

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง (Pentium II)
2. โปรแกรม AutoCAD สำหรับการเขียน model ที่จะใช้ในการวิเคราะห์ Finite Element Analysis
3. โปรแกรม COSMOS/M สำหรับคำนวณ Finite Element Analysis
4. โปรแกรม ISPUD Version 3 สำหรับคำนวณหาค่าความน่าเชื่อถือของโครงสร้าง
5. โปรแกรม FORTRAN 77 Lahay Compiler สำหรับคอมไพล์ Limit State Function เพื่อนำไปใช้กับโปรแกรม ISPUD

วิธีการ

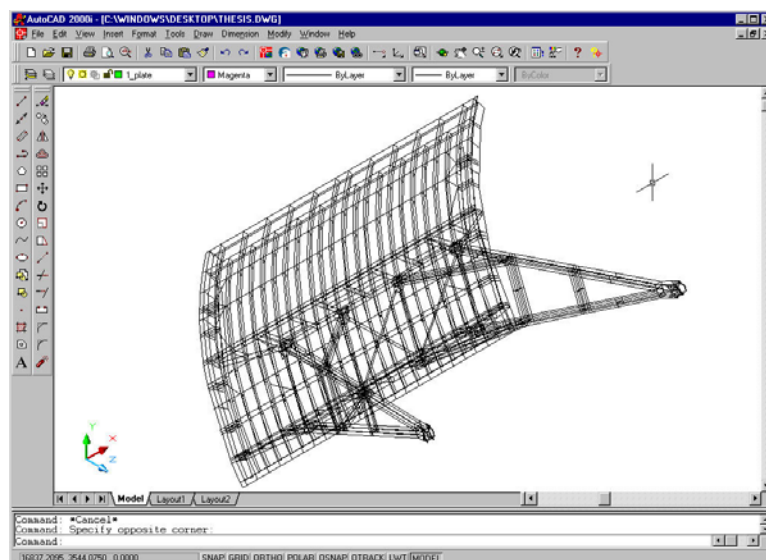
1. การรวบรวมข้อมูล

- 1.1 ข้อมูลรายละเอียดโดยทั่วไปของโครงการเขื่อนป่าสัก
- 1.2 ข้อมูลเกี่ยวกับขนาด รูปทรง และตำแหน่ง ของวัสดุต่างๆ รวมทั้งข้อมูลภูมิประเทศ ข้อมูลเหล่านี้รวบรวมได้จากแบบแสดงรายละเอียดของบานประตูระบายน้ำล้นและแบบแสดงรายละเอียดของอาคารระบายน้ำล้น ซึ่งออกแบบและแก้ไขโดยกรมชลประทาน
- 1.3 คุณสมบัติของวัสดุ เป็นข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกายภาพทางวิศวกรรมและทางสถิติของเหล็กgrupพรรณ

2. ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง

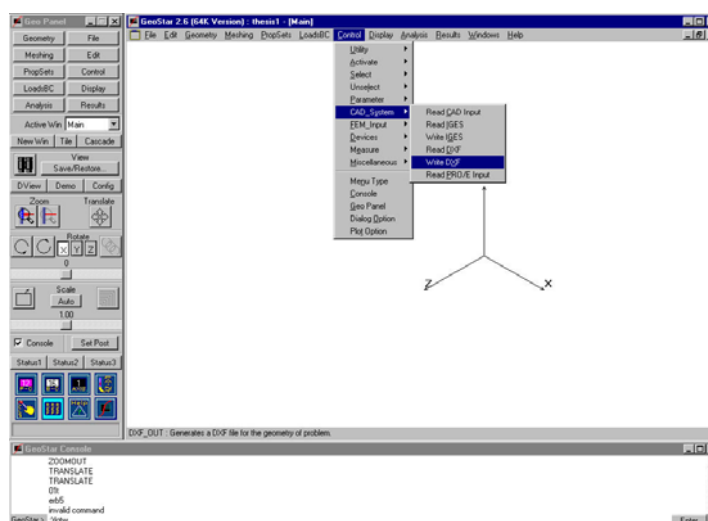
ในการสร้างแบบจำลองของบานประตูระบายน้ำเป็นการสร้างตามแบบแสดงรายละเอียดที่ใช้ในการก่อสร้างของบานประตูระบายน้ำเขื่อนป่าสักซึ่งโดยรายละเอียดของเหล็กที่ใช้เป็นไปตามมาตรฐานของ JIS G3101 SS400 ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับโครงสร้างเหล็กทั่วไป ค่าพารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ประกอบไปด้วยค่าโมดูลัสความเค้น และอัตราส่วนปัวซองซึ่งมีค่าเท่ากับ $0.8E+06$ กก/ตร.ซม. และ 0.3 ตามลำดับ ในส่วนการสร้างแบบจำลองของบานประตูพิจารณาตัว

แทนของบานประตูเพียง 1 บานเท่านั้นโดยใช้โปรแกรม AutoCAD เป็นตัวดำเนินการขั้นเริ่มต้นในการเขียนแบบจำลองแบบ 3 มิติ ดังแสดงในภาพที่ 12



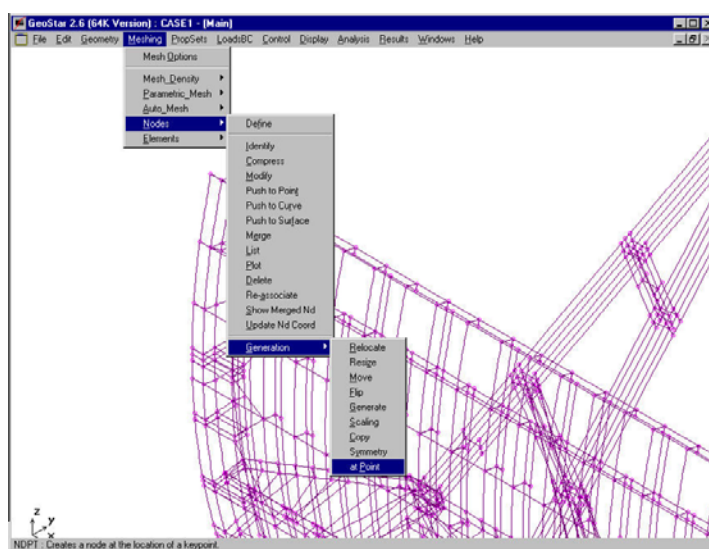
ภาพที่ 12 แบบจำลองของบานประตูระบายน้ำที่สร้างจากโปรแกรม AutoCAD

เมื่อสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม AutoCAD แล้ว จึงทำการบันทึกข้อมูล โดยทำการบันทึกในรูปแบบของไฟล์ DXF เพื่อสามารถทำการนำเข้าแบบจำลองสู่โปรแกรม COSMOS/M ซึ่งขั้นตอนในการนำเข้าไฟล์ DXF แสดงในภาพที่ 13



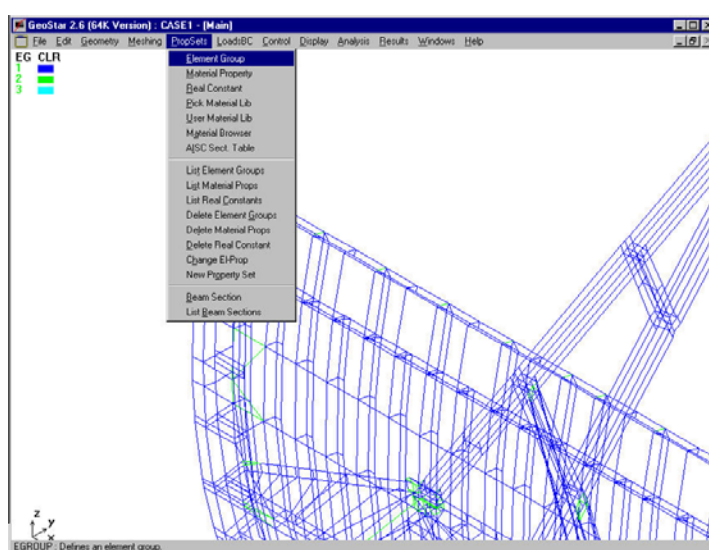
ภาพที่ 13 การนำเข้าไฟล์ DXF สู่โปรแกรม COSMOS/M

หลังจากนำเข้าแบบจำลองสู่โปรแกรม COSMOS/M แล้วจะปรากฏโครงร่างของแบบจำลองซึ่งต่อจากนี้จำเป็นต้องทำการสร้าง Node ให้กับแบบจำลอง โดยสร้างตาม Point ที่ปรากฏในโครงร่าง ขั้นตอนการสร้าง Node แสดงในภาพที่ 14



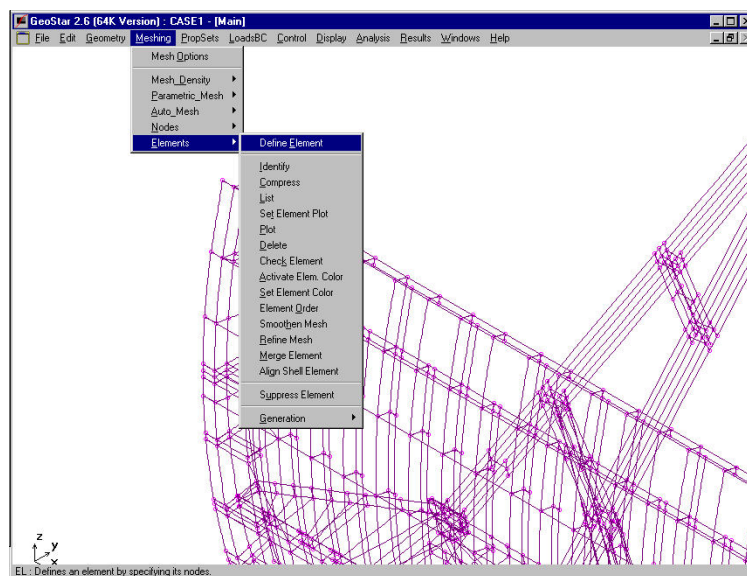
ภาพที่ 14 การสร้าง Node ในโปรแกรม COSMOS/M

เมื่อกำหนด Node แล้ว จึงทำการกำหนดค่า Element Group, Material Property และค่า Real Constant ให้กับแบบจำลอง ดังแสดงในภาพที่ 15



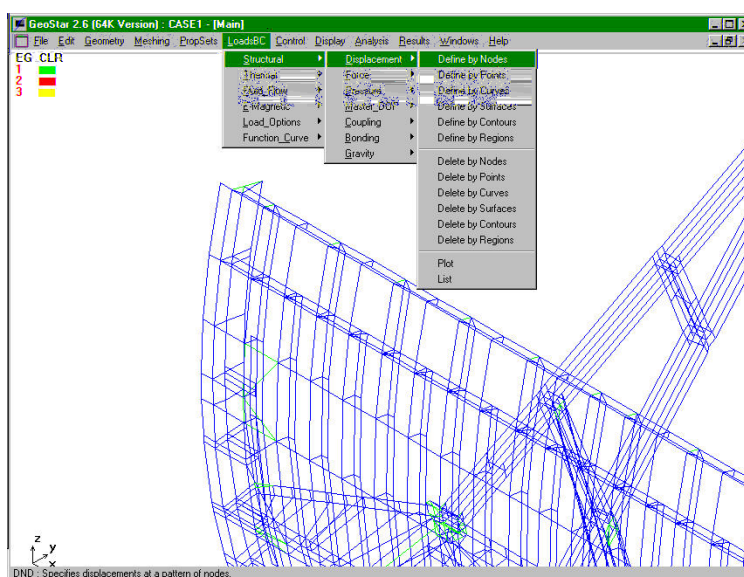
ภาพที่ 15 การกำหนดค่าคุณสมบัติต่างๆของแบบจำลองในโปรแกรม COSMOS/M

เมื่อกำหนดคุณสมบัติต่างๆของแบบจำลองครบแล้วจึงทำการสร้างเอลิเมนต์ตามโครงร่าง และตาม Node ที่ได้สร้างขึ้นดังแสดงในภาพที่ 16



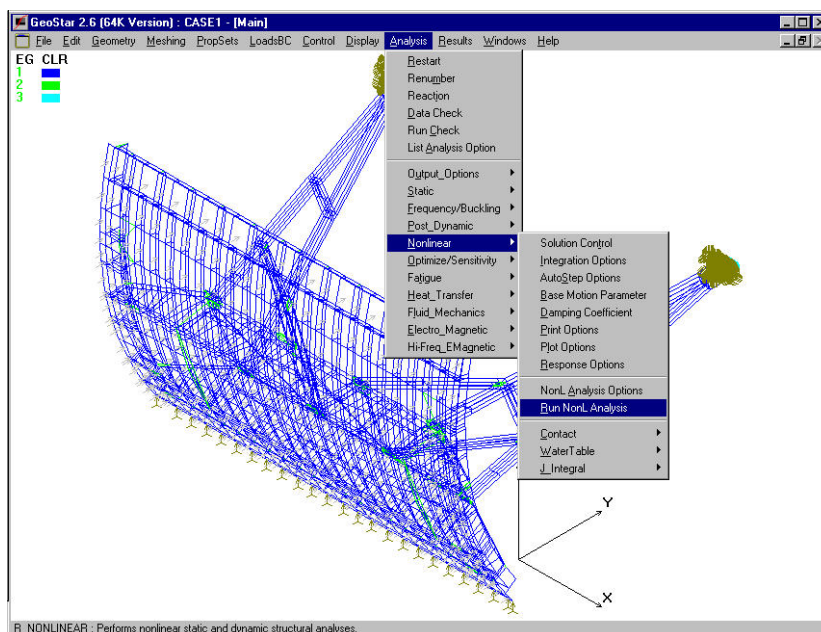
ภาพที่ 16 การสร้างเอลิเมนต์ของแบบจำลองในโปรแกรม COSMOS/M

เมื่อสร้างเอลิเมนต์แล้วขั้นตอนต่อมาคือการกำหนด Boundary condition และการกำหนด รูปแบบของ Load ที่กระทำต่อแบบจำลองดังแสดงในภาพที่ 17



ภาพที่ 17 การกำหนด Load และ Boundary condition ในโปรแกรม COSMOS/M

เมื่อสร้างแบบจำลอง กำหนดคุณสมบัติ ขอบเขตเงื่อนไข และรูปแบบของน้ำหนักที่กระทำ แล้วจึงทำการวิเคราะห์แบบจำลองโดยเป็นการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้น ดังแสดงในภาพที่ 18



ภาพที่ 18 การวิเคราะห์แบบจำลองในโปรแกรม COSMOS/M

3. การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์

ในการสร้างแบบจำลองเอลิเมนต์ที่ใช้ประกอบไปด้วยเอลิเมนต์ทั้งสิ้น 3 รูปแบบโดยในส่วนที่เป็นแผ่นเหล็กเป็นเอลิเมนต์ชนิด Thick shell 3 nodes (SHELL3T) และ Thick shell 4 nodes (SHELL4T) และในส่วนของแกนหมุนซึ่งมีลักษณะเป็นเหล็กตันจะเป็นเอลิเมนต์ชนิด SOLID (8 Node) ซึ่งรายละเอียดของเอลิเมนต์แต่ละแบบสามารถดูได้ในภาคผนวก ก. ในส่วนการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์จะเป็นการวิเคราะห์เพื่อหาจุดต่างๆบนพื้นผิวสถานะขีดจำกัดของแบบจำลอง (จุดวิบัติ) เนื่องจากในการวิเคราะห์หาจุดวิบัติจำเป็นต้องพิจารณาในช่วงที่ความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดอยู่ในช่วงที่ไม่เชิงเส้น ซึ่งถ้าทำการวิเคราะห์ในช่วงที่ความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นผลที่ได้จะไม่ใช่วิบัติที่แท้จริง ดังนั้นในการศึกษานี้จะเป็นการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear static analysis) โดยเกณฑ์การวิบัติได้จากเกณฑ์ที่ยอมให้ในการออกแบบโครงสร้างของฝายออกแบบบานระบายและเครื่องจักรกล, กรมชลประทาน กำหนดให้โครงสร้างที่ออกแบบในส่วนของการเกิดการโก่งตัว (deflection) ในแนวนอนได้ไม่เกิน $L/500$ ซึ่งเท่ากับ 2.5 ซม.

สำหรับการวิเคราะห์แบบจำลองโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อหาจุดวิบัติ จะทำโดยการกำหนดตัวแปรสัณฐานที่เกี่ยวกับพฤติกรรมของโครงสร้างในลักษณะการจัดหมู่ (Combination) ของตัวแปรสัณฐานซึ่งในการวิจัยนี้จะกำหนดตัวแปรสัณฐานโดยพิจารณาจากตัวแปรที่มีผลต่อการเสียรูปของโครงสร้างซึ่งพิจารณาได้จาก

$$\text{deflection ; } \Delta = \frac{5wl^4}{384 EI}$$

จะเห็นได้ว่าตัวแปรที่มีผลต่อการแอ่นตัวของคานโดยตรงประกอบไปด้วยค่าน้ำหนักที่กระทำ ความยาวของช่วงที่พิจารณา ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น และค่าโมเมนต์ของความเฉื่อยซึ่งขึ้นอยู่กับหน้าตัดที่พิจารณา ดังนั้นในการศึกษานี้จึงสามารถกำหนดตัวแปรสัณฐานได้ดังนี้

- แรงกระทำ (I)
- แรงค้ำน้ำ (P)
- ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (E)
- ค่าความหนาของแผ่นเหล็ก (T)

โดยในการวิเคราะห์จะทำในลักษณะ Combination ต่างๆเพื่อหาค่าของตัวแปรสัณฐานแต่ละตัวที่ทำให้โครงสร้างถึงจุดวิบัติ ซึ่ง combination ที่เกิดจากตัวแปร 4 ตัวมีทั้งสิ้น 15 แบบแต่ในการวิจัยนี้ไม่พิจารณา combination ของตัวแปรเพียง 1 ตัวเนื่องจากไม่มีความเป็นไปได้ที่โครงสร้างจะเกิดการวิบัติจากตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งเพียงตัวเดียว ดังนั้นจึงพิจารณา combination ทั้งหมด 11 แบบ ในการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ด้วยระบบเชิงเส้น (linear system) จำเป็นที่เมทริกซ์จะต้องเป็นแบบจัตุรัส ดังนั้นในการวิเคราะห์แต่ละแบบจะต้องวิเคราะห์เพื่อหาคำตอบทั้งสิ้น 11 ครั้ง ในการศึกษานี้จะรันโปรแกรมวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์จำนวน 121 ครั้งดังแสดงอยู่ในตารางที่ 2 โดยที่ค่าเฉลี่ยของตัวแปรสัณฐานต่างๆมีค่าดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 การจัดหมู่ (combination) ของตัวแปรสุ่ม

กลุ่มตัวแปร	เงื่อนไขในการวิเคราะห์
X1 X2	พิจารณา I , P เป็นตัวแปร ส่วน E,T เป็นค่าคงที่โดยใช้ค่าเฉลี่ยในการวิเคราะห์
X1 X3	พิจารณา I , E เป็นตัวแปร ส่วน T เป็นค่าคงที่โดยใช้ค่าเฉลี่ยในการวิเคราะห์
X1 X4	พิจารณา I , T เป็นตัวแปร ส่วน E เป็นค่าคงที่โดยใช้ค่าเฉลี่ยในการวิเคราะห์
X2 X3	พิจารณา P,E เป็นตัวแปร ส่วน T เป็นค่าคงที่โดยใช้ค่าเฉลี่ยในการวิเคราะห์
X2 X4	พิจารณา P,T เป็นตัวแปร ส่วน E เป็นค่าคงที่โดยใช้ค่าเฉลี่ยในการวิเคราะห์
X3 X4	พิจารณา E,T เป็นตัวแปร ส่วน P เป็นค่าคงที่โดยใช้ค่าเฉลี่ยในการวิเคราะห์
X1 X2 X3	พิจารณา I , P,E เป็นตัวแปร ส่วน T เป็นค่าคงที่โดยใช้ค่าเฉลี่ยในการวิเคราะห์
X1 X2 X4	พิจารณา I , P,T เป็นตัวแปร ส่วน E เป็นค่าคงที่โดยใช้ค่าเฉลี่ยในการวิเคราะห์
X1 X3 X4	พิจารณา I , E,T เป็นตัวแปร
X2 X3 X4	พิจารณา P,E,T เป็นตัวแปร
X1 X2 X3 X4	พิจารณา I , P , E , T เป็นตัวแปร

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่ม

ตัวแปรสุ่ม	สัญลักษณ์	ค่าเฉลี่ย
แรงกระแทก	I	430,488 กก.
แรงดันน้ำ	P	3,520 กก. /ตร.ม.
ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น	E	21000 กก./ตร.มม.
ค่าความหนาของแผ่นเหล็ก	T	0.8 เซนติเมตร

4. การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของโครงสร้าง

เมื่อทราบผลของตัวแปรสุ่มในแต่ละ Combination จากการวิเคราะห์หาจุดวิกฤติโดยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์แล้วซึ่งเท่ากับทราบจุดต่างๆบนพื้นผิวการวิบัติใน 4 มิติของตัวแปรสุ่ม จึงนำค่าที่ได้มาทำการประมาณค่าฟังก์ชันโดยการหาค่าสัมประสิทธิ์ของเทอมต่างๆของสมการ polynomial โดยวิธีระบบเชิงเส้น (linear system) ซึ่งสมการที่ได้จากการหาค่าสัมประสิทธิ์นี้เรียกว่า ฟังก์ชันสถานะ

ขีดจำกัด (Limit state function) ซึ่งจะบอกได้ว่าโครงสร้างที่ทำการศึกษามีโอกาสที่จะเกิดการวิบัติเพียงใดและอิทธิพลของตัวแปรสุ่มแต่ละตัวมีผลต่อการวิบัติเพียงใด

เมื่อทราบฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดแล้วจึงทำการวิเคราะห์หาความน่าเชื่อถือของโครงสร้างโดยพิจารณาจากคุณสมบัติเชิงสถิติของตัวแปรสุ่มซึ่งค่าที่ใช้ในการวิจัยนี้สรุปได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คุณสมบัติเชิงสถิติของตัวแปรสุ่ม

ตัวแปรสุ่ม	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ลักษณะการแจกแจง
แรงกระแทก	430,488 กก.	129,146 กก.	Lognormal
แรงดันน้ำ	3520 กก./ตร.ม.	183.8 กก./ตร.ม.	Normal
ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น	21,000 กก./ตร.มม.	210 กก./ตร.มม.	Normal
ค่าความหนาของแผ่นเหล็ก	0.8 ซม.	0.0024 ซม.	Normal

ที่มา : Chalk (1980), Ditlevsen (1987)

จากฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดและคุณสมบัติทางสถิติของตัวแปรสุ่มจะสามารถหาค่าความน่าเชื่อถือของโครงสร้างได้ ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้ในการวิจัยนี้จะใช้วิธีที่ให้คำตอบถูกต้อง ซึ่งก็คือการอินทิเกรตเชิงตัวเลขแบบมอนติคาร์โล โดยเลือกเทคนิคการสุ่มตัวอย่างสำคัญเพื่อลดค่าความแปรปรวนของคำตอบในรูปของความน่าจะเป็นในการวิบัติ นั่นคือวิธี Importance Sampling Procedure Using Design Points (ISPUD) ซึ่ง Bourgund และ Bucher (1986) ได้ใช้วิธีดังกล่าวเขียนเป็นโปรแกรมขึ้น คือ ซอฟต์แวร์ ISPUD (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง.) จึงสามารถใช้แก้ปัญหาในการหาค่าความน่าจะเป็นในการวิบัติของโครงสร้างในกรณีหลายมิติได้ หรือกรณีฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดไม่เป็นเชิงเส้น อีกทั้งยังให้ผลของการวิเคราะห์ในระยะเวลาอันสั้น สำหรับการศึกษานี้พิจารณาการคำนวณหาความน่าจะเป็นในการวิบัติเฉพาะวิธีโหมด 0, 1, 5 และ 6 (Mode 0, 1, 5, 6) โดยทำการ วิเคราะห์ในแต่ละโหมดจำนวน 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย โดยให้ผลของค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานไม่เกิน 10%