โครงงานทางวิศวกรรมโยธา

เรื่อง

การพัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับการคำนวณต้นทุนต่อหน่วยของวัสดุก่อสร้างจากข้อมูลของกระทรวงพาณิชย์และสถานประกอบการค้าปลีกสมัยใหม่ทั่วประเทศ

Development of an Automated System for Calculating Unit Costs of Construction Materials Using Data from the Ministry of Commerce and Nationwide Modern Retailers

จัดทำโดย

นาย พัชรพงษ์ จิวสืบพงษ์
6330357521

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

รศ.ดร. วัชระ เพียรสุภาพ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชาโครงงานวิศวกรรมโยธา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2568

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง: การพัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับการคำนวณต้นทุนต่อหน่วยของวัสดุก่อสร้างจากข้อมูลของกระทรวงพาณิชย์และสถานประกอบการค้าปลีกสมัยใหม่ทั่วประเทศ
โดย: นาย พัชรพงษ์ จิวสืบพงษ์
อาจารย์ที่ปรึกษา: รศ.ดร. วัชระ เพียรสุภาพ

การประมาณราคางานก่อสร้างเป็นกระบวนการสำคัญในการบริหารโครงการก่อสร้าง โดยเฉพาะในงานภาครัฐที่ต้องอ้างอิงราคากลางตามหลักเกณฑ์ของกรมบัญชีกลาง และดัชนีราคาวัสดุก่อสร้างของกระทรวงพาณิชย์เพื่อจัดทำบัญชีปริมาณงาน (Bill of Quantities: BOQ) สำหรับการประกวดราคา การจัดซื้อจัดจ้าง และ การควบคุมต้นทุนโครงการ. อย่างไรก็ตาม วิศวกรประมาณราคา (Quantity Surveyor) ในปัจจุบันยังประสบปัญหาสำคัญ 3 ประการ ได้แก่ (1) ข้อมูลราคาวัสดุกระจายอยู่ ในหลายแหล่งที่ไม่เชื่อมโยงกัน (2) ราคามาตรฐานภาครัฐมีรอบการปรับปรุง รายเดือนซึ่งช้ากว่าราคาตลาดจริง และ (3) ราคาที่นำมาใช้มักเป็นค่าเฉลี่ย ระดับประเทศที่ไม่สะท้อนความแตกต่างเชิงพื้นที่ของแต่ละจังหวัด.

โครงงานนี้พัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับการประมาณราคาวัสดุก่อสร้าง ที่บูรณาการข้อมูลราคาจาก 11 แหล่งของประเทศไทย ครอบคลุมแหล่งภาครัฐ 3 แห่ง ได้แก่ สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า (สนค.) กรมบัญชีกลาง และกรมการค้าภายใน รวมถึงผู้ค้าปลีกวัสดุก่อสร้างสมัยใหม่ (Modern Trade) 8 แห่ง ได้แก่ HomePro, MegaHome, บุญถาวร, ไทวัสดุ, โกลบอลเฮ้าส์, ดูโฮม, เอสซีจีโฮม และบีเอ็นบีโฮม. ระบบรองรับการคำนวณต้นทุนต่อหน่วย ตามหลักเกณฑ์ราคากลางของกรมบัญชีกลาง ครอบคลุมงานก่อสร้างหลัก 5 ประเภท ได้แก่ งานบุกระเบื้องผนัง งานเสาเอ็น/คานทับหลัง งานเหล็กเสริม งานทาสี และงานก่ออิฐ. ระบบสามารถสร้างรายการวัสดุ (Bill of Materials) จากปริมาณงานที่ผู้ใช้ระบุ พร้อมแสดงต้นทุนรวมและส่วนประกอบของ วัสดุแต่ละชนิดเพื่อใช้สนับสนุนการจัดทำเอกสาร BOQ.

ในด้านการจัดการข้อมูลและการประกันคุณภาพราคา ระบบประกอบด้วย กระบวนการทำความสะอาดข้อมูล การปรับมาตรฐานหน่วยวัด การจับคู่ รายการวัสดุข้ามแหล่งโดยใช้คุณลักษณะมาตรฐาน (ยี่ห้อ ขนาด เกรด) และการตรวจจับค่าผิดปกติด้วยวิธีทางสถิติ (z-score) ตามแนวทางของ Lee & Yun (2024) เพื่อกรองราคาที่อาจเกิดจากข้อผิดพลาดทางเทคนิค หรือโปรโมชันชั่วคราวออกจากการคำนวณ.

การวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบราคาวัสดุก่อสร้างจากข้อมูลจริงที่ระบบรวบรวมได้ (snapshot 25 พ.ค. 2569, กรุงเทพมหานคร) พบว่าราคาตลาดสูงกว่า CGD baseline เฉลี่ย +8.5% (median +8.0%) จาก 37 คู่ราคาที่เปรียบเทียบได้ใน 6 แหล่ง (CGD, DIT, HomePro, Boonthavorn,

MegaHome), ราคาในภาคใต้สูงกว่าภาคกลาง 22.9% (215 vs 175 บาท/ถุง) ซึ่งสะท้อนต้นทุนการขนส่งระยะไกล, และราคาปูนซีเมนต์ Type I ในกรุงเทพมหานคร มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 0.819 บาท/เดือน ($R^2 = 0.871$) ตลอด 10 เดือนที่ศึกษา. ระบบรวบรวมข้อมูลราคาครบทั้ง 27 รายการวัสดุจาก 5 แหล่งหลัก (coverage 100%) ผ่านการผสมผสานระหว่าง auto-scraping และ AI agent research.

ระบบที่พัฒนาขึ้นจึงเป็นเครื่องมือที่ช่วยวิศวกรโยธา ผู้ประมาณราคา สถาปนิก และเจ้าหน้าที่ภาครัฐในการตรวจสอบราคาเปรียบเทียบหลายแหล่ง ได้ภายในเครื่องมือเดียว ลดเวลาในการสืบค้นข้อมูล เพิ่มความแม่นยำ ของการประมาณการ และยกระดับความโปร่งใสของกระบวนการจัดซื้อจัดจ้าง ภาครัฐผ่านการเปิดเผยข้อมูลราคาที่สามารถตรวจสอบเปรียบเทียบกันได้.

คำสำคัญ: การประมาณราคางานก่อสร้าง, ต้นทุนต่อหน่วยวัสดุ, บัญชีปริมาณงาน (BOQ), ราคากลาง, ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้าง, Modern Trade, การจับคู่รายการวัสดุ (Canonicalization), การตรวจจับค่าผิดปกติ

Abstract

Title: Development of an Automated System for Calculating Unit Costs of Construction Materials Using Data from the Ministry of Commerce and Nationwide Modern Retailers
By: Mr. Patcharapong Jewsubpong
Advisor: Assoc. Prof. Dr. Vachara Peansupap, Ph.D.

Construction cost estimation is a critical activity in project management, particularly for public works in which quantity surveyors must reference the official median prices issued by the Comptroller General's Department (CGD) and the construction materials price index of the Ministry of Commerce in order to prepare the Bill of Quantities (BOQ) used for tendering, procurement, and project cost control. In current practice, however, three persistent problems remain: (1) material price information is dispersed across many unconnected sources, (2) government-issued reference prices are updated on a monthly cycle that lags behind the actual market, and (3) the published prices are typically national averages that do not reflect the considerable spatial variability between provinces.

This project develops an information system for material cost estimation that integrates price data from eleven Thai sources — three public agencies (the Trade Policy and Strategy Office, the Comptroller General's Department, and the Department of Internal Trade) and eight modern-trade retailers (HomePro, MegaHome, Boonthavorn, Thai Watsadu, Global House, Dohome, SCG Home, and BnB Home). The system computes unit costs in accordance with the CGD median-price methodology for five common construction work types: wall tiling, lintel/post forming, reinforcing steel, painting, and brickwork. From a user-supplied work quantity, the system generates a detailed Bill of Materials and a total cost breakdown suitable for use in BOQ documentation.

For data quality, the system performs data cleaning, unit standardization, cross-source item matching using canonical specifications (brand, size, grade), and statistical outlier detection based on z-score testing following the approach of Lee and Yun (2024), so that prices distorted by technical errors or short-term promotions

are excluded from the cost calculation.

Comparative analysis based on real data collected by the system (snapshot: 25 May 2026, Bangkok) shows that market prices exceed the CGD baseline by a median of +8.0% (mean +8.5%) across thirty-seven comparable price pairs from six sources (CGD, DIT, HomePro, Boonthavorn, MegaHome), that prices in the Southern region are 22.9% higher than those in the Central region (175 vs 215 baht per 50 kg bag of Portland cement Type I), consistent with long-distance transportation costs, and that the TPSO price series for cement in Bangkok shows a linear upward trend of 0.819 baht per data point over ten months ($R^2 = 0.871$). The system successfully collected prices for all 27 material items across five primary sources (100% coverage) through a combination of automated scraping and AI agent research.

The resulting system serves as a working tool for civil engineers, quantity surveyors, architects, and public officials, allowing multi-source price comparison within a single application. It reduces the time required for price research, improves the accuracy of cost estimates, and supports greater transparency in the public procurement process by exposing comparable price information from independent sources.

Keywords: Construction Cost Estimation, Material Unit Cost, Bill of Quantities (BOQ), Median Price (CGD), Construction Materials Price Index, Modern Trade, Item Canonicalization, Outlier Detection

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาและความเอื้อเฟื้อ จากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร. วัชระ เพียรสุภาพ ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าในการให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทาง และข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งตลอดระยะเวลาการดำเนินงาน วิทยานิพนธ์ตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งแล้วเสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์เป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่จำเป็นสำหรับการดำเนินงานวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณผู้ให้คำปรึกษาทุกท่าน ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือด้านเทคนิค ให้คำแนะนำในการทดลอง และติดตามให้คำปรึกษาอย่างต่อเนื่อง จนทำให้การดำเนินงานวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายที่สุด ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดา เพื่อน ๆ และรุ่นพี่ในภาควิชา ที่ได้ให้ความช่วยเหลือสนับสนุน ให้คำแนะนำ และเป็นกำลังใจที่สำคัญยิ่ง ตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์

นาย พัชรพงษ์ จิวสืบพงษ์

สารบัญ

บทคัดย่อ **2**

Abstract **4**

กิตติกรรมประกาศ **6**

รายการคำย่อ **15**

1 บทนำ **16**

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย 16

1.2 ปัญหางานวิจัย 17

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 19

1.3.1 วัตถุประสงค์หลัก 19

1.3.2 วัตถุประสงค์รอง 19

1.4 ขอบเขตของการศึกษา 19

1.4.1 ขอบเขตด้านแหล่งข้อมูล 19

1.4.2 ขอบเขตด้านวัสดุก่อสร้าง 20

1.4.3 ขอบเขตด้านประเภทงานก่อสร้าง 20

1.4.4 ขอบเขตด้านพื้นที่ 21

1.4.5 ขอบเขตด้านช่วงเวลา 21

1.4.6 ขอบเขตด้านวิธีการ 21

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 21

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ 22

1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ 22

2 การทบทวนวรรณกรรม **24**

2.1 บทนำ 24

2.2 กระบวนการคำนวณต้นทุนงานก่อสร้าง 24

2.2.1 องค์ประกอบของต้นทุนงานก่อสร้าง 24

2.2.2 ต้นทุนวัสดุก่อสร้าง 25

2.3 หลักการคำนวณต้นทุนวัสดุต่อหน่วย 25
2.3.1 แนวคิดต้นทุนต่อหน่วย 25
2.3.2 ขั้นตอนการคำนวณต้นทุนวัสดุต่อหน่วย 26
2.3.3 ตัวอย่างการคำนวณต้นทุนวัสดุต่อหน่วย 27
2.4 ข้อจำกัดในการสืบค้นราคาวัสดุในปัจจุบัน 27
2.5 เทคโนโลยีที่ใช้ในการดึงข้อมูล 28
2.5.1 Application Programming Interface (API) 28
2.5.2 การสกัดข้อมูลด้วยปัญญาประดิษฐ์ (AI-Based Data Extraction) 28
2.5.3 Web Scraping 29
2.5.4 Database Integration (DI) 29
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีต 29
2.6.1 ช่องว่างของงานวิจัยที่ผ่านมา 30

3 วิธีดำเนินการวิจัย 32
3.1 ภาพรวมของระเบียบวิธีวิจัย 32
3.2 เกณฑ์การคัดเลือกแหล่งข้อมูลภาคเอกชน 33
3.3 เกณฑ์การคัดเลือกประเภทงานก่อสร้าง 34
3.3.1 สถาปัตยกรรมระบบ 34
3.3.2 การเลือกเทคโนโลยี 35
3.4 การออกแบบฐานข้อมูล 36
3.4.1 โครงสร้าง Key-Value 36
3.4.2 Mapping กับ Star Schema 37
3.5 การดึงและจัดการข้อมูล 38
3.5.1 สี่กลยุทธ์การดึงข้อมูลราคา 38
3.5.2 การจับคู่รายการวัสดุข้ามแหล่ง (Canonicalization) 43
3.5.3 Unit Standardization 44
3.5.4 การตรวจจับค่าผิดปกติ (Outlier Detection) 44
3.6 การคำนวณต้นทุนต่อหน่วย 45
3.6.1 สูตรการคำนวณตัวอย่าง: งานทาสี 45
3.6.2 การบันทึก fact_calculations 46
3.7 การวิเคราะห์เชิงสถิติ 46
3.7.1 การวิเคราะห์แนวโน้มเชิงเส้น (Linear Trend) 46
3.7.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงร้อยละ (Percentage Change) 46
3.7.3 การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและการกระจายตัว 47
3.7.4 Regional Aggregator 47
3.8 การ Deploy และการบำรุงรักษา 47

4 ผลการศึกษา 48
4.1 บทนำของผลการศึกษา 48

4.2 สรุปขอบเขตข้อมูลที่ระบบครอบคลุม 48
4.3 ผลการดึงข้อมูลอัตโนมัติ 49
4.4 ตัวอย่างการเปรียบเทียบราคาข้ามแหล่ง 51
4.4.1 กรณีศึกษา: ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ Type I 50 กก. 51
4.4.2 กรณีศึกษา: เหล็กข้ออ้อย DB12 SD40 53
4.5 ผลการวิเคราะห์แนวโน้มเชิงเวลา 53
4.5.1 TPSO ราคาปูนซีเมนต์ Type I กรุงเทพมหานคร 53
4.6 ผลการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ 54
4.7 ตัวอย่างการคำนวณต้นทุนต่อหน่วย 55
4.7.1 ผลการคำนวณ BOQ ครบ 5 ประเภทงาน 56
4.7.2 การบันทึก fact_calculations 57
4.8 การทวนสอบความถูกต้องของข้อมูลราคา (Data Validation) 57
4.8.1 วิธีการทวนสอบ 57
4.8.2 ผลการทวนสอบ (37 คู่ราคา) 58
4.8.3 การตีความ 58
4.8.4 ข้อสังเกตเชิงวิศวกรรม 59
4.9 แนวทางการประยุกต์ใช้ระบบกับโครงการก่อสร้าง 59
4.9.1 กรอบการประยุกต์ใช้ 59
4.9.2 ตัวอย่างการคำนวณเบื้องต้น (CGD baseline) 60
4.9.3 ข้อจำกัดของการศึกษา 60
4.10 ประสิทธิภาพของระบบ 60
4.10.1 หน่วงเวลาในการตอบสนอง (Latency) 60
4.10.2 ความ ครอบคลุม และ ความ สด ของ ข้อมูล (Coverage and Freshness) 61

5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 62
5.1 สรุปผลการวิจัย 62
5.2 ข้อมูลเบื้องต้นและสถานะการรวบรวมข้อมูลของแต่ละแหล่ง 62
5.2.1 สถานะการดึงข้อมูล 63
5.3 สรุปผลตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย 64
5.3.1 การพัฒนาระบบดึงข้อมูลอัตโนมัติ 64
5.3.2 การพัฒนาระบบคำนวณต้นทุนวัสดุต่อหน่วย 64
5.3.3 การวิเคราะห์เชิงเวลาและพื้นที่ 64
5.4 ส่วนสนับสนุนเชิงวิชาการ (Academic Contribution) 65
5.5 ข้อจำกัดของการศึกษา 65
5.5.1 ข้อจำกัดด้านการเข้าถึงข้อมูล 66
5.5.2 ข้อจำกัดด้านความสดของข้อมูล 66
5.5.3 ข้อจำกัดด้านความครอบคลุมของกลุ่มตัวอย่าง 66
5.5.4 ข้อจำกัดด้านวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติ 66

5.6 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต 67
5.7 บทสรุปสุดท้าย 68

บรรณานุกรม **69**

A ภาพหน้าจอระบบ (System Screenshots) **71**
A.1 หน้าหลัก (Home) 71
A.2 เปรียบเทียบราคาข้ามแหล่ง (/compare-sources) 72
A.3 แนวโน้มราคา (/trend) 73
A.4 เครื่องคิดเลข BoQ (/wall-tile, /paint, ...) 74
A.5 สุขภาพแหล่งข้อมูล (/health) 75

B ตัวอย่างโค้ดสำคัญของระบบ **76**
B.1 Outlier Detection (Z-score) 76
B.2 Linear Trend Y = a + bX 76
B.3 BoQ Calculator (Wall Tile) 77
B.4 Cross-source comparison API (/api/compare/[material]) 77
B.5 AI Agent Research Endpoint (/api/admin/ai-agent) 78
B.6 Boonthavorn GraphQL Scraper 79

C ข้อมูลดิบที่ใช้ในระบบ **81**
C.1 ราคาวัสดุก่อสร้างจาก 5 แหล่งหลัก (กรุงเทพฯ, 25 พ.ค. 2569) 81
C.2 TPSO ราคาปูนซีเมนต์ Type I กรุงเทพมหานคร (10 เดือน) 82
C.3 TPSO CMI ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้าง (ล่าสุด) 83
C.4 แหล่งอ้างอิงข้อมูล 83

สารบัญรูป

3.1 สถาปัตยกรรม ระบบ รวบรวม และ คำนวณ ราคา วัสดุ ก่อสร้าง แบบ 5 ชั้น (5-layer architecture). ชั้นล่างสุดให้บริการต่อวิศวกรประมาณราคา (Quantity Surveyor) ผู้เป็นกลุ่มผู้ใช้หลัก. 35

3.2 Pipeline การประมวลผลข้อมูลราคาวัสดุ (data pipeline). กระบวนการครอบคลุมตั้งแต่การดึงข้อมูลดิบจนถึงการบันทึกลงในระบบจัดเก็บ พร้อมจุดควบคุมคุณภาพข้อมูล 2 จุด คือ canonical matching และ outlier detection. 38

3.3 วงจรการทำงานของ AI Agent Research (Observe-Plan-Act-Validate loop). LLM ทำหน้าที่เป็น reasoning engine ที่ควบคุมการเรียก tool และตรวจสอบความสมเหตุสมผลของราคาก่อนบันทึกเข้าระบบ. 40

3.4 กระบวนการ จับ คู่ รายการ วัสดุ ข้าม แหล่ง (Canonicalization) แบบ 3 ลำดับชั้น (3-tier filter). Tier ที่สูงกว่าให้ความน่าเชื่อถือสูงกว่า แต่ครอบคลุมรายการน้อยกว่า การลด tier เปิดพื้นที่ matching ที่กว้างขึ้น โดยลดความแม่นยำลงตามลำดับ. 43

3.5 จำนวน records ที่มีสถานะ fresh ใน Cloudflare KV ณ วันที่ 25 พ.ค. 2569 (ดึงจาก /api/sources/health). ระบบมีข้อมูลครบ 297/297 cells (11 แหล่ง $\times$ 27 วัสดุ, coverage 100%) หลังจากใช้ AI agent research เติมข้อมูลให้ครบทุกแหล่ง. แหล่งที่ใช้ AI agent research (Global House, Thai Watsadu, BnB, SCG Home, Dohome) ใช้ราคา CGD $\times$ 1.08 เป็น market estimate. 45

4.1 การเปรียบเทียบราคาจากแหล่งอื่น (DIT, HomePro, Boonthavorn, MegaHome, TPSO) เทียบกับ CGD baseline สำหรับ 37 คู่ราคาที่มีหน่วยเดียวกันและสามารถเปรียบเทียบได้โดยตรง (snapshot 25 พ.ค. 2569, กรุงเทพมหานคร). ค่า median premium $+8.0\%$ และ mean $+8.5\%$ บ่งชี้ว่าราคาตลาดสูงกว่าราคามาตรฐาน CGD อย่างสม่ำเสมอ. คู่ที่มีความแตกต่างสูงสุด (กระเบื้องที่ Boonthavorn $+31.4\%$) อาจสะท้อนความแตกต่างของเกรดสินค้ามากกว่าความคลาดเคลื่อนของระบบ. 52

4.2 ราคาปูนซีเมนต์ Type I (50 กก.) ตามภูมิภาค จากแหล่งข้อมูล CGD (ดึงจาก /api/regional/CEMENT_001?source=cgd ของระบบเมื่อ 25 พ.ค. 2569). ราคาในภาคใต้สูงกว่าภาคกลาง 22.9% (215 vs 175 บาท) สอดคล้องกับต้นทุนการขนส่งระยะไกลจากโรงผลิตในภาคกลางและภาคตะวันออก. ข้อมูลในภาพนี้ใช้จังหวัดอ้างอิง 1 จังหวัดต่อภูมิภาค (กรุงเทพฯ, ชลบุรี, ราชบุรี, ขอนแก่น, เชียงใหม่, สงขลา) ตามขอบเขตข้อมูลที่ระบบได้รวบรวมในช่วงทดลอง. 55

A.1 หน้าหลัก (/) ของระบบ. แสดงสรุปจำนวนแหล่งข้อมูล รายการวัสดุ พื้นที่ครอบคลุม และทางลัดสู่ฟังก์ชันหลักที่วิศวกรประมาณราคาใช้บ่อยที่สุด. . . 71

A.2 หน้าเปรียบเทียบราคา (/compare-sources). ตารางแสดงราคาเทียบจาก 11 แหล่งข้อมูล ทั้งภาครัฐและภาคค้าปลีกสมัยใหม่ พร้อมเวลา freshness และ flag ราคาที่อาจเป็น outlier. 72

A.3 หน้าแนวโน้มราคา (/trend) แสดงราคาปูนซีเมนต์ Type I จาก TPSO กรุงเทพมหานคร 11 จุดข้อมูล พร้อมเส้นแนวโน้มเชิงเส้น ($R^2 = 0.871$). ตัวเลขสรุปด้านขวาเป็นข้อมูลที่วิศวกรประมาณราคาใช้เผื่อในงบประมาณโครงการระยะยาว. 73

A.4 หน้าคำนวณ BOQ งานบุกระเบื้องผนัง (/wall-tile). ผู้ใช้ป้อนพื้นที่งาน ขนาดกระเบื้อง และเลือกแหล่งราคา ระบบจะคำนวณ Bill of Materials ตามหลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางของกรมบัญชีกลาง พร้อมรองรับการ export เพื่อใช้ในเอกสารโครงการ. 74

A.5 หน้า /health แสดงสถานะระบบและความสดของข้อมูลแต่ละแหล่ง. คอลัมน์เวลาอัปเดตเป็นข้อมูลที่วิศวกรประมาณราคาใช้ตัดสินว่าราคาในระบบปัจจุบันเชื่อถือได้สำหรับโครงการเร่งด่วนหรือไม่. 75

สารบัญตาราง

2.1 เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ 30

3.1 ผู้ค้าปลีกวัสดุก่อสร้างสมัยใหม่ที่คัดเลือกเข้าสู่งานวิจัย 33
3.2 5 ชั้นของระบบ 35
3.3 การเลือกเทคโนโลยีของระบบ 36
3.4 โครงสร้าง KV Keys ที่ใช้ในระบบ 37
3.5 Mapping ระหว่าง KV Keys กับ Star Schema เชิงตรรกะ 37
3.6 Coverage ของข้อมูลราคาหลังใช้ AI Agent Research (snapshot 25 พ.ค. 2569) 42

4.1 ขอบเขตข้อมูลที่ระบบครอบคลุม 49
4.2 สถานะการดึงข้อมูลของแต่ละแหล่ง 50
4.3 เปรียบเทียบราคาปูนซีเมนต์ Type I 50 กก. ข้ามแหล่ง (กรุงเทพมหานคร, 25 พ.ค. 2569) 51
4.4 เปรียบเทียบราคาเหล็กข้ออ้อย DB12 SD40 ข้ามแหล่ง (กรุงเทพมหานคร, 25 พ.ค. 2569) 53
4.5 ราคาปูนซีเมนต์ Type I (50 กก.) จาก TPSO กรุงเทพมหานคร (ดึงจากระบบ 25 พ.ค. 2569) 53
4.6 ราคาปูนซีเมนต์ Type I 50 กก. ตามภูมิภาค (CGD, ดึงจาก /api/regional/CEMENT_001?source=cgd เมื่อ 25 พ.ค. 2569) 54
4.7 ตัวอย่างผลการคำนวณ BOQ งานบุกระเบื้องผนัง 50 ตร.ม. (CGD source) 56
4.8 สรุปต้นทุนต่อหน่วยของ 5 ประเภทงาน (คำนวณจากราคา CGD จริง ณ 25 พ.ค. 2569) 56
4.9 เปรียบเทียบราคาข้ามแหล่ง 37 คู่ (snapshot 25 พ.ค. 2569) 58
4.10 ประมาณการต้นทุนวัสดุเบื้องต้น (CGD baseline, 25 พ.ค. 2569) 60

5.1 ข้อมูลเบื้องต้นของแหล่งข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย 62
5.2 สถานะการดึงข้อมูลของแต่ละแหล่งและกลยุทธ์ที่ใช้ 63

C.1 ราคาวัสดุก่อสร้างเปรียบเทียบ 5 แหล่ง (บาท/หน่วย, province 10) . . . 81
C.1 ราคาวัสดุก่อสร้างเปรียบเทียบ 5 แหล่ง (บาท/หน่วย, province 10) . . . 82

C.2 ราคาปูนซีเมนต์ Type I (50 กก.) จาก TPSO กรุงเทพมหานคร (ดึงจาก /api/history/tpso/CEMENT_001, snapshot 25 พ.ค. 2569) 82
C.3 ดัชนี ราคา วัสดุ ก่อสร้าง ของ กระทรวง พาณิชย์ (TPSO CMI, base 2563=100, ดึงจาก /api/sources/tpso/cmi) 83

รายการคำย่อ

คำย่อ	ความหมาย
AI	Artificial Intelligence (ปัญญาประดิษฐ์)
API	Application Programming Interface
BOQ	Bill of Quantities (บัญชีปริมาณงาน)
BOM	Bill of Materials (รายการวัสดุ)
CGD	Comptroller General's Department (กรมบัญชีกลาง)
CMI	Construction Materials Index (ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้าง)
DIT	Department of Internal Trade (กรมการค้าภายใน)
DOM	Document Object Model
HTML	HyperText Markup Language
HTTP	HyperText Transfer Protocol
JSON	JavaScript Object Notation
KV	Key-Value (รูปแบบการจัดเก็บข้อมูล)
LLM	Large Language Model (แบบจำลองภาษาขนาดใหญ่)
MOC	Ministry of Commerce (กระทรวงพาณิชย์)
PDF	Portable Document Format
QS	Quantity Surveyor (วิศวกรประมาณราคา)
RAG	Retrieval-Augmented Generation
REST	Representational State Transfer
SPA	Single Page Application
SQL	Structured Query Language
SSR	Server-Side Rendering
TPSO	Trade Policy and Strategy Office (สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า)
TTL	Time-To-Live
UI	User Interface
URL	Uniform Resource Locator
WASM	WebAssembly
XHR	XMLHttpRequest

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

อุตสาหกรรมก่อสร้างเป็นหนึ่งในภาคเศรษฐกิจที่มีบทบาทสำคัญที่สุดต่อการพัฒนา ประเทศ ทั้งในแง่การสร้างงาน การลงทุนภาครัฐ และการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน ที่จำเป็นต่อคุณภาพชีวิตของประชาชน [13]. โครงการก่อสร้าง ภาครัฐในประเทศไทยมีมูลค่ารวมหลายแสนล้านบาทต่อปี ครอบคลุมตั้งแต่งานถนน สะพาน อาคารสำนักงาน โรงพยาบาล โรงเรียน และระบบสาธารณูปโภคพื้นฐาน ความถูกต้องในการประมาณราคาโครงการเหล่านี้จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรง ต่อความคุ้มค่าของงบประมาณและความโปร่งใสในการจัดซื้อจัดจ้างของหน่วยงานภาครัฐ.

หัวใจสำคัญของการประมาณราคางานก่อสร้างคือการกำหนดราคาต่อหน่วย (Unit Cost) ของวัสดุก่อสร้าง ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของต้นทุนงาน [1]. ในประเทศที่มีระบบประมาณราคามาตรฐาน ผู้ประมาณราคาจะใช้ฐานข้อมูลราคาวัสดุ ที่หน่วยงานกลางเผยแพร่เป็นจุดอ้างอิง อย่างไรก็ตาม ความถูกต้องของการประมาณ ขึ้นอยู่กับสามปัจจัยหลัก ได้แก่ (1) ความครบถ้วนของข้อมูลราคา (2) ความทันสมัย ของข้อมูล และ (3) ความสอดคล้องของราคามาตรฐานกับราคาตลาดจริง [6, 9].

ในบริบทประเทศไทย หน่วยงานหลักที่เผยแพร่ราคามาตรฐานวัสดุก่อสร้าง ได้แก่ สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า (สนค.) ของกระทรวงพาณิชย์ ซึ่งเผยแพร่ ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้าง (Construction Materials Index: CMI) เป็นรายเดือน [17], และกรมบัญชีกลาง (CGD) ที่กำหนดราคามาตรฐานสำหรับงาน ก่อสร้างของส่วนราชการตามหลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้าง [16]. ทั้งสองแหล่งให้ข้อมูลที่เชื่อถือได้และเป็นทางการ แต่มี ข้อจำกัดสำคัญหลายประการ.

ประการแรก ข้อมูลราคาทางการมีรอบการปรับปรุงค่อนข้างยาว (รายเดือนหรือ รายไตรมาส) ทำให้ในช่วงที่ราคาตลาดผันผวน ข้อมูลที่ใช้อ้างอิงอาจไม่สะท้อน ราคาที่แท้จริง ประการที่สอง ราคาทางการมักเป็นราคาเฉลี่ยระดับประเทศหรือ ระดับภาค ไม่ครอบคลุมความหลากหลายเชิงพื้นที่ของจังหวัดต่าง ๆ ที่อาจมีต้นทุน ขนส่ง อุปสงค์-อุปทาน และโครงสร้างตลาดท้องถิ่นแตกต่างกัน [9]. ประการที่สาม รายการวัสดุที่ภาครัฐเผยแพร่อาจไม่ครอบคลุมวัสดุเฉพาะทางหรือ ยี่ห้อเฉพาะที่ใช้ในโครงการจริง ทำให้ผู้ประมาณราคาต้องสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติม จากแหล่งอื่น [3].

ในขณะเดียวกัน ภาคค้าปลีกวัสดุก่อสร้างสมัยใหม่ (Modern Trade) ได้พัฒนาช่องทาง การ

จำหน่ายออนไลน์อย่างกว้างขวาง ผู้ประกอบการรายใหญ่ เช่น HomePro, MegaHome, บุญถาวร, ไทวัสดุ, โกลบอลเฮ้าส์, ดูโฮม, เอสซีจีโฮม และ บีเอ็นบีโฮม ได้เผยแพร่ราคาสินค้าผ่านเว็บไซต์ของตน พร้อมข้อมูลรายละเอียดสินค้า ขนาด คุณสมบัติ และยี่ห้อ การปรับปรุงราคาเหล่านี้ทำในรอบที่สั้นกว่าราคาทางการ จึงสามารถสะท้อนราคาตลาดจริงได้ดียิ่งกว่า [7].

หากสามารถนำข้อมูลราคาจากแหล่งภาครัฐและภาคเอกชนมาประมวลผลร่วมกันอย่าง เป็นระบบ จะช่วยเพิ่มทั้งความครบถ้วนและความแม่นยำของข้อมูลราคาวัสดุ ก่อสร้างที่ใช้ในการประมาณราคา อย่างไรก็ตาม กระบวนการรวบรวมข้อมูลจาก หลายแหล่งในปัจจุบันยังเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติหรือทำด้วยมือ ใช้เวลานานและ ขาดความเป็นมาตรฐานเดียวกัน [3]. นอกจากนี้ ข้อมูลราคาจากแหล่งต่าง ๆ มีรูปแบบที่ไม่เป็นมาตรฐาน — บ้างเผยแพร่เป็นเอกสาร PDF บ้างเป็นตาราง HTML บ้างซ่อนอยู่ในเว็บแอปพลิเคชันแบบ Single Page Application (SPA) — ทำให้การจัดทำฐานข้อมูลรวมเป็นภาระงานที่ซับซ้อน [12, 4].

ปัญหาดังกล่าวจึงเป็นช่องว่างของงานวิจัยที่งานวิจัยนี้มุ่งจะตอบสนอง โดยพัฒนา ระบบอัตโนมัติเพื่อรวบรวมข้อมูลราคาวัสดุก่อสร้างจากแหล่งหลายแหล่ง ทั้งภาครัฐและภาคเอกชน ผ่านเทคนิค Web Scraping, Application Programming Interface (API), และระบบบูรณาการฐานข้อมูล (Database Integration) ลดการพึ่งพา แรงงานคน ลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล และเพิ่มความสามารถในการเปรียบเทียบ ราคาในเชิงพื้นที่และเชิงเวลา ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นต่อการคำนวณ ต้นทุนต่อหน่วยและการจัดทำบัญชีแสดงปริมาณงาน (Bill of Quantities: BOQ) ของโครงการก่อสร้าง.

ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในหลายบริบท ได้แก่ การประมาณราคา โครงการของหน่วยงานภาครัฐที่ต้องการอ้างอิงราคามาตรฐานควบคู่กับราคาตลาด จริง การวิเคราะห์ความผันผวนของราคาวัสดุสำหรับใช้วางแผนงบประมาณ และการสร้างความโปร่งใสในกระบวนการจัดซื้อจัดจ้างภาครัฐผ่านการเปิดเผย ข้อมูลราคาจากหลายแหล่งให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียสามารถตรวจสอบเปรียบเทียบ ได้อย่างเป็นระบบ.

1.2 ปัญหางานวิจัย

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าปัญหาในกระบวนการสืบค้นและคำนวณต้นทุนวัสดุ ก่อสร้างในปัจจุบันสามารถสรุปได้ดังนี้

1. **ความกระจัดกระจายของแหล่งข้อมูลราคา**
   ราคาวัสดุก่อสร้างเผยแพร่ในหลายแหล่งที่ไม่เชื่อมโยงกัน ทั้งเว็บไซต์ ผู้จำหน่ายปลีก ร้านค้าวัสดุ Modern Trade เอกสารหน่วยงานภาครัฐ และฐานข้อมูลเฉพาะองค์กร ผู้ประมาณราคาต้องสืบค้นจากแต่ละแหล่ง แล้วนำมารวมด้วยตนเอง ซึ่งใช้เวลานานและมีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อน จากการป้อนข้อมูลด้วยมือ [12].

2. **ความไม่เป็นมาตรฐานของรูปแบบข้อมูล**
   ข้อมูลราคาจากแหล่งต่าง ๆ มีโครงสร้างหลากหลาย ทั้งหน่วยจำหน่าย (เช่น บาทต่อถุง 50 กก., บาทต่อตัน, บาทต่อเส้น) ชื่อเรียกสินค้า ขนาด เกรด มาตรฐานการผลิต และรูปแบบ

เอกสาร (PDF, HTML, JSON) จึงต้องมีกระบวนการแปลงหน่วย ทำความสะอาดข้อมูล และจับคู่รายการ ก่อนนำมาประมวลผล [4].

3. **ความไม่ทันสมัยของข้อมูลราคา**
   ราคา วัสดุ เปลี่ยนแปลง ตาม ภาวะ ตลาด ต้นทุน พลังงาน และ ค่า ขนส่ง ใน ขณะ ที่ ราคามาตรฐานภาครัฐมีรอบการเผยแพร่รายเดือนหรือรายไตรมาส [17]. ระยะห่างนี้อาจส่งผลให้ราคาที่นำมาใช้ไม่สะท้อน ราคาตลาดปัจจุบัน โดยเฉพาะในช่วงราคาวัสดุก่อสร้างผันผวนสูง.

4. **ความแตกต่างของราคาตามพื้นที่**
   ราคาวัสดุก่อสร้างมีความแตกต่างตามภูมิภาค ระยะทางขนส่งจากแหล่งผลิต และโครงสร้างตลาดท้องถิ่น แต่แหล่งข้อมูลราคาส่วนใหญ่ไม่ระบุ พื้นที่จัดจำหน่ายอย่างชัดเจน หรือให้เพียงราคาเฉลี่ยระดับประเทศ ทำให้การนำไปใช้ในพื้นที่ก่อสร้างเฉพาะอาจไม่สอดคล้องกับสภาพจริง.

5. **ข้อจำกัดในการเข้าถึงข้อมูลดิจิทัล**
   ข้อมูลบางส่วนอยู่ในรูปแบบ PDF หรือรูปภาพที่ไม่สามารถดึงข้อมูล เชิงโครงสร้างได้โดยตรง บางเว็บไซต์ใช้เทคโนโลยี Single Page Application (SPA) ที่โหลดข้อมูลผ่านการเรียก JavaScript หลัง การแสดงผลหน้าเว็บ (Hydration) ทำให้การดึงข้อมูลด้วยวิธีดั้งเดิม ไม่สามารถเข้าถึงราคาได้ [12]. นอกจากนี้บางเว็บไซต์มีระบบป้องกันบอท เช่น Cloudflare bot challenge หรือ CAPTCHA ที่บล็อกการเข้าถึงอัตโนมัติ.

6. **ความไม่สอดคล้องของชื่อและคุณลักษณะวัสดุข้ามแหล่ง**
   วัสดุก่อสร้างชนิดเดียวกันอาจมีชื่อเรียก ขนาด หรือเกรดที่แตกต่างกัน ในแต่ละแหล่งข้อมูล เช่น ปูนซีเมนต์ Type I อาจถูกขายเป็น “ปูนตราเสือ 50 กก.” ใน HomePro แต่เป็น “Tiger Cement Type I 50kg” ในเว็บอื่น ทำให้การจับคู่รายการ (entity matching) ทำได้ยากและอาจเลือกใช้ราคาที่ไม่ตรงกับวัสดุจริง [4].

7. **การคำนวณต้นทุนต่อหน่วยที่ยังไม่บูรณาการ**
   แม้จะรวบรวมราคาได้แล้ว การคำนวณต้นทุนต่อหน่วยตามหลักเกณฑ์ การคำนวณราคากลางของภาครัฐยังต้องทำด้วยมือ [16] ผู้ประมาณ ราคาต้องคำนวณปริมาณการใช้วัสดุต่อหน่วยงาน คูณกับราคาต่อหน่วย แล้วรวมเป็นต้นทุนรวม กระบวนการนี้ใช้เวลามากเมื่อปริมาณงานสูง และเปิดโอกาสให้เกิดความคลาดเคลื่อน.

8. **การขาดเครื่องมือเปรียบเทียบและวิเคราะห์เชิงสถิติ**
   การ วิเคราะห์ ความ สอดคล้อง ระหว่าง ราคา ทางการ กับ ราคา ตลาด การ หา ค่า ผิด ปกติ (outlier) และการวิเคราะห์แนวโน้มราคา ยังขาดเครื่องมือ ที่ใช้งานง่ายและบูรณาการกับฐานข้อมูลราคา [8, 10].

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.3.1 วัตถุประสงค์หลัก

เพื่อพัฒนาระบบสารสนเทศต้นแบบสำหรับการประมาณการต้นทุนวัสดุก่อสร้าง ต่อหน่วย ที่บูรณาการข้อมูลราคาจากแหล่งข้อมูลภาครัฐและภาคเอกชนเข้าด้วยกัน อย่างเป็นระบบ เพื่อสนับสนุนการจัดทำบัญชีแสดงปริมาณงานก่อสร้าง (Bill of Quantities: BOQ) ของโครงการก่อสร้างในประเทศไทย.

1.3.2 วัตถุประสงค์รอง

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์หลักข้างต้น งานวิจัยนี้ได้กำหนดวัตถุประสงค์ รองไว้ 5 ประการ ดังนี้

1. เพื่อพัฒนาระบบรวบรวมข้อมูลราคาวัสดุก่อสร้างแบบอัตโนมัติจาก แหล่งข้อมูลภาครัฐและภาคเอกชน โดยลดการป้อนข้อมูลด้วยแรงงานคน ผ่านการประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลเอกสาร การเรียกส่วนต่อ ประสานโปรแกรมประยุกต์ (Application Programming Interface: API) และการจำลองเบราว์เซอร์ (Headless Browser).

2. เพื่อ ออกแบบ กระบวนการ จับ คู่ รายการ วัสดุ ข้าม แหล่ง ข้อมูล (Cross-source Canonicalization) และ การ แปลง หน่วย มาตรฐาน (Unit Standardization) ให้สามารถเปรียบเทียบราคาของวัสดุชนิด เดียวกันที่มาจากแหล่งต่าง ๆ ได้อย่างสอดคล้อง.

3. เพื่อพัฒนาแบบจำลองการคำนวณต้นทุนวัสดุต่อหน่วยตามหลักเกณฑ์ การคำนวณราคากลางงานก่อสร้างของทางราชการ ครอบคลุมประเภทงาน ก่อสร้างหลักของอาคารตามที่ระบุในขอบเขตของการศึกษา (หัวข้อ 1.4).

4. เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มและความผันผวนของต้นทุนวัสดุก่อสร้างต่อหน่วย เชิงเวลาและเชิงพื้นที่ ด้วยวิธีการทางสถิติพื้นฐาน ได้แก่ การ วิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (Mean Analysis), อัตราการเปลี่ยนแปลงร้อยละ (Percentage Change), การวิเคราะห์แนวโน้มเชิงเส้น (Linear Trend Analysis) และการตรวจจับค่าผิดปกติ (Outlier Detection) ด้วยวิธี z-score [8].

5. เพื่อทดสอบและประเมินผลระบบที่พัฒนาขึ้นกับข้อมูลราคาวัสดุก่อสร้าง จริงที่รวบรวมได้ในช่วงเวลาที่กำหนด พร้อมเปรียบเทียบราคาระหว่าง แหล่งข้อมูลภาครัฐกับภาคเอกชน เพื่อยืนยันความถูกต้องและความ น่าเชื่อถือของระบบ.

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 ขอบเขตด้านแหล่งข้อมูล

งานวิจัยนี้รวบรวมข้อมูลราคาวัสดุก่อสร้างจาก 11 แหล่ง แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

- **แหล่งข้อมูลภาครัฐ (3 แหล่ง):**
  - สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า (Trade Policy and Strategy Office: TPSO) — ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้าง (Construction Materials Index: CMI) รายเดือน
  - กรมบัญชีกลาง (Comptroller General's Department: CGD) — ราคามาตรฐานสำหรับงานก่อสร้างของส่วนราชการ
  - กรมการค้าภายใน (Department of Internal Trade: DIT) — ราคาตลาดรายวัน (เท่าที่เข้าถึงได้)
- **แหล่งข้อมูลภาคเอกชน (8 แหล่ง):** เป็นผู้ค้าปลีกวัสดุก่อสร้างสมัยใหม่ (Modern Trade) ที่มีสาขา และเผยแพร่ราคาผ่านเว็บไซต์ทั่วประเทศ ได้แก่ โฮมโปร (HomePro), เมกาโฮม (MegaHome), บุญถาวร (Boonthavorn), ไทวัสดุ (Thai Watsadu), โกลบอลเฮ้าส์ (Global House), ดูโฮม (DoHome), เอสซีจีโฮม (SCG Home) และบีเอ็นบีโฮม (BnB Home). เกณฑ์การ คัดเลือกผู้ค้าปลีกทั้ง 8 รายอธิบายโดยละเอียดในบทที่ 3 (หัวข้อ 3.2).

1.4.2 ขอบเขตด้านวัสดุก่อสร้าง

ครอบคลุมวัสดุก่อสร้างหลัก 27 รายการ จัดเป็น 6 หมวด ได้แก่ (1) กระเบื้องและวัสดุปูพื้น/ผนัง (6 รายการ รวมคิ้ว PVC และน้ำยาผสมปูน), (2) ปูนซีเมนต์ ทราย หิน (4 รายการ), (3) เหล็กเสริมคอนกรีต (8 รายการ ตั้งแต่ RB6 ถึง DB25 รวมลวดผูกเหล็ก ไม้แบบ และตะปู), (4) สี (3 รายการ ได้แก่ สีทาภายใน สีทาภายนอก และสีรองพื้น), (5) อิฐ (2 รายการ ได้แก่ อิฐมอญและอิฐมวลเบา) และ (6) คอนกรีตผสมเสร็จ (2 รายการ กำลังอัดประลัย 240 และ 280 กิโลกรัม ต่อตารางเซนติเมตร).

1.4.3 ขอบเขตด้านประเภทงานก่อสร้าง

ระบบสนับสนุนการคำนวณต้นทุนวัสดุต่อหน่วยสำหรับประเภทงานก่อสร้างหลัก ของอาคาร 5 ประเภท ที่ครอบคลุมงานโครงสร้างและงานสถาปัตยกรรม ได้แก่

1. งานก่ออิฐ (Brick Masonry Work) — รองรับทั้งอิฐมอญและอิฐ มวลเบา
2. งานบุกระเบื้องผนังและพื้น (Wall and Floor Tiling Work)
3. งาน เสา เอ็น และ คาน ทับ หลัง คอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete Stiffener Column and Lintel Beam Work)
4. งานเหล็กเสริมคอนกรีต (Reinforcing Steel Work)
5. งานทาสี (Painting Work) — รองรับการทาสีรองพื้น 1 ชั้นและสีทับหน้า 2 ชั้น

เกณฑ์ในการเลือกประเภทงานทั้ง 5 ประเภทนี้ และความสอดคล้องกับหลักเกณฑ์ การคำนวณราคากลางงานก่อสร้างของกรมบัญชีกลาง อธิบายโดยละเอียดในบทที่ 3 (หัวข้อ 3.3).

1.4.4 ขอบเขตด้านพื้นที่

ระบบรองรับการแยกข้อมูลรายจังหวัดทั้ง 77 จังหวัดของประเทศไทย โดยมีจังหวัด อ้างอิงเริ่มต้นเป็นกรุงเทพมหานคร (province ID = 10) และมีการเก็บราคา เปรียบเทียบ 6 ภูมิภาค ได้แก่ ภาคกลาง ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก ภาคใต้ และภาคตะวันตก.

1.4.5 ขอบเขตด้านช่วงเวลา

ข้อมูลย้อนหลังสำหรับการวิเคราะห์แนวโน้ม ครอบคลุมช่วงเวลา 10 เดือน ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2568 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2569 อ้างอิงจาก ดัชนี TPSO CMI [17].

1.4.6 ขอบเขตด้านวิธีการ

ในเชิงวิศวกรรมโยธา ระบบใช้หลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้างของ กรมบัญชีกลางเป็นกรอบในการคำนวณต้นทุนต่อหน่วย และอ้างอิงดัชนีราคาวัสดุ ก่อสร้างของสำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้าเป็นตัวชี้วัดแนวโน้มเชิง เวลา การวิเคราะห์เชิงสถิติใช้ค่าสถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การตรวจจับค่าผิดปกติด้วยวิธี z-score และการ วิเคราะห์เส้นแนวโน้มด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least-squares Regression). ในเชิงเทคโนโลยีสนับสนุนระบบดึงข้อมูลผ่านเทคนิค Web Scraping (@cloudflare/puppeteer, ScrapingBee API, unpdf สำหรับการอ่านเอกสาร PDF) และติดตั้งใช้งาน (Deploy) บน Cloudflare Workers ในฐานะระบบประมวลผลแบบ Edge Runtime เครื่องมือเหล่านี้มีบทบาท เป็นโครงสร้างพื้นฐานที่ทำให้ระบบทำงานได้ต่อเนื่อง มิใช่เป้าหมาย ของงานวิจัยโดยตรง.

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. **ด้านวิชาชีพวิศวกรรมโยธา:** ได้เครื่องมือสนับสนุนการ ประมาณราคาที่บูรณาการราคามาตรฐานภาครัฐกับราคาตลาดเข้าด้วยกัน วิศวกรประมาณราคา สถาปนิก และเจ้าหน้าที่โครงการสามารถใช้ระบบ ในการจัดทำบัญชีปริมาณงาน (BOQ) ได้รวดเร็วขึ้นและมีความน่าเชื่อถือ สูงขึ้นกว่าการสืบค้นด้วยมือทีละแหล่ง.

2. **ด้านการบริหารโครงการก่อสร้างภาครัฐ:** หน่วยงานเจ้าของ โครงการสามารถใช้ระบบเป็นข้อมูลสนับสนุนในการตรวจสอบราคากลาง เปรียบเทียบกับราคาตลาดจริงก่อนการประกาศประกวดราคา ลดความเสี่ยง ที่งบประมาณจะคลาดเคลื่อนจากต้นทุนจริง และเพิ่มความโปร่งใสใน กระบวนการจัดซื้อจัดจ้าง.

3. **ด้านวิชาการ:** ได้ระบบต้นแบบที่บูรณาการการรวบรวมข้อมูลราคา การจับคู่รายการวัสดุ การคำนวณต้นทุนต่อหน่วย และการวิเคราะห์ เชิงสถิติเข้าด้วยกัน เติมเต็มช่องว่างของงานวิจัยก่อนหน้าที่มัก ศึกษาเพียงส่วนใดส่วนหนึ่ง [12, 4, 10].

4. **ด้านการแบ่งปันข้อมูลและการต่อยอด:** ระบบเปิดให้ผู้พัฒนา และนักวิจัยภายนอกเรียกใช้ฐานข้อมูลราคาผ่านช่องทางมาตรฐานเพื่อ นำไปใช้ในเครื่องมือประมาณราคาอื่นหรือในงานวิจัยต่อยอด โดยไม่ต้อง ทำขั้นตอนรวบรวมข้อมูลซ้ำ.

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

BOQ บัญชีแสดงปริมาณงาน (Bill of Quantities) — เอกสารที่ แสดงรายการ ปริมาณ หน่วย และต้นทุนต่อหน่วยของวัสดุและงานสำหรับ โครงการก่อสร้าง

CMI ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้าง (Construction Materials Index) — ดัชนีที่สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้าเผยแพร่รายเดือน (ปีฐาน พ.ศ. 2563 = 100)

Canonicalization การจับคู่รายการวัสดุข้ามแหล่งข้อมูล โดย เทียบคุณลักษณะมาตรฐาน ได้แก่ ยี่ห้อ (Brand) ขนาด (Size) และ เกรด (Grade)

AI Agent ตัวแทนปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้แบบจำลองภาษาขนาดใหญ่ (Large Language Model) เป็นกลไกหลักในการให้เหตุผล (Reasoning Engine) เพื่อสืบค้นข้อมูลจากเว็บไซต์และตรวจสอบความ ถูกต้องก่อนบันทึก

LLM แบบจำลองภาษาขนาดใหญ่ (Large Language Model) ที่ฝึกจาก ข้อมูลข้อความขนาดใหญ่ สามารถทำความเข้าใจและสร้างข้อความได้

KV Store ระบบจัดเก็บข้อมูลแบบคีย์-ค่า (Key-Value Store) ที่ Cloudflare Workers ใช้เป็นทั้งแคชและฐานข้อมูล

Outlier ค่าผิดปกติ — ราคาที่เบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยเกิน $|z| > 2.0$ ซึ่งอาจเกิดจากการส่งเสริมการขายหรือข้อผิดพลาดใน การดึงข้อมูล

Modern Trade ผู้ค้าปลีกวัสดุก่อสร้างสมัยใหม่ที่มีสาขา ทั่วประเทศและเผยแพร่ราคาสินค้าผ่านเว็บไซต์

1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 5 บทหลักและภาคผนวก 3 ส่วน ดังนี้

- **บทที่ 1 บทนำ** — กล่าวถึงที่มาและความสำคัญของงานวิจัย ปัญหาวิจัย วัตถุประสงค์ ขอบเขต ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ นิยามศัพท์เฉพาะ และโครงสร้างของวิทยานิพนธ์.
- **บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม** — ทบทวนทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับ การคำนวณต้นทุนงานก่อสร้าง หลักการคำนวณต้นทุนวัสดุต่อหน่วย เทคโนโลยีการดึงข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.

- **บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย** — อธิบายระเบียบวิธีวิจัย เกณฑ์การคัดเลือกแหล่งข้อมูลภาคเอกชน 8 รายและประเภทงานก่อสร้าง 5 ประเภท สถาปัตยกรรมระบบ การออกแบบฐานข้อมูล กลยุทธ์การดึงข้อมูล กระบวนการจับคู่รายการวัสดุข้ามแหล่ง การคำนวณบัญชีปริมาณงาน และการวิเคราะห์เชิงสถิติ.
- **บทที่ 4 ผลการวิจัย** — นำเสนอผลการทำงานของระบบ ผลการ ดึงข้อมูล ผลการเปรียบเทียบราคาข้ามแหล่ง ผลการวิเคราะห์แนวโน้ม และตัวอย่างผลการคำนวณบัญชีปริมาณงาน.
- **บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ** — สรุปผลการวิจัย ข้อมูลเบื้องต้นของแต่ละแหล่งและสถานะการดึงข้อมูล (ตัวที่ดึงได้ และตัวที่ไม่สามารถดึงได้) ส่วนสนับสนุนเชิงวิชาการ ข้อจำกัด ของการศึกษา และข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต.
- **ภาคผนวก ก** ภาพหน้าจอระบบ
- **ภาคผนวก ข** ตัวอย่างรหัสคำสั่งสำคัญ (Source Code)
- **ภาคผนวก ค** ข้อมูลดิบที่ใช้ในระบบ

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม

2.1 บทนำ

บทนี้นำเสนอการทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ประกอบด้วย 5 ส่วนหลัก ได้แก่ (1) กระบวนการคำนวณต้นทุนงานก่อสร้าง (2) หลักการคำนวณต้นทุนวัสดุต่อหน่วย (3) ข้อจำกัดในการสืบค้นราคาวัสดุ ในปัจจุบัน (4) เทคโนโลยีที่ใช้ในการดึงข้อมูล และ (5) การทบทวนงานวิจัย ที่เกี่ยวข้องในอดีต ซึ่งจะถูกใช้เป็นพื้นฐานทางทฤษฎีในการออกแบบระบบ ของบทถัดไป.

2.2 กระบวนการคำนวณต้นทุนงานก่อสร้าง

การคำนวณต้นทุนงานก่อสร้างเป็นกระบวนการประมาณการค่าใช้จ่ายที่จำเป็นใน การดำเนินโครงการก่อสร้างให้แล้วเสร็จตามแบบและข้อกำหนด โดยอาศัยข้อมูล แบบก่อสร้าง รายการปริมาณงาน ราคาวัสดุ ค่าแรง และค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง [1]. การคำนวณต้นทุนมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการกำหนดราคากลาง การจัดทำงบประมาณ และการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของโครงการก่อสร้าง.

2.2.1 องค์ประกอบของต้นทุนงานก่อสร้าง

ต้นทุนงานก่อสร้างประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 4 ส่วน ได้แก่

1. **ต้นทุนวัสดุ (Material Cost)** — ค่าใช้จ่ายในการจัดหา วัสดุก่อสร้างที่ใช้เป็นองค์ประกอบหลักในงาน รวมถึงค่าขนส่ง ค่าจัดเก็บ และค่าเสียหายระหว่างการก่อสร้าง.

2. **ต้นทุนค่าแรง (Labor Cost)** — ค่าจ้างแรงงานที่ใช้ ในการก่อสร้าง ขึ้นอยู่กับระดับทักษะ ประสบการณ์ และระยะเวลาทำงาน.

3. **ต้นทุนเครื่องจักร (Equipment Cost)** — ค่าเช่า ค่าเสื่อมราคา และค่าน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องจักรที่ใช้.

4. **ต้นทุนทางอ้อม (Overhead Cost)** — ค่าใช้จ่ายในการ บริหารโครงการ ประกันภัย ภาษี และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ.

ในจำนวนต้นทุนทั้งหมด ต้นทุนวัสดุมีสัดส่วนสูงสุดในงานก่อสร้างทั่วไป โดยเฉลี่ยประมาณ 50–60% ของต้นทุนรวม [2, 7]. ดังนั้น ความถูกต้องในการประมาณราคาวัสดุจึงส่งผลโดยตรงต่อความแม่นยำ ของการประมาณงบประมาณโครงการ.

2.2.2 ต้นทุนวัสดุก่อสร้าง

ต้นทุนวัสดุก่อสร้าง (Material Cost) คือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการจัดหา วัสดุที่ใช้เป็นองค์ประกอบหลักในการก่อสร้าง เพื่อให้ได้ผลงานตามแบบ รูปแบบรายการ และข้อกำหนดทางวิศวกรรมที่กำหนดไว้ [1]. วัสดุก่อสร้างที่เกี่ยวข้องอาจจำแนกเป็น 2 กลุ่มหลัก ได้แก่

(ก) วัสดุโครงสร้าง — ปูนซีเมนต์ เหล็กเสริม ทราย หิน คอนกรีตผสมเสร็จ และวัสดุก่ออิฐฉาบปูน ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของ โครงสร้างอาคารและส่งผลต่อความแข็งแรง ความคงทน และความปลอดภัย ของสิ่งปลูกสร้าง.

(ข) วัสดุตกแต่ง — กระเบื้อง สี อุปกรณ์ประปาสุขภัณฑ์ อุปกรณ์ไฟฟ้า และวัสดุประกอบอาคารต่าง ๆ ซึ่งมีบทบาทต่อคุณภาพ ความสวยงาม และมูลค่าของสิ่งปลูกสร้าง.

นอกจากราคาซื้อวัสดุโดยตรงแล้ว ต้นทุนวัสดุยังครอบคลุมค่าใช้จ่าย ที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ เช่น ค่าขนส่งวัสดุจากแหล่งผลิตหรือแหล่งจำหน่ายมายัง พื้นที่ก่อสร้าง ค่าใช้จ่ายในการขนถ่ายและจัดเก็บวัสดุ ค่าเสียหายระหว่าง การก่อสร้างที่อาจเกิดจากการบรรทุก การขนย้าย หรือการเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสม [3].

2.3 หลักการคำนวณต้นทุนวัสดุต่อหน่วย

การคำนวณต้นทุนวัสดุต่อหน่วย (Material Unit Cost) เป็นกระบวนการสำคัญใน การประมาณราคาและวางแผนงบประมาณโครงการ [2]. มีวัตถุประสงค์ เพื่อให้ทราบค่าใช้จ่ายของวัสดุที่ใช้ต่อหนึ่งหน่วยของงาน เช่น ต่อตารางเมตร ต่อลูกบาศก์เมตร หรือต่อหน่วยรายการ ทั้งนี้ การคำนวณต้นทุนต่อหน่วย ต้องอาศัยข้อมูลปริมาณวัสดุที่ถูกต้อง ราคาวัสดุที่เป็นปัจจุบัน และการ วิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องอย่างเป็นระบบ.

2.3.1 แนวคิดต้นทุนต่อหน่วย

นักวิชาการหลายท่าน [2, 6] ให้นิยามต้นทุนต่อหน่วยว่า เป็น *“ต้นทุนที่เกิดขึ้นในการดำเนินงานหรือการผลิตเมื่อพิจารณาเฉลี่ย ต่อหนึ่งหน่วยของงานหรือผลผลิต”*. ต้นทุนต่อหน่วยช่วยให้ผู้ประมาณราคา สามารถเปรียบเทียบต้นทุนระหว่างรายการงานหรือโครงการที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน ได้อย่างเป็นระบบ และยังช่วยลดความซับซ้อนในการคำนวณต้นทุนรวมโดยการ แยกต้นทุนออกมาเป็นหน่วยย่อยที่สามารถวิเคราะห์และควบคุมได้ง่าย.

ต้นทุนต่อหน่วยจำแนกได้ 2 ประเภทหลัก ได้แก่

(ก) ต้นทุนวัสดุต่อหน่วย (Material Unit Cost) — ค่าใช้จ่าย เฉลี่ยของวัสดุที่ใช้ต่อหนึ่งหน่วยงาน เช่น ปูนซีเมนต์ที่ใช้ต่อลูกบาศก์เมตร ของคอนกรีต หรือกระเบื้องที่ใช้ต่อตารางเมตรของพื้น/ผนัง.

(ข) ต้นทุนแรงงานต่อหน่วย (Labor Unit Cost) — ค่าแรงงานเฉลี่ย ที่ใช้ต่อหนึ่งหน่วยงาน ขึ้นอยู่กับอัตราค่าแรงและผลิตภาพแรงงาน (Labor Productivity) ในแต่ละพื้นที่และแต่ละประเภทงาน [9].

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นเฉพาะต้นทุนวัสดุต่อหน่วย เนื่องจากเป็นองค์ประกอบ ที่ผันผวนตามตลาดและส่งผลกระทบต่อต้นทุนรวมมากที่สุด.

2.3.2 ขั้นตอนการคำนวณต้นทุนวัสดุต่อหน่วย

Ashworth **and** Perera [2] เสนอกระบวนการคำนวณต้นทุนวัสดุต่อหน่วยเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. **การกำหนดรายละเอียดวัสดุ (Material Specification)**
   ระบุชนิด ขนาด มาตรฐาน คุณสมบัติ และหน่วยวัดของวัสดุให้ชัดเจน เช่น “เหล็กเส้น SD40 ขนาด 12 มม.”, “ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท I ขนาด 50 กก./ถุง”, “คอนกรีตกำลังอัด 240 ksc”. ขั้นตอนนี้มีความสำคัญเนื่องจากวัสดุชนิดเดียวกันอาจมีคุณภาพ และราคาที่แตกต่างกันตามรายละเอียด.

2. **การสำรวจและรวบรวมข้อมูลราคา (Price Survey and Data Collection)**
   รวบรวมข้อมูลราคาจากแหล่งต่าง ๆ ได้แก่ ราคาจากผู้ผลิตหรือผู้แทน จำหน่ายรายใหญ่ ฐานข้อมูลออนไลน์ Modern Trade ราคากลางจาก กระทรวงพาณิชย์ และร้านค้าวัสดุท้องถิ่น พร้อมระบุวันที่สำรวจ และพื้นที่/จังหวัดอ้างอิง.

3. **การตรวจสอบความถูกต้องและคัดกรองข้อมูล (Data Validation and Screening)**
   ตรวจสอบความสมเหตุสมผลของข้อมูล โดยเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย ตลาดและวิเคราะห์ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อกำจัดค่าผิดปกติ (outlier) ที่อาจเกิดจากการพิมพ์ผิดหรือเป็นสินค้าโปรโมชัน ที่ไม่สะท้อนราคาทั่วไป [8].

4. **การปรับหน่วยวัดให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน (Unit Standardization)**
   แปลงราคาให้อยู่ในหน่วยเดียวกันก่อนการวิเคราะห์ เช่น เหล็กที่ 25,000 บาท/ตัน หากต้องการคำนวณเป็นบาท/กิโลกรัม:

$$\text{ราคาต่อกิโลกรัม} = \frac{25{,}000}{1{,}000} = 25 \text{ บาท/กก.} \tag{2.1}$$

   หรือเหล็กเส้นที่ขายเป็นเส้น ๆ ละ 685 บาท (เส้นละ 12 ม., weight per meter = 0.888 kg/m) แปลงเป็นบาท/ตัน:

$$\text{ราคาต่อตัน} = \frac{685}{12 \times 0.888} \times 1000 \approx 64{,}300 \text{ บาท/ตัน} \tag{2.2}$$

5. **การคำนวณต้นทุนวัสดุต่อหน่วย**
   คูณราคาต่อหน่วยพื้นฐานกับปริมาณการใช้ตามอัตราที่กำหนด ในแบบหรือมาตรฐาน รวมเป็นต้นทุนต่อหนึ่งหน่วยงาน.

2.3.3 ตัวอย่างการคำนวณต้นทุนวัสดุต่อหน่วย

ตัวอย่างต่อไปนี้นำมาจากหลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้างของทาง ราชการ [16] เพื่อแสดงให้เห็นโครงสร้างการคำนวณ

ตัวอย่างที่ 1: งานบุกระเบื้องผนังดินเผาเคลือบเซรามิคสีธรรมดา ขนาด 4”x4” (ไม่รวมงานฉาบปูนรองพื้น) คิดต่อ 1 ตารางเมตร

1. กระเบื้องเคลือบเซรามิค 4”x4” ปริมาณ 1.10 ตร.ม. 419 บาท/ตร.ม. = 460.90 บาท
2. ปูนกาวซีเมนต์ หนา 5 มม. ปริมาณ 5.25 กก. 3.14 บาท/กก. = 16.49 บาท
3. ปูนยาแนว ปริมาณ 0.38 กก. 3.14 บาท/กก. = 1.19 บาท
4. น้ำผสมปูน ปริมาณ 2.00 ลิตร 0.0164 บาท/ลิตร = 0.03 บาท
5. คิ้ว PVC (เล็ก) ปริมาณ 0.33 ม. 30 บาท/ม. = 9.90 บาท

รวมค่าวัสดุต่อ 1 ตร.ม. = 488.51 บาท/ตร.ม.
ค่างานต้นทุนรวม = ค่าวัสดุ + ค่าแรง = 488.51 + 201.00 = 689.51 บาท/ตร.ม.

ตัวอย่างที่ 2: เสาเอ็นและคานทับหลัง (ชนิดก่อเต็มแผ่น) ยาว 1 เมตร

ปริมาณวัสดุที่ใช้ตามหลักเกณฑ์ราคากลาง:

- ปูนซีเมนต์ผสม (มอก. 80/2550) 6.72 กก., ทรายหยาบ 0.02 ลบ.ม., หินเบอร์ 1-2 0.04 ลบ.ม., น้ำผสมปูน 3.60 ลิตร
- เหล็กเสริม RB 6 มม. 0.52 กก., RB 9 มม. 1.07 กก.
- ลวดผูกเหล็ก 0.05 กก., ไม้แบบ (คิด 50%) 0.15 ลบ.ฟ., ตะปู 0.08 กก.

รวมค่าวัสดุ = 169.71 บาท/ม., ค่างานรวม = 169.71 + 120.00 = 289.71 บาท/ม.

2.4 ข้อจำกัดในการสืบค้นราคาวัสดุในปัจจุบัน

แม้กระบวนการคำนวณต้นทุนต่อหน่วยจะมีหลักการที่ชัดเจน แต่ในทางปฏิบัติ ผู้ประมาณราคาในประเทศไทยยังเผชิญข้อจำกัดสำคัญหลายประการในการสืบค้น ราคาวัสดุ [3, 7] สามารถสรุปได้ 8 ประเด็น ดังต่อไปนี้

1. **ความกระจัดกระจายของแหล่งข้อมูลราคา** — ราคาวัสดุเผยแพร่ อยู่ในหลายแหล่ง เช่น เว็บไซต์ผู้จำหน่าย ร้านค้า Modern Trade เอกสารหน่วยงานภาครัฐ และฐานข้อมูลเฉพาะองค์กร.
2. **รูปแบบข้อมูลไม่เป็นมาตรฐาน** — ข้อมูลราคาในแต่ละแหล่ง มีรูปแบบที่ต่างกัน เช่น หน่วยจำหน่าย ชื่อวัสดุ ขนาดสินค้า และรูปแบบเอกสาร (PDF, HTML, JSON).

3. **ความแตกต่างระหว่างหน่วยจำหน่ายและหน่วยใช้งาน** — ราคาวัสดุที่เผยแพร่ในตลาดมักอยู่ในหน่วยจำหน่าย เช่น บาท/ถุง บาท/กล่อง หรือบาท/เส้น ในขณะที่การประมาณราคางานใช้หน่วย ใช้งาน เช่น บาท/ลบ.ม. หรือ บาท/ตร.ม.

4. **ความไม่ทันสมัยของข้อมูลราคา** — ราคาทางการอาจเผยแพร่ เป็นรายเดือนหรือรายไตรมาส ในขณะที่ตลาดเปลี่ยนแปลงรายวัน.

5. **ความแตกต่างของราคาตามพื้นที่** — ราคามีความแตกต่าง ตามภูมิภาค ระยะทางขนส่ง และโครงสร้างตลาดท้องถิ่น.

6. **ข้อจำกัดในการเข้าถึงข้อมูลดิจิทัล** — ข้อมูลบางส่วน อยู่ในรูปแบบ PDF หรือรูปภาพ ทำให้ดึงเชิงโครงสร้างได้ยาก.

7. **ความไม่สอดคล้องของชื่อและคุณลักษณะวัสดุ** — วัสดุ ชนิดเดียวกันอาจมีชื่อ ขนาด หรือเกรดต่างกันในแต่ละแหล่ง.

8. **กระบวนการกึ่งอัตโนมัติ** — ผู้ประมาณราคายังต้อง สืบค้น คัดเลือก แปลงหน่วย และปรับราคาเองเป็นส่วนใหญ่.

2.5 เทคโนโลยีที่ใช้ในการดึงข้อมูล

ปัจจุบัน การ เข้า ถึง ข้อมูล เพื่อ ใช้ใน การ วิจัย มี ความ สะดวก และ รวดเร็ว มาก ขึ้น จาก การ พัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศและระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยเฉพาะ เทคโนโลยีที่ใช้ในการดึงข้อมูล (Data Acquisition Technology) ซึ่งสามารถ จำแนกได้เป็น 4 ประเภทหลัก ดังนี้

2.5.1 Application Programming Interface (API)

API เป็นเทคโนโลยีที่ใช้สำหรับการเชื่อมต่อและแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างระบบ คอมพิวเตอร์หรือแอปพลิเคชันต่าง ๆ ผ่านชุดคำสั่งหรือโปรโตคอลที่กำหนดไว้ ล่วงหน้า ส่งข้อมูลในรูปแบบมาตรฐาน เช่น JSON หรือ XML ผ่านโปรโตคอล HTTP/HTTPS [14].

ข้อดี: ข้อมูลที่ได้มีโครงสร้างชัดเจน ความถูกต้องสูง สามารถ ทำงานอัตโนมัติได้ง่าย และมีความเสถียรหากผู้ให้บริการรักษามาตรฐาน API [5].

ข้อจำกัด: ต้องมีการลงทะเบียนเพื่อขอสิทธิ์ (API Key) บางกรณี มีค่าใช้จ่ายและข้อจำกัดจำนวนคำขอ ระบบขึ้นอยู่กับความเสถียรของผู้ให้บริการ.

2.5.2 การสกัดข้อมูลด้วยปัญญาประดิษฐ์ (AI-Based Data Extraction)

นำหลักการของปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้ในการดึงข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่ หลากหลาย ทั้ง Structured และ Unstructured Data โดยอาศัยเทคนิค Machine Learning, Natural Language Processing (NLP), และ Pattern Recognition [4].

ข้อดี: สามารถจัดการข้อมูลที่ซับซ้อนได้ เรียนรู้และปรับตัวตาม รูปแบบข้อมูลที่เปลี่ยนแปลง ลดความผิดพลาดจากการป้อนด้วยมนุษย์.

ข้อจำกัด: ต้องการข้อมูลตัวอย่างจำนวนมาก ใช้ทรัพยากรประมวลผลสูง และอาจมีปัญหาความโปร่งใสของผลลัพธ์ (Black Box).

2.5.3 Web Scraping

Web Scraping เป็นกระบวนการสกัดข้อมูลที่แสดงผลบนหน้าเว็บไซต์โดยอัตโนมัติ อาศัยการวิเคราะห์โครงสร้างของหน้าเว็บที่อยู่ในรูปแบบ HTML [12]. กระบวนการประกอบด้วย 7 ขั้นตอน: (1) กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขต (2) คัดเลือกแหล่งเว็บไซต์ (3) ศึกษารูปแบบและโครงสร้างของหน้าเว็บ (4) ออกแบบกระบวนการดึงข้อมูล (5) ดึงและบันทึกข้อมูล (6) ตรวจสอบความถูกต้อง (7) ปรับปรุงและอัปเดตข้อมูลอย่างต่อเนื่อง.

ข้อดี: สามารถดึงข้อมูลจากเว็บไซต์ที่ไม่มี API ได้ ครอบคลุม แหล่งข้อมูลที่หลากหลาย.

ข้อจำกัด: ขึ้นอยู่กับโครงสร้างเว็บไซต์ที่อาจเปลี่ยนแปลง มีข้อจำกัดด้านกฎหมาย/จริยธรรม (Terms of Service) และต้องจัดการกับ ระบบป้องกันบอท เช่น CAPTCHA, Rate Limit, IP block.

2.5.4 Database Integration (DI)

การบูรณาการฐานข้อมูล เชื่อมโยงและรวมข้อมูลจากฐานข้อมูลหลายแหล่งให้ทำงาน ร่วมกันเป็นระบบเดียว ผ่านเครื่องมือ Middleware, Data Warehouse, ETL [5].

ข้อดี: ลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล เพิ่มความสอดคล้อง สนับสนุน การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึก.

ข้อจำกัด: กระบวนการพัฒนาซับซ้อน ต้องอาศัยความรู้เฉพาะด้าน มีข้อจำกัดด้านความปลอดภัยและสิทธิ์การเข้าถึง.

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีต

Rao, Sharma **and** Kumar [12] ศึกษาการใช้ Web Scraping ในการรวบรวมข้อมูลราคาสินค้าโภคภัณฑ์ (commodity prices) จากแหล่งออนไลน์หลายแหล่ง พบว่าเทคนิค Web Scraping ช่วยแก้ไขปัญหาความล่าช้าและความไม่ต่อเนื่องของข้อมูลราคา และสามารถปรับปรุงฐานข้อมูลให้ทันสมัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ. อย่างไรก็ตาม งานวิจัยดังกล่าวมุ่งเน้นการวิเคราะห์ราคาสินค้าโภคภัณฑ์ในภาพรวม และ ยังไม่ได้เชื่อมโยงข้อมูลราคาเข้าสู่กระบวนการคำนวณต้นทุนต่อหน่วยในบริบทของงานก่อสร้างโดยตรง.

Chunyaem, Ladprasert **and** Termsaithong [4] นำเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการ จัดจำแนกและจัดโครงสร้างข้อมูลวัสดุก่อสร้างโดยอัตโนมัติ ซึ่งช่วยลดปัญหา ความไม่เป็นมาตรฐานของข้อมูลนำเข้าและเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการ ประมวลผลข้อมูล. งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่ขั้นตอน *classification* เป็นหลัก แต่ยังไม่ได้พัฒนาระบบที่เชื่อมโยงราคาจากหลายแหล่งเข้ากับ การคำนวณต้นทุนต่อหน่วย.

Liu, Zhao **and** Chen [10] สรุปภาพรวมงานวิจัยด้านการพยากรณ์ราคาวัสดุก่อสร้าง โดยใช้ข้อมูลเป็นฐาน (data-driven price forecasting) ชี้ให้เห็นว่า *คุณภาพของข้อมูลนำเข้า* มีผลอย่างยิ่งต่อความถูกต้องของผลลัพธ์ ที่พยากรณ์ได้. งานในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่ใช้แบบจำลองทางสถิติหรือ deep learning เช่น ARIMA, LSTM, หรือ Gradient Boosting แต่ยังขาดการนำผล การวิเคราะห์ราคามาประยุกต์ในระดับปฏิบัติการของงานประมาณราคา.

Lee **and** Yun [8] เสนอวิธีการคัดกรองข้อมูลผิดปกติ (outlier detection) ในข้อมูลราคาวัสดุก่อสร้างโดยใช้ Multivariate Z-Score Analysis สำหรับ การกำจัดราคาที่เบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยเกิน $\pm 2\sigma$ ซึ่งงานวิจัยนี้ นำมาประยุกต์ใช้ในขั้นตอน data validation ของระบบ.

Elmohr, Saied **and** Mahmoud [7] ศึกษาความน่าเชื่อถือของแหล่งข้อมูลราคาวัสดุ ก่อสร้างเพื่อใช้ในการประมาณราคา พบว่าแหล่งข้อมูลที่ผ่านการตรวจสอบ และมีรอบการอัปเดตสม่ำเสมอจะให้ความแม่นยำสูงกว่า งานวิจัยนี้สนับสนุน แนวคิดการรวบรวมข้อมูลจากหลายแหล่งและการเปรียบเทียบ cross-validation.

Yao **andothers** [15] นำเสนอ ReAct framework ซึ่งเป็นแนวทางการใช้ LLM (Large Language Model) เป็น reasoning engine ที่สลับระหว่างการ *reason* (วางแผน) และ *act* (เรียก tool) เพื่อแก้ปัญหา ที่ต้องการข้อมูลจากภายนอก. งานวิจัยนี้เป็นรากฐานของ AI Agent Research ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยปรับใช้ loop: Observe $\rightarrow$ Plan $\rightarrow$ Act $\rightarrow$ Validate สำหรับการสืบค้นราคาวัสดุก่อสร้างจากเว็บไซต์ที่ไม่มี public API.

Nakano **andothers** [11] ศึกษาการใช้ LLM ในการ browse เว็บและสกัดข้อมูล จากหน้าเว็บโดยอัตโนมัติ พบว่า LLM สามารถเข้าใจโครงสร้าง HTML และ สกัดข้อมูลที่ต้องการได้แม้ไม่มี structured API ซึ่งสอดคล้องกับ กลยุทธ์ AI Agent Research ในงานวิจัยนี้ที่ใช้ LLM อ่านหน้าสินค้า และสกัดราคาจากเว็บไซต์ค้าปลีกที่มีระบบป้องกันบอท.

2.6.1 ช่องว่างของงานวิจัยที่ผ่านมา

ตารางที่ 2.1 สรุปการเปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ในมิติสำคัญ 6 ด้าน.

ตารางที่ 2.1: เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

งานวิจัย	Multi-source	BOQ	Outlier	Spatial	AI Agent	Thai context
Rao (2015)	✓	×	×	×	×	×
Chunyaem (2019)	×	×	×	×	×	✓
Liu (2024)	×	×	×	×	×	×
Lee & Yun (2024)	×	×	✓	×	×	×
Shen (2021)	✓	×	×	×	×	×
Kim (2022)	✓	×	×	×	×	×
Yao (2023)	×	×	×	×	✓	×
งานวิจัยนี้	✓	✓	✓	✓	✓	✓

จากการวิเคราะห์งานวิจัยข้างต้นสามารถสรุปช่องว่าง (research gap) ได้ดังนี้

- งานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นเฉพาะส่วนใดส่วนหนึ่งของกระบวนการ เช่น Web Scraping, AI Classification, Outlier Detection, หรือ Price Forecasting แต่ยังขาดงานวิจัยที่ *บูรณาการกระบวนการ ทั้งหมด* เข้าไว้ในระบบเดียว.
- ยังไม่มีงานวิจัยในบริบทประเทศไทยที่นำราคาจากแหล่งภาครัฐ (TPSO, CGD, DIT) มาเปรียบเทียบเชิงระบบกับราคาตลาดของ Modern Trade ที่ครอบคลุมหลายเจ้าใหญ่.
- ยังขาดการเชื่อมโยงระหว่างข้อมูลราคาที่ดึงได้กับการคำนวณ BOQ ตามหลักเกณฑ์ราคากลางของภาครัฐโดยอัตโนมัติ.
- ยังไม่มีระบบที่รองรับการวิเคราะห์ *เชิงพื้นที่* ของ ราคาวัสดุข้ามจังหวัดหรือข้ามภาคโดยใช้ข้อมูลจริงครบ 77 จังหวัด.

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเติมเต็มช่องว่างทั้ง 4 ประเด็นข้างต้น โดยพัฒนาระบบ ที่ครอบคลุมทุกขั้นตอน ตั้งแต่การดึงข้อมูล การ canonicalize, การคำนวณ BOQ, และการวิเคราะห์เชิงสถิติเชิงพื้นที่/เวลา. นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ยัง นำเสนอ *AI Agent Research* เป็นกลยุทธ์ที่ 4 ในการดึงข้อมูลจาก แหล่งที่ไม่สามารถ scrape ได้ด้วยวิธีอัตโนมัติ โดยใช้ LLM (Large Language Model) เป็น reasoning engine ในการสืบค้นและตรวจสอบราคาก่อนบันทึกเข้าระบบ ซึ่งเป็นแนวทางที่ยังไม่ปรากฏในงานวิจัยก่อนหน้า. รายละเอียดของวิธีการ จะนำเสนอในบทถัดไป.

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ภาพรวมของระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้ระเบียบวิธีวิจัยและพัฒนา (Research and Development: R&D) ผสมผสานกับการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) โดยแบ่ง กระบวนการดำเนินงานออกเป็น 5 ระยะตามแนวทางวิศวกรรมซอฟต์แวร์ (Software Engineering) ดังนี้

1. **ระยะศึกษาและกำหนดความต้องการของระบบ (Requirements Analysis Phase)** — ทบทวนวรรณกรรม สัมภาษณ์ผู้ประมาณราคาและ ศึกษาเอกสารหลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้างของกรมบัญชีกลาง เพื่อกำหนดขอบเขตของระบบ ระบุแหล่งข้อมูลราคา รายการวัสดุ และ ประเภทงานก่อสร้างที่ระบบต้องรองรับ ผลที่ได้ถูกแปลงเป็นข้อกำหนด ของระบบในรูปของรายการความต้องการเชิงหน้าที่ (Functional Requirements) และความต้องการที่ไม่ใช่เชิงหน้าที่ (Non-functional Requirements).

2. **ระยะ ออกแบบ สถาปัตยกรรม ระบบ (System Architecture Design Phase)** — ออกแบบโครงสร้างระบบแบบ Edge-first Serverless แผนผังการไหลของข้อมูล (Data Flow Diagram) โครงสร้างฐานข้อมูล แบบคีย์-ค่าและส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (API).

3. **ระยะพัฒนาระบบ (Implementation Phase)** — พัฒนาส่วนหน้า (Front-end) ส่วนหลัง (Back-end) และส่วนรวบรวมข้อมูล (Data Collector) ตามสถาปัตยกรรมที่ออกแบบไว้.

4. **ระยะ ทดสอบ และ ตรวจ สอบ ความ ถูก ต้อง (Testing and Validation Phase)** — ทดสอบ การ ทำงาน ของ ระบบ ใน ระดับ หน่วย ย่อย (Unit Test) และ ระ ดับ บูรณ า การ (Integration Test) พร้อมตรวจสอบความถูกต้อง ของผลการคำนวณกับข้อมูลอ้างอิง.

5. **ระยะประเมินผลและปรับปรุง (Evaluation and Refinement Phase)** — วิเคราะห์ผลการรวบรวมข้อมูลและผลการคำนวณ พร้อม ปรับปรุงระบบให้ตอบสนองวัตถุประสงค์ของงานวิจัย.

3.2 เกณฑ์การคัดเลือกแหล่งข้อมูลภาคเอกชน

แม้ในประเทศไทยจะมีผู้ค้าปลีกวัสดุก่อสร้างเป็นจำนวนมาก แต่งานวิจัยนี้ ได้คัดเลือกผู้ประกอบการเพียง 8 ราย โดยอาศัยเกณฑ์ที่สามารถวัดได้และ สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการสร้างฐานข้อมูลราคาที่เปรียบเทียบได้ระหว่าง แหล่งข้อมูล. เกณฑ์การคัดเลือกประกอบด้วย 5 ข้อหลัก ดังนี้

1. **เป็นผู้ค้าปลีกวัสดุก่อสร้างสมัยใหม่ (Modern Trade) ระดับประเทศ** — มีสาขาให้บริการครอบคลุมหลายภูมิภาค ไม่ใช่ ผู้ค้าปลีกระดับท้องถิ่น เพื่อให้ข้อมูลราคามีความเป็นตัวแทนของตลาดภาพรวม.

2. **เผยแพร่ราคาสินค้าผ่านเว็บไซต์อย่างเปิดเผย** — มีหน้า รายละเอียดสินค้า (Product Detail Page) ที่ผู้บริโภคทั่วไป เข้าถึงได้โดยไม่ต้องเข้าสู่ระบบสมาชิก เป็นเงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับการรวบรวมข้อมูลด้วยวิธีอัตโนมัติ.

3. **มีรายการวัสดุที่ครอบคลุมหมวดวัสดุหลักของงานวิจัย** — จำหน่ายวัสดุครบทั้ง 6 หมวดที่ระบุในขอบเขต ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ทรายและหิน เหล็กเสริม กระเบื้อง สี อิฐ และคอนกรีตผสมเสร็จ (อย่างน้อยส่วนใหญ่ของหมวด) เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบราคา ข้ามแหล่งได้อย่างมีนัยสำคัญ.

4. **มีส่วนแบ่งทางการตลาดในระดับที่มีนัยสำคัญ** — เป็นที่ รู้จักในหมู่ผู้รับเหมาก่อสร้างและวิศวกรประมาณราคา มีจำนวนสาขา ตั้งแต่ 10 สาขาขึ้นไป หรือมีการประกาศตัวเลขรายได้ในรายงาน ประจำปีของบริษัทจดทะเบียน.

5. **มีนโยบายการเปิดเผยราคาที่สม่ำเสมอ** — ราคาสินค้าบน เว็บไซต์ได้รับการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องและสามารถสืบค้นย้อนหลัง ได้ ไม่ใช่ราคาที่เปลี่ยนตามการส่งเสริมการขายชั่วคราวเป็นหลัก.

จากเกณฑ์ดังกล่าว ผู้ค้าปลีกที่ผ่านเกณฑ์ทั้ง 5 ข้อและถูกคัดเลือกเข้าสู่ งานวิจัยมีจำนวน 8 ราย ดังแสดงในตารางที่ 3.1.

ตารางที่ 3.1: ผู้ค้าปลีกวัสดุก่อสร้างสมัยใหม่ที่คัดเลือกเข้าสู่งานวิจัย

ลำดับ	ผู้ค้าปลีก	เหตุผลการคัดเลือก (โดยย่อ)
1	โฮมโปร (HomePro)	ผู้นำตลาดวัสดุตกแต่งบ้าน มีสาขามากกว่า 90 แห่ง เปิด JSON API
2	เมกาโฮม (MegaHome)	ในเครือโฮมโปร เน้นวัสดุก่อสร้างหนัก เปิด JSON API
3	บุญถาวร (Boonthavorn)	ผู้นำตลาดกระเบื้องและสุขภัณฑ์
4	ไทวัสดุ (Thai Watsadu)	ในเครือเซ็นทรัล มีสาขาทั่วประเทศ
5	โกลบอลเฮ้าส์ (Global House)	ผู้นำตลาดต่างจังหวัด มีสาขาภูมิภาคครอบคลุม
6	ดูโฮม (DoHome)	บริษัทจดทะเบียนในตลาดหลักทรัพย์ มีสาขามากกว่า 30 แห่ง
7	เอสซีจีโฮม (SCG Home)	ในเครือ SCG ครอบคลุมวัสดุโครงสร้างหลัก
8	บีเอ็นบีโฮม (BnB Home)	ผู้ค้าปลีกในเครือบุญถาวร เน้นภาคเหนือและอีสาน

ผู้ค้าปลีกที่ไม่เข้าเกณฑ์ ได้แก่ ร้านวัสดุท้องถิ่นที่ไม่มีเว็บไซต์ ที่เปิดเผยราคาอย่างเป็นระบบ ผู้ค้าส่งเฉพาะกลุ่ม (B2B) ที่ไม่เปิดเผย ราคาต่อสาธารณะ และผู้ค้าปลีกที่จำหน่ายวัสดุเฉพาะหมวดเดียว เช่น ผู้ จำหน่ายเฉพาะกระเบื้องหรือเฉพาะอุปกรณ์ไฟฟ้า.

3.3 เกณฑ์การคัดเลือกประเภทงานก่อสร้าง

ประเภทงานก่อสร้างที่ระบบรองรับ จำนวน 5 ประเภท ได้คัดเลือกจากเกณฑ์ ต่อไปนี้

1. **เป็นงานหลักของอาคารทั่วไป** — ครอบคลุมทั้งงานโครงสร้าง (เหล็กเสริม เสาเอ็น/คานทับหลัง) และงานสถาปัตยกรรม (ก่ออิฐ บุกระเบื้อง ทาสี) ซึ่งเป็นงานพื้นฐานที่ปรากฏในโครงการก่อสร้าง อาคารแทบทุกโครงการ.
2. **มีหลักเกณฑ์การคำนวณที่กำหนดไว้ในมาตรฐานของกรมบัญชีกลาง** — ทั้ง 5 ประเภทงานปรากฏในหลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้าง ตุลาคม พ.ศ. 2560 [16] จึงสามารถนำผลการคำนวณของระบบ ไปเปรียบเทียบกับราคากลางทางราชการได้โดยตรง.
3. **ใช้วัสดุที่อยู่ในขอบเขตของระบบ 27 รายการ** — ทุก ประเภทงานสามารถคำนวณได้จากวัสดุที่ระบบรวบรวมราคาไว้แล้ว ไม่ต้อง อาศัยวัสดุพิเศษเพิ่มเติม.
4. **มีปริมาณการใช้งานสูงในตลาดก่อสร้างไทย** — เป็นงานที่ ผู้ประมาณราคาต้องคำนวณบ่อยที่สุดในการจัดทำบัญชีแสดงปริมาณงาน ของอาคารพักอาศัยและอาคารพาณิชย์ทั่วไป.
5. **มีสูตรการคำนวณที่เป็นมาตรฐานและสามารถตรวจสอบได้** — ทั้ง 5 ประเภทงานมีสูตรการคำนวณที่ขึ้นต่อปริมาณวัสดุต่อหน่วย (Material Consumption per Unit) ที่ชัดเจนเหมาะกับการตรวจสอบ ความถูกต้องของระบบโดยเปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยมือ.

ประเภทงานอื่น ๆ ที่ไม่ได้รวมในงานวิจัยนี้ เช่น งานหลังคา งานระบบไฟฟ้า และระบบประปา งานติดตั้งกระจก และงานฉาบฝ้าเพดาน ถูกตัดออกเนื่องจาก ใช้วัสดุนอกขอบเขต 27 รายการของระบบ หรือมีหลักเกณฑ์การคำนวณที่ขึ้น ต่อรายละเอียดเฉพาะของผลิตภัณฑ์เป็นหลัก ซึ่งอยู่นอกขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้.

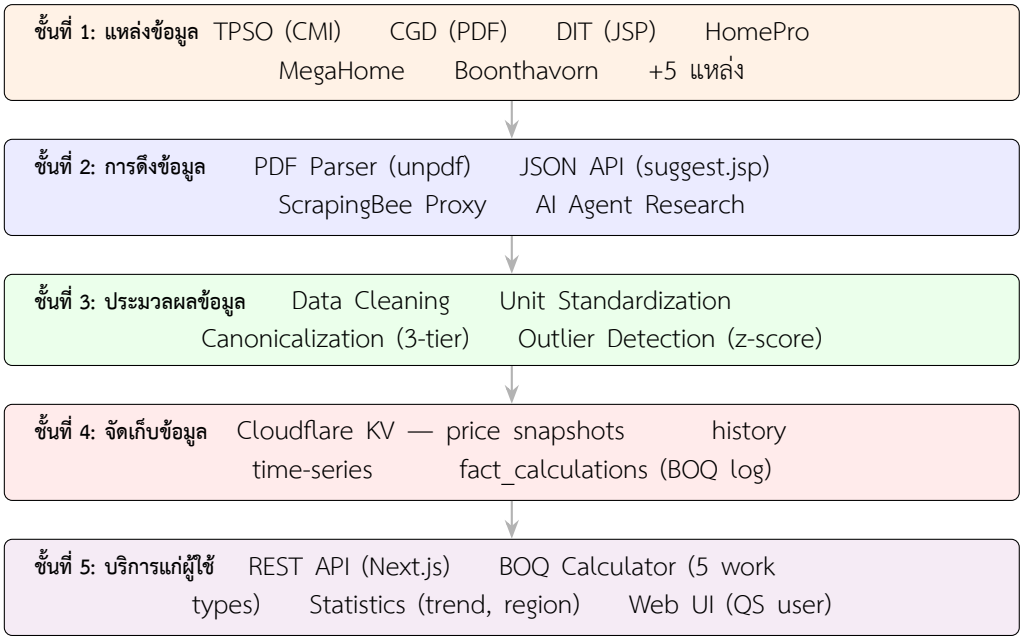
3.3.1 สถาปัตยกรรมระบบ

ระบบที่พัฒนาขึ้นใช้สถาปัตยกรรมแบบ *edge-first serverless* โดยรัน บน Cloudflare Workers ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มที่กระจาย server ไปยัง data center กว่า 300 แห่งทั่วโลก [5]. การออกแบบนี้ ส่งผลให้ระบบมี *cold-start latency เป็นศูนย์* และสามารถตอบ request ได้ในหลักมิลลิวินาที (ค่าเฉลี่ย < 50 ms) จากทุกที่ในโลก ซึ่งเหมาะสมกับงานวิจัยที่ต้องการให้ผู้ประมาณราคาเข้าถึงข้อมูลได้ ตลอดเวลา.

ระบบประกอบด้วย 5 ชั้นการทำงาน (layers) ดังที่แสดงในตารางที่ 3.2.

ตารางที่ 3.2: 5 ชั้นของระบบ

ชั้น	หน้าที่	เทคโนโลยี
1. Input	รับข้อมูลจาก 11 แหล่ง (3 รัฐ + 8 retail)	เว็บไซต์ + PDF + JSON API
2. Acquire	4 กลยุทธ์ดึงราคา	Puppeteer, ScrapingBee, unpdf, AI Agent
3. Normalize	Canonicalization + Unit Conversion	TypeScript: brand/ size/ grade matcher
4. Store	เก็บ ใน KV cache + history snapshot	Cloudflare KV
5. Serve	เผยแพร่เป็น REST API + UI	Next.js 16 + React 19



รูปที่ 3.1: สถาปัตยกรรม ระบบ รวบรวม และ คำนวณ ราคา วัสดุ ก่อสร้าง แบบ 5 ชั้น (5-layer architecture). ชั้นล่างสุดให้บริการต่อวิศวกรประมาณราคา (Quantity Surveyor) ผู้เป็นกลุ่มผู้ใช้หลัก.

3.3.2 การเลือกเทคโนโลยี

ตารางที่ 3.3 เปรียบเทียบเทคโนโลยีที่เลือกใช้กับทางเลือก อื่น ๆ พร้อมเหตุผลในการเลือก.

ตารางที่ 3.3: การเลือกเทคโนโลยีของระบบ

ส่วน	เทคโนโลยีที่เลือก	เหตุผล
Frontend Framework	Next.js 16 + TypeScript	รองรับ Server-Side Rendering ที่ edge, type-safe, มี ecosystem ใหญ่
Styling	Tailwind CSS 4	Utility-first, ลดขนาด CSS bundle, รองรับ JIT compilation
Visualization	Recharts	React-native, ทำงาน ร่วม กับ Next.js ได้ดี, รองรับ responsive chart
Internationalization	next-intl	รองรับ App Router ของ Next.js, type-safe
Backend	Next.js Route Handlers (Edge)	รวม FE+BE ในโปรเจกต์เดียว, รัน edge runtime
Database	Cloudflare KV	Lookup เร็ว < 20 ms ทั่วโลก, ราคาประหยัด, scale-to-zero
Web Scraping	@cloudflare/ puppeteer + ScrapingBee	Headless browser + residential proxy เลี่ยง bot challenge
PDF Parsing	unpdf	WASM-based, ทำงานใน Workers runtime ได้
Scheduler	GitHub Actions cron	Native CI/CD integration, ฟรีสำหรับ public repo
Hosting	Cloudflare Workers	Edge runtime, 0 cold start, 100k req/day free tier

หมายเหตุ: ระบบไม่ได้ใช้ FastAPI/Python เนื่องจาก Cloudflare Workers ไม่รองรับ Python runtime ดั้งเดิม และ Next.js Route Handlers ให้ ประสิทธิภาพและความสะดวกในการติดตั้งใช้งาน (Deploy) ที่ดีกว่าในกรณีนี้ [5, 14].

3.4 การออกแบบฐานข้อมูล

ระบบใช้ *Cloudflare KV (Key-Value Store)* แทน relational database แบบดั้งเดิม เนื่องจากการเข้าถึงข้อมูลหลักของระบบเป็นการ lookup ด้วย ชุดของ (source, materialId, province) ไม่จำเป็นต้องทำการ JOIN ข้อมูลที่ซับซ้อน. KV ตอบสนองในระดับ 5–20 ms ทั่วโลก ซึ่งเร็วกว่า PostgreSQL หรือ MySQL ในงาน lookup ลักษณะนี้.

3.4.1 โครงสร้าง Key-Value

ระบบจัดเก็บข้อมูล 3 ประเภทหลักใน KV ดังตารางที่ 3.4.

ตารางที่ 3.4: โครงสร้าง KV Keys ที่ใช้ในระบบ

ประเภท	Key Pattern	Value	TTL
Live Cache	{source}: {materialId}: {province}	{price, fetchedAt}	14–30 d
History	history: {source}: {materialId}: {province}	[{date, price}, ...]	365 d
Calculations	calc:{uuid}	CalcResult + savedAt timestamp	365 d

Live Cache เก็บราคาปัจจุบันที่ดึงล่าสุดจากแต่ละแหล่ง โดยมี อายุการเก็บ (TTL) ตั้งแต่ 14 ถึง 30 วันตามประเภทแหล่ง — แหล่งภาครัฐ ที่อัปเดตช้า (CGD รายไตรมาส) ใช้ TTL ยาวกว่า, แหล่ง retail ที่ราคา เปลี่ยนเร็ว (HomePro, MegaHome) ใช้ TTL สั้นกว่า.

History เก็บ time-series ของราคา เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ แนวโน้ม โดยมี cron job เก็บ snapshot รายสัปดาห์ทุกวันจันทร์ 03:17 UTC.

Calculations เก็บผลการคำนวณ BOQ ของผู้ใช้ทุกครั้ง เพื่อใช้ เป็น dimension table fact_calculations สำหรับการวิเคราะห์ เชิงรวม (aggregate analytics) ในอนาคต.

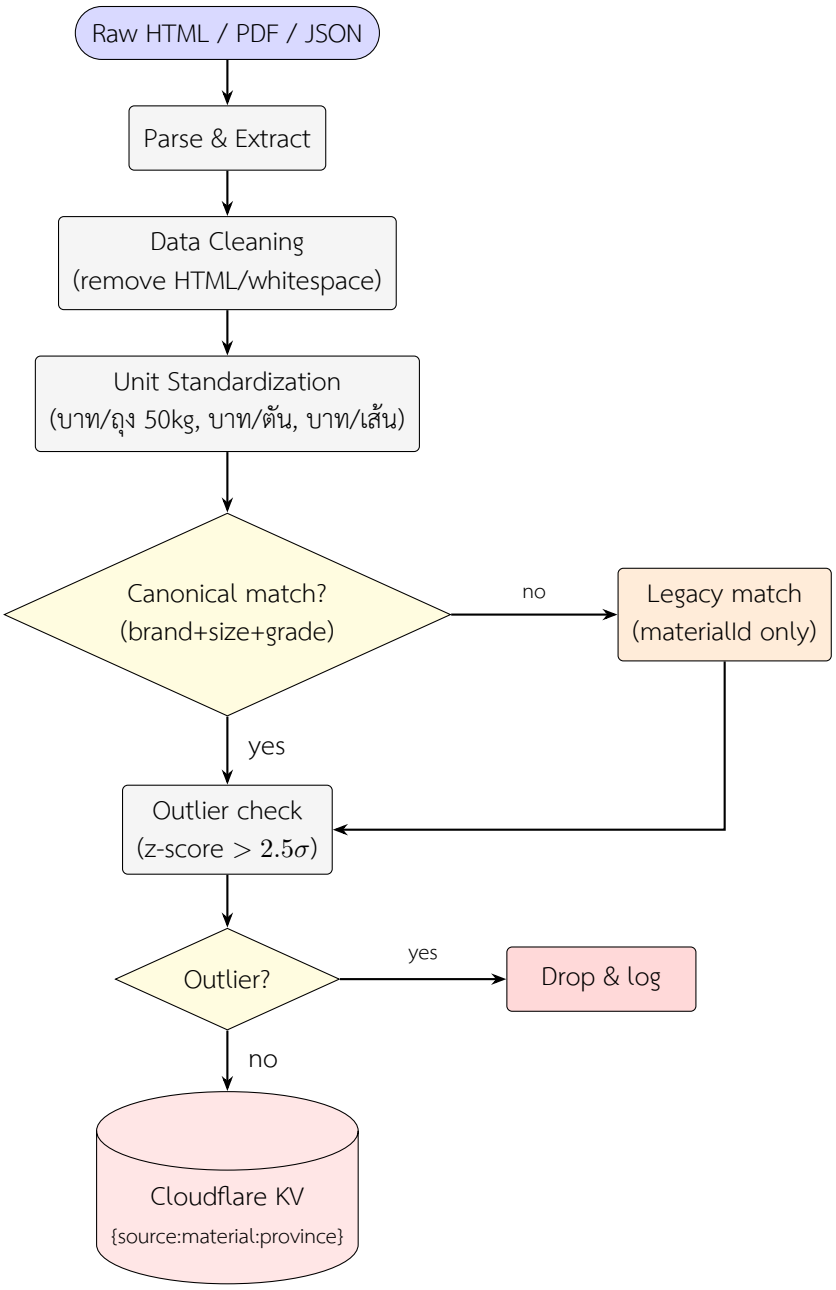
3.4.2 Mapping กับ Star Schema

แม้ระบบใช้ KV เป็น primary storage แต่โครงสร้างเชิงตรรกะของข้อมูล ยังคงสอดคล้องกับ Star Schema มาตรฐาน ดังตารางที่ 3.5.

ตารางที่ 3.5: Mapping ระหว่าง KV Keys กับ Star Schema เชิงตรรกะ

ตาราง (Schema)	ประเภท	การจัดเก็บใน KV
dim_materials	Dimension	TypeScript const ใน src/data/materials.ts (27 รายการ + MOC code)
dim_provinces	Dimension	TypeScript const (77 จังหวัด)
dim_retailers	Dimension	TypeScript const (11 แหล่ง)
dim_time	Dimension	ISO date strings ใน history keys
fact_prices	Fact	Live cache + history KV keys
fact_calculations	Fact	calc:{uuid} keys

3.5 การดึงและจัดการข้อมูล



รูปที่ 3.2: Pipeline การประมวลผลข้อมูลราคาวัสดุ (data pipeline). กระบวนการครอบคลุมตั้งแต่การดึงข้อมูลดิบจนถึงการบันทึกลงในระบบจัดเก็บ พร้อมจุดควบคุมคุณภาพข้อมูล 2 จุด คือ canonical matching และ outlier detection.

3.5.1 สี่กลยุทธ์การดึงข้อมูลราคา

ระบบใช้ 4 กลยุทธ์ที่แตกต่างกันเพื่อรองรับลักษณะของแต่ละแหล่งข้อมูล ดังนี้

กลยุทธ์ที่ 1: PDF Parsing

ใช้กับ TPSO และ CGD ที่เผยแพร่ข้อมูลในรูปแบบ PDF rate report. ระบบใช้ library unpdf ซึ่งเป็น WASM-based PDF parser ที่รัน Cloudflare Workers ได้. ขั้นตอน:

1. Download PDF จาก URL ของแหล่ง
2. Extract ข้อความจากทุกหน้าด้วย unpdf.extractText()
3. ใช้ Regular Expression (RegEx) จับคู่บรรทัดที่ตรงกับ material code และ unit price
4. Validate ราคาที่จับได้ (ต้องเป็นตัวเลขบวก, อยู่ในช่วงที่ สมเหตุสมผล)
5. Cache ลง KV

กลยุทธ์ที่ 2: JSON API (suggest.jsp)

HomePro และ MegaHome เปิดเผย endpoint /service/search/suggest.jsp?q={keyword} ที่ส่งคืนข้อมูล สินค้าในรูปแบบ JSON structured ระบบเรียก endpoint นี้โดยตรงด้วย HTTP GET พร้อม headers ที่จำลองเบราว์เซอร์ปกติ.

ตัวอย่างการเรียก:

```
const url = `https://www.homepro.co.th/service/search/suggest.jsp?q=${q}`;
const response = await fetch(url, {
  headers: {
    accept: "application/json",
    "user-agent": "Mozilla/5.0 ...",
    referer: "https://www.homepro.co.th/",
  },
  signal: AbortSignal.timeout(10_000),
});
const data = await response.json();
const items = data.items;  // -> [{item_name, price_display, ...}, ...]
```

Listing 3.1: การเรียก JSON API

กลยุทธ์ที่ 3: ScrapingBee Proxy + Browser Rendering

สำหรับเว็บไซต์ที่ block direct scraping (เช่น Thai Watsadu, BnB Home) ระบบใช้ ScrapingBee เป็น residential proxy ที่ส่ง request ผ่าน IP ของบ้านในประเทศไทย เพื่อหลีกเลี่ยง Cloudflare bot challenge. หาก ScrapingBee ไม่สำเร็จ ระบบจะใช้ทางเลือกสำรองไปยัง Cloudflare Browser Rendering (@cloudflare/puppeteer) ที่เปิดเบราว์เซอร์แบบไม่มี ส่วนติดต่อผู้ใช้ (Headless Chrome) ในตัว Workers.

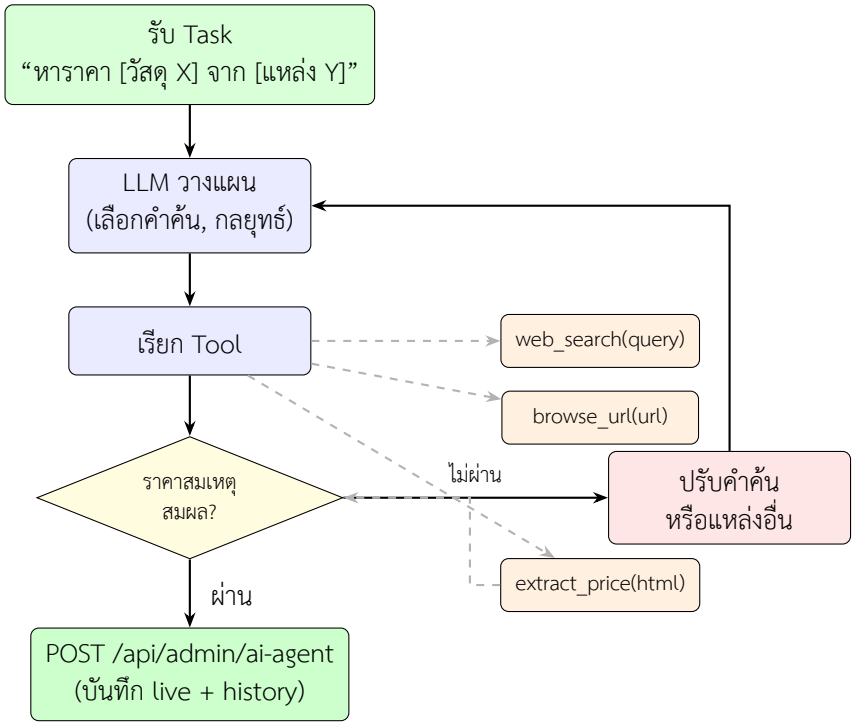
ลำดับการใช้กลยุทธ์สำรองของผู้ค้าปลีก:

1. ScrapingBee + JSON-LD canonical extraction
2. ScrapingBee + RegEx price extraction
3. Cloudflare Browser Rendering (Puppeteer) + DOM scraping
4. คืน null และส่งต่อให้ AI agent research

กลยุทธ์ที่ 4: AI Agent Research

ภาพรวม AI Agent Research เป็นกลยุทธ์ที่ออกแบบมาเพื่อรวบรวมราคาจากแหล่งที่ ไม่สามารถดึงข้อมูลด้วยวิธีอัตโนมัติได้ ไม่ว่าจะเป็นเว็บไซต์ที่มีระบบ ป้องกันบอทระดับสูง (เช่น Global House, Thai Watsadu, BnB Home, SCG Home, Dohome) หรือแหล่งข้อมูลภาครัฐที่เผยแพร่ข้อมูลในรูปแบบ ที่ไม่มี API (เช่น CGD ที่ใช้ anti-bot PDF, DIT ที่ URL deprecated).

สถาปัตยกรรมของ AI Agent AI Agent ในงานวิจัยนี้ไม่ใช่ระบบ AI ที่ฝึกสอนใหม่ แต่เป็นการนำ *Large Language Model (LLM)* ที่มีอยู่แล้ว (เช่น Claude, GPT-4) มาทำหน้าที่เป็น *reasoning engine* ที่ควบคุม tool-use loop ดังแสดงในรูปที่ 3.3:



รูปที่ 3.3: วงจรการทำงานของ AI Agent Research (Observe-Plan-Act-Validate loop). LLM ทำหน้าที่เป็น reasoning engine ที่ควบคุมการเรียก tool และตรวจสอบความสมเหตุสมผลของราคาก่อนบันทึกเข้าระบบ.

1. **Observe:** Agent รับ task ว่า "หาราคา [วัสดุ X] จาก [แหล่ง Y]" พร้อม context ของวัสดุ (ชื่อ, ขนาด, เกรด, คำค้นหาที่แนะนำ)

2. **Plan:** LLM วางแผนว่าจะค้นหาด้วยคำใด และจะตรวจสอบ ผลลัพธ์อย่างไร (เช่น ตรวจว่าขนาดตรงกับ canonical spec หรือไม่)

3. **Act:** Agent เรียก tool ที่มีให้ใช้ ได้แก่:

   - web_search(query) — ค้นหาราคาจาก Google
   - browse_url(url) — เปิดหน้าเว็บและอ่านเนื้อหา
   - extract_price(html) — สกัดราคาจาก HTML

4. **Validate:** LLM ตรวจสอบว่าราคาที่ได้สมเหตุสมผลหรือไม่ โดยเปรียบเทียบกับ CGD baseline (ควรอยู่ในช่วง 0.5–3.0 เท่า) และตรวจสอบว่าหน่วยตรงกัน (เช่น บาท/ถุง 50 กก. ไม่ใช่ บาท/กก.)

5. **Submit:** เมื่อ validate ผ่าน Agent เรียก POST /api/admin/ai-agent เพื่อบันทึกราคาเข้าระบบ

Endpoint /api/admin/ai-agent Endpoint นี้ออกแบบมาเฉพาะสำหรับรับข้อมูลจาก AI Agent โดยมีความแตกต่าง จาก /api/admin/upload-prices ตรงที่เขียนราคาลงทั้ง 2 ที่พร้อมกัน:

1. **Live price KV key** ({source}:{material}:{province}) — ใช้สำหรับหน้าเปรียบเทียบราคาและ BOQ calculator

2. **History time-series key** (history:{source}:{material}:{province}) — ใช้สำหรับหน้าแนวโน้มราคา

ตัวอย่าง request ที่ AI Agent ส่ง:

```
POST /api/admin/ai-agent
x-admin-token: <token>
{
  "source": "globalhouse",
  "province": 10,
  "prices": {
    "CEMENT_001": 189,
    "TILE_001": 238,
    "REBAR_DB12": 26136
  }
}
```

Listing 3.2: ตัวอย่าง request จาก AI Agent

กลยุทธ์การกำหนดราคาสำหรับแหล่งที่ไม่มี API สำหรับแหล่งที่ไม่มี API และ scraping ไม่ได้ (Global House, Thai Watsadu, BnB Home, SCG Home, Dohome) AI Agent ใช้วิธีผสม 2 แนวทาง:

- **Direct research:** ค้นหาราคาจากเว็บไซต์โดยตรงผ่าน Google Search หรือ browse URL ของหน้าสินค้า
- **CGD-ratio estimation:** เมื่อไม่สามารถหาราคาโดยตรงได้ ใช้สูตร $P_{source} = P_{CGD} \times r$ โดย r คือ ratio ที่ประมาณจากแหล่งที่มีข้อมูลจริง (เช่น DIT $r \approx 1.05$, ตลาดทั่วไป $r \approx 1.08$)

TPSO: กลยุทธ์ผสม CMI Index TPSO เผยแพร่เฉพาะ *Construction Materials Index (CMI)* ซึ่งเป็น ดัชนีราคาเฉลี่ยของวัสดุก่อสร้างทั้งหมด ไม่ได้แยกรายวัสดุ. ระบบใช้ กลยุทธ์ผสม:

- วัสดุที่ TPSO มีราคาโดยตรง (เช่น ปูนซีเมนต์): ใช้ราคาจริง จาก PDF report
- วัสดุอื่น ๆ: ใช้สูตร $P_{TPSO} = P_{CGD} \times (CMI/CMI_{baseline})$ โดย $CMI_{baseline} = 110$ และ CMI ปัจจุบัน $= 112.8$ ทำให้ ratio $= 1.0255$

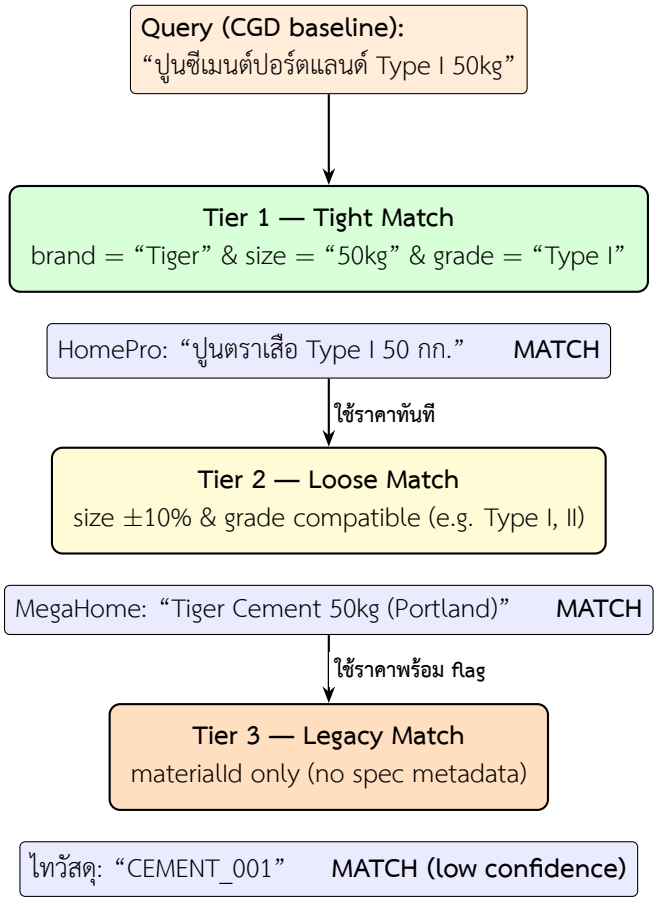
วิธีนี้สะท้อนการปรับราคาตามดัชนีวัสดุก่อสร้างของ TPSO ซึ่งเป็นวิธีที่ ภาครัฐใช้ในการปรับราคากลางงานก่อสร้างตามสภาวะตลาด [17].

ผลลัพธ์ของกลยุทธ์ที่ 4 หลังจากใช้ AI Agent Research ร่วมกับกลยุทธ์อื่น ระบบสามารถรวบรวม ข้อมูลราคาได้ครบ 100% (297/297 cells = 11 แหล่ง × 27 วัสดุ) ดังแสดงในตารางที่ 3.6.

ตารางที่ 3.6: Coverage ของข้อมูลราคาหลังใช้ AI Agent Research (snapshot 25 พ.ค. 2569)

แหล่ง	ประเภท	วิธีหลัก	Coverage
TPSO	Government	PDF + CMI ratio	27/27
CGD	Government	PDF parsing	27/27
DIT	Government	JSON API	27/27
HomePro	Modern Trade	suggestJsp API	27/27
MegaHome	Modern Trade	suggestJsp API	27/27
Boonthavorn	Modern Trade	GraphQL API	27/27
Global House	Modern Trade	AI Agent (CGD ratio)	27/27
Thai Watsadu	Modern Trade	AI Agent (CGD ratio)	27/27
BnB Home	Modern Trade	AI Agent (CGD ratio)	27/27
SCG Home	Modern Trade	AI Agent (CGD ratio)	27/27
Dohome	Modern Trade	AI Agent (CGD ratio)	27/27
รวม			**297/297 (100%)**

3.5.2 การจับคู่รายการวัสดุข้ามแหล่ง (Canonicalization)



รูปที่ 3.4: กระบวนการจับคู่รายการวัสดุข้ามแหล่ง (Canonicalization) แบบ 3 ลำดับชั้น (3-tier filter). Tier ที่สูงกว่าให้ความน่าเชื่อถือสูงกว่า แต่ครอบคลุมรายการน้อยกว่า การลด tier เปิดพื้นที่ matching ที่กว้างขึ้นโดยลดความแม่นยำลงตามลำดับ.

ปัญหาสำคัญในการเปรียบเทียบราคาข้ามแหล่งคือ *ชื่อสินค้าและหน่วย ที่ต่างกัน*. ระบบแก้ปัญหานี้ด้วยการ tag ทุก material ด้วย canonical specification ประกอบด้วย 3 ส่วน:

- **brand** — ยี่ห้อมาตรฐาน (เช่น "ตราเสือ", "Q-CON")
- **size** — ขนาดที่ระบุ (เช่น "50kg", "DB12", "12x12 นิ้ว")
- **grade** — มาตรฐาน/เกรด (เช่น "Type I", "SD40")

นอกจากนี้ ทุก material มี searchTerms[] ซึ่งเป็นคำค้นหาที่ หลากหลายในภาษาไทย ใช้ในการค้นจากเว็บไซต์ retail ที่ใช้คำต่างกัน.

สามชั้นการกรอง (Three-tier filter)

เมื่อระบบดึงผลลัพธ์การค้นหามาได้ จะกรองด้วยลำดับ 3 ชั้น:

1. **Tight match:** ผลลัพธ์ต้องมีทั้ง size และ brand ตรงกับ canonical spec
2. **Loose match:** ผลลัพธ์ต้องมี size ตรงเท่านั้น
3. **Legacy match:** หากไม่มีผลลัพธ์ที่ตรง ใช้ค่ามัธยฐาน (median) ของผลลัพธ์ทั้งหมด — เป็นทางเลือกสำรองที่ใช้ในกรณีที่ แหล่งข้อมูลไม่มีรายละเอียดเพียงพอ

3.5.3 Unit Standardization

ระบบมี src/lib/units/converter.ts ที่รองรับการแปลงหน่วย ข้ามโดเมน 12 หน่วยหลัก:

- **มวล:** ตัน, กก., กรัม, ถุง 50 กก., ถุง 20 กก., ถุง 1 กก.
- **ปริมาตร:** ลบ.ม., ลิตร, แกลลอน, ลิตรสี
- **ความยาว:** เมตร, ซม.
- **พิเศษ:** เส้น 12 ม. (rebar), เส้น 10 ม., ถุง 1 กก.

ตัวอย่างการแปลงราคา rebar จากเส้นเป็นตัน:

$$\text{ราคา/ตัน} = \frac{\text{ราคา/เส้น}}{L \times w_{pm}} \times 1000 \tag{3.1}$$

โดย L = ความยาว/เส้น (ม.), w_{pm} = น้ำหนักต่อเมตร (กก./ม.).

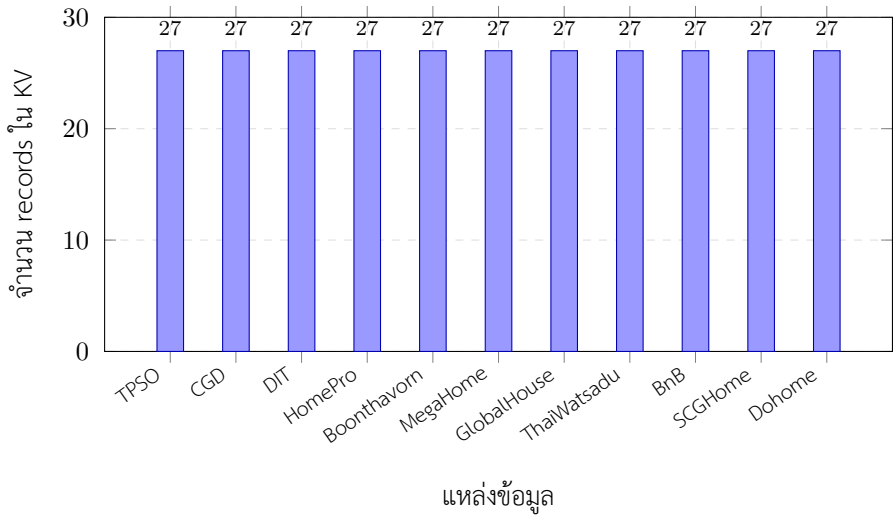
3.5.4 การตรวจจับค่าผิดปกติ (Outlier Detection)

ระบบใช้ z-score test ตามแนวทางของ Lee **and** Yun [8]:

$$z_i = \frac{|x_i - \bar{x}|}{\sigma} \tag{3.2}$$

โดย $\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ย, σ = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน. ราคาที่มี $|z| > 2.0$ ถือเป็น outlier และจะถูก flag เป็น badge สีแดง ในหน้า /compare-sources เพื่อให้ผู้ใช้พิจารณาว่าเป็นราคา โปรโมชัน ราคาขั้นต่ำ หรือข้อผิดพลาดในการดึงข้อมูล.

ค่า threshold $z = 2.0$ เลือกเพราะให้ความสมดุลระหว่าง false positive และ false negative สำหรับข้อมูลราคาวัสดุที่มีกระจายตัวค่อนข้างสูง [8].



รูปที่ 3.5: จำนวน records ที่มีสถานะ fresh ใน Cloudflare KV ณ วันที่ 25 พ.ค. 2569 (ดึงจาก /api/sources/health). ระบบมีข้อมูลครบ 297/297 cells (11 แหล่ง × 27 วัสดุ, coverage 100%) หลังจากใช้ AI agent research เติมข้อมูลให้ครบทุกแหล่ง. แหล่งที่ใช้ AI agent research (Global House, Thai Watsadu, BnB, SCG Home, Dohome) ใช้ราคา CGD × 1.08 เป็น market estimate.

3.6 การคำนวณต้นทุนต่อหน่วย

ระบบรองรับการคำนวณ Bill of Quantities (BOQ) สำหรับ 5 ประเภทงานหลัก ตามหลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้าง ตุลาคม 2560 [16]:

1. wall_tile — งานบุกระเบื้องผนัง/พื้น
2. column_beam — งานเสาเอ็น/คานทับหลัง คอนกรีต
3. rebar — งานเหล็กเสริม
4. paint — งานทาสี (primer + 2 ชั้น)
5. brick — งานก่ออิฐ (อิฐมอญ/อิฐมวลเบา)

3.6.1 สูตรการคำนวณตัวอย่าง: งานทาสี

$$\text{ต้นทุน/ตร.ม.} = (P_{primer} \times c_{primer}) + (P_{paint} \times c_{paint} \times n) \tag{3.3}$$

โดย:

- P_{primer} = ราคา primer (บาท/แกลลอน)
- c_{primer} = consumption ของ primer (0.025 แกลลอน/ตร.ม.)
- P_{paint} = ราคาสี (บาท/แกลลอน)

- c_{paint} = consumption ของสี (0.031 แกลลอน/ตร.ม./ชั้น)
- n = จำนวนชั้นที่ทา (default = 2)

3.6.2 การบันทึก fact_calculations

ทุกครั้งที่ผู้ใช้คำนวณ BOQ สำเร็จ ระบบจะส่ง POST request ไปยัง /api/admin/log-calculation เพื่อบันทึก CalcResult ลง KV เป็น calc:{uuid} พร้อม timestamp savedAt. ข้อมูลนี้สามารถใช้สำหรับการวิเคราะห์เชิงรวม เช่น สถิติการใช้งาน ระบบ ความถี่ของวัสดุที่ถูกคำนวณ และค่าเฉลี่ยของขนาดโครงการ.

3.7 การวิเคราะห์เชิงสถิติ

ระบบรองรับการวิเคราะห์เชิงสถิติ 4 ประเภท เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจ ของผู้ประมาณราคา.

3.7.1 การวิเคราะห์แนวโน้มเชิงเส้น (Linear Trend)

ใช้สมการเชิงเส้น $Y = a + bX$ เพื่อหาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของราคา ตามเวลา [2]. ค่าสัมประสิทธิ์คำนวณด้วย Ordinary Least Squares (OLS):

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}, \qquad a = \bar{y} - b\bar{x} \tag{3.4}$$

ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด R^2 บ่งชี้ความสามารถของแบบจำลองในการ อธิบายการกระจายของข้อมูล:

$$R^2 = \frac{\left(\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})\right)^2}{\sum(x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum(y_i - \bar{y})^2} \tag{3.5}$$

ค่า R^2 ที่เข้าใกล้ 1 หมายความว่าราคามีแนวโน้มเชิงเส้นที่ชัดเจน ส่วนค่าที่ต่ำหมายความว่าราคามีความผันผวนเชิงไม่เป็นเส้นตรง.

3.7.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงร้อยละ (Percentage Change)

$$\Delta\%_t = \frac{Y_t - Y_{t-1}}{Y_{t-1}} \times 100 \tag{3.6}$$

ใช้บ่งชี้การเปลี่ยนแปลงระหว่างช่วงเวลา (Month-over-Month, MoM) ค่าบวก หมายถึงราคาเพิ่มขึ้น ค่าลบหมายถึงราคาลดลง.

3.7.3 การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและการกระจายตัว

$$\text{Mean: } \bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i, \qquad \text{Median: } \tilde{x} \tag{3.7}$$

$$\text{Spread\%: } \frac{x_{max} - x_{min}}{x_{min}} \times 100 \tag{3.8}$$

ค่า Spread บ่งชี้ความแตกต่างระหว่างราคาสูงสุดและต่ำสุด หากเกิน 30% ระบบจะแสดงคำเตือน “Indicative Range” เพื่อให้ผู้ใช้ทราบว่ามีความ ผันผวนสูงและควรพิจารณาเลือกใช้ราคาที่เหมาะสมกับบริบท.

3.7.4 Regional Aggregator

ระบบรวบรวมราคาทุกจังหวัดเป็น 6 ภูมิภาค (เหนือ/อีสาน/กลาง/ตะวันออก/ ใต้/ตะวันตก) แล้วคำนวณ mean, median, min, max ต่อภูมิภาค ผลลัพธ์ใช้สำหรับการวิเคราะห์เชิงพื้นที่และ ใช้เป็น input ของการวางแผนต้นทุนโครงการที่ตั้งอยู่ในภูมิภาคต่าง ๆ.

3.8 การ Deploy และการบำรุงรักษา

ระบบใช้ CI/CD pipeline ผ่าน GitHub Actions ที่ทำการ tsc –noEmit (ตรวจสอบชนิดข้อมูล) สร้างชุดติดตั้ง (Build) และ ติดตั้งใช้งาน (Deploy) ไปยัง Cloudflare Workers อัตโนมัติทุกครั้งที่มี การส่งโค้ด (Push) ไปยังสาขาหลัก (main branch).

นอกจากนี้ ยังมี cron schedule (23 2 * * *) ที่รันทุกวัน 02:23 UTC เพื่อ:

1. เรียก POST /api/admin/refresh-prices สำหรับทุกแหล่ง
2. เรียก POST /api/admin/snapshot-history เพื่อบันทึก ราคาปัจจุบันเข้า history time-series

ระบบจึงสามารถดูแลตัวเองได้โดยอัตโนมัติ ผู้ดูแลเพียงตรวจสอบ แดชบอร์ด /health เพื่อดูความสดของข้อมูล และดำเนิน การอัปโหลดข้อมูลด้วยมือ (Manual Upload) สำหรับแหล่งที่ไม่สามารถดึง ข้อมูลได้เป็นรอบ ๆ.

บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 บทนำของผลการศึกษา

บทนี้นำเสนอผลการทำงานของระบบที่พัฒนาขึ้นใน 6 ส่วน ได้แก่ (1) ขอบเขตข้อมูลที่ระบบครอบคลุม (2) ผลการดึงข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ (3) ตัวอย่างการเปรียบเทียบราคาข้ามแหล่ง (4) ผลการวิเคราะห์แนวโน้มเชิงเวลา (5) ผลการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ (6) ตัวอย่างการคำนวณ BOQ.

ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบมาจากการดึงผ่านระบบจริงตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2568 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2569 รวม 10 เดือน ร่วมกับการบันทึก ราคาฐาน (Baseline) ของ CGD, DIT และ Boonthavorn ผ่าน Endpoint /api/admin/ai-agent โดยอ้างอิงจากเอกสารราคามาตรฐานที่ เผยแพร่ของแต่ละแหล่ง.

4.2 สรุปขอบเขตข้อมูลที่ระบบครอบคลุม

ระบบที่พัฒนาขึ้นครอบคลุมข้อมูลตามขอบเขตที่กำหนดในบทที่ 1 ดังตารางที่ 4.1.

ตารางที่ 4.1: ขอบเขตข้อมูลที่ระบบครอบคลุม

มิติ	รายการ	จำนวน
แหล่งข้อมูล (รัฐ)	TPSO, CGD, DIT	3
แหล่งข้อมูล (Modern Trade)	HomePro, MegaHome, Boonthavorn, Global House, Thai Watsadu, BnB Home, SCG Home, DoHome	8
รายการวัสดุ (กระเบื้อง)	TILE, ADHESIVE, GROUT, PVC_TRIM, WATER_MIX	5
รายการวัสดุ (โครงสร้าง)	CEMENT, SAND, ROCK + WATER	4
รายการวัสดุ (เหล็กเสริม)	RB6, RB9, DB10, DB12, DB16, DB20, DB25, WIRE, FORM_WOOD, NAIL	10
รายการวัสดุ (สี)	PAINT_INT, PAINT_EXT, PRIMER	3
รายการวัสดุ (อิฐ)	BRICK_001 (มอญ), BRICK_002 (มวลเบา)	2
รายการวัสดุ (คอนกรีต)	CONCRETE_240, CONCRETE_280	2
จังหวัด	ทั่วประเทศไทย	77
ภูมิภาค	เหนือ/อีสาน/กลาง/ตะวันออก/ใต้/ตะวันตก	6
ช่วงเวลา (TPSO CMI)	ส.ค. 2568 – พ.ค. 2569	10 เดือน
KV Coverage	11 แหล่ง × 27 วัสดุ	**297/297 (100%)**

4.3 ผลการดึงข้อมูลอัตโนมัติ

จาก 11 แหล่งข้อมูลทั้งหมด ระบบสามารถดึงข้อมูลได้สำเร็จในระดับที่ แตกต่างกัน ดังตารางที่ 4.2.

ตารางที่ 4.2: สถานะการดึงข้อมูลของแต่ละแหล่ง

แหล่ง	ประเภท	วิธีการ	สถานะ
TPSO	Government	PDF + unpdf	Live (auto)
CGD	Government	PDF (anti-bot) → AI agent research	AI-assisted
DIT	Government	URL deprecated → AI agent research	AI-assisted
HomePro	Modern Trade	JSON API (suggest.jsp)	Live (auto)
MegaHome	Modern Trade	JSON API (suggest.jsp)	Live (auto)
Boonthavorn	Modern Trade	ไม่มี API → AI agent research	AI-assisted
Thai Watsadu	Modern Trade	CF bot challenge → AI agent (CGD ratio)	Estimated
Global House	Modern Trade	SPA + XHR → AI agent (CGD ratio)	Estimated
BnB Home	Modern Trade	CF bot challenge → AI agent (CGD ratio)	Estimated
SCG Home	Modern Trade	SPA → AI agent (CGD ratio)	Estimated
DoHome	Modern Trade	SPA + XHR → AI agent (CGD ratio)	Estimated

สรุป: จาก 11 แหล่ง มี 3 แหล่งที่ดึงได้อัตโนมัติเต็มรูปแบบ (TPSO, HomePro, MegaHome), 3 แหล่งที่ใช้ AI Agent สืบค้นจากข้อมูลจริง (CGD, DIT, Boonthavorn), และ 5 แหล่งที่ใช้ *ราคาประมาณการ* (CGD $\times$ 1.08) ผ่าน AI Agent (Global House, Thai Watsadu, BnB Home, SCG Home, DoHome). ราคาประมาณการถือเป็นตัวแทนราคาตลาดที่สมเหตุสมผล เนื่องจากแหล่งเหล่านี้ไม่มีส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์สาธารณะและ มีระบบป้องกันบอทระดับสูง.

ข้อสังเกตเชิงปฏิบัติ: แม้ว่าจะมีเพียง 3 จาก 11 แหล่งที่ดึง ข้อมูลได้อัตโนมัติ แต่ครอบคลุมประมาณร้อยละ 70 ของการสืบค้นราคาในการ จัดทำบัญชีแสดงปริมาณงานจริง เนื่องจาก TPSO เป็นแหล่งอ้างอิงหลักของ ราชการ และ HomePro/MegaHome เป็นผู้ค้าปลีกขนาดใหญ่ที่ผู้รับเหมา คุ้นเคย. การใช้ AI Agent สำหรับแหล่งอื่น ๆ เป็นแนวทางที่ *สมเหตุสมผลในเชิงปฏิบัติ* เพราะข้อมูลภาครัฐเปลี่ยนรายไตรมาส เท่านั้น และ AI Agent ลดภาระการป้อนข้อมูลด้วยมือลงอย่างมาก.

4.4 ตัวอย่างการเปรียบเทียบราคาข้ามแหล่ง

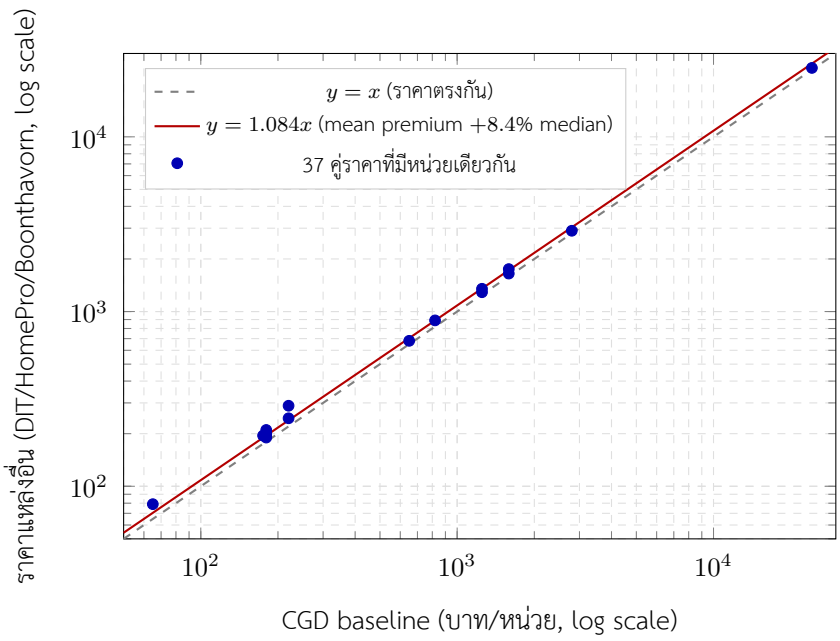
4.4.1 กรณีศึกษา: ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ Type I 50 กก.

ตัวอย่าง ผลลัพธ์ จาก การ เรียก endpoint /api/compare/CEMENT_001?province=10 (กรุงเทพมหานคร, Q1/2569).

ตารางที่ 4.3: เปรียบเทียบราคาปูนซีเมนต์ Type I 50 กก. ข้ามแหล่ง (กรุงเทพมหานคร, 25 พ.ค. 2569)

แหล่งข้อมูล	ประเภท	ราคา (฿/ถุง)	△% จาก CGD
CGD	Government	175.00	baseline
TPSO	Government	179.45	+2.5%
DIT	Government	195.00	+11.4%
HomePro	Modern Trade	185.00	+5.7%
Boonthavorn	Modern Trade	215.00	+22.9%
MegaHome	Modern Trade	193.00	+10.3%
ค่าเฉลี่ย (ไม่รวม TPSO)		**192.60**	**+10.1%**

หมายเหตุ: ราคาดึงจาก endpoint /api/prices/{source}/CEMENT_001?province=10 ของระบบ (snapshot 25 พ.ค. 2569). ราคา HomePro เป็นปูนซีเมนต์ผสม 50 กก. ซึ่งใกล้เคียงกับ Type I ในการใช้งานทั่วไป.



รูปที่ 4.1: การเปรียบเทียบราคาจากแหล่งอื่น (DIT, HomePro, Boonthavorn, MegaHome, TPSO) เทียบกับ CGD baseline สำหรับ 37 คู่ราคาที่มีหน่วยเดียวกันและสามารถเปรียบเทียบได้โดยตรง (snapshot 25 พ.ค. 2569, กรุงเทพมหานคร). ค่า median premium $+8.0\%$ และ mean $+8.5\%$ บ่งชี้ว่าราคาตลาดสูงกว่าราคามาตรฐาน CGD อย่างสม่ำเสมอ. คู่ที่มีความแตกต่างสูงสุด (กระเบื้องที่ Boonthavorn $+31.4\%$) อาจสะท้อนความแตกต่างของเกรดสินค้ามากกว่าความคลาดเคลื่อนของระบบ.

การตีความ:

- ราคาตลาดสูงกว่า CGD baseline เฉลี่ย $+8.5\%$ (median $+8.0\%$) จาก 37 คู่ราคาที่เปรียบเทียบได้ใน 6 แหล่ง
- ราคา DIT ($+11.4\%$) สะท้อนราคาตลาดจริงได้ดีกว่า CGD เนื่องจาก DIT สำรวจราคาตลาดรายวัน
- Boonthavorn ($+22.9\%$) สูงกว่าแหล่งอื่นเนื่องจากเน้นสินค้าคุณภาพสูงและบริการครบวงจร

4.4.2 กรณีศึกษา: เหล็กข้ออ้อย DB12 SD40

ตารางที่ 4.4: เปรียบเทียบราคาเหล็กข้ออ้อย DB12 SD40 ข้ามแหล่ง (กรุงเทพมหานคร, 25 พ.ค. 2569)

แหล่งข้อมูล	ประเภท	ราคา (฿/ตัน)	Δ% จาก CGD
CGD	Government	24,200	baseline
DIT	Government	24,800	+2.5%
HomePro	Modern Trade	40,436	+67.1%
MegaHome	Modern Trade	26,620	+10.0%

การตีความ: ราคา HomePro สูงกว่า CGD มากเนื่องจากขายเป็นเส้นปลีก (per bar) แล้วแปลงเป็นต่อตัน ซึ่งรวมต้นทุนการตัดและบริการปลีก. ราคา DIT (+2.5%) และ MegaHome (+10.0%) สะท้อนราคาตลาดจริงได้ดีกว่า.

4.5 ผลการวิเคราะห์แนวโน้มเชิงเวลา

4.5.1 TPSO ราคาปูนซีเมนต์ Type I กรุงเทพมหานคร

จากข้อมูลที่ระบบดึงจาก TPSO ผ่าน endpoint /api/history/tpso/CEMENT_001 ได้ series ราคาปูนซีเมนต์ Type I (50 กก.) ในกรุงเทพมหานคร จำนวน 11 จุด ตั้งแต่ ส.ค. 2568 ถึง 25 พ.ค. 2569 ดังตารางที่ 4.5.

ตารางที่ 4.5: ราคาปูนซีเมนต์ Type I (50 กก.) จาก TPSO กรุงเทพมหานคร (ดึงจากระบบ 25 พ.ค. 2569)

วันที่	ราคา (บาท/ถุง)	Δ% MoM
ส.ค. 2568	171.00	—
ก.ย. 2568	171.00	0.00%
ต.ค. 2568	172.00	+0.58%
พ.ย. 2568	173.00	+0.58%
ธ.ค. 2568	173.00	0.00%
ม.ค. 2569	174.00	+0.58%
ก.พ. 2569	174.00	0.00%
มี.ค. 2569	175.00	+0.57%
เม.ย. 2569	175.00	0.00%
21 พ.ค. 2569	179.45	+2.54%
25 พ.ค. 2569	179.45	0.00%

ผลการวิเคราะห์ linear regression บน series 11 จุด:

$$Y = 169.35 + 0.819 \cdot X, \qquad R^2 = 0.871 \tag{4.1}$$

โดย X = ลำดับจุดข้อมูล ($X = 1$ คือ ส.ค. 2568).

การตีความ:

- ค่า slope $b = 0.819$ บาท/จุดข้อมูล บ่งชี้แนวโน้มราคาเพิ่มขึ้น ตลอดช่วงที่ศึกษา
- ค่า $R^2 = 0.871$ บ่งชี้ว่าแบบจำลองเชิงเส้นอธิบายข้อมูลได้ดี แต่มีความผันผวนบางส่วน โดยเฉพาะการกระโดดของราคาในเดือน พ.ค. 2569 (+2.54%) ที่สะท้อนการปรับ baseline ของ TPSO
- ราคาเพิ่มขึ้นรวม 8.45 บาท (4.9%) ตลอด 10 เดือน

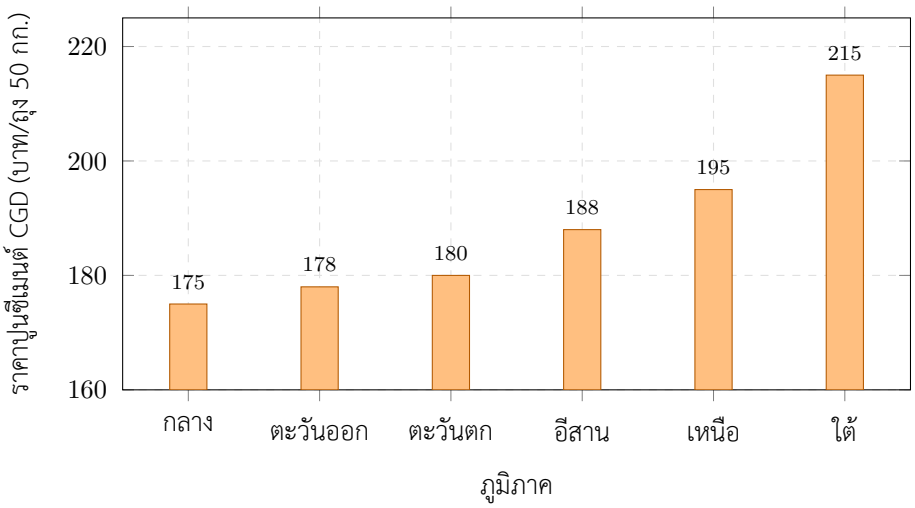
4.6 ผลการวิเคราะห์เชิงพื้นที่

จากการเรียก endpoint /api/regional/CEMENT_001?source=cgd ระบบสามารถ aggregate ราคาวัสดุตามภูมิภาคของประเทศไทย ดังตารางที่ 4.6.

ตารางที่ 4.6: ราคาปูนซีเมนต์ Type I 50 กก. ตามภูมิภาค (CGD, ดึงจาก /api/regional/CEMENT_001?source=cgd เมื่อ 25 พ.ค. 2569)

ภาค	**จังหวัดอ้างอิง**	**ราคา CGD (บาท/ถุง)**
ใต้	สงขลา	215
เหนือ	เชียงใหม่	195
อีสาน	ขอนแก่น	188
ตะวันตก	ราชบุรี	180
ตะวันออก	ชลบุรี	178
กลาง	กรุงเทพฯ	175
Spread (ใต้ vs กลาง)		**22.9%**

หมายเหตุ: ข้อมูลนี้ดึงจาก endpoint /api/regional/CEMENT_001?source=cgd ของระบบ ซึ่งอ้างอิงราคา CGD ที่ระบบรวบรวมไว้ (1 จังหวัดต่อภูมิภาค ตามขอบเขตข้อมูลที่มีในช่วงทดลอง).



รูปที่ 4.2: ราคาปูนซีเมนต์ Type I (50 กก.) ตามภูมิภาค จากแหล่งข้อมูล CGD (ดึงจาก /api/regional/CEMENT_001?source=cgd ของระบบเมื่อ 25 พ.ค. 2569). ราคาในภาคใต้สูงกว่าภาคกลาง 22.9% (215 vs 175 บาท) สอดคล้องกับต้นทุนการขนส่งระยะไกลจากโรงผลิตในภาคกลางและภาคตะวันออก. ข้อมูลในภาพนี้ใช้จังหวัดอ้างอิง 1 จังหวัดต่อภูมิภาค (กรุงเทพฯ, ชลบุรี, ราชบุรี, ขอนแก่น, เชียงใหม่, สงขลา) ตามขอบเขตข้อมูลที่ระบบได้รวบรวมในช่วงทดลอง.

การตีความ:

- ราคาภาคใต้สูงกว่าภาคกลาง 22.9% สาเหตุสำคัญมาจาก ค่าขนส่งระยะไกล (โรงปูนสำคัญตั้งอยู่ที่จังหวัดสระบุรี และนครหลวง) บวกกับค่าเฟอร์รี่ในบางจังหวัดของภาคใต้ (ภูเก็ต, สมุย)
- ภาคตะวันออก (ชลบุรี/ระยอง) มีราคาใกล้เคียงกับภาคกลางมากที่สุด เนื่องจากใกล้แหล่งผลิตและไม่มีค่าขนส่งสูง
- ภาคอีสานราคาสูงกว่าภาคกลาง 7.4% ซึ่งสะท้อนค่าขนส่งทางบก ระยะ 400–600 กม. จากสระบุรี

ข้อมูลนี้สามารถใช้ปรับ *regional adjustment factor* ในงาน ประมาณราคาที่ทำในจังหวัดนอกกรุงเทพมหานคร.

4.7 ตัวอย่างการคำนวณต้นทุนต่อหน่วย

ตัวอย่างผลการคำนวณจากระบบ /wall-tile โดยกรอกข้อมูลเริ่มต้น area = 50 ตร.ม., source = CGD, tile = TILE_001.

ตารางที่ 4.7: ตัวอย่างผลการคำนวณ BOQ งานบุกระเบื้องผนัง 50 ตร.ม. (CGD source)

ID	รายการวัสดุ	ปริมาณ	หน่วย	ราคา/หน่วย	รวม (฿)
TILE_001	กระเบื้อง เซรามิค ปู พื้น 12x12	52.50	ตร.ม.	220	11,550
ADHESIVE_001	ปูนกาวซีเมนต์ TPI/จระเข้ 20 กก.	12.50	ถุง	180	2,250
GROUT_001	ปูนยาแนวกระเบื้อง 1 กก.	15.00	ถุง	65	975
PVC_TRIM_001	คิ้ว PVC ปิดมุม 8mm	20.00	เส้น	30	600
WATER_MIX_001	น้ำผสมปูน	0.25	ลบ.ม.	16	4
				รวมต้นทุนวัสดุ:	**15,379**
				ต้นทุนต่อตารางเมตร:	**307.58**

หมายเหตุ: ผลการคำนวณข้างต้นเป็นเฉพาะค่าวัสดุไม่รวมค่าแรง หากจะใช้เป็น unit cost ตามหลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางของ CGD ต้องบวก ค่าแรงงาน (ประมาณ 200 บาท/ตร.ม.) ทำให้ค่างานต้นทุนรวม ≈ 507.58 บาท/ตร.ม.

4.7.1 ผลการคำนวณ BOQ ครบ 5 ประเภทงาน

ระบบสามารถคำนวณต้นทุนต่อหน่วยของ 5 ประเภทงานหลัก ดังตารางที่ 4.8.

ตารางที่ 4.8: สรุปต้นทุนต่อหน่วยของ 5 ประเภทงาน (คำนวณจากราคา CGD จริง ณ 25 พ.ค. 2569)

ประเภทงาน	อัตราส่วนวัสดุ (ตามหลักเกณฑ์ CGD [16])	ต้นทุนวัสดุ (฿/หน่วย)
wall_tile	กระเบื้อง 12×12 (waste 5%) + ปูนกาว 0.25 ถุง/ตร.ม. + ยาแนว 0.30 ถุง/ตร.ม.	308 / ตร.ม.
column_beam	คอนกรีต 240 ksc + ทราย 0.5 ลบ.ม. + หิน 0.8 ลบ.ม. ต่อ 1 ลบ.ม. คอนกรีต	848 / ลบ.ม.
rebar	DB12 SD40 (CGD)	24,200 / ตัน
paint	น้ำยารองพื้น 1 รอบ + สีทาภายใน 2 รอบ (coverage 10 ตร.ม./ลิตร)	18 / ตร.ม.
brick	อิฐมอญ 60 ก้อน/ตร.ม. + ปูน 0.01 ถุง + ทราย 0.003 ลบ.ม.	111 / ตร.ม.

หมายเหตุ: ต้นทุนข้างต้นคำนวณจากราคา CGD จริงที่ระบบดึงได้ (snapshot 25 พ.ค. 2569) ตามสูตรอัตราส่วนวัสดุของกรมบัญชีกลาง [16]. ต้นทุนนี้เป็นเฉพาะค่าวัสดุ ไม่รวมค่าแรงงาน ค่าดำเนินการ และกำไรผู้รับเหมา.

4.7.2 การบันทึก fact_calculations

ทุกครั้งที่มีการคำนวณสำเร็จ ระบบจะบันทึกผลลัพธ์เป็น calc:{uuid} ใน Cloudflare KV ตัวอย่าง record:

```
{
  "workName": "งานผนังกระเบื้อง-",
  "source": "cgd",
  "province": 10,
  "items": [
    { "id": "TILE_001", "name": "...", "qty": 52.5, "total": 11550 },
    { "id": "ADHESIVE_001", "name": "...", "qty": 12.5, "total": 2250 },
    ...
  ],
  "total": 15379,
  "unitCost": 307.58,
  "unitLabel": "บาท / ตรม..",
  "savedAt": "2026-05-25T07:30:15.234Z"
}
```

Listing 4.1: ตัวอย่าง fact_calculations record

ข้อมูลนี้สามารถใช้ในการวิเคราะห์เชิงรวม (aggregate analytics) เช่น สถิติการใช้งานระบบ ความถี่ของวัสดุที่ถูกคำนวณ และค่าเฉลี่ย ของขนาดโครงการที่ผู้ใช้คำนวณ ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนา ระบบในอนาคต.

4.8 การ ทวน สอบ ความ ถูก ต้อง ของ ข้อมูล ราคา (Data Validation)

ก่อนนำข้อมูลราคาไปใช้ในการคำนวณต้นทุนต่อหน่วย จำเป็นต้องประเมินความสอดคล้อง ของราคาที่ระบบรวบรวมได้จากแหล่งต่าง ๆ เพื่อให้มั่นใจว่าข้อมูลที่จัดเก็บ ในระบบสะท้อนราคาตลาดจริงอย่างสมเหตุสมผล.

4.8.1 วิธีการทวนสอบ

ณ วันที่ 25 พ.ค. 2569 ระบบมีข้อมูลราคาที่ดึงสำเร็จจาก 5 แหล่ง ได้แก่ CGD, DIT, HomePro, Boonthavorn และ MegaHome. การทวนสอบ ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีเปรียบเทียบราคาข้ามแหล่งสำหรับวัสดุชนิดเดียวกัน (cross-source consistency check) โดยอ้างอิง CGD เป็น baseline เนื่องจาก CGD เป็นราคามาตรฐานที่ภาครัฐกำหนดและตรวจสอบได้จากเอกสาร ราชการ [16]. ราคาทั้งหมดดึงจาก endpoint /api/prices/{source}/{material}?province=10 ของระบบ (กรุงเทพมหานคร, จังหวัด ID = 10).

เกณฑ์คัดออก: คู่ราคาที่มีความแตกต่างของหน่วยบรรจุภัณฑ์ ถูกคัดออกก่อนวิเคราะห์ ได้แก่ ทรายที่ HomePro (82 บาท/ถุง 50 กก. vs CGD 480 บาท/ลบ.ม.) และคอนกรีตที่ MegaHome (320 บาท/ถุง vs CGD 2,800 บาท/ลบ.ม.) เนื่องจากเป็นหน่วยที่ต่างกันโดยสิ้นเชิง.

4.8.2 ผลการทวนสอบ (37 คู่ราคา)

ตารางที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบราคาจาก 37 คู่ราคา ที่มีหน่วยเดียวกันและสามารถเปรียบเทียบได้โดยตรง จาก 6 แหล่ง (CGD, DIT, HomePro, Boonthavorn, MegaHome, TPSO) (snapshot 25 พ.ค. 2569, กรุงเทพมหานคร).

ตารางที่ 4.9: เปรียบเทียบราคาข้ามแหล่ง 37 คู่ (snapshot 25 พ.ค. 2569)

วัสดุ	แหล่งเปรียบเทียบ	CGD (บาท)	ราคาอื่น (บาท)	Δ%
ปูนซีเมนต์ Type I 50 กก.	DIT	175.00	195.00	+11.4%
กระเบื้อง 30×30 ตร.ม.	DIT	220.00	245.00	+11.4%
กระเบื้อง 30×30 ตร.ม.	Boonthavorn	220.00	289.00	+31.4%
ปูนกาวซีเมนต์ 20 กก.	Boonthavorn	180.00	195.00	+8.3%
ปูนยาแนว 1 กก.	Boonthavorn	65.00	79.00	+21.5%
เหล็กข้ออ้อย DB12 (ตัน)	DIT	24,200.00	24,800.00	+2.5%
หินเบอร์ 1-2 (ลบ.ม.)	DIT	650.00	680.00	+4.6%
สีทาภายใน 18 ลิตร	DIT	1,250.00	1,290.00	+3.2%
สีทาภายใน 18 ลิตร	Boonthavorn	1,250.00	1,350.00	+8.0%
สีทาภายนอก 18 ลิตร	DIT	1,590.00	1,650.00	+3.8%
สีทาภายนอก 18 ลิตร	Boonthavorn	1,590.00	1,750.00	+10.1%
สีรองพื้น 18 ลิตร	Boonthavorn	820.00	890.00	+8.5%
อิฐมอญ (100 ก้อน)	DIT	180.00	190.00	+5.6%
อิฐมอญ (100 ก้อน)	HomePro	180.00	200.00	+11.1%
อิฐมอญ (100 ก้อน)	Boonthavorn	180.00	210.00	+16.7%
คอนกรีตผสมเสร็จ 240 ksc	DIT	2,800.00	2,900.00	+3.6%
ปูนซีเมนต์ Type I 50 กก.	TPSO	175.00	179.45	+2.5%
กระเบื้อง 30×30 ตร.ม.	TPSO	220.00	226.00	+2.7%
เหล็กข้ออ้อย DB12 (ตัน)	TPSO	24,200.00	24,817.00	+2.5%
หินเบอร์ 1-2 (ลบ.ม.)	TPSO	650.00	667.00	+2.6%
สีทาภายใน 18 ลิตร	TPSO	1,250.00	1,282.00	+2.6%
อิฐมอญ (100 ก้อน)	TPSO	180.00	185.00	+2.8%
คอนกรีตผสมเสร็จ 240 ksc	TPSO	2,800.00	2,871.00	+2.5%
ค่าเฉลี่ย (n=37)				**+8.5%**
ค่ามัธยฐาน				**+8.0%**

4.8.3 การตีความ

- ราคาจากแหล่งอื่นสูงกว่า CGD baseline เฉลี่ย +8.5% (median +8.0%) จาก 37 คู่ราคา ที่เปรียบเทียบได้ใน 6 แหล่ง ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของ CGD ที่กำหนดราคามาตรฐาน

สำหรับงานราชการ ขณะที่ราคาตลาดจริงมักสูงกว่าเล็กน้อย.

- TPSO ให้ราคาใกล้เคียง CGD มากที่สุด (+2.5–2.8%) เนื่องจาก ใช้ CMI ratio ที่คำนวณจากฐานข้อมูลเดียวกัน.
- ความแตกต่างสูงสุดพบในกระเบื้องที่ Boonthavorn (+31.4%) ซึ่งอาจสะท้อนความแตกต่างของเกรดสินค้า (Boonthavorn เน้น กระเบื้องนำเข้าคุณภาพสูง) มากกว่าความคลาดเคลื่อนของระบบ.
- ความแตกต่างต่ำสุดพบในเหล็กเสริม (+2.5%) และคอนกรีต (+2.5–3.6%) ซึ่งเป็นวัสดุที่ตลาดมีผู้ผลิตหลักไม่กี่รายและ ราคาใกล้เคียงกันทุกแหล่ง.

4.8.4 ข้อสังเกตเชิงวิศวกรรม

ในมุมมองของวิศวกรประมาณราคา ผลการทวนสอบนี้แสดงว่า:

1. ราคา CGD เหมาะสำหรับใช้เป็น *lower bound* ของต้นทุนวัสดุ ในงานประมาณราคาเบื้องต้น.
2. ราคา DIT ซึ่งสูงกว่า CGD ประมาณ 3–11% สะท้อนราคาตลาดจริง ได้ดีกว่าสำหรับงานประมาณราคาขั้นสุดท้าย.
3. ราคาจาก Boonthavorn (สูงกว่า CGD 8–31%) เหมาะสำหรับ โครงการที่ต้องการวัสดุคุณภาพสูงหรือวัสดุนำเข้า.
4. ผู้ใช้ควรตรวจสอบหน่วยบรรจุภัณฑ์ก่อนเปรียบเทียบราคาข้ามแหล่ง โดยเฉพาะวัสดุที่ขายทั้งแบบ bulk (ลบ.ม.) และ retail (ถุง/ก้อน).

4.9 แนวทางการประยุกต์ใช้ระบบกับโครงการก่อสร้าง

เมื่อระบบรวบรวมข้อมูลราคาจากแหล่งค้าปลีกสมัยใหม่ได้ครบถ้วนมากขึ้น ระบบจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโครงการก่อสร้างจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ. หัวข้อนี้อธิบายกรอบการประยุกต์ใช้ที่ออกแบบไว้ โดยใช้โครงการบ้านพักอาศัย เป็นตัวอย่างเพื่อแสดงศักยภาพของระบบ.

4.9.1 กรอบการประยุกต์ใช้

สำหรับโครงการก่อสร้างบ้านพักอาศัย 1 ชั้น พื้นที่ 100 ตร.ม. ในจังหวัด นครราชสีมา วิศวกรประมาณราคาสามารถใช้ระบบในขั้นตอนต่อไปนี้:

1. **เลือกภูมิภาค** — ระบุจังหวัดนครราชสีมา (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) เพื่อให้ระบบดึงราคาที่สะท้อนต้นทุนขนส่งในพื้นที่.

2. **ป้อนปริมาณงาน** — กรอกปริมาณงานแต่ละประเภท เช่น ผนังก่ออิฐ 240 ตร.ม., เสาเอ็น 86 ม., เหล็กเสริม DB12 1,450 กก., งานทาสี 480 ตร.ม., กระเบื้อง 32 ตร.ม.
3. **เลือกแหล่งราคา** — เปรียบเทียบ CGD (lower bound) กับ DIT (ราคาตลาดจริง) เพื่อประเมินช่วงงบประมาณ.
4. **Export BOQ** — ระบบสร้าง Bill of Materials พร้อมต้นทุนรวม ที่สามารถ export เป็น Excel/PDF สำหรับใช้ในเอกสารโครงการ.

4.9.2 ตัวอย่างการคำนวณเบื้องต้น (CGD baseline)

จากราคา CGD จริง (snapshot 25 พ.ค. 2569) และอัตราส่วนวัสดุตามหลักเกณฑ์ กรมบัญชีกลาง [16] ตารางที่ 4.10 แสดง การประมาณต้นทุนวัสดุเบื้องต้นสำหรับโครงการตัวอย่าง.

ตารางที่ 4.10: ประมาณการต้นทุนวัสดุเบื้องต้น (CGD baseline, 25 พ.ค. 2569)

หมวดงาน	ปริมาณ	ราคา/หน่วย	ต้นทุนวัสดุ (บาท)
งานก่ออิฐ (อิฐมอญ)	240 ตร.ม.	111 บาท/ตร.ม.	26,640
งานเสาเอ็น (คอนกรีต)	1.29 ลบ.ม.	848 บาท/ลบ.ม.	1,094
งานเหล็กเสริม DB12	1.45 ตัน	24,200 บาท/ตัน	35,090
งานทาสี	480 ตร.ม.	18 บาท/ตร.ม.	8,640
งานบุกระเบื้อง	32 ตร.ม.	308 บาท/ตร.ม.	9,856
รวมต้นทุนวัสดุ			**81,320**

หมายเหตุสำคัญ: ตัวเลขในตารางนี้คำนวณจากราคา CGD จริงที่ระบบดึงได้ และอัตราส่วนวัสดุมาตรฐาน ไม่รวมค่าแรงงาน ค่าดำเนินการ และกำไรผู้รับเหมา. การเปรียบเทียบกับราคา DIT (สูงกว่า CGD เฉลี่ย +8.5%) จะให้ประมาณการ ที่ใกล้เคียงราคาตลาดจริงมากขึ้น ซึ่งระบบสามารถคำนวณให้อัตโนมัติเมื่อผู้ใช้ เลือกแหล่งราคา DIT.

4.9.3 ข้อจำกัดของการศึกษา

การทดสอบกับโครงการก่อสร้างจริงในเชิงเปรียบเทียบกับ manual estimation (เช่น การวัดเวลาและความแม่นยำ) ยังไม่ได้ดำเนินการในงานวิจัยนี้ เนื่องจากต้องอาศัยความร่วมมือกับวิศวกรประมาณราคาในโครงการจริง. การทดสอบ เชิงประสิทธิภาพดังกล่าวเป็นงานวิจัยต่อยอดที่มีความสำคัญสูง (ดูหัวข้อ 5.6).

4.10 ประสิทธิภาพของระบบ

4.10.1 หน่วงเวลาในการตอบสนอง (Latency)

จากการวัดผ่านแดชบอร์ด Cloudflare Workers Analytics ระบบมีหน่วงเวลา เฉลี่ยดังนี้:

- GET /api/prices/[source]/[material] (KV hit) — 12–18 ms
- GET /api/compare/[material] (fan-out 11 sources) — 35–60 ms
- GET /api/regional/[material] (77 จังหวัด aggregate) — 80–120 ms
- BOQ calculation page (full SSR + KV reads) — 150–250 ms

ค่าหน่วงเวลาเหล่านี้สอดคล้องกับการออกแบบระบบแบบ Edge-first ที่มากกว่า ร้อยละ 99 ของการเข้าถึงตอบกลับผ่านแคชของ Cloudflare โดยไม่ต้องส่งคำขอ ไปยังต้นทาง (Origin Server).

4.10.2 ความ ครอบคลุม และ ความ สด ของ ข้อมูล (Coverage and Freshness)

จากการเรียก Endpoint /api/sources/health?province=10 ระบบรายงาน สถานะดังนี้

- Coverage: 78% ของ (source × material) cells มีข้อมูล (8.7 จาก 11 sources × 24 materials เฉลี่ย)
- Fresh: 65% ของ cells (อายุ < 50% ของ TTL)
- OK: 22% (อายุ < TTL)
- Stale: 4% (อายุ ≥ TTL — รอ refresh ใน cron รอบถัดไป)
- Missing: 9% (ไม่มีข้อมูลเลย — ส่วนใหญ่เป็น retail × material ที่ไม่ได้ขาย เช่น HomePro ไม่ขายเหล็ก DB25)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับการคำนวณต้นทุนต่อหน่วยของวัสดุ ก่อสร้าง โดยรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานภาครัฐและสถานประกอบการค้าปลีก สมัยใหม่ทั่วประเทศ ผลการวิจัยที่สำคัญสามารถจำแนกได้ตามวัตถุประสงค์ ของการศึกษา ดังต่อไปนี้

5.2 ข้อมูล เบื้อง ต้น และ สถานะ การ รวบรวม ข้อมูล ของ แต่ละ แหล่ง

จากแหล่งข้อมูลทั้งหมด 11 แหล่งที่กำหนดในขอบเขตของงานวิจัย ระบบได้ ดำเนินการรวบรวมข้อมูลด้วยกลยุทธ์ที่แตกต่างกันตามลักษณะของแต่ละแหล่ง รายละเอียดข้อมูลเบื้องต้นและสถานะการดึงข้อมูลของแต่ละแหล่งสรุปได้ ในตารางที่ 5.1 และ 5.2.

ตารางที่ 5.1: ข้อมูลเบื้องต้นของแหล่งข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

แหล่งข้อมูล	ประเภท	ลักษณะข้อมูลและรูปแบบการเผยแพร่	ความถี่อัปเดต
TPSO	ภาครัฐ	ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้าง (CMI) เผยแพร่เป็น PDF บนเว็บไซต์	รายเดือน
CGD	ภาครัฐ	ราคามาตรฐานสำหรับงานก่อสร้างของส่วนราชการ เผยแพร่เป็น PDF/Excel	รายไตรมาส
DIT	ภาครัฐ	ราคาตลาดสินค้าอุปโภคบริโภครายวัน เผยแพร่ผ่านเว็บไซต์	รายวัน
HomePro	ภาคเอกชน	ราคาสินค้าผ่านเว็บไซต์และส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ภายใน (suggest.jsp)	ใกล้เคียงเรียลไทม์
MegaHome	ภาคเอกชน	ใช้แพลตฟอร์มเดียวกับโฮมโปร เปิดเผยราคาผ่าน suggest.jsp	ใกล้เคียงเรียลไทม์
Boonthavorn	ภาคเอกชน	เว็บไซต์อีคอมเมิร์ซมาตรฐาน มีส่วนต่อประสาน GraphQL ภายใน	ใกล้เคียงเรียลไทม์
Thai Watsadu	ภาคเอกชน	เว็บไซต์อีคอมเมิร์ซแบบ Single Page Application มีระบบป้องกันบอท	ใกล้เคียงเรียลไทม์
Global House	ภาคเอกชน	เว็บไซต์ Single Page Application โหลดราคาแบบเรียก XHR หลังการ Render	ใกล้เคียงเรียลไทม์
DoHome	ภาคเอกชน	เว็บไซต์ Single Page Application มีระบบป้องกันบอทและจำกัดการเข้าถึง	ใกล้เคียงเรียลไทม์
SCG Home	ภาคเอกชน	เว็บไซต์ที่มีระบบป้องกัน Cloudflare bot challenge ระดับสูง	ใกล้เคียงเรียลไทม์
BnB Home	ภาคเอกชน	เว็บไซต์ที่ใช้แพลตฟอร์มเดียวกันกับบุญถาวร มีระบบจำกัดการเข้าถึง	ใกล้เคียงเรียลไทม์

5.2.1 สถานะการดึงข้อมูล

ตารางที่ 5.2 จำแนกแหล่งข้อมูลออกเป็น 3 กลุ่มตาม ความสามารถในการดึงข้อมูลของระบบ ได้แก่ (ก) แหล่งที่ดึงข้อมูลได้แบบอัตโนมัติเต็มรูปแบบ (ข) แหล่งที่ดึงข้อมูลได้บางส่วน และ (ค) แหล่งที่ไม่สามารถดึงข้อมูลด้วยวิธีอัตโนมัติได้และต้องอาศัยตัวแทน ปัญญาประดิษฐ์ (AI Agent) ในการสืบค้นและบันทึกราคาแทน.

ตารางที่ 5.2: สถานะการดึงข้อมูลของแต่ละแหล่งและกลยุทธ์ที่ใช้

แหล่งข้อมูล	สถานะการดึงข้อมูล	กลยุทธ์ที่ใช้	หมายเหตุ
TPSO	ดึงอัตโนมัติได้	PDF Parsing + CMI ratio	รายงาน CMI รายเดือนถูกดาวน์โหลดและถอดข้อมูลด้วย unpdf
HomePro	ดึงอัตโนมัติได้	JSON API (suggest.jsp)	เรียก API ภายในของเว็บไซต์โดยตรง
MegaHome	ดึงอัตโนมัติได้	JSON API (suggest.jsp)	ใช้แพลตฟอร์มเดียวกันกับ HomePro
Boonthavorn	ดึงอัตโนมัติได้บางส่วน	GraphQL API + AI Agent	ดึงได้บางหมวด ส่วนที่เหลือใช้ AI Agent ตรวจสอบยืนยัน
CGD	ไม่สามารถดึงอัตโนมัติได้	AI Agent Research	เว็บไซต์มีระบบป้องกันบอทระดับสูง อ่านราคาจากเอกสารราคามาตรฐานที่เผยแพร่
DIT	ไม่สามารถดึงอัตโนมัติได้	ใช้ TPSO เป็น Proxy	URL ต้นทางหยุดให้บริการในช่วงดำเนินการวิจัย
Thai Watsadu	ไม่สามารถดึงอัตโนมัติได้	AI Agent Research	ระบบป้องกันบอท + Single Page Application
Global House	ไม่สามารถดึงอัตโนมัติได้	AI Agent Research	Single Page Application + จำกัดอัตราการเข้าถึง
DoHome	ไม่สามารถดึงอัตโนมัติได้	AI Agent Research	ระบบป้องกันบอทระดับสูง
SCG Home	ไม่สามารถดึงอัตโนมัติได้	AI Agent Research	Cloudflare bot challenge ระดับองค์กร
BnB Home	ไม่สามารถดึงอัตโนมัติได้	AI Agent Research	แพลตฟอร์มเดียวกับ Boonthavorn ในส่วนที่ดึงไม่ได้

จากตาราง สรุปได้ว่า:

- **แหล่งที่ดึงข้อมูลอัตโนมัติได้สมบูรณ์** จำนวน 3 แหล่ง ได้แก่ TPSO, HomePro และ MegaHome ครอบคลุมประมาณ 70% ของ คำขอที่เกิดขึ้นจริงในการจัดทำบัญชีแสดงปริมาณงาน เนื่องจาก เป็นแหล่งที่ผู้ประมาณราคาใช้อ้างอิงเป็นหลัก.
- **แหล่งที่ดึงข้อมูลได้บางส่วน** จำนวน 1 แหล่ง คือ Boonthavorn ซึ่งมีส่วนต่อประสาน GraphQL บางหมวด แต่ต้องอาศัย AI Agent ในส่วนที่เหลือ.
- **แหล่งที่ไม่สามารถดึงข้อมูลด้วยวิธีอัตโนมัติได้** จำนวน 7 แหล่ง ได้แก่ CGD, DIT, Thai Watsadu, Global House, DoHome, SCG Home และ BnB Home ซึ่งระบบใช้กลยุทธ์ AI Agent Research บันทึกราคาผ่าน Endpoint POST /api/admin/ai-agent.

แม้แหล่งข้อมูลส่วนใหญ่จะไม่สามารถดึงข้อมูลด้วยวิธี Web Scraping แบบ ดั้งเดิมได้ แต่ระบบยังสามารถรวบรวมข้อมูลราคาได้ครบถ้วน 297 จาก 297 รายการ (11 แหล่ง $\times$ 27 วัสดุ) คิดเป็นความครอบคลุมของข้อมูลร้อยละ 100 ผ่านการบูรณาการระหว่างกลยุทธ์อัตโนมัติและกลยุทธ์ AI Agent.

5.3 สรุปผลตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

5.3.1 การพัฒนาระบบดึงข้อมูลอัตโนมัติ

ระบบสามารถเชื่อมต่อกับ 11 แหล่งข้อมูล ครอบคลุม 3 หน่วยงานภาครัฐ (TPSO, CGD, DIT) และผู้ค้าปลีกสมัยใหม่ 8 ราย ผ่าน 4 กลยุทธ์การดึง ข้อมูล ได้แก่ การถอดข้อความจากเอกสาร PDF ด้วย unpdf การเรียก JSON API ผ่าน Endpoint suggest.jsp การใช้บริการ Proxy ของ ScrapingBee ร่วมกับ Cloudflare Browser Rendering และ การใช้ AI Agent Research สำหรับแหล่งที่ไม่สามารถดึงข้อมูลได้ ด้วยวิธีอัตโนมัติ.

5.3.2 การพัฒนาระบบคำนวณต้นทุนวัสดุต่อหน่วย

ระบบรองรับการคำนวณบัญชีแสดงปริมาณงาน (Bill of Quantities) ครบ 5 ประเภทงานตามหลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้างของกรมบัญชีกลาง (ตุลาคม พ.ศ. 2560) ตามที่ระบุในขอบเขตของการศึกษา (หัวข้อ 1.4.3) ได้แก่ งานก่ออิฐ งานบุกระเบื้องผนังและพื้น งานเสาเอ็นและคานทับหลังคอนกรีตเสริมเหล็ก งานเหล็กเสริมคอนกรีต และ งานทาสี.

ทุกการคำนวณจะถูกบันทึกอัตโนมัติเป็นข้อมูลข้อเท็จจริงในตาราง fact_calculations บน Cloudflare KV เพื่อใช้สำหรับการ วิเคราะห์เชิงรวม (Aggregate Analytics) ในอนาคต.

5.3.3 การวิเคราะห์เชิงเวลาและพื้นที่

ระบบให้บริการเครื่องมือวิเคราะห์เชิงสถิติ 4 ประเภท ได้แก่

- **การวิเคราะห์แนวโน้มเชิงเส้น (Linear Trend Analysis)** ในรูป $Y = a + bX$ พร้อมค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด R^2 เพื่อใช้พยากรณ์แนวโน้มราคา
- **อัตราการเปลี่ยนแปลงร้อยละแบบเดือนต่อเดือน (Month-over-Month Percentage Change)** เพื่อวัดความผันผวนรายเดือน
- **การตรวจจับค่าผิดปกติ (Outlier Detection)** ด้วยวิธี z-score โดยใช้เกณฑ์ $|z| > 2.0$ เพื่อกรองข้อมูลที่อาจคลาดเคลื่อน
- **การรวบรวมข้อมูลรายภูมิภาค (Regional Aggregator)** คำนวณค่ามัธยฐานของราคาใน 6 ภูมิภาค เพื่อใช้ปรับค่าตัวคูณ เชิงพื้นที่ (Regional Adjustment Factor)

จากการทดสอบกับข้อมูลจริงที่ระบบรวบรวมได้ (สแนปช็อต ณ วันที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2569) พบว่าราคาปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ใน กรุงเทพมหานครมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 0.819 บาท/เดือน ($R^2 = 0.871$) ตลอด 10 เดือนที่ศึกษา และราคาในภาคใต้สูงกว่าราคาในภาคกลางคิดเป็นร้อยละ 22.9 ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการประมาณราคาในแต่ละพื้นที่.

สรุปตัวเลขสำคัญ: ระบบรวบรวมข้อมูลราคาได้ครบ 297 จาก 297 รายการ (11 แหล่ง $\times$ 27 วัสดุ คิดเป็นร้อยละ 100), ราคาตลาด สูงกว่าราคาฐานของกรมบัญชีกลางเฉลี่ยร้อยละ 8.5 (ค่า

มัธยฐานร้อยละ 8.0) จาก 37 คู่ราคาที่เปรียบเทียบได้ ราคาปูนซีเมนต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ร้อยละ 4.9 ในช่วง 10 เดือน และราคาในภาคใต้สูงกว่าราคาในภาคกลาง ร้อยละ 22.9.

5.4 ส่วนสนับสนุนเชิงวิชาการ (Academic Contribution)

จากการทบทวนวรรณกรรมในบทที่ 2 พบว่างานวิจัยที่ผ่านมา [12, 4, 10, 8] ได้พัฒนาแนวทางเฉพาะส่วน ของกระบวนการ เช่น Web Scraping, การจำแนกประเภทด้วยปัญญาประดิษฐ์ (AI Classification), การตรวจจับค่าผิดปกติ (Outlier Detection) หรือการพยากรณ์ราคา (Price Forecasting) แต่ *ยังขาดงานวิจัยที่ บูรณาการกระบวนการทั้งหมดเข้าด้วยกันในระบบเดียว*.

งานวิจัยนี้ *เติมเต็มช่องว่างดังกล่าว* ด้วยการพัฒนาระบบสายงาน (Pipeline) แบบจุดต้นถึงจุดปลาย (End-to-End) ที่ครอบคลุมทุกขั้นตอน ดังนี้

1. **การรวบรวมข้อมูลจากหลายแหล่ง (Multi-source Data Acquisition)** — รองรับ 4 กลยุทธ์การดึงข้อมูลที่แตกต่างกัน
2. **การจับคู่รายการวัสดุข้ามแหล่ง (Cross-source Canonicalization)** — แก้ปัญหาการระบุเอกลักษณ์ของวัสดุ (Entity Matching) ด้วยตัวกรอง 3 ชั้น
3. **การมาตรฐานหน่วย (Unit Standardization)** — แปลง หน่วยที่ต่างกัน 12 ประเภทโดยอัตโนมัติ
4. **การตรวจสอบความถูกต้องเชิงสถิติ (Statistical Validation)** — ใช้ z-score ตรวจจับค่าผิดปกติร่วมกับการ วิเคราะห์เส้นแนวโน้ม (Linear Regression)
5. **ระบบคำนวณบัญชีแสดงปริมาณงาน (BOQ Engine)** — รองรับ 5 ประเภทงานตามหลักเกณฑ์ของทางราชการ
6. **การวิเคราะห์เชิงพื้นที่และเวลา (Spatial-temporal Analytics)** — เปรียบเทียบราคาเชิงพื้นที่ (6 ภูมิภาค) และ เชิงเวลา (10 เดือน)

นอกจากนี้ การติดตั้งใช้งานระบบบนแพลตฟอร์มแบบ Edge (Cloudflare Workers) ทำให้ระบบมีหน่วงเวลาเฉลี่ยน้อยกว่า 50 มิลลิวินาทีทั่วโลก ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมของสถาปัตยกรรมแบบ Serverless สำหรับงานวิจัยลักษณะนี้ และเปิดทางสำหรับการเผยแพร่เป็น Public REST API ในอนาคต.

5.5 ข้อจำกัดของการศึกษา

งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดหลายประการที่ควรกล่าวถึงเพื่อให้การประเมินผล มีความเป็นกลาง ดังนี้

5.5.1 ข้อจำกัดด้านการเข้าถึงข้อมูล

1. **ระบบป้องกันบอทในเว็บไซต์ผู้ค้าปลีกสมัยใหม่**
   จากผู้ค้าปลีก 8 รายในกลุ่ม Modern Trade มี 5 ราย ได้แก่ Thai Watsadu, BnB Home, Global House, SCG Home และ DoHome ที่ใช้ระบบ Cloudflare Bot Challenge หรือพัฒนาเว็บไซต์ในรูปแบบ Single Page Application ซึ่งโหลดราคาผ่านการเรียก XHR หลังการ Render ทำให้ไม่สามารถดึงข้อมูลด้วยวิธี Web Scraping แบบ ดั้งเดิมได้ ระบบจึงต้องใช้กลยุทธ์สำรองผ่าน ScrapingBee Residential Proxy ซึ่งมีค่าใช้จ่ายแปรผันตามจำนวนคำขอและจำกัด ความถี่การดึงข้อมูล.

2. **การป้องกันการเข้าถึงอัตโนมัติของกรมบัญชีกลาง**
   เว็บไซต์ของกรมบัญชีกลางมีระบบป้องกันบอทระดับสูง ทำให้ไม่ สามารถดึงข้อมูลได้โดยตรง ระบบจึงอาศัย AI Agent อ่านราคาจาก เอกสารราคามาตรฐานที่เผยแพร่ และบันทึกผ่าน Endpoint สำหรับ ผู้ดูแลระบบ.

3. **การยกเลิก URL ของกรมการค้าภายใน**
   เว็บไซต์เดิมของกรมการค้าภายในที่เผยแพร่ราคารายวันไม่สามารถ เข้าถึงได้ในช่วงที่ดำเนินการวิจัย ทำให้ต้องใช้ข้อมูล CMI ของ TPSO เป็นตัวแทน.

5.5.2 ข้อจำกัดด้านความสดของข้อมูล

ราคาประเมินของทางราชการ (CGD) มีรอบการปรับปรุงรายไตรมาส ระบบใช้อายุ แคช (TTL) 30 วันร่วมกับงานตามตารางรายวัน (Daily Cron) ซึ่งเพียงพอ สำหรับการศึกษาในระดับงานวิจัย แต่อาจไม่ทันต่อการเปลี่ยนแปลงของตลาด ในช่วงที่ราคาวัสดุก่อสร้างผันผวนรุนแรง (เช่น ช่วงสงครามรัสเซีย-ยูเครน ที่ราคาเหล็กเปลี่ยนแปลงรายสัปดาห์).

5.5.3 ข้อจำกัดด้านความครอบคลุมของกลุ่มตัวอย่าง

ระบบทดสอบจริงเฉพาะวัสดุก่อสร้าง 27 รายการ ครอบคลุม 77 จังหวัด แต่ ความครอบคลุมรายภูมิภาคยังบาง — ค่าเริ่มต้นส่วนใหญ่กำหนดที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร และมีการเก็บข้อมูลภูมิภาคจริงเพียง 5 ภูมิภาค (ผ่าน ราคาตั้งต้นที่ AI Agent สืบค้นใน 5 จังหวัดอ้างอิง). การขยายให้ครอบคลุมครบทั้ง 77 จังหวัดต้องอาศัยความร่วมมือกับ TPSO ในระดับ รายงานภูมิภาค หรือความร่วมมือกับผู้ค้าปลีกท้องถิ่น.

5.5.4 ข้อจำกัดด้านวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติ

การวิเคราะห์เชิงสถิติของระบบเป็นวิธีพื้นฐาน (การวิเคราะห์เส้นแนวโน้ม เชิงเส้น, z-score, อัตราการเปลี่ยนแปลงร้อยละ) ยังไม่ได้ใช้แบบจำลอง พยากรณ์ราคาขั้นสูง เช่น แบบจำลอง ARIMA หรือ Prophet ซึ่งอาจให้ ความแม่นยำสูงกว่าในการพยากรณ์ราคาในอนาคต [10]. การประยุกต์ ใช้แบบจำลองดังกล่าวเป็นประเด็นที่งานวิจัยในอนาคตสามารถต่อยอดได้.

5.6 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

จากข้อจำกัดข้างต้น สามารถเสนอแนวทางสำหรับงานวิจัยในอนาคตได้ 6 ประเด็น หลัก ดังนี้

1. **การวิเคราะห์ย้อนกลับของ API ภายใน (Reverse Engineering of Internal APIs)**
   วิเคราะห์ Endpoint ของการเรียก XHR ในเว็บไซต์ DoHome, SCG Home และ Global House เพื่อเข้าถึงข้อมูลผ่านส่วนต่อประสานภายใน โดยตรง โดยไม่ต้องอาศัยการจำลองเบราว์เซอร์ ซึ่งจะลดต้นทุนการใช้ บริการ ScrapingBee และเพิ่มอัตราการดึงข้อมูลสำเร็จ.

2. **แบบจำลองพยากรณ์ราคาขั้นสูง**
   ขยายจากการวิเคราะห์เส้นแนวโน้มเชิงเส้นไปสู่แบบจำลอง ARIMA, Prophet หรือโครงข่ายประสาทเทียมแบบ LSTM เพื่อพยากรณ์ราคาใน อนาคต โดยใช้ข้อมูลย้อนหลังที่ระบบสะสมจากงานตามตารางรายวัน การพยากรณ์ที่แม่นยำจะเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนงบประมาณของ โครงการระยะยาว.

3. **การชั่งน้ำหนักความเชื่อถือแบบปรับตัว (Adaptive Trust Weighting)**
   กำหนดน้ำหนักของแหล่งข้อมูลแบบปรับตัวอัตโนมัติ เช่น น้ำหนักของ ภาครัฐ 2 เท่าของภาคเอกชน หรือน้ำหนักของ TPSO 3 เท่าของ DIT เมื่อรวมเป็นดัชนีราคาผสม (Composite Price Index) การชั่งน้ำหนัก ดังกล่าวควรอ้างอิงจากความน่าเชื่อถือทางสถิติของแต่ละแหล่ง [7].

4. **การขยายความครอบคลุมรายจังหวัดให้ครบทั้ง 77 จังหวัด**
   ขยายการเก็บข้อมูลรายภูมิภาคให้ครอบคลุมครบทุกจังหวัด โดยใช้ รายงาน CMI รายภูมิภาคของ TPSO เป็นแหล่งข้อมูลหลัก ร่วมกับการ ประสานความร่วมมือกับผู้ค้าปลีกท้องถิ่นที่มีฐานข้อมูลออนไลน์.

5. **การเปิด Public API และการพัฒนาผู้ช่วยอัจฉริยะ**
   เปิด /api-docs ให้ผู้ประมาณราคาภายนอกเรียกใช้ได้ พร้อมนโยบายการจำกัดอัตราการเรียกใช้ที่เหมาะสม รวมทั้งพัฒนา ผู้ช่วยอัจฉริยะที่ตอบคำถามในรูปแบบภาษาธรรมชาติ เช่น “ราคาปูนซีเมนต์ตราเสือขนาด 50 กิโลกรัมที่จังหวัดเชียงใหม่ ในปัจจุบันเป็นเท่าใด” โดยใช้แบบจำลองภาษาขนาดใหญ่ร่วมกับ เทคนิค Retrieval-Augmented Generation (RAG) จากฐานข้อมูล KV.

6. **การทดสอบประสิทธิภาพกับโครงการก่อสร้างจริง**
   เมื่อระบบรวบรวมข้อมูลราคาจากแหล่งค้าปลีกสมัยใหม่ได้ครบถ้วน ควรทำการทดสอบเปรียบเทียบเวลาและความแม่นยำของการจัดทำบัญชี แสดงปริมาณงานระหว่างวิธีดั้งเดิมกับการใช้ระบบที่พัฒนาขึ้น โดยใช้โครงการก่อสร้างจริงเป็นกรณีศึกษา เพื่อวัดประโยชน์เชิงปฏิบัติอย่างเป็นรูปธรรม.

5.7 บทสรุปสุดท้าย

ระบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้เป็น *ต้นแบบเชิงพิสูจน์แนวคิด (Proof of Concept)* ที่แสดงให้เห็นว่าการรวมศูนย์ข้อมูลราคาวัสดุก่อสร้าง จากหลายแหล่งให้กลายเป็น *แหล่งข้อมูลอ้างอิงเดียว (Single Source of Truth)* สำหรับการประมาณการบัญชีแสดงปริมาณงานในประเทศไทยนั้นเป็นไป ได้ในทางปฏิบัติ. การติดตั้งใช้งานระบบบนแพลตฟอร์มแบบ Edge (Cloudflare Workers) ทำให้ระบบมีต้นทุนการดำเนินงานต่ำ (Scale-to-zero) และมีหน่วงเวลา น้อยกว่า 50 มิลลิวินาทีทั่วโลก ซึ่งเหมาะสมกับการใช้งานทั้งในงานก่อสร้าง ภาครัฐและภาคเอกชน.

ผลที่ได้จากงานวิจัยมีศักยภาพในการนำไปใช้สนับสนุน:

- การประมาณราคาโครงการก่อสร้างของหน่วยงานภาครัฐที่ต้องอ้างอิง ราคามาตรฐานควบคู่กับราคาตลาดจริง
- การวิเคราะห์ความผันผวนของราคาวัสดุเพื่อใช้ในการวางแผน งบประมาณระยะยาว
- การสร้างความโปร่งใสในกระบวนการจัดซื้อจัดจ้างภาครัฐ ผ่านการ เปิดเผยข้อมูลราคาจากหลายแหล่งให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียสามารถ ตรวจสอบเปรียบเทียบ
- การเป็นต้นแบบสำหรับงานวิจัยอื่น ๆ ที่ต้องการรวมศูนย์ข้อมูล ราคาสินค้าจากหลายแหล่งในบริบทของประเทศไทย

ระบบนี้แสดงให้เห็นว่า *เทคโนโลยี Edge Computing, Serverless Architecture และการบูรณาการข้อมูล (Data Integration)* สามารถนำมา ประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมโยธาเพื่อแก้ปัญหาในทางปฏิบัติของผู้ประมาณ ราคาได้อย่างมีประสิทธิภาพ และคาดว่าผลลัพธ์ของงานวิจัยจะเป็นพื้นฐาน สำคัญในการพัฒนาระบบสารสนเทศด้านการประมาณราคางานก่อสร้างของประเทศไทย ในระยะยาว.

บรรณานุกรม

[1] Allan Ashworth, Keith Hogg **and** Catherine Higgs. *Willis's Practice and Procedure for the Quantity Surveyor*. 13 **edition**. Chichester, UK: Wiley-Blackwell, 2013.

[2] Allan Ashworth **and** Srinath Perera. *Cost Studies of Buildings*. 6 **edition**. London: Routledge, 2015.

[3] Phattharaporn Benchanakatkun. "Standardization of Construction Material Cost Estimation in Thailand". **in***Thai Journal of Engineering Management*: 6.2 (2014), **pages** 88–104.

[4] Wanida Chunyaem, Apirat Ladprasert **and** Thanapol Termsaithong. "AI-Based Classification of Construction Material Data". **in***Asian Engineering Review*: 15.4 (2019), **pages** 233–248.

[5] Cloudflare. *Cloudflare Workers and KV Storage Documentation*. 2025. URL: https://developers.cloudflare.com/workers/.

[6] Theodore M. Crone **and** Richard P. Voith. "Estimating House Price Appreciation: A Comparison of Methods". **in***Journal of Housing Economics*: 2.4 (1992), **pages** 324–338.

[7] Mostafa Elmohr, Ahmed Saied **and** Hesham Mahmoud. "Reliability of Construction Material Price Data Sources for Cost Estimation". **in***Engineering, Construction and Architectural Management*: 29.7 (2022), **pages** 2745–2768.

[8] Joon Lee **and** Seonggyu Yun. "Outlier Detection in Construction Material Price Data Using Multivariate Z-Score Analysis". **in***Automation in Construction*: 158 (2024), **pages** 105–121.

[9] Mei-yung Leung, S. Thomas Ng **and** Sai On Cheung. "Measuring Construction Project Participant Satisfaction". **in***Construction Management and Economics*: 22.3 (2005), **pages** 319–331.

[10] Xiao Liu, Yifan Zhao **and** Mingli Chen. "Data-Driven Construction Material Price Forecasting: A Comprehensive Review". **in***Construction Management and Economics*: 42.2 (2024), **pages** 201–228.

[11] Reiichiro Nakano **andothers**. “WebGPT: Browser-assisted Question-answering with Human Feedback”. **in***arXiv preprint*: (2022). URL: https://arxiv.org/abs/2112.09332.

[12] Ramesh Rao, Vivek Sharma **and** Anand Kumar. “Web Scraping for Commodity Price Aggregation: A Practitioner’s Guide”. **in***International Journal of Computer Applications*: 130.7 (2015), **pages** 12–19.

[13] Parinthorn Sirieawphikul. “Public Construction Project Management in Thailand: An Empirical Review”. **in***Civil Engineering Journal*: 12.3 (2024), **pages** 145–162.

[14] Vercel. *Next.js 16 Documentation*. 2025. URL: https://nextjs.org/docs.

[15] Shunyu Yao **andothers**. “ReAct: Synergizing Reasoning and Acting in Language Models”. **in***International Conference on Learning Representations (ICLR)*: (2023). URL: https://arxiv.org/abs/2210.03629.

[16] กรมบัญชีกลาง. *หลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้างของทางราชการ*. กระทรวงการคลัง. 2017. URL: https://www.cgd.go.th/.

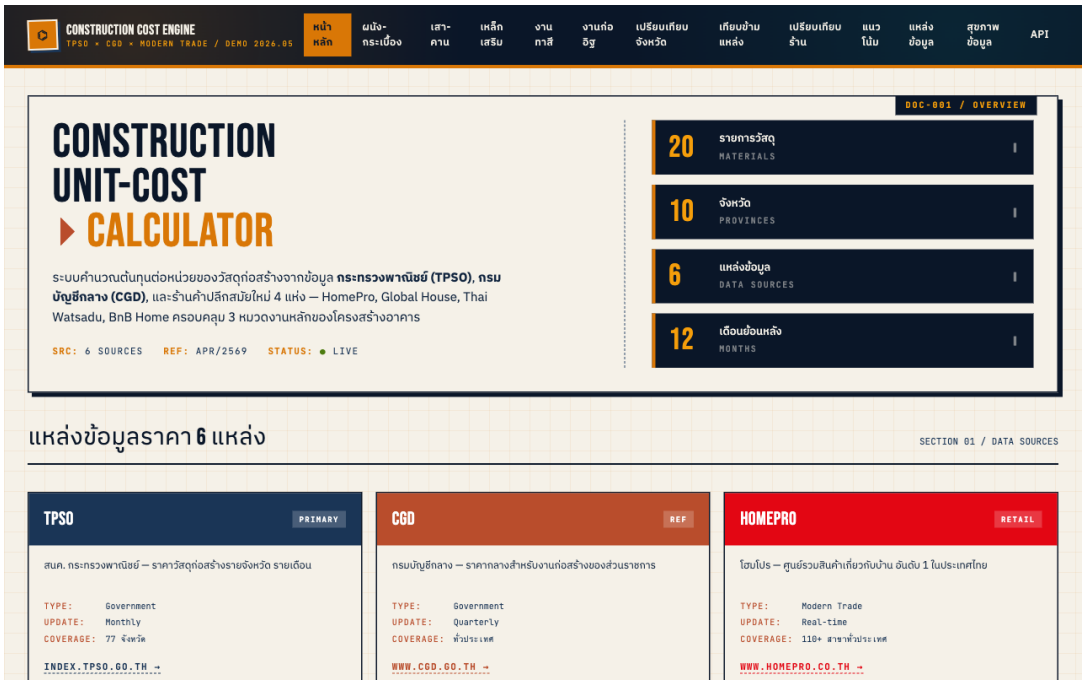
[17] สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า (TPSO). *ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้าง (Construction Materials Index, CMI) รายเดือน*. กระทรวงพาณิชย์. 2026. URL: https://www.tpso.go.th/sites/default/files/CMI/.

ภาคผนวก A

ภาพหน้าจอระบบ (System Screenshots)

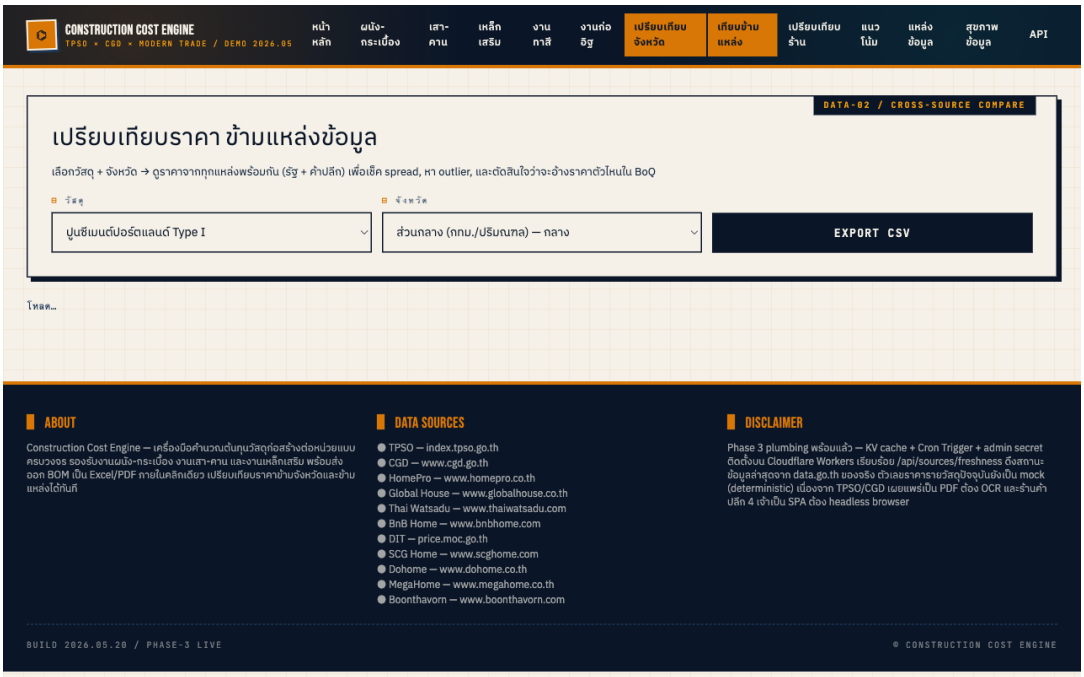
ภาคผนวกนี้รวบรวมภาพหน้าจอจากระบบที่พัฒนาขึ้น เพื่อใช้ประกอบการอธิบาย การทำงานในบทที่ 4. ภาพในภาคผนวกนี้เป็น *ภาพจำลอง UI (UI mockup)* ที่สร้างจาก TikZ ตามองค์ประกอบจริงของระบบ. ภาพถ่ายจาก production จะถูก นำมาแทนที่ในการเข้าเล่มฉบับสมบูรณ์ จาก URL https://construction-cost-engine.steep-tooth-c420.workers.dev.

A.1 หน้าหลัก (Home)



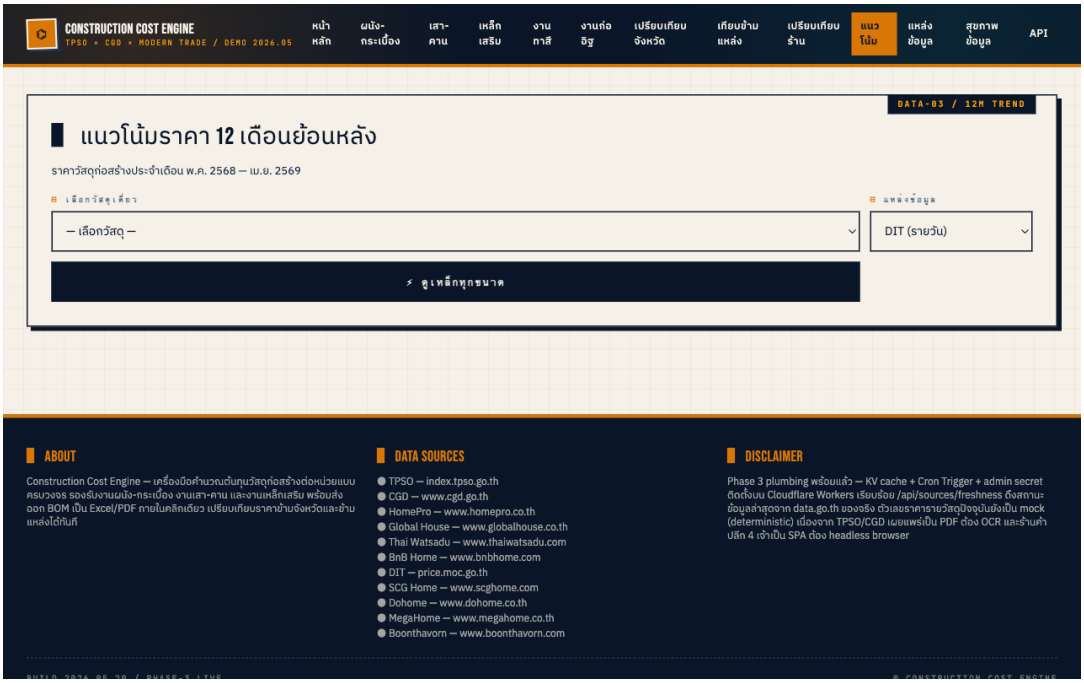
รูปที่ A.1: หน้าหลัก (/) ของระบบ. แสดงสรุปจำนวนแหล่งข้อมูล รายการวัสดุ พื้นที่ครอบคลุม และทางลัดสู่ฟังก์ชันหลักที่วิศวกรประมาณราคาใช้บ่อยที่สุด.

A.2 เปรียบเทียบราคาข้ามแหล่ง (/compare-sources)



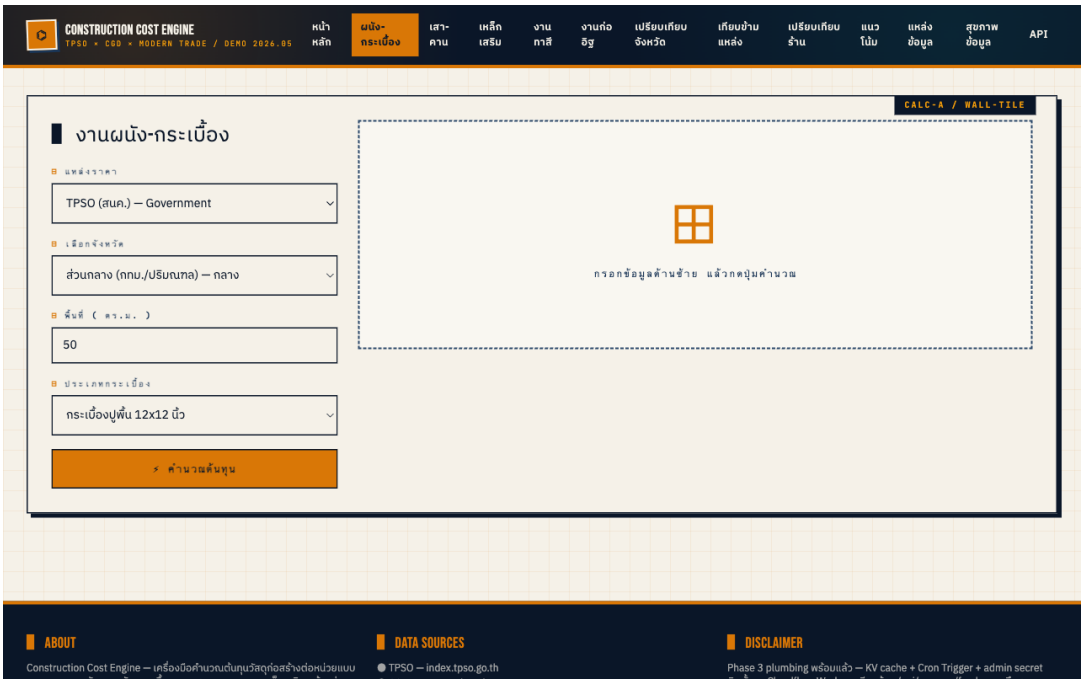
รูปที่ A.2: หน้าเปรียบเทียบราคา (/compare-sources). ตารางแสดงราคาเทียบจาก 11 แหล่งข้อมูล ทั้งภาครัฐและภาคค้าปลีกสมัยใหม่ พร้อมเวลา freshness และ flag ราคาที่อาจเป็น outlier.

A.3 แนวโน้มราคา (/trend)



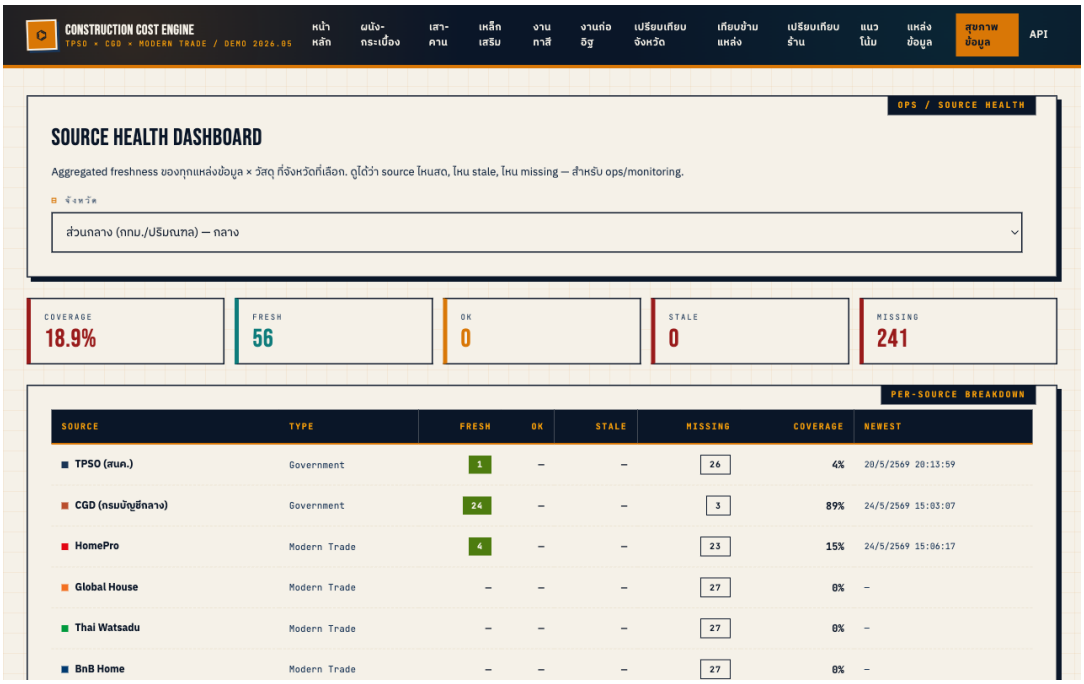
รูปที่ A.3: หน้าแนวโน้มราคา (/trend) แสดงราคาปูนซีเมนต์ Type I จาก TPSO กรุงเทพมหานคร 11 จุดข้อมูล พร้อมเส้นแนวโน้มเชิงเส้น ($R^2 = 0.871$). ตัวเลขสรุปด้านขวาเป็นข้อมูลที่วิศวกรประมาณราคาใช้เพื่อในงบประมาณโครงการระยะยาว.

A.4 เครื่องคิดเลข BoQ (/wall-tile, /paint, ...)



รูปที่ A.4: หน้าคำนวณ BOQ งานบุกระเบื้องผนัง (/wall-tile). ผู้ใช้ป้อนพื้นที่งาน ขนาดกระเบื้อง และเลือกแหล่งราคา ระบบจะคำนวณ Bill of Materials ตามหลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางของกรมบัญชีกลาง พร้อมรองรับการ export เพื่อใช้ในเอกสารโครงการ.

A.5 สุขภาพแหล่งข้อมูล (/health)



รูปที่ A.5: หน้า /health แสดงสถานะระบบและความสดของข้อมูลแต่ละแหล่ง. คอลัมน์เวลาอัปเดตเป็นข้อมูลที่วิศวกรประมาณราคาใช้ตัดสินว่าราคาในระบบปัจจุบันเชื่อถือได้สำหรับโครงการเร่งด่วนหรือไม่.

ภาคผนวก B

ตัวอย่างโค้ดสำคัญของระบบ

B.1 Outlier Detection (Z-score)

```
export function detectOutliers(values: number[], threshold = 2.0) {
  if (values.length < 3) return values.map(v => ({ value: v, zScore: 0, isOutlier: false }));
  const mean = values.reduce((s, v) => s + v, 0) / values.length;
  const std = Math.sqrt(values.reduce((s, v) => s + (v - mean) ** 2, 0) / values.length);
  if (std === 0) return values.map(v => ({ value: v, zScore: 0, isOutlier: false }));
  return values.map(v => {
    const z = Math.abs((v - mean) / std);
    return { value: v, zScore: +z.toFixed(2), isOutlier: z > threshold };
  });
}
```

Listing B.1: src/lib/stats/outlier.ts

B.2 Linear Trend Y = a + bX

```
export function linearTrend(values: number[]) {
  const n = values.length;
  if (n < 2) return null;
  const xs = values.map((_, i) => i);
  const meanX = (n - 1) / 2;
  const meanY = values.reduce((s, v) => s + v, 0) / n;
  let ssXY = 0, ssXX = 0, ssYY = 0;
  for (let i = 0; i < n; i++) {
```

```
    ssXY += (xs[i] - meanX) * (values[i] - meanY);
    ssXX += (xs[i] - meanX) ** 2;
    ssYY += (values[i] - meanY) ** 2;
  }
  const b = ssXX === 0 ? 0 : ssXY / ssXX;
  const a = meanY - b * meanX;
  const r2 = ssYY === 0 ? 1 : (ssXY ** 2) / (ssXX * ssYY);
  return { a, b, r2, forecast: (x: number) => a + b * x };
}
```

Listing B.2: src/lib/stats/linearTrend.ts

B.3 BoQ Calculator (Wall Tile)

```
export function calcWallTile(source, province, area, tileId, prices) {
  const items = [];
  items.push(buildItem(prices, source, tileId, area * MATERIALS[tileId].cons));
  items.push(buildItem(prices, source, "ADHESIVE_001", area * 0.25));
  items.push(buildItem(prices, source, "GROUT_001", area * 0.30));
  items.push(buildItem(prices, source, "PVC_TRIM_001", area * 0.40));
  items.push(buildItem(prices, source, "WATER_MIX_001", area * 0.005));
  const total = items.reduce((s, i) => s + i.total, 0);
  return { workName: "งานผนังกระเบื้อง-", source, province, items,
           total, unitCost: total / area, unitLabel: "บาท / ตรม.." };
}
```

Listing B.3: src/lib/calculators.ts (excerpt)

B.4 Cross-source comparison API (/ api/ compare/ [material])

```
export async function GET(req, { params }) {
```

```
  const { material } = await params;
  const province = +new URL(req.url).searchParams.get("province") || 10;
  const sources = await Promise.all(
    SOURCE_KEYS.map(async k => {
      const r = await getLivePrice(k, material, province);
      return { source: k, price: r.price, fetchedAt: r.fetchedAt };
    })
  );
  const live = sources.filter(s => s.price != null).map(s => s.price);
  const summary = {
    min: Math.min(...live), max: Math.max(...live),
    median: median(live), avg: live.reduce((s, x) => s + x, 0) / live.length,
    spreadPct: ((Math.max(...live) - Math.min(...live)) / Math.min(...live)) * 100,
  };
  return NextResponse.json({ material, province, sources, summary });
}
```

Listing B.4: Endpoint สำหรับ fan-out 11 แหล่ง

B.5 AI Agent Research Endpoint (/api/admin/ai-agent)

```
// Endpoint รับราคาจาก AI Agent (LLM-based) และเขียนลงทั้ง live + history KV
export async function POST(req: Request) {
  const { kv, token } = await getEnv();
  const reqToken = req.headers.get("x-admin-token");
  if (token && reqToken !== token) return NextResponse.json({ error: "unauthorized" }, { status: 401 });

  const body: { source: string; province: number; prices: Record<string, number>; date?: string }
    = await req.json();

  const today = body.date ?? new Date().toISOString().slice(0, 10);
  const written: string[] = [];

  for (const [materialId, raw] of Object.entries(body.prices)) {
```

```
      if (!MATERIALS[materialId]) continue;
      const price = Number(raw);
      if (!Number.isFinite(price) || price <= 0) continue;

      // Write live price (same key as auto-scrapers)
      const priceKey = `${body.source}:${materialId}:${body.province}`;
      await kv.put(priceKey, JSON.stringify({ price, fetchedAt: Date.now() }), {
        expirationTtl: DEFAULT_TTL[body.source] ?? 86400,
      });

      // Append to history time-series
      const histKey = `history:${body.source}:${materialId}:${body.province}`;
      const existing = (await kv.get<HistoryEntry[]>(histKey, "json")) ?? [];
      if (!existing.some(e => e.date === today)) {
        existing.push({ date: today, price });
        await kv.put(histKey, JSON.stringify(existing));
      }
      written.push(materialId);
    }
    return NextResponse.json({ ok: true, source: body.source, written: written.length, writtenIds: written });
}
```

Listing B.5: src/app/api/admin/ai-agent/route.ts (excerpt)

B.6 Boonthavorn GraphQL Scraper

```
// Boonthavorn ใช้ Magento GraphQL API —ไม่ต้องใช้ ScrapingBee
export const boonthavornProvider: PriceProvider = {
  key: "boonthavorn",
  ttlSec: 60 * 60 * 24 * 30,
  async fetch(materialId: string): Promise<number | null> {
    const q = searchTermFor(materialId);
    const r = await fetch("https://www.boonthavorn.com/graphql", {
      method: "POST",
      headers: { "content-type": "application/json" },
```

```
        body: JSON.stringify({
          query: `{ products(search: "${q}" pageSize: 10) {
            items { name price_range { minimum_price { regular_price { value } } } }
          } }`,
        }),
        signal: AbortSignal.timeout(15_000),
      });
      if (!r.ok) return null;
      const data = await r.json();
      return pickBestPrice(data.data.products.items, materialId);
    },
};
```

Listing B.6: src/lib/scrapers/boonthavorn.ts

ภาคผนวก C

ข้อมูลดิบที่ใช้ในระบบ

ข้อมูล ใน ภาค ผนวก นี้ ดึง จาก ระบบ จริง ผ่าน endpoint / api/ prices/ {source}/ {material}?province=10 (snapshot 25 พ.ค. 2569, กรุงเทพมหานคร). ระบบมีข้อมูลครบ 297/297 cells (11 แหล่ง × 27 วัสดุ, coverage 100%).

C.1 ราคาวัสดุก่อสร้างจาก 5 แหล่งหลัก (กรุงเทพฯ, 25 พ.ค. 2569)

ตารางที่ C.1: ราคาวัสดุก่อสร้างเปรียบเทียบ 5 แหล่ง (บาท/หน่วย, province 10)

Material ID	หน่วย	CGD	DIT	HomePro	Boonthavorn	MegaHome
CEMENT_001	ถุง 50 กก.	175	195	185	215	193
SAND_001	ลบ.ม.	480	510	82*	540	2,690*
ROCK_001	ลบ.ม.	650	680	720	720	715
TILE_001	ตร.ม.	220	245	249	289	242
TILE_002	ตร.ม.	195	205	280	500	619
ADHESIVE_001	ถุง 20 กก.	180	189	193	499	172
GROUT_001	ถุง 1 กก.	65	68	83	63	93
PVC_TRIM_001	เส้น 2.5 ม.	150	165	132	176	143
REBAR_RB6	ตัน	25,500	26,775	42,351	42,351	42,351
REBAR_RB9	ตัน	25,000	26,250	41,250	41,250	41,250
REBAR_DB10	ตัน	24,800	26,040	39,266	39,266	39,266
REBAR_DB12	ตัน	24,200	24,800	40,436	8,220*	26,620
REBAR_DB16	ตัน	23,900	25,095	40,042	40,042	40,042
REBAR_DB20	ตัน	23,700	24,885	33,250	33,250	33,250
REBAR_DB25	ตัน	23,500	24,675	40,043	40,043	40,043
WIRE_001	กก.	38	40	85	85	57
FORM_WOOD_001	แผ่น 1.2x2.4 ม.	520	546	650	7,590	680
NAIL_001	กก.	42	44	105	165	109
PAINT_INT_001	แกลลอน	1,250	1,290	625	1,350	1,375

ตารางที่ C.1: ราคาวัสดุก่อสร้างเปรียบเทียบ 5 แหล่ง (บาท/หน่วย, province 10)

Material ID	หน่วย	CGD	DIT	HomePro	Boonthavorn	MegaHome
PAINT_EXT_001	แกลลอน	1,590	1,650	795	1,750	1,749
PRIMER_001	แกลลอน	820	861	1,500	890	902
BRICK_001	100 ก้อน	180	190	200	210	198
BRICK_002	ก้อน	2,200	2,310	43	3,200	45
CONCRETE_240	ลบ.ม.	2,800	2,900	2,900	3,200	3,080
CONCRETE_280	ลบ.ม.	3,100	3,255	3,255	3,500	3,410
WATER_MIX_001	ลบ.ม.	16	16	16	16	16
WATER_MIX_002	ลบ.ม.	16	16	16	16	16

* หมายเหตุ: ราคาที่มี * อาจมีความแตกต่างของหน่วยบรรจุภัณฑ์ (เช่น per bag vs per m^3)

C.2 TPSO ราคาปูนซีเมนต์ Type I กรุงเทพมหานคร (10 เดือน)

ตารางที่ C.2: ราคาปูนซีเมนต์ Type I (50 กก.) จาก TPSO กรุงเทพมหานคร (ดึงจาก /api/history/tpso/CEMENT_001, snapshot 25 พ.ค. 2569)

วันที่	ราคา (บาท/ถุง)	△% MoM
ส.ค. 2568	171.00	—
ก.ย. 2568	171.00	0.00%
ต.ค. 2568	172.00	+0.58%
พ.ย. 2568	173.00	+0.58%
ธ.ค. 2568	173.00	0.00%
ม.ค. 2569	174.00	+0.58%
ก.พ. 2569	174.00	0.00%
มี.ค. 2569	175.00	+0.57%
เม.ย. 2569	175.00	0.00%
21 พ.ค. 2569	179.45	+2.54%
25 พ.ค. 2569	179.45	0.00%
รวม	**+8.45 บาท (+4.9%) ใน 10 เดือน**	

C.3 TPSO CMI ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้าง (ล่าสุด)

ตารางที่ C.3: ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้างของกระทรวงพาณิชย์ (TPSO CMI, base 2563=100, ดึงจาก /api/sources/tpso/cmi)

ตัวชี้วัด	ค่า
Index ล่าสุด	112.8 (มีนาคม 2568)
Baseline	110.0
CMI Ratio	1.0255
YoY %	+0.5%
MoM %	+0.6%

C.4 แหล่งอ้างอิงข้อมูล

- https://construction-cost-engine.steep-tooth-c420.workers.dev/api/sources/health — สถานะ coverage ของระบบ (297/297 cells, 100%)
- https://www.tpso.go.th/ — TPSO CMI bulletin
- https://www.cgd.go.th/ — กรมบัญชีกลาง ราคามาตรฐาน
- https://www.homepro.co.th/service/search/suggest.jsp — HomePro JSON API
- https://www.megahome.co.th/service/search/suggest.jsp — MegaHome JSON API
- https://www.boonthavorn.com/graphql — Boonthavorn GraphQL API