้งแล้ว เราจะสามารถหาค่าคาดการณ์ได้ เช่น เมื่อต้องการทราบปริมาณการ
บริโภคน้ำมันเบนซินประเทศสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ.2023 จะคำนวณ $P_{30} = 111 + 2.2(30) = 177$

2.3 การจำลองแบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo Method)

บทนิยาม 2.3.1 การจำลองแบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo Method) เป็นรูปแบบการจำลองโดยอาศัย
ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์มาสร้างเหตุการณ์จำลอง โดยมีสมมติฐานว่าเหตุการณ์แต่ละเหตุการณ์จะเกิดขึ้น
ได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นของเหตุการณ์นั้น ๆ โดยการจำลองแบบมอนติคาร์โลจะให้ผลลัพธ์
ที่แม่นยำได้นั้นจำนวนครั้งในการทดลองต้องมีจำนวนมาก

ตัวอย่าง 2.3.2 การประมาณค่า π โดยใช้การจำลองแบบมอนติคาร์โล เราสามารถประมาณค่า π โดย
พิจารณาจากสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1×1 ซึ่งบรรจุหนึ่งส่วนสี่ของวงกลมหนึ่งหน่วย มีขั้นตอนดังนี้

- 1) สร้างสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่บรรจุหนึ่งส่วนสี่ของวงกลมหนึ่งหน่วย
- 2) สุ่มสร้างจุดภายในรูปสี่เหลี่ยม
- 3) นับจำนวนจุดที่มีระยะห่างจากจุดกำเนิดไม่เกิน 1 หรือจุดที่อยู่ภายในหนึ่งส่วนสี่ของวงกลมหนึ่งหน่วย
- 4) คำนวณอัตราส่วนของจำนวนจุดที่อยู่ภายในหนึ่งส่วนสี่ของวงกลมรัศมี 1 หน่วย ต่อ จำนวนจุดทั้งหมด
ที่สุ่มแล้วคูณด้วย 4 เนื่องจากพื้นที่ของหนึ่งในสี่ส่วนของวงกลมหนึ่งหน่วย คือ $\frac{\pi}{4}$ และพื้นที่ของ
สี่เหลี่ยมจัตุรัส คือ 1 ดังนั้น ถ้าหารพื้นที่ของหนึ่งในสี่ส่วนของวงกลมหนึ่งหน่วยด้วยพื้นที่ของสี่เหลี่ยม
จะได้ $\frac{\pi}{4}$ ซึ่งเมื่อคูณด้วย 4 แล้วจะได้ค่า π



ภาพที่ 2.1 แสดงการประมาณค่า π โดยใช้หลักการจำลองแบบมอนติคาร์โล โดยคำนวณจาก 4 เท่าของ

อัตราส่วนของจำนวนจุดในบริเวณภายในส่วนของวงกลมต่อจำนวนจุดทั้งหมด

อย่างไรก็ตามด้วยหลักการของแบบจำลองมอนติคาร์โลแล้วการสุ่มจุดในรูปสี่เหลี่ยม

จำเป็นต้องสุ่มให้ทุกพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดขึ้นเท่า ๆ กัน และควรทำการทดลองสุ่มเป็นจำนวนมาก เพื่อให้ได้

ค่าที่แม่นยำมากขึ้น โดยผลการทดลองสุ่มเป็น ดังนี้

จำนวนครั้งของการทดลอง	ค่า π
100	3.14593
1000	3.14169
10,000	3.14

2.4 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis)

บทนิยาม 2.4.1 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม 1 ตัวแปรและตัวแปรอิสระตั้งแต่ 1 ตัวแปรขึ้นไป

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_n x_n + \varepsilon_i$$

โดยที่ y คือ ตัวแปรตาม

x_n คือ ตัวแปรอิสระตัวที่ n

β_n คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระตัวที่ n

β_0 คือ ค่าคงที่ของสมการถดถอย

ε_i คือ ค่าความคลาดเคลื่อน

บทที่ 3

วิธีการศึกษา

ในบทนี้จะอธิบายวิธีการกำหนดปัญหาที่ต้องการศึกษา รวมถึงขั้นตอน กระบวนการคิดและวิธีสร้างรหัสคำสั่งเพื่อจำลองหลักการทำงานของธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์ด้วยการลงทุนแบบยิลด์ฟาร์มมิ่ง

3.1 โปรแกรมพิเศษ

3.1.1. Collab

3.1.2. diagram.io

3.2 กำหนดค่าเริ่มต้นของปัญหา

ในงานค้นคว้าอิสระครั้งนี้ กำหนดให้แบบจำลองธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์ด้วยการลงทุนแบบยิลด์ฟาร์มมิ่ง ดังนี้

- 1) A Chain คือ บล็อกเชนซึ่งมีเหรียญ A เป็นเหรียญประจำบล็อกเชน
- 2) B DEX คือ ตลาดแลกเปลี่ยนแบบกระจายศูนย์ที่มีเหรียญ B เป็นเหรียญประจำแพลตฟอร์ม
- 3) กำหนดให้ ณ เวลาเริ่มต้นอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ A ด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐ คือ 10 ดอลลาร์สหรัฐ และอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ B ด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐ คือ 2 ดอลลาร์สหรัฐ
- 4) B DEX มีสภาพคล่องเพียงสภาพคล่องเดียว คือ สภาพคล่องระหว่างคู่เหรียญ A-B ที่ ณ เวลาเริ่มต้น (24 ชั่วโมงก่อนที่ผู้วางสภาพคล่องจะลงทุนแบบยิลด์ฟาร์มมิ่ง) มีมูลค่า 10,000,000 ดอลลาร์สหรัฐ นั่นคือ ในสภาพคล่องนี้มีเหรียญ A มูลค่า 5,000,000 ดอลลาร์สหรัฐ จำนวน 500,000 เหรียญ และมีเหรียญ B มูลค่า 5,000,000 ดอลลาร์สหรัฐ จำนวน 2,500,000 เหรียญ

- 5) ในทุก ๆ 1 Transaction (ในที่นี้กำหนดให้เป็นทุก ๆ 1 ชั่วโมง) B DEX จะแจกเหรียญ B 10 เหรียญให้แก่ผู้วางสภาพคล่องทั้งหมด โดยแต่ละคนจะได้รับเหรียญ B ตามสัดส่วนของสภาพคล่องของตนกับสภาพคล่องทั้งหมด
- 6) ในแบบจำลองนี้กำหนดระยะเวลาการลงทุนแบบยิลด์ฟาร์มมิงของผู้วางสภาพคล่อง คือ 1 ปี นั่นคือ จะมีจำนวน Transaction เท่ากับ 8760 Transactions
- 7) การแลกเปลี่ยนเงินกระดาษเป็นสกุลเงินดิจิทัลเข้ากระเป๋าเงินอิเล็กทรอนิกส์ต้องจ่ายค่าธรรมเนียม 2 แบบ ได้แก่ Gas Fee 0.032 A และ Processing Fee 1.671% ของมูลค่าการแลกเปลี่ยน
- 8) การทำธุรกรรมผ่าน B DEX ซึ่งทำงานบน A Chain จะต้องจ่าย Gas Fee จำนวน 0.032 A และ Swap Fee 0.25% ของมูลค่าการแลกเปลี่ยนเหรียญ
- 9) การเปลี่ยนแปลงของจำนวนเหรียญในสภาพคล่องจะเป็นไปตามหลักการ Automated Market Maker (AMM) คือ

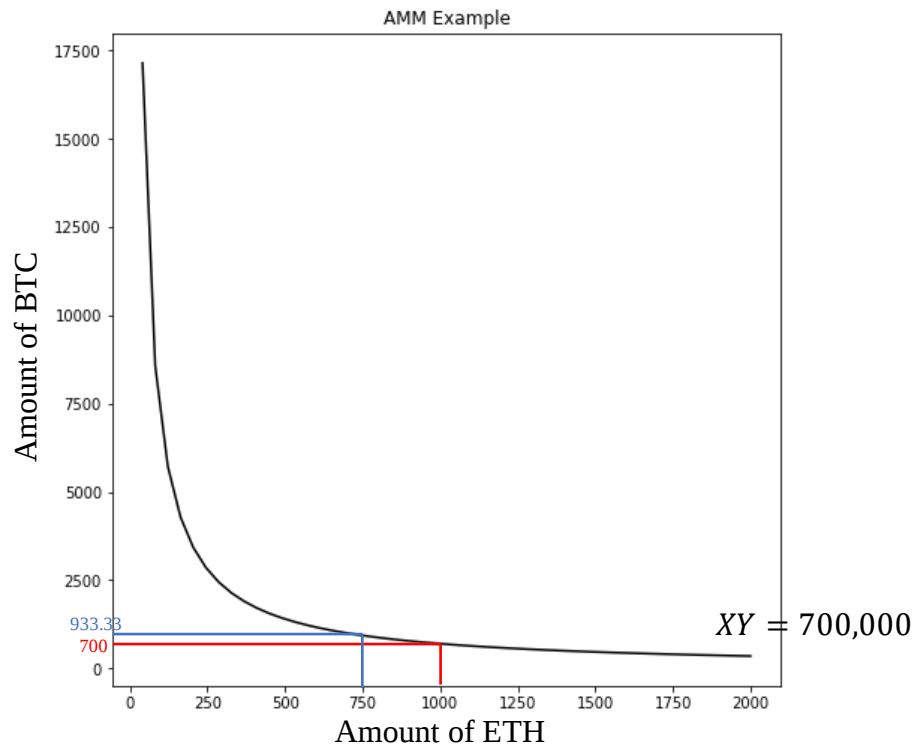
$$XY = k$$

โดยที่ X คือ จำนวนเหรียญ X ในสภาพคล่อง

Y คือ จำนวนเหรียญ Y ในสภาพคล่อง

k คือ ค่าคงที่ที่ทำหน้าที่กำหนดราคาและรักษาสมดุลของเหรียญภายในสภาพคล่อง

เช่น พิจารณาสภาพคล่องระหว่างคู่เหรียญอีเทอร์ (ETH) และบิตคอยน์ (BTC) เริ่มต้นในสภาพคล่องมีเหรียญอีเทอร์อยู่จำนวน 1,000 เหรียญ และเหรียญบิตคอยน์อยู่ 700 เหรียญ ดังนั้น จาก AMM จะได้ว่า $k = 700,000$ สมมติให้เมื่อผ่านไป 1 Transaction เหรียญอีเทอร์ลดลงเหลือ 750 เหรียญ เหรียญบิตคอยน์จะเพิ่มเป็น 933.33 เหรียญ



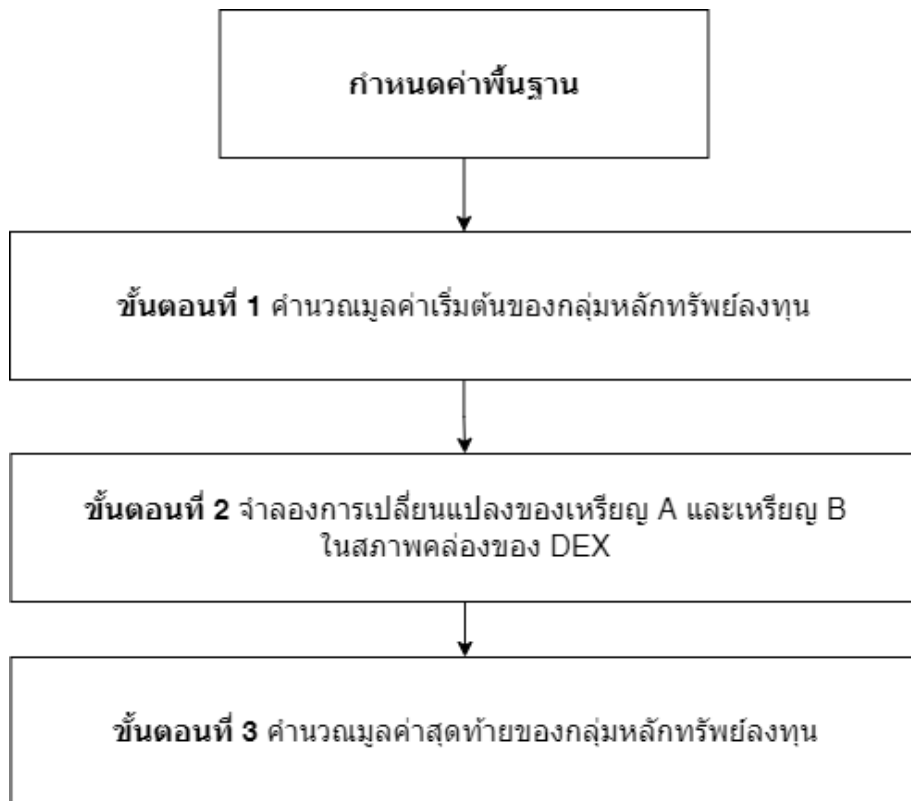
ภาพที่ 3.1 หลักการทำงานของ AMM

3.3 ขั้นตอนการศึกษา

3.2.1. ศึกษาหลักการทำงานของธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์ (Decentralized Finance: DeFi) ด้วยการลงทุนแบบ Yield Farming จากแหล่งอ้างอิงซึ่งในที่นี้ คือ Pancake Swap บน Binance Smart Chain (BSC)

3.2.2. สร้างขั้นตอนวิธีที่จำลองการทำงานของธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์ด้วยการลงทุนแบบ Yield Farming จาก diagram.io

3.2.3. เขียนรหัสคำสั่งผ่าน Collab เพื่อจำลองการทำงานของธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์ด้วยการลงทุนแบบยิลด์ฟาร์มมิ่ง โดยเริ่มที่กำหนดค่าพื้นฐาน และขั้นตอนการคำนวณอีก 3 ขั้นตอน ดังนี้



ภาพที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการสร้างรหัสคำสั่ง

กำหนดค่าพื้นฐาน

1. กำหนดค่าพื้นฐานต่าง ๆ ตาม 3.2 นั่นคือ จำนวนเงินกระดาศที่ผู้วางสภาพคล่องต้องการลงทุนแบบยิลด์ฟาร์มมิ่ง, ระยะเวลาการทำยิลด์ฟาร์มมิ่ง, Gas Fee, Processing Fee, Swap Fee, อัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ A และเหรียญ B ณ เวลาเริ่มต้น และมูลค่าเริ่มต้นของสภาพคล่อง
2. รับจำนวนเงินกระดาศที่ผู้วางสภาพคล่องต้องการลงทุนแบบยิลด์ฟาร์มมิ่ง
3. จำลองการเปลี่ยนแปลงของอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ A และเหรียญ B ด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐภายนอกสภาพคล่องรายชั่วโมง เป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนการลงทุนแบบยิลด์ฟาร์มมิ่งของผู้วางสภาพคล่อง เพื่อกำหนดมูลค่าการแลกเปลี่ยนเหรียญทั้งหมดในระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยกำหนดให้การเปลี่ยนแปลงของอัตราแลกเปลี่ยนเป็นไปตามการเติบโตเชิงเส้น นั่นคือ

$$A_{t+1} = A_t + c\Delta t + \varepsilon$$

เมื่อ A_t แทน อัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ A ด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐ

c แทน อัตราการเปลี่ยนแปลงของ A_t

Δt แทน หน่วยเวลา

ε แทน ตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงปกติด้วยพารามิเตอร์ 0 และ Δt

โดยกำหนดให้ $c\Delta t$ เป็นการเปลี่ยนแปลงของอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ A และเหรียญ B

ด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐรายวัน นั่นคือ $\Delta t = \frac{1}{20 \times 60 \times 24} = \frac{1}{28800}$

4. คำนวณอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ B ด้วยเหรียญ A ภายนอกสภาพคล่องรายชั่วโมง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
5. จำลองการเปลี่ยนแปลงจำนวนเหรียญ A และเหรียญ B ภายในสภาพคล่องรายชั่วโมงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยกำหนดให้ ถ้าอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ B ด้วยเหรียญ A ภายในสภาพคล่องมากกว่าอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ B ด้วยเหรียญ A ภายนอกสภาพ จำนวนเหรียญ A ลดลง เหรียญ B เพิ่มขึ้น แต่ถ้าอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ B ด้วยเหรียญ A ภายในสภาพคล่องน้อยกว่าอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ B ด้วยเหรียญ A ภายนอกสภาพ จำนวนเหรียญ A เพิ่มขึ้น เหรียญ B ลดลง เพื่อคำนวณปริมาณธุรกรรมที่เกิดขึ้นทั้งหมด
6. คำนวณอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ B ด้วยเหรียญ A ภายในสภาพคล่องใหม่
7. ทำ 5. และ 6. ซ้ำจนครบ 24 รอบ

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณมูลค่าเริ่มต้นของกลุ่มหลักทรัพย์ลงทุน

1. คำนวณจำนวนเหรียญ A ที่ผู้วางสภาพคล่องแลกได้จากเงินกระดาดโดยหักค่าธรรมเนียมต่าง ๆ แล้ว
2. นำจำนวนเหรียญ A ที่ได้มาหักค่า Swap Fee และค่า Gas Fee สำหรับจ่ายค่าทำเนียมในการฝากเงินในสภาพคล่องเพื่อทำอีลด์ฟาร์มมิ่ง จากนั้นนำจำนวนเหรียญที่เหลือแบ่งครึ่งและนำส่วนหนึ่งไปแลกเป็นเหรียญ B จากอัตราแลกเปลี่ยนสุดท้ายที่คำนวณได้จาก **กำหนดค่าพื้นฐาน**
3. ฝากคู่เหรียญจากขั้นตอนก่อนหน้าในสภาพคล่อง
4. คำนวณมูลค่าเริ่มต้นหลังจากฝากในสภาพคล่อง โดยนำจำนวนเหรียญ A และเหรียญ B มาคูณด้วยอัตราแลกเปลี่ยนด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐที่ได้จากการจำลองจาก **กำหนดค่าพื้นฐาน**

ขั้นตอนที่ 2 จำลองการเปลี่ยนแปลงเหรียญ A และเหรียญ B ในสภาพคล่องของ DEX

1. ทำวิธีเดียวกับข้อ 3. – 4. จากกำหนดค่าพื้นฐาน โดยทำเป็นระยะเวลา 1 ปี หรือ 8760 ชั่วโมง
2. จำลองการเปลี่ยนแปลงจำนวนเหรียญ A และเหรียญ B ภายในสภาพคล่องรายชั่วโมง เป็นเวลา 1 ปี หรือ 8760 ชั่วโมง โดยกำหนดให้ ถ้าอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ B ด้วยเหรียญ A ภายในสภาพคล่องมากกว่าอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ B ด้วยเหรียญ A ภายนอกสภาพ จำนวนเหรียญ A ลดลง เหรียญ B เพิ่มขึ้น แต่ถ้าอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ B ด้วยเหรียญ A ภายในสภาพคล่องน้อยกว่าอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ B ด้วยเหรียญ A ภายนอกสภาพ จำนวนเหรียญ A เพิ่มขึ้น เหรียญ B ลดลง เพื่อคำนวณปริมาณธุรกรรมที่เกิดขึ้นในแต่ละชั่วโมง และทั้งหมด
3. คำนวณอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ B ด้วยเหรียญ A ภายในสภาพคล่องใหม่
4. คำนวณปริมาณเหรียญ A และเหรียญ B ของผู้วางสภาพคล่องใหม่จากอัตราแลกเปลี่ยนที่ได้ใน 3. โดยมูลค่าเหรียญ A และเหรียญ B ต้องเท่ากัน
5. คำนวณสัดส่วนของมูลค่าของกลุ่มหลักทรัพย์ลงทุนของผู้วางสภาพคล่องกับมูลค่าสภาพคล่องทั้งหมด จากนั้นนำไปคูณกับเหรียญรางวัล
6. ทำ 2. ถึง 5. ซ้ำจนครบ 8760 รอบ
7. นำปริมาณธุรกรรมที่เกิดขึ้นทั้งหมดจาก 2. มาคำนวณส่วนแบ่งค่าธรรมเนียมด้วยอัตรา 0.0017

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณมูลค่าสุดท้ายของกลุ่มหลักทรัพย์ลงทุน

นำปริมาณเหรียญ A และเหรียญ B ของผู้วางสภาพคล่อง ณ เวลาสุดท้ายจากขั้นตอนที่ 2 4. มารวมกับเหรียญรางวัลจากขั้นตอนที่ 2 5. และส่วนแบ่งค่าธรรมเนียมจากขั้นตอนที่ 2 7. เพื่อคำนวณมูลค่าสุดท้าย

3.2.4. นำการจำลองแบบมอนติคาร์โล โดยทำการจำลอง 10,000 ครั้ง มาใช้กับรหัสคำสั่งที่ได้จาก 3.2.3. ในขั้นตอนที่ 2 จาก 2. ถึง 7. โดยพิจารณาความเป็นไปได้ของการเปลี่ยนแปลงของอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ A และเหรียญ B ด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐภายนอกสภาพคล่อง เพื่อคำนวณมูลค่าเฉลี่ยสุดท้ายของกลุ่มหลักทรัพย์ลงทุนของผู้วางสภาพคล่อง ทั้ง 25 แบบ นั่นคือ

- [illegible]

15. ในระยะเวลา 1 ปีอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ A ด้วยเงินดอลลาร์ คงที่ อัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ B ด้วยเงินดอลลาร์ **เพิ่ม 20%**
16. ในระยะเวลา 1 ปีอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ A ด้วยเงินดอลลาร์ **เพิ่ม 10%** อัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ B ด้วยเงินดอลลาร์ **ลด 20%**
17. ในระยะเวลา 1 ปีอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ A ด้วยเงินดอลลาร์ **เพิ่ม 10%** อัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ B ด้วยเงินดอลลาร์ **ลด 10%**
18. ในระยะเวลา 1 ปีอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ A ด้วยเงินดอลลาร์ **เพิ่ม 10%** อัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ B ด้วยเงินดอลลาร์ คงที่
19. ในระยะเวลา 1 ปีอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ A ด้วยเงินดอลลาร์ **เพิ่ม 10%** อัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ B ด้วยเงินดอลลาร์ **เพิ่ม 10%**
20. ในระยะเวลา 1 ปีอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ A ด้วยเงินดอลลาร์ **เพิ่ม 10%** อัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ B ด้วยเงินดอลลาร์ **เพิ่ม 20%**
21. ในระยะเวลา 1 ปีอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ A ด้วยเงินดอลลาร์ **เพิ่ม 20%** อัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ B ด้วยเงินดอลลาร์ **ลด 20%**
22. ในระยะเวลา 1 ปีอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ A ด้วยเงินดอลลาร์ **เพิ่ม 20%** อัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ B ด้วยเงินดอลลาร์ **ลด 10%**
23. ในระยะเวลา 1 ปีอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ A ด้วยเงินดอลลาร์ **เพิ่ม 20%** อัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ B ด้วยเงินดอลลาร์ คงที่
24. ในระยะเวลา 1 ปีอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ A ด้วยเงินดอลลาร์ **เพิ่ม 20%** อัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ B ด้วยเงินดอลลาร์ **เพิ่ม 10%**
25. ในระยะเวลา 1 ปีอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ A ด้วยเงินดอลลาร์ **เพิ่ม 20%** อัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ B ด้วยเงินดอลลาร์ **เพิ่ม 20%**

3.2.5. นำมูลค่าเฉลี่ยสุดท้ายของกลุ่มหลักทรัพย์ลงทุนของผู้วางสภาพคล่องทั้ง 25 แบบมาคำนวณหาร้อยละการเปลี่ยนแปลงมูลค่าหลักทรัพย์ลงทุนจากเงินลงทุนเริ่มต้น

3.2.6. นำร้อยละการเปลี่ยนแปลงมูลค่าหลักทรัพย์ลงทุนจากเงินลงทุนเริ่มต้นและร้อยละการเปลี่ยนแปลงอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ A และเหรียญ B ด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐมาวิเคราะห์ด้วยการถดถอยพหุคูณ โดยที่ร้อยละการเปลี่ยนแปลงมูลค่าหลักทรัพย์ลงทุนจากเงินลงทุนเริ่มต้นเป็นตัวแปรตาม และร้อยละ

การเปลี่ยนแปลงอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ A และเหรียญ B ด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐเป็นตัวแปรอิสระ เพื่อวิเคราะห์หรือระยะการเปลี่ยนแปลงของมูลค่ากลุ่มหลักทรัพย์ลงทุนของผู้วางสภาพคล่องในระยะเวลา 1 ปี

3.2.7. สรุปและอภิปรายผลการศึกษา

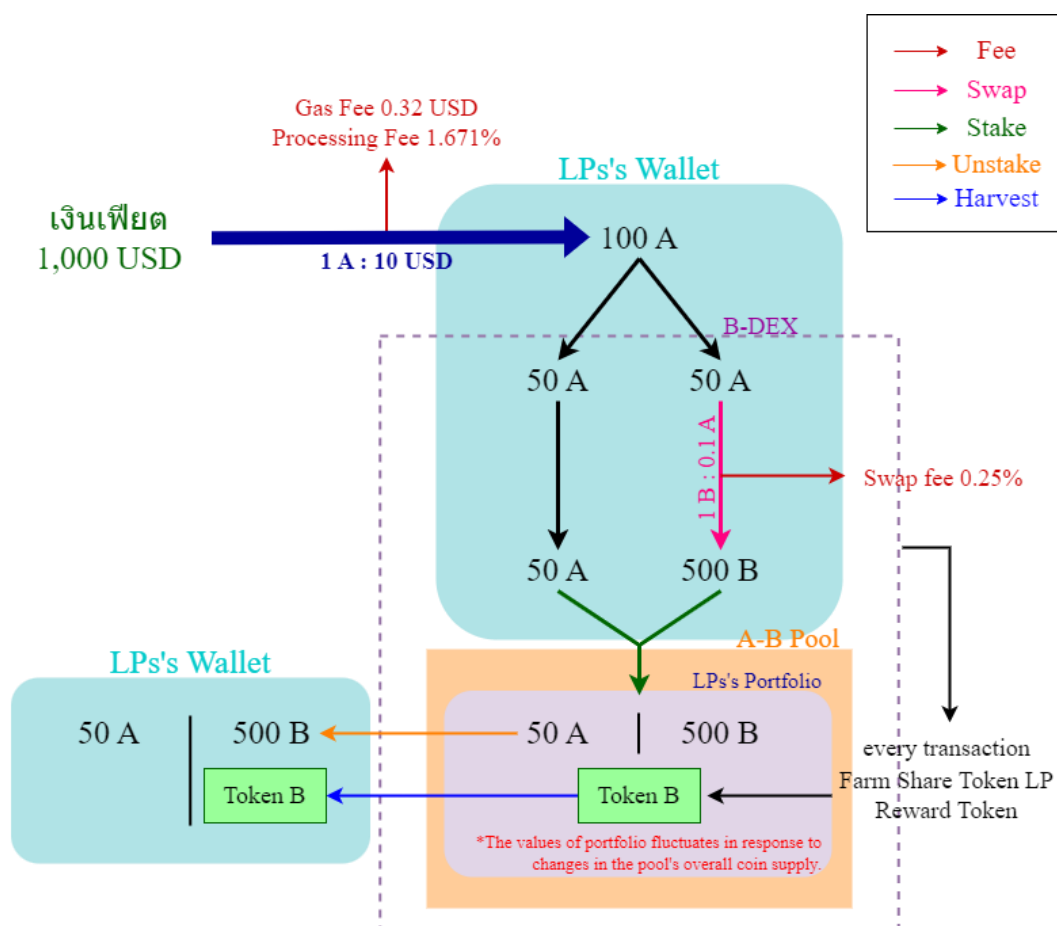
บทที่ 4

ผลการศึกษา

จากงานค้นคว้าอิสระในหัวข้อ **คณิตศาสตร์ของธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์: ยิลด์ฟาร์มมิ่ง** เมื่อทำการจำลองการทำงานของธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์ตามขั้นตอนในบทที่ 3 พบว่าผลการศึกษาเป็นดังนี้

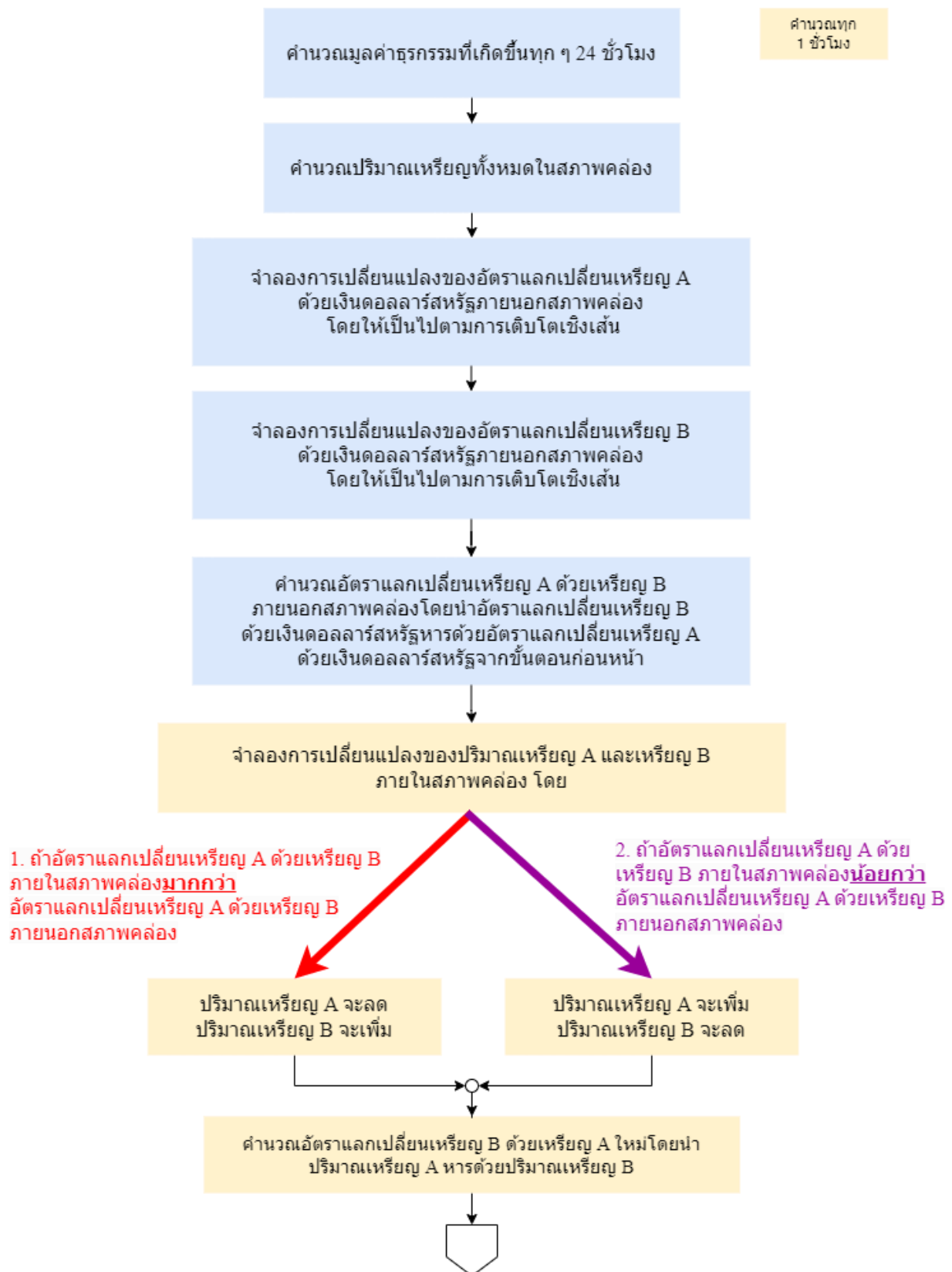
4.1 ขั้นตอนวิธีของหลักการทำงานทางคณิตศาสตร์ของธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์: ยิลด์ฟาร์มมิ่ง

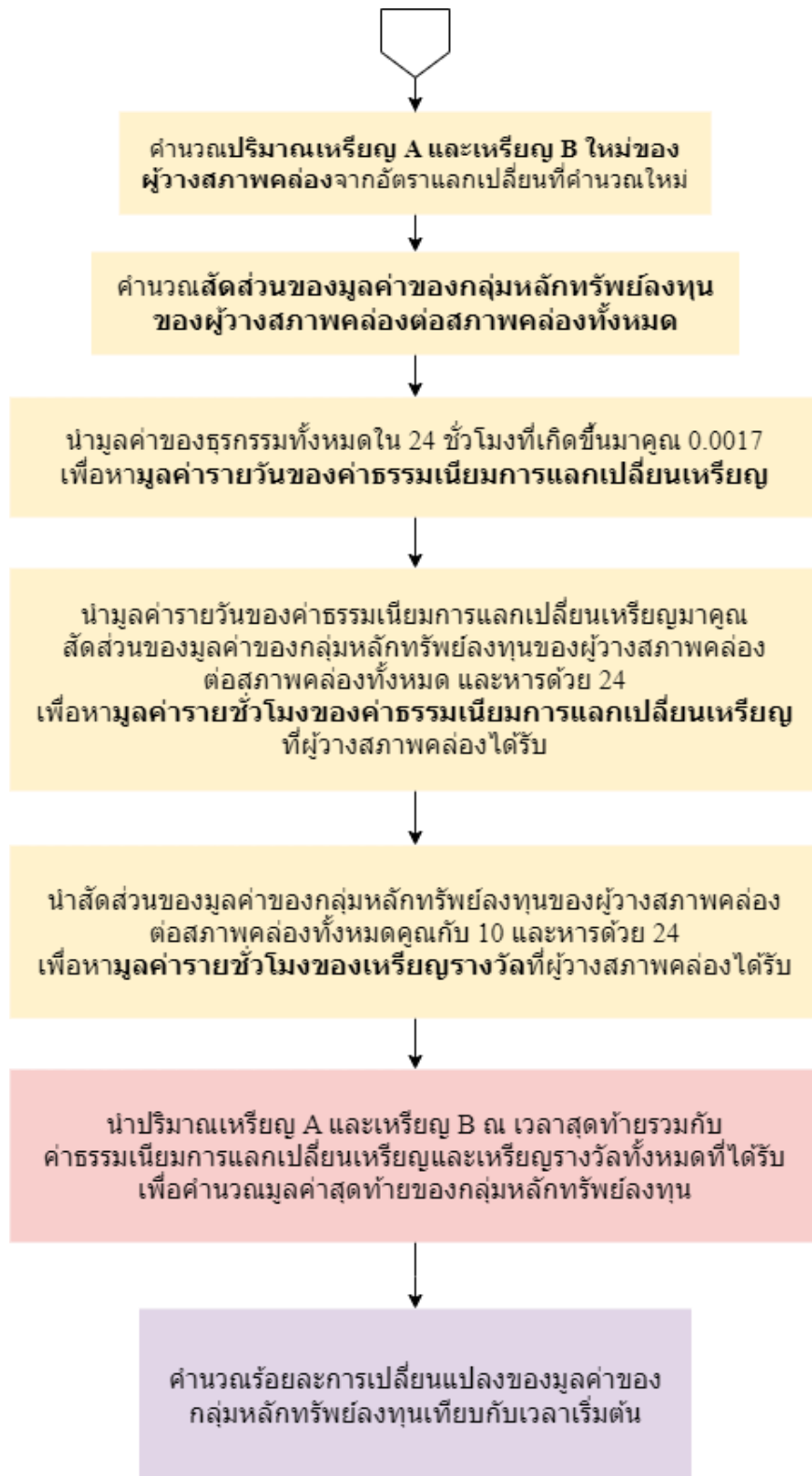
หลังจากศึกษาหลักการทำงานของธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์สามารถเขียนเป็นขั้นตอนวิธีของผู้วางสภาพคล่องได้ดังนี้



ภาพที่ 4.1 แสดงขั้นตอนวิธีการทำยิลด์ฟาร์มมิ่งของผู้วางสภาพคล่อง

ในส่วนขั้นตอนวิธีการคำนวณมูลค่าสุดท้ายของกลุ่มหลักทรัพย์ลงทุนของผู้วางสภาพคล่อง เป็นดังนี้

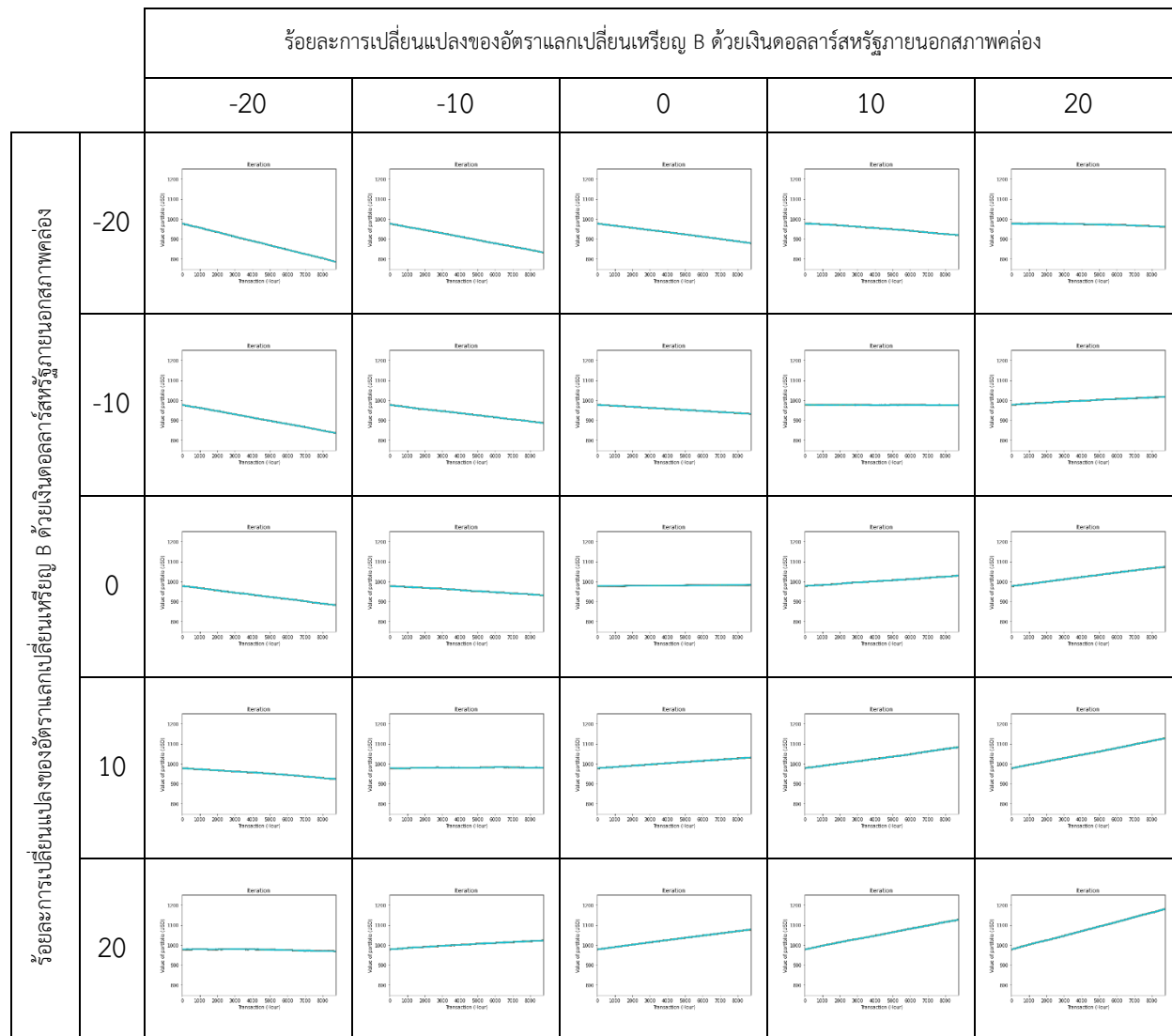




ภาพที่ 4.2 แสดงขั้นตอนการคำนวณมูลค่าสุดท้ายของกลุ่มหลักทรัพย์ลงทุนของผู้วางสภาพคล่อง

4.2 มูลค่าของกลุ่มหลักทรัพย์ลงทุนของผู้วางสภาพคล่องหลังจากระยะเวลาผ่านไป 1 ปี

หลังจากใช้การจำลองแบบมอนติคาร์โลกับทั้ง 25 กรณีที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 3 ได้กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของมูลค่าของกลุ่มหลักทรัพย์ลงทุนของผู้วางสภาพคล่องเมื่อระยะเวลาผ่านไป 1 ปีได้ดังตาราง

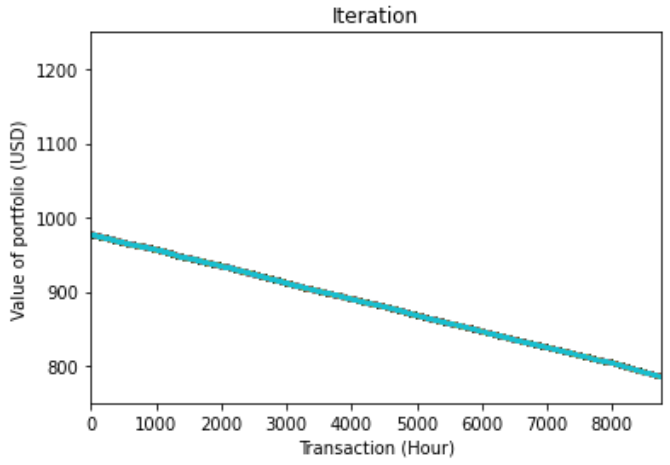
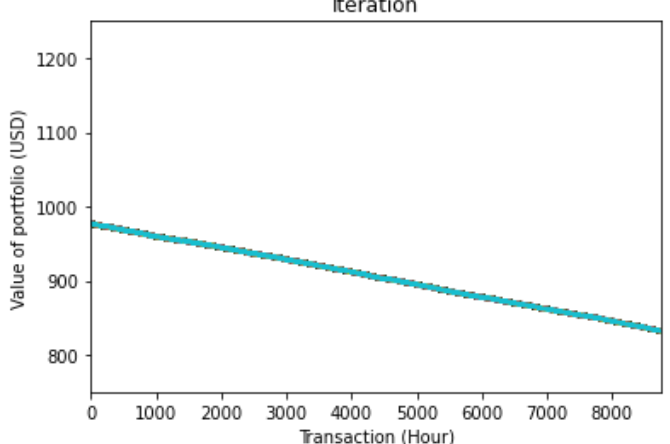


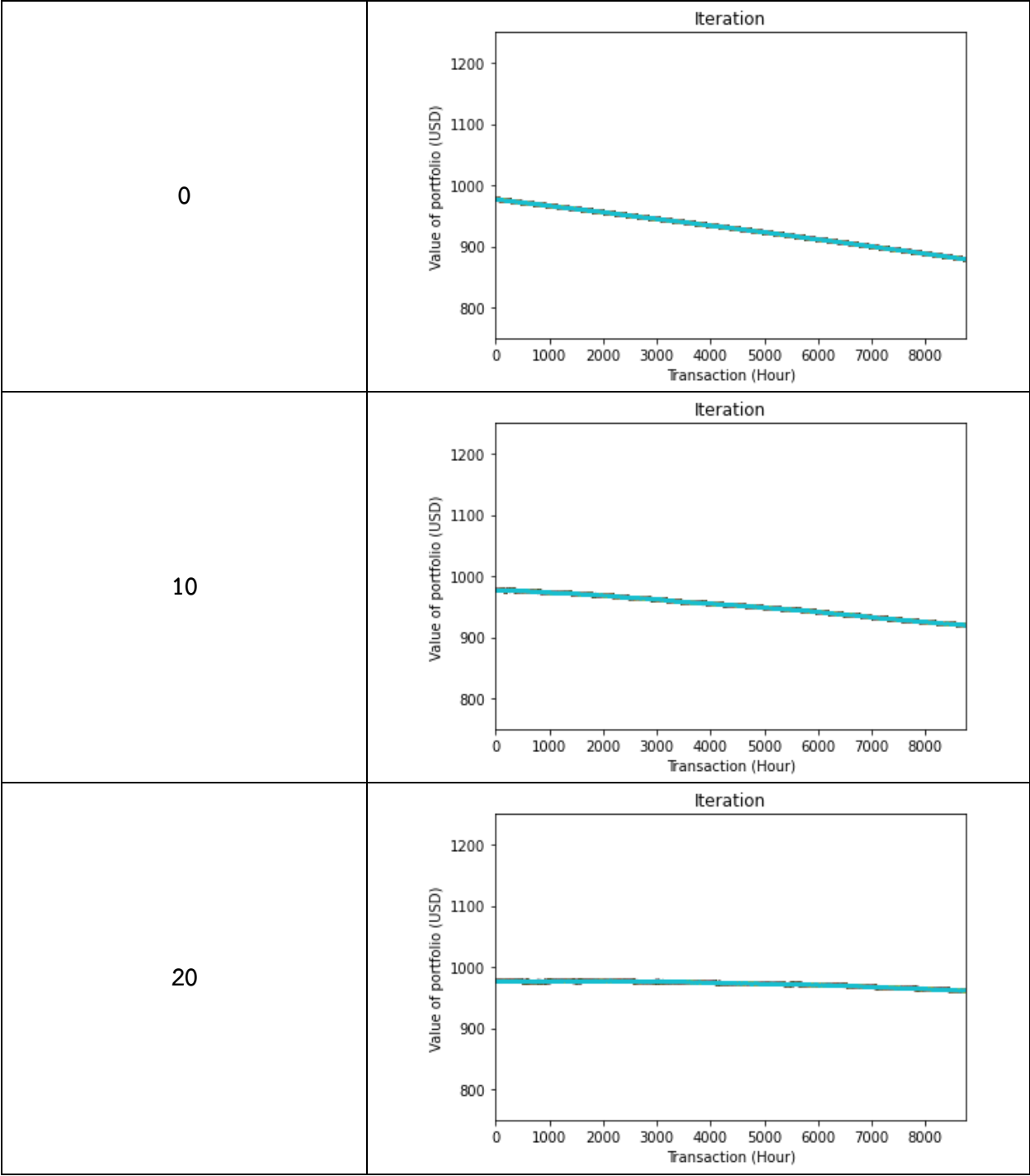
ตารางที่ 4.1 แสดงกราฟมูลค่ากลุ่มหลักทรัพย์ลงทุนของผู้วางสภาพคล่อง ภายในระยะเวลา 1 ปี

ทั้ง 25 แบบ โดยแบบจำลองมอนติคาร์โล

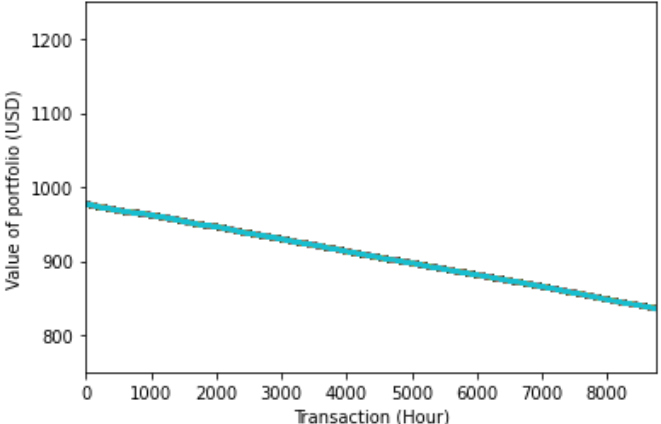
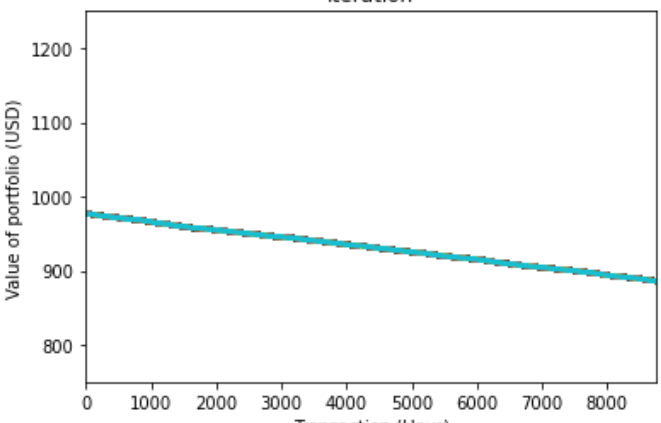
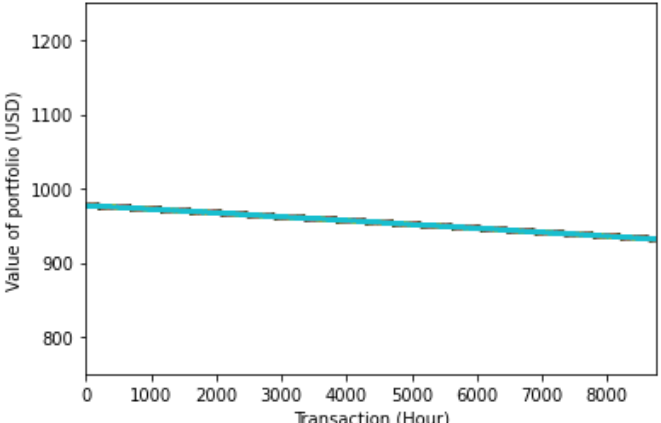
ในส่วนถัดไปจะเป็นการขยายกราฟการเปลี่ยนแปลงมูลค่าของกลุ่มหลักทรัพย์ลงทุนของผู้วางสภาพคล่อง
ข้างต้นแยกเป็นกรณี 5 กรณีตามร้อยละการเปลี่ยนแปลงอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ A ด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐ ดังนี้

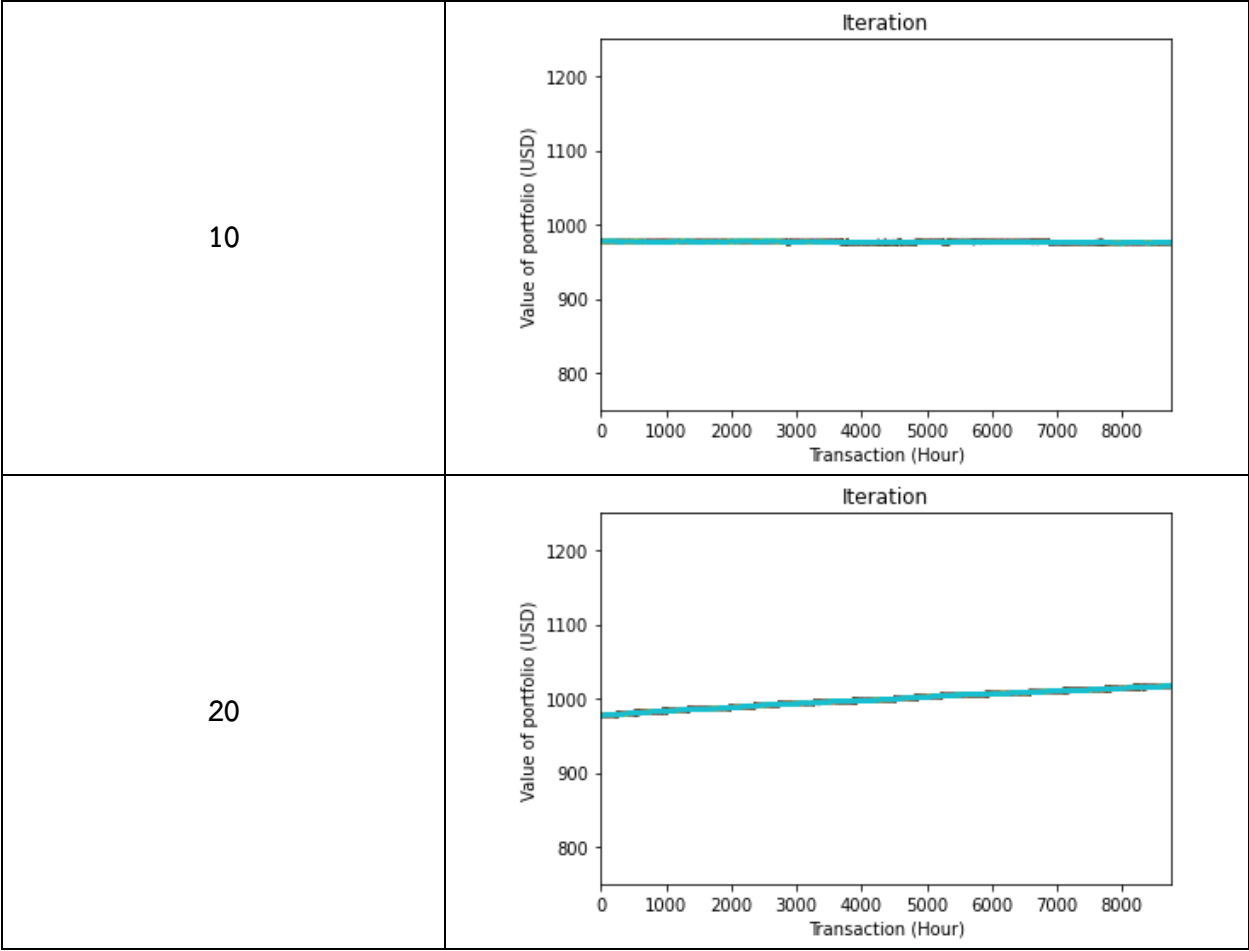
กรณีที่ 1 ในระยะเวลา 1 ปี อัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ A ด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐลดลงร้อยละ 20

ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอัตรา แลกเปลี่ยนเหรียญ B ด้วยเงิน ดอลลาร์สหรัฐภายนอกสภาพคล่อง	การเปลี่ยนแปลงมูลค่าของกลุ่มหลักทรัพย์ลงทุนของผู้วางสภาพคล่อง
-20	
-10	

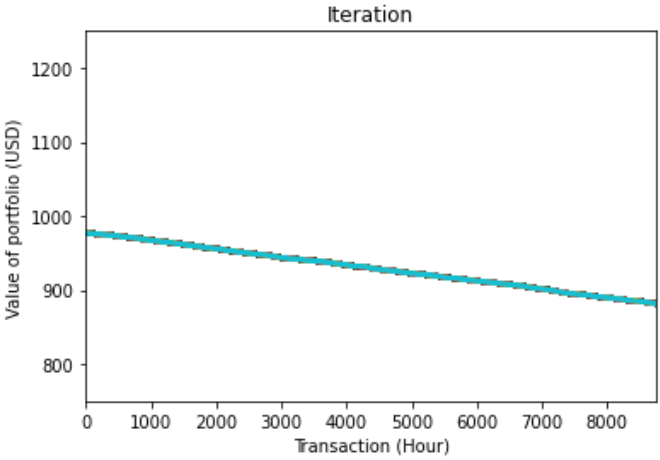
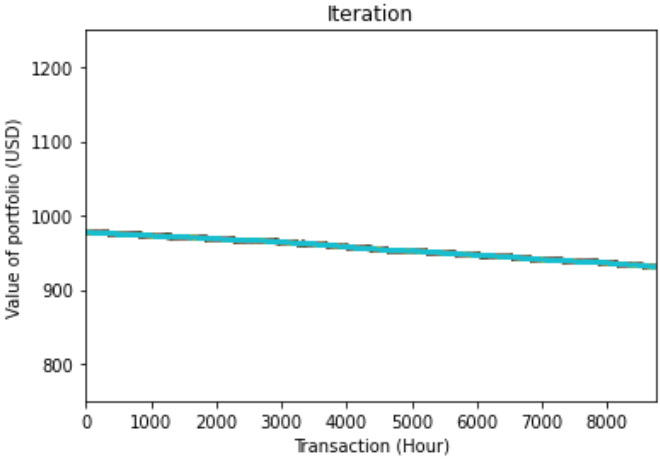
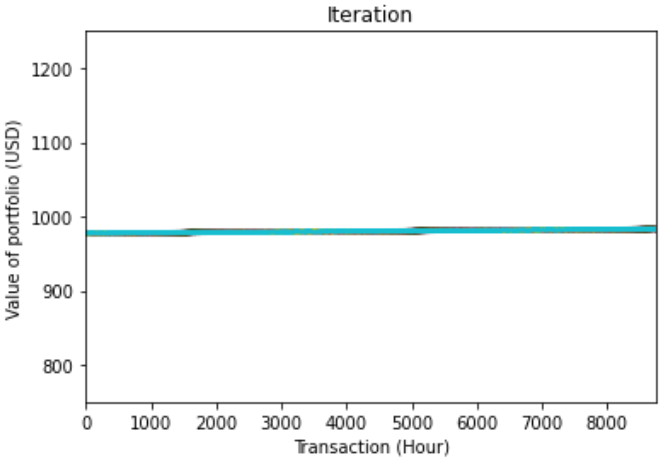


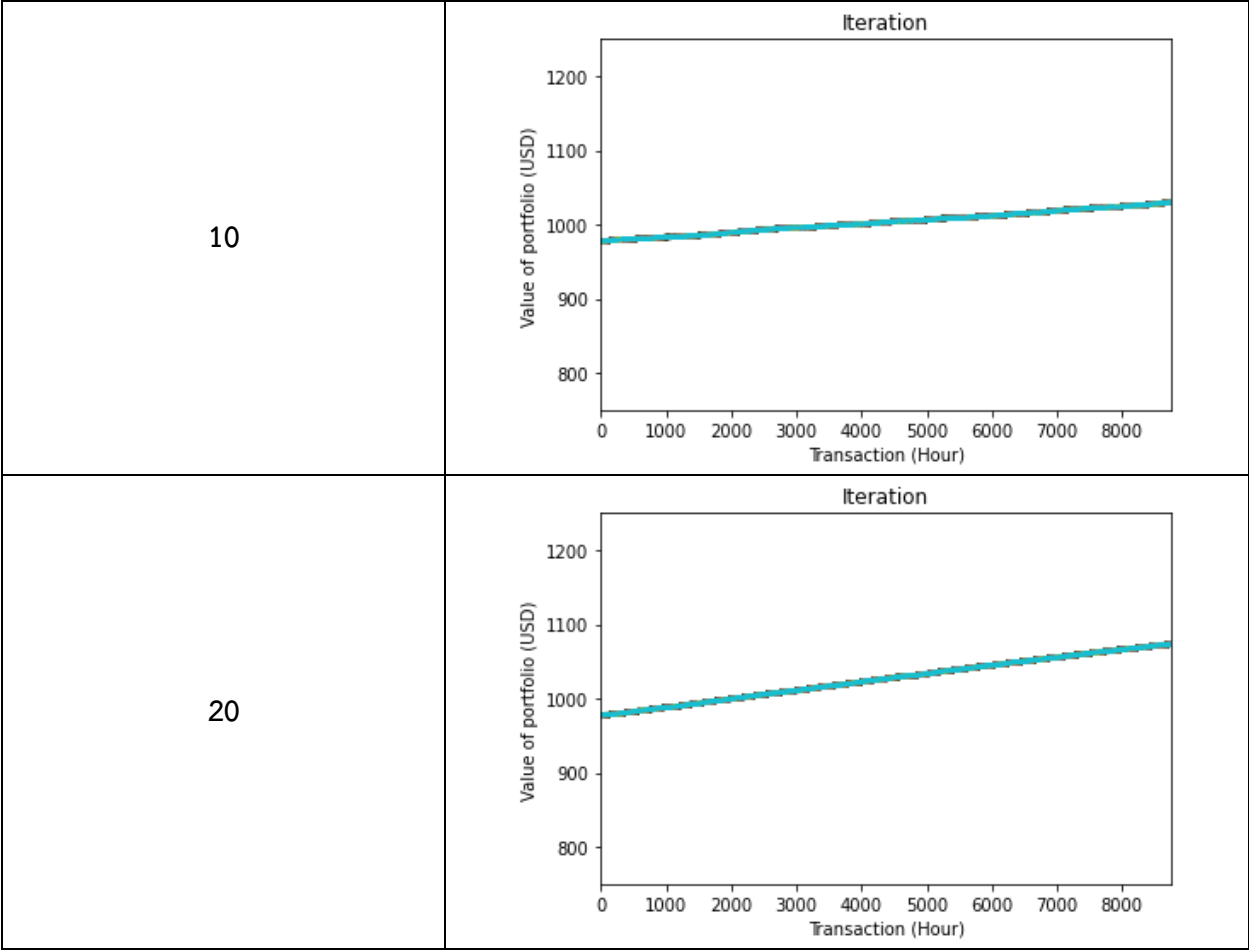
กรณีที่ 2 ในระยะเวลา 1 ปี อัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ A ด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐลดลงร้อยละ 10

ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ B ด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐภายนอกสภาพคล่อง	การเปลี่ยนแปลงมูลค่าของกลุ่มหลักทรัพย์ลงทุนของผู้วางสภาพคล่อง																						
-20	Iteration  <table border="1"> <caption>Data for -20% Exchange Rate Change</caption> <thead> <tr> <th>Transaction (Hour)</th> <th>Value of portfolio (USD)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>980</td></tr> <tr><td>1000</td><td>970</td></tr> <tr><td>2000</td><td>960</td></tr> <tr><td>3000</td><td>950</td></tr> <tr><td>4000</td><td>940</td></tr> <tr><td>5000</td><td>930</td></tr> <tr><td>6000</td><td>920</td></tr> <tr><td>7000</td><td>910</td></tr> <tr><td>8000</td><td>900</td></tr> <tr><td>8500</td><td>840</td></tr> </tbody> </table>	Transaction (Hour)	Value of portfolio (USD)	0	980	1000	970	2000	960	3000	950	4000	940	5000	930	6000	920	7000	910	8000	900	8500	840
Transaction (Hour)	Value of portfolio (USD)																						
0	980																						
1000	970																						
2000	960																						
3000	950																						
4000	940																						
5000	930																						
6000	920																						
7000	910																						
8000	900																						
8500	840																						
-10	Iteration  <table border="1"> <caption>Data for -10% Exchange Rate Change</caption> <thead> <tr> <th>Transaction (Hour)</th> <th>Value of portfolio (USD)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>980</td></tr> <tr><td>1000</td><td>970</td></tr> <tr><td>2000</td><td>960</td></tr> <tr><td>3000</td><td>950</td></tr> <tr><td>4000</td><td>940</td></tr> <tr><td>5000</td><td>930</td></tr> <tr><td>6000</td><td>920</td></tr> <tr><td>7000</td><td>910</td></tr> <tr><td>8000</td><td>900</td></tr> <tr><td>8500</td><td>890</td></tr> </tbody> </table>	Transaction (Hour)	Value of portfolio (USD)	0	980	1000	970	2000	960	3000	950	4000	940	5000	930	6000	920	7000	910	8000	900	8500	890
Transaction (Hour)	Value of portfolio (USD)																						
0	980																						
1000	970																						
2000	960																						
3000	950																						
4000	940																						
5000	930																						
6000	920																						
7000	910																						
8000	900																						
8500	890																						
0	Iteration  <table border="1"> <caption>Data for 0% Exchange Rate Change</caption> <thead> <tr> <th>Transaction (Hour)</th> <th>Value of portfolio (USD)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>980</td></tr> <tr><td>1000</td><td>975</td></tr> <tr><td>2000</td><td>970</td></tr> <tr><td>3000</td><td>965</td></tr> <tr><td>4000</td><td>960</td></tr> <tr><td>5000</td><td>955</td></tr> <tr><td>6000</td><td>950</td></tr> <tr><td>7000</td><td>945</td></tr> <tr><td>8000</td><td>940</td></tr> <tr><td>8500</td><td>930</td></tr> </tbody> </table>	Transaction (Hour)	Value of portfolio (USD)	0	980	1000	975	2000	970	3000	965	4000	960	5000	955	6000	950	7000	945	8000	940	8500	930
Transaction (Hour)	Value of portfolio (USD)																						
0	980																						
1000	975																						
2000	970																						
3000	965																						
4000	960																						
5000	955																						
6000	950																						
7000	945																						
8000	940																						
8500	930																						

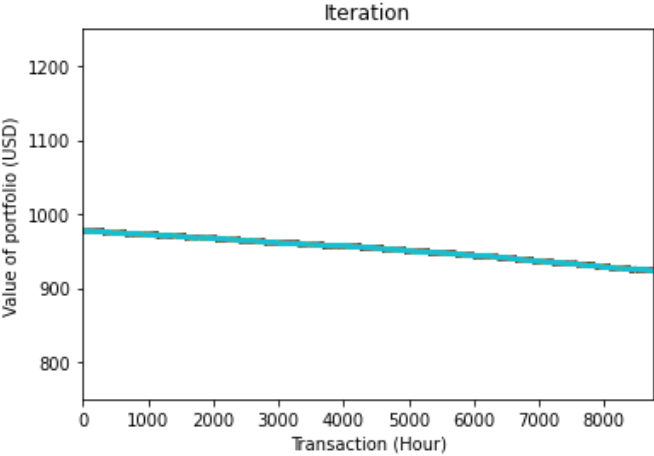
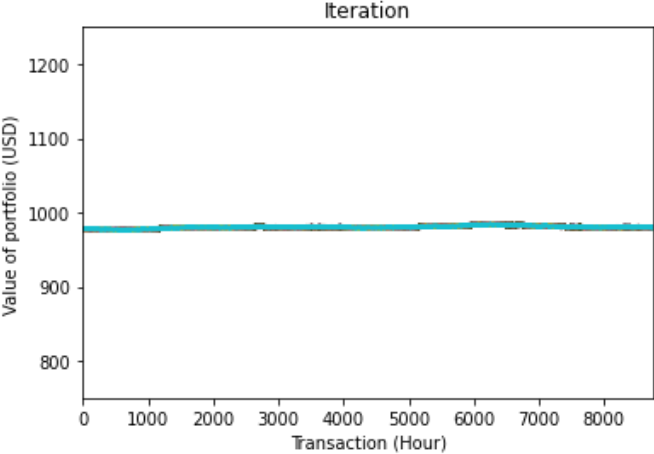
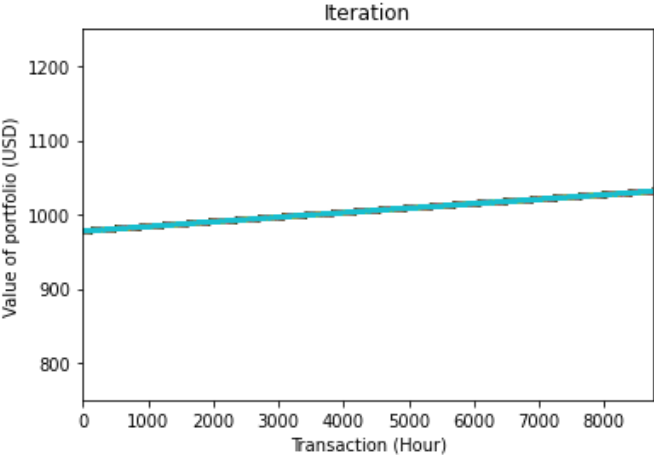


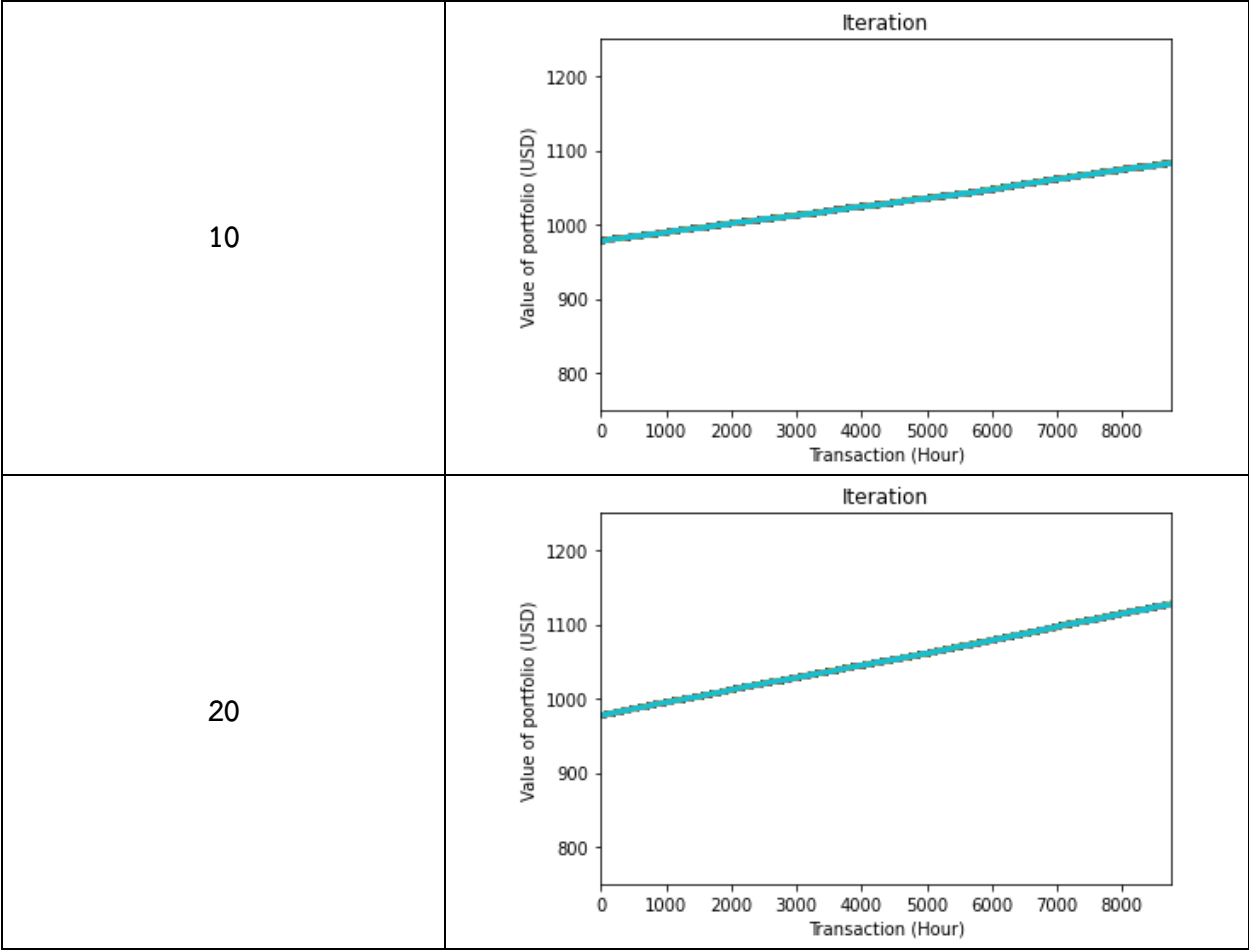
กรณีที่ 3 ในระยะเวลา 1 ปี อัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ A ด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐฯคงที่

ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ B ด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐฯภายนอกสภาพคล่อง	การเปลี่ยนแปลงมูลค่าของกลุ่มหลักทรัพย์ลงทุนของผู้วางสภาพคล่อง
-20	
-10	
0	

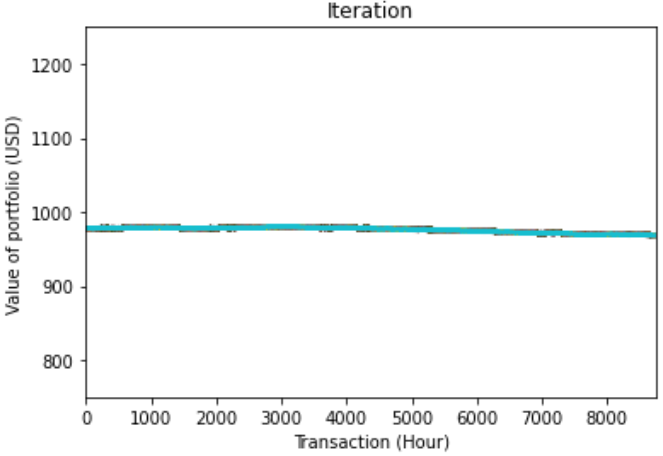
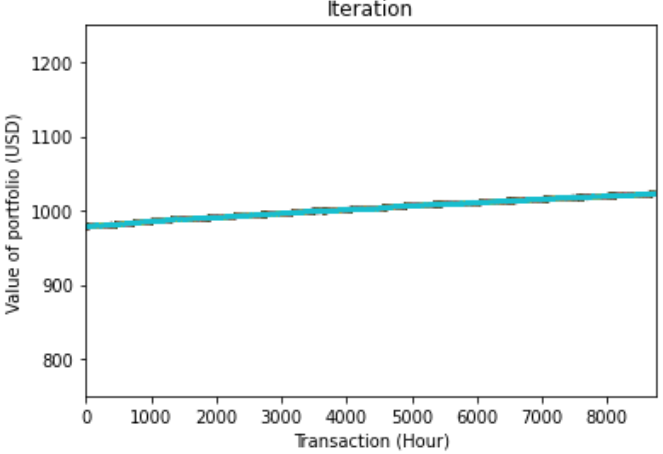
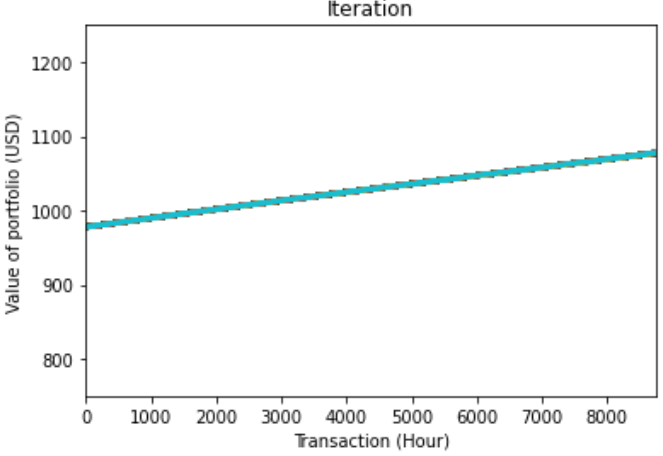


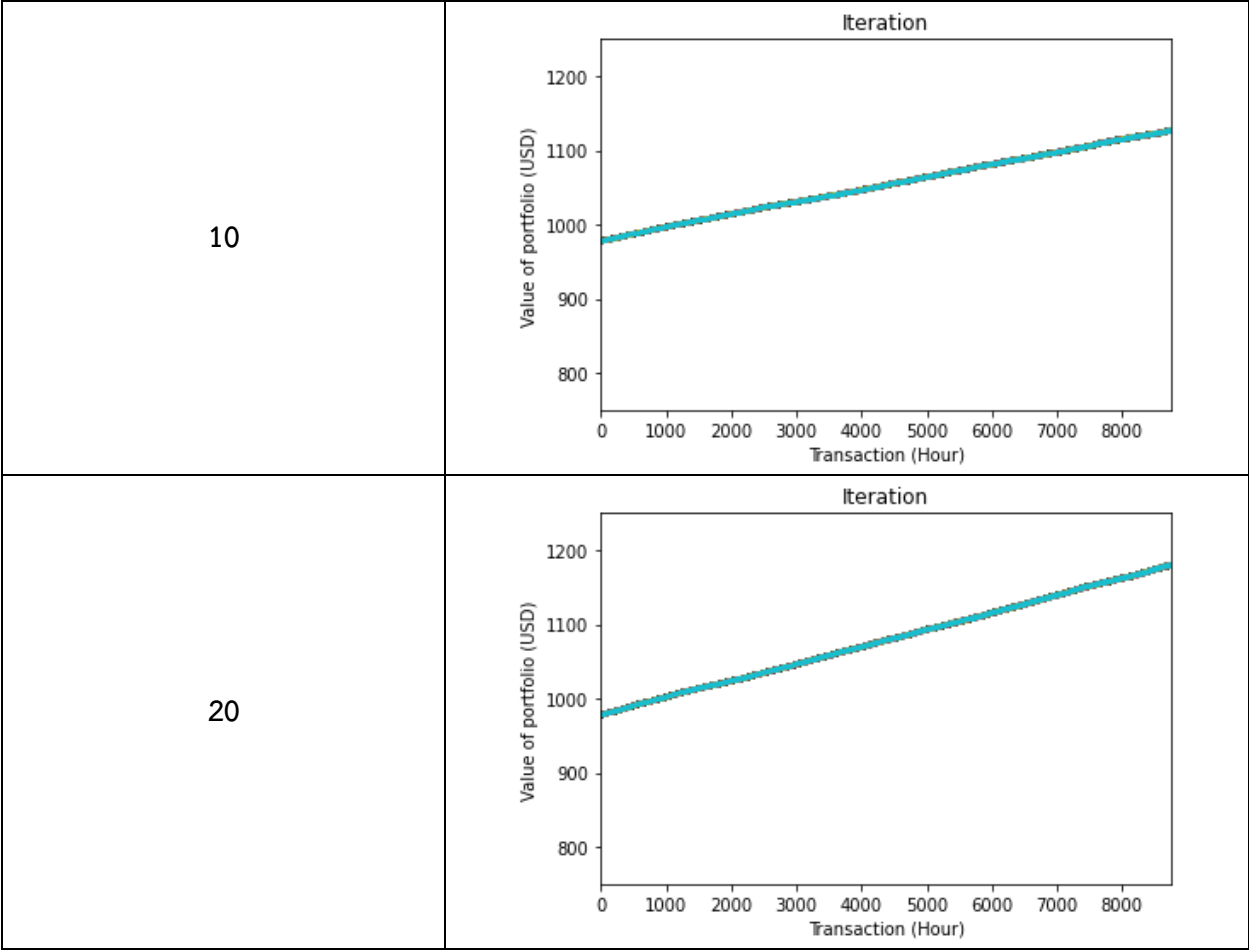
กรณีที่ 4 ในระยะเวลา 1 ปี อัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ A ด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐเพิ่มขึ้นร้อยละ 10

ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ B ด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐภายนอกสภาพคล่อง	การเปลี่ยนแปลงมูลค่าของกลุ่มหลักทรัพย์ลงทุนของผู้วางสภาพคล่อง
-20	
-10	
0	



กรณีที่ 5 ในระยะเวลา 1 ปี อัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ A ด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐเพิ่มขึ้นร้อยละ 20

ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ B ด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐภายนอกสภาพคล่อง	การเปลี่ยนแปลงมูลค่าของกลุ่มหลักทรัพย์ลงทุนของผู้วางสภาพคล่อง
-20	
-10	
0	

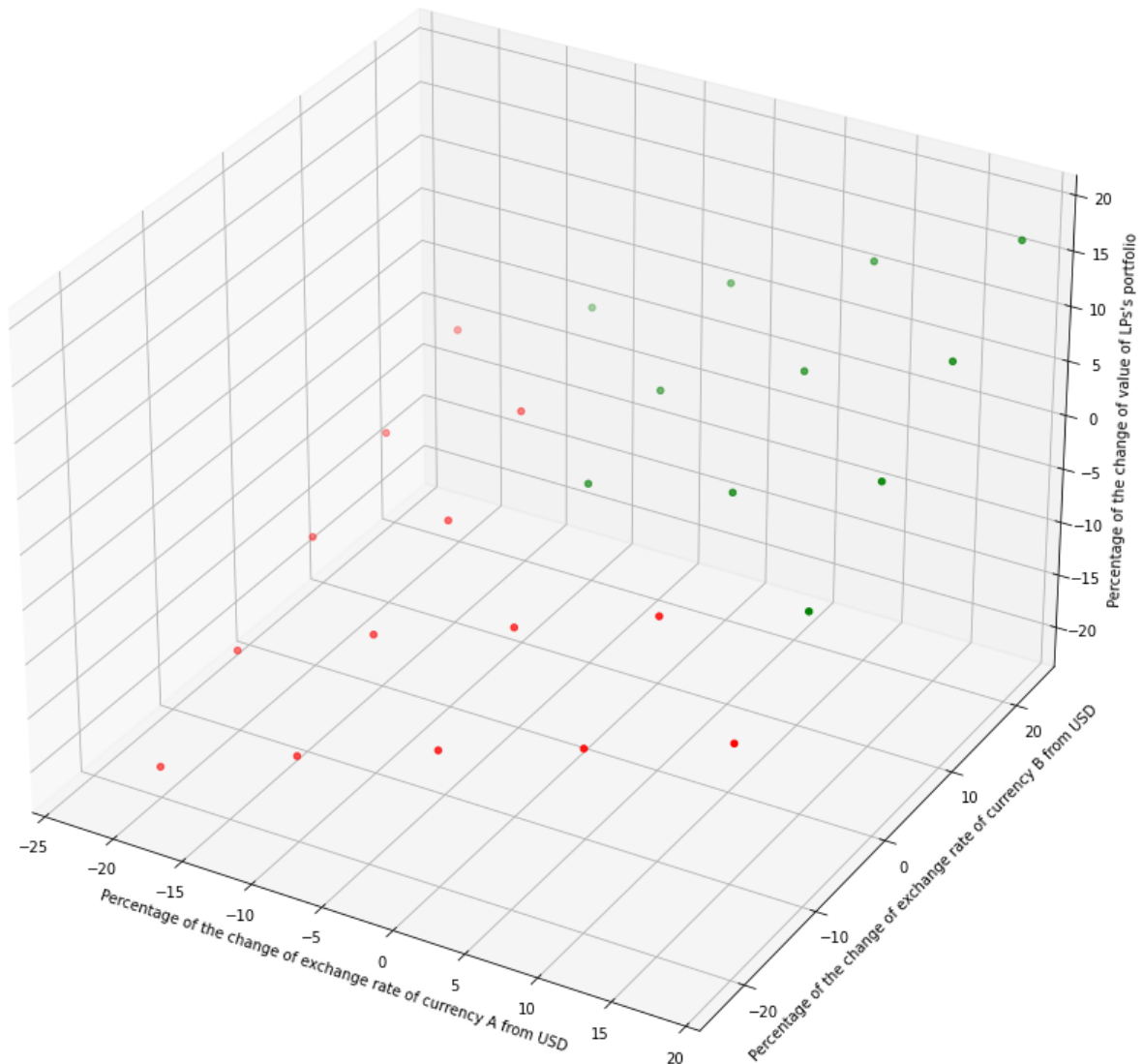


ในส่วนถัดไปจะแสดงตารางรวบรวมร้อยละการเปลี่ยนของมูลค่ากลุ่มหลักทรัพย์ลงทุนของผู้วางสภาพคล่องเทียบกับเงินเริ่มต้น ได้ดังตารางดังนี้

		ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ B ด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐภายนอกสภาพคล่อง				
		-20	-10	0	10	20
ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ B ด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐภายนอกสภาพคล่อง	-20	-20.8851	-16.1985	-11.5043	-7.4447	-3.2517
	-10	-15.7886	-10.7735	-6.1635	-1.7611	2.3724
	0	-11.1618	-6.1935	0.9672	3.7722	8.115
	10	-6.9213	-1.2608	3.8989	9.1157	13.5554
	20	-2.3759	3.0684	8.611	13.5589	18.8659

ตารางที่ 4.2 แสดงร้อยละการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยของมูลค่ากลุ่มหลักทรัพย์ลงทุนของผู้วางสภาพคล่อง
หลังจากผ่านไป 1 ปี ทั้ง 25 แบบ โดยแบบจำลองมอนติคาร์โล

และเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ A และเหรียญ B ด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐกับร้อยละการเปลี่ยนแปลงมูลค่าหลักทรัพย์ลงทุนของผู้วางสภาพคล่อง ดังนี้



ภาพที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ของร้อยละการเปลี่ยนแปลงอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ A และเหรียญ B ด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐกับร้อยละการเปลี่ยนแปลงมูลค่าของกลุ่มหลักทรัพย์ลงทุนของผู้วางสภาพคล่อง

4.3 การคาดการณ์ร้อยละการเปลี่ยนแปลงมูลค่าในอนาคตของกลุ่มหลักทรัพย์ลงทุนของผู้วางสภาพคล่องจากร้อยละการเปลี่ยนแปลงอัตราแลกเปลี่ยนเงินเหรียญ A และเหรียญ B ด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐ

เมื่อได้ข้อมูลทั้งหมดจาก 4.2 แล้วจะนำข้อมูล ดังกล่าว มาวิเคราะห์ด้วยการถดถอยพหุคูณ ได้ผลดังนี้

SUMMARY OUTPUT								
Regression Statistics								
Multiple R	0.997184719							
R Square	0.994377364							
Adjusted R Square	0.993866215							
Standard Error	0.79327717							
Observations	25							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Significance F			
Regression	2	2448.408335	1224.204167	1945.377737	1.77558E-25			
Residual	22	13.84435072	0.629288669					
Total	24	2462.252686						
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	-1.431332	0.158655434	-9.021638674	7.59214E-09	-1.760363232	-1.102300768	-1.760363232	-1.102300768
a	0.5050548	0.011218633	45.01928043	3.70039E-23	0.481788778	0.528320822	0.481788778	0.528320822
b	0.4843566	0.011218633	43.17429634	9.19963E-23	0.461090578	0.507622622	0.461090578	0.507622622

สรุปได้ว่า

$$P = -1.4313 + 0.5050A + 0.4843B$$

เมื่อ P คือ ร้อยละการเปลี่ยนแปลงมูลค่ากลุ่มหลักทรัพย์ลงทุนของผู้วางสภาพคล่อง

A คือ ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอัตราแลกเปลี่ยนเงินเหรียญ A ด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐ

B คือ ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอัตราแลกเปลี่ยนเงินเหรียญ B ด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐ

บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผลการศึกษา

5.1 สรุปผลการศึกษา

ในการจัดทำงานค้นคว้าอิสระในหัวข้อ คณิตศาสตร์ของธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์: ยิลด์ฟาร์มมิ่ง จากการศึกษาหลักการทำงานของธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์ด้วยการลงทุนแบบยิลด์ฟาร์มมิ่ง และสร้างขั้นตอนวิธี รวมถึงสร้างรหัสคำสั่งเพื่อจำลองการทำงานของธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์ด้วยการลงทุนแบบยิลด์ฟาร์มมิ่ง พบว่า ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงของอัตราแลกเปลี่ยนของเหรียญ A และเหรียญ B ด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐ ภายนอกสภาพคล่องที่มีการเติบโตเชิงเส้นแล้ว มูลค่ากลุ่มหลักทรัพย์ลงทุนสุดท้ายขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของ อัตราแลกเปลี่ยนของเหรียญ A และเหรียญ B ด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐภายนอกสภาพคล่อง และสามารถคาดการณ์ ร้อยละการเปลี่ยนแปลงมูลค่ากลุ่มหลักทรัพย์ลงทุนของผู้วางสภาพคล่องได้

5.2 อภิปรายผลการศึกษา

จากผลการศึกษาโดยการสร้างรหัสคำสั่งเพื่อจำลองการทำงานของธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์ด้วยการลงทุนแบบยิลด์ฟาร์มมิ่งที่มูลค่ากลุ่มหลักทรัพย์ลงทุนสุดท้ายขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของอัตราแลกเปลี่ยนของ เหรียญ A และเหรียญ B ด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐภายนอกสภาพคล่อง อีกทั้งยังมีความสัมพันธ์ในลักษณะเชิงเส้น ดังนั้น เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยการถดถอยเชิงเส้นทำให้ได้ สมการในการคาดการณ์ ร้อยละการเปลี่ยนแปลงมูลค่า กลุ่มหลักทรัพย์ลงทุนของผู้วางสภาพคล่องได้ ดังนี้

$$P = -1.4313 + 0.5050A + 0.4843B$$

เมื่อ P คือ ร้อยละการเปลี่ยนแปลงมูลค่ากลุ่มหลักทรัพย์ลงทุนของผู้วางสภาพคล่อง

A คือ ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ A ด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐ

B คือ ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ B ด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐ

จะเห็นว่า เมื่อไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงกับอัตราแลกเปลี่ยนเหรียญ A และเหรียญ B ด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐ ($A = 0, B = 0$) แล้วร้อยละการเปลี่ยนแปลงมูลค่ากลุ่มหลักทรัพย์ลงทุนของผู้วางสภาพคล่องจะเท่ากับ -1.41313 นั่นคือ ผู้วางสภาพคล่องจะขาดทุนอยู่ร้อยละ 1.41313

5.3 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากสกุลเงินดิจิทัล หรือ คริปโตเคอร์เรนซีมีลักษณะคล้ายกับหุ้นซึ่งมีความผันผวน ดังนั้น การใช้แบบจำลองที่มีความน่าจะเป็นเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ผลลัพธ์ที่ได้จะมีความสมจริงมากขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] Zipmex. <https://zipmex.com/th/glossary/>
- [2] Bitcoin Addict. 2021. DeFi คืออะไร? ทำความรู้จักกับโลกการเงิน ที่ไม่ต้องพึ่งธนาคาร.
<https://www.finnomena.com/bitcoinaddict/what-is-defi/>.
- [3] Coinman. 2021. Blockchain คืออะไร? การปฏิวัติตัวกลางครั้งใหญ่ที่สุดในประวัติศาสตร์.
<https://www.finnomena.com/coinman/blockchain/>.
- [4] ยงยุทธ แก้วจรัส. 2020. Liquidity Pool มีบทบาทอย่างไรบนโลก Cryptocurrency.
<https://www.nsm.or.th/nsm/th/node/6427>.
- [5] Krungsri. Portfolio.
<https://www.krungsri.com/th/personal/mutual-fund/knowledge/glossary/p/portfolio>.
- [6] SCB ไทยพาณิชย์. ความแตกต่างระหว่างเงินตรา vs คริปโตเคอร์เรนซี.
<https://www.scb.co.th/th/personal-banking/stories/grow-your-wealth/currency-vs-cryptocurrency.html>.
- [7] Grimmett G., and Stirzaker D., Probability and Random Processes, Third Edition., Oxford Universe Press., Great Britain, 2001.
- [8] Ross S., A First Course in Probability, Eighth Edition., Pearson., 2010.
- [9] Michelle H., Alyssa S., Sean G., Linear Growth.,
<https://mathbooks.unl.edu/Contemporary/sec-9-1-linear-growth.html>.
- [10] Christian R., George C., Monte Carlo Statistical Method, Second Edition., 2004.
- [11] Davison A., Statistical Model. Cambridge University Press., 2008.

ภาคผนวก

1. โปรแกรม Python สำหรับจำลองการทำงานของธุรกิจการเงินแบบกระจายศูนย์ด้วยการลงทุนแบบยิลด์ฟาร์มมิ่ง

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd
import statistics as stat
from numpy import random
from tabulate import tabulate

fiat = int(input('Enter the amount of money you need to create a farm (USD
) : '))
trans = 365*24
gasF = 0.32          #USD (Gas fee)
processF = 0.01671    #% (Processing fee)
swapF = 0.0025        #% (Swap fee)
FeeShare = 0.0017     #% (Fee Share)
Xa = 10              #USD (worth of currency A in pool)
Xb = 2               #USD (worth of currency B in pool)
LP = 10000000        #USD (Liquidity pool)
reward = 10          #B (Reward token per pool)
XP = Xb/Xa           #Exchange rate from B to A in this pool

La = LP/(2*Xa)
Lb = La/XP
Pool = [['Volume of currency A in pool',round(La,4)],
        ['Volume of currency B in pool',round(Lb,4)]]
print(tabulate(Pool))

n = 24
pd = 0.1

A = np.ones(n+1)
A[0] = Xa
for j in range(n):
    A[j+1] = A[j]-pd*A[0]/(24*365)+np.random.normal(0,1/(24*365))

B = np.ones(n+1)
B[0] = Xb
for j in range(n):
    B[j+1] = B[j]-pd*B[0]/(24*365)+np.random.normal(0,1/(24*365))
```

```

X = np.ones(n+1)
for j in range(n+1):
    X[j] = B[j]/A[j]

plt.plot(A, 'r')
plt.xlabel("Number of Transactions")
plt.ylabel("Exchange Rate")
plt.title("Exchange Rate of Currency A by USD")

plt.plot(B, 'b')
plt.xlabel("Number of Transactions")
plt.ylabel("Exchange Rate")
plt.title("Exchange Rate of Currency B by USD")

plt.plot(X, 'g')
plt.xlabel("Number of Transactions")
plt.ylabel("Exchange Rate")
plt.title("Exchange Rate of Currency B from currency A")

XPool = np.ones(n+1)
DA = np.ones(n)
DB = np.ones(n)
LA = np.ones(n+1)
LB = np.ones(n+1)
XPool[0] = XP
LA[0] = La
LB[0] = Lb
SumTrans = 0

for i in range(n):
    PerDA = np.random.uniform(0,0.002) #different rate is 0.01 per hour
    DA[i] = PerDA*LA[i]
    DB[i] = DA[i]/XPool[i]
    if XPool[i]>X[i]:
        LA[i+1] = LA[i]-DA[i]
        LB[i+1] = LB[i]+DB[i]
    else:
        LA[i+1] = LA[i]+DA[i]
        LB[i+1] = LB[i]-DB[i]
    XPool[i+1] = LA[i+1]/LB[i+1]
    SumTrans = SumTrans+DA[i]

```

```

Cr = (fiat*(1-processF)-gasF)/A[0]
f= Cr*swapF+gasF

a = (Cr-f)/2
b = a/XPool[0]

vol = [['','Wallet'],
        ['Volume of currency A',round(a,4)],
        ['Volume of currency B',round(b,4)]]
print(tabulate(vol))

v = (a+b*XPool[0])*A[0]
val = [['Value of portfolio (USD)',round(v,4)]]
print(tabulate(val))

LPa = a
LPb = b
a = a-a
b = b-b
rt = 0
fee = 0

stak = [['','Wallet','LP (Invest)','LP (Collect)'],
        ['Volume of currency A',round(a,4),round(LPa,4),round(fee,4)],
        ['Volume of currency B',round(b,4),round(LPb,4),round(rt,4)]]
print(tabulate(stak))

InV = (a+b*XPool[0]+LPa+LPb*XPool[0])*A[0]
vals = [['Initial value of portfolio at time t=0',round(InV,4)]]
print(tabulate(vals))

A_LP = np.ones(n+trans+1)
for i in range(n+1):
    A_LP[i] = A[i]

for i in range(trans):
    A_LP[n+1+i] = A_LP[n+i]-pd*A[0]/(24*365)+np.random.normal(0,1/(24*365))

B_LP = np.ones(n+trans+1)
for i in range(n+1):
    B_LP[i] = B[i]

```

```

for i in range(trans):
    B_LP[n+1+i] = B_LP[n+i]-pd*B[0]/(24*365)+np.random.normal(0,1/(24*365))

X_LP = np.ones(n+trans+1)
for i in range(n+trans+1):
    X_LP[i] = B_LP[i]/A_LP[i]

plt.plot(A_LP, 'r')
plt.xlabel("Number of Transactions")
plt.ylabel("Exchange Rate")
plt.title("Exchange Rate of Currency A by USD")

plt.plot(B_LP, 'b')
plt.xlabel("Number of Transactions")
plt.ylabel("Exchange Rate")
plt.title("Exchange Rate of Currency B by USD")

plt.plot(X_LP, 'g')
plt.xlabel("Number of Transactions")
plt.ylabel("Exchange Rate")
plt.title("Exchange Rate of Currency B from Currency A")

m = 10000
FV_Port = np.ones((m,trans))
Final_Value = np.ones(m)
FeeAll = np.ones(m)
RewardAll = np.ones(m)
LPaM = np.ones(m)
LPbM = np.ones(m)
XP = np.ones(m)
XP0 = np.ones(m)
for j in range(m):
    XPool_LP = np.ones(trans+1)
    DA_LP = np.ones(n+trans)
    DB_LP = np.ones(n+trans)
    LA_LP = np.ones(trans+1)
    LB_LP = np.ones(trans+1)
    LPaT = np.ones(trans+1)
    LPbT = np.ones(trans+1)
    ValuePool = np.ones(trans)
    RewardYear = np.ones(trans)
    Reward = np.ones(trans)
    ValuePort = np.ones(trans)
    SumTrans_LP = np.ones(trans+1)

```

```

FeeDay = np.ones(trans)
FeeYear = np.ones(trans)
FeeShare = np.ones(trans)
Fee = np.ones(trans)
XPool_LP[0] = XPool[n]
LA_LP[0] = LA[n]
LB_LP[0] = LB[n]
LPaT[0] = LPa
LPbT[0] = LPb
SumTrans_LP[0] = SumTrans
SReward = 0
SumFee = 0
for i in range(n):
    DA_LP[i] = DA[i]
    DB_LP[i] = DB[i]
for i in range(trans):
    PerDA_LP = np.random.uniform(0,0.002)
    DA_LP[n+i] = PerDA_LP*LA_LP[i]
    DB_LP[n+i] = DA_LP[n+i]/XPool_LP[i]
    if XPool_LP[i]>X_LP[i]:
        LA_LP[i+1] = LA_LP[i]-DA_LP[n+i]
        LB_LP[i+1] = LB_LP[i]+DB_LP[n+i]
    else:
        LA_LP[i+1] = LA_LP[i]+DA_LP[n+i]
        LB_LP[i+1] = LB_LP[i]-DB_LP[n+i]
    XPool_LP[i+1] = LA_LP[i+1]/LB_LP[i+1]
    LPaT[i+1] = (LPaT[i]+LPbT[i]*XPool_LP[i])/2
    LPbT[i+1] = LPaT[i+1]/XPool_LP[i]
    ValuePool[i] = LA_LP[i+1]+LB_LP[i+1]*XPool_LP[i+1]
    ValuePort[i] = LPaT[i+1]+LPbT[i+1]*XPool_LP[i+1]
    #calculate reward token
    pr = ValuePort[i]/ValuePool[i] #the proportion of the value of LPs's c
urrency to the value of LP
    RewardYear[i] = reward*365*pr/ValuePool[i] #reward token gived to LPs
every transactions
    Reward[i] = ValuePort[i]*RewardYear[i]/(365*24)
    SReward = SReward+Reward[i]
    #calculate fee share
    SumTrans_LP[i+1] = SumTrans_LP[i]-DA_LP[i]+DA_LP[n+i]
    FeeDay[i] = SumTrans_LP[i]*0.0017 #daily fee
    FeeYear[i] = FeeDay[i]*365 #Yearly fee
    FeeShare[i] = FeeYear[i]/ValuePool[i] #rate fee share
    Fee[i] = FeeShare[i]*ValuePort[i]/(24*365)
    SumFee = SumFee+Fee[i]
    FV_Port[j][i] = (LPaT[i]+LPbT[i]*XPool_LP[i])*A_LP[n+1+i]

```

```

    FeeAll[j] = SumFee
    RewardAll[j] = SReward
    LPaM[j] = LPA_T[trans]
    LPbM[j] = LPb_T[trans]
    XP[j] = XPool_LP[trans]
    Final_Value[j] = (LPA_T[trans]+SumFee+(LPb_T[trans]+SReward)*XPool_LP[trans])*A_LP[trans+n]

for i in range(m):
    plt.plot(list(range(1,trans+1)),FV_Port[i][:trans])
    plt.xlabel("Transaction (Hour)")
    plt.ylabel("Value of portfolio (USD)")
plt.title('Iteration')
plt.xlim(0,trans)
plt.ylim(750,1250)
plt.show()

gf = 2*gasF
MeanFinalV = stat.mean(Final_Value)
plt.hist(Final_Value,bins=50)
plt.xlabel("Final value of LPs's portfolio")
plt.ylabel("Frequency")
plt.show()
Summary = [['','Simulation'],
            ['Initial value of portfolio including top up gas fee (USD)',round(fiat+gf,4)],
            ['Final value of portfolio (USD)',round(MeanFinalV,4)]]
print(tabulate(Summary))

RewardMean = stat.mean(RewardAll)
FeeMean = stat.mean(FeeAll)
LPaMean = stat.mean(LPaM)
LPbMean = stat.mean(LPbM)
XPM = stat.mean(XP)
InitialPort = [['','Wallet','LP (Invest)','LP (Collect)'],
               ['Volume of currency A',round(a,4),round(LPa,4),round(fee,4)
               ],
               ['Volume of currency B',round(b,4),round(LPb,4),round(rt,4)
               ]
               ]
FinalPort = [['','Wallet','LP (Invest)','LP (Collect)'],
              ['Volume of currency A',round(a,4),round(LPaMean,4),round(FeeMean,4)],
              ['Volume of currency B',round(b,4),round(LPbMean,4),round(RewardMean,8)]]
print(tabulate(InitialPort),tabulate(FinalPort))

```

```
per = abs(MeanFinalV-fiat)*100/fiat
if MeanFinalV-fiat>=0:
    Sum = [['Initial value of portfolio',round(fiat,4)],
           ['Final value of portfolio',round(MeanFinalV,4)],
           ['Percentage of change of the value of portfolio',round(per,4)],
           ['Direction of change of the value of portfolio','Increase']]
else:
    Sum = [['Initial value of portfolio',round(fiat,4)],
           ['Final value of portfolio',round(MeanFinalV,4)],
           ['Percentage of change of the value of portfolio',round(per,4)],
           ['Direction of change of the value of portfolio','Decrease']]
print(tabulate(Sum))
```