



ธนาคารแห่งประเทศไทย
BANK OF THAILAND

สิน



This report and the information contained within is provided on an “as-is” basis and is for information purpose only.

No statement, representation or warranty of any kind is given by the Bank of Thailand (BOT), whether express or implied, including as to the accuracy, correctness, completeness, title, non-infringement, reliability, security, timeliness and appropriateness of this report for its use in any particular circumstances.

Nothing in this report constitutes legal, financial or other professional advice.

You should conduct your own enquiries to verify the information contained in this report before using it and seek professional advice as you consider necessary. The BOT shall not be liable for any error, omissions, misstatements or misinterpretations (express or implied) concerning any information contained in or any aspect of this report.

Copyright © Bank of Thailand | October 2025

All rights reserved.

This report was published by the Bank of Thailand with contributions from:

Kasidit Tansanguan

Peerapong Thonnagith | Witit Synsatayakul

Nuntapun Bhensook | Jadesada Palotaitakerng | Tanakorn Kerdrattikal

Pakaporn Tohwisessuk | Prempoon Srimonta | Lalitwadee Damyos

Jakkapong Pansit | Siwapol Jumnongsaksub | Wiranunt Ongvisespaiboon



สารบัญ

1) บทสรุปผู้บริหาร (Executive Summary)	4
2) Problem Statement and Intended Outcome	7
3) Prototype model, Scope and Requirements	13
3.1) Prototype model	14
3.2) Scope and Requirements	17
3.3) Business and Operational workflow	20
4) Technical Design	23
4.1) Design Principles	24
4.2) Architecture design and Key Technical components	25
5) Key Findings	27
5.1) Functionality and Non-functionality	28
5.2) Insights and Lessons learned	29
6. Conclusion and Further considerations	31

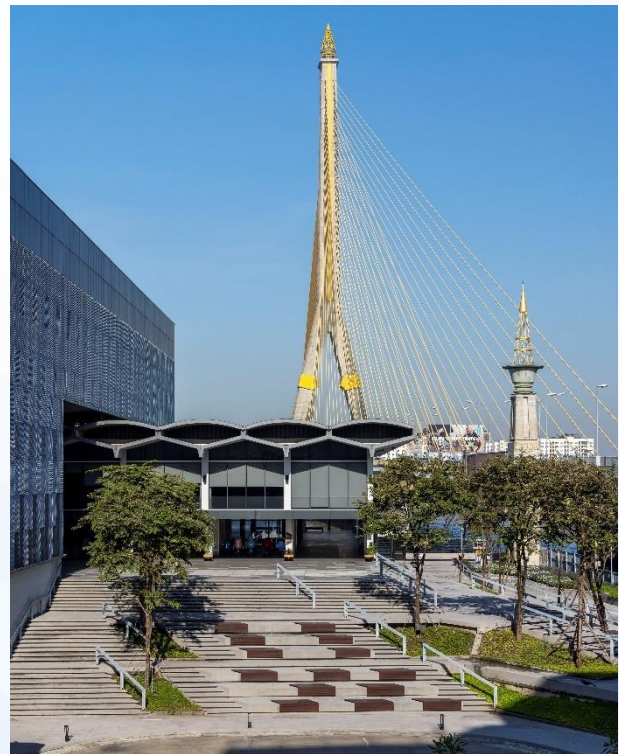
บทสรุปผู้บริหาร

ภาคเอกชนมีแนวโน้มพัฒนาระบบชำระเงินของตนเองในรูปแบบ Tokenization โดยใช้เทคโนโลยีการประมวลผลแบบกระจายศูนย์บนเครือข่ายอิเล็กทรอนิกส์ (Distributed Ledger Technology: DLT) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการชำระเงิน (operational efficiency) และการต่อยอดนวัตกรรมของบริการชำระเงิน เช่น การชำระเงินแบบกำหนดเงื่อนไข (programmability)

อย่างไรก็ดี การพัฒนาดังกล่าว อาจทำให้เกิด

- 1) ระบบชำระเงินบน DLT หลายเครือข่าย ที่ไม่สามารถเชื่อมต่อกันได้ (close-loop network) และ
- 2) ระบบชำระเงินบนเครือข่าย DLT ที่ไม่สามารถเชื่อมต่อกับระบบชำระเงินพื้นฐานในปัจจุบัน (traditional financial system) ได้

เนื่องจากปัจจุบัน ยังไม่ได้มีกลไกการเชื่อมต่อระหว่างระบบชำระเงินบนเทคโนโลยีต่าง ๆ ของผู้ให้บริการที่น่าเชื่อถือและมั่นคงปลอดภัย (technology-agnostic interoperability) ซึ่งอาจทำให้ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีดังกล่าวได้อย่างเต็มที่ เช่น การทำธุรกรรมชำระเงินและส่งมอบสินทรัพย์ที่อยู่ต่างเครือข่ายของผู้ให้บริการในรูปแบบพร้อมกันทั้ง 2 ฝ่าย (Delivery versus Payment) รวมถึงอาจส่งผลกระทบต่อลูกค้าในด้านต้นทุนและความสะดวก และการบริหารสภาพคล่อง



จากปัญหาดังกล่าว สปท. จึงริเริ่ม

โครงการ “สาน” ในการศึกษา พัฒนาและทดสอบระบบต้นแบบ (prototype) การชำระเงินในรูปแบบ Tokenization โดยมี Intended outcome ในการทดสอบกลไกเชื่อมต่อ (1) ระหว่างระบบชำระเงินบนเครือข่าย DLT ที่แตกต่างกัน และ (2) ระหว่างระบบชำระเงินบนเครือข่าย DLT และระบบชำระเงินพื้นฐานในปัจจุบัน (traditional financial system) เพื่อที่จะสามารถใช้ประโยชน์จาก Tokenization ได้อย่างมีประสิทธิภาพและต่อยอดการพัฒนานวัตกรรม use-cases ใหม่ ๆ จากการเชื่อมต่อกับระบบหรือเครือข่ายที่ใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ ได้ เช่น asset platform

ระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้นภายใต้โครงการ “สาน” เลือกใช้รูปแบบการเชื่อมต่อโดยรับส่งข้อมูล ระหว่างระบบชำระเงินของผู้ให้บริการที่แตกต่างกัน (orchestrated Interoperability to different networks) เนื่องจากมีความยืดหยุ่นในการเชื่อมต่อกับระบบ ชำระเงินที่ใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างกัน ทั้ง DLT และ Centralized technology ได้ (technology agnostic) ซึ่งระบบต้นแบบประกอบด้วย 3 องค์ประกอบสำคัญ

- (1) กลไกเชื่อมต่อระหว่างระบบชำระเงิน (Interoperability Layer: IL)
- (2) ระบบโอนเงินระหว่างผู้ให้บริการ (Wholesale settlement system) และ
- (3) ระบบชำระเงินบนเครือข่าย DLT ของ ภาคเอกชน (Tokenized money networks)



เพื่อตอบโจทย์ Intended outcome ข้างต้น การทดสอบจึง เลือก use-cases การโอนเงิน ระหว่างลูกค้า ซึ่งดำเนินการผ่าน ระบบชำระเงินบนเครือข่าย DLT และการโอนเงินระหว่างผู้ให้บริการ ภายในประเทศในรูปแบบ Tokenization ซึ่งดำเนินการผ่าน ระบบชำระเงินพื้นฐานที่ใช้ centralized technology system



ทั้งนี้ กลไก IL ออกแบบบนหลักการ สำคัญ 3 ประการ ได้แก่

(1) MODULARITY:

ความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนหรือ พัฒนาระบบโดยไม่ส่งผลกระทบต่อระบบ ภาพรวม

(2) INTEROPERABILITY:

ความสามารถในการเชื่อมต่อระหว่างบน ระบบที่อยู่บนเครือข่ายหรือเทคโนโลยีที่ แตกต่างกัน โดยใช้มาตรฐานสากล และ

(3) FUNCTIONALITY:

ความสามารถของระบบในการทำงานได้ อย่างถูกต้อง ต่อเนื่อง โดยไม่มีข้อผิดพลาด



อย่างไรก็ดี ระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้น **มุ่งเน้นกลไกการทำงานขั้นพื้นฐานและในเชิงเทคโนโลยีเป็นหลัก** ซึ่งในทางปฏิบัติจะต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่น ๆ ประกอบ เช่น ข้อกำหนดในเชิงธุรกิจ (business rules) การปฏิบัติตามกฎระเบียบ (compliance) และกระบวนการภายใน (internal procedures) ของทั้งระบบ wholesale settlement และระบบชำระเงินของผู้ให้บริการภาคเอกชน รวมถึงการเชื่อมต่อกับระบบการชำระเงินระหว่างประเทศ (cross-border interoperability)

การพัฒนาและทดสอบ ระบบต้นแบบนี้ เป็นก้าวสำคัญในการพัฒนาระบบชำระเงินในรูปแบบ Tokenization โดยข้อมูลเชิงลึกและบทเรียนที่ได้จากการออกแบบ พัฒนาและทดสอบ จะนำไปเป็นข้อเสนอแนะสำหรับการออกแบบระบบการโอนเงินมูลค่าสูงระหว่างสถาบันการเงิน (RTGS) ของประเทศไทยในอนาคต เพื่อให้ระบบดังกล่าวรองรับการเชื่อมต่อและทำธุรกรรมในรูปแบบ Tokenization ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในระยะต่อไป จะต่อยอดระบบต้นแบบชำระเงินที่พัฒนาขึ้น โดยเชื่อมต่อกับระบบการส่งมอบสินทรัพย์ (asset platform) เพื่อทดสอบการทำธุรกรรมซื้อขายสินทรัพย์ระหว่างประเทศ (cross-border) ในรูปแบบการส่งมอบและชำระราคาในเวลาเดียวกัน (Delivery versus Payment: DvP) ภายใต้ความร่วมมือระหว่าง ธปท. และธนาคารกลางฮ่องกง ในโครงการ “सान” และ โครงการ “Ensemble” จากผลการทดสอบพบว่า กลไก IL ที่พัฒนาขึ้นสามารถรับส่งข้อมูลและจัดการธุรกรรมโอนเงินและชำระเงินในรูปแบบ Tokenization ได้อย่างต่อเนื่อง สมบูรณ์ และสามารถเชื่อมต่อกับระบบชำระเงินบนเทคโนโลยี DLT และ Centralized ได้ (technology agnostic) โดยมีประสิทธิภาพในการประมวลธุรกรรม (response time) รองรับปริมาณธุรกรรมจำนวนมาก (throughput) และการรองรับการเชื่อมต่อกับจำนวนเครือข่ายของผู้ให้บริการที่เพิ่มขึ้น (network scalability) นอกจากนี้ กลไก IL ยังสามารถต่อยอดเพื่อรองรับการชำระราคาสินทรัพย์ประเภทต่าง ๆ (asset agnostic) ในรูปแบบที่การชำระราคาและการส่งมอบสินทรัพย์เกิดขึ้นพร้อมกันทั้ง 2 ฝ่าย (Delivery versus Payment)

Problem Statement and Intended Outcome

Problem Statement and Intended Outcome

ภาคเอกชนมีแนวโน้มที่จะพัฒนาระบบชำระเงินของตนเองในรูปแบบ Tokenization โดยใช้เทคโนโลยี DLT เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการชำระเงิน เช่น การรับส่งข้อมูล การตรวจสอบ และการทำธุรกรรม รวมถึง เพื่อพัฒนาต่อยอดนวัตกรรมของบริการชำระเงิน (programmability) เช่น การชำระเงินตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยเงื่อนไขดังกล่าวอาจเชื่อมโยงและใช้ข้อมูลจากภายนอก (off-chain data) เช่น การทำธุรกรรมชำระเงินให้เกิดขึ้นพร้อมการส่งสินค้า (escrow payment) ซึ่งต้องใช้ข้อมูลเกี่ยวกับสินค้าที่อยู่นอกเครือข่าย DLT



Problem Statement

เนื่องจากปัจจุบัน ยังไม่มีกลไกการเชื่อมต่อระหว่างระบบชำระเงินบนเทคโนโลยีต่าง ๆ ของผู้ให้บริการที่น่าเชื่อถือและมั่นคงปลอดภัย (technology-agnostic interoperability) ใน 2 มิติสำคัญ ดังนี้

1) การเชื่อมต่อระหว่างระบบชำระเงินบนเครือข่าย DLT ที่แตกต่างกัน (interoperability across different DLT network)

โดยหากระบบของผู้ให้บริการแต่ละรายไม่สามารถเชื่อมต่อกันได้ อาจทำให้เกิดระบบชำระเงินบนเครือข่าย DLT จำนวนมากที่ไม่สามารถทำธุรกรรมระหว่างกันได้ (closed-loop network) ซึ่งทำให้ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีได้อย่างเต็มที่ เช่น การทำธุรกรรมชำระเงินและส่งมอบสินทรัพย์ที่อยู่ต่างเครือข่ายของผู้ให้บริการในรูปแบบพร้อมกันทั้ง 2 ฝ่าย (Delivery versus Payment) รวมถึงอาจส่งผลกระทบต่อลูกค้าในด้านต้นทุน ความสะดวก และการบริหารสภาพคล่อง เช่น ลูกค้าของผู้ให้บริการ A ไม่สามารถทำธุรกรรมหรือโอนเงินให้กับลูกค้าของผู้ให้บริการ B ได้ รวมทั้ง อาจส่งผลกระทบต่อระบบการเงิน เช่น เงินที่อยู่บนเครือข่าย DLT อาจมีมูลค่าแตกต่างกัน (deviation to singleness of money) และไม่สามารถทำหน้าที่ของเงินในด้านหน่วยวัดมูลค่าหรือสื่อกลางการชำระเงิน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2) การเชื่อมต่อระหว่างระบบชำระเงินบนเครือข่าย DLT และระบบการชำระเงินพื้นฐานในปัจจุบัน (traditional financial system)

โดยหากทั้ง 2 ระบบดังกล่าวไม่สามารถเชื่อมต่อกันได้ อาจเป็นข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์และต่อยอดบริการนวัตกรรมใหม่จากระบบชำระเงินแบบดั้งเดิมซึ่งมีประสิทธิภาพ และมีความมั่นคงปลอดภัยสูง เช่น ระบบโอนเงินมูลค่าสูงระหว่างสถาบันการเงิน (Real-Time Gross Settlement: RTGS)

Intended Outcome

เพื่อตอบโจทย์ปัญหา (Problem statements) จ้างต้น สปท. จึงได้ศึกษา พัฒนาและทดสอบระบบต้นแบบของระบบชำระเงินด้วย Tokenization โดยมุ่งเน้นที่กลไกเชื่อมต่อระหว่างระบบชำระเงินบนเทคโนโลยีต่าง ๆ (technology-agnostic interoperability) เพื่อที่จะสามารถใช้ประโยชน์จาก Tokenization ได้อย่างมีประสิทธิภาพและต่อยอดการพัฒนานวัตกรรม use-cases ใหม่ ๆ จากการเชื่อมต่อกับระบบหรือเครือข่ายที่ใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ ได้ เช่น asset platform

โดย สปท. ได้พัฒนาและทดสอบระบบต้นแบบใน 2 มิติ ดังนี้

1) Interoperability across DLT network

พัฒนาและทดสอบกลไกการทำงานของ IL ในการเชื่อมต่อ การรับส่งข้อมูลและการส่งคำสั่งทำธุรกรรมโอนเงิน ระหว่างระบบชำระเงินของผู้ให้บริการบนเครือข่าย DLT ที่แตกต่างกัน เช่น การโอนเงินด้วย tokenized deposits ระหว่างระบบชำระเงินบนเครือข่าย DLT ของภาคเอกชน

2) Interoperability with traditional settlement system

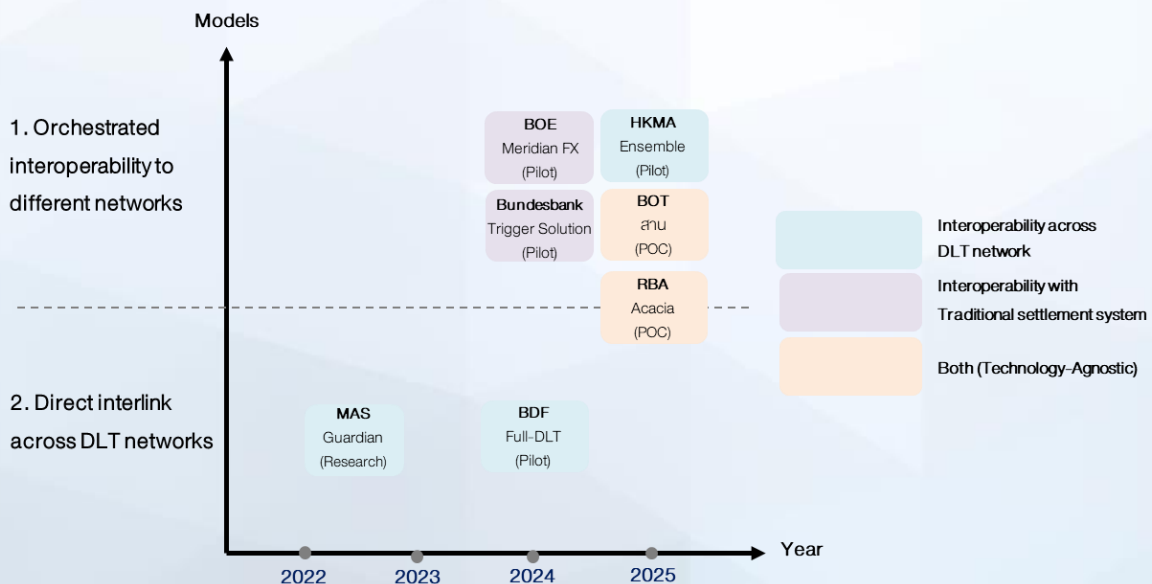
พัฒนาและทดสอบกลไกการทำงานของ IL ในการเชื่อมต่อ รับส่งข้อมูลและการส่งคำสั่งทำธุรกรรมโอนเงิน ระหว่างระบบชำระเงินของผู้ให้บริการบนเครือข่าย DLT กับระบบชำระเงินแบบดั้งเดิม เช่น การโอนเงินระหว่างผู้ให้บริการในระบบ wholesale settlement system ที่ใช้ centralized technology

ทั้งนี้ การทดสอบจะประเมินผลทั้งในด้านกลไกการทำงานพื้นฐาน (functionality) และขีดความสามารถอื่น ๆ (non-functionality) เช่น ประสิทธิภาพในการประมวลธุรกรรม (response time) การรองรับปริมาณธุรกรรมจำนวนมาก (throughput) และการรองรับการเชื่อมต่อกับจำนวนเครือข่ายของผู้ให้บริการที่เพิ่มขึ้น (network scalability)

รูปแบบการศึกษา

ในต่างประเทศ

รูป 1 เปรียบเทียบรูปแบบการศึกษา interoperability ของธนาคารกลางต่างประเทศ



จากการศึกษารูปแบบกลไกการเชื่อมต่อระหว่างระบบชำระเงินต่าง ๆ ของธนาคารกลางในต่างประเทศ พบว่า มีแนวทางการศึกษาใน 2 รูปแบบหลัก ได้แก่

(1) รูปแบบการเชื่อมต่อโดยรับส่งข้อมูลระหว่างระบบชำระเงินของผู้ให้บริการที่แตกต่างกัน (Orchestrated interoperability to different networks) และ

(2) รูปแบบการเชื่อมต่อโดยประมวลผลและทำธุรกรรมระหว่างระบบชำระเงินของผู้ให้บริการบนเครือข่าย DLT (Direct interlink across DLT networks)

แนวทางการศึกษาในต่างประเทศ แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบหลัก

1) รูปแบบการเชื่อมต่อโดย
รับส่งข้อมูลระหว่างระบบชำระเงินของ
ผู้ให้บริการที่แตกต่างกัน

(Orchestrated interoperability to
different networks)

ซึ่งการประมวลผลและการทำธุรกรรมจะมีผลเสร็จสิ้น
สมบูรณ์ (finality) อยู่กับระบบของผู้ให้บริการแต่ละราย
โดยกลไกการเชื่อมต่อ (interoperability) จะทำหน้าที่
รับส่งข้อมูลและส่งคำสั่งระหว่างระบบชำระเงินเท่านั้น
(orchestrated settlement)

ปัจจุบันมีธนาคารกลางในต่างประเทศที่ศึกษาและทดลอง
การเชื่อมต่อนี้ เช่น ออสเตรเลีย เยอรมนี และสหราชอาณาจักร

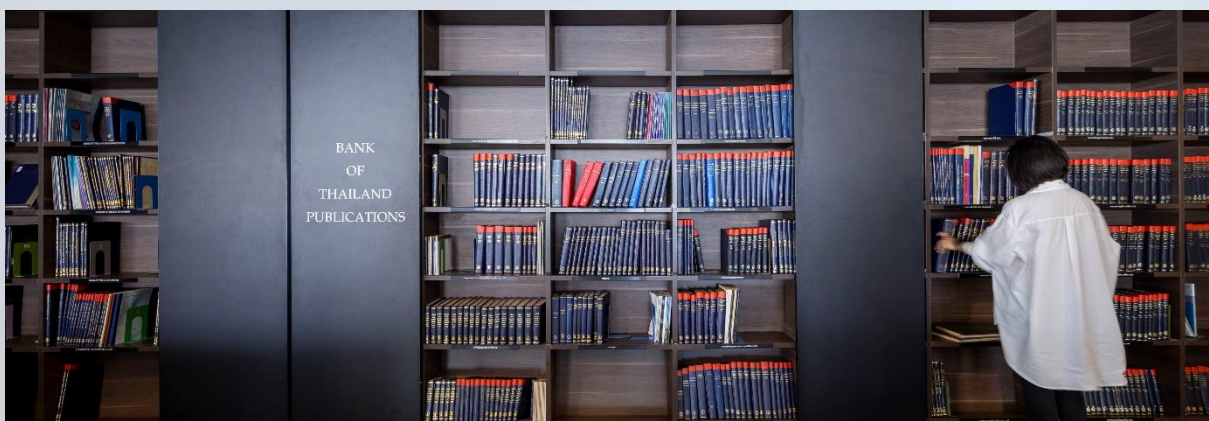
2) รูปแบบการเชื่อมต่อโดย
ประมวลผลและทำธุรกรรมระหว่าง
ระบบชำระเงินของผู้ให้บริการบน
เครือข่าย DLT

(Direct interlink across DLT
networks)

โดยใช้กลไกการเชื่อมต่อและกลไกสัญญาอัจฉริยะ (smart
contract) ทำหน้าที่รับส่งข้อมูล ประมวลผล ตรวจสอบ
และยืนยันการทำธุรกรรมให้เกิดผลเสร็จสิ้นสมบูรณ์
(finality) ระหว่างเครือข่าย DLT ต่าง ๆ

ปัจจุบันมีธนาคารกลางในต่างประเทศที่ศึกษาและทดลอง
การเชื่อมต่อนี้ ได้แก่ สิงคโปร์ และฝรั่งเศส

เพื่อตอบโจทย์ Intended outcome ข้างต้น ระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้นภายใต้โครงการ “สาน”
จึงเลือกศึกษารูปแบบ Orchestrated interoperability to different networks เนื่องจากมีความยืดหยุ่น
ในการเชื่อมต่อกับระบบชำระเงินที่ใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างกัน (technology agnostic) เช่น DLT และ
Centralized technology รวมถึงสามารถเชื่อมต่อกับระบบชำระเงินแบบดั้งเดิมได้อย่างมีประสิทธิภาพ
ด้วยการเพิ่มกลไกการทำงานบางอย่าง เช่น กลไกการสำรองเงิน (fund escrow) ซึ่งไม่กระทบกับโครงสร้าง
หลักหรือกลไกการทำงานเดิมอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่รูปแบบ Direct interlink across DLT networks
จะรองรับระบบชำระเงินที่ใช้ DLT เท่านั้น

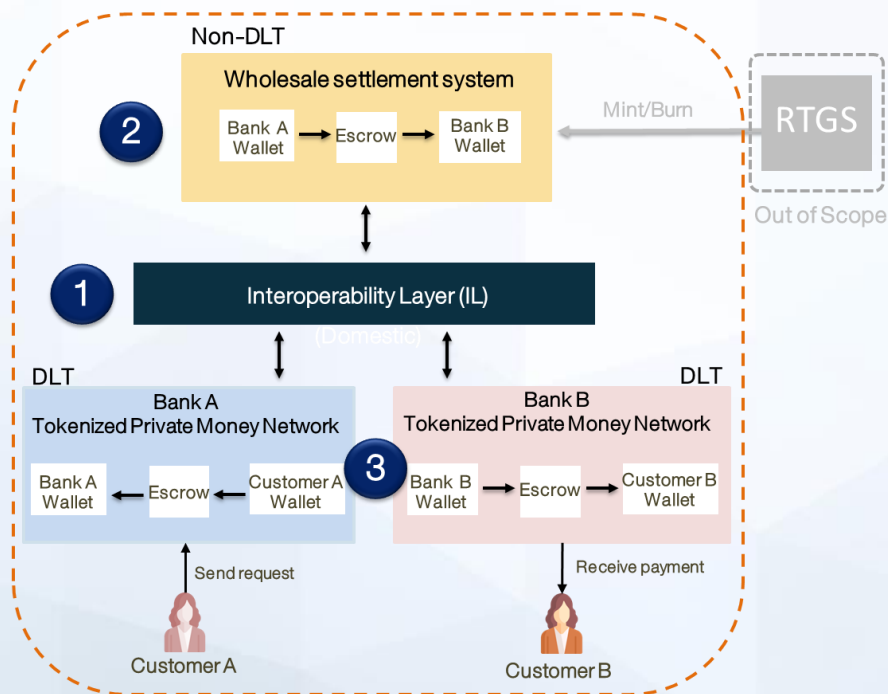


Prototype Model, Scope and Requirements

Prototype Model

orchestrated settlement on different networks

รูป ๒ ระบบต้นแบบ (prototype model): orchestrated settlement on different networks



ระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้น ใช้รูปแบบการรับส่งข้อมูลเพื่อทำธุรกรรมแบบพร้อมกันทุกระบบ (orchestrated settlement model) ผ่านกลไก IL เพื่อให้การทำธุรกรรมโอนเงินในรูปแบบ Tokenization เป็นไปอย่างถูกต้อง มีประสิทธิภาพ รวดเร็ว ไม่มีความเสี่ยงด้านการชำระดุลระหว่างผู้ให้บริการ และรองรับระบบชำระเงินบนเครือข่าย DLT ที่แตกต่างกันของผู้ให้บริการ อีกทั้งยังช่วยลดโอกาสเกิดปัญหาการทำงานไม่สอดคล้องกันระหว่างระบบ

ระบบต้นแบบนี้
ประกอบด้วย
3 องค์ประกอบสำคัญ

- 1 กลไกเชื่อมต่อระหว่างระบบชำระเงิน (Interoperable Layer: IL)
- 2 ระบบโอนเงินระหว่างผู้ให้บริการ (Wholesale settlement system) และ
- 3 ระบบชำระเงินบนเครือข่าย DLT ผู้ให้บริการภาคเอกชน (Tokenized money networks)

ระบบต้นแบบมี Interoperability Layer เป็นกลไกสำคัญ ในการรับส่งข้อมูล การประสานจัดการธุรกรรมโอนเงินระหว่างลูกค้าและระหว่างผู้ให้บริการให้เสร็จสมบูรณ์ในเวลาเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อลูกค้าของผู้ให้บริการ A ส่งคำสั่งโอนเงิน ผู้ให้บริการ A จะนำส่งคำสั่งดังกล่าวผ่านกลไก IL และ IL จะส่งชุดคำสั่งไปยังระบบชำระเงินของผู้ให้บริการ A และ B ในเวลาเดียวกัน หลังจากนั้นผู้ให้บริการ A จะสำรองเงินไว้ที่บัญชี escrow ของระบบตนเอง และระบบ wholesale settlement system พร้อมทั้งยืนยันธุรกรรม หลังจากนั้น IL จะส่งคำสั่งให้โอนเงินทั้งฝั่งลูกค้าและผู้ให้บริการ เพื่อให้ธุรกรรมเสร็จสมบูรณ์ในเวลาเดียวกัน

ทั้งนี้ ภายใต้ระบบต้นแบบดังกล่าวจะ**ใช้กลไกการสำรองเงิน (fund escrow) ของผู้เกี่ยวข้อง** เพื่อช่วยเพิ่มความโปร่งใสและความน่าเชื่อถือในการทำธุรกรรมระหว่างระบบชำระเงินของผู้ให้บริการที่แตกต่างกัน โดยสามารถตรวจสอบและติดตามสถานะของธุรกรรมได้ทันที และลดความเสี่ยงจากความผิดพลาดหรือความล่าช้าที่อาจเกิดขึ้นในระบบใดระบบหนึ่ง



องค์ประกอบสำคัญของระบบต้นแบบ

องค์ประกอบ	รูปแบบเทคโนโลยี	หน้าที่หลัก
1) Interoperability Layer (IL): กลไกเชื่อมต่อระหว่างระบบ ชำระหนี้	ใช้ API และมาตรฐาน ISO20022 เนื่องจาก สามารถรองรับการเชื่อมต่อกับระบบชำระหนี้ที่อยู่บนเครือข่ายหรือเทคโนโลยีที่แตกต่างกันได้ (technology agnostic)	- รับและส่งคำสั่งการกันสำรองและการโอนเงินระหว่างระบบชำระหนี้ต่าง ๆ (messaging) - บริหารจัดการและควบคุมขั้นตอนการทำธุรกรรม - ประสานจัดการธุรกรรมโอนเงินของลูกค้าและผู้ให้บริการให้เสร็จสมบูรณ์ในเวลาเดียวกัน (orchestrated settlement)
2) Wholesale Settlement System: ระบบโอนเงินระหว่างผู้ให้บริการ โดยทำธุรกรรมด้วย Wholesale CBDC และใช้ centralized technology	ใช้ centralized technology เนื่องจาก - สามารถประมวลผลธุรกรรมข้ามระบบจำนวนมากได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว - สอดคล้องกับรูปแบบระบบโอนเงินมูลค่าสูงระหว่างสถาบันการเงิน (RTGS) ที่ใช้ centralized technology ในปัจจุบัน	- รับและส่งคำสั่งการกันสำรองเงินและการโอนเงินจาก IL - โอนเงินระหว่างบัญชีของผู้ให้บริการระบบชำระหนี้
3) Tokenized money networks: ระบบชำระหนี้บนเครือข่าย DLT ของผู้ให้บริการภาคเอกชน	ใช้ DLT เนื่องจาก - ช่วยเพิ่มความโปร่งใสและประสิทธิภาพในการจัดการธุรกรรมโดยใช้กลไกสัญญาอัจฉริยะ (smart contract) - รองรับการพัฒนาต่อยอดนวัตกรรมของบริการชำระหนี้ เช่น programmability	- รับและส่งคำสั่งการโอนเงินภายในระบบของตนเอง - รับและส่งคำสั่งการกันสำรองเงินและการโอนเงินจาก IL - โอนเงินของลูกค้าภายในระบบของตนเอง

Scope and

ขอบเขตและข้อกำหนด ของการพัฒนา ระบบต้นแบบ

Requirements

การพัฒนาแบบต้นแบบของระบบชำระเงินในรูปแบบ Tokenization มุ่งเน้นการออกแบบ พัฒนา และทดสอบกลไกการทำงานของระบบในเชิงเทคโนโลยีเป็นหลัก จึงได้กำหนดข้อสมมติและเงื่อนไขของรูปแบบการทำธุรกรรมโอนเงิน เพื่อให้สามารถทดสอบและประเมินผลในเชิงเทคโนโลยีได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

- ขอบเขตของการพัฒนาระบบต้นแบบ (In-scope)
- กำหนดข้อสมมติและเงื่อนไขการทดสอบ (Requirements)
- สิ่งที่อยู่นอกขอบเขตของการพัฒนาระบบต้นแบบ (Out-of-scope)



ขอบเขตของการพัฒนาระบบต้นแบบ (In-scope)

การพัฒนาระบบชำระเงินในรูปแบบ Tokenization ประกอบด้วย 3 ขอบเขตหลัก ดังนี้

ขอบเขตการพัฒนา	รายละเอียด
1) การออกแบบระบบ (prototype design)	ใช้รูปแบบการรับส่งข้อมูลเพื่อทำธุรกรรมแบบพร้อมกันทุกระบบ (orchestrated settlement) โดยออกแบบองค์ประกอบย่อยของระบบต้นแบบและรูปแบบการเชื่อมต่อซึ่งครอบคลุม (1) IL (2) Wholesale settlement system และ (3) Tokenized money networks ของผู้ให้บริการภาคเอกชน
2) การติดตั้งและเชื่อมต่อระบบ (prototype development)	ติดตั้งและเชื่อมต่อระหว่าง IL และระบบ Wholesale settlement system และระบบ Tokenized money networks ของผู้ให้บริการภาคเอกชน
3) การทดสอบระบบ (prototype experiment)	ทดสอบ use-case การทำธุรกรรมโอนเงินในรูปแบบ Tokenization ระหว่างลูกค้าและระหว่างผู้ให้บริการภายในประเทศ (domestic PvP funds transfer) เพื่อประเมินศักยภาพของระบบต้นแบบ ทั้งในด้านการทำงานพื้นฐาน (functionality) และวัดความสามารถของระบบด้านต่าง ๆ (non-functional)

กำหนดข้อสมมติและเงื่อนไขการทดสอบ (Requirements)

มีการกำหนดข้อสมมติและเงื่อนไขในการพัฒนาและทดสอบระบบต้นแบบภายใต้ use-case การโอนเงินระหว่างลูกค้าและระหว่างผู้ให้บริการภายในประเทศ ในรูปแบบ Tokenization โดยมีรายละเอียดดังนี้

ข้อสมมติและเงื่อนไข	รายละเอียด
1) การจัดการธุรกรรม	ใช้รูปแบบการสำรองและโอนเงินตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ (lock and release) ผ่านกลไก escrow โดยมีการกันเงินไว้ก่อนการโอนเงิน เพื่อป้องกันความเสี่ยงจากการผิดนัดชำระ
2) การโอนเงิน	- ใช้รูปแบบการโอนเงินแบบทันที รายธุรกรรม (Real-time Gross Settlement: RTGS) โดยไม่มีการรวมธุรกรรม หรือ หักล้างการทำธุรกรรม (netting) ตามรอบก่อนการโอนเงิน - ใช้รูปแบบการโอนเงินระหว่างลูกค้าข้ามผู้ให้บริการที่ต่างกัน (off-us) และการโอนเงินระหว่างผู้ให้บริการ (cross-network)
3) การเตรียมเงิน	มีการเตรียมเงินไว้ล่วงหน้าสำหรับทำธุรกรรมเต็มจำนวน (full prefunding) ทั้งในส่วนของผู้บริการและลูกค้า เพื่อให้ไม่มีข้อจำกัดด้านสภาพคล่องระหว่างการโอนเงิน

สิ่งที่อยู่นอกขอบเขตของการพัฒนาระบบต้นแบบ (Out-of-scope)

เพื่อให้การพัฒนาและทดสอบสามารถมุ่งเน้นประสิทธิภาพการทำงานพื้นฐานของกลไกเชิงเทคนิค จึงได้กำหนดสิ่งที่อยู่นอกขอบเขตการทดสอบ ดังนี้

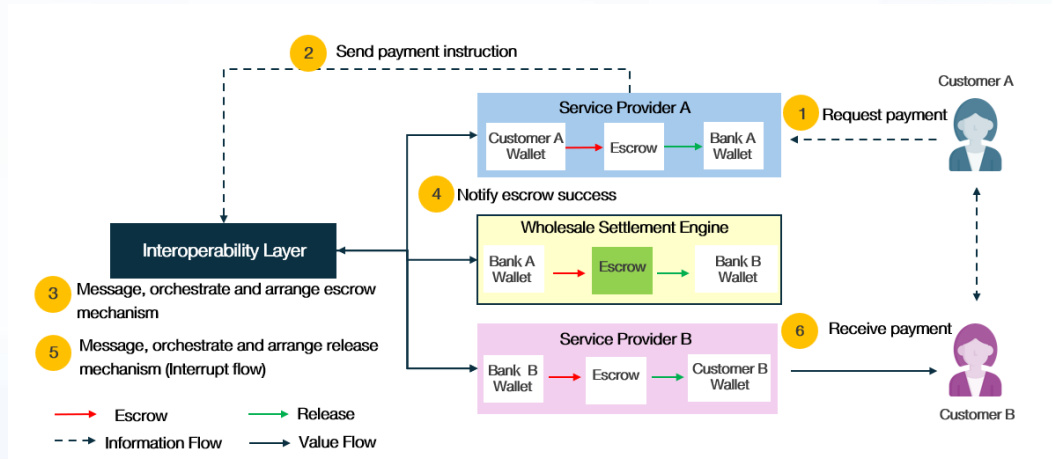
สิ่งที่อยู่นอกขอบเขตการพัฒนา	รายละเอียด
1) กระบวนการภายในด้าน operation ที่เกี่ยวข้องกับ การโอนเงินของลูกค้ายกับ ผู้ให้บริการ	• การเปิดบัญชี (wallet) และบัญชี escrow เพื่อรองรับการโอนเงิน ในรูปแบบ token • การตรวจสอบธุรกรรมและผู้ทำธุรกรรมตามกฎหมายและ ระเบียบข้อบังคับ (compliance check) เช่น เกณฑ์ KYC, CDD, AML/CFT • การบริหารจัดการสภาพคล่องของผู้ให้บริการ เช่น การจัดลำดับคำสั่งโอนเงิน (queuing mechanism) หรือ การชำระราคาสุทธิ (net settlement) • การบันทึกบัญชี ตรวจสอบ และสอบทานความถูกต้องของ ข้อมูลธุรกรรมทางการเงินภายในผู้ให้บริการ
2) กระบวนการออกใช้และทำลาย Wholesale CBDC ระหว่าง ผู้ให้บริการและธนาคารกลาง	• การเชื่อมต่อกับระบบ RTGS เพื่อออกใช้ (mint) หรือทำลาย (burn) Wholesale CBDC ผ่านระบบ RTGS • การเปิดบัญชี (wallet) และบัญชี escrow เพื่อรองรับการทำ ธุรกรรมด้วย Wholesale CBDC
3) การทำธุรกรรมชำระราคาและ ส่งมอบสินทรัพย์ในรูปแบบ DvP	use-case ทดสอบการทำธุรกรรมชำระราคาและส่งมอบสินทรัพย์ แบบพร้อมกันทั้ง 2 ฝ่าย (Delivery versus Payment: DvP)

Business and Operational workflow

เพื่อตอบโจทย์ Intended outcome ข้างต้น การทดสอบจึงเลือก use-cases การโอนเงินระหว่างลูกค้า และระหว่างผู้ให้บริการภายในประเทศในรูปแบบ Tokenization โดยการโอนเงินระหว่างลูกค้าจะดำเนินการผ่านระบบชำระเงินบนเครือข่าย DLT ในขณะที่การโอนเงินระหว่างผู้ให้บริการจะดำเนินการผ่านระบบชำระเงินที่ใช้ centralized technology system



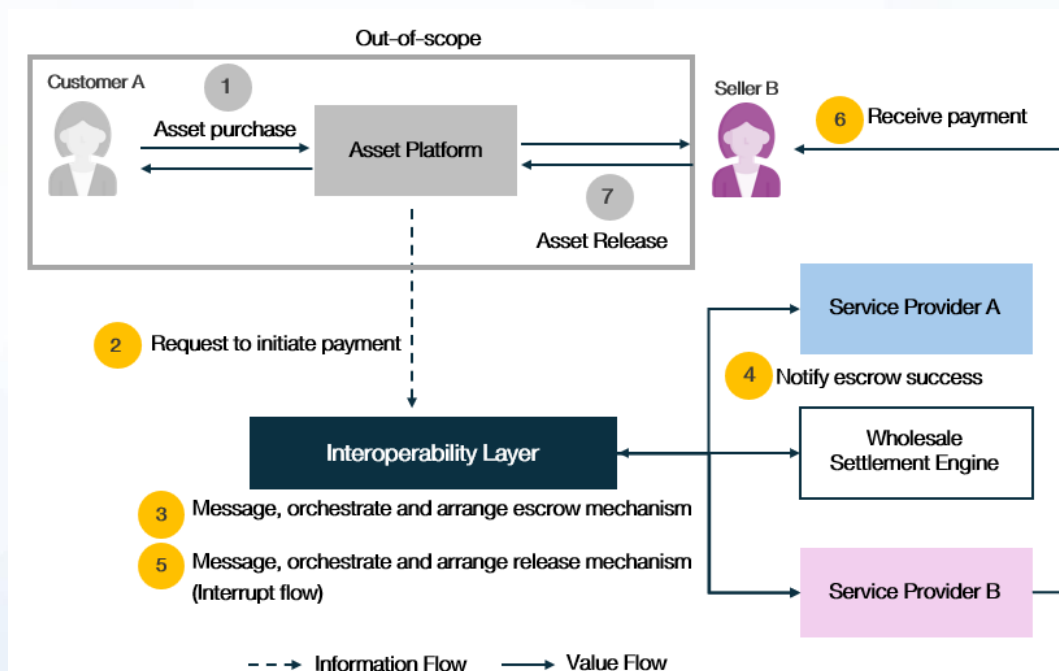
Use-case 1: การโอนเงิน ระหว่างลูกค้าและระหว่างผู้ให้บริการภายในประเทศ ในรูปแบบ Tokenization



กระบวนการโอนเงินระหว่างลูกค้าของผู้ให้บริการต่างเครือข่ายในรูปแบบ Tokenization จะดำเนินการที่ละขั้นตอน เริ่มจากขั้นตอนการรับส่งคำสั่ง การสำรองเงินที่บัญชี Escrow และสิ้นสุดที่การโอนเงินจากผู้ให้บริการไปยังลูกค้าปลายทาง โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ขั้นตอน	รายละเอียด
1) การส่งคำสั่งโอนเงิน จากลูกค้าไปยังผู้ให้บริการ A	ลูกค้า A ส่งคำสั่งโอนเงินพร้อมรายละเอียดให้แก่ผู้ให้บริการ A
2) การส่งคำสั่งโอนเงิน จากผู้ให้บริการ A ไปยัง IL	ผู้ให้บริการ A ส่งคำสั่งโอนเงินพร้อมรายละเอียดไปยัง IL
3) การสั่งสำรองเงินจาก IL ไปที่ระบบของผู้ให้บริการระบบ	IL ส่งคำสั่ง พร้อมจัดการและประสานงานกลไกการสำรองเงิน (Fund escrow) เพื่อป้องกันความเสี่ยงจากการผิดนัดชำระ โดยส่งคำสั่งสำรองเงินไปยังทุกระบบพร้อมกัน ดังนี้: (1) Tokenized money network ของผู้ให้บริการ A (2) Wholesale settlement system (3) Tokenized money network ของผู้ให้บริการ B
4) การแจ้งผลสำรองเงินสำเร็จจากระบบของผู้ให้บริการ กลับไปยัง IL	ระบบ (1) Tokenized money network ของผู้ให้บริการ A (2) Wholesale settlement system และ (3) Tokenized money network ของผู้ให้บริการ B แจ้งผลการสำรองเงินเสร็จสิ้นกลับไปยัง IL
5) การโอนเงินที่ได้สำรองไว้ระหว่างระบบของผู้ให้บริการ	IL ส่งคำสั่งโอนเงินไปยังทุกระบบพร้อมกัน ดังนี้: (1) Tokenized money network ของผู้ให้บริการ A (2) Wholesale settlement system (3) Tokenized money network ของผู้ให้บริการ B

Use-case 2: การทำธุรกรรมชำระราคาสินทรัพย์ในรูปแบบ Tokenization ระหว่างลูกค้าของผู้ให้บริการต่างเครื่อง่าย



จาก use-case การโอนเงินระหว่างลูกค้าและระหว่างผู้ให้บริการภายในประเทศในรูปแบบ Tokenization สามารถต่อยอดไปใช้ในการทำธุรกรรมชำระราคาสินทรัพย์ระหว่างลูกค้าในรูปแบบ Tokenization ได้ เนื่องจากระบบต้นแบบมีการพัฒนาให้ระบบชำระเงินสามารถรองรับกับการชำระราคาสินทรัพย์ ในลักษณะที่การชำระราคาและส่งมอบสินทรัพย์เกิดขึ้นพร้อมกันทั้ง 2 ฝ่าย (**Delivery versus Payment**) นอกจากนี้ ระบบต้นแบบถูกออกแบบให้ยืดหยุ่น โดยระบบชำระเงินจะรับส่งข้อมูลกับระบบเครื่อง่ายของหลักทรัพย์ (asset platform) เท่านั้น โดยไม่ได้เกี่ยวข้องกับกระบวนการจัดการธุรกรรมสินทรัพย์ซึ่งมีรูปแบบที่หลากหลาย จึงทำให้สามารถรองรับสินทรัพย์ประเภทต่าง ๆ ที่จะนำมาชำระราคาได้ (asset agnostic) เช่น สินทรัพย์ทางการเงิน (Financial assets) หรือที่ไม่ใช่สินทรัพย์ทางการเงิน (Real-World Assets)

อย่างไรก็ดี การทำธุรกรรมชำระราคาสินทรัพย์และส่งมอบสินทรัพย์ในรูปแบบ Tokenization ระหว่างลูกค้าของผู้ให้บริการต่างเครื่อง่าย ยังอยู่นอกขอบเขตการทดสอบในการศึกษาครั้งนี้ แต่ในระยะต่อไป จะมีการศึกษาและทดสอบการทำธุรกรรมซื้อขายสินทรัพย์ระหว่างประเทศ (Cross-border) ในรูปแบบการส่งมอบและชำระราคาแบบพร้อมกันทั้ง 2 ฝ่าย (Delivery versus Payment – DvP) ภายใต้ความร่วมมือระหว่าง ธปท. และธนาคารกลางฮ่องกง (Hong Kong Monetary Authority: HKMA) ในโครงการ “Ensemble” และ โครงการ “สาน” ต่อไปในอนาคต

Technical Design

Design Principles

การออกแบบระบบต้นแบบของระบบชำระเงินในรูปแบบ Tokenization

มี หลักการสำคัญ 3 ข้อ ดังนี้

หลักการ	ข้อดี
Modularity ระบบแบ่งออกเป็น ส่วนประกอบย่อยที่ทำงาน เฉพาะและเป็นอิสระต่อกัน	✓ Higher flexibility ยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนหรือพัฒนา functions / modules / services ต่าง ๆ โดยไม่กระทบกับส่วนที่เหลือของระบบ ✓ More efficient maintenance บำรุงรักษาระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถระบุปัญหาและแก้ไขเฉพาะจุดที่มีปัญหาได้ ✓ Enable division of operations เอื้อต่อการแบ่งการทำงาน operation ตามส่วนประกอบย่อย ซึ่งทำให้ ผู้ให้บริการสามารถ operate บริการเฉพาะส่วนได้
Interoperability ระบบสามารถเชื่อมต่อและ รองรับการส่งข้อมูลและ ทำงานระหว่างระบบบน เทคโนโลยีที่ต่างกันได้ โดยใช้ common standard	✓ Technology agnostic เชื่อมต่อกับระบบชำระเงินอื่น ๆ ที่ใช้เทคโนโลยีที่ต่างกันได้ เช่น RTGS ที่เป็น DLT หรือ Wholesale CBDC บน non-DLT และรองรับ tokenized money และ asset ได้หลากหลาย ✓ More scalable รองรับการเชื่อมต่อกับระบบต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้ standard ร่วมกัน เช่น RESTful API และ messaging standard ISO20022
Functionality ระบบสามารถทำงานได้อย่าง ถูกต้อง ครบถ้วน ต่อเนื่อง โดยไม่มีข้อผิดพลาด	✓ Near real-time atomic settlement สามารถรับส่งข้อมูลและประมวลผลธุรกรรมได้อย่างถูกต้อง ครบถ้วน ต่อเนื่อง และรองรับการทำธุรกรรมที่เกิดขึ้นแบบพร้อมกันทั้ง 2 ฝ่าย (Payment versus Payment: PvP)

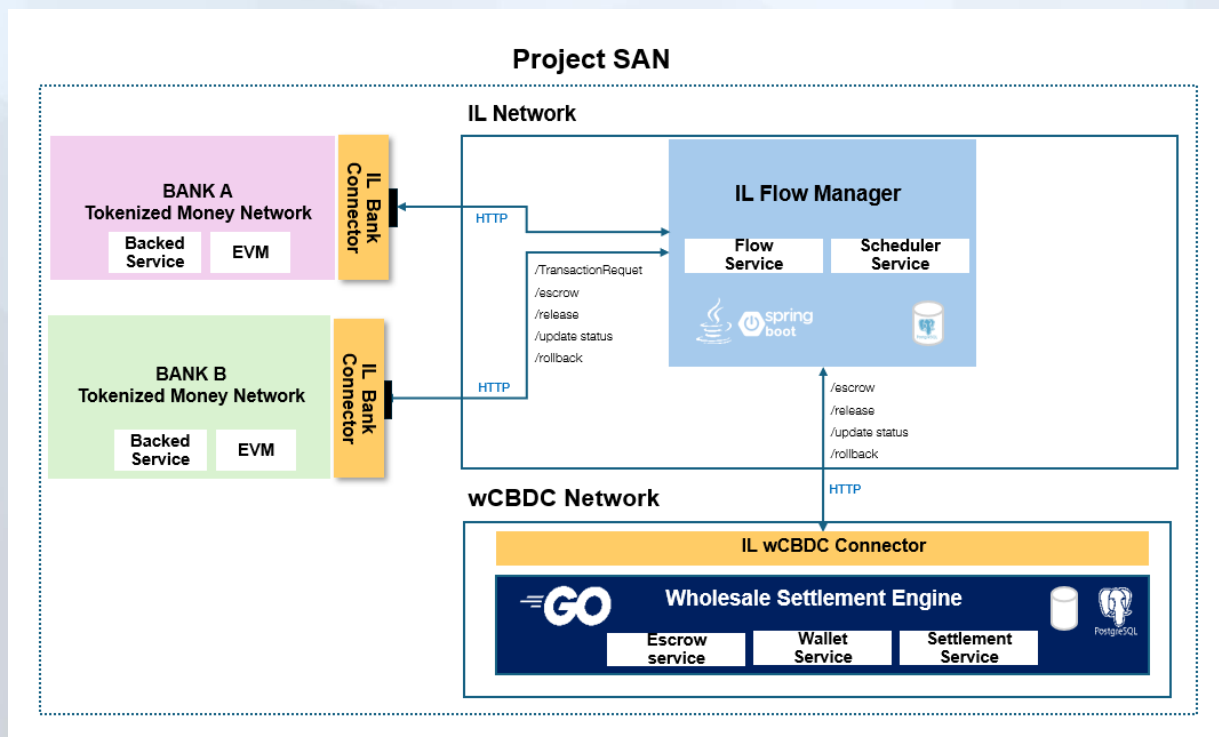
Architecture

Design and

Key Technical

Components

4.2.1) High level architecture diagram



4.2. 2) Technical Components

1) Interoperability Layer Network

เป็นกลไกจัดการและควบคุมขั้นตอนของธุรกรรมจากต้นทางถึงปลายทาง (orchestrator) การรับ-ส่งคำสั่ง (messaging) เพื่อทำธุรกรรมให้สมบูรณ์ในทุกระบบ ประกอบด้วย 3 ฟังก์ชันการทำงานย่อย (modules) ได้แก่

1.1) IL flow manager จัดการขั้นตอนของการทำธุรกรรมทั้งหมด ตั้งแต่รับคำขอ (request) ตรวจสอบข้อมูล (validate) ประมวลผล (processing) จัดการขั้นตอน (flow), ส่งข้อความ (response) แจ้งสถานะ (update status) ส่งคำสั่งสำรองเงิน (escrow) โอนเงิน (release) และยกเลิกธุรกรรม (rollback)

1.2) IL bank connector เชื่อมต่อระหว่าง IL กับระบบชำระเงินของผู้ให้บริการต่าง ๆ (Tokenized money network) ทำหน้าที่รับ-ส่งข้อมูล (messaging) ตรวจสอบความถูกต้องของคำสั่ง (ISO Message Validation) แยกประเภทคำสั่งสำรองเงิน (escrow) โอนเงิน (release) ยกเลิกธุรกรรม (rollback) และรับข้อมูลแจ้งสถานะ (update status)

1.3) IL wholesale CBDC connector เชื่อมต่อระหว่าง IL กับระบบโอนเงินระหว่างผู้ให้บริการ (wCBDC network) และรับ-ส่งข้อมูล (messaging) ตรวจสอบความถูกต้องของคำสั่ง (ISO Message Validation) แยกประเภทคำสั่งสำรองเงิน (escrow) โอนเงิน (release) ยกเลิกธุรกรรม (rollback) และรับข้อมูลแจ้งสถานะ (update status)

2) Wholesale Settlement System Network

เป็นระบบโอนเงินระหว่างผู้ให้บริการ (settlement) ประกอบด้วย 3 ฟังก์ชันของบริการ (services) ได้แก่

2.1) Escrow service บริหารจัดการ และเตรียมข้อมูลการสำรองเงิน (escrow) และโอนเงิน (release) ระหว่างผู้ให้บริการตามเงื่อนไขที่ตกลงไว้

2.2) Wallet service บริหารจัดการบัญชีเงิน (wallet) เตรียมคำสั่งการโอนเงินจากบัญชีเงินต้นทางไปยังบัญชีเงินปลายทาง และส่งคำสั่ง (messaging)

2.3) Settlement service ประมวลผลธุรกรรมเพื่อโอนเงินระหว่างผู้ให้บริการ (settlement)

3) Tokenized Money Network (Simulation)

ระบบชำระเงินบนเครือข่าย DLT ของผู้ให้บริการภาคเอกชนที่จำลองขึ้นเพื่อทดสอบ ประกอบด้วย 2 ฟังก์ชันการทำงานย่อย (modules) ได้แก่

3.1) Backend service บริหารจัดการ เตรียมข้อมูลการสำรองเงิน (escrow) และโอนเงิน (release) ในระบบ Tokenized money network ของตนเอง รับคำสั่งคำสั่งการสำรองเงิน เตรียมคำสั่งการโอนเงิน ตรวจสอบธุรกรรมเพื่อแจ้งผลสถานะ (update status)

3.2) Ethereum Virtual Machine (EVM) ระบบประมวลผลธุรกรรมผ่านกลไกสัญญาอัจฉริยะ (smart contract) ใน blockchain ตามเงื่อนไขที่กำหนด เช่น การโอนเงิน (transfer) พักเงิน (lock) และการคืนเงิน (refund)

Key Findings

Functionality and non-functionality

ผลการทดสอบระบบต้นแบบของกลไก Interoperability Layer ในด้าน Functionality และ non-functionality พบว่า

1) Functionality: ระบบต้นแบบสามารถทำงานได้ต่อเนื่องอย่างถูกต้อง มีประสิทธิภาพ โดยไม่มีข้อผิดพลาดในเชิงเทคนิคและกลไกการทำงาน โดย IL สามารถ

(1) รับส่งคำสั่ง สำรองเงินที่บัญชี escrow ไปยังระบบต่าง ๆ

(2) โอนเงินไปยังระบบที่เกี่ยวข้องเพื่อให้การโอนเงินเป็นไปอย่างสมบูรณ์ โดยการโอนเงินเกิดขึ้นพร้อมกันทั้ง 2 ฝ่าย (atomic settlement)

2) Non-functionality: ระบบต้นแบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในด้านการประมวลผลธุรกรรมความสามารถในการรองรับปริมาณธุรกรรม และการรองรับการเพิ่มจำนวนเครือข่ายที่เชื่อมต่อ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ตัวชี้วัด	ผลการทดสอบ
1) Response Time ระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผล รับส่งธุรกรรม	มีศักยภาพในการรองรับธุรกรรมแบบ near real-time โดยทำการรายการเสร็จสมบูรณ์ภายในระยะเวลาเฉลี่ย 12.42 วินาที (ต่ำสุดและสูงสุด อยู่ที่ 12.36 และ 12.49 วินาที ตามลำดับ)
2) Throughput จำนวนธุรกรรมที่สามารถประมวลผลได้	สามารถประมวลผลธุรกรรมจำนวนมาก โดยสามารถประมวลผลจำนวนธุรกรรมได้เฉลี่ย 103 ธุรกรรมต่อวินาที
3) Network Scalability ความสามารถในการรองรับการเพิ่มจำนวนเครือข่ายของผู้ให้บริการ	สามารถรองรับการเชื่อมต่อจำนวนเครือข่ายที่เพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากกลไก IL ถูกออกแบบให้มี API ที่เป็นมาตรฐานและรองรับการเพิ่มการเชื่อมต่อกับเครือข่ายของผู้ให้บริการด้วย configuration ที่ยืดหยุ่น

Insights and Lessons learned

ที่ได้จากการพัฒนาและทดสอบระบบต้นแบบของ IL



Modularity

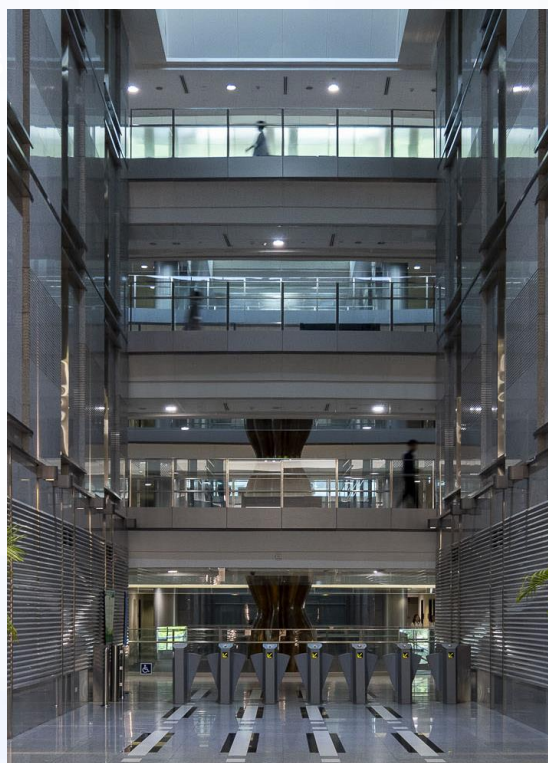
ระบบต้นแบบของ IL แบ่งฟังก์ชันการทำงานออกเป็น ส่วนย่อย (modules) เพื่อความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยน หรือพัฒนาฟังก์ชันหรือบริการอื่น ๆ โดยไม่กระทบกับ ส่วนที่เหลือของระบบ เช่น การจัดการธุรกรรม การตรวจสอบข้อมูล อย่างไรก็ดี จากการทดสอบพบว่า การออกแบบระบบให้เป็นลักษณะ modular ที่สูงชันนั้น จะทำให้เกิดขั้นตอนการทำงานเพิ่มเติม (overhead) ระหว่าง modules ย่อยที่เกี่ยวข้อง และในบางกรณี อาจกระทบต่อประสิทธิภาพการประมวลผลในภาพรวม ดังนั้น การออกแบบระบบ Interoperability เพื่อนำมาใช้ งานจริง จึงควรพิจารณาระดับที่เหมาะสมของการแบ่ง ส่วนย่อย (degree of modularity) เพื่อไม่ให้กระทบต่อ ประสิทธิภาพของระบบ

Functionality

ระบบต้นแบบที่พัฒนา มีความยืดหยุ่นในการรองรับ use-cases ใหม่ โดยสามารถพัฒนาจาก ฟังก์ชันหลักที่มีอยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ การกันสำรอง (escrow) การโอน (release) และการทำงาน ย้อนกลับ (rollback) อย่างไรก็ดี ยังไม่สามารถพัฒนา use-cases ใหม่ ๆ จากฟังก์ชันที่ไม่มี ในปัจจุบัน เช่น ฟังก์ชันการจัดการสภาพคล่อง ดังนั้น กลไก IL จึงควรพิจารณาเพิ่มฟังก์ชันหลัก เพิ่มเติม เพื่อให้สามารถนำไปพัฒนา use-cases ที่หลากหลายเพิ่มขึ้นในอนาคตได้

Security

ในการพัฒนาระบบต้นแบบมุ่งเน้นในเชิงกลไกการทำงาน (functionality) โดยยังไม่ได้พิจารณาในด้านความปลอดภัยของข้อมูล เช่น การเข้ารหัสระหว่างการส่งข้อมูล (Encryption in transit) และการเข้ารหัสในการจัดเก็บข้อมูล (Encryption at rest) ทั้งนี้ หากจะพัฒนาไปสู่การใช้งานจริงในอนาคต จะต้องพิจารณากลไกในการจัดการเรื่องการเข้ารหัสข้อมูล และประเด็นด้านความปลอดภัยของระบบในเชิงเทคนิคเพิ่มเติม



Interoperability

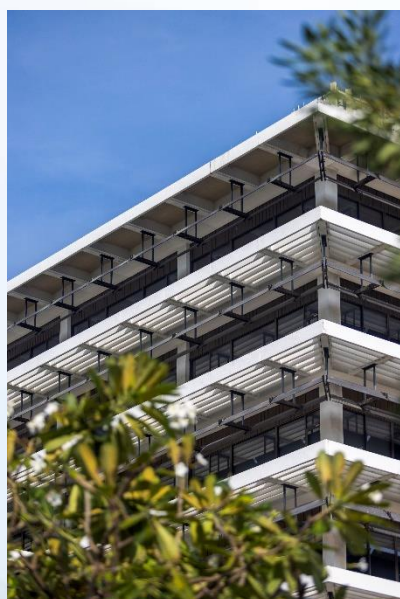
(1) การนำมาตรฐานข้อความ ISO20022 ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลสำหรับรับส่งข้อความทางการเงินมาใช้ในการสื่อสารระหว่างระบบ เพื่อให้ระบบสามารถรับ-ส่งข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นต้องพิจารณาความสอดคล้อง (Alignment) ของข้อกำหนดของข้อมูลที่แตกต่างกัน (Data requirements) ของระบบ และปรับเปลี่ยนรูปแบบข้อมูลให้ IL สามารถเชื่อมต่อและทำงานได้ เช่น การปรับเปลี่ยนรูปแบบข้อมูลของ IL ให้สอดคล้องกับรูปแบบข้อมูลที่ใช้กับระบบ RTGS ของไทย ตามมาตรฐาน ISO20022 เช่น data fields และ data format ซึ่ง หาก IL เชื่อมต่อกับระบบอื่น ๆ ในอนาคต ก็จะต้องคำนึงถึงรูปแบบข้อมูลที่ใช้กับระบบนั้น ๆ ตามมาตรฐาน ISO20022

(2) กลไกการทำงาน IL ถูกออกแบบให้สมมติว่าข้อมูลที่ส่งมาจากแต่ละระบบถูกต้องสมบูรณ์ และจัดการประมวลผลธุรกรรมตามข้อมูลที่ได้รับ ทั้งนี้ การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ส่งออกเป็นบทบาทของผู้ให้บริการระบบ ซึ่งอาจมีประเด็นความเสี่ยงเฉพาะที่อาจเกิดขึ้นในแต่ละระบบและทำให้เกิดความผิดพลาดของข้อมูลที่ส่ง ดังนั้น ในทางปฏิบัติ การออกแบบและกำหนดหน้าที่ของ IL จึงอาจควรพิจารณาทบทวนและกลไกในด้าน 1) การตรวจสอบและสอบทานข้อมูลที่ส่งมาจากแต่ละระบบ เพื่อให้การดำเนินการถูกต้องสมบูรณ์ 2) การจัดการปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากความไม่ถูกต้องของข้อมูลหรือธุรกรรม (Dispute resolutions)

Conclusion and Further Consideration

การพัฒนาแบบต้นแบบที่รองรับการทำธุรกรรมชำระเงินในประเทศ ในรูปแบบ Tokenization เป็นการศึกษา และทดสอบกลไกการทำงานพื้นฐาน (functionality) โดยมุ่งเน้นในเชิงการออกแบบและเทคโนโลยีเป็นหลัก ซึ่งประกอบไปด้วย

- 1) กลไกการเชื่อมต่อระหว่างระบบชำระเงิน (Interoperability Layer: IL) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของระบบต้นแบบ
- 2) ระบบโอนเงินระหว่างผู้ให้บริการ (Wholesale settlement system) และ
- 3) ระบบชำระเงินบนเครือข่าย DLT ของผู้ให้บริการภาคเอกชน (Tokenized money network)



จากการทดสอบ use-cases การโอนเงินภายในประเทศด้วยรูปแบบ Tokenization พบว่า ระบบต้นแบบมีศักยภาพในระดับที่น่าพอใจ โดยในด้านการทำงานพื้นฐาน (functionality) ของกลไก IL สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ถูกต้อง โดยสามารถเชื่อมต่อกับระบบชำระเงินบนเทคโนโลยี DLT และ Centralized ได้ (technology agnostic) ขณะเดียวกันกลไก IL ยังมีประสิทธิภาพในการประมวลธุรกรรม (throughput) รองรับปริมาณธุรกรรมจำนวนมาก (performance) และการรองรับการเชื่อมต่อกับจำนวนเครือข่ายของผู้ให้บริการที่เพิ่มขึ้น (network scalability) นอกจากนี้ กลไก IL ยังสามารถต่อยอดเพื่อรองรับการชำระราคาสินทรัพย์ประเภทต่าง ๆ (asset agnostic) ในรูปแบบที่การชำระราคาและการส่งมอบสินทรัพย์เกิดขึ้นพร้อมกันทั้ง 2 ฝ่าย (Delivery versus Payment) ได้

อย่างไรก็ดี จากการพัฒนาและทดสอบกลไก Interoperability Layer (IL) ยังพบประเด็นในทางปฏิบัติจากการออกแบบในเชิงระบบ ซึ่งจำเป็นที่จะต้องพิจารณาเพิ่มเติมในอนาคต เช่น

- 1) การพิจารณาระดับที่เหมาะสมของการแบ่งการทำงานเป็นองค์ประกอบย่อย ๆ (optimal modularity) และบทบาทหน้าที่ของ IL ในการสอบทานข้อมูล และการจัดการปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำธุรกรรม
- 2) การปรับเปลี่ยนรูปแบบข้อมูลของ IL ให้สอดคล้องกับข้อกำหนดด้านข้อมูลของระบบงานต่าง ๆ ที่ IL เชื่อมต่อ ตามมาตรฐานข้อความ ISO 20022 และ
- 3) การเพิ่มฟังก์ชันหลักในการทำงานเพิ่มเติม เพื่อให้สามารถพัฒนา use-cases ที่หลากหลายเพิ่มขึ้นในอนาคตได้

ทั้งนี้ ระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้น มุ่งเน้น ในด้านกลไกการทำงานขั้นพื้นฐานและในเชิง เทคโนโลยี ซึ่งในทางปฏิบัติจะต้องคำนึงถึง ปัจจัยอื่น ๆ ประกอบ เช่น ข้อกำหนดในเชิง ธุรกิจ (business rules) การปฏิบัติตาม กฎระเบียบ (compliance) และกระบวนการ ภายใน (internal procedures) ของทั้งระบบ Wholesale settlement system และระบบ ชำระเงินของผู้ให้บริการภาคเอกชน รวมถึง การเชื่อมต่อบริการการชำระเงินระหว่าง ประเทศ (cross-border interoperability)

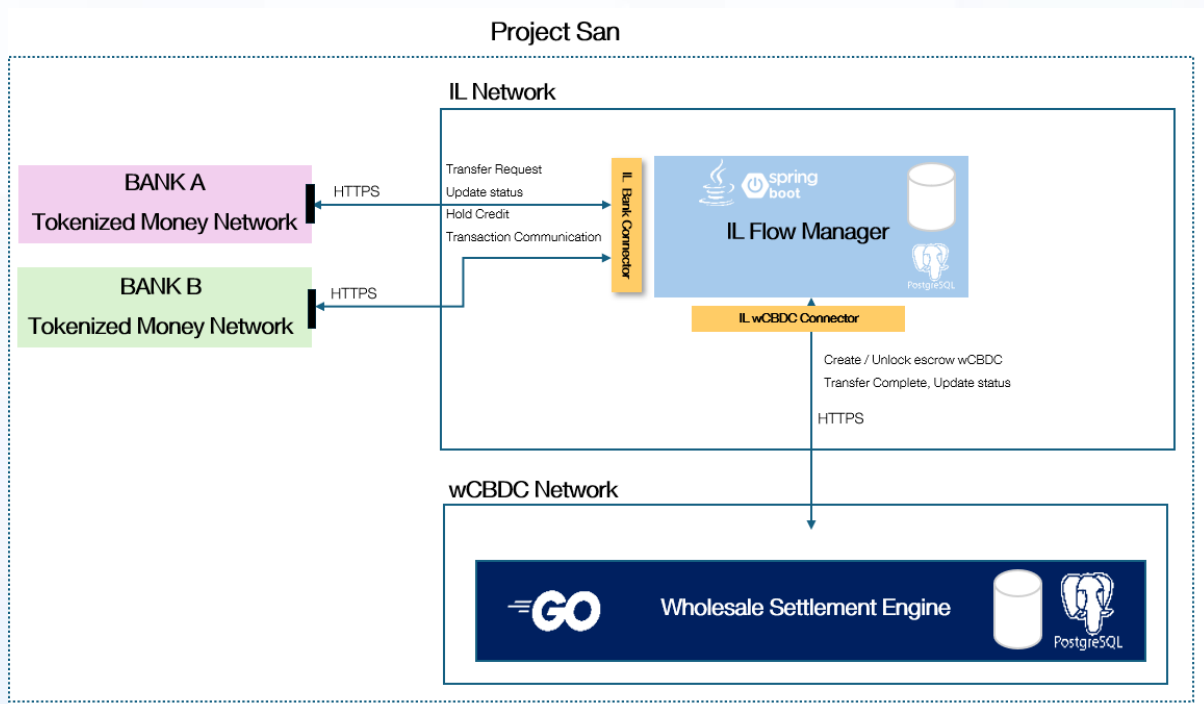
การพัฒนาและทดสอบระบบต้นแบบนี้ เป็นก้าวสำคัญในการพัฒนาด้านระบบ Tokenization โดยข้อมูลเชิงลึกและ lessons learned ที่ได้จากการออกแบบ พัฒนาและ ทดสอบ จะนำไปเป็นข้อเสนอแนะสำหรับการ ออกแบบระบบชำระเงิน BAHTNET ของ ประเทศไทย เพื่อให้ระบบสามารถรองรับการ เชื่อม ต่อ และทำธุรกรรมในรูปแบบ Tokenization ได้ในอนาคต

ในระยะต่อไป จะต่อยอดระบบต้นแบบชำระเงินที่พัฒนาขึ้น โดยเชื่อมต่อกับระบบการส่งมอบ สินทรัพย์ (asset platform) เพื่อทดสอบการทำธุรกรรมซื้อขายสินทรัพย์ระหว่างประเทศ (Cross-border) ในรูปแบบการส่งมอบและชำระราคาแบบพร้อมกันทั้ง 2 ฝ่าย (Delivery versus Payment – DvP) ภายใต้ ความร่วมมือระหว่าง ธปท. และธนาคารกลางฮ่องกง ในโครงการ “Ensemble” และ โครงการ “सान”



Annex

Architecture design and Key Components



Architecture Design (Project San)

ระบบต้นแบบได้รับการออกแบบโดยคำนึงถึงคุณสมบัติสำคัญหลายประการ เพื่อให้การดำเนินงานมีประสิทธิภาพและยืดหยุ่น

หัวข้อ	รายละเอียด
การแยกส่วนประกอบ	IL ได้รับการออกแบบให้แยกออกจาก Wholesale settlement engine เพื่อบรรลุเป้าหมายหลัก 3 ประการ ได้แก่ • Modularity: แยกหน้าที่ของ flow management, business logic และ settlement ออกจากกัน ทำให้ดูแลรักษาและพัฒนาต่อยอดได้อย่างมีประสิทธิภาพ • Scalability: สามารถเพิ่มจำนวนผู้ให้บริการหรือประเภทสินทรัพย์ได้ในอนาคต โดยไม่กระทบ Core settlement layer • Customization: รองรับการปรับ Logic การเพิ่ม Modules หรือ การเชื่อมต่อของแต่ละเครือข่ายได้ง่าย
แนวคิด Interrupt Flow ใน IL Flow Manager	เพื่อรองรับการทำงานแบบ Atomic DvP (Delivery vs Payment) เมื่อเชื่อมกับ Asset/Tokenized securities network โดยระบบสามารถหยุดรอ (Interrupt) ได้หากฝั่งสินทรัพย์ยังไม่พร้อม เพื่อให้การแลกเปลี่ยนเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์พร้อมกันทั้งสองฝ่ายพร้อมเท่านั้น
การสื่อสารแบบ HTTPS	ทุกการเชื่อมต่อใช้ HTTPS Communication เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ส่งผ่านระบบ
Open-source Technology Stack	ระบบเลือกใช้เทคโนโลยี Open-source (เช่น Spring Boot, Go, PostgreSQL) เพื่อรองรับการพัฒนาในอนาคต และลดการพึ่งพาผู้จำหน่ายรายใดรายหนึ่ง (Vendor Lock-in)
การจำลอง Tokenized Money Network	ระบบต้นแบบได้จำลอง Tokenized Money Network ของผู้ให้บริการ โดยไม่ได้เชื่อมต่อกับระบบจริง เพื่อวัตถุประสงค์ในการพัฒนาและทดสอบอย่างปลอดภัย

Technical Development (1/2)

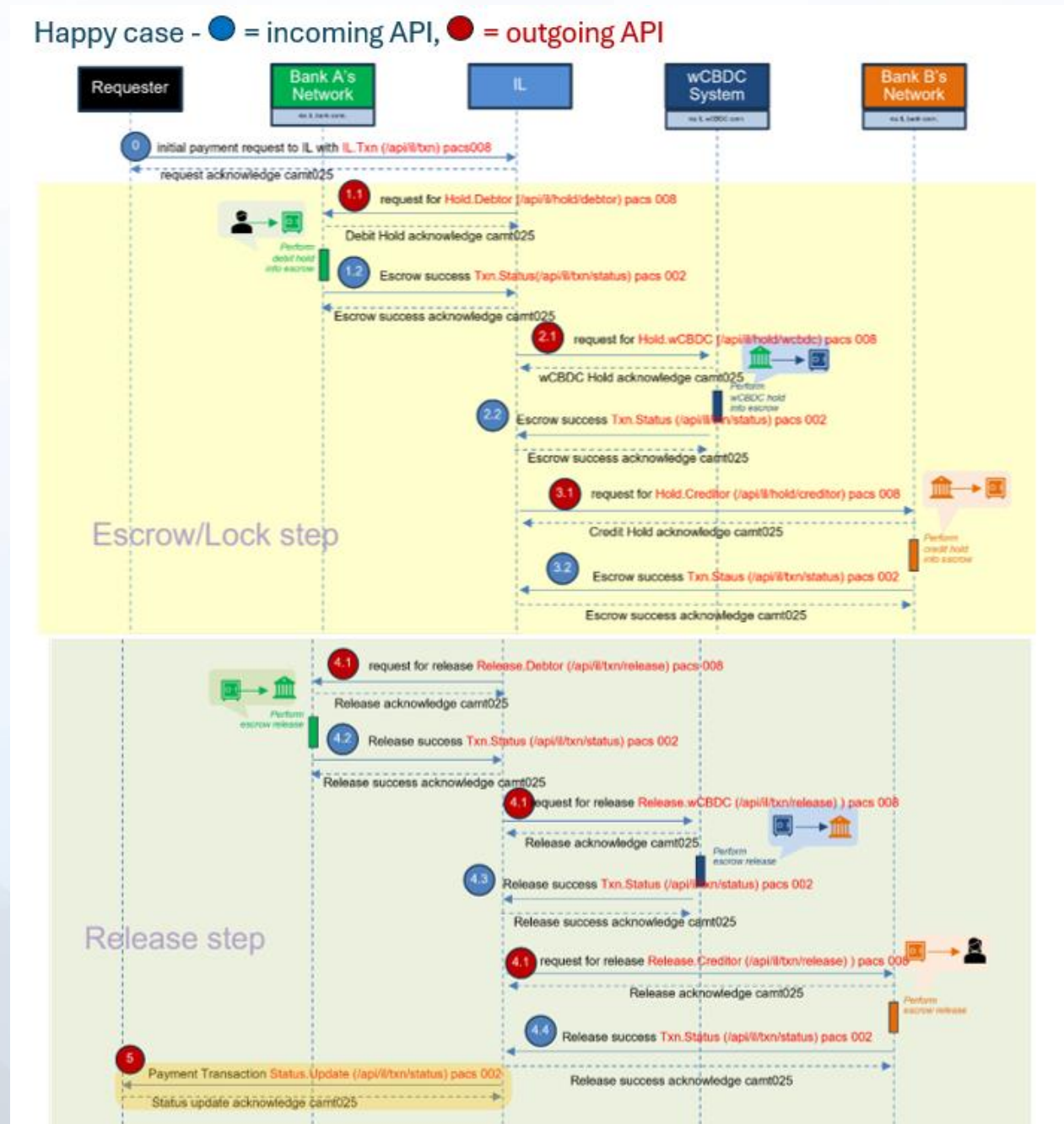
องค์ประกอบ	รายละเอียด
Wholesale Settlement Engine	- พัฒนาด้วยภาษา Go และ PostgreSQL - ทำหน้าที่โอนเงินระหว่างผู้ให้บริการ A และ B ตามชุดคำสั่งที่ได้รับจาก Interoperability Layer เพื่อดำเนินการโอนเงินระหว่างบัญชีของผู้ให้บริการทั้งสอง
Interoperability Layer	1) IL flow manager พัฒนาด้วยภาษา Spring Boot และ PostgreSQL โดยทำหน้าที่: - เป็น core orchestrator ที่ควบคุมเส้นทางของธุรกรรมจากต้นทางถึงปลายทาง - ทำหน้าที่ validate, queue, interrupt และ relay ข้อมูล ทั้งนี้ IL flow manager สามารถรองรับ business rules แบบ dynamic และใช้ Interrupt Flow Concept เพื่อรองรับธุรกรรม DVP 2) IL bank connector เอื้อให้ผู้ให้บริการแต่ละแห่งสามารถใช้ระบบหลังบ้านที่แตกต่างกันได้ (custom integration) โดยทำหน้าที่: - เป็น abstraction layer ระหว่างระบบของธนาคาร (เช่น tokenized money) กับ IL - ตรวจสอบความถูกต้องของคำสั่งก่อนส่งเข้า IL Flow Manager ส่งกลับสถานการณ์ทำธุรกรรมให้ผู้ให้บริการ 3) IL wholesale CBDC connector ซึ่งออกแบบด้วย Stateless และ Secure endpoint ที่เชื่อมต่อเฉพาะธุรกรรมที่ใช้ wCBDC เท่านั้น โดยทำหน้าที่: - Bridge ระหว่าง IL กับระบบ settlement ของ สปท. - จัดการคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับ escrow และการปล่อย wCBDC - Update สถานะธุรกรรมกลับมายัง IL Flow Manager

Technical Development (2/2)

องค์ประกอบ	รายละเอียด
Tokenized Money Network (Simulation)	จำลองผู้ให้บริการ Tokenized money ที่แตกต่างกัน โดยผู้ให้บริการแต่ละ network จะดำเนินการสร้างและจัดการ Tokenized money ของตนเอง โดยสามารถทำงานร่วมกับ IL ของ Project San ผ่าน IL Bank Connector เพื่อรองรับการทำธุรกรรมแบบ real-time, atomic, และ scale-up ได้ในอนาคต ในการเชื่อมต่อกับ IL Layer นั้น Tokenized Money Network จะสื่อสารผ่าน IL Bank Connector ด้วยรูปแบบ RESTful API ที่ปลอดภัย โดยคำสั่งจะถูกส่งในรูปแบบ JSON ซึ่งระบุรายละเอียดของธุรกรรม เช่น transaction ID, from/to account, amount และ status ตัวอย่างการทำงานคือ เมื่อผู้ใช้ต้องการโอนเงินจาก ผู้ให้บริการ A ไปยัง ผู้ให้บริการ B ระบบของ ผู้ให้บริการ A จะทำการ hold token ของผู้ใช้ และส่งข้อมูลไปยัง IL เมื่อเงื่อนไขครบตาม atomic DvP ทั้งสองฝ่ายระบบจึงปล่อยธุรกรรมให้เสร็จสมบูรณ์

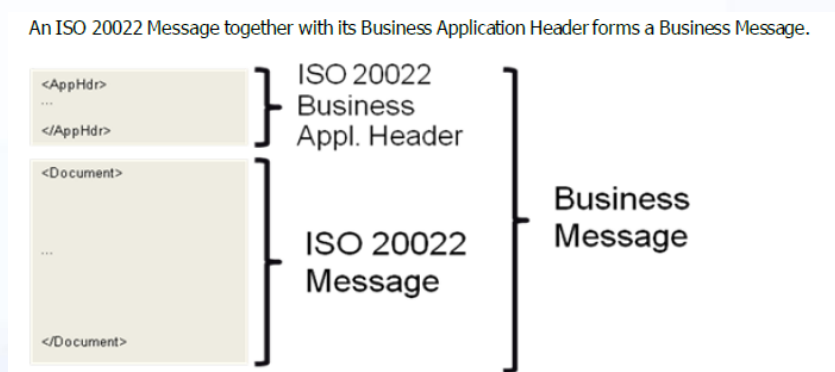
Transaction Flow

Happy case - ● = incoming API, ● = outgoing API



Message Standards

การรับส่งข้อมูล ใช้มาตรฐาน Payment Message ISO 20022 มาตรฐานกลางเพื่อความ
การชำระเงินที่เป็นมาตรฐานสากล โดยมีการแบ่งประเภทของข้อมูลการรับส่งเป็นดังนี้

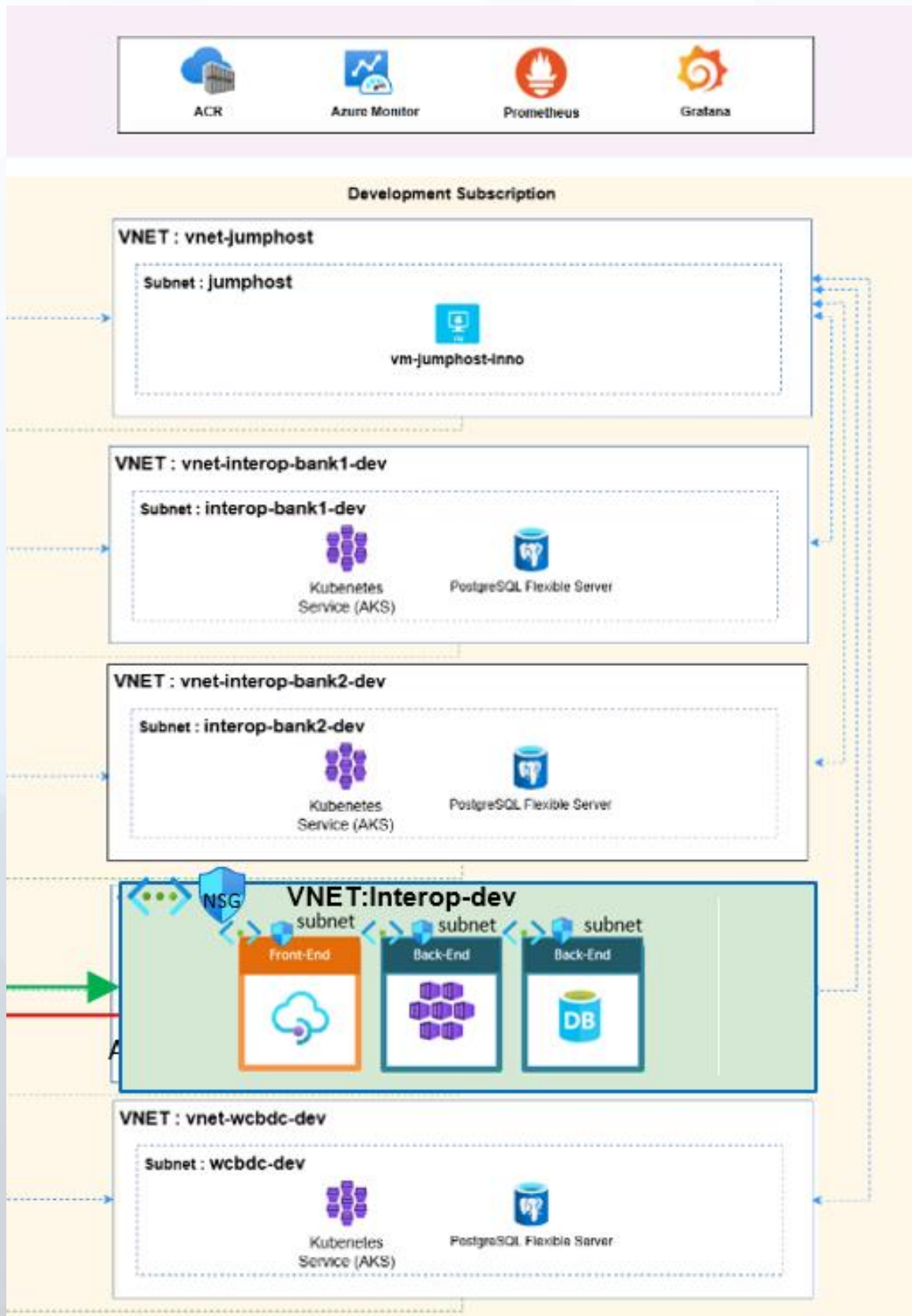


Format	Pacs008 Fund Transfer/lock/release	Camt025 รับทราบ Acknowledge	Pacs002 อัปเดตสถานะรายการ Status Update
Business Header version	head.001.001.02	head.001.001.02	head.001.001.02
Content Version	pacs.008.001.08	camt.025.001.05	pacs.002.001.08

Security Architecture

- Identity & Access Management (IAM) - Subscription Key
- Network Security - (Firewall, WAF)
- Security audit / SIEM integration

Deployment Architecture



API Endpoint List

Incoming API Endpoint

Endpoint No	State No	API Name	Method	Endpoint	From	Request Content-type	Inputs	To	Response Content-type	Outputs
I1	0	Bank Transaction Request	POST	/api/il/txn	Requester	Application /xml	pacs.008 Tran.Reg	IL	Application /xml	camt.025 Tran.Rsp
I2	1.2,2.2,3.2,4.2, 4.3,4.4, 6.2, 6.3, 6.4	Status update	POST	/api/il/txn/status	IL-Bank-Connector /IL-wCBDC-Connector	Application /xml	pacs.002 Stus.Updt	IL	Application /xml	camt.025 Tran.Rsp

Outgoing API Endpoint

Endpoint No	State No	API Name	Method	Endpoint	From	Request Content-type	Inputs	To	Response Content-type	Outputs
O1	1.1	Escrow - Debtor to Hold (lock)	POST	/api/il/hold/debtor	IL	application/xml	pacs.008 Hold.Debt	IL-Bank-Connector	application/xml	pacs.002 Stus.Updt
O2	2.1	Escrow - wCBDC to Hold(lock)	POST	/api/il/hold/wcbdc	IL	application/xml	pacs.008 Hold.CBDC	IL-wCBDC-Connector	application/xml	pacs.002 Stus.Updt
O3	3.1	Escrow - Creditor to Hold(lock)	POST	/api/il/hold/creditor	IL	application/xml	pacs.008 Hold.Cred	IL-Bank-Connector	application/xml	pacs.002 Stus.Updt
O4	4.1	Transaction completion(Release)	POST	/api/il/txn/release(Release)	IL	application/xml	pacs.008 Tran.Com	IL-Bank-Connector/ IL-wCBDC-Connector	application/xml	pacs.002 Stus.Updt
O5	5	Status update	POST	/api/il/txn/status	IL	application/xml	pacs.002 Stus.Updt	Requester	application/xml	camt.025 Tran.Rsp
O6	6	Rollback	POST	/api/il/txn/rollback	IL	application/xml	pacs.008 Tran.Roll	IL-Bank-Connector	application/xml	pacs.002 Stus.Updt