

## บทที่ 4

### การวิเคราะห์แรงภายในและการเคลื่อนตัวของอุโมงค์

#### 4.1 กรณีที่ทำการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม STAAD.Pro จะแบ่งกรณีศึกษาเพื่อแสดงการวิเคราะห์เปรียบเทียบให้เห็นถึงพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงของ Joint อุโมงค์โดยแบ่งออกเป็นกรณีต่างๆดังนี้

##### 4.1.1 กรณีลดค่าสติฟเนสของผนังอุโมงค์ทั้งวง(Non-Jointed Lining)

จากที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 การวิเคราะห์ จะใช้การลดค่าสติฟเนสของผนังอุโมงค์โดยการลดค่า Moment of Inertia ( $I$ ) โดยการลดค่า  $I$  ในโปรแกรมก็คือการเปลี่ยนแปลงขนาดหน้าตัดของชิ้นส่วนอุโมงค์โดยเงื่อนไขการลดค่า  $I$  จะทำตามตารางที่ 3.4

##### 4.1.2 กรณีลดค่าสติฟเนสของผนังอุโมงค์บางชิ้นส่วน(Jointed Lining)

ในกรณีนี้จะทำการลดค่า  $I$  ของชิ้นส่วนอุโมงค์โดยเลือกชิ้นส่วนของอุโมงค์(Element)บางชิ้นส่วนจากตารางที่ 3.4 จะเลือกทำการวิเคราะห์โดยเลือกชิ้นส่วนอุโมงค์เพียง 1 ชิ้นส่วนเป็น Joint ของอุโมงค์และเลือกวางตำแหน่งของ Joint ให้กระจายออกไปโดยจะแสดงตัวอย่างการเลือกชิ้นส่วนอุโมงค์ดังรูปที่ 4.9 ในกรอบสี่เหลี่ยมจะเป็นตำแหน่งของ Joint จำนวน 5 Joint

โดยกรณี Jointed Lining จะมีรูปแบบการวิเคราะห์อยู่ 3 รูปแบบ ได้แก่

4.1.2.1 เปลี่ยนแปลงจำนวน Joint ในอุโมงค์ ให้มีจำนวนเท่ากับ 5 , 6 และ 7 Joint

4.1.2.2 หมุนตำแหน่งของ Joint (Rotate Joint) ในข้อ 4.1.2.1 จำนวน 5 และ 6 Joint โดยหมุนตำแหน่งในวงอุโมงค์เป็นมุมที่เท่าๆกัน

4.1.2.3 เลือกชิ้นส่วน(Segment)ของอุโมงค์ที่จะลดค่า  $I$  จำนวน 3 , 6 และ 10 ชิ้นส่วนที่ติดกันจำนวน 5 Joint เพื่อเพิ่มช่วงความกว้างของ Joint แล้วหมุนตำแหน่งในวงอุโมงค์เป็นมุมที่เท่าๆกัน

#### 4.2 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

การวิเคราะห์จะได้ผลการวิเคราะห์เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นผลการศึกษาพฤติกรรม การเคลื่อนตัวของอุโมงค์ และส่วนที่สองเป็นการวิเคราะห์แรงภายในที่เกิดขึ้นในผนังอุโมงค์โดยพิจารณาโมเมนต์ดัด (Bending Moment) ที่เกิดขึ้นรอบวงอุโมงค์และบริเวณแนว Spring Line

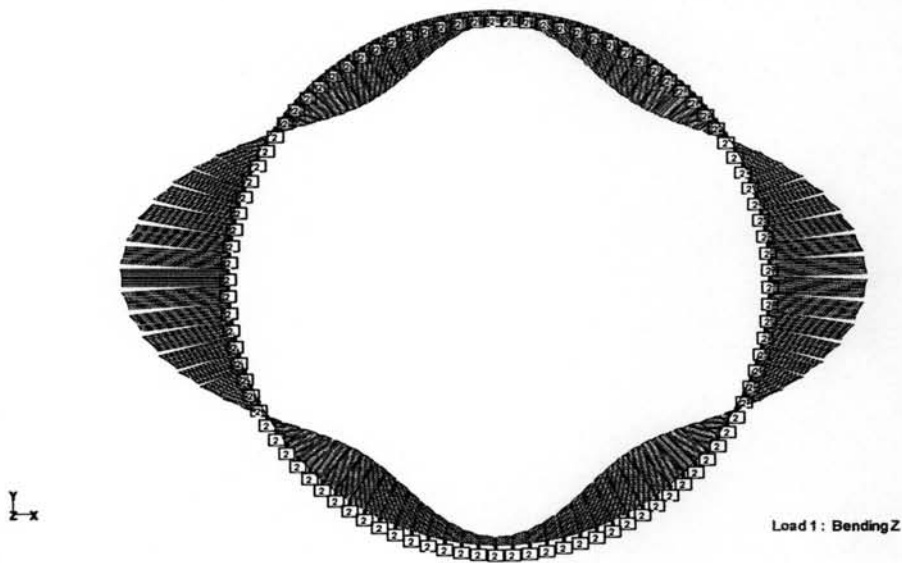
ในส่วนของการนำเสนอผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลนั้น จะนำเสนอเป็นกรณีไป แล้วจึงนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาทำการเปรียบเทียบ เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างและสรุปผลการวิเคราะห์ต่อไป

#### 4.2.1 ผลการวิเคราะห์กรณีลดค่าสติฟเนสของผนังอุโมงค์ทั้งวง(Non-Jointed Lining)

รูปแบบของการแสดงผลการวิเคราะห์ จะแสดงผลในรูปแบบของกราฟและตารางโดยเป็นการเพิ่มแรงกระทำเป็น 8 ลำดับ( $K_0=0.75$ ) ตามตารางที่ 4.1 ซึ่งแกน x เป็นค่าเป็นการเคลื่อนตัว(Displacement)ในแนว Spring Line ของอุโมงค์ส่วนแกน y เป็นค่าโมเมนต์ดัดและแสดงรูปตัวอย่างของโมเมนต์ดัดและการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ในรูปที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 ค่าแรงที่กระทำต่ออุโมงค์

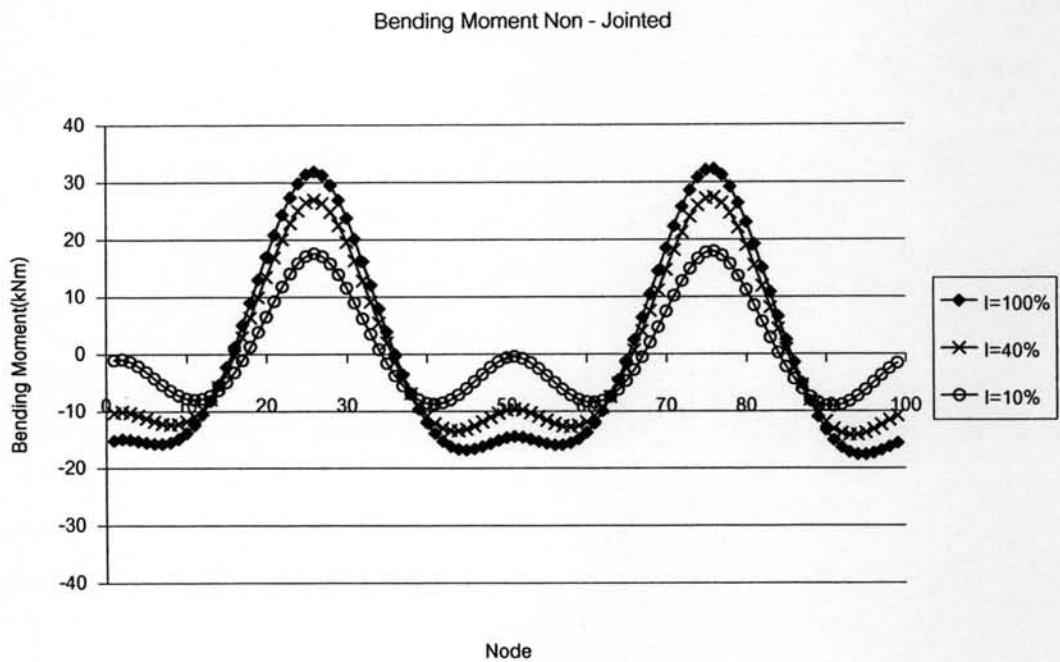
No./Uniform load	แรงในแนวแกนY(kN/m)	แรงในแนวแกนX(kN/m)
No.1	50	37.5
No.2	100	75.0
No.3	150	112.5
No.4	200	150.0
No.5	250	187.5
No.6	300	225.0
No.7	350	262.5
No.8	400	300.0



รูปที่ 4.1 แสดงรูปโมเมนต์ดัด(Bending Moment)ที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์

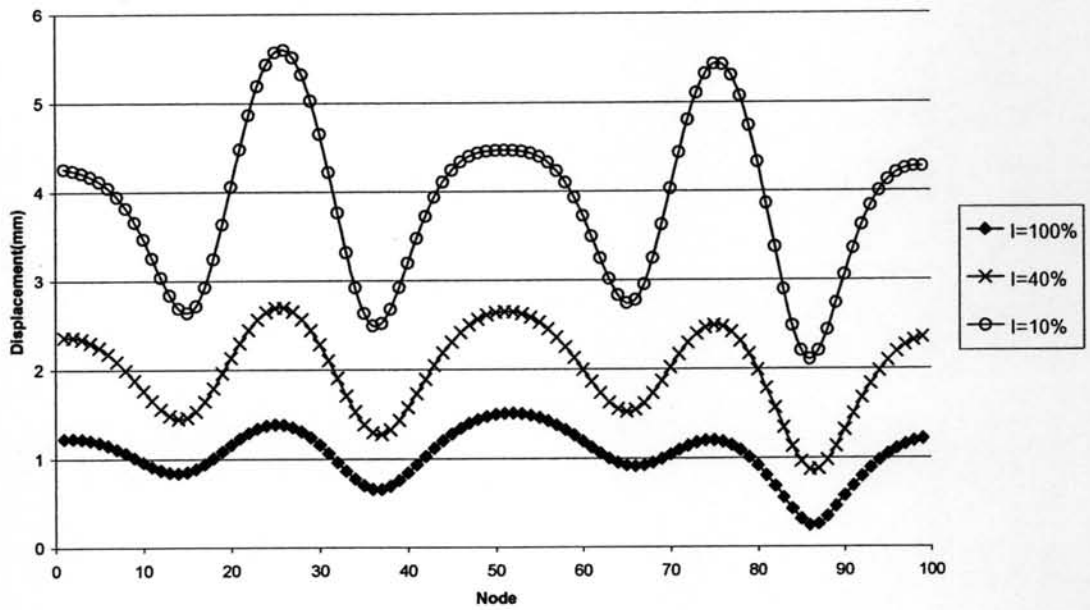


รูปที่ 4.2 แสดงรูปการเคลื่อนตัว(Displacement)ที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์



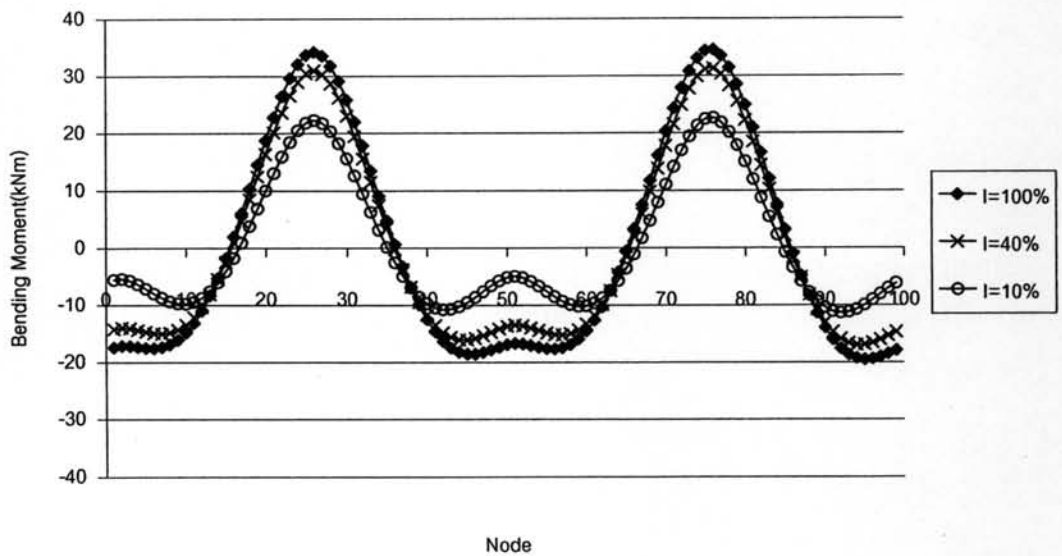
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของดาดอุโมงค์  
กรณีอุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 1 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 3000 kN/m

Displacement Non - Jointed



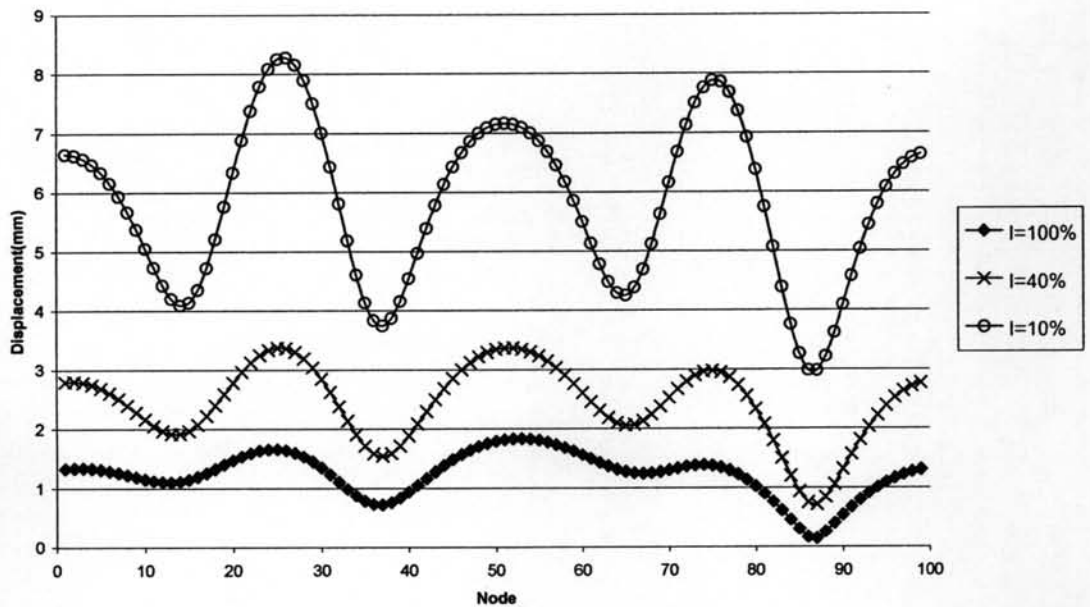
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของดาดอุโมงค์ กรณีอุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 1 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 3000 kN/m

Bending Moment Non - Jointed



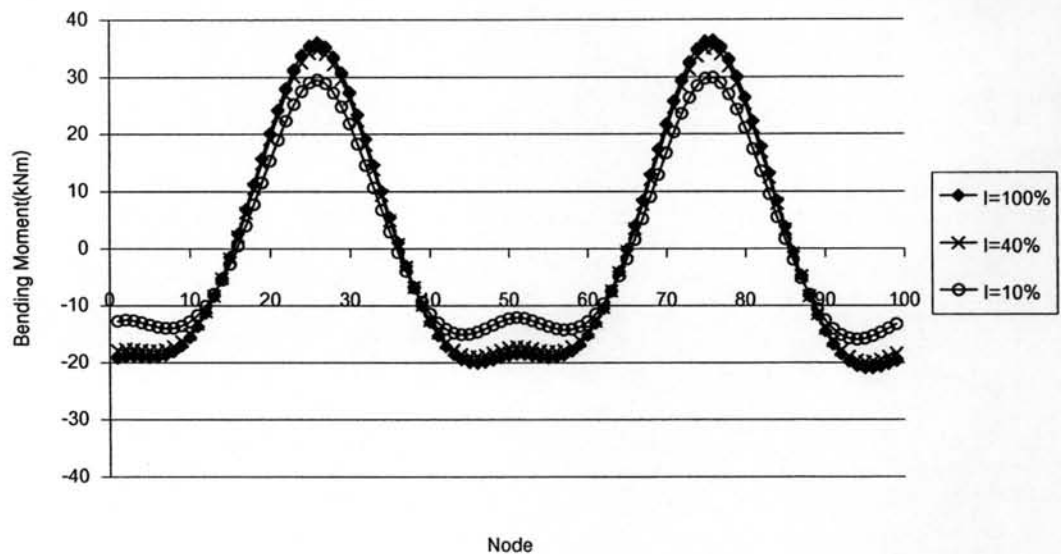
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของดาดอุโมงค์ กรณีอุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 1 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 1500 kN/m

Displacement Non - Jointed



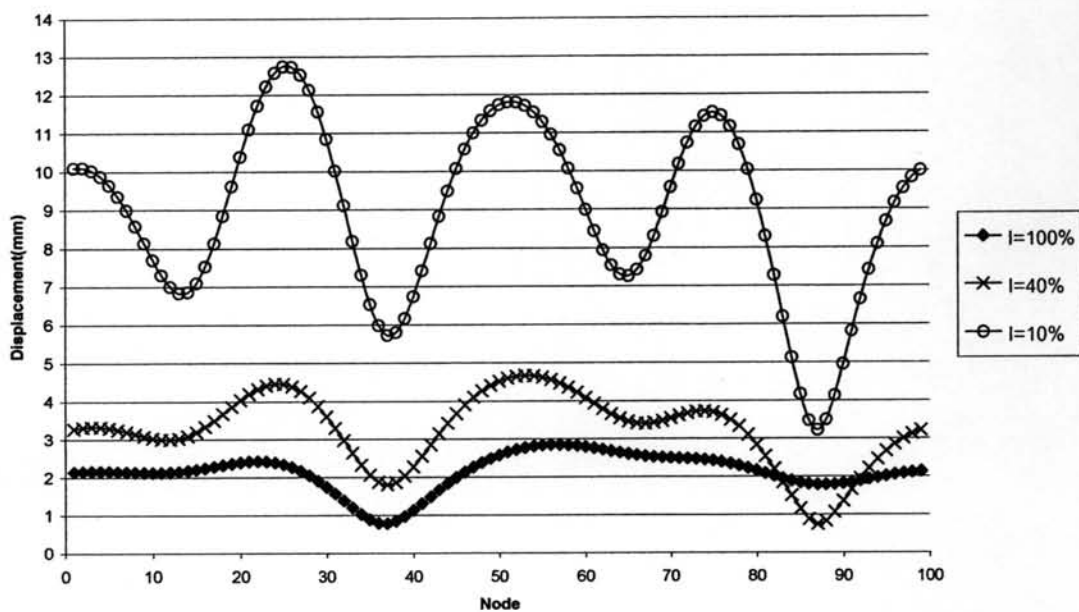
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของดาดอุโมงค์  
กรณีอุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 1 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 1500 kN/m

Bending Moment Non - Jointed



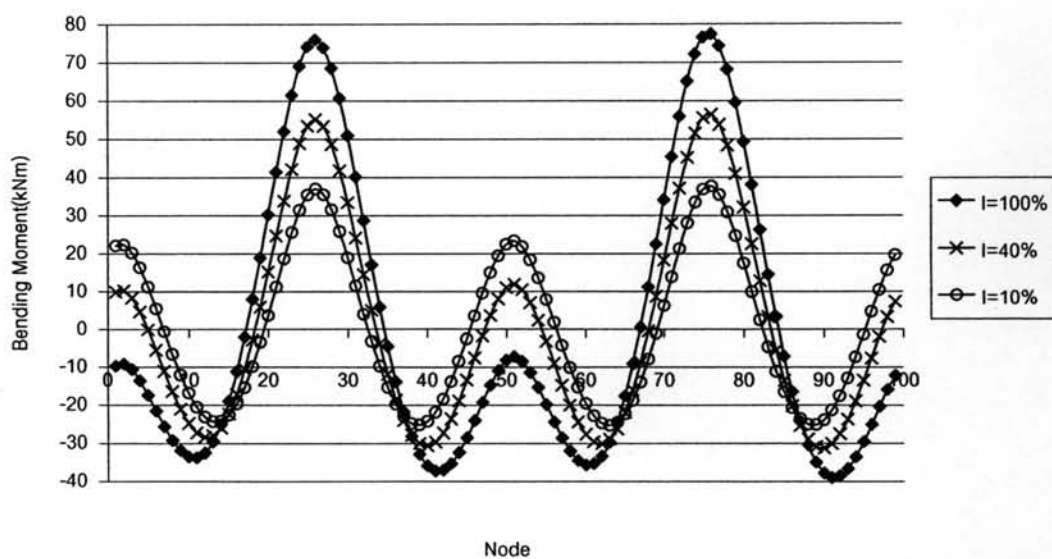
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของดาดอุโมงค์  
กรณีอุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 1 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 500 kN/m

Displacement Non - Jointed



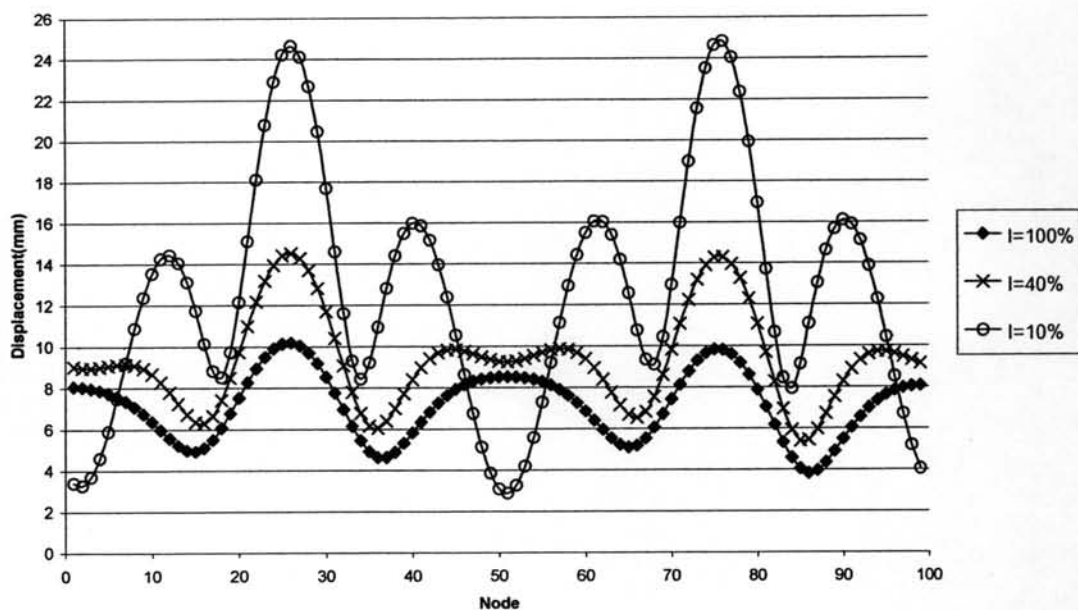
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของดาดอุโมงค์  
กรณีอุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 1 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 500 kN/m

Bending Moment Non - Jointed



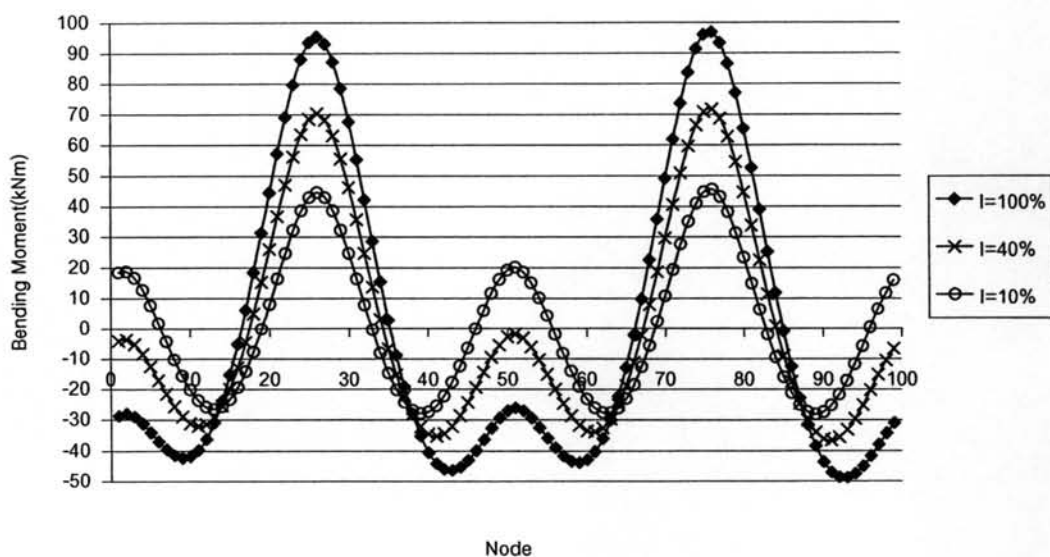
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของดาดอุโมงค์  
กรณีอุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 3000 kN/m

Displacement Non - Jointed



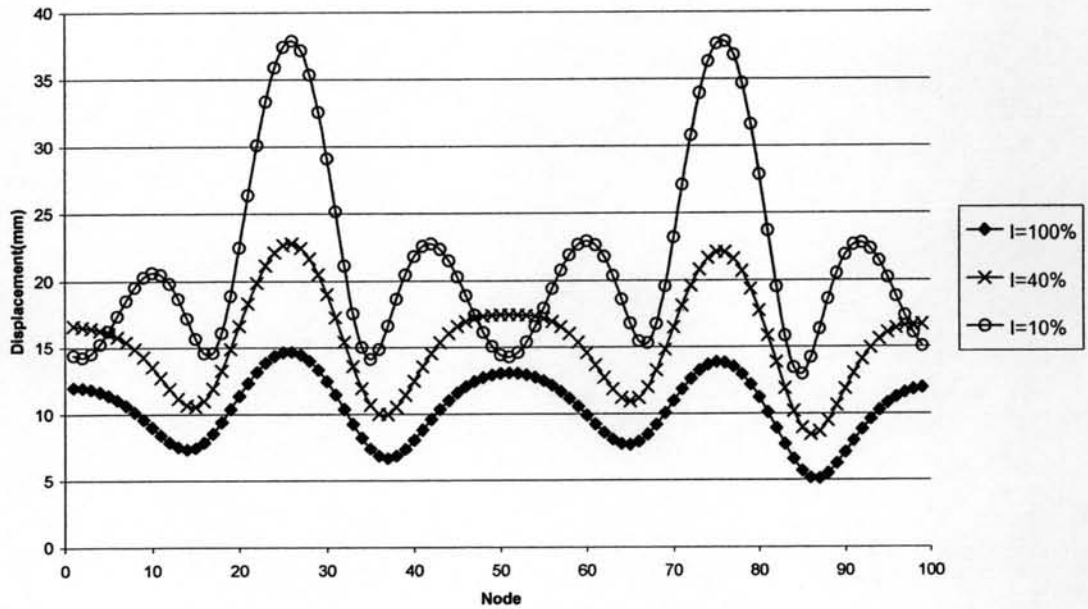
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของดาดอุโมงค์  
กรณีอุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 3000 kN/m

Bending Moment Non - Jointed



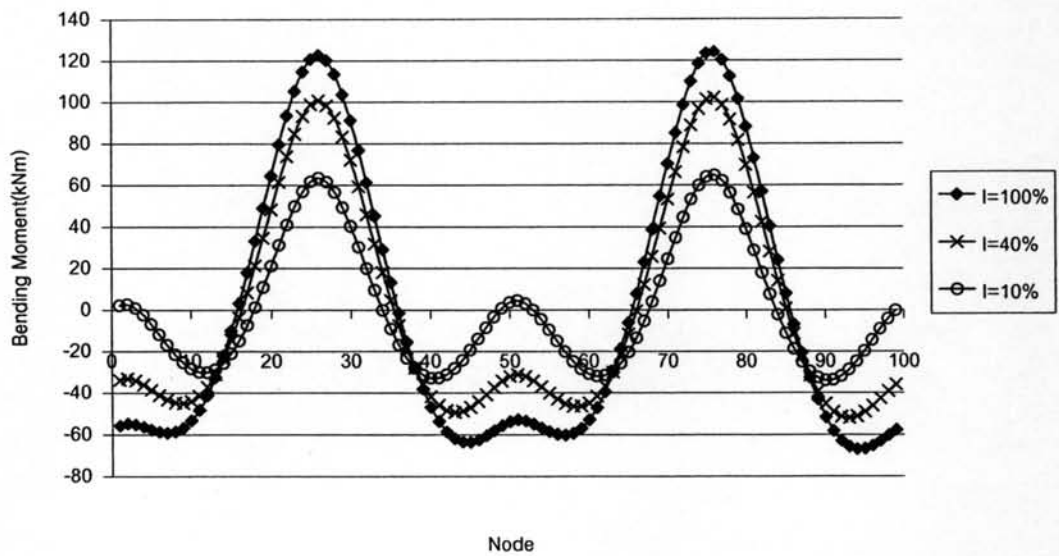
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของดาดอุโมงค์  
กรณีอุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 1500 kN/m

Displacement Non - Jointed



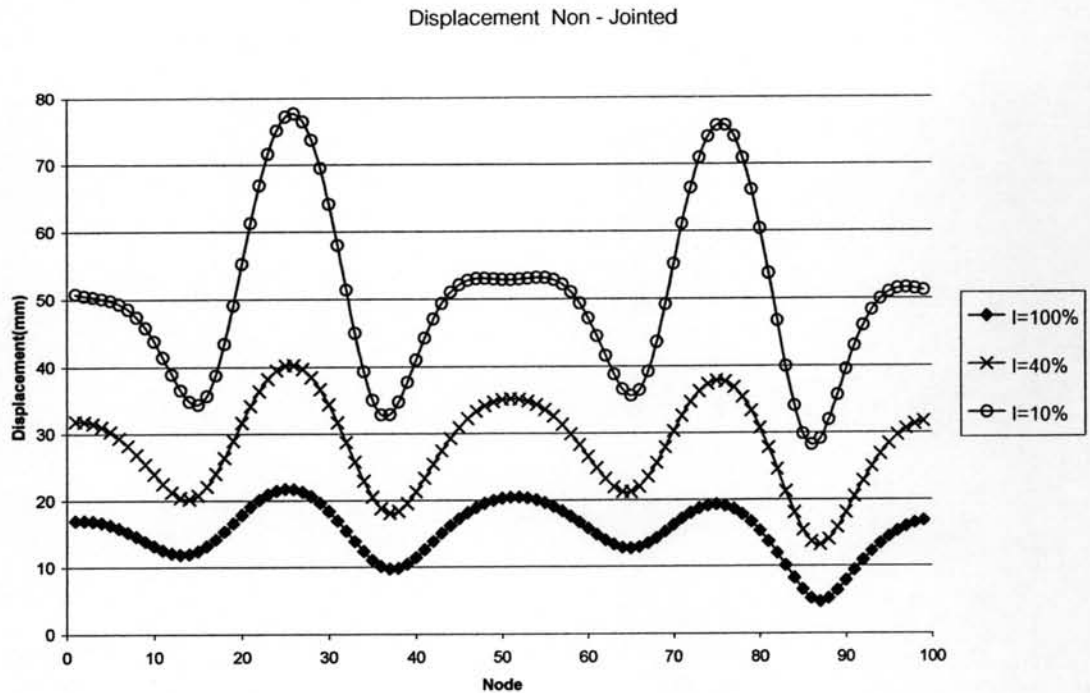
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของดาดอุโมงค์  
กรณีอุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 1500 kN/m

Bending Moment Non - Jointed

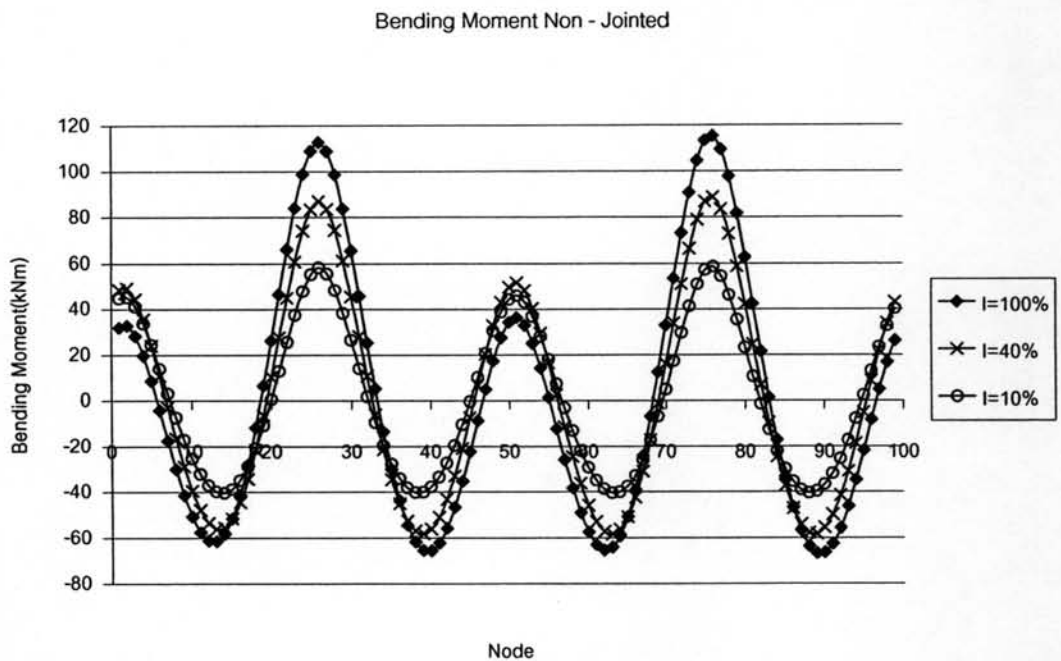


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของดาดอุโมงค์  
กรณีอุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 500 kN/m



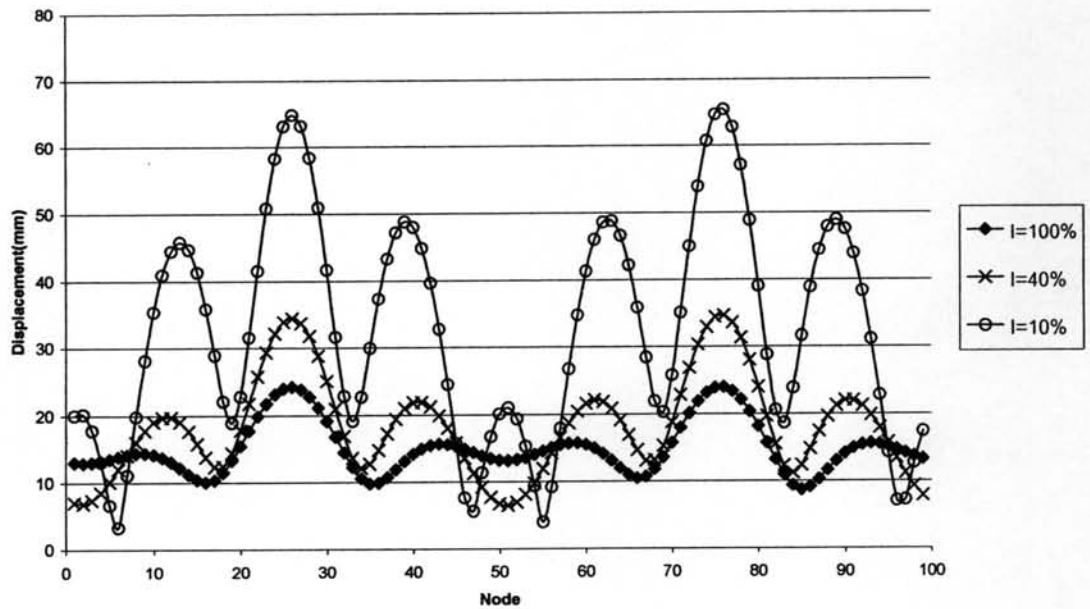


**รูปที่ 4.14** กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของดาดอุโมงค์  
กรณีอุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 500 kN/m



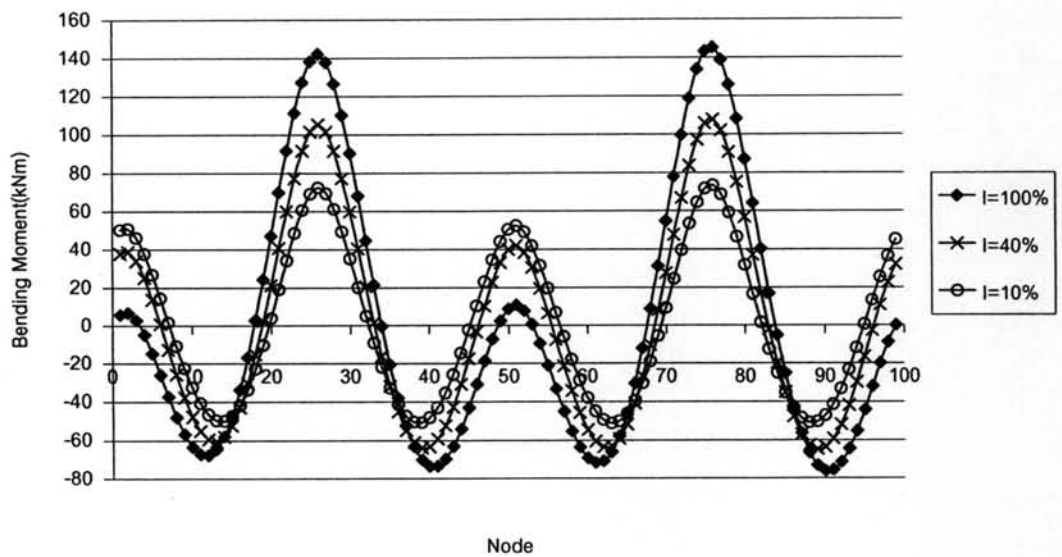
**รูปที่ 4.15** กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของดาดอุโมงค์  
กรณีอุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 3 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 3000 kN/m

Displacement Non - Jointed



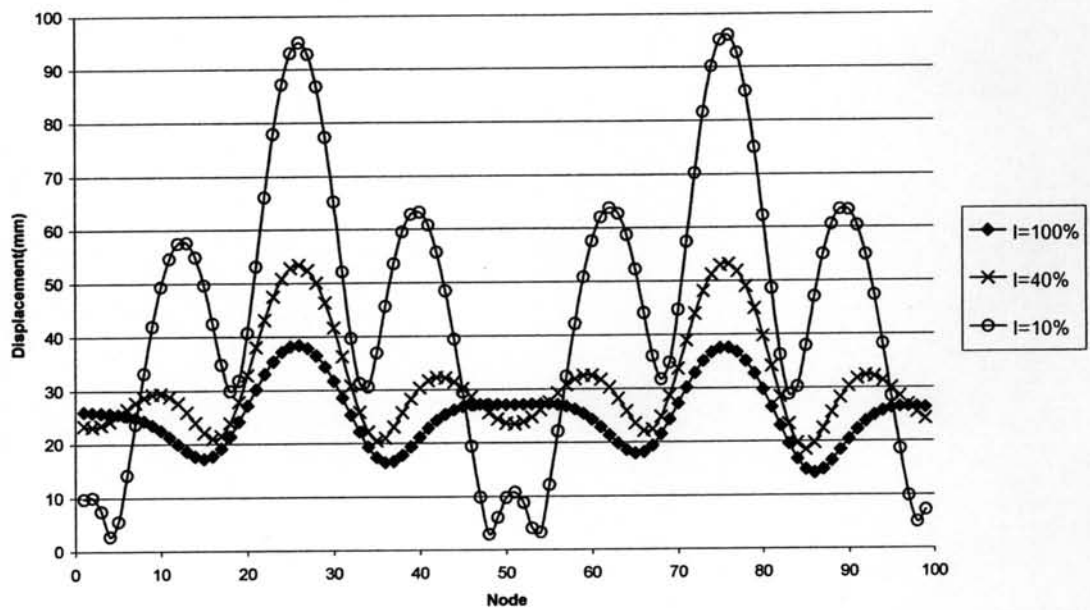
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของดาดอุโมงค์  
กรณีอุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 3 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 3000 kN/m

Bending Moment Non - Jointed



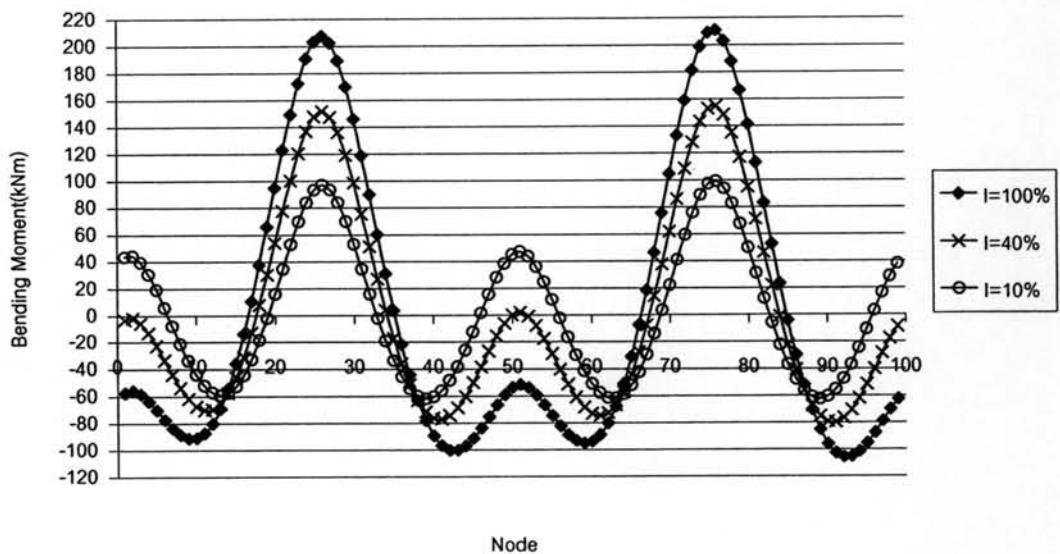
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของดาดอุโมงค์  
กรณีอุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 3 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 1500 kN/m

Displacement Non - Jointed



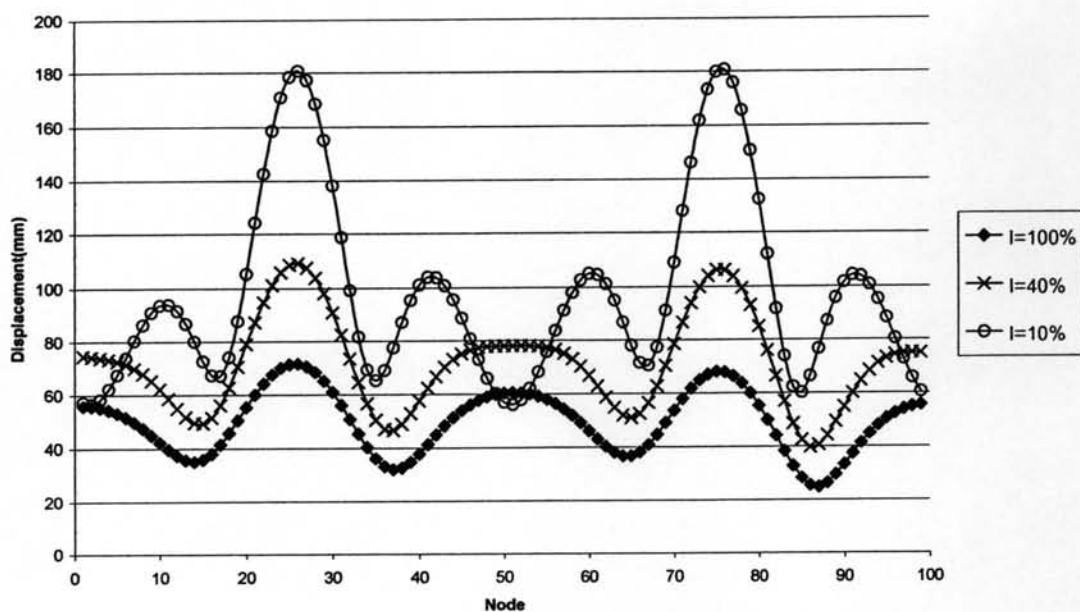
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของดาดอุโมงค์  
กรณีอุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 3 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 1500 kN/m

Bending Moment Non - Jointed



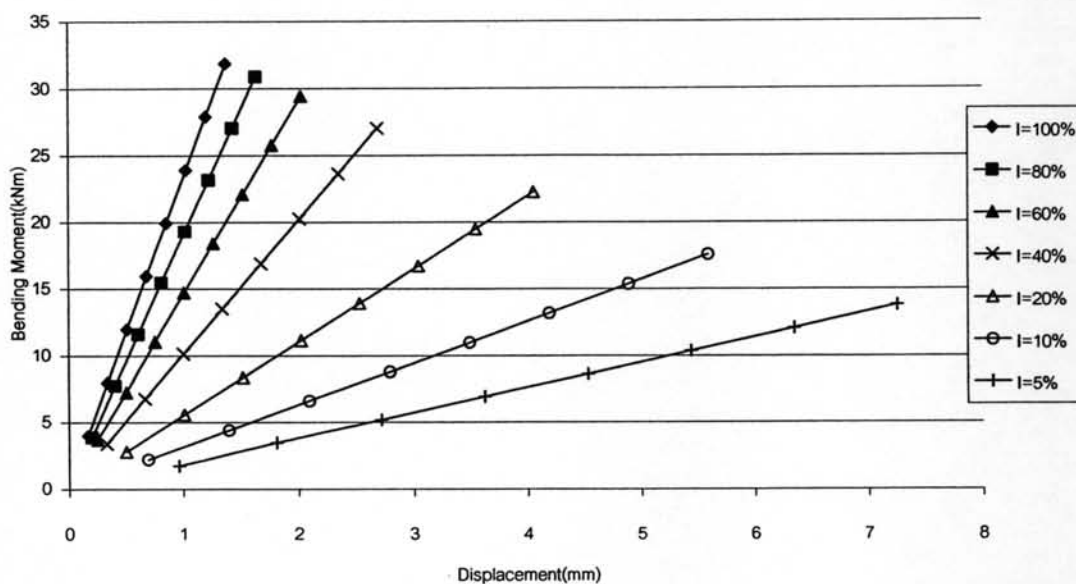
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของดาดอุโมงค์  
กรณีอุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 3 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 500 kN/m

Displacement Non - Jointed



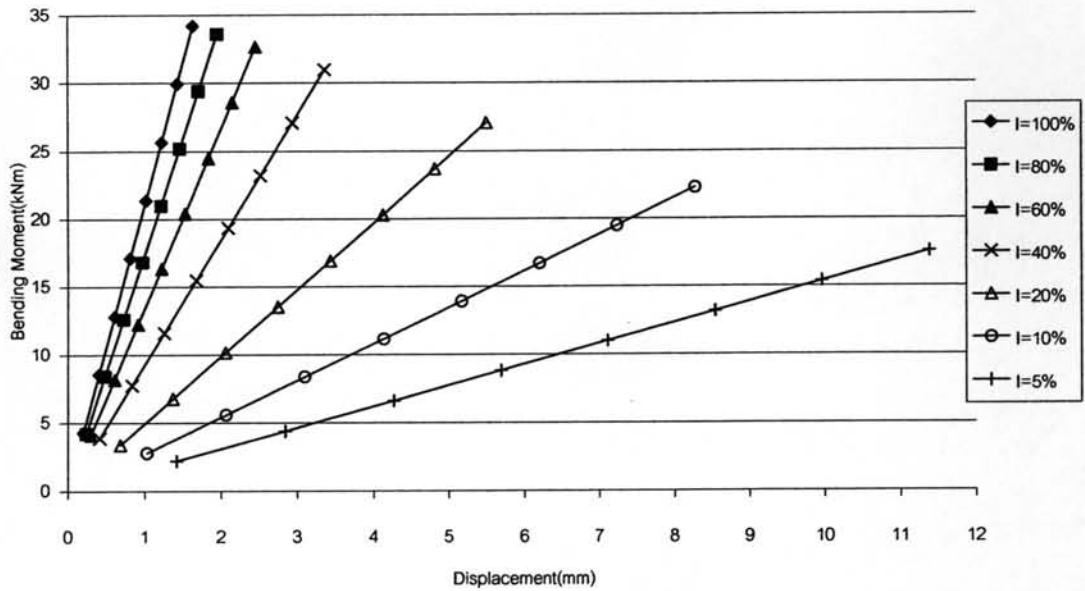
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของตาดอุโมงค์ กรณีอุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 3 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 500 kN/m

Bending Moment and Displacement Non - Jointed



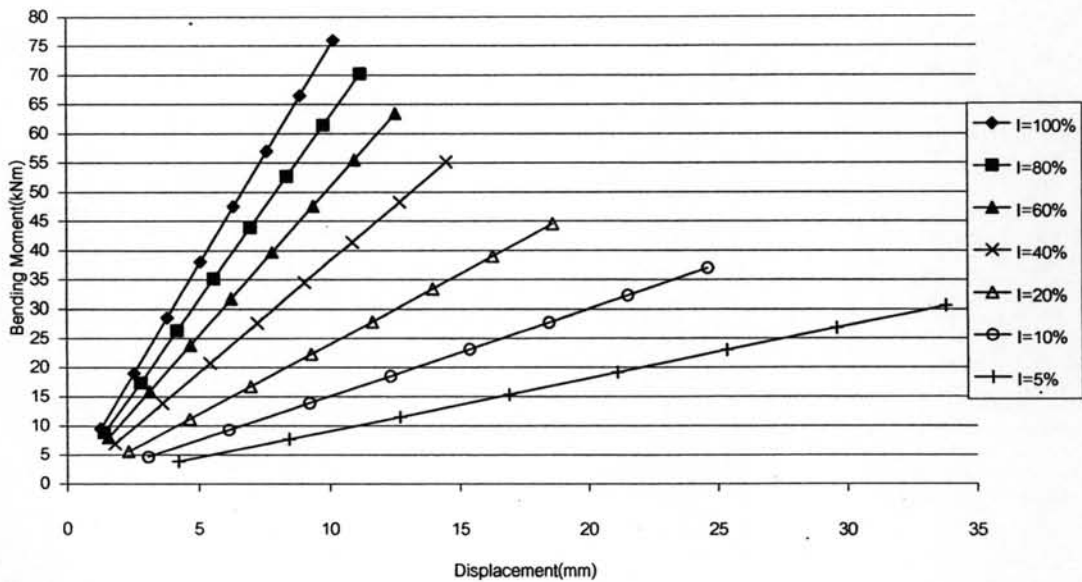
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดและค่าการเคลื่อนตัวในแนว Spring Line กรณีที่อุโมงค์มีขนาดรัศมี เท่ากับ 1 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 3000 kN/m

Bending Moment and Displacement Non - Jointed



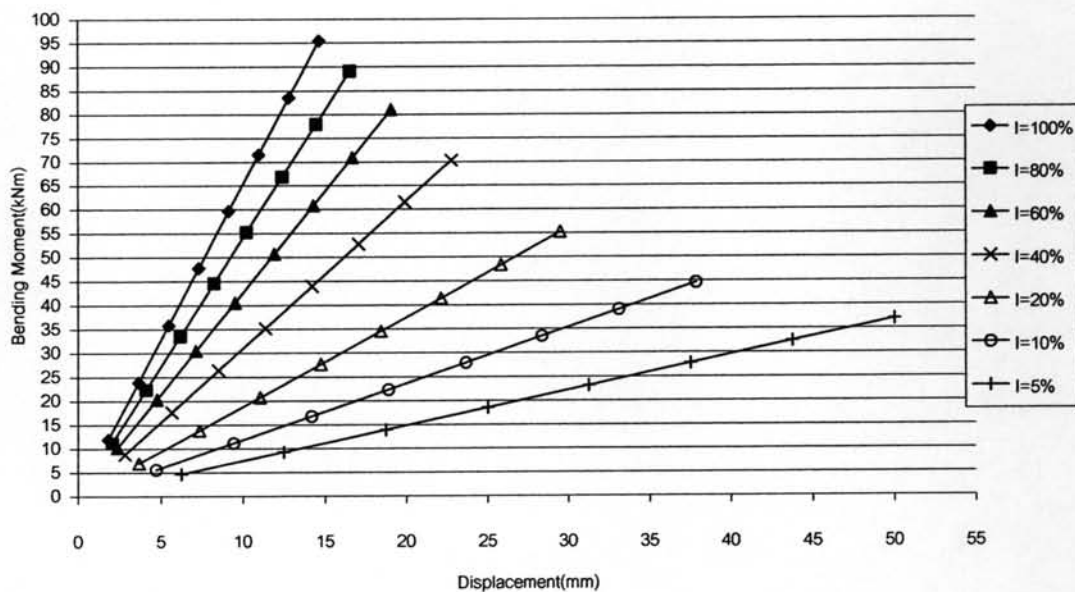
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดและค่าการเคลื่อนตัวในแนว Spring Line กรณีที่อุโมงค์มีขนาดรัศมี เท่ากับ 1 เมตรและค่า K ของจุดรองรับเท่ากับ 1500 kN/m

Bending Moment and Displacement Non - Jointed



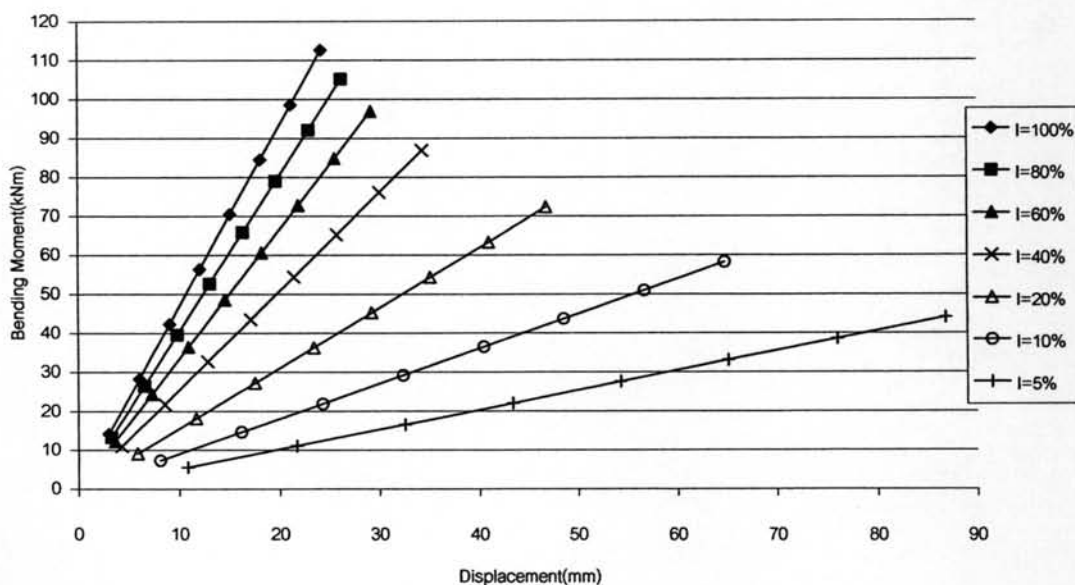
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดและค่าการเคลื่อนตัวในแนว Spring Line กรณีที่อุโมงค์มีขนาดรัศมี เท่ากับ 2 เมตรและค่า K ของจุดรองรับเท่ากับ 3000 kN/m

Bending Moment and Displacement Non - Jointed



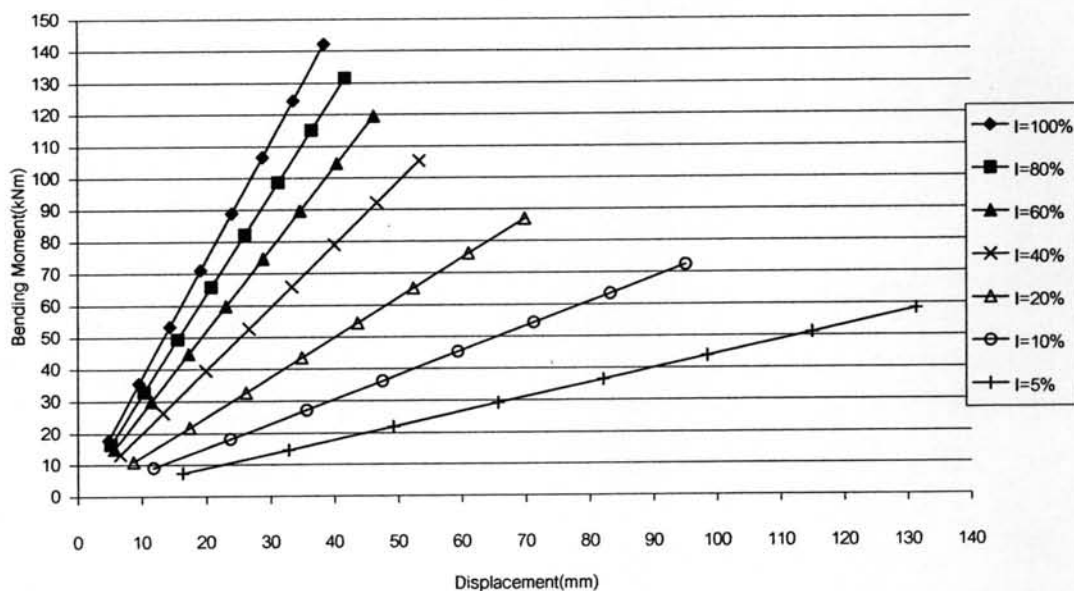
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดและค่าการเคลื่อนตัวในแนว Spring Line กรณีที่อุโมงค์มีขนาดรัศมี เท่ากับ 2 เมตรและค่า K ของจุดรองรับเท่ากับ 1500 kN/m

Bending Moment and Displacement Non - Jointed



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดและค่าการเคลื่อนตัวในแนว Spring Line กรณีที่อุโมงค์มีขนาดรัศมี เท่ากับ 3 เมตรและค่า K ของจุดรองรับเท่ากับ 3000 kN/m

## Bending Moment and Displacement Non - Jointed



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดและค่าการเคลื่อนตัวในแนว Spring Line กรณีที่อุโมงค์มีขนาดรัศมี เท่ากับ 3 เมตรและค่า K ของจุดรองรับเท่ากับ 1500 kN/m

สำหรับกรณีที่ค่า K ของจุดรองรับมีค่าเท่ากับ 500 kN/m นั้นจะให้ค่าโมเมนต์ดัดและค่าการเคลื่อนตัวที่มีค่าสูงมาก จึงนำผลการวิเคราะห์มานำเสนอในรูปแบบของตารางดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าโมเมนต์ดัดและค่าการเคลื่อนตัวในแนว Spring Line ของอุโมงค์กรณีลดค่า I ทั้งวง(Non-Jointed Lining) รัศมีของอุโมงค์เท่ากับ 1 , 2 และ 3 เมตร

$R_c = 1.0 \text{ m.}$							
สัดส่วนค่า I (%)	$I(m^4)$	K = 3000 kN/m		K = 1500 kN/m		K = 500 kN/m	
		M(kNm)	$\Delta$ (mm)	M(kNm)	$\Delta$ (mm)	M(kNm)	$\Delta$ (mm)
100	0.000281	31.859	1.378	34.182	1.637	36.01	2.262
80	0.000225	30.874	1.638	33.574	1.955	35.774	2.63
60	0.000169	29.406	2.031	32.623	2.457	35.389	3.232
40	0.000113	26.990	2.691	30.93	3.362	34.654	4.392
20	0.000056	22.235	4.059	27.035	5.498	32.676	7.558
10	0.000028	17.550	5.594	22.263	8.271	29.507	12.732
5	0.000014	13.785	7.257	17.562	11.387	25.149	20.109

$R_c = 2.0 \text{ m.}$							
สัดส่วนค่า I (%)	$I(m^4)$	K = 3000 kN/m		K = 1500 kN/m		K = 500 kN/m	
		M(kNm)	$\Delta(mm)$	M(kNm)	$\Delta(mm)$	M(kNm)	$\Delta(mm)$
100	0.000281	75.952	10.178	95.375	14.652	122.675	21.64
80	0.000225	70.202	11.189	89.052	16.543	118.029	25.464
60	0.000169	63.387	12.525	80.960	19.080	111.275	31.094
40	0.000113	55.140	14.514	70.247	22.773	100.597	40.218
20	0.000056	44.505	18.620	55.151	29.522	81.04	58.14
10	0.000028	36.937	24.632	44.509	37.856	63.447	77.597
5	0.000014	30.591	33.825	36.924	50.040	50.248	99.477

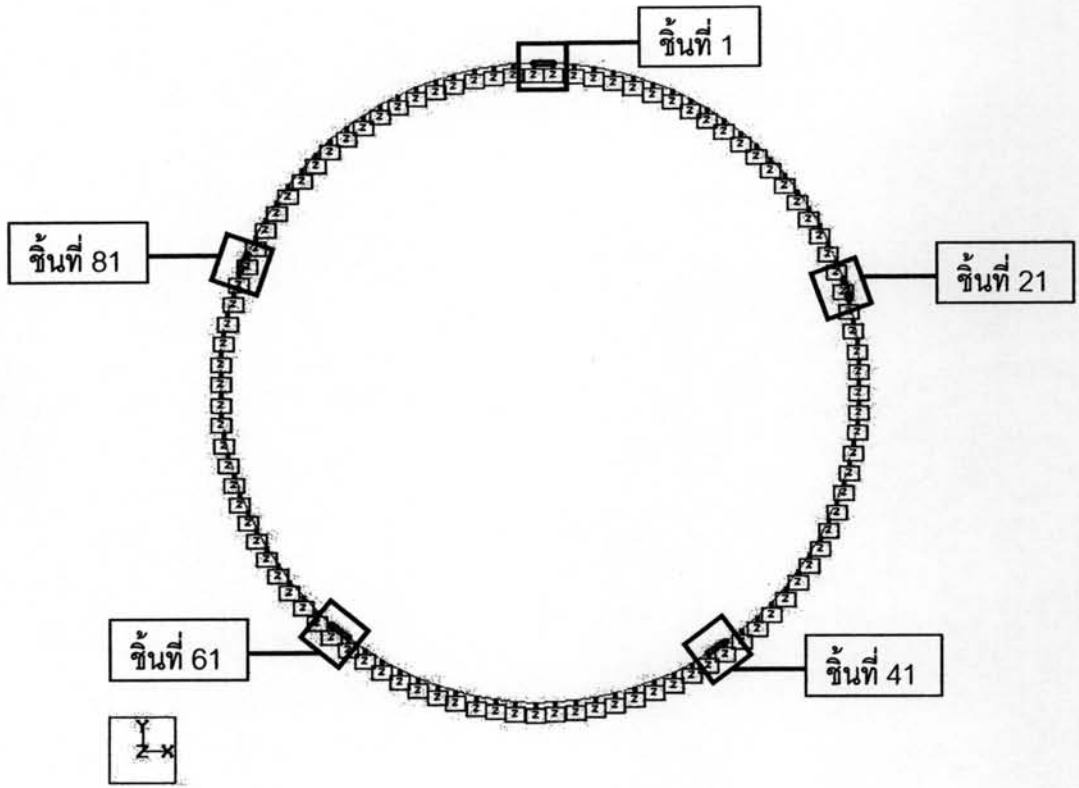
$R_c = 3.0 \text{ m.}$							
สัดส่วนค่า I (%)	$I(m^4)$	K = 3000 kN/m		K = 1500 kN/m		K = 500 kN/m	
		M(kNm)	$\Delta(mm)$	M(kNm)	$\Delta(mm)$	M(kNm)	$\Delta(mm)$
100	0.000281	112.597	24.211	142.077	38.401	207.338	71.56
80	0.000225	105.204	26.232	131.447	41.678	193.061	80.344
60	0.000169	96.867	29.209	119.349	46.171	175.052	92.055
40	0.000113	86.88	34.363	105.212	53.338	151.642	109.056
20	0.000056	72.26	46.843	86.89	69.824	119.38	140.535
10	0.000028	58.178	64.8	72.276	95.076	96.891	180.654
5	0.000014	43.972	86.881	58.186	131.366	80.614	240.31

#### 4.2.2 ผลการวิเคราะห์กรณีลดค่าสติฟเนสของผนังอุโมงค์บางชิ้นส่วน(Jointed Lining)

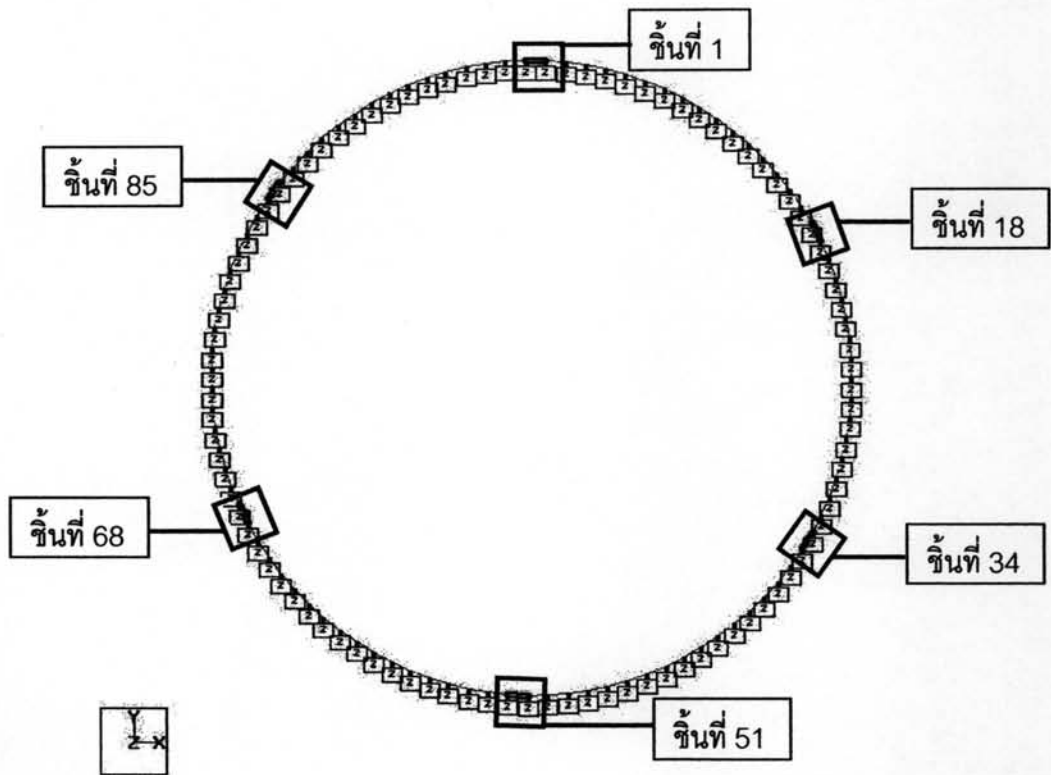
##### 4.2.1.1 เลือกชิ้นส่วนของอุโมงค์ที่จะลดค่า I ให้เป็น Joint ของอุโมงค์ จำนวน 1 ชิ้นส่วน

ในกรณีที่ทำกรวิเคราะห์โดยลดค่า I บางชิ้นส่วนจะแสดงผลการวิเคราะห์โดยในหัวข้อนี้จะเป็นไปตามเงื่อนไขในหัวข้อที่ 4.1.2.1 ซึ่งจะแสดงรูปภาพตำแหน่งการเลือกชิ้นส่วนที่ลดค่า I ในรูปที่ 4.27 , 4.28 และ 4.29 และแสดงผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.3 , 4.4 และ 4.5

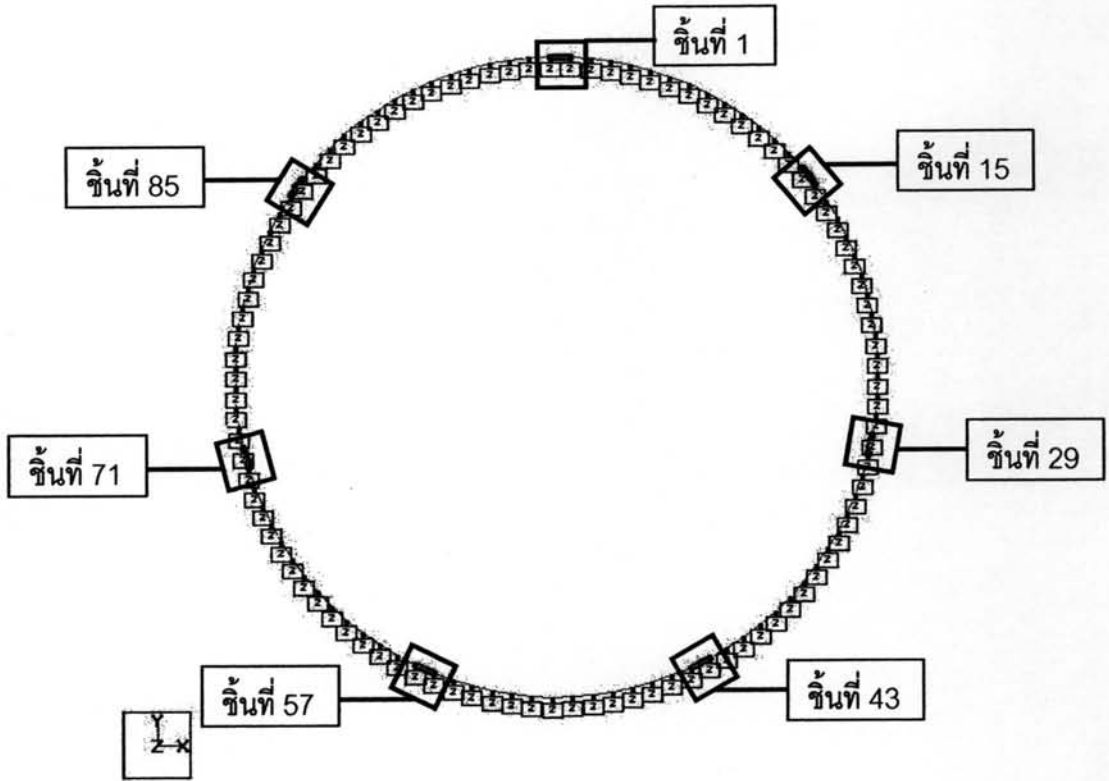




รูปที่ 4.27 รูปแสดงการเลือกชั้นส่วนที่ลดค่า | จำนวน 5 - Joint

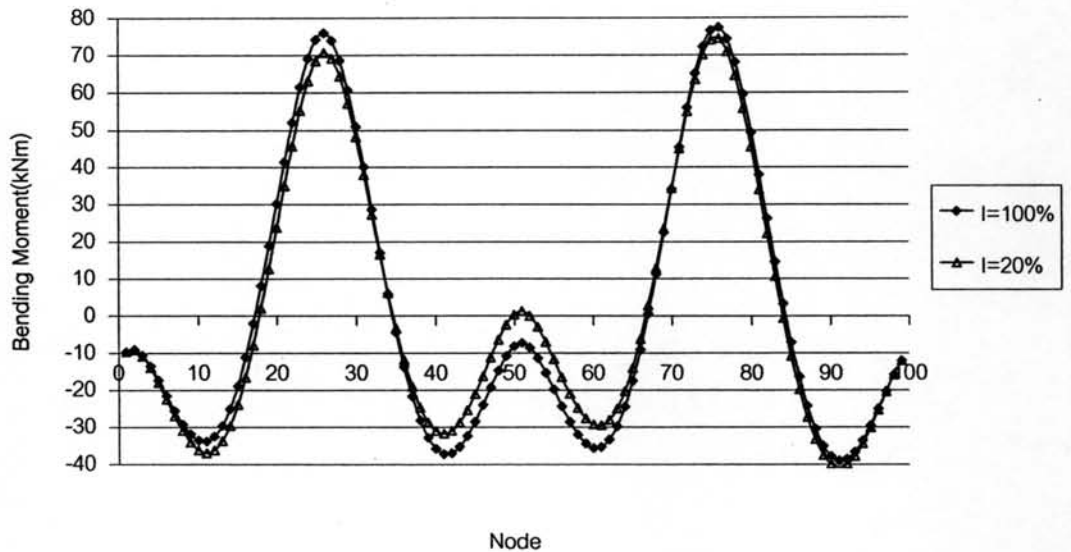


รูปที่ 4.28 รูปแสดงการเลือกชั้นส่วนที่ลดค่า | จำนวน 6 - Joint

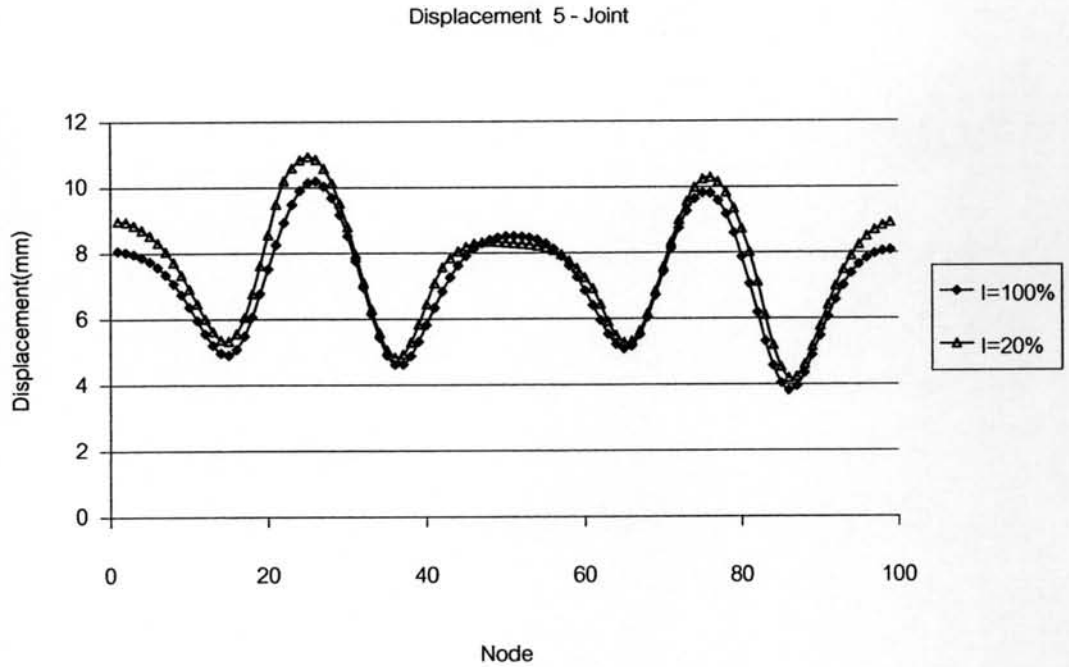


รูปที่ 4.29 รูปแสดงการเลือกชิ้นส่วนที่ลดค่า I จำนวน 7 - Joint

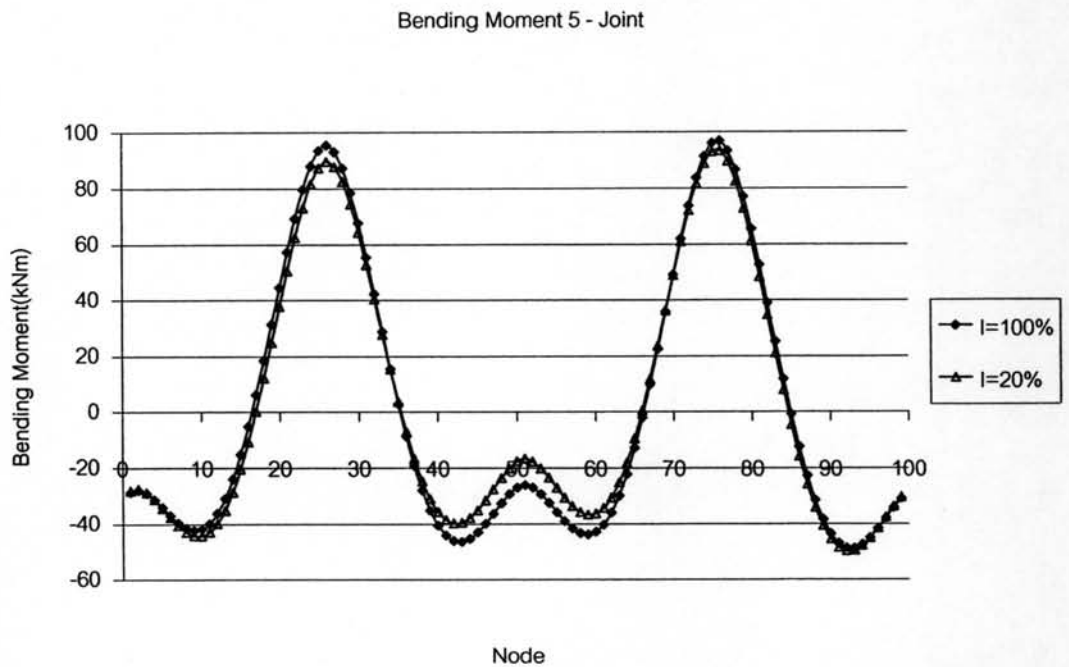
Bending Moment 5 - Joint



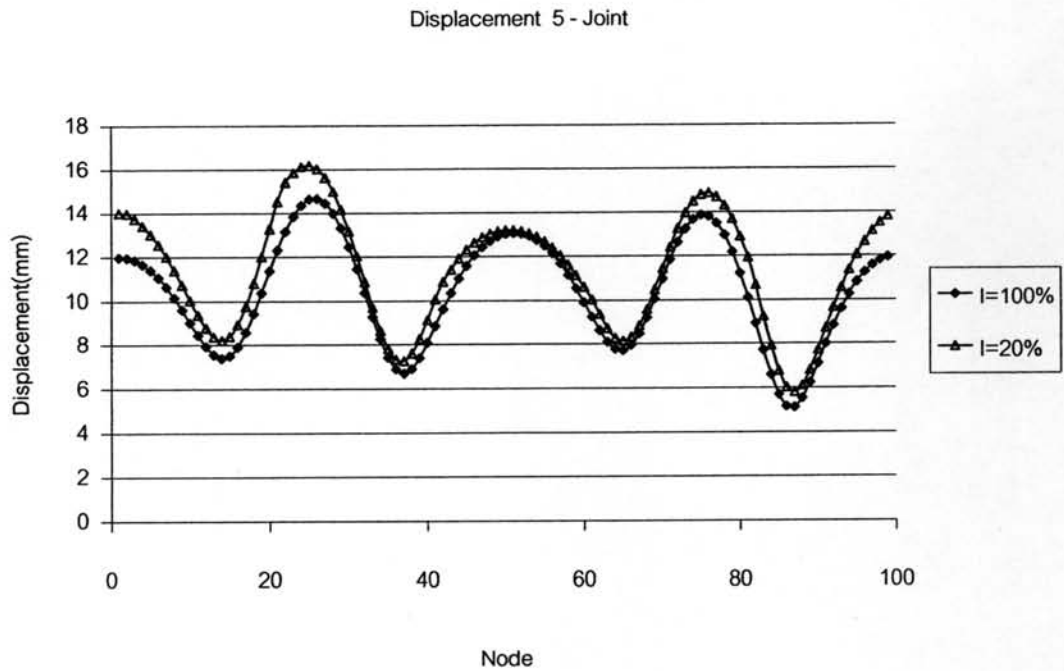
รูปที่ 4.30 กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า I ของ Joint อุโมงค์ (5-Joint) อุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า K ของจุดรองรับเท่ากับ 3000 kN/m



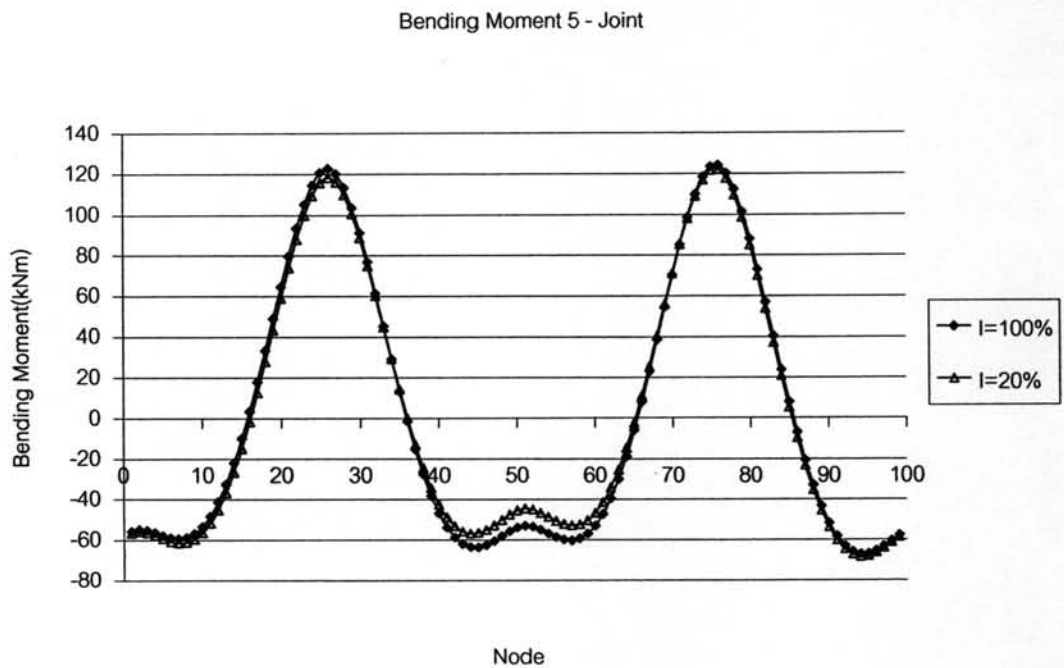
**รูปที่ 4.31** กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของ Joint อุโมงค์ (5-Joint) อุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 3000 kN/m



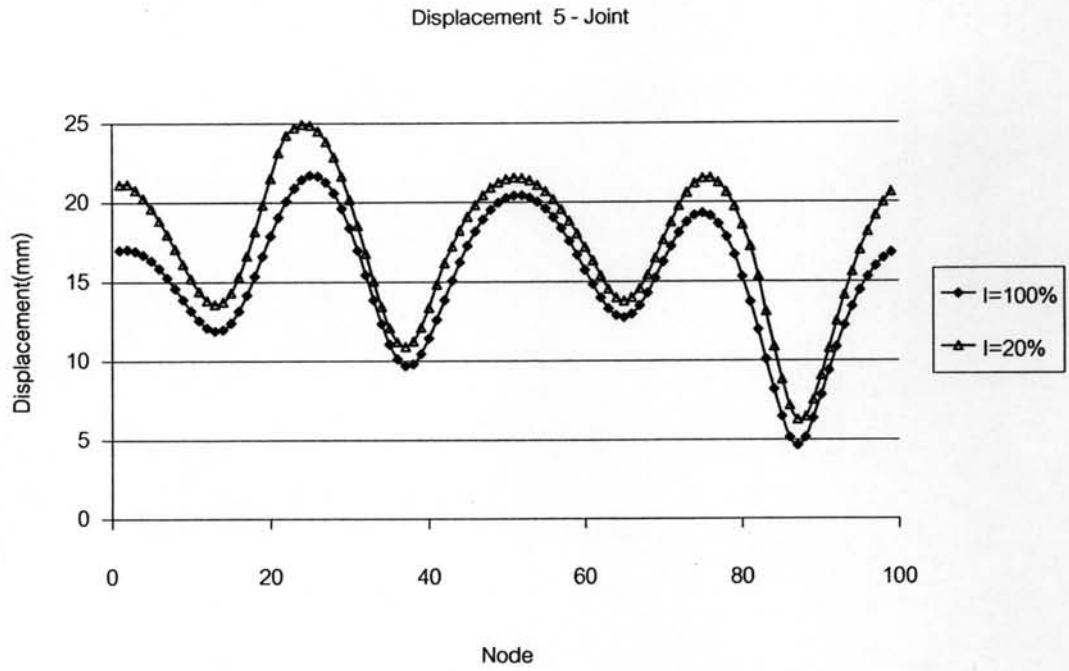
**รูปที่ 4.32** กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของ Joint อุโมงค์ (5-Joint) อุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 1500 kN/m



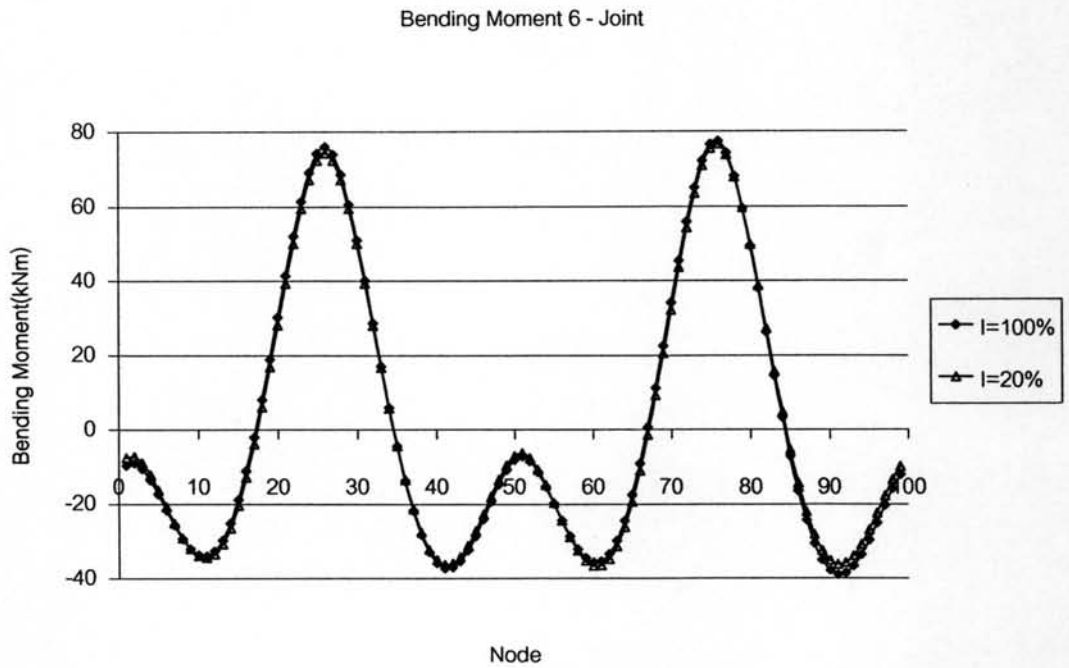
**รูปที่ 4.33** กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของ Joint อุโมงค์ (5-Joint) อุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 1500 kN/m



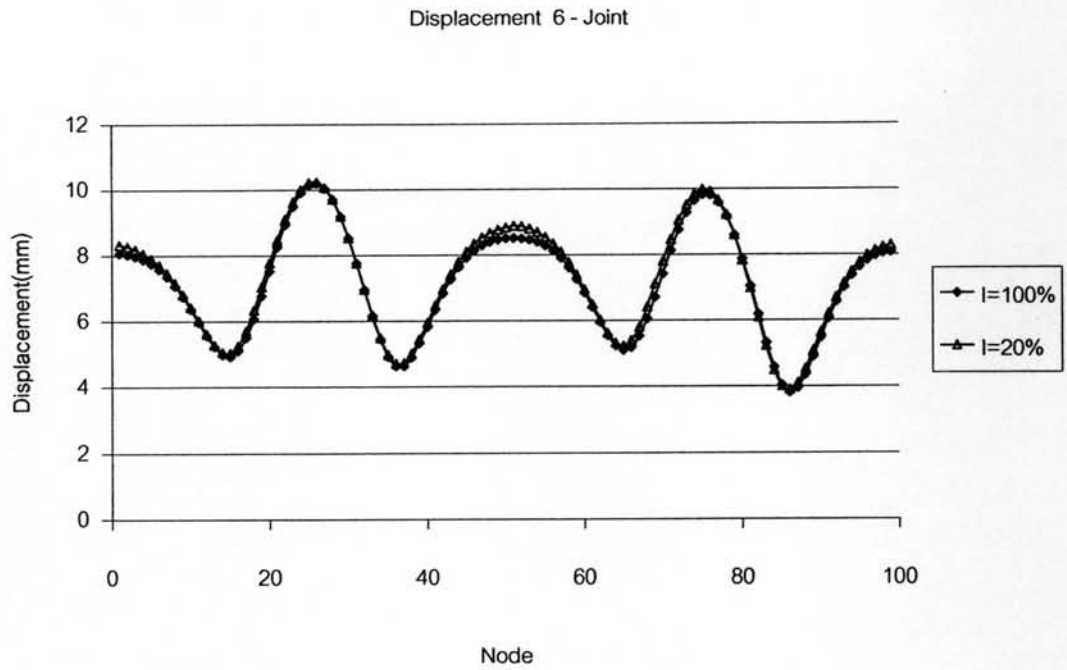
**รูปที่ 4.34** กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของ Joint อุโมงค์ (5-Joint) อุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 500 kN/m



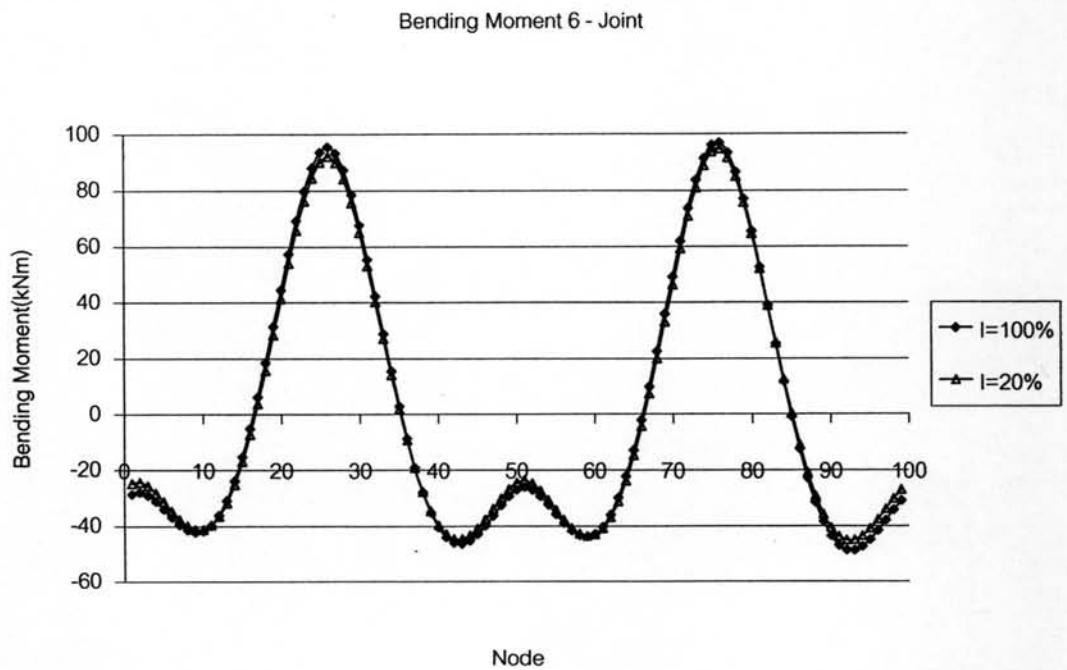
**รูปที่ 4.35** กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของ Joint อุโมงค์ (5-Joint) อุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 500 kN/m



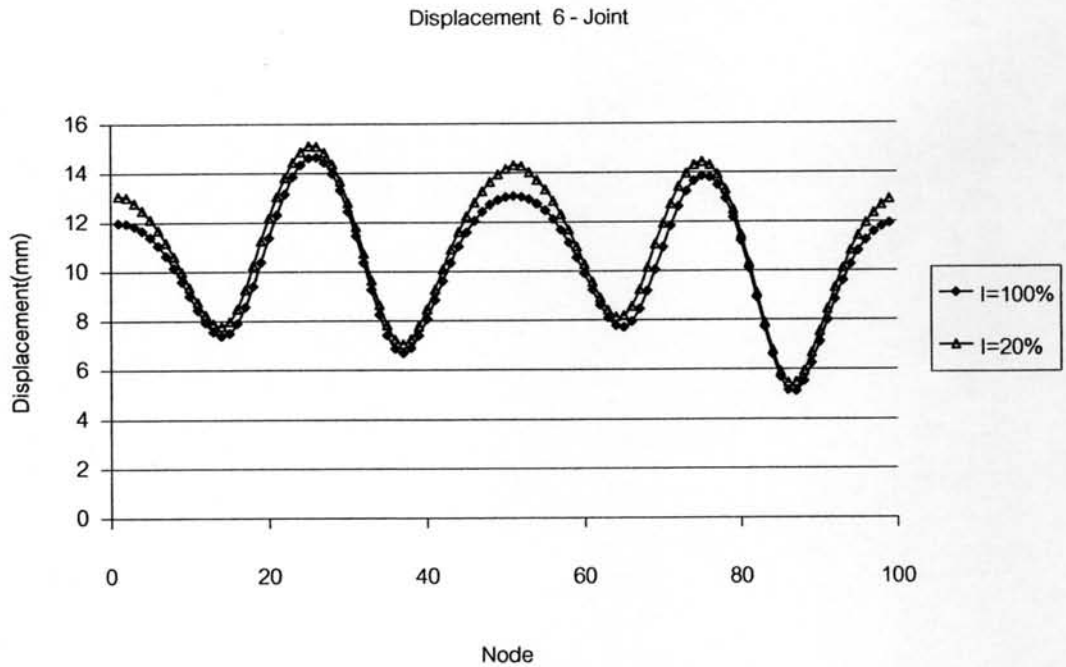
**รูปที่ 4.36** กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของ Joint อุโมงค์ (6-Joint) อุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 3000 kN/m



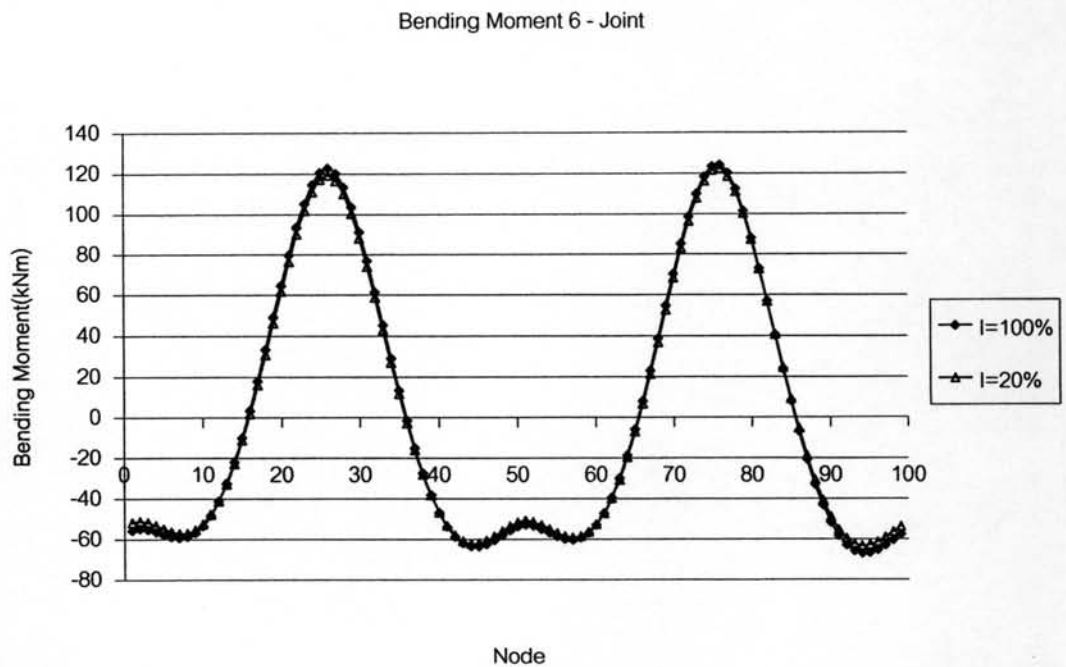
**รูปที่ 4.37** กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของ Joint อุโมงค์ (6-Joint) อุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 3000 kN/m



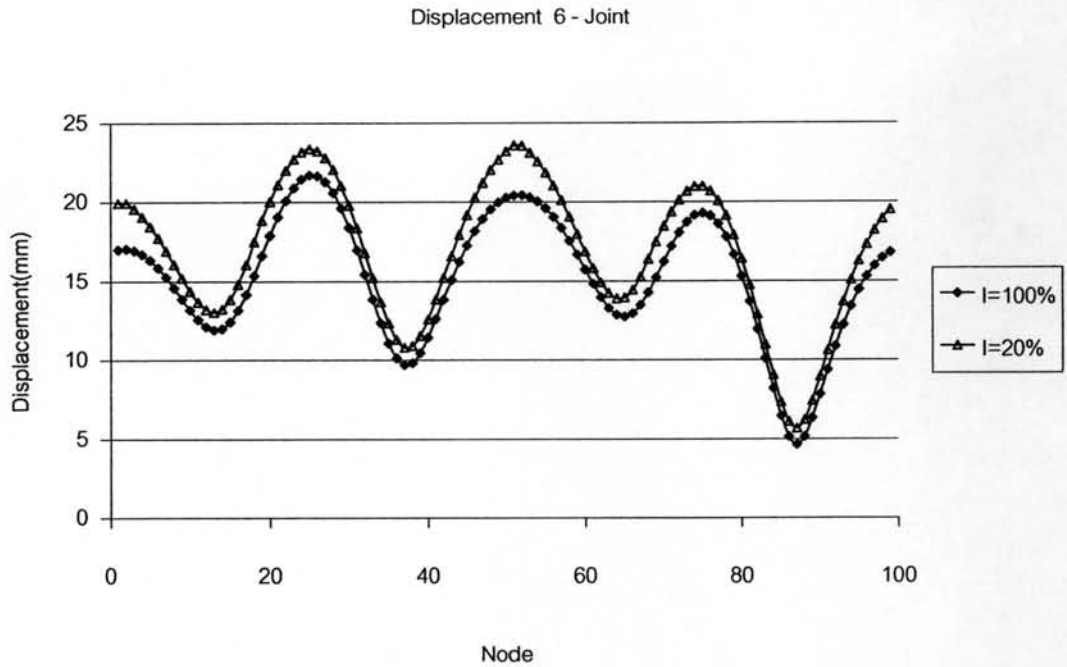
**รูปที่ 4.38** กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของ Joint อุโมงค์ (6-Joint) อุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 1500 kN/m



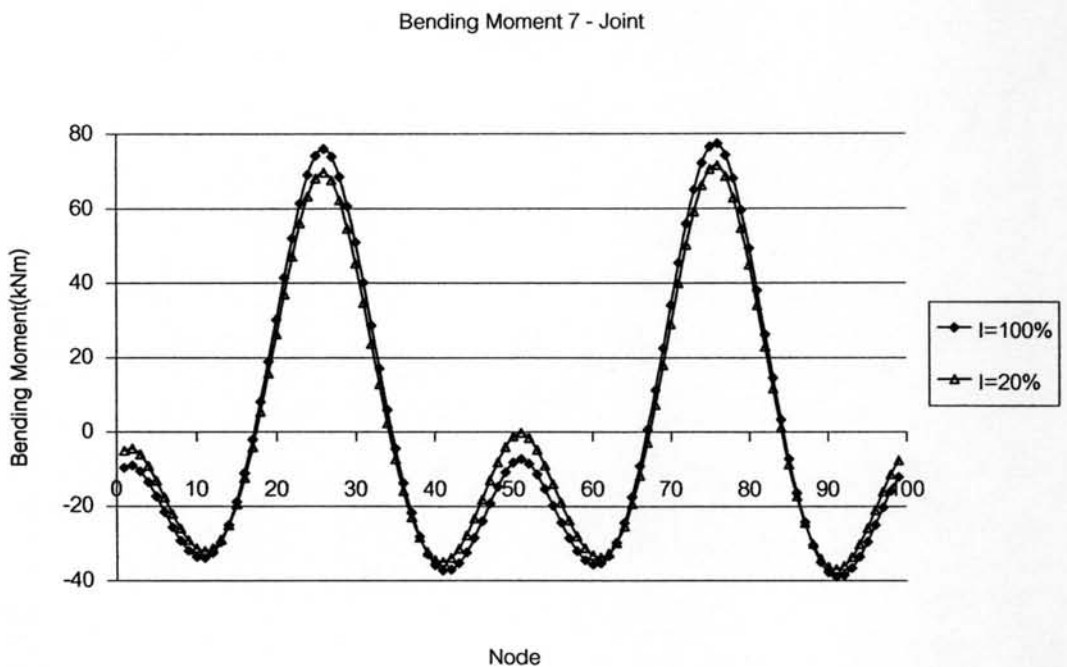
**รูปที่ 4.39** กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของ Joint อุโมงค์ (6-Joint) อุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 1500 kN/m



**รูปที่ 4.40** กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของ Joint อุโมงค์ (6-Joint) อุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 500 kN/m

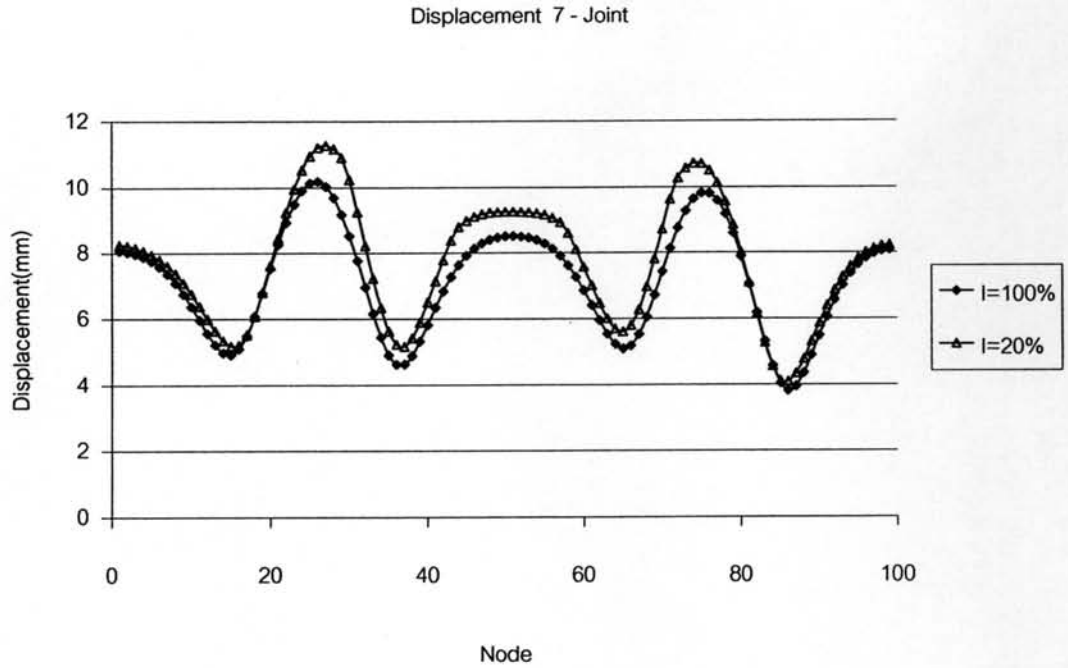


**รูปที่ 4.41** กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของ Joint อุโมงค์ (6-Joint) อุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า  $K$  ของจตุรรองรับเท่ากับ 500 kN/m

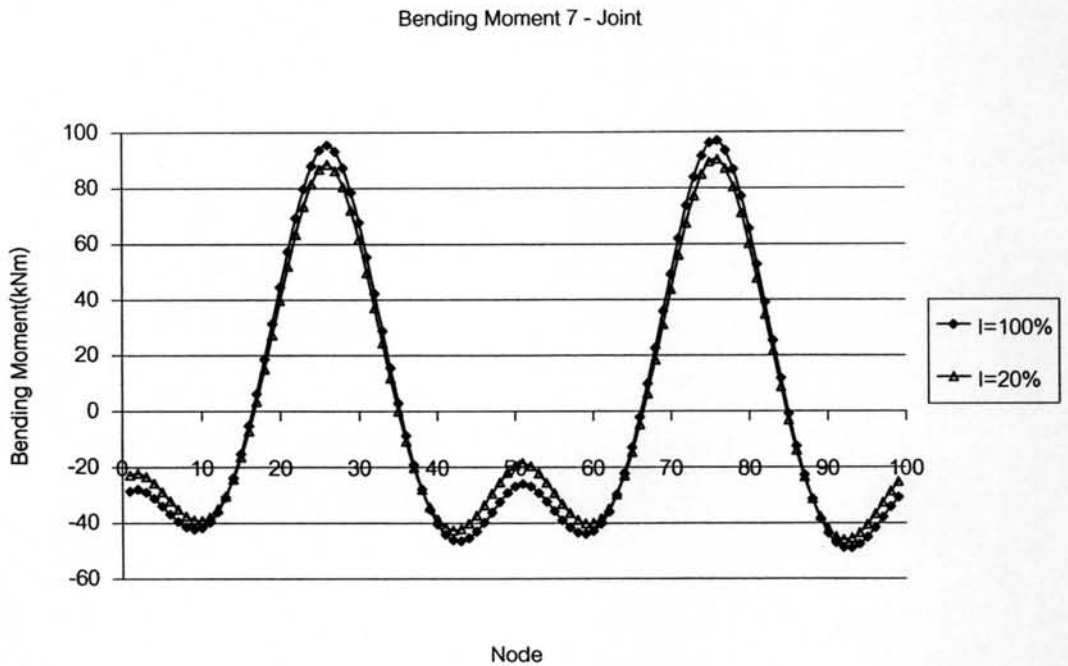


**รูปที่ 4.42** กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของ Joint อุโมงค์ (7-Joint) อุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า  $K$  ของจตุรรองรับเท่ากับ 3000 kN/m

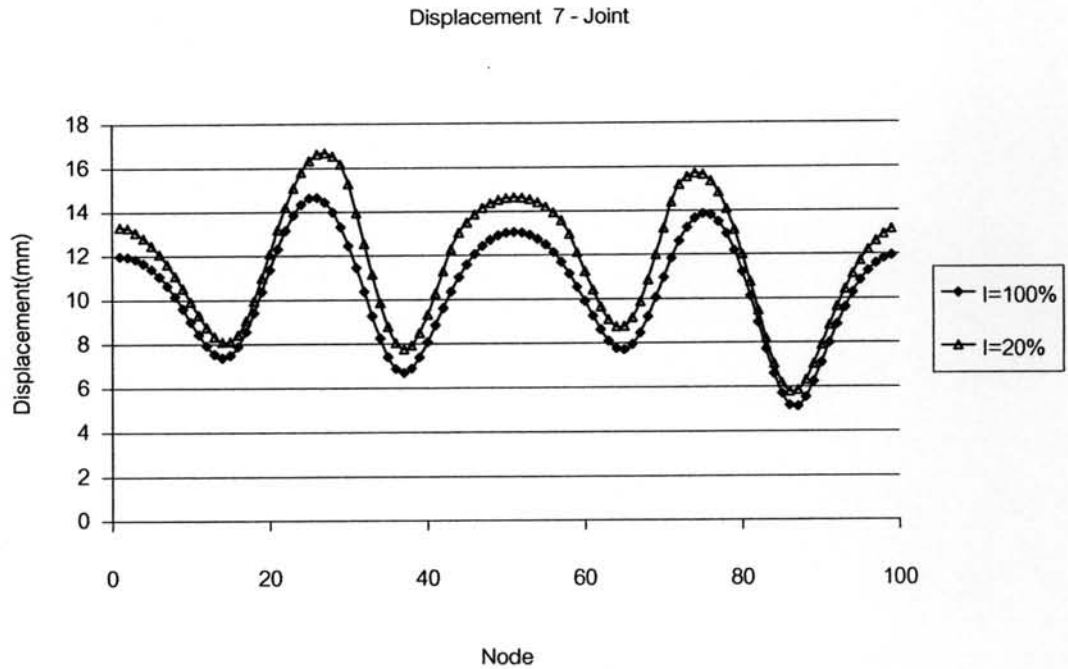




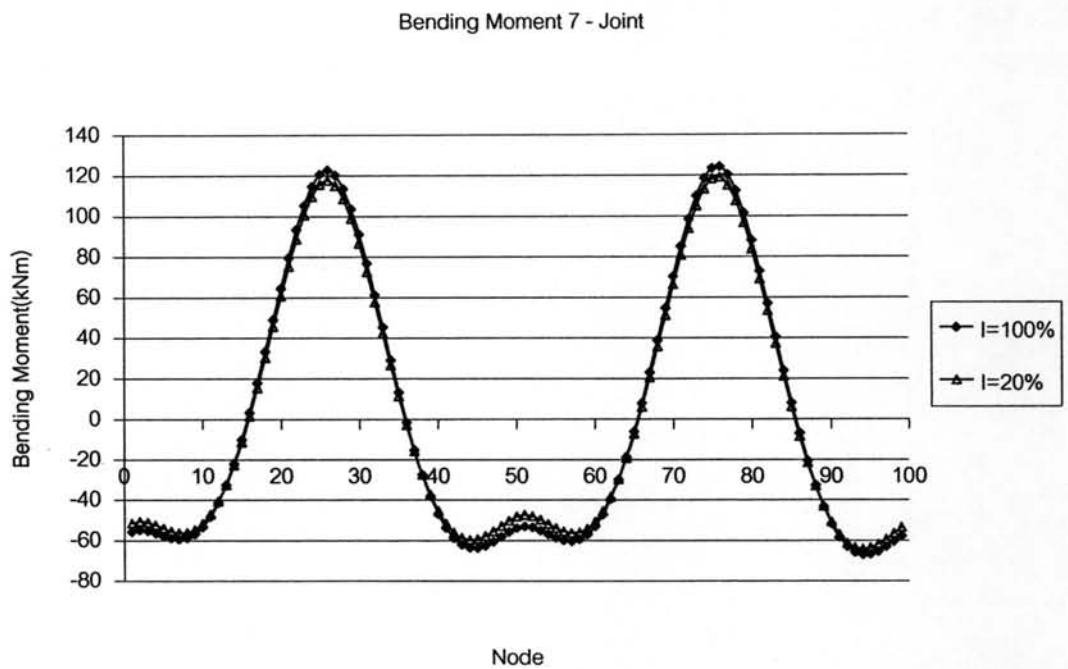
**รูปที่ 4.43** กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของ Joint อุโมงค์ (7-Joint) อุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 3000 kN/m



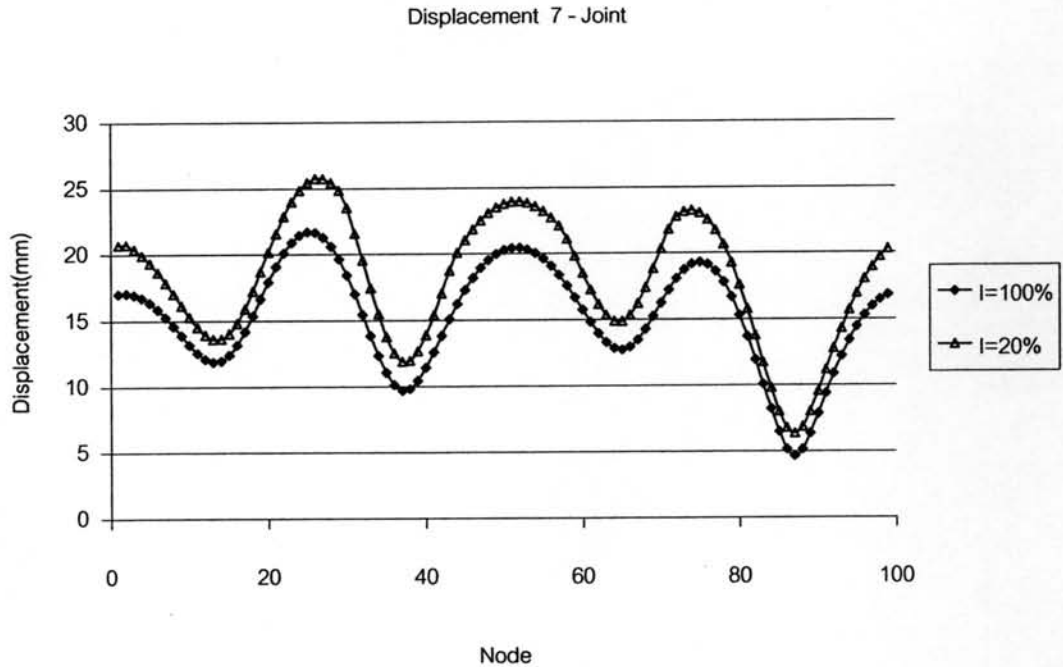
**รูปที่ 4.44** กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของ Joint อุโมงค์ (7-Joint) อุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 1500 kN/m



**รูปที่ 4.45** กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของ Joint อุโมงค์ (7-Joint) อุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 1500 kN/m



**รูปที่ 4.46** กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของ Joint อุโมงค์ (7-Joint) อุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 500 kN/m



**รูปที่ 4.47** กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า  $I$  ของ Joint อุโมงค์ (7-Joint) อุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า  $K$  ของจุดรองรับเท่ากับ 500 kN/m

**ตารางที่ 4.3** ตารางแสดงค่าโมเมนต์ดัดและค่าการเคลื่อนตัวในแนว Spring Line ของอุโมงค์กรณีลดค่า  $I$  5 - Joint รัศมีของอุโมงค์เท่ากับ 1 , 2 และ 3 เมตร

$R_c = 1.0 \text{ m.}$							
สัดส่วนค่า $I$ (%)	$I(\text{m}^4)$	$K = 3000 \text{ kN/m}$		$K = 1500 \text{ kN/m}$		$K = 500 \text{ kN/m}$	
		$M(\text{kNm})$	$\Delta(\text{mm})$	$M(\text{kNm})$	$\Delta(\text{mm})$	$M(\text{kNm})$	$\Delta(\text{mm})$
100	0.000281	31.859	1.378	34.182	1.637	36.01	2.262
80	0.000225	31.791	1.390	34.134	1.652	35.98	2.28
60	0.000169	31.680	1.411	34.054	1.677	35.931	2.309
40	0.000113	31.464	1.453	33.9	1.728	35.836	2.366
20	0.000056	30.853	1.575	33.464	1.878	35.576	2.539
10	0.000028	29.769	1.804	32.692	2.168	35.135	2.881
5	0.000014	27.976	2.206	31.392	2.705	34.431	3.548

$R_c = 2.0 \text{ m.}$							
สัดส่วนค่า I (%)	$I(m^4)$	K = 3000 kN/m		K = 1500 kN/m		K = 500 kN/m	
		M(kNm)	$\Delta(mm)$	M(kNm)	$\Delta(mm)$	M(kNm)	$\Delta(mm)$
100	0.000281	75.952	10.178	95.375	14.652	122.675	21.64
80	0.000225	75.575	10.224	94.970	14.725	122.367	21.828
60	0.000169	74.962	10.300	94.309	14.897	121.86	22.138
40	0.000113	73.794	10.445	93.038	15.191	120.873	22.748
20	0.000056	70.682	10.836	89.557	16.006	118.092	24.507
10	0.000028	65.798	11.454	83.799	17.375	113.19	27.73
5	0.000014	59.281	12.288	75.462	19.396	105.231	33.212

$R_c = 3.0 \text{ m.}$							
สัดส่วนค่า I (%)	$I(m^4)$	K = 3000 kN/m		K = 1500 kN/m		K = 500 kN/m	
		M(kNm)	$\Delta(mm)$	M(kNm)	$\Delta(mm)$	M(kNm)	$\Delta(mm)$
100	0.000281	112.597	24.211	142.077	38.401	207.338	71.56
80	0.000225	112.075	24.275	141.357	38.535	206.423	71.987
60	0.000169	111.235	24.379	140.192	38.751	204.927	72.687
40	0.000113	109.664	24.576	137.992	39.161	202.055	74.038
20	0.000056	105.659	25.086	132.248	40.24	194.226	77.752
10	0.000028	99.858	25.837	123.574	41.879	181.392	83.92
5	0.000014	92.933	26.752	112.624	43.962	163.081	92.857

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าโมเมนต์ดัดและค่าการเคลื่อนตัวในแนว Spring Line ของอุโมงค์  
กรณีลดค่า  $I$  6 - Joint รัศมีของอุโมงค์เท่ากับ 1 , 2 และ 3 เมตร

$R_c = 1.0 \text{ m.}$							
สัดส่วนค่า $I$ (%)	$I(\text{m}^4)$	$K = 3000 \text{ kN/m}$		$K = 1500 \text{ kN/m}$		$K = 500 \text{ kN/m}$	
		$M(\text{kNm})$	$\Delta(\text{mm})$	$M(\text{kNm})$	$\Delta(\text{mm})$	$M(\text{kNm})$	$\Delta(\text{mm})$
100	0.000281	31.859	1.378	34.182	1.637	36.01	2.262
80	0.000225	31.802	1.385	34.139	1.646	35.981	2.274
60	0.000169	31.708	1.397	34.067	1.662	35.934	2.293
40	0.000113	31.528	1.421	33.929	1.694	35.843	2.332
20	0.000056	31.027	1.492	33.549	1.789	35.602	2.448
10	0.000028	30.162	1.624	32.894	1.974	35.207	2.68
5	0.000014	28.782	1.856	31.829	2.316	34.603	3.134

$R_c = 2.0 \text{ m.}$							
สัดส่วนค่า $I$ (%)	$I(\text{m}^4)$	$K = 3000 \text{ kN/m}$		$K = 1500 \text{ kN/m}$		$K = 500 \text{ kN/m}$	
		$M(\text{kNm})$	$\Delta(\text{mm})$	$M(\text{kNm})$	$\Delta(\text{mm})$	$M(\text{kNm})$	$\Delta(\text{mm})$
100	0.000281	75.952	10.178	95.375	14.652	122.675	21.64
80	0.000225	75.824	10.181	95.128	14.682	122.424	21.744
60	0.000169	75.617	10.186	94.727	14.730	122.013	21.915
40	0.000113	75.226	10.197	93.962	14.824	121.218	22.252
20	0.000056	74.210	10.229	91.908	15.087	119.015	23.227
10	0.000028	72.684	10.283	88.626	15.529	115.242	25.008
5	0.000014	70.766	10.356	84.094	16.173	109.339	28.003

$R_c = 3.0 \text{ m.}$							
สัดส่วนค่า I (%)	I(m <sup>4</sup> )	K = 3000 kN/m		K = 1500 kN/m		K = 500 kN/m	
		M(kNm)	$\Delta$ (mm)	M(kNm)	$\Delta$ (mm)	M(kNm)	$\Delta$ (mm)
100	0.000281	112.597	24.211	142.077	38.401	207.338	71.56
80	0.000225	112.926	24.216	142.069	38.393	206.812	71.684
60	0.000169	113.454	24.225	142.055	38.38	205.956	71.887
40	0.000113	114.441	24.243	142.034	38.357	204.326	72.28
20	0.000056	116.955	24.295	142.003	38.305	199.771	73.366
10	0.000028	120.585	24.373	142.02	38.232	193.081	75.164
5	0.000014	124.908	24.467	142.146	43.962	183.719	77.734

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่าโมเมนต์ดัดและค่าการเคลื่อนตัวในแนว Spring Line ของอุโมงค์  
กรณีลดค่า I 7-Joint รัศมีของอุโมงค์เท่ากับ 1, 2 และ 3 เมตร

$R_c = 1.0 \text{ m.}$							
สัดส่วนค่า I (%)	I(m <sup>4</sup> )	K = 3000 kN/m		K = 1500 kN/m		K = 500 kN/m	
		M(kNm)	$\Delta$ (mm)	M(kNm)	$\Delta$ (mm)	M(kNm)	$\Delta$ (mm)
100	0.000281	31.859	1.378	34.182	1.637	36.01	2.262
80	0.000225	31.786	1.396	34.138	1.659	35.993	2.288
60	0.000169	31.666	1.426	34.064	1.695	35.963	2.33
40	0.000113	31.432	1.486	33.919	1.768	35.905	2.414
20	0.000056	30.758	1.660	33.495	1.984	35.733	2.666
10	0.000028	29.531	1.982	32.695	2.396	35.402	3.163
5	0.000014	27.456	2.539	31.25	3.153	34.774	4.125

$R_c = 2.0 \text{ m.}$							
สัดส่วนค่า I (%)	$I(m^4)$	K = 3000 kN/m		K = 1500 kN/m		K = 500 kN/m	
		M(kNm)	$\Delta(mm)$	M(kNm)	$\Delta(mm)$	M(kNm)	$\Delta(mm)$
100	0.000281	75.952	10.178	95.375	14.652	122.675	21.64
80	0.000225	75.499	10.249	94.888	14.787	122.331	21.909
60	0.000169	74.764	10.364	94.092	15.008	121.763	22.353
40	0.000113	73.373	10.587	92.568	15.435	120.652	23.225
20	0.000056	69.718	11.198	88.435	16.619	117.489	25.729
10	0.000028	64.121	12.213	81.729	18.615	111.834	30.267
5	0.000014	56.870	13.727	72.331	21.620	102.598	37.847

$R_c = 3.0 \text{ m.}$							
สัดส่วนค่า I (%)	$I(m^4)$	K = 3000 kN/m		K = 1500 kN/m		K = 500 kN/m	
		M(kNm)	$\Delta(mm)$	M(kNm)	$\Delta(mm)$	M(kNm)	$\Delta(mm)$
100	0.000281	112.597	24.211	142.077	38.401	207.338	71.56
80	0.000225	112.008	24.337	141.23	38.62	206.233	72.184
60	0.000169	111.039	24.543	139.863	38.979	204.431	73.207
40	0.000113	109.286	24.944	137.294	39.672	200.985	75.182
20	0.000056	104.754	26.057	130.663	41.572	191.693	80.616
10	0.000028	98.117	27.931	120.812	44.752	176.782	89.714
5	0.000014	89.932	30.729	108.506	49.561	156.218	103.313

4.2.1.2 เปลี่ยนแปลงตำแหน่งของชั้นส่วนของอุโมงค์ที่ถูกเลือก โดยการหมุนตำแหน่ง สำหรับการวิเคราะห์ในกรณีนี้ จะแสดงผลการวิเคราะห์การหาค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในวงอุโมงค์โดยจะลดค่า  $I$  ในชั้นส่วนที่ถูกเลือกลงเหลือ 60% เพื่อทำการเปรียบเทียบในแต่ละครั้งของการหมุนแล้วหาค่าโมเมนต์น้อยที่สุดโดยจะวิเคราะห์ที่ค่า  $K$  ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในกรณีเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของชั้นส่วนในอุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 1 , 2 และ 3 เมตร

$R_c = 1.0 \text{ m.}$						
5 ตำแหน่ง				6 ตำแหน่ง		
ครั้งที่	ตำแหน่ง การหมุน	มุม (องศา)	K	ตำแหน่ง การหมุน	มุม (องศา)	K
			3000 kN/m			3000 kN/m
			$M_{max}$ (kNm)			$M_{max}$ (kNm)
1	1,21,41,61,81	0	32.152	1,18,34,51,68,85	0	32.162
2	4,24,44,64,84	10.908	32.342	4,21,37,54,71,88	10.908	32.08
3	7,27,47,67,87	21.816	32.33	7,24,40,57,74,91	21.816	<b>31.99</b>
4	10,30,50,70,90	32.724	32.12	10,27,43,60,77,94	32.724	31.993
5	12,32,55,72,92	39.996	31.947	13,30,46,63,80,97	43.632	32.074
6	13,33,53,73,93	43.632	<b>31.928</b>			
7	14,35,55,75,95	47.268	31.978			



R <sub>c</sub> = 2.0 m.					
5 ตำแหน่ง					
ครั้งที่	ตำแหน่ง การหมุน	มุม(องศา)	K = 3000	K = 1500	K = 500
			kN/m	kN/m	kN/m
			M <sub>max</sub> (kNm)	M <sub>max</sub> (kNm)	M <sub>max</sub> (kNm)
1	1,21,41,61,81	0	76.827	96.218	123.754
2	4,24,44,64,84	10.908	77.6	96.99	124.521
3	7,27,47,67,87	21.816	77.532	96.924	124.468
4	10,30,50,70,90	32.724	76.667	96.057	123.617
5	11,31,51,71,91	36.36	76.288	95.684	123.258
6	12,32,52,72,92	39.996	<b>75.639</b>	95.323	122.914
7	13,33,53,73,93	43.632	75.915	<b>95.275</b>	<b>122.852</b>
8	14,34,54,74,94	47.268	76.111	95.457	123.053
9	16,36,56,76,96	54.54	76.22	95.585	123.157
10	19,39,59,79,99	65.448	76.073	95.465	123.011

R <sub>c</sub> = 2.0 m.					
6 ตำแหน่ง					
ครั้งที่	ตำแหน่ง การหมุน	มุม(องศา)	K = 3000	K = 1500	K = 500
			kN/m	kN/m	kN/m
			M <sub>max</sub> (kNm)	M <sub>max</sub> (kNm)	M <sub>max</sub> (kNm)
1	1,18,34,51,68,85	0	77.234	96.452	123.816
2	4,21,37,54,71,88	10.908	76.442	95.822	123.437
3	7,24,40,57,74,91	21.816	<b>75.516</b>	<b>95.097</b>	<b>123.018</b>
4	10,27,43,60,77,94	32.724	75.555	95.128	123.031
5	13,30,46,63,80,97	43.632	76.496	95.854	123.423



R <sub>c</sub> = 2.0 m.											
3 ชั้นส่วน				6 ชั้นส่วน				10 ชั้นส่วน			
I = 60%		I = 10%		I = 60%		I = 10%		I = 60%		I = 10%	
M(kNm)	Δ(mm)	M(kNm)	Δ(mm)	M(kNm)	Δ(mm)	M(kNm)	Δ(mm)	M(kNm)	Δ(mm)	M(kNm)	Δ(mm)
72.123	10.656	49.377	13.718	67.007	11.5	32.384	17.675	62.834	12.062	26.846	19.438
70.151	11.103	36.834	16.736	69.72	11.017	44.332	15.296	74.588	10.763	63.841	13.746
71.171	10.796	43.388	14.648	76.457	10.497	73.597	11.916				
74.058	10.445	61.715	12.112								
76.272	10.348	75.545	11.309								
76.31	10.351	75.75	11.355								

R <sub>c</sub> = 3.0 m.											
3 ชั้นส่วน				6 ชั้นส่วน				10 ชั้นส่วน			
I = 60%		I = 10%		I = 60%		I = 10%		I = 60%		I = 10%	
M(kNm)	Δ(mm)	M(kNm)	Δ(mm)	M(kNm)	Δ(mm)	M(kNm)	Δ(mm)	M(kNm)	Δ(mm)	M(kNm)	Δ(mm)
106.56	24.97	75.805	29.317	97.486	26.786	47.718	38.768	91.052	27.728	40.964	44.154
102.12	26.202	49.031	36.53	103.48	25.605	72.003	34.186	116.14	25.362	113.03	33.062
104.45	25.308	63.173	31.342	117.85	24.956	132.32	28.524				
110.80	24.566	101.73	26.716								
115.45	24.605	130.17	26.809								
115.54	24.616	130.68	26.884								

หมายเหตุ : ตารางที่ 4.7 ใช้ค่า K ของจุดรองรับเท่ากับ 3000 kN/m.

#### 4.2.3 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้วยค่า Distortion Ratio

ในกรณีนี้เป็นการนำผลการวิเคราะห์จากตารางที่ 4.2 และ 4.3 มาเปรียบเทียบกับค่า Distortion Ratio ที่ 0.5% และวิเคราะห์ผลตามขนาดของอุโมงค์และค่า K ของจุดรองรับเพื่อหาค่าการเคลื่อนตัวของอุโมงค์ที่ยอมให้ ( $\Delta R$ ) ของแต่ละกรณีดังนี้

$$\Delta R / R_c \times 100 = 0.5\%$$

โดยที่  $\Delta R$  คือ ค่าการเคลื่อนตัวของอุโมงค์ที่ยอมให้

$R_c$  คือ รัศมีของอุโมงค์

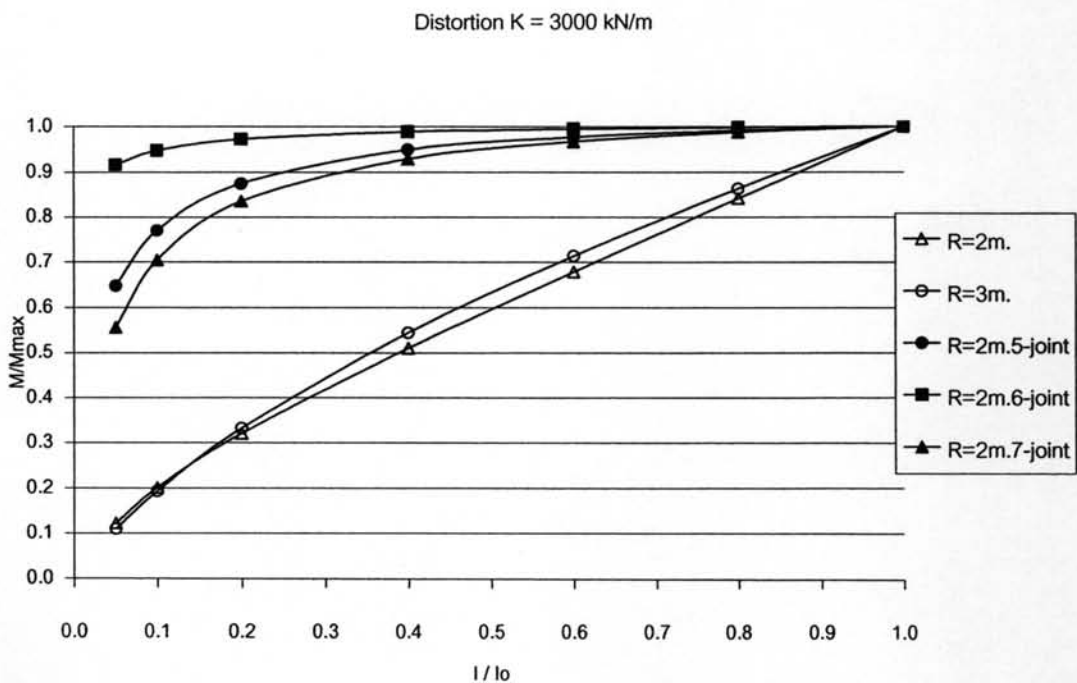
จากสมการด้านบนเมื่อแทนค่า  $R_c$  ด้วยขนาดรัศมีของอุโมงค์จะได้ว่า

$$R_c = 1 \text{ ม. } \Delta R = 5 \text{ มม.}$$

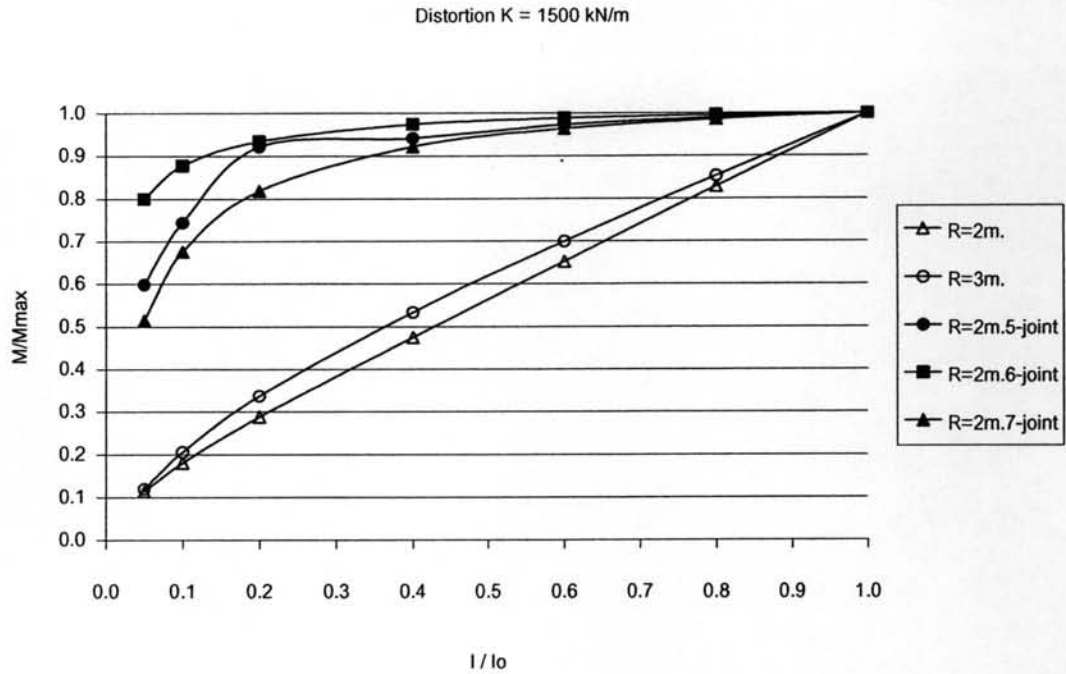
$$R_c = 2 \text{ ม. } \Delta R = 10 \text{ มม.}$$

$$R_c = 3 \text{ ม. } \Delta R = 15 \text{ มม.}$$

ซึ่งเมื่อนำค่า  $\Delta R$  ที่หาได้ไปลากจุดตัดในกราฟเพื่อหาค่าโมเมนต์ดัดที่  $R_c$  ต่างแล้วนำไปเปรียบเทียบกรณีลดค่า Moment of Inertia ( $I$ ) 1 ขึ้นส่วนจำนวน 5 ตำแหน่งจะได้ผลแสดงดังรูปที่ 4.12 และ 4.13 เมื่อแกน y เป็นค่าโมเมนต์ดัดที่หาได้หารด้วยค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด ส่วนแกน X เป็นอัตราส่วนค่า  $I / I_0$  มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1



รูปที่ 4.48 กราฟแสดงค่า Distortion ที่ 0.5 % เมื่อค่า K ของจุดรองรับเท่ากับ 3000 kN/m



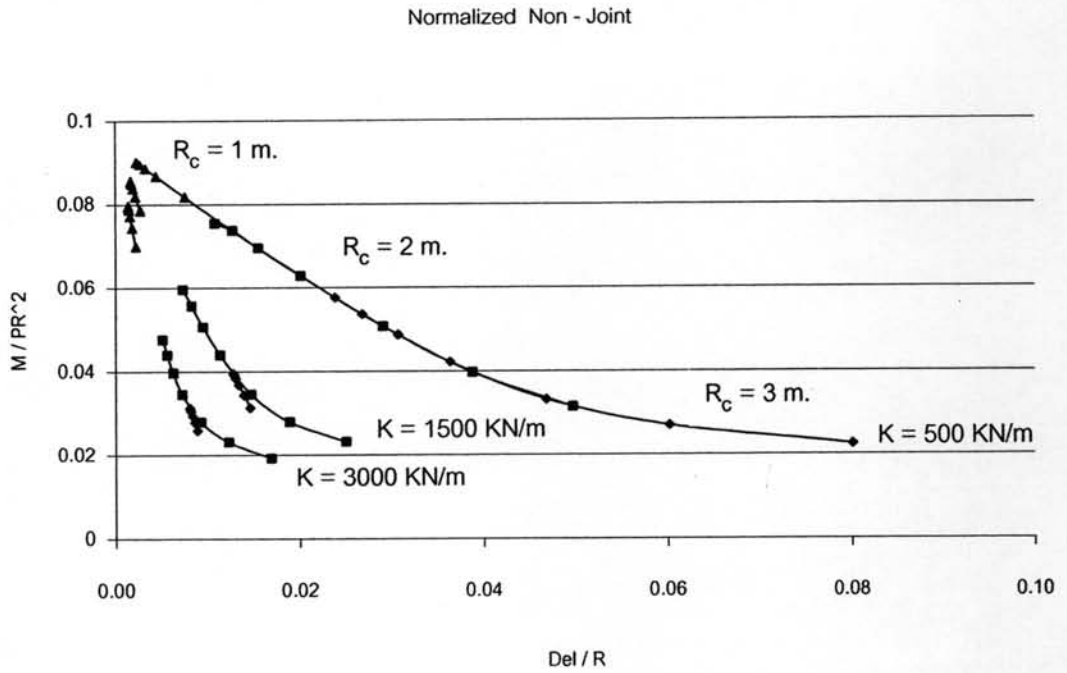
รูปที่ 4.49 กราฟแสดงค่า Distortion ที่ 0.5 % เมื่อค่า K ของจุดรองรับเท่ากับ 1500 kN/m

#### 4.2.4 การ Normalized ผลการวิเคราะห์

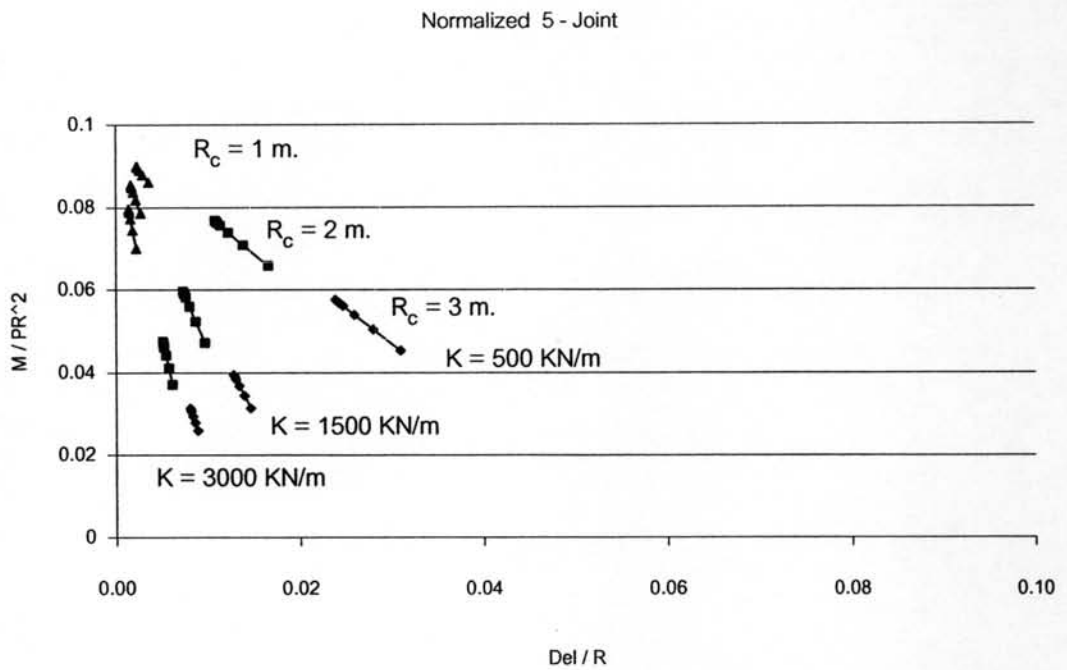
ในหัวข้อนี้จะเป็นการนำผลการวิเคราะห์ที่ได้จากหัวข้อ 4.2.1 และ 4.2.2 คือทั้งกรณี Non-Jointed Lining และ Jointed Lining มาทำการ Normalized โดยให้แกน X เป็นค่า  $M / PR^2$  และแกน Y เป็นค่า  $\Delta / R$  ดังแสดงในรูปที่ 4.14 ถึง 4.17 สำหรับค่า  $K_0 = 0.75$  และแสดงในรูปที่ 4.18 ถึง 4.21 สำหรับค่า  $K_0 = 0.5$  โดยกรณีค่า  $K_0 = 0.5$  นั้นมีการเปลี่ยนแปลงแรงในแนวแกนนอนจากตารางที่ 4.1

โดยที่

- M ค่าโมเมนต์ดัด(Bending Moment)ที่เกิดขึ้นในแนว Spring Line
- P แรงในแนวตั้งที่กระทำต่ออุโมงค์ มีค่าเท่ากับ 400 kN/m
- R รัศมีของอุโมงค์
- $\Delta$  ค่าการเคลื่อนตัว(Displacement)ที่เกิดขึ้นในแนว Spring Line

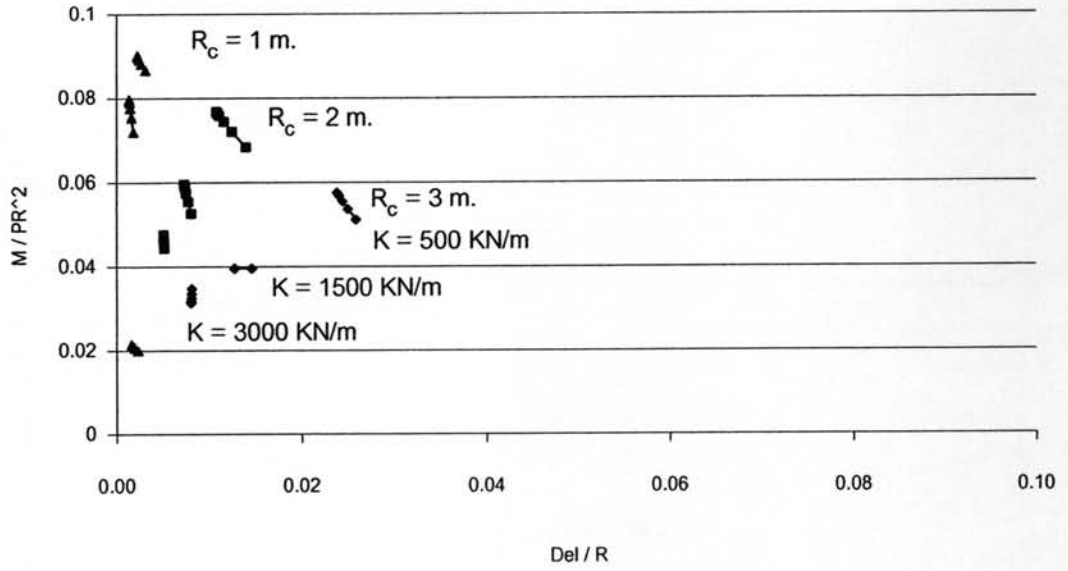


รูปที่ 4.50 แสดงการ Normalized Non - Jointed  $K_o = 0.75$



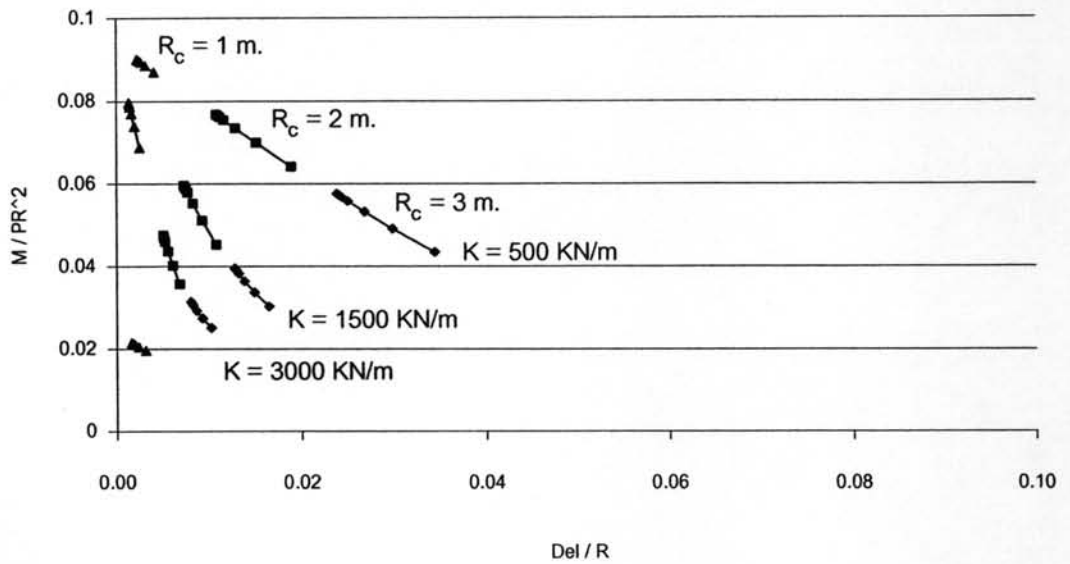
รูปที่ 4.51 แสดงการ Normalized 5 - Joint  $K_o = 0.75$

Normalized 6 - Joint

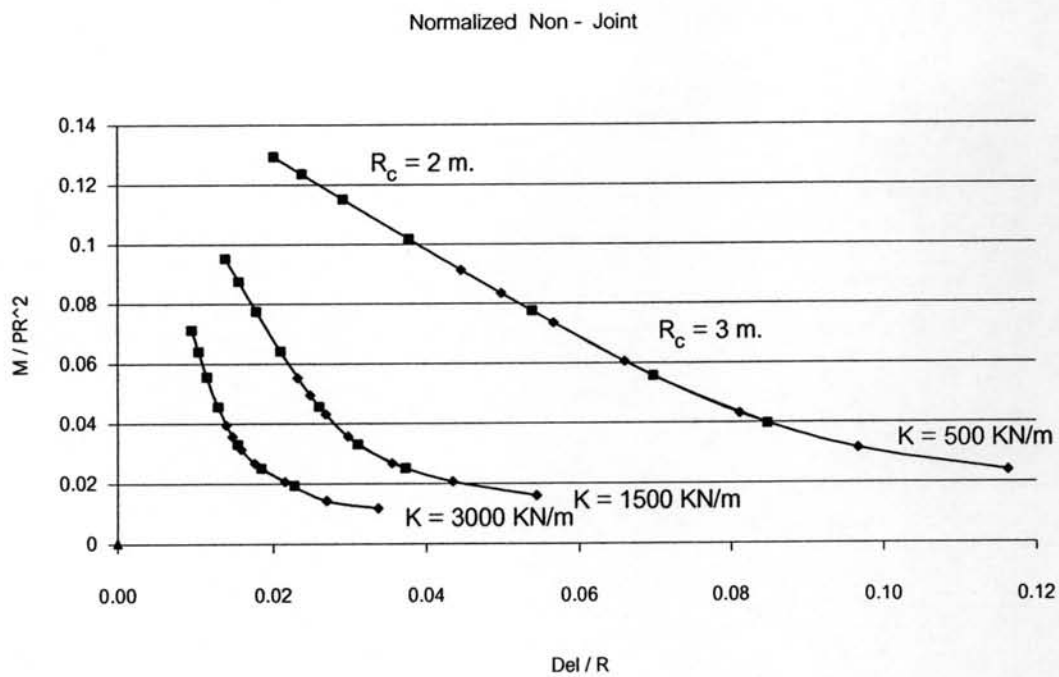


รูปที่ 4.52 แสดงการ Normalized 6 - Joint  $K_o = 0.75$

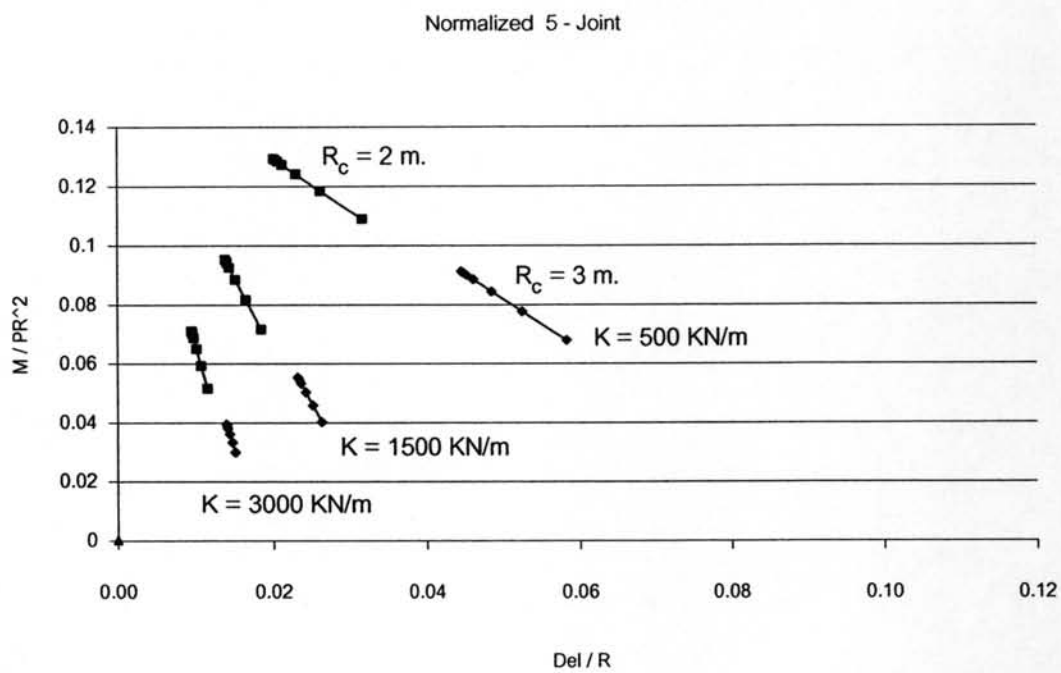
Normalized 7 - Joint



รูปที่ 4.53 แสดงการ Normalized 7 - Joint  $K_o = 0.75$

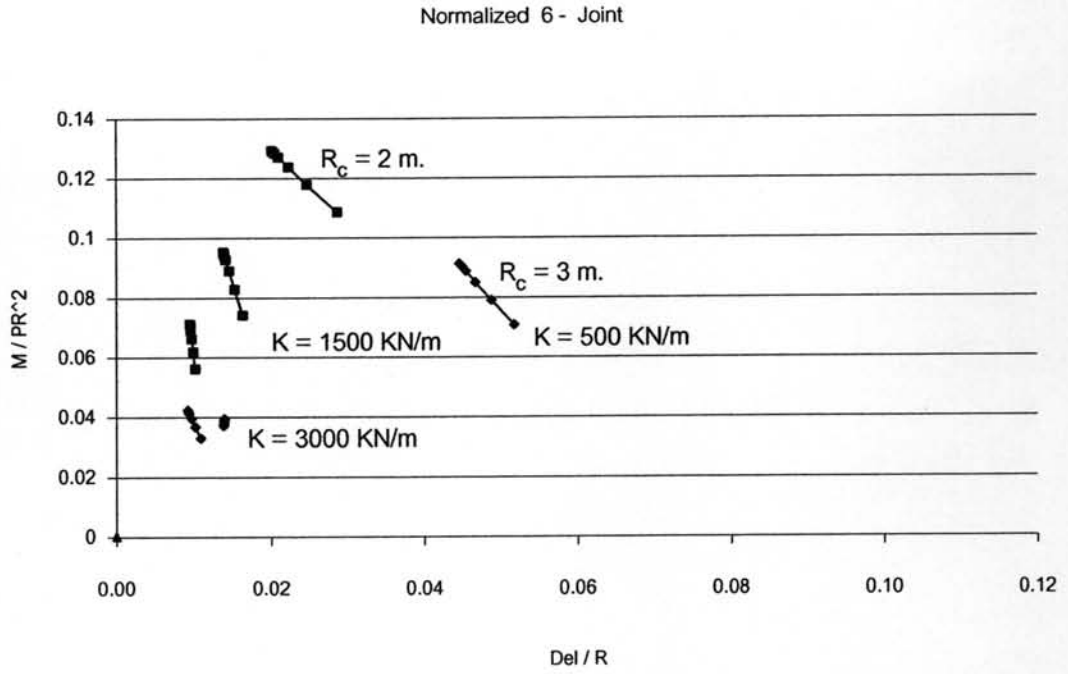


รูปที่ 4.54 แสดงการ Normalized Non - Jointed  $K_0 = 0.5$

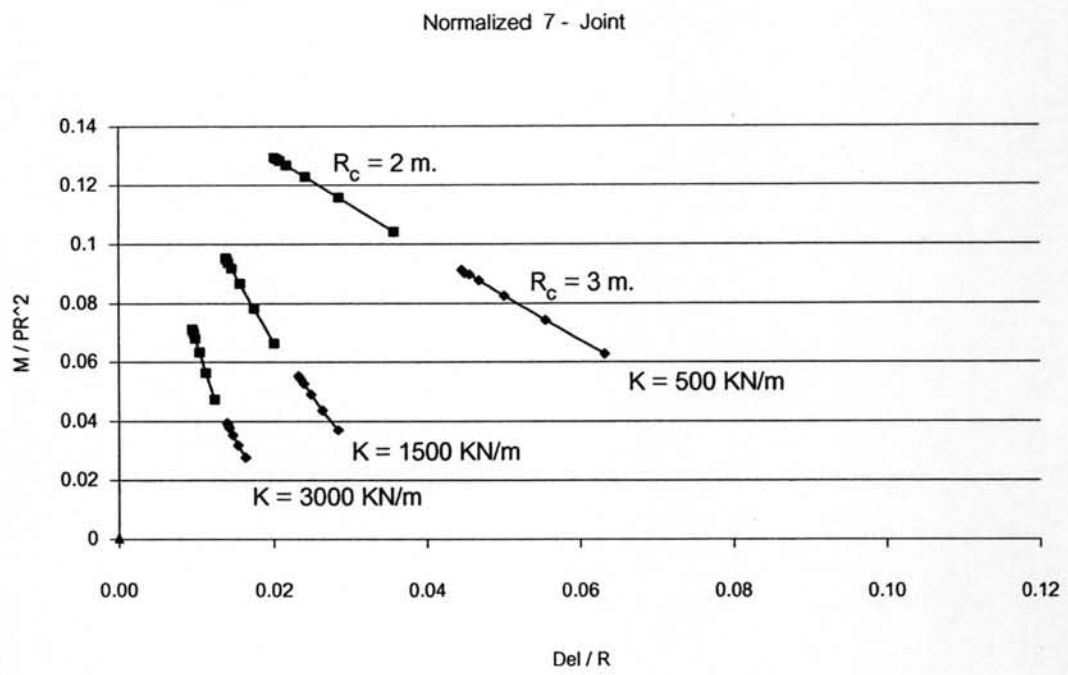


รูปที่ 4.55 แสดงการ Normalized 5 - Joint  $K_0 = 0.5$





รูปที่ 4.56 แสดงการ Normalized 6 - Joint  $K_o = 0.5$



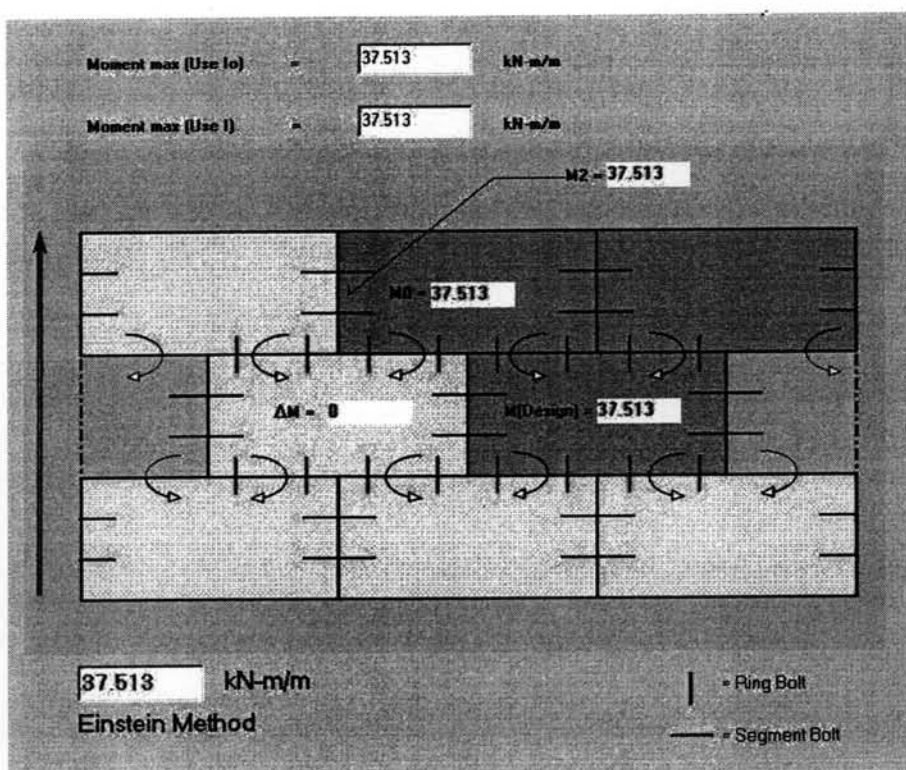
รูปที่ 4.57 แสดงการ Normalized 7 - Joint  $K_o = 0.5$

#### 4.3 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับวิธี Empirical

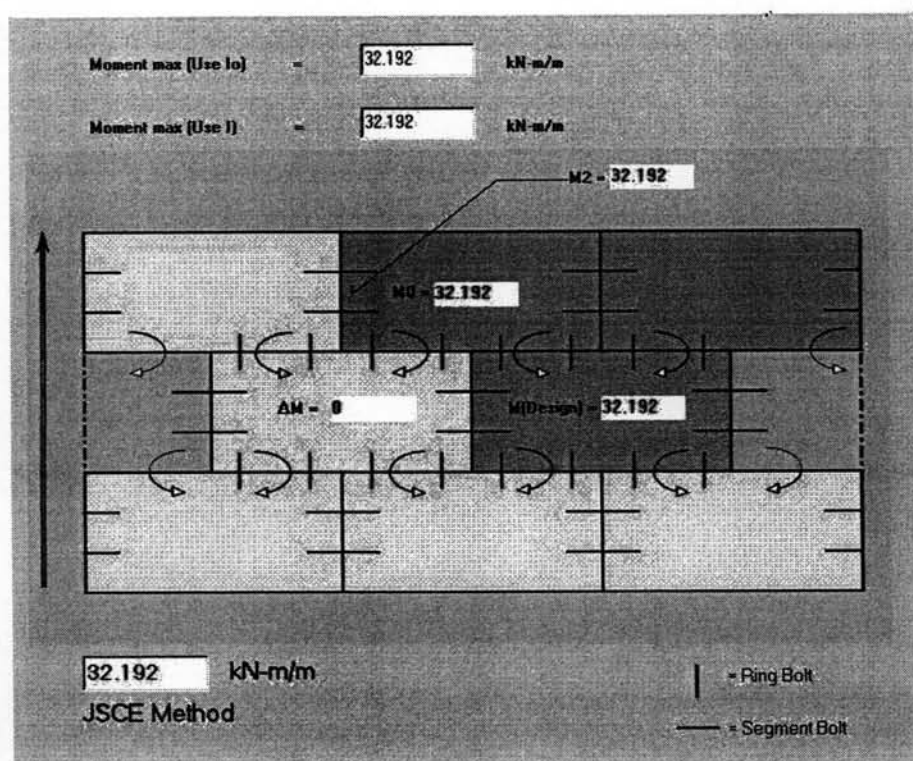
ในการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับวิธี Empirical เพื่อเป็นแนวทางในการสรุปผลของการดำเนินงานวิจัย เนื่องจากในการออกแบบอุโมงค์โดยทั่วไปนอกจากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แล้วก็จะใช้วิธี Empirical เป็นหลักซึ่งในหัวข้อนี้จะได้นำโปรแกรม AFT-LINER 2005(วรินธ์ 2548) ซึ่งเป็นโปรแกรมวิเคราะห์แรงภายในคาดอุโมงค์หน้าตัดวงกลมโดยวิธี Empirical ซึ่งประกอบด้วยวิธี Einstein(1979), Muir Wood(1975) และ JSCE(1996) โดยบันทึกข้อมูลคุณสมบัติต่างๆในโปรแกรมหาดังตารางที่ 4.8 และแสดงผลรูปที่ 4.58 ถึง 4.60 และแสดงตารางเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ตัดกับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กรณีอุโมงค์มีขนาดต่างๆ ในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.8 แสดงตัวอย่างข้อมูลคุณสมบัติที่บันทึกในโปรแกรม AFT-LINER 2005

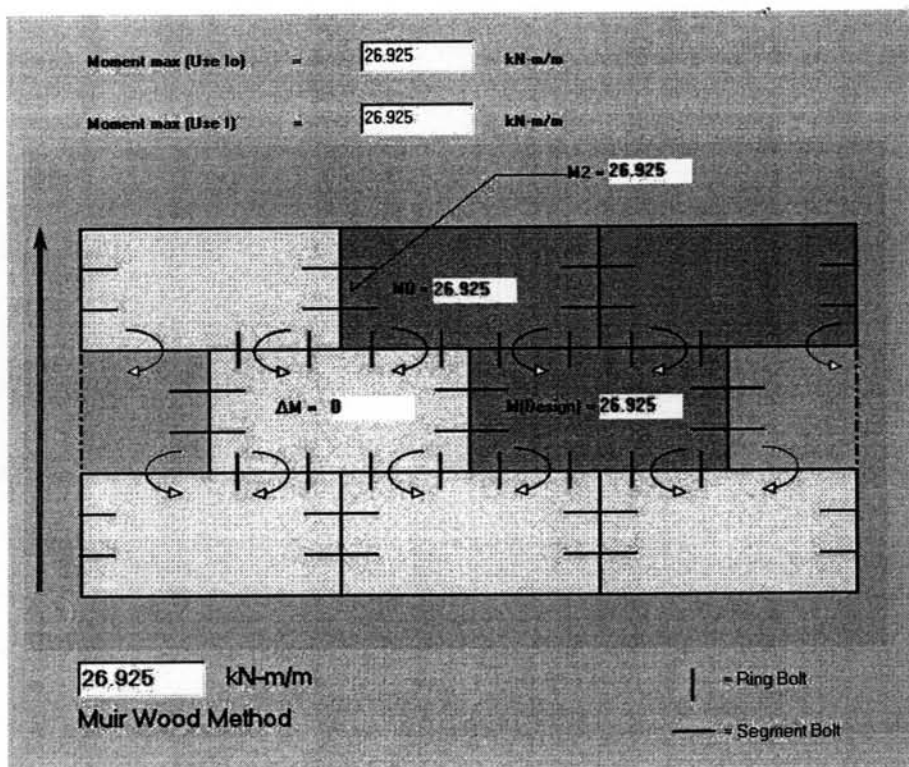
Geometry & Support Properties & Soil properties at support	
Water table level	Ground Surface
Surcharge load ( $Q_0$ )	300 kN/m <sup>2</sup>
Elevation of crown ( $H_c$ )	10 m
Inner diameter ( $D_i$ )	3.85 m
Thickness of liner (t)	0.15 m
Number of segment (N)	6 Pieces
Elastic modulus of support ( $E_s$ )	$2.17 \times 10^7$ kN/m <sup>2</sup>
Poisson Ratio of support ( $n_s$ )	0.17
Unit weight of support ( $g_s$ )	24 kN/m <sup>3</sup>
Elastic modulus of ground (E)	$3.0 \times 10^4$ kN/m <sup>2</sup>
Poisson Ratio of ground (n)	0.3
Coeff. of Lateral Earth Pressure (K)	0.75
Undrain shear strength ( $S_u$ )	-
Coeff. of Lateral Subgrade Reaction	$3.0 \times 10^4$ kN/m <sup>2</sup> / m
Cohesion (C)	-
Friction Angle (f)	-



รูปที่ 4.58 ค่าโมเมนต์ของวิธี Einstein:Full-Slip จากผลการเชื่อมกันของคานอุโมงค์



รูปที่ 4.59 ค่าโมเมนต์ของวิธี JSCE จากผลการเชื่อมกันของคานอุโมงค์



รูปที่ 4.60 ค่าโมเมนต์ของวิธี Muir Wood จากผลการเชื่อมกันของคานาคอนกรีต

ตารางที่ 4.9 ตารางเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่าโมเมนต์ตัด

$R_c = 1.0 \text{ m.}$				
K	Method	5 - joint	6 - joint	7 - joint
K = 3000 kN/m	FEM <sub>(l=60%)</sub>	31.68	31.708	31.666
	Einstien	30.094	33.339	36.159
	Muir Wood	25.347	28.31	30.784
	JSCE	21.027	22.208	23.39
K = 1500 kN/m	FEM <sub>(l=60%)</sub>	34.054	34.067	34.064
	Einstien	28.479	31.11	33.538
	Muir Wood	24.379	26.888	29.113
	JSCE	21.881	22.476	23.13
K = 500 kN/m	FEM <sub>(l=60%)</sub>	35.576	35.602	35.733
	Einstien	35.934	35.963	34.243
	Muir Wood	27.489	29.018	30.597
	JSCE	22.208	22.434	22.695

$R_c = 2.0 \text{ m.}$				
K	Method	5 - joint	6 - joint	7 - joint
K = 3000 kN/m	FEM <sub>(l=60%)</sub>	74.962	75.617	74.764
	Einstien	48.682	55.711	60.341
	Muir Wood	35.127	40.206	43.518
	JSCE	37.304	40.627	42.863
K = 1500 kN/m	FEM <sub>(l=60%)</sub>	94.309	94.727	94.092
	Einstien	55.364	63.29	68.681
	Muir Wood	40.409	46.218	50.118
	JSCE	53.102	58.291	62.223
K = 500 kN/m	FEM <sub>(l=60%)</sub>	121.86	122.013	121.063
	Einstien	94.285	106.351	115.834
	Muir Wood	71.661	81.072	88.306
	JSCE	66.479	71.573	76.188

$R_c = 3.0 \text{ m.}$				
K	Method	5 - joint	6 - joint	7 - joint
K = 3000 kN/m	FEM <sub>(l=60%)</sub>	111.235	113.454	111.039
	Einstien	42.003	48.077	51.848
	Muir Wood	28.774	32.934	35.509
	JSCE	44.053	45.582	46.527
K = 1500 kN/m	FEM <sub>(l=60%)</sub>	140.192	142.055	139.863
	Einstien	41.497	58.953	63.637
	Muir Wood	35.418	40.544	43.752
	JSCE	57.994	61.544	63.823
K = 500 kN/m	FEM <sub>(l=60%)</sub>	204.927	205.956	204.431
	Einstien	84.011	96.111	148.507
	Muir Wood	84.011	96.111	104.176
	JSCE	84.888	92.125	97.235

จะเห็นว่าค่าโมเมนต์ดัดที่ได้จากวิธี FEM นั้นยังมีค่าที่ไม่ใกล้เคียงกับวิธี Empirical ทั้ง 3 วิธี โดยค่าโมเมนต์ดัดที่ใกล้เคียงที่สุดจะอยู่ในอุโมงค์ขนาดรัศมี 1 เมตร ซึ่งเป็นอุโมงค์ขนาดเล็ก ความแตกต่างของค่าโมเมนต์ดัดจึงยังไม่มาก แต่จะยังมีค่าความแตกต่างที่มากขึ้นในอุโมงค์ขนาดใหญ่ แม้จะเปรียบเทียบกับวิธี Einstein(1979) ซึ่งให้ค่าโมเมนต์ดัดที่มากที่สุดใน 3 วิธีนี้ก็ตาม