

การพัฒนาตัวแบบการถดถอยสำหรับการประมาณต้นทุนขั้นต้น
งานก่อสร้างท่อส่งก๊าซธรรมชาติโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง
ในนิคมอุตสาหกรรมของประเทศไทย
Regression Model Development for Preliminary Cost
Estimation of High Density Polyethylene Natural Gas
Pipeline Construction in Industrial Estates of Thailand

นันทชัย กานตานันท์*

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

วุฒิชัย จันทร์อินทร์

สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

Nantachai Kantanantha*

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University,

Ladyao, Chatuchak, Bangkok 10900

Wuttichai Chan-in

Engineering Management Program, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,

Kasetsart University, Ladyao, Chatuchak, Bangkok 10900

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาตัวแบบการถดถอยสำหรับการประมาณต้นทุนที่รวดเร็วและเหมาะสมของงานก่อสร้างท่อส่งก๊าซธรรมชาติโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง ขนาด 63, 110, 160 และ 225 มิลลิเมตร ในระบบโครงข่ายท่อส่งก๊าซธรรมชาติพื้นที่เหมาะสมโดยการเก็บรวบรวมข้อมูลของโครงการตั้งแต่ พ.ศ. 2552 ถึง พ.ศ. 2556 รวมทั้งหมดจำนวน 70 ข้อมูล จาก 46 โครงการ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกจำนวน 60 ข้อมูล จาก 38 โครงการ ใช้ในการสร้างตัวแบบการถดถอย และส่วนที่สอง จำนวน 10 ข้อมูล จาก 8 โครงการ ใช้ในการตรวจสอบตัวแบบการถดถอย ข้อมูลต้นทุนรวมของการก่อสร้างแต่ละโครงการประกอบด้วยต้นทุนวัสดุ ต้นทุนแรงงาน และต้นทุนงานสำรวจรวมทั้งการออกแบบและขออนุญาตจากหน่วยงานเจ้าของพื้นที่ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีการถดถอยแบบขั้นบันไดพบว่าตัวแปรอิสระที่มีนัยสำคัญได้แก่ ความยาวท่อ จำนวน

*ผู้รับผิดชอบบทความ : nantachai.k@ku.ac.th

วาล์ว วิธีการก่อสร้าง และประเภทการใช้งานของท่อ ในขณะที่ค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมบูรณ์ของค่าประมาณต้นทุนรวมสำหรับข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบตัวแบบมีค่าอยู่ระหว่าง 3.03 ถึง 12.80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังนั้นตัวแบบการถดถอยนี้ช่วยให้การประมาณต้นทุนขั้นต้นทำได้รวดเร็วและเทคนิคนี้สามารถนำไปใช้ได้จริง

คำสำคัญ : ตัวแบบการถดถอย; การถดถอยแบบขั้นบันได; การประมาณต้นทุนขั้นต้น; ท่อส่งก๊าซธรรมชาติ

Abstract

The objective of this research is to develop the regression models for rapid and suitable cost estimation of the High Density Polyethylene natural gas pipeline of sizes 63, 110, 160 and 225 millimeters. This natural gas pipeline network is located in Hemaraj area. Total of 70 data from 46 projects from years 2009 to 2013 were collected for the study. These data are divided into two parts. The first part, 60 data from 38 projects, is used to develop regression models and the second part, 10 data from 8 projects, is used to test the performance of the regression models. The total construction cost of each project is composed of material cost, labor cost, and survey cost including design and Right of Way (ROW) permission cost. By using stepwise regression, the results indicate that significant independent variables are pipe length, number of valves, construction methods, and categories of pipeline functions. The mean absolute percentage errors of the estimates of total costs for the testing data are in the range of 3.03 to 12.80 percent which are acceptable. Thus, these regression models can expedite the preliminary cost estimation and this technique is applicable to actual practice.

Keywords: regression model; stepwise regression; preliminary cost estimation; natural gas pipeline

1. บทนำ

การขนส่งก๊าซธรรมชาติผ่านท่อโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (high density polyethylene, HDPE) ในประเทศไทยมีการนำไปใช้กับระบบท่อจัดจำหน่ายก๊าซธรรมชาติ (natural gas distribution pipeline system) เพื่อขนส่งก๊าซธรรมชาติไปยังโรงงานอุตสาหกรรมในเขตพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมของประเทศไทย ดังรูปที่ 1

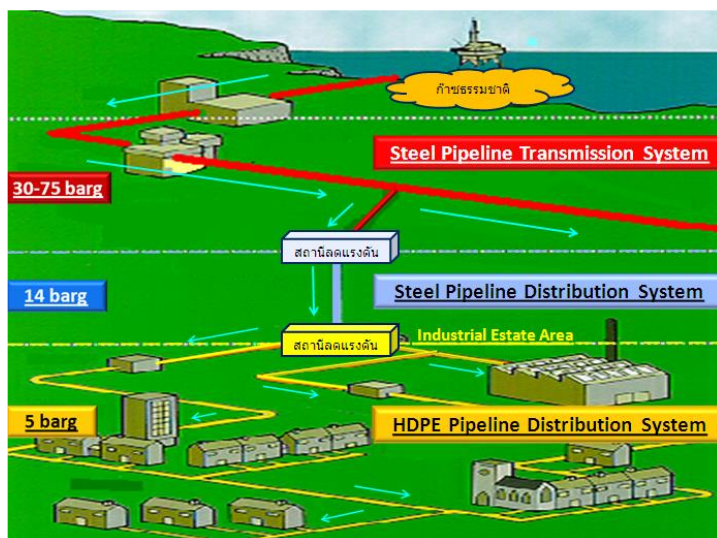
การขนส่งก๊าซธรรมชาติทางทะเลจะผ่านระบบท่อเหล็กที่สามารถรับแรงดันสูงในการขนส่งก๊าซ

ธรรมชาติไปยังสถานีดัดแรงดันเพื่อลดแรงดันให้เหมาะสมกับการใช้งานระบบท่อ HDPE ที่สามารถรับแรงดันได้ 2.5 บาร์ ถึง 5 บาร์ สำหรับการก่อสร้างในพื้นที่อุตสาหกรรม และท่อ HDPE ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันมีอยู่ 4 ขนาด ตามเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกได้แก่ 63, 110, 160 และ 225 มิลลิเมตร ซึ่งการใช้ท่อ HDPE นั้นมีข้อดีคือการบำรุงรักษาที่น้อยเนื่องจากไม่เกิดสนิม ทนทานต่อการกัดกร่อนจากสารเคมีได้ดี มีพื้นผิวภายในเรียบทำให้ช่วยลดแรงเสียดทานของการไหลของก๊าซภายในท่อ และค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างถูก

กว่าท่อเหล็ก

การดำเนินธุรกิจจัดจำหน่ายก๊าซธรรมชาติให้กับลูกค้าซึ่งเป็นกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมโดยการขนส่งก๊าซธรรมชาติผ่านระบบท่อ HDPE จำเป็นต้องมีการออกแบบระบบท่อสำรวจพื้นที่ และประมาณต้นทุนงานก่อสร้าง โดยการประมาณต้นทุนงานก่อสร้างนั้นถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการพัฒนาระบบท่อจัดจำหน่ายก๊าซธรรมชาติเพื่อให้ข้อมูลกับลูกค้าที่มีความต้องการใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการผลิต สำหรับพิจารณาการวางแผนพัฒนาโครงการการจัดตั้งงบประมาณ และการตัดสินใจลงทุนโครงการ ในปัจจุบันการประมาณต้นทุนงานก่อสร้างท่อ HDPE เป็นการประมาณต้นทุนอย่างละเอียด โดยฝ่ายพัฒนาระบบเครือข่ายของบริษัททศนิศึกษาใช้ระยะเวลาประมาณ 15 วัน ประกอบด้วย ประสานงานนัดสำรวจ

พื้นที่ 1 วัน สำรวจพื้นที่ 7 วัน และประมาณต้นทุน 7 วัน แต่ในสภาวะการณ์ปัจจุบันมีการขยายระบบท่อในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมต่างๆ เพิ่มขึ้น ประกอบกับการแข่งขันที่เพิ่มสูงขึ้นจากเชื้อเพลิงทดแทนชนิดอื่น ๆ รวมถึงการลงทุนในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมของลูกค้าจากทั้งภายในประเทศหรือต่างประเทศ ที่มีความต้องการได้รับการสนับสนุนข้อมูลการประมาณต้นทุนขั้นต้นของโครงการอย่างรวดเร็ว ทันเวลา งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาตัวแบบประมาณต้นทุนขั้นต้นที่เหมาะสมเพื่อเป็นข้อมูลให้กับฝ่ายขายในการสนับสนุนข้อมูลให้แก่ลูกค้า และตอบสนองความต้องการในใช้ข้อมูลต้นทุนได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยสร้างความพึงพอใจแก่ลูกค้า โดยงานวิจัยนี้จะใช้ตัวแบบการถดถอย (regression model) ในการประมาณต้นทุนขั้นต้น



รูปที่ 1 การขนส่งก๊าซธรรมชาติผ่านระบบท่อเข้าสู่โรงงาน (ที่มา : บริษัททศนิศึกษา)

การสร้างตัวแบบการถดถอยจะพิจารณาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อต้นทุนงานก่อสร้างจากรายละเอียดงานทั้งหมดที่ผู้รับเหมาได้เสนอราคาสำหรับงานก่อสร้างของโครงการโดยครอบคลุมงานก่อสร้างทั้งหมด ประกอบด้วย

- 1.1 ความยาวท่อ HDPE แต่ละขนาด มีหน่วยเป็นเมตร
- 1.2 วาล์ว เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับดูแลรักษาระบบท่อก๊าซธรรมชาติภายหลังจากที่งานก่อสร้างแล้วเสร็จ โดยการออกแบบงานก่อสร้างจำเป็น

ที่จะต้องกำหนดตำแหน่งของวาล์วเพื่องานดูแลรักษาในอนาคต

1.3 ค่าแรงสำหรับการก่อสร้างรวมถึงค่าคืนสภาพพื้นที่การก่อสร้าง

1.4 การขออนุญาตกับหน่วยงานราชการหรือหน่วยงานเจ้าของพื้นที่

1.5 ประเภทของการใช้งานท่อ มี 2 ประเภท คือ ท่อหลัก (main pipeline, MPL) และท่อบริการ (service pipeline, SPL) ซึ่งเป็นท่อที่ต่อจากท่อหลักเข้าสู่บริเวณพื้นที่โรงงาน

1.6 วิธีการก่อสร้าง ซึ่งปัจจุบันมีอยู่ 2 แบบด้วยกันดังนี้



รูปที่ 4 การก่อสร้างโดยวิธีการดันทลอด

แบบที่ 1 วิธีการก่อสร้างแบบขุดเปิด (open cut) ใช้ในลักษณะของสภาพพื้นที่ที่สามารถนำเครื่องจักรเข้าบริเวณพื้นที่ก่อสร้างได้โดยไม่มีสิ่งกีดขวาง เช่น ถนนทางเข้าโรงงาน หรือไม่ส่งผลกระทบกับการจราจร การสัญจร ไม่ว่าจะเป็นทางบกหรือทาง

น้ำ โดยสภาพพื้นที่สำหรับการขุดเปิดในปัจจุบัน ได้แก่ พื้นที่หญ้า ทางเท้า ถนนคอนกรีต หิน และพื้นที่ลาดชัน เป็นต้น รูปถ่ายสำหรับวิธีการก่อสร้างโดยวิธีขุดเปิดแสดงดังรูปที่ 2

แบบที่ 2 วิธีการก่อสร้างแบบพิเศษ ใช้ในลักษณะของสภาพพื้นที่ที่ไม่สามารถก่อสร้างด้วยวิธีการก่อสร้างแบบขุดเปิดได้ เช่น การวางท่อลอดผ่านใต้ถนนทางเข้าออกของโรงงานอุตสาหกรรม ถนนคลอง แม่น้ำ สะพาน ทางรถไฟ หรือ ท่อสาธารณูปโภคอื่น ๆ เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเช่น การสัญจรในคลองและถนน รวมถึงทางเข้าออกของโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น โดยวิธีการก่อสร้างแบบพิเศษนี้มี 2 วิธีด้วยกันดังนี้

(1) วิธีการเจาะลอด (horizontal directional drilling, HDD) โดยการก่อสร้างวิธีนี้จะเริ่มจากการกำหนดตำแหน่งจุดที่จะทำการเจาะหรือจุดท่อเข้า (entry point) และจุดที่หัวเจาะโผล่หรือจุดท่อออก (exit point) และก่อสร้างบ่อที่จุดท่อเข้าและจุดท่อออกโดยนำเครื่อง HDD ติดตั้งที่จุดท่อเข้าและทำการเจาะโดยใช้ก้านเจาะนำ (pilot hole drilling) ต่อเนื่องพร้อมกับตรวจสอบทิศทางแนวเจาะให้ได้ตามแบบที่กำหนด หากทิศทางของหัวเจาะเริ่มเฉียงไปจากแบบ จะทำการดึงหัวเจาะกลับหลังเล็กน้อยก่อนเดินหน้าเจาะต่อไปจนไปโผล่ที่จุดท่อออกบริเวณฝั่งตรงข้ามคลองหรือฝั่งถนนจากนั้นทำการขยายรูเจาะโดยการคว้านด้วยหัวคว้าน (pre-reaming) โดยต่อท่อ PVC ซึ่งเป็นท่อปลอกนำ (PVC sleeve) เข้ากับ reamer แล้วเริ่มดึงท่อ PVC (pipeline pullback) บริเวณจุดท่อออกกลับไปยังหลุมเจาะบริเวณจุดท่อเข้า ในขณะที่ดึงกลับมีการฉีดเบสโตนีทที่อยู่ในรูปของแข็งกึ่งของเหลวฉีดเข้าไปในโพรงดินเพื่อป้องกันการเสียรูปของโพรงดินตลอดเวลา จากนั้นทำการสอดท่อก๊าซเข้าไปในท่อปลอก PVC และคืนสภาพพื้นที่บ่อให้อยู่ในสภาพเดิม

การก่อสร้างด้วยวิธี HDD จำเป็นต้องมีพื้นที่ในการวางเรียงท่อเพื่อทำการดึงท่อปลอก PVC และสอดท่อก๊าซเข้าไปภายหลังจากที่มีการเจาะแล้ว รูปถ่ายการก่อสร้างโดยวิธีการเจาะลอด แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การก่อสร้างโดยวิธีการเจาะลอด



รูปที่ 4 การก่อสร้างโดยวิธีการดันทลอด

(2) วิธีการดันทลอด (boring-jacking) โดย การก่อสร้างวิธีนี้ไม่จำเป็นต้องมีพื้นที่ในการวางเรียงท่อ ด้านบนแต่จำเป็นต้องมีบ่อส่งและบ่อรับ โดยบ่อส่ง

มีหน้าที่เพื่อนำเครื่องจักรสำหรับดันท่อลงไปไว้ในบ่อ และเครื่องจักรจะทำการดันท่อปลอกเหล็กจากบ่อส่งนี้ ไปยังบ่อรับเพื่อเป็นทางออกของท่อ จากนั้นจะทำการสอดท่อปลอก PVC ตามเข้าไปอยู่ด้านในอีกชั้นหนึ่ง แล้วจึงทำการสอดท่อก๊าซเข้าไปด้านในสุดและคืนสภาพพื้นที่บ่อให้อยู่ในสภาพเดิม การเลือกใช้วิธีการก่อสร้างนั้นขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่หน้างานที่เหมาะสม และข้อกำหนดของเจ้าของพื้นที่เป็นหลัก รูปถ่ายการก่อสร้างโดยวิธีการดันทลอด แสดงดังรูปที่ 4

2. วิธีวิจัย

2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

สำหรับข้อมูลของโครงการที่ใช้ในการประมาณต้นทุนขั้นต้นงานก่อสร้างท่อส่งก๊าซธรรมชาติ HDPE ผู้วิจัยรวบรวมข้อมูลของโครงการทั้งหมดจากการเสนอราคาระบบโครงข่ายท่อส่งก๊าซธรรมชาติพื้นที่เหมาะสมซึ่งอยู่ในเขตนิคมอุตสาหกรรมเหมราชอีสเทิร์นซีบอร์ดและนิคมอุตสาหกรรมอีสเทิร์นซีบอร์ด (ระยอง) ของผู้รับเหมา ตั้งแต่ พ.ศ. 2552 ถึง พ.ศ. 2556 รวมทั้งสิ้น 46 โครงการ โดยแบ่งข้อมูลตามขนาดของท่อได้ทั้งหมด 70 ข้อมูล สำหรับใช้ในการสร้างและตรวจสอบตัวแบบการถดถอย แต่เพื่อให้ผลการตรวจสอบความแม่นยำในการประมาณต้นทุนของตัวแบบการถดถอยดีเกินความเป็นจริง ข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบจึงไม่ควรเป็นข้อมูลเดียวกับที่ใช้ในการสร้างตัวแบบ [1] ดังนั้นผู้วิจัยจึงแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน โดยวิธีการสุ่มประกอบด้วย ส่วนการสร้างตัวแบบการถดถอย จำนวน 60 ข้อมูล จาก 38 โครงการ และส่วนการตรวจสอบตัวแบบการถดถอย จำนวน 10 ข้อมูล จาก 8 โครงการ ทั้งนี้บางโครงการมีมากกว่า 1 ข้อมูล เนื่องจากโครงการเหล่านั้นมีท่อหลายขนาด และแต่ละข้อมูลจะประกอบด้วยท่อเพียงขนาดเดียวเท่านั้น

2.2 การแบ่งประเภทต้นทุนงานก่อสร้าง

ต้นทุนงานก่อสร้างท่อส่งก๊าซธรรมชาติ แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ (1) ต้นทุนวัสดุ (material cost) (2) ต้นทุนแรงงาน (labor cost) (3) ต้นทุนการขออนุญาตจากหน่วยงานเจ้าของพื้นที่ (right of way cost) และ (4) ต้นทุนเบ็ดเตล็ด (miscellaneous cost) [2-4] โดยต้นทุนเบ็ดเตล็ดประกอบด้วยต้นทุนอื่น ๆ ที่ไม่ได้อยู่ในต้นทุน 3 ประเภทแรก

งานวิจัยนี้ ต้นทุนของงานก่อสร้างท่อส่งก๊าซธรรมชาติ HDPE สำหรับการก่อสร้างท่อแต่ละขนาดจะแบ่งออกแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ต้นทุนวัสดุ ต้นทุนแรงงาน และต้นทุนงานสำรวจ รวมทั้งการออกแบบและขออนุญาตจากหน่วยงานเจ้าของพื้นที่

การที่งานวิจัยนี้นำต้นทุนการขออนุญาตจากหน่วยงานเจ้าของพื้นที่และต้นทุนเบ็ดเตล็ดมารวมกันเป็นไปตามวิธีการเสนอราคาของบริษัทผู้รับเหมาในประเทศไทย และเมื่อรวมต้นทุนทั้งสามประเภทเข้าด้วยกันจะได้เป็นต้นทุนรวมของการก่อสร้าง

2.3 การวิเคราะห์การถดถอย

การวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (dependent variable) และตัวแปรอิสระ (independent variable) ว่ามีความสัมพันธ์กันในลักษณะใด ถ้าสัมประสิทธิ์ในตัวแบบการถดถอยมีความสัมพันธ์ในลักษณะเชิงเส้น จะเรียกว่าการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (linear regression analysis) ซึ่งตัวแบบการถดถอยเชิงเส้น (linear regression model) สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (1)

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon$$

โดยที่ y คือ ตัวแปรตาม $x_1, x_2, \dots, x_n$ คือ ตัวแปรอิสระ $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$ คือ สัมประสิทธิ์การ

ถดถอย และ ε คือ ค่าความคลาดเคลื่อน หากมีตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียว จะเรียกว่าการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (simple linear regression analysis) แต่หากมีตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัว จะเรียกว่าการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (multiple linear regression analysis) [5] เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยเป็นพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า จึงต้องทำการประมาณค่า ซึ่งวิธีการประมาณค่ามีหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้คือวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (least squares method) เมื่อแทนค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยลงในตัวแบบการถดถอย จะได้ผลลัพธ์ดังสมการที่ (2)

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n$$

โดยที่ $\hat{y}$ คือ ค่าประมาณของตัวแปรตาม และ $b_0, b_1, \dots, b_n$ คือ ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอย

การสร้างตัวแบบการถดถอยเพื่อประมาณต้นทุนการก่อสร้างมีการใช้อย่างแพร่หลาย เช่น การก่อสร้างอาคาร [6-9] รางรถไฟ [10] ถนน [11-12] ท่อระบายน้ำ [13] งานวิจัยนี้ใช้ตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณในการประมาณต้นทุนของงานก่อสร้างท่อส่งก๊าซธรรมชาติ HDPE แต่ละประเภท ในขณะที่ค่าประมาณของต้นทุนรวมเป็นผลรวมของค่าประมาณของต้นทุนวัสดุ ต้นทุนแรงงาน และต้นทุนงานสำรวจ รวมทั้งการออกแบบและขออนุญาตจากหน่วยงานเจ้าของพื้นที่ การคัดเลือกตัวแปรอิสระจะใช้วิธีการถดถอยแบบขั้นบันได (stepwise regression) ซึ่งเป็นวิธีการเลือกตัวแปรอิสระเข้ามาในตัวแบบการถดถอยครั้งละ 1 ตัว และตัวแปรอิสระที่ถูกเลือกให้เข้ามาอยู่ในตัวแบบการถดถอยแล้วอาจจะถูกคัดออกไปได้ภายหลัง ถ้าหากตัวแปรอิสระนั้นไม่มีความสำคัญ โดยใช้ค่าสถิติ t (t -statistic) และค่า P-Value เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาความมีนัยสำคัญของตัวแปรอิสระ ซึ่ง

การคัดเลือกตัวแปรอิสระด้วยวิธีนี้จะสิ้นสุดเมื่อไม่มีตัวแปรอิสระใดถูกนำเข้าและคัดออกจากตัวแบบการถดถอย ในขณะที่การตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระจะใช้วิธีตรวจสอบจากค่า variance inflation factor (VIF) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้วัดความสัมพันธ์ร่วมแบบพหุเชิงเส้น (multicollinearity) โดยทั่วไปแล้ว ค่า VIF ที่ไม่เกิน 10 ถือว่าความสัมพันธ์ร่วมแบบพหุเชิงเส้นระหว่างตัวแปรอิสระไม่รุนแรง [14] และใช้การวิเคราะห์เศษเหลือ (residual analysis) เพื่อพิจารณาว่าตัวแบบการถดถอยเป็นไปตามสมมติฐานของการถดถอย (regression assumptions) หรือไม่ ซึ่งสมมติฐานการถดถอยมี 4 ข้อ ได้แก่ (1) ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ (2) ค่าความคลาดเคลื่อนมีความแปรปรวนคงที่ (3) ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ และ (4) ค่าความคลาดเคลื่อนแต่ละค่าเป็นอิสระต่อกัน [14] ส่วนการประเมินตัวแบบการถดถอยในงานวิจัยนี้จะ

พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination, R^2) ควบคู่กับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับแล้ว (Adjusted Coefficient of Determination, R_{adj}^2) ที่มากกว่า 0.75 [2] และทดสอบความแม่นยำของค่าประมาณต้นทุนด้วยค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mean absolute percentage error, MAPE) ซึ่งจะทำให้ทราบค่าความคลาดเคลื่อนของค่าประมาณเมื่อเทียบกับค่าจริงที่อยู่ในรูปร้อยละ โดยสูตรของค่า MAPE คือ

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|A_t - F_t|}{A_t} \times 100 \text{ โดยที่ } A_t \text{ คือ}$$

ค่าจริง F_t คือ ค่าประมาณ และ n คือ จำนวนข้อมูล

2.4 ตัวแบบการถดถอย

พารามิเตอร์ ตัวแปรตาม และตัวแปรอิสระของตัวแบบการถดถอย มีดังนี้

2.4.1 พารามิเตอร์

$$I \text{ เป็นเซตของขนาด; } I = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ หมายถึง } 63 \text{ มิลลิเมตร} \\ 2 \text{ หมายถึง } 110 \text{ มิลลิเมตร} \\ 3 \text{ หมายถึง } 160 \text{ มิลลิเมตร} \\ 4 \text{ หมายถึง } 225 \text{ มิลลิเมตร} \end{array} \right\}$$

$$J \text{ เป็นเซตของวิธีการก่อสร้าง; } J = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ หมายถึง วิธีชุดเปิดบนหญ้า} \\ 2 \text{ หมายถึง วิธีชุดเปิดบนถนนคอนกรีต} \\ 3 \text{ หมายถึง วิธีชุดเปิดบริเวณพื้นที่ที่มีความลาดชัน} \\ 4 \text{ หมายถึง วิธีชุดเปิดบริเวณหิน} \\ 5 \text{ หมายถึง วิธีชุดเปิดโดยใส่ท่อปลูก} \\ 6 \text{ หมายถึง วิธีการเจาะลอด} \\ 7 \text{ หมายถึง วิธีการดันลอด} \end{array} \right\}$$

2.4.2 ตัวแปรอิสระ

เป็นตัว

$Length_i$ คือ ความยาวท่อขนาด i มีหน่วยเป็นเมตร

$Valve_i$ คือ จำนวนวาล์วขนาด i มีหน่วย

$Method_{ij}$ คือ ความยาวท่อขนาด i ที่ก่อสร้างด้วยวิธี j มีหน่วยเป็นเมตร

$Type$ คือ ประเภทการใช้งานท่อ โดยที่

Type มีค่าเป็น 1 เมื่อเป็นท่อหลัก (MPL) และเป็น 0 เมื่อเป็นท่อบริการ (SPL)

PipeLength1_i มีค่าเป็น 1 เมื่อช่วงความยาวท่อขนาด i ไม่เกิน 50 เมตร และเป็น 0 เมื่อช่วงความยาวท่อเป็นอื่น

PipeLength2_i มีค่าเป็น 1 เมื่อช่วงความยาวท่อขนาด i มากกว่า 50 เมตร แต่ไม่เกิน 200 เมตร และเป็น 0 เมื่อช่วงความยาวท่อเป็นอื่น

PipeLength3_i มีค่าเป็น 1 เมื่อช่วงความยาวท่อขนาด i มากกว่า 200 เมตร แต่ไม่เกิน 360 เมตร และเป็น 0 เมื่อช่วงความยาวท่อเป็นอื่น

PipeLength4_i มีค่าเป็น 1 เมื่อช่วงความยาวท่อขนาด i มากกว่า 360 เมตร แต่ไม่เกิน 1,500 เมตร และเป็น 0 เมื่อช่วงความยาวท่อเป็นอื่น

PipeLength5_i มีค่าเป็น 1 เมื่อช่วงความยาวท่อขนาด i มากกว่า 1,500 เมตร และเป็น 0 เมื่อช่วงความยาวท่อเป็นอื่น

2.4.3 ตัวแปรตาม

Pipe Cost_i คือ ค่าประมาณของต้นทุนวัสดุท่อขนาด i มีหน่วยเป็นบาท

Valve Cost_i คือ ค่าประมาณของต้นทุนวัสดุวาล์วขนาด i มีหน่วยเป็นบาท

Labor Cost_i คือ ค่าประมาณของต้นทุนแรงงานในการก่อสร้างท่อขนาด i มีหน่วยเป็นบาท

ROW Cost_i คือค่าประมาณของต้นทุนงานสำรวจ รวมทั้งการออกแบบและขออนุญาตหน่วยงานเจ้าของพื้นที่ ของการก่อสร้างท่อขนาด i มีหน่วยเป็นบาท

2.4.4 ตัวแบบการถดถอยของต้นทุน

ตัวแปรอิสระและตัวแปรตามที่ได้กำหนดไว้ในหัวข้อ 2.4.2-2.4.3 สามารถนำมาใช้ในการ

สร้างตัวแบบการถดถอยของต้นทุนได้ดังต่อไปนี้

(1) ตัวแบบการถดถอยของต้นทุนวัสดุ ประกอบด้วยตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ คือ ตัวแปรตาม ได้แก่ ต้นทุนวัสดุ ตัวแปรอิสระ ได้แก่ ความยาวท่อ และจำนวนวาล์ว

(2) ตัวแบบการถดถอยของต้นทุนแรงงาน ประกอบด้วยตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ คือ ตัวแปรตาม ได้แก่ ต้นทุนแรงงาน ตัวแปรอิสระ ได้แก่ ความยาวท่อในแต่ละวิธีการก่อสร้าง และประเภทของการใช้งานท่อ

(3) ตัวแบบการถดถอยของต้นทุนงานสำรวจ รวมทั้งการออกแบบและขออนุญาตจากหน่วยงานเจ้าของพื้นที่ ประกอบด้วยตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ คือ ตัวแปรตาม ได้แก่ ต้นทุนงานสำรวจ รวมทั้งการออกแบบและขออนุญาตจากหน่วยงานเจ้าของพื้นที่ ตัวแปรอิสระ ได้แก่ ช่วงความยาวท่อ

3. ผลการวิจัย

3.1 ต้นทุนวัสดุ ประกอบด้วยต้นทุนวัสดุท่อและต้นทุนวัสดุวาล์ว

3.1.1 ต้นทุนวัสดุท่อ

ตัวแบบการถดถอยของค่าประมาณต้นทุนวัสดุท่อแต่ละขนาดจะแปรผันตามความยาวท่อสามารถเขียนได้ดังสมการ (3)

$$Pipe\ Cost_i = b_0 + b_1 Length_i \quad \forall i \in I$$

แต่เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนวัสดุท่อและความยาวท่อเป็นแบบเชิงเส้น โดยต้นทุนวัสดุท่อจะแปรผันตามความยาวท่อแต่ละขนาดดังแสดงตามตารางที่ 1

ตัวแบบการถดถอยของค่าประมาณต้นทุนวัสดุท่อแต่ละขนาดจึงสามารถเขียนได้ดังนี้

(1) ท่อขนาด 63 มิลลิเมตร ดังสมการที่

$$(4) Pipe\ Cost_1 = 183Length_1$$

ตารางที่ 1 ต้นทุนวัสดุต่อหน่วยของท่อขนาดต่าง ๆ

ขนาดท่อ (มิลลิเมตร)	ต้นทุนต่อหน่วย (บาทต่อเมตร)
63	183
110	372
160	757
225	1,120

(2) ท่อขนาด 110 มิลลิเมตร ดังสมการ

$$\text{ที่ (5) } Pipe\ Cost_2 = 372Length_2$$

(3) ท่อขนาด 160 มิลลิเมตร ดังสมการ

$$\text{ที่ (6) } Pipe\ Cost_3 = 757Length_3$$

(4) ท่อขนาด 225 มิลลิเมตร ดังสมการ

$$\text{ที่ (7) } Pipe\ Cost_4 = 1,120Length_4$$

3.1.2 ต้นทุนวัสดุวาล์ว

ตัวแบบการถดถอยของค่าประมาณต้นทุนวัสดุวาล์วแต่ละขนาดจะแปรผันตามความยาวท่อและจำนวนวาล์ว สามารถเขียนได้ดังสมการ (8)

$$Valve\ Cost_i = b_0 + b_1Length_i + b_2Valve_i$$

$$\forall i \in I$$

การเลือกตัวแปรอิสระด้วยวิธีการถดถอยแบบขั้นบันได ได้ผลลัพธ์ดังนี้

(1) ท่อและวาล์วขนาด 63 มิลลิเมตร ดังสมการที่ (9)

$$Valve\ Cost_1 = 24,485 + 173Length_1$$

(2) ท่อและวาล์วขนาด 110 มิลลิเมตร ดังสมการที่ (10)

$$Valve\ Cost_2 = 9,483 + 232Length_2 + 33,175Valve_2$$

(3) ท่อและวาล์วขนาด 160 มิลลิเมตร ดังสมการที่ (11)

$$Valve\ Cost_3 = 48,626 + 208Length_3 + 75,848Valve_3$$

(4) ท่อและวาล์วขนาด 225 มิลลิเมตร ดังสมการที่ (12)

$$Valve\ Cost_4 = 24,053 + 199Length_4 + 139,725Valve_4$$

3.2 ต้นทุนแรงงาน

ตัวแบบการถดถอยของค่าประมาณต้นทุนแรงงานจะแปรผันตามความยาวท่อที่ก่อสร้างด้วยวิธีต่าง ๆ และประเภทของการใช้งานท่อ สามารถเขียนได้ดังสมการ (13)

$$Labor\ Cost_i = b_0 + \sum_{j=1}^7 b_j Method_{ij} + b_8 Type$$

$$\forall i \in I$$

การเลือกตัวแปรอิสระด้วยวิธีการถดถอยแบบขั้นบันได ได้ผลลัพธ์ดังนี้

(1) ท่อขนาด 63 มิลลิเมตร ดังสมการที่ (14)

$$Labor\ Cost_1 = 68,433 + 2,407Method_{1,1} + 23,285Method_{1,7}$$

(2) ท่อขนาด 110 มิลลิเมตร ดังสมการที่ (15)

$$Labor\ Cost_2 = -7,259 + 3,124Method_{2,1} + 5,220Method_{2,5} + 7,545Method_{2,6}$$

(3) ท่อขนาด 160 มิลลิเมตร ดังสมการที่ (16)

$$Labor\ Cost_3 = 89,083 + 2,473Method_{3,1} + 8,420Method_{3,6}$$

$$+ 31,397 \text{Method}_{3,7}$$

$$+ 735,112 \text{Type}$$

(4) ท่อขนาด 225 มิลลิเมตร ดังสมการที่

(17)

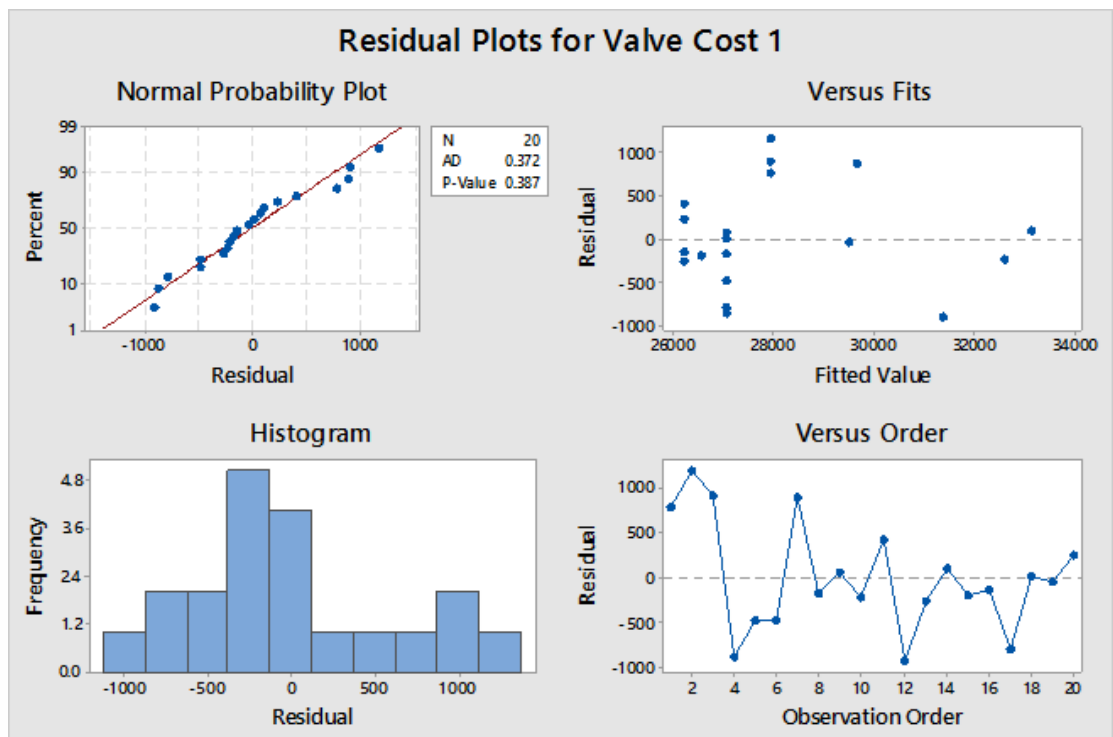
$$\text{Labor Cost}_4 = 170,842 + 6,203 \text{Method}_{4,1}$$

$$+ 11,353 \text{Method}_{4,6}$$

$$+ 1,983,773 \text{Type}$$

การวิเคราะห์เศษเหลือของตัวแบบการถดถอยจะพิจารณาจากแผนภาพเศษเหลือ (residual plot) แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 5 ซึ่งเป็นแผนภาพเศษเหลือของตัวแบบการถดถอยของค่าประมาณต้นทุนวัสดุสำหรับท่อขนาด 63 มิลลิเมตร

(Valve Cost_1) จากแผนภาพจะเห็นว่าในส่วนของ Normal Probability Plot มีการแสดงผลการทดสอบ Anderson-Darling (AD) ซึ่งเป็นการทดสอบว่าข้อมูลมีรูปแบบการแจกแจงที่สนใจหรือไม่ ผลการทดสอบมีค่า P-value เท่ากับ 0.387 มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงสามารถสรุปได้ว่าเศษเหลือมีการแจกแจงปกติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ residuals versus fit แสดงให้เห็นว่าเศษเหลือมีความแปรปรวนคงที่ นอกจากนี้ residuals versus order แสดงให้เห็นว่าเศษเหลือไม่มีสหสัมพันธ์กัน จึงสามารถสรุปได้ว่าตัวแบบการถดถอยเป็นไปตามสมมติฐานการถดถอย ซึ่งแผนภาพเศษเหลือของตัวแบบการถดถอยอื่น ๆ เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผนภาพเศษเหลือของต้นทุนวัสดุสำหรับท่อขนาด 63 มิลลิเมตร

ค่าสถิติจากการทดสอบตัวแบบการถดถอยข้างต้นสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าสถิติจากการทดสอบตัวแบบการถดถอย

ตัวแปรตาม	R^2	R_{adj}^2	VIF	AD (P-Value)
<i>Valve Cost</i> ₁	0.9270	0.9230	1.000	0.372 (0.387)
<i>Valve Cost</i> ₂	0.9450	0.9360	1.098	0.158 (0.938)
<i>Valve Cost</i> ₃	0.9972	0.9953	4.417	0.489 (0.131)
<i>Valve Cost</i> ₄	0.9993	0.9989	3.383	0.241 (0.650)
<i>Labor Cost</i> ₁	0.9955	0.9949	1.008	0.701 (0.057)
<i>Labor Cost</i> ₂	0.9596	0.9435	1.125 - 1.731	0.594 (0.101)
<i>Labor Cost</i> ₃	0.9999	0.9997	2.348 - 3.267	0.489 (0.131)
<i>Labor Cost</i> ₄	0.9950	0.9899	1.248 - 3.066	0.164 (0.900)

3.3 ต้นทุนงานสำรวจ รวมทั้งการออกแบบและขออนุญาตหน่วยงานเจ้าของพื้นที่

ตัวแบบการถดถอยของค่าประมาณต้นทุนงานสำรวจ รวมทั้งการออกแบบและขออนุญาตหน่วยงานเจ้าของพื้นที่ จะแปรผันตามความยาวท่อสามารถเขียนได้ดังสมการ (18)

$$ROW Cost_i = b_0 + b_1 Length_i \quad \forall i \in I$$

เมื่อสร้างตัวแบบการถดถอยจากข้อมูลของโครงการจำนวน 60 ข้อมูล จาก 38 โครงการ พบว่าตัวแบบการถดถอยที่ได้มีค่า R^2 และ R_{adj}^2 ต่ำ เพียง 0.183 และ 0.169 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่า 0.75 ตามที่ได้กำหนดไว้ ทำให้ตัวแบบการถดถอยที่ได้ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ประมาณต้นทุน เมื่อพิจารณาจากข้อมูลพบว่าต้นทุนงานสำรวจ รวมทั้งการออกแบบและขออนุญาตจากหน่วยงานเจ้าของพื้นที่ แม้จะแปรผันตามความยาวท่อในการสำรวจพื้นที่ในแต่ละครั้ง โดยท่อที่มีความยาวมาก ต้นทุนจากการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาออกแบบและจัดทำเอกสารขออนุญาตจะมีมากขึ้น แต่ผู้รับเหมาไม่ได้เสนอต้นทุนนี้ต่อหน่วยความยาวท่อ จึงไม่สามารถสร้างตัวแบบการถดถอยได้เหมือนกับตัวแบบการถดถอยต้นทุนวัสดุท่อ ดังนั้นผู้วิจัยจึงแบ่งต้นทุนการสำรวจ รวมทั้งการออกแบบและขออนุญาต

จากหน่วยงานเจ้าของพื้นที่ตามช่วงความยาวท่อ จากการพิจารณาต้นทุนที่ผู้รับเหมาเสนอและความยาวท่อในแต่ละข้อมูล สามารถแบ่งได้เป็น 5 ช่วงความยาว และกำหนดให้มีต้นทุนเท่ากับค่าที่มากที่สุดที่ผู้รับเหมาเสนอในแต่ละช่วงความยาว สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3 สาเหตุที่กำหนดต้นทุนเช่นนี้ เนื่องจากการกำหนดต้นทุนส่วนนี้ไว้สูง หากต้นทุนที่ผู้รับเหมาเสนอจริงต่ำกว่าที่กำหนดไว้ จะไม่มีปัญหากับลูกค้า แต่หากกำหนดไว้ต่ำ แต่ผู้รับเหมาเสนอราคาจริงสูงกว่าที่กำหนดไว้ ลูกค้าอาจเกิดความไม่พอใจได้

เนื่องจากช่วงความยาวท่อในแต่ละข้อมูลจะอยู่ในช่วงใดช่วงหนึ่งเท่านั้น ตัวแบบการถดถอยของค่าประมาณต้นทุนงานสำรวจ รวมทั้งการออกแบบและขออนุญาตจากหน่วยงานเจ้าของพื้นที่ สามารถเขียนได้ดังสมการ (19)

$$\begin{aligned}
 ROW Cost_i = & 97,750 PipeLength1_i \\
 & + 106,750 PipeLength2_i \\
 & + 122,500 PipeLength3_i \\
 & + 142,500 PipeLength4_i \\
 & + 150,000 PipeLength5_i \\
 & \forall i \in I
 \end{aligned}$$

ตารางที่ 3 ต้นทุนงานสำรวจ รวมทั้งการออกแบบ และขออนุญาตจากหน่วยงานเจ้าของพื้นที่ในแต่ละช่วงความยาวท่อ

ช่วงความยาว (เมตร)	ต้นทุนงานสำรวจ รวมทั้งการออกแบบและขออนุญาตจากหน่วยงานเจ้าของพื้นที่ (บาท)
น้อยกว่า 50	97,750
มากกว่า 50 แต่ไม่เกิน 200	106,750
มากกว่า 200 แต่ไม่เกิน 360	122,500
มากกว่า 360 แต่ไม่เกิน 1,500	142,500
มากกว่า 1,500	150,000

3.4 ต้นทุนรวม

ค่าประมาณของต้นทุนรวมเป็นผลรวมของ ค่าประมาณต้นทุนวัสดุ ต้นทุนแรงงาน และต้นทุนงานสำรวจ รวมทั้งการออกแบบและขออนุญาตจากหน่วยงานเจ้าของพื้นที่ สามารถเขียนได้ดังสมการ (20)

$$\begin{aligned}
 Total\ Cost_i &= Pipe\ Cost_i + Valve\ Cost_i \\
 &+ Labor\ Cost_i + ROW\ Cost_i \\
 \forall i &\in I
 \end{aligned}$$

โดยที่ $Total\ Cost_i$ คือ ค่าประมาณของต้นทุนรวมของการก่อสร้างท่อขนาด i มีหน่วยเป็นบาท

3.5 การวัดความคลาดเคลื่อนของค่าประมาณต้นทุน

การวัดความคลาดเคลื่อนของค่าประมาณต้นทุนจากค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (MAPE) จากข้อมูลที่ใช้สร้างตัวแบบการถดถอย (60 ข้อมูล จาก 38 โครงการ) พบว่า ค่าประมาณต้นทุนวัสดุเฉลี่ยมีค่า MAPE อยู่ระหว่าง

1.62 ถึง 7.05 เปอร์เซ็นต์ ค่าประมาณต้นทุนแรงงานมีค่า MAPE อยู่ระหว่าง 0.37 ถึง 15.99 เปอร์เซ็นต์ ค่าประมาณต้นทุนงานสำรวจ รวมทั้งการออกแบบและขออนุญาตจากหน่วยงานเจ้าของพื้นที่มีค่า MAPE อยู่ระหว่าง 17.47 ถึง 48.24 เปอร์เซ็นต์ และค่าประมาณต้นทุนรวมมีค่า MAPE อยู่ระหว่าง 1.51 ถึง 13.98 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ค่า MAPE ของข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบ (10 ข้อมูล จาก 8 โครงการ) พบว่าค่าประมาณต้นทุนวัสดุเฉลี่ยของท่อ มีค่า MAPE อยู่ระหว่าง 2.12 ถึง 11.61 เปอร์เซ็นต์ ค่าประมาณต้นทุนแรงงานมีค่า MAPE อยู่ระหว่าง 3.51 ถึง 8.95 เปอร์เซ็นต์ ค่าประมาณต้นทุนงานสำรวจ รวมทั้งการออกแบบและขออนุญาตจากหน่วยงานเจ้าของพื้นที่มีค่า MAPE อยู่ระหว่าง 0.00 ถึง 45.89 เปอร์เซ็นต์ และค่าประมาณต้นทุนรวมมีค่า MAPE อยู่ระหว่าง 3.03 ถึง 12.80 เปอร์เซ็นต์ ค่า MAPE ข้างต้น สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4

ทั้งนี้ จะเห็นได้ว่าค่า MAPE ของค่าประมาณต้นทุนงานสำรวจ รวมทั้งการออกแบบและขออนุญาตจากหน่วยงานเจ้าของพื้นที่มีค่าที่สูงเมื่อเทียบกับค่าประมาณต้นทุนอื่น ๆ ทั้งนี้เป็นเพราะการกำหนดต้นทุนในแต่ละช่วงความยาวท่อเป็นค่าที่สูงที่สุดที่เคยเกิดขึ้น และข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552 ถึง พ.ศ. 2556 ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวมีข้อกำหนดการทำแบบในการขออนุญาตหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ออกมาเพิ่มขึ้น เช่น การขออนุญาตใช้ก๊าซจากกฎหมายที่ออกมาใหม่ ทำให้ต้นทุนการจัดทำแบบเพิ่มขึ้น ดังนั้นต้นทุนในส่วนนี้ของข้อมูลปีแรก ๆ จึงแตกต่างจากต้นทุนของปีหลัง ๆ ก่อนข้างมาก แม้จะมีช่วงความยาวท่อในช่วงเดียวกัน แต่ความผิดพลาดของค่าประมาณต้นทุนงานสำรวจ รวมทั้งการออกแบบและขออนุญาตจากหน่วยงานเจ้าของพื้นที่ส่งผลกระทบต่อค่าประมาณของต้นทุนรวมไม่มากนัก

เนื่องจากต้นทุนส่วนนี้มีสัดส่วนที่น้อยเมื่อเทียบกับต้นทุนอื่น ๆ เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับงานวิจัยอื่นในลักษณะเดียวกันพบว่า ในงานวิจัยของ Parker [3] ซึ่งสร้างตัวแบบประมาณต้นทุนงานก่อสร้างท่อส่งก๊าซธรรมชาติในประเทศสหรัฐอเมริกา มีค่า MAPE ของต้นทุนวัสดุ ต้นทุนแรงงาน ต้นทุนการขออนุญาตจากหน่วยงานเจ้าของพื้นที่ และต้นทุนเบ็ดเตล็ด อยู่ที่ 31.4 49.4 83.6 และ 49.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ในขณะที่ค่า MAPE ของต้นทุนรวมที่เกิดจากการรวมต้นทุนทั้ง 4 ประเภทเข้าด้วยกันอยู่ที่ 42.1 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ การประมาณราคาขั้นต้น (Preliminary Estimating) โดยทั่วไปอาจมีความความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์มากกว่า 20 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ [15] จากที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าตัวแบบการถดถอยที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้มีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ที่ดีและยอมรับได้

ตารางที่ 4 ค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (MAPE) ของค่าประมาณต้นทุนจากข้อมูลที่ใช้สร้างตัวแบบการถดถอย (60 ข้อมูล จาก 38 โครงการ) และข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบตัวแบบการถดถอย (10 ข้อมูล จาก 8 โครงการ)

ขนาดท่อ (มิลลิเมตร)	MAPE ของค่าประมาณ ต้นทุนวัสดุ (ท่อและวาล์ว)		MAPE ของค่าประมาณ ต้นทุนแรงงาน		MAPE ของค่าประมาณ ต้นทุนงานสำรวจ รวมทั้ง การออกแบบและขอ อนุญาตจากหน่วยงาน เจ้าของพื้นที่		MAPE ของค่าประมาณ ต้นทุนรวม	
	ข้อมูล สร้าง ตัวแบบ	ข้อมูล ตรวจสอบ ตัวแบบ	ข้อมูลสร้าง ตัวแบบ	ข้อมูล ตรวจสอบ ตัวแบบ	ข้อมูลสร้าง ตัวแบบ	ข้อมูล ตรวจสอบ ตัวแบบ	ข้อมูลสร้าง ตัวแบบ	ข้อมูล ตรวจสอบ ตัวแบบ
63	1.62 %	3.87 %	14.64 %	8.58 %	25.85 %	31.05 %	13.98 %	12.80 %
110	7.05 %	11.61 %	15.99 %	6.83 %	40.19 %	45.89 %	12.02 %	6.82 %
160	5.65 %	2.12 %	0.37 %	3.51 %	48.24 %	13.84 %	1.51 %	3.03 %
225	3.32 %	2.25 %	8.87 %	8.95 %	17.47 %	0.00 %	7.85 %	7.80 %

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาตัวแบบการถดถอยด้วยวิธีการถดถอยแบบขั้นบันไดสำหรับนำไปใช้ประมาณต้นทุนขั้นต้นสำหรับงานก่อสร้างท่อส่งก๊าซธรรมชาติ โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูงในเขตนิคมอุตสาหกรรมเหมราซอิสเทิร์นซีบอร์ดและนิคมอุตสาหกรรมอิสเทิร์นซีบอร์ด (ระยอง) การวิเคราะห์จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในการประเมินตัวแบบการถดถอยซึ่งพบว่าทุกตัวแบบมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมากกว่า 0.90 เมื่อพิจารณาตัวแบบการถดถอยพบว่าตัวแปรอิสระที่มี

นัยสำคัญ ประกอบด้วย ความยาวท่อ จำนวนวาล์ว วิธีการก่อสร้าง และประเภทการใช้งานของท่อ

ตัวแบบการถดถอยที่พัฒนาขึ้นจากงานวิจัยนี้ทำให้บริษัทกรณีศึกษาสามารถประมาณต้นทุนขั้นต้นได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นการตอบสนองต่อความต้องการข้อมูลการประมาณต้นทุนขั้นต้นจากลูกค้าทั้งภายในและต่างประเทศที่จะนำไปตัดสินใจลงทุนในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรม นอกจากนี้ ค่า MAPE ของค่าประมาณต้นทุนรวมที่ได้จากตัวแบบการถดถอยมีค่าอยู่ระหว่าง 3.03 ถึง 12.80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแม่นยำอยู่ใน

เกณฑ์ที่ยอมรับได้ ทำให้ค่าประมาณต้นทุนขั้นต้นที่ได้มีความน่าเชื่อถือ และสามารถนำไปใช้ได้จริง

5. รายการอ้างอิง

- [1] Shmueli, G., 2010, To explain or to predict?, Stat. Sci. 25: 289-310.
- [2] Rui, Z., Metz, P.A., Reynolds, D.B., Chen, G. and Zhou, X., 2011, Regression models estimate pipeline construction costs, Oil. Gas. J. 109: 120-127.
- [3] Parker, N., 2004, Using natural gas transmission pipeline costs to estimate hydrogen pipeline costs, Institute of Transportation Studies (UCD): UCD-ITS-RR-04-35.
- [4] Keon, S., Tinoco, R.R., Verbong, G. and Zwaan, B.V.D., 2011, Historical variation in capital cost of natural gas, carbon dioxide and hydrogen pipelines and implication for future infrastructure, Int. J. Greenh. Gas Control. 5: 1614-1623.
- [5] นันทชัย กานตานันทะ, 2555, การพยากรณ์ด้วยวิธีการพยากรณ์เชิงสาเหตุ, ว.วิศวกรรมศาสตร์ 4: 35-48.
- [6] Jafarzadeh, R., Ingham, J.M., Walsh, K.Q., Hassani, N. and Ghodrati Amiri, G.R., 2015, Using statistical regression analysis to establish construction cost models for seismic retrofit of confined masonry buildings, J. Constr. Eng. Manage. 141: 04014098.
- [7] Lowe, D., Emsley, M. and Harding, A., 2006, Predicting construction cost using multiple regression techniques, J. Constr. Eng. Manage. 132: 750-758.
- [8] Kim, G.H., An, S.H. and Kang, K.I., 2004, Comparison of construction cost estimating models based on regression analysis, neural networks, and case-based reasoning, Build. Environ. 39: 1235-1242.
- [9] Sonmez, R., 2004, Conceptual cost estimation of building projects with regression analysis and neural networks, Can. J. Civ. Eng. 31: 677-683.
- [10] Gunduz, M., Ugur, L.O. and Ozturk, E., 2011, Parametric cost estimation system for light rail transit and metro trackworks, Expert Syst. Appl. 38: 2873-2877.
- [11] Mahamid, I., 2011, Early cost estimating for road construction projects using multiple regression techniques, AJCEB. 11: 87-101.
- [12] Petroutsatou, C., Lambropoulos, S. and Pantouvakis, J.-P., 2006, Road tunnel early cost estimates using multiple regression analysis, Oper. Res. Int. J. 6: 311-322.
- [13] Fragkakis, N., Marinelli, M. and Lambropoulos, S., 2015, Preliminary cost estimate model for culverts, Procedia Eng. 123: 153-161.
- [14] Bowerman, B.L., O'Connell, R.T. and Koehler, A.B., 2005, Forecasting, Time Series, and Regression, 4th Ed., Duxbury Press, Belmont, CA, 720 p.
- [15] วิสูตร จิระคำเกิง, 2551, การประมาณราคาก่อสร้าง, วรรณกิจ, กรุงเทพฯ, 682.