

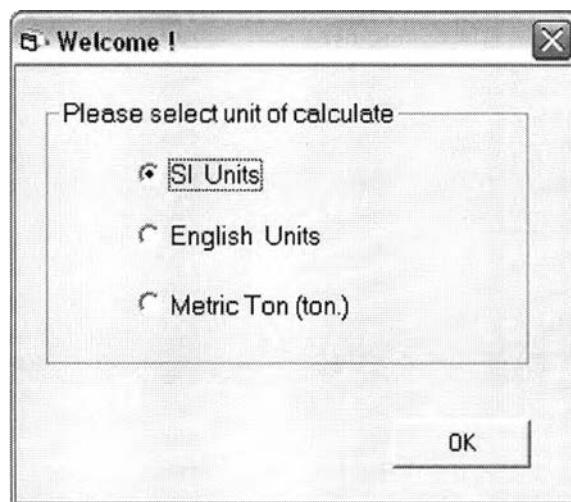


บทที่ 4

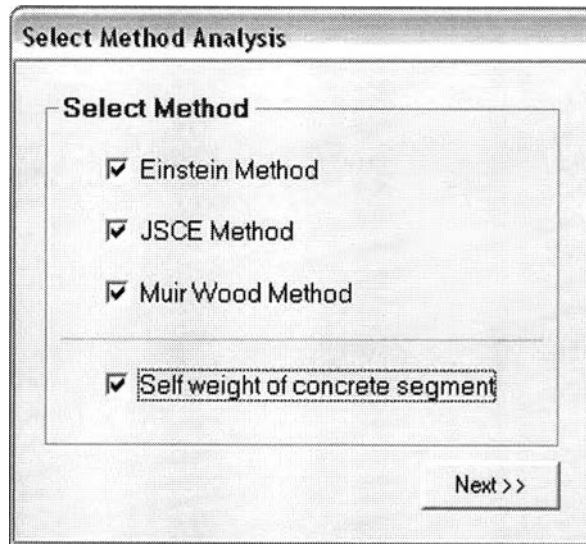
การออกแบบและศึกษาผลการทำงานของโปรแกรม

4.1 ออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface)

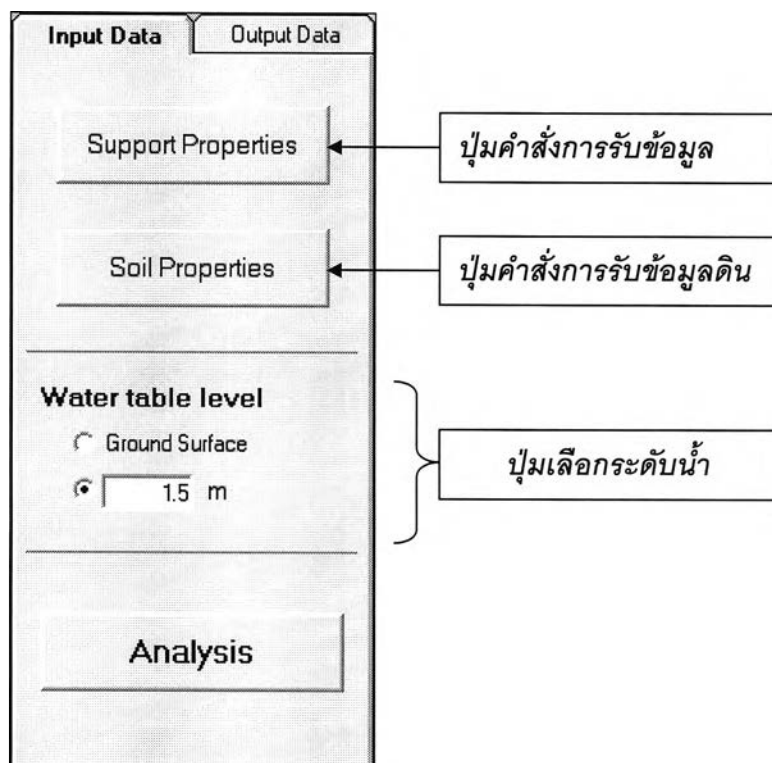
การออกแบบส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้ สำหรับโปรแกรมนี จะแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนแรกเป็นส่วนของการเลือกใช้น้อยในการคำนวณ (ดังรูปที่ 4.1) ส่วนที่สองจะเป็นส่วนของการเลือกวิธีในการวิเคราะห์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 วิธี ตามทฤษฎีในบทที่ 2 และมีส่วนเพิ่ม การคำนวณน้ำหนักของตัวดาตอโมงค์เอง (Self Weight) อยู่ในหัวข้อนี้ด้วย (ดังรูปที่ 4.2) ส่วนที่สาม เป็นการรับข้อมูล (Input Data) คุณสมบัติของดิน(Soil property) , อุโมงค์ (Support property) และ ระดับน้ำ (Water table level) ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และส่วนที่สี่ เป็นการนำข้อมูลในส่วนที่ 3 มาคำนวณ และประมวลผลออกมาทางจอภาพ ในรูปตาราง และกราฟ (ดังรูปที่ 4.4) และสามารถนำผลการคำนวณในหัวข้อนี้ เชื่อมต่อไปแสดงผลข้อมูล ทางหน้าจอโปรแกรม Excel โดยเลือกที่คำสั่ง Export to MS Excel ในหัวข้อ File บนเมนูหลัก (ดูการใช้งานได้จากภาคผนวก ก.) เพื่อเก็บค่าการประมวลผล หรือ พิมพ์ผลออกมาผ่านโปรแกรม Excel



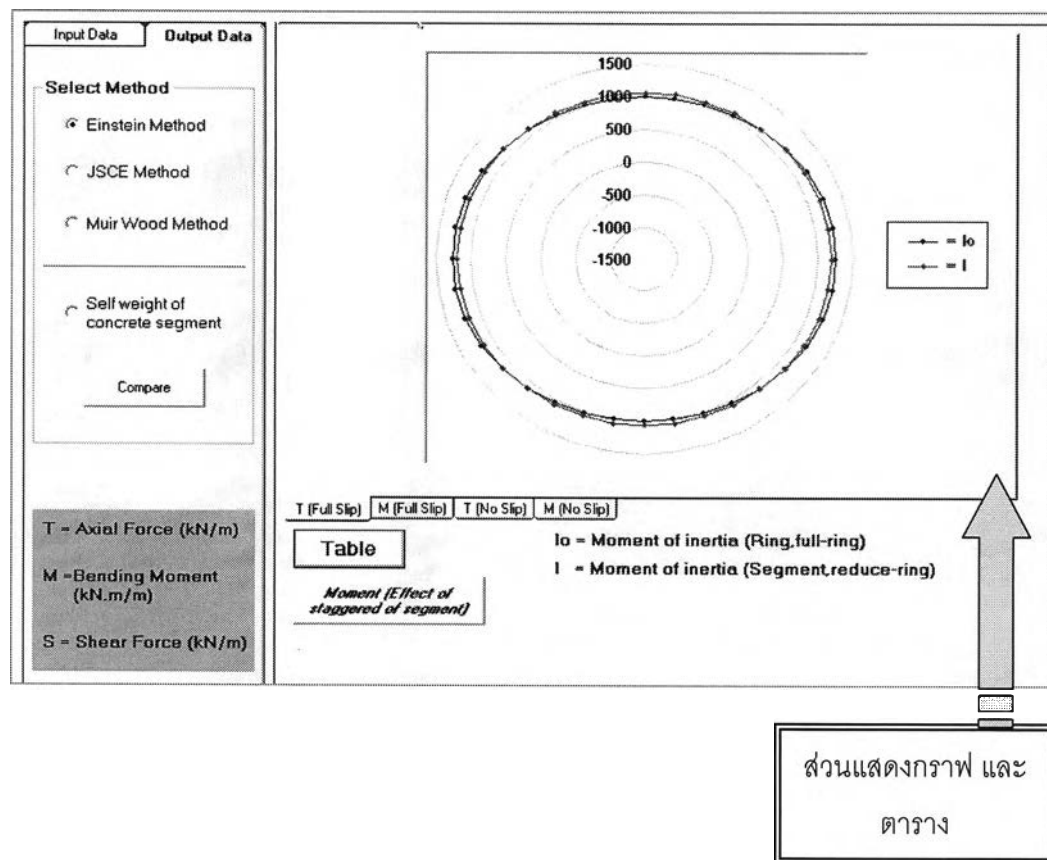
รูปที่ 4.1 หน้าต่างการเลือกหน่วยคำนวณ



รูปที่ 4.2 หน้าต่างการเลือกวิธีการวิเคราะห์



รูปที่ 4.3 ส่วนของปุ่มคำสั่งการรับข้อมูล



รูปที่ 4.4 หน้าต่างพื้นที่แสดงกราฟและตาราง

4.2 ทดสอบโปรแกรมส่วนต่างๆ จากตัวอย่าง

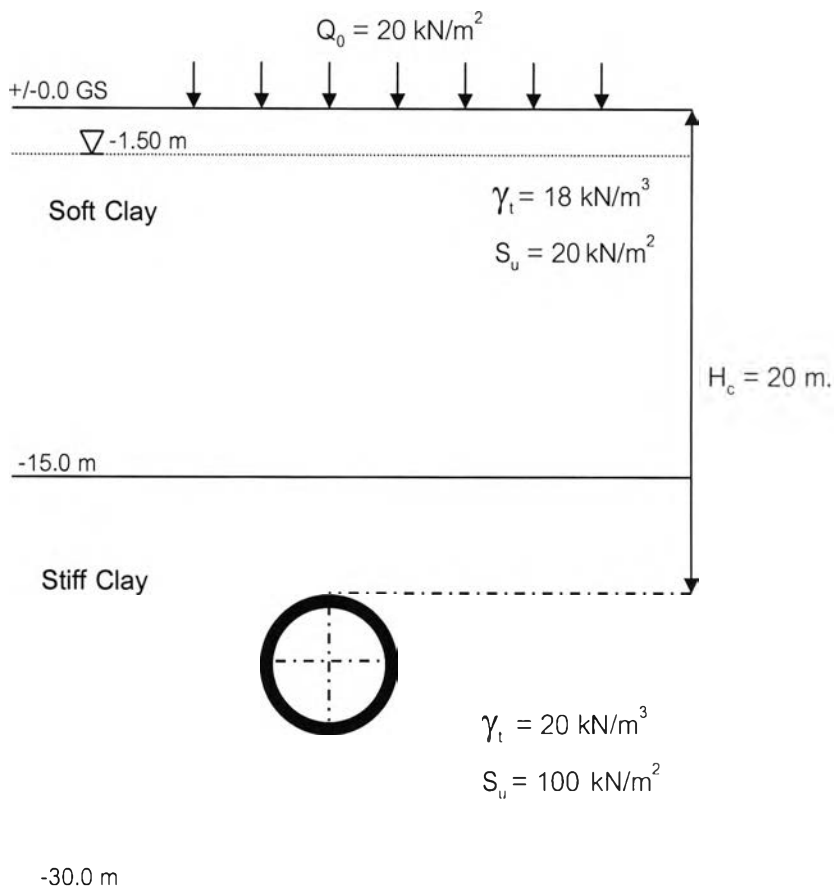
ในการวิเคราะห์แรงภายในคานอุโมงค์ด้วยโปรแกรมAFT-LINER2005 จะวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับคานอุโมงค์ ได้แก่ แรงในแนวแกน (Axial force), โมเมนต์ดัด(Bending moment)และ แรงเฉือน (Shear force) ที่กระทำต่อคานอุโมงค์ โดยในการวิเคราะห์จะใช้ทฤษฎีของ Einstein, JSCE และ Muir Wood เป็นพื้นฐานในการคำนวณและ คิดผลเนื่องจากการเสียดกันของคานอุโมงค์

4.2.1 ข้อมูลคานอุโมงค์ (Segment Lining)

อุโมงค์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นอุโมงค์คอนกรีตเสริมเหล็ก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5 เมตร หนา 0.25 เมตร ประกอบด้วยชิ้นส่วนของคานอุโมงค์(segment lining,N)7 ชิ้น กำลังประลัยคอนกรีต(f'_c) 40 MPa บิวของคอนกรีต(V_s) 0.2 และวางตัวอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็งที่ระดับความสูงจากผิวดินถึงตำแหน่งผิวบนสุดของอุโมงค์(crown)เท่ากับ 20.00 เมตร

4.2.2 ข้อมูลดิน(Soil Profiles Data)

ในการวิเคราะห์กำหนดให้มีแรงกระจายที่ผิวดิน(Surface surcharge)ขนาด 20 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร มีระดับน้ำอยู่ที่ -1.50 เมตร จากผิวดิน และอุโมงค์วางตัวอยู่ในระดับชั้นดินดินเหนียวแข็ง ที่มีค่าความหนาแน่นของดินเท่ากับ 20 กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร ค่าบิวของของดิน(V) เท่ากับ 0.5 สัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างเท่ากับ(K) 0.5 สัมประสิทธิ์แรงต้านทานมวลดิน(k) 3×10^4 กิโลนิวตันต่อตารางเมตรต่อเมตร กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ 100 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร และโมดูลัสยืดหยุ่นแบบไม่ระบายน้ำ 4.8×10^4 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ส่วนดินชั้นด้านบนของอุโมงค์พิจารณาได้จากรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 รูปตัดชั้นดิน

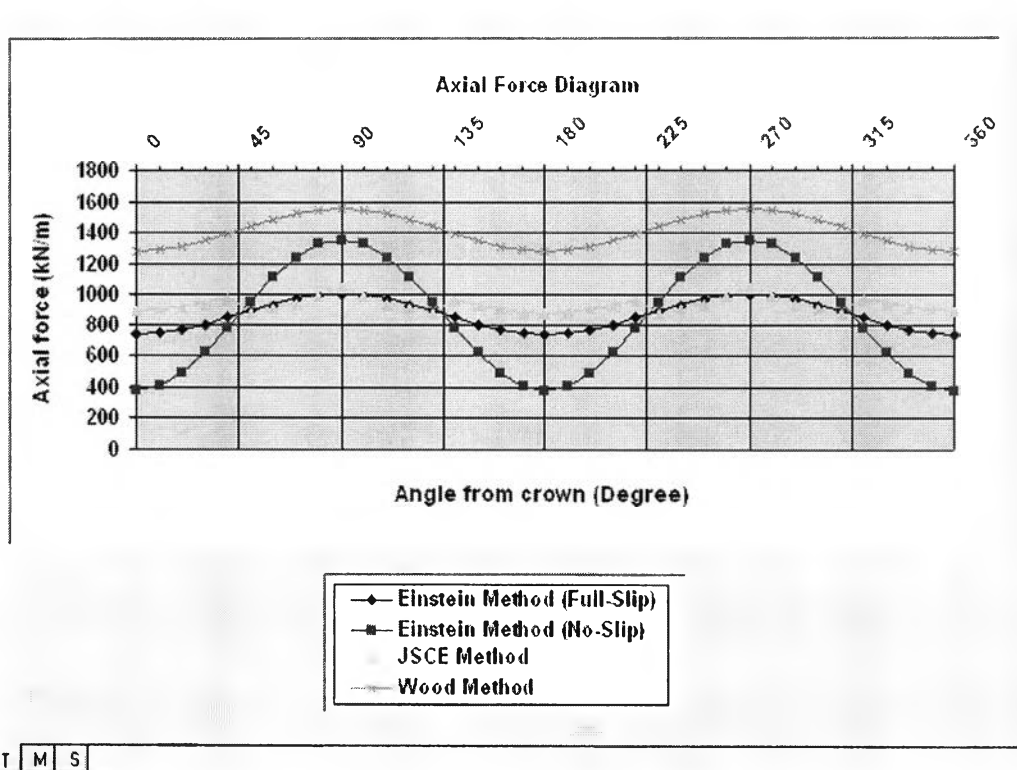
4.2.3 แรงภายในที่เกิดขึ้นจากข้อมูลการวิเคราะห์ในหัวข้อ 4.2.1-4.2.2 โดยการวิเคราะห์จากทั้ง 3 วิธี

จากการวิเคราะห์จะพบว่าค่าแรงในแนวแกนของวิธี Muir Wood จะให้ค่ามากที่สุด เนื่องจากวิธีนี้คิดผลของความเค้นที่ไม่เท่ากันทุกทิศทาง (Anisotropic stress) ของดินเข้ามาพิจารณาด้วย ซึ่งวิธีนี้จะให้ค่าแรงในแนวแกนเพิ่มขึ้นต่างกันเพียงเล็กน้อยตามองศา (ตั้งแต่ศูนย์องศา) จนมากที่สุดที่ 90 องศา (Spring line) และที่ 90-180 องศาจะสมมาตรกับช่วง 0-90 องศา ดังรูปที่ 4.6 ส่วนค่าโมเมนต์ตัดจากตัวอย่างนี้ วิธีของ Einstein:No-Slip จะให้ค่ามากที่สุด ดังรูปที่ 4.7 และค่าแรงเฉือนมากที่สุดกับวิธี JSCE ดังรูปที่ 4.8

**ทั้งนี้ค่าแรงภายในมากที่สุดที่เกิดขึ้นในแต่ละวิธีนั้น ก็ขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์และปัจจัยอื่นๆ ที่แต่ละวิธีได้อ้างอิงตามสมมติฐานของแต่ละทฤษฎี

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการคำนวณค่า Axial Force (T) ของวิธี Einstein, JSCE และ Muir Wood

Angle from crown (Degree)	Einstein Method				JSCE Method		Muir Wood Method	
	Full-Slip		No-Slip					
	Axial Force (kN/m)							
	lo	l	lo	l	lo	l	lo	l
0	736.315	813.592	379.305	379.300	891.342	917.518	1281.855	1298.855
10	744.196	816.812	408.716	408.712	897.099	922.877	1290.038	1306.012
20	766.889	826.085	493.403	493.399	913.583	938.180	1313.599	1326.622
30	801.656	840.292	623.151	623.146	938.529	961.198	1349.697	1358.197
40	844.304	857.720	782.310	782.306	968.473	988.525	1393.977	1396.929
50	889.690	876.265	951.684	951.679	883.316	860.511	1441.100	1438.148
60	932.338	893.693	1110.843	1110.839	908.090	880.795	1485.380	1476.881
70	967.105	907.900	1240.591	1240.586	945.791	920.739	1521.478	1508.456
80	989.798	917.173	1325.278	1325.273	993.873	978.200	1545.040	1529.065
90	997.679	920.393	1354.689	1354.685	1047.365	1047.365	1553.222	1536.223
100	989.798	917.173	1325.278	1325.273	994.534	978.861	1545.040	1529.065
110	967.105	907.900	1240.591	1240.586	945.492	920.440	1521.478	1508.456
120	932.338	893.693	1110.843	1110.839	905.300	878.006	1485.380	1476.881
130	889.690	876.265	951.684	951.679	876.863	854.058	1441.100	1438.148
140	844.304	857.720	782.310	782.306	957.728	977.780	1393.977	1396.929
150	801.656	840.292	623.151	623.146	923.509	946.179	1349.697	1358.197
160	766.889	826.085	493.403	493.399	894.950	919.548	1313.599	1326.622
170	744.196	816.812	408.716	408.712	876.057	901.835	1290.038	1306.012
180	736.315	813.592	379.305	379.300	869.455	895.631	1281.855	1298.855
Max	997.679	920.393	1354.689	1354.685	1047.365	1047.365	1553.222	1536.223

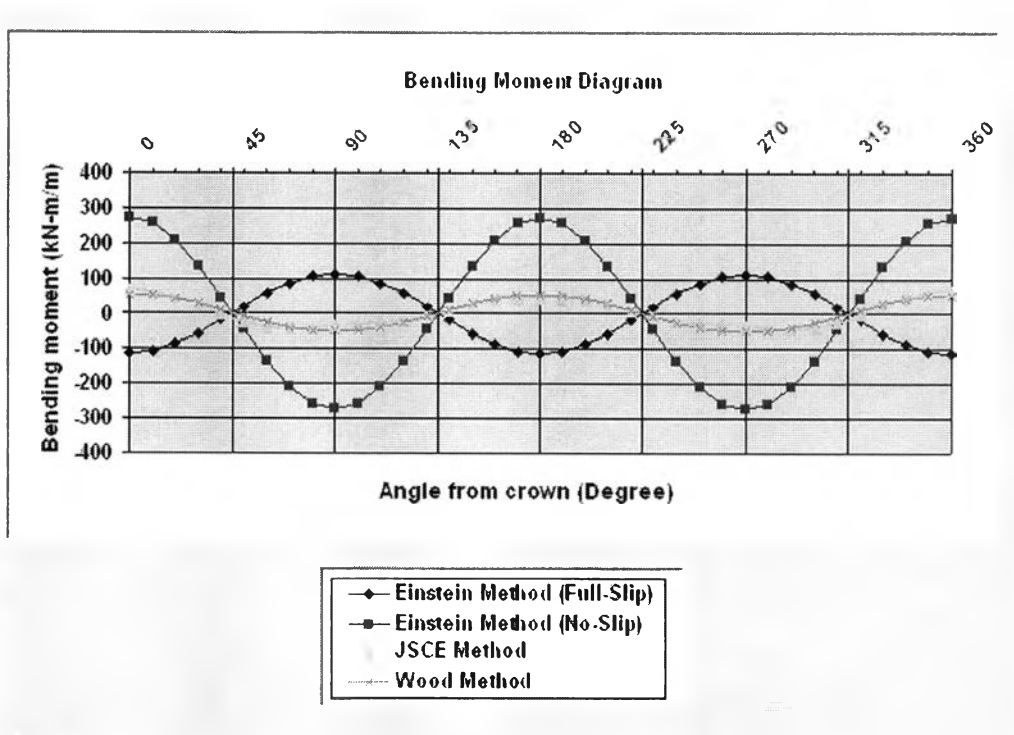


T M S

รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของแรงในแนวแกน (Axial Force, $T(l_0)$) ทั้ง 3 วิธี

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการคำนวณค่า Bending Moment (M) ของวิธี Einstein , JSCE และ Muir Wood

Angle from crown (Degree)	Einstein Method				JSCE Method	Muir Wood Method	Bending Moment (kN-m/m)	
	Full-Slip		No-Slip					
	lo	l	lo	l	lo	l	lo	l
	0	-114.347	-46.726	273.868	273.868	66.760	43.636	51.641
10	-107.451	-43.908	257.351	257.351	60.966	38.885	48.527	19.240
20	-87.595	-35.794	209.795	209.795	44.763	25.783	39.560	15.685
30	-57.173	-23.363	136.934	136.934	21.484	7.565	25.821	10.238
40	-19.856	-8.114	47.557	47.557	-3.975	-11.024	8.967	3.555
50	19.856	8.114	-47.557	-47.557	-25.993	-24.572	-8.967	-3.555
60	57.173	23.363	-136.934	-136.934	-40.325	-29.489	-25.821	-10.238
70	87.595	35.794	-209.795	-209.795	-45.662	-25.794	-39.560	-15.685
80	107.451	43.908	-257.351	-257.351	-43.695	-16.984	-48.527	-19.240
90	114.347	46.726	-273.868	-273.868	-38.534	-9.133	-51.641	-20.475
100	107.451	43.908	-257.351	-257.351	-34.086	-7.375	-48.527	-19.240
110	87.595	35.794	-209.795	-209.795	-28.898	-9.030	-39.560	-15.685
120	57.173	23.363	-136.934	-136.934	-20.805	-9.969	-25.821	-10.238
130	19.856	8.114	-47.557	-47.557	-8.935	-7.515	-8.967	-3.555
140	-19.856	-8.114	47.557	47.557	5.995	-1.054	8.967	3.555
150	-57.173	-23.363	136.934	136.934	21.621	7.703	25.821	10.238
160	-87.595	-35.794	209.795	209.795	34.984	16.003	39.560	15.685
170	-107.451	-43.908	257.351	257.351	43.890	21.809	48.527	19.240
180	-114.347	-46.726	273.868	273.868	47.007	23.883	51.641	20.475
Max	114.347	46.726	273.868	273.868	66.760	43.636	51.641	20.475



T M S

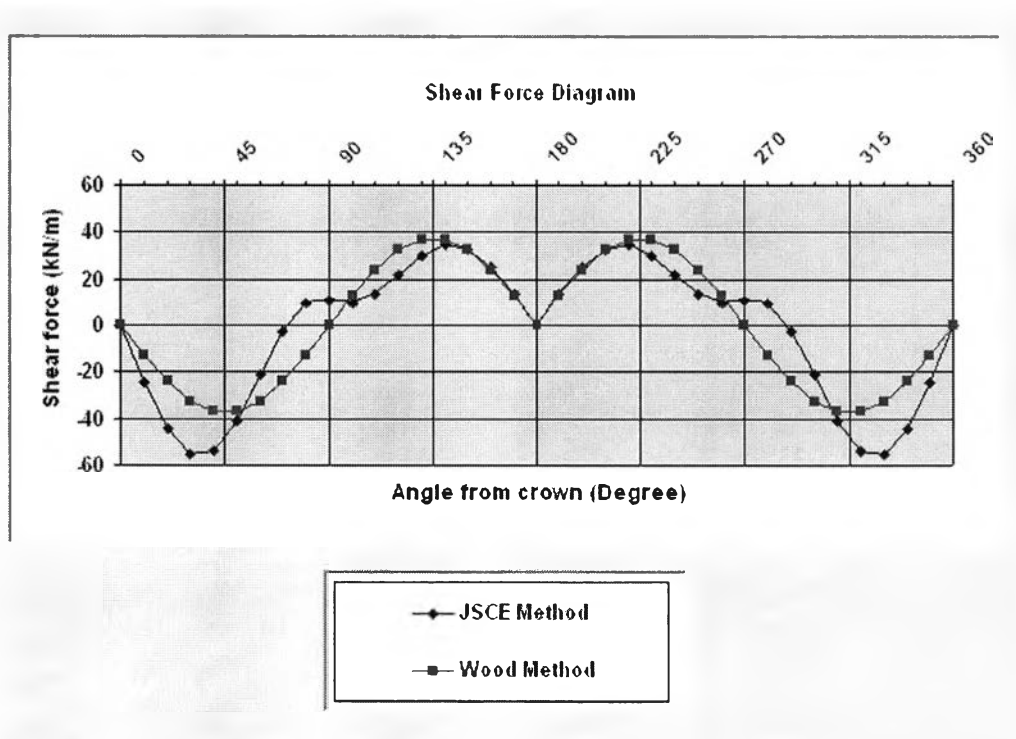
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของโมเมนต์ดัด(Bending Moment, $M(l\theta)$) ทั้ง 3 วิธี

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการคำนวณค่า Shear Force (S) ของวิธี JSCE และ Muir Wood

Angle from crown (Degree)	JSCE Method		Muir Wood Method	
	Shear Force (kN/m)			
	lo	l	lo	l
0	0.000	0.000	0.000	0.000
10	-24.857	-20.311	-12.845	-5.093
20	-44.640	-35.687	-24.141	-9.572
30	-55.171	-42.083	-32.526	-12.896
40	-53.887	-37.061	-36.987	-14.665
50	-40.726	-20.842	-36.987	-14.665
60	-21.376	-0.654	-32.526	-12.896
70	-2.554	15.483	-24.141	-9.572
80	9.599	20.704	-12.845	-5.093
90	10.944	10.944	0.000	0.000

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) แสดงผลการคำนวณค่า Shear Force (S) ของวิธี JSCE และ Muir Wood

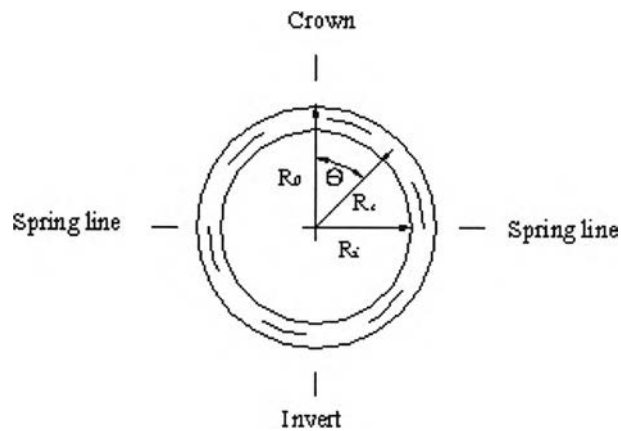
100	9.547	-1.558	12.845	5.093
110	13.910	-4.128	24.141	9.572
120	21.744	1.022	32.526	12.896
130	29.828	9.944	36.987	14.665
140	34.547	17.721	36.987	14.665
150	32.584	19.496	32.526	12.896
160	24.947	15.995	24.141	9.572
170	13.446	8.900	12.845	5.093
180	0.000	0.000	0.000	0.000
Max	34.547	20.704	36.987	14.665



T M S

รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของแรงเฉือน(Shear Force, S(1o)) ทั้ง 2 วิธี

4.2.4 ตำแหน่งการเกิดแรงในแนวแกน,โมเมนต์ดัด และแรงเฉือนของทั้ง 3 วิธี ดังรูปที่ 4.9

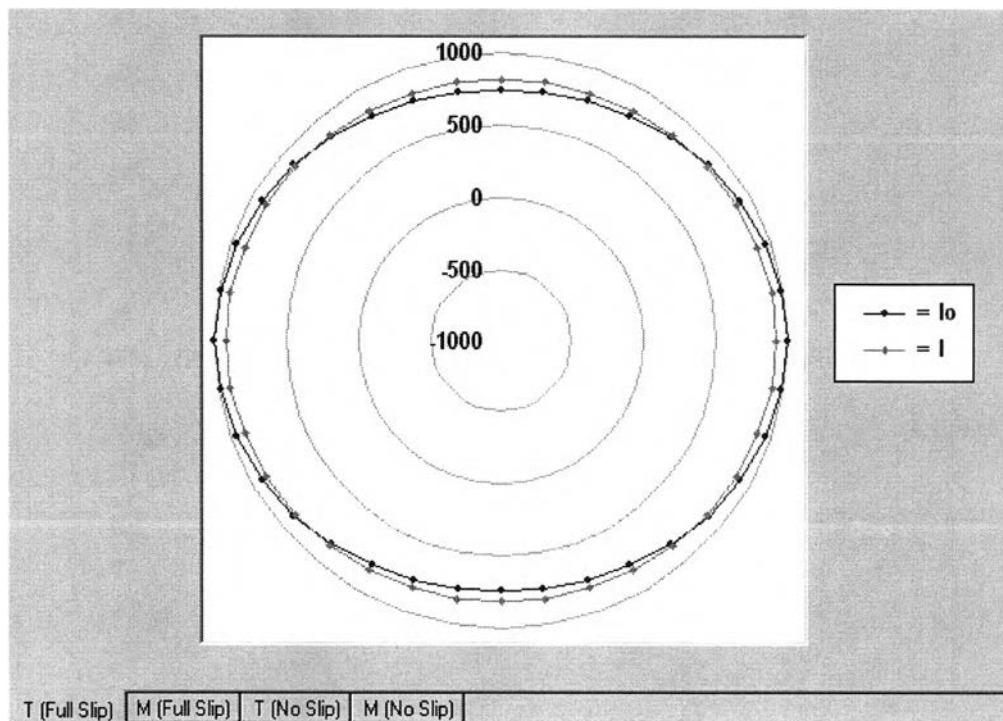


รูปที่4.9 ภาพตัดขวางและตำแหน่งของดาดอูโมงค์

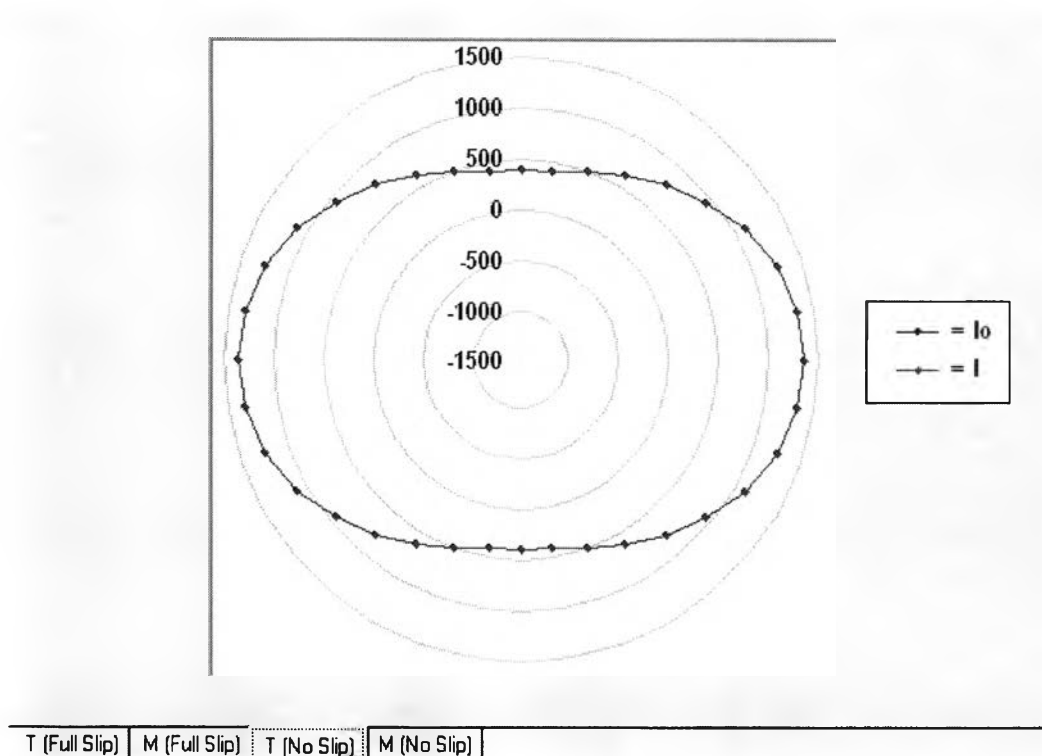
จากข้อมูลในตารางและกราฟในหัวข้อที่ 4.2.3 เมื่อใช้โปรแกรมวิเคราะห์และแสดงผลเป็นกราฟวงกลมดังนี้

- แรงในแนวแกน (Axial Force ,T)

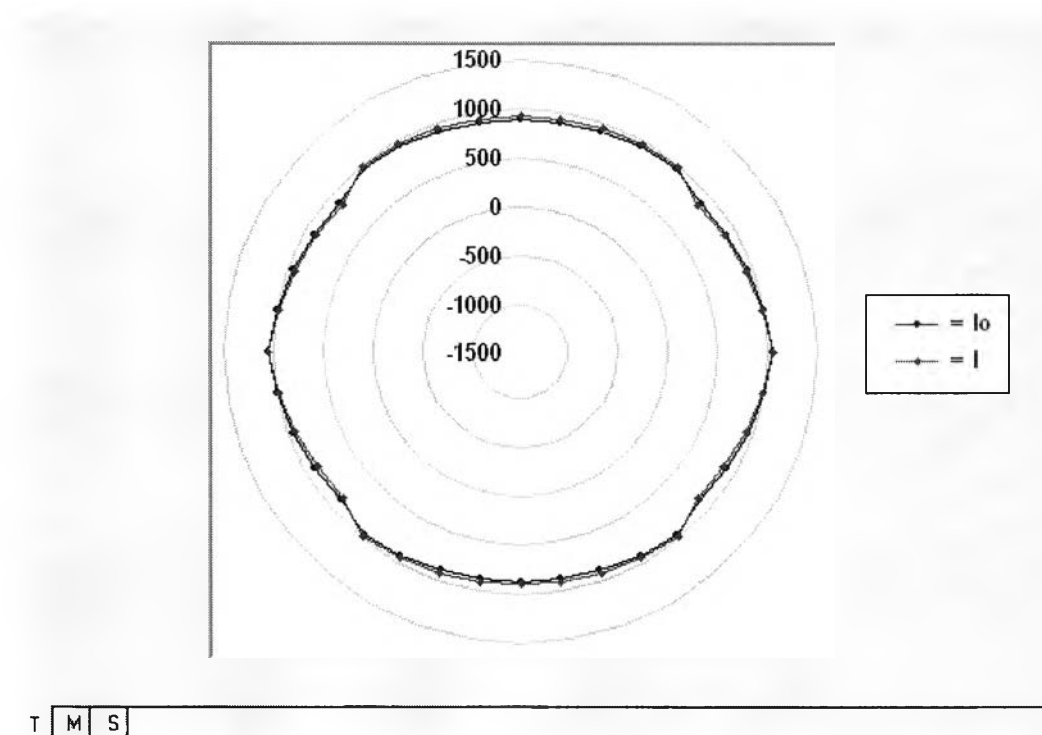
วิธีEinstein : Full-Slip , No-Slip , JSCE และ วิธี Muir Wood จะให้ค่าแรงในแนวแกนมาสุดบริเวณ 90 องศา(Spring line) ดังรูปที่ 4.10 – 4.13



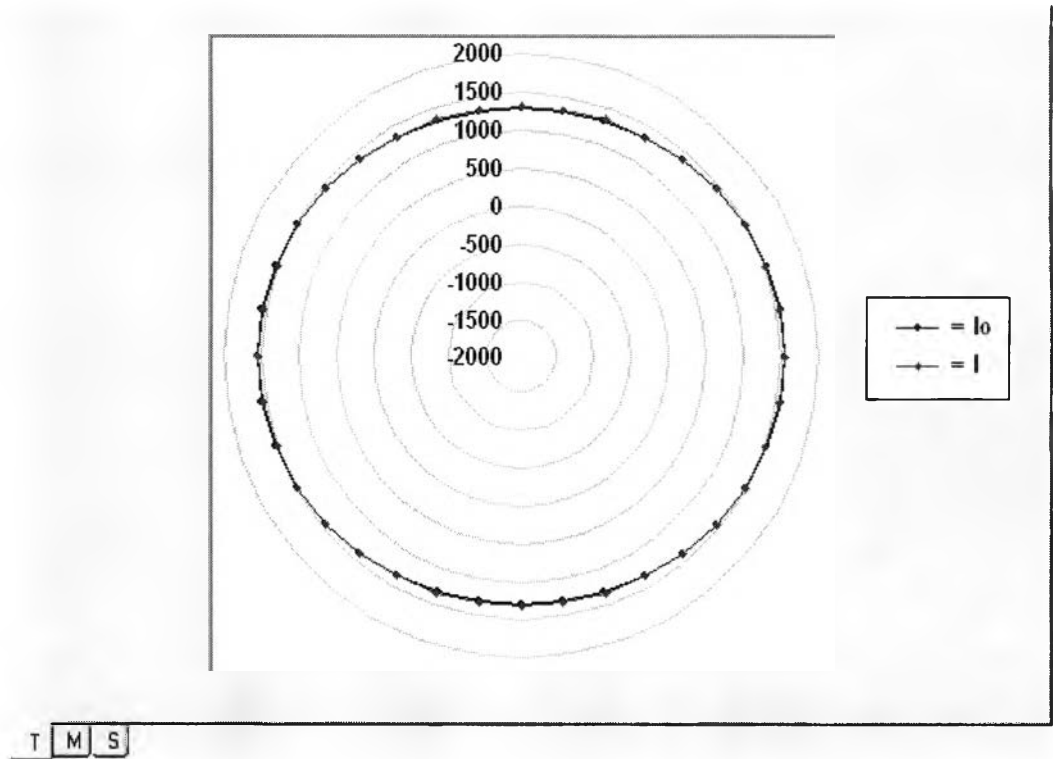
รูปที่ 4.10 กราฟการกระจายของแรงในแนวแกนรอบดาดอูโมงค์โดยวิธีEinstein แบบ Full-Slip



รูปที่ 4.11 กราฟการกระจายของแรงในแนวแกนรอบดาดูโมงค์โดยวิธี Einstein แบบ No-Slip



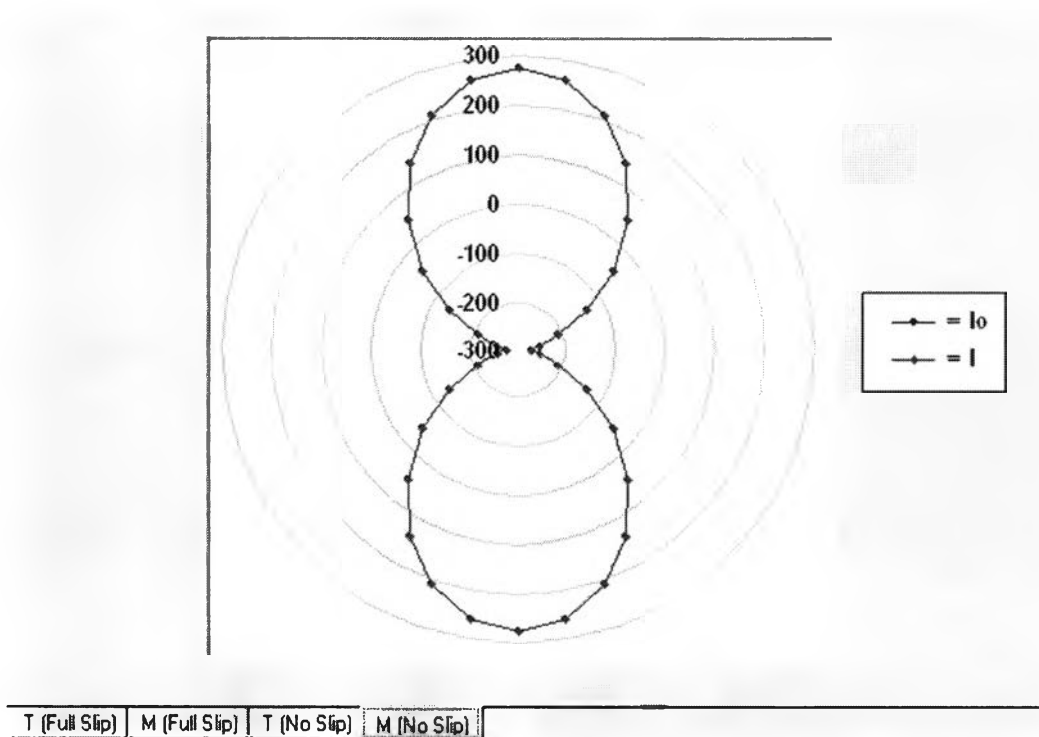
รูปที่ 4.12 กราฟการกระจายของแรงในแนวแกนรอบดาดูโมงค์โดยวิธี JSCE



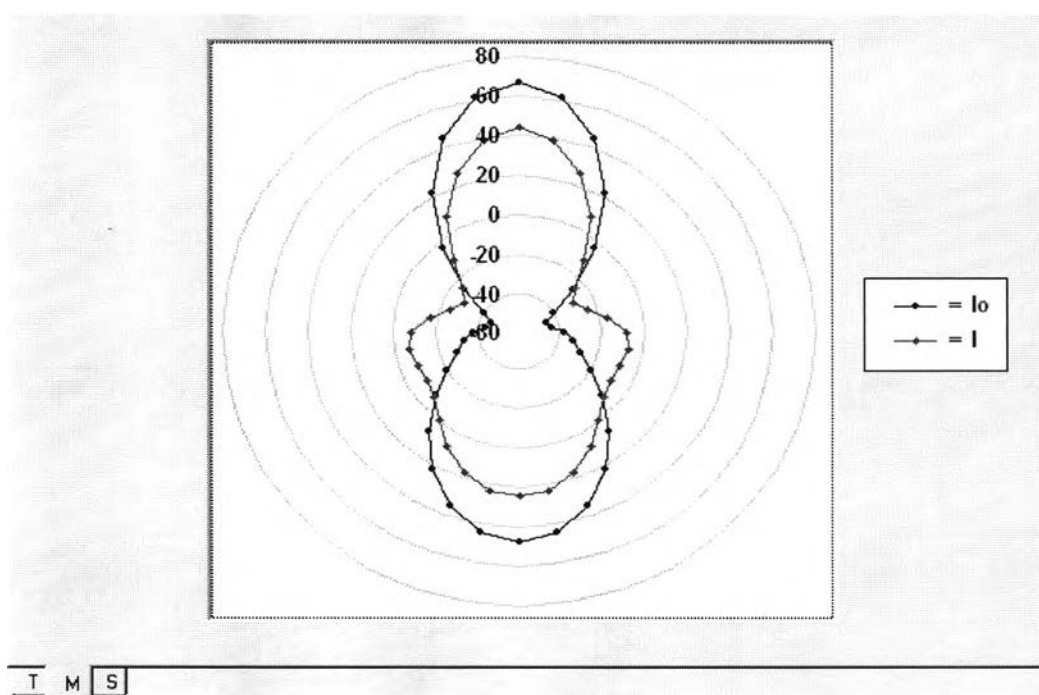
รูปที่ 4.13 กราฟการกระจายของแรงในแนวแกนรอบตัดอุโมงค์โดยวิธี Muir Wood

- โมเมนต์ดัด (Bending Moment, M)

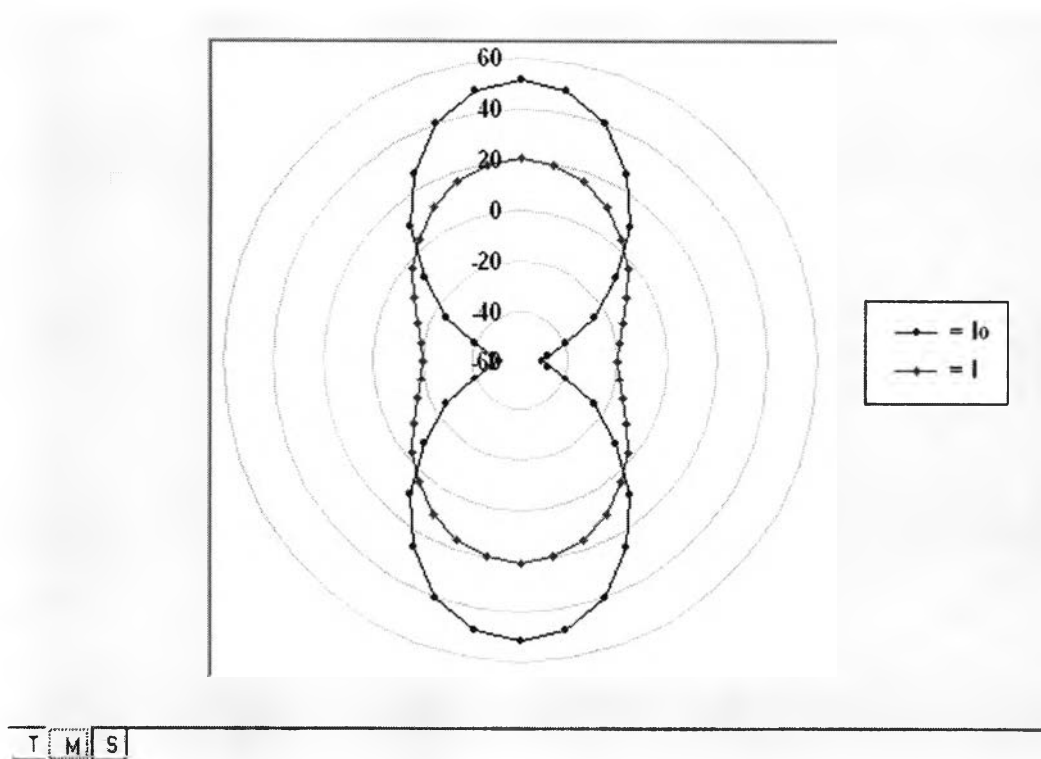
วิธี Einstein : No-Slip , JSCE และ Muir Wood จะมีค่าโมเมนต์มากสุดบริเวณ crown และ บริเวณ Invert ของอุโมงค์ ดังรูปที่ 4.14-4.16 ส่วนวิธี Einstein : Full-Slip จะมีโมเมนต์มากสุด บริเวณ Spring line ดังรูปที่ 4.17



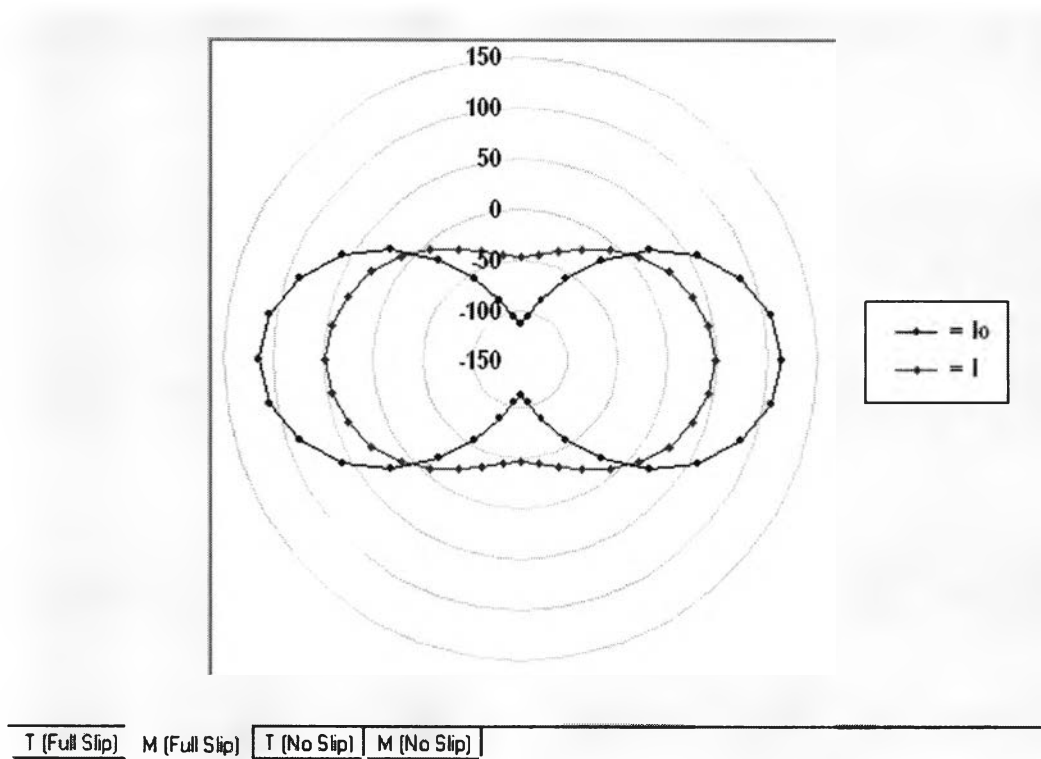
รูปที่ 4.14 กราฟการกระจายของโมเมนต์รอบดาดูโมงค์โดยวิธี Einstein แบบ No-Slip



รูปที่ 4.15 กราฟการกระจายของโมเมนต์รอบดาดูโมงค์โดยวิธี JSCE



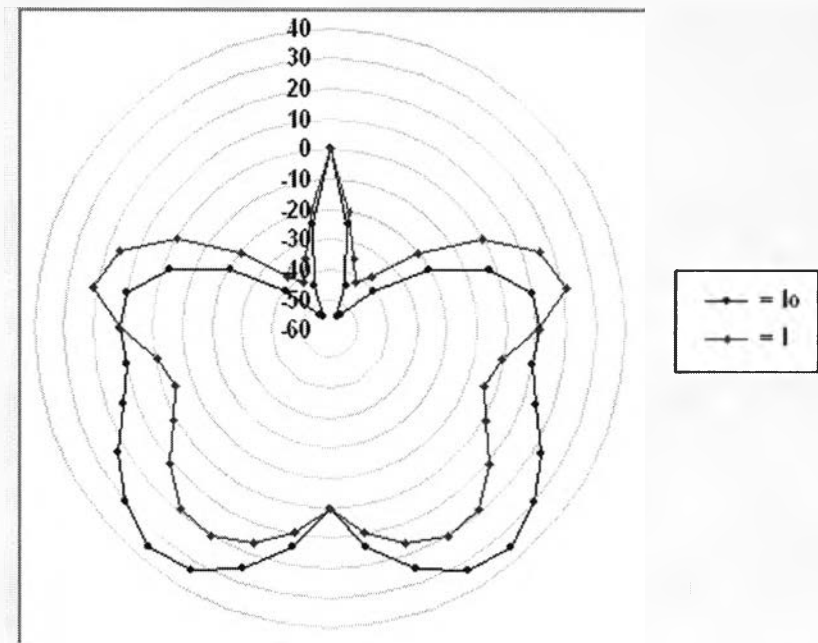
รูปที่ 4.16 กราฟการกระจายของโมเมนต์รอบดาดอุโมงค์โดยวิธี Muir Wood



รูปที่ 4.17 กราฟการกระจายของโมเมนต์รอบดาดอุโมงค์โดยวิธี Einstein แบบ Full-Slip

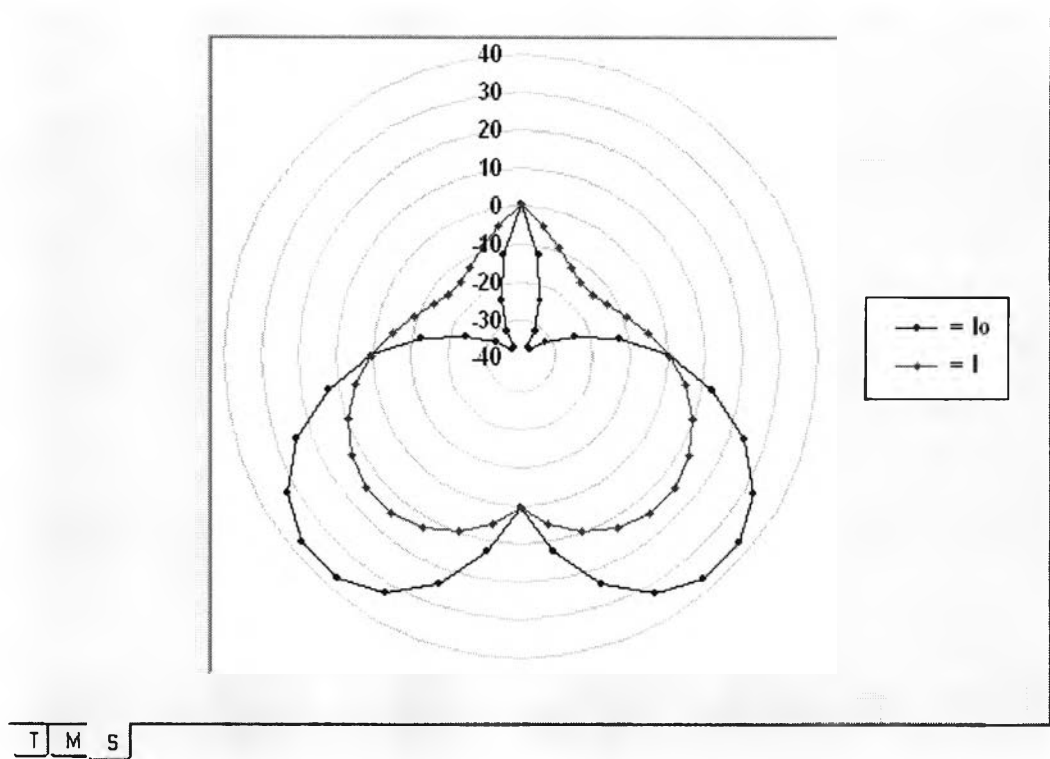
- แรงเฉือน (Shear Force , S)

วิธี JSCE จะให้ค่าแรงเฉือนมากที่สุดบริเวณมุม 30 องศา ดังรูปที่ 4.18 และวิธี Muir Wood จะให้ค่าแรงเฉือนมากที่สุด ที่มุม 40,50 องศาและ 130,140 องศา ในทิศที่เป็น ลบและบวกคนละด้าน ดังรูปที่ 4.19



T M S

รูปที่ 4.18 กราฟการกระจายของแรงเฉือนรอบคานดัดโค้งโดยวิธี JSCE

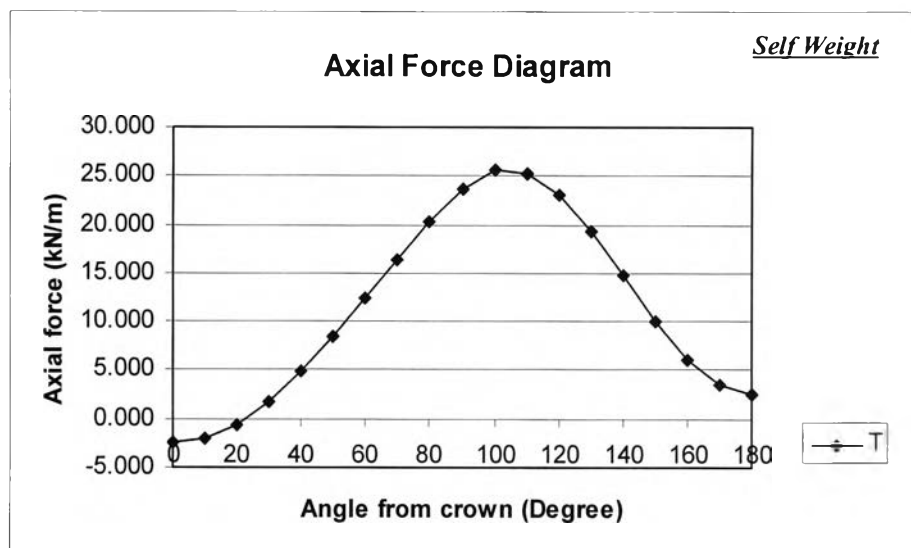


รูปที่ 4.19 กราฟการกระจายของแรงเฉือนรอบดาดอิมงค์โดยวิธี Muir Wood

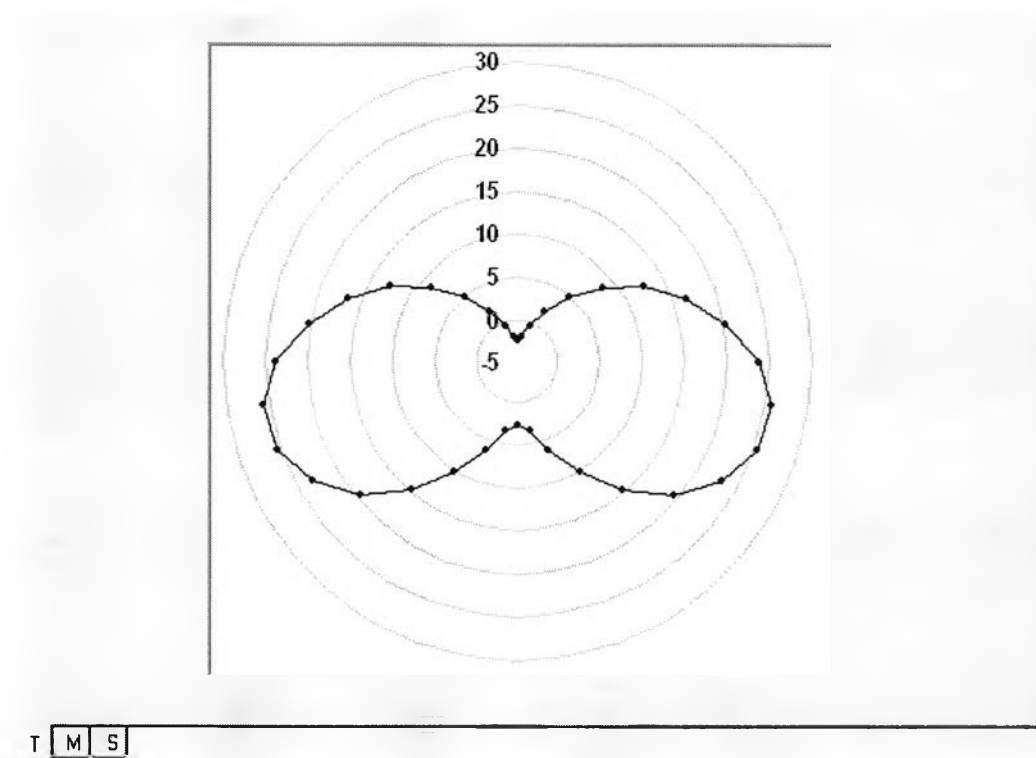
4.2.5 แรงภายในที่เกิดขึ้นเนื่องจาก(Self weight of concrete segment)จากข้อมูลการวิเคราะห์ในหัวข้อ4.2.1-4.2.2

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการคำนวณค่า Axial Force (T), Bending Moment(M)และค่า Shear Force(S) เนื่องจากSelf weight

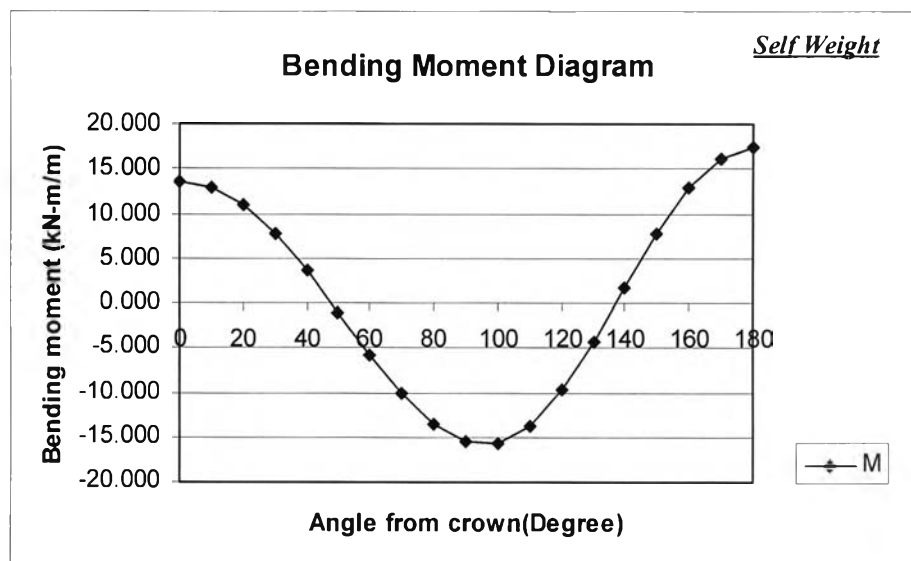
Angle(Degree)	T(kN/m)	M(kN-m/m)	S(kN/m)
0	-2.506	13.606	0.000
10	-2.012	12.909	-3.019
20	-0.560	10.878	-5.788
30	1.766	7.680	-8.070
40	4.827	3.590	-9.651
50	8.440	-1.028	-10.353
60	12.382	-5.741	-10.042
70	16.403	-10.062	-8.637
80	20.238	-13.483	-6.113
90	23.615	-15.498	-2.506
100	25.569	-15.643	1.964
110	25.303	-13.682	6.543
120	23.042	-9.757	10.410
130	19.277	-4.354	12.904
140	14.688	1.792	13.606
150	10.042	7.817	12.382
160	6.085	12.866	9.391
170	3.436	16.217	5.058
180	2.506	17.389	0.000
Max	25.569	17.389	13.606



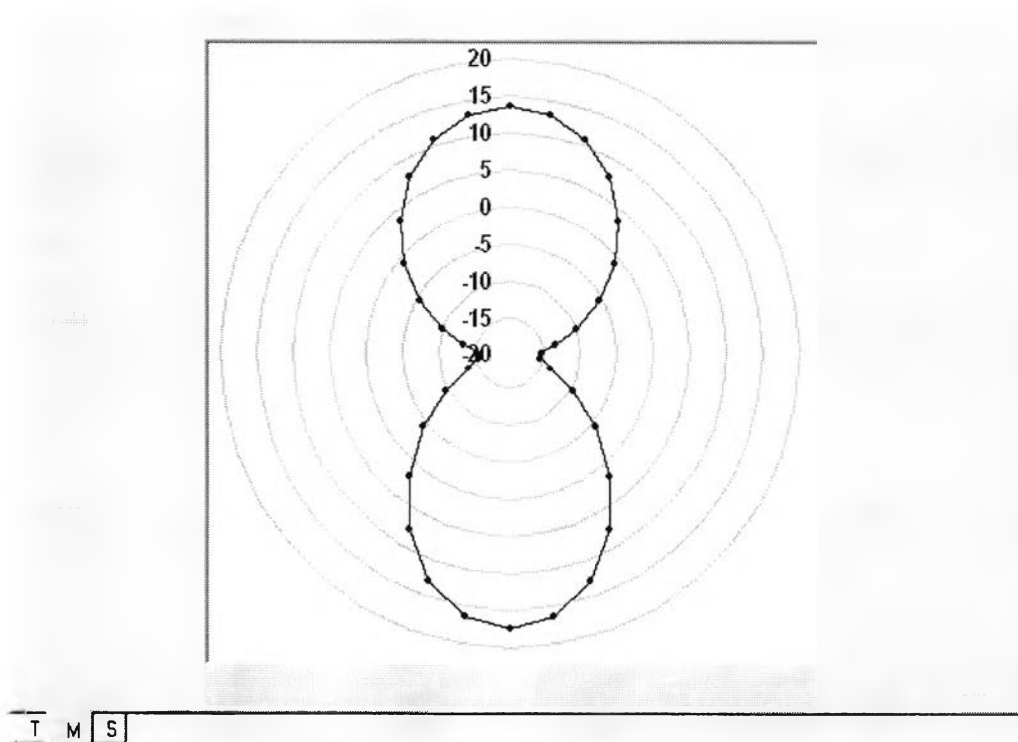
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ของแรงในแนวแกน(T) เนื่องจากSelf weight of concrete segment



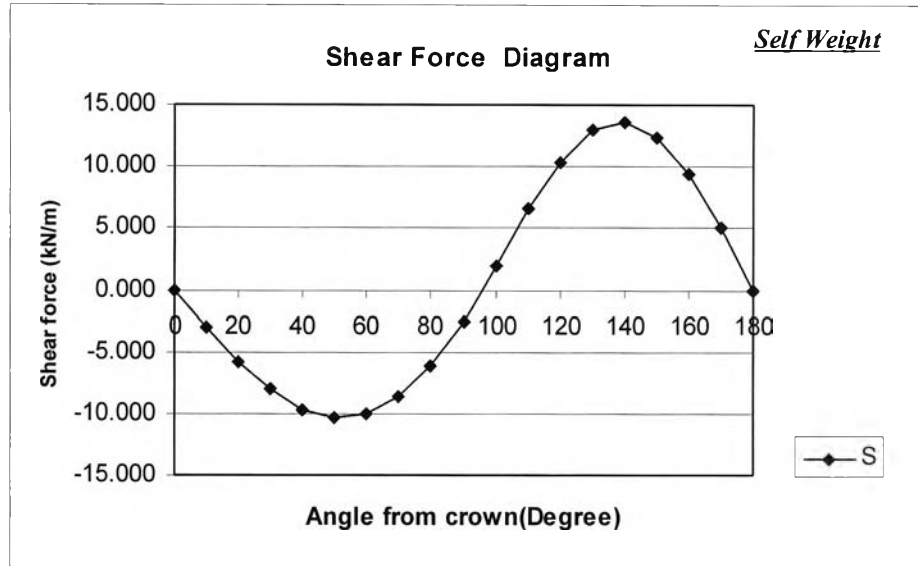
รูปที่ 4.21 กราฟการกระจายของแรงในแนวแกน(T) รอบดาดอุโมงค์เนื่องจากSelf weight of concrete segment



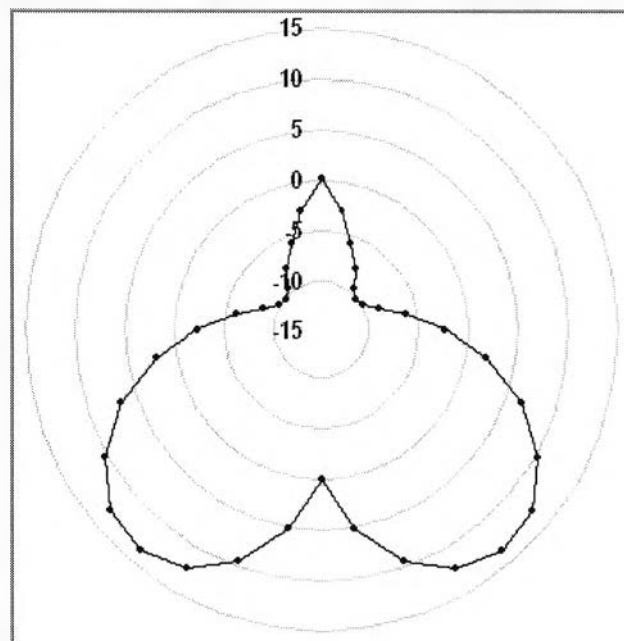
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ของโมเมนต์(M) เนื่องจากSelf weight of concrete segment



รูปที่ 4.23 กราฟการกระจายของโมเมนต์ตัด(M) รอบดาดอุโมงค์เนื่องจากSelf weight of concrete segment



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ของแรงเฉือน(S) เนื่องจากSelf weight of concrete segment

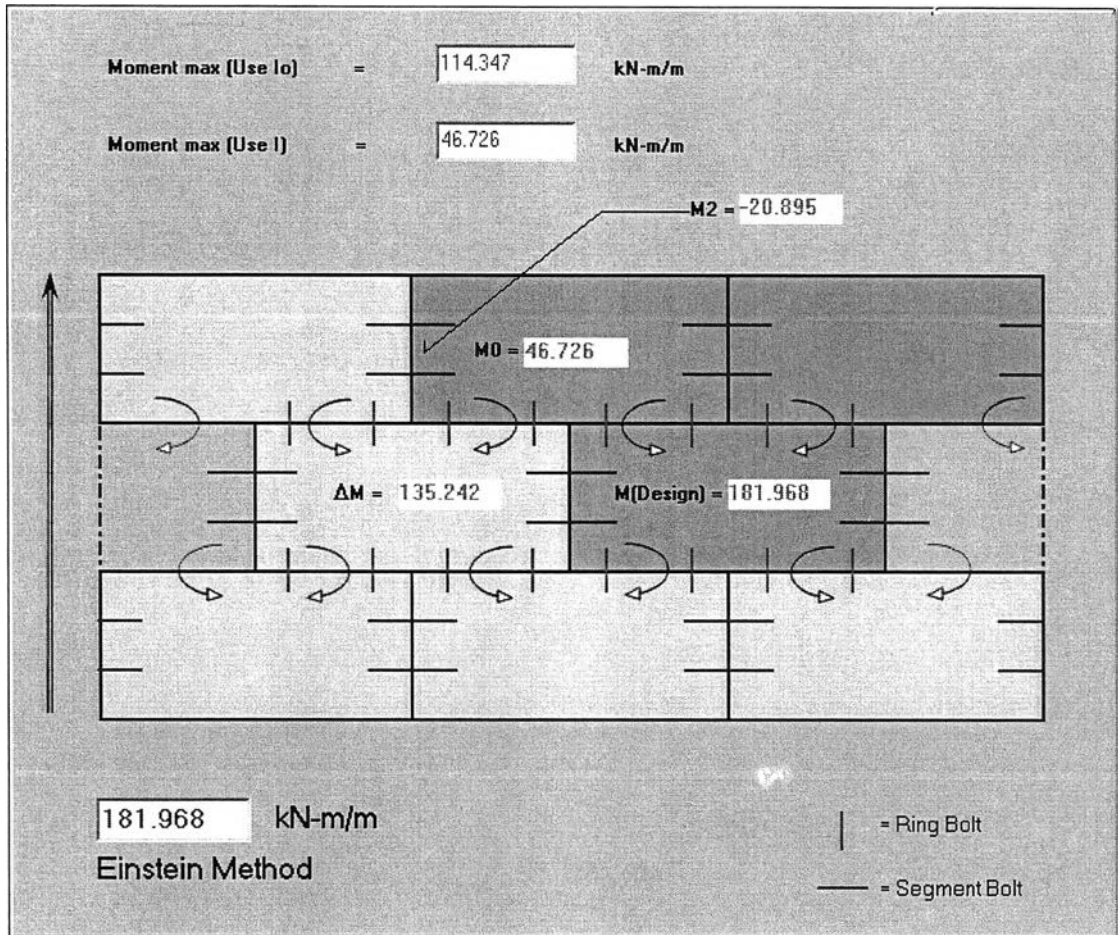


T M S

รูปที่ 4.25 กราฟการกระจายของแรงเฉือน(S) รอบดาดคูโมงค์เนื่องจากSelf weight of concrete segment

4.2.6 แสดงผลของการเหลื่อมกันของดาดอุโมงค์ที่มีผลมากกับค่าโมเมนต์ของการคำนวณทั้ง 3 วิธี โดยใช้ข้อมูลในหัวข้อที่ 4.2.1-4.2.2

4.2.6.1 การถ่ายแรงภายในดาดอุโมงค์ เนื่องจากผลของ Staggered โดยค่าโมเมนต์จากวิธี Einstein(Full-Slip) จากตารางที่ 4.2 ($M(I_0) = 114.347 \text{ kN-m/m}$, $M(I) = 46.726 \text{ kN-m/m}$)

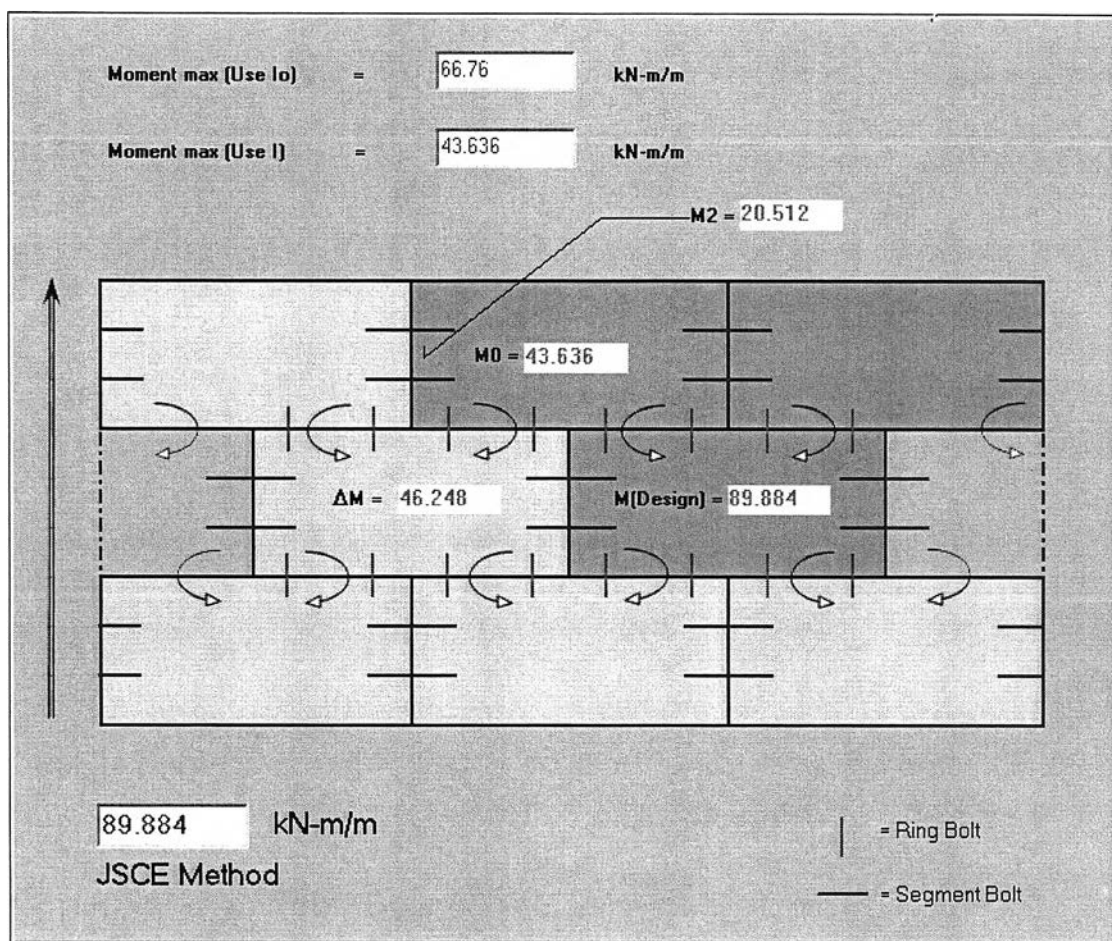


รูปที่ 4.26 ค่าโมเมนต์ของวิธี Einstein:Full-Slip จากผลการเหลื่อมกันของดาดอุโมงค์

4.2.6.2 การถ่ายแรงภายในคานดัดอูโมงค์ เนื่องจากผลของStaggered โดยค่าโมเมนต์จากวิธี Einstein(No-Slip) จากตารางที่ 4.2 ($M(l_0) = 273.868$ kN-m/m, $M(l) = 273.868$ kN-m/m)

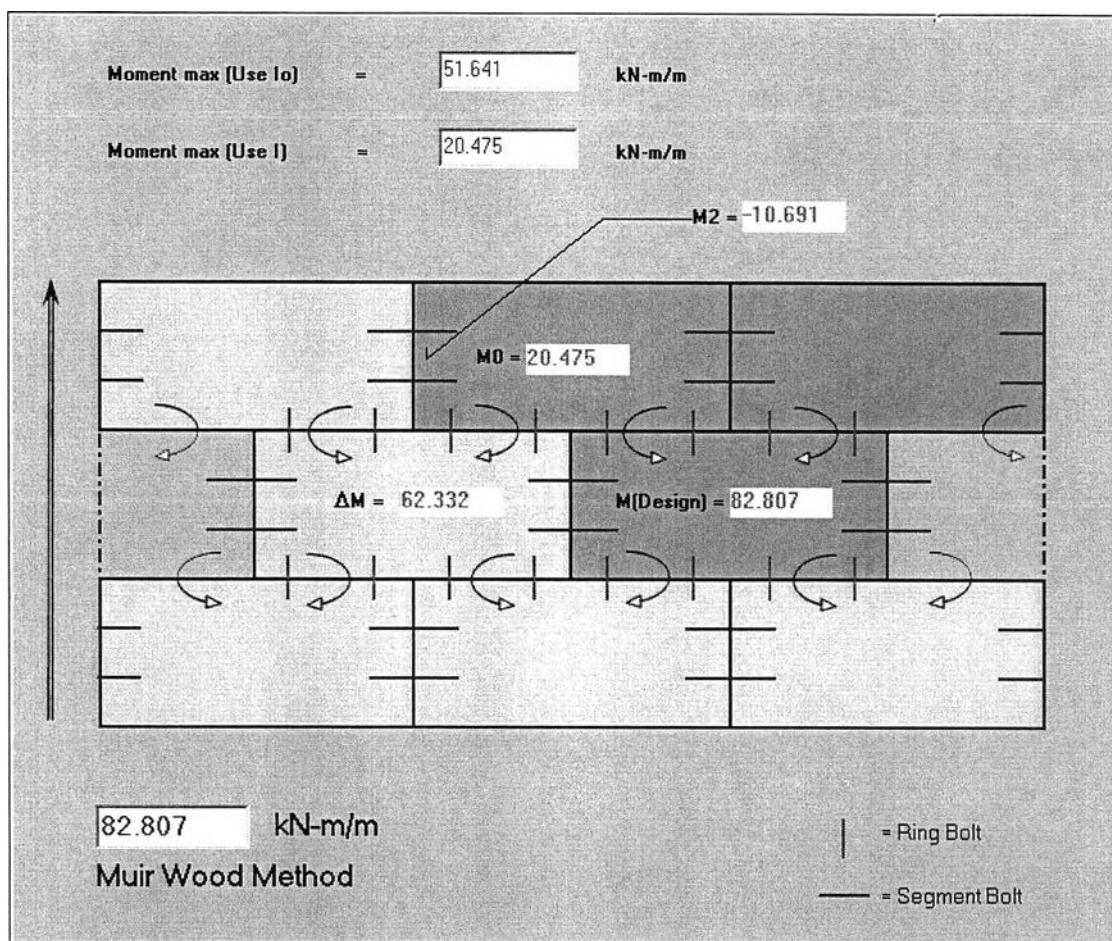
จะเห็นได้ว่าค่า $M(l_0) = M(l)$ จึงไม่ทำให้เกิด ΔM ทำให้ในการออกแบบนั้นวิธี No-Slip จะใช้ค่า $M(l_0)$ หรือ $M(l)$ ออกแบบได้เลย

4.2.6.3 การถ่ายแรงภายในคานดัดอูโมงค์ เนื่องจากผลของ Staggered โดยค่าโมเมนต์จากวิธี JSCE จากตารางที่ 4.2 ($M(l_0) = 66.76$ kN-m/m , $M(l) = 43.636$ kN-m/m)



รูปที่ 4.27 ค่าโมเมนต์ของวิธี JSCE จากผลการเชื่อมกันของคานดัดอูโมงค์

4.2.6.4 การถ่ายแรงภายในคานดัดโค้ง เนื่องจากผลของ Staggered โดยค่าโมเมนต์จากวิธี Muir Wood จากตารางที่ 4.2 ($M(I_0) = 51.641 \text{ kN-m/m}$, $M(I) = 20.475 \text{ kN-m/m}$)



รูปที่ 4.28 ค่าโมเมนต์ของวิธี Muir Wood จากผลการเหลื่อมกันของคานดัดโค้ง