

การวิเคราะห์สภาวะแวดล้อมของการประยุกต์ใช้เหล็กดัด-ดัด สำเร็จรูปในโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำ ของหน่วยงานภาครัฐ

SWOT Analysis of Cut and Bend in Government Water Resource Construction Projects

ธนวัฒน์ จันทรานพณ์^{1,*} และ สมจินตนา แชนงแก้ว²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่

*Corresponding author; E-mail address: tanawat_chan@cmu.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำจัดเป็นภารกิจสำคัญของหน่วยงานภาครัฐเพื่อสนับสนุนการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจและสังคม โดยโครงการเหล่านี้มีโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นองค์ประกอบสำคัญ ปัจจุบันรูปแบบการใช้งานเหล็กเสริมคอนกรีตในโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำ ได้ประสบปัญหาด้านการสูญเสีย เนื่องจากความยาวมาตรฐานของเหล็กเสริมคอนกรีต การขาดทักษะของแรงงานก่อสร้าง และการทำงานที่ขาดประสิทธิภาพ เป็นต้น เหล็กดัด-ดัดสำเร็จรูป (Cut and Bend: CAB) จัดเป็นวัสดุที่ได้รับการประยุกต์ในโครงการก่อสร้างรูปแบบทั่วไป จำนวนมาก เนื่องจากสามารถควบคุมคุณภาพ ลดจำนวนแรงงาน และลดปัญหาการสูญเสียได้ แต่ในทางกลับกันโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำยังไม่ได้รับความนิยมมากนัก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สภาวะแวดล้อมปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอก (SWOT Analysis) ประกอบด้วยจุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส และอุปสรรค ของการประยุกต์ใช้เหล็กดัด-ดัดสำเร็จรูปในโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำของหน่วยงานภาครัฐ โดยใช้วิธีการสัมภาษณ์ในการเก็บข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง จากการศึกษาพบว่าปัจจัยด้านจุดแข็ง คือ ลดการสูญเสียของวัสดุเหล็กเสริมคอนกรีต ปัจจัยด้านจุดอ่อน คือ การเปลี่ยนแปลงงานและการปรับแก้หน้างานทำได้ยาก ปัจจัยด้านโอกาส คือ การขาดแคลนแรงงาน และปัจจัยด้านอุปสรรค คือ ต้นทุนวัตถุดิบที่ผันผวน ตามลำดับ

คำสำคัญ: เหล็กดัด-ดัดสำเร็จรูป, โครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำ,
วิเคราะห์สภาวะแวดล้อม, ปัจจัยภายใน, ปัจจัยภายนอก

Abstract

Water resources construction projects are crucial for governmental sector to support economic and social growth. These projects often involve reinforced concrete structures. The use of reinforced concrete in water resources construction projects can always result in losses due to the standard length of the reinforcing steel, lack of construction worker skills, and inefficient work practices, leaving scraps from cutting and bending. Cut and Bend (CAB) has been widely applied in general construction projects due to its quality control, labor reduction, and waste minimization benefits. Although, Cut and Bend (CAB) is increasingly used in construction projects in

Thailand, it is not yet widely adopted in water resource construction projects. This research aims to study internal and external factors by applying SWOT Analysis to analyze strengths, weaknesses, opportunities, and threats to applying Cut and Bend steel (CAB) in water resources construction projects. Data were collected through interviews with selected samples. The results indicate that the strength factor is a reduction in material waste, the weakness factor requires meticulous planning, the opportunity factor is a labor shortage, and the threat factor is variable raw material costs, respectively.

Keywords: Cut and Bend (CAB), Water Resources Construction Project, SWOT Analysis, Internal factors, External factors

1. คำนำ

โครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำถือเป็นภารกิจของหน่วยงานภาครัฐในการสนับสนุนการเจริญเติบโตทาง เศรษฐกิจและสังคม การจัดการน้ำเพื่อการเกษตรและการอุปโภคบริโภคของประชาชน [1] โครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำ มีหลายประเภท เช่น อ่างเก็บน้ำ ฝาย ระบบส่งน้ำ เป็นต้น โครงการดังกล่าวล้วนมีโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นองค์ประกอบสำคัญของโครงการ การปฏิบัติงานก่อสร้างงานคอนกรีตโครงสร้างด้านแหล่งน้ำ โดยที่เหล็กเสริมคอนกรีตจัดเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นวัสดุก่อสร้างหลักที่ทำหน้าที่เสริมความแข็งแรงและรับน้ำหนักของสิ่งปลูกสร้าง ทั้งนี้จากงานวิจัยในอดีตพบว่าเหล็กเสริมคอนกรีตจัดเป็น 1 ใน 3 ของวัสดุหลักที่มีปริมาณงานมากที่สุดในโครงสร้าง รวมถึงมีมูลค่างานที่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับงานอื่นๆ ทั้งนี้ปัญหาที่เกี่ยวข้องของงานคอนกรีตเสริมเหล็กในโครงการก่อสร้างของหน่วยงานภาครัฐสามารถแบ่งตามกระบวนการทำงาน ได้แก่ ปัญหาการจัดซื้อปัญหาด้านการขนส่ง ปัญหาด้านพื้นที่กองเก็บวัสดุ ปัญหาฝีมือแรงงาน ปัญหาด้านปริมาณเศษเหล็ก เป็นต้น [2]

ปัจจุบันเหล็กดัด-ดัดสำเร็จรูป (Cut and Bend : CAB) ได้รับความนิยมและเข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรมก่อสร้างของประเทศไทยเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเหล็กดัด-ดัดสำเร็จรูป สามารถควบคุมคุณภาพด้วยวิธีการดัด-ดัดจากโรงงาน ลดจำนวนแรงงานเนื่องจากปัญหาแรงงานก่อสร้างมีจำนวนจำกัด [3] รวมถึงสามารถลดปริมาณเศษเหล็กที่เหลือจากการดำเนินงานได้

โครงการก่อสร้างในประเทศไทยได้ประยุกต์ใช้เหล็กตัด-ดัด สำเร็จรูปมากขึ้นโดยเฉพาะโครงการก่อสร้างต่างๆ ได้แก่ โครงการก่อสร้างอาคารสูง โครงการก่อสร้างโรงงานอุตสาหกรรม โครงการก่อสร้างบ้านพักอาศัย และโรงงานผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูป เป็นต้น [2] จากข้อมูลที่ได้กล่าวมาข้างต้น พบว่าโครงการก่อสร้างส่วนมากที่ประยุกต์ใช้เหล็กตัด-ดัด สำเร็จรูปอยู่ในภาคเอกชนในทางตรงกันข้ามในการประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างภาครัฐที่มีงบประมาณสูงและประสบปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้น โดยเฉพาะงานก่อสร้างด้านแหล่งน้ำยังมีจำนวนจำกัด ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สถานะแวดล้อม (SWOT Analysis) ของการประยุกต์ใช้เหล็กตัด-ดัด สำเร็จรูปในโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำของหน่วยงานภาครัฐจากมุมมองผู้ว่าจ้างและผู้รับจ้าง เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยภายใน และปัจจัยภายนอกของการประยุกต์ใช้เหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูปในโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำ สำหรับนำไปข้อมูลสถานะแวดล้อมของโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำสำหรับการดำเนินการเตรียมการ และวางแผนป้องกันอุปสรรคในการพิจารณาเลือกใช้เหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูป (Cut and Bend : CAB) เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องมากที่สุดต่อไปในอนาคต

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำ

โครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำ หมายถึง โครงการก่อสร้างที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนา บริหารจัดการ การบำรุงรักษา อนุรักษ์ พื้นฟู การอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำ การป้องกันและบรรเทาความเสียหายอันเกิดจากทรัพยากรน้ำ เพื่อสนับสนุนการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและสังคม การจัดการน้ำเพื่อการเกษตร และการอุปโภคบริโภคของประชาชน เช่น เขื่อน ฝาย อาคารระบายน้ำล้น คลองส่งน้ำ เป็นต้น [4]

2.2 คำนิยามผู้เชี่ยวชาญ

ผู้เชี่ยวชาญ หมายถึง ผู้ที่มีความรู้ ความสามารถ และมีประสบการณ์ [5] การใช้งานเหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูปในโครงการด้านแหล่งน้ำของหน่วยงานภาครัฐ มากกว่า 5 ปี

2.3 คำนิยามและความสำคัญของเหล็กเสริมคอนกรีต

เหล็กเสริมคอนกรีตตามคำนิยามในมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มาตรฐานงานเหล็กเสริมคอนกรีต หมายถึง เหล็กเส้นที่ฝังในเนื้อคอนกรีตเพื่อเสริมกำลังขึ้น [6] โดยทั่วไปโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กประกอบด้วยคอนกรีตและเหล็กเสริม โดยที่คอนกรีตมีคุณสมบัติในการรับแรงอัด (Compression Strength) ได้ดีแต่มีความสามารถในการรับแรงดึง (Tensile Strength) ได้น้อยมากประมาณร้อยละ 6-12 ของความสามารถในการรับแรงอัดเท่านั้น เพื่อเป็นการเสริมคุณสมบัติของคอนกรีตให้สามารถรับแรงประเภทอื่นๆ เช่น แรงดึง แรงเฉือน และแรงดัด ให้ดีขึ้น ดังนั้น จึงมีการนำเหล็กเสริมในคอนกรีต เพื่อช่วยในการรับแรงดึงและแรงอื่นๆที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง โดยเหล็กมีค่าสัมประสิทธิ์การยึดเหนี่ยวใกล้เคียงกับคอนกรีต ทำให้สามารถป้องกันความเสียหายหรือแตกร้าวได้

2.4 ประเภทของเหล็กเสริมคอนกรีต

เหล็กเสริมที่ใช้ในงานคอนกรีตเสริมเหล็ก แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ เหล็กเส้นกลม (Round Bar : RB) และเหล็กข้ออ้อย (Deformed Bar : DB) ดังแสดงในรูป 1 โดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 20-2559 สำหรับเหล็กเส้นกลม และ มอก.24-2559 สำหรับเหล็กข้ออ้อย



โดยความยาวมาตรฐานของเหล็ก

เสริมคอนกรีต คือ 10 เมตร และ 12 เมตร [7]

รูปที่ 1 เหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อย

2.5 ปัญหาของเหล็กเสริมคอนกรีตในงานก่อสร้าง

ปัญหาของเหล็กเสริมคอนกรีตในงานก่อสร้าง สามารถแบ่งประเด็นต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้ [2]

1) ปัญหาการจัดซื้อเหล็กเสริมคอนกรีต

การจัดซื้อเหล็กเสริมคอนกรีตมีขั้นตอนที่เกี่ยวกับข้อมูลและผู้เกี่ยวข้องหลายฝ่าย เช่น ผู้ปฏิบัติงานหน้างาน ผู้ออกแบบ ร้านค้าวัสดุ ก่อสร้าง รวมทั้งข้อมูลพื้นที่กองเก็บวัสดุ แผนการใช้งาน โดยข้อมูลที่ใช้ในการสั่งซื้อเหล็กเสริมคอนกรีตควรมีปริมาณและขนาดให้สอดคล้องกับแบบก่อสร้างความยาวมาตรฐานของเหล็กเสริมคอนกรีตที่สามารถจัดซื้อได้อยู่ 2 แบบ คือ 10 เมตร และ 12 เมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตามแบบก่อสร้าง ซึ่งมักทำให้เกิดปัญหาตามมาคือ เศษของเหล็กที่เหลือจากการตัดจำนวนมาก

2) ปัญหาการขนส่ง

ความยาวมาตรฐานของเหล็กเสริมคอนกรีตทั่วไปมี 2 ความยาว ได้แก่ ความยาว 10 เมตร และ 12 เมตร ทำให้ต้องขนส่งด้วยรถเทรลเลอร์ ที่มีความสามารถในการบรรทุกวัสดุที่มีความยาว 12 เมตร ขึ้นไป ส่งผลให้เกิดอุปสรรคในการขนส่งวัสดุจากโรงงานผลิตไปยังโครงการก่อสร้างที่มีพื้นที่และความกว้างของเส้นทางจำกัด

3) ปัญหาพื้นที่กองเก็บเหล็กเสริมคอนกรีต

โดยปกติแล้วหากเป็นการขนส่งด้วยรถเทรลเลอร์ ต้องมีการสั่งเหล็กที่ขนมาแต่ละเที่ยวมีน้ำหนักประมาณ 30-40 ตัน ตามที่กฎหมายกำหนด เพื่อลดต้นทุนค่าขนส่งเหล็กที่เกิดขึ้น การสั่งซื้อเหล็กด้วยปริมาณดังกล่าว ทำให้มีปริมาณเหล็กจำนวนมาก จำเป็นต้องจัดสถานที่สำหรับกองเก็บเพื่อนำไปใช้งาน

นอกจากนี้ การจัดเก็บวัสดุที่ไม่เหมาะสมยังเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการส่ววัสดุเกิดความจำเป็น เนื่องจากโครงการพื้นที่กองเก็บเหล็กที่จำกัด อาจมีความจำเป็นต้องกองเหล็กเส้นซ้อนเป็นชั้นๆ วางซ้อนทับกันเป็นจำนวนมาก อาจทำให้ไม่พบเหล็กเส้นในขนาดหรือความยาวที่ต้องการใช้ได้ จึงทำให้โครงการ สั่งซื้อเหล็กขนาดดังกล่าวเข้ามาเพิ่มทำให้เหล็กในโครงการมีปริมาณมากกว่าที่ต้องการใช้งาน อีกทั้ง กองเก็บวัสดุที่ไม่เหมาะสม เช่น ไม่มีวัสดุรอง กองเหล็กเสริมคอนกรีตซ้อนทับกันสูงเกินไป ส่งผลให้เหล็กเสริมคอนกรีตนั้นเสื่อมคุณภาพได้

4) ปัญหาความสูญเสีย

การสูญเสียของเหล็กเสริมคอนกรีต (Waste) เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในโครงการก่อสร้าง เกิดจากหลายปัจจัย เช่น การตัดเหล็กที่ผิดพลาด ไม่ได้วางแผน การกองเก็บวัสดุที่ไม่เหมาะสม และพบว่าโครงการก่อสร้างส่วนใหญ่มีปริมาณเศษของเหล็กเสริมคอนกรีตจำนวนมาก โดยปัจจัยที่ส่งผลให้มีเศษเหล็กจากการตัด-ดัดในงานก่อสร้าง เกิดจากความยาวมาตรฐานในท้องตลาดไม่สอดคล้องกับความยาวที่ต้องการ

ใช้จริง และความคลาดเคลื่อนในการคำนวณปริมาณงานเหล็ก [8] โดยพบว่าค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กในโครงการก่อสร้างของประเทศไทยอยู่ในช่วง 6.8% - 12.6 % [9] นอกจากนี้ทักษะในการตัด-ตัดยังก่อให้เกิดความผิดพลาดในการคำนวณความยาวที่ไม่เหมาะสมประมาณ 0.05-2.55 % ของปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้ [10]

5) ปัญหาฝีมือแรงงาน

งานเหล็กเสริมคอนกรีตในโครงการก่อสร้างประกอบไปด้วยงานต่างๆ เช่น งานตัด งานดัด งานจัดวาง ผูกเหล็ก เป็นต้น โดยปกติแล้วการทำงานเหล็กเสริมคอนกรีตในงานก่อสร้าง จัดเป็นงานที่มีความสำคัญต้องการทักษะในการทำงาน ทั้งในเรื่องของการอ่านแบบ ถอดแบบ การวางแผนตัด-ตัดการวางตำแหน่งเหล็กเสริมในแบบก่อสร้าง เกี่ยวข้องกับบุคลากรทั้งในระดับวิศวกร วิศวกร รวมถึงช่าง และแรงงาน ที่จะต้องทำงานเกี่ยวข้องต่อเนื่องกัน เนื่องจากเหล็กเสริมคอนกรีตในโครงการก่อสร้างถือวัสดุที่เป็นต้นทุนหลักของโครงการ และมีผลต่อความมั่นคงแข็งแรงของอาคาร ซึ่งการทำงานเหล็กเสริมคอนกรีตนั้น มักต้องอาศัยช่างและชุดแรงงานที่มีความชำนาญในด้านงานเหล็กเสริมโดยเฉพาะ และในปัจจุบันอุตสาหกรรมประเทศไทยประสบปัญหาเกี่ยวกับแรงงาน ทั้งปัญหาขาดแคลนแรงงาน ปัญหาแรงงานขาดทักษะฝีมือ และปัญหาค่าแรงที่สูงขึ้น [3] ส่งผลให้การทำงานเหล็กเสริมคอนกรีตในงานก่อสร้างในประเทศไทยขาดแคลนแรงงานฝีมือที่มีความรู้และทักษะในการทำงานเหล็ก

2.6 ปัญหาของเหล็กเสริมคอนกรีตในงานก่อสร้างด้านแหล่งน้ำ

อาคารชลศาสตร์เป็นโครงสร้างชนิดหนึ่งในงานก่อสร้างด้านแหล่งน้ำ มีหน้าที่ควบคุมและจัดการน้ำในพื้นที่ต่าง ๆ โดยทั่วไปแล้ว อาคารชลศาสตร์สามารถแบ่งออกเป็นสองประเภทหลัก คือ 1) อาคารชลศาสตร์ที่ห้วยน้ำ ได้แก่ เขื่อน ฝาย อาคารระบายน้ำล้น อาคารระบายน้ำเป็นต้น 2) อาคารชลศาสตร์ที่ระบบส่งน้ำ ได้แก่ คลองส่งน้ำ ท่อลอด อาคารอัดน้ำ อาคารน้ำตก เป็นต้น [11] มีรูปแบบอาคารที่มีความแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์และลักษณะการใช้งาน การปฏิบัติงานคอนกรีตเหล็กเส้นถือเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีปริมาณความต้องการใช้มาก และมีราคาต่อหน่วยสูง จึงทำให้ต้นทุนค่าเหล็กเสริมคอนกรีตเป็นส่วนที่สูงของมูลค่าโครงการทั้งหมด การใช้งานเหล็กเส้นในโครงการก่อสร้าง อาคารชลศาสตร์ สามารถเกิดการสูญเสียเหล็กเสริมคอนกรีตได้ ดังต่อไปนี้ [12]

1) ปัญหาการจัดซื้อ

การจัดซื้อเหล็กเสริมคอนกรีต มีความยาวมาตรฐานของเหล็กเสริมคอนกรีตที่สามารถจัดซื้อได้อยู่ 2 แบบ คือ 10 เมตร และ 12 เมตร ซึ่งมักทำให้เกิดปัญหามาตาม คือเศษของเหล็กที่เหลือจากการตัดจำนวนมาก

2) ปัญหาด้านการขนส่ง

ความยาว 10 เมตร และ 12 เมตร ทำให้ต้องขนส่งด้วยรถเทรลเลอร์ ส่งผลให้เกิดอุปสรรคในการขนส่งวัสดุจากโรงงานผลิตไปยังโครงการก่อสร้างที่มีพื้นที่ และความกว้างของเส้นทางจำกัด

3) ปัญหาพื้นที่กองเก็บวัสดุ

การจัดซื้อเหล็กด้วยปริมาณมาก จำเป็นต้องจัดสถานที่สำหรับกองเก็บเพื่อนำไปใช้งาน นอกจากนี้ การจัดเก็บวัสดุที่ไม่เหมาะสมส่งผลให้เหล็กเสริมคอนกรีตนั้นเสื่อมคุณภาพได้



รูปที่ 2 การกองเก็บวัสดุเหล็กเสริมคอนกรีตที่ต้องอาศัยพื้นที่ปริมาณมาก

2.6.4 ปัญหาด้านแรงงาน

การทำงานเหล็กเสริมคอนกรีตนั้น มักต้องอาศัยช่างและชุดแรงงานที่มีความชำนาญในด้านงานเหล็กเสริมโดยเฉพาะ รวมถึงปัญหาขาดแคลนแรงงาน ปัญหาแรงงานขาดทักษะฝีมือ และปัญหาค่าแรงที่สูงขึ้น



รูปที่ 3 การดำเนินงานตัดเหล็กที่ต้องอาศัยทักษะฝีมือ

2.6.5 ปัญหาด้านปริมาณเศษเหล็ก

ลักษณะของงานก่อสร้างอาคารชลศาสตร์การใช้เหล็กเสริมคอนกรีตจำเป็นต้องมีการตัด ดัด และโค้งงอ ก่อนนำมาใช้งาน โดยเหล็กเสริมคอนกรีตที่มีจำหน่ายเป็นความยาวมาตรฐาน เมื่อนำมาใช้งานตามความยาวที่ต้องการจำเป็นต้องตัดจากขนาดมาตรฐานทำให้เกิดเศษจากการตัด การขาดการวางแผนบริหารจัดการและวางแผนการใช้งาน ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กเสริมคอนกรีตได้เช่นเดียวกัน



รูปที่ 4 เศษเหล็กที่เหลือจากการตัดและดัด

2.7 เหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูป (Cut and Bend : CAB)

เหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูป (Cut and Bend: CAB) เป็นกระบวนการที่นำเหล็กเสริมคอนกรีตมาแปรรูปด้วยการตัดและดัดให้ได้ขนาดและรูปร่างตามที่กำหนดโดยแบบก่อสร้าง กระบวนการนี้มักดำเนินการในโรงงานผลิตที่มีเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ทันสมัย สามารถตัดและดัดเหล็กได้อย่างแม่นยำตามมาตรฐานการออกแบบทางวิศวกรรมก่อนที่ขนส่งไปยังโครงการก่อสร้าง



รูปที่ 5 เหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูปจากโรงงาน (Cut and Bend : CAB) [2]

2.7.1 ข้อดีของการใช้เหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูป (Cut and Bend: CAB)

1) การลดปัญหาของพื้นที่ก่อสร้าง การจัดเตรียมเหล็กเสริมคอนกรีตในรูปแบบสำเร็จรูปช่วยลดความจำเป็นในการใช้พื้นที่หน้างานสำหรับการตัดและดัดเหล็ก ลดพื้นที่การกองเก็บวัสดุ ลดการขนย้ายวัสดุในพื้นที่ก่อสร้าง ทำให้การทำงานมีความคล่องตัวมากขึ้นโดยเฉพาะในโครงการที่มีพื้นที่จำกัด

2) การลดการสูญเสียวัสดุ ลักษณะทั่วไปของเหล็กเสริมคอนกรีตที่ถูกตัดและดัดในโรงงานมีการคำนวณปริมาณและจัดเตรียมตามแบบที่กำหนดไว้อย่างแม่นยำ การสูญเสียเหล็กหรือเศษวัสดุที่เหลือจากการตัดในหน้างานจึงลดลงอย่างมาก ซึ่งเป็นการช่วยลดต้นทุนวัสดุในโครงการ

3) การเพิ่มคุณภาพและประสิทธิภาพในการทำงาน การผลิตเหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูปดำเนินการในโรงงานที่ควบคุมสภาพแวดล้อมและกระบวนการอย่างมีมาตรฐาน ส่งผลให้เหล็กที่ได้มีความแม่นยำสูงทั้งในด้านขนาดและรูปร่างตามที่แบบกำหนด ลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการวัดและตัดเหล็กในหน้างาน โดยเฉพาะในโครงสร้างที่มีรายละเอียดซับซ้อน รวมถึงการผลิตได้ตามแผนงาน ทำให้ทำงานเหล็กเสริมคอนกรีตในโครงการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4) การลดระยะเวลาในการทำงานและการเร่งงานก่อสร้าง การใช้เหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูปช่วยลดเวลาที่ต้องใช้ในการตัดและดัดเหล็กในหน้างานลงได้อย่างมาก ชิ้นงานที่เตรียมมาจากโรงงานพร้อมติดตั้งทันทีเมื่อส่งถึงหน้างาน อาทิเช่น งานฐานราก ซึ่งช่วยลดระยะเวลาทั้งในกระบวนการก่อสร้างและการเตรียมงานก่อสร้าง ส่งผลให้โครงการสามารถเสร็จตามกำหนดหรือก่อนเวลาได้ อีกทั้งยังสามารถเร่งงานในสภาวะแรงงานขาดแคลนได้ โดยแรงงานสามารถไปทำงานส่วนอื่น ช่วยให้สามารถเร่งการทำงานให้เร็วขึ้นได้

5) การลดต้นทุนรวมของโครงการ การใช้เหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูปมีส่วนช่วยให้โครงการก่อสร้างสามารถลดต้นทุนรวมทั้งในด้านต้นทุนทางตรงและต้นทุนทางอ้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต้นทุนทางตรงลดลงจากการลดปริมาณเศษเหล็กและการจัดการที่มีประสิทธิภาพ ส่วน

ต้นทุนทางอ้อม เช่น การก่อสร้างพื้นที่ในการตัดเหล็ก ค่าเช่าที่ดิน ค่าเครื่องจักรในการขนย้ายวัสดุ ค่าใช้จ่ายในการจ้างแรงงานในการตัด ดัดเหล็ก สิ่งเหล่านี้สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบริหารโครงการลงได้

6) ความปลอดภัยในการทำงานก่อสร้าง การลดการใช้เครื่องมือและเครื่องจักรหนักในการตัดและดัดเหล็กในหน้างานสามารถลดความเสี่ยงต่ออุบัติเหตุในการทำงานและทำให้พื้นที่ก่อสร้างปลอดภัยยิ่งขึ้น

7) ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการใช้เหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูปช่วยลดการสูญเสียวัสดุและลดการใช้พลังงานในการทำงานดังกล่าว ทำให้การก่อสร้างมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลง อีกทั้งยังช่วยลดการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.7.2 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้เหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูป

1) การใช้เหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูปในงานก่อสร้างอาคารสูง โครงการก่อสร้างอาคารสูงส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในเขตเมืองที่มีมูลค่าที่ดินสูง ตัวอาคารมักถูกออกแบบให้มีพื้นที่การใช้งานเต็มพื้นที่เท่าที่กฎหมายอนุญาต ทำให้งานโครงสร้างชั้นฐานราก หรืองานก่อสร้างชั้นใต้ดินมีพื้นที่ทำงานจำกัด อีกทั้งสภาพไม่เอื้ออำนวยต่อการทำงาน การใช้เหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูป สามารถช่วยแก้ปัญหาเรื่องข้อจำกัดพื้นที่ในงานก่อสร้าง



รูปที่ 6 การใช้เหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูปในงานก่อสร้างอาคารสูง [2]

2) การใช้เหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูปในงานก่อสร้างบ้านพักอาศัย โครงการก่อสร้างบ้านพักอาศัยส่วนใหญ่เป็นโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กในระบบ เสา-คาน-พื้น การใช้เหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูป สามารถลดปริมาณเศษเหล็กที่เหลือจากการตัด-ดัด ลดความผิดพลาดจากการตัด-ดัด รวมถึงได้ชิ้นงานเหล็กที่ได้ขนาด มิติที่ถูกต้องและมีคุณภาพมากขึ้น



รูปที่ 7 การใช้เหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูปในงานก่อสร้างบ้านพักอาศัย [2]

3) การใช้เหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูปในโรงงานผลิตชิ้นส่วนคอนกรีต
โรงงานผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตมีรูปแบบการผลิตชิ้นงานซ้ำๆ มีการวางแผนการทำงานอย่างเป็นระบบ การใช้เหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูปช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนแรงงาน การเร่งการผลิตเกินอัตราการทำงานปกติ รวมถึงการผลิตชิ้นงานที่ต้องการความแม่นยำในการตัด-ดัดเหล็กสูง



รูปที่ 8 การใช้เหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูปในโรงงานผลิตชิ้นส่วนคอนกรีต [2]

2.8 การศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการประยุกต์ใช้เหล็กตัด-ดัด สำเร็จรูป ในงานก่อสร้าง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูป (Cut and Bend : CAB)
ที่ได้มีการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาโดยสามารถแบ่งเป็นประเด็นได้ดังนี้

1) ประเด็นด้านวิธีการลดเศษเหล็ก

Shen L.Y. และคณะ [13] ศึกษาถึงเศษวัสดุที่เกิดจากการก่อสร้าง
ในอุตสาหกรรมก่อสร้างของฮ่องกง กล่าวถึงสาเหตุหลักของการสูญเสีย
เกิดจากการจัดเก็บและการเกิดสนิมโดยการตัด-ดัดจากโรงงานสามารถ
ช่วยลดเศษวัสดุจากเหล็กได้

Chandraseker, M.K. และคณะ [8] ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการ
สูญเสียเหล็กในการก่อสร้างอาคาร เพื่อดูว่าปัจจัยใดที่ส่งผลกระทบให้เกิด
การสูญเสียเหล็กจากการนำไปใช้งาน ได้แก่ การตัดเหล็กยาวเกินความ
ต้องการ การตัดเหล็กสั้นกว่าที่ต้องการ ไม่ได้ทำตามรูปแบบรายละเอียด
การเสริมเหล็ก การประสานงานระหว่างช่างตัดเหล็กและวิศวกรควบคุม
งาน เป็นต้น โดยทำปัจจัยต่างๆมาเปรียบเทียบกับว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อ
การสูญเสียเหล็กมากที่สุด

2) ประเด็นด้านลักษณะงานก่อสร้างที่มีความเหมาะสม

Polat and Ballard [14] ศึกษาถึงสาเหตุที่ผู้รับเหมาก่อสร้างใน
ประเทศตุรกีในการประยุกต์ใช้เหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูป โดยวิธีการสำรวจ
และสัมภาษณ์เพื่อหาสาเหตุที่เหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูป ไม่เป็นที่นิยม
ผลการศึกษาพบว่าเหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูปช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการ
ก่อสร้างมากขึ้น ส่วนสาเหตุที่ยังไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากหากมีการ
เปลี่ยนแปลงแบบจะส่งผลกระทบต่อต้นทุนและระยะเวลาโครงการที่เพิ่มขึ้น

Taylor [15] อธิบายถึงรายละเอียดเกี่ยวกับวัสดุพร้อมติดตั้งในการ
ก่อสร้างในสหราชอาณาจักร โดยกล่าวถึงการใช้งาน ข้อดี-ข้อเสียต่างๆ
โดยเหล็กตัด-ดัด สำเร็จรูปที่ตัดตามแบบก่อสร้างสามารถช่วยให้การ
ทำงานก่อสร้างเป็นไปตามรูปแบบตามที่ต้องการ

3) ประเด็นด้านการขนส่งเหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูป

Durdyev และคณะ [16] ได้วิเคราะห์ต้นทุนในการขนส่งวัสดุของ
เหล็กตัด-ดัด สำเร็จรูปด้วยรถบรรทุกพบว่าค่าการขนส่งเหล็กตัด-ดัด
สำเร็จรูปต้องใช้จำนวนที่มากกว่าการขนส่งแบบเดิม เนื่องจากขนาด

ของเหล็กตัดมีขนาดคงที่และการมัดกองรวมกันทำให้มีช่องว่างในการ
ขนส่ง

Polat และคณะ [17] พบว่าหากโรงงานเหล็กตัด-ดัด สำเร็จรูปอยู่
ห่างจากโรงผลิตเหล็กและเป็นเส้นทางที่ไม่ผ่านโครงการก่อสร้าง จะทำให้
เกิดค่าขนส่งและค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากการขนส่งเหล็กเส้นไปยังโรงงาน
เหล็กตัด-ดัด สำเร็จรูปและจากโรงงานเหล็กตัด-ดัด สำเร็จรูปไปยัง
โครงการก่อสร้าง พบว่าทำให้มีค่าใช้จ่ายด้านการขนส่งเพิ่มมากขึ้น อีกทั้ง
ปริมาณการผลิตเหล็กเส้นต่อครั้งต้องไม่น้อยกว่า 50 ตัน

4) ประเด็นด้านต้นทุนการก่อสร้างที่ใช้เหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูป

Polat และคณะ [17] ศึกษาถึงการเปรียบเทียบทางเศรษฐศาสตร์
ระหว่างเหล็กตัด-ดัดในสถานที่ กับเหล็กตัด-ดัดนอกสถานที่ ในประเทศ
ตุรกี โดยกระบวนการสร้างโมเดลจำลอง จากตัวแปรต้น เช่น
Productivity of workers , Unit Cost of Cut and Bend Rebar ,
Capacity of the Trucks , Bonus for Early Finish เป็นต้น จากนั้น
ประมวลผลเพื่อนำผลลัพธ์มาเปรียบเทียบกับระหว่างเหล็กตัด-ดัดใน
สถานที่ กับเหล็กตัด-ดัดนอกสถานที่ พบว่าเหล็กตัด-ดัดนอกสถานที่ที่มี
ค่าใช้จ่ายโดยรวมสูงกว่า 1.2 เปอร์เซ็นต์

5) ประเด็นด้านประสิทธิภาพการติดตั้งเหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูป

Polat และคณะ [17] ได้เปรียบเทียบระยะเวลาการทำงาน
ก่อสร้างเหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูปเปรียบเทียบกับเหล็กเสริมตัด-ดัดทั่วไปใน
สถานที่ก่อสร้าง พบว่าระยะเวลาในการทำงานเหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูปใช้
หน่วยงานน้อยกว่าเหล็กเสริมตัด-ดัดทั่วไป 7-11 วัน เนื่องจากสามารถลด
ระยะเวลาในการเคลื่อนย้ายเหล็กไปยังพื้นที่ทำงานตัด-ดัดเหล็ก

6) ประเด็นด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

Kim และคณะ [18] ศึกษาเกี่ยวกับการเปรียบเทียบผลกระทบต่อ
สิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการก่อสร้างโดยใช้เหล็กตัด-ดัดในสถานที่ (On-Site
Prefabricated Rebar) กับเหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูป (Prefab-JIT) โดยการ
ใช้ LCA (Life Cycle Assessment) Methodology ในการประเมินผล
กระทบจากวัสดุตลอดช่วงวัฏจักร ตั้งแต่การจัดหาวัสดุ การผลิต
การขนส่ง และการติดตั้ง พบว่าการใช้เหล็กตัด-ดัด สำเร็จรูปสามารถช่วย
ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2.9 ช่องว่างของงานวิจัย

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นศึกษาเฉพาะ
ประเภทงานอาคาร แต่การศึกษาที่เกี่ยวข้องโครงการก่อสร้างด้านแหล่ง
น้ำของภาครัฐ นั้นยังมีค่อนข้างน้อย และโครงการก่อสร้างภาครัฐยังไม่ได้
รับการประยุกต์ใช้เหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูป (Cut and Bend : CAB)
มากนัก อีกทั้งแต่ละปีมีโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำในจำนวนและ
งบประมาณที่สูง

2.10 การวิเคราะห์สภาวะแวดล้อม

1) การแปลความหมายของแต่ละปัจจัย

งานวิจัยนี้ดำเนินการเลือกใช้การวิเคราะห์สภาวะแวดล้อม
(SWOT Analysis) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ปัจจัยภายในและปัจจัย
ภายนอก ด้วยการใช้วิเคราะห์สภาพแวดล้อมหรือปัจจัยภายใน โดยมี
รายละเอียดดังนี้

1. ปัจจัยด้านจุดแข็ง (Strength, S) หมายถึง ข้อดีหรือประโยชน์ของ
การใช้เหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูปในโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำของภาครัฐ

2. ปัจจัยด้านจุดอ่อน (Weakness, W) หมายถึง ข้อเสียหรือ
ปัญหาของการใช้เหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูปในโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำ
ของภาครัฐ

การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายนอกหรือปัจจัยภายนอก โดยมีรายละเอียดดังนี้

3. ปัจจัยด้านโอกาส (Opportunity, O) หมายถึง ปัจจัยหรือสถานการณ์ภายนอกที่เอื้อต่อการใช้งานเหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูปในโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำของภาคภูมิกายยิ่งขึ้น

4. ปัจจัยด้านอุปสรรค (Threat, T) หมายถึง ปัจจัยหรือสถานการณ์ภายนอกที่ขัดขวางการใช้งานเหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูปในโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำของภาคภูมิกาย

2) ข้อดีของการวิเคราะห์สภาวะแวดล้อม

วิเคราะห์สภาวะแวดล้อม คือเครื่องมือวิเคราะห์ที่ช่วยให้โครงการเข้าใจสถานการณ์ของตนเองได้ดีขึ้น โดยมีข้อดี ดังนี้

1. ช่วยให้เข้าใจสถานการณ์โดยรวม ทำให้เห็นถึงภาพรวมของจุดแข็ง (Strength, S) จุดอ่อน (Weakness, W) โอกาส (Opportunity, O) และ อุปสรรค (Threat, T) ของโครงการ

2. ช่วยพัฒนาแผนกลยุทธ์ สามารถนำผลการวิเคราะห์สภาวะแวดล้อมมาใช้กำหนดแผนพัฒนา ปรับปรุงจุดอ่อน เสริมจุดแข็ง และใช้ประโยชน์จากโอกาสที่มี

3. สะดวกต่อการใช้งานและไม่ซับซ้อนการวิเคราะห์สภาวะแวดล้อม สามารถนำไปใช้ได้ในทุกองค์กร ไม่ว่าจะเป็นขนาดเล็ก ขนาดกลาง หรือขนาดใหญ่

2.11 ปัจจัยในการประยุกต์ใช้เหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูปในโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำของหน่วยงานภาครัฐ

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการสรุปปัจจัยภายในและภายนอกที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้เหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูป (Cut and Bend : CAB) จากการทบทวนวรรณกรรมและเก็บข้อมูลด้วยการสัมภาษณ์จากผู้เชี่ยวชาญ

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยดำเนินการใช้แบบสัมภาษณ์เป็นเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อคำนวณค่าเฉลี่ยปัจจัยด้วยวิธีการทางสถิติ และวิเคราะห์ผลการวิเคราะห์สภาวะแวดล้อมของการประยุกต์ใช้เหล็กตัด-ดัด สำเร็จรูปในโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำของหน่วยงานภาครัฐ ดังรายละเอียดดังนี้

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

งานวิจัยฉบับนี้ใช้แบบสัมภาษณ์เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง โดยกลุ่มตัวอย่างของแบบสอบถามคือ บุคลากรผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ใช้เหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูปที่เกี่ยวข้องในโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำของภาครัฐ จำนวน 6 คน โดยลักษณะโครงการเป็นการดำเนินการก่อสร้างฝายน้ำล้น และอาคารระบายน้ำแบบทอเหลี่ยมจำนวน 1 โครงการ โดยมีขั้นตอนในการเก็บข้อมูล ดังนี้

1) ศึกษาแนวคิดและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับเหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูป (Cut and Bend : CAB)

2) สร้างแบบสัมภาษณ์จากการทบทวนวรรณกรรม เกี่ยวกับการวิเคราะห์สภาวะแวดล้อมปัจจัยในด้านต่างๆ ประกอบด้วย จุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส และอุปสรรค ของการประยุกต์เหล็กตัด-ดัด สำเร็จรูปในโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำของหน่วยงานภาครัฐ

3) สัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับปัจจัยในการวิเคราะห์สภาวะแวดล้อมปัจจัยในด้านต่างๆ ประกอบด้วยจุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส และอุปสรรค ของการประยุกต์เหล็กตัด-ดัด สำเร็จรูปในโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำของหน่วยงานภาครัฐ

4) สร้างแบบสัมภาษณ์การวิเคราะห์สภาวะแวดล้อมปัจจัยในด้านต่างๆ ประกอบด้วยจุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส และอุปสรรค ของการประยุกต์เหล็กตัด-ดัด สำเร็จรูปในโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำของหน่วยงานภาครัฐ จากการทบทวนวรรณกรรมและการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ ครั้งที่ 1

5) วิเคราะห์หาความเชื่อมั่น (Reliability) ด้วยค่าสัมประสิทธิ์อัลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha Coefficient) โดยปัจจัยที่มีค่าตั้งแต่ 0.70 ขึ้นไป ถือว่าปัจจัยนั้นมีความน่าเชื่อถือ [19]

6) จัดทำแบบสอบถาม โดยกลุ่มตัวอย่างคือผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ใช้เหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูปที่เกี่ยวข้องในโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำของภาครัฐ จำนวน 6 คน แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 คำถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปของแบบสอบถาม ประกอบด้วย ชื่อและนามสกุล อายุ ตำแหน่ง ชื่อหน่วยงาน และประสบการณ์ทำงาน

ส่วนที่ 2 การเก็บข้อมูลสำรวจการวิเคราะห์สภาวะแวดล้อมปัจจัยในด้านต่างๆ ประกอบด้วยจุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส และอุปสรรค ของการประยุกต์เหล็กตัด-ดัด สำเร็จรูปในโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำของหน่วยงานภาครัฐ ดังตารางที่ 1

ส่วนที่ 3 แบบสอบถามความคิดเห็นเกี่ยวกับการตัด-ดัด สำเร็จรูปในโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำของหน่วยงานภาครัฐ

ตารางที่ 1 ปัจจัยในการประยุกต์ใช้เหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูปในโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำของหน่วยงานภาครัฐ

ลำดับ	ปัจจัยในการประยุกต์ใช้เหล็กตัด-ดัดสำเร็จรูปในโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำของหน่วยงานภาครัฐ	อ้างอิง
S ปัจจัยด้านจุดแข็ง (Strength)		
S1	ลดปัญหาของพื้นที่ก่อสร้าง	[15]
S2	ลดการสูญเสียวัสดุ	[8]; [13]
S3	การเพิ่มคุณภาพและประสิทธิภาพในการทำงาน	[14]
S4	การลดระยะเวลาในการทำงานและการเร่งงานก่อสร้าง	[17]
S5	การลดต้นทุนรวมด้านแรงงานของโครงการ	[17]
S6	ความปลอดภัยในการทำงานก่อสร้าง	
S7	ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	[18]
W ปัจจัยด้านจุดอ่อน (Weakness)		
W1	มีค่าใช้จ่ายที่มากขึ้นจากการคำนวณปริมาณงานเหล็กคลาดเคลื่อน	[10]
W2	ต้นทุนการดำเนินงานที่เพิ่มขึ้น	[14]
W3	การเปลี่ยนแปลงงานและการปรับแก้ทำงานทำได้ยาก	[14]
W4	ต้องการการวางแผนงานที่รัดกุม	[17]
W5	การขนส่งวัสดุมายังสถานที่ก่อสร้าง	[16]
W6	ต้นทุนค่าวัสดุเหล็กที่เพิ่มขึ้น	[14]
O ปัจจัยด้านโอกาส (Opportunity)		
O1	ราคาวัสดุเหล็กที่เพิ่มขึ้น	
O2	นโยบายภาครัฐในการสนับสนุนนวัตกรรมก่อสร้าง	
O3	เพิ่มประสิทธิภาพงานก่อสร้างด้านแหล่งน้ำของภาครัฐ	[14]

ตารางที่ 1 ปัจจัยในการประยุกต์ใช้เหล็กตัด-ตัดสำเร็จรูปในโครงการก่อสร้าง
ด้านแหล่งน้ำของหน่วยงานภาครัฐ (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยในการประยุกต์ใช้เหล็กตัด-ตัดสำเร็จรูปในโครงการ ก่อสร้างด้านแหล่งน้ำของหน่วยงานภาครัฐ	อ้างอิง
O ปัจจัยด้านโอกาส (Opportunity)		
O4	การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเหล็กเหล็กตัด-ตัด สำเร็จรูป	
O5	การขาดแคลนแรงงานก่อสร้าง	
T ปัจจัยด้านอุปสรรค (Threats)		
T1	ต้นทุนวัตถุดิบที่ผันผวน	
T2	การลดการใช้เหล็กเสริมคอนกรีต	
T3	การผลิตและการขนส่งวัสดุของผู้ผลิตเหล็กตัด-ตัด สำเร็จรูป	
T4	ผลกระทบจากภัยธรรมชาติ	
T5	ทัศนคติของบุคคลที่เกี่ยวข้อง	

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลได้ดำเนินการคำนวณค่าเฉลี่ย
เลขคณิตทางสถิติ และวิเคราะห์เพื่อจัดลำดับความคิดเห็นของปัจจัยจุด
แข็ง จุดอ่อน โอกาส และอุปสรรค

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง ผู้วิจัยนำข้อมูลมาแจกแจงตาม
ประเภทของผู้ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรรมการตรวจรับพัสดุ ผู้ออกแบบ
ก่อสร้าง ผู้ควบคุมงาน และผู้รับจ้าง เป็นต้น

ส่วนที่ 2 ประเมินจุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส และอุปสรรค ในการ
ประยุกต์ใช้เหล็กตัด-ตัด สำเร็จรูปในโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำของ
หน่วยงานภาครัฐ ผู้วิจัยนำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยใช้สถิติค่าเฉลี่ยเลขคณิต
ดังสมการที่ (1) โดยนำค่าคะแนนระดับความคิดเห็นมาคูณกับจำนวนของ
ผู้เลือกตอบระดับความคิดเห็นนั้น แล้วหารด้วยจำนวนทั้งหมดและนำ
ปัจจัยมาเรียงลำดับจากค่าเฉลี่ยคะแนนระดับความคิดเห็นจากมากไปน้อยใน
แต่ละปัจจัย

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i x_i}{n} \quad (1)$$

โดยที่

- $\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยเลขคณิต
- n = จำนวนกลุ่มตัวอย่าง
- f_i = ความถี่ของข้อมูล
- x_i = คะแนนระดับความคิดเห็น

ส่วนที่ 3 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการเลือกใช้เหล็กตัด-ตัดสำเร็จรูปใน
โครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำของหน่วยงานภาครัฐนำเสนอการวิเคราะห์

4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูล สามารถแสดงได้ตาม
รายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการทดสอบหาความเชื่อมั่น (Reliability) ด้วยค่าสัมประสิทธิ์
แอลฟาของครอนบาค จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 6 ตัวอย่าง พบว่า
ค่าสัมประสิทธิ์ของความเชื่อถือได้ในปัจจัยด้านจุดแข็ง มีค่า 0.80

ปัจจัยด้านจุดอ่อน มีค่า 0.71 ปัจจัยด้านโอกาส มีค่า 0.79 และปัจจัย
อุปสรรคมมีค่า 0.89 โดยมีค่ามากกว่า 0.70 ในทุกปัจจัยแสดงถึงข้อมูลใน
แบบสอบถามมีความน่าเชื่อถือ

4.2 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

ตารางที่ 2 ข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง

ประเภทผู้เกี่ยวข้องในโครงการ	ความถี่ (คน)	อัตราส่วน (ร้อยละ)
กรรมการตรวจรับพัสดุ	1	16.67
ผู้ออกแบบก่อสร้าง	1	16.67
ผู้ควบคุมงาน	1	16.67
ผู้รับจ้าง	3	50
รวม	6	100

จากตารางที่ 2 พบว่ากลุ่มตัวอย่าง จำนวน 6 คน สามารถแบ่ง
ออกเป็น 4 กลุ่ม คือ กรรมการตรวจรับพัสดุ จำนวน 1 คน คิดเป็นร้อยละ
16.67 ผู้ออกแบบ จำนวน 1 คน คิดเป็นร้อยละ 16.67 ผู้ควบคุมงาน
จำนวน 1 คน คิดเป็นร้อยละ 16.67 และ ผู้รับจ้าง จำนวน 3 คน คิดเป็น
ร้อยละ 50 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง

ช่วงอายุประสบการณ์ทำงาน	ความถี่ (คน)	อัตราส่วน (ร้อยละ)
มากกว่า 15 ปี	4	66.66
11-15 ปี	1	16.67
5-10 ปี	1	16.67
รวม	6	100

จากตารางที่ 3 พบว่า กลุ่มตัวอย่าง มีประสบการณ์ทำงานมากกว่า
15 ปี จำนวน 4 คน คิดเป็นร้อยละ 66.66 มีประสบการณ์ทำงาน 11-15 ปี
จำนวน 1 คน คิดเป็นร้อยละ 16.67 และมีประสบการณ์ทำงาน 5-10 ปี
จำนวน 1 คน คิดเป็นร้อยละ 16.67 ตามลำดับ

4.3 ผลการวิเคราะห์สภาวะแวดล้อมของการประยุกต์ใช้ประยุกต์ใช้
เหล็กตัด-ตัด สำเร็จรูปในโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำของหน่วยงาน
ภาครัฐ

ผลจากการคำนวณคะแนนค่าเฉลี่ยของปัจจัยด้านต่างๆ แบ่งออกเป็น
4 ด้าน ดังนี้

ตารางที่ 4 ผลคะแนนความเห็นด้วยในปัจจัยด้านจุดแข็ง (Strength)

จุดแข็ง (S)	คะแนน
ลดการสูญเสียวัสดุเหล็กเสริมคอนกรีต	4.50
การเพิ่มคุณภาพและประสิทธิภาพในการทำงาน	4.17
การลดระยะเวลาในการทำงานและการเร่งงานก่อสร้าง	4.00
ลดปัญหาของพื้นที่ก่อสร้าง	3.67
การลดต้นทุนรวมด้านแรงงานของโครงการ	3.67
ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	3.67
ความปลอดภัยในการทำงานก่อสร้าง	3.50

จากตารางที่ 4 พบว่าผลการคำนวณคะแนนค่าเฉลี่ยปัจจัยด้าน
จุดแข็ง (Strength) ที่มีคะแนนความเห็นสูงสุด คือ “ลดการสูญเสียวัสดุ
เหล็กเสริมคอนกรีต” รองลงมาคือ “การเพิ่มคุณภาพและประสิทธิภาพ
ในการทำงาน” และ “ลดปัญหาของพื้นที่ก่อสร้าง” ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ผลคะแนนความเห็นด้วยในปัจจัยด้านจุดอ่อน (Weakness)

จุดอ่อน (W)	คะแนน
การเปลี่ยนแปลงงานและการปรับแก้หน้างานทำได้ยาก	4.50
ต้องการการวางแผนงานที่รัดกุม	4.33
มีค่าใช้จ่ายที่มากขึ้นจากการคำนวณปริมาณงานเหล็ก	4.00
คลาดเคลื่อน	
ต้นทุนการดำเนินงานที่เพิ่มขึ้น	3.83
การขนส่งวัสดุไปยังสถานที่ก่อสร้าง	3.83
ต้นทุนค่าวัสดุเหล็กที่เพิ่มขึ้น	3.83

จากตารางที่ 5 พบว่าผลจากการคำนวณคะแนนค่าเฉลี่ย ปัจจัยด้านจุดอ่อน (Weakness) ที่มีคะแนนความเห็นสูงสุด คือ “การเปลี่ยนแปลงงานและการปรับแก้หน้างานทำได้ยาก” รองลงมาคือ “ต้องการการวางแผนงานที่รัดกุม” และ “มีค่าใช้จ่ายที่มากขึ้นจากการคำนวณปริมาณงานเหล็กคลาดเคลื่อน” ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ผลคะแนนความเห็นด้วยในปัจจัยด้านโอกาส (Opportunity)

โอกาส (O)	คะแนน
ราคาวัสดุเหล็กที่เพิ่มขึ้น	4.33
การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเหล็กเหล็กตัด-ตัดสำเร็จรูป	4.33
การขาดแคลนแรงงานก่อสร้าง	4.33
นโยบายภาครัฐในการสนับสนุนนวัตกรรมก่อสร้าง	4.17
เพิ่มประสิทธิภาพงานก่อสร้างด้านแหล่งน้ำของภาครัฐ	4.17

จากตารางที่ 6 พบว่าผลจากการคำนวณคะแนนค่าเฉลี่ย ปัจจัยด้านโอกาส (Opportunity) ที่มีคะแนนความเห็นสูงสุดเท่ากัน คือ “ราคาวัสดุเหล็กที่เพิ่มขึ้น”, “การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเหล็กเหล็กตัด-ตัดสำเร็จรูป” และ “การขาดแคลนแรงงานก่อสร้างก่อสร้าง”

ตารางที่ 7 ผลคะแนนความเห็นด้วยในปัจจัยด้านอุปสรรค (Threat)

อุปสรรค (T)	คะแนน
ต้นทุนวัตถุดิบที่ผันผวน	4.33
ทัศนคติของบุคคลที่เกี่ยวข้อง	4.00
การลดการใช้เหล็กเสริมคอนกรีต	3.83
ผลกระทบจากภัยธรรมชาติ	3.67
การผลิตและการขนส่งวัสดุของผู้ผลิตเหล็กตัด-ตัดสำเร็จรูป	3.50

จากตารางที่ 7 พบว่าผลจากการคำนวณคะแนนค่าเฉลี่ย ปัจจัยด้านอุปสรรค (Threat) ที่มีคะแนนความเห็นสูงสุด คือ “ต้นทุนวัตถุดิบที่ผันผวน” รองลงมาคือ “ทัศนคติของบุคคลที่เกี่ยวข้อง” และ “การลดการใช้เหล็กเสริมคอนกรีต” ตามลำดับ

4.4 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการเลือกใช้เหล็กตัด-ตัดสำเร็จรูปในโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำของหน่วยงานภาครัฐ

จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการเลือกใช้เหล็กตัด-ตัดสำเร็จรูปในโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำของหน่วยงานภาครัฐ ได้มีข้อเสนอแนะ ดังนี้

1) การเลือกใช้เหล็กตัด-ตัดสำเร็จรูปโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำของหน่วยงานภาครัฐ ควรเลือกใช้ปริมาณ ร้อยละ 70 – 80 ของปริมาณเหล็กทั้งโครงการ เพื่อป้องกันการคำนวณปริมาณเหล็กคลาดเคลื่อน หรือกรณี มีการปรับแก้เปลี่ยนแปลงงาน

2) เหล็กตัด-ตัดสำเร็จรูปเหมาะสำหรับนำไปใช้ในแบบมาตรฐานของหน่วยงาน เช่น คลองส่งน้ำ ถังเก็บน้ำ กำแพงกันดิน เป็นต้น เนื่องจากแบบมีความชัดเจน เป็นแบบที่มีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขน้อยจึงสามารถใช้เหล็กตัด-ตัดสำเร็จรูปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3) หน่วยงานภาครัฐควรจัดทำคู่มือมาตรฐานและข้อกำหนดการใช้เหล็กตัด-ตัดสำเร็จรูป เช่น รายการตัด-ตัด เหล็กในโครงสร้างแต่ละประเภทของงานก่อสร้างด้านแหล่งน้ำ เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้รับจ้างดำเนินการได้อย่างถูกต้อง

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สภาวะแวดล้อมปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอก ประกอบด้วยจุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส และอุปสรรคของการประยุกต์ใช้เหล็กตัด-ตัดสำเร็จรูปในโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำของหน่วยงานภาครัฐ จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยด้านจุดแข็งของการประยุกต์ใช้เหล็กตัด-ตัดสำเร็จรูปในโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำของหน่วยงานภาครัฐ ที่มีค่าเฉลี่ยระดับความเห็นด้วยสูงสุดคือ ลดการสูญเสียวัสดุ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chandraseker, M.K. และคณะ [8] และ Shen L.Y. และคณะ [13] เนื่องจากลดปริมาณเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดและตัดตามลักษณะรูปร่างของอาคารชลศาสตร์ ส่วนของปัจจัยด้านจุดอ่อน ของการประยุกต์ใช้เหล็กตัด-ตัดสำเร็จรูปในโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำของหน่วยงานภาครัฐ ที่มีค่าเฉลี่ยระดับความเห็นด้วยสูงสุดคือ การเปลี่ยนแปลงงานและการปรับแก้หน้างานทำได้ยาก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Polat and Ballard [14] เนื่องจากอาคารชลศาสตร์มีความจำเป็นต้องก่อสร้างในระดับชั้นใต้ดิน เช่น กำแพงกันดินอาคารระบายน้ำล้น บางครั้งลักษณะทางธรณีวิทยามีความแตกต่างกัน เช่น พบเจอชั้นหินแข็งในบางช่วงของอาคารทำให้ลักษณะและปริมาณงานของอาคารชลศาสตร์มีการเปลี่ยนแปลงส่งผลต่อปริมาณและรูปแบบเหล็กตัด-ตัดสำเร็จรูปที่ได้สั่งซื้อไปล่วงหน้า ส่วนปัจจัยด้านโอกาสของการประยุกต์ใช้เหล็กตัด-ตัดสำเร็จรูปในโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำของหน่วยงานภาครัฐที่มีค่าเฉลี่ยระดับความเห็นด้วยสูงสุดคือ ราคาวัสดุเหล็กที่เพิ่มขึ้น, การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเหล็กเหล็กตัด-ตัดสำเร็จรูป และการขาดแคลนแรงงานก่อสร้าง เนื่องจากราคาวัสดุเหล็กที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ต้นทุนการสูญเสียเหล็กยังมีมูลค่าสูงขึ้นไปตามไปด้วย การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเหล็กเหล็กตัด-ตัดสำเร็จรูป จะทำให้ได้เหล็กเสริมคอนกรีตที่มีคุณภาพตามมาตรฐานทั้งขนาด ระยะ และความแข็งแรง และการขาดแคลนแรงงานก่อสร้าง เหล็กตัด-ตัดสำเร็จรูปช่วยลดการพึ่งพาแรงงานฝีมือ และปัจจัยด้านอุปสรรคของการประยุกต์ใช้เหล็กตัด-ตัดสำเร็จรูปในโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำของหน่วยงานภาครัฐ ที่มีค่าเฉลี่ยระดับความเห็นด้วยสูงสุดคือ ต้นทุนวัตถุดิบที่ผันผวน เกิดจากหลายปัจจัย เช่น ราคาวัตถุดิบในตลาดที่เปลี่ยนแปลง, ความต้องการของตลาด, ความผันผวนของสกุลเงิน เป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งอาจส่งผลทำให้เกิดอุปสรรคในด้านงบประมาณของโครงการได้

ทั้งนี้วิจัยยังสามารถใช้ปัจจัยด้านจุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส และอุปสรรคเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนากลยุทธ์ในการประยุกต์ใช้เหล็กตัด-ตัดสำเร็จรูปในโครงการก่อสร้างด้านแหล่งน้ำของหน่วยงานภาครัฐ เช่น วิเคราะห์สภาพการณ์ภายในและภายนอกและวิเคราะห์กลยุทธ์ด้วยแมทริกซ์ อุปสรรค-โอกาส-จุดอ่อน-จุดแข็ง (TOWS matrix) เช่น กลยุทธ์เชิงรุก (SO) การจัดทำแบบมาตรฐานการตัด-ตัดเหล็กเสริมอาคารชลศาสตร์ที่นิยมใช้ในรูปแบบ BIM ร่วมกับโรงงานผู้ผลิตเพื่อประสิทธิภาพในการใช้เหล็กตัด-ตัดสำเร็จรูป กลยุทธ์เชิงแก้ไข (WO) จัดทำแผนสำรองสำหรับการเปลี่ยนแปลงหน้างานโดยสั่งเหล็กมาตรฐานบางส่วนสำรองไว้ กลยุทธ์เชิงรับ (ST) ทำสัญญาซื้อขายล่วงหน้ากับผู้ผลิตเพื่อป้องกันราคาต้นทุนวัตถุดิบที่ผันผวน กลยุทธ์เชิงป้องกัน (WT) ทำการสั่งซื้อเหล็ก

เป็นงวด เพื่อลดความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงหน้างานและความผันผวนของราคา เป็นต้น

จากผลการวิจัยได้พบข้อจำกัดของงานวิจัย คือ จำนวนของกลุ่มตัวอย่างมีจำนวนน้อย ทำให้ข้อมูลที่ได้อาจไม่มีความชัดเจน ทั้งนี้ผู้วิจัยจึงเสนอแนะให้เพิ่มจำนวนกลุ่มตัวอย่าง เพื่อให้ผลของข้อมูลมีความชัดเจนมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุทธิพล เอี่ยมประเสริฐ. (2563). การจัดการน้ำชุมชนเพื่อยกระดับรายได้ภาคการเกษตร. วารสารบัณฑิตศึกษาในกลุ่มธุรกิจและสังคมศาสตร์, Vol.6 No.1, 235-249.
- [2] ธนิต ธงทอง และวัชร เพียรสุภาพ. (2565). การประยุกต์ใช้งานเหล็กดัด-ดัดสำเร็จรูปในโครงการก่อสร้าง. กรุงเทพฯ: บริษัท ทาหาสตีล (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)
- [3] กองเศรษฐกิจการแรงงาน. (2566). สถานการณ์ด้านแรงงานรายปี 2566. สำนักงานปลัดกระทรวงแรงงาน, ปีที่ 6 ฉบับที่ 5.
- [4] กรมทรัพยากรน้ำ. from https://www.dwr.go.th/about_us.php?about_us_id=5
- [5] สำนักงานกพ.,หลักเกณฑ์การกำหนดตำแหน่งประเภทวิชาการ, from https://www.ocs.go.th/sites/default/files/attachment/page/10page2_4knowledge_worker_edit071255_w.pdf
- [6] มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1103-64 (2564). มาตรฐานเหล็กเสริมคอนกรีต. กรุงเทพฯ กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย
- [7] อนุกรรมการมาตรฐานการประกอบวิชาชีพ.สภาวิศวกร. (2558). งานคอนกรีตเสริมเหล็ก. หน้า 46-77.
- [8] Chandraseker, M.K. and Nigussie, T. (2018). Rebar wastage in building construction projects of Hawassa, Ethiopia, International Journal of Scientific and Engineering Research, Vol.9-2, 282-287
- [9] สันติ ชินานุวัตร. (2543). การลดเศษจากการตัดเหล็กเสริมคอนกรีตในโครงการก่อสร้าง. วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 29, 30-39.
- [10] Fantahun, H. (2020). Reinforcement Wastage and Management Scheme on Selected Apartment Building

Projects in Addis Ababa, School of Civil & Environmental Engineering, Addis Ababa Institute of Technology.

- [11] Polat, G., and Ballard, G. (2005). Why is on-site fabrication of cut & bent rebar preferred in Turkey, Proceedings of the 13th annual conference of the International Group of Lean Construction, Sydney, Australia, 19-21 July, pp.449-456.
- [12] สถาบันพัฒนาการชลประทาน. (2564). การพัฒนาเทคนิคในการตัดเหล็กเส้นในงานอาคารชลประทาน.
- [13] Shen, L.Y., Tam, C.M. and Ho S (2000). Material wastage in construction activities – a Hong Kong survey.CIB W107: Creating a Sustainable Construction Industry in Developing Countries, Stellenbosch, South Africa.
- [14] สุวัฒนา จิตตลดาการ. (2543). อาคารชลศาสตร์ เล่ม 1/2.
- [15] Kim, Y.-W., Azari-N, R., Yi, J.S., and Bae, J. (2013). Environmental impacts comparison between on-site vs. prefabricated Just-In-Time (prefab-JIT) rebar supply in construction projects. Journal of C, M.K. ivil Engineering and Management, 19(5), pp.647-655. doi:10.3846/13923730.2013.795186
- [16] Durdyyev,S., Ismail,S. and Bakar,N. (2012). Factors causing cost overruns in construction of residential projects; Case study of Turkey. International Journal of Science and Management, 1(1), pp.3-12
- [17] Polat, G., and Ballard, G. (2005). Comparison of economics of on-site and off-site fabrication or rebar in Turkey. Proceedings of the 13th annual conference of the International Group of Lean Construction, Sydney, Australia, 19-21 July, pp.439-447.
- [18] Taylor, S. (2009). Offsite Production in the UK Construction Industry, A Brief Overview. London: Construction Engineering Specialist Team: HSE. Retrieved January 22, 2021, from http://www.buildeffsite.com/downloads/off-site_production_site_production_june09.pdf
- [19] Taber, K. S. (2018). The Use of Cronbach's Alpha When Developing and Reporting Research Instruments in Science Education. Research in Science Education, 48(6), 1273-1296.