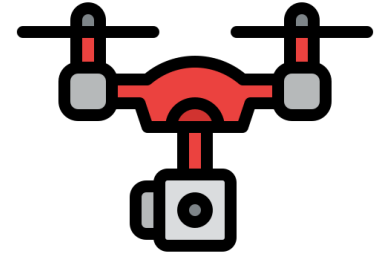


# Analysis of UAV dual camera system for 3D mapping and building modeling

การวิเคราะห์ระบบกล้องคู่ของยูเอวี  
เพื่อใช้ทำแผนที่และแบบจำลองอาคาร



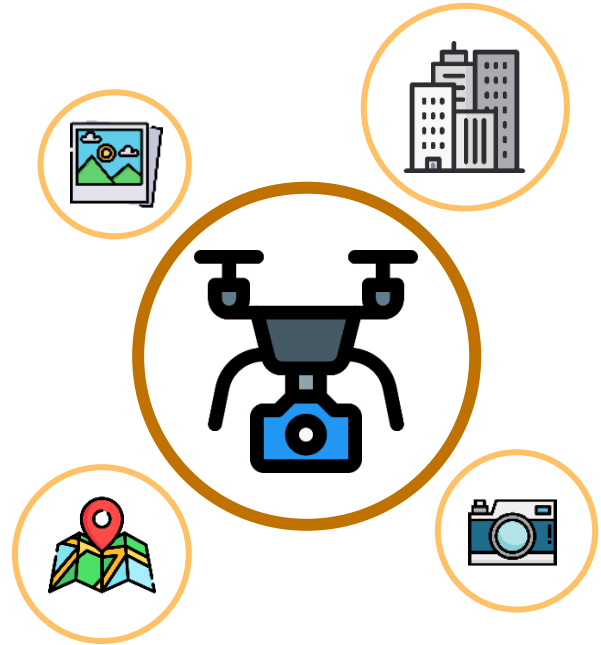
**Presented by : Thirawat Bannakulpiphat 5930813021**

**Advisor : Assoc. Prof. Dr. Phisan Santitamnont**  
**Department of Survey Engineering, Chulalongkorn University**

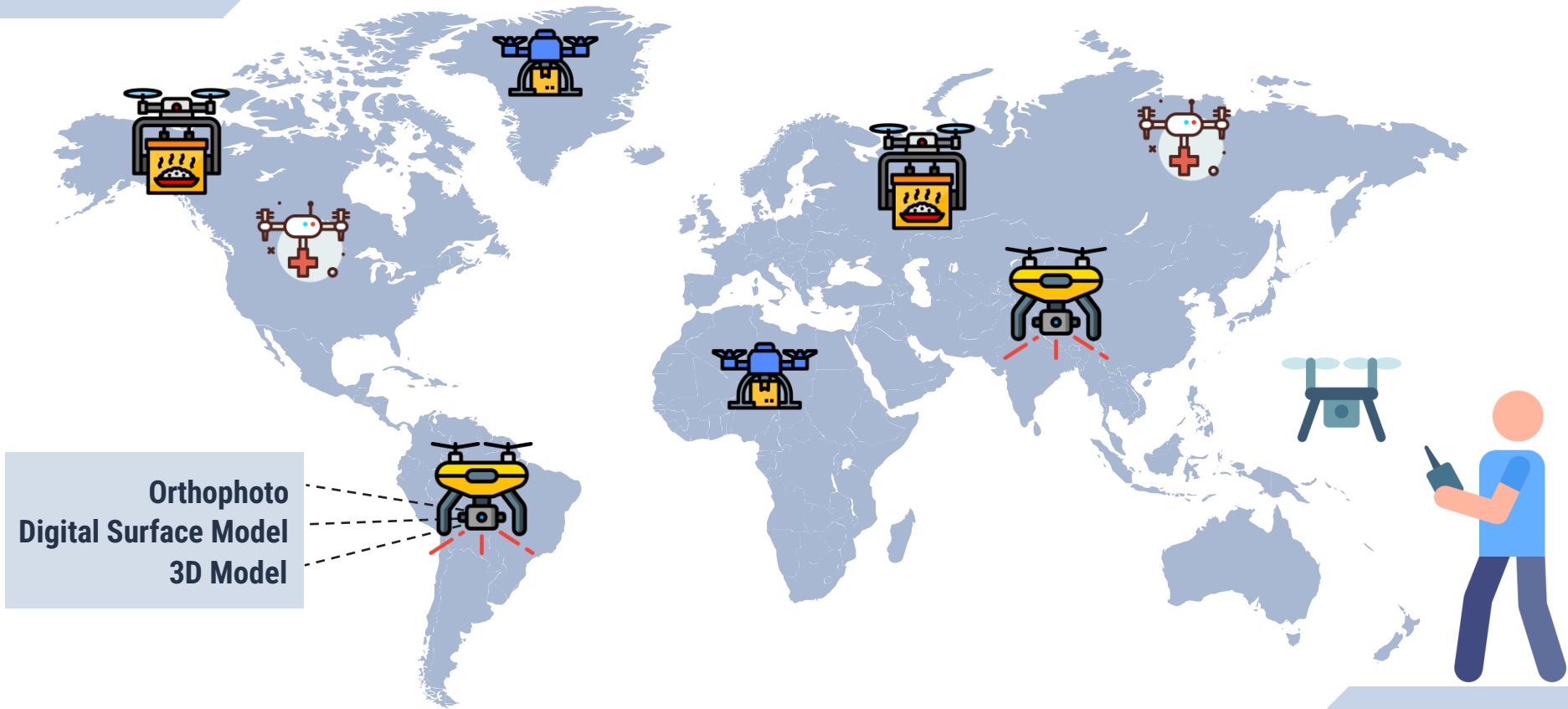


# OUTLINES

BACKGROUND & BENEFITS  
BASIC THEORY  
SCOPE OF THE RESEARCH  
METHOD & DATA  
RESULT & CONCLUSION  
SUGGESTION

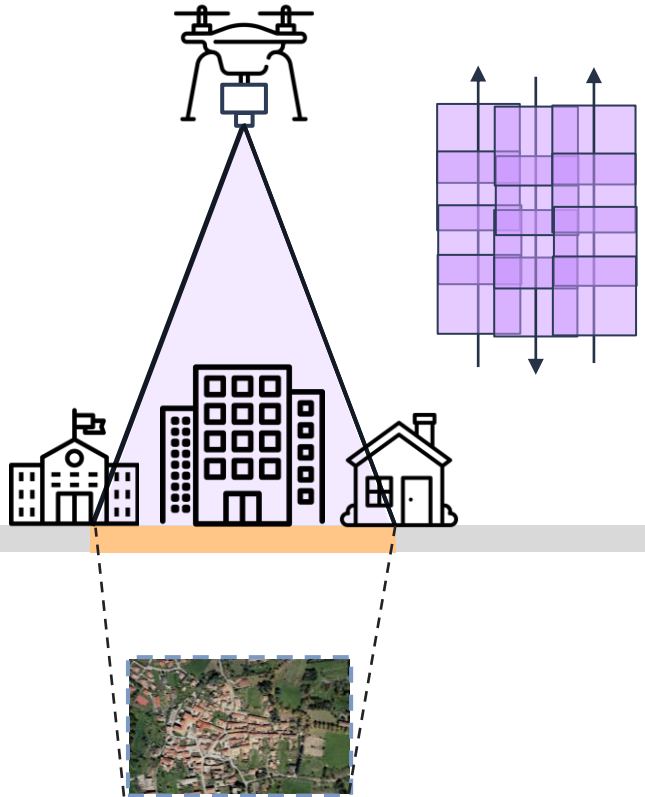


# BACKGROUND

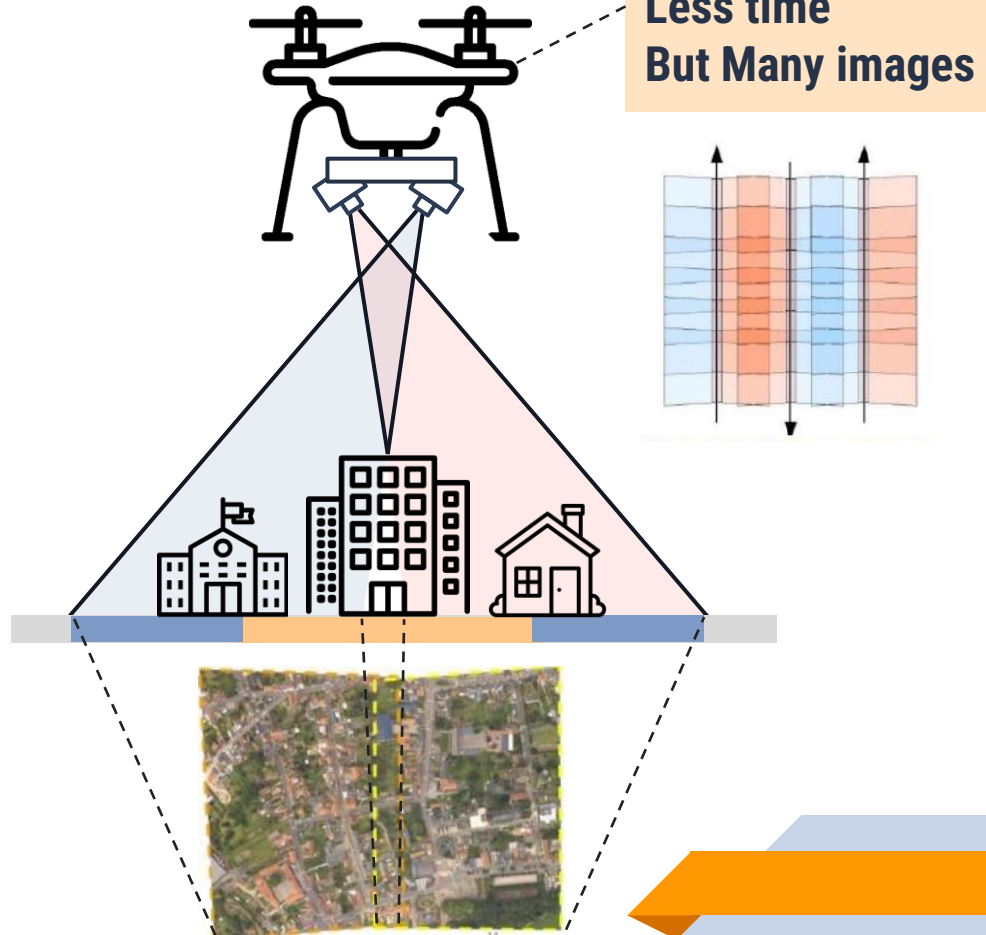


# BACKGROUND

Nadir image



Oblique image





**UAV camera mapping**



**UAV dual camera mapping**

01

ทราบถึงเทคนิคและวิธีการในการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากระบบกล้องคู่ยูเอวีให้ตรงตามลักษณะทางกายภาพของตัวจับยึดกล้อง

02

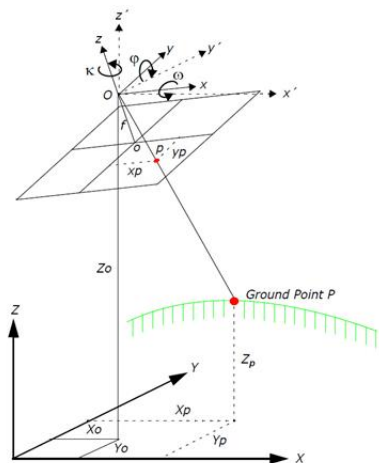
เป็นข้อมูลสำหรับนักวิชาการ นักวิจัย หรือผู้ที่ศึกษาทางด้านนี้ในการตัดสินใจและพิจารณาเลือกวิธีเก็บบันทึกข้อมูลภาพถ่ายและวิธีในการประมวลผลที่เหมาะสม หรือนำความรู้ที่ได้ไปทำการวิจัยต่อยอด



# BASIC THEORY

## Exterior Orientation (EO)

ค่าพารามิเตอร์ของการจัดวางภายนอกประกอบไปด้วยค่าตำแหน่งและค่าการวางตัวของจุดเปิดถ่าย ได้แก่ ค่า  $X, Y, Z, \omega, \varphi, \kappa$



## Camera Rig

โครงสร้างที่เป็นตัวจับยึดกล้องและสามารถประกอบไปด้วยกล้องหลายตัว ซึ่งมีความสัมพันธ์กันผ่านเรขาคณิต โดยจะมีกล้องหนึ่งตัวถูกใช้เป็นกล้องอ้างอิงตำแหน่งให้กับกล้องตัวที่เหลือ ซึ่งกล้องที่เหลือจะมีค่าการเคลื่อนที่และการหมุนความสัมพันธ์กับกล้องอ้างอิง



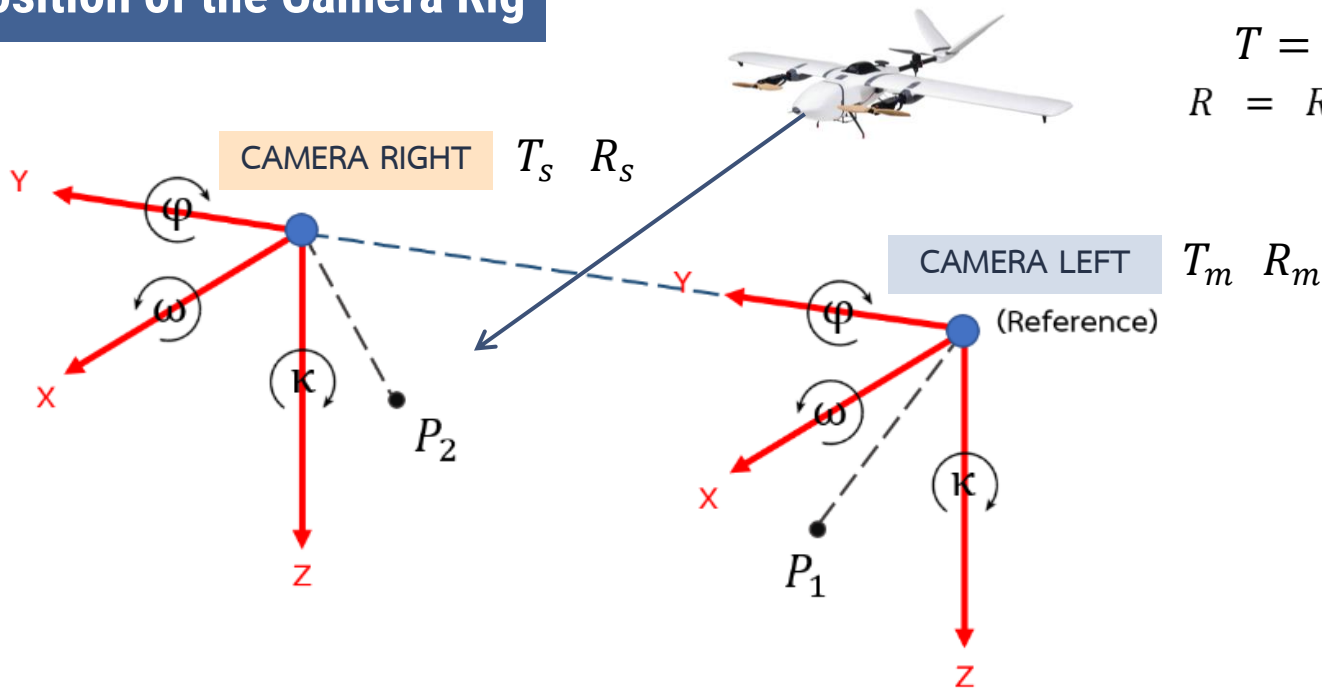
## Root Mean Square Error (RMSE)

ใช้ประมาณค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่ง ซึ่งมีค่าเท่ากับรากที่สองของค่าเฉลี่ยของผลรวมกำลังสองของค่าต่างค่าที่วัดได้กับค่าตรวจสอบที่มีความถูกต้องสูงกว่า

$$RMSE_H = \sqrt{(RMSE_X)^2 + (RMSE_Y)^2}$$

$$RMSE_Z = \sqrt{\frac{\sum (Z_{data} - Z_{check})^2}{n}}$$

# Relative Position of the Camera Rig



ค่า Exterior Orientation (EO)

$$T = (T_x, T_y, T_z)$$

$$R = R_X(\omega)R_Y(\varphi)R_Z(\kappa)$$

กำหนดให้กล้องอ้างอิงมีตำแหน่ง  $T_m$  และมีการวางตัว  $R_m$  ในระบบพิกัดภายในตัวจับยึดกล้อง  
กล้องรองมีตำแหน่ง  $T_s$  และมีการวางตัว  $R_s$  ในระบบพิกัดภายในตัวจับยึดกล้อง

สำหรับกล้องรอนั้นจะมีตำแหน่งและการวางตัวที่มีความสัมพันธ์กับกล้องอ้างอิง

โดยค่าการเคลื่อนที่สัมพันธ์ (Relative Translation) มีสัญลักษณ์คือ  $T_{rel}$

ค่าการหมุนสัมพันธ์ (Relative Rotation) มีสัญลักษณ์คือ  $R_{rel}$

$$R_s = R_m R_{rel}$$

$$T_s = T_m + R_m T_{rel}$$

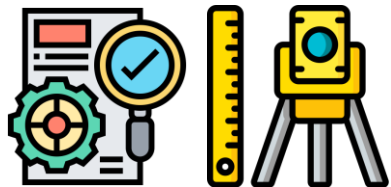


## ภาพถ่ายของระบบกล้องคู่ยูเอวี

ครอบคลุมทั้งพื้นที่ที่ใช้ในการศึกษา  
บริเวณพื้นที่บางขุนเทียน  
จังหวัดกรุงเทพมหานคร

## ข้อมูลค่าพิกัดของ จุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ

ข้อมูลค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดด้วยวิธีการแบบ  
จลนในทันที (Real-Time Kinematic; RTK)



## ข้อมูลค่าพิกัดที่ไปรังวัดภาคพื้นดิน เพื่อใช้ในการตรวจสอบ Accuracy เชิงตำแหน่ง

ค่าพิกัดทางราบและทางตั้งได้จากการรังวัดด้วยวิธีการแบบจลนในทันที  
(Real-Time Kinematic; RTK)

- ความถูกต้องทางราบ 2 cm. ความถูกต้องทางตั้ง 5 cm.

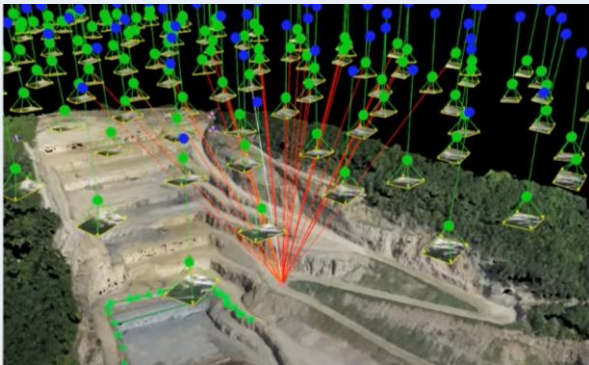
## เปรียบเทียบการประมวลผลด้วย

แบบจำลองกล่องคู่ที่มีความสัมพันธ์ต่อกันกับแบบจำลองกล่องคู่ที่อิสระต่อกัน

แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วนใหญ่		แบบจำลองอาคารสามมิติ
กรณีศึกษาที่ 1 ความถูกต้องเชิงตำแหน่ง	กรณีศึกษาที่ 2 ความสามารถในการลอกลายบนแผนที่	กรณีศึกษาที่ 3 แบบจำลองอาคารบริเวณพาชาด
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ จุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบที่ใช้ในการประมวลผล</li> <li>➤ ค่าพิกัดที่ไปรังวัดภาคพื้นดินเทียบกับข้อมูลที่ประมวลผล</li> <li>➤ จุดตรวจสอบที่คำนวณได้จากชุดคำสั่งเสริมของโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ พิจารณาเส้น Roof line และ Footprint ผ่านการมองด้วยตา</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ พิจารณาแบบจำลองอาคารความสมบูรณ์ของพาชาดอาคาร ผ่านการมองด้วยตา</li> </ul>

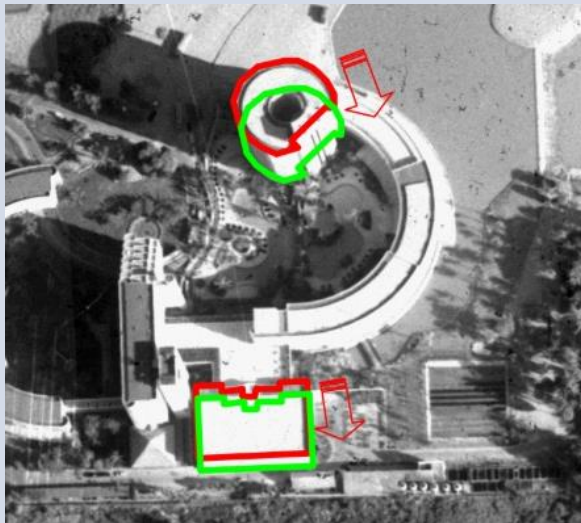
## คำสั่ง rayCloud (Multiple View Geometry; MVG)

คือ คำสั่งในโปรแกรม Pix4Dmapper ที่ใช้ในการรังวัดคำนวณค่าพิกัดตำแหน่งที่ผู้ใช้สนใจ โดยคำนวณผ่านภาพถ่ายหลายภาพที่บันทึกจุดที่อยากทราบค่าพิกัด (จำนวน 10 ภาพขึ้นไป)



## การลอกลายบนแผนที่ (Delineation)

การที่ผู้ใช้สามารถมองเห็นแผนที่ได้อย่างชัดเจน แล้วทำการขีดเส้นวัตถุต่าง ๆ บนแผนที่ได้ โดยในการศึกษานี้พิจารณาเส้นขอบเขตของอาคาร (Footprint) และเส้นรอบรูปหลังคา (Roof line) ต้องเห็นเป็นเส้นเดียวกัน



## ฟาซาด (Facade)

คือ องค์ประกอบด้านหน้าอาคาร โดยปกติมักจะเรียกว่า เปลือกอาคารซึ่งแต่ละส่วนจะมีองค์ประกอบของงานทางสถาปัตยกรรมอยู่ด้วย เช่น ประตู หน้าต่าง ระเบียง ระแนง ชายคา เป็นต้น



## 01

### ออกแบบแผนการบินและบินถ่ายภาพ

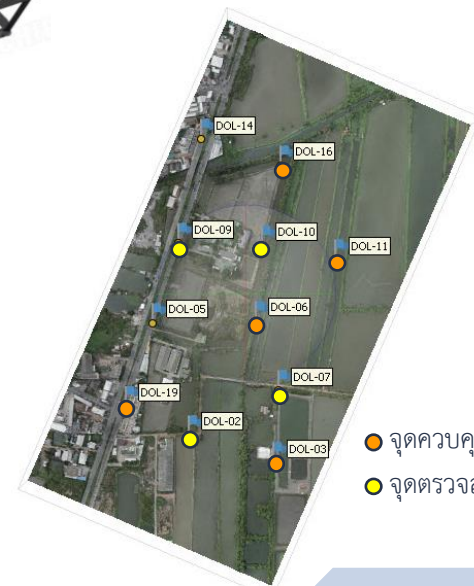
- ออกแบบแผนการบินด้วยโปรแกรม Ardupilot
- บินด้วยยูเอวี Foxtech Nimbus VTOL V2 ที่ติดตั้งตัวจับยึดกล้อง
- ความสูงของการบินที่ระดับความสูงเฉลี่ย 215 เมตร
- มี Overlap 80% และ Side lap 60% , GSD 4-5 cm/pixel
- ทำการบินถ่ายเมื่อวันที่ 17 มิถุนายน 2562
- ครอบคลุมพื้นที่ได้ถึง 1.4 ตารางกิโลเมตร



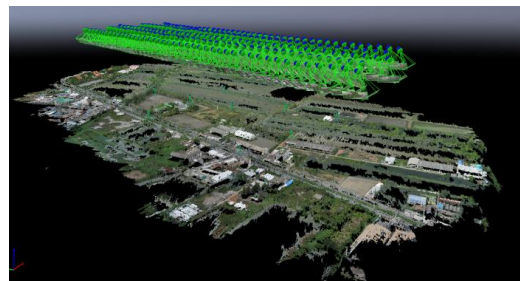
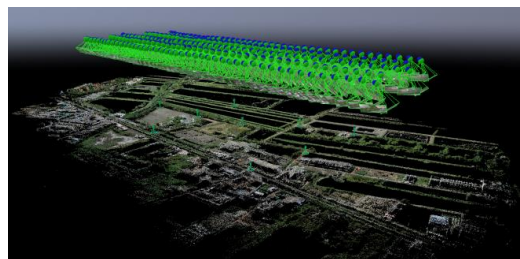
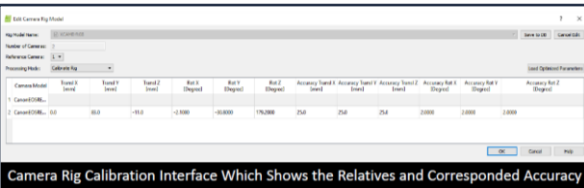
## 02

### กำหนดตำแหน่งและทำการรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ

- กำหนดตำแหน่งให้กระจายและครอบคลุมพื้นที่
- ลงพื้นที่เพื่อทำการรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ
- ทำการรังวัดจุดมาทั้งหมด 11 จุด แต่เลือกใช้เพียง 9 จุด เลือกเฉพาะจุดที่เห็นได้ชัดบนภาพและกระจายอยู่ในพื้นที่ที่ทำการศึกษา
- แบ่งเป็นจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) 5 จุดและจุดตรวจสอบความถูกต้อง (CHK) 4 จุด



- จุดควบคุมภาคพื้นดิน
- จุดตรวจสอบ



03

## ประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ

- ทำการประมวลผลภาพถ่ายโดยใช้โปรแกรม Pix4Dmapper
- แบ่งการประมวลผลเป็น 2 แบบ ได้แก่ แบบจำลองกล้องคู่ที่มีความสัมพันธ์ต่อกัน และแบบจำลองกล้องคู่ที่อิสระต่อกัน
- การประมวลผลด้วยแบบจำลองกล้องคู่ที่มีความสัมพันธ์ต่อกันจะมีขั้นตอนในการตั้งค่าพารามิเตอร์แรกเริ่ม เพื่อทำการหาค่า Exterior Orientation (EO) ที่มีความสัมพันธ์กันระหว่างกล้องทั้งสองตัวที่ใช้ในการประมวลผล
- ใช้คำสั่ง rayCloud เพื่อหาค่าพิกัดจุดตรวจสอบ

04

## วิเคราะห์ เปรียบเทียบผลลัพธ์ และทำการสรุปผล

- คำนวณตรวจสอบ Accuracy กับข้อมูลต่าง ๆ ที่ประมวลผลได้จากแบบจำลองกล้องคู่ที่มีความสัมพันธ์ต่อกันและแบบจำลองกล้องคู่ที่อิสระต่อกัน

$$RMSE_H = \sqrt{(RMSE_X)^2 + (RMSE_Y)^2}$$

$$RMSE_Z = \sqrt{\frac{\sum (Z_{data} - Z_{check})^2}{n}}$$



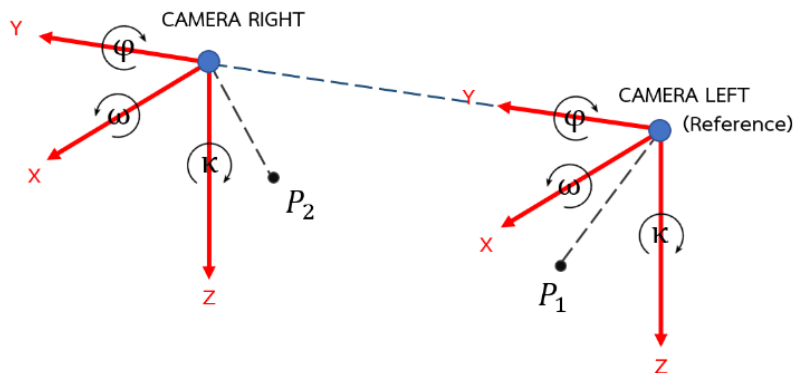


# RESULT

## RESULT 1 : การคำนวณความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ของกล้องคู่บนยูเอวี

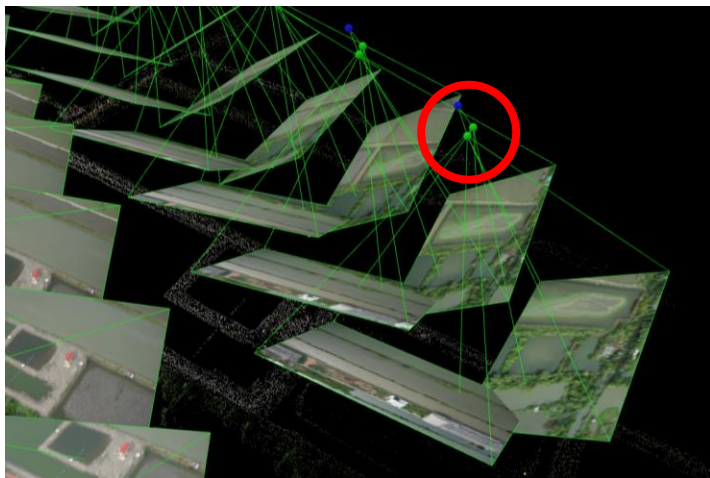
- ค่าพารามิเตอร์ภายนอกที่สัมพันธ์กันของกล้องคู่บนยูเอวี

Camera Rig			
Exterior orientation parameters		Camera Right	Camera Left
Translation (meter)	X	0.060	Reference Camera
	Y	0.000	
	Z	0.000	
Rotation (degree)	$\omega$	31.644	
	$\varphi$	31.866	
	$\kappa$	-87.566	

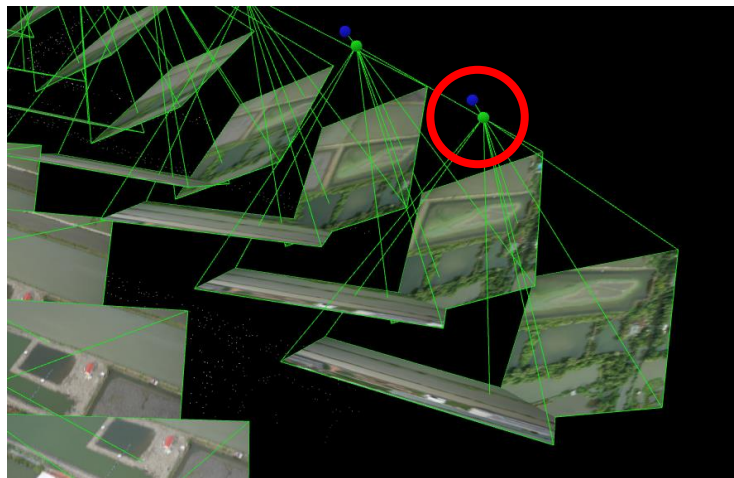


- ความสัมพันธ์ของระยะห่างของภาพที่ถ่ายจากกล้องทั้งสองที่ติดตั้งอยู่บนยูเอวี

รูปแบบการประมวลผล	ระยะห่างระหว่างกล้องทั้งสองตัว			
	Min (m.)	Max (m.)	Mean (m.)	Standard Deviation (m.)
ประมวลผลด้วยแบบจำลองกล้องคู่ที่มีความสัมพันธ์ต่อกัน	0.060	0.060	0.060	0.000
ประมวลผลด้วยแบบจำลองกล้องคู่ที่อิสระต่อกัน	0.488	2.953	1.552	0.380



ประมวลผลด้วยแบบจำลองกล้องคู่ที่อิสระต่อกัน

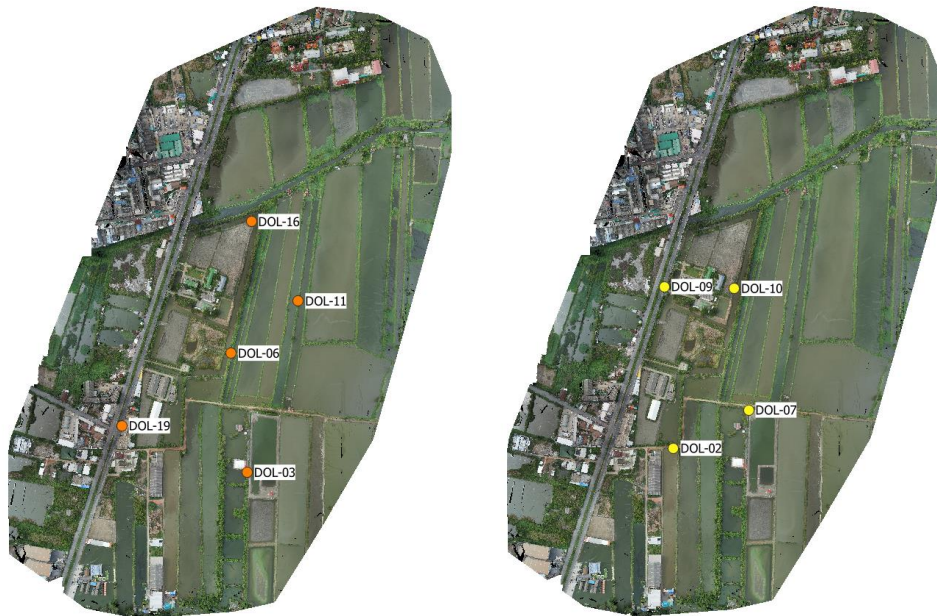


ประมวลผลด้วยแบบจำลองกล้องคู่ที่มีความสัมพันธ์ต่อกัน

## RESULT 2 : ความถูกต้องเชิงตำแหน่งของแผนที่มาตราส่วนใหญ่

- ความถูกต้องเชิงตำแหน่งของจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบที่ใช้ในการประมวลผล

ประเภทของจุด	ประมวลผลด้วยแบบจำลองกล้องคู่ที่มีความสัมพันธ์ต่อกัน		ประมวลผลด้วยแบบจำลองกล้องคู่ที่อิสระต่อกัน	
	RMSE XY (m.)	RMSE Z (m.)	RMSE XY (m.)	RMSE Z (m.)
จุดควบคุมภาคพื้นดิน (5 จุด)	0.006	0.001	0.005	0.003
จุดตรวจสอบ (4 จุด)	0.106	0.146	0.058	0.147

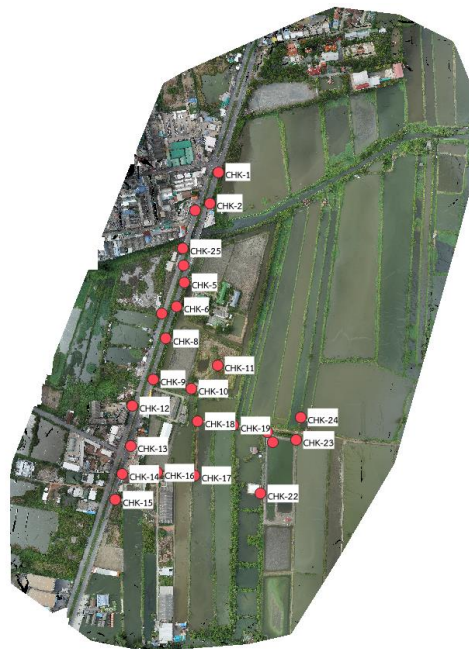




## RESULT 2 : ความถูกต้องเชิงตำแหน่งของแผนที่มาตราส่วนใหญ่ (ต่อ)

- ความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลค่าพิกัดที่ไปรังวัดภาคพื้นดินเทียบกับข้อมูลที่มีประมวลผลขึ้นได้

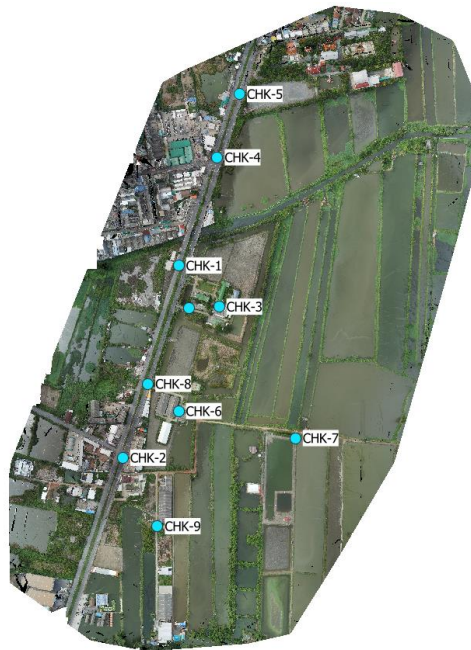
ประเภทของจุด	ประมวลผลด้วยแบบจำลองกล่องคู่ที่มีความสัมพันธ์ต่อกัน		ประมวลผลด้วยแบบจำลองกล่องคู่ที่อิสระต่อกัน	
	RMSE XY (m.)	RMSE Z (m.)	RMSE XY (m.)	RMSE Z (m.)
จุดตรวจสอบจากข้อมูลที่ได้จากการรังวัดภาคพื้นดิน (25 จุด)	0.075	0.380	0.078	0.166



## RESULT 2 : ความถูกต้องเชิงตำแหน่งของแผนที่มาตราส่วนใหญ่ (ต่อ)

- ความถูกต้องเชิงตำแหน่งของจุดตรวจสอบที่คำนวณได้จากชุดคำสั่งของโปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผล (ชุดคำสั่งที่ใช้คือคำสั่ง rayCloud)

ประเภทของจุด	แผนที่ที่ผลิตมาจากการประมวลผลด้วยแบบจำลองกล้องคู่ที่อิสระต่อกันและแบบจำลองกล้องคู่ที่มีความสัมพันธ์ต่อกัน	
	RMSE XY (m.)	RMSE Z (m.)
จุดตรวจสอบ (10 จุด) ที่คำนวณจากคำสั่ง rayCloud ในโปรแกรม	0.067	0.203





ประมวลผลด้วยแบบจำลองกล้องคู่ที่อิสระต่อกัน



ประมวลผลด้วยแบบจำลองกล้องคู่ที่มีความสัมพันธ์ต่อกัน



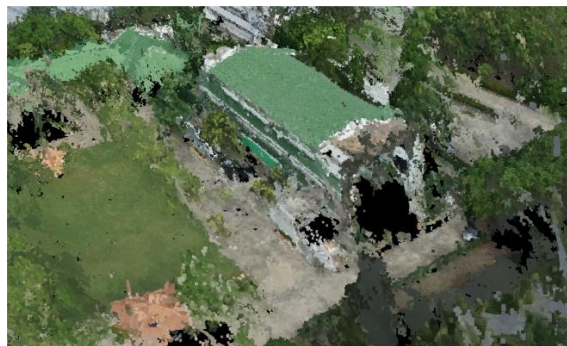
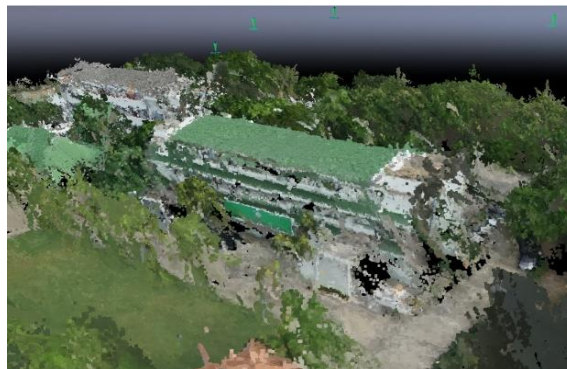
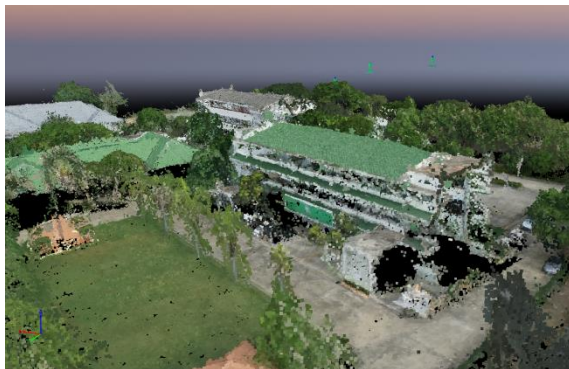
ประมวลผลด้วยแบบจำลองกล้องคู่ที่อิสระต่อกัน



ประมวลผลด้วยแบบจำลองกล้องคู่ที่มีความสัมพันธ์ต่อกัน



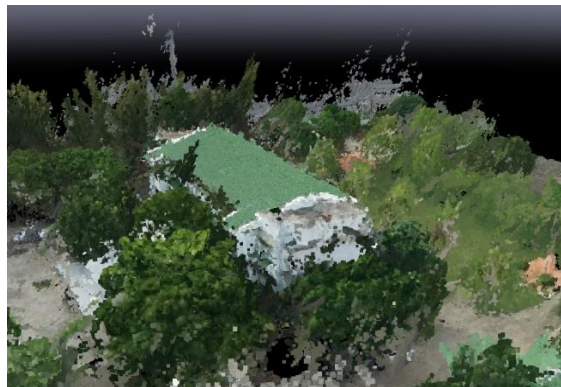
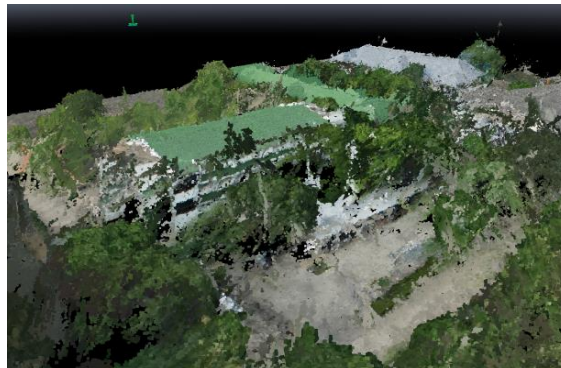
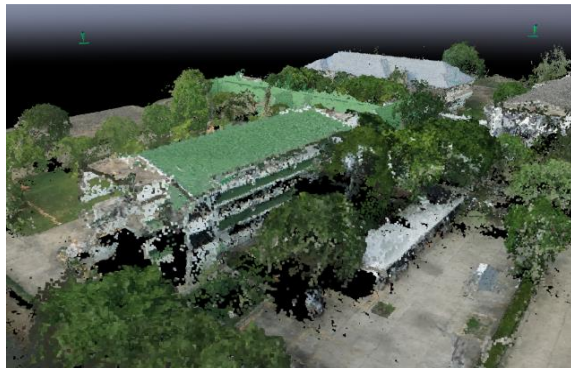
## RESULT 4 : แบบจำลองอาคารโดยพิจารณาบริเวณฟาซาดของอาคารสิ่งปลูกสร้าง



ประมวลผลด้วยแบบจำลองกล้องคู่ที่อิสระต่อกัน

ประมวลผลด้วยแบบจำลองกล้องคู่ที่มีความสัมพันธ์ต่อกัน

## RESULT 4 : แบบจำลองอาคารโดยพิจารณาบริเวณฟาซาดของอาคารสิ่งปลูกสร้าง (ต่อ)



ประมวลผลด้วยแบบจำลองกล้องคู่ที่อิสระต่อกัน

ประมวลผลด้วยแบบจำลองกล้องคู่ที่มีความสัมพันธ์ต่อกัน

# CONCLUSION

## ความถูกต้องเชิงตำแหน่งของแผนที่มาตราส่วนใหญ่

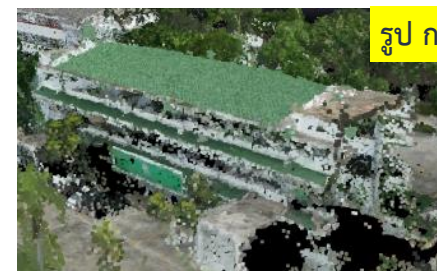
- สามารถประมวลผลภาพถ่ายโดยให้โปรแกรมคำนึงถึงลักษณะความเป็นจริงทางกายภาพของระบบกล้องคู่ได้
- แบบจำลองกล้องคู่ที่มีความสัมพันธ์ต่อกัน : ความถูกต้องทางราบ 18 cm, ความถูกต้องทางดิ่ง 29 cm  
แบบจำลองกล้องคู่ที่อิสระต่อกัน : ความถูกต้องทางราบ 10 cm, ความถูกต้องทางดิ่ง 29 cm  
(คิดค่าความถูกต้องที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%)
- เมื่อพิจารณาค่าระยะห่างของคู่ภาพแต่ละคู่ พบว่าแบบจำลองกล้องคู่ที่มีความสัมพันธ์ต่อกันสามารถคงลักษณะความเป็นจริงทางกายภาพได้ เพราะฉะนั้นควรเลือกใช้แผนที่ที่ประมวลผลด้วยแบบจำลองกล้องคู่ที่มีความสัมพันธ์ต่อกัน

## ความสามารถในการลอกลายบนแผนที่มาตราส่วนใหญ่

- แผนที่ที่ประมวลผลทั้งสองแบบสามารถขีดเส้นรายละเอียดบนแผนที่ได้ แต่มีบางบริเวณบนแผนที่จะมีเส้นเหลี่ยมของวัตถุที่ไม่คมชัด แสดงให้เห็นว่าภาพถ่ายเฉียงที่ใช้ในการประมวลผลเพื่อผลิตแผนที่ยังต้องมีการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความคมชัดของวัตถุ

## แบบจำลองอาคารโดยพิจารณาบริเวณพาชาด

- แบบจำลองอาคารที่ประมวลผลทั้งสองแบบพบว่าไม่ได้มีความแตกต่างกัน รวมถึงแบบจำลองที่สร้างได้ (รูป ก.) มีประสิทธิภาพของพาชาดที่ดีกว่าแบบจำลองอาคารที่ประมวลผลมาจากภาพถ่ายดิ่งที่ถ่ายจากยูเอวีทั่วไป (รูป ข.) แสดงให้เห็นว่าภาพถ่ายเฉียงและจำนวนภาพที่มากขึ้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตแบบจำลองอาคาร



## SUGGESTION

- เพิ่มขนาดพื้นที่ที่ทำการศึกษ จำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดิน และจำนวนจุดตรวจสอบที่ใช้ในประมวลผล
- เพิ่มการบินถ่ายด้วยยูเอวีที่เป็นระบบกล้องเดี่ยวในพื้นที่ที่ทำการศึกษา จะได้นำมาศึกษาและเปรียบเทียบความแตกต่างกับระบบกล้องคู่ได้
- กรณีการศึกษาความสามารถในการลอกลายบนแผนที่อาจเพิ่มประสิทธิภาพความคมชัดของวัตถุนบนแผนที่ให้ดียิ่งขึ้น โดยลองบินถ่ายภาพให้ค่าระยะส่วนซ้อนของภาพ (Overlap) และส่วนเกย (Side lap) มีค่าที่มากขึ้น
- กรณีการศึกษาประสิทธิภาพฟาซาดของอาคาร ควรเพิ่มภาพที่ใช้ในการประมวลผลหลายประเภท รวมถึงรูปแบบการบินหลายรูปแบบ เช่น ภาพถ่ายดิ่งจริงบินแบบกริด, ภาพถ่ายเฉียงบินแบบกริด และภาพถ่ายเฉียงบินเป็นวงกลมรอบอาคารสิ่งปลูกสร้าง เป็นต้น
- เพิ่มประสิทธิภาพระบบบันทึกการถ่ายภาพที่ทำการเชื่อมต่อรายละเอียดข้อมูลที่ถ่ายภาพจากระบบกล้องคู่ให้ผู้ใช้สามารถติดตามผลได้





**THANK YOU  
FOR YOUR ATTENTION**

**Q&A**

