บทที่ 6

ผลการใช้โปรแกรม

จากทฤษฎีคอมพิวเตอร์กราฟฟิก วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ และการพัฒนาขึ้นเองในส่วนของผู้วิจัย ได้นำมาประดิษฐ์โปรแกรม 2 โปรแกรมซึ่งมีขอบเขตการทำงานดังนี้

1. โปรแกรม PPROCESS

<u>นำเข้าข้อมูลพิกัดจากภาพ</u>

หาเส้นขอบเขตของวัตถุใด ๆ ในภาพ

ตัดเส้นขอบออกเป็นส่วนย่อย

<u>สร้างแบบจำลองปัญหาความร้อน</u>

แบ่งขอบเขตรูปร่างลักษณะของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย

กำหนดคุณสมบัติทางกายภาพ(สัมประสิทธิ์การนำความร้อน)ให้กับจุดต่อ

กำหนดเงื่อนไขขอบเขตให้กับจุดต่อ

การพาความร้อน

อุณหภูมิกำหนด

โปรแกรมมีขนาดของ source code ประมาณ 377,000 ไบต์ ขนาดของ.EXE 887,824 ไบต์

2. โปรแกรม FESOLVE

<u>คำนวณและแสดงผลอุณหภูมิที่จุดต่อต่าง ๆ</u>

โปรแกรมมีขนาดของไฟล์ 4,633 ไบต์ เขียนด้วยภาษา script ของ MATLAB

ขั้นตอนของการใช้โปรแกรม PPROCESS ซึ่งเป็นขั้นตอนของการนำเข้าข้อมูลพิกัดจากภาพและการสร้างแบบจำลองปัญหาความร้อนใช้เวลาประมาณ 2.5 นาที ส่วนการใช้โปรแกรม FESOLVE ในการวิเคราะห์อุณหภูมิ ณ จุดต่าง ๆ นั้นจะใช้เวลาขึ้นอยู่กับจำนวนการแบ่งเมชเวลาที่ใช้สำหรับโปรแกรม FESOLVE ได้แสดงไว้ในหัวข้อ <u>เวลาที่ใช้ในการคำนวณ</u> ของบทนี้ เวลาที่ใช้ในโปรแกรม PPROCESS และ FESOLVE คือเวลา<u>ทั้งหมด</u>ที่ใช้ในการวิเคราะห์อุณหภูมิโดยการนำเข้าข้อมูลพิกัดจากภาพ

<u>อุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาและทดสอบโปรแกรม</u>

หน่วยประมวลผล (CPU)	486DX2 - 66 MHz.
หน่วยความจำ	อย่างน้อย 12 Mbyte สำหรับการเขียนโปรแกรม
หน่วยแสดงผล	การ์ดแสดงผล Super VGA
	จอภาพ 15 นิ้ว (ใช้งานที่ความละเอียด 800 x 600 จุด)
ระบบปฏิบัติการ	MS-DOS* 6.21
สภาวะแวดล้อม	Microsoft Windows* 3.11 Thai Edition
ซอฟท์แวร์ที่ใช้พัฒนาโปรแกรม	Borland** C++ version 4.5
	MATLAB*** for Windows 4.2.c.1

---

* MS-DOS และ Windows เป็นเครื่องหมายการค้าของ Microsoft Corporation.

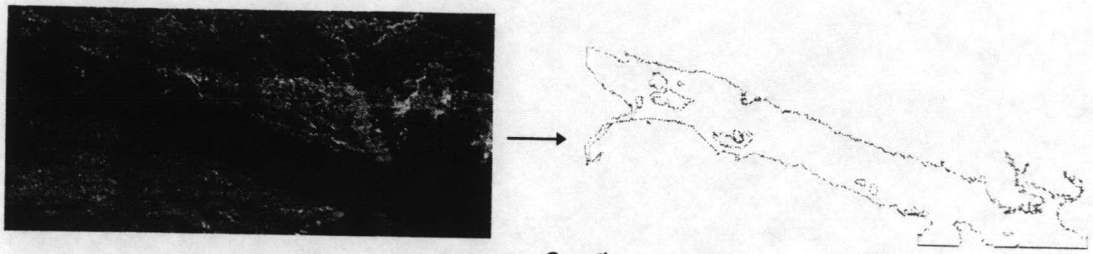
* Windows เป็นเครื่องหมายการค้าของ Microsoft Corporation.

** Borland เป็นเครื่องหมายการค้าของ Borland International Inc.

*** MATLAB เป็นเครื่องหมายการค้าของ MathWorks, Inc.

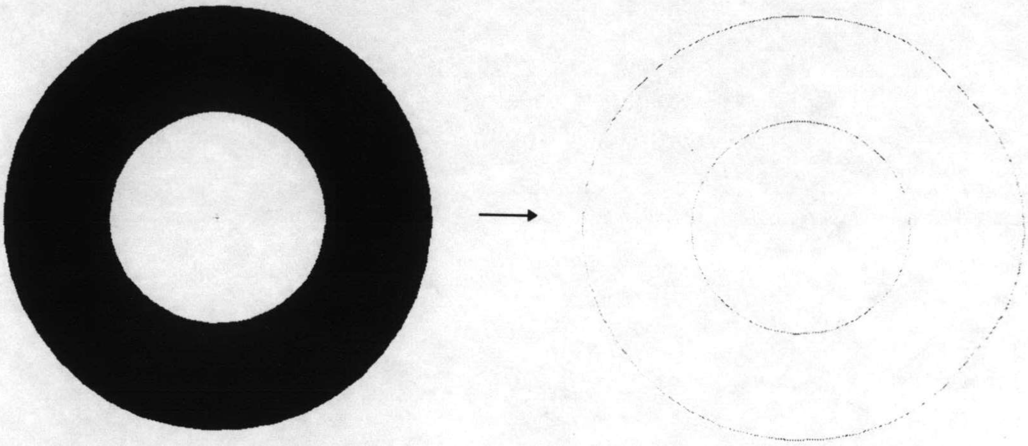
<u>การตรวจหาเส้นขอบจากภาพ</u>

504 x 233 จุด



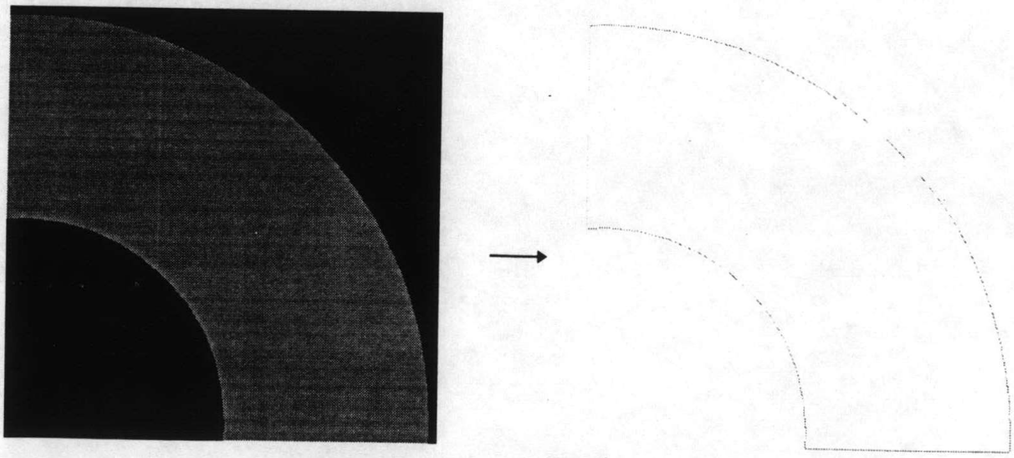
5.62 วินาที

470 x 460 จุด



4.32 วินาที

446 x 446 จุด

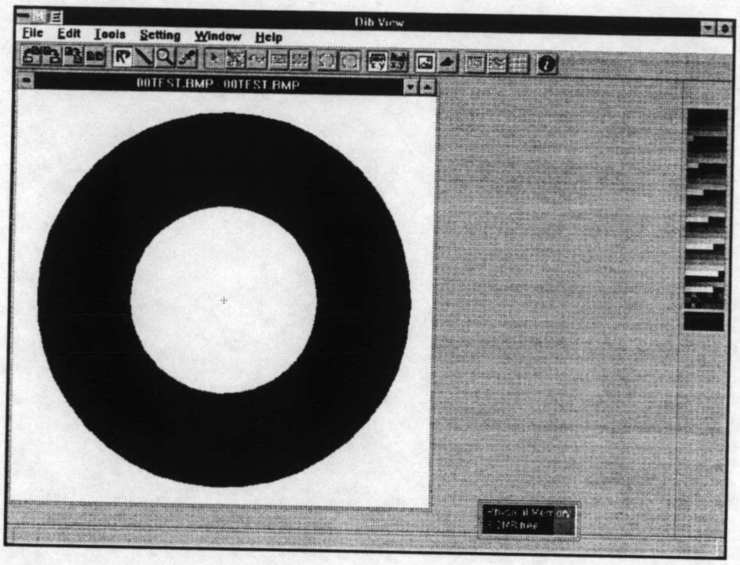


3.95 วินาที

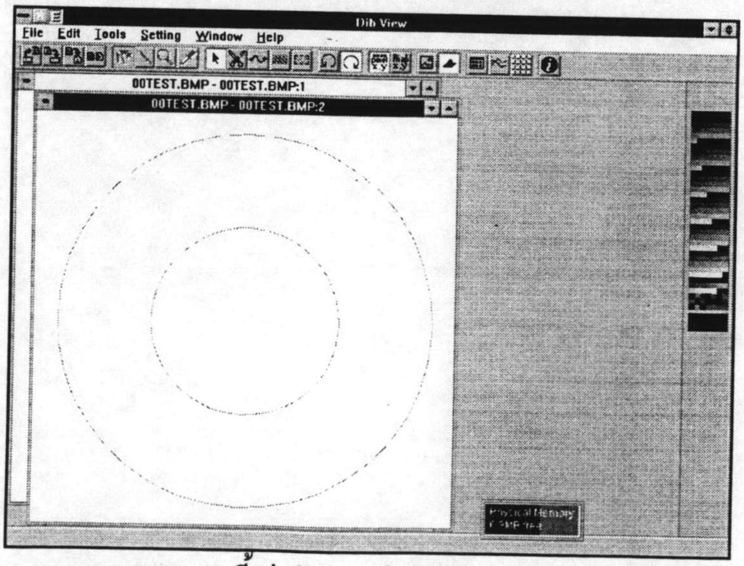
การใช้โปรแกรมกับปัญหาความร้อน

1. การนำเข้าข้อมูลพิกัดจากภาพ

1.1 การหาเส้นขอบเขตของวัตถุใด ๆ ในภาพ

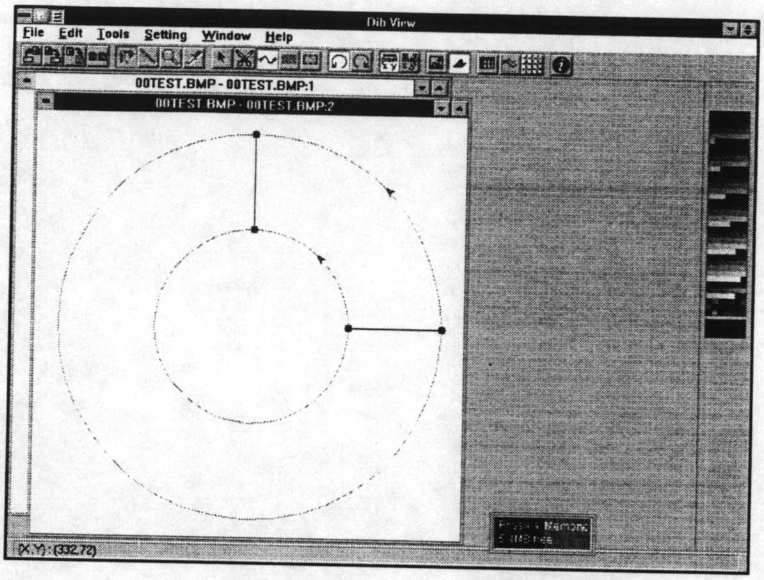


หลังจากที่ได้แฟ้มภาพที่ได้จากการสแกนด้วยเครื่องสแกนเนอร์แล้ว ใช้โปรแกรม PPROCESS เปิดแฟ้มภาพนั้น ภาพตัวอย่างมีขนาด(กว้าง x ยาว) 470 x 460 จุด แต่บริเวณที่ใช้ในการคำนวณในตัวอย่างนี้มีขนาด 210 x 210 จุดเท่านั้น หลังจากใช้ scan tool ที่ปรากฏในแถบเครื่องมือคลิก (click) ในพื้นที่ที่เป็นวัตถุที่จะทำการวิเคราะห์แล้ว โปรแกรมจะหาเส้นขอบเขตได้ดังนี้



เวลาในการสแกนหาขอบเขตของภาพนี้เท่ากับ 4.5 วินาที

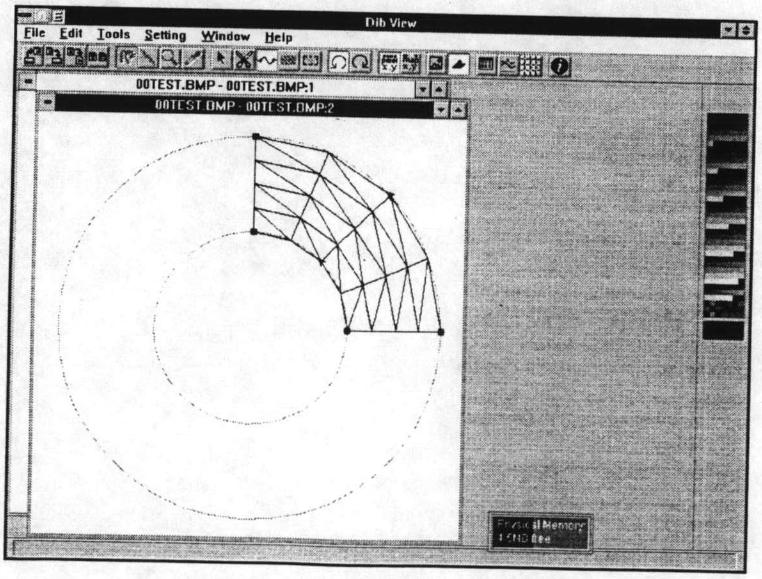
1.2 <u>การตัดเส้นขอบออกเป็นส่วนย่อย</u>



ตัดเส้นขอบโดยใช้ tailor tool ในบริเวณที่จะวิเคราะห์อุณหภูมิเพื่อให้ได้ส่วนย่อย 2 เส้น หลังจากนั้นใช้ spline tool สร้างเส้นโค้ง(ในที่นี้เป็นเส้นตรง)ปิดส่วนย่อยนั้นเพื่อให้ได้พื้นที่ปิด 4 ด้าน

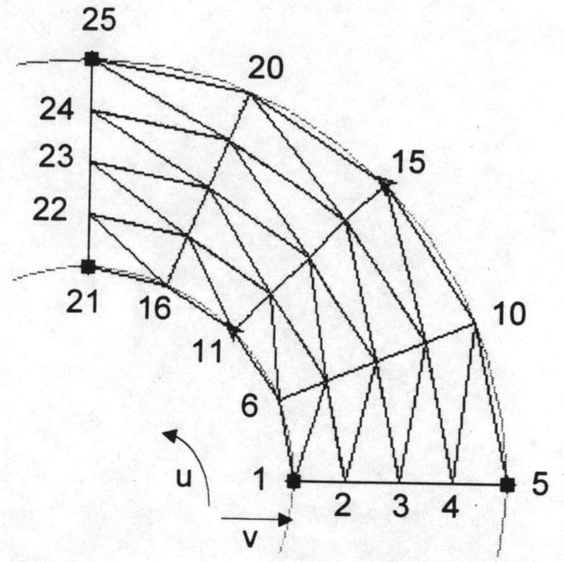
2. <u>การสร้างแบบจำลองปัญหาความร้อน</u>

2.1 <u>การแบ่งขอบเขตรูปร่างลักษณะของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย</u>

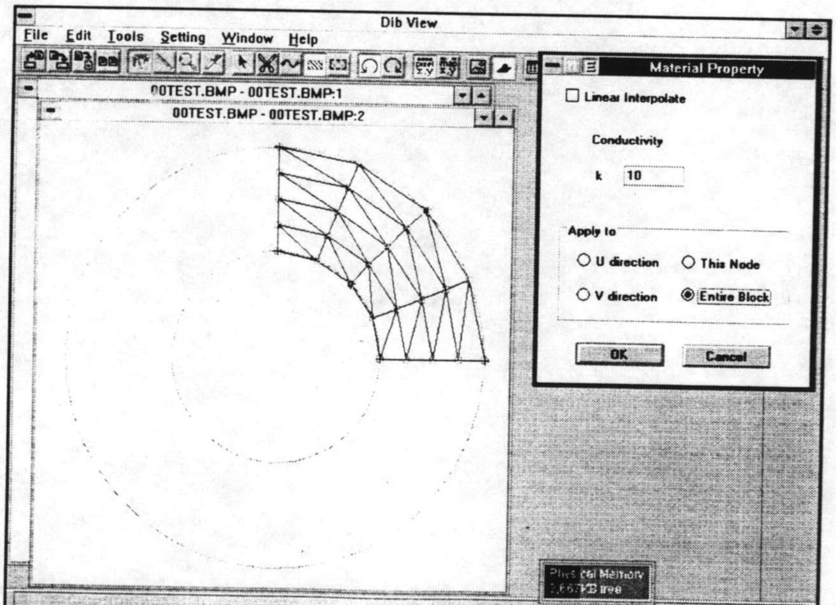


เมื่อกดปุ่ม discretize บนแถบเครื่องมือเพื่อแบ่งพื้นที่ออกเป็นเอลิเมนต์สามเหลี่ยม

การจัดเรียงจุดต่อเป็นดังนี้



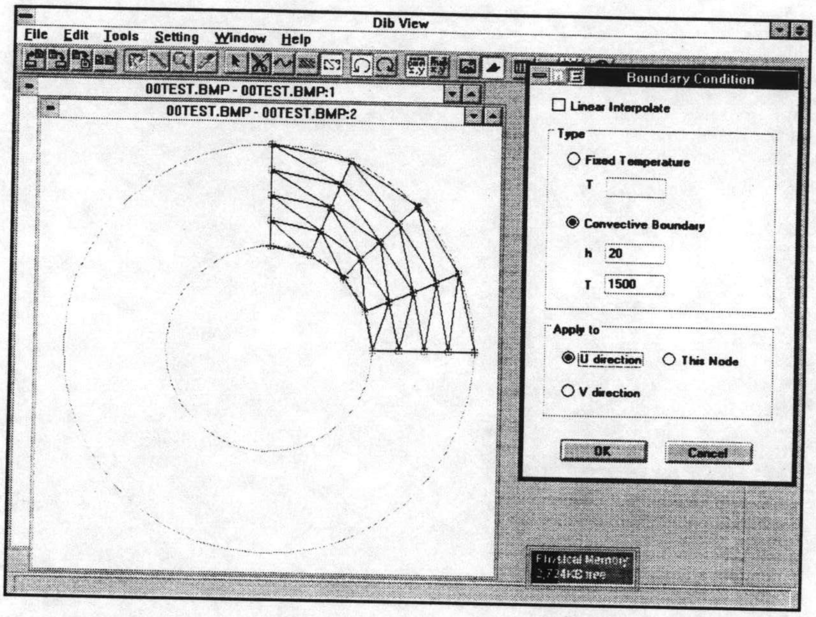
2.2 <u>การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนให้กับจุดต่อ</u>



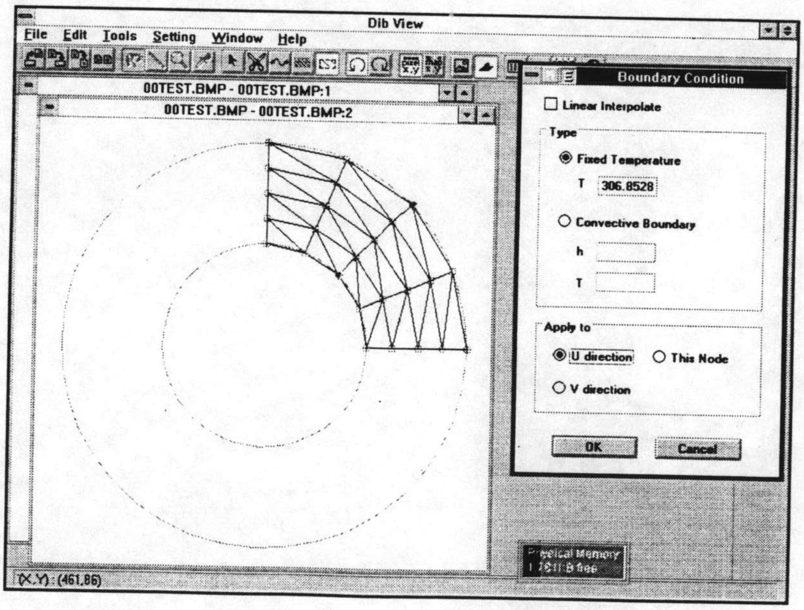
คลิกที่จุดต่อจุดใดจุดหนึ่ง โปรแกรมจะแสดง dialog box เพื่อให้ป้อนค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน k ใน radio button สามารถเลือกว่าจะให้ค่าที่ป้อนกับจุดต่อในทิศทางใด-U direction, V-direction จุดต่อที่ผู้ใช้เลือก-This Node หรือจุดต่อทุกจุด-Entire Block

2.3 <u>การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตให้กับจุดต่อ</u>

2.3.1 การพาความร้อน



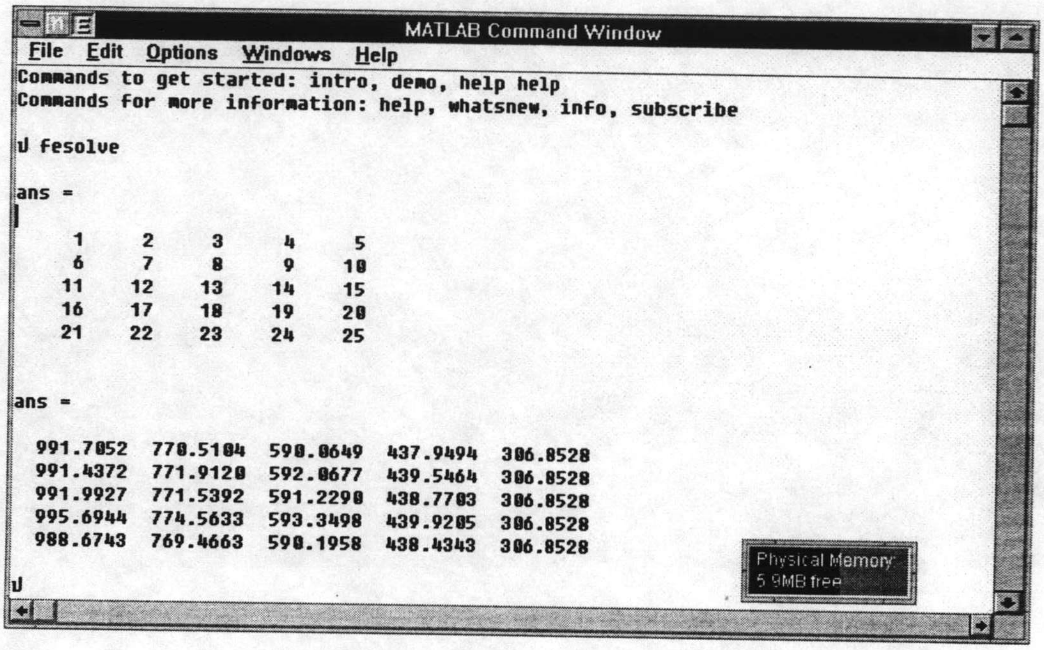
2.3.2 อุณหภูมิกำหนดคงที่



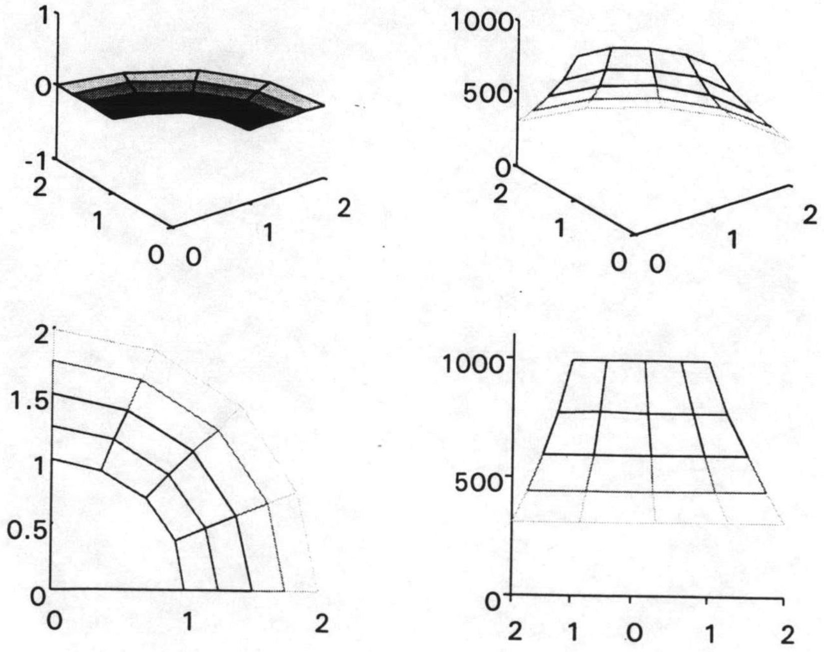
คลิกที่จุดต่อใด ๆ ที่เป็นขอบเขต โปรแกรมจะแสดง dialog box เพื่อให้ผู้ใช้เลือกชนิดและป้อนค่าสภาวะขอบเขต ในทำนองเดียวกับการป้อนค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อน ผู้ใช้สามารถเลือกว่าจะให้ใช้ค่าที่ป้อนนี้กับจุดต่อใด

3. <u>การคำนวณและแสดงผลอุณหภูมิ</u>

หลังจากที่ป้อนค่าต่าง ๆ ในแบบจำลองแล้ว ในโปรแกรม MATLAB ใช้คำสั่ง fesolve เพื่อคำนวณอุณหภูมิ ณ จุดต่อต่าง ๆ



แสดงผลอุณหภูมิด้วยกราฟ



4. การวิเคราะห์ค่าผิดพลาด

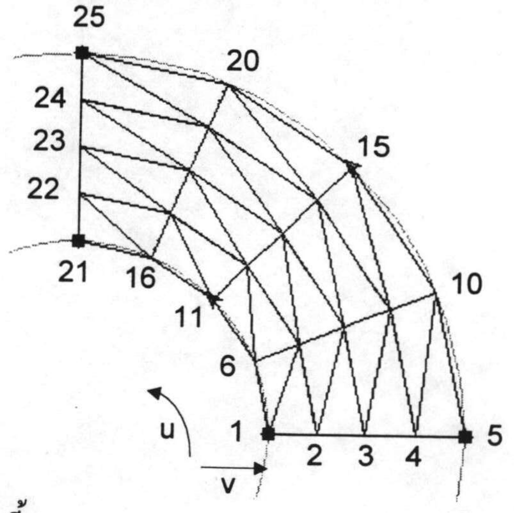
	node	Temperature (°F)	node	Temperature (°F)	node	Temperature (°F)	node	Temperature (°F)	node	Temperature (°F)
	1	991.7052	2	770.5104	3	590.0649	4	437.9494	5	306.8528
	6	991.4372	7	771.9120	8	592.0677	9	439.5464	10	306.8528
	11	991.9927	12	771.5392	13	591.2290	14	438.7703	15	306.8528
	16	995.6944	17	774.5633	18	593.3498	19	439.9205	20	306.8528
	21	988.6743	22	769.4663	23	590.1958	24	438.4343	25	306.8528
average		991.9008		771.5982		591.3814		438.9242		306.8528
S.D.		2.50		1.91		1.37		0.81		0.00
Analytical		1000.0000		776.8564		594.5349		440.3842		306.8528
% error		0.81		0.68		0.53		0.33		0.00

อิทธิพลของการแบ่งเมชต่อค่าผิดพลาด

ผู้วิจัยได้กำหนดสัญลักษณ์ทิศทางของการแบ่งเมชเพื่อความสะดวกในการกล่าวถึงในงานวิจัยต่อไป

u : เป็นทิศในแนวเส้นรอบวง

v : เป็นทิศในแนวรัศมี



ผู้วิจัยได้ทดลองแปรจำนวนเมชในทิศทาง u และ v ดังนี้

ทิศทาง u : 4, 5, 6 ... , 16

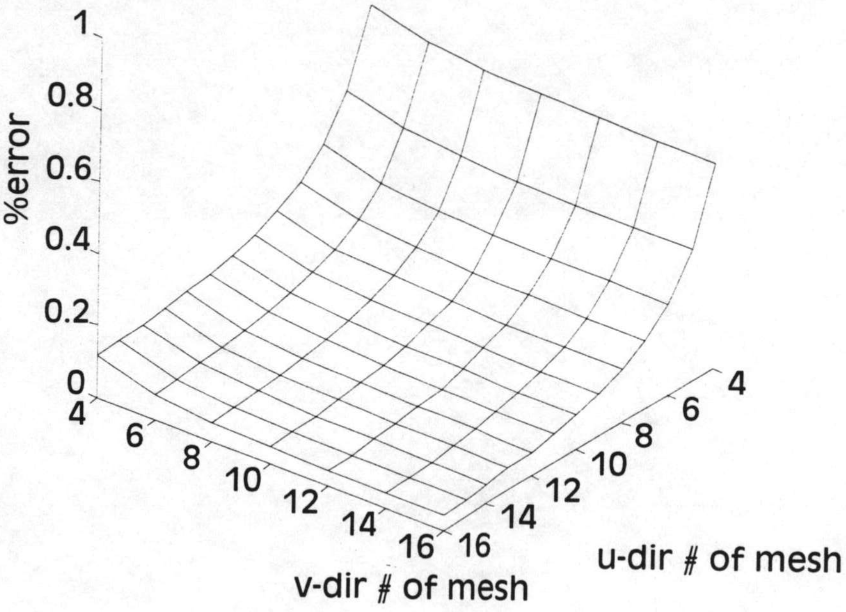
ทิศทาง v : 4, 6, 8 ... , 16

และใช้คู่ของจำนวนเมชในทิศทางทั้งสองดังกล่าวในการคำนวณและหาค่าผิดพลาดของอุณหภูมิ

1. <u>ค่าผิดพลาดคิดเป็นร้อยละเมื่อพิกัดเป็นค่าแม่นตรง</u>

Number of segments in		U-direction												
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
V-direction	4	0.645	0.441	0.330	0.264	0.221	0.191	0.171	0.155	0.143	0.134	0.126	0.121	0.116
	6	0.600	0.397	0.285	0.219	0.176	0.147	0.126	0.110	0.098	0.090	0.082	0.076	0.071
	8	0.584	0.381	0.270	0.203	0.161	0.131	0.110	0.095	0.082	0.074	0.066	0.060	0.055
	10	0.577	0.374	0.262	0.196	0.153	0.124	0.103	0.087	0.075	0.066	0.059	0.053	0.048
	12	0.573	0.370	0.258	0.192	0.149	0.120	0.099	0.083	0.071	0.062	0.055	0.049	0.044
	14	0.571	0.367	0.256	0.190	0.147	0.117	0.096	0.081	0.069	0.060	0.052	0.046	0.042
	16	0.569	0.366	0.254	0.188	0.145	0.116	0.095	0.079	0.067	0.059	0.051	0.045	0.040

แสดงด้วยกราฟได้ดังนี้

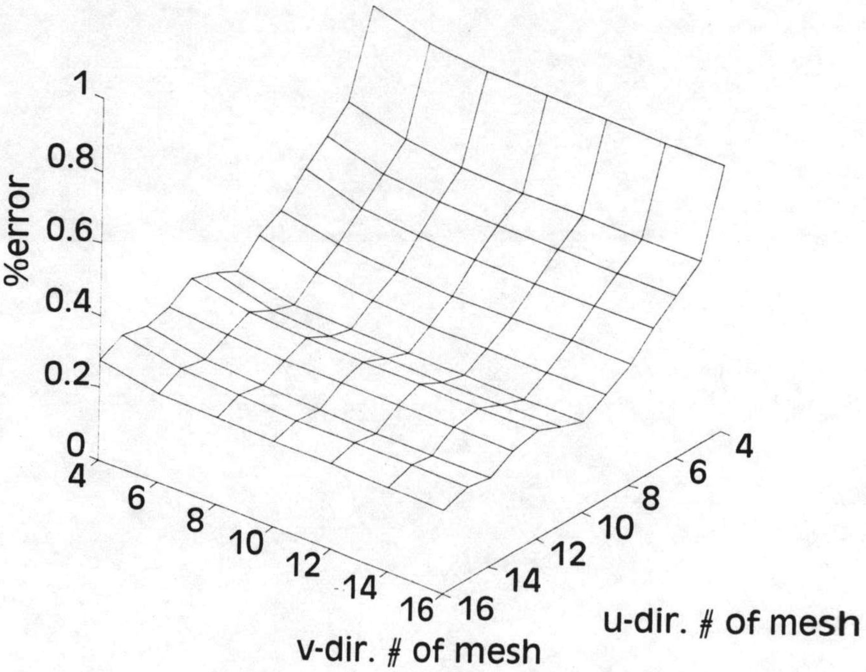


ค่าผิดพลาดลดลงเมื่อแบ่งเมชมากขึ้นทั้งในทิศของ u และ v การแบ่งเมชเพิ่มในทิศของ u มีผลทำให้ค่าผิดพลาดลดลงอย่างรวดเร็วแต่ในทิศของ v ค่าผิดพลาดจะลดลงอย่างช้า ๆ จากการสังเกตพบว่าลักษณะการลดลงของค่าผิดพลาดในทิศของ u คล้ายมีเป็นกำลังสอง เมื่อดูจากกราฟมีลักษณะราบเรียบต่อเนื่อง

2. <u>ค่าผิดพลาดคิดเป็นร้อยละเมื่อนำเข้าพิกัดจากภาพขนาด 210 จุด</u>

Number of segments in		U-direction 4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
V-direction	4	0.810	0.581	0.524	0.469	0.393	0.361	0.299	0.330	0.351	0.310	0.298	0.308	0.278
	6	0.765	0.536	0.480	0.425	0.359	0.316	0.268	0.289	0.321	0.293	0.264	0.274	0.246
	8	0.750	0.520	0.464	0.409	0.346	0.300	0.258	0.279	0.311	0.287	0.253	0.263	0.238
	10	0.742	0.513	0.457	0.402	0.341	0.293	0.255	0.276	0.306	0.284	0.248	0.257	0.234
	12	0.738	0.509	0.453	0.398	0.338	0.289	0.253	0.274	0.303	0.283	0.245	0.254	0.232
	14	0.736	0.507	0.450	0.395	0.336	0.287	0.252	0.273	0.302	0.282	0.243	0.253	0.231
	16	0.734	0.507	0.449	0.394	0.334	0.285	0.251	0.272	0.301	0.281	0.242	0.252	0.230

แสดงด้วยกราฟได้ดังนี้

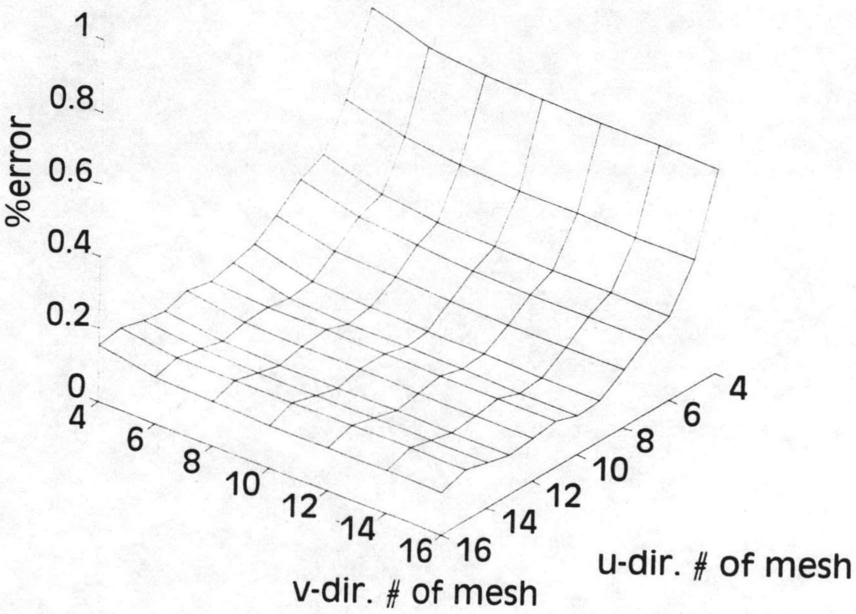


ค่าผิดพลาดลดลงเมื่อเพิ่มการแบ่งในแนวของ u และ v อัตราการลดของค่าผิดพลาดในแนว u มากกว่าในแนว v เมื่อเพิ่มการแบ่งในแนวของ u ไปประยะหนึ่งจะพบการแกว่งของค่าผิดพลาด และค่าผิดพลาดจะคงที่ไม่ลดลงอีก ในแนวของ v ไม่พบปรากฏการณ์เช่นนี้

3. <u>ค่าผิดพลาดคิดเป็นร้อยละเมื่อนำเข้าพิกัดจากภาพขนาด 420 จุด</u>

Number of segments in		U-direction												
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
V-direction	4	0.642	0.427	0.308	0.279	0.215	0.174	0.158	0.143	0.154	0.137	0.148	0.163	0.154
	6	0.597	0.382	0.263	0.234	0.181	0.134	0.120	0.133	0.131	0.114	0.132	0.145	0.128
	8	0.581	0.366	0.247	0.218	0.169	0.122	0.114	0.131	0.125	0.110	0.128	0.144	0.122
	10	0.573	0.359	0.240	0.211	0.163	0.116	0.111	0.130	0.122	0.110	0.127	0.143	0.119
	12	0.569	0.355	0.236	0.207	0.160	0.114	0.109	0.129	0.121	0.110	0.126	0.143	0.118
	14	0.567	0.353	0.233	0.204	0.158	0.113	0.108	0.129	0.120	0.110	0.126	0.142	0.117
	16	0.565	0.353	0.232	0.203	0.157	0.112	0.107	0.128	0.120	0.110	0.125	0.142	0.117

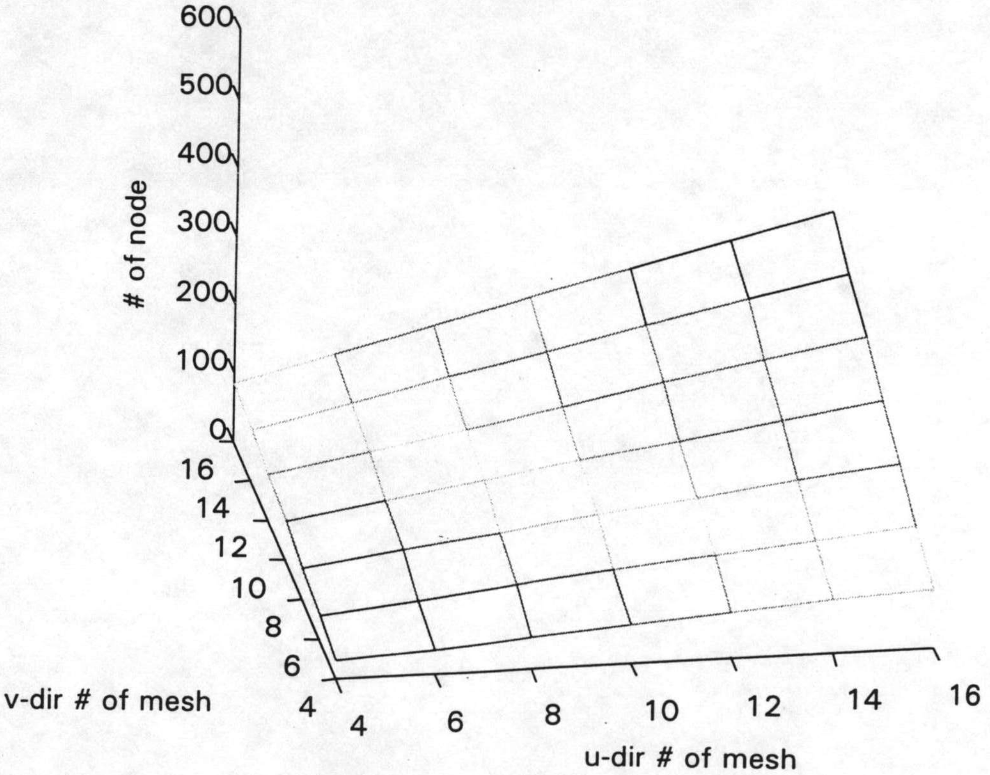
แสดงด้วยกราฟได้ดังนี้



การลดลงของค่าผิดพลาดในแนว u ลดลงเร็วกว่าในแนว v เมื่อแบ่งเมชในแนว u เพิ่มขึ้นระยะหนึ่งจะมีการแกว่งของค่าผิดพลาดและค่าผิดพลาดจะคงที่ แต่การแกว่งจะน้อยกว่ากรณีการนำเข้าพิกัดจากภาพ 210 จุด กราฟในช่วงต้นใกล้เคียงกับกรณีพิกัดแม่นตรง

<u>จำนวนจุดต่อ</u>

Number of segments in		U-direction						
		4	6	8	10	12	14	16
V-direction	4	25	35	45	55	65	75	85
	6	35	49	63	77	91	105	119
	8	45	63	81	99	117	135	153
	10	55	77	99	121	143	165	187
	12	65	91	117	143	169	195	221
	14	75	105	135	165	195	225	255
	16	85	119	153	187	221	255	289



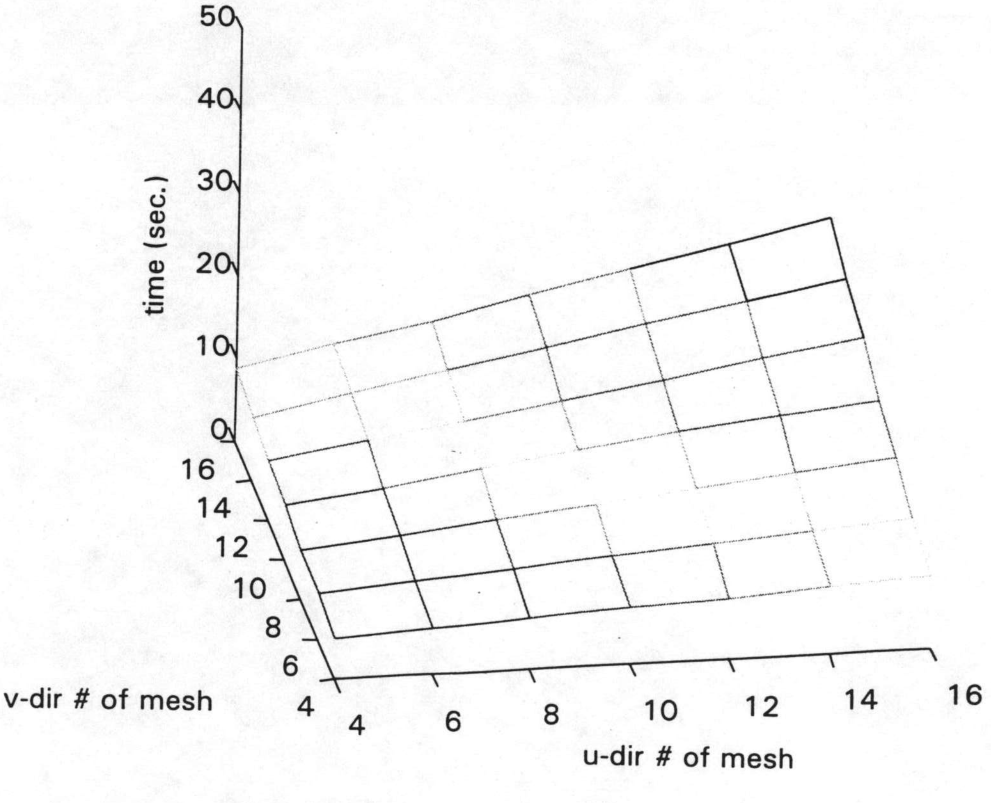
จำนวนจุดต่อเพิ่มขึ้นตามการแบ่งเมชทั้งในแนว u และ v ซึ่งมีสูตรดังนี้

จำนวนจุดต่อ = (จำนวนเมชในแนว u + 1) X (จำนวนเมชในแนว v + 1)

<u>เวลาที่ใช้ในการคำนวณ</u>

Number of segments in		U-direction						
		4	6	8	10	12	14	16
V-direction	4	4.920	5.410	6.110	6.880	7.300	8.070	8.760
	6	5.480	6.330	7.260	8.210	9.070	9.950	10.890
	8	5.960	7.180	8.390	9.570	11.000	12.320	13.430
	10	6.590	8.050	9.850	11.440	12.930	14.440	15.640
	12	7.260	8.980	10.82	12.620	14.440	16.400	18.410
	14	7.710	9.890	12.18	14.3	16.490	18.600	20.820
	16	8.840	11.020	13.200	15.770	18.320	20.760	23.210

* หน่วยของตัวเลขในตารางคือวินาที



เวลาที่ใช้ในการคำนวณจะเพิ่มขึ้นเมื่อแบ่งเมชเพิ่มขึ้น ทั้งในแนว u และ v มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ทั้งในแนวของ u และ v หรือมีลักษณะเป็นระนาบ เวลาที่ใช้ในการคำนวณเมื่อแบ่งเมชจำนวน 4 x 4 เท่ากับ 4.92 วินาที และใช้เวลา 23.21 วินาทีเมื่อแบ่งเมชเป็นจำนวน 16 x 16

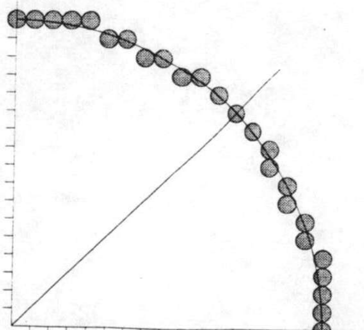
<u>อภิปรายผล</u>

1. การนำเข้าข้อมูลพิกัดด้วยภาพมีความเร็วในการทำงานสูง มีการทำงานที่เชื่อถือได้ สามารถลดความเหนื่อยล้าจากการทำงานซ้ำ ๆ จึงสามารถใช้แทนการนำเข้าข้อมูลพิกัดด้วยเครื่องดิจิไทเซอร์ในกรณีที่ไม่ได้ต้องการความเที่ยงตรงแม่นยำสูงมากนัก เช่น การนำข้อมูลเข้าจากแผนที่

2. การสร้างแบบจำลองด้วยตัวประมวลผลขั้นต้นของวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์มีความจำเป็นมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรูปร่างปัญหามีความซับซ้อนหรือต้องการศึกษาการปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เนื่องจากสามารถช่วยลดเวลาและข้อผิดพลาดในการเตรียมข้อมูลเพื่อใช้กับโปรแกรมวิเคราะห์ได้เป็นอย่างมาก โปรแกรมที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นสามารถสร้างแบบจำลองได้ในเวลา 3 นาที ซึ่งหากสร้างข้อมูลด้วยมือแล้วอาจใช้เวลาถึง 2 วันเมื่อมีสร้างเมชที่มีความหนาแน่นสูง

3. การเพิ่มจำนวนเมชในแนว u ทำให้ค่าผิดพลาดลงเร็วกว่าในแนว v นั้นเนื่องจากการเพิ่มการแบ่งในแนว u ทำให้เอลิเมนต์มีความใกล้เคียงกับรูปร่างโดเมนของปัญหาเพิ่มขึ้น แต่การแบ่งเมชเพิ่มในแนว v ไม่ได้มีส่วนช่วยในเรื่องนี้อีกทั้งการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแนวรัศมีก็เป็นไปอย่างต่อเนื่องช้า ๆ ดังนั้นเมื่อแบ่งเมชเพิ่มในแนว v จึงมิได้ปรับปรุงความแม่นยำของผลเฉลยอย่างมีนัยสำคัญ การแบ่งเมชเพิ่มในบริเวณที่ถูกต้องจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มความแม่นยำของผลเฉลย

4. การที่ค่าผิดพลาดในการคำนวณของแบบจำลองที่นำเข้าข้อมูลพิกัดจากภาพมีความไม่สม่ำเสมอเมื่อแบ่งเมชมากขึ้นเนื่องจากเส้นขอบเขตมีลักษณะเป็นขั้น ๆ ไม่ต่อเนื่องสม่ำเสมอ เมื่อแบ่งเมชมากขึ้นถึงระดับหนึ่งลักษณะที่ไม่สม่ำเสมอเช่นนี้จะมีผลต่อข้อมูลพิกัดซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการคำนวณด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์มากขึ้น จึงทำให้ผลเฉลยแกว่งในช่วงของการแบ่งเมชมาก ๆ แบบจำลองที่ใช้พิกัดแม่นสร้างจากฟังก์ชั่นตรีโกณมิติ sine และ cosine ซึ่งให้พิกัดของเอลิเมนต์ที่มีต่อเนื่องสม่ำเสมอจึงไม่เกิดปัญหาดังกล่าว ลักษณะดังกล่าวแสดงในรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 6.1 ลักษณะของความไม่ต่อเนื่องของพิกัดที่นำเข้าจากภาพ

5. ผลการคำนวณที่ได้จากแบบจำลองที่นำเข้าพิกัดนำเข้าจากภาพมีค่าผิดพลาดน้อยกว่าร้อยละ 1 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้สำหรับงานวิศวกรรม เนื่องจากเทคนิควิธีการนำเข้าข้อมูลพิกัดจากภาพนี้ใช้ได้กับปัญหารูปร่างลักษณะซับซ้อนและทำงานได้อย่างรวดเร็วจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการประเมินขั้นต้นอย่างรวดเร็ว

6. การนำเข้าข้อมูลพิกัดจากภาพเพื่อใช้ร่วมกับการคำนวณด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถใช้ได้ดีเมื่อภาพมีความละเอียดสูงหรือเมื่อเมชไม่มาก ผลลัพธ์ที่ได้ใกล้เคียงกับการใช้จุดพิกัดจาก CAD หรือการนำเข้าจุดพิกัดด้วยเครื่องดิจิไทซ์เซอร์ อย่างไรก็ตามเนื่องจากนำเข้าข้อมูลพิกัดจากภาพซึ่งมีลักษณะแบนราบจึงใช้ได้กับปัญหาสองมิติเท่านั้น