

บทที่ 2
STATIC ANALYSIS
By Piya Kittitanesuan
Piping Engineer
Penspen Limited (Thailand)

(update 23 January 2007)

2.1 สมการเชิงเส้น (LINEARIZATION EQUATION)

สมการ Linear คือ สมการที่มีฟังก์ชันเส้นตรง เช่น

$$Y=2X+1 \quad (1)$$

สมการ non-linear คือสมการ ที่ไม่เป็นเส้นตรง เช่น

$$Y=2X^2 +1 \quad (2)$$

เมื่อ $X = 1$, Y จะเท่ากับ 3 ทั้งสองสมการ

ถ้าหาก $X = -1$ สมการ 1 จะได้ $Y = -1$ แต่ สมการ 2 ให้ผลลัพธ์ค่า Y เท่ากับ 3

ที่ต้องทำความเข้าใจเรื่องนี้นีก่อนเพราะโปรแกรม CAESAR II จะคำนวณโดยใช้สมการทั้งสองแบบโดยขึ้นอยู่กับวิธีการโมเดล pipe support

พิจารณา สมการ 1 และ 2 ตัวแปรต้น X เหมือนกัน แต่ผลลัพธ์ Y สามารถออกมาต่างกันได้ การใช้ โปรแกรม CAESAR II คำนวณ ก็จะเป็นลักษณะแบบนี้ เช่นกัน เราจึงต้องมาทำความเข้าใจเรื่องนี้ให้ดีกว่า

2.2 ชนิดของ Support ใน CAESAR II

CAESAR II จะเรียก support ว่า Restraint ซึ่งจะมีอยู่หลายชนิดดังนี้

Restraint Type	Abbreviation
Anchor	ANC
Translational Double Acting	X, Y, or Z
Rotational Double Acting	RX, RY, or RZ
Guide, Double Acting	GUIDE
Double Acting Limit Stop	LIM
Translational Double Acting Snubber	XSNB, YSNB, ZSNB
Translational Directional	+X, -X, +Y, -Y, +Z, -Z
Rotational Directional	+RX, -RX, +RY, etc.
Directional Limit Stop	+LIM, -LIM

Restraint Type	Abbreviation
Large Rotation Rod	XROD, YROD, ZROD
Translational Double Acting Bilinear	X2, Y2, Z2
Rotational Double Acting Bilinear	RX2, RY2, RZ2
Translational Directional Bilinear	-X2, +X2, -Y2, etc.
Rotational Directional Bilinear	+RX2, -RX2, +RY2, etc.
Bottom Out Spring	XSPR, YSPR, ZSPR
Directional Snubber	+XSNB, -XSNB, +YSNB, etc.

2.3 Linear Restraint และ Non-linear restraint

- **ระบบ Non-Linear Restraint** ถ้าเรากำหนด restraint ให้เป็นดังต่อไปนี้

- มีค่า friction
- โมเดล Support รับแรง ทิศทางเดียว (Translation Directional) เช่น +Y , +X , +Z, และ -Y เป็นต้น
- ใส่ guide มี gap

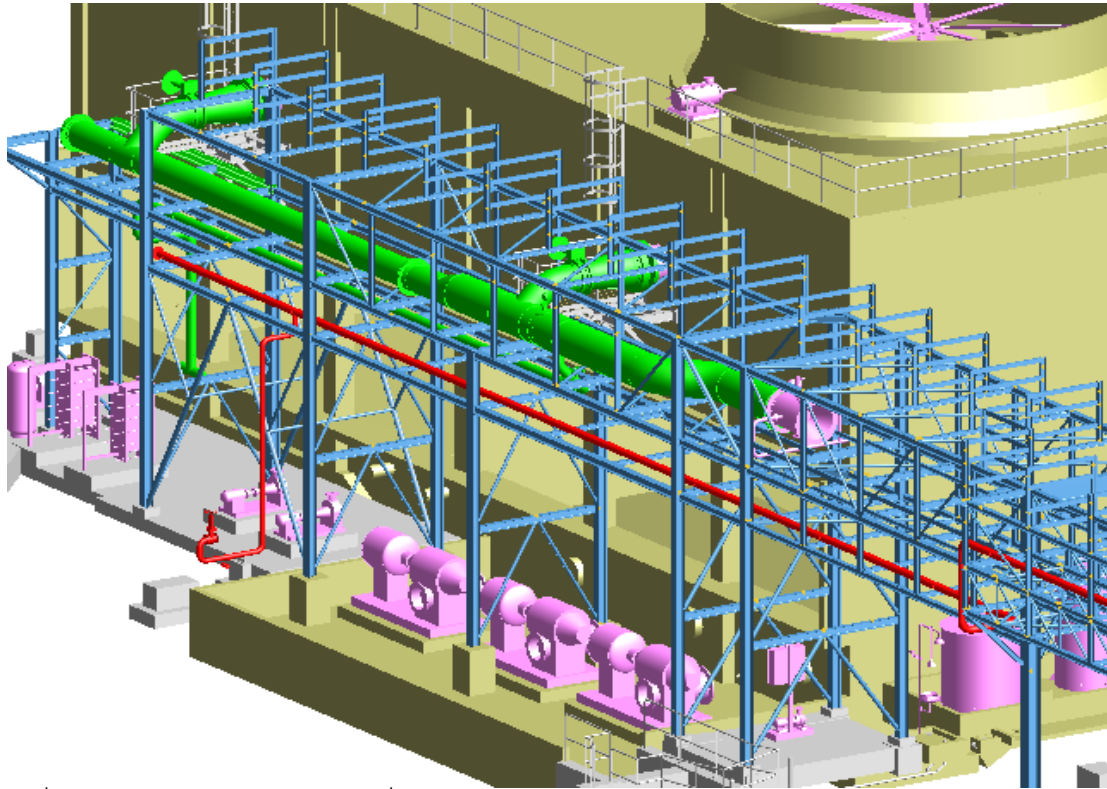
CAESAR II จะใช้สมการแบบ non-linear equation มากขึ้นในการคำนวณ ซึ่งจะใช้เวลาในการคำนวณนานขึ้น บางครั้ง ก็ไม่สามารถ run ผลออกมาได้ สาเหตุเกิดจากการมีสมการ non-linear มากไปทำให้การคำนวณใช้เวลานานจนกระทั่ง CAESAR II run ผลไม่ออก ในกรณีเช่นนี้ เราต้อง พยายามลดสมการ non-linear equation ให้น้อยลง เช่น ใส่ guide ไม่ต้องมี gap หรือ ในกรณีที่ support รองรับน้ำหนักท่ออย่างเดียว แทนที่จะ โมเดล +Y ก็เป็น Y (Translational Double Acting)

- **ระบบ Linear Restraint** ถ้าเรากำหนด restraint เป็น Y , ไม่ใส่ค่า friction , ไม่ใส่ gap เหล่านี้ถือว่าเป็น ระบบ linear ซึ่งจะทำให้ใช้จำนวนสมการน้อยลง เนื่องจากจำนวนสมการมีไม่มากและไม่ซับซ้อน เท่ากับ กรณี non-linear จึงทำให้ CAESAR II คำนวณได้ง่ายขึ้นและเร็วขึ้น

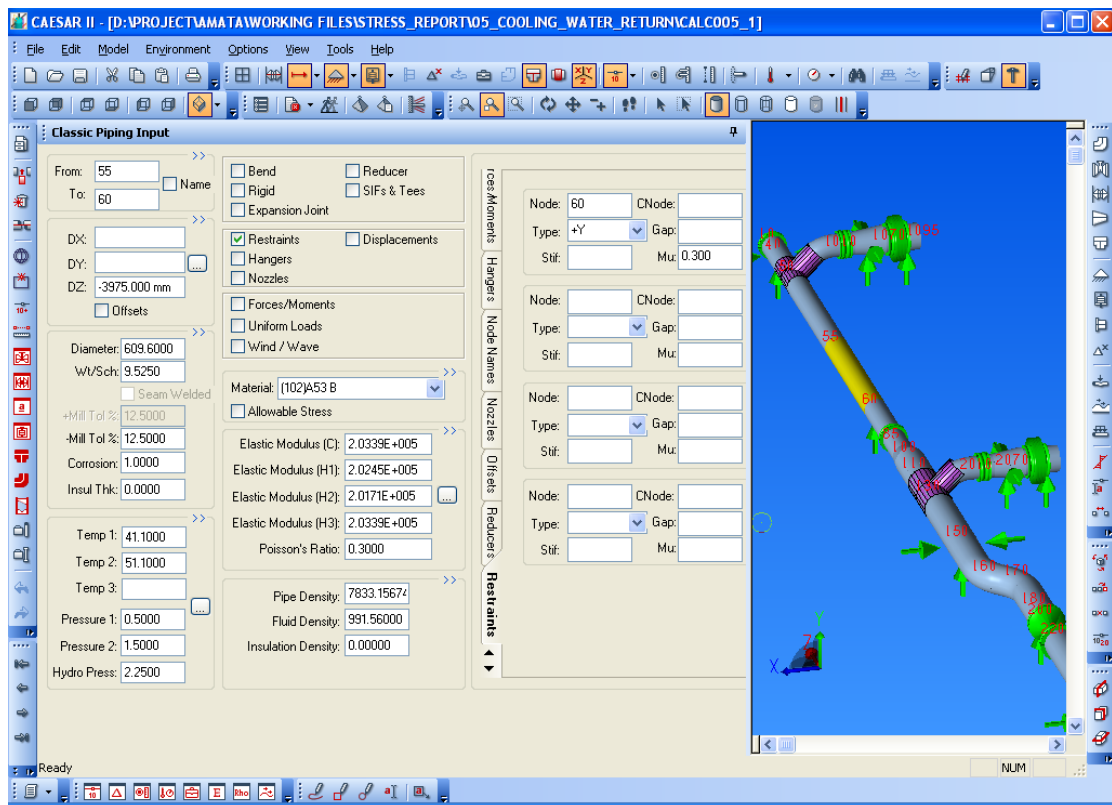
เราจะโมเดล support แบบไหนขึ้นอยู่กับว่าเราได้ ออกแบบ support ทำหน้าที่เป็นแบบไหน เช่น ให้รับน้ำหนักท่อ ก็โมเดลเป็น +Y แต่บางครั้งเราก็ไม่สามารถโมเดลเสมือนจริงได้ เนื่องจากความสามารถของคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันยังจำกัด เราจึงไม่สามารถโมเดลระบบเป็น non-linear ได้ทั้งหมด ดังนั้นเราอาจต้องโมเดล support บางจุด ให้เป็น linear restraint เช่นที่จุดนั้น รับน้ำหนักท่ออย่างเดียว ก็ โมเดล เป็น Y

ตัวอย่างศึกษา รูปที่ 1 ท่อที่วางบน pipe rack เจาะๆ กรณีแบบนี้ น้ำหนักท่อจะตกถาลงสู่ pipe rack การโมเดล restraint ใน CAESAR II ที่เสมือนจริง ก็คือ กำหนด Restraint เป็น +Y แต่ถ้า run CAESAR II แล้ว มีอาการ run ไม่ออก เราสามารถเปลี่ยนโมเดล Restraint มาเป็น Y เจาะๆ แทนได้ โดยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อผลการคำนวณแต่อย่างใด แต่ก็มีบางระบบเหมือนกันที่การโมเดลที่แตกต่างกันจะให้ผลการคำนวณต่างกัน

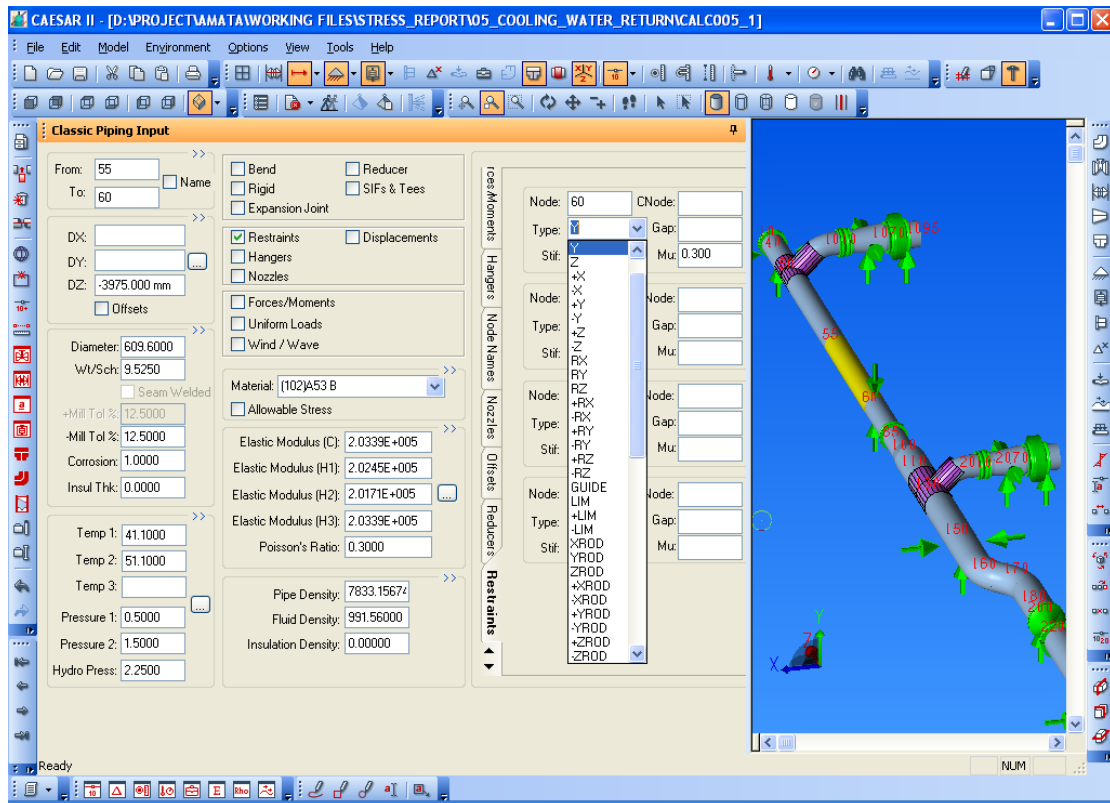
ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป แต่ถ้ายางจุดเราต้องการทราบผลค่านวณที่แม่นยำมาก เช่น support บริเวณ nozzle ของ equipment เราก็ควรโมเดลเป็นแบบเสมือนจริง



รูปที่ 1 ท่อขนาดใหญ่สีเขียว คือท่อที่เรากำลังทำ piping stress analysis



รูปที่ 2 การโมเดล restraint ที่ node 60 เป็นแบบ non-linear restraint



รูปที่ 3 การโมเดล restraint support ที่ node 60 เป็น แบบ linear restraint

RESTRAINT SUMMARY REPORT

CAESAR II Ver.5.00.6, (Build 061102) Date: JAN 23, 2007 Time: 10:24
 Job: D:\PROJECT\AMATA\WORKING FILES\STRESS_REPORT\05...\CALC005_1
 Licensed To: POYRY ENERGY LTD. -- ID #23652
 RESTRAINT SUMMARY REPORT: Loads On Restraints
 Various Load Cases

NODE	Load Case	FX N.	FY N.	FZ N.	MX N.m.	MY N.m.	MZ N.m.
LOAD CASE DEFINITION KEY							
CASE 2 (DPE) W+D1+T1+P1							
CASE 3 (DPE) W+D2+T2+P2							
CASE 4 (SUS) W+P1							
CASE 5 (SUS) W+P2							
40	Rigid +Y: Rigid GUI w/gap						
	2 (DPE)	-1138	-23983	7104	0	0	0
	3 (DPE)	-1338	-23685	6979	0	0	0
	4 (SUS)	-2528	-23680	1168	0	0	0
	5 (SUS)	-2528	-23680	1168	0	0	0
	MAX	2528/ 4	23983/ 2	7104/ 2	0/ 2	0/ 2	0/ 2
60	Rigid +Y						
	2 (DPE)	5892	-57397	16180	0	0	0
	3 (DPE)	7771	-58643	15783	0	0	0
	4 (SUS)	-2522	-53334	1094	0	0	0
	5 (SUS)	-2522	-53334	1094	0	0	0
	MAX	7771/ 3	58643/ 3	16180/ 2	0/ 2	0/ 2	0/ 2

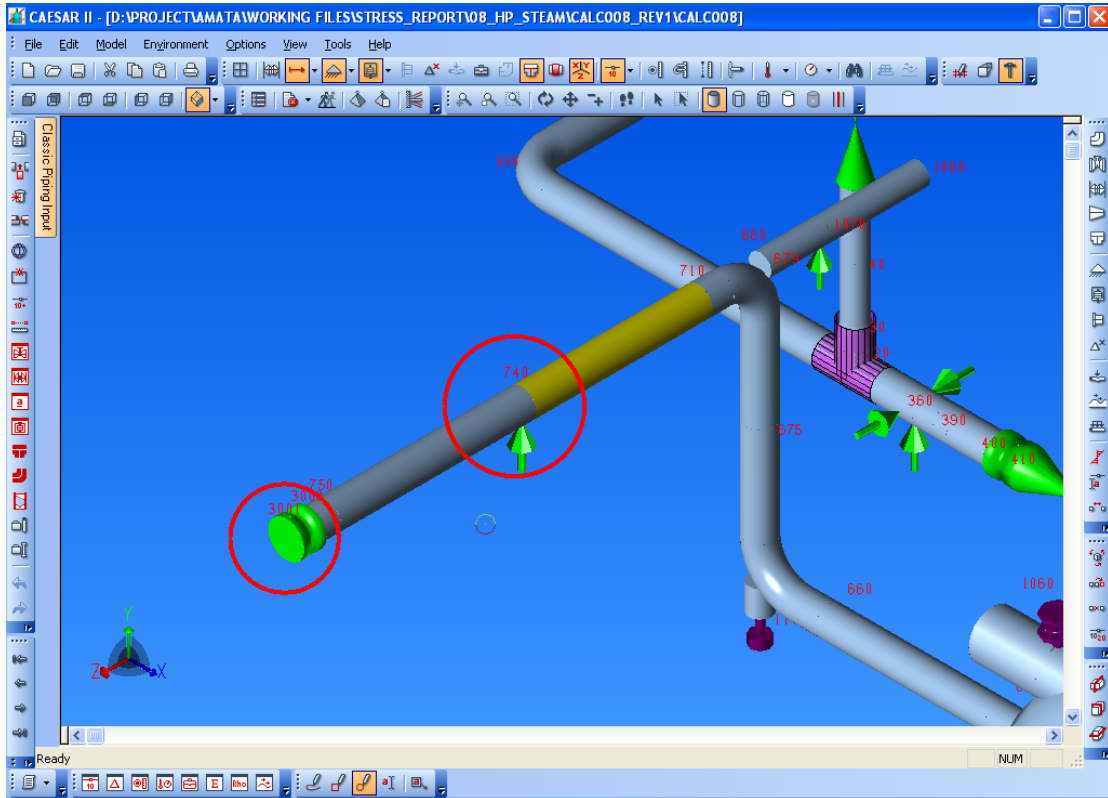
รูปที่ 4 ผลการคำนวณโหลด กรณี โมเดล support ที่ node 60 เป็น non-linear restraint

RESTRAINT SUMMARY REPORT							
CAESAR II Ver.5.00.6, (Build 061102) Date: JAN 22, 2007 Time: 18:11							
Job: D:\PROJECT\AMATA\WORKING FILES\STRESS_REPORT\05...\CALC005_1							
Licensed To: POYRY ENERGY LTD. -- ID #23652							
RESTRAINT SUMMARY REPORT: Loads On Restraints							
Various Load Cases							
NODE	Load Case	FX N.	FY N.	FZ N.	MX N.m.	MY N.m.	MZ N.m.
LOAD CASE DEFINITION KEY							
CASE 2 (OPE) W+D1+T1+P1							
CASE 3 (OPE) W+D2+T2+P2							
CASE 4 (SUS) W+P1							
CASE 5 (SUS) W+P2							
40	Rigid +Y; Rigid GUI w/gap						
	2 (OPE)	-1138	-23983	7104	0	0	0
	3 (OPE)	-1338	-23685	6979	0	0	0
	4 (SUS)	-2528	-23680	1168	0	0	0
	5 (SUS)	-2528	-23680	1168	0	0	0
	MAX	2528/ 4	23983/ 2	7104/ 2	0/ 2	0/ 2	0/ 2
60	Rigid Y						
	2 (OPE)	5892	-57397	16180	0	0	0
	3 (OPE)	7771	-58643	15783	0	0	0
	4 (SUS)	-2522	-53334	1094	0	0	0
	5 (SUS)	-2522	-53334	1094	0	0	0
	MAX	7771/ 3	58643/ 3	16180/ 2	0/ 2	0/ 2	0/ 2

รูปที่ 5 ผลการคำนวณโหลด กรณี โมเดล support ที่ node 60 เป็น linear restraint

จากรูปที่ 4 และ 5 จะเห็นว่า ทั้งสองกรณีให้ผลการคำนวณเหมือนกัน เพราะฉะนั้น บางระบบเราสามารถโมเดล support เป็นแบบ linear ได้

บางกรณี ผลการคำนวณ ทั้งสองกรณี ก็แตกต่างกัน โดยเฉพาะเมื่อท่อยกตัวลอยออกจาก pipe support หรือที่เราเรียกกันว่า Lift Off ดังตัวอย่าง ระบบท่อต่อไปนี้ พิจารณา รูปที่ 6 กับ 7 ต่างกันที่ support type ที่ node 740



รูปที่ 6 ที่ node 740 โมเดล Support เป็น แบบ +Y (Non-Linear Restraint)

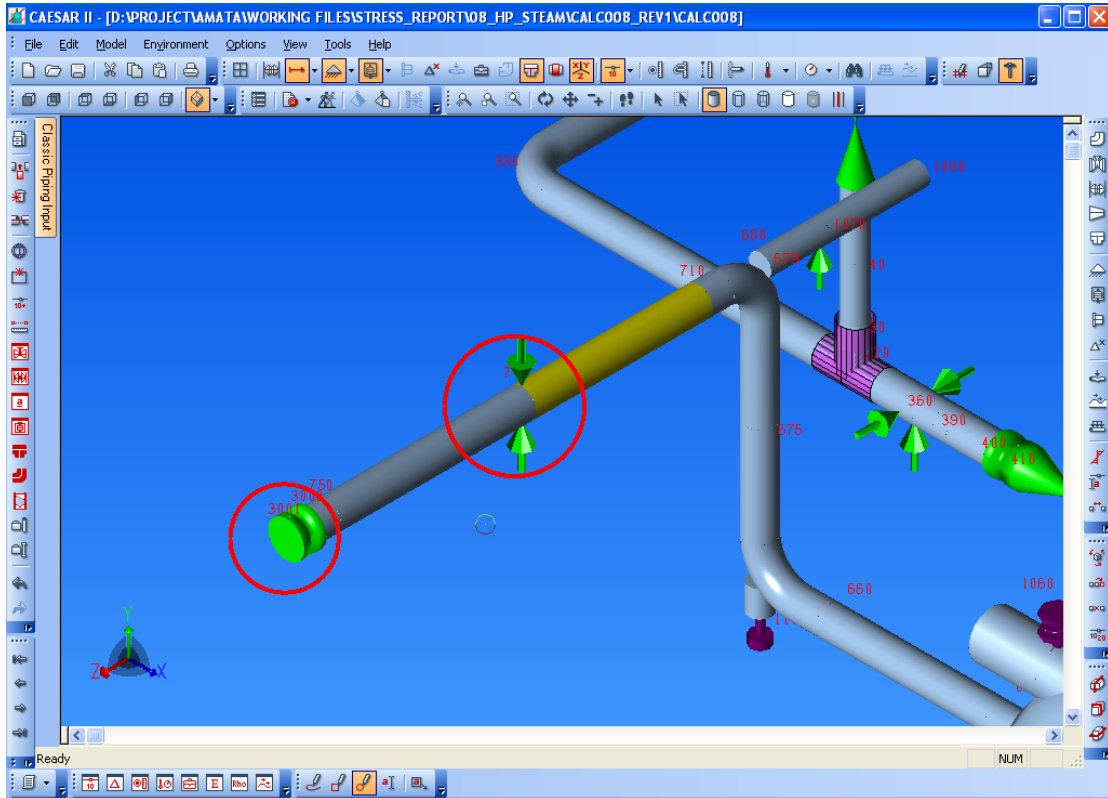
รูปที่ 6 นี้ ณ จุด support node ที่ 740 เราทำการโมเดล เป็นแบบ +Y ซึ่งให้ผลคำนวณ ออกมา ดังรูปที่ 7

RESTRAINT SUMMARY EXTENDED REPORT

CAESAR II Ver.5.00.6, (Build 061102) Date: JAN 23, 2007 Time: 11:46
 Job: D:\PROJECT\MATA\WORKING FILES\STRESS_REPORT\08_HIP...\CALC008
 Licensed To: POYRY ENERGY LTD. -- ID #23652
 RESTRAINT SUMMARY EXTENDED REPORT: Loads On Restraints
 Various Load Cases

NODE	Load Case	FX N.	FY N.	FZ N.	MX N.m.	MY N.m.	MZ N.m.	DX mm.	DY mm.	DZ mm.
740	Rigid +Y									
	4 (OPE)	0	0	0	0	0	0	-8.802	6.311	-26.147
	5 (OPE)	0	0	0	0	0	0	-8.918	6.581	-26.688
	6 (SUS)	-265	-1225	1	0	0	0	-0.002	-0.000	0.000
	7 (SUS)	-265	-1225	1	0	0	0	-0.002	-0.000	0.000
	MAX	265/ 6	1225/ 6	1/ 6	0/ 4	0/ 4	0/ 4	8.918/ 5	6.581/ 5	26.688/ 5

รูปที่ 7 ผลลัพธ์จากการ run result ที่ node 740 เป็น แบบ +Y (Non-Linear Restraint)



รูปที่ 8 ที่ node 740 โมเดล Support เป็น แบบ Y (Linear Restraint)

รูปที่ 8 นี้ ณ จุด support node ที่ 740 เราทำการโมเดล support เป็นแบบ double acting Y ซึ่งให้ผลคำนวณ ออกมา ดังรูปที่ 9

RESTRAINT SUMMARY EXTENDED REPORT

CAESAR II Ver.5.00.6, (Build 061102) Date: JAN 23, 2007 Time: 10:51
 Job: D:\PROJECT\AMATA\WORKING FILES\STRESS_REPORT\08_HP_STEAM\CALC\008
 Licensed To: POYRY ENERGY LTD. -- ID #23662
 RESTRAINT SUMMARY EXTENDED REPORT: Loads On Restraints
 Various Load Cases

NODE	Load Case	FX N.	FY N.	FZ N.	MX N.m.	MY N.m.	MZ N.m.	DX mm.	DY mm.	DZ mm.
740	Rigid Y									
	4 (OPE)	-5638	57068	-22120	0	0	0	-6.660	0.000	-26.128
	5 (OPE)	-5794	59006	-22880	0	0	0	-6.753	0.000	-26.668
	6 (SUS)	14	-3030	4	0	0	0	0.000	-0.000	0.000
	7 (SUS)	14	-3030	4	0	0	0	0.000	-0.000	0.000
	MAX	5794/ 5	59006/ 5	22880/ 5	0/ 4	0/ 4	0/ 4	6.753/ 5	0.000/ 5	26.668/ 5

รูปที่ 9 ผลลัพธ์จากการ run result ที่ node 740 เป็น แบบ Y (Linear Restraint)

จะเห็นว่า โหลดที่กระทำ ต่อ support ที่จุด 740 ไม่เท่ากัน ซึ่งจะส่งผลไปต่อ โหลดที่กระทำต่อ nozzle node number 3001 ดังรูปที่ 10 และ 11

NODE	Load Case	FX N.	FY N.	FZ N.	MX N.m.	MY N.m.	MZ N.m.	DX mm.	DY mm.	DZ mm.
3001	Displ. Reaction									
	4 (OPE)	765	-2175	2166	0	0	0	-6.600	8.900	-14.100
	5 (OPE)	850	-2181	2156	0	0	0	-6.600	9.200	-14.200
	6 (SUS)	123	-2227	7	0	0	0	0.000	-0.000	0.000
	7 (SUS)	123	-2227	7	0	0	0	0.000	-0.000	0.000
	MAX	850/5	2227/6	2166/4	0/4	0/4	0/4	6.600/4	9.200/5	14.200/5

รูปที่ 10 ผลลัพธ์โหลดที่กระทำต่อ nozzle node 3001 เมื่อโมเดล support node 740 เป็น แบบ +Y

NODE	Load Case	FX N.	FY N.	FZ N.	MX N.m.	MY N.m.	MZ N.m.	DX mm.	DY mm.	DZ mm.
3001	Displ. Reaction									
	4 (OPE)	3896	-31929	33389	0	0	0	-6.600	8.900	-14.100
	5 (OPE)	3848	-32935	34415	0	0	0	-6.600	9.200	-14.200
	6 (SUS)	1	-1807	42	0	0	0	0.000	-0.000	0.000
	7 (SUS)	1	-1807	42	0	0	0	0.000	-0.000	0.000
	MAX	3848/5	32935/5	34415/5	0/4	0/4	0/4	6.600/4	9.200/5	14.200/5

รูปที่ 11 ผลลัพธ์โหลดที่กระทำต่อ nozzle node 3001 เมื่อโมเดล support node 740 เป็น แบบ Y

จากผลลัพธ์ของโหลดในรูปที่ 10 และ 11 เปรียบเทียบกันจะเห็นว่า กรณี โมเดล support ที่ node 740 เป็นแบบ double acting จะส่งผลให้ nozzle load ที่เกิดขึ้นสูงกว่าปกติ ใน case 4(OPE) และ case 5(OPE) ดังนั้น บริเวณ ที่ใกล้ nozzle เราควร โมเดล support ให้เหมือนจริง เพื่อผลการคำนวณที่ถูกต้อง

2.4 Static Analysis