

บทที่ 4

การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้

การวิเคราะห์ผลลัพธ์ของการหาความเหมาะสมของการใช้กล้องดิจิทัลในการวัดแบบจำลองรถยนต์ พิจารณาความถูกต้องทางตำแหน่งของแบบจำลองรถยนต์ที่วัดด้วยกล้องประมวลผลรวม โดยวิธีรังวัดแบบเล็งสกัด กับแบบจำลองรถยนต์ที่วัดด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัล โกดัก ดีเอ็กซ์ 3900 ขยาย ที่กำหนดมาตราส่วนภาพถ่ายที่ระยะห่าง 2.0 , 2.5 , 3.0 , 3.5 , 4.0 , 4.5 และ 5.0 เมตร และแนวแกนทัศน์ของกล้องถ่ายภาพเป็น 3 ลักษณะคือ แกนทัศน์ขนานกันมีส่วนซ้อนร้อยละ 60 , แกนทัศน์ขนานกันมีส่วนซ้อนร้อยละ 80 และแกนทัศน์แยงเข้าหากัน แบบจำลองที่วัดด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัลซึ่งมีความถูกต้องทางตำแหน่งดีที่สุด นำไปพิจารณาจำนวนของจุดควบคุมภาพถ่ายที่ใช้ในการวัดแบบจำลองโดยเริ่มต้นจากจำนวน 23 จุดควบคุม ซึ่งเป็นจำนวนที่ใช้ในการประมวลผลแบบจำลองที่กำหนดตัวแปรมาตราส่วนและลักษณะของการถ่ายภาพแล้ว

รูปแบบของการวิเคราะห์นั้นแสดงด้วยค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในทิศทาง X , Y , Z และในทิศทางรวม (T) ของจุดบนแบบจำลองรถยนต์ทั้งสิ้นจำนวน 373 จุด บนแบบจำลองจากภาพถ่ายที่สามารถประมวลผลได้จำนวน 9 แบบจำลองคือ แบบจำลองที่ 1 , 2 , 3 , 8 , 9 , 10 , 15 , 16 และ 17 โดยวิเคราะห์ข้อมูลของการทำวิจัยจากการวัดสอบกล้องถ่ายภาพ , จำนวนภาพถ่ายและพื้นที่ของวัตถุที่ปรากฏบนภาพถ่าย , ความถูกต้องทางตำแหน่งของแบบจำลอง , จำนวนจุดควบคุมภาพถ่ายที่ใช้ในการประมวลผลแบบจำลอง

4.1 การวิเคราะห์ผลลัพธ์ของการวัดสอบกล้องถ่ายภาพ

ผลลัพธ์ของการวัดสอบกล้องถ่ายภาพดิจิทัล โกดัก ดีเอ็กซ์ 3900 ขยาย ซึ่งได้จากการวัดสอบด้วยโปรแกรม Camera Calibrator 4.0 นั้นใช้แผ่นภาพสำหรับวัดสอบขนาด 50.92 x 35.64 เซนติเมตร ค่าระยะทางระหว่างจุดควบคุมที่ 1 กับจุดควบคุมที่ 4 มีค่าเป็น 36.72 เซนติเมตร แสดงค่าขององค์ประกอบภายในของกล้องถ่ายภาพที่กำหนดจำนวนจุดภาพที่เปลี่ยนไปจาก 3.1 , 2.2 , 1.6 และ 0.8 ล้านจุดภาพ โดยทำการวัดสอบทั้งหมดจำนวน 10 ครั้ง เป็นดังตารางที่ 4.1-4.4 ค่าของความยาวโฟกัสมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 6.4 – 6.6 มิลลิเมตร พิจารณาตามรูปภาพที่ 4.1-4.5

3.1 Mp (2160 x 1440)

Date	Focal Length (mm.)	Format Size		Principal Point		Lens Distortion			
		W (mm.)	H (mm.)	X (mm.)	Y (mm.)	K1	K2	P1	P2
9-May	6.4978	6.5646	4.377	3.3765	2.194	0.002765	-0.0001025	-0.000001589	-0.00003616
10-May	6.4925	6.5757	4.3839	3.3752	2.1785	0.00276	-0.0001148	-0.00005859	-0.0001836
15-May	6.4587	6.5271	4.3507	3.3453	2.1735	0.002811	-0.0001075	-0.00004744	-0.0001258
20-05(08.00)	6.4871	6.5366	4.3583	3.374	2.1883	0.002637	-0.0001002	-0.00009072	-0.00006328
20-05(10.00)	6.4241	6.4841	4.324	3.3453	2.1684	0.002885	-0.0001256	-0.00008667	-0.00006913
21-05(10.00)	6.4318	6.496	4.3316	3.3505	2.1737	0.002989	-0.0001292	-0.00003742	-0.00006322
21-05(12.00)	6.4768	6.5314	4.3551	3.3683	2.1856	0.003106	-0.0001401	-0.00005952	-0.00006931
21-05(14.00)	6.4633	6.5146	4.3431	3.3531	2.1752	0.002849	-0.0001212	-0.00003344	-0.0001077
21-05(16.00)	6.5084	6.571	4.3802	3.381	2.1996	0.00279	-0.0001157	0.00003424	-0.00006892
21-05(18.00)	6.5085	6.5724	4.3792	3.3769	2.2031	0.002217	-0.00008707	0.0001011	-0.00005965

ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์ของการวัดสอบกล้องถ่ายภาพดิจิทัล โค้ดก ดีเอ็กซ์ 3900 ขยาย จำนวนจุดภาพ 3.1 ล้านจุดภาพ

2.2 Mp (1800 x 1200)

Date	Focal Length (mm.)	Format Size		Principal Point		Lens Distortion			
		W (mm.)	H (mm.)	X (mm.)	Y (mm.)	K1	K2	P1	P2
15-05	6.4553	6.5233	4.3487	3.3467	2.1824	0.00295900	-0.00012710	0.00002077	-0.00005187
20-05(08.00)	6.4903	6.5393	4.359	3.3755	2.1863	0.00281100	-0.00010900	-0.00010800	-0.00003541
20-05(10.00)	6.4201	6.4837	4.3242	3.3398	2.1684	0.00283300	-0.00011110	-0.00001142	-0.00006380
21-05(10.00)	6.4237	6.4947	4.3307	3.3481	2.1792	0.00298400	-0.00012770	-0.00003033	-0.00005983
21-05(12.00)	6.4767	6.5345	4.3569	3.3723	2.1888	0.00297600	-0.00012830	-0.00003227	-0.00004658
21-05(14.00)	6.4582	6.5128	4.3422	3.3578	2.1867	0.00304100	-0.00014040	-0.00007260	-0.00000598
21-05(16.00)	6.5045	6.5665	4.3785	3.3828	2.1965	0.00296400	-0.00011930	-0.00002146	-0.00010410
21-05(18.00)	6.5041	6.5698	4.3775	3.3726	2.2044	0.00234900	-0.00008930	0.00008611	-0.00003610

ตารางที่ 4.2 ผลลัพธ์ของการวัดสอบกล้องถ่ายภาพดิจิทัล โกลด์ คัมเบิร์ก 3900 ขยาย จำนวนรูปภาพ 2.2 ล้านรูปภาพ

1.6 Mp (1536 x 1024)

Date	Focal Length (mm.)	Format Size		Principal Point		Lens Distortion			
		W (mm.)	H (mm.)	X (mm.)	Y (mm.)	K1	K2	P1	P2
15-05	6.4397	6.5206	4.3508	3.3693	2.1977	0.00345600	-0.00014190	-0.00028040	0.00002108
20-05(08.00)	6.4886	6.537	4.3578	3.3685	2.1858	0.00307000	-0.00012480	-0.00006886	-0.00001266
20-05(10.00)	6.4178	6.4857	4.3256	3.3366	2.1695	0.00289300	-0.00011780	-0.00000225	-0.00006507
21-05(10.00)	6.4234	6.4951	4.3312	3.346	2.1713	0.00293800	-0.00011770	-0.00003646	-0.00009991
21-05(12.00)	6.4749	6.5384	4.3593	3.3683	2.1897	0.00281200	-0.00011420	0.00001210	-0.00006860
21-05(14.00)	6.458	6.5172	4.3455	3.3495	2.177	0.00303800	-0.00013460	0.00003749	-0.00007613
21-05(16.00)	6.507	6.5683	4.3787	3.3798	2.1946	0.00283200	-0.00011410	0.00003161	-0.00009319
21-05(18.00)	6.6138	6.6753	4.448	3.4324	2.2347	0.00244200	-0.00010700	-0.00006048	-0.00005018

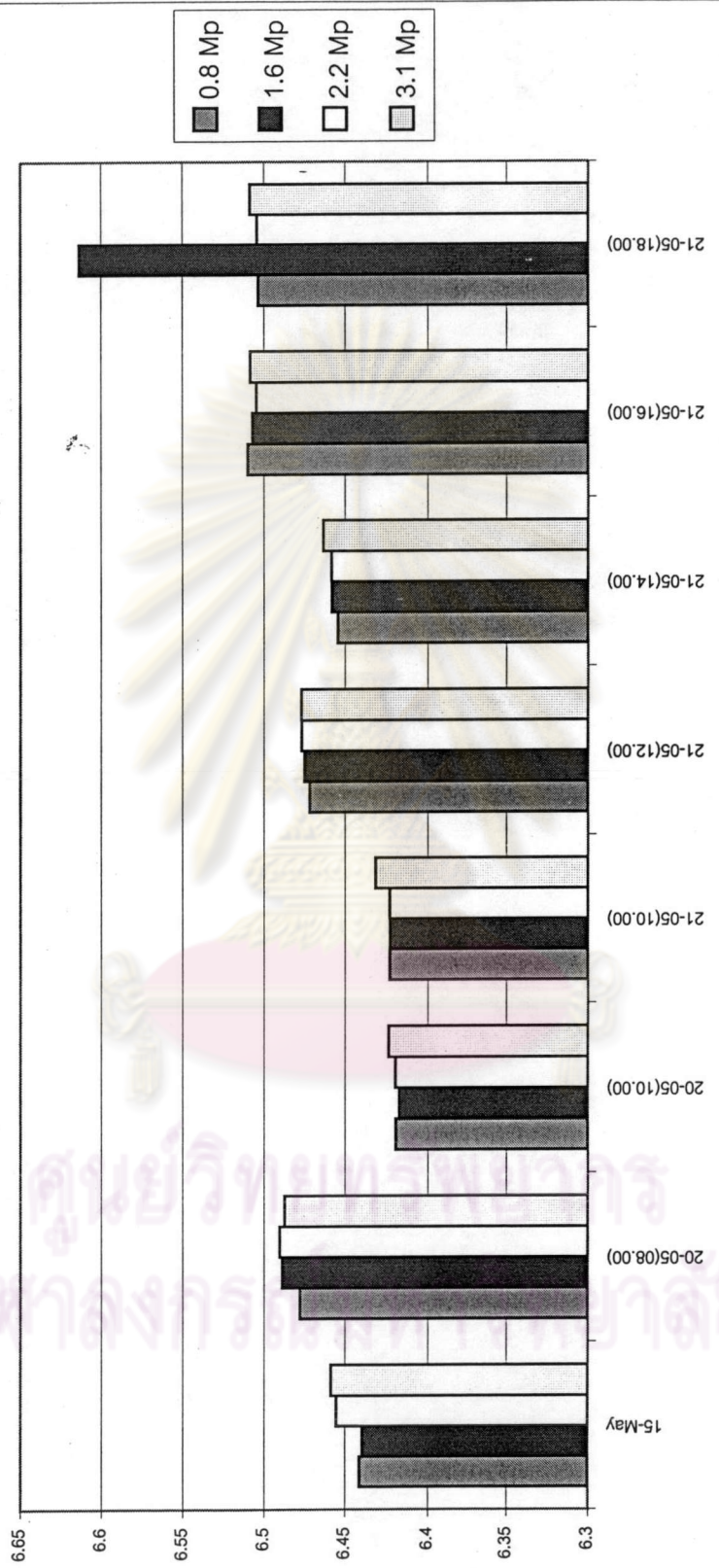
ตารางที่ 4.3 ผลลัพธ์ของการวัดสอบกล้องถ่ายภาพดิจิทัล โกดัก ดีเอ็กซ์ 3900 ขยาย จำนวนรูปภาพ 1.6 ล้านรูปภาพ

0.8 Mp (1080 x 720)

Date	Focal Length (mm.)	Format Size		Principal Point		Lens Distortion			
		W (mm.)	H (mm.)	X (mm.)	Y (mm.)	K1	K2	P1	P2
15-05	6.4414	6.5253	4.3498	3.3458	2.1847	0.00229700	-0.00004966	0.00001408	-0.00005609
20-05(08.00)	6.4777	6.5386	4.3572	3.3735	2.1841	0.00286100	-0.00010970	-0.00006501	-0.00000742
20-05(10.00)	6.4199	6.4892	4.3284	3.3371	2.1816	0.00303000	-0.00012960	-0.00001106	-0.00002324
21-05(10.00)	6.4236	6.4904	4.3279	3.3404	2.1742	0.00278500	-0.00010580	-0.00000348	-0.00004339
21-05(12.00)	6.4717	6.5357	4.3575	3.3558	2.1849	0.00275400	-0.00010350	0.00007278	-0.00005959
21-05(14.00)	6.4544	6.5149	4.3442	3.3525	2.1807	0.00300200	-0.00012650	0.00000224	-0.00005189
21-05(16.00)	6.5099	6.5714	4.3808	3.3867	2.1939	0.00271800	-0.00010480	-0.00001492	-0.00011040
21-05(18.00)	6.5035	6.5745	4.3829	3.386	2.2035	0.00257200	-0.00010050	-0.00000718	-0.00003065

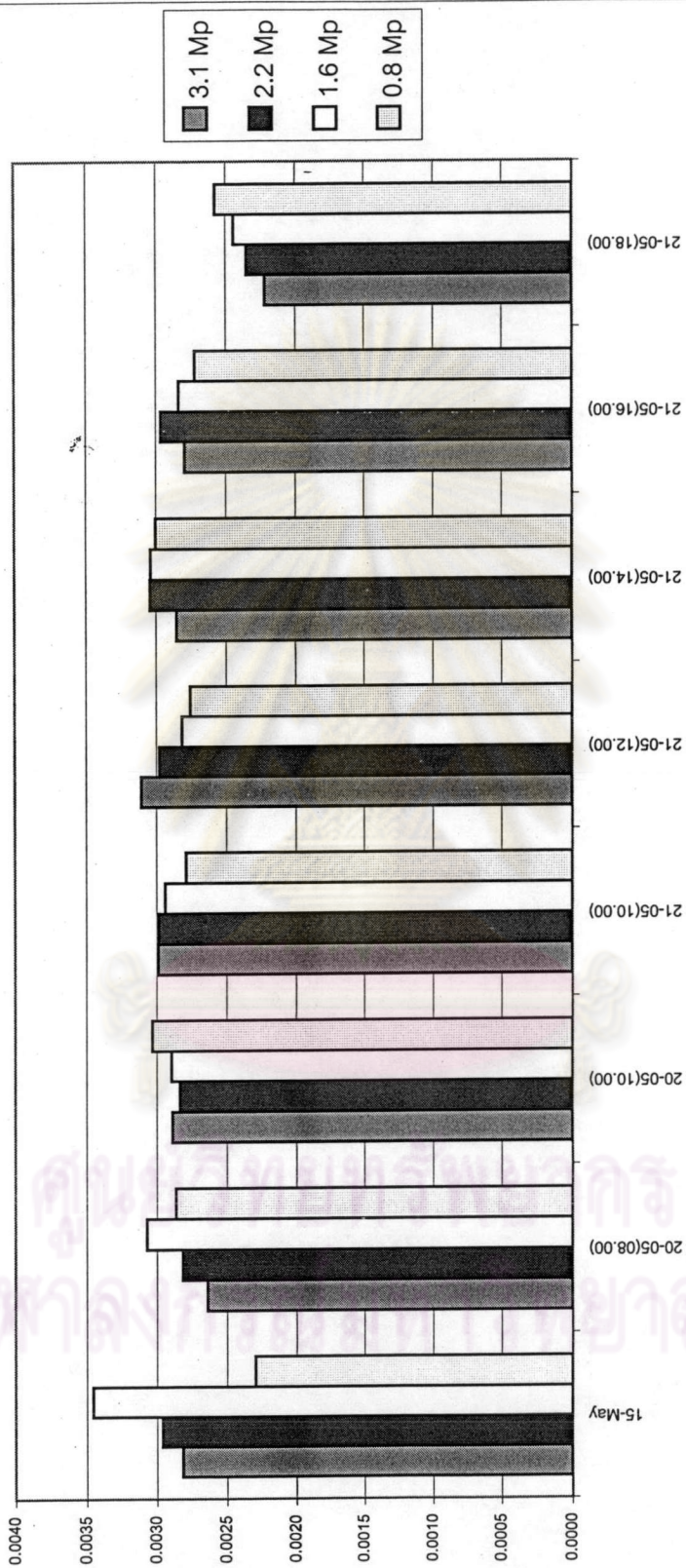
ตารางที่ 4.4 ผลลัพธ์ของการวัดสอบกล้องถ่ายภาพดิจิทัล โคนัก คีเอ็กซ์ 3900 ขยาย จำนวนคุณภาพ 0.8 ล้านคุณภาพ

Focal Length (mm.)



รูปภาพที่ 4.1 กราฟแสดงผลพัชของระยะโฟกัสจากการวัดสอบกล้องถ่ายภาพ

K1 Lens Distortions

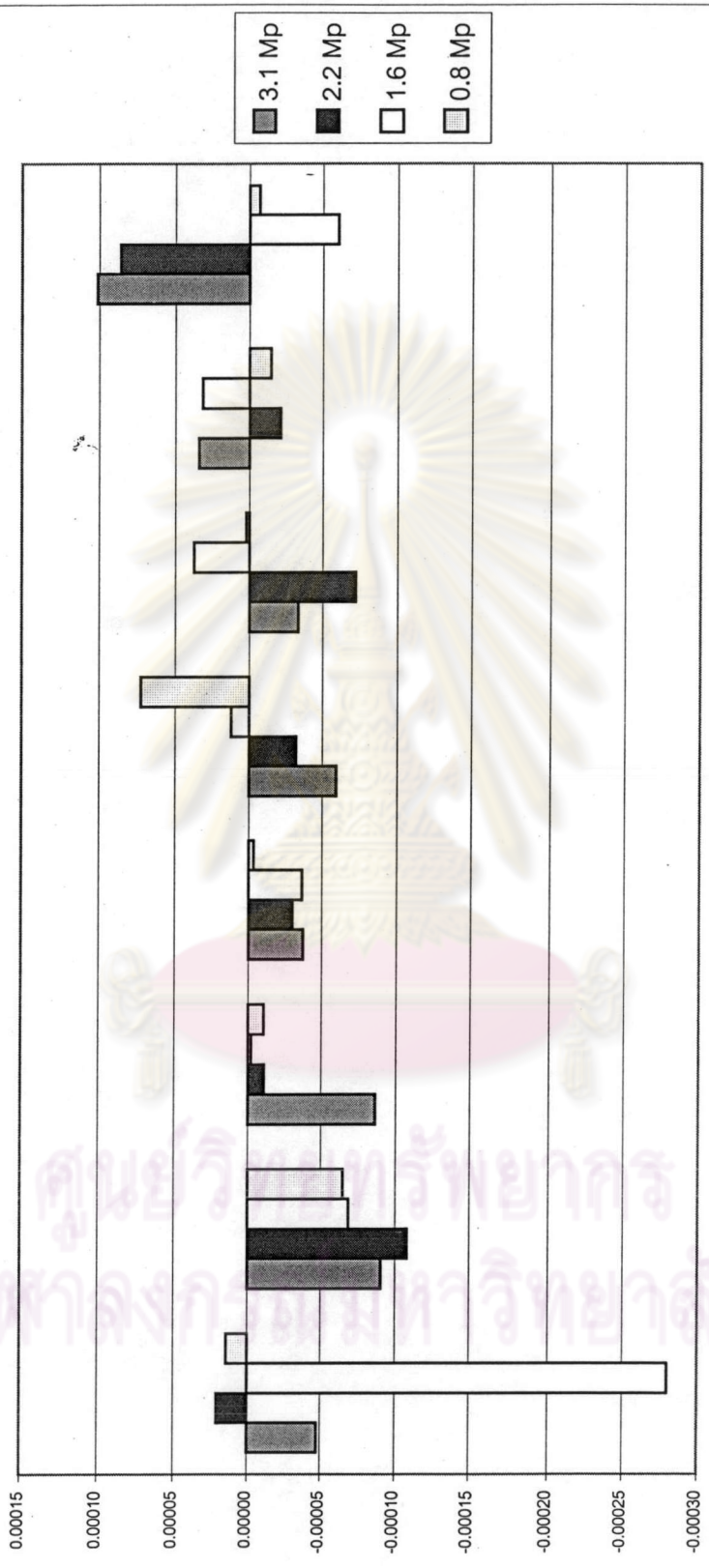


รูปภาพที่ 4.2 กราฟแสดงผลลัพธ์ของความเพี้ยนของเลนส์ K1 จากการวัดสอบกล้องถ่ายภาพ

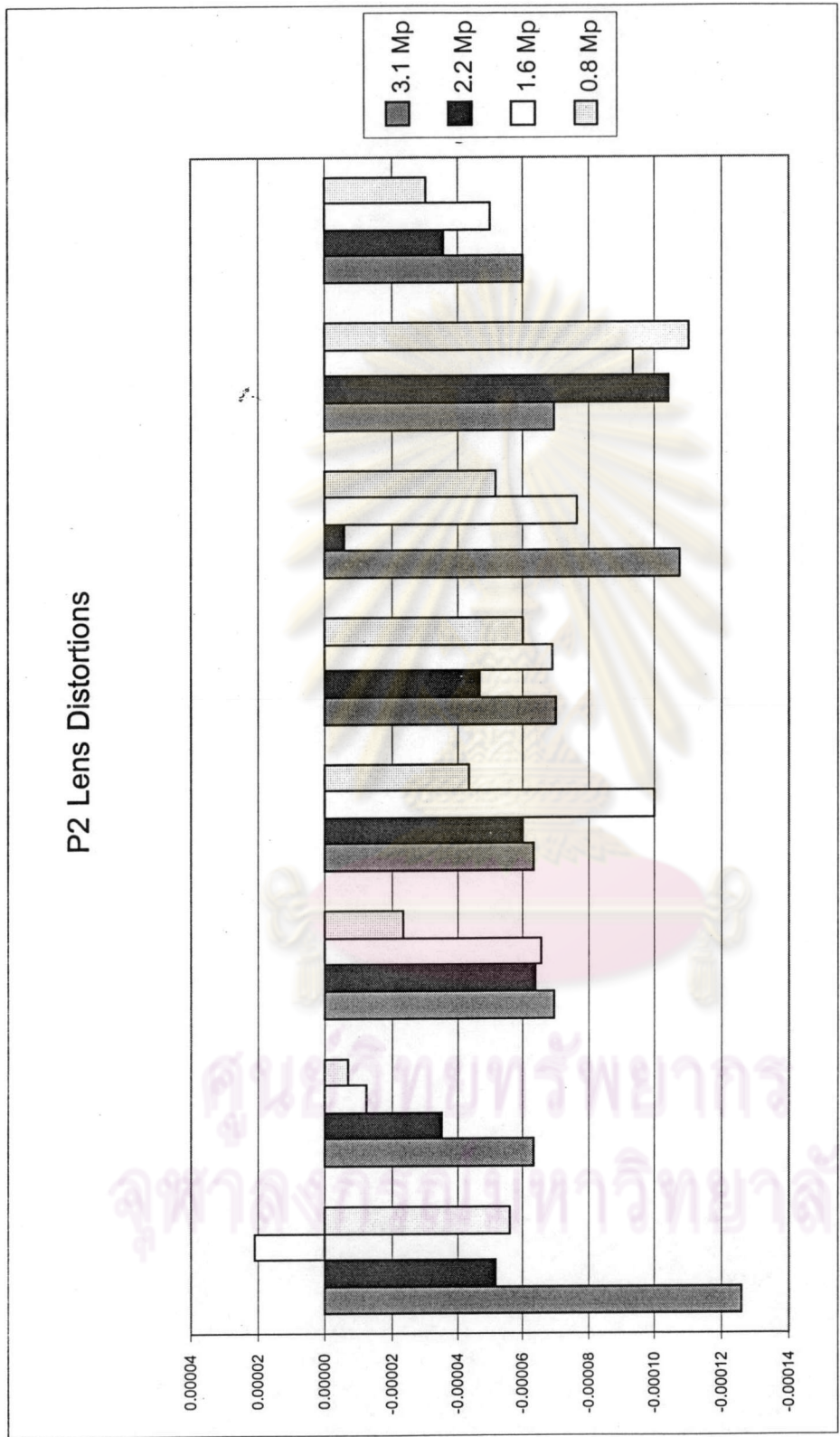


รูปภาพที่ 4.3 กราฟแสดงผลลัพธ์ของความเพี้ยนของเลนส์ K2 จากการวัดสอบกล้องถ่ายภาพ

P1 Lens Distortions



รูปภาพที่ 4.4 กราฟแสดงผลลัพธ์ของความเพี้ยนของเลนส์ P1 จากการวัดสอบกล้องถ่ายภาพ



รูปภาพที่ 4.5 กราฟแสดงผลลัพธ์ของความเพี้ยนของเลนส์ P2 จากการวัดสอบกล้องถ่ายภาพ

จากข้อมูลการวัดสอบกล้องถ่ายภาพดิจิทัลโกคัก คีเอ็กซ์ 3900 ขยาย ที่ใช้ในงานวิจัยผลปรากฏว่าความยาวโฟกัสของกล้องถ่ายภาพอยู่ในช่วง 6.4 ถึง 6.6 มิลลิเมตร ซึ่งค่าความยาวโฟกัสที่ 6.6 มิลลิเมตร เป็นความยาวโฟกัสมากที่สุดที่จำนวนจุดภาพเท่ากับ 1.6 ล้านจุดภาพ ซึ่งเป็นค่าที่ขึ้นไปสูงกว่าความยาวโฟกัสที่จำนวนจุดภาพอื่นๆ อาจเป็นผลจากความคลาดเคลื่อนขณะถ่ายภาพเพื่อการวัดสอบ ดังนั้นความยาวโฟกัสจึงอยู่ในช่วง 6.4 ถึง 6.5 มิลลิเมตร และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตามจำนวนการใช้งาน โดยที่ค่าของความยาวโฟกัสตามผู้ผลิตเป็น 7 มิลลิเมตร

สำหรับค่าความบิดเบี้ยวของเลนส์แยกตามองค์ประกอบเป็น ความบิดเบี้ยวของเลนส์ตามแนวรัศมี K1, K2 และความบิดเบี้ยวของเลนส์ตามแนวเส้นสัมผัส P1, P2 โดยที่การวัดสอบกล้องถ่ายภาพดิจิทัลที่ใช้ในงานวิจัย ลักษณะของกล้องถ่ายภาพดิจิทัลเป็นกล้องถ่ายภาพแบบทั่วไปแสดงข้อมูลทางสถิติของการวัดสอบกล้องถ่ายภาพดิจิทัลที่ใช้ในงานวิจัยดังตารางที่ 4.5

	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation
f (mm.)	6.4178	6.6138	6.4693	0.04083
K1	0.002217	0.003456	0.002834	0.000252
K2	-0.0000496	-0.0001419	-0.000115	0.00001828
P1	-0.0002804	0.0001011	-0.00002403	0.00006847
P2	-0.0001258	0.00002108	-0.00005806	0.00003258

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงข้อมูลทางสถิติของการวัดสอบกล้องถ่ายภาพดิจิทัล

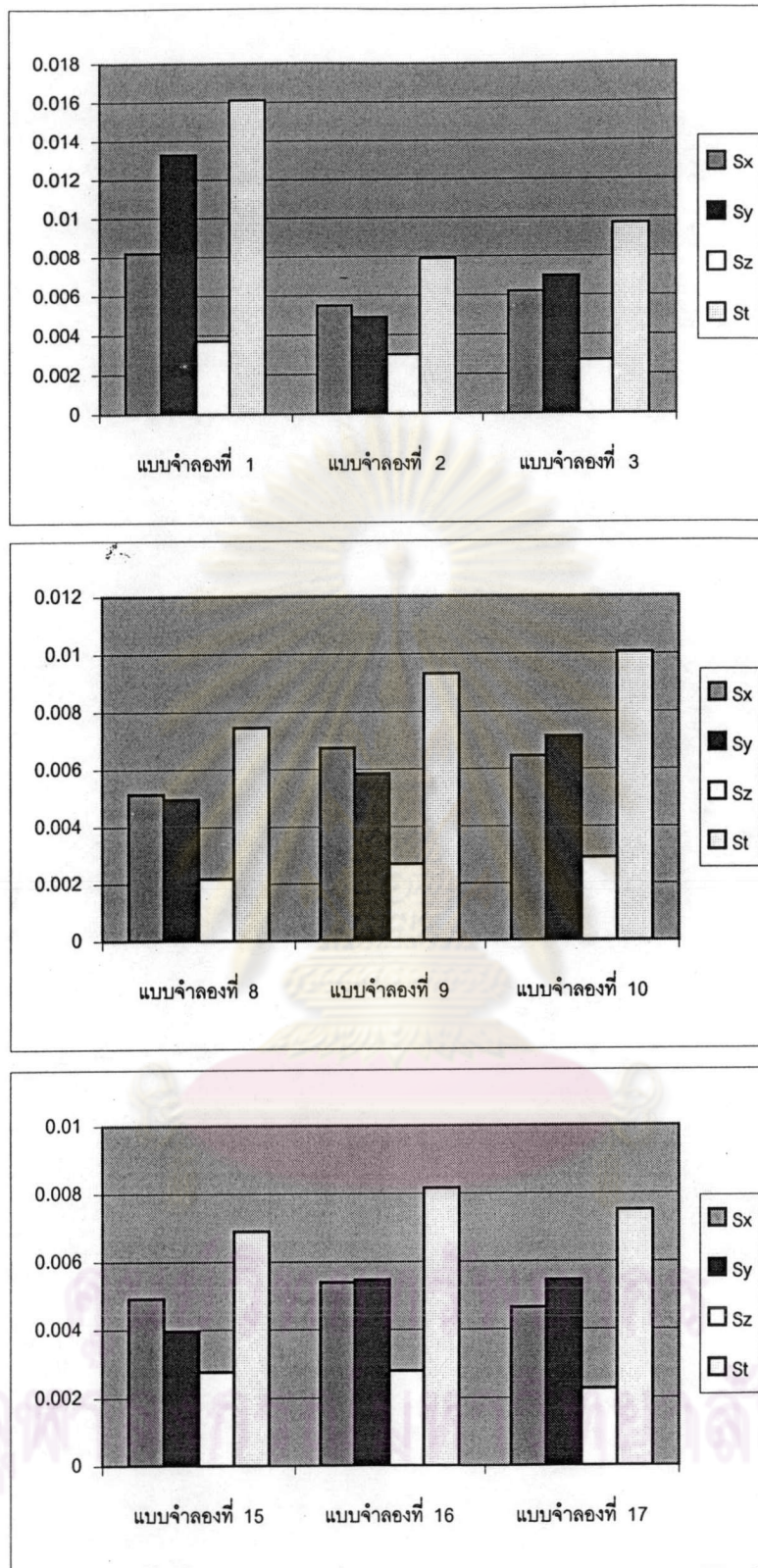
ความบิดเบี้ยวของเลนส์ตามแนวรัศมี K1 , K2 ข้อมูลมีการรวมกลุ่มกันเมื่อพิจารณาค่าตามจำนวนจุดภาพ ในขณะที่ความบิดเบี้ยวของเลนส์ตามแนวเส้นสัมผัส P1 , P2 ข้อมูลมีการกระจายสูง ดังนั้นในการประมวลผลแบบจำลองรถยนต์จึงทำการประมวลผลโดยพิจารณาค่าความบิดเบี้ยวของเลนส์และไม่พิจารณาค่าความบิดเบี้ยวของเลนส์เปรียบเทียบกันเพื่อศึกษาผลกระทบ

4.2 การวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของแบบจำลองรถยนต์

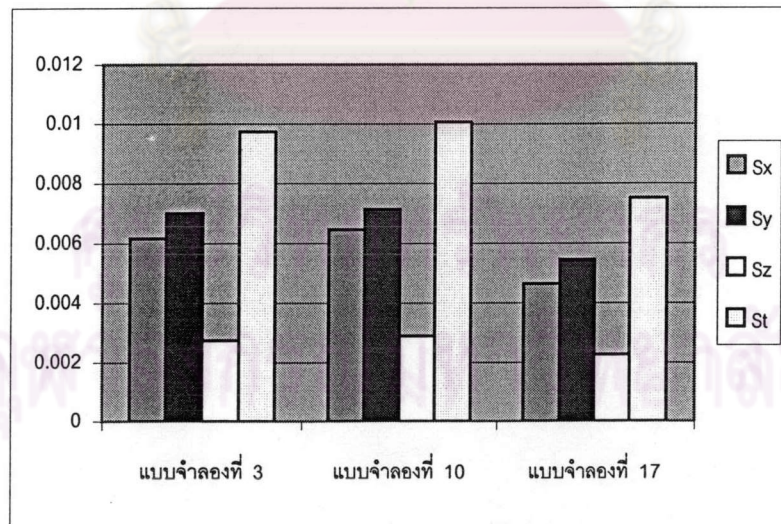
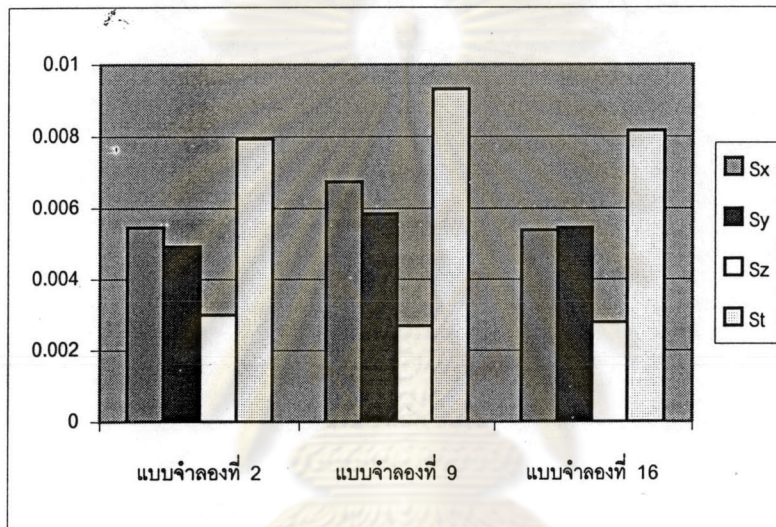
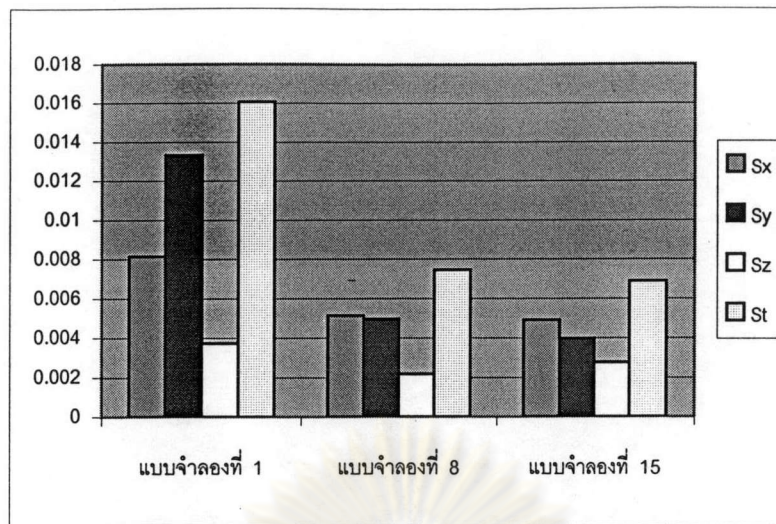
การวิเคราะห์ความถูกต้องทางตำแหน่งของแบบจำลองรถยนต์ ทำการพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Average Error) ของแบบจำลองรถยนต์ด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัลในแบบจำลองที่ 1 , 2 , 3 , 8 , 9 , 10, 15 , 16 และ 17 กับแบบจำลองรถยนต์ด้วยกล้องประมวลผลรวม แสดงค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอาศัยการคำนวณตามสมการที่ 2.25-2.28 แสดงดังตารางที่ 4.6 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในทิศทางแกน X , Y , Z และในทิศทางรวม (Total Direction) โดยการประมวลผลแบบจำลองรถยนต์ด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัลพิจารณาใช้ค่าความบิดเบี้ยวของเลนส์ (K1 , K2 , P1 , P2) สามารถเขียนกราฟแท่งของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามลักษณะของแกนที่สัมพันธ์กันและความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามมาตราส่วนเดียวกันเป็นรูปภาพที่ 4.6-4.7

แบบจำลองที่	ลักษณะการถ่ายภาพ , ระยะห่าง (m.)	Average Error (m.)			
		แกน X	แกน Y	แกน Z	ทิศทางรวม (T)
1	P60d2.0	0.0082	0.0133	0.0037	0.0161
2	P60d2.5	0.0055	0.0049	0.0030	0.0079
3	P60d3.0	0.0062	0.0070	0.0027	0.0097
8	P80d2.0	0.0051	0.0050	0.0022	0.0075
9	P80d2.5	0.0067	0.0058	0.0027	0.0093
10	P80d3.0	0.0065	0.0071	0.0029	0.0101
15	C d2.0	0.0049	0.0040	0.0028	0.0069
16	C d2.5	0.0054	0.0055	0.0028	0.0082
17	C d3.0	0.0046	0.0054	0.0023	0.0075

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของแบบจำลองรถยนต์ด้วยภาพถ่าย



รูปภาพที่ 4.6 กราฟแท่งแสดงความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามลักษณะของเกณฑ์สนพิจารณาความ
บิดเบี้ยวของเลนส์



รูปภาพที่ 4.7 กราฟแท่งแสดงความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่มาตรฐานเดียวกันพิจารณาค่าความบิดเบี้ยวของเลนส์

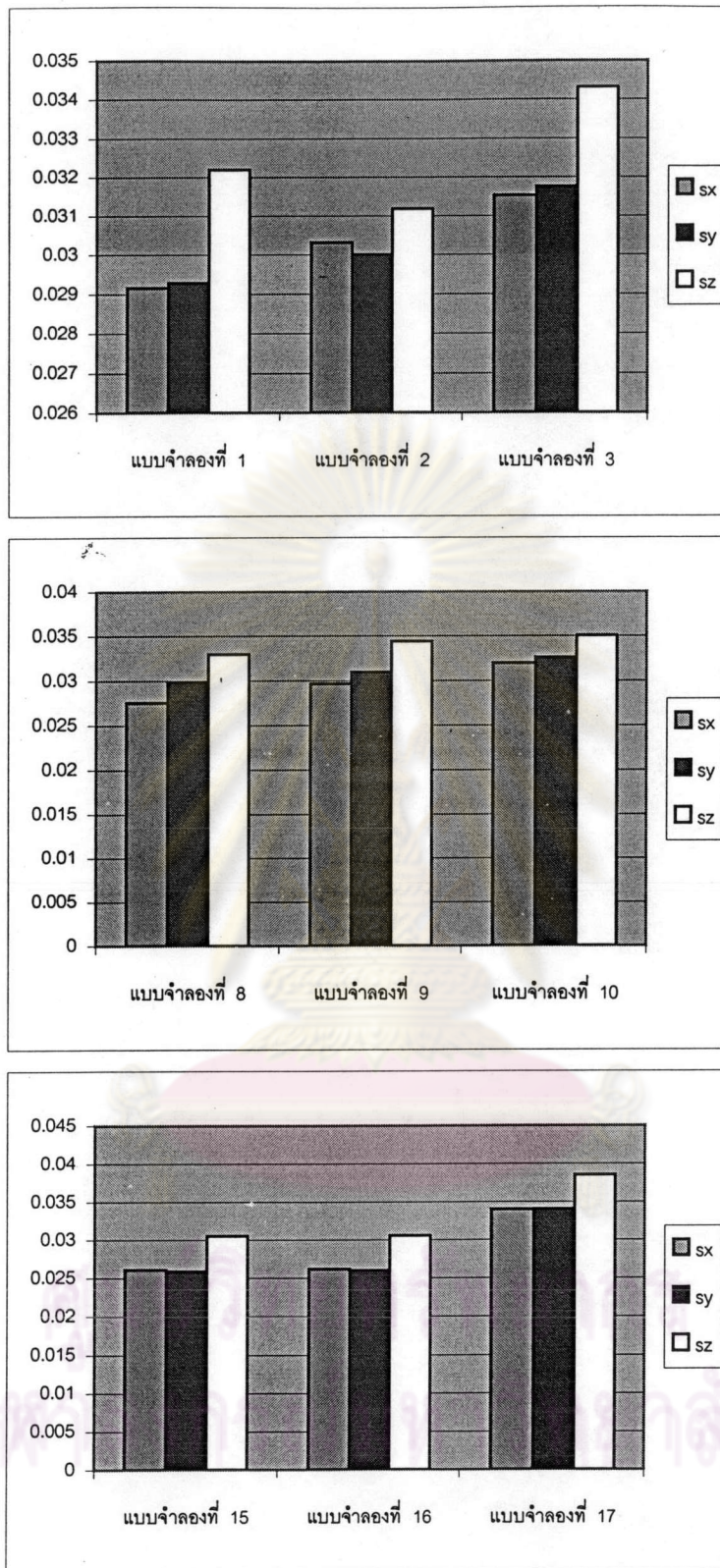
ผลจากรูปภาพที่ 4.6 แสดงให้เห็นลักษณะที่ขัดกับหลักทางทฤษฎีที่ว่าเมื่อมาตราส่วนภาพถ่ายใหญ่ขึ้นความคลาดเคลื่อนความจะน้อยลง บนการถ่ายภาพที่แกนทัศนขนานส่วนซ้อนร้อยละ 60 ทั้งนี้เป็นเพราะว่าการอ้างอิงจุดบนภาพถ่ายมีเสถียรภาพน้อยกว่าลักษณะการถ่ายภาพแบบอื่น สืบเนื่องจากการปรากฏของจุดบนภาพถ่ายซึ่งส่วนมากจะปรากฏบนภาพถ่ายเพียง 2 ภาพเท่านั้น ในขณะที่การถ่ายภาพแบบแกนทัศนขนานส่วนซ้อนร้อยละ 80 กับการถ่ายภาพแบบแกนทัศนทแยงเข้าหากัน จุดรั้วจะปรากฏบนภาพถ่ายอย่างน้อย 4-5 ภาพ

ขณะที่เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามลักษณะของการถ่ายภาพนั้น ข้อมูลปรากฏชัดเจนว่าการถ่ายภาพในลักษณะที่แกนทัศนทแยงเข้าหากันให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่น้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง C d2.0 เป็นแบบจำลองที่มีระดับความคลาดเคลื่อนต่ำสุด

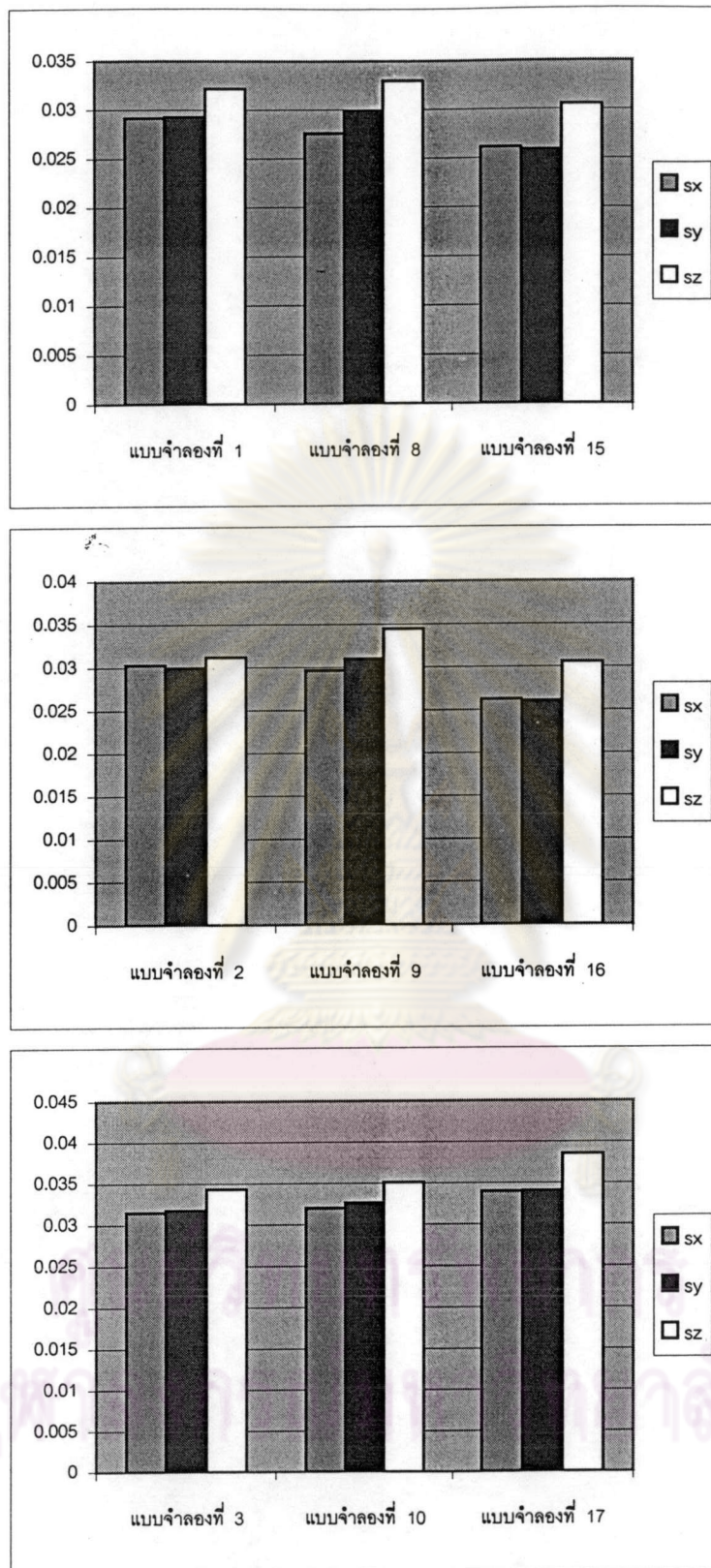
ค่าความละเอียดในการวัดแบบจำลองรถยนต์ด้วยภาพถ่ายแสดงด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยในทิศทางตามแนวแกน X , Y และ Z เมื่อความถูกต้องของการวัดภาพถ่ายพิจารณาในระดับ 1 จุดภาพ เป็นดังตารางที่ 4.7 แสดงค่าความละเอียดถูกต้องของแบบจำลองรถยนต์ด้วยภาพถ่ายที่ประมวลผลโดยใช้ค่าความบิดเบี้ยวของเลนส์ (K1 , K2 , P1 , P2) เขียนกราฟแท่งแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความละเอียดของการวัดแบบจำลองด้วยภาพถ่ายได้เป็นรูปภาพที่ 4.8-4.9

แบบจำลองที่	ลักษณะการถ่ายภาพ , ระยะห่าง (m.)	Average Standard Deviation (m.)			
		σ_x	σ_y	σ_z	σ_T
1	P60d2.0	0.0292	0.0293	0.0322	0.0524
2	P60d2.5	0.0303	0.0300	0.0312	0.0528
3	P60d3.0	0.0315	0.0318	0.0343	0.0564
8	P80d2.0	0.0276	0.0299	0.0330	0.0524
9	P80d2.5	0.0297	0.0310	0.0345	0.0551
10	P80d3.0	0.0320	0.0327	0.0351	0.0577
15	C d2.0	0.0261	0.0259	0.0306	0.0478
16	C d2.5	0.0262	0.0261	0.0306	0.0480
17	C d3.0	0.0340	0.0340	0.0385	0.0616

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงค่าความละเอียดของการวัดแบบจำลองรถยนต์ด้วยภาพถ่ายพิจารณาความบิดเบี้ยวของเลนส์



รูปภาพที่ 4.8 กราฟแท่งแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของการวัดตามลักษณะของแกนที่ศน์
พิจารณาค่าความบิดเบี้ยวของเลนส์



รูปภาพที่ 4.9 กราฟแท่งแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของการวัดที่มาตราส่วนเดียวกันพิจารณา
ค่าความบิดเบี้ยวของเลนส์

สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของแบบจำลองรถยนต์ ที่ไม่พิจารณาค่าความบิดเบี้ยวของเลนส์จากการวัดสอบกล้องถ่ายภาพแสดงค่าดังตารางที่ 4.8 สามารถเขียนกราฟแท่งของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามลักษณะของแกนทัศนียภาพเดียวกันและมาตราส่วนเดียวกันเป็นรูปภาพที่ 4.10-4.11

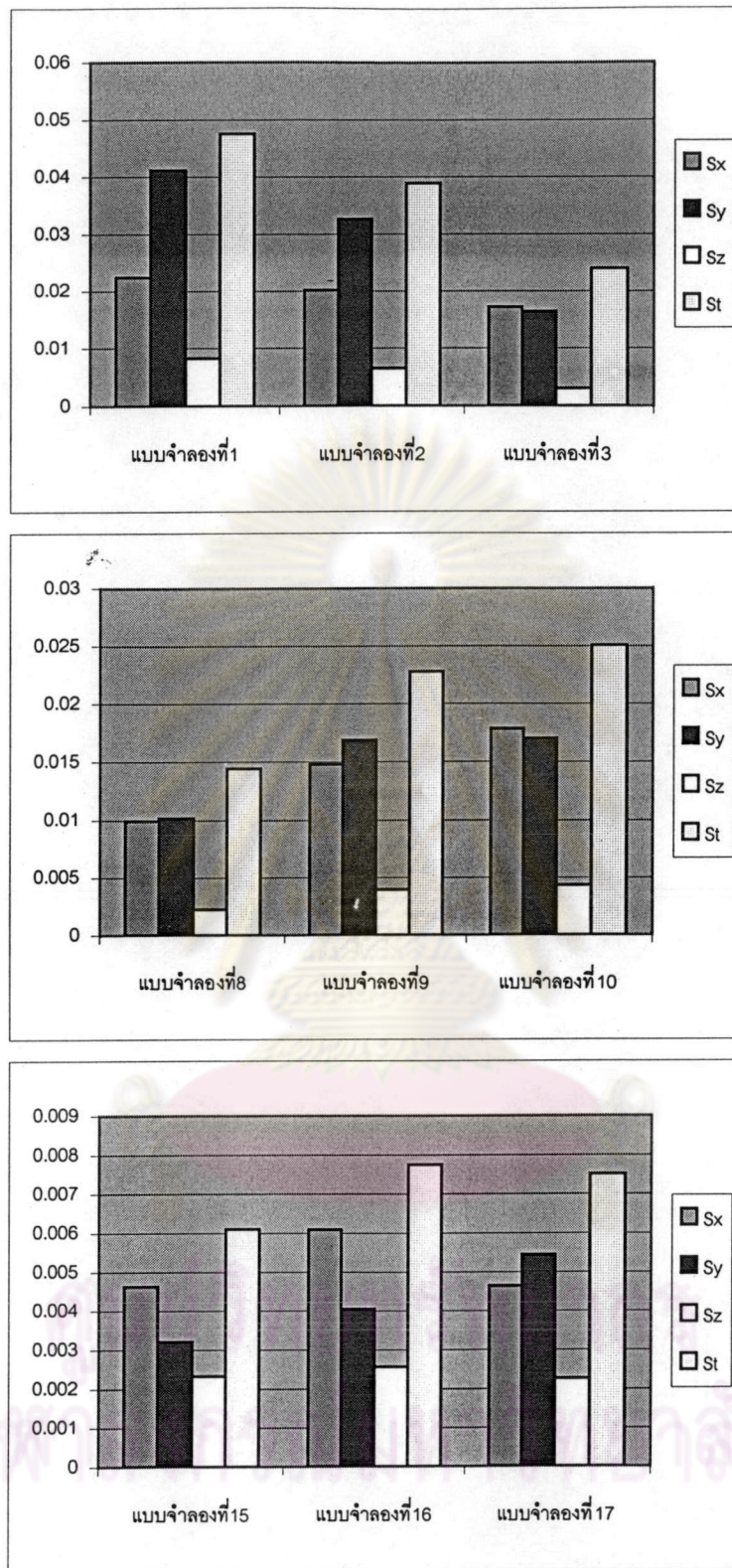
แบบจำลองที่	ลักษณะการถ่ายภาพ , ระยะห่าง (m.)	Average Error (m.)			
		แกน X	แกน Y	แกน Z	ทิศทางรวม (T)
1	P60d2.0	0.0224	0.0412	0.0083	0.0476
2	P60d2.5	0.0202	0.0327	0.0065	0.0389
3	P60d3.0	0.0172	0.0164	0.0031	0.0240
8	P80d2.0	0.0100	0.0102	0.0023	0.0144
9	P80d2.5	0.0148	0.0169	0.0040	0.0228
10	P80d3.0	0.0179	0.0170	0.0043	0.0251
15	C d2.0	0.0046	0.0032	0.0023	0.0061
16	C d2.5	0.0061	0.0041	0.0026	0.0078
17	C d3.0	0.0046	0.0054	0.0023	0.0075

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของแบบจำลองรถยนต์ไม่พิจารณาค่าความบิดเบี้ยวของเลนส์

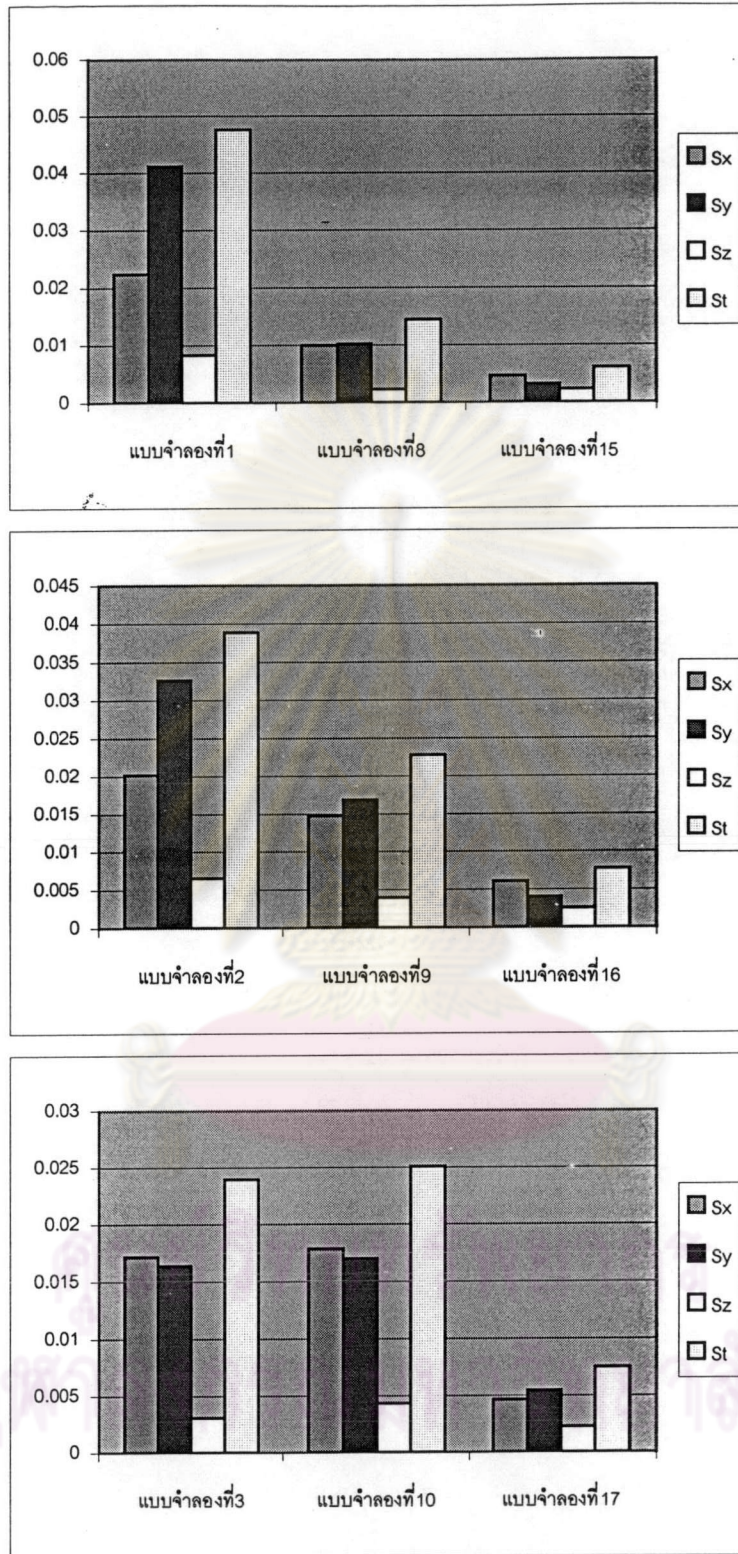
โดยค่าความละเอียดเฉลี่ยของการวัดแบบจำลองรถยนต์ด้วยภาพถ่าย เมื่อไม่พิจารณาค่าความบิดเบี้ยวของเลนส์แสดงดังตารางที่ 4.9 สามารถเขียนกราฟดังรูปภาพที่ 4.12-4.13

แบบจำลองที่	ลักษณะการถ่ายภาพ , ระยะห่าง (m.)	Average Standard Deviation (m.)			
		σ_x	σ_y	σ_z	σ_T
1	P60d2.0	0.0292	0.0293	0.0322	0.052421
2	P60d2.5	0.0314	0.0316	0.0342	0.056162
3	P60d3.0	0.0315	0.0318	0.0343	0.056391
8	P80d2.0	0.0295	0.0297	0.0337	0.05374
9	P80d2.5	0.0301	0.0311	0.0346	0.055411
10	P80d3.0	0.0318	0.0323	0.0352	0.05739
15	C d2.0	0.0262	0.0260	0.0306	0.047946
16	C d2.5	0.0263	0.0261	0.0306	0.048055
17	C d3.0	0.0340	0.0340	0.0385	0.061597

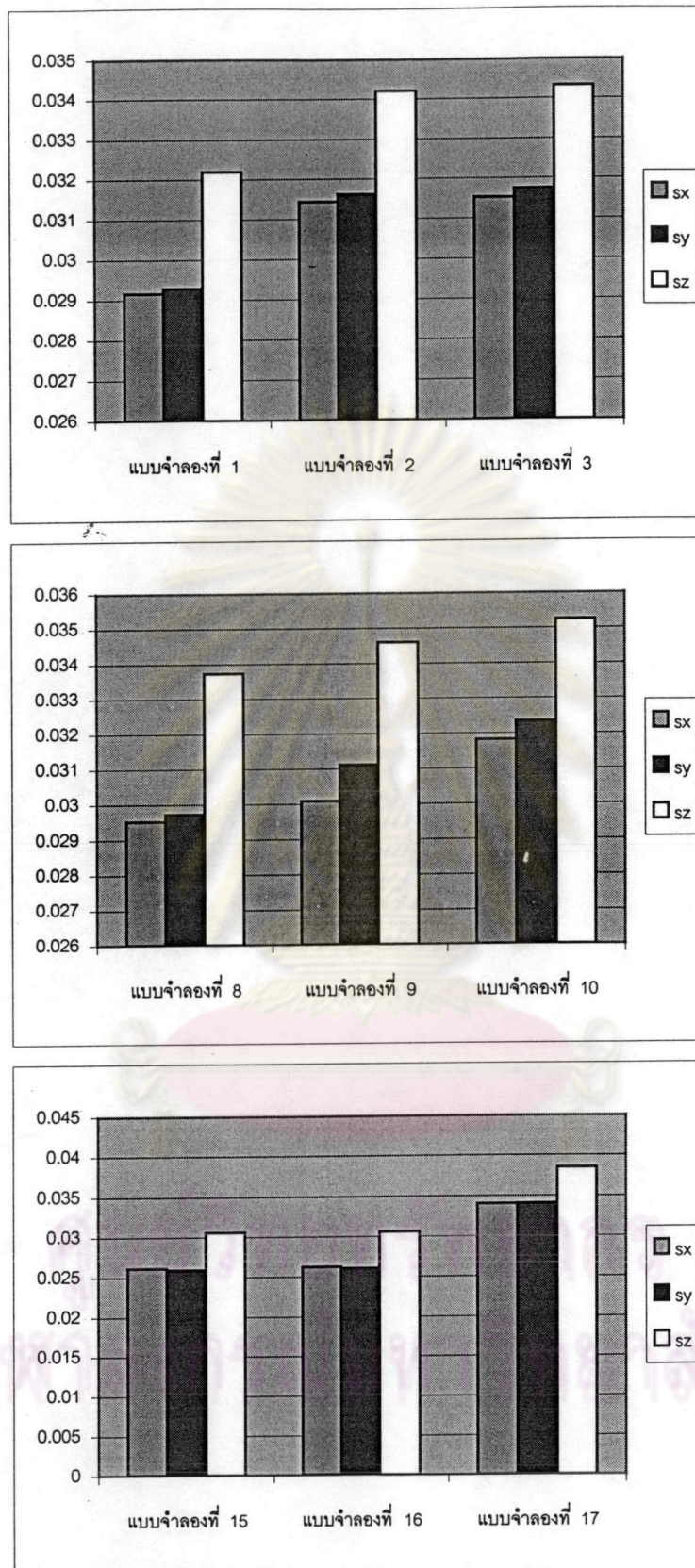
ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงค่าความละเอียดของการวัดแบบจำลองรถยนต์ด้วยภาพถ่ายไม่พิจารณาค่าความบิดเบี้ยวของเลนส์



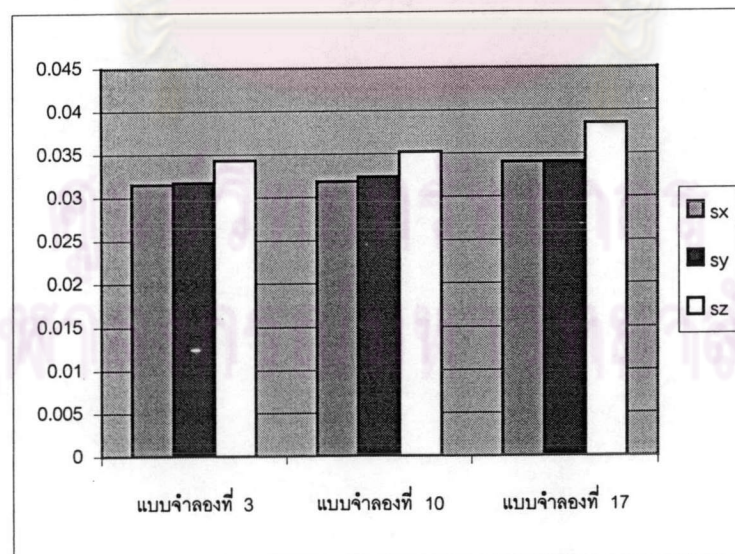
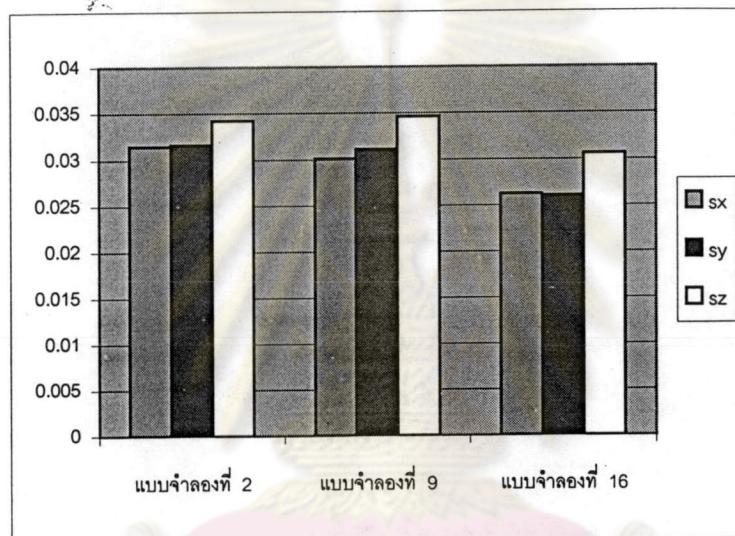
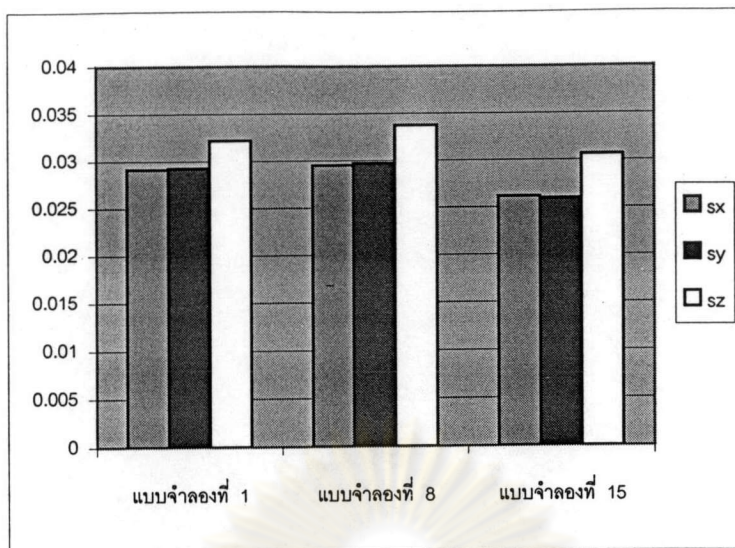
รูปภาพที่ 4.10 กราฟแท่งแสดงความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามลักษณะของแกนที่สนใจไม่พิจารณาค่าความบิดเบี้ยวของเลนส์



รูปภาพที่ 4.11 กราฟแท่งแสดงความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่มาตรฐานเดียวกันไม่พิจารณาค่าความบิดเบี้ยวของเลนส์



รูปภาพที่ 4.12 กราฟแท่งแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของการวัดตามลักษณะของแกนที่ศูนย์ไม่
พิจารณาค่าความบิดเบี้ยวของเลนส์



รูปภาพที่ 4.13 กราฟแท่งแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของการวัดที่มาตราส่วนเดียวกัน
พิจารณาไม่ค่าความบิดเบี้ยวของเลนส์

ข้อมูลค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของแบบจำลองรถยนต์ทั้งหมด 9 แบบจำลองเมื่อพิจารณาแล้วเห็นได้ว่ามีความจำเป็นที่ต้องทำการพิจารณาค่าความบิดเบี้ยวของเลนส์ เนื่องด้วยผลกระทบของความบิดเบี้ยวของเลนส์ต่อแบบจำลองที่มีลักษณะการถ่ายภาพแบบแกนขนาน ทั้งที่มีส่วนซ้อนร้อยละ 60 และ 80 ในระดับ 2 ถึง 2.5 เท่าของความคลาดเคลื่อนเดิม จากข้อมูลทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง C d2.0 เป็นแบบจำลองที่มีความคลาดเคลื่อนต่ำสุด

ในส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยซึ่งบ่งบอกความละเอียดของการวัดแบบจำลองรถยนต์ด้วยภาพถ่ายนั้น มีค่าอยู่ในระดับเซนติเมตรซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยซึ่งอยู่ในระดับมิลลิเมตรแล้ว เห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยบ่งบอกระดับความแตกต่างของค่าพิกัดสามมิติของแบบจำลอง เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองด้วยกล้องประมวลผลรวมที่มีความละเอียดของการวัดในระดับมิลลิเมตร ในขณะที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยแสดงให้เห็นว่าความละเอียดของการวัดแบบจำลองด้วยภาพถ่ายอยู่ในระดับเซนติเมตรทำการตรวจสอบสมมติฐานของระดับความละเอียดในการวัดแบบจำลองด้วยภาพถ่าย

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_9$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \dots \neq \mu_9$$

พิจารณาข้อมูลค่าทางสถิติของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของแบบจำลองรถยนต์ด้วยภาพถ่ายทั้ง 9 แบบจำลอง

Model	Mean (m.)			Variance (m.)		
	σ_x	σ_y	σ_z	σ_x	σ_y	σ_z
P60d2.0	0.029163	0.02929	0.032203	0.000012	0.000012	0.000014
P60d2.5	0.030316	0.030011	0.031184	0.000011	0.000012	0.000014
P60d3.0	0.031528	0.031755	0.034323	0.000011	0.000012	0.000014
P80d2.0	0.027566	0.029913	0.032987	0.000010	0.000011	0.000013
P80d2.5	0.029667	0.030971	0.034456	0.000012	0.000013	0.000014
P80d3.0	0.031995	0.032651	0.035068	0.000013	0.000014	0.000015
C d2.0	0.026127	0.025913	0.030569	0.000011	0.000011	0.000011
C d2.5	0.026228	0.026054	0.030596	0.000011	0.000011	0.000011
C d3.0	0.033997	0.034049	0.038521	0.000040	0.000040	0.000049

ตารางที่ 4.10 ค่าทางสถิติของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแบบจำลองรถยนต์ด้วยภาพถ่าย

Source	df	SS	MS	F
Factor	8	0.0213	0.0027	20.0469
Error	364	0.0483	0.00013	
Total	372	0.0696		

ตารางที่ 4.11 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนในทิศทาง X

Source	df	SS	MS	F
Factor	8	0.0224	0.0028	20.1428
Error	364	0.0507	0.00014	
Total	372	0.0732		

ตารางที่ 4.12 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนในทิศทาง Y

Source	df	SS	MS	F
Factor	8	0.0199	0.0025	15.8373
Error	364	0.0571	0.00015	
Total	372	0.0770		

ตารางที่ 4.13 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนในทิศทาง Z

ทดสอบที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95 องศาอิสระเป็น (8,364) เขตปฏิเสธสมมติฐาน H_0 เมื่อ $F > F_{0.95,8,364}$ โดยที่ $F_{0.95,8,364} = 1.9638$ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐานที่ว่าระดับความละเอียดในการวัดแบบจำลองด้วยภาพถ่ายทั้ง 9 แบบจำลองเท่ากัน

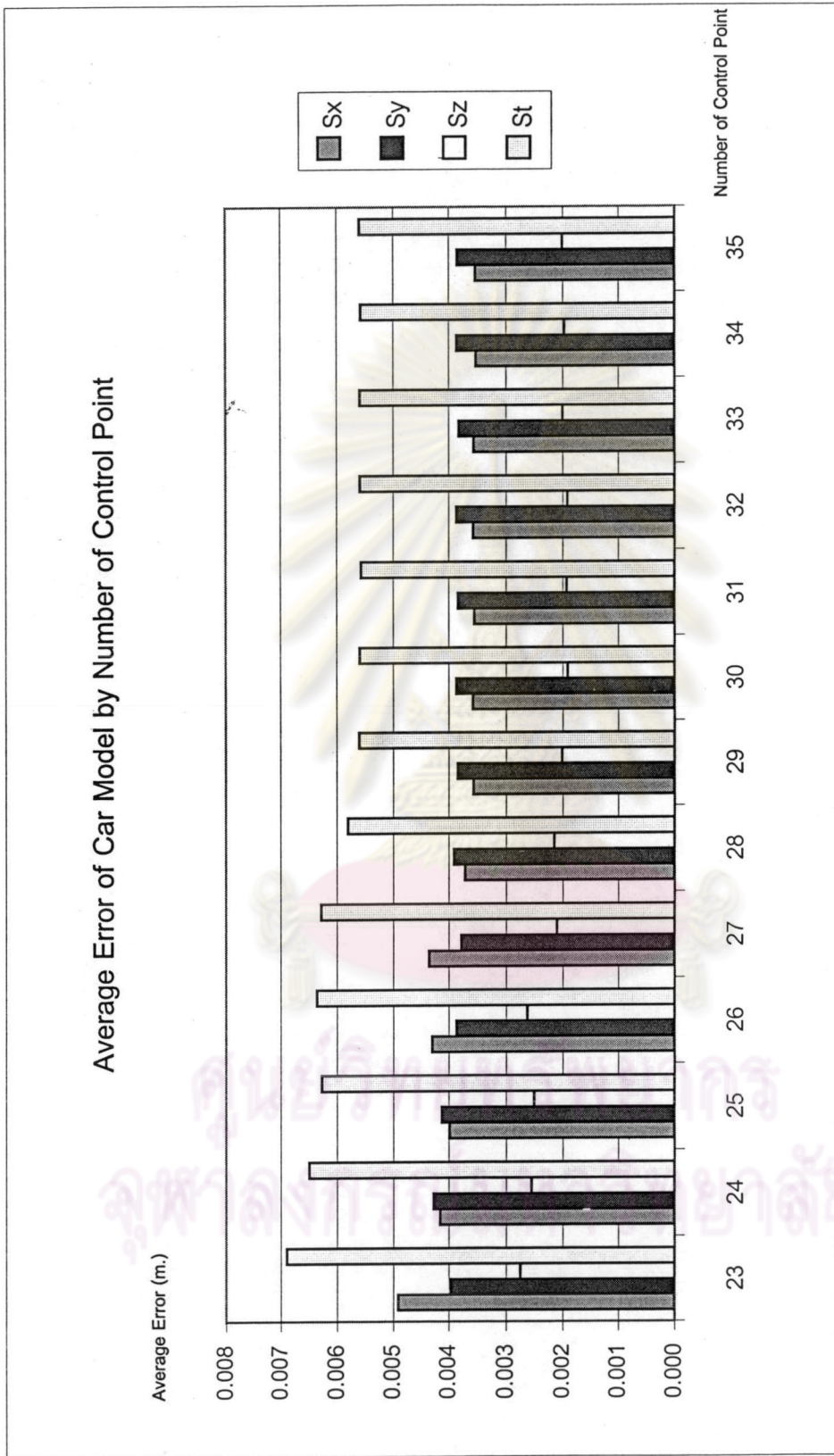
4.3 การวิเคราะห์จำนวนจุดควบคุมภาพถ่าย

จากการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของแบบจำลองรถยนต์ด้วยภาพถ่าย ทั้งที่การประมวลผลแบบจำลองพิจารณาความบิดเบี้ยวของเลนส์ และไม่พิจารณาค่าความบิดเบี้ยวของเลนส์ ปรากฏว่าแบบจำลองที่ 15 ซึ่งมีลักษณะการถ่ายภาพแบบแกนทศน์ทแยงเข้าหากันด้วย

ระยะห่างของการถ่ายภาพเป็น 2 เมตร พิจารณาค่าความบิดเบี้ยวของเลนส์และมีจำนวนจุดควบคุมภาพถ่ายทั้งสิ้น 23 จุดควบคุม มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเป็น 0.0049 , 0.0040 , 0.0028 และ 0.0069 เมตรในทิศทาง X , Y , Z และในทิศทางรวมตามลำดับ ความละเอียดของการวัดแบบจำลองที่ 15 เป็น 0.0261 , 0.0259 และ 0.0306 เมตรในทิศทาง X , Y และ Z ตามลำดับ ใช้แบบจำลองที่ 15 ในการวิเคราะห์การเพิ่มจำนวนของจุดควบคุมจากจำนวน 23 จุดควบคุม เป็นจำนวน 35 จุดควบคุม ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของแบบจำลองจากการเพิ่มจำนวนจุดควบคุมแสดงดังตารางที่ 4.14 และสามารถเขียนกราฟได้ดังรูปภาพที่ 4.14 ในส่วนของความละเอียดถูกต้องในการวัดแบบจำลองตามจำนวนของจุดควบคุมแสดงดังตารางที่ 4.15 และสามารถเขียนกราฟได้ดังรูปภาพที่ 4.15

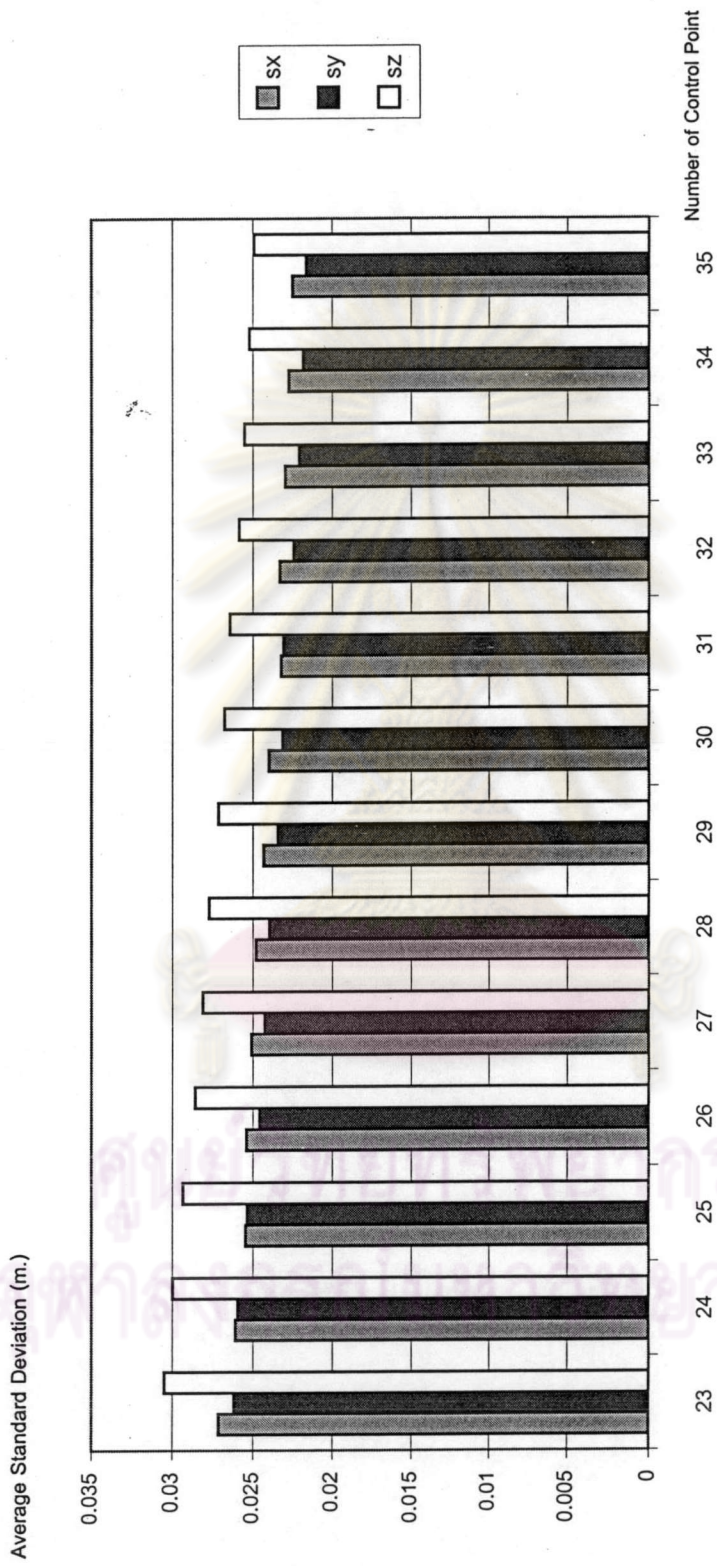
จำนวนจุดควบคุม	Average Error (m.)			
	แกน X	แกน Y	แกน Z	ทิศทางรวม (T)
23	0.0049	0.0040	0.0028	0.0069
24	0.0042	0.0043	0.0026	0.0065
25	0.0040	0.0041	0.0025	0.0063
26	0.0043	0.0039	0.0026	0.0064
27	0.0044	0.0038	0.0021	0.0063
28	0.0037	0.0039	0.0022	0.0058
29	0.0036	0.0038	0.0020	0.0056
30	0.0036	0.0039	0.0019	0.0056
31	0.0035	0.0038	0.0019	0.0056
32	0.0036	0.0039	0.0019	0.0056
33	0.0036	0.0038	0.0020	0.0056
34	0.0035	0.0039	0.0020	0.0056
35	0.0035	0.0038	0.0020	0.0056

ตารางที่ 4.14 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามจำนวนจุดควบคุมของแบบจำลองที่ 15



รูปภาพที่ 4.14 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามจำนวนจุดควบคุมของแบบจำลองที่ 15

Average Standard Deviation of Car Model by Number of Control Point



รูปภาพที่ 4.15 กราฟแสดงค่าความละเอียดตามจำนวนจุดควบคุมของแบบจำลองที่ 15

จำนวนจุดควบคุม	Average Standard Deviation (m.)			
	σ_x	σ_y	σ_z	σ_T
23	0.0272	0.0262	0.0305	0.048544
24	0.0261	0.0260	0.0300	0.04751
25	0.0255	0.0254	0.0294	0.046473
26	0.0254	0.0246	0.0286	0.045478
27	0.0251	0.0243	0.0282	0.044897
28	0.0248	0.0240	0.0278	0.044316
29	0.0243	0.0235	0.0272	0.043389
30	0.0240	0.0232	0.0268	0.042807
31	0.0232	0.0231	0.0265	0.04212
32	0.0233	0.0225	0.0259	0.048544
33	0.0230	0.0221	0.0255	0.04751
34	0.0228	0.0219	0.0252	0.046473
35	0.0225	0.0217	0.0249	0.045478

ตารางที่ 4.15 ตารางแสดงค่าความละเอียดถูกต้องตามจำนวนจุดควบคุมของแบบจำลองที่ 15

เมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยและค่าความละเอียดถูกต้องของการวัดแบบจำลองรถยนต์ ตามจำนวนจุดควบคุมที่เพิ่มขึ้นจากจำนวนทั้งสิ้น 23 จุดควบคุม เป็นจำนวน 35 จุดควบคุมนั้น ระดับความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยลดลงเรื่อยๆจนกระทั่งที่จำนวนจุดควบคุมตั้งแต่ 29 จุดขึ้นไปมีแนวโน้มคงที่ มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเป็น 0.0036 , 0.0038 , 0.0020 และ 0.0056 เมตรในทิศทาง X , Y , Z และในทิศทางรวมตามลำดับ ในขณะที่ความละเอียดถูกต้องของการวัดอยู่ในระดับ 0.0243 , 0.0235 , 0.0272 และ 0.0433 เมตรในทิศทาง X , Y , Z และในทิศทางรวมตามลำดับ สำหรับแบบจำลองรถยนต์นั่งทั่วไปที่ทำการวัดแบบจำลองด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัลภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน จำนวนจุดควบคุมที่ใช้ในการวัดแบบจำลองที่เหมาะสมเป็น 29 จุดควบคุม

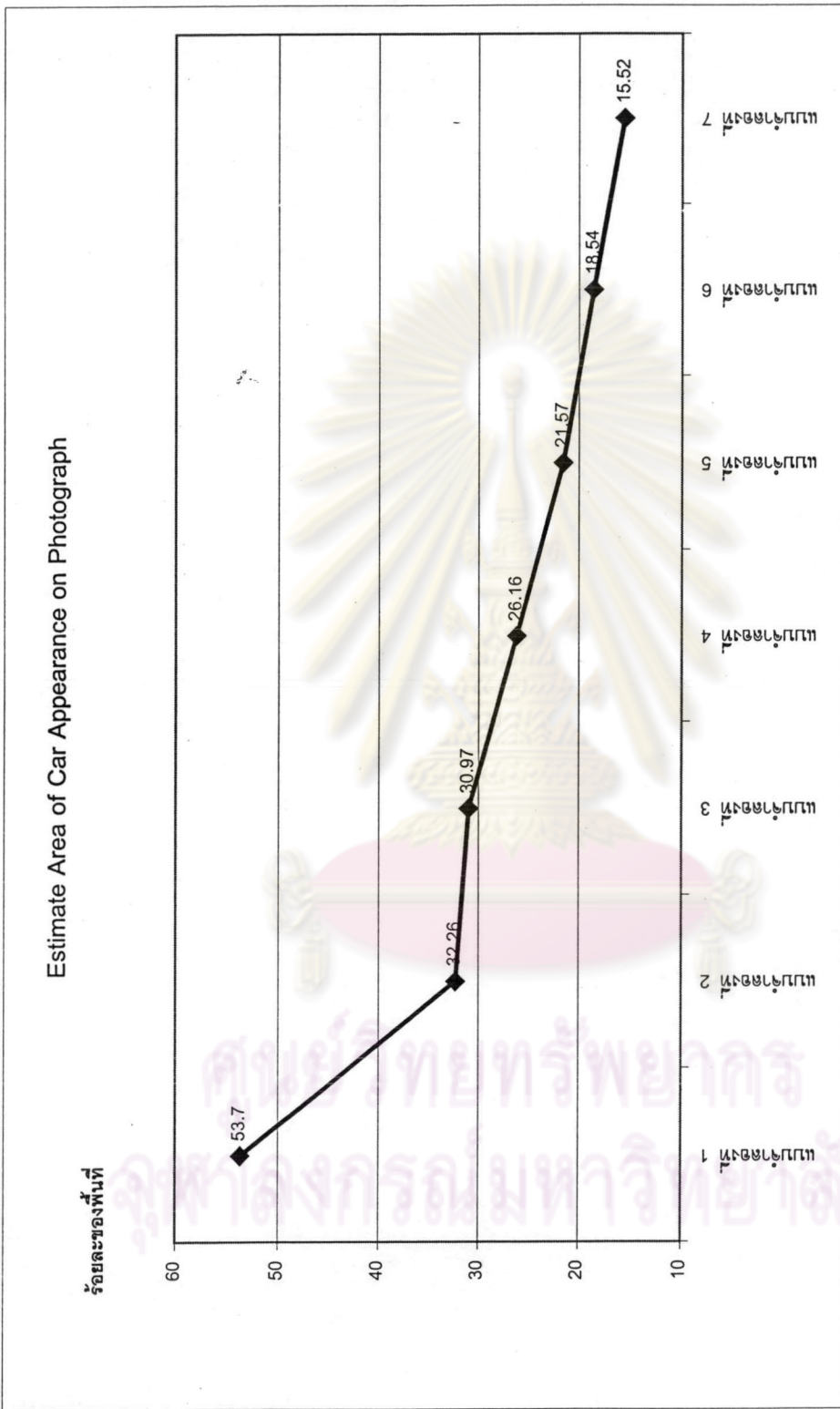
4.4 การวิเคราะห์พื้นที่ครอบคลุมบนภาพถ่าย

ด้วยสาเหตุที่แบบจำลองรถยนต์ที่ 4 , 5 , 6 , 7 , 11 , 12 , 13 , 14 , 18 , 19 , 20 และ 21 ไม่สามารถประมวลผลได้ด้วยโปรแกรม PhotoModeler Pro4.0 ด้วยผลของลักษณะ

เรขาคณิตของตำแหน่งรังวัดบนภาพถ่ายที่ไม่ดีอันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงมาตราส่วนของภาพถ่าย ทั้งที่วัตถุที่ต้องการจำลองแบบซึ่งได้แก่รถยนต์มีขนาดคงที่ ส่งผลให้กลุ่มของจุดรังวัดรวมบน ภาพถ่ายมีค่าอยู่ในช่วงแคบๆ อันเป็นผลให้ไม่สามารถประมวลผลแบบจำลองนั้นได้ ปริมาณที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากมาตราส่วนภาพถ่ายได้แก่พื้นที่เฉลี่ยของวัตถุที่ปรากฏบนภาพถ่าย ตาม ลักษณะการถ่ายภาพและมาตราส่วนที่ต่างกันแสดงดังตารางที่ 4.16

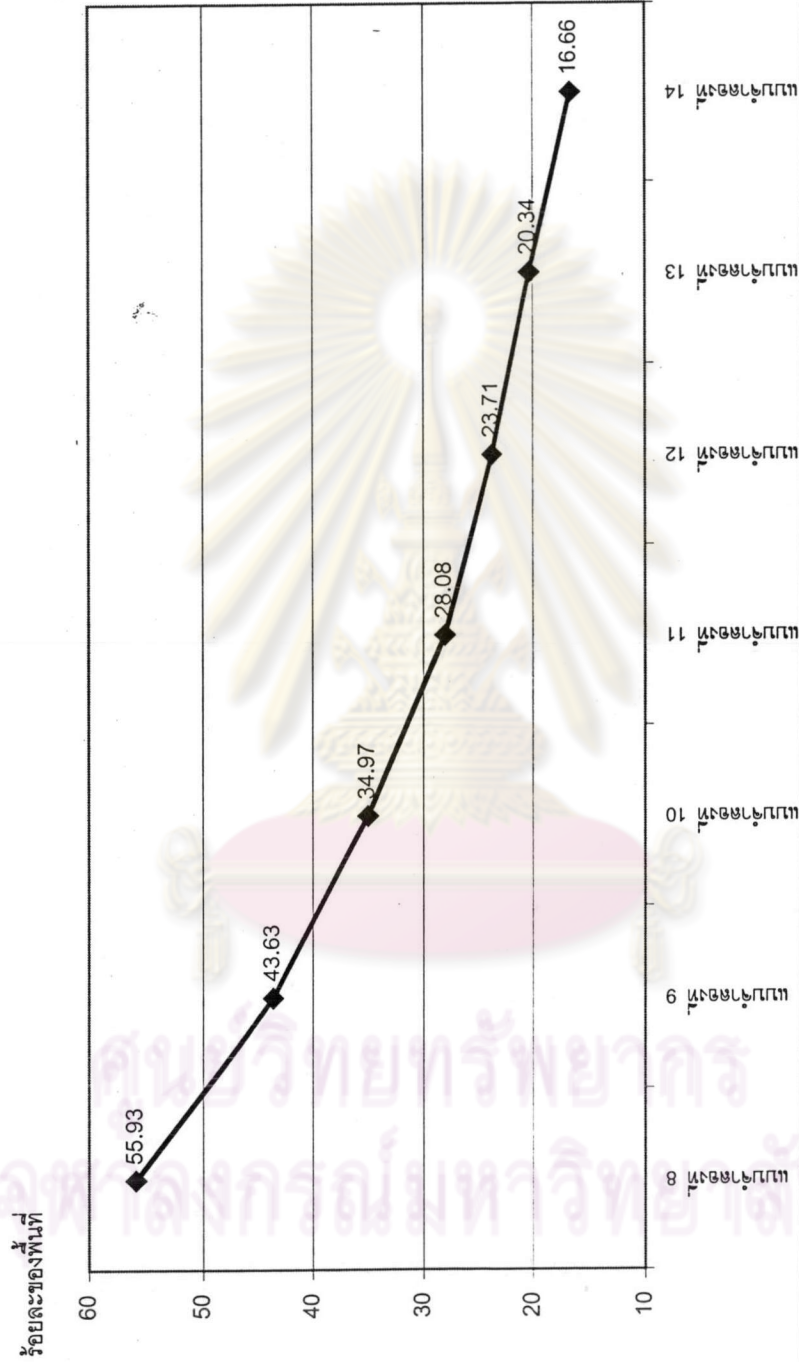
แบบจำลองที่	ส่วนกลับ มาตราส่วน	จำนวนภาพถ่าย	ค่าเฉลี่ยของร้อยละของพื้นที่ซึ่ง ปรากฏบนภาพถ่าย
1	308	18	53.7
2	385	16	32.26
3	462	15	30.97
4	538	12	26.16
5	615	12	21.57
6	692	10	18.54
7	769	10	15.52
8	308	33	55.93
9	385	27	43.63
10	462	23	34.97
11	538	20	28.08
12	615	18	23.71
13	692	18	20.34
14	769	16	16.66
15	308	24	61.40
16	385	20	46.43
17	462	16	37.64
18	538	16	30.93
19	615	12	23.40
20	692	10	22.82
21	769	10	20.84

ตารางที่ 4.16 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยของร้อยละของพื้นที่รถยนต์ซึ่งปรากฏบนภาพถ่าย



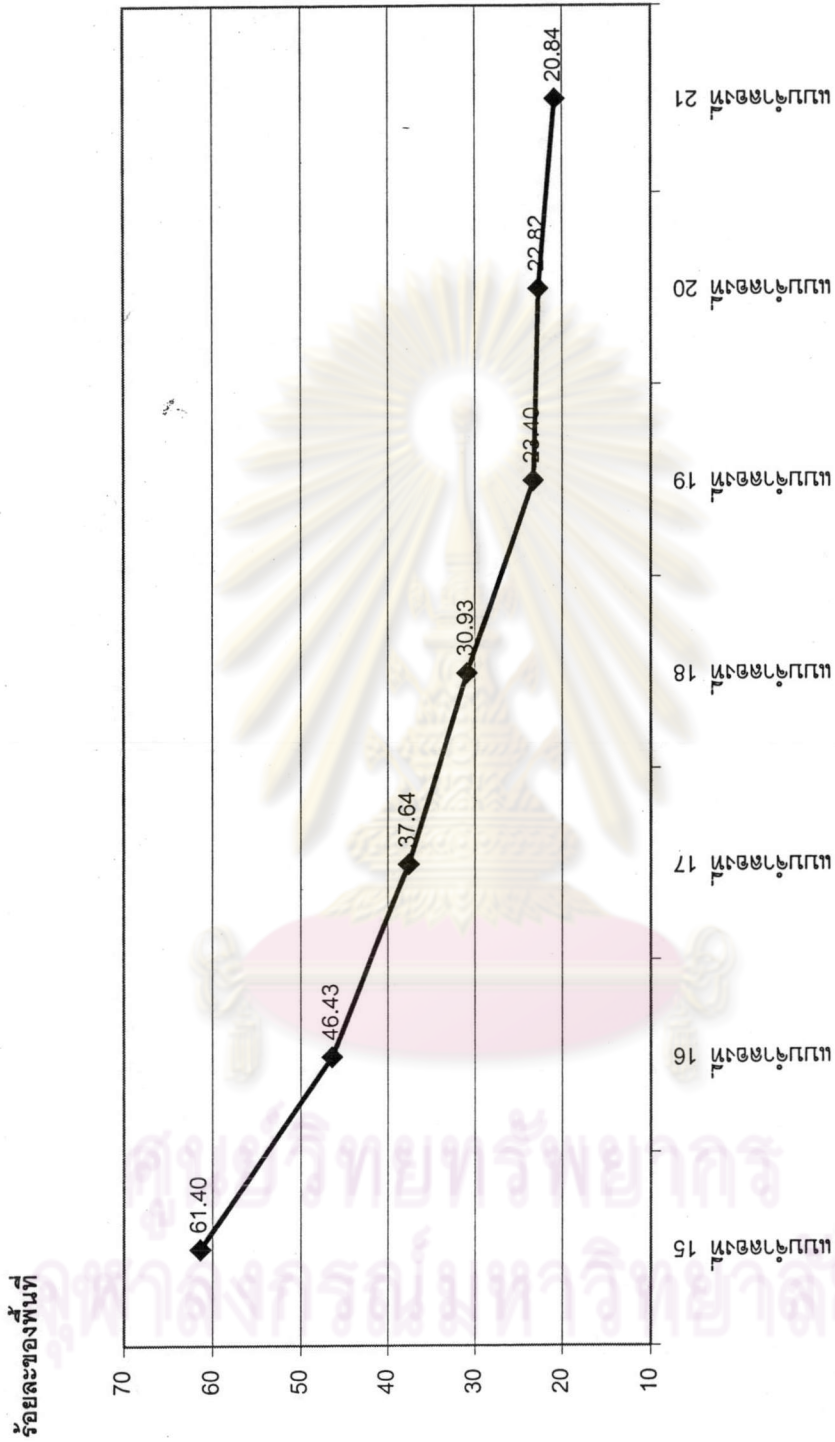
รูปภาพที่ 4.16 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของร้อยละของพื้นที่รถยนต์ซึ่งปรากฏบนภาพถ่ายสำหรับแบบจำลองที่ 1-7

Estimate Area of Car Appearance on Photograph



รูปภาพที่ 4.17 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของร้อยละของพื้นที่รถยนต์ซึ่งปรากฏบนภาพถ่ายสำหรับแบบจำลองที่ 8-14

Estimate Area of Car Appearance on Photograph



รูปภาพที่ 4.18 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของร้อยละของพื้นที่รถยนต์ซึ่งปรากฏบนภาพถ่ายสำหรับแบบจำลองที่ 15-21

4.5 การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของการสร้างพื้นผิวแบบจำลอง

สำหรับการสร้างพื้นผิวของแบบจำลองในลักษณะกึ่งอัตโนมัติ ในงานวิจัยนี้ชิ้นส่วนแรกเลือกกระทำบนชิ้นส่วนขนาดเล็กประมาณ 45×45 เซนติเมตร ด้วยการฉายลงบนพื้นผิวก่อนการถ่ายภาพเพื่อใช้เป็นจุดสัญญาณในการกำหนดจุดรังวัดบนภาพถ่าย จากความต้องการระดับความหนาแน่นของจุดสำหรับสร้างพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงตามการนำไปประยุกต์ใช้งาน ซึ่งต้องอาศัยความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการประมวลผลภาพดิจิทัลเพื่อทำการควบคุม, หรือปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายเพื่อให้สามารถใช้งานในลักษณะที่ต้องการได้

แบบจำลองพื้นผิวถูกสร้างขึ้นด้วยภาพถ่ายจำนวน 6 ภาพและใช้จุดควบคุมภาพถ่ายจำนวน 9 จุดควบคุม พิจารณาความถูกต้องทางระยะทางของจุดตรวจสอบจำนวน 8 จุดตรวจสอบ ด้วยระยะทางซึ่งวัดด้วยเวอร์เนียร์บนพื้นผิวแบบจำลองกับระยะทางได้จากแบบจำลองพื้นผิว ผลลัพธ์ของการเปรียบเทียบความถูกต้องเชิงระยะทางจากการสร้างแบบจำลองพื้นผิวโดยวิธีแบบกึ่งอัตโนมัตินั้นเป็นดังตารางที่ 4.17

จุดตรวจสอบ		ระยะจริง (cm.)	ระยะบนแบบจำลองพื้นผิว (cm.)	ค่าต่าง (mm.)
จาก	ถึง			
1	2	15.725	15.70	0.25
2	3	13.750	13.60	1.50
3	4	14.060	14.10	-0.40
4	5	17.270	17.20	0.70
5	6	14.860	14.40	4.60
6	7	16.190	15.70	4.9
7	8	17.095	17.00	0.95
8	1	17.620	17.20	4.20

ตารางที่ 4.17 ตารางแสดงผลลัพธ์ของค่าต่างทางระยะของแบบจำลองพื้นผิว

ในการสร้างแบบจำลองพื้นผิวด้วยโปรแกรม PhotoModeler Pro4.0 ในลักษณะกึ่งอัตโนมัติในงานวิจัยนี้ปรากฏจุดรังวัดจำนวนทั้งสิ้น 1111 จุด ซึ่งเป็นจุดที่ได้จากการคำนวณรังวัดบนภาพถ่ายจำนวนของจุดดังกล่าวไม่ได้ใช้ในการประมวลผลเพื่อหาค่าขององค์ประกอบภายใน

นอกของการถ่ายภาพต่างอย่างใด ดังนั้นจำนวนจุดที่ได้จากการกำหนดแบบอัตโนมัติไม่มีผลต่อระดับความถูกต้องของแบบจำลองพื้นผิว โดยพื้นผิวซึ่งถูกสร้างขึ้นด้วยเงื่อนไขแบบ TIN ด้วยวิธีการ 2D Object Points จำนวน 2170 พื้นผิว เมื่อทำการประมวลผลสามารถแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของของแบบจำลองพื้นผิวขนาด 1 ต่อ 30 จุดภาพจากการคำนวณเป็นดังรูปภาพที่ 4.19-4.24 ระยะห่างของการถ่ายภาพเป็น 0.795 เมตรมีมาตราส่วนภาพถ่ายเท่ากับ 1 : 130 เมื่อความยาวโฟกัสเป็น 6.110 มิลลิเมตร จากการวัดสอบกล้องถ่ายภาพ

ความถูกต้องของแบบจำลองพื้นผิวแสดงด้วยค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย จากจุดที่ใช้ในการประมวลผลเพื่อหาค่าองค์ประกอบภายนอก สำหรับการกำหนดจุดแบบอัตโนมัติจุดที่ใช้ในการประมวลผลภาพถ่ายเป็นจุดควบคุม ซึ่งจุดควบคุมได้จากการรังวัดด้วยกล้องประมวลผลรวมที่ระดับความละเอียดถูกต้องเป็นมิลลิเมตรตามตารางที่ 4.18

		ชั้นส่วนที่ 1	ชั้นส่วนที่ 2
Scale 1/		130	305
All Point		1120	1188
Automatic Marking Point		1111	1175
Control Point		9	13
Average Error	X	0.00012	0.000521
	Y	0.00030	0.000523
	Z	0.00026	0.000440
	Total Directions	0.000415	0.000859
Average Standard Deviation	X	0.00562	0.01670
	Y	0.00681	0.01623
	Z	0.00564	0.01491

ตารางที่ 4.18 ตารางแสดงความถูกต้องของแบบจำลองพื้นผิวชั้นส่วนรถยนต์

ชั้นส่วนที่สองเป็นชั้นส่วนฝากระโปรงด้านหน้าของรถยนต์ ขนาดตามแนวทแยงมุมประมาณ 1.85 เมตร ซึ่งเป็นชั้นส่วนขนาดใหญ่กว่าแบบจำลองพื้นผิวชั้นแรก มาตราส่วนภาพถ่ายเท่ากับ 1:305 ใช้จุดควบคุมในการประมวลผลหาค่าองค์ประกอบภายนอกจำนวน 13 จุดควบคุม จำนวนจุดรังวัดแบบอัตโนมัติเพื่อการสร้างพื้นผิวจำนวน 1175 จุด บนภาพถ่ายจำนวน 4 ภาพ และพิจารณาเลือกวิธีการสร้างพื้นผิวแบบอัตโนมัติทั้ง 3 วิธีได้ค่าของจำนวนพื้นผิวดังตารางที่ 4.19

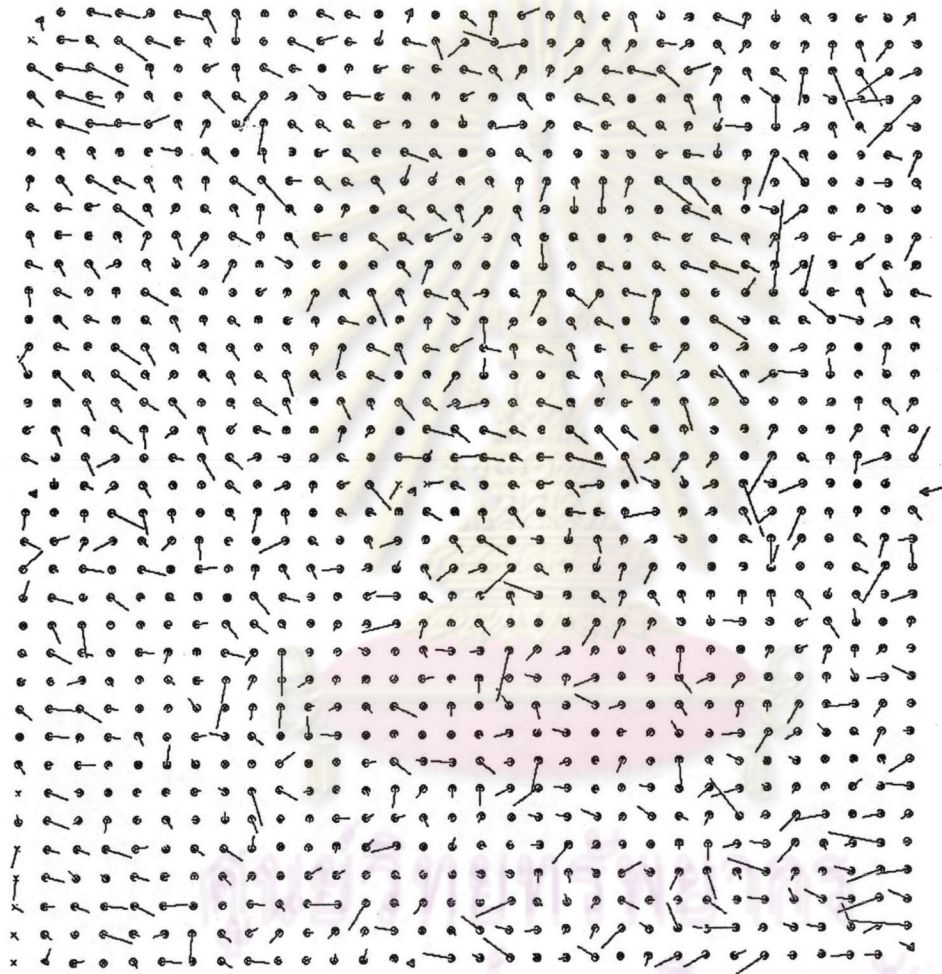
จากการเปรียบเทียบค่าพิกัดของจุดที่ใช้ในการสร้างพื้นผิวของแบบจำลองปรากฏว่าแบบจำลองพื้นผิวทั้ง 3 แบบจำลอง ใช้ค่าพิกัดของพื้นผิวซึ่งเกิดจากจุดที่รับวัตถุนภาพถ่ายชุดเดียวกันจึงไม่มีความแตกต่างกันทางตำแหน่งของจุด ลักษณะที่แตกต่างกันของพื้นผิวเกิดจากวิธีการกำหนดพื้นผิวแบบอัตโนมัติโดยตรง ซึ่งความแตกต่างของพื้นผิวด้วยวิธีทั้งสามขึ้นอยู่กับลักษณะของแบบจำลองที่ต้องการจำลองพื้นผิวดังนี้

- 2D Object Points เป็นวิธีที่กำหนดพื้นผิวแบบอัตโนมัติโดยพิจารณาเงื่อนไขค่าพิกัด 2 มิติบนภาพถ่าย เหมาะสมกับการจำลองพื้นผิวของวัตถุที่มีลักษณะเป็นแผ่นและต้องการแสดงพื้นผิวในส่วนด้านหน้า
- 2 ½ D Object Points เป็นวิธีที่กำหนดพื้นผิวแบบอัตโนมัติโดยพิจารณาเงื่อนไขค่าพิกัด 2 ½ มิติบนภาพถ่าย เหมาะสมกับการจำลองพื้นผิวของแผ่นโลหะหรือวัตถุที่แสดงพื้นผิวทั้งด้านหน้าและด้านหลัง
- 3D Convex Hull เป็นวิธีที่กำหนดพื้นผิวแบบอัตโนมัติโดยพิจารณาเงื่อนไขค่าพิกัด 3 มิติบนภาพถ่าย ให้ผลลัพธ์ของพื้นผิวเป็นกลุ่มก้อนซึ่งเหมาะสมกับแบบจำลองที่มีลักษณะเป็นรูปทรง

Method	Surface Elements	
	ชิ้นส่วนที่ 1	ชิ้นส่วนที่ 2
2D Object Points	2170	2362
2 ½ D Object Points	2170	2362
3D Convex Hull	2361	514

ตารางที่ 4.19 ตารางแสดงค่าจำนวนพื้นผิว

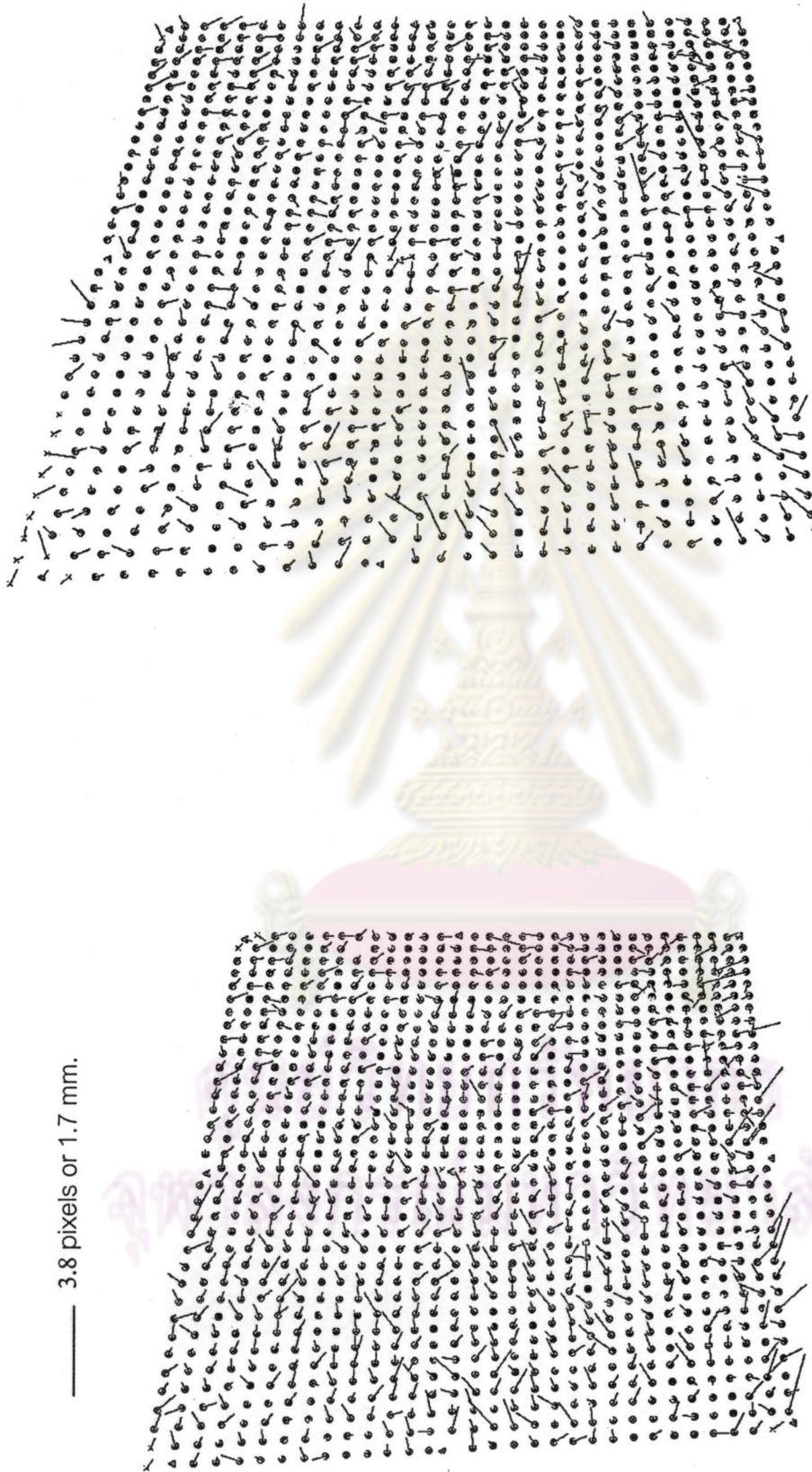
ความคลาดเคลื่อนของการกำหนดจุดแบบอัตโนมัติอยู่ในระดับร้อยละ 1 ของจำนวนจุดทั้งหมด ซึ่งในบริเวณที่ไม่สามารถกำหนดจุดรั้วแบบอัตโนมัติได้จะเป็นบริเวณที่ระดับของแสงเงาผิดเพี้ยนไปจากระดับปกติ มักเกิดจากการสะท้อนแสงของพื้นผิวมันและในส่วนริมของภาพที่ปริมาณแสงน้อยลง ซึ่งในบางกรณีจำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์ในการสะท้อนแสงเงาเพื่อปรับลดระดับของของความคลาดเคลื่อน แบบจำลองพื้นผิวของชิ้นส่วนที่สองแสดงความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองตามจุดรั้วขนาด 1 ต่อ 50 จุดภาพ ดังรูปภาพที่ 4.25-4.28 จากการวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองรถยนต์และชิ้นส่วนรถยนต์จากภาพถ่ายด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัล โคดัก ดีเอ็กซ์ 3900 ขยาย ลักษณะของความคลาดเคลื่อนกระจายอยู่โดยทั่วไปในแบบจำลองและไม่ปรากฏความคลาดเคลื่อนอย่างมีระบบในแบบจำลองด้วยภาพถ่ายดิจิทัล



— 3.8 pixels or 1.7 mm.

รูปภาพที่ 4.19 ภาพแสดงความคลาดเคลื่อนของภาพที่ 1 บนแบบจำลองพื้นผิวชั้นส่วนที่ 1

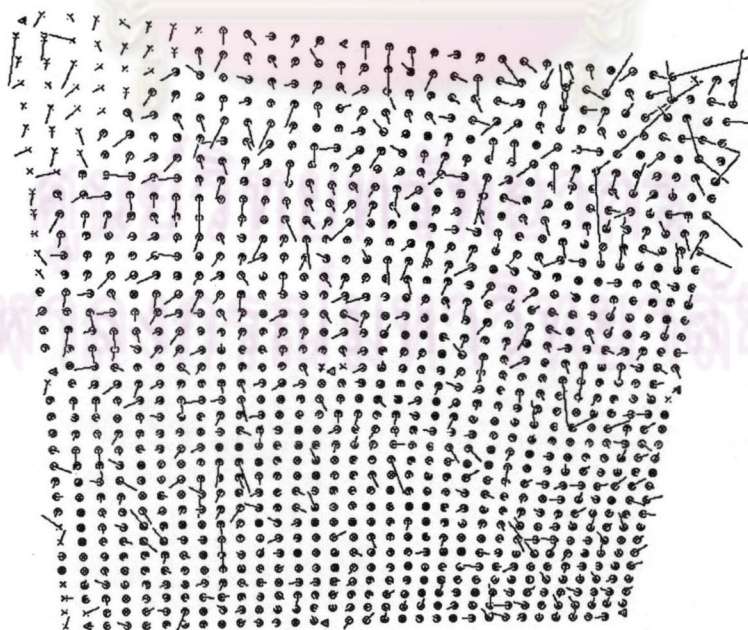
— 3.8 pixels or 1.7 mm.



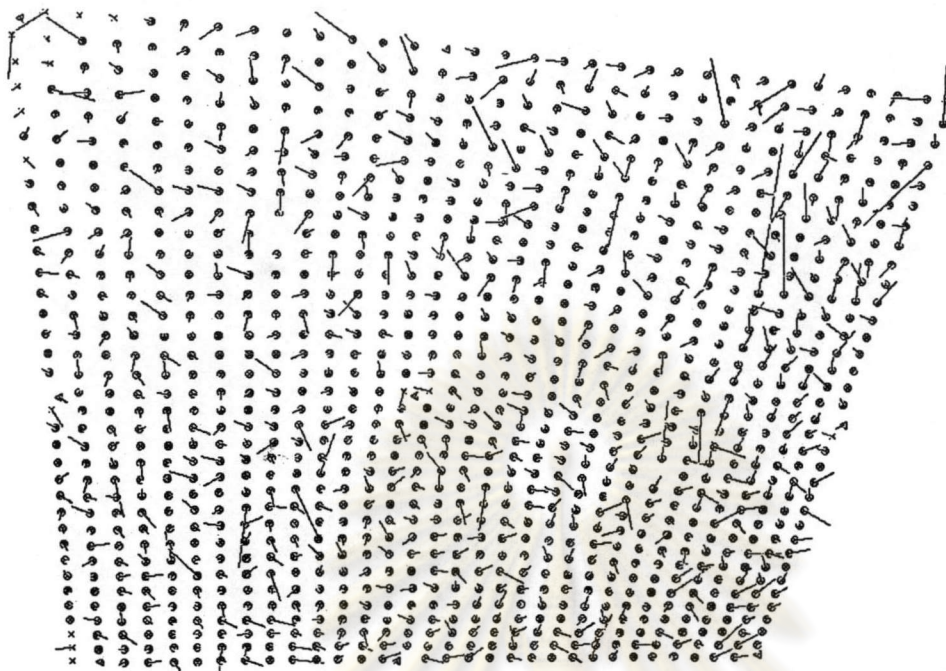
รูปภาพที่ 4.20 ภาพแสดงความคลาดเคลื่อนของภาพที่ 2 บนแบบจำลองพื้นผิวชั้นส่วนที่ 1

รูปภาพที่ 4.21 ภาพแสดงความคลาดเคลื่อนของภาพที่ 3 บนแบบจำลองพื้นผิวชั้นส่วนที่ 1

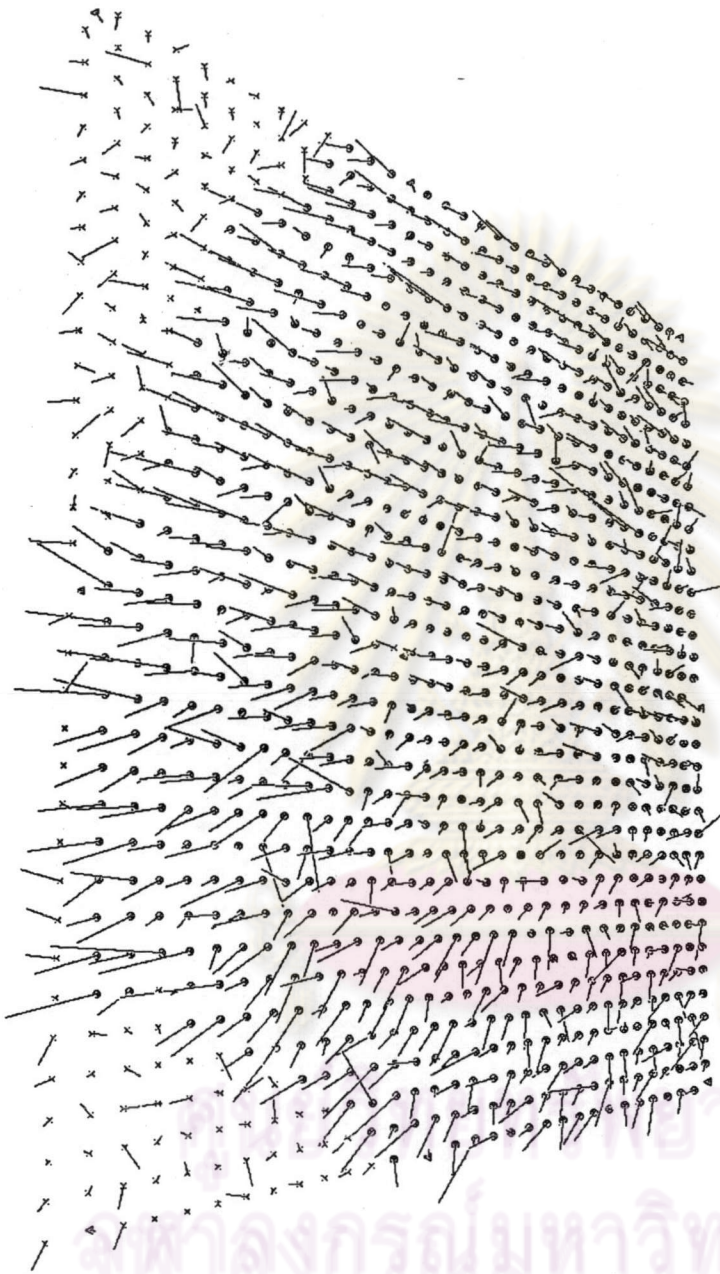
— 3.8 pixels or 1.7 mm.



รูปภาพที่ 4.22 ภาพแสดงความคลาดเคลื่อนของภาพที่ 4 บนแบบจำลองพื้นผิวชิ้นส่วนที่ 1

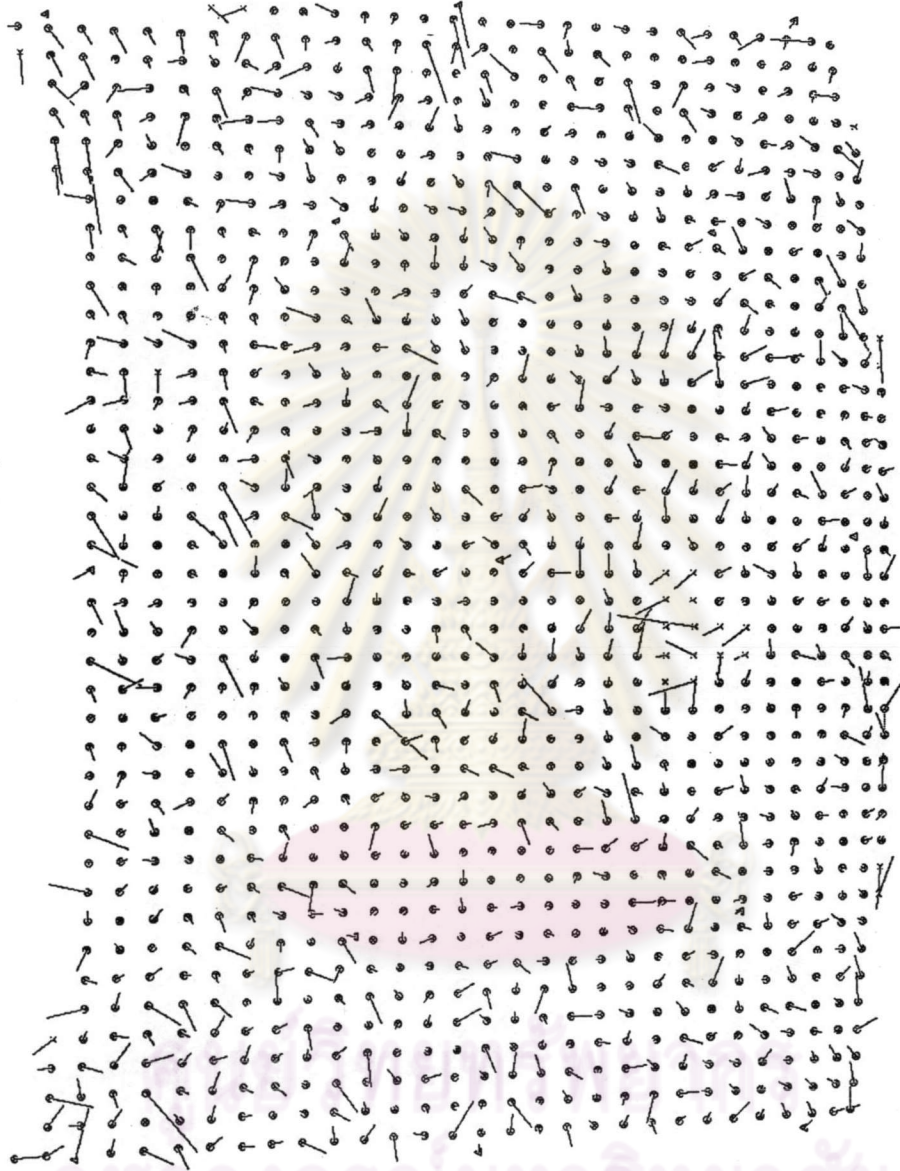


รูปภาพที่ 4.23 ภาพแสดงความคลาดเคลื่อนของภาพที่ 5 บนแบบจำลองพื้นผิวชิ้นส่วนที่ 1



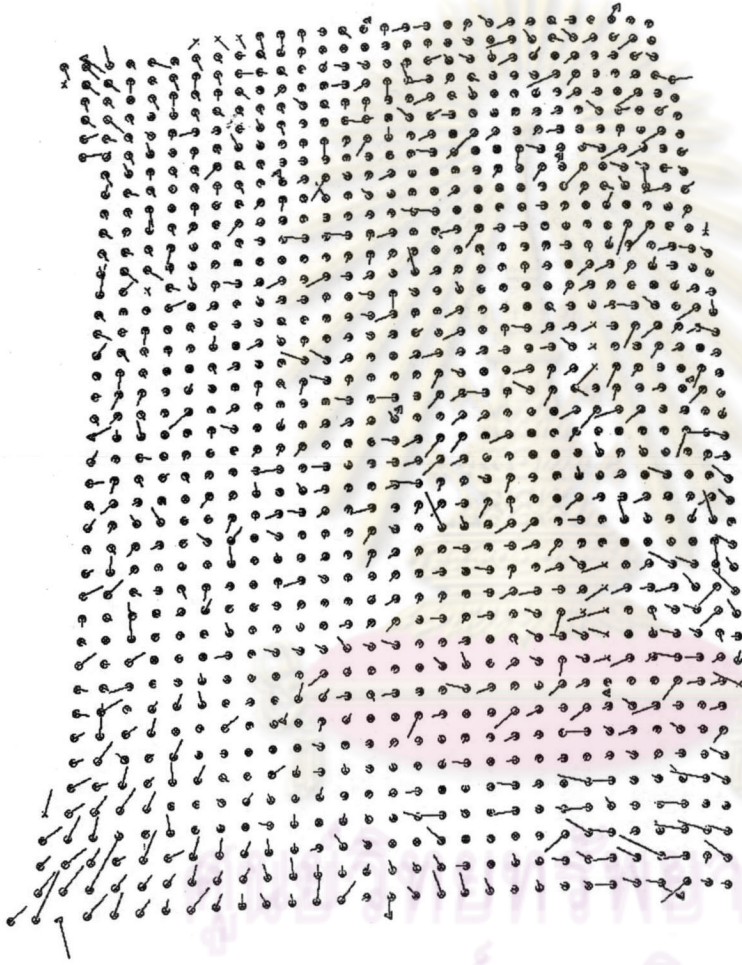
3.8 pixels or 1.7 mm.

รูปภาพที่ 4.24 ภาพแสดงความคลาดเคลื่อนของภาพที่ 6 บนแบบจำลองพื้นผิวชั้นส่วนที่ 1



4 pixels or 4.3 mm.

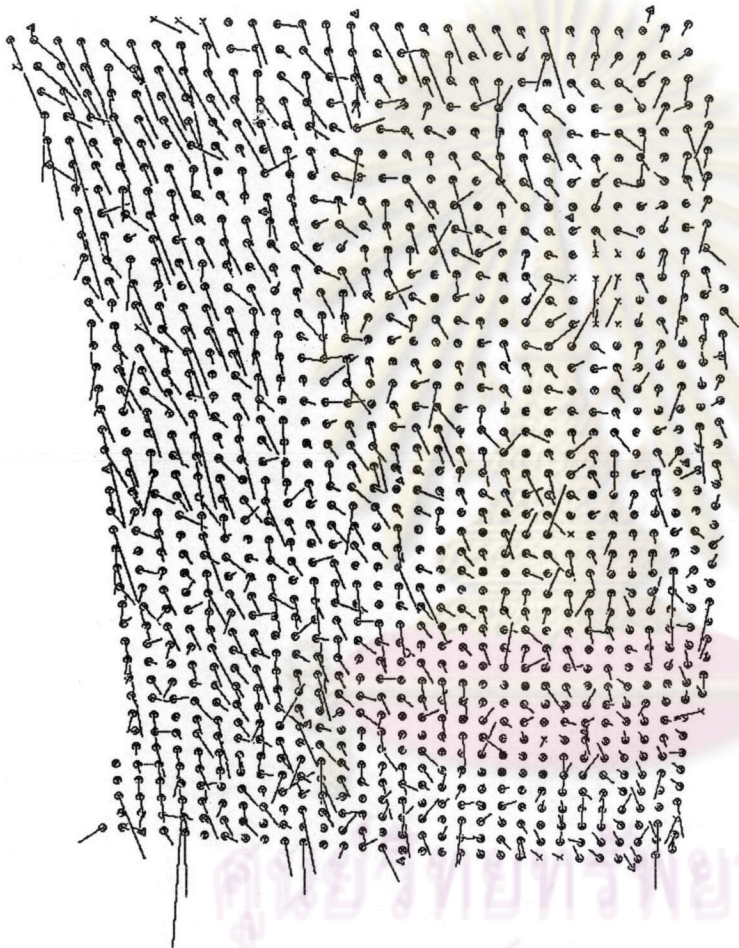
รูปภาพที่ 4.25 ภาพแสดงความสามารถเคลื่อนของภาพที่ 1 บนแบบจำลองพื้นผิวชิ้นส่วนรถยนต์



———— 4 pixels or 4.3 mm.

รูปภาพที่ 4.26 ภาพแสดงความคลาดเคลื่อนของภาพที่ 2 บนแบบจำลองพื้นผิวจินส่วนรถยนต์

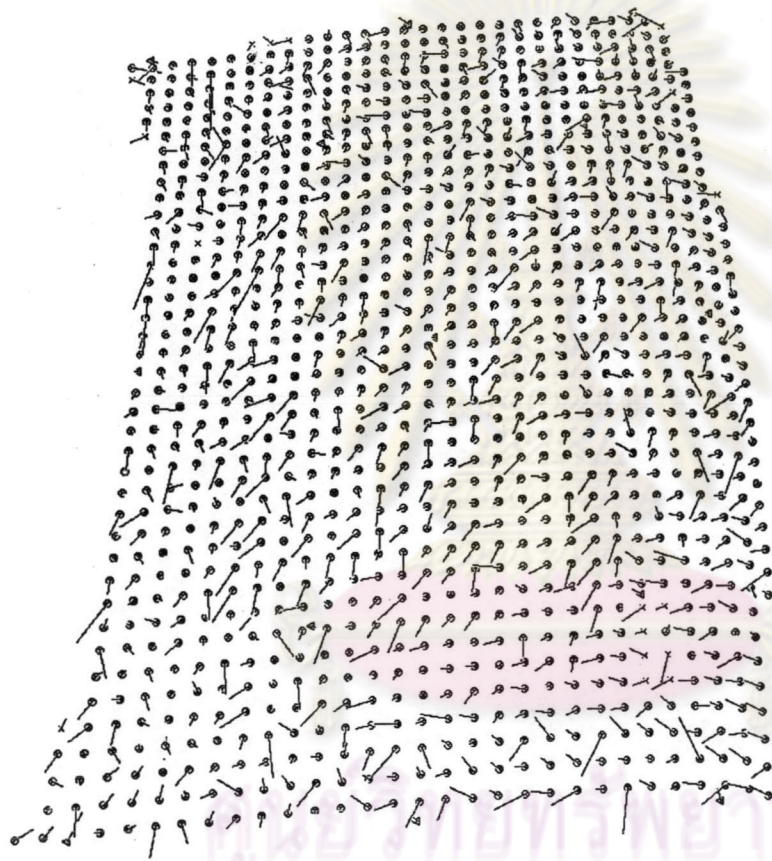
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



— 4 pixels or 4.3 mm.

รูปภาพที่ 4.27 ภาพแสดงความคลาดเคลื่อนของภาพที่ 3 บนแบบจำลองพื้นผิวชิ้นส่วนรถยนต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



— 4 pixels or 4.3 mm.

รูปภาพที่ 4.28 ภาพแสดงความคลาดเคลื่อนของภาพที่ 4 บนแบบจำลองพื้นผิวชิ้นส่วนรถยนต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย