การวิเคราะห์แบบหลายหลักเกณฑ์สำหรับการคัดเลือกวิธีการในการปิดพื้นที่บ่อเหมืองถ่านหินเก่าในพื้นที่กาลิมันตันตะวันออก ประเทศอินโดนีเซีย

บราลี เหมราสวัสดิ์[1], ศันสนีย์ สุภาภา[2]
สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
50 ถนนงามวงศ์วาน เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
และ พัชราภรณ์ ญาณภิรัต*[3]
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
50 ถนนงามวงศ์วาน เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Received: 6 April 2021; Revised: 26 April 2021; Accepted: 18 May 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกวิธีการที่เหมาะสมในการปิดพื้นที่บ่อเหมืองถ่านหินเก่าของกรณีศึกษาแห่งหนึ่งจำนวนทั้งหมด 8 บ่อ ในพื้นที่กาลิมันตันตะวันออก โดยพื้นที่ของการปิดบ่อเหมืองจะต้องเป็นไปตามกฎหมายการทำเหมืองประเทศอินโดนีเซีย งานวิจัยประยุกต์วิธีการแบบคลุมเครือสำหรับการจัดอันดับตามความพึงพอใจที่มีความคล้ายกับผลลัพธ์ในอุดมคติ (Fuzzy Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) ในการคัดเลือกวิธีการสำหรับการปิดบ่อเหมืองเก่า นอกจากนี้มีการประยุกต์วิธีกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นโดยการโหวตเพื่อจัดอันดับ (Voting Analytic Hierarchy Process) เพื่อกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญของผู้เชี่ยวชาญ และค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละหลักเกณฑ์การประเมิน จากผลการประเมินพบว่า พบว่าพื้นที่บ่อเหมืองถ่านหินเก่าทั้ง 8 บ่อ มีพื้นที่ที่เหมาะสมกับวิธีการการขุดดินเพื่อการถม 4 บ่อ พื้นที่ที่เหมาะสมกับวิธีการเปิดบ่อเหมืองใหม่จำนวน 1 บ่อ พื้นที่ที่เหมาะสมกับวิธีการทำเหมืองทางเลือกด้วยรถไถ 1 บ่อ และพื้นที่ที่เหมาะสมกับวิธีการการปรับปรุงพื้นที่เพื่อประโยชน์อื่น 2 บ่อเหมือง

คำสำคัญ: เหมืองถ่านหิน การตัดสินใจหลายหลักเกณฑ์ กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นโดยการโหวตเพื่อจัดอันดับ การจัดอันดับตามความพึงพอใจที่มีความคล้ายกับผลลัพธ์ในอุดมคติ

* Corresponding author. E-mail: fengppy@ku.ac.th
[1] นิสิตปริญญาโท สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม (ภาคพิเศษ) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2] รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม (ภาคพิเศษ) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[3] รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Multicriteria Analysis for Method Selection in Old Coal Mine Pit Closure in East Kalimantan in Indonesia

Bralee Hemaraswad[1], Sansanee Supapa[2]
Engineering Management, Faculty of Engineering, Kasetsart University
50 Ngam Wong Wan Rd, Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand
and Patcharaporn Yanpirat[*3]
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
50 Ngam Wong Wan Rd, Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

Received: 6 April 2021; Revised: 26 April 2021; Accepted: 18 May 2021

Abstract

This research applied the multicriteria analysis in selecting appropriate methods for the old coal mine pit closure in East Kalimantan in Indonesia. The selected case study with 8 old coal mine pits were considered for closure under the requirements in complying with the mining laws of Indonesia. The combined methods of multicriteria decision analysis, Voting analytic Hierarchy Process (VAHP) and Fuzzy Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (Fuzzy TOPSIS) were used. The VAHP was utilized in ranking the expertise of the selected experts and to determine the importance weight values of the proposed performance criteria for evaluating the methods for closing the old coal mine pits. Then Fuzzy TOPSIS was employed in selecting the method for each coal pit. The results revealed that 4 out of 8 coal mine pits were suitable for closure with material landfill from surrounding area using normal operation methods, one pit was to close with material landfill from another potential mine pit, another pit was to close with material landfill from the surrounding area by an alternative mining dozer, and the rest were to close by utilizing the pits for other purposes.

Keywords: coal mine, multi-criteria decision making, voting AHP, fuzzy TOPSIS

* Corresponding author. E-mail: fengppy@ku.ac.th
1 M.Eng. Student in Engineering Management (Special) Program, Faculty of Engineering, Kasetsart University
2 Associate Professor, Engineering Management (Special) Program, Faculty of Engineering, Kasetsart University
3 Associate Professor in Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

1. บทนำ

การผลิตพลังงานด้วยเชื้อเพลิงฟอสซิลอย่าง “ถ่านหิน” เป็นปัจจัยที่ทำให้การพัฒนาทางอุตสาหกรรมเป็นไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นทรัพยากรพลังงานที่มีปริมาณสำรองมาก ขนส่งได้ง่าย สะดวกต่อการใช้งาน และให้ความร้อนได้ดี ซึ่งประเทศอินโดนีเซียเป็นประเทศที่มีการส่งออกถ่านหินเป็นอันดับต้นของโลก คิดเป็นมูลค่าการส่งออกร้อยละ 18.2 ของมูลค่าการส่งออกรวมทั่วโลก [1] เนื่องจากเป็นพื้นที่ศักยภาพที่มีปริมาณสำรองแร่ถ่านหินมากเป็นอันดับ 6 ของโลก คิดเป็นร้อยละ 3.5 ของปริมาณสำรองแร่ถ่านหินที่พิสูจน์แล้วจากทั่วโลก [2] โดยเฉพาะพื้นที่กาลิมันตัน [3] ซึ่งในพื้นที่กาลิมันตันตะวันออก ทำเหมืองถ่านหินแบบเหมืองผิวดิน โดยเริ่มจากการตัดไม้ เปิดดินชั้นบนเพื่อไปกองเก็บไว้ใช้ในขั้นตอนการฟื้นฟูพื้นที่หลังการทำเหมือง จากนั้นจะเป็นขั้นตอนของการเปิดดินด้วยการระเบิดและขุดตักดินด้วยรถขุดใส่รถบรรทุกหรือระบบสายพานเพื่อขนดินไปกองในพื้นที่ที่กำหนด เมื่อเปิดดินจนถึงชั้นแร่ถ่านหินจะทำการขุดถ่านหินด้วยรถขุด และขนส่งด้วยรถบรรทุกไปกองที่ลานกองถ่านหินเพื่อเข้ากระบวนการบด และล้างเพื่อให้ได้ขนาดและคุณภาพที่เหมาะสม [4] จากนั้นจะทำการขนแร่ถ่านหินจากลานกองแร่ไปที่ท่าเรือเพื่อทำการผสมและส่งเข้าระบบสายพานเตรียมขนถ่ายขึ้นเรือเดินสมุทรที่มารับถ่านหิน

สำหรับพื้นที่หลังการทำเหมืองนั้น จะต้องมีการปรับปรุงพื้นที่เพื่อให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่รัฐบาลท้องถิ่นของจังหวัดกาลิมันตันตะวันออกกำหนด ก่อนการดำเนินการคืนพื้นที่ เช่น การทำเหมืองในพื้นที่ป่าไม้ บ่อเหมืองเก่าจะต้องมีการถมดินให้ได้ระดับให้สูงกว่าระดับของพื้นที่รับน้ำของพื้นที่รับน้ำโดยรอบ (Catchment Area) ปูหน้าดินด้วยดินชั้นบนและปลูกป่าไม้ที่สมบูรณ์ตามสภาพป่าเดิม โดยอนุญาตให้มีพื้นที่บ่อเหมืองเก่าที่ไม่สามารถปลูกต้นไม้กลับคืนได้ (Void) บางส่วน ขึ้นกับข้อกำหนดของรัฐบาลท้องถิ่นของพื้นที่นั้น ๆ ซึ่งในทางเทคนิคนั้นพื้นที่ที่ไม่สามารถปลูกต้นไม้ ตามพรรณพืชท้องถิ่นกลับคืนได้ คือพื้นที่บ่อเหมืองเก่าที่มีน้ำท่วมขัง

ปี ค.ศ. 2013 รัฐบาลท้องถิ่นในจังหวัดกาลิมันตันตะวันออกได้ออกกฎหมายสำหรับพื้นที่หลังการทำเหมืองที่มีความเข้มงวดมากขึ้น เนื่องจากมีผู้ประกอบการเหมืองแร่ถ่านหินที่ไม่ทำการปรับปรุงพื้นที่บ่อเหมืองเก่า เป็นสาเหตุให้มีเด็กเสียชีวิตจากการจมน้ำ [5] ซึ่งกฎหมายมีใจความโดยสรุปว่า พื้นที่หลังการทำเหมืองนั้นจะอนุญาตให้มีพื้นที่ที่ไม่สามารถปลูกต้นไม้กลับคืนได้ ไม่เกินร้อยละ10 ของพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ป่าไม้ [6] จึงส่งผลกระทบโดยตรงกับเหมืองกรณีศึกษา ที่ผลิตถ่านหินตั้งแต่ปี ค.ศ. 1997 โดยเหมืองกรณีศึกษามีการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ป่าไม้ 13,000 เฮกตาร์ และมีพื้นที่ขุดที่ไม่สามารถปลูกต้นไม้กลับคืนได้ 1,800 เฮกตาร์ หรือคิดเป็นร้อยละ 13.8 ของพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ป่าทั้งหมด กล่าวคือเกินจากกฎหมายกำหนดคิดเป็นร้อยละ 3.8 ทำให้เหมืองกรณีศึกษาต้องทำการปิดพื้นที่บ่อเหมืองเก่าเพิ่มเติมอีก 500 เฮกตาร์ เพื่อที่จะสามารถทำการปิดเหมืองตามกฎหมายได้ภายในปี ค.ศ. 2030 จากข้อจำกัดของพื้นที่ สภาพแวดล้อม และปัจจัยภายนอก ส่งผลให้การปิดบ่อเหมืองแต่ละบ่อมีความแตกต่างกัน ซึ่งวิธีการปิดบ่อเหมืองที่เป็นไปได้ภายใต้เทคโนโลยีในปัจจุบัน ประกอบด้วย การขุดดินเพื่อการถม การเปิดบ่อเหมืองใหม่ การทำเหมืองทางเลือก หรือการปรับปรุงพื้นที่เพื่อประโยชน์อื่นโดยการ การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำ เป็นต้น

เนื่องจากการปรับปรุงพื้นที่บ่อเหมืองเก่า เพื่อการฟื้นฟูพื้นที่หลังการทำเหมือง เป็นกิจกรรมขั้นสุดท้ายในการทำเหมือง ซึ่งเป็นการแสดงออกถึงความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม และเป็นการปฏิบัติที่สอดคล้องกับข้อบังคับในทางกฎหมาย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการปิดพื้นที่บ่อเหมืองถ่านหินเก่าจำนวนทั้งหมด 8 บ่อ เพื่อให้ปริมาณพื้นที่หลังการทำเหมืองที่ไม่สามารถปลูกต้นไม้กลับคืนได้ มีปริมาณไม่เกินร้อยละ10 ของพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ป่าไม้ และได้รับเงินค้ำประกันด้านสิ่งแวดล้อมประมาณ 74 ล้านเหรียญดอลลาร์สหรัฐ คืนจากรัฐบาลประเทศอินโดนีเซียหลังได้รับการอนุมัติการคืนพื้นที่

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทำเหมืองและกิจกรรมที่เกี่ยวข้องนั้นจะต้องผ่านการพิจารณาจากหลักเกณฑ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ทั้งในด้านมูลค่าทางการเงิน และการประเมินที่คำนึงถึงผลกระทบในด้านต่าง ๆ เช่น หลักเกณฑ์ในการตัดสินใจเพื่อสนับสนุนการ

ตัดสินใจเกี่ยวกับทางเลือกของการลงทุนเข้าซื้อกิจการเหมืองแร่ [7] ภายใต้ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ประกอบด้วย 1) สภาพทางธรณีวิทยาและเหมืองแร่ ได้แก่ ปริมาณทรัพยากรและคุณภาพแร่ 2) สภาพทางเทคนิคของเหมือง และโรงงาน ได้แก่ การขนส่งแร่ ระยะทางระหว่างเหมืองกับโรงงาน และกำลังการผลิตของเหมือง 3) การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของเหมือง ได้แก่ มลพิษทางน้ำผิวดินและ น้ำใต้ดินจากการปนเปื้อนของเหมืองที่เป็นกรด (Acid Mine Drainage: AMD) พื้นที่ดินถม และฝุ่น 4) ค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่จำเป็น ได้แก่ ต้นทุนการก่อสร้างของเหมือง ค่าใช้จ่ายในการสร้างโรงงาน ต้นทุนงานสำรวจ และค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูพื้นที่หลังการทำเหมือง และ 5) ปัจจัยทางสังคมและการเมืองของประเทศที่จะไปลงทุน

สำหรับหลักเกณฑ์ในการตัดสินใจคัดเลือกวิธีการทำเหมือง [8] 1) ด้านเชิงเทคนิคและเชิงปฏิบัติการ ประกอบด้วยลักษณะสายแร่ (ความหนาของสายแร่ ลักษณะของสายแร่ ความลึกสายแร่ ความชันของสายแร่ คุณภาพสายแร่ ปริมาณสายแร่) คุณสมบัติเชิงกล และ ลักษณะทางภูมิศาสตร์ (อุทกธรณีวิทยา สภาพภูมิอากาศ) พารามิเตอร์เชิงปฏิบัติการ (การผลิต การปฏิบัติการทำเหมือง เรื่องที่เกี่ยวข้องกับการทำเหมืองแร่ ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ความปลอดภัยในการปฏิบัติการ) 2) ด้านการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ การวิเคราะห์ต้นทุน (ต้นทุนของเงินทุน ต้นทุนการดำเนินการ ต้นทุนการปรับปรุงและฟื้นฟูพื้นที่หลังการทำเหมือง) อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน รายได้ (รายได้ต่อตันแร่ มูลค่าเครื่องจักร และการใช้ประโยชน์) และ 3) ความสอดคล้องกับกลยุทธขององค์กร

ปัจจุบันสังคมโลกได้ให้ความสำคัญกับคำว่าความยั่งยืน (Sustainability) ผู้ประกอบการเหมืองแร่ จึงมีการพิจารณาความยั่งยืนในมิติต่าง ๆ มากขึ้น [9] หลักเกณฑ์สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainability Development) เช่นเดียวกับการศึกษาเรื่องการพัฒนาอย่างยั่งยืน ผ่านการใช้กระบวนการคิดเชิงออกแบบ (Design Thinking) ในการรวบรวมความคิดเห็นจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholder) และใช้การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ เพื่อจัดลำดับความคิดเห็นเหล่านั้นมาใช้ในการทำแผนการพัฒนาอย่างยั่งยืน [10] โดยสรุปหลักเกณฑ์การพิจารณาการทำแผนการพัฒนาอย่างยั่งยืน ตามความยั่งยืนในมิติต่าง ๆ ประกอบด้วย 1) มิติด้านเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ ผลการดำเนินงานทางเศรษฐศาสตร์ สภาวะตลาด ผลกระทบทางอ้อมจากสภาวะเศรษฐกิจ 2) มิติด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่ วัสดุ พลังงาน น้ำ ความหลากหลายทางชีวภาพ และของเสีย และ 3) มิติด้านสังคม ได้แก่ ความสามารถของแรงงานสังคม และการรับผิดชอบต่อสังคม

เนื่องจากงานเหมืองแร่เป็นงานที่มีขนาดใหญ่ ทำให้การตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกิจกรรมเหมืองแร่นั้นส่งผลกระทบกับผู้มีส่วนเกี่ยวข้องรอบด้านในหลายมิติ ดังนั้นการตัดสินใจจำเป็นต้องพิจารณาทั้งด้านการเงินและด้านอื่น ๆ โดยการประยุกต์เครื่องมือของการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (Multi-criteria decision making) เช่น

1. กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process, AHP) ซึ่งพัฒนาโดย Saaty (1977, 1980) วิธีดังกล่าวประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ การแปลงปัญหาให้อยู่ในโครงสร้างลำดับชั้น การให้คะแนนหรือจัดลำดับความสำคัญโดยใช้การเปรียบเทียบแบบเป็นคู่สำหรับแต่ละลำดับชั้นของการตัดสินใจ ตรวจสอบความสอดคล้องของการตัดสินใจ และทำการวิเคราะห์ความไว [11]

2. กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นโดยการโหวตเพื่อจัดอันดับ (Voting Analytic Hierarchy Process, VAHP) เนื่องจาก AHP นั้นมีข้อจำกัดด้านความซับซ้อนในการเก็บข้อมูล และการให้คะแนนสำหรับการเปรียบเทียบแบบเป็นคู่เพื่อจัดลำดับความสำคัญ จึงมีการเสนอวิธีการ Voting Analytic Hierarchy Process (Voting AHP) ซึ่งเป็นวิธีการประยุกต์หลักการของวิธีการวิจัยดำเนินงาน เพื่อหาค่าน้ำหนักความสำคัญที่เหมาะสม (Optimal weight values) ของแต่ละหลักเกณฑ์หรือทางเลือกที่พิจารณา [12] นำเสนอการประยุกต์วิธีดังกล่าวในการคัดเลือกผู้ส่งมอบ โดยทำการเปรียบเทียบวิธีการประเมินระหว่าง VAHP และ AHP และเสนอข้อดีของ VAHP คือ เข้าใจง่าย ผู้เชี่ยวชาญสามารถปรับความคิดเห็นให้มีความสมเหตุสมผลมากขึ้น เมื่อผลลัพธ์นั้นขัดกับความรู้สึก เนื่องจาก VAHP ใช้การโหวตคะแนนเพื่อจัดอันดับ แทนการจับคู่เปรียบเทียบ และเนื่องจากวิธีนี้ใช้การหาคำตอบโดยวิธีการโปรแกรมเชิงเส้นตรงให้ค่า

น้ำหนักความสำคัญที่เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดจึงไม่จำเป็นต้องวัดความสอดคล้องของการให้คะแนนของผู้ตัดสินใจดังเช่นปรากฏในวิธีการของ AHP นอกจากนี้วิธีการ AHP มีข้อจำกัดในการเปรียบเทียบหลักเกณฑ์หรือทางเลือกได้อย่างจำกัดโดยปกติไม่เกิน 15 หลักเกณฑ์หรือทางเลือก [13] ซึ่งในปัญหาจริงอาจจะมีทางเลือกที่มากกว่านั้น จึงเป็นการยากที่จะทำการเปรียบเทียบคู่ด้วยวิธีการดั้งเดิม

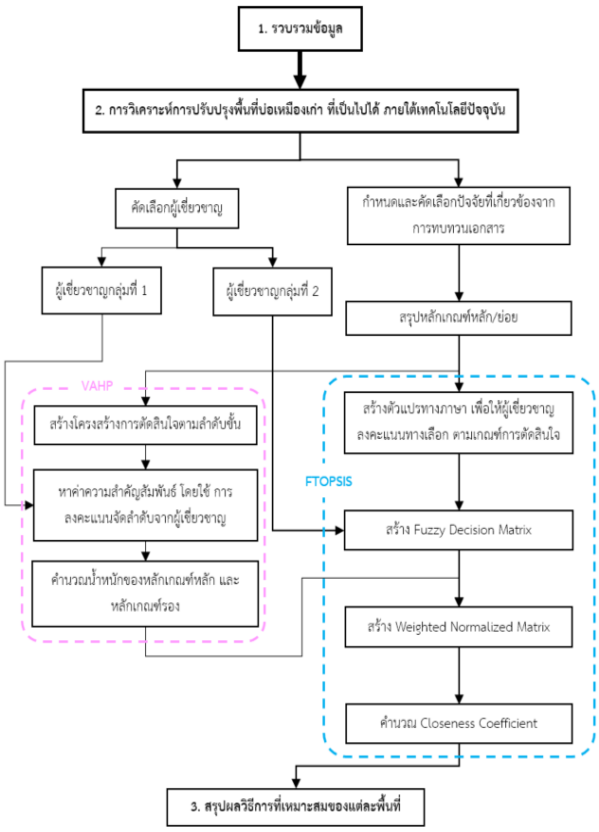
3. เทคนิคการจัดอันดับความพึงพอใจที่มีความคล้ายกับผลลัพธ์ในอุดมคติ (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS) ประยุกต์หลักการจัดลำดับโดยกำหนดเป้าหมายในอุดมคติโดยหลักเกณฑ์หรือทางเลือกที่มีระยะทางที่เข้าใกล้เป้าหมายในอุดมคติเชิงบวกมากที่สุด ขณะเดียวกันมีระยะทางไกลจากจุดอุดมคติเชิงลบมากที่สุด จะเป็นทางเลือกที่อยู่ในอันดับที่ดีที่สุด [14]

4. เทคนิคความคลุมเครือสำหรับการจัดอันดับตามความพึงพอใจที่มีความคล้ายกับผลลัพธ์ในอุดมคติ (Fuzzy Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution, Fuzzy TOPSIS) วิธีการ Fuzzy TOPSIS ถูกนำเสนอโดย Chen ในปี ค.ศ. 2000 เพื่อประยุกต์วิธีการ TOPSIS ที่ให้เข้ากับสภาพความคลุมเครือหรือความไม่สมบูรณ์ของข้อมูลเพื่อการตัดสินใจ โดยแปลงความไม่ชัดเจนของข้อมูล และกลุ่มกระบวนการในการตัดสินใจให้อยู่ในรูปแบบของตัวแปรเชิงภาษา [15] และถอดตัวแปรเชิงภาษาออกเป็นตัวแปรเชิงปริมาณเพื่อการวิเคราะห์การตัดสินใจ ซึ่งวิธีการ Fuzzy TOPSIS นั้นถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการแก้ปัญหาในชีวิตจริงที่หลากหลาย เริ่มจากการเลือกผู้ส่งมอบสำหรับภาคอุตสาหกรรมการผลิต การประเมินคุณภาพการบริการ การบริหารจัดการโซ่อุปทาน การเลือกและจัดอันดับพลังงานที่นำกลับมาใช้ได้ใหม่ เป็นต้น เมื่อทำการเปรียบเทียบวิธีการ Fuzzy AHP กับ Fuzzy TOPSIS จากการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) โดยการเพิ่มทางเลือก และทำการปรับเปลี่ยนจำนวนหลักเกณฑ์ พบว่าวิธีการ Fuzzy TOPSIS นั้นมีความเสถียรในการจัดลำดับความสำคัญมากกว่าวิธี Fuzzy AHP [16]

5. การโปรแกรมเชิงเป้าหมาย (Goal Programing, GP) [17] เป็นเทคนิคการหาคำตอบโดยวิธีการวิจัยดำเนินการ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ถูกพัฒนาขึ้นในรูปแบบของการโปรแกรมเชิงเส้นตรงที่มีการพิจารณาเป้าหมายซึ่งอาจมีความขัดแย้งกัน ประกอบด้วย ตัวแปรตัดสินใจ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ค่าเป้าหมาย ข้อจำกัดที่ยืดหยุ่นได้ (Soft Constraint) และข้อจำกัดที่จำเป็น (Hard Constraint) เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เป็นที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด (Efficient solutions)

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ได้ทำการคัดเลือกวิธีที่เหมาะสมโดยเครื่องมือของการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ ตามขั้นตอนในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1 การรวบรวมข้อมูล

เนื่องจากการปรับปรุงพื้นที่บ่อเหมืองเก่าของเหมืองแร่ถ่านหิน กรณีศึกษานั้น จำเป็นจะต้องพิจารณาทั้งในด้านเทคนิค และด้านเศรษฐศาสตร์ จึงแบ่งข้อมูลที่จะทำการเก็บออกเป็น 2 ประเภท

1. ข้อมูลทางธรณีวิทยา ได้แก่ แบบจำลองชั้นแร่ถ่านหิน ซึ่งประกอบด้วยข้อมูล การวางตัวของชั้นถ่านหิน ความหนาของชั้นถ่านหินองศาการวางตัวของชั้นถ่านหิน คุณภาพของถ่านหิน ชนิดของดิน จากบริษัทกรณีศึกษา

2. ข้อมูลลักษณะพื้นที่ ได้แก่ แผนที่ภูมิประเทศ ซึ่งประกอบด้วยขนาดของพื้นที่ ความสูงจากระดับน้ำทะเล ความลึก แม่น้ำบริเวณใกล้เคียง จากบริษัทกรณีศึกษา

3.2 การวิเคราะห์การปรับปรุงพื้นที่บ่อเหมืองเก่าที่เป็นไปได้ภายใต้เทคโนโลยีปัจจุบัน

การปรับปรุงพื้นที่บ่อเหมืองเก่านั้นจะต้องพิจารณาใช้การดัดแปลงเทคนิคการทำเหมือง และศักยภาพในการใช้พื้นที่เพื่อประโยชน์อื่น ซึ่งการศึกษาด้านเทคนิคนั้น จะต้องพิจารณาจากข้อมูลของพื้นที่บ่อเหมืองเก่า ที่ได้จากขั้นตอนการเก็บข้อมูล

1. การคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 2 กลุ่ม สำหรับเป็นผู้ประเมินหลักเกณฑ์ที่ส่งผลต่อการตัดสินใจในการเลือกวิธีการที่เหมาะสมในการจัดการพื้นที่บ่อเหมืองเก่า ผู้เชี่ยวชาญกลุ่มที่ 1 จะใช้การคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญที่เป็นตัวแทนจากกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholder) ภายในและภายนอกกรณีศึกษา ซึ่งมีคุณสมบัติ หรือประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับ การวางนโยบายการลงทุน การควบคุมการผลิตถ่านหิน การขอใบอนุญาตจากรัฐบาล การติดต่อและจัดทำรายงานส่งรัฐบาล การปิดเหมือง สิ่งแวดล้อม ชุมชน และสำหรับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มที่ 2 จะเกี่ยวข้องกับการประเมินความเหมาะสมของวิธีการสำหรับพื้นที่บ่อเหมืองเก่าทั้งหมด ซึ่งเป็นกลุ่มผู้เชี่ยวชาญที่เป็นวิศวกรวางแผน ที่มีประสบการณ์ในการทำแผนการจัดการพื้นที่บ่อเหมืองเก่า เนื่องจากประสบการณ์แต่ละด้านของผู้เชี่ยวชาญมีความแตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีการกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญของผู้เชี่ยวชาญแต่ละคนสำหรับแต่ละกลุ่ม โดยการประยุกต์วิธี VAHP รายละเอียดดังสมการที่ (1)

2. กำหนดและคัดเลือกหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องสำหรับการคัดเลือกวิธีการที่เป็นไปได้ในการปิดบ่อเหมืองเก่าภายใต้เทคโนโลยีในปัจจุบัน โดยผู้เชี่ยวชาญกลุ่มที่ 1 โดยการสัมภาษณ์เบื้องต้น และการออกแบบสอบถามความเหมาะสมของหลักเกณฑ์เพื่อการคัดเลือกวิธีการ

3. ทำการสร้างโครงสร้างการตัดสินใจตามลำดับชั้นของหลักเกณฑ์ และวิธีการที่เป็นไปได้ในการปิดพื้นที่บ่อเหมืองเก่า

4. วิเคราะห์ค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละหลักเกณฑ์ตามโครงสร้างลำดับชั้นการตัดสินใจ ดังปรากฏในขั้นตอนที่ 3 โดยการประเมินของผู้เชี่ยวชาญแต่ละคน จากนั้นทำการรวมค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละหลักเกณฑ์ โดยนำค่าน้ำหนักความสำคัญของผู้เชี่ยวชาญจากขั้นตอนที่ 1 ร่วมกับผลการโหวตเพื่อจัดอันดับของผู้เชี่ยวชาญแต่ละคน เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับการวิเคราะห์เพื่อกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละหลักเกณฑ์โดยวิธี VAHP ดังสมการที่ (1) ซึ่งเป็นวิธีการที่ประยุกต์การโปรแกรมเชิงเส้นตรงร่วมกับวิธีการวิเคราะห์การโอบล้อมข้อมูล (Data Envelopment Analysis) เพื่อจัดอันดับความสำคัญของหลักเกณฑ์ที่ออกแบบตามขั้นตอนที่ 3

$$\theta_{rr} = \max \sum_{(s=1\sim S)} u_{rs} x_{rs}$$

$$\text{s.t.} \quad \theta_{rp} = \sum_{(s=1\sim S)} u_{rs} x_{ps} \leq 1 \qquad (p = 1, 2, \ldots, R) \qquad (1)$$

$$u_{r1} \geq 2u_{r2} \geq 3u_{r3} \geq \ldots \geq S u_{rs}$$

$$u_{rs} \geq \varepsilon = 1 / ((1 + 2 + \ldots + S) * n)$$

$$= 2 / (n * S\,(S+1))$$

เมื่อกำหนดให้

θ_{rr} คือ ผลรวมค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของหลักเกณฑ์ที่พิจารณา

θ_{rp} คือ ผลรวมค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของแต่ละหลักเกณฑ์

u คือ น้ำหนักของหลักเกณฑ์นั้น

x คือ จำนวนการลงคะแนนจัดอันดับของหลักเกณฑ์นั้น

n คือ จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

S คือ อันดับ

r คือ ลำดับของหลักเกณฑ์ (จาก 1 ถึง R)

5. ประเมินเพื่อคัดเลือกวิธีการปิดบ่อเหมืองแร่เก่าโดยวิธี Fuzzy TOPSIS โดยขั้นแรกทำการเลือกตัวแปรทางภาษาที่เหมาะสม เพื่อใช้เป็นตัวแทนสำหรับการกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละหลักเกณฑ์ และค่าคะแนนสำหรับแต่ละตัวแปรทางภาษา ดังตารางที่ 1 จากนั้นให้ผู้เชี่ยวชาญกลุ่มที่ 2 ซึ่งมีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านการบริหารจัดการเหมืองแร่ของกรณีศึกษา ออกความคิดเห็นว่า

วิธีการปิดบ่อเหมืองเก่าแบบใดมีความเหมาะสมสำหรับแต่ละบ่อภายใต้หลักเกณฑ์ที่ได้รับการคัดเลือกมาแล้วในขั้นตอนที่ 4 และนำค่าน้ำหนักความสำคัญของผู้เชี่ยวชาญกลุ่มที่ 2 ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 นั้น ไปรวมกับค่าคะแนนน้ำหนักความสำคัญแบบคลุมเครือจากผู้ตัดสินใจทั้งหมดสำหรับแต่ละหลักเกณฑ์ ดังสมการที่ (2) และ (3)

ตารางที่ 1 ตัวแปรทางภาษา ที่ใช้ให้คะแนนทางเลือก

Linguistic terms		Fuzzy triangular number
1. ไม่เหมาะสม	(VL)	(0 , 0 , 2.5)
2. เหมาะสมน้อย	(L)	(0 , 2.5 , 5)
3. เหมาะสม	(G)	(2.5 , 5 , 7.5)
4. เหมาะสมมาก	(H)	(5 , 7.5 , 10)
5. เหมาะสมที่สุด	(VH)	(7.5 , 10 , 10)

$$\tilde{x}_{ij} = K^{-1}\left(\tilde{x}_{ij}^{1} + \tilde{x}_{ij}^{2} + \cdots + \tilde{x}_{ij}^{K}\right) \quad (2)$$

$$\tilde{w}_{j} = K^{-1}\left(\tilde{w}_{ij}^{1} + \tilde{w}_{ij}^{2} + \cdots + \tilde{w}_{ij}^{K}\right) \quad (3)$$

เมื่อ $\tilde{x}_{ij}$ คือ ค่าเฉลี่ยคะแนนของหลักเกณฑ์ที่พิจารณา

$\tilde{w}_{j}$ คือ ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของแต่ละหลักเกณฑ์

K คือ จำนวนผู้ตัดสินใจ

6. สร้างเมทริกซ์การตัดสินใจแบบคลุมเครือ (Fuzzy Decision Matrix) ตามสมการที่ (4) และเมทริกซ์การตัดสินใจแบบคลุมเครือที่ทำให้เป็นมาตรฐาน (Normalize Fuzzy Decision Matrix)

$$\tilde{D} = \begin{pmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \end{pmatrix}$$

$$\tilde{w}_{j} = [\tilde{w}_{1}, \tilde{w}_{2}, \ldots, \tilde{w}_{3}] \quad (4)$$

ทำการปรับค่าน้ำหนักความสำคัญ (Normalize Fuzzy Decision Matrix) ของเมทริกซ์การตัดสินใจแบบคลุมเครือ ให้เป็นเมทริกซ์การตัดสินใจที่เป็นมาตรฐานแทนด้วย $\tilde{R}$ ตามสมการที่ (5), (6) และ (7) ตามลำดับ

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n} \quad (5)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \begin{matrix} \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*}\right) \\ \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}}\right) \end{matrix}, \begin{matrix} c_j^* = \max c_{ij} \\ a_j^- = \max a_{ij} \end{matrix} \quad \begin{matrix} \text{if } j \in B \\ \text{if } j \in C \end{matrix} \quad (6)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \quad , a_j^- = \max a_{ij} \quad \text{if } j \in C \quad (7)$$

เมื่อ B คือ หลักเกณฑ์ที่เป็นด้านผลประโยชน์ (Benefit criteria) ซึ่งหมายถึง ค่ายิ่งมากยิ่งดี

C คือ หลักเกณฑ์ที่เป็นด้านต้นทุนหรือผลกระทบด้านลบ (Cost criteria) ซึ่งหมายถึง ค่ายิ่งน้อยยิ่งดี

7. สร้างเมทริกซ์การตัดสินใจแบบคลุมเครือที่ทำให้เป็นมาตรฐานแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Normalize Fuzzy Decision Matrix) แทนด้วย $\tilde{V}$ โดยใช้น้ำหนักของหลักเกณฑ์ที่ได้จากการคำนวณในขั้นตอน 5 แทนด้วย $\tilde{V}$ ตามสมการที่ 8

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}, i = 1,2,\ldots,m, j = 1,2,\ldots,n, \quad (8)$$

เมื่อ $\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \times \tilde{w}_{j}$

8. กำหนด Fuzzy Positive-Ideal Solution (FPIS, A^*) และ Fuzzy Negative-Ideal Solution (FNIS, A^-) ดังสมการที่ (9) และ (10)

$$A^* = (\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \ldots, \tilde{v}_n^*) \quad (9)$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \ldots, \tilde{v}_n^-) \quad (10)$$

เมื่อ $\tilde{v}_j^* = (1,1,1)$ และ $\tilde{v}_j^- = (0,0,0)$

คำนวณระยะห่างของทางเลือกจากจุด FPIS (d_i^*) และ FNIS (d_i^-) ตามสมการที่ (11), (12) และ (13) ตามลำดับ

$$d_i^* = \sum_{j=1}^{n} d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*), i = 1,2, \ldots, m \quad (11)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^{n} d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), i = 1,2, \ldots, m \quad (12)$$

โดยที่ $d(\tilde{m}, \tilde{n})$ คือ ระยะทางระหว่าง ตัวเลข Fuzzy 2 ชุด

$$d(\tilde{m}, \tilde{n}) = d$$

$$d = \sqrt{\tfrac{1}{3}[(m_1 - n_1)^2 + (m_2 - n_2)^2 + (m_3 - n_3)^2]^2} \quad (13)$$

คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความใกล้ชิด (Closeness Coefficient, CC_i) ตามสมการที่ (14)

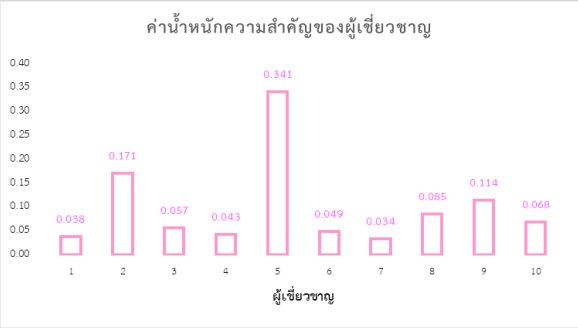
$$CC_i = (d_i^-)/\left(d_i^* + d_j^-\right) \quad (14)$$

10. สรุปผลการจัดอันดับทางเลือก จากค่า Closeness Coefficient โดยพิจารณาเลือกจากค่า Closeness Coefficient ที่มากที่สุด

4. ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

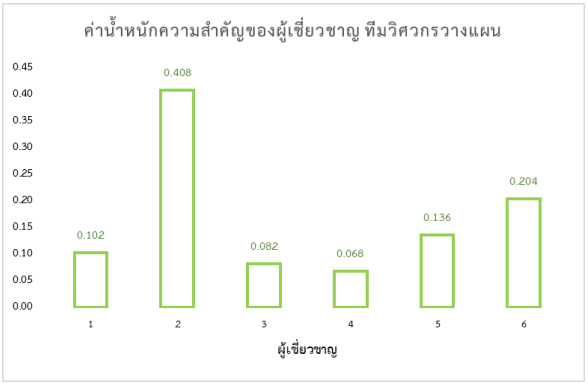
4.1 การคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญ

การคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญจากบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 จะคัดเลือกเพื่อเป็นตัวแทนของกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ในการแสดงความคิดเห็นถึงน้ำหนักที่เหมาะสมของหลักเกณฑ์ในการพิจารณา ได้แก่ รัฐบาล บริษัท ชุมชน และเหมือง โดยผลการคัดเลือกกลุ่มผู้เชี่ยวชาญมีทั้งหมด 10 ท่าน และเนื่องจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 10 มี ประสบการณ์การทำงานด้านการปิดเหมือง และประสบการณ์การทำงานในบริษัทกรณีศึกษามีความแตกต่างกัน ความสำคัญของผู้เชี่ยวชาญในการให้ความคิดเห็นจึงมีน้ำหนักไม่เท่ากัน โดยให้น้ำหนักความสำคัญของผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่าน ด้วยวิธีการ VAHP ในการจัดลำดับความสำคัญด้วยผู้เชี่ยวชาญที่มีสิทธิตัดสินใจสูงสุด และได้ผลลัพธ์น้ำหนักดังรูปที่ 2 ซึ่งน้ำหนักความสำคัญของผู้เชี่ยวชาญกลุ่มที่ 1 นั้นจะถูกนำไปใช้ในการถ่วงน้ำหนักเมื่อทำการรวมน้ำหนักที่เหมาะสมของหลักเกณฑ์ทั้งหมด



รูปที่ 2 น้ำหนักความสำคัญของผู้เชี่ยวชาญ

ผู้เชี่ยวชาญในกลุ่มที่ 2 จะใช้ทีมวิศวกรวางแผน เพื่อประเมินความเหมาะสมของวิธีการต่าง ๆ ตามหลักเกณฑ์ในการพิจารณานั้น ๆ โดยกลุ่มผู้เชี่ยวชาญมีทั้งหมด 6 ท่าน และทำการจัดอันดับภายในกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ และเนื่องจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 6 มีประสบการณ์การทำงานในบริษัทกรณีศึกษามีความแตกต่างกัน ความสำคัญของผู้เชี่ยวชาญในการให้ความคิดเห็นจึงมีน้ำหนักไม่เท่ากัน โดยให้น้ำหนักความสำคัญของผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่าน ด้วยวิธีการ VAHP ในการจัดลำดับความสำคัญด้วยผู้จัดการแผนก และได้ผลลัพธ์น้ำหนักดังรูปที่ 3 ซึ่งน้ำหนักความสำคัญของผู้เชี่ยวชาญกลุ่มที่ 2 นั้น จะถูกนำไปใช้ในการถ่วงน้ำหนักเมื่อทำการรวมความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในการสร้าง เมทริกซ์การตัดสินใจแบบคลุมเครือ ในขั้นตอน Fuzzy TOPSIS



รูปที่ 3 น้ำหนักความสำคัญของ ทีมวิศวกรวางแผน

4.2 การกำหนดหลักเกณฑ์หลักและหลักเกณฑ์ย่อย

การกำหนดหลักเกณฑ์หลักและหลักเกณฑ์ย่อยที่นอกเหนือจากหลักเกณฑ์ทางการเงิน เบื้องต้นได้จากการตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และคัดเลือกวิธีการที่เป็นไปได้ ซึ่งพิจารณาหลักเกณฑ์หลัก ได้ดังนี้ ลักษณะภูมิศาสตร์และสายแร่ เทคนิคการทำเหมือง ผลกระทบจากสภาพเศรษฐกิจ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ผลกระทบต่อสังคม ความเสี่ยงในเรื่องข้อกฎหมาย ความสอดคล้องกับกลยุทธ์องค์กร ความปลอดภัยในการทำงาน และทำการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการวางนโยบายเพื่อทำการปรับปรุงแก้ไข หลักเกณฑ์หลักและ หลักเกณฑ์ย่อย ซึ่งผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องกับการวางนโยบายได้ลงความเห็นในการลดหลักเกณฑ์เรื่องเทคนิคการทำเหมือง เรื่องผลกระทบจากสภาพเศรษฐกิจ เนื่องจากหลักเกณฑ์นี้จะสะท้อนในขั้นตอนของการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ และความสอดคล้องกับกลยุทธ์องค์กร เนื่องจากมีความซ้ำซ้อนกับเรื่องผลกระทบสิ่งแวดล้อม ผลกระทบต่อสังคม กฎหมาย และลงความเห็นให้เพิ่มหลักเกณฑ์รอง เพื่อให้ลงรายละเอียดในการวางแผนที่ครอบคลุม เหมาะสมกับเหมืองกรณีศึกษา ได้แก่

1. ลักษณะภูมิศาสตร์ และสายแร่ ได้แก่ ปริมาณแร่ (ปริมาณแร่ถ่านหินที่สามารถทำเหมืองได้ เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงพื้นที่บ่อเหมืองเก่า เนื่องจากในการปรับปรุงพื้นที่

บ่อเหมืองเก่า ในวิธีดั้งเดิมต้องใช้ดินในการกลบซึ่งดินที่นำมาใช้นั้น มีต้นทุนสูง การหาพื้นที่ศักยภาพในการทำเหมืองในบริเวณใกล้เคียง เพื่อนำแร่ถ่านหินไปขายเพื่อจ่ายค่าดินในการกลบบางส่วนเป็นการลดต้นทุน ความหนาสายแร่ (ความหนาสายแร่ถ่านหิน มีผลกับการเลือกวิธีการทำเหมือง หากความหนาของสายแร่ที่บางเกินกว่าที่เครื่องจักรจะทำการขุดได้ พื้นที่ศักยภาพนั้นก็จะไม่เหมาะสมที่จะทำการเปิดบ่อเหมืองใหม่) ความชันสายแร่ (ความชันสายแร่ถ่านหิน มีผลกับการเลือกวิธีการทำเหมือง หากสายแร่มีความชัน ที่ชันกว่า 15 องศา ก็จะไม่เหมาะสมกับการทำเหมืองทางเลือกด้วยวิธีรถไถ) ความสูงระดับน้ำ (ความสูงของระดับน้ำในพื้นที่โดยรอบ สัมพันธ์กับปริมาณดินที่จะใช้ในการปิดบ่อเหมืองเก่า การสร้างร่องระบายน้ำ การใช้เครื่องสูบน้ำ และโคลน)

2. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่ สภาวะความเป็นกรด (สภาวะความเป็นกรดโดยธรรมชาติของดิน มีผลทำให้น้ำใต้ดินปนเปื้อน จึงมีผลทำให้ต้องมีการเลือกดินที่จะมาถมดิน โดยดินด้านบนสุดต้องเป็นดินที่ไม่มีความเป็นกรด เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำถูกปนเปื้อน ในส่วนวิธีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำ ก็จะไม่เหมาะสม เนื่องจากความเป็นกรดมีผลให้อุปกรณ์เสื่อมสภาพเร็วกว่าอายุการใช้งาน) ปริมาณของแข็งแขวนลอย (ปริมาณของแข็งแขวนลอย มีผลต่อความขุ่นของน้ำ ทำให้วิธีการถมดินลงน้ำนั้นมีความเสี่ยงทำให้น้ำขุ่นลงแม่น้ำ) พื้นที่ถมดิน (พื้นที่ถมดินเก่านั้นจะเป็นพื้นที่ที่มีเสถียรภาพต่ำกว่าพื้นที่ปกติ การขุดดินในพื้นที่ดินถมเก่านั้นมีความเสี่ยงในการพังทลาย แต่มีข้อดีในการลดต้นทุนการระเบิด)

3. ผลกระทบต่อสังคม (การเปิดเหมืองใหม่บริเวณใกล้เคียงอาจส่งผลกระทบต่อชุมชน หรือพื้นที่ทางการเกษตรของชุมชน ส่วนวิธีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำเพื่อขายไฟให้รัฐบาล และจ่ายไฟให้ชุมชน)

4. กฎหมาย (กฎหมาย ความเสี่ยงทางข้อกฎหมาย เขตพื้นที่ประทานบัตร พื้นที่ที่ทำการคืนรัฐบาลแล้ว พื้นที่กันชนจากแนวแม่น้ำ ความเสี่ยงทางข้อกฎหมาย ในเรื่องการรื้อพื้นที่ ที่เคยคืนรัฐบาลไปแล้วนั้น ก็จะมีความเสี่ยงที่จะไม่ได้รับการอนุญาต)

5. ความปลอดภัย (ความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน เรื่องเสถียรภาพ การพังทลายของบ่อเหมือง และพื้นที่ทิ้งดิน ความกว้างของพื้นที่การทำงาน ความยากลำบากในการทำงาน)

4.3 สร้างโครงสร้างการตัดสินใจตามลำดับ

โดยเปรียบเทียบทางเลือกวิธีการปรับปรุงพื้นที่บ่อเหมืองเก่าแต่ละบ่อ ที่เป็นไปได้ ภายใต้เทคโนโลยีปัจจุบัน

4.4 ทำการสรุปน้ำหนักของหลักเกณฑ์ทั้งหมด (Aggregated Global Weight)

ตัวอย่างการคำนวณ หลักเกณฑ์รองเรื่องผลกระทบสิ่งแวดล้อม

1. ทำการรวมผลการลงคะแนนของผู้เชี่ยวชาญตามน้ำหนักที่ได้ตามรูปที่ 2 และทำการสรุปผลการลงคะแนนดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลรวมการลงคะแนนของผู้เชี่ยวชาญตามน้ำหนัก

Criteria	Data	1st	2nd	3rd	Total votes
สภาวะความเป็นกรด	C_{21}	1.000	0.000	0.000	1.000
ปริมาณของแข็งแขวนลอย	C_{22}	0.694	0.306	0.000	1.000
พื้นที่ถมดิน	C_{23}	0.512	0.231	0.257	1.000
Total		2.206	0.537	0.257	

2. หาค่าความสำคัญสัมพันธ์ โดยใช้การลงคะแนนจัดอันดับจากผู้เชี่ยวชาญ ตามสมการการหาน้ำหนักความสำคัญของหลักเกณฑ์ได้จากการแก้สมการที่ (1)

3. ทำการสรุปผลการแก้สมการของหลักเกณฑ์ย่อยทั้ง 3 และทำการสรุปน้ำหนักที่ผ่านการ Normalize ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการคำนวณน้ำหนักหลักเกณฑ์ย่อย

หลักเกณฑ์		Weight	Normalize Weight
C_{21}	สภาวะความเป็นกรด	1.000	0.391
C_{22}	ปริมาณของแข็งแขวนลอย	0.847	0.331
C_{23}	พื้นที่ถมดิน	0.713	0.279
		2.560	1.000

4. ทำการสรุปผลการแก้สมการของหลักเกณฑ์ทั้งหมด และทำการสรุปน้ำหนักของหลักเกณฑ์ทั้งหมด ดังตารางที่ 4

4.5 คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความใกล้ชิด (Closeness Coefficient, CC_i)

โดยรวมผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญทีมวิศกรวางแผน ของพื้นที่บ่อเหมืองเก่า มีตัวอย่างการคำนวณ FTOPSIS ของพื้นที่บ่อเหมืองเก่า 01

1. รวมผลการลงคะแนนของผู้เชี่ยวชาญจากการแปรตัวแปรทางภาษาเป็นตัวเลข Fuzzy ตามตารางที่ 1 และทำการรวมผลตามน้ำหนักความสำคัญผู้เชี่ยวชาญที่ได้จากรูปที่ 3

2. ทำการ Normalize ผลการรวมคะแนนและคูณน้ำหนักของหลักเกณฑ์ที่ได้จากตารางที่ 4

3. ทำการคำนวณระยะห่างจากจุดอุดมคติเชิงลบ เชิงบวก และค่าสัมประสิทธิ์ความใกล้ชิดดังตารางที่ 5

ตารางที่ 4 สรุปน้ำหนักของหลักเกณฑ์ทั้งหมด

Main Criteria		Sub Criteria		Aggregated Global Weight
C_1 ลักษณะภูมิศาสตร์และสายแร่	0.180	C_{11} ปริมาณแร่	0.246	0.044
		C_{12} ความหนาสายแร่	0.262	0.047
		C_{13} ความชันสายแร่	0.183	0.033
		C_{14} ความสูงระดับน้ำ	0.309	0.056
C_2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	0.234	C_{21} สภาวะความเป็นกรด	0.391	0.091
		C_{22} ปริมาณของแข็งแขวนลอย	0.331	0.077
		C_{23} พื้นที่ถมดิน	0.279	0.065
C_3 ผลกระทบต่อสังคม	0.164	C_{31} ผลกระทบต่อสังคม	0.164	0.164
C_4 กฎหมาย	0.213	C_{41} กฎหมาย	0.213	0.213
C_5 ความปลอดภัย	0.208	C_{51} ความปลอดภัย	0.208	0.208

ตารางที่ 5 ผลการคำนวณระยะห่างจากจุดอุดมคติค่าสัมประสิทธิ์ความใกล้ชิด ของพื้นที่บ่อเหมืองเก่า 01

วิธีการ	d_i^+	d_i^-	Cci
การขุดดินบริเวณใกล้เคียงบ่อเหมืองเก่า	9.440	0.605	0.060
การเปิดบ่อเหมืองใหม่ บริเวณใกล้เคียงกับบ่อเหมืองเก่า	9.634	0.428	0.043
การทำเหมืองทางเลือก ด้วยการใช้รถไถ	9.575	0.480	0.048
การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำ	9.335	0.692	0.069

4.6 ค่าสัมประสิทธิ์ความใกล้ชิด (Closeness Coefficient, CC_i)

โดยรวมผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญทีมวิศกรวางแผน ของพื้นที่บ่อเหมืองเก่าทั้งหมด ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความใกล้ชิด

ลำดับ	พื้นที่	ค่าสัมประสิทธิ์ความใกล้ชิด			
		การขุดดินบริเวณใกล้เคียงบ่อเหมืองเก่า	การเปิดบ่อเหมืองใหม่บริเวณใกล้เคียงกับบ่อ	การทำเหมืองทางเลือกด้วยการใช้รถไถ	การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บน
1	บ่อเหมืองเก่า 01	0.060	0.043	0.048	0.069
2	บ่อเหมืองเก่า 02	0.064	0.073	0.055	0.062
3	บ่อเหมืองเก่า 03	0.060	0.052	0.057	0.068
4	บ่อเหมืองเก่า 04	0.075	0.066	0.070	0.074
5	บ่อเหมืองเก่า 05	0.075	0.061	0.077	0.059
6	บ่อเหมืองเก่า 06	0.077	0.052	0.069	0.057
7	บ่อเหมืองเก่า 07	0.077	0.065	0.070	0.065
8	บ่อเหมืองเก่า 08	0.076	0.071	0.070	0.065

4.7 สรุปผลการจัดอันดับทางเลือกวิธีการที่เหมาะสม

จากค่า Closeness Coefficient โดยพิจารณาเลือกจากค่า Closeness Coefficient ที่มากที่สุด ในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการคัดเลือกวิธีการที่เหมาะสมที่สุด

ลำดับ	พื้นที่	วิธีการที่ได้รับการคัดเลือก				
		การขุดดินบริเวณใกล้เคียงบ่อเหมืองเก่า	การเปิดบ่อเหมืองใหม่บริเวณใกล้เคียงกับบ่อ	การทำเหมืองทางเลือกด้วยการใช้รถไถ	การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำ
1	บ่อเหมืองเก่า 01				√
2	บ่อเหมืองเก่า 02		√		
3	บ่อเหมืองเก่า 03				√
4	บ่อเหมืองเก่า 04	√			
5	บ่อเหมืองเก่า 05			√	
6	บ่อเหมืองเก่า 06	√			
7	บ่อเหมืองเก่า 07	√			
8	บ่อเหมืองเก่า 08	√			

5. สรุป

จากการคัดเลือกวิธีการที่เหมาะสมในการปิดบ่อเหมืองแร่โดยการประยุกต์การวิเคราะห์แบบหลายหลักเกณฑ์ โดยการผสมผสานวิธีกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นโดยการโหวตเพื่อจัดอันดับ (Voting Analytic Hierarchy Process) ร่วมกับวิธีการแบบคลุมเครือสำหรับการจัดอันดับตามความพึงพอใจที่มีความคล้ายกับผลลัพธ์ในอุดมคติ Fuzzy Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (Fuzzy TOPSIS) เพื่อให้ได้วิธีการทางเทคนิคที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละพื้นที่ โดยสรุป 1) วิธีการขุดดินบริเวณใกล้เคียงบ่อเหมืองเก่า มีพื้นที่ที่เหมาะสม 4 พื้นที่ 2) วิธีการเปิดบ่อเหมืองใหม่บริเวณใกล้เคียงกับบ่อเหมืองเก่า มีพื้นที่ที่เหมาะสม 1 พื้นที่ 3) วิธีการทำเหมืองทางเลือกด้วยการใช้รถไถ มีพื้นที่ที่เหมาะสม 1 พื้นที่ และ 4) วิธีใช้ประโยชน์ของพื้นที่โดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำ มีพื้นที่ที่เหมาะสม 2 พื้นที่

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบริษัทกรณีศึกษา ที่ให้การสนับสนุนข้อมูล รวมทั้งผู้เชี่ยวชาญทั้ง 16 ท่าน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการสละเวลาเพื่อให้ข้อมูลที่มีประโยชน์แก่การวิจัยเป็นอย่างยิ่ง

7. เอกสารอ้างอิง

[1] D. Workman, “Coal Exports by Country (1st ed.),” [Online]. Available: http://www.worldstopexports.com/coal-exports-country/. [Accessed 28 August 2020].

[2] Anonymous, “Countries with the Biggest Coal Reserves (1st ed.),” [Online]. Available: https://www.mining-technology.com/features/feature-the-worlds-biggest-coal-reserves-by-country/. [Accessed 4 September 2020].

[3] Directorate General of Mineral and Coal, “Indonesian Coal Policy,” in *Indonesia-Japan Coal Seminar 2020*, Indonesia, 2020.

[4] H. L. Hartman, “Introduction to Mining,” in *Introductory Mining Engineering*, Singapore, 1987.

[5] T. Toumbourou, M. Muhdar, T. Werner and A. Bebbington, “Political ecologies of the post-mining landscape: activism, resistance, and legal struggles over Kalimantan's coal mines,” *Energy Research & Social Science.*, vol. 65, 2020.

[6] Regulation of East Kalimantan Province, “Salinan Peraturan Daerah Provinsi Kalimantan Timur Nomor 8 Tahun 2013,” 2013

[7] E. J. Sobczyk, J. Kicki, W. Sobczyk and M. Szuwarzynski, “Support of mining investment choice decisions with the use of multi-criteria method,” *Resources Policy.*, vol. 51, pp. 94-99, 2017.

[8] A. Azadeh, M. Osanloo and M. Ataei, “A new approach to mining method selection based on modifying the Nicholas technique,” *Applied Soft Computing.*, vol. 10, no. 4, pp. 1040-1061, 2010.

[9] S. K. Fuisz-Kehrbach, "A three-dimensional framework to explore corporate sustainability activities in the mining industry: current status and challenges ahead," *Resources Policy.*, vol. 46, pp. 101-115, 2015.

[10] S. Erzurumlu, Y.O. Erzurumlu, "Sustainable mining development with community using design thinking and multi-criteria decision analysis," *Resources Policy.*, vol 46, pp. 6-14, 2015.

[11] A. Ishizaka and P. Nemery, "Analytic Hierarchy Process," in *Multi-Criteria Decision Analysis Methods and Software*, United Kingdom, 2013.

[12] F. H. F. Liu, H. L. Hai, "The voting analytic hierarchy process method for selecting supplier," *International Journal of Production Economics.*, vol. 97, no. 3, pp. 308-317. 2015.

[13] A. Hadi-Vencheh and M. Niazi-Motlagh, "An improved voting analytic hierarchy process-data envelopment analysis methodology for supplier selection. International," *Journal of Computer Integrated Manufacturing.*, vol. 24, no. 3, pp. 189-197, 2011.

[14] G.R. Jahanshahloo, F. Hosseinzadeh Lotfi and A.R. Davoodi, "Extensions of the TOPSIS for decision-making problems with interval data: interval efficiency," *Mathematical and Computer Modelling.*, vol. 49, pp. 1137-1142, 2009.

[15] C.T. Chen, "Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment," *Fuzzy Sets and Systems.*, vol. 114, pp. 1-9, 2000.

[16] F. R. L. Junior, L. Osiro and L.C.R. Carpinetti, "A comparison between fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods to supplier selection," *Applied Soft Computing.*, vol. 21, pp. 194-209. 2014.

[17] A. Ishizaka and P. Nemery, "Goal Programming," in *Multi-Criteria Decision Analysis Methods and Software*, United Kingdom, 2013

[18] H. Noguchi, M. Ogawa and H. Ishii, "The appropriate total ranking method using DEA for multiple categorized purpose," *Journal of Computational and Applied Mathematics.*, vol. 146, pp. 155-166, 2002.