

## การคำนวณการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรสำหรับหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยโดยใช้การสำรวจด้วย ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ

### Volumetric Change Calculation for a Solid Waste Landfill Using UAV Photogrammetry

จุฬารัตน์ นนตะพันธ์<sup>1</sup> อนุจิตร ภูมิพันธ์<sup>2</sup> และ ศิवा แก้วปลั่ง<sup>3,\*</sup>

<sup>1,3</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จ.มหาสารคาม

<sup>2</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา

\*Corresponding author; E-mail address: siwa.k@msu.ac.th

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนวทางการคำนวณการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรของบ่อฝังกลบขยะมูลฝอย จากการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ กรณีศึกษาบ่อขยะมูลฝอยเทศบาลเมืองมหาสารคาม โดยมีขั้นตอนการศึกษาประกอบด้วย การวางแผนการบิน การเตรียมความพร้อมก่อนบินเก็บข้อมูล การบินถ่ายภาพโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ การประมวลผลภาพและการวิเคราะห์ข้อมูล การศึกษาที่มุ่งเน้นไปที่วิธีการคำนวณปริมาตรโดยใช้แบบจำลองภูมิประเทศเชิงเลขจาก การสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ โดยทำการบินถ่ายภาพเก็บข้อมูลหลายช่วงเวลา รวมระยะเวลา 6 เดือน เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรที่บ่อฝังกลบขยะมูลฝอย ผลการวิเคราะห์พบว่ามีความแตกต่างของปริมาณขยะมูลฝอยที่เพิ่มขึ้นในแต่ละครั้ง ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการสำรวจบ่อฝังกลบ โดยใช้การสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ สามารถช่วยสำหรับการวางแผนที่ดีขึ้นในการจัดการบ่อฝังกลบขยะมูลฝอยได้

คำสำคัญ: การสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ, บ่อฝังกลบขยะมูลฝอย, แบบจำลองภูมิประเทศเชิงเลข

#### Abstract

The objective of this research was aimed to consider the calculation of volumetric changes calculation for a solid waste landfill using UAV photogrammetry. The case study was located at the waste landfill of Mahasarakham municipality. The process throughout this study is flight planning and arrangement before the flight, data collection using UAV, image processing, and analyzing data. This study focused on the method to calculate the volume using DEM from UAV photogrammetry. This observation took 6 months at intervals to monitor the changes in volume at the landfill site. The results of the analysis showed that there were differences of increasing in the volume of waste

each time. The result has shown that the landfill volume surveys from UAV photogrammetry can help for a better plan in managing the landfill.

Keywords: UAV Photogrammetry, Municipal Landfill, DEM

#### 1. บทนำ

ปริมาณขยะมูลฝอยมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตามจำนวนประชากร ทั้งขยะมูลฝอยที่เกิดจากมนุษย์และจากธรรมชาติ ซึ่งปัญหาจากขยะมูลฝอยนับวันจะทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น เนื่องจากสภาพเศรษฐกิจและสังคมที่เปลี่ยนแปลงไป การขยายตัวของประชากรและการอยู่อาศัยในเขตเมืองซึ่งเป็นรูปแบบการดำเนินชีวิตที่ก่อให้เกิดปริมาณขยะมูลฝอยมากกว่าการอาศัยอยู่ในชนบท ส่งผลให้ปริมาณขยะมูลฝอยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอัตราที่เพิ่มขึ้น ทำให้ที่ทิ้งขยะมูลฝอยหรือบ่อขยะมูลฝอยต้องการพื้นที่มากขึ้นหรือต้องการพื้นที่ทิ้งขยะมูลฝอยใหม่

เทศบาลเมืองมหาสารคามสามารถเก็บขนย้ายไปทำการกำจัดได้ 75.65 ตันต่อวัน ไปกำจัดที่บ่อกำจัดขยะมูลฝอยตำบลแวงนาง โดยวิธีกำจัดขยะมูลฝอยแบบการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล ซึ่งมีพื้นที่ในการกำจัดขยะ เนื้อที่ 49 ไร่ เป็นศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยระดับกลาง เพื่อรองรับปริมาณขยะ 151.5 ตันต่อวัน จาก 6 เทศบาล ได้แก่ เทศบาลตำบลขามเรียง เทศบาลตำบลแวงนาง เทศบาลตำบลแกดำ และเทศบาลตำบลท่าขอนยาง และ องค์การบริหารส่วนตำบลอีก 28 แห่ง ในพื้นที่ 3 อำเภอได้แก่ อำเภอเมืองมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย และอำเภอกะดำ

เพื่อรองรับขยะมูลฝอยที่เพิ่มขึ้นมากในทุกๆวัน และการบริหารจัดการบ่อขยะมูลฝอยเหล่านี้จำเป็นต้องมีการติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณขยะมูลฝอยอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา จากปัญหาเหล่านี้พบว่าหากเราต้องการติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณขยะมูลฝอยในพื้นที่ขนาดใหญ่ และบ่อยครั้งจะประสบปัญหาในเรื่องเวลา แรงงาน และงบประมาณของการสำรวจ รวมไปถึงปัญหาด้านสุขภาพของผู้ทำการสำรวจ หากต้องการทำการสำรวจด้วยวิธีการใช้กล้องสำรวจแบบดั้งเดิมเพื่อให้ได้ปริมาณขยะมูลฝอย

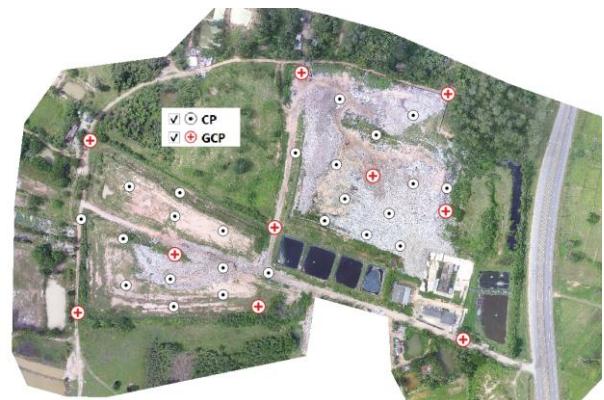
หลายรายงานการศึกษา [1-4] ระบุว่า เทคโนโลยีการสำรวจด้วย UAV Photogrammetry สามารถใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของบ่อขยะมูลฝอยได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยผลการศึกษาของ [1] ทำการตรวจวัดปริมาณขยะมูลฝอยโดยใช้ UAV Photogrammetry โดยมีค่าความละเอียดจุดภาพ 2.8 cm ความละเอียดทางตั้งของ DEM 0.5 m. โดย DEM ที่ได้จาก UAV ถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าระดับความสูงที่ได้จากการวัดกล้องสำรวจและ LIDAR ผลการศึกษาพบว่า DEM จาก UAV ให้ความคลาดเคลื่อนเมื่อเปรียบเทียบกับค่าระดับความสูงและ LIDAR ไม่เกิน 5% ซึ่งถือว่าเป็นข้อผิดพลาดที่ยอมรับได้ ในขณะที่ [2] ทำการวิจัยเพื่อศึกษาการคำนวณการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรสำหรับบ่อฝังกลบขยะมูลฝอยโดยใช้ UAV Photogrammetry และทำนายปริมาณขยะมูลฝอยในอนาคต โดยทำการทดสอบการติดตามปริมาณขยะมูลฝอยในช่วง 2 เดือน โดยผลการศึกษาพบว่าสามารถคำนวณปริมาณขยะมูลฝอยและติดตามปริมาณขยะมูลฝอยที่เพิ่มขึ้นได้ รายงานการศึกษาของ [3] ทำการศึกษา การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรในหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ ทำการบินถ่ายภาพทางอากาศ 5 เที่ยวบิน ในช่วงระยะเวลาประมาณ 2 ปี แล้วทำการคำนวณปริมาตร จากผลการศึกษาพบว่าการคำนวณปริมาตรโดยใช้การสำรวจจาก UAV มีศักยภาพสูงสำหรับใช้ในการสำรวจหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย ให้ผลลัพธ์ในช่วงเวลาสั้น ๆ โดยไม่จำเป็นต้องสัมผัสโดยตรงกับขยะมูลฝอย ทำให้ UAV เหมาะที่จะใช้ในการวางแผนและการศึกษาการตัดสินใจ การศึกษาของ [4] ทำการทดสอบรูปแบบการซ้อนทับของภาพ UAV เพื่อประเมินความถูกต้องของการทำแผนที่จาก UAV โดยมีค่า GSD เท่ากับ 5 ซม. ทดสอบรูปแบบการซ้อนทับด้านหน้าในช่วง 80% ถึง 90% และ การซ้อนทับด้านข้าง 75% ถึง 90% ทำการประเมินความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งด้วยค่า RMSE ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน จำนวน 10 จุด และจุดตรวจสอบ 26-28 จุด เปรียบเทียบการประมวลผลตามมาตรฐาน American Society for Photogrammetry และ Remote Sensing พบว่ารูปแบบที่ได้ค่า RMSE ต่ำที่สุด คือ การซ้อนทับด้านหน้า 80% และการซ้อนทับด้านข้าง 75% และ รายงานการศึกษาของ [5] พบว่า UAV Photogrammetry เป็นเทคโนโลยีที่สามารถดึงข้อมูลเชิงปริมาตรจากพื้นผิวดินในวิธีที่รวดเร็ว แม่นยำ และปลอดภัย ในรูปแบบ Digital Elevation Models (DEMs) และ orthomosaics ที่มีความละเอียดสูง โดยจุดมุ่งหมายของการศึกษาคือเพื่อตรวจสอบความถูกต้องและช่วงการใช้งานของ UAV Photogrammetry สำหรับการรังวัดเชิงเรขาคณิตและการคำนวณปริมาตร เมื่อเทียบกับขั้นตอนการสำรวจทั่วไป โดยทำการบิน UAV ถ่ายภาพ เป็นรายเดือนเป็นเวลามากกว่าหนึ่งปี สำหรับการวิเคราะห์ความแม่นยำ ผลการทดสอบพบว่าค่า RMSE ทางราบสูงสุด คือ 7.1 cm. และ สำหรับค่าระดับ คือ 0.37 cm. โดยการวัดปริมาตรทำการทดสอบโดยใช้การกำหนดค่า Ground Control Point (GCPs) ที่กระจายครั้งแรกที่ขอบหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย พบว่ามีความแตกต่างเฉลี่ย 9% เมื่อคำนวณเทียบกับภูมิประเทศทั่วไป และกรณีที่ GCPs ถูกวางไว้ภายในพื้นที่การดำเนินการฝังกลบ พบว่ามีความแตกต่างเฉลี่ย 4% จากภูมิประเทศทั่วไป

จากหลายรายงานการวิจัยที่กล่าวมาแล้วพบว่าเราสามารถใช้อ UAV Photogrammetry ในการติดตามปริมาตรขยะมูลฝอยได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยความถูกต้องของการคำนวณขนาดพื้นที่จะขึ้นกับขนาด GSD และความถูกต้องของการคำนวณค่าระดับจะขึ้นกับความละเอียดของ DEM ซึ่งรายงานวิจัยที่กล่าวมาแล้วข้างต้นยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับความถูกต้องของการคำนวณปริมาตรขยะมูลฝอยเมื่อความละเอียดทางราบของ DEM แตกต่างกัน ดังนั้น ผู้วิจัยจะทำการทดสอบโดยใช้ UAV Photogrammetry ในการติดตามปริมาตรขยะมูลฝอยของบ่อขยะเทศบาลเมืองมหาสารคาม ทำการบินถ่ายภาพ 3 ครั้งห่างกันครั้งละ 2 เดือน โดยกำหนดจุดควบคุมภาพและจุดตรวจสอบภาพตามมาตรฐาน ASPRS2014 ทำการคำนวณค่า RMSE ทางตั้งของจุดตรวจสอบเพื่อเปรียบเทียบความละเอียดของ DEM ที่แตกต่างกันเพื่อให้สามารถเลือกใช้ความละเอียดในการประมวลผลภาพ

## 2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 4 ขั้นตอน คือ

1. การบินถ่ายภาพด้วย DJI Phantom 4 Pro พื้นที่ศึกษาใช้บริเวณบ่อขยะมูลฝอยเทศบาลเมืองมหาสารคาม ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 60 ไร่ โดยการทำการวางแผนการบินด้วย Application PIX4D บนระบบปฏิบัติการ Android กำหนดความสูงของการบิน เท่ากับ 90 เมตร ระยะ Over lab ของภาพ 80% ใช้กล้องที่ติดมากับ UAV ความละเอียด 20 ล้านพิกเซล โดยทำการบินถ่ายภาพ 3 ครั้ง วันที่ 12 มกราคม 2563 วันที่ 9 เมษายน 2563 และวันที่ 12 กรกฎาคม 2563 โดย
2. การรังวัดจุดควบคุมภาพ (GCP) และจุดตรวจสอบภาพ (CP) การศึกษานี้ใช้จุดควบคุมภาพ (GCP) จำนวน 10 จุด และจุดตรวจสอบภาพ (CP) 24 จุด ทำการรังวัดด้วยวิธี Fast Static โดยค่าระดับคำนวณโดยใช้แบบจำลอง TGM2017



รูปที่ 1 ตำแหน่งการกระจายจุดควบคุมภาพ (GCP) และจุดตรวจสอบภาพ (CP)

3. การประมวลผลภาพ โดยทำการประมวลผลภาพถ่ายจาก UAV โดยใช้ WebODM ประมวลผลภาพถ่าย สร้าง Ortho Photo ขนาด GSD 5 cm. และ DSM ที่มีความละเอียดทางราบ 50 cm และ ทำการ Resampling ให้ DEM มีความละเอียด 1, 2, 3, 4, 5, 10 และ 20 m.

4. การตรวจสอบความถูกต้องจากการรังวัดด้วยภาพถ่ายจาก UAV หลังจากประมวลผลปรับแก้ภาพด้วยจุดควบคุมภาพ (GCP) จำนวน 10 จุด และทำการตรวจสอบความถูกต้องของภาพถ่ายจาก UAV ด้วยจุดตรวจสอบภาพ (CP) จำนวน 24 จุด โดยใช้ค่า RMSE จากสมการของ Martinez-Carricondo et al. (2018) ดังแสดงในสมการที่ 1-5

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{oi} - X_{GNSSi})^2}{n}} \quad (1)$$

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{oi} - Y_{GNSSi})^2}{n}} \quad (2)$$

$$RMSE_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(X_{oi} - X_{GNSSi})^2 + (Y_{oi} - Y_{GNSSi})^2]}{n}} \quad (3)$$

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{oi} - Z_{GNSSi})^2}{n}} \quad (4)$$

$$RMSE_T = \sqrt{(RMSE_{XY})^2 + (RMSE_z)^2} \quad (5)$$

เมื่อ n คือ จำนวนจุด CP

X<sub>oi</sub>, Y<sub>oi</sub> คือ ค่าพิกัดจุดตรวจสอบรูปที่รังวัดจากภาพ UAV ที่ได้จากการประมวลผลปรับแก้แล้ว

X<sub>gnssi</sub>, Y<sub>gnssi</sub> คือ ค่าพิกัดจุดตรวจสอบรูปที่รังวัดจาก Fast Static GNSS

Z<sub>oi</sub> คือ ค่าระดับจุดตรวจสอบรูปที่รังวัดจากภาพ UAV ที่ได้จากการประมวลผลปรับแก้แล้ว

Z<sub>gnssi</sub> คือ ค่าระดับของจุดตรวจสอบรูปที่รังวัดจาก Fast Static GNSS โดยใช้แบบจำลอง TGM2017

### 3. สรุปผลการศึกษา

3.1 ผลการคำนวณค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนทางราบและทางตั้ง จากการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับที่มี GSD เท่ากับ 5 cm และทำการคำนวณค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนทางราบ (RMSE<sub>x</sub>, RMSE<sub>y</sub> และ RMSE<sub>H</sub>) ของจุดควบคุมภาพ (GCP) และจุดตรวจสอบภาพ (CP) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 1

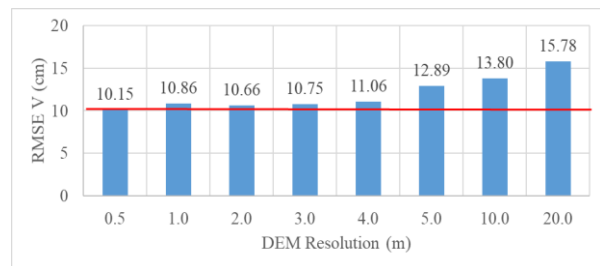
ตารางที่ 1 ค่า RMSE<sub>x</sub>, RMSE<sub>y</sub> และ RMSE<sub>H</sub> ของจุดควบคุมภาพ (GCP) และจุดตรวจสอบภาพ (CP)

GSD (5 cm)	RMSE <sub>x</sub> (cm)	RMSE <sub>y</sub> (cm)	RMSE <sub>H</sub> (cm)
GCPs (10)	6.25	6.56	9.06
CPs (24)	7.84	7.38	10.77

จากการประมวลผลภาพถ่ายที่มีความละเอียดของ DEM ที่มีความละเอียดทางราบ 50 cm ทำการ Resampling ให้ DEM มีความละเอียดทางราบ 1, 2, 3, 4, 5, 10 และ 20 m. และทำการคำนวณค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนทางตั้ง (RMSE<sub>V</sub>) ของจุดควบคุมภาพ (GCP) และจุดตรวจสอบภาพ (CP) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 2

ตารางที่ 2 ค่า RMSE<sub>V</sub> ของจุดควบคุมภาพ (GCP) และจุดตรวจสอบภาพ (CP) แต่ละขนาดความละเอียดทางราบของ DEM

	RMSE <sub>V</sub> (cm)							
DEM (m)	0.5	1	2	3	4	5	10	20
GCPs (10)	6.3	6.4	6.3	7.2	6.5	7.4	7.9	8.4
CPs (24)	10.2	10.9	10.7	10.4	11.1	12.9	13.8	15.8



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า RMSE<sub>V</sub> กับ DEM Resolution ของจุดตรวจสอบภาพ (CP)

จากผลการศึกษาพบว่าขนาดความละเอียดของ DEM ที่ 0.5, 1, 2, 3, 4 m. ค่า RMSE<sub>V</sub> มีความแตกต่างกันไม่เกิน 10% ในขณะที่ ความละเอียดของ DEM 5, 10, 20 m. มีความแตกต่างของค่า RMSE<sub>V</sub> มากกว่า 30% ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่า RMSE<sub>V</sub> แต่ละความละเอียด DEM

	RMSE <sub>V</sub> (cm)							
DEM (m)	0.5	1	2	3	4	5	10	20
CPs (24)	10.2	10.9	10.7	10.4	11.1	12.9	13.8	15.8
% Diff	0	7	5	6	9	27	36	55

3.2 ผลการคำนวณปริมาตรบ่อขยะมูลฝอย

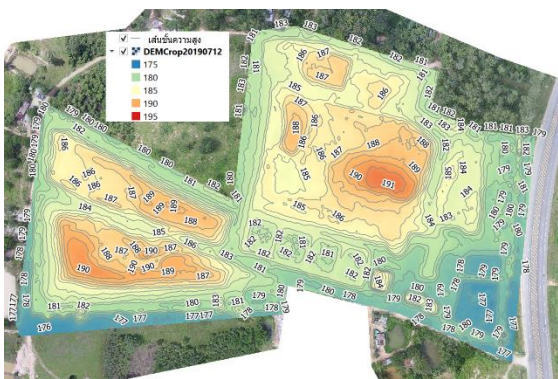
จาก DEM มีความละเอียดทางราบ 50 cm นำมาเขียนเป็นเส้นชั้นความสูงของพื้นผิวขยะมูลฝอยในบ่อ ของวันที่ 12 มกราคม 2563 วันที่ 9 เมษายน 2563 และวันที่ 12 กรกฎาคม 2563 สำหรับเป็นข้อมูลในการคำนวณปริมาตรบ่อขยะมูลฝอยและติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณขยะมูลฝอยของแต่ละช่วงเวลา (ดังแสดงในรูปที่ 3-5) และคำนวณปริมาตรขยะมูลฝอยด้วยวิธี prismoidal โดยเทียบจากแบบก่อสร้างของบ่อขยะมูลฝอยเพื่อจะได้ทราบปริมาตรของขยะมูลฝอยในบ่อในแต่ละช่วงเวลา โดยผลการคำนวณปริมาตรของขยะมูลฝอยแสดงในตารางที่ 3



รูปที่ 3 เส้นชั้นความสูงของบ่อขยะมูลฝอยวันที่ วันที่ 12 มกราคม 2563



รูปที่ 4 เส้นชั้นความสูงของบ่อขยะมูลฝอยวันที่ วันที่ 9 เมษายน 2563



รูปที่ 5 เส้นชั้นความสูงของบ่อขยะมูลฝอยวันที่ วันที่ 12 กรกฎาคม 2563

ตารางที่ 4 ผลการคำนวณปริมาตรขยะมูลฝอยคำนวณจากภาพ UAV โดยใช้ DEM มีความละเอียดทางราบ 50 cm

วันที่	ปริมาตรขยะมูลฝอย (m <sup>3</sup> )
12-ม.ค.-63	1,301,779
9-เม.ย.-63	1,329,653
12-ก.ค.-63	1,371,333

#### 4. อภิปรายผลการศึกษา

จากผลการประมวลผลภาพได้ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับที่มี GSD เท่ากับ 2.5 cm และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนทางราบ (RMSE<sub>x</sub>, RMSE<sub>y</sub> และ RMSE<sub>H</sub>) ของจุดควบคุมภาพ (GCP) และจุดตรวจสอบภาพ (CP) ของการศึกษานี้ได้ผลการทดสอบได้สอดคล้องกับหลายรายงานการศึกษา [1,6-7] ที่ระบุว่าค่าความคลาดเคลื่อนทางราบและทางตั้งจะมีค่าประมาณ 2-5 เท่าของค่า GSD

ผลการศึกษาการทดสอบความละเอียดทางราบของ DEM ที่แตกต่างกันพบว่า DEM ที่มีความละเอียดทางราบ 0.5, 1, 2, 3, 4 m. ค่า RMSEV มีค่าความแตกต่างกันไม่เกิน 10% ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนทางตั้งจะมีค่าประมาณ 2-5 เท่าของค่า GSD สอดคล้องกับหลายรายงานการศึกษา [1-7] หากปรับความละเอียดของ DEM ที่ 5, 10, 20 m. ค่า RMSEV มีค่าความแตกต่างกัน 27, 36, 55 % ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนทางตั้งจะมีค่ามากกว่า 5 เท่าของค่า GSD ดังนั้นจากผลการศึกษาพบว่าไม่ควรใช้ ความละเอียดของ DEM มากกว่า 4 m. จะทำให้ผลการคำนวณปริมาตรเกิดความคลาดเคลื่อนมาก

#### 5. บทสรุป

จากผลการศึกษาพบว่า ความละเอียดของ DEM ที่เหมาะสมในการนำมาคำนวณปริมาตรบ่อขยะมูลฝอยไม่ควรเกิน 4 m. โดยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ สามารถติดตามความแตกต่างของปริมาณขยะมูลฝอยและติดตามปริมาณขยะมูลฝอยที่เพิ่มขึ้นได้ในแต่ละครั้ง การคำนวณปริมาตรโดยใช้การสำรวจจากอากาศยานไร้คนขับมีศักยภาพสูง เหมาะสำหรับการสำรวจบ่อขยะมูลฝอย ให้ผลลัพธ์ในช่วงเวลาสั้นๆ ไม่จำเป็นต้องสัมผัสโดยตรงกับขยะมูลฝอย เหมาะที่จะใช้ในการวางแผนและการศึกษาการตัดสินใจ

#### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่สนับสนุนงบประมาณในการนำเสนอบทความครั้งนี้

#### เอกสารอ้างอิง

[1] Gasperini, D., Allemand, P., Delacourt, C., & Grandjean, P. (2014). Potential and limitation of UAV for monitoring subsidence in municipal landfills. *International Journal of Environmental Technology and Management*, 17(1), 1-13.

[2] Kaamin, M. (2019). Volumetric change calculation for a landfill stockpile using UAV photogrammetry. *International Journal of Integrated Engineering*, 11(9), 053-062.

- [3] Incekara, A. H., Delen, A., Seker, D. Z., & Goksel, C. (2019). Investigating the utility potential of low-cost unmanned aerial vehicles in the temporal monitoring of a landfill. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(1), 22.
- [4] Bhatsada, A., Towprayoon, S., Garivait, S., Wangyao, K., Laphitchayangkul, T., Ishigaki, T., & Chiemchaisri, C. (2020). Evaluation of UAV photogrammetric accuracy for mapping of open dump based on variation of image overlaps. *KMUTT Res. Dev. J*, 2, 133-142.
- [5] de Sousa Mello, C. C., Salim, D. H. C., & Simões, G. F. (2022). UAV-based landfill operation monitoring: A year of volume and topographic measurements. *Waste Management*, 137, 253-263.
- [6] Uysal, M., Toprak, A. S., & Polat, N. (2015). DEM generation with UAV Photogrammetry and accuracy analysis in Sahitler hill. *Measurement*, 73, 539-543.
- [7] Wiącek, P., & Pyka, K. (2019). The test field for UAV accuracy assessments. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 67-73.