

1. 기장1터널 안전성평가 자료

1.1 안전성평가 자료

구조물의 안전성 평가는 그 기능과 역할을 유지할 수 있는 구조적 및 사용상의 안전성에 대한 확보여부를 평가하는 것이므로 설계도서 검토 및 시공방법과 사용재료에 대한 검토, 부재별 상태 평가 결과 및 각종 계측·측정·조사·시험 등을 통한 충분한 기초자료를 확보하여 이를 바탕으로 수치해석에 의해 안전성 여부를 판단하여야 한다.

상태평가 결과 및 각종 계측·측정·조사·시험 등을 실시한 결과, 전회(2019년) 정밀안전진단과 해당 구조물의 현황이 이전과 근소한 차이 외 변화가 없는 것으로 확인되어 구조계산서 및 터널해석보고서 등 기초 자료를 활용하여 안전성여부를 판단하였고, 일부 자료를 발췌하여 첨부하였다.

부산~울산간 고속도로 건설공사 실시설계

터널 해석 보고서

제2공구 : 송정 ~ 서부

1999.11

한국도로공사

1. 터널 안정성 해석 /1

1.1 서 론	1
1.2 지형 및 지반조건	1
1.2.1 지 형	1
1.2.2 지 질	2
1.2.3 지반 등급 및 지보패턴	3
1.3 해석물성치	11
1.3.1 심도에 따른 암반의 특성 변화	12
1.3.2 변형계수 및 포아송비	14
1.3.3 점단자수(C, ϕ)	17
1.3.4 암반의 초기지압	25
1.3.5 물성치 산정결과	29
1.4 터널 수치 해석	32
1.4.1 수치해석기법	32
1.4.2 터널 굴착에 의한 지반의 3차원 거동 특성	35
1.4.3 3차원 굴착 거동의 2차원 모형화	38
1.4.4 수치해석 프로그램 FLAC	40
1.4.5 3차원 수치해석 프로그램 PENTAGON 3D	44
1.5 터널 안정성 해석	47
1.5.1 해석위치 선정	47
1.5.2 해석영역 및 경계조건	48
1.6 해석 결과	49
1.6.1 이차원 해석 결과	49
1.6.2 삼차원 해석 결과	84
1.7 결 론	116
1.7.1 이차원 해석	116
1.7.2 삼차원 해석	118

1. 터널 안정성 해석

1.1 서 론

본 기장터널은 부산-울산간 고속도로 건설공사(2공구) 구간으로서 터널 연장 536m, 466m의 3차선 병렬터널로 계획되었으며 터널굴착공법은 NATM공법을 채택하였다.

본 터널에 대한 터널 수치해석을 수행하여 터널의 안정성을 검토하였으며 터널의 수치해석은 탄소성 이론을 근거로 한 유한사분해법 프로그램인 FLAC과 삼차원 안정성 해석을 위하여 유한요소법 프로그램인 PENTAGON3D를 이용하여 수행하였다.

해석에 필요로 하는 입력적수들은 암석실내시험 결과와 암반분류 결과를 검토하여 Hoek-Brown 이론과 Barton의 제안식을 이용하여 지반등급별로 결정하였다. 입력적수들은 실험실 및 현장에서 측정한 암석·암반의 특성치로 이것은 측정 지점 주위의 국부적인 영역에 대한 대표값이고 암반에 발달한 절리, 균열 등 불연속면의 영향과 암반의 불균질성, 이방성 등 암반 고유의 특성에 기인하는 영향을 실제 단계에서는 정확히 고려할 수 없기 때문에 실제로 해석에 의한 예측치와 실제 측정치는 반드시 일치한다고는 볼 수 없다. 따라서 현장 계측 및 막장 관찰을 통해 설계 시 조건과 실제 조건을 비교분석하여 설계의 적합성을 평가한 후 적절한 대응 조치를 취하여 안전하고 경제적인 시공이 되도록 하여야 한다.

1.2 지형 및 지반조건

1.2.1 지 형

본 조사 노선은 부산광역시 해운대구 송정동을 시점으로 기장군 기장을 서부리를 종점으로 하는 총 5.6km에 이르는 본 노선과 근접하여 북북동 방향의 지방도 1019호선과 평행하게 놓여 있다.

본 조사지역인 산계는 동해안에 인접하여 남북방향으로 달리는 태백산맥의 영향으로 과곡산(▲154.8m)과 풍정부에 왕달산(▲287m)이 북북동 방향으로 비교적 험준한 산세를 보이고 있으며 시점부에 발달하고 있다. 또한 해안쪽으로 해발 150m내외의 산맥들이 해안구릉지를 형성하고 있다.

수계의 발달상태는 본지역의 지질분포 및 지질구조와 밀접한 관계를 가지고 있는데 본 조사지역의 수계는 뚜렷한 양상은 보이지 않고 있으며 수규모의 지점이 동해로 유입되고 있다.

1.2.2 지 질

본 조사지역의 지질은 경상계 퇴적암류와 이를 관입 또는 분출한 화산암류, 그리고 후에 이를 관입한 불국사화강암류, 마산암류 및 맥암류 등으로 대별되며 백악기의 신라통의 화산암류와 퇴적암류인 양북층군이 나타나고 있다. 또한 이들층을 제4기의 충적층이 백악기와 제3기 기반암들의 상부에 부정함으로 피복되어 있다.

불국사 화강암류는 섬록암에서 시작하여 화강섬록암, 각섬석화강암 및 흑운모화강암등이 이분화 작용의 소산물이며 이 화강암류는 경상도에 널리 분포되어 있는 백악기의 암류이다.

신라통의 안산암질암은 본 지역에서 가장 넓은 분포현적을 가지고 있는 암석으로 화강암류와의 접촉부는 무문적으로 호른펠스화된 암질을 보여주시기도 한다. 본 암은 신라통의 화산암류 중에서 초기에 형성된 것이며 후기의 화산암류인 석영안산암질 내지 유문암질류에 의해 불규칙하게 관입되어 있거나 이들 심성암체내에 포획암으로 나타나기도 한다. 본 암은 외관상 녹색계통의 색을 띠는 것이 야외에서 가장 큰 특징이며 입도도 보아 세립질 인것, 반상조직을 가지는 것 및 각력질의 것이 조직상의 특징을 가지는 대표적인 암종이다. 조밀하고 견고한 세립질의 본 암은 반상조직이 육안적으로는 거의 식별되지 않으나 정석, 휘석, 각섬석의 반경은 식별이 되어 중화표면에서는 더욱 잘 나타난다.

시점부에는 응회암이 분포하고 있으며 화산층서적으로 보아 안산암을 덮고 있으며 유문암암에 의해 피복된다. 또한 분암을 포함하고 있는 레피리(Lapilli)의 구성암에 있어서 지역적인 변화가 다양하게 나타나며 응회암에 포함되는 레피리 크기의 각력편의 구성암은 안산암, 유문암, 처트 등이 있다.

기. 시추공별 디넬심도 부근의 임반분류

항목 구분	약물 투여 농도 (mg/ml)	약액강도 (g/cm ³)			RQD (%)			점리간격 (mm)			점리상태 (mm)			지하수상태 (t/min)			원 가	방 성	비고
		상태	R	상대	R	상대	R	상대	R	상대	R	상대	R	상대	R	상대			
TB-1	22.0	1,000 이상	12	57	13	6	20	8	심함 이전	20	< 10	10	7	매우 덜다	-12	51	III	터널부	
	23.5	1,000 이상	12	64	13	6	20	8	이전 1-5	10	10	25	7	매우 덜다	-12	38	IV		
	25.0	1,000 이상	12	86	17	6	20	8	약간 회색 이전	25	< 10	10	7	매우 덜다	-12	61	III		
	26.5	1,000 이상	12	87	17	6	20	10	이전 5	10	< 10	10	7	매우 덜다	-12	47	III		
	28.0	1,000 이상	12	87	17	6	20	8	백색 이전	25	< 10	10	7	매우 덜다	-12	60	III		
	29.5	1,000 이상	12	91	20	6	20	8	이전 5	10	10	25	7	매우 덜다	-12	46	III		
	31.0	1,000 이상	12	73	13	6	20	8	이전 1-5	10	10	25	7	매우 덜다	-12	38	IV		
	32.5	1,000 이상	12	88	17	6	20	8	약간 회색 이전	25	< 10	10	7	매우 덜다	-12	60	III		
	34.0	1,000 이상	12	55	13	6	20	8	심함 이전	20	< 10	10	7	매우 덜다	-12	51	III		
	35.5	1,000 이상	12	77	17	6	20	8	약간 회색 이전	25	< 10	10	7	매우 덜다	-12	60	III		
TB-2	36.5	1,000 이상	12	98	20	6	20	10	신 선	30	None	15	7	매우 덜다	-12	75	II	터널부	
	37.0	1,000 이상	12	94	20	6	20	10	약간 회색 이전	20	< 10	10	7	매우 덜다	-12	85	II		
	37.2	1,000 이상	12	86	17	6	20	8	심함 이전	20	< 10	10	7	매우 덜다	-12	55	III		
	38.0	1,000 이상	12	91	20	6	20	8	심함 이전	20	< 10	10	7	매우 덜다	-12	58	III		
	41.1	1,000 이상	12	78	17	6	20	8	심함 이전	20	< 10	10	7	매우 덜다	-12	51	III		
	43.1	1,000 이상	12	78	17	6	20	8	이전 5	0	25 125	4	7	매우 덜다	-12	29	IV		
	47.1	1,000 이상	12	49	8	< 0	5	이전 5	10	25 125	4	7	매우 덜다	-12	27	IV			
	49.1	1,000 이상	12	65	13	6	20	8	이전 5	10	10	26	7	매우 덜다	-12	38	IV		
	51.1	1,000 이상	12	50	13	< 0	5	이전 5	0	25 125	4	7	매우 덜다	-12	22	IV			
	53.1	1,000 이상	12	50	13	< 0	5	이전 5	0	25 125	4	7	매우 덜다	-12	22	IV			

시험 구분	시험 번호	입방 중량 (g/cm ³)	포식강도 (kg/cm ²)		RQD (%)		정리강경 (cm)		정리상태 (mm)		지하수상대 (t/min)		평 가 평 점				비고
			상태	R	상태	R	상태	R	상태	R	상태	R	충전	R	점수	등급	
TB-3	16.4 17.9	1,000 이상	12	100	20	20	60	10	약간풍화 이전	25	< 10	10	매우 덜리	-12	65	II	타입부
	17.9 19.4	1,000 이상	12	85	17	6	20	8	심중풍화 < 1	20	< 10	10	매우 덜리	-12	55	III	
	19.4 20.8	1,000 이상	12	94	20	20	60	10	신선	30	None	15	매우 덜리	-12	75	II	
	20.8 21.4	1,000 이상	12	45	8	6	20	8	약간풍화 이전	25	< 10	10	매우 덜리	-12	51	III	
	21.4 22.6	1,000 이상	12	100	20	20	60	10	약간풍화 < 1	25	< 10	10	매우 덜리	-12	65	II	
	22.6 24.3	1,000 이상	12	89	17	20	60	10	약간풍화 < 1	25	< 10	10	매우 덜리	-12	62	II	
	24.3 25.8	1,000 이상	12	99	20	20	60	10	신선	30	None	15	매우 덜리	-12	75	II	
	25.8 27.3	1,000 이상	12	93	20	20	60	10	신선	30	None	15	매우 덜리	-12	75	II	
	27.3 28.8	1,000 이상	12	97	20	20	200	16	신선	30	None	15	매우 덜리	-12	80	II	
	28.8 30.3	1,000 이상	12	91	17	6	20	8	약간풍화 이전	25	< 10	10	매우 덜리	-12	60	III	
	30.3 31.8	1,000 이상	12	100	20	20	60	10	약간풍화 이전	25	< 10	10	매우 덜리	-12	65	III	
	TB-4	15.0 16.5	500이하	1	49	8	< 6	5	이전 5	0	25 125	4	매우 덜리	-12	6	V	
16.5 18.0		500이하	1	41	8	6	20	8	이전 5	0	25 125	4	매우 덜리	-12	9	V	
18.0 19.5		50 250	2	56	13	6	20	8	이전 5	10	25 125	4	매우 덜리	-12	26	IV	
19.5 21.0		500이하	1	45	8	< 6	6	이전 5	0	25 125	4	매우 덜리	-12	6	V		
21.0 22.5		50 250	2	91	20	6	20	8	이전 1~5	0	25 125	4	매우 덜리	-12	32	IV	
22.5 24.0		500이하	1	45	8	< 6	5	이전 5	0	25 125	4	매우 덜리	-12	6	V		
24.0 25.5		500이하	1	48	8	6	20	8	이전 5	0	25 125	4	매우 덜리	-12	9	V	
25.5 27.0		50 250	2	57	13	< 6	5	이전 5	0	25 125	4	매우 덜리	-12	12	V		
27.0 28.5		50 250	2	53	13	< 6	5	이전 1~5	10	25 125	4	매우 덜리	-12	22	IV		
28.5 30.0		50 250	2	41	8	6	20	8	이전 5	10	25 125	4	매우 덜리	-12	20	V	

[illegible]

2) Q-System

[illegible]

1.3 해석 물성치

최근 터널, 사면, 교량 등 각종 지반구조물의 설계를 위하여 수치해석모델이 다양하게 적용되면서, 암반의 물성치, 특히 암석의 영률과 같은 강성(stiffness)과 각종 강도(strength)를 암반에 대한 값으로 감산하는 문제가 매우 중요한 과제로 대두되고 있다. 크기효과(scale effect)를 고려할 필요가 없는 인공적인 재질과는 달리, 암반은 아무리 강한 것이라도 물성치를 감소시키는 것이 필요하다.

Mohammad 등(1997)은 최근 수년동안 발표된 약40여 편의 수치해석결과를 참고하여 각각의 논문들에서 수치해석용 입력변수가 어떻게 적용되었는지를 살펴보았다. 이들 입력변수 중에서도 실내시험으로부터 구해진 탄성계수가 모델링에 적용될 때는 약 0.46배 가량으로 감산됨을 알 수 있었다. 마찬가지로 단축압축강도, 인장강도, 포아송비에 대해서도 사례분석을 통하여 감산지수를 구해본 결과, 단축압축강도는 실내시험치의 약 0.28배, 인장강도는 실내시험치의 약 0.43배, 그리고 포아송비는 실내시험치와 거의 유사한 값으로 적용됨을 발견하였다.

이상과 같이 실내시험으로 구한 물성치가 모델링에 적용될 때의 감산 경향은 각 해석자의 주관적 판단이 아니라, 나름대로의 감산기법을 통하여 얻어진 결과이다. 따라서 본 장에서는 실내시험으로 구한 물성치의 현지암반시험으로 구한 각종 변수들을 여러 방법으로 수치해석용 입력치로 전환하여 합리적인 설계정수 추출을 가능케 하고자 한다.

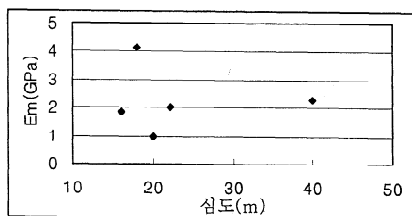
암반의 변형계수를 결정하는 방법을 제안하였다.

본 설계기간에서 실시한 공내재하시험 결과도 심도에 따른 변형계수가 증가하는 경향을 보인다(<그림1.3.1> 참조).

비록 제한적인 측정치수로 인하여 심도 증가에 따른 변형계수 증가 현상이 명확히 드러나지는 않지만 한 공에 대한 측정 결과를 제외할 경우 심도에 따른 변형계수가 증가하는 경향을 보임을 확인할 수 있다.

<표1.3.2> 현장 공내재하시험결과

시험 공번	시험심도 (m)	변형계수 (E_m) (10^3)	암 석 명	지 층 상태	비 고
TB-1	22.0	200,030	신선, 강함	경암	
TB-2	40.0	227,440	신선, 매우 강함	경암	
TB-3	18.0	414,260	신선, 매우 강함	경암	
TB-4	20.0	98,330	심한 풍화, 약함	여암	
TR-6	16.0	184,080	약간 풍화, 강함	경암	



<그림 1.3.1> 심도에 따른 변형계수 변화 경향

※ 설계정수 결정시 심도 영향 고려

이상과 같이 암반의 물성 특히 변형계수는 심도에 영향을 받기 때문에 심도를 고려할 수 있는 Barton의 경험식을 사용하여 변형계수를 산정하였다.

1.3.1 심도에 따른 암반의 특성 변화

심도가 증가하면 암반 내에 작용하고 있는 초기응력의 크기가 커짐으로써 암반에 작용하고 있는 봉압 또한 증가한다. 봉압 증가에 따라 암반의 물성, 특히 변형계수가 증가하는 경향을 보인다.

※ 봉압증가에 따른 무결암의 탄성계수 증가

무결암에 대한 삼축압축시험시 봉압의 증가에 따라 탄성계수가 증가한다. 이정인(1974)은 대리석, 응회암, 안산암과 두 종류의 사암 등의 성인이 다른 암종의 무결암에 대한 삼축압축시험을 실시하였으며, 암석의 성인에 따라 약간의 경향 차이를 보이지만 봉압이 증가함에 따라 체적탄성계수가 증가함을 실험적으로 입증하였다. <표1.3.1>은 그의 실험결과이며, 봉압이 증가함에 따라 봉압이 없는 단축압축상태의 체적탄성계수보다 최대 162% 증가함을 확인할 수 있다. 체적탄성계수는 포아송비와 탄성계수로 정의되므로 체적탄성계수가 증가하면 결국 탄성계수가 증가한다.

<표 1.3.1> 여러 암종의 무결암의 봉압에 따른 체적탄성계수의 변화

봉 압 (kg/cm ²)	체 적 탄 성 계 수 ($\times 10^4$ kg/cm ²)				
	Tohoku 대 리 석	Ogino 응 회 암	Emochi 안 산 암	Kimachi 사 암	Izu tuffaceous 사 암
0	9.2	1.8	2.3	1.7	1.1
60	10	1.6	2.3	1.6	1.2
120	12	1.6	2.6	1.8	1.3
240	14	1.6	3.1	1.6	1.4

※ 심도 증가에 따른 암반 변형계수의 증가

무결암의 탄성계수 뿐만 아니라 현지 암반의 변형계수 또한 심도가 증가함에 따라, 즉 봉압이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보인다. Hardy와 Hocking은 암반의 변형계수가 암질 뿐만 아니라 봉압에도 영향을 받음을 밝힘으로서 탄성계수 평가시 심도의 영향을 고려해야 함을 주장하였다. 한편 Barton은 이를 구체화하여 σ_3 , 터널 심도, 암석 시료의 단축압축강도를 고려하여

1.3.2 변형계수 및 포아송비

가. 변형계수

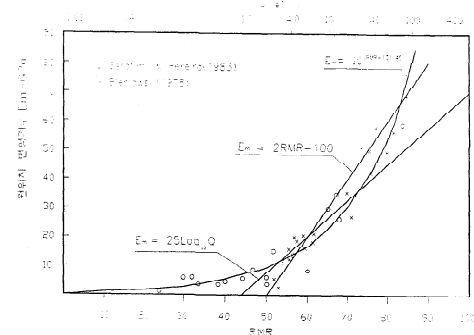
※ RMR에 의한 방법

- Seralim & Pereira(1983)에 의한 방법

$$E_m = 10^{(1.75 \log_{10} RMR - 0.42)} \text{ (GPa)} \quad (RMR < 50)$$

- Bieniawski(1976)에 의한 방법

$$E_m = 2 \times RMR - 100 \text{ (GPa)} \quad (RMR \geq 50)$$



<그림1.3.2> RMR과 암반의 변형계수와의 관계

등급	Type-I	Type-II	Type-III	Type-IV	Type-V
범위 (GPa)	62~100	22~60	6~20	1.88~5.62	< 1.78
평균	81	41	13	3.75	0.69

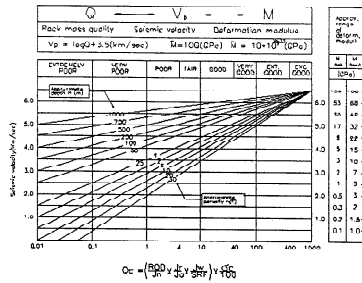
※ Barton의 경험식

Hardy와 Hocking은 암반의 탄성계수가 암질뿐만 아니라 봉압에도 영향을 받음을 밝힘으로서

탄성계수 평가시 식도의 영향을 고려하였다. Barton은 이를 구체화하여 Q값, 터널 심도, 암석 시료의 단축압축강도를 고려하여 암반의 변형계수를 결정하는 방법을 제안.

$$Q_p = Q \times \frac{U_p}{100}$$

$$RMR = 9 \ln Q + 44$$



등급	Type-I	Type-II	Type-III	Type-IV	Type-V
RMR	81 ~ 100	61 ~ 80	41 ~ 60	21 ~ 40	< 20
Q	54.6 ~ 503	6.6 ~ 54.6	0.7 ~ 6.6	0.08 ~ 0.7	< 0.08
V_p (MPa)	241	217	169	121	06
Q_c	118.5 ~ 1214	11.2 ~ 118.5	0.87 ~ 11.2	0.07 ~ 0.87	< 0.07
E_m (GPa)	> 41.0	15.0 ~ 41.0	6.0 ~ 15.0	3.2 ~ 6.0	< 0.85
E_{exp} (GPa)	> 56.0	30.0 ~ 56.0	17.0 ~ 30.0	11.0 ~ 17.0	< 4.5

Barton의 경험식에서 암반의 변형계수는 심도에 따라 다른 값을 보인다. 각 등급별 RMR의 심도별 분포를 분석한 결과 TYPE-I, II, III는 50m기준으로, TYPE-IV, V는 25m를 기준으로 변형계수를 산정하였다.

☐ Mitri et al(1994)의 방법

Mitri 등(1994)은 RMR을 이용한 현재암반 상태를 표현하기 위해 다음의 (4)식을 이용하여

암반의 변형계수를 유도하고 Hoek-Brown 실험을 감쇠시키는 식을 제안하였다.

$$RF = \frac{E_m}{E_{int}} = 0.5 \cdot [1 - \cos(\pi \cdot \frac{RMR}{100})] \quad (4)$$

첫 식은 RMR 또는 강성이 낮은 범위에서도 현실성 있는 감쇠 값을 보이고 있다.

구분	Type-I	Type-II	Type-III	Type-IV	Type-V
RMR	81 ~ 100	61 ~ 80	41 ~ 60	21 ~ 40	< 20
E_m (GPa)	> 72	52 ~ 72	28 ~ 52	8.4 ~ 28	< 7.6

주) 암석 실내시험 결과 Intact Rock의 평균 탄성계수는 80GPa임

☐ 현장 공내재하시험 결과

시험 공번	시험심도 (m)	RMR	변형계수 (E_m) (GPa)	암 석 명	지 층	비 고
TB-1	22.0	51	200,030	신선, 강함	경암	
TB-2	40.0	55	227,440	신선, 매우 강함	경암	
TB-3	18.0	55	414,200	신선, 매우 강함	경암	
TB-4	20.0	6	98,330	심한 풍화, 약함	연암	
TB-6	16.0	30	184,080	약간 풍화, 강함	경암	

주) 큰 조사에 적용된 Pressuremeter는 기압력의 한계로 연암층 이하에 적합한 장비이며, 상기 결과는 과소한 결과로 판단됨

☐ 각종 방법에 의한 변형계수 분석

구분	Type-I	Type-II	Type-III	Type-IV	Type-V
RMR	81	41	13	3.75	< 1.78
Barton의 경험식	> 41.0	15.0 ~ 41.0	6.0 ~ 15.0	3.2 ~ 6.0	< 0.85
Mitri의 경험식	> 72	52 ~ 72	28 ~ 52	8.4 ~ 28	< 7.6
공내재하시험	-	-	2.00 ~ 4.14	1.84	0.98
적용(GPa)	41.0	15.0	6.0	3.2	0.85

주) 심도 및 무결암의 단축강도를 고려할 수 있는 Barton의 경험식을 통해 얻은 값을 적용값으로 선정

나. 포아송 비

포아송비는 축응력 σ_1 을 받은 축변형률 ϵ_1 (압축)에 대한 축변형률 ϵ_2 (신장)의 비로서 암석 자체의 거동 양상을 유추할 수 있다. 일반적으로 암석의 포아송비는 0.25 ~ 0.33 정도의 범위를 가지며, 토사층에서는 0.30 ~ 0.50 정도의 범위를 갖는 것으로 알려져 있다. 포아송비는 무결암에 대한 값 및 기존 적용 사례를 비교하여 적용값을 선정하였다.

구분	Type-I	Type-II	Type-III	Type-IV	Type-V
적용	0.22	0.23	0.25	0.26	0.3

1.3.3 전단지수 (C, ϕ)

암반에서의 지체굴곡에 대한 안정성 여부는 절리, 단층 등의 불연속면의 특성을 나타내는 구조 지질학적 조건과 암반내에 분포하는 응력조건, 암반강도에 좌우된다. 도로 및 지하철 터널과 같은 천부터널의 안정성은 구조 지질조건과 풍화도에 큰 영향을 받으며, 반면에 저장공통 및 내심도 도로 터널 등 심부에서는 풍화의 수반에 생기는 불력조건에 대한 암반의 반응 특성에 많은 영향을 받는다.

암반은 신선한 상태에서 식하게 파쇄된 상태에 이르기까지 여러 등급의 암질상태를 나타내므로 특정 반응특성(파괴조건)을 실제의 암반에서의 평가 혹은 암반의 적용에는 많은 어려움이 따른다. 또한 신선암의 경우 상대적으로 풍이한 실험조건 때문에 쉽게 실내시험 데이터를 얻을 수 있으나, 절리를 포함하는 실제 규모의 암반에 대한 실험은 난이도와 경제성으로 인해 시험의 시행이 매우 어렵다. 이러한 문제점을 고려할 때 실제시의 암반파괴 기준은 다음과 같은 조건을 만족하여야 한다.

- 신선한 암의 응력조건에 대한 거동을 충분히 포함하여야 함.
- 한계 혹은 그 이상의 절리군의 영향을 평가할 수 있는 방법을 포함하여야 함
- 수개 이상이 절리군을 포함하는 실제 규모의 암반에 특정 파괴조건식을 적용할 수 있는 객관적인 기준 제공

Hoek-Brown(1980)은 전체적인 암반의 상태를 고려하여 사용될 수 있는 기준식을 개발한 바 있는데, (5)식에서 보는 바와 같이 이 식은 Intact rock의 반응뿐만 아니라 joint의 영향, 암반 내 불연속면의 거동 등도 고려한 것이다.

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m \sigma_3 \sigma_c + s \sigma_c^2} \quad (5)$$

여기서, σ_1 과 σ_3 는 각각 최대주응력 및 최소주응력이며, σ_c 는 암석의 단축압축강도, m과 s는 암석의 물성과 관련되는 상수이다. Hoek-Brown(1988)은 다시 Bieniawski의 암반분류법을 토대로 (5)식을 수정한 바 있는데, 불교란 및 교란 시료에 대해 m과 s를 결정하는 새로운 식을 제안하였다.

$$m = m_i \exp\left(\frac{RMR-100}{28}\right) \quad (6)$$

$$s = \exp\left(\frac{RMR-100}{9}\right)$$

여기서, m_i 는 무결암(intact rock)에 대한 상수.

$$m = m_i \exp\left(\frac{RMR-100}{14}\right) \quad (7)$$

$$s = \exp\left(\frac{RMR-100}{6}\right)$$

이들 식은 전체 파괴포락선에서의 암반의 영향을 허용하고 따라서 초기의 간단한 감쇠지수보다 훨씬 성교하다는 점에서 현재로서 가장 발전된 형태인 것으로 알려지고 있다. <표1.3.3>는 Hoek-Brown(1988)에 의해 제안된 m과 s의 전형적인 값을 보여주고 있는데, 이를 이용하여 암반에 대한 단축압축강도(qm)와 인장강도(σ_t)를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$qm = \sigma_c \sigma_c^s, \quad \sigma_t = \frac{1}{2} \sigma_c [m - \sqrt{m^2 + 4s}] \quad (8)$$

또한, Trueman(1988)은 여러 사람들에게 의해 제안된 갖가지 감쇠지수들을 바탕으로 RMR을 이용하여 다음과 같이 강도 변수에 대한 식을 제안하였다.

- > 암반에 대한 압축강도 : $\sigma_m = 0.5 \exp(0.06 RMR)$ (MPa)
- > 암반에 대한 점착력 : $C_{rm} = 0.25 \exp(0.05 RMR)$ (MPa)
- > 암반에 대한 내부마찰각 : $\phi_{rm} = 0.5 RMR + 5$ (degree)

(9)식은 Lloyd(1995), Follington(1988), Chileshe(1992) 등에 의해 이미 그 적용성이 검증된 바 있다.

<표 1.3.3> 암반 등급과 Hoek-Brown 파괴조건식의 변수(m,s)간의 개략적인 관계

고관란 암반에 대한 m'과 s'의 값		불고관란 암반에 대한 m과 s의 값			
경험적 파괴기준 $\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m \sigma_1 \sigma_3 + s \sigma_3^2}$ $T = 10 \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_3} - 1 \right)^b$ 여기서, $T = \frac{1}{2} (m - \sqrt{m^2 + 4s})$	강 발달된 결정성 벽계를 가진 탄성암 암석 백운석, 석회암, 대리석	완성화된 점토질 암석 이암, 실트암, 세립, 점탄암 (벽계에 수직)	간한 결정을 가지고 있으며 결정성 벽계 는 잘 발달되지 않 은 사질 암석 사암, 규암	다중 경동조성의 세 립결정질 화성암 안산암, 조립암, 무암, 화력암, 유문암	다중 경동조성의 조 립결정질 화성암 및 변성암 각암암, 변태암, 면암, 최암암, 노라이트(norite), 석영석암
무결함 시료 절리가 없는 실험실 시험용 크 기의 시편 CSIR점수 100 NGI점수 500	m' = 7.00 s' = 1.00 m = 7.00 s = 1.00	m' = 10.00 s' = 1.00 m = 10.00 s = 1.00	m' = 10.00 s' = 1.00 m = 15.00 s = 1.00	m' = 17.00 s' = 1.00 m = 17.00 s = 1.00	m' = 25.00 s' = 1.00 m = 25.00 s = 1.00
아주 우수한 등급의 암반 ±3m 간격의 풍화되지 않은 절 리를 가지고 있으며, 단단하게 맞물려 있고 고관란되지 않은 암 반 CSIR점수 65 NGI점수 100	m' = 2.40 s' = 0.082 m = 4.10 s = 0.189	m' = 3.43 s' = 0.082 m = 5.85 s = 0.189	m' = 5.82 s' = 0.082 m = 8.78 s = 0.189	m' = 5.82 s' = 0.082 m = 9.95 s = 0.189	m' = 8.58 s' = 0.082 m = 14.63 s = 0.189
우수한 등급의 암반 신선한 상태에 약간 풍화상태 까지의 암석, 1-3m 간격의 절 리가 있고 약간 고관란되어 있음. CSIR점수 65 NGI점수 10	m' = 0.575 s' = 0.00293 m = 2.006 s = 0.0205	m' = 0.821 s' = 0.00293 m = 2.865 s = 0.0205	m' = 1.231 s' = 0.00293 m = 4.298 s = 0.0205	m' = 1.355 s' = 0.00293 m = 4.871 s = 0.0205	m' = 2.052 s' = 0.00293 m = 7.163 s = 0.0205
양호한 등급의 암반 절리간격은 0.3-1m이고, 적당히 풍화된 몇 개의 절리군이 있음. CSIR점수 44 NGI점수 1.0	m' = 0.128 s' = 0.00009 m = 0.947 s = 0.00198	m' = 0.183 s' = 0.00009 m = 1.353 s = 0.00198	m' = 0.275 s' = 0.00009 m = 2.03 s = 0.00198	m' = 0.311 s' = 0.00009 m = 2.301 s = 0.00198	m' = 0.458 s' = 0.00009 m = 3.382 s = 0.00198
불량한 등급의 암반 간격이 30-50mm이고 층상들이 약간 있는 수많은 풍화 절 리가 존재-깨끗한 폐쇄다미 CSIR점수 23 NGI점수 0.1	m' = 0.023 s' = 0.000003 m = 0.447 s = 0.00010	m' = 0.041 s' = 0.000003 m = 0.630 s = 0.00010	m' = 0.061 s' = 0.000003 m = 0.959 s = 0.00010	m' = 0.069 s' = 0.000003 m = 1.087 s = 0.00019	m' = 0.102 s' = 0.000003 m = 1.598 s = 0.00019
아주 불량한 등급의 암반 간격이 50mm 이하이고 층상들 을 포함하고 있으며 심하게 풍 화된 수많은 절리가 존재-깨 끗한 폐쇄다미 CSIR점수 0 NGI점수 0.01	m' = 0.007 s' = 0.0000001 m = 0.219 s = 0.00002	m' = 0.01 s' = 0.0000001 m = 0.313 s = 0.00002	m' = 0.015 s' = 0.0000001 m = 0.459 s = 0.00002	m' = 0.017 s' = 0.0000001 m = 0.532 s = 0.00002	m' = 0.025 s' = 0.0000001 m = 0.782 s = 0.00002

가. Hoek-Brown의 파괴기준식에 의한 설계정수 산정

1) 암반 등급에 따른 단축압축강도 σ_{ci} 변화

- 가장: 암반 등급이 낮아짐에 따라 암반의 풍화도가 높아진다
- 풍화도(Bell, 1992)를 암반 등급과 매치시킴
- 각 풍화도에서 단축압축강도의 감소비를 이용하여 각 암종별 단축압축강도를 암반 등급에 따라 변화시킴

풍 화 도	암반 등급	σ_{ci} 감소비	단 축 압 축 강 도 (MPa)
I	I	0	241
SW	II	0~0.2	217
MW	III	0.2~0.4	169
HW	IV	0.4~0.6	121
VHW	V	0.6~1.0	96

1980년에 제안된 Hoek-Brown 파괴기준식(5)식 참조)은 경험에 대해 적용성이 뛰어난 식으로서, 암반 상태가 불량할 경우에는 새로운 기준식이 적용되어야 할 것으로 지적되어왔다. 특히 최근의 수치해석 프로그램들이 대부분 Mohr-Coulomb 파괴조건식을 따르면서 점착강도와 내부마찰각의 결정이 중요한 입력자료가 되고 있기 때문에 이러한 입력 변수를 정확히 구하기 위하여 Hoek과 Brown은 새로운 파괴기준식을 제안한 바 있는데, 이들의 파괴기준식을 이용하여 절리를 포함하고 있는 암반의 강도와 변형계수를 산정하려면 다음의 3가지 암반물성치가 먼저 구해져야 한다. 즉,

- σ_{ci} : 무결암의 단축압축강도
- m_i : 무결암에 대한 Hoek-Brown 상수
- GSi: 암반에 대한 지질강도지수(Geological Strength Index)

2) σ_{ci} 와 m_i

위의 3가지 암반물성치 중에서 σ_{ci} 와 m_i 는 앞의 (5)식에서처럼 암반이 파괴될 때의 유효수 응력 σ_1' 및 σ_3' 와 직결되는 값들이기 때문에 매우 신중히 구해져야 하며, 일반적으로 산출

암축시험으로부터 구해질 수 있다.

이때 산축압축시험은 최소한 5개 이상의 시료에 대해 0에서 단축압축강도의 1/2배까지의 범위 내에서 서로 다른 봉압(confining pressure)조건으로 수행되어야 한다. 이러한 산축압축시험으로부터 σ_{ci} 와 m_i 는 다음 식과 같이 구해질 수 있다.

$$y = m \sigma_a x^s \quad (10)$$

여기서, $x = \sigma_3'$ 이고, $y = (\sigma_1' - \sigma_3')^2$ 이다.

따라서, (10)식으로부터,

$$\sigma_{ci}^2 = \sum_{i=1}^n y \left[\frac{\sum_{i=1}^n x y}{\sum_{i=1}^n x^2 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n x}{n} \right)^2} \right] \frac{\sum_{i=1}^n x}{n} \quad \text{과} \quad (11)$$

$$m_i = \frac{1}{\sigma_{ci}^2} \left[\frac{\sum_{i=1}^n x y}{\sum_{i=1}^n x^2 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n x}{n} \right)^2} \right] \text{를 구할 수 있다.} \quad (12)$$

여기서 n은 시험회수이다.

3) GSI(Geological Strength Index)

Hoek(1994) 및 Hoek et al(1995)은 서로 다른 지질조건에 대한 암반 강도의 감쇠지수를 추정하기 위하여 GSI를 소개하였는데, 이 GSI라는 변수는 절리를 포함하고 있는 암반의 강도는 무결암 시편 자체의 물성치뿐만 아니라 무결암 시편들이 미끄러지거나 회전될 수 있는 자유도에도 영향을 받는다는 개념에서 출발하였다.

이러한 자유도는 무결암의 기하학적 형태에 의해 영향을 받는데, 예를 들어 절리면이 거칠고 신선하며, 절리 내의 충전물이 없을 경우에는 상대적으로 강도가 크게 나올 것이다.

따라서 본래의 Hoek-Brown 파괴기준식을 GSI를 이용하여 나타내면 다음의 식과 같으며, 이들 식은 앞의 (6)식 및 (7)식과 잘 비교될 수 있다.

$$m_s = m_i \exp \left(\frac{GSI - 100}{28} \right) \quad (13)$$

$$s = \exp \left(\frac{GSI - 100}{9} \right)$$

$$a = 0.5, \quad \text{for } GSI > 25 \text{ (모든 이상의 암반조건)}$$

$$s = 0$$

$$a = 0.65 - \frac{GSI}{200}, \quad \text{for } GSI < 25 \text{ (매우 불량한 암반조건)}$$

실제로는 현장에서 GSI를 산정할 때 발파에 의한 영향도 고려해야 하는데, 예를 들어 조절

발파에 의한 암반 표면과 일반적인 발파에 의한 암반의 변형은 다르기 때문에, 이럴 경우에는 발파에 의해 손상을 받지 않은 면을 이용해야 한다. 궁극적으로 GSI는 불고관란 암반에 대한 물성치를 결정하는 것이기 때문이다. 그러나, 발파에 의해 손상을 받지 않은 면을 찾을 수 있을 경우에는 GSI를 보정해 주어야 한다. 즉, 최근의 발파 면이라면, 발파에 의한 새로운 균열면이 있을 것이기 때문에 10점 정도 더해 줘야 불고관란 암반에서의 값으로 간주할 수 있다.

그렇다면 시추코어를 이용하여 GSI를 구할 수도 있는가에 대한 의문이 생길 수 있다.

GSI가 25 이상인 비교적 양호한 암반일 경우 Bieniawski의 RMR 분류법에 의해 시추코어를 분석하고 이 RMR값으로부터 GSI를 구하는 것이 가장 좋은 방법이다. 그러나 GSI가 25 이하의 불량한 암반의 경우, 실제 ROD가 매우 낮기 때문에 RMR값 자체의 신뢰도가 떨어진 다. 따라서 이럴 경우에는 시추코어 자체의 물리적 현상으로부터 GSI를 구할 수밖에 없다. RMR 분류에 의해서도 GSI를 산정할 수 있는데, GSI가 25 이상인 비교적 양호한 암반상태일 경우에는 GSI를 직접 산정할 수 있지만, 암반상태가 불량할 경우에는 RMR분류법에 의해 GSI를 추정해서는 안 된다. 일반적으로 Bieniawski의 RMR분류법(1989 version, RMR₈₉)을 사용할 경우 GSI는 다음 식과 같이 주어진다.

$$GSI = RMR_{89} - 5 \quad (14)$$

그러나 이는 RMR이 23이상일 경우에만 적용될 수 있으며, 그 이하일 때에는 Barton, Lein and Lunde에 의한 Q' 값을 사용하여야 한다. 즉,

$$Q' = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_c}{J_a}$$

$$GSI = 9 \log_e Q' + 44 \quad (15)$$

단, (15)식에서 Q'값의 최소치는 0.0208인데, 이때 GSI는 대략 9가 되며, 점토가 충전된 단층면 등을 의미하는 값이다.

4) Mohr-Coulomb 변수의 산정

전술한 바와 같이 최근의 지질공학 관련 프로그램들은 대부분, 암반의 강도를 점착강도 c'와 내부마찰각 ϕ' 으로 정의하는 Mohr-Coulomb 파괴 기준식을 이용하여 짜여져 있다. 일반적으로 Mohr-Coulomb 기준식에서 최대주응력 σ_1' 과 최소주응력 σ_3' 의 선형적 관계는 다음과 같다.

$$\sigma_1' = \sigma_{cm} + k\sigma_3' \quad (16)$$

여기서, σ_{cm} : 알반의 단축압축강도

k : σ_1' 과 σ_3' 의 직선식의 기울기

따라서, c' 과 ϕ' 은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$\sin \phi' = \frac{k-1}{k+1} \quad c' = \frac{\sigma_{cm}}{2\sqrt{k}} \quad (17)$$

한편, Mohr-Coulomb 기준식과 비선형 Hoek-Brown 기준식 사이에는 직접적인 상관성이 없기 때문에 Hoek-Brown의 기준을 따르는 매질로 평가된 알반에 대하여 Mohr-Coulomb 변수인 c' 과 ϕ' 을 결정하기란 쉽지 않다. 그러나, 삼축압축시험 및 그 결과에 대한 선행 파괴분석을 통해 Mohr-Coulomb 변수를 다음과 같이 구할 수 있다. 자세한 유도과정은 Hoek과 Brown(1997)을 참고하기 바란다.

$$\phi_i' = \arctan \left(AB \left(\frac{\sigma_{ci}' - \sigma_{cm}}{\sigma_{ci}'} \right)^{p-1} \right) \quad (18)$$

$$c_i' = \tau - \sigma_{ci}' \tan \phi_i'$$

$$\sigma_{cm} = \frac{2c_i' \cos \phi_i'}{1 - \sin \phi_i'}$$

$$\text{여기서, } A=10 \left(\frac{\sum Y/T - B(\sum X/T)}{\sum X^2 - (\sum X)^2/T} \right), \quad B = \frac{\sum XY - (\sum X \sum Y)/T}{\sum X^2 - (\sum X)^2/T}$$

$$Y = \log \left(\frac{\tau}{\sigma_{ci}'} \right), \quad X = \log \left(\frac{\sigma_{ci}' - \sigma_{cm}}{\sigma_{ci}'} \right),$$

σ_{cm} : 알반의 위상각도.

σ_{ci}' : 삼축압축시험에서의 특정 수직 응력,

σ_{cm} : 알반의 단축압축강도

그러나, (18)식으로 주어지는 침착강도는 최대값을 나타내기 때문에 실제 설계에 적용할 때에는 이 값을 약 75% 정도로 감소시켜 사용하는 것이 현명하다.

-22-

ii

2. 콘크리트 라이닝 구조계산

2.1 설계 개요

구분	설계방항	비고
• 터널의 사용목적에 적합하고 • 오랜기간의 사용에 안전할 것	• 도로터널 간혹한계와 터널 여유치를 만족하고 • 1차 지보의 시간 경과에 따른 기능 저하가 예상되는 구간에 대해서 이완하중을 외력으로 작용하여 사용성 및 내구성 확보	
• 내공단면을 만족하고 축력전달이 원활한 형상	• 3심원터널로 구성된 콘크리트라이닝 단면을 계획함으로써 구조적으로 안정한 최적의 단면 형상 계획	
• 콘크리트라이닝의 설계 두께	• 콘크리트 라이닝 두께는 35cm로 계획하여 사용성 및 안정성 고려	
• 콘크리트 라이닝 배합 설계	• 소요강도, 내구성 및 양호한 시공성이 확보될 수 있는 배합설계(설계강도-균온골재-슬럼프 : 240-25-15cm)	
• 콘크리트 라이닝에 유해한 균열이 발생할 우려가 있는 경우에 균열에 대한 대책 강구	• 터널 시공시 발생하는 종방향 균열의 원인이 되는 콘크리트라이닝 천정부의 배면 공극을 방지하기 위하여 배면 공극 충전용 그라우팅 적용	
• 콘크리트 라이닝 천정부에 공극 충전용 그라우팅 홀 설치	• 시공순서에 충전용 그라우팅 홀 상세 표기	
• 지반 특성별 이완하중 고려	• 일반터널 : 수정 Terzaghi의 임반하중 분류법에 의한 이완하중 적용	
• 거푸집 탈형 시기 검토	• 1일 콘크리트 압축강도($f_t \approx 30\text{kg/cm}^2$)에서 자중에 의한 콘크리트 라이닝의 허용응력 초과 여부 검토	

2. 콘크리트 Lining 구조계산	121
2.1 설계 개요	121
2.2 설계기준	122
2.2.1 설계방법	122
2.2.2 작용하중	122
2.2.3 사용재료 및 강도	124
2.2.4 철근의 덮개	124
2.3 콘크리트 라이닝 설계	125
2.3.1 콘크리트 라이닝 거푸집 탈형시기 검토	125
2.3.2 본선 터널구간 (패턴-I, II, III, IV)	136
2.3.3 본선 터널구간 (패턴-V)	148
2.3.4 본선 터널구간 (패턴-V, VI)	174
2.3.5 본선과 면벽 접속부 구간 (토피고 3m)	222
3. 면벽 구조계산	259
4. 옹벽 구조계산	272
5. 공사용 한기계산	278

2.2 설계기준

2.2.1 설계방법

구조물 종류	적용 설계방법
철근콘크리트 라이닝	강도설계법
무근콘크리트 라이닝	허용응력설계법

2.2.2 작용하중

콘크리트 라이닝에 작용하는 하중으로는 자중, 수압, 임반이완하중 등이 있으며, 본 설계에서는 다음과 같이 적용한다.

가. 하중

1) 고정하중(자중)

부재의 자중을 설계시 외력으로 포함시키는 것은 당연한 것으로 콘크리트 라이닝의 설계하중으로 고려한다.

재 료	단위중량(tonf/m ³)	재 료	단위중량(tonf/m ³)
철근콘크리트	2.500	역청포장	2.300
무근콘크리트	2.350	지 하 수	1.000
모 르 타 르	2.150	도상자갈, 채석	1.900

2) 수 압

배수형 터널에서는 콘크리트 라이닝에 수압이 작용하지 않는 것으로 설계하여 왔으나 최근 어느 정도의 수압이 작용할 것으로 가정하여 콘크리트 라이닝을 설계하여야 한다는 의견이 제기되고 있다.

이론적으로는 배수형 터널에 수압이 작용하지 않지만 시간이 경과함에 따라 유도 배수층인 부직포와 배수구가 제 기능을 발휘하지 못할 경우, 유수의 지체로 인하여 콘크리트 라이닝에 수압이 작용하게 된다.

따라서, 기존 설계자료와 문헌을 토대로 터널높이의 0.5배 수두를 수압으로 작용한다.

3) 암반이완하중

Terzaghi의 이완하중법은 재래식 터널의 감지보제 설계를 위한 것으로 터널굴착후 초기에 슛크리트와 록볼트를 사용하여 지반아치를 형성하는 NATM 터널설계에 적용하는 것은 바람직하지 않다. 지반은 슛크리트에 의해 변위가 억제되며 힘의 균형을 이루어 안정된 상태에서 콘크리트 라이닝을 타설하도록 되어있어 지반 또는 지보재등의 특성변화나 힘의 불균형 조건이 발생하지 않는 한 콘크리트라이닝에는 지반하중이 작용하지 않는다. 그러나, 지반의 동화가 예상되고 지보재가 시간이 경과함에 따라 기능저하가 우려될 것으로 예상되는 경우에는 콘크리트라이닝에 지반하중이 작용하는 것으로 보아 콘크리트라이닝을 설계하여야 안전하게 된다. 이때 콘크리트라이닝에 작용하는 하중으로는 슛크리트에 작용하였던 하중을 콘크리트라이닝이 부담하는 것으로 보는 것이 합리적인 것이다. 본 설계에서는 대성구간의 지반조건을 분석·평가하여 수정 Terzaghi의 암반하중분류법에 의하여 이완하중을 산정하였다.

나. 하중조합

본 설계에서의 하중조합은 횡도압이 실제로 작게 작용하여 라이닝구조물에 불리하게 작용하는 경우를 고려하여 반토압에 대해서도 함께 고려하였다.

하중조합	작 용 하 중(tonf/m ²)
1	CASE 1 = 1.54×자중+1.54×이완하중+1.5×온도하중(+5℃)
2	CASE 2 = 1.54×자중+1.54×이완하중+1.5×온도하중(-5℃)
3	CASE 3 = 1.54×자중+1.54×이완하중+1.5×온도하중(+5℃)+1.8×잔류수압
4	CASE 4 = 1.54×자중+1.54×이완하중+1.5×온도하중(-5℃)+1.8×잔류수압
5	CASE 5 = 1.00×자중+1.00×이완하중+1.0×온도하중(+5℃)
6	CASE 6 = 1.00×자중+1.00×이완하중+1.0×온도하중(-5℃)
7	CASE 7 = 1.00×자중+1.00×이완하중+1.0×온도하중(+5℃)+1.0×잔류수압
8	CASE 8 = 1.00×자중+1.00×이완하중+1.0×온도하중(-5℃)+1.0×잔류수압

2.2.3 사용재료 및 강도

가. 콘크리트 라이닝

- 설계기준강도(f_{ck}) : 240 kgf/cm^2
- 단위 중량(γ_c) : 2.5 tonf/m^3
- 전단탄성계수(G) : $\frac{E}{2 \times (1 + \nu)}$
- 포와슨비(ν) : 0.18 (콘크리트 표준 시험서 P15)
- 탄성계수(E_c)

설계기준강도 $f_{ck} (\text{kgf/cm}^2)$	210	240	270
$E_c (\text{kgf/cm}^2)$	2.2×10^5	2.35×10^5	2.5×10^5

나. 철근

철근의 종류	항복점 강도(f_y)	E_s
SD30	$3,000 \text{ kgf/cm}^2$	$2.00 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$

2.2.4 철근의 덮개

철근의 덮개는 최외단 철근의 바깥표면으로부터 콘크리트표면까지의 길이로 정의한다. 철근을 소요두께의 콘크리트로 덮는 이유는 (1)철근의 산화방지, (2)내화구조 형성, (3)부착응력 확보를 위한 것이다.

콘크리트라이닝은 슛크리트라이닝과 방수막에 의하여 흠과 직접 접촉하지 않는 콘크리트구조물로 D35이하 철근사용시 내화덮개는 30mm이상이면 된다.

$$\text{콘크리트 표면에서 주철근 중심까지 철근의 덮개} \\ T = 30\text{mm}(\text{순수덮개}) + 13\text{mm}(\text{전단철근}) + 22\text{mm}/2(\text{주철근}) \approx 54\text{mm}$$

D22이하의 주철근을 사용할 경우 콘크리트 표면에서 수철근 중심까지 54mm의 철근덮개를 필요로 하므로 본 설계에서는 철근덮개를 60mm로 적용하였다.

2.3 콘크리트 라이닝 설계

2.3.1 콘크리트 라이닝 거푸집 탈형 시기 검토(무근 구간)

가. 설계조건

1) 설계기준

터널의 콘크리트 라이닝 설치에 있어서는 거푸집 탈형 시기가 중요하다. 현재 거푸집 탈형 시기에 대한 기준은 터널표준시방서에 「거푸집은 부어 넣은 콘크리트의 강도가 $f_{ck} = 30 \text{ kgf/cm}^2$ 이상 발현된 후 또는 콘크리트 라이닝의 자중을 견딜 수 있는 강도가 발현된 후 제거하여야 한다.」(터널표준시방서, 1999, P60)로 정의되어 있다.

이에 따라 본선터널 콘크리트 라이닝 단면에 대하여 $f_{ck} = 30 \text{ kgf/cm}^2$ 일때 거푸집 탈형시 자중에 의한 안정성 여부를 검토하였다.

2) 설계방법 : 허용응력설계법

3) 콘크리트

① 설계기준강도 : $f_{ck} = 30 \text{ kgf/cm}^2$

$$f_{ca} = 0.40f_{ck} = 12.0 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{ba} = 0.42\sqrt{f_{ck}} = 2.3 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\tau_a = 0.25\sqrt{f_{ck}} = 1.4 \text{ kgf/cm}^2$$

② 탄 성 계 수 : $E_c = 15,000\sqrt{f_{ck}} = 8.22 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$

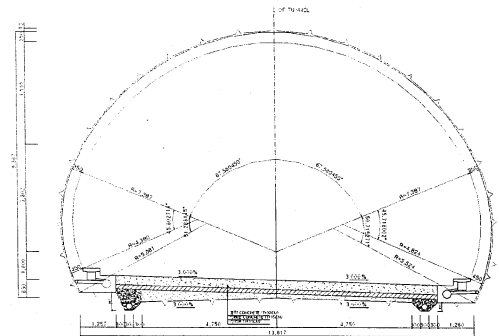
③ 단 위 중 량 : $\gamma_c = 2.35 \text{ tonf/m}^3$

4) 지 반

① 단 위 중 량 : $\gamma_R = 2.68 \text{ tonf/m}^3$

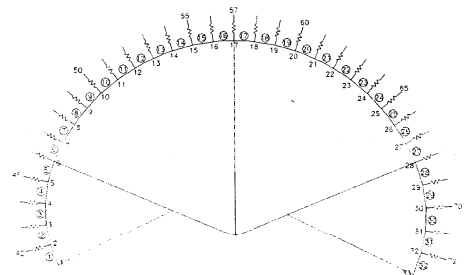
② 탄 성 계 수 : $E_R = 3.20 \times 10^5 \text{ tonf/m}^2$

나. 터널단면



다. 모 델 링

1) Coordinate



2) 절점좌표

절 점	X(m)	Y(m)	절 점	X(m)	Y(m)
1	-6.667	-8.695	18	0.809	-0.044
2	-7.165	-7.923	19	1.609	-0.174
3	-7.329	-7.112	20	2.391	-0.388
4	-7.354	-6.286	21	3.145	-0.685
5	-7.240	-5.466	22	3.883	-1.061
6	-6.990	-4.678	23	4.536	-1.512
7	-6.641	-3.946	24	5.158	-2.032
8	-6.216	-3.256	25	5.720	-2.616
9	-5.720	-2.616	26	6.216	-3.257
10	-5.157	-2.032	27	6.641	-3.947
11	-4.536	-1.512	28	6.990	-4.678
12	-3.882	-1.061	29	7.261	-5.532
13	-3.145	-0.685	30	7.386	-6.420
14	-2.391	-0.388	31	7.361	-7.316
15	-1.609	-0.174	32	7.186	-8.195
16	-0.809	-0.044	33	6.867	-9.034
17	0.000	0.000			

3) 부재단면

구 분	B(m)	H(m)	A(m ²)	I(m ⁴)	부재번호
1	1.000	0.450	0.450	7.594E-3	1, 32
2	1.000	0.433	0.433	6.765E-3	2, 31
3	1.000	0.397	0.397	5.214E-3	3, 30
4	1.000	0.371	0.371	4.255E-3	4, 29
5	1.000	0.355	0.355	3.728E-3	5, 28
6	1.000	0.350	0.350	3.573E-3	6~27

-127-

4) 지반스프링계수

- 내부 라이닝과 지반과의 실제 거동을 고려하기 위하여 모든 인장 스프링 요소는 반복계산을 통하여 제거시킴.

$$k = \frac{E}{R} \times A = \frac{E}{R} \times L \times 1.0$$

여기서,

E : 터널 주변 암반의 탄성계수 (320,000 tonf/m²)

R : 콘크리트 라이닝 반경

L : 요소점유길이

구 분	탄성계수 E(tonf/m ²)	터널반경 R(m)	부재길이 L(m)	지반스프링계수 K(tonf/m ²)	부재번호
1	320,000	4.906	0.828	54,020	42~45
2	320,000	7.562	0.820	34,681	46
3	320,000	7.562	0.811	34,315	47~67
4	320,000	7.562	0.854	36,149	68
5	320,000	5.349	0.898	53,698	69~72

라. 작용하중

1) 자중

단위중량 $\gamma_c = 2.35 \text{ tonf/m}^3$ (PROGRAM 내에서 자동계산)

마. 하중조합

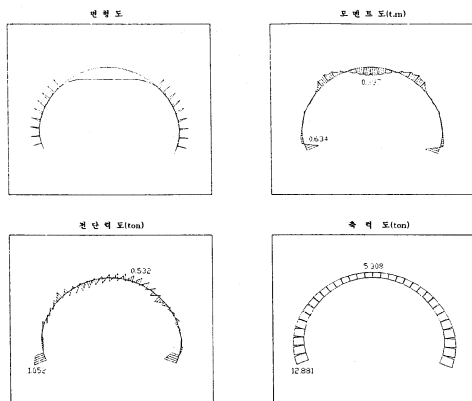
CASE 1 = 1.0×자중

바. 구조계산 결과

구 분	모멘트(tonf·m)	축력(tonf)	전단력(tonf)	비 고
우 각 부	0.634	12.881	1.052	1번 부재
천 정 부	0.397	5.308	0.532	16번 부재

-128-

사. 단면력도



아. 단면 검토

1) 1번 부재

P = 12.881 tonf, M = 0.634 tonf·m, V = 1.052 tonf

단 면 : A = 0.45 m², Z = 0.034 m³

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{Z}$$

$$= \frac{12.881}{0.45} + \frac{0.634}{0.034} = 47.272 \text{ tonf/m}^2 \text{ (압축)}$$

$$= \frac{12.881}{0.45} - \frac{0.634}{0.034} = 9.977 \text{ tonf/m}^2 \text{ (압축)}$$

$$\therefore f_c = 47.272 \text{ tonf/m}^2 < f_{ca} = 120 \text{ tonf/m}^2 \quad \text{O.K.}$$

$$\tau = \frac{V}{A}$$

$$= \frac{1.052}{0.45} = 2.34 \text{ tonf/m}^2 < \tau_a = 14 \text{ tonf/m}^2 \quad \text{O.K.}$$

-129-

2) 16번 부재

P = 5.308 tonf, M = 0.397 tonf·m, V = 0.532 tonf

단 면 : A = 0.35 m², Z = 0.020 m³

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{Z}$$

$$= \frac{5.308}{0.35} + \frac{0.397}{0.020} = 35.016 \text{ tonf/m}^2 \text{ (압축)}$$

$$= \frac{5.308}{0.35} - \frac{0.397}{0.020} = -4.684 \text{ tonf/m}^2 \text{ (인장)}$$

$$\therefore f_c = 35.016 \text{ tonf/m}^2 < f_{ca} = 120 \text{ tonf/m}^2 \quad \text{O.K.}$$

$$f_t = -4.684 \text{ tonf/m}^2 < f_{ta} = 23 \text{ tonf/m}^2 \quad \text{O.K.}$$

$$\tau = \frac{V}{A}$$

$$= \frac{0.532}{0.35} = 1.52 \text{ tonf/m}^2 < \tau_a = 14 \text{ tonf/m}^2 \quad \text{O.K.}$$

3) 균열검토

$$f_t < 0.6f_a = 13.8 \text{ tonf/m}^2$$

철모멘트 및 축방향력에 대한 콘크리트의 인장응력이 설계인장강도의 60%보다 작으므로 철균열에 대한 검토를 하지 않아도 됨.

4) 검토결론

- 발생응력에 대해 검토한 결과 설계기준강도 $f_{ca} = 30 \text{ kgf/cm}^2$ 내에 존재하므로 안정성을 확보함.

- ACI Committee 209에서는 임의시간에서 Con'c 압축강도를 28일 기준으로 다음과 같이 나타내고 있다.

$$f_c'(t) = \frac{t}{(a+b)} f_c'(28)$$

여기서 $f_c'(28)$: 28일 콘크리트 압축강도

a, b : 시멘트 종류와 양생방법에 따라 결정되는 상수

(보통 Con'c, 습윤양생시 a=4.0, b=0.85)

t : 양생일수

- 탈형시점인 3일후의 Con'c 강도 $f_c'(3) = 3/(4+0.85 \times 3) \times 240 = 109.9 \text{ kgf/cm}^2$

- 따라서 거푸집 탈형시기의 강도를 30 kgf/cm^2 으로 고려할 때 거푸집 탈형시의 터널 안정성에는 문제가 없는 것으로 판단됨.

-130-

1) INPUT DATA

RESTRAINTS

1	33	32	R=1	1	1	1	1	1	1
2	32	1	R=0	0	1	1	1	1	0
42	72	1	R=1	1	1	1	1	1	1

FRAME
NM=11 NL=33 Y=-1

1	SH=R	T=0.450	1.000	E=8.22E5	W=0.450*2.35
2	SH=R	T=0.433	1.000	E=8.22E5	W=0.433*2.35
3	SH=R	T=0.397	1.000	E=8.22E5	W=0.397*2.35
4	SH=R	T=0.371	1.000	E=8.22E5	W=0.371*2.35
5	SH=R	T=0.355	1.000	E=8.22E5	W=0.355*2.35
6	SH=R	T=0.350	1.000	E=8.22E5	W=0.350*2.35
7	A=1.0	I=1E-6	E=54020		

7	A=1.0	I=1E-6	E= 34020
8	A=1.0	I=1E-6	E= 34681
9	A=1.0	I=1E-6	E= 34315
10	A=1.0	I=1E-6	E= 36149
11	A=1.0	I=1E-6	E= 53698

C ***** (자 중) *****
C SELF-WEIGHT *****
C ***** (발파이완하중) *****
1 WG= 0, -0.5*2.68

[illegible]

-131-

```
32 TRAP= 0, -1.874, 0, -1, -0.937, 0
33 TRAP= 0, -0.937, 0, -1, 0.000, 0
```

C

C				Pd	Pv	W
1	1	2	H=1	2	0	2
2	2	3	M=3	NSL=	0	3
3	3	4	M=3	NSL=	0	4
4	4	5	M=5	NSL=	0	5
5	5	6	M=5	NSL=	1	6
6	6	7	M=6	NSL=	0	7
7	7	8	M=6	NSL=	0	8
8	8	9	M=6	NSL=	0	9
9	9	10	M=6	NSL=	1	10
10	10	11	M=6	NSL=	0	11
11	11	12	M=6	NSL=	0	12
12	12	13	M=6	NSL=	0	13
13	13	14	M=6	NSL=	0	14
14	14	15	M=6	NSL=	0	15
15	15	16	M=6	NSL=	0	16
16	16	17	M=6	NSL=	0	17
17	17	18	M=6	NSL=	0	18
18	18	19	M=6	NSL=	0	19
19	19	20	M=6	NSL=	0	20
20	20	21	M=6	NSL=	0	21
21	21	22	M=6	NSL=	0	22
22	22	23	M=6	NSL=	0	23
23	23	24	M=6	NSL=	0	24
24	24	25	M=6	NSL=	1	25
25	25	26	M=6	NSL=	0	26
26	26	27	M=6	NSL=	0	27
27	27	28	M=6	NSL=	0	28
28	28	29	M=5	NSL=	0	29
29	29	30	M=5	NSL=	1	30
30	30	31	M=4	NSL=	0	31
31	31	32	M=2	NSL=	0	32
32	32	33	M=2	NSL=	0	33

42	42	2	M=7	LR=1, 1
43	43	3	M=7	LR=1, 1
44	44	4	M=7	LR=1, 1
45	45	5	M=7	LR=1, 1
46	46	6	M=8	LR=1, 1
47	47	7	M=9	LR=1, 1
48	48	8	M=9	LR=1, 1
49	49	9	M=9	LR=1, 1
50	50	10	M=9	LR=1, 1
c	51	51	M=9	LR=1, 1
c	52	52	M=9	LR=1, 1
c	53	53	M=9	LR=1, 1
c	54	54	M=9	LR=1, 1
c	55	55	M=9	LR=1, 1
c	56	56	M=9	LR=1, 1
c	57	57	M=9	LR=1, 1
c	58	58	M=9	LR=1, 1
c	59	59	M=9	LR=1, 1
c	60	60	M=9	LR=1, 1
c	61	61	M=9	LR=1, 1
c	62	62	M=9	LR=1, 1
c	63	63	M=9	LR=1, 1
64	64	24	M=9	LR=1, 1
65	65	25	M=9	LR=1, 1
66	66	26	M=9	LR=1, 1
67	67	27	M=9	LR=1, 1
68	68	28	M=10	LR=1, 1
69	69	29	M=10	LR=1, 1
70	70	30	M=11	LR=1, 1
71	71	31	M=11	LR=1, 1
72	72	32	M=11	LR=1, 1

```
COMBO
1  C=1.00 0.00 - 0.00
```

PUSAN-ULSAN TUNNEL(거꾸집 탈형 시기 검토)

FRAME ELEMENT FORCES					
ELT	LOAD	DIST	1-2 PLANE		AXIAL
ID	COMB	END1	SHEAR	MOMENT	FORCE
1					
1	1	.000			12.881
		.000	-1.052	.634	
		.827	-.743	-.107	
		.827			12.080
2	1	.000			12.144
		.000	-.015	-.107	
		.081	.000	.108	
		.827	.144	-.054	
3	1	.000			-11.353
		.000			-11.333
		.827	.083	-.054	
		.827	.106	.025	-10.587
4	1	.000			-10.574
		.000	.043	.025	
		.364	.000	.032	
		.827	-.054	.020	-9.875
5	1	.000			-9.878
		.000	.012	.020	
		.049	.000	.020	
		.827	-.195	-.056	-9.225
6	1	.000			-9.211
		.000	.220	-.056	
		.622	.000	.012	
		.810	.067	.006	-8.690
7	1	.000			-8.604
		.000	.177	.006	
		.411	.000	.043	
		.810	-.172	.008	-8.036
8	1	.000			8.040
		.000	.115	.008	
		.229	.000	.021	
		.810	-.293	-.064	-7.513
9	1	.000			-7.532
		.000	-.057	-.064	
		.810	-.520	-.298	
		.810			-7.052
10	1	.000			-7.071
		.000	.156	-.298	
		.263	.000	-.276	
		.810	-.345	.370	-6.543
11	1	.000			-6.542
		.000	.368	-.370	
		.538	.000	-.272	
		.810	-.186	-.297	-6.271
12	1	.000			-6.255
		.000	.486	-.297	
		.657	.000	-.135	
		.810	-.105	-.143	

-133-

13		.810			-5,946
13	1	.000			5,923
		.000	.532	-.143	
		.696	.000	.043	
		.810	-.088	.038	
		.810			-5,679
14	1	.000			-5,655
		.000	.520	.038	
		.656	.000	.208	
		.810	-.122	.199	
		.810			-5,479
15	1	.000			-5,460
		.000	.465	.199	
		.572	.000	.332	
		.810	-.193	.309	
		.810			-5,354
16	1	.000			-5,344
		.000	.381	.309	
		.464	.000	.397	
		.810	-.285	.348	
		.810			-5,308
17	1	.000			-5,308
		.000	.285	.348	
		.347	.000	.397	
		.810	-.381	.309	
		.810			-5,344
18	1	.000			-5,354
		.000	.193	.309	
		.238	.000	.332	
		.810	-.465	.199	
		.810			-5,461
19	1	.000			-5,479
		.000	.122	.199	
		.154	.000	.208	
		.810	-.520	.037	
		.810			-5,655
20	1	.000			-5,679
		.000	.088	.037	
		.115	.000	.042	
		.810	-.532	-.143	
		.810			-5,923
21	1	.000			-5,946
		.000	.105	-.143	
		.144	.000	-.135	
		.810	-.486	-.297	
		.810			-6,255
22	1	.000			-6,271
		.000	.186	-.297	
		.273	.000	-.272	
		.810	-.368	-.370	
		.810			-6,642
23	1	.000			-6,643
		.000	.345	-.370	
		.548	.000	-.276	
		.810	-.165	-.298	
		.810			-7,071
24	1	.000			-7,052
		.000	.519	-.298	
		.810	.057	-.064	
		.810			-7,532
25	1	.000			-7,514
		.000	.292	-.064	
		.579	.000	.020	
		.810	-.117	.007	

-134-

26		.810		-8.041
1	.000			-8.038
	.000	.172	.007	
	.399	.000	.041	
	.810	-.178	.005	
27		.810		-8.606
1	.000			-8.611
	.000	.077	.005	
	.219	.000	.013	
	.810	-.209	-.049	
28		.810		-9.213
1	.000			-9.227
	.000	.187	-.049	
	.746	.000	.021	
	.896	-.036	.016	
29		.810		-9.935
1	.000			-9.932
	.000	.062	.018	
	.528	.000	.035	
	.896	-.044	.027	
30		.810		-10.689
1	.000			-10.699
	.000	-.089	.027	
	.896	-.066	-.043	
31		.810		-11.508
1	.000			-11.527
	.000	-.171	-.043	
	.896	-.001	-.121	
32		.810		-12.384
1	.000			-12.328
	.000	.657	-.121	
	.896	.986	.616	
	.896			-13.197

-135-

2.3.2 본선 터널 구간(패턴- I, II, III, IV) - 무근검토

가. 설계조건

1) 설계방법 : 허용응력설계법

2) 콘크리트

□ 설계기준강도 : $f_{ck} = 240 \text{ kgf/cm}^2$

$$f_{cd} = 0.40f_{ck} = 96.0 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{td} = 0.42\sqrt{f_{ck}} = 6.5 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\tau_d = 0.25\sqrt{f_{ck}} = 3.8 \text{ kgf/cm}^2$$

□ 탄성계수 : $E_c = 15,000\sqrt{f_{ck}} = 2.32 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$

□ 단위중량 : $\gamma_c = 2.35 \text{ tonf/m}^3$

3) 지반

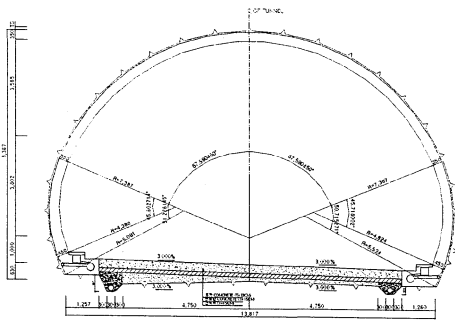
□ 단위중량 : $\gamma_R = 2.68 \text{ tonf/m}^3$

$$\gamma_w = 1.00 \text{ tonf/m}^3$$

□ 탄성계수 : $E_R = 3.20 \times 10^5 \text{ tonf/m}^2$

-136-

나. 터널단면



구분	탄성계수 E(tonf/m ²)	터널반경 R(m)	부재길이 L(m)	지반스프링계수 k(tonf/m ²)	부재번호
1	320,000	4.906	0.828	54,020	42~45
2	320,000	7.562	0.820	34,681	46
3	320,000	7.562	0.811	34,315	47~67
4	320,000	7.562	0.854	36,149	68
5	320,000	5.349	0.898	53,698	69~72

라. 작용하중

1) 자 중

단위중량 $\gamma_c = 2.35 \text{ tonf/m}^3$ (PROGRAM 내에서 자동계산)

2) 암반이완하중

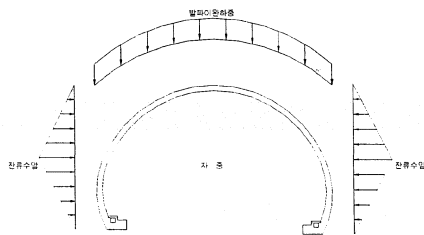
본 터널의 Type I, II, III, IV 주변지반은 연암~경암으로써 장기적인 지반 이완의 우려가 적으므로 발파의 영향을 고려하여 이완하중(0.5m)을 적용하였다

$$P_v = 0.5 \times 2.68 = 1.34 \text{ tonf/m}^2$$

3) 잔류수압

본 터널은 배수형으로서 이론적으로는 수압이 작용하지 않는다. 그러나 유도배수층인 부직포가 시간의 경과에 따라 제 기능을 발휘하지 못할 경우 내부라이닝은 잔류수압을 받게 되므로 다음과 같이 잔류수압을 터널 높이에 적용하였다.

$$Q = 0.5 \times H_0 \times \gamma_w = 0.5 \times 9.367 \times 1.0 = 4.684 \text{ tonf/m}^2$$



마. 하중조합

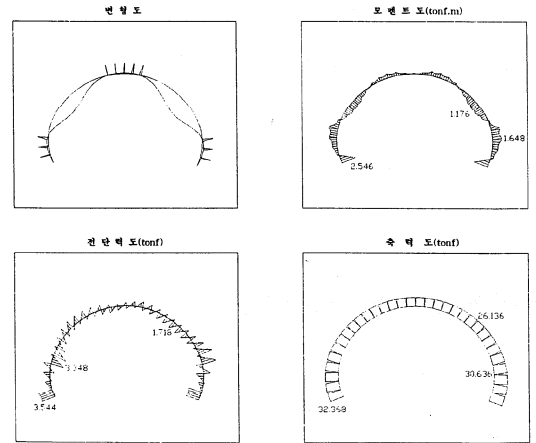
$$\text{CASE 1} = 1.0 \times \text{자중} + 1.0 \times \text{이완하중} + 1.0 \times \text{잔류수압}$$

-139-

바. 구조계산 결과

구분	모멘트(tonf·m)	축력(tonf)	전단력(tonf)	비고
우각부	2.546	32.368	3.544	1번 부재
측벽부	1.648	30.636	3.348	29번 부재
아치부	1.176	26.136	1.718	25번 부재

사. 단면력도



-140-

아. 단면 검토

1) 우각부(1번 부재)

$$P = 32.368 \text{ tonf}, \quad M = 2.546 \text{ tonf} \cdot \text{m}, \quad V = 3.544 \text{ tonf}$$

$$\text{단면: } A = 0.450 \text{ m}, \quad Z = 0.034 \text{ m}^3$$

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{Z}$$

$$= \frac{32.368}{0.450} + \frac{2.546}{0.034} = 146.81 \text{ tonf/m}^2 \text{ (압축)}$$

$$= \frac{32.368}{0.450} - \frac{2.546}{0.034} = -2.95 \text{ tonf/m}^2 \text{ (인장)}$$

$$\therefore f_c = 146.81 \text{ tonf/m}^2 < f_{ca} = 960 \text{ tonf/m}^2 \quad \text{O.K.}$$

$$f_t = -2.95 \text{ tonf/m}^2 < f_{ta} = 65 \text{ tonf/m}^2 \quad \text{O.K.}$$

$$r = \frac{V}{A}$$

$$= \frac{3.544}{0.450} = 7.876 \text{ tonf/m}^2 < r_a = 38 \text{ tonf/m}^2 \quad \text{O.K.}$$

2) 측벽부(29번 부재)

$$P = 30.636 \text{ tonf}, \quad M = 1.648 \text{ tonf} \cdot \text{m}, \quad V = 3.348 \text{ tonf}$$

$$\text{단면: } A = 0.371 \text{ m}, \quad Z = 0.023 \text{ m}^3$$

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{Z}$$

$$= \frac{30.636}{0.371} + \frac{1.648}{0.023} = 154.23 \text{ tonf/m}^2 \text{ (압축)}$$

$$= \frac{30.636}{0.371} - \frac{1.648}{0.023} = 10.92 \text{ tonf/m}^2 \text{ (압축)}$$

$$\therefore f_c = 154.23 \text{ tonf/m}^2 < f_{ca} = 960 \text{ tonf/m}^2 \quad \text{O.K.}$$

$$r = \frac{V}{A}$$

$$= \frac{3.348}{0.371} = 9.024 \text{ tonf/m}^2 < r_a = 38 \text{ tonf/m}^2 \quad \text{O.K.}$$

3) 아치부(25번 부재)

$$P = 26.136 \text{ tonf}, \quad M = 1.176 \text{ tonf} \cdot \text{m}, \quad V = 1.718 \text{ tonf}$$

$$\text{단면: } A = 0.350 \text{ m}, \quad Z = 0.020 \text{ m}^3$$

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{Z}$$

$$= \frac{26.136}{0.350} + \frac{1.176}{0.020} = 133.47 \text{ tonf/m}^2 \text{ (압축)}$$

$$= \frac{26.136}{0.350} - \frac{1.176}{0.020} = 15.87 \text{ tonf/m}^2 \text{ (압축)}$$

$$\therefore f_c = 133.47 \text{ tonf/m}^2 < f_{ca} = 960 \text{ tonf/m}^2 \quad \text{O.K.}$$

$$r = \frac{V}{A}$$

$$= \frac{1.718}{0.350} = 4.909 \text{ tonf/m}^2 < r_a = 38 \text{ tonf/m}^2 \quad \text{O.K.}$$

4) 균열검토

$$f_t < 0.6f_{tk} = 39 \text{ tonf/m}^2$$

최모멘트 및 축방향력에 대한 콘크리트의 인장응력이 설계인장강도의 60%보다 작으므로
균열에 대한 검토를 하지 않아도 됨.

자. INPUT 및 OUTPUT

1) INPUT DATA

```

PUSAN-ULSAN TUNNEL(TYPE-1,2,3,4)
SYSTEM
R=0 L=3
JOINTS
73 Y=2.455 Y=6.549 Z=0
74 Y=2.455 Y=6.549 Z=-1
1 Y=6.867 Y=8.695 Z=0 A=73,74,1,4,1,9.6717
75 Y=0.000 Y=7.562 Z=0
76 Y=0.000 Y=7.562 Z=-1
6 Y=6.990 Y=4.678 Z=0 A=75,76,6,21,1,6.1437
77 Y=2.046 Y=6.718 Z=0
78 Y=2.046 Y=6.718 Z=-1
28 Y=6.990 Y=4.678 Z=0 A=77,78,28,5,1,9.6153
42 Y=8.125 Y=8.203 Z=0 A=73,74,42,3,1,9.6717
46 Y=7.915 Y=4.297 Z=0 A=75,76,46,21,1,6.1437
68 Y=7.915 Y=4.297 Z=0 A=77,78,68,4,1,9.6153

RESTRAINTS
1 33 32 R=1 1 1 1 1 1
2 32 1 R=0 0 1 1 1 0
42 72 1 R=1 1 1 1 1 1

FRAME
NM=11 NL=33 Y=1
1 SH-R T=0.450 1.000 E=2.32E6 W=0.450*2.35
2 SH-R T=0.433 1.000 E=2.32E6 W=0.433*2.35
3 SH-R T=0.397 1.000 E=2.32E6 W=0.397*2.35
4 SH-R T=0.371 1.000 E=2.32E6 W=0.371*2.35
5 SH-R T=0.355 1.000 E=2.32E6 W=0.355*2.35
6 SH-R T=0.350 1.000 E=2.32E6 W=0.350*2.35
7 A=1.0 I=1E-6 E=54020
8 A=1.0 I=1E-6 E=34681
9 A=1.0 I=1E-6 E=34315
10 A=1.0 I=1E-6 E=36149
11 A=1.0 I=1E-6 E=36988
C ***** (자 중) *****
C SELF-WEIGHT *****
C ***** (반파)완하중 *****
1 WG=0, -0.5*2.68
C ***** (전류수입) *****
2 TRAP=0, 0.000, 0, -1, -0.937, 0
3 TRAP=0, -0.937, 0, -1, -0.874, 0
4 TRAP=0, -1.874, 0, -1, -2.811, 0
5 TRAP=0, -2.811, 0, -1, -3.747, 0
6 TRAP=0, -3.747, 0, -1, -4.684, 0
7 TRAP=0, -4.684, 0, -1, -3.946, 0
8 TRAP=0, -3.946, 0, -1, -3.256, 0
9 TRAP=0, -3.256, 0, -1, -2.616, 0
10 TRAP=0, -2.616, 0, -1, -2.032, 0
11 TRAP=0, -2.032, 0, -1, -1.512, 0
12 TRAP=0, -1.512, 0, -1, -1.061, 0
13 TRAP=0, -1.061, 0, -1, -0.685, 0
14 TRAP=0, -0.685, 0, -1, -0.388, 0
15 TRAP=0, -0.388, 0, -1, -0.174, 0
16 TRAP=0, -0.174, 0, -1, -0.044, 0
17 TRAP=0, -0.044, 0, -1, 0.000, 0
18 TRAP=0, 0.000, 0, -1, -0.044, 0
19 TRAP=0, -0.044, 0, -1, -0.174, 0
20 TRAP=0, -0.174, 0, -1, -0.388, 0
21 TRAP=0, -0.388, 0, -1, -0.685, 0
22 TRAP=0, -0.685, 0, -1, -1.061, 0
23 TRAP=0, -1.061, 0, -1, -1.512, 0
24 TRAP=0, -1.512, 0, -1, -2.032, 0
25 TRAP=0, -2.032, 0, -1, -2.616, 0
26 TRAP=0, -2.616, 0, -1, -3.257, 0
27 TRAP=0, -3.257, 0, -1, -3.947, 0
28 TRAP=0, -3.947, 0, -1, -4.684, 0
29 TRAP=0, -4.684, 0, -1, -3.747, 0
30 TRAP=0, -3.747, 0, -1, -2.811, 0
31 TRAP=0, -2.811, 0, -1, -1.874, 0

```

-143-

2) OUTPUT

PUSAN-ULSAN TUNNEL(TYPE 1,2,3,4)

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COORD	DIST	1-2 PLANE SHEAR	MOMENT	AXIAL FORCE
1	1	.000			-32.368
		.000	-3.466	2.546	
		.827	-3.544	-.299	
		.827			-31.567
2	1	.000			-31.888
		.000	-.250	-.299	
		.827	-1.253	-.866	
		.827			-31.097
3	1	.000			-31.171
		.000	.361	-.866	
		.185	.000	-.832	
		.827	-1.553	-1.306	
		.827			-30.425
4	1	.000			-30.467
		.000	1.043	-1.306	
		.332	.000	-1.130	
		.827	-1.788	-1.561	
		.827			-29.617
5	1	.000			-29.494
		.000	3.228	-1.561	
		.713	.000	-.375	
		.827	-.567	-.408	
		.827			-28.522
6	1	.000			-28.330
		.000	3.348	-.408	
		.672	.000	.695	
		.810	-.637	.650	
		.810			-27.307
7	1	.000			-27.218
		.000	2.289	.650	
		.505	.000	1.219	
		.810	-1.278	1.022	
		.810			-26.166
8	1	.000			-26.152
		.000	1.530	1.022	
		.372	.000	1.303	
		.810	-1.666	.932	
		.810			-25.099
9	1	.000			-25.134
		.000	1.030	.932	
		.276	.000	1.073	
		.810	-1.838	.573	
		.810			-24.111
10	1	.000			-24.169
		.000	.753	.573	
		.223	.000	.656	
		.810	-1.833	.106	
		.810			-23.207
11	1	.000			-23.270
		.000	.661	.106	
		.216	.000	.177	
		.810	-1.686	-.333	
		.810			-22.397
12	1	.000			-22.449
		.000	.721	-.333	
		.259	.000	-.241	

-145-

```

32 TRAP=0, -1.874, 0, -1, -0.937, 0
33 TRAP=0, -0.937, 0, -1, 0.000, 0
C *****
C
1 1 2 N=1 2 LP=1 Pd Pw W
2 2 3 N=2 3 NSL=0 0 2
3 3 4 N=3 4 NSL=0 0 3
4 4 5 N=4 5 NSL=0 1 5
5 5 6 N=5 6 NSL=0 1 6
6 6 7 N=6 NSL=0 1 7
7 7 8 N=6 NSL=0 1 8
8 8 9 N=6 NSL=0 1 9
9 9 10 N=6 NSL=0 1 10
10 10 11 N=6 NSL=0 1 11
11 11 12 N=6 NSL=0 1 12
12 12 13 N=6 NSL=0 1 13
13 13 14 N=6 NSL=0 1 14
14 14 15 N=6 NSL=0 1 15
15 15 16 N=6 NSL=0 1 16
16 16 17 N=6 NSL=0 1 17
17 17 18 N=6 NSL=0 1 18
18 18 19 N=6 NSL=0 1 19
19 19 20 N=6 NSL=0 1 20
20 20 21 N=6 NSL=0 1 21
21 21 22 N=6 NSL=0 1 22
22 22 23 N=6 NSL=0 1 23
23 23 24 N=6 NSL=0 1 24
24 24 25 N=6 NSL=0 25
25 25 26 N=6 NSL=0 1 26
26 26 27 N=6 NSL=0 1 27
27 27 28 N=6 NSL=0 1 28
28 28 29 N=6 5 NSL=0 1 29
29 29 30 N=5 4 NSL=0 1 30
30 30 31 N=4 3 NSL=0 0 31
31 31 32 N=3 2 NSL=0 0 32
32 32 33 N=2 1 NSL=0 0 33
42 42 2 M=7 LR=1, 1
43 43 3 M=7 LR=1, 1
44 44 4 M=7 LR=1, 1
c 45 45 5 M=7 LR=1, 1
c 46 46 6 M=8 LR=1, 1
c 47 47 7 M=9 LR=1, 1
c 48 48 8 M=9 LR=1, 1
c 49 49 9 M=9 LR=1, 1
c 50 50 10 M=9 LR=1, 1
c 51 51 11 M=9 LR=1, 1
c 52 52 12 M=9 LR=1, 1
c 53 53 13 M=9 LR=1, 1
c 54 54 14 M=9 LR=1, 1
55 55 15 M=9 LR=1, 1
56 56 16 M=9 LR=1, 1
57 57 17 M=9 LR=1, 1
58 58 18 M=9 LR=1, 1
59 59 19 M=9 LR=1, 1
60 60 20 M=9 LR=1, 1
c 61 61 21 M=9 LR=1, 1
c 62 62 22 M=9 LR=1, 1
c 63 63 23 M=9 LR=1, 1
c 64 64 24 M=9 LR=1, 1
c 65 65 25 M=9 LR=1, 1
c 66 66 26 M=9 LR=1, 1
c 67 67 27 M=9 LR=1, 1
c 68 68 28 M=10 LR=1, 1
c 69 69 29 M=11 LR=1, 1
70 70 30 M=11 LR=1, 1
71 71 31 M=11 LR=1, 1
72 72 32 M=11 LR=1, 1
COMB0
1 C=1.00 1.00 1.00

```

-144-

		.810	-1.429	-.641	
		.810			-21.693
13	1	.000	.901	-.641	-21.721
		.354	.000	-.483	
		.810	-1.094	-.736	
		.810			-21.107
14	1	.000			-21.103
		.000	1.171	-.736	
		.496	.000	-.448	
		.810	-.709	-.560	
		.810			-20.649
15	1	.000			-20.616
		.000	1.331	-.560	
		.529	.000	-.168	
		.810	-.474	-.220	
		.810			-20.337
16	1	.000	1.024	-.220	-20.308
		.468	.000	.019	
		.810	-.743	-.109	
		.810			-20.214
17	1	.000			-20.219
		.000	.660	-.109	
		.305	.000	-.008	
		.810	-1.106	-.287	
		.810			-20.313
18	1	.000			-20.353
		.000	.374	.287	
		.172	.000	-.254	
		.810	-1.430	-.708	
		.810			-20.631
19	1	.000	.760	-.708	-20.667
		.000	.000	-.579	
		.337	.000	-.842	
		.810	-1.120		-21.121
20	1	.000			-21.120
		.000	1.147	-.842	
		.478	.000	-.564	
		.810	-.848	-.704	
		.810			-21.734
21	1	.000			-21.700
		.000	1.483	-.704	
		.571	.000	-.274	
		.810	-.667	-.353	
		.810			-22.456
22	1	.000			-22.398
		.000	1.740	-.353	
		.613	.000	.190	
		.810	-.607	.131	
		.810			-23.271
23	1	.000			-23.202
		.000	1.887	.131	
		.604	.000	.712	
		.810	-.698	.641	
		.810			-24.165
24	1	.000			-24.101
		.000	1.892	.641	
		.549	.000	1.170	
		.810	-.977	1.044	
		.810			-25.123
25	1	.000			-25.084
		.000	1.718	1.044	

-146-

		.452	.000	1.438	
		.810	-1.478	1.175	
		.810			26.136
26	1	.000			26.144
		.000	1.328	1.175	
		.317	.000	1.388	
		.810	-2.240	.844	
		.810			27.197
27	1	.000			27.280
		.000	.683	.844	
		.148	.000	.895	
		.810	-3.301	-1.175	
		.810			28.304
28	1	.000			28.489
		.000	.609	-1.175	
		.122	.000	-1.139	
		.896	-3.505	-1.536	
		.896			29.543
29	1	.000			29.713
		.000	1.479	-1.536	
		.402	.000	-1.244	
		.896	-1.590	-1.648	
		.896			30.636
30	1	.000			30.614
		.000	1.841	-1.648	
		.773	.000	-.975	
		.896	-.236	-.991	
		.896			31.423
31	1	.000			31.333
		.000	1.277	-.991	
		.896	.187	-.398	
		.896			32.190
32	1	.000			31.894
		.000	3.322	-.398	
		.896	3.233	2.476	
		.896			32.763

-147-

2.3.3 본선 터널구간(패턴-V) : 무근 검토

가. 설계조건

1) 설계방법 : 허용응력설계법

2) 콘크리트

① 설계기준강도 : $f_{ck} = 240 \text{ kgf/cm}^2$

$$f_{cd} = 0.40f_{ck} = 96.0 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{td} = 0.42\sqrt{f_{ck}} = 6.5 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\tau_a = 0.25\sqrt{f_{ck}} = 3.8 \text{ kgf/cm}^2$$

② 탄성계수 : $E_c = 15,000 / f_{ck} = 2.32 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$

③ 단위중량 : $\gamma_c = 2.35 \text{ tonf/m}^3$

④ 온도선형계수 : $\alpha = 1 \times 10^{-5}$

3) 지반

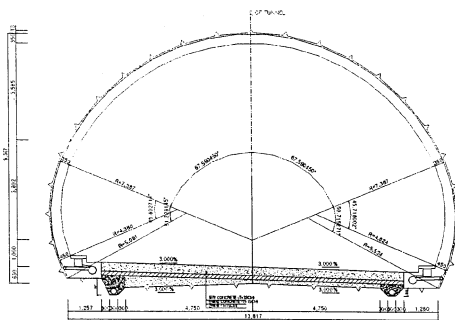
① 단위중량 : $\gamma_R = 2.65 \text{ tonf/m}^3$

$$\gamma_w = 1.00 \text{ tonf/m}^3$$

② 탄성계수 : $E_R = 8.50 \times 10^4 \text{ tonf/m}^2$

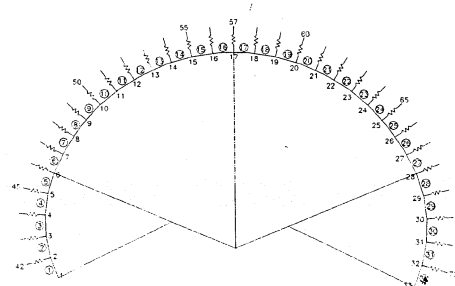
-148-

나. 터널단면



다. 모델링

1) Coordinate



-149-

2) 절점좌표

절점	X(m)	Y(m)	절점	X(m)	Y(m)
1	-6.867	-8.695	18	0.809	-0.044
2	-7.165	-7.923	19	1.609	-0.174
3	-7.329	-7.112	20	2.391	-0.388
4	-7.354	-6.286	21	3.145	-0.685
5	-7.240	-5.466	22	3.863	-1.061
6	-6.990	-4.678	23	4.536	-1.512
7	-6.641	-3.946	24	5.158	-2.032
8	-6.216	-3.256	25	5.720	-2.616
9	-5.720	-2.616	26	6.216	-3.257
10	-5.157	-2.032	27	6.641	-3.947
11	-4.536	-1.512	28	6.990	-4.678
12	-3.862	-1.061	29	7.261	-5.532
13	-3.145	-0.685	30	7.386	-6.420
14	-2.391	-0.388	31	7.361	-7.316
15	-1.609	-0.174	32	7.186	-8.196
16	-0.809	-0.044	33	6.867	-9.034
17	0.000	0.000			

3) 부재단면

구분	B(m)	H(m)	A(m ²)	I(m ⁴)	부재번호
1	1.000	0.450	0.450	7.594E-3	1, 32
2	1.000	0.433	0.433	6.765E-3	2, 31
3	1.000	0.397	0.397	5.214E-3	3, 30
4	1.000	0.371	0.371	4.255E-3	4, 29
5	1.000	0.355	0.355	3.728E-3	5, 28
6	1.000	0.350	0.350	3.573E-3	6~27

4) 지반스프링계수

- 내부 라이닝과 지반과의 실제 거동을 고려하기 위하여 모든 인장 스프링 요소는 반복계산을 통하여 제거시킴.

$$k = \frac{E}{R} \times A = \frac{E}{R} \times L \times 1.0$$

여기서,

E : 터널 주변 암반의 탄성계수 (85,000 tonf/m²)

R : 콘크리트 라이닝 반경

L : 요소점유길이

-150-

구분	탄성계수 E(tonf/m ²)	터널반경 R(m)	부재길이 l(m)	지반스프링계수 k(tonf/m ³)	부재번호
1	85,000	4.906	0.828	14,349	42~45
2	85,000	7.562	0.820	9,212	46
3	85,000	7.562	0.811	9,115	47~67
4	85,000	7.562	0.854	9,602	68
5	85,000	5.349	0.898	14,264	69~72

라. 작용하중

1) 자중

단위중량 $\gamma_c = 2.35 \text{ tonf/m}^3$ (PROGRAM 내에서 자동계산)

2) 암반이완하중

· 수정된 Terzaghi의 암반하중

· 패턴 V, VI 구간을 보통 정도의 블록상, 균열상의 암반상태로 분류하여 적용

$$H_p = 0.25B \sim 0.20(B + H)$$

$$= 0.25 \times 13.817 \sim 0.2(13.817 + 9.367)$$

$$= 3.45 \sim 4.64 \text{ m}$$

∴ 암반이완하중고 $H_p = 4.64 \text{ m}$ 를 고려

$$P_v = 4.64 \text{ m} \times 2.65 \text{ tonf/m}^3 = 12.30 \text{ tonf/m}^2$$

3) 온도하중(T)

경구부 구조물이 외부와 가까워 기상작용에 영향을 받으므로 온도에 대한 영향을 구조해석 단계에서 고려한다.

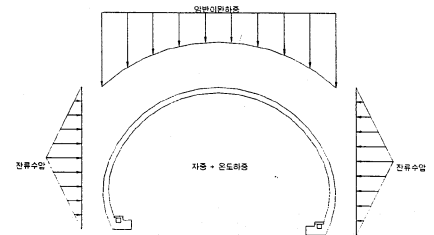
경구부 콘크리트 라이닝의 내·외측 온도차(ΔT)는 $\pm 5^\circ\text{C}$ 를 적용한다.

4) 잔류수압(Q)

본 터널은 배수형으로서 이론적으로는 수압이 작용하지 않는다. 그러나 유도배수층인 부직포가 시간의 경과에 따라 제 기능을 발휘하지 못할 경우 내부라이닝은 잔류수압을 받게 되므로 다음과 같이 잔류수압을 터널 높이에 적용하였다.

$$Q = 0.5 \times H_t \times \gamma_w = 0.5 \times 9.367 \times 1.0 = 4.684 \text{ tonf/m}^2$$

절점	절점좌표 Y (m)	암반이완하중고 (m)	암반이완하중 (tonf/m ²)	잔류수압 (tonf/m ²)
1,33	-8.695	-	-	0.000
2,32	-7.923	-	-	0.937
3,31	-7.112	-	-	1.874
4,30	-6.286	10.926	28.954	2.811
5,29	-5.466	10.106	26.781	3.747
6,28	-4.678	9.318	24.693	4.684
7,27	-3.946	8.586	22.753	3.946
8,26	-3.256	7.896	20.924	3.256
9,25	-2.616	7.256	19.228	2.616
10,24	-2.032	6.672	17.681	2.032
11,23	-1.512	6.152	16.303	1.512
12,22	-1.061	5.701	15.108	1.061
13,21	-0.685	5.325	14.111	0.685
14,20	-0.388	5.028	13.324	0.388
15,19	-0.174	4.814	12.757	0.174
16,18	-0.044	4.684	12.413	0.044
17	0.000	4.640	12.296	0.000



마. 하중조합

$$\text{CASE 1} = 1.00 \times \text{자중} + 1.00 \times \text{이완하중} + 1.0 \times \text{온도하중}(+5^\circ\text{C})$$

$$\text{CASE 2} = 1.00 \times \text{자중} + 1.00 \times \text{이완하중} + 1.0 \times \text{온도하중}(-5^\circ\text{C})$$

$$\text{CASE 3} = 1.00 \times \text{자중} + 1.00 \times \text{이완하중} + 1.0 \times \text{온도하중}(+5^\circ\text{C}) + 1.0 \times \text{잔류수압}$$

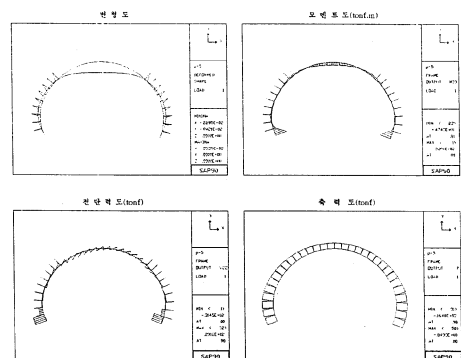
$$\text{CASE 4} = 1.00 \times \text{자중} + 1.00 \times \text{이완하중} + 1.0 \times \text{온도하중}(-5^\circ\text{C}) + 1.0 \times \text{잔류수압}$$

바. 구조계산 결과

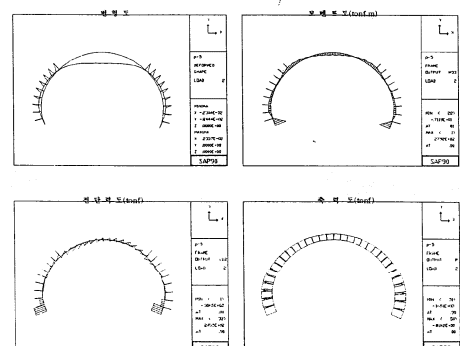
구분	모멘트(tonf · m)	축력(tonf)	전단력(tonf)	비고
측벽부	6.92	163.53	11.23	
아치부	7.12	109.81	8.95	
천정부	8.59	87.09	6.03	

사. 단면력도

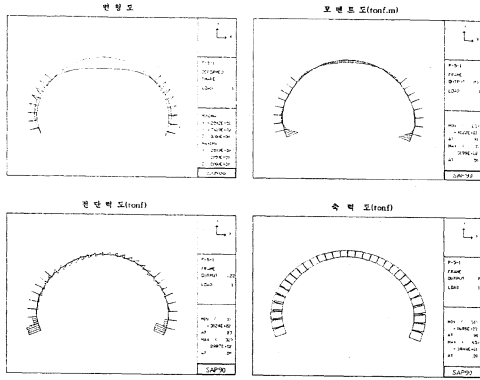
$$1) \text{ CASE 1} = 1.00 \times \text{자중} + 1.00 \times \text{이완하중} + 1.0 \times \text{온도하중}(+5^\circ\text{C})$$



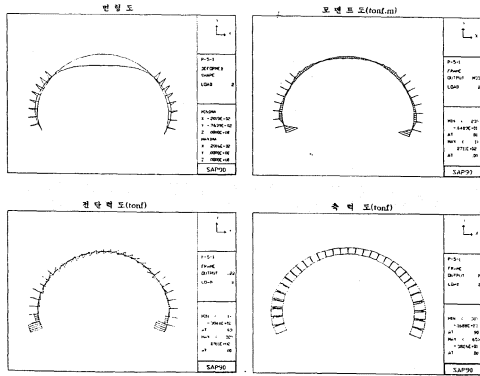
$$2) \text{ CASE 2} = 1.00 \times \text{자중} + 1.00 \times \text{이완하중} + 1.0 \times \text{온도하중}(-5^\circ\text{C})$$



3) CASE 3 = 1.00×자중 + 1.00×이완하중 + 1.0×온도하중(+5℃) + 1.0×잔류수압



4) CASE 4 = 1.00×자중 + 1.00×이완하중 + 1.0×온도하중(-5℃) + 1.0×잔류수압



-155-

아. 단면 검토(무재)

1) 측벽부(2번 부재)

$$P = 163.53 \text{ tonf}, \quad M = 6.92 \text{ tonf} \cdot \text{m}, \quad V = 11.23 \text{ tonf}$$

$$\text{단면} : A = 0.433 \text{ m}, \quad Z = 0.031 \text{ m}^3$$

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{Z}$$

$$= \frac{163.53}{0.433} + \frac{6.92}{0.031} = 600.89 \text{ tonf/m}^2 \text{ (압축)}$$

$$= \frac{163.53}{0.433} - \frac{6.92}{0.031} = 154.44 \text{ tonf/m}^2 \text{ (압축)}$$

$$\therefore f_c = 600.89 \text{ tonf/m}^2 < f_{ca} = 960 \text{ tonf/m}^2 \quad \text{O.K.}$$

$$r = \frac{V}{A}$$

$$= \frac{11.23}{0.433} = 25.94 \text{ tonf/m}^2 < \tau_a = 38 \text{ tonf/m}^2 \quad \text{O.K.}$$

2) 아치부(22번 부재)

$$P = 109.81 \text{ tonf}, \quad M = 7.12 \text{ tonf} \cdot \text{m}, \quad V = 8.95 \text{ tonf}$$

$$\text{단면} : A = 0.350 \text{ m}, \quad Z = 0.020 \text{ m}^3$$

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{Z}$$

$$= \frac{109.81}{0.350} + \frac{7.12}{0.020} = 669.74 \text{ tonf/m}^2 \text{ (압축)}$$

$$= \frac{109.81}{0.350} - \frac{7.12}{0.020} = -42.26 \text{ tonf/m}^2 \text{ (인장)}$$

$$\therefore f_c = 669.74 \text{ tonf/m}^2 < f_{ca} = 960 \text{ tonf/m}^2 \quad \text{O.K.}$$

$$f_t = 42.26 \text{ tonf/m}^2 < f_{ta} = 65 \text{ tonf/m}^2 \quad \text{O.K.}$$

$$r = \frac{V}{A}$$

$$= \frac{8.95}{0.350} = 25.57 \text{ tonf/m}^2 < \tau_a = 38 \text{ tonf/m}^2 \quad \text{O.K.}$$

-156-

3) 천장부(16번 부재)

$$P = 87.09 \text{ tonf}, \quad M = 8.59 \text{ tonf} \cdot \text{m}, \quad V = 6.03 \text{ tonf}$$

$$\text{단면} : A = 0.350 \text{ m}, \quad Z = 0.020 \text{ m}^3$$

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{Z}$$

$$= \frac{87.09}{0.350} + \frac{8.59}{0.020} = 678.33 \text{ tonf/m}^2 \text{ (압축)}$$

$$= \frac{87.09}{0.350} - \frac{8.59}{0.020} = -180.67 \text{ tonf/m}^2 \text{ (인장)}$$

$$\therefore f_c = 678.33 \text{ tonf/m}^2 < f_{ca} = 960 \text{ tonf/m}^2 \quad \text{O.K.}$$

$$f_t = 180.67 \text{ tonf/m}^2 > f_{ta} = 65 \text{ tonf/m}^2 \quad \text{N.G.}$$

$$r = \frac{V}{A}$$

$$= \frac{6.03}{0.350} = 17.23 \text{ tonf/m}^2 < \tau_a = 38 \text{ tonf/m}^2 \quad \text{O.K.}$$

자. 검토결과

단면검토결과 인장응력이 허용응력을 초과하여 발생하므로 철근을 보강하여 인장응력에

저항하도록 하여야 함. 그러므로 패턴-V를 철근보강콘크리트로 설계함.

-157-

차. INPUT 및 OUTPUT

1) CASE 1, CASE 2

□ INPUT DATA

PUSAN-ULSAN TUNNEL(TYPE-5)

SYSTEM

R=0 L=6

JOINTS

73 X=-2.455 Y=-6.549 Z=0
74 X=-2.455 Y=-6.549 Z=-1
1 X=-6.867 Y=-8.695 Z=0 A=73,74, 1, 4, 1, 9.6717
75 X=0.000 Y=-7.562 Z=0
76 X=0.000 Y=-7.562 Z=-1
6 X=-6.990 Y=-4.678 Z=0 A=75,76, 6,21, 1, 6.1437
77 X=2.046 Y=-6.718 Z=0
78 X=2.046 Y=-6.718 Z=-1
28 X=6.990 Y=-4.678 Z=0 A=77,78, 28,5, 1, 9.6153
42 X=-8.125 Y=-8.203 Z=0 A=73,74, 42,3, 1, 9.6717
46 X=-7.915 Y=-4.297 Z=0 A=75,76, 46,21, 1, 6.1437
68 X=7.915 Y=-4.297 Z=0 A=77,78, 68,4, 1, 9.6153

RESTRAINTS

1 33 32 R=1 1 1 1 1 1
2 32 1 R=0 0 1 1 1 0
42 72 1 R=1 1 1 1 1 1

FRAME

N=11 NL=48 Y=-1
1 SH=R T=0.450 1.000 E=2.32E5 W=0.450*2.35 TC=1E-5
2 SH=R T=0.433 1.000 E=2.32E5 W=0.433*2.35 TC=1E-5
3 SH=R T=0.397 1.000 E=2.32E5 W=0.397*2.35 TC=1E-5
4 SH=R T=0.371 1.000 E=2.32E5 W=0.371*2.35 TC=1E-5
5 SH=R T=0.355 1.000 E=2.32E5 W=0.355*2.35 TC=1E-5
6 SH=R T=0.350 1.000 E=2.32E5 W=0.350*2.35 TC=1E-5
7 A=1.0 I=1E-6 E= 14349
8 A=1.0 I=1E-6 E= 9212
9 A=1.0 I=1E-6 E= 9115
10 A=1.0 I=1E-6 E= 9602
11 A=1.0 I=1E-6 E= 14264

C *****[과 중]*****
C SELF-WEIGHT
C *****[일반]완하중*****

1 WG= 0, -4.640*2.65
2 WG= 0, -5.286*2.65
3 WG= 0, -5.466*2.65
4 WG= 0, -4.678*2.65
5 WG= 0, -3.946*2.65
6 WG= 0, -3.256*2.65
7 WG= 0, -2.616*2.65
8 WG= 0, -2.032*2.65
9 WG= 0, -1.512*2.65
10 WG= 0, -1.061*2.65
11 WG= 0, -0.585*2.65
12 WG= 0, -0.388*2.65
13 WG= 0, -0.174*2.65
14 WG= 0, -0.044*2.65

C *****[온도하중]*****
15 T=0, 5/0.35
16 T=0, -5/0.35

C *****[잔류수압]*****
17 TRAP= 0, 0.000, 0, -1, -0.937, 0
18 TRAP= 0, -0.937, 0, -1, -1.874, 0
19 TRAP= 0, 1.874, 0, 1, 2.811, 0
20 TRAP= 0, -2.811, 0, -1, -3.747, 0
21 TRAP= 0, -3.747, 0, -1, -4.684, 0
22 TRAP= 0, -4.684, 0, -1, -3.946, 0
23 TRAP= 0, -3.946, 0, -1, -3.256, 0
24 TRAP= 0, -3.256, 0, -1, -2.616, 0
25 TRAP= 0, -2.616, 0, -1, -2.032, 0
26 TRAP= 0, -2.032, 0, -1, -1.512, 0
27 TRAP= 0, -1.512, 0, -1, -1.061, 0

-158-

28 TRAP= 0, -1.061, 0, -1, -0.685, 0
 29 TRAP= 0, -0.685, 0, -1, -0.388, 0
 30 TRAP= 0, -0.388, 0, -1, -0.174, 0
 31 TRAP= 0, -0.174, 0, -1, -0.044, 0
 32 TRAP= 0, -0.044, 0, -1, -0.000, 0
 33 TRAP= 0, 0.000, 0, -1, -0.044, 0
 34 TRAP= 0, -0.044, 0, -1, -0.174, 0
 35 TRAP= 0, -0.174, 0, -1, -0.388, 0
 36 TRAP= 0, -0.388, 0, -1, -0.685, 0
 37 TRAP= 0, -0.685, 0, -1, -1.061, 0
 38 TRAP= 0, -1.061, 0, -1, -1.512, 0
 39 TRAP= 0, -1.512, 0, -1, -2.032, 0
 40 TRAP= 0, -2.032, 0, -1, -2.616, 0
 41 TRAP= 0, -2.616, 0, -1, -3.257, 0
 42 TRAP= 0, -3.257, 0, -1, -3.947, 0
 43 TRAP= 0, -3.947, 0, -1, -4.684, 0
 44 TRAP= 0, -4.684, 0, -1, -5.477, 0
 45 TRAP= 0, -5.477, 0, -1, -6.311, 0
 46 TRAP= 0, -6.311, 0, -1, -7.184, 0
 47 TRAP= 0, -7.184, 0, -1, -8.097, 0
 48 TRAP= 0, -8.097, 0, -1, -9.000, 0

C Pd Pv T T W
 1 1 2 M=1 2 LP=1 NSL= 0 0 0 15 16 17
 2 2 3 M=2 3 NSL= 0 0 0 15 16 18
 3 3 4 M=3 4 NSL= 0 0 0 15 16 19
 4 4 5 M=4 5 NSL= 0 1 2 15 16 20
 5 5 6 M=5 6 NSL= 0 1 3 15 16 21
 6 6 7 M=6 NSL= 0 1 4 15 16 22
 7 7 8 M=6 NSL= 0 1 5 15 16 23
 8 8 9 M=6 NSL= 0 1 6 15 16 24
 9 9 10 M=6 NSL= 0 1 7 15 16 25
 10 10 11 M=6 NSL= 0 1 8 15 16 26
 11 11 12 M=6 NSL= 0 1 9 15 16 27
 12 12 13 M=6 NSL= 0 1 10 15 16 28
 13 13 14 M=6 NSL= 0 1 11 15 16 29
 14 14 15 M=6 NSL= 0 1 12 15 16 30
 15 15 16 M=6 NSL= 0 1 13 15 16 31
 16 16 17 M=6 NSL= 0 1 14 15 16 32
 17 17 18 M=6 NSL= 0 1 14 15 16 33
 18 18 19 M=6 NSL= 0 1 13 15 16 34
 19 19 20 M=6 NSL= 0 1 12 15 16 35
 20 20 21 M=6 NSL= 0 1 11 15 16 36
 21 21 22 M=6 NSL= 0 1 10 15 16 37
 22 22 23 M=6 NSL= 0 1 9 15 16 38
 23 23 24 M=6 NSL= 0 1 8 15 16 39
 24 24 25 M=6 NSL= 0 1 7 15 16 40
 25 25 26 M=6 NSL= 0 1 6 15 16 41
 26 26 27 M=6 NSL= 0 1 5 15 16 42
 27 27 28 M=6 NSL= 0 1 4 15 16 43
 28 28 29 M=5 5 NSL= 0 1 3 15 16 44
 29 29 30 M=4 4 NSL= 0 1 2 15 16 45
 30 30 31 M=3 3 NSL= 0 0 0 15 16 46
 31 31 32 M=2 2 NSL= 0 0 0 15 16 47
 32 32 33 M=1 1 NSL= 0 0 0 15 16 48

42 42 2 M=7 LR=1, 1
 43 43 3 M=7 LR=1, 1
 44 44 4 M=7 LR=1, 1
 45 45 5 M=7 LR=1, 1
 46 46 6 M=8 LR=1, 1
 47 47 7 M=9 LR=1, 1
 48 48 8 M=9 LR=1, 1
 49 49 9 M=9 LR=1, 1
 50 50 10 M=9 LR=1, 1
 c 51 51 11 M=9 LR=1, 1
 c 52 52 12 M=9 LR=1, 1
 c 53 53 13 M=9 LR=1, 1
 c 54 54 14 M=9 LR=1, 1
 c 55 55 15 M=9 LR=1, 1
 c 56 56 16 M=9 LR=1, 1
 c 57 57 17 M=9 LR=1, 1
 c 58 58 18 M=9 LR=1, 1
 c 59 59 19 M=9 LR=1, 1

-159-

c 60 60 20 M=9 LR=1, 1
 c 61 61 21 M=9 LR=1, 1
 c 62 62 22 M=9 LR=1, 1
 c 63 63 23 M=9 LR=1, 1
 64 64 24 M=9 LR=1, 1
 65 65 25 M=9 LR=1, 1
 66 66 26 M=9 LR=1, 1
 67 67 27 M=9 LR=1, 1
 68 68 28 M=10 LR=1, 1
 69 69 29 M=11 LR=1, 1
 70 70 30 M=11 LR=1, 1
 71 71 31 M=11 LR=1, 1
 72 72 32 M=11 LR=1, 1

CONBO

C Pd Pv Pv T T W
 1 C=1.00 1.00 1.00 1.0 0.0 0.0
 2 C=1.00 1.00 1.00 0.0 1.0 0.0

-160-

OUTPUT DATA

PUSAN-ULSAN TUNNEL(TYPE-5)

FRAME ELEMENT FORCES

ELT	LOAD	DIST	1-2 PLANE	AXIAL
ID	COMB	ENDI	SHEAR	MOMENT
1	1	.000	-160.768	
	.000	-31.454	32.809	
	.827	-31.145	6.919	
	.827			-159.967
2	2	.000	-161.202	
	.000	-30.653	27.924	
	.827	-30.344	2.696	
	.827			-160.401
2	1	.000	-163.529	
	.000	-10.990	6.919	
	.827	-10.831	-2.105	
	.827			-162.738
2	2	.000	-163.824	
	.000	-10.153	2.696	
	.827	-9.993	-5.635	
	.827			-163.033
3	1	.000	-163.722	
	.000	-.893	-2.105	
	.827	-.870	-2.834	
	.827			-162.976
2	2	.000	-163.886	
	.000	-.178	-5.635	
	.827	-.155	-5.773	
	.827			-163.140
4	1	.000	-162.876	
	.000	1.932	-2.834	
	.827	1.381	-1.464	
	.827			-158.911
2	2	.000	-162.940	
	.000	2.397	-5.773	
	.827	1.846	-4.018	
	.827			-158.975
5	1	.000	-158.663	
	.000	1.487	-1.464	
	.550	.001	-1.056	
	.827	-.749	-1.159	
	.827			-151.622
2	2	.000	-158.671	
	.000	1.681	-4.018	
	.827	.001	-3.496	
	.827	-.555	-3.553	
	.827			-151.630
6	1	.000	-151.151	
	.000	4.242	-1.159	
	.810	.248	.660	
	.810			-142.775
2	2	.000	-151.139	
	.000	4.307	-3.553	
	.810	.313	-1.681	
	.810			-142.763
7	1	.000	-142.652	
	.000	2.182	.660	
	.326	.000	1.016	
	.810	-3.241	.231	
	.810			-133.850

-161-

2	.000	-142.637
.000	2.179	-1.681
.326	.000	-1.326
.810	-3.244	-2.112
.810		-133.835
8	1	-133.994
.000	.681	.231
.081	.000	.259
.810	-6.092	-1.962
.810		-125.256
2	2	-133.980
.000	.654	-2.112
.078	.000	-2.086
.810	-6.119	-4.326
.810		-125.243
9	1	-125.553
.000	.638	-1.962
.065	.000	-1.941
.810	-7.323	-4.671
.810		-117.286
2	2	-125.542
.000	.616	-4.326
.063	.000	-4.307
.810	-7.345	-7.053
.810		-117.276
10	1	-117.443
.000	4.423	-4.671
.401	.000	-3.784
.810	-4.513	-4.708
.810		-109.962
2	2	-117.433
.000	4.431	-7.053
.402	.000	-6.153
.810	-4.505	-7.083
.810		-109.952
11	1	-109.813
.000	7.281	-4.708
.610	.000	-2.488
.810	-2.399	-2.729
.810		-103.336
2	2	-109.803
.000	7.288	-7.083
.610	.000	-4.859
.810	-2.392	-5.099
.810		-103.325
12	1	-102.999
.000	8.674	-2.729
.689	.000	.261
.810	-1.524	.168
.810		-97.658
2	2	-102.988
.000	8.680	-5.099
.690	.000	-2.105
.810	-1.518	-2.196
.810		-97.646
13	1	-97.260
.000	8.937	.168
.688	.000	3.245
.810	-1.583	3.148
.810		-93.115
2	2	-97.248
.000	8.941	-2.196
.689	.000	.883
.810	-1.579	.767
.810		-93.103

-162-

[illegible]

```

2) CASE 3, CASE 4
  INPUT DATA
  PUSAN-ULSAN TUNNEL(TYPE=5-1)
  SYSTEM
  R=0.0
  JOINTS
  73 N=2.455 Y=6.549 Z=0
  74 N=2.455 Y=6.549 Z=1
  1 N=6.867 Y=8.695 Z=0 A=73,74, 1, 4, 1, 9.6717
  75 N=0.000 Y=7.562 Z=0
  76 N=0.000 Y=7.562 Z=1
  6 N=0.000 Y=7.562 Z=0 A=75,76, 6.21, 1, 9.1637
  77 N=2.046 Y=6.718 Z=0
  78 N=2.046 Y=6.718 Z=1
  4 N=0.000 Y=6.578 Z=0 A=77,78, 28.5, 1, 9.6153
  42 N=8.125 Y=8.203 Z=0 A=73,74, 42.3, 1, 9.6717
  46 N=7.915 Y=8.297 Z=0 A=75,76, 46.21, 1, 9.1637
  68 N=7.915 Y=8.297 Z=0 A=77,78, 68.4, 1, 9.6153

  RESTRAINTS
  1 33 32 R=1 1 1 1 1 1
  2 32 1 R=0 0 1 1 0
  42 72 1 R=1 1 1 1 1 1

  FRAME
  N=11 N=48 Y=1
  1 SH-R T=0.450 1.000 E=2.32E5 W=0.450*2.35 TC=1E-5
  2 SH-R T=0.433 1.000 E=2.32E5 W=0.433*2.35 TC=1E-5
  3 SH-R T=0.397 1.000 E=2.32E5 W=0.397*2.35 TC=1E-5
  4 SH-R T=0.371 1.000 E=2.32E5 W=0.371*2.35 TC=1E-5
  5 SH-R T=0.355 1.000 E=2.32E5 W=0.355*2.35 TC=1E-5
  6 SH-R T=0.350 1.000 E=2.32E5 W=0.350*2.35 TC=1E-5
  7 A=1,0 I=1E-6 E= 14349
  8 A=1,0 I=1E-6 E= 9155
  9 A=1,0 I=1E-6 E= 9115
  10 A=1,0 I=1E-6 E= 9502
  11 A=1,0 I=1E-6 E= 14263
  C ***** (단면)이 좌중 *****
  C SELF-WEIGHT
  1 W=0.0 4.640*2.65
  2 W=0.0 -5.286*2.65
  3 W=0.0 -5.466*2.65
  4 W=0.0 -4.678*2.65
  5 W=0.0 -3.948*2.65
  6 W=0.0 -3.256*2.65
  7 W=0.0 -2.616*2.65
  8 W=0.0 -2.032*2.65
  9 W=0.0 -1.512*2.65
  10 W=0.0 -1.061*2.65
  11 W=0.0 -0.685*2.65
  12 W=0.0 -0.388*2.65
  13 W=0.0 -0.174*2.65
  14 W=0.0 -0.044*2.65
  C ***** (중)이 좌중 *****
  15 T=0, 5/0.35
  16 T=0, 5/0.35
  C ***** (관측)점 *****
  17 TRAP=0, 0.000, 0, -1, -0.937, 0
  18 TRAP=0, -0.937, 0, 0, -1.874, 0
  19 TRAP=0, -1.874, 0, 0, 0, -2.811, 0
  20 TRAP=0, -2.811, 0, 0, 0, -3.747, 0
  21 TRAP=0, -3.747, 0, -1, -4.684, 0
  22 TRAP=0, -4.684, 0, 0, -1.946, 0
  23 TRAP=0, -3.946, 0, 0, 0, -3.256, 0
  24 TRAP=0, -3.256, 0, -1, -2.616, 0
  25 TRAP=0, -2.616, 0, 0, -2.032, 0
  26 TRAP=0, -2.032, 0, 0, 0, -1.512, 0
  27 TRAP=0, -1.512, 0, -1, -1.061, 0
  28 TRAP=0, -1.061, 0, 0, -0.685, 0
  29 TRAP=0, -0.685, 0, 0, 0, -0.388, 0
  30 TRAP=0, -0.388, 0, -1, -0.174, 0

```

31 TRAP= 0, -0.174, 0, -1, -0.044, 0
 32 TRAP= 0, -0.044, 0, -1, 0.000, 0
 33 TRAP= 0, 0.000, 0, -1, -0.044, 0
 34 TRAP= 0, -0.044, 0, -1, -0.174, 0
 35 TRAP= 0, -0.174, 0, 1, -0.388, 0
 36 TRAP= 0, -0.388, 0, 1, -0.685, 0
 37 TRAP= 0, -0.685, 0, 1, -1.061, 0
 38 TRAP= 0, -1.061, 0, 1, -1.512, 0
 39 TRAP= 0, -1.512, 0, 1, -2.032, 0
 40 TRAP= 0, -2.032, 0, 1, -2.616, 0
 41 TRAP= 0, -2.616, 0, 1, -3.237, 0
 42 TRAP= 0, -3.237, 0, 1, -3.947, 0
 43 TRAP= 0, -3.947, 0, 1, -4.684, 0
 44 TRAP= 0, -4.684, 0, 1, -5.447, 0
 45 TRAP= 0, -5.447, 0, 1, -6.231, 0
 46 TRAP= 0, -6.231, 0, 1, -7.034, 0
 47 TRAP= 0, -7.034, 0, 1, -7.854, 0
 48 TRAP= 0, -7.854, 0, 1, -8.689, 0
 49 TRAP= 0, -8.689, 0, 1, -9.538, 0
 50 TRAP= 0, -9.538, 0, 1, -10.399, 0
 51 TRAP= 0, -10.399, 0, 1, -11.271, 0
 52 TRAP= 0, -11.271, 0, 1, -12.153, 0
 53 TRAP= 0, -12.153, 0, 1, -13.044, 0
 54 TRAP= 0, -13.044, 0, 1, -13.943, 0
 55 TRAP= 0, -13.943, 0, 1, -14.850, 0
 56 TRAP= 0, -14.850, 0, 1, -15.763, 0
 57 TRAP= 0, -15.763, 0, 1, -16.682, 0
 58 TRAP= 0, -16.682, 0, 1, -17.606, 0
 59 TRAP= 0, -17.606, 0, 1, -18.534, 0
 60 TRAP= 0, -18.534, 0, 1, -19.466, 0
 61 TRAP= 0, -19.466, 0, 1, -20.401, 0
 62 TRAP= 0, -20.401, 0, 1, -21.339, 0
 63 TRAP= 0, -21.339, 0, 1, -22.280, 0
 64 TRAP= 0, -22.280, 0, 1, -23.223, 0
 65 TRAP= 0, -23.223, 0, 1, -24.168, 0
 66 TRAP= 0, -24.168, 0, 1, -25.114, 0
 67 TRAP= 0, -25.114, 0, 1, -26.061, 0
 68 TRAP= 0, -26.061, 0, 1, -27.009, 0
 69 TRAP= 0, -27.009, 0, 1, -27.957, 0
 70 TRAP= 0, -27.957, 0, 1, -28.905, 0
 71 TRAP= 0, -28.905, 0, 1, -29.852, 0
 72 TRAP= 0, -29.852, 0, 1, -30.799, 0
 73 TRAP= 0, -30.799, 0, 1, -31.745, 0
 74 TRAP= 0, -31.745, 0, 1, -32.691, 0
 75 TRAP= 0, -32.691, 0, 1, -33.636, 0
 76 TRAP= 0, -33.636, 0, 1, -34.581, 0
 77 TRAP= 0, -34.581, 0, 1, -35.525, 0
 78 TRAP= 0, -35.525, 0, 1, -36.469, 0
 79 TRAP= 0, -36.469, 0, 1, -37.412, 0
 80 TRAP= 0, -37.412, 0, 1, -38.355, 0
 81 TRAP= 0, -38.355, 0, 1, -39.297, 0
 82 TRAP= 0, -39.297, 0, 1, -40.239, 0
 83 TRAP= 0, -40.239, 0, 1, -41.180, 0
 84 TRAP= 0, -41.180, 0, 1, -42.121, 0
 85 TRAP= 0, -42.121, 0, 1, -43.061, 0
 86 TRAP= 0, -43.061, 0, 1, -44.001, 0
 87 TRAP= 0, -44.001, 0, 1, -44.940, 0
 88 TRAP= 0, -44.940, 0, 1, -45.879, 0
 89 TRAP= 0, -45.879, 0, 1, -46.817, 0
 90 TRAP= 0, -46.817, 0, 1, -47.754, 0
 91 TRAP= 0, -47.754, 0, 1, -48.691, 0
 92 TRAP= 0, -48.691, 0, 1, -49.627, 0
 93 TRAP= 0, -49.627, 0, 1, -50.562, 0
 94 TRAP= 0, -50.562, 0, 1, -51.496, 0
 95 TRAP= 0, -51.496, 0, 1, -52.429, 0
 96 TRAP= 0, -52.429, 0, 1, -53.361, 0
 97 TRAP= 0, -53.361, 0, 1, -54.292, 0
 98 TRAP= 0, -54.292, 0, 1, -55.222, 0
 99 TRAP= 0, -55.222, 0, 1, -56.151, 0
 100 TRAP= 0, -56.151, 0, 1, -57.079, 0
 101 TRAP= 0, -57.079, 0, 1, -58.006, 0
 102 TRAP= 0, -58.006, 0, 1, -58.932, 0
 103 TRAP= 0, -58.932, 0, 1, -59.857, 0
 104 TRAP= 0, -59.857, 0, 1, -60.781, 0
 105 TRAP= 0, -60.781, 0, 1, -61.704, 0
 106 TRAP= 0, -61.704, 0, 1, -62.626, 0
 107 TRAP= 0, -62.626, 0, 1, -63.547, 0
 108 TRAP= 0, -63.547, 0, 1, -64.467, 0
 109 TRAP= 0, -64.467, 0, 1, -65.386, 0
 110 TRAP= 0, -65.386, 0, 1, -66.304, 0
 111 TRAP= 0, -66.304, 0, 1, -67.221, 0
 112 TRAP= 0, -67.221, 0, 1, -68.137, 0
 113 TRAP= 0, -68.137, 0, 1, -69.052, 0
 114 TRAP= 0, -69.052, 0, 1, -69.965, 0
 115 TRAP= 0, -69.965, 0, 1, -70.877, 0
 116 TRAP= 0, -70.877, 0, 1, -71.788, 0
 117 TRAP= 0, -71.788, 0, 1, -72.698, 0
 118 TRAP= 0, -72.698, 0, 1, -73.607, 0
 119 TRAP= 0, -73.607, 0, 1, -74.514, 0
 120 TRAP= 0, -74.514, 0, 1, -75.420, 0
 121 TRAP= 0, -75.420, 0, 1, -76.325, 0
 122 TRAP= 0, -76.325, 0, 1, -77.229, 0
 123 TRAP= 0, -77.229, 0, 1, -78.132, 0
 124 TRAP= 0, -78.132, 0, 1, -79.034, 0
 125 TRAP= 0, -79.034, 0, 1, -79.935, 0
 126 TRAP= 0, -79.935, 0, 1, -80.835, 0
 127 TRAP= 0, -80.835, 0, 1, -81.733, 0
 128 TRAP= 0, -81.733, 0, 1, -82.630, 0
 129 TRAP= 0, -82.630, 0, 1, -83.526, 0
 130 TRAP= 0, -83.526, 0, 1, -84.421, 0
 131 TRAP= 0, -84.421, 0, 1, -85.314, 0
 132 TRAP= 0, -85.314, 0, 1, -86.206, 0
 133 TRAP= 0, -86.206, 0, 1, -87.097, 0
 134 TRAP= 0, -87.097, 0, 1, -87.986, 0
 135 TRAP= 0, -87.986, 0, 1, -88.874, 0
 136 TRAP= 0, -88.874, 0, 1, -89.760, 0
 137 TRAP= 0, -89.760, 0, 1, -90.645, 0
 138 TRAP= 0, -90.645, 0, 1, -91.528, 0
 139 TRAP= 0, -91.528, 0, 1, -92.410, 0
 140 TRAP= 0, -92.410, 0, 1, -93.290, 0
 141 TRAP= 0, -93.290, 0, 1, -94.168, 0
 142 TRAP= 0, -94.168, 0, 1, -95.044, 0
 143 TRAP= 0, -95.044, 0, 1, -95.918, 0
 144 TRAP= 0, -95.918, 0, 1, -96.790, 0
 145 TRAP= 0, -96.790, 0, 1, -97.660, 0
 146 TRAP= 0, -97.660, 0, 1, -98.528, 0
 147 TRAP= 0, -98.528, 0, 1, -99.394, 0
 148 TRAP= 0, -99.394, 0, 1, -100.258, 0
 149 TRAP= 0, -100.258, 0, 1, -101.120, 0
 150 TRAP= 0, -101.120, 0, 1, -101.980, 0
 151 TRAP= 0, -101.980, 0, 1, -102.838, 0
 152 TRAP= 0, -102.838, 0, 1, -103.694, 0
 153 TRAP= 0, -103.694, 0, 1, -104.548, 0
 154 TRAP= 0, -104.548, 0, 1, -105.400, 0
 155 TRAP= 0, -105.400, 0, 1, -106.250, 0
 156 TRAP= 0, -106.250, 0, 1, -107.098, 0
 157 TRAP= 0, -107.098, 0, 1, -107.944, 0
 158 TRAP= 0, -107.944, 0, 1, -108.788, 0
 159 TRAP= 0, -108.788, 0, 1, -109.630, 0
 160 TRAP= 0, -109.630, 0, 1, -110.470, 0
 161 TRAP= 0, -110.470, 0, 1, -111.308, 0
 162 TRAP= 0, -111.308, 0, 1, -112.144, 0
 163 TRAP= 0, -112.144, 0, 1, -112.978, 0
 164 TRAP= 0, -112.978, 0, 1, -113.810, 0
 165 TRAP= 0, -113.810, 0, 1, -114.640, 0
 166 TRAP= 0, -114.640, 0, 1, -115.468, 0
 167 TRAP= 0, -115.468, 0, 1, -116.294, 0
 168 TRAP= 0, -116.294, 0, 1, -117.118, 0
 169 TRAP= 0, -117.118, 0, 1, -117.940, 0
 170 TRAP= 0, -117.940, 0, 1, -118.760, 0
 171 TRAP= 0, -118.760, 0, 1, -119.578, 0
 172 TRAP= 0, -119.578, 0, 1, -120.394, 0
 173 TRAP= 0, -120.394, 0, 1, -121.208, 0
 174 TRAP= 0, -121.208, 0, 1, -122.020, 0
 175 TRAP= 0, -122.020, 0, 1, -122.830, 0
 176 TRAP= 0, -122.830, 0, 1, -123.638, 0
 177 TRAP= 0, -123.638, 0, 1, -124.444, 0
 178 TRAP= 0, -124.444, 0, 1, -125.248, 0
 179 TRAP= 0, -125.248, 0, 1, -126.050, 0
 180 TRAP= 0, -126.050, 0, 1, -126.850, 0
 181 TRAP= 0, -126.850, 0, 1, -127.648, 0
 182 TRAP= 0, -127.648, 0, 1, -128.444, 0
 183 TRAP= 0, -128.444, 0, 1, -129.238, 0
 184 TRAP= 0, -129.238, 0, 1, -130.030, 0
 185 TRAP= 0, -130.030, 0, 1, -130.820, 0
 186 TRAP= 0, -130.820, 0, 1, -131.608, 0
 187 TRAP= 0, -131.608, 0, 1, -132.394, 0
 188 TRAP= 0, -132.394, 0, 1, -133.178, 0
 189 TRAP= 0, -133.178, 0, 1, -133.960, 0
 190 TRAP= 0, -133.960, 0, 1, -134.740, 0
 191 TRAP= 0, -134.740, 0, 1, -135.518, 0
 192 TRAP= 0, -135.518, 0, 1, -136.294, 0
 193 TRAP= 0, -136.294, 0, 1, -137.068, 0
 194 TRAP= 0, -137.068, 0, 1, -137.840, 0
 195 TRAP= 0, -137.840, 0, 1, -138.610, 0
 196 TRAP= 0, -138.610, 0, 1, -139.378, 0
 197 TRAP= 0, -139.378, 0, 1, -140.144, 0
 198 TRAP= 0, -140.144, 0, 1, -140.908, 0
 199 TRAP= 0, -140.908, 0, 1, -141.670, 0
 200 TRAP= 0, -141.670, 0, 1, -142.430, 0
 201 TRAP= 0, -142.430, 0, 1, -143.188, 0
 202 TRAP= 0, -143.188, 0, 1, -143.944, 0
 203 TRAP= 0, -143.944, 0, 1, -144.698, 0
 204 TRAP= 0, -144.698, 0, 1, -145.450, 0
 205 TRAP= 0, -145.450, 0, 1, -146.200, 0
 206 TRAP= 0, -146.200, 0, 1, -146.948, 0
 207 TRAP= 0, -146.948, 0, 1, -147.694, 0
 208 TRAP= 0, -147.694, 0, 1, -148.438, 0
 209 TRAP= 0, -148.438, 0, 1, -149.180, 0
 210 TRAP= 0, -149.180, 0, 1, -149.920, 0
 211 TRAP= 0, -149.920, 0, 1, -150.658, 0
 212 TRAP= 0, -150.658, 0, 1, -151.394, 0
 213 TRAP= 0, -151.394, 0, 1, -152.128, 0
 214 TRAP= 0, -152.128, 0, 1, -152.860, 0
 215 TRAP= 0, -152.860, 0, 1, -153.590, 0
 216 TRAP= 0, -153.590, 0, 1, -154.318, 0
 217 TRAP= 0, -154.318, 0, 1, -155.044, 0
 218 TRAP= 0, -155.044, 0, 1, -155.768, 0
 219 TRAP= 0, -155.768, 0, 1, -156.490, 0
 220 TRAP= 0, -156.490, 0, 1, -157.210, 0
 221 TRAP= 0, -157.210, 0, 1, -157.928, 0
 222 TRAP= 0, -157.928, 0, 1, -158.644, 0
 223 TRAP= 0, -158.644, 0, 1, -159.358, 0
 224 TRAP= 0, -159.358, 0, 1, -160.070, 0
 225 TRAP= 0, -160.070, 0, 1, -160.780, 0
 226 TRAP= 0, -160.780, 0, 1, -161.488, 0
 227 TRAP= 0, -161.488, 0, 1, -162.194, 0
 228 TRAP= 0, -162.194, 0, 1, -162.898, 0
 229 TRAP= 0, -162.898, 0, 1, -163.600, 0
 230 TRAP= 0, -163.600, 0, 1, -164.300, 0
 231 TRAP= 0, -164.300, 0, 1, -165.000, 0
 232 TRAP= 0, -165.000, 0, 1, -165.698, 0
 233 TRAP= 0, -165.698, 0, 1, -166.394, 0
 234 TRAP= 0, -166.394, 0, 1, -167.088, 0
 235 TRAP= 0, -167.088, 0, 1, -167.780, 0
 236 TRAP= 0, -167.780, 0, 1, -168.470, 0
 237 TRAP= 0, -168.470, 0, 1, -169.158, 0
 238 TRAP= 0, -169.158, 0, 1, -169.844, 0
 239 TRAP= 0, -169.844, 0, 1, -170.528, 0
 240 TRAP= 0, -170.528, 0, 1, -171.210, 0
 241 TRAP= 0, -171.210, 0, 1, -171.890, 0
 242 TRAP= 0, -171.890, 0, 1, -172.568, 0
 243 TRAP= 0, -172.568, 0, 1, -173.244, 0
 244 TRAP= 0, -173.244, 0, 1, -173.918, 0
 245 TRAP= 0, -173.918, 0, 1, -174.590, 0
 246 TRAP= 0, -174.590, 0, 1, -175.260, 0
 247 TRAP= 0, -175.260, 0, 1, -175.928, 0
 248 TRAP= 0, -175.928, 0, 1, -176.594, 0
 249 TRAP= 0, -176.594, 0, 1, -177.258, 0
 250 TRAP= 0, -177.258, 0, 1, -177.920, 0
 251 TRAP= 0, -177.920, 0, 1, -178.580, 0
 252 TRAP= 0, -178.580, 0, 1, -179.238, 0
 253 TRAP= 0, -179.238, 0, 1, -179.894, 0
 254 TRAP= 0, -179.894, 0, 1, -180.548, 0
 255 TRAP= 0, -180.548, 0, 1, -181.200, 0
 256 TRAP= 0, -181.200, 0, 1, -181.850, 0
 257 TRAP= 0, -181.850, 0, 1, -182.500, 0
 258 TRAP= 0, -182.500, 0, 1, -183.148, 0
 259 TRAP= 0, -183.148, 0, 1, -183.794, 0
 260 TRAP= 0, -183.794, 0, 1, -184.438, 0
 261 TRAP= 0, -184.438, 0, 1, -185.080, 0
 262 TRAP= 0, -185.080, 0, 1, -185.720, 0
 263 TRAP= 0, -185.720, 0, 1, -186.358, 0
 264 TRAP= 0, -186.358, 0, 1, -186.994, 0
 265 TRAP= 0, -186.994, 0, 1, -187.628, 0
 266 TRAP= 0, -187.628, 0, 1, -188.260, 0
 267 TRAP= 0, -188.260, 0, 1, -188.890, 0
 268 TRAP= 0, -188.890, 0, 1, -189.518, 0
 269 TRAP= 0, -189.518, 0, 1, -190.144, 0
 270 TRAP= 0, -190.144, 0, 1, -190.768, 0
 271 TRAP= 0, -190.768, 0, 1, -191.390, 0
 272 TRAP= 0, -191.390, 0, 1, -192.010, 0
 273 TRAP= 0, -192.010, 0, 1, -192.628, 0
 274 TRAP= 0, -192.628, 0, 1, -193.244, 0
 275 TRAP= 0, -193.244, 0, 1, -193.858, 0
 276 TRAP= 0, -193.858, 0, 1, -194.470, 0
 277 TRAP= 0, -194.470, 0, 1, -195.080, 0
 278 TRAP= 0, -195.080, 0, 1, -195.688, 0
 279 TRAP= 0, -195.688, 0, 1, -196.294, 0
 280 TRAP= 0, -196.294, 0, 1, -196.898, 0
 281 TRAP= 0, -196.898, 0, 1, -197.500, 0
 282 TRAP= 0, -197.500, 0, 1, -198.100, 0
 283 TRAP= 0, -198.100, 0, 1, -198.698, 0
 284 TRAP= 0, -198.698, 0, 1, -199.294, 0
 285 TRAP= 0, -199.294, 0, 1, -199.888, 0
 286 TRAP= 0, -199.888, 0, 1, -200.480, 0
 287 TRAP= 0, -200.480, 0, 1, -201.070, 0
 288 TRAP= 0, -201.070, 0, 1, -201.658, 0
 289 TRAP= 0, -201.658, 0, 1, -202.244, 0
 290 TRAP= 0, -202.244, 0, 1, -202.828, 0
 291 TRAP= 0, -202.828, 0, 1, -203.410, 0
 292 TRAP= 0, -203.410, 0, 1, -203.990, 0
 293 TRAP= 0, -203.990, 0, 1, -204.568, 0
 294 TRAP= 0, -204.568, 0, 1, -205.144, 0
 295 TRAP= 0, -205.144, 0, 1, -205.718, 0
 296 TRAP= 0, -205.718, 0, 1, -206.290, 0
 297 TRAP= 0, -206.290, 0, 1, -206.860, 0
 298 TRAP= 0, -206.860, 0, 1, -207.428, 0
 299 TRAP= 0, -207.428, 0, 1, -207.994, 0
 300 TRAP= 0, -207.994, 0, 1, -208.558, 0
 301 TRAP= 0, -208.558, 0, 1, -209.120, 0
 302 TRAP= 0, -209.120, 0, 1, -209.680, 0
 303 TRAP= 0, -209.680, 0, 1, -210.238, 0
 304 TRAP= 0, -210.238, 0, 1, -210.794, 0
 305 TRAP= 0, -210.794, 0, 1, -211.348, 0
 306 TRAP= 0, -211.348, 0, 1, -211.900, 0
 307 TRAP= 0, -211.900, 0, 1, -212.450, 0
 308 TRAP= 0, -212.450, 0, 1, -212.998, 0
 309 TRAP= 0, -212.998, 0, 1, -213.544, 0
 310 TRAP= 0, -213.544, 0, 1, -214.088, 0
 311 TRAP= 0, -214.088, 0, 1, -214.630, 0
 312 TRAP= 0, -214.630, 0, 1, -215.170, 0
 313 TRAP= 0, -215.170, 0, 1, -215.708, 0
 314 TRAP= 0, -215.708, 0, 1, -216.244, 0
 315 TRAP= 0, -216.244, 0, 1, -216.778, 0
 316 TRAP= 0, -216.778, 0, 1, -217.310, 0
 317 TRAP= 0, -217.310, 0, 1, -217.840, 0
 318 TRAP= 0, -217.840, 0, 1, -218.368, 0
 319 TRAP= 0, -218.368, 0, 1, -218.894, 0
 320 TRAP= 0, -218.894, 0, 1, -219.418, 0
 321 TRAP= 0, -219.418, 0, 1, -219.940, 0
 322 TRAP= 0, -219.940, 0, 1, -220.460, 0
 323 TRAP= 0, -220.460, 0, 1, -220.978, 0
 324 TRAP= 0, -220.978, 0, 1, -221.494, 0
 325 TRAP= 0, -221.494, 0, 1, -222.008, 0
 326 TRAP= 0, -222.008, 0, 1, -222.520, 0
 327 TRAP= 0, -222.520, 0, 1, -223.030, 0
 328 TRAP= 0, -223.030, 0, 1, -223.538, 0
 329 TRAP= 0, -223.538, 0, 1, -224.044, 0
 330 TRAP= 0, -224.044, 0, 1, -224.548, 0
 331 TRAP= 0, -224.548, 0, 1, -225.050, 0
 332 TRAP= 0, -225.050, 0, 1, -225.550, 0
 333 TRAP= 0, -225.550, 0, 1, -226.048, 0
 334 TRAP= 0, -226.048, 0, 1, -226.544, 0
 335 TRAP= 0, -226.544, 0, 1, -227.038, 0
 336 TRAP= 0, -227.038, 0, 1, -227.530, 0
 337 TRAP= 0, -227.530, 0, 1, -228.020, 0
 338 TRAP= 0, -228.020, 0, 1, -228.508, 0
 339 TRAP= 0, -228.508, 0, 1, -228.994, 0
 340 TRAP= 0, -228.994, 0, 1, -229.478, 0
 341 TRAP= 0, -229.478, 0, 1, -229.960, 0
 342 TRAP= 0, -229.960, 0, 1, -230.440, 0
 343 TRAP= 0, -230.440, 0, 1, -230.918, 0
 344 TRAP= 0, -230.918, 0, 1, -231.394, 0
 345 TRAP= 0, -231.394, 0, 1, -231.868, 0
 346 TRAP= 0, -231.868, 0, 1, -232.340, 0
 347 TRAP= 0, -232.340, 0, 1, -232.810, 0
 348 TRAP= 0, -232.810,

		.000	8,318	-1,702	
		.614	.000	.843	
		.810	-2,637	.583	
		.810			-96,671
14	1	.000			-96,399
		.000	7,724	2,947	
		.572	.000	5,153	
		.810	-3,188	4,773	
		.810			-93,465
	2	.000			-96,398
		.000	7,724	.583	
		.572	.000	2,790	
		.810	-3,187	2,410	
		.810			-93,464
15	1	.000			-93,270
		.000	6,834	4,773	
		.509	.021	6,517	
		.810	-3,986	5,919	
		.810			-91,529
	2	.000			-93,268
		.000	6,834	2,410	
		.509	.021	4,154	
		.810	-3,986	3,557	
		.810			-91,527
16	1	.000			-91,430
		.000	5,832	5,919	
		.440	.005	7,205	
		.810	-4,882	6,302	
		.810			-90,856
	2	.000			-91,428
		.000	5,832	3,557	
		.440	.005	4,842	
		.810	-4,882	3,939	
		.810			-90,854
17	1	.000			-90,856
		.000	4,870	6,302	
		.369	.004	7,200	
		.810	-5,844	5,910	
		.810			-91,431
	2	.000			-90,855
		.000	4,870	3,939	
		.369	.004	4,837	
		.810	-5,844	3,546	
		.810			-91,429
18	1	.000			-91,531
		.000	3,974	5,910	
		.239	.007	6,503	
		.810	-6,845	4,754	
		.810			-93,272
	2	.000			-91,529
		.000	3,974	3,546	
		.239	.007	4,140	
		.810	-6,846	2,390	
		.810			-93,271
19	1	.000			-93,469
		.000	3,176	4,754	
		.237	.000	5,131	
		.810	7,735	2,918	
		.810			-96,404
	2	.000			-93,468
		.000	3,176	2,390	
		.237	.000	2,767	
		.810	-7,735	.554	
		.810			-96,403
20					
					-171-

	1	.000			-96,678
		.000	2,627	2,918	
		.196	.000	3,176	
		.810	-8,327	.625	
		.810			-100,823
	2	.000			-96,677
		.000	2,626	.554	
		.196	.000	.812	
		.810	-8,328	-1,740	
		.810			-100,821
21	1	.000			-101,135
		.000	2,511	.625	
		.189	.000	.862	
		.810	-8,394	-1,739	
		.810			-106,477
	2	.000			-101,134
		.000	2,510	-1,740	
		.189	.000	-1,553	
		.810	-8,395	4,104	
		.810			-106,476
22	1	.000			-106,764
		.000	3,049	-1,739	
		.233	.000	-1,383	
		.810	-7,673	-3,588	
		.810			-113,241
	2	.000			-106,763
		.000	3,048	-4,104	
		.233	.000	-3,748	
		.810	-7,674	-5,954	
		.810			-113,240
23	1	.000			-113,412
		.000	4,491	-3,588	
		.355	.000	-2,788	
		.810	-5,881	4,122	
		.810			-120,893
	2	.000			-113,411
		.000	4,490	-5,954	
		.355	.000	-5,155	
		.810	-5,882	-6,489	
		.810			-120,892
24	1	.000			-120,828
		.000	7,091	4,122	
		.558	.000	-2,027	
		.810	-2,753	-2,332	
		.810			-129,094
	2	.000			-120,827
		.000	7,090	-6,489	
		.558	.000	-4,394	
		.810	-2,754	-4,700	
		.810			-129,093
25	1	.000			-128,856
		.000	7,237	-2,332	
		.645	.000	.018	
		.810	-1,915	-.141	
		.810			-137,593
	2	.000			-128,854
		.000	7,257	-4,700	
		.646	.000	-2,337	
		.810	-1,895	-2,492	
		.810			-137,591
26	1	.000			-137,417
		.000	5,286	-.141	
		.520	.000	1,243	
		.810	-3,055	.801	
		.810			-146,219
					-172-

	2	.000			-137,413
		.000	5,293	-2,492	
		.521	.000	1,105	
		.810	-3,048	1,545	
		.810			-146,215
27	1	.000			-146,269
		.000	2,234	.801	
		.249	.000	1,080	
		.810	-5,254	-.382	
		.810			-154,641
	2	.000			-146,268
		.000	2,183	-1,545	
		.243	.000	-1,278	
		.810	-5,304	-2,768	
		.810			-154,640
28	1	.000			-155,034
		.000	2,430	-.382	
		.337	.000	.024	
		.896	-3,773	-1,047	
		.896			-162,667
	2	.000			-155,050
		.000	2,258	-2,768	
		.313	.000	-2,418	
		.896	-3,945	-3,587	
		.896			-162,683
29	1	.000			-162,982
		.000	-.152	-1,047	
		.896	-3,701	-2,836	
		.896			-167,316
	2	.000			-163,048
		.000	-.581	-3,587	
		.896	-4,130	-5,762	
		.896			-167,383
30	1	.000			-167,530
		.000	.981	-2,836	
		.379	.000	-2,635	
		.896	-1,096	-2,951	
		.896			-168,339
	2	.000			-167,689
		.000	.307	-5,762	
		.112	.000	-5,744	
		.896	-1,771	-6,481	
		.896			-168,498
31	1	.000			-167,628
		.000	9,426	-2,951	
		.896	8,336	4,947	
		.896			-168,485
	2	.000			-167,910
		.000	8,629	-6,481	
		.896	7,539	.703	
		.896			-168,768
32	1	.000			-165,352
		.000	28,865	4,947	
		.896	28,776	30,721	
		.896			-166,221
	2	.000			-165,765
		.000	28,105	.703	
		.896	28,016	25,795	
		.896			-166,634

2.3.4 본선 터널구간(패턴-V, VI) - 철근보강 검토

가. 설계조건

1) 설계방법 : 강도설계법

2) 콘크리트

㉠ 설계기준강도 : $f_{ck} = 240 \text{ kgf/cm}^2$

㉠ 탄성계수 : $E_c = 15,000/\sqrt{f_{ck}} = 2.32 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$

㉠ 단위중량 : $\gamma_c = 2.50 \text{ tonf/m}^3$

㉠ 온도신장형률계수 : $\alpha = 1 \times 10^{-5}$

3) 철근(SD30)

㉠ 항복강도 : $f_y = 3000 \text{ kgf/cm}^2$

㉠ 탄성계수 : $E_s = 2.00 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$

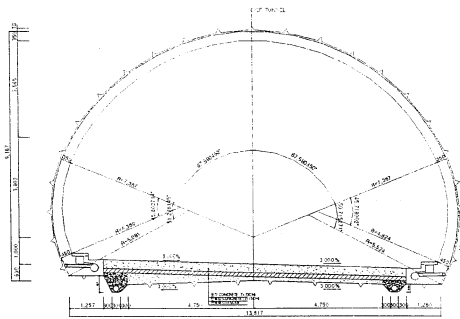
4) 지반

㉠ 단위중량 : $\gamma_R = 2.65 \text{ tonf/m}^3$

$\gamma_w = 1.00 \text{ tonf/m}^3$

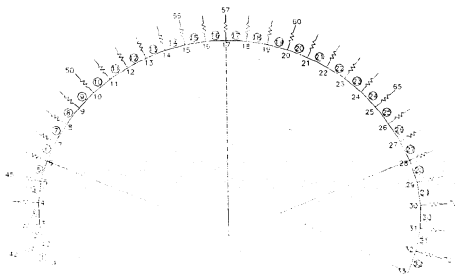
㉠ 탄성계수 : $E_R = 8.50 \times 10^4 \text{ tonf/m}^2$

나. 터널단면



다. 모델링

1) Coordinate



2) 절점좌표

절 점	X(m)	Y(m)	절 점	X(m)	Y(m)
1	-6.887	-8.695	18	0.809	-0.044
2	-7.185	-7.923	19	1.609	-0.174
3	-7.329	-7.112	20	2.391	-0.388
4	-7.354	-6.286	21	3.145	-0.685
5	-7.240	-5.466	22	3.863	-1.061
6	-6.990	-4.678	23	4.536	-1.512
7	-6.841	-3.946	24	5.158	-2.032
8	-6.216	-3.256	25	5.720	-2.616
9	-5.720	-2.616	26	6.216	-3.257
10	-5.157	-2.032	27	6.641	-3.947
11	-4.536	-1.512	28	6.990	-4.678
12	-3.862	-1.061	29	7.261	-5.532
13	-3.145	-0.685	30	7.386	-6.420
14	-2.391	-0.388	31	7.361	-7.316
15	-1.609	-0.174	32	7.186	-8.196
16	-0.809	-0.044	33	6.867	-9.034
17	0.000	0.000			

3) 부재단면

구 분	B(m)	H(m)	A(m²)	I(m⁴)	부재번호
1	1.000	0.450	0.450	7.594E-3	1, 32
2	1.000	0.433	0.433	6.765E-3	2, 31
3	1.000	0.397	0.397	5.214E-3	3, 30
4	1.000	0.371	0.371	4.255E-3	4, 29
5	1.000	0.355	0.355	3.726E-3	5, 28
6	1.000	0.350	0.350	3.573E-3	6-27

4) 지반스프링계수

· 내부 라이닝과 지반과의 실제 거동을 고려하기 위하여 모든 인장 스프링 요소는 반복계산을 통하여 제거시킴.

$$k = \frac{E}{R} \times A = \frac{E}{R} \times L \times 1.0$$

여기서,

E : 터널 주변 암반의 탄성계수 (85,000 tonf/m²)

R : 콘크리트 라이닝 반경

L : 요소점유길이

구 분	탄성계수 E(tonf/m²)	터널반경 R(m)	부재길이 l(m)	지반스프링계수 k(tonf/m²)	부재번호
1	85,000	4.906	0.828	14,349	42-45
2	85,000	7.562	0.820	9,212	46
3	85,000	7.562	0.811	9,115	47-67
4	85,000	7.562	0.854	9,602	68
5	85,000	5.349	0.898	14,264	69-72

라. 작용하중

1) 자중

단위중량 $\gamma_c = 2.50 \text{ tonf/m}^3$ (PROGRAM 내에서 자동계산)

2) 암반이완하중

· 수정된 Terzaghi의 암반하중

· 패턴 V, VI 구간을 보통 정도의 블록상, 균열상의 암반상태로 분류하여 적용

$$H_p = 0.25B \sim 0.20(B + H)$$

$$= 0.25 \times 13.817 \sim 0.2(13.817 + 9.367)$$

$$= 3.45 \sim 4.64 \text{ m}$$

∴ 암반이완하중고 $H_p = 4.64 \text{ m}$ 를 고려

$$P_v = 4.64 \text{ m} \times 2.65 \text{ tonf/m}^3 = 12.30 \text{ tonf/m}^2$$

3) 온도하중(T)

강구부 구조물이 외부와 가까운 기상작용에 영향을 받으므로 온도에 대한 영향을 구조해석 단계에서 고려한다.

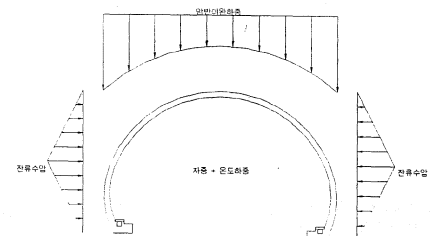
강구부 콘크리트 라이닝의 내·외측 온도차(Δt)는 $\pm 5^\circ\text{C}$ 를 적용한다.

4) 잔류수압(Q)

본 터널은 배수형으로서 이론적으로는 수압이 작용하지 않는다. 그러나 유도배수층인 부직포가 시간의 경과에 따라 제 기능을 발휘하지 못할 경우 내부라이닝은 잔류수압을 받게 되므로 다음과 같이 잔류수압을 터널 높이에 적용하였다.

$$Q = 0.5 \times H_t \times \gamma_w = 0.5 \times 9.367 \times 1.0 = 4.684 \text{ tonf/m}^2$$

절 점	절점좌표 Y(m)	암반이완하중고(m)	암반이완하중(tonf/m²)	잔류수압(tonf/m²)
1,33	-8.695	-	-	0.000
2,32	-7.923	-	-	0.937
3,31	-7.112	-	-	1.874
4,30	-6.286	10.926	28.954	2.811
5,29	-5.466	10.106	26.781	3.747
6,28	-4.678	9.318	24.693	4.684
7,27	-3.946	8.586	22.753	3.946
8,26	-3.256	7.896	20.924	3.256
9,25	-2.616	7.256	19.228	2.616
10,24	-2.032	6.672	17.681	2.032
11,23	-1.512	6.152	16.303	1.512
12,22	-1.061	5.701	15.108	1.061
13,21	-0.685	5.325	14.111	0.685
14,20	-0.388	5.028	13.324	0.388
15,19	-0.174	4.814	12.757	0.174
16,18	-0.044	4.684	12.413	0.044
17	0.000	4.640	12.296	0.000



마. 하중조합

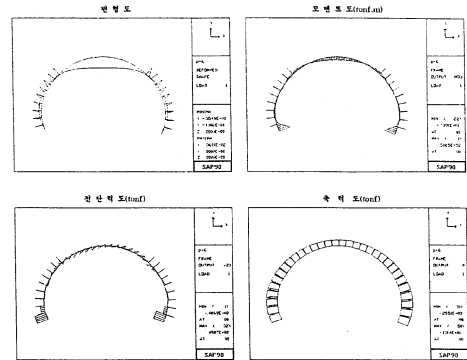
- CASE 1 = $1.54 \times \text{자중} + 1.54 \times \text{이완하중} + 1.5 \times \text{온도하중}(+5^{\circ}\text{C})$
 CASE 2 = $1.54 \times \text{자중} + 1.54 \times \text{이완하중} + 1.5 \times \text{온도하중}(-5^{\circ}\text{C})$
 CASE 3 = $1.54 \times \text{자중} + 1.54 \times \text{이완하중} + 1.5 \times \text{온도하중}(+5^{\circ}\text{C}) + 1.8 \times \text{잔류수압}$
 CASE 4 = $1.54 \times \text{자중} + 1.54 \times \text{이완하중} + 1.5 \times \text{온도하중}(-5^{\circ}\text{C}) + 1.8 \times \text{잔류수압}$
 CASE 5 = $1.00 \times \text{자중} + 1.00 \times \text{이완하중} + 1.0 \times \text{온도하중}(+5^{\circ}\text{C})$
 CASE 6 = $1.00 \times \text{자중} + 1.00 \times \text{이완하중} + 1.0 \times \text{온도하중}(-5^{\circ}\text{C})$
 CASE 7 = $1.00 \times \text{자중} + 1.00 \times \text{이완하중} + 1.0 \times \text{온도하중}(+5^{\circ}\text{C}) + 1.0 \times \text{잔류수압}$
 CASE 8 = $1.00 \times \text{자중} + 1.00 \times \text{이완하중} + 1.0 \times \text{온도하중}(-5^{\circ}\text{C}) + 1.0 \times \text{잔류수압}$

바. 구조계산 결과

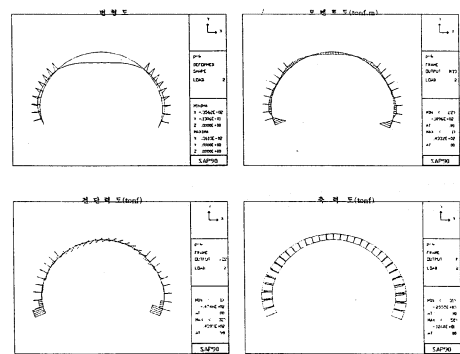
구분	모멘트(tonf · m)	축력(tonf)	전단력(tonf)	사용하중 모멘트(tonf · m)
측벽부	10.59	253.03	17.46	6.93
아치부	10.96	169.75	13.84	7.15
천장부	13.22	134.63	9.31	8.62

사. 단면력도

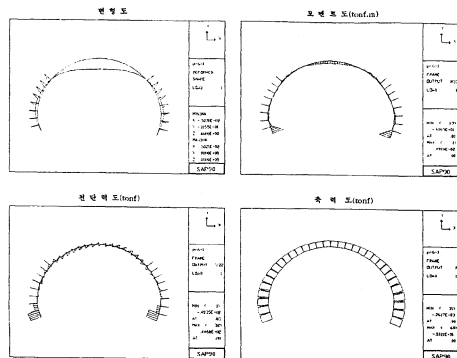
- 1) CASE 1 = $1.54 \times \text{자중} + 1.54 \times \text{이완하중} + 1.5 \times \text{온도하중}(+5^{\circ}\text{C})$



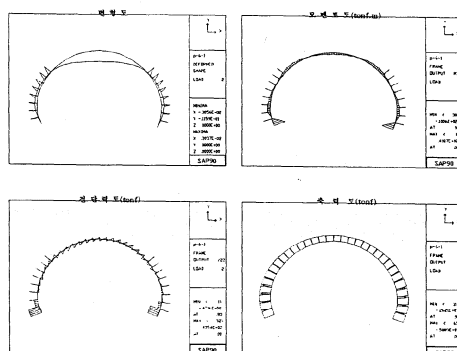
- 2) CASE 2 = $1.54 \times \text{자중} + 1.54 \times \text{이완하중} + 1.5 \times \text{온도하중}(-5^{\circ}\text{C})$



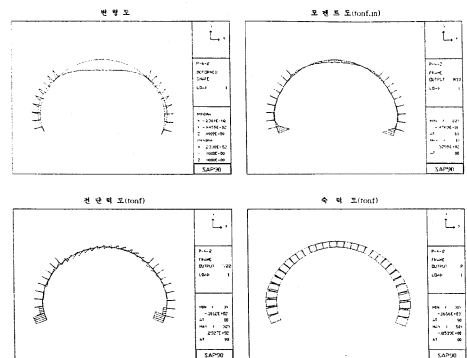
- 3) CASE 3 = $1.54 \times \text{자중} + 1.54 \times \text{이완하중} + 1.5 \times \text{온도하중}(+5^{\circ}\text{C}) + 1.8 \times \text{잔류수압}$



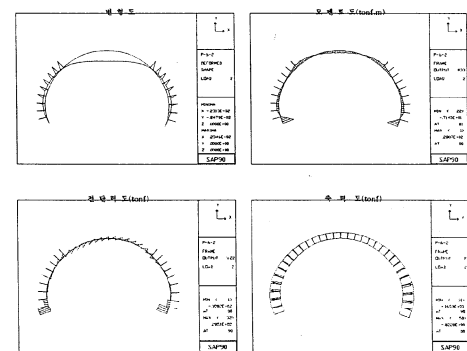
- 4) CASE 4 = $1.54 \times \text{자중} + 1.54 \times \text{이완하중} + 1.5 \times \text{온도하중}(-5^{\circ}\text{C}) + 1.8 \times \text{잔류수압}$



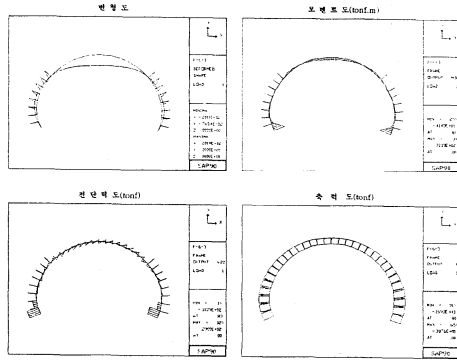
- 5) CASE 5 = $1.00 \times \text{자중} + 1.00 \times \text{이완하중} + 1.0 \times \text{온도하중}(+5^{\circ}\text{C})$



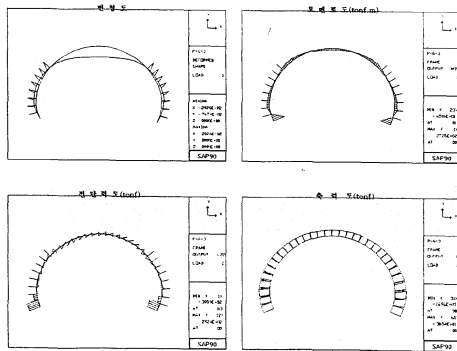
- 6) CASE 6 = $1.00 \times \text{자중} + 1.00 \times \text{이완하중} + 1.0 \times \text{온도하중}(-5^{\circ}\text{C})$



7) CASE 7 = 1.00×자중 + 1.00×이완하중 + 1.0×온도하중(+5℃) + 1.0×잔류수압



8) CASE 8 = 1.00×자중 + 1.00×이완하중 + 1.0×온도하중(-5℃) + 1.0×잔류수압



-183-

$$eb = Mb/Pb = 17.84 \text{ cm}$$

$$eb > e \rightarrow \text{압축파괴}$$

* 공칭 강도

$$c = 43.22 \text{ cm}, a = k_1'c = 36.73 \text{ cm} \text{ 라 가정하면}$$

$$fs = 6120(D-c)/c = -837.82 \text{ kgf/cm}^2 < 0 \rightarrow fs = -fs \text{ (압축)}$$

$$fs' = 6120(c-d)/c = 5270.32 \text{ kgf/cm}^2 > fy \rightarrow fs' = fy$$

$$Cc = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot a \cdot B = 749370 \text{ kgf}$$

$$Cs = As \cdot (fs' - 0.85 \cdot f_{ck}) = 86587 \text{ kgf} \quad T = As \cdot (fs + 0.85 \cdot f_{ck}) = -19628 \text{ kgf}$$

$$Pn = Cc + Cs - T = 855595 \text{ kgf} = 855.58 \text{ tonf}$$

$$Mn' = Cc \cdot (D - a/2) + Cs \cdot (D - d') = 16898046 \text{ kgf.cm} = 168.98 \text{ tonf} \cdot \text{m}$$

$$e' = e + d' = 19.74 \text{ cm}$$

$$\text{오차} = |e' - Mn'/Pn| = 0.008 \text{ cm} < 0.01 \dots \text{가정만족}$$

* 강도 검토

$$\phi_c Pn = 598.91 \text{ tonf} > Pu = 253.03 \text{ tonf} \dots \text{만족}$$

$$\phi_c Mn = \phi_c (Pn \cdot e) = 25.07 \text{ tonf} \cdot \text{m} > Mu = 10.59 \text{ tonf} \cdot \text{m} \dots \text{만족}$$

* 철근비 검토

- 최소철근비 검토

$$\text{철근항복강도 } fy < 4000.0 \text{ kgf/cm}^2 \text{ 사용 최소철근직경 (D22)} > 16\text{mm}$$

$$\text{사용 철근비 } \rho = (As + As')/(B \cdot H) = 0.0143 > \text{최소 철근비} = 0.0015 \dots \text{만족}$$

* 전단설계

$$\phi_v Sc = \phi_v 0.53 \cdot (1 + 0.0071 \cdot Pu/Ag) \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot B \cdot D / 1000 = 34.67 \text{ tonf}$$

$$Su \leq \phi_v Sc \dots \text{전단보강철근 필요없음.}$$

$$\text{최소간격 } s = \min(60\text{cm}, 0.5D) = 18.6 \text{ cm}$$

-185-

아. 단면 검토

$$\text{콘크리트 설계기준강도 } f_{ck} = 240 \text{ kgf/cm}^2 \quad \text{철근항복강도 } fy = 3000 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\text{등가직사각형 응력분포의 깊이를 구하기 위한 유효 깊이 계수 } k_1 = 0.850$$

$$\text{압축부재 강도감소계수 } \phi_c = 0.70 \quad \text{휨 강도감소계수 } \phi_f = 0.85 \quad \text{전단 강도감소계수 } \phi_v = 0.80$$

>> 축력 부

$$\text{설계단면력 : 모멘트 } Mu = 10.59 \text{ tonf} \cdot \text{m} \quad \text{축력 } Pu = 253.03 \text{ tonf} \quad \text{전단력 } Su = 17.46 \text{ tonf}$$

$$\text{편심 } e = Mu \cdot 100 / Pu = 4.19 \text{ cm}$$

$$\text{사용단면 : 두께 } H = 43.3 \text{ cm} \quad \text{폭 } B = 100.0 \text{ cm}$$

$$\text{인장철근 : D22@125 (} As = 30.97 \text{ cm}^2 \text{)} \quad \text{철근중심 } dc = 6.00 \text{ cm}$$

$$\text{유효두께 } D = H - dc = 37.30 \text{ cm}$$

$$\text{압축철근 : D22@125 (} As' = 30.97 \text{ cm}^2 \text{)} \quad \text{철근중심 } d' = 6.00 \text{ cm}$$

* 평형하중 산정

- 소성중심

$$Cc = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot Ag = 883320 \text{ kgf}$$

$$Cs1 = As \cdot fy = 92904 \text{ kgf} \quad Cs2 = As' \cdot (fy - 0.85 \cdot f_{ck}) = 86587 \text{ kgf}$$

$$Xp = [Cc \cdot H/2 + Cs1 \cdot dc + Cs2 \cdot (H - d')]/(Cc + Cs1 + Cs2) = 21.56 \text{ cm}$$

$$d'' = Xp - h + d = 15.56 \text{ cm}$$

- 평형상태

$$cb = 6120/(6120 + fy) \cdot D = 25.03 \text{ cm} \quad ab = k_1' \cdot cb = 21.28 \text{ cm}$$

$$fs' = 6120 \cdot (cb - d')/cb = 4852.98 \text{ kgf/cm}^2 > fy \Rightarrow fs' = fy$$

$$Cc = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot ab \cdot B = 434025 \text{ kgf}$$

$$T = As \cdot fy = 92904 \text{ kgf}$$

$$Cs = As' \cdot (fs' - 0.85 \cdot f_{ck}) = 86587 \text{ kgf}$$

- 평형하중 및 편심

$$Pb = Cc + Cs - T = 427707 \text{ kgf} = 427.71 \text{ tonf}$$

$$Mb = Cc \cdot (d - ab/2 - d') + Cs \cdot (d - d' - d'') + T \cdot d'' = 7628355 \text{ kgf.cm} = 76.28 \text{ tonf} \cdot \text{m}$$

-184-

>> 아 치 부

$$\text{설계단면력 : 모멘트 } Mu = 10.96 \text{ tonf} \cdot \text{m} \quad \text{축력 } Pu = 169.75 \text{ tonf} \quad \text{전단력 } Su = 13.84 \text{ tonf}$$

$$\text{편심 } e = Mu \cdot 100 / Pu = 6.46 \text{ cm}$$

$$\text{사용단면 : 두께 } H = 35.0 \text{ cm} \quad \text{폭 } B = 100.0 \text{ cm}$$

$$\text{인장철근 : D22@125 (} As = 30.97 \text{ cm}^2 \text{)} \quad \text{철근중심 } dc = 6.00 \text{ cm}$$

$$\text{유효두께 } D = H - dc = 29.00 \text{ cm}$$

$$\text{압축철근 : D22@125 (} As' = 30.97 \text{ cm}^2 \text{)} \quad \text{철근중심 } d' = 6.00 \text{ cm}$$

* 평형하중 산정

- 소성중심

$$Cc = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot Ag = 714000 \text{ kgf}$$

$$Cs1 = As \cdot fy = 92904 \text{ kgf} \quad Cs2 = As' \cdot (fy - 0.85 \cdot f_{ck}) = 86587 \text{ kgf}$$

$$Xp = [Cc \cdot H/2 + Cs1 \cdot dc + Cs2 \cdot (H - d')]/(Cc + Cs1 + Cs2) = 17.42 \text{ cm}$$

$$d'' = Xp - h + d = 11.42 \text{ cm}$$

- 평형상태

$$cb = 6120/(6120 + fy) \cdot D = 19.46 \text{ cm} \quad ab' = k_1' \cdot cb = 16.54 \text{ cm}$$

$$fs' = 6120 \cdot (cb - d')/cb = 4233.10 \text{ kgf/cm}^2 > fy \Rightarrow fs' = fy$$

$$Cc = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot ab' \cdot B = 337446 \text{ kgf}$$

$$T = As \cdot fy = 92904 \text{ kgf}$$

$$Cs = As' \cdot (fs' - 0.85 \cdot f_{ck}) = 86587 \text{ kgf}$$

- 평형하중 및 편심

$$Pb = Cc + Cs - T = 331128 \text{ kgf} = 331.13 \text{ tonf}$$

$$Mb = Cc \cdot (d - ab'/2 - d') + Cs \cdot (d - d' - d'') + T \cdot d'' = 5205444 \text{ kgf.cm} = 52.05 \text{ tonf} \cdot \text{m}$$

$$eb = Mb/Pb = 15.72 \text{ cm}$$

$$eb > e \rightarrow \text{압축파괴}$$

-186-

• 공칭 강도

$c = 28.54 \text{ cm}, \quad a = k_1 \cdot c = 24.26 \text{ cm}$ 라 가정하면
 $f_s = 6120 \cdot (D-c)/c = 98.93 \text{ kgf/cm}^2 < f_y$
 $f_s' = 6120 \cdot (c-d')/c = 4833.32 \text{ kgf/cm}^2 > f_y \rightarrow f_s' = f_y$
 $C_c = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot a \cdot B = 494860 \text{ kgf}$
 $C_s = A_s' \cdot (f_s' - 0.85 \cdot f_{ck}) = 86587 \text{ kgf} \quad T = A_s' \cdot f_s = 3064 \text{ kgf}$
 $P_n = C_c + C_s - T = 578383 \text{ kgf} = 578.38 \text{ tonf}$
 $M_n' = C_c \cdot (D - a / 2) + C_s \cdot (D - d') = 10340314 \text{ kgf.cm} = 103.40 \text{ tonf} \cdot \text{m}$
 $e' = e + d' = 17.88 \text{ cm}$
 $\text{오차} = |e' - M_n/P_n| = 0.003 \text{ cm} < 0.01 \dots \text{가정만족}$

• 강도 검토

$\phi_c P_n = 404.87 \text{ tonf} > P_u = 169.75 \text{ tonf} \dots \text{만족}$
 $\phi_c M_n = \phi_c (P_n \cdot e) = 26.14 \text{ tonf} \cdot \text{m} > M_u = 10.96 \text{ tonf} \cdot \text{m} \dots \text{만족}$

• 철근비 검토

- 최소철근비 검토
철근항복강도 $f_y < 4000.0 \text{ kgf/cm}^2$ 사용 최소철근직경 (D22) $> 16\text{mm}$
사용 철근비 $\rho = (A_s + A_s')/(B \cdot H) = 0.0177 > \rho_{\min} = 0.0015 \dots \text{만족}$

• 전단설계

$\phi_v V_c = \phi_v \cdot 0.53 \cdot (1 + 0.0071 \cdot P_u / A_g) \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot B \cdot D / 1000 = 25.61 \text{ tonf}$
 $S_u \leq \phi_v V_c \dots \text{전단보강철근 필요없음.}$
최소간격 $s = \min (60\text{cm}, 0.5D) = 14.5 \text{ cm}$

>> 전 정 부

설계단면력 : 모멘트 $M_u = 13.22 \text{ tonf} \cdot \text{m}$ 축력 $P_u = 134.63 \text{ tonf}$ 전단력 $S_u = 9.31 \text{ tonf}$
편심 $e = M_u \cdot 100 / P_u = 9.82 \text{ cm}$
사용단면 : 두께 $H = 35.0 \text{ cm}$ 폭 $B = 100.0 \text{ cm}$
인장철근 : D22@125 ($A_s = 30.97 \text{ cm}^2$) 철근중심 $dc = 6.00 \text{ cm}$
유효두께 $D = H - dc = 29.00 \text{ cm}$
압축철근 : D22@125 ($A_s' = 30.97 \text{ cm}^2$) 철근중심 $d' = 6.00 \text{ cm}$

• 평형하중 산정

- 소성중심

$C_c = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot A_g = 714000 \text{ kgf}$
 $C_{s1} = A_s \cdot f_y = 92904 \text{ kgf} \quad C_{s2} = A_s' \cdot (f_y - 0.85 \cdot f_{ck}) = 86587 \text{ kgf}$
 $X_p = [C_c \cdot H / 2 + C_{s1} \cdot dc + C_{s2} \cdot (H - d')] / (C_c + C_{s1} + C_{s2}) = 17.42 \text{ cm}$
 $d' = X_p - h + d = 11.42 \text{ cm}$

- 평형상태

$cb = 6120 / (6120 + f_y) \cdot D = 19.46 \text{ cm} \quad ab = k_1 \cdot cb = 16.54 \text{ cm}$
 $f_s' = 6120 \cdot (cb - d') / cb = 4233.10 \text{ kgf/cm}^2 > f_y \Rightarrow f_s' = f_y$
 $C_c = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot ab \cdot B = 337446 \text{ kgf}$
 $T = A_s \cdot f_y = 92904 \text{ kgf}$
 $C_s = A_s' \cdot (f_s' - 0.85 \cdot f_{ck}) = 86587 \text{ kgf}$

- 평형하중 및 편심

$P_b = C_c + C_s - T = 331128 \text{ kgf} = 331.13 \text{ tonf}$
 $M_b = C_c \cdot (d - ab / 2 - d') + C_s \cdot (d - d' - d') + T \cdot d' = 5205444 \text{ kgf.cm} = 52.05 \text{ tonf} \cdot \text{m}$
 $eb = M_b / P_b = 15.72 \text{ cm}$

$eb > e \rightarrow \text{압축파괴}$

• 공칭 강도

$c = 23.94 \text{ cm}, \quad a = k_1 \cdot c = 20.35 \text{ cm}$ 라 가정하면
 $f_s = 6120 \cdot (D-c)/c = 1292.02 \text{ kgf/cm}^2 < f_y$
 $f_s' = 6120 \cdot (c-d')/c = 4586.48 \text{ kgf/cm}^2 > f_y \rightarrow f_s' = f_y$
 $C_c = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot a \cdot B = 415205 \text{ kgf}$
 $C_s = A_s' \cdot (f_s' - 0.85 \cdot f_{ck}) = 86587 \text{ kgf} \quad T = A_s' \cdot f_s = 40011 \text{ kgf}$
 $P_n = C_c + C_s - T = 461780 \text{ kgf} = 461.78 \text{ tonf}$
 $M_n' = C_c \cdot (D - a / 2) + C_s \cdot (D - d') = 9807060 \text{ kgf.cm} = 98.07 \text{ tonf} \cdot \text{m}$
 $e' = e + d' = 21.24 \text{ cm}$
 $\text{오차} = |e' - M_n/P_n| = 0.001 \text{ cm} < 0.01 \dots \text{가정만족}$

• 강도 검토

$\phi_c P_n = 323.25 \text{ tonf} > P_u = 134.63 \text{ tonf} \dots \text{만족}$
 $\phi_c M_n = \phi_c (P_n \cdot e) = 31.74 \text{ tonf} \cdot \text{m} > M_u = 13.22 \text{ tonf} \cdot \text{m} \dots \text{만족}$

• 철근비 검토

- 최소철근비 검토
철근항복강도 $f_y < 4000.0 \text{ kgf/cm}^2$ 사용 최소철근직경 (D22) $> 16\text{mm}$
사용 철근비 $\rho = (A_s + A_s')/(B \cdot H) = 0.0177 > \rho_{\min} = 0.0015 \dots \text{만족}$

• 전단설계

$\phi_v V_c = \phi_v \cdot 0.53 \cdot (1 + 0.0071 \cdot P_u / A_g) \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot B \cdot D / 1000 = 24.25 \text{ tonf}$
 $S_u \leq \phi_v V_c \dots \text{전단보강철근 필요없음.}$
최소간격 $s = \min (60\text{cm}, 0.5D) = 14.5 \text{ cm}$

=====

균열 검토

=====

콘크리트 설계기준강도 $f_{ck} = 240 \text{ kgf/cm}^2$
철근항복강도 $f_y = 3000 \text{ kgf/cm}^2$
콘크리트 탄성계수 $E_c = 15000 \cdot \sqrt{f_{ck}} = 232379.0 \text{ kgf/cm}^2$
철근의 탄성계수 $E_s = 2040000 \text{ kgf/cm}^2$ 탄성계수비 $n = E_s / E_c = 8.78$

>> 축력부

사용 하중 모멘트 : $M_o = 6.93 \text{ tonf} \cdot \text{m}$
사용 단면 두께 : $H = 43.30 \text{ cm}$ 폭 : $B = 100.00 \text{ cm}$
부식에 대한 환경조건 : 일반 환경 (0.005C)

인장철근 : 8 -D22 ($A_s = 30.97 \text{ cm}^2$) 피복 : $dc_1 = 6.00 \text{ cm}$
압축철근 : 8 -D22 ($A_s' = 30.97 \text{ cm}^2$) 피복 : $d'_1 = 6.00 \text{ cm}$

허용 균열폭 $W_a = 0.005C = 0.245 \text{ mm}$
 $\rightarrow C = \text{최외단철근덮개} = dc_1 - \text{주철근 } D/2 = 49.00 \text{ mm}$

인장철근중심거리 $d_{cg} = dc_1 = 6.00 \text{ cm}$
압축철근중심거리 $d_{cg}' = d'_1 = 6.00 \text{ cm}$
인장철근비 $p = A_s / [(H - d_{cg}) \cdot B] = 0.0083$
압축철근비 $p' = A_s' / [(H - d_{cg}') \cdot B] = 0.0083$
중립축비 $k = -n(p + 2p') + \sqrt{[n^2 (p + 2p')^2 + 2n(p + 2p')(d/d)]} = 0.2717$
 $j = (1 - d_{cg}/d) - k^2 \cdot (k/3 - d_{cg}/d) / [2np'(1 - k)] = 0.8880$

철근열폭 $W = 1.06 \cdot R \cdot f_s^{+3} \cdot \sqrt{(dc \cdot A)} / 100000 = 0.08441 \text{ mm}$
 $\rightarrow f_s = M_o / (A_s \cdot j \cdot d) = 675.59 \text{ kgf/cm}^2$
 $R = (H - k \cdot d) / (D - k \cdot d) = 1.221$
 $dc = 6.00 \text{ cm}$
 $A = 2 \cdot d_{cg} \cdot B / \text{철근총갯수} = 150.00 \text{ cm}^2$

38 TRAP= 0 -1.061 0 -1 -1.512 0
 39 TRAP= 0 -1.512 0 -1 -2.032 0
 40 TRAP= 0 -2.032 0 -1 -2.616 0
 41 TRAP= 0 -2.616 0 -1 -3.257 0
 42 TRAP= 0 -3.257 0 -1 -3.947 0
 43 TRAP= 0 -3.947 0 -1 -4.684 0
 44 TRAP= 0 -4.684 0 -1 -5.477 0
 45 TRAP= 0 -5.477 0 -1 -6.321 0
 46 TRAP= 0 -6.321 0 -1 -7.174 0
 47 TRAP= 0 -7.174 0 -1 -8.037 0
 48 TRAP= 0 -8.037 0 -1 -8.900 0

C Pd Pv T T W
 1 1 2 N=1 2 LP=1 NSL= 0 0 0 15 16 17
 2 2 3 N=2 3 NSL= 0 0 0 15 16 18
 3 3 4 N=3 4 NSL= 0 0 0 15 16 19
 4 4 5 N=4 5 NSL= 0 1 2 15 16 20
 5 5 6 N=5 6 NSL= 0 1 3 15 16 21
 6 6 7 N=6 7 NSL= 0 1 4 15 16 22
 7 7 8 N=7 8 NSL= 0 1 5 15 16 23
 8 8 9 N=8 9 NSL= 0 1 6 15 16 24
 9 9 10 N=9 10 NSL= 0 1 7 15 16 25
 10 10 11 N=10 11 NSL= 0 1 8 15 16 26
 11 11 12 N=11 12 NSL= 0 1 9 15 16 27
 12 12 13 N=12 13 NSL= 0 1 10 15 16 28
 13 13 14 N=13 14 NSL= 0 1 11 15 16 29
 14 14 15 N=14 15 NSL= 0 1 12 15 16 30
 15 15 16 N=15 16 NSL= 0 1 13 15 16 31
 16 16 17 N=16 17 NSL= 0 1 14 15 16 32
 17 17 18 N=17 18 NSL= 0 1 15 16 33
 18 18 19 N=18 19 NSL= 0 1 16 15 16 34
 19 19 20 N=19 20 NSL= 0 1 17 15 16 35
 20 20 21 N=20 21 NSL= 0 1 18 15 16 36
 21 21 22 N=21 22 NSL= 0 1 19 15 16 37
 22 22 23 N=22 23 NSL= 0 1 20 15 16 38
 23 23 24 N=23 24 NSL= 0 1 21 15 16 39
 24 24 25 N=24 25 NSL= 0 1 22 15 16 40
 25 25 26 N=25 26 NSL= 0 1 23 15 16 41
 26 26 27 N=26 27 NSL= 0 1 24 15 16 42
 27 27 28 N=27 28 NSL= 0 1 25 15 16 43
 28 28 29 N=28 29 NSL= 0 1 26 15 16 44
 29 29 30 N=29 30 NSL= 0 1 27 15 16 45
 30 30 31 N=30 31 NSL= 0 1 28 15 16 46
 31 31 32 N=31 32 NSL= 0 1 29 15 16 47
 32 32 33 N=32 33 NSL= 0 1 30 15 16 48
 33 33 34 N=33 34 NSL= 0 1 31 15 16 49
 34 34 35 N=34 35 NSL= 0 1 32 15 16 50
 35 35 36 N=35 36 NSL= 0 1 33 15 16 51
 36 36 37 N=36 37 NSL= 0 1 34 15 16 52
 37 37 38 N=37 38 NSL= 0 1 35 15 16 53
 38 38 39 N=38 39 NSL= 0 1 36 15 16 54
 39 39 40 N=39 40 NSL= 0 1 37 15 16 55
 40 40 41 N=40 41 NSL= 0 1 38 15 16 56
 41 41 42 N=41 42 NSL= 0 1 39 15 16 57
 42 42 43 N=42 43 NSL= 0 1 40 15 16 58
 43 43 44 N=43 44 NSL= 0 1 41 15 16 59
 44 44 45 N=44 45 NSL= 0 1 42 15 16 60
 45 45 46 N=45 46 NSL= 0 1 43 15 16 61
 46 46 47 N=46 47 NSL= 0 1 44 15 16 62
 47 47 48 N=47 48 NSL= 0 1 45 15 16 63
 48 48 49 N=48 49 NSL= 0 1 46 15 16 64
 49 49 50 N=49 50 NSL= 0 1 47 15 16 65
 50 50 51 N=50 51 NSL= 0 1 48 15 16 66
 51 51 52 N=51 52 NSL= 0 1 49 15 16 67
 52 52 53 N=52 53 NSL= 0 1 50 15 16 68
 53 53 54 N=53 54 NSL= 0 1 51 15 16 69
 54 54 55 N=54 55 NSL= 0 1 52 15 16 70
 55 55 56 N=55 56 NSL= 0 1 53 15 16 71
 56 56 57 N=56 57 NSL= 0 1 54 15 16 72
 57 57 58 N=57 58 NSL= 0 1 55 15 16 73
 58 58 59 N=58 59 NSL= 0 1 56 15 16 74
 59 59 60 N=59 60 NSL= 0 1 57 15 16 75
 60 60 61 N=60 61 NSL= 0 1 58 15 16 76
 61 61 62 N=61 62 NSL= 0 1 59 15 16 77
 62 62 63 N=62 63 NSL= 0 1 60 15 16 78
 63 63 64 N=63 64 NSL= 0 1 61 15 16 79
 64 64 65 N=64 65 NSL= 0 1 62 15 16 80
 65 65 66 N=65 66 NSL= 0 1 63 15 16 81
 66 66 67 N=66 67 NSL= 0 1 64 15 16 82
 67 67 68 N=67 68 NSL= 0 1 65 15 16 83
 68 68 69 N=68 69 NSL= 0 1 66 15 16 84
 69 69 70 N=69 70 NSL= 0 1 67 15 16 85
 70 70 71 N=70 71 NSL= 0 1 68 15 16 86
 71 71 72 N=71 72 NSL= 0 1 69 15 16 87
 72 72 73 N=72 73 NSL= 0 1 70 15 16 88
 73 73 74 N=73 74 NSL= 0 1 71 15 16 89
 74 74 75 N=74 75 NSL= 0 1 72 15 16 90
 75 75 76 N=75 76 NSL= 0 1 73 15 16 91
 76 76 77 N=76 77 NSL= 0 1 74 15 16 92
 77 77 78 N=77 78 NSL= 0 1 75 15 16 93
 78 78 79 N=78 79 NSL= 0 1 76 15 16 94
 79 79 80 N=79 80 NSL= 0 1 77 15 16 95
 80 80 81 N=80 81 NSL= 0 1 78 15 16 96
 81 81 82 N=81 82 NSL= 0 1 79 15 16 97
 82 82 83 N=82 83 NSL= 0 1 80 15 16 98
 83 83 84 N=83 84 NSL= 0 1 81 15 16 99
 84 84 85 N=84 85 NSL= 0 1 82 15 16 100
 85 85 86 N=85 86 NSL= 0 1 83 15 16 101
 86 86 87 N=86 87 NSL= 0 1 84 15 16 102
 87 87 88 N=87 88 NSL= 0 1 85 15 16 103
 88 88 89 N=88 89 NSL= 0 1 86 15 16 104
 89 89 90 N=89 90 NSL= 0 1 87 15 16 105
 90 90 91 N=90 91 NSL= 0 1 88 15 16 106
 91 91 92 N=91 92 NSL= 0 1 89 15 16 107
 92 92 93 N=92 93 NSL= 0 1 90 15 16 108
 93 93 94 N=93 94 NSL= 0 1 91 15 16 109
 94 94 95 N=94 95 NSL= 0 1 92 15 16 110
 95 95 96 N=95 96 NSL= 0 1 93 15 16 111
 96 96 97 N=96 97 NSL= 0 1 94 15 16 112
 97 97 98 N=97 98 NSL= 0 1 95 15 16 113
 98 98 99 N=98 99 NSL= 0 1 96 15 16 114
 99 99 100 N=99 100 NSL= 0 1 97 15 16 115
 100 100 101 N=100 101 NSL= 0 1 98 15 16 116
 101 101 102 N=101 102 NSL= 0 1 99 15 16 117
 102 102 103 N=102 103 NSL= 0 1 100 15 16 118
 103 103 104 N=103 104 NSL= 0 1 101 15 16 119
 104 104 105 N=104 105 NSL= 0 1 102 15 16 120
 105 105 106 N=105 106 NSL= 0 1 103 15 16 121
 106 106 107 N=106 107 NSL= 0 1 104 15 16 122
 107 107 108 N=107 108 NSL= 0 1 105 15 16 123
 108 108 109 N=108 109 NSL= 0 1 106 15 16 124
 109 109 110 N=109 110 NSL= 0 1 107 15 16 125
 110 110 111 N=110 111 NSL= 0 1 108 15 16 126
 111 111 112 N=111 112 NSL= 0 1 109 15 16 127
 112 112 113 N=112 113 NSL= 0 1 110 15 16 128
 113 113 114 N=113 114 NSL= 0 1 111 15 16 129
 114 114 115 N=114 115 NSL= 0 1 112 15 16 130
 115 115 116 N=115 116 NSL= 0 1 113 15 16 131
 116 116 117 N=116 117 NSL= 0 1 114 15 16 132
 117 117 118 N=117 118 NSL= 0 1 115 15 16 133
 118 118 119 N=118 119 NSL= 0 1 116 15 16 134
 119 119 120 N=119 120 NSL= 0 1 117 15 16 135
 120 120 121 N=120 121 NSL= 0 1 118 15 16 136
 121 121 122 N=121 122 NSL= 0 1 119 15 16 137
 122 122 123 N=122 123 NSL= 0 1 120 15 16 138
 123 123 124 N=123 124 NSL= 0 1 121 15 16 139
 124 124 125 N=124 125 NSL= 0 1 122 15 16 140
 125 125 126 N=125 126 NSL= 0 1 123 15 16 141
 126 126 127 N=126 127 NSL= 0 1 124 15 16 142
 127 127 128 N=127 128 NSL= 0 1 125 15 16 143
 128 128 129 N=128 129 NSL= 0 1 126 15 16 144
 129 129 130 N=129 130 NSL= 0 1 127 15 16 145
 130 130 131 N=130 131 NSL= 0 1 128 15 16 146
 131 131 132 N=131 132 NSL= 0 1 129 15 16 147
 132 132 133 N=132 133 NSL= 0 1 130 15 16 148
 133 133 134 N=133 134 NSL= 0 1 131 15 16 149
 134 134 135 N=134 135 NSL= 0 1 132 15 16 150
 135 135 136 N=135 136 NSL= 0 1 133 15 16 151
 136 136 137 N=136 137 NSL= 0 1 134 15 16 152
 137 137 138 N=137 138 NSL= 0 1 135 15 16 153
 138 138 139 N=138 139 NSL= 0 1 136 15 16 154
 139 139 140 N=139 140 NSL= 0 1 137 15 16 155
 140 140 141 N=140 141 NSL= 0 1 138 15 16 156
 141 141 142 N=141 142 NSL= 0 1 139 15 16 157
 142 142 143 N=142 143 NSL= 0 1 140 15 16 158
 143 143 144 N=143 144 NSL= 0 1 141 15 16 159
 144 144 145 N=144 145 NSL= 0 1 142 15 16 160
 145 145 146 N=145 146 NSL= 0 1 143 15 16 161
 146 146 147 N=146 147 NSL= 0 1 144 15 16 162
 147 147 148 N=147 148 NSL= 0 1 145 15 16 163
 148 148 149 N=148 149 NSL= 0 1 146 15 16 164
 149 149 150 N=149 150 NSL= 0 1 147 15 16 165
 150 150 151 N=150 151 NSL= 0 1 148 15 16 166
 151 151 152 N=151 152 NSL= 0 1 149 15 16 167
 152 152 153 N=152 153 NSL= 0 1 150 15 16 168
 153 153 154 N=153 154 NSL= 0 1 151 15 16 169
 154 154 155 N=154 155 NSL= 0 1 152 15 16 170
 155 155 156 N=155 156 NSL= 0 1 153 15 16 171
 156 156 157 N=156 157 NSL= 0 1 154 15 16 172
 157 157 158 N=157 158 NSL= 0 1 155 15 16 173
 158 158 159 N=158 159 NSL= 0 1 156 15 16 174
 159 159 160 N=159 160 NSL= 0 1 157 15 16 175
 160 160 161 N=160 161 NSL= 0 1 158 15 16 176
 161 161 162 N=161 162 NSL= 0 1 159 15 16 177
 162 162 163 N=162 163 NSL= 0 1 160 15 16 178
 163 163 164 N=163 164 NSL= 0 1 161 15 16 179
 164 164 165 N=164 165 NSL= 0 1 162 15 16 180
 165 165 166 N=165 166 NSL= 0 1 163 15 16 181
 166 166 167 N=166 167 NSL= 0 1 164 15 16 182
 167 167 168 N=167 168 NSL= 0 1 165 15 16 183
 168 168 169 N=168 169 NSL= 0 1 166 15 16 184
 169 169 170 N=169 170 NSL= 0 1 167 15 16 185
 170 170 171 N=170 171 NSL= 0 1 168 15 16 186
 171 171 172 N=171 172 NSL= 0 1 169 15 16 187
 172 172 173 N=172 173 NSL= 0 1 170 15 16 188
 173 173 174 N=173 174 NSL= 0 1 171 15 16 189
 174 174 175 N=174 175 NSL= 0 1 172 15 16 190
 175 175 176 N=175 176 NSL= 0 1 173 15 16 191
 176 176 177 N=176 177 NSL= 0 1 174 15 16 192
 177 177 178 N=177 178 NSL= 0 1 175 15 16 193
 178 178 179 N=178 179 NSL= 0 1 176 15 16 194
 179 179 180 N=179 180 NSL= 0 1 177 15 16 195
 180 180 181 N=180 181 NSL= 0 1 178 15 16 196
 181 181 182 N=181 182 NSL= 0 1 179 15 16 197
 182 182 183 N=182 183 NSL= 0 1 180 15 16 198
 183 183 184 N=183 184 NSL= 0 1 181 15 16 199
 184 184 185 N=184 185 NSL= 0 1 182 15 16 200
 185 185 186 N=185 186 NSL= 0 1 183 15 16 201
 186 186 187 N=186 187 NSL= 0 1 184 15 16 202
 187 187 188 N=187 188 NSL= 0 1 185 15 16 203
 188 188 189 N=188 189 NSL= 0 1 186 15 16 204
 189 189 190 N=189 190 NSL= 0 1 187 15 16 205
 190 190 191 N=190 191 NSL= 0 1 188 15 16 206
 191 191 192 N=191 192 NSL= 0 1 189 15 16 207
 192 192 193 N=192 193 NSL= 0 1 190 15 16 208
 193 193 194 N=193 194 NSL= 0 1 191 15 16 209
 194 194 195 N=194 195 NSL= 0 1 192 15 16 210
 195 195 196 N=195 196 NSL= 0 1 193 15 16 211
 196 196 197 N=196 197 NSL= 0 1 194 15 16 212
 197 197 198 N=197 198 NSL= 0 1 195 15 16 213
 198 198 199 N=198 199 NSL= 0 1 196 15 16 214
 199 199 200 N=199 200 NSL= 0 1 197 15 16 215
 200 200 201 N=200 201 NSL= 0 1 198 15 16 216
 201 201 202 N=201 202 NSL= 0 1 199 15 16 217
 202 202 203 N=202 203 NSL= 0 1 200 15 16 218
 203 203 204 N=203 204 NSL= 0 1 201 15 16 219
 204 204 205 N=204 205 NSL= 0 1 202 15 16 220
 205 205 206 N=205 206 NSL= 0 1 203 15 16 221
 206 206 207 N=206 207 NSL= 0 1 204 15 16 222
 207 207 208 N=207 208 NSL= 0 1 205 15 16 223
 208 208 209 N=208 209 NSL= 0 1 206 15 16 224
 209 209 210 N=209 210 NSL= 0 1 207 15 16 225
 210 210 211 N=210 211 NSL= 0 1 208 15 16 226
 211 211 212 N=211 212 NSL= 0 1 209 15 16 227
 212 212 213 N=212 213 NSL= 0 1 210 15 16 228
 213 213 214 N=213 214 NSL= 0 1 211 15 16 229
 214 214 215 N=214 215 NSL= 0 1 212 15 16 230
 215 215 216 N=215 216 NSL= 0 1 213 15 16 231
 216 216 217 N=216 217 NSL= 0 1 214 15 16 232
 217 217 218 N=217 218 NSL= 0 1 215 15 16 233
 218 218 219 N=218 219 NSL= 0 1 216 15 16 234
 219 219 220 N=219 220 NSL= 0 1 217 15 16 235
 220 220 221 N=220 221 NSL= 0 1 218 15 16 236
 221 221 222 N=221 222 NSL= 0 1 219 15 16 237
 222 222 223 N=222 223 NSL= 0 1 220 15 16 238
 223 223 224 N=223 224 NSL= 0 1 221 15 16 239
 224 224 225 N=224 225 NSL= 0 1 222 15 16 240
 225 225 226 N=225 226 NSL= 0 1 223 15 16 241
 226 226 227 N=226 227 NSL= 0 1 224 15 16 242
 227 227 228 N=227 228 NSL= 0 1 225 15 16 243
 228 228 229 N=228 229 NSL= 0 1 226 15 16 244
 229 229 230 N=229 230 NSL= 0 1 227 15 16 245
 230 230 231 N=230 231 NSL= 0 1 228 15 16 246
 231 231 232 N=231 232 NSL= 0 1 229 15 16 247
 232 232 233 N=232 233 NSL= 0 1 230 15 16 248
 233 233 234 N=233 234 NSL= 0 1 231 15 16 249
 234 234 235 N=234 235 NSL= 0 1 232 15 16 250
 235 235 236 N=235 236 NSL= 0 1 233 15 16 251
 236 236 237 N=236 237 NSL= 0 1 234 15 16 252
 237 237 238 N=237 238 NSL= 0 1 235 15 16 253
 238 238 239 N=238 239 NSL= 0 1 236 15 16 254
 239 239 240 N=239 240 NSL= 0 1 237 15 16 255
 240 240 241 N=240 241 NSL= 0 1 238 15 16 256
 241 241 242 N=241 242 NSL= 0 1 239 15 16 257
 242 242 243 N=242 243 NSL= 0 1 240 15 16 258
 243 243 244 N=243 244 NSL= 0 1 241 15 16 259
 244 244 245 N=244 245 NSL= 0 1 242 15 16 260
 245 245 246 N=245 246 NSL= 0 1 243 15 16 261
 246 246 247 N=246 247 NSL= 0 1 244 15 16 262
 247 247 248 N=247 248 NSL= 0 1 245 15 16 263
 248 248 249 N=248 249 NSL= 0 1 246 15 16 264
 249 249 250 N=249 250 NSL= 0 1 247 15 16 265
 250 250 251 N=250 251 NSL= 0 1 248 15 16 266
 251 251 252 N=251 252 NSL= 0 1 249 15 16 267
 252 252 253 N=252 253 NSL= 0 1 250 15 16 268
 253 253 254 N=253 254 NSL= 0 1 251 15 16 269
 254 254 255 N=254 255 NSL= 0 1 252 15 16 270
 255 255 256 N=255 256 NSL= 0 1 253 15 16 271
 256 256 257 N=256 257 NSL= 0 1 254 15 16 272
 257 257 258 N=257 258 NSL= 0 1 255 15 16 273
 258 258 259 N=258 259 NSL= 0 1 256 15 16 274
 259 259 260 N=259 260 NSL= 0 1 257 15 16 275
 260 260 261 N=260 261 NSL= 0 1 258 15 16 276
 261 261 262 N=261 262 NSL= 0 1 259 15 16 277
 262 262 263 N=262 263 NSL= 0 1 260 15 16 278
 263 263 264 N=263 264 NSL= 0 1 261 15 16 279
 264 264 265 N=264 265 NSL= 0 1 262 15 16 280
 265 265 266 N=265 266 NSL= 0 1 263 15 16 281
 266 266 267 N=266 267 NSL= 0 1 264 15 16 282
 267 267 268 N=267 268 NSL= 0 1 265 15 16 283
 268 268 269 N=268 269 NSL= 0 1 266 15 16 284
 269 269 270 N=269 270 NSL= 0 1 267 15 16 285
 270 270 271 N=270 271 NSL= 0 1 268 15 16 286
 271 271 272 N=271 272 NSL= 0 1 269 15 16 287
 272 272 273 N=272 273 NSL= 0 1 270 15 16 288
 273 273 274 N=273 274 NSL= 0 1 271 15 16 289
 274 274 275 N=274 275 NSL= 0 1 272 15 16 290
 275 275 276 N=275 276 NSL= 0 1 273 15 16 291
 276 276 277 N=276 277 NSL= 0 1 274 15 16 292
 277 277 278 N=277 27

```

.810 -169.768
2 .000 -159.740
.000 3.688 -7.882
.200 .000 -7.514
.810 -11.273 -10.955
23 .000 -169.752
1 .000 -169.999
.000 6.972 -7.391
.409 .000 5.965
.810 -6.839 -7.337
.810 -181.561
2 .000 -169.984
.000 6.960 -10.955
.408 .000 -9.534
.810 -6.852 -10.912
.810 -181.546
24 .000 -181.323
1 .000 -181.323
.000 11.286 -7.337
.743 .000 -3.143
.810 -1.019 -3.177
.810 -194.100
2 .000 -181.307
.000 11.316 -10.912
.745 .000 -6.694
.810 -988 -6.726
.810 -194.084
25 .000 -193.652
1 .000 -193.652
.000 9.483 -3.177
.734 .000 .266
.810 -987
.810 -207.160
2 .000 -193.633
.000 9.521 -6.726
.737 .000 -3.218
.810 -948 -3.252
.810 -207.140
26 .000 -206.935
1 .000 -206.935
.000 5.360 .266
.518 .000 1.654
.810 -3.024 1.212
.810 -220.545
2 .000 -206.912
.000 5.369 -3.252
.519 .000 -1.859
.810 -3.015 -2.298
.810 -220.523
27 .000 -220.696
1 .000 -220.696
.000 .434 1.212
.057 .000 1.224
.810 -5.742 -1.538
.810 -233.648
2 .000 -220.678
.000 .353 -2.298
.046 .000 2.290
.810 -5.822 -4.514
.810 -233.630
28 .000 -234.316
1 .000 -234.316
.000 1.359 -938
.325 .000 -717
.896 -2.395 -1.402
.896 -246.139
2 .000 -234.324
.000 1.098 -4.514
.262 .000 -4.370
.896 -2.656 -5.212
.896 -246.147
29 .000 -246.515
1 .000 -246.515
.000 -2.383 -1.402
.896 -3.331 -3.952
.896 -253.265

```

-199-

2) CASE 3, CASE 4

INPUT DATA

PUSAN-ULSAN TUNNEL(TYPE-6-1)

SYSTEM

E=0 L=6

JOINTS

```

73 X=2.455 Y=-6.549 Z=0
74 X=2.455 Y=-6.549 Z=-1
1 X=6.867 Y=-8.695 Z=0 A=73,74,1,4,1,9.6717
75 X=0.000 Y=-7.562 Z=0
76 X=0.000 Y=-7.562 Z=-1
6 X=6.990 Y=-4.678 Z=0 A=75,76,6,21,1,6.1437
77 X=2.046 Y=-6.718 Z=-1
78 X=2.046 Y=-6.718 Z=0
28 X=6.990 Y=-4.678 Z=0 A=77,78,28,5,1,9.6153
42 X=6.125 Y=-8.203 Z=0 A=73,74,42,3,1,9.6717
46 X=7.915 Y=-4.297 Z=0 A=75,76,46,21,1,6.1437
68 X=7.915 Y=-4.297 Z=0 A=77,78,68,4,1,9.6153

```

RESTRAINTS

```

1 33 32 R=1 1 1 1 1 1
2 32 1 R=0 0 1 1 1 0
42 72 1 R=1 1 1 1 1 1

```

FRAME

ME=11 NL=48 Y=1

```

1 SH-R T=0.450 1.000 E=2.32E6 W=0.450*2.50 TC=1E-5
2 SH-R T=0.433 1.000 E=2.32E6 W=0.433*2.50 TC=1E-5
3 SH-R T=0.387 1.000 E=2.32E6 W=0.387*2.50 TC=1E-5
4 SH-R T=0.371 1.000 E=2.32E6 W=0.371*2.50 TC=1E-5
5 SH-R T=0.355 1.000 E=2.32E6 W=0.355*2.50 TC=1E-5
6 SH-R T=0.350 1.000 E=2.32E6 W=0.350*2.50 TC=1E-5
7 A=1.0 I=1E-6 E=14349
8 A=1.0 I=1E-6 E=3212
9 A=1.0 I=1E-6 E=9115
10 A=1.0 I=1E-6 E=9602
11 A=1.0 I=1E-6 E=4264

```

C *****[자 중]*****

C SELF-WEIGHT *****[인하]원하중*****

C *****[온도하중]*****

15 T=0 S=0.35

16 T=0 S=0.35

C *****[관류수압]*****

17 TRAP=0 0.000 0 -1 -0.937 0

18 TRAP=0 -0.937 0 -1 -1.874 0

19 TRAP=0 -1.874 0 -1 -2.811 0

20 TRAP=0 -2.811 0 -1 -3.747 0

21 TRAP=0 -3.747 0 -1 -4.684 0

22 TRAP=0 -4.684 0 -1 -3.946 0

23 TRAP=0 -3.946 0 -1 -3.256 0

24 TRAP=0 -3.256 0 -1 -2.616 0

25 TRAP=0 -2.616 0 -1 -2.032 0

26 TRAP=0 -2.032 0 -1 -1.512 0

27 TRAP=0 -1.512 0 -1 -1.061 0

28 TRAP=0 -1.061 0 -1 -0.685 0

29 TRAP=0 -0.685 0 -1 -0.388 0

30 TRAP=0 -0.388 0 -1 -0.174 0

31 TRAP=0 -0.174 0 -1 -0.044 0

32 TRAP=0 -0.044 0 -1 0.000 0

33 TRAP=0 0.000 0 -1 -0.044 0

34 TRAP=0 -0.044 0 -1 -0.174 0

35 TRAP=0 -0.174 0 -1 -0.388 0

36 TRAP=0 -0.388 0 -1 -0.685 0

37 TRAP=0 -0.685 0 -1 -1.061 0

38 TRAP=0 -1.061 0 -1 -1.512 0

39 TRAP=0 -1.512 0 -1 -2.032 0

-201-

```

2 .000 -246.599
.000 -3.027 -5.212
.896 -3.976 -8.350
30 .000 -253.349
1 .000 -253.523
.000 -0.032 -3.962
.769 .000 -3.975
.896 .005 -3.974
.896 -254.848
2 .000 -253.746
.000 -1.044 -8.350
.896 -1.006 -9.269
.896 -255.071
31 .000 -253.665
1 .000 13.845 -3.974
.896 14.124 8.561
.896 -255.070
2 .000 -254.073
.000 12.649 -9.269
.896 12.928 2.194
.896 -255.478
32 .000 -250.129
1 .000 44.526 8.561
.896 45.068 48.719
.896 -251.554
2 .000 -250.735
.000 43.383 2.194
.896 43.926 41.328
.896 -252.159

```

-200-

```

40 TRAP=0 -2.032 0 -1 -2.616 0
41 TRAP=0 -2.616 0 -1 -3.257 0
42 TRAP=0 -3.257 0 -1 -3.947 0
43 TRAP=0 -3.947 0 -1 -4.684 0
44 TRAP=0 -4.684 0 -1 -3.747 0
45 TRAP=0 -3.747 0 -1 -2.811 0
46 TRAP=0 -2.811 0 -1 -1.874 0
47 TRAP=0 -1.874 0 -1 -0.937 0
48 TRAP=0 -0.937 0 -1 0.000 0
C
1 1 2 M=1 2 LP=1 Pd Pv Pt T T W
2 2 3 M=2 3 NSL=0 0 0 15 16 17
3 3 4 M=3 4 NSL=0 0 0 15 16 19
4 4 5 M=4 5 NSL=0 1 2 15 16 20
5 5 6 M=5 6 NSL=0 1 3 15 16 21
6 6 7 M=6 7 NSL=0 1 4 15 16 22
7 7 8 M=6 NSL=0 1 5 15 16 23
8 8 9 M=6 NSL=0 1 6 15 16 24
9 9 10 M=6 NSL=0 1 7 15 16 25
10 10 11 M=6 NSL=0 1 8 15 16 26
11 11 12 M=6 NSL=0 1 9 15 16 27
12 12 13 M=6 NSL=0 1 10 15 16 28
13 13 14 M=6 NSL=0 1 11 15 16 29
14 14 15 M=6 NSL=0 1 12 15 16 30
15 15 16 M=6 NSL=0 1 13 15 16 31
16 16 17 M=6 NSL=0 1 14 15 16 32
17 17 18 M=6 NSL=0 1 14 15 16 33
18 18 19 M=6 NSL=0 1 13 15 16 34
19 19 20 M=6 NSL=0 1 12 15 16 35
20 20 21 M=6 NSL=0 1 11 15 16 36
21 21 22 M=6 NSL=0 1 10 15 16 37
22 22 23 M=6 NSL=0 1 9 15 16 38
23 23 24 M=6 NSL=0 1 8 15 16 39
24 24 25 M=6 NSL=0 1 7 15 16 40
25 25 26 M=6 NSL=0 1 6 15 16 41
26 26 27 M=6 NSL=0 1 5 15 16 42
27 27 28 M=6 NSL=0 1 4 15 16 43
28 28 29 M=6 5 NSL=0 1 3 15 16 44
29 29 30 M=5 4 NSL=0 1 2 15 16 45
30 30 31 M=4 3 NSL=0 0 0 15 16 46
31 31 32 M=3 2 NSL=0 0 0 15 16 47
32 32 33 M=2 1 NSL=0 0 0 15 16 48
42 42 2 M=7 LR=1, 1
43 43 3 M=7 LR=1, 1
44 44 4 M=7 LR=1, 1
45 45 5 M=7 LR=1, 1
46 46 6 M=8 LR=1, 1
47 47 7 M=9 LR=1, 1
48 48 8 M=9 LR=1, 1
49 49 9 M=9 LR=1, 1
c 50 50 10 M=9 LR=1, 1
c 51 51 11 M=9 LR=1, 1
c 52 52 12 M=9 LR=1, 1
c 53 53 13 M=9 LR=1, 1
c 54 54 14 M=9 LR=1, 1
c 55 55 15 M=9 LR=1, 1
c 56 56 16 M=9 LR=1, 1
c 57 57 17 M=9 LR=1, 1
c 58 58 18 M=9 LR=1, 1
c 59 59 19 M=9 LR=1, 1
c 60 60 20 M=9 LR=1, 1
c 61 61 21 M=9 LR=1, 1
c 62 62 22 M=9 LR=1, 1
c 63 63 23 M=9 LR=1, 1
c 64 64 24 M=9 LR=1, 1
65 65 25 M=9 LR=1, 1
66 66 26 M=9 LR=1, 1
67 67 27 M=9 LR=1, 1
68 68 28 M=10 LR=1, 1
69 69 29 M=11 LR=1, 1
70 70 30 M=11 LR=1, 1
71 71 31 M=11 LR=1, 1
72 72 32 M=11 LR=1, 1
COMBO
C Pd Pv Pt T T W
1 C=1.54 1.54 1.54 1.5 0.0 1.8
2 C=1.54 1.54 1.54 0.0 1.5 1.8

```

-202-

□ OUTPUT

PUSAN-ULSAN TUNNEL(TYPE-6-1)

FRAME ELEMENT FORCES

ELT LOAD ID COMB	DIST END1	1-2 PLANE SHEAR	MOMENT	AXIAL FORCE
1	1	.000 .000 .827 .827	-255.625 -48.163 -48.355 9.368	-254.313
2	2	.000 .000 .827 .827	-256.291 -46.965 -47.156 3.035	-254.980
2	1	.000 .000 .827 .827	-259.722 -15.625 -17.456 9.368	-258.426
2	2	.000 .000 .827 .827	-260.180 -14.369 -16.200 3.035	-258.885
3	1	.000 .000 .827 .827	-259.845 .555 .000 -4.216	-258.623
2	2	.000 .000 .827 .827	-260.107 1.627 .000 -9.510	-258.884
4	1	.000 .000 .827 .827	-258.372 5.683 .057 -2.666	-252.198
2	2	.000 .000 .827 .827	-258.484 6.379 .638 -9.495	-252.310
5	1	.000 .000 .827 .827	-251.669 6.214 .000 -2.666	-240.761
2	2	.000 .000 .827 .827	-251.698 6.502 .000 -4.630	-240.790
6	1	.000 .000 .827 .827	-240.066 9.339 .000 -1.457	-227.108
2	2	.000 .000 .827 .827	-240.066 9.432 .000 -2.223	-227.107
7	1	.000 .000 .827 .827	-227.002 5.285 .984 -1.792	-213.391
2	2	.000 .000 .827 .827	-226.997 5.278 .000 -1.729	-203-

-203-

15	1	.000 .000 .827 .827	-145.491 10.428 .000 7.077	-145.211
2	2	.000 .000 .827 .827	-142.520 10.428 .000 3.532	-145.209
16	1	.000 .000 .827 .827	-142.378 8.967 .000 8.728	-141.490
2	2	.000 .000 .827 .827	-142.375 8.967 .000 5.183	-141.488
17	1	.000 .000 .827 .827	-141.491 7.584 .000 9.275	-142.379
2	2	.000 .000 .827 .827	-141.489 7.583 .000 5.732	-142.377
18	1	.000 .000 .827 .827	-142.523 6.303 .000 8.712	-145.215
2	2	.000 .000 .827 .827	-142.521 6.303 .000 5.167	-145.213
19	1	.000 .000 .827 .827	-145.499 5.155 .000 7.046	-150.036
2	2	.000 .000 .827 .827	-145.497 5.154 .000 3.501	-150.034
20	1	.000 .000 .827 .827	-150.434 4.354 .000 4.386	-156.841
2	2	.000 .000 .827 .827	-150.432 4.353 .000 1.296	-156.839
21	1	.000 .000 .827 .827	-157.298 4.169 .000 1.038	-165.556
2	2	.000 .000 .827 .827	-157.296 4.167 .000 -2.509	-165.554

-205-

8	1	.000 .000 .827 .827	-213.667 3.344 .000 -3.327	-213.667
2	2	.000 .000 .827 .827	-213.663 3.313 .000 -3.851	-213.663
9	1	.000 .000 .827 .827	-200.509 4.937 .000 -3.658	-187.732
2	2	.000 .000 .827 .827	-200.507 4.939 .000 -7.208	-187.730
10	1	.000 .000 .827 .827	-187.805 9.395 .000 -6.074	-176.243
2	2	.000 .000 .827 .827	-187.803 9.396 .000 -9.623	-176.241
11	1	.000 .000 .827 .827	-175.980 11.900 .000 -5.156	-165.969
2	2	.000 .000 .827 .827	-175.978 11.901 .000 -8.703	-165.967
12	1	.000 .000 .827 .827	-165.544 12.853 .000 -2.380	-157.287
2	2	.000 .000 .827 .827	-165.542 12.854 .000 -5.926	-157.285
13	1	.000 .000 .827 .827	-156.832 12.673 .000 1.096	-150.425
2	2	.000 .000 .827 .827	-156.829 12.674 .000 -2.449	-150.423
14	1	.000 .000 .827 .827	-150.029 11.753 .000 4.431	-145.493
2	2	.000 .000 .827 .827	-150.027 11.754 .000 -5.172	-204-

-204-

22	1	.000 .000 .827 .827	-165.982 4.925 .000 -2.450	-165.982
2	2	.000 .000 .827 .827	-165.980 4.923 .000 -5.998	-175.994
23	1	.000 .000 .827 .827	-176.258 6.991 .000 -5.237	-187.820
2	2	.000 .000 .827 .827	-176.256 6.990 .000 -8.786	-187.818
24	1	.000 .000 .827 .827	-187.748 10.750 .000 -6.163	-200.525
2	2	.000 .000 .827 .827	-187.746 10.749 .000 -9.714	-200.524
25	1	.000 .000 .827 .827	-200.180 11.431 .000 -3.753	-213.688
2	2	.000 .000 .827 .827	-200.177 11.461 .000 -7.305	-213.685
26	1	.000 .000 .827 .827	-213.408 8.649 .000 -4.404	-227.019
2	2	.000 .000 .827 .827	-213.403 8.660 .000 -3.932	-227.014
27	1	.000 .000 .827 .827	-227.083 3.974 .000 1.146	-240.035
2	2	.000 .000 .827 .827	-227.081 3.988 .000 -2.372	-240.033
28	1	.000 .000 .827 .827	-240.630 4.105 .000 -0.612	-252.454
2	2	.000 .000 .827 .827	-240.654 3.907 .000 -4.192	-252.478

-206-

1	.000			-252.960
	.000			
	.896	-6.107	-1.723	
			-4.537	259.710
2	.000			-253.060
	.000			
	.896	-5.537	-5.534	
		-6.776	-8.925	259.809
30	1	.000		260.057
	.000	1.741	-4.537	
	.373	.000	-4.220	
	.896	-2.002	-4.767	261.382
2	.000			-260.295
	.000			
	.150	.730	-8.925	
	.896	3.013	-8.871	
			10.061	261.620
31	1	.000		260.299
	.000	14.671	-4.767	
	.896	12.682	7.380	
				261.704
2	.000			-260.723
	.000			
	.896	13.476	-10.061	
			1.013	262.128
32	1	.000		256.872
	.000	44.680	7.380	
	.896	44.467	47.225	
				-258.296
2	.000			-257.492
	.000			
	.896	43.540	1.013	
		43.327	39.837	
				-258.916

-207-

37	TRAP=0	-0.685	0	-1	-1.061	0
38	TRAP=0	-1.061	0	-1	-1.512	0
39	TRAP=0	-1.512	0	-1	-2.032	0
40	TRAP=0	-2.032	0	-1	-2.616	0
41	TRAP=0	-2.616	0	-1	-3.257	0
42	TRAP=0	-3.257	0	-1	-3.947	0
43	TRAP=0	-3.947	0	-1	-4.684	0
44	TRAP=0	-4.684	0	-1	-5.477	0
45	TRAP=0	-5.477	0	-1	-6.327	0
46	TRAP=0	-6.327	0	-1	-7.144	0
47	TRAP=0	-7.144	0	-1	-7.937	0
48	TRAP=0	-7.937	0	-1	-8.700	0
C						
1	1	2	M=1	2	LP=1	NSL=0
2	2	3	M=2	3		NSL=0
3	3	4	M=3	4		NSL=0
4	4	5	M=4	5		NSL=0
5	5	6	M=5	6		NSL=0
6	6	7	M=6	7		NSL=0
7	7	8	M=6	8		NSL=0
8	8	9	M=6	9		NSL=0
9	9	10	M=6	10		NSL=0
10	10	11	M=6	11		NSL=0
11	11	12	M=6	12		NSL=0
12	12	13	M=6	13		NSL=0
13	13	14	M=6	14		NSL=0
14	14	15	M=6	15		NSL=0
15	15	16	M=6	16		NSL=0
16	16	17	M=6	17		NSL=0
17	17	18	M=6	18		NSL=0
18	18	19	M=6	19		NSL=0
19	19	20	M=6	20		NSL=0
20	20	21	M=6	21		NSL=0
21	21	22	M=6	22		NSL=0
22	22	23	M=6	23		NSL=0
23	23	24	M=6	24		NSL=0
24	24	25	M=6	25		NSL=0
25	25	26	M=6	26		NSL=0
26	26	27	M=6	27		NSL=0
27	27	28	M=6	28		NSL=0
28	28	29	M=6	29		NSL=0
29	29	30	M=5	30		NSL=0
30	30	31	M=4	31		NSL=0
31	31	32	M=3	32		NSL=0
32	32	33	M=2	33		NSL=0
42	42	2	M=7	LR=1	1	
43	43	3	M=7	LR=1	1	
44	44	4	M=7	LR=1	1	
45	45	5	M=7	LR=1	1	
46	46	6	M=8	LR=1	1	
47	47	7	M=9	LR=1	1	
48	48	8	M=9	LR=1	1	
49	49	9	M=9	LR=1	1	
50	50	10	M=9	LR=1	1	
c	51	11	M=9	LR=1	1	
c	52	12	M=9	LR=1	1	
c	53	13	M=9	LR=1	1	
c	54	14	M=9	LR=1	1	
c	55	15	M=9	LR=1	1	
c	56	16	M=9	LR=1	1	
c	57	17	M=9	LR=1	1	
c	58	18	M=9	LR=1	1	
c	59	19	M=9	LR=1	1	
c	60	20	M=9	LR=1	1	
c	61	21	M=9	LR=1	1	
c	62	22	M=9	LR=1	1	
c	63	23	M=9	LR=1	1	
64	64	24	M=9	LR=1	1	
65	65	25	M=9	LR=1	1	
66	66	26	M=9	LR=1	1	
67	67	27	M=9	LR=1	1	
68	68	28	M=10	LR=1	1	
69	69	29	M=11	LR=1	1	
70	70	30	M=11	LR=1	1	
71	71	31	M=11	LR=1	1	
72	72	32	M=11	LR=1	1	
COMBO						
C	Pd	Pv	Pv	T	T	V

-209-

3) CASE 5, CASE 6

INPUT DATA

FUSAN-ULSAN TUNNEL TYPE 6-2

SYSTEM

R=0 L=6

JOINTS

73 X=-2.455 Y=-6.549 Z=0
74 X=-2.455 Y=-6.549 Z=-1
1 X=-6.867 Y=-8.695 Z=0 A=73,74,1,4,1,9.6717
75 X=0.000 Y=-7.562 Z=0
76 X=0.000 Y=-7.562 Z=-1
6 X=-6.990 Y=-4.678 Z=0 A=75,76,6,21,1,6.1437
77 X=2.046 Y=-6.718 Z=0
78 X=2.046 Y=-6.718 Z=-1
28 X=-6.990 Y=-4.678 Z=0 A=77,78,28,5,1,9.6153
42 X=-8.125 Y=-8.203 Z=0 A=73,74,42,3,1,9.6717
46 X=-7.915 Y=-4.297 Z=0 A=75,76,46,21,1,6.1437
68 X=-7.915 Y=-4.297 Z=0 A=77,78,68,4,1,9.6153

RESTRAINTS

1 33 32 R=1 1 1 1 1 1
2 32 1 R=0 0 1 1 1 0
42 72 1 R=1 1 1 1 1 1

FRAME

NA=11 NL=48

1 SH-R T=0.450 1.000 E=2.32E5 W=0.450*2.50 TC=1E-5
2 SH-R T=0.433 1.000 E=2.32E5 W=0.433*2.50 TC=1E-5
3 SH-R T=0.397 1.000 E=2.32E5 W=0.397*2.50 TC=1E-5
4 SH-R T=0.371 1.000 E=2.32E5 W=0.371*2.50 TC=1E-5
5 SH-R T=0.355 1.000 E=2.32E5 W=0.355*2.50 TC=1E-5
6 SH-R T=0.350 1.000 E=2.32E5 W=0.350*2.50 TC=1E-5
7 A=1.0 I=1E-6 E=14349
8 A=1.0 I=1E-6 E=9212
9 A=1.0 I=1E-6 E=9115
10 A=1.0 I=1E-6 E=9602
11 A=1.0 I=1E-6 E=14264

C ***** (자 중) *****

C SELF-WEIGHT

C ***** (압입) (환입) *****

1 WG=0 -4.640*2.65
2 WG=0 -6.286*2.65
3 WG=0 -5.466*2.65
4 WG=0 -4.678*2.65
5 WG=0 -3.946*2.65
6 WG=0 -3.256*2.65
7 WG=0 -2.616*2.65
8 WG=0 -2.032*2.65
9 WG=0 -1.512*2.65
10 WG=0 -1.061*2.65
11 WG=0 -0.685*2.65
12 WG=0 -0.388*2.65
13 WG=0 -0.174*2.65
14 WG=0 -0.044*2.65
C ***** (온도하중) *****

15 T=0 5/0.35
16 T=0 -5/0.35

C ***** (관류수압) *****

17 TRAP=0 0.000 0 -1 -0.937 0
18 TRAP=0 -0.937 0 -1 -1.874 0
19 TRAP=0 -1.874 0 -1 -2.811 0
20 TRAP=0 -2.811 0 -1 -3.747 0
21 TRAP=0 -3.747 0 -1 -4.684 0
22 TRAP=0 -4.684 0 -1 -5.620 0
23 TRAP=0 -5.620 0 -1 -6.556 0
24 TRAP=0 -6.556 0 -1 -7.492 0
25 TRAP=0 -7.492 0 -1 -8.428 0
26 TRAP=0 -8.428 0 -1 -9.364 0
27 TRAP=0 -9.364 0 -1 -10.300 0
28 TRAP=0 -10.300 0 -1 -11.236 0
29 TRAP=0 -11.236 0 -1 -12.172 0
30 TRAP=0 -12.172 0 -1 -13.108 0
31 TRAP=0 -13.108 0 -1 -14.044 0
32 TRAP=0 -14.044 0 -1 -14.980 0
33 TRAP=0 -15.916 0 -1 -15.856 0
34 TRAP=0 -17.732 0 -1 -16.732 0
35 TRAP=0 -19.548 0 -1 -17.608 0
36 TRAP=0 -21.364 0 -1 -18.484 0

-208-

1 C=1.00 1.00 1.00 1.0 0.0 0.0
2 C=1.00 1.00 1.00 0.0 1.0 0.0

OUTPUT

FUSAN-ULSAN TUNNEL TYPE 6-2

FRAME ELEMENT FORCES

ELT	LOAD	DIST	1-2 PLANE	AXIAL
ID	COMB	ENDI	SHEAR	MOMENT
FORCE				
1	1	.000		-161.572
		.827	-31.620	32.953
		.827	-31.291	6.934
				-160.720
2	2	.000		-162.006
		.827	-30.819	28.068
		.827	-30.490	2.711
				-161.154
2	1	.000		-164.298
		.827	-11.042	6.934
		.827	-10.871	-2.128
				-163.457
2	2	.000		-164.594
		.827	-10.204	2.711
		.827	-10.034	-5.658
				-163.753
3	1	.000		-164.445
		.827	-8.890	-2.128
		.827	-8.865	-2.854
				-163.651
2	2	.000		-164.609
		.827	-1.175	-5.658
		.827	-1.150	-5.792
				-163.815
4	1	.000		-163.549
		.827	1.947	-2.854
		.827	1.390	-1.474
				-159.540
2	2	.000		-163.613
		.827	2.412	-5.792
		.827	1.855	-4.028
				-159.604
5	1	.000		-159.290
		.827	1.497	-1.474
		.827	.001	-1.062
		.827	-.752	-1.166
				-152.207
2	2	.000		-159.298
		.827	1.691	-4.028
		.827	.001	-3.502
		.827	-.558	-3.560
				-152.215
6	1	.000		-151.734
		.810	4.259	-1.166
		.810	.247	.660
				-143.320
2	2	.000		-151.722
		.810	4.324	-3.560
		.810	.312	-1.681
				-143.308
7	1	.000		-143.197
		.810	2.190	.660
		.810	.326	1.017
		.810	-3.255	.228
				-134.358

-210-

2	.000			-143.182
	.325	2.187	-1.681	
	.810	-3.258	2.115	
	.810			-134.343
8	1	.000		-134.503
		.081	.682	.228
		.810	.000	.256
		.810	-6.117	-1.974
		.810		-125.731
	2	.000		-134.489
		.000	.655	-2.115
		.078	.000	-2.083
		.810	-6.143	-4.338
		.810		-125.718
9	1	.000		-126.029
		.000	.638	-1.974
		.065	.000	-1.953
		.810	-7.352	-4.695
		.810		-117.732
	2	.000		-126.019
		.000	.617	-4.338
		.063	.000	-4.319
		.810	-7.374	-7.077
		.810		-117.722
10	1	.000		-117.889
		.000	4.437	-4.695
		.401	.000	-3.805
		.810	-4.532	-4.733
		.810		-110.382
	2	.000		-117.879
		.000	4.446	-7.077
		.402	.000	-6.184
		.810	-4.523	-7.108
		.810		-110.372
11	1	.000		-110.233
		.000	7.308	-4.733
		.610	.000	-2.506
		.810	-2.407	-2.747
		.810		-103.732
	2	.000		-110.222
		.000	7.315	-7.108
		.610	.000	-4.876
		.810	-2.400	-5.117
		.810		-103.721
12	1	.000		-103.393
		.000	8.708	-2.747
		.689	.000	.255
		.810	-1.528	.162
		.810		-98.032
	2	.000		-103.382
		.000	8.714	-5.117
		.690	.000	-2.111
		.810	-1.522	-2.202
		.810		-98.020
13	1	.000		-97.632
		.000	8.973	.162
		.689	.000	3.252
		.810	-1.587	3.155
		.810		-93.473
	2	.000		-97.620
		.000	8.977	-2.202
		.689	.000	.890
		.810	-1.582	.794
		.810		-93.460
14	1	.000		-93.106
		.000	8.426	3.155
		.637	.000	5.838
		.810	-2.239	5.638
		.810		-90.160
	2	.000		-93.093

-211-

		.000	8.429	.794
		.637	.000	3.479
		.810	-2.295	3.280
		.810		-90.147
15	1	.000		-89.888
		.000	7.364	5.638
		.554	.000	7.677
		.810	-3.410	7.240
		.810		-88.140
	2	.000		-89.875
		.000	7.366	3.280
		.554	.000	5.320
		.810	-3.408	4.883
		.810		-88.128
16	1	.000		-87.999
		.000	6.043	7.240
		.456	.000	8.615
		.810	-4.696	7.786
		.810		-87.423
	2	.000		-87.986
		.000	6.043	4.883
		.456	.000	5.430
		.810	-4.695	5.430
		.810		-87.410
17	1	.000		-87.424
		.000	4.687	7.786
		.354	.000	8.615
		.810	-6.051	7.233
		.810		-88.000
	2	.000		-87.411
		.000	4.686	5.430
		.354	.000	6.258
		.810	-6.052	4.876
		.810		-87.987
18	1	.000		-88.142
		.000	3.401	7.233
		.256	.000	7.668
		.810	-7.372	5.624
		.810		-89.890
	2	.000		-88.130
		.000	3.399	4.876
		.256	.000	5.311
		.810	-7.374	3.265
		.810		-89.878
19	1	.000		-90.163
		.000	2.291	5.624
		.173	.000	8.822
		.810	-8.434	3.135
		.810		-93.109
	2	.000		-90.151
		.000	2.287	3.265
		.173	.000	3.463
		.810	-8.437	.773
		.810		-93.097
20	1	.000		-93.477
		.000	1.579	3.135
		.121	.000	3.230
		.810	-8.980	.136
		.810		-97.637
	2	.000		-93.465
		.000	1.575	.773
		.121	.000	.868
		.810	-8.985	-2.229
		.810		-97.626
21	1	.000		-98.037
		.000	1.521	.136
		.120	.000	.228
		.810	-8.714	-2.779
		.810		-103.399
	2	.000		-98.026
		.000	1.515	-2.229

-212-

		.120	.000	-2.138
		.810	-8.720	-5.149
		.810		-103.388
22	1	.000		-103.738
		.000	2.402	-2.779
		.200	.000	-2.538
		.810	-7.313	-4.769
		.810		-110.239
	2	.000		-103.727
		.000	2.395	-5.149
		.200	.000	-4.910
		.810	-7.320	-7.145
		.810		-110.229
23	1	.000		-110.389
		.000	4.527	-4.769
		.409	.000	-3.842
		.810	-4.441	-4.734
		.810		-117.897
	2	.000		-110.379
		.000	4.519	-7.145
		.408	.000	-6.222
		.810	-4.449	-7.115
		.810		-117.887
24	1	.000		-117.742
		.000	7.328	-4.734
		.743	.000	-2.010
		.810	-.662	-2.032
		.810		-126.039
	2	.000		-117.732
		.000	7.349	-7.115
		.745	.000	-4.378
		.810	-.641	-4.399
		.810		-126.029
25	1	.000		-125.748
		.000	6.157	-2.032
		.734	.000	.227
		.810	-.641	.203
		.810		-134.520
	2	.000		-125.735
		.000	6.183	-4.399
		.737	.000	-2.120
		.810	-.615	-2.142
		.810		-134.507
26	1	.000		-134.373
		.000	3.480	.203
		.518	.000	1.105
		.810	-1.954	.817
		.810		-143.211
	2	.000		-134.359
		.000	3.487	-2.142
		.519	.000	-1.238
		.810	-1.958	-1.523
		.810		-143.197
27	1	.000		-143.309
		.000	.283	.817
		.057	.000	.825
		.810	-3.728	-.578
		.810		-151.720
	2	.000		-143.297
		.000	.229	-1.523
		.046	.000	-1.518
		.810	-3.781	-2.962
		.810		-151.708
28	1	.000		-152.153
		.000	.885	-.578
		.326	.000	-.434
		.896	-1.553	-.877
		.896		-159.831
	2	.000		-152.158
		.000	.711	-2.962
		.262	.000	-2.869

-213-

		.896	-1.727	-3.417
		.896		-159.836
29	1	.000		-160.074
		.000	-1.542	-.877
		.896	-2.158	-2.535
		.896		-164.457
	2	.000		-160.130
		.000	-1.971	-3.417
		.896	-2.587	-5.460
		.896		-164.513
30	1	.000		-164.623
		.000	.012	-2.535
		.449	.000	-2.538
		.896	.012	-2.535
		.896		-165.484
	2	.000		-164.772
		.000	-.686	-5.460
		.896	-.662	-6.055
		.896		-165.632
31	1	.000		-164.714
		.000	9.001	-2.535
		.896	9.182	5.614
		.896		-165.626
	2	.000		-164.986
		.000	8.203	-6.055
		.896	8.384	1.369
		.896		-165.899
32	1	.000		-162.417
		.000	28.923	5.614
		.896	29.275	31.700
		.896		-163.341
	2	.000		-162.820
		.000	28.161	1.369
		.896	28.513	26.773
		.896		-163.745

-214-

4) CASE 7, CASE 8

INPUT DATA

PUSAN-ULSAN TUNNEL(TYPE-6-3)

SYSTEM

R=0 L=6

JOINTS

```

73 Y=2.455 Y=-6.549 Z=0
74 Y=2.455 Y=-6.549 Z=1
1 Y=-0.867 Y=-8.095 Z=0
75 Y=0.000 Y=-7.562 Z=0
76 Y=0.000 Y=-7.562 Z=1
6 Y=-0.990 Y=-4.678 Z=0
77 Y=2.046 Y=-6.718 Z=0
78 Y=2.046 Y=-6.718 Z=1
28 Y=8.990 Y=-4.678 Z=0
42 Y=8.125 Y=-8.203 Z=0
46 Y=7.915 Y=-4.297 Z=0
58 Y=7.915 Y=-4.297 Z=0

```

RESTRAINTS

```

1 33 32 R=1 1 1 1 1
2 32 1 R=0 0 1 1 1
42 72 1 R=1 1 1 1 1

```

FRAME

N=11 NL=48 Y=1

```

1 SH-R T=0.450 1.000 E=2.32E6 V=0.450*2.50 TC=1E-5
2 SH-R T=0.433 1.000 E=2.32E6 V=0.433*2.50 TC=1E-5
3 SH-R T=0.397 1.000 E=2.32E6 V=0.397*2.50 TC=1E-5
4 SH-R T=0.371 1.000 E=2.32E6 V=0.371*2.50 TC=1E-5
5 SH-R T=0.355 1.000 E=2.32E6 V=0.355*2.50 TC=1E-5
6 SH-R T=0.350 1.000 E=2.32E6 V=0.350*2.50 TC=1E-5
7 A=1.0 I=1E-6 E=14340
8 A=1.0 I=1E-6 E=9212
9 A=1.0 I=1E-6 E=9115
10 A=1.0 I=1E-6 E=9022
11 A=1.0 I=1E-6 E=14264

```

C *****[자 중]*****

C SELF WEIGHT (인력)인하중*****

```

1 WG=0. -4.640*2.65
2 WG=0. -5.288*2.65
3 WG=0. -5.466*2.65
4 WG=0. -4.678*2.65
5 WG=0. -3.949*2.65
6 WG=0. -3.256*2.65
7 WG=0. -2.616*2.65
8 WG=0. -2.032*2.65
9 WG=0. -1.512*2.65
10 WG=0. -1.051*2.65
11 WG=0. -0.685*2.65
12 WG=0. -0.388*2.65
13 WG=0. -0.174*2.65
14 TG=0. -0.044*2.65

```

C *****[온도하중]*****

C *****[관수하중]*****

```

17 TRAP=0. 0.000 0. -1. -0.937 0
18 TRAP=0. -0.874 0. -1. -1.874 0
19 TRAP=0. -0.874 0. -1. -2.811 0
20 TRAP=0. -2.811 0. -1. -3.747 0
21 TRAP=0. -4.684 0. -1. -4.684 0
22 TRAP=0. -3.946 0. -1. -3.946 0
23 TRAP=0. -3.256 0. -1. -3.256 0
24 TRAP=0. -2.616 0. -1. -2.616 0
25 TRAP=0. -2.032 0. -1. -2.032 0
26 TRAP=0. -1.512 0. -1. -1.512 0
27 TRAP=0. -1.051 0. -1. -1.051 0
28 TRAP=0. -0.685 0. -1. -0.685 0
29 TRAP=0. -0.388 0. -1. -0.388 0
30 TRAP=0. -0.174 0. -1. -0.174 0
31 TRAP=0. -0.044 0. -1. -0.044 0
32 TRAP=0. 0.000 0. -1. 0.000 0
33 TRAP=0. 0.000 0. -1. 0.000 0
34 TRAP=0. -0.044 0. -1. -0.174 0
35 TRAP=0. -0.174 0. -1. -0.388 0
36 TRAP=0. -0.388 0. -1. -0.685 0
37 TRAP=0. -0.685 0. -1. -1.051 0
38 TRAP=0. -1.051 0. -1. -1.512 0
39 TRAP=0. -1.512 0. -1. -2.032 0

```

-215-

```

40 TRAP=0. -2.032 0. -1. -2.616 0
41 TRAP=0. -2.616 0. -1. -3.257 0
42 TRAP=0. -3.257 0. -1. -3.947 0
43 TRAP=0. -3.947 0. -1. -4.684 0
44 TRAP=0. -4.684 0. -1. -5.421 0
45 TRAP=0. -5.421 0. -1. -6.158 0
46 TRAP=0. -6.158 0. -1. -6.895 0
47 TRAP=0. -6.895 0. -1. -7.632 0
48 TRAP=0. -7.632 0. -1. -8.369 0

```

```

C 1 1 2 M=1 2 LP=1 NSL=0 0 0 15 16 17
2 2 3 M=2 3 NSL=0 0 0 15 16 18
3 3 4 M=3 4 NSL=0 0 0 15 16 19
4 4 5 M=4 5 NSL=0 0 0 15 16 20
5 5 6 M=5 6 NSL=0 0 0 15 16 21
6 6 7 M=6 NSL=0 0 0 15 16 22
7 7 8 M=6 NSL=0 0 0 15 16 23
8 8 9 M=6 NSL=0 0 0 15 16 24
9 9 10 M=6 NSL=0 0 0 15 16 25
10 10 11 M=6 NSL=0 0 0 15 16 26
11 11 12 M=6 NSL=0 0 0 15 16 27
12 12 13 M=6 NSL=0 0 0 15 16 28
13 13 14 M=6 NSL=0 0 0 15 16 29
14 14 15 M=6 NSL=0 0 0 15 16 30
15 15 16 M=6 NSL=0 0 0 15 16 31
16 16 17 M=6 NSL=0 0 0 15 16 32
17 17 18 M=6 NSL=0 0 0 15 16 33
18 18 19 M=6 NSL=0 0 0 15 16 34
19 19 20 M=6 NSL=0 0 0 15 16 35
20 20 21 M=6 NSL=0 0 0 15 16 36
21 21 22 M=6 NSL=0 0 0 15 16 37
22 22 23 M=6 NSL=0 0 0 15 16 38
23 23 24 M=6 NSL=0 0 0 15 16 39
24 24 25 M=6 NSL=0 0 0 15 16 40
25 25 26 M=6 NSL=0 0 0 15 16 41
26 26 27 M=6 NSL=0 0 0 15 16 42
27 27 28 M=6 NSL=0 0 0 15 16 43
28 28 29 M=6 NSL=0 0 0 15 16 44
29 29 30 M=6 NSL=0 0 0 15 16 45
30 30 31 M=6 NSL=0 0 0 15 16 46
31 31 32 M=6 NSL=0 0 0 15 16 47
32 32 33 M=6 NSL=0 0 0 15 16 48

```

```

42 42 2 M=7 LR=1 1
43 43 3 M=7 LR=1 1
44 44 4 M=7 LR=1 1
45 45 5 M=7 LR=1 1
46 46 6 M=8 LR=1 1
47 47 7 M=9 LR=1 1
48 48 8 M=9 LR=1 1
49 49 9 M=9 LR=1 1
50 50 10 M=9 LR=1 1
51 51 11 M=9 LR=1 1
52 52 12 M=9 LR=1 1
53 53 13 M=9 LR=1 1
54 54 14 M=9 LR=1 1
55 55 15 M=9 LR=1 1
56 56 16 M=9 LR=1 1
57 57 17 M=9 LR=1 1
58 58 18 M=9 LR=1 1
59 59 19 M=9 LR=1 1
60 60 20 M=9 LR=1 1
61 61 21 M=9 LR=1 1
62 62 22 M=9 LR=1 1
63 63 23 M=9 LR=1 1
64 64 24 M=9 LR=1 1
65 65 25 M=9 LR=1 1
66 66 26 M=9 LR=1 1
67 67 27 M=9 LR=1 1
68 68 28 M=10 LR=1 1
69 69 29 M=11 LR=1 1
70 70 30 M=11 LR=1 1
71 71 31 M=11 LR=1 1
72 72 32 M=11 LR=1 1

```

COMBO

```

1 C=1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.0
2 C=1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.0

```

-216-

OUTPUT

PUSAN-ULSAN TUNNEL(TYPE-6-3)

FRAME ELEMENT FORCES

```

ELT LOAD DIST 1-2 PLANE AXIAL
ID COMB ENDI SHEAR MOMENT FORCE
1
1 1 1 0.000 -165.306
.000 -31.327 32.134
.827 -31.385 6.251 -164.454
.827
2 2 2 0.000 -165.750
.000 -30.527 27.251
.827 -30.586 2.028 -164.898
.827
2 1 1 0.000 -167.977
.000 -10.283 6.251
.827 -11.275 -2.611 -167.135
.827
2 2 2 0.000 -168.282
.000 -9.445 2.028
.827 -10.438 -6.141 -167.441
.827
3 1 1 0.000 -168.068
.000 173 -2.611
.091 2.603
.827 -1.741 -3.206 -167.274
.827
2 2 2 0.000 -168.242
.000 888 -6.141
.426 0.000 -5.945
.827 -1.026 -6.144 -167.448
.827
4 1 1 0.000 -167.121
.000 3.437 -3.206
.827 .167 -1.662 -163.111
.827
2 2 2 0.000 -167.195
.000 3.901 -6.144
.827 .631 -4.217 -163.186
.827
5 1 1 0.000 -162.781
.000 3.676 -1.662
.543 0.000 -6.550
.827 -2.059 -9.941 -155.698
.827
2 2 2 0.000 -162.800
.000 3.868 -4.217
.570 0.000 -3.058
.827 -1.868 -3.337 -155.717
.827
6 1 1 0.000 -155.242
.000 5.814 -9.941
.622 0.000 .849
.810 -1.695 .688 -146.828
.810
2 2 2 0.000 -155.242
.000 5.877 -3.337
.629 0.000 -1.508
.810 -1.632 -1.657 -146.827
.810
7 1 1 0.000 -146.750
.000 3.259 .688
.309 0.000 1.190
.810 -5.105 -7.098 -137.912
.810
2 2 2 0.000 -146.747
.000 3.254 -1.657
.309 0.000 -1.157

```

-217-

```

.810 -5.109 -2.447 -137.908
.810
8 1 1 0.000 -138.087
.000 1.934 -.098
.167 0.000 .064
.810 -7.244 -2.284 -129.315
.810
2 2 2 0.000 -138.085
.000 1.913 -2.447
.165 0.000 -2.289
.810 -7.265 -4.651 -129.313
.810
9 1 1 0.000 -129.559
.000 2.746 -2.284
.221 0.000 -1.981
.810 -7.129 -4.052 -121.262
.810
2 2 2 0.000 -129.558
.000 2.747 -4.651
.222 0.000 -4.347
.810 -7.128 -6.458 -121.261
.810
10 1 1 0.000 -121.329
.000 5.890 -4.092
.455 0.000 -2.758
.810 -4.515 -3.564 -113.821
.810
2 2 2 0.000 -121.328
.000 5.891 -6.458
.455 0.000 -5.123
.810 -4.514 -5.928 -113.820
.810
11 1 1 0.000 -113.650
.000 7.692 -3.564
.577 0.000 -1.354
.810 -3.065 -1.713 -107.149
.810
2 2 2 0.000 -113.649
.000 7.693 -5.928
.577 0.000 -3.719
.810 -3.065 -4.077 -107.148
.810
12 1 1 0.000 -106.862
.000 8.420 -1.713
.622 0.000 .894
.810 -2.524 .655 -101.501
.810
2 2 2 0.000 -106.861
.000 8.420 -4.077
.622 0.000 -1.470
.810 -2.523 -1.708 -101.499
.810
13 1 1 0.000 -101.188
.000 8.354 .655
.614 0.000 3.213
.810 -2.640 2.954 -97.028
.810
2 2 2 0.000 -101.186
.000 8.354 -1.708
.614 0.000 .850
.810 -2.640 .591 -97.026
.810
14 1 1 0.000 -96.753
.000 7.759 2.954
.573 0.000 5.172
.810 -3.193 4.792 -93.808
.810
2 2 2 0.000 -96.752
.000 7.759 .591
.573 0.000 2.809
.810 -3.193 2.429

```

-218-

15		.810		-93.806
1	.000			-93.611
	.000	6.864	4.792	
	.510	.021	6.545	
	.810	-3.998	5.947	-91.863
2	.000			-93.609
	.000	6.864	2.429	
	.510	.021	4.182	
	.810	-3.997	3.584	-91.861
16	1	.000		91.763
	.000	5.857	5.947	
	.441	.005	7.238	
	.810	-4.900	6.332	-91.187
2	.000			-91.762
	.000	5.857	3.584	
	.441	.005	4.875	
	.810	-4.900	3.969	-91.185
17	1	.000		-91.188
	.000	4.888	6.332	
	.369	.004	7.233	
	.810	-5.869	5.937	-91.764
2	.000			-91.186
	.000	4.887	3.969	
	.369	.004	4.870	
	.810	-5.869	3.574	-91.763
18	1	.000		-91.865
	.000	3.986	5.937	
	.299	.007	6.532	
	.810	-6.876	4.773	-93.613
2	.000			-91.864
	.000	3.985	3.574	
	.299	.007	4.169	
	.810	-6.877	2.409	-93.612
19	1	.000		-93.812
	.000	3.182	4.773	
	.237	.000	5.150	
	.810	-7.770	2.926	-96.758
2	.000			-93.810
	.000	3.182	2.409	
	.237	.000	2.786	
	.810	-7.771	.562	-96.756
20	1	.000		-97.034
	.000	2.630	2.926	
	.195	.000	3.183	
	.810	-8.364	.618	-101.194
2	.000			-97.032
	.000	2.629	.562	
	.195	.000	.819	
	.810	-8.365	-1.746	-101.192
21	1	.000		-101.508
	.000	2.514	.618	
	.188	.000	.855	
	.810	-8.429	-1.758	-106.870
2	.000			-101.506
	.000	2.513	-1.746	
	.188	.000	-1.510	
	.810	-8.430	-4.123	-106.868

-219-

22	1	.000		-107.158
	.000	3.057	-1.758	
	.233	.000	-1.491	
	.810	-7.700	-3.615	-113.659
2	.000			-107.157
	.000	3.056	-4.123	
	.233	.000	-3.766	
	.810	-7.701	-5.981	-113.658
23	1	.000		-113.830
	.000	4.508	-3.615	
	.355	.000	-2.812	
	.810	-5.896	-4.149	-121.338
2	.000			-113.829
	.000	4.507	-5.981	
	.355	.000	-5.178	
	.810	-5.897	-6.516	-121.337
24	1	.000		-121.273
	.000	7.124	-4.149	
	.589	.000	-2.040	
	.810	-2.750	-2.345	-129.569
2	.000			-121.272
	.000	7.122	-6.516	
	.588	.000	-4.408	
	.810	-2.751	-4.712	-129.568
25	1	.000		-129.330
	.000	7.262	-2.345	
	.645	.000	.015	
	.810	-1.915	-1.143	-138.101
2	.000			-129.327
	.000	7.263	-4.712	
	.647	.000	-2.339	
	.810	-1.895	-2.494	-138.099
26	1	.000		-137.924
	.000	5.301	-1.143	
	.520	.000	1.245	
	.810	-3.063	.802	-146.762
2	.000			-137.920
	.000	5.308	-2.494	
	.521	.000	-1.102	
	.810	-3.055	-1.543	-146.758
27	1	.000		-146.812
	.000	2.237	.802	
	.248	.000	1.081	
	.810	-5.269	-1.386	-155.223
2	.000			-146.811
	.000	2.186	-1.543	
	.243	.000	-1.277	
	.810	-5.320	-2.772	-155.222
28	1	.000		-155.617
	.000	2.434	-.386	
	.337	.000	.021	
	.896	-3.783	-1.053	-163.295
2	.000			-155.633
	.000	2.262	-2.772	
	.312	.000	-2.422	
	.896	-3.955	-3.594	-163.311

-220-

30	1	.000		-163.612
	.000	-.162	-1.053	
	.896	-3.717	-2.854	-167.995
2	.000			-163.678
	.000	-.591	-3.594	
	.896	-4.146	-5.780	-168.061
31	1	.000		-168.211
	.000	.973	-2.854	
	.376	.000	-2.676	
	.896	-1.103	-2.976	-169.071
2	.000			-168.370
	.000	.298	-5.780	
	.199	.000	-5.763	
	.896	-1.777	-6.506	-169.230
32	1	.000		-168.357
	.000	9.458	-2.976	
	.896	8.379	4.956	-169.270
2	.000			-168.640
	.000	8.661	-6.506	
	.896	7.582	.712	-169.552
33	1	.000		-166.121
	.000	29.002	4.956	
	.896	28.934	30.862	-167.045
2	.000			-166.534
	.000	28.242	.712	
	.896	28.174	25.937	-167.459

-221-

2.3.5 본선과 면벽 접속부 구간(토피고 3m)

가. 설계조건

1) 설계방법 : 강도설계법

2) 콘크리트

□ 설계기준강도 : $f_{ck} = 240 \text{ kgf/cm}^2$

□ 탄성계수 : $E_c = 15,000 \sqrt{f_{ck}} = 2.32 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$

□ 단위중량 : $\gamma_c = 2.50 \text{ tonf/m}^3$

□ 온도선형팽창계수 : $\alpha = 1 \times 10^{-5}$

3) 철근(SD30)

□ 항복강도 : $f_y = 3000 \text{ kgf/cm}^2$

□ 탄성계수 : $E_s = 2.00 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$

4) 지반

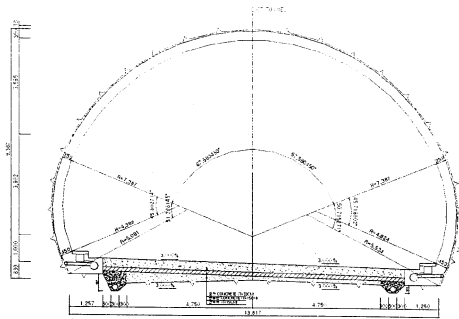
□ 단위중량 : 토사 $\gamma_s = 2.00 \text{ tonf/m}^3$

□ 정지토압계수 : $K_0 = 0.5$

□ 탄성계수 : $E_n = 28N = 28 \times 20 = 5600 \text{ tonf/m}^3$

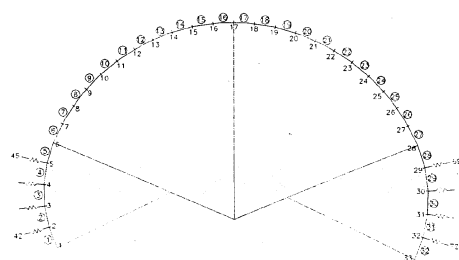
-222-

나. 터널단면



다. 모델링

1) Coordinate



-223-

2) 절점좌표

절점	X(m)	Y(m)	절점	X(m)	Y(m)
1	-6.867	-8.695	18	0.809	-0.044
2	-7.165	-7.923	19	1.609	-0.174
3	-7.329	-7.112	20	2.391	-0.388
4	-7.354	-6.286	21	3.145	-0.685
5	-7.240	-5.466	22	3.863	-1.061
6	-6.990	-4.678	23	4.536	-1.512
7	-6.641	-3.946	24	5.158	-2.032
8	-6.216	-3.256	25	5.720	-2.616
9	-5.720	-2.616	26	6.216	-3.257
10	-5.157	-2.032	27	6.641	-3.947
11	-4.536	-1.512	28	6.990	-4.678
12	-3.862	-1.061	29	7.261	-5.532
13	-3.145	-0.685	30	7.386	-6.420
14	-2.391	-0.388	31	7.361	-7.316
15	-1.609	-0.174	32	7.186	-8.196
16	-0.809	-0.044	33	6.867	-9.034
17	0.000	0.000			

3) 부재단면

구분	B(m)	H(m)	A(m²)	I(m⁴)	부재번호
1	1.000	0.450	0.450	7.594E-3	1, 32
2	1.000	0.433	0.433	6.765E-3	2, 31
3	1.000	0.397	0.397	5.214E-3	3, 30
4	1.000	0.371	0.371	4.255E-3	4, 29
5	1.000	0.355	0.355	3.728E-3	5, 28
6	1.000	0.350	0.350	3.573E-3	6-27

4) 지반스프링계수

· 내부 라이닝과 지반과의 실제 거동을 고려하기 위하여 모든 인장 스프링 요소는 반복계산을 통하여 제거시킴.

$$k = \frac{E}{R} \times A = \frac{E}{R} \times L \times 1.0$$

여기서,

E : 터널 주변 알란의 탄성계수 (5,600 tonf/m²)

R : 콘크리트 라이닝 반경

L : 요소점유길이

-224-

구분	탄성계수 E(tonf/m²)	터널반경 R(m)	부재길이 l(m)	지반스프링계수 k(tonf/m²)	부재번호
1	5,600	4.906	0.828	945	42-45
2	5,600	5.349	0.898	940	69-72

라. 작용하중

1) 자중

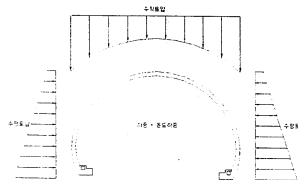
단위중량 $\gamma_c = 2.50 \text{ tonf/m}^3$ (PROGRAM 내에서 자동계산)

2) 토 압(토피고 H=3.00m)

- 수직토압 = $\gamma_1 \cdot H$
- 수평토압 = $K_0 \cdot \gamma_1 \cdot H$

절점	토피 H (m)	토 압	
		수직토압(tonf/m²)	수평토압(tonf/m²)
1,33	11.695	23.390	11.695
2,32	10.923	21.846	10.923
3,31	10.112	20.224	10.112
4,30	9.286	18.572	9.286
5,29	8.466	16.932	8.466
6,28	7.678	15.356	7.678
7,27	6.946	13.892	6.946
8,26	6.256	12.512	6.256
9,25	5.616	11.232	5.616
10,24	5.032	10.064	5.032
11,23	4.512	9.024	4.512
12,22	4.061	8.122	4.061
13,21	3.685	7.370	3.685
14,20	3.388	6.776	3.388
15,19	3.174	6.348	3.174
16,18	3.044	6.088	3.044
17	3.000	6.000	3.000

-225-



3) 건조수축 및 온도하중

- 절속부는 온도 변화의 영향에 따른 균열이 발생하기 쉽기 때문에 이에 대한 고려를 하기 위하여 현지 기후의 변화를 하중으로 적용.
- 온도변화 : $\pm 15^\circ\text{C}$

마. 하중조합

CASE 1 = $1.54 \times \text{자중} + 1.54 \times \text{수직토압} + 1.8 \times \text{수평토압}$

CASE 2 = $1.54 \times \text{자중} + 1.54 \times \text{수직토압} + 0.9 \times \text{수평토압}$

CASE 3 = $0.75[1.54 \times \text{자중} + 1.54 \times \text{수직토압} + 0.9 \times \text{수평토압} + 1.5 \times \text{온도하중}(+15^\circ\text{C})]$

CASE 4 = $0.75[1.54 \times \text{자중} + 1.54 \times \text{수직토압} + 0.9 \times \text{수평토압} + 1.5 \times \text{온도하중}(-15^\circ\text{C})]$

CASE 5 = $1.0 \times \text{자중} + 1.0 \times \text{수직토압} + 1.0 \times \text{수평토압}$

CASE 6 = $1.0 \times \text{자중} + 1.0 \times \text{수직토압} + 1.0 \times \text{수평토압} + 1.0 \times \text{온도하중}(+15^\circ\text{C})$

CASE 7 = $1.0 \times \text{자중} + 1.0 \times \text{수직토압} + 1.0 \times \text{수평토압} + 1.0 \times \text{온도하중}(-15^\circ\text{C})$

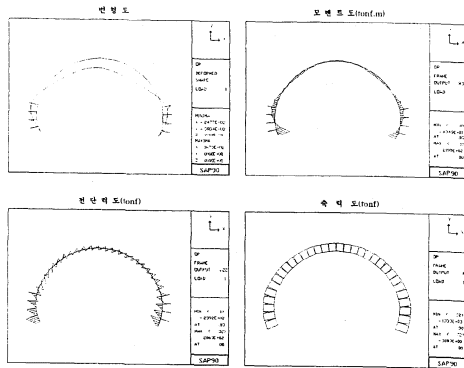
바. 구조계산 결과

구분	모멘트(tonf·m)	축력(tonf)	전단력(tonf)	사용하중 모멘트 (tonf·m)
측벽부	33.91	123.05	31.62	15.62
아치부	20.62	112.19	10.76	11.13
천정부	14.54	53.15	4.91	5.53

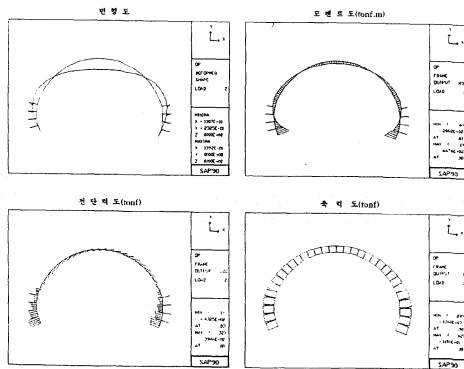
-226-

사. 단 면 력 도

1) CASE 1 = 1.54×자중 + 1.54×수직토압 + 1.8×수평토압

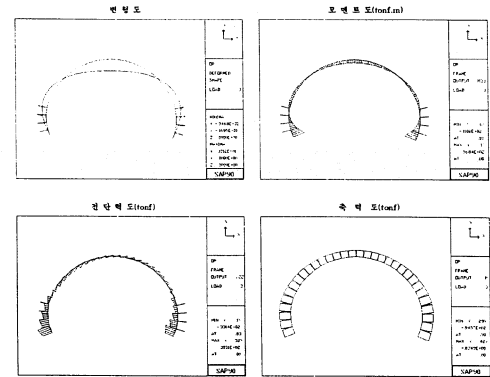


2) CASE 2 = 1.54×자중 + 1.54×수직토압 + 0.9×수평토압

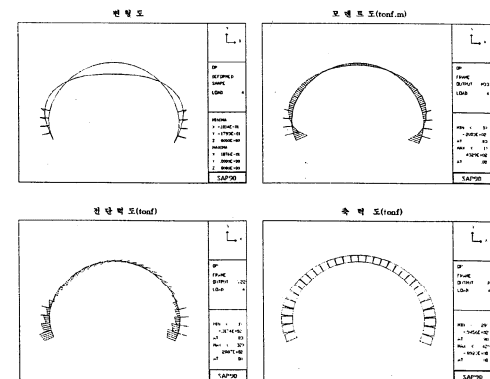


-227-

3) CASE 3 = 0.75(1.54×자중 + 1.54×수직토압 + 0.9×수평토압 + 1.5×온도하중(+15℃))

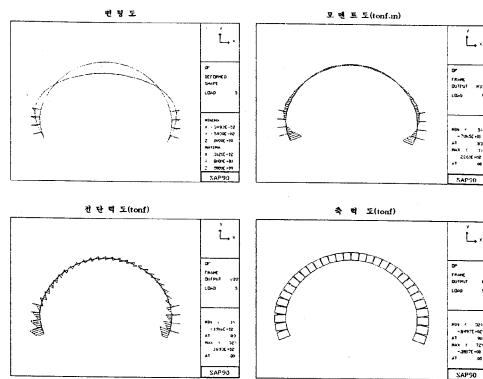


4) CASE 4 = 0.75(1.54×자중 + 1.54×수직토압 + 0.9×수평토압 + 1.5×온도하중(-15℃))

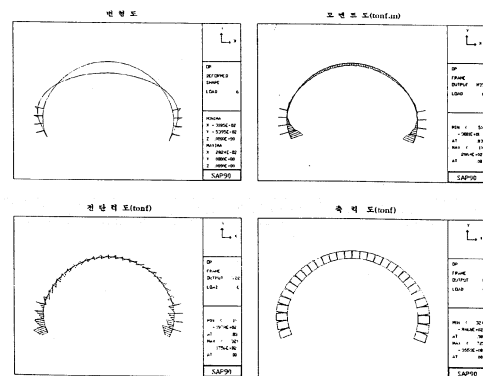


-228-

5) CASE 5 = 1.0×자중 + 1.0×수직토압 + 1.0×수평토압

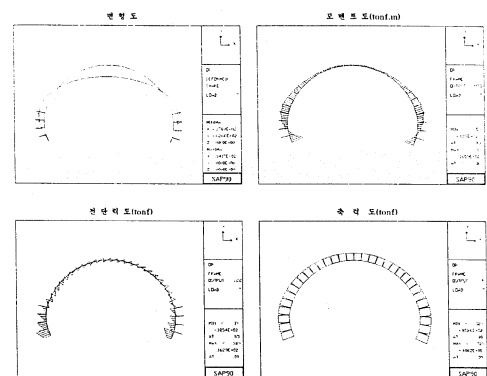


6) CASE 6 = 1.0×자중 + 1.0×수직토압 + 1.0×수평토압 + 1.0×온도하중(+15℃)



-229-

7) CASE 7 = 1.0×자중 + 1.0×수직토압 + 1.0×수평토압 + 1.0×온도하중(-15℃)



-230-

아. 단 면 검 토

콘크리트 설계기준강도 $f_{ck} = 240 \text{ kgf/cm}^2$ 철근항복강도 $f_y = 3000 \text{ kgf/cm}^2$
등가직사각형 응력분포의 깊이를 구하기 위한 유효 깊이 계수 $k_1 = 0.850$
압축부재 강도감소계수 $\phi_c = 0.70$ 휨 강도감소계수 $\phi_f = 0.85$ 전단 강도감소계수 $\phi_v = 0.80$

>> 축 벽 부

설계단면력 : 모멘트 $M_u = 33.91 \text{ tonf} \cdot \text{m}$ 축력 $P_u = 123.05 \text{ tonf}$ 전단력 $S_u = 28.62 \text{ tonf}$
편심 $e = M_u \cdot 100 / P_u = 27.56 \text{ cm}$
사용단면 : 두께 $H = 43.3 \text{ cm}$ 폭 $B = 100.0 \text{ cm}$
인장철근 : D22@125 ($A_s = 30.97 \text{ cm}^2$) 철근중심 $d_c = 6.00 \text{ cm}$
유효두께 $D = H - d_c = 37.30 \text{ cm}$
압축철근 : D22@125 ($A_s' = 30.97 \text{ cm}^2$) 철근중심 $d' = 6.00 \text{ cm}$

* 평형하중 산정

- 소성중심
 $C_c = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot A_g = 883320 \text{ kgf}$
 $C_{s1} = A_s \cdot f_y = 92904 \text{ kgf}$ $C_{s2} = A_s' \cdot (f_y - 0.85 \cdot f_{ck}) = 86587 \text{ kgf}$
 $X_p = [C_c \cdot H / 2 + C_{s1} \cdot d_c + C_{s2} \cdot (H - d')] / (C_c + C_{s1} + C_{s2}) = 21.56 \text{ cm}$
 $d'' = X_p - h + d = 15.56 \text{ cm}$
- 평형상태
 $cb = 6120 / (6120 + f_y) \cdot D = 25.03 \text{ cm}$ $ab = k_1 \cdot cb = 21.28 \text{ cm}$
 $f_s' = 6120 \cdot (cb - d') / cb = 4652.98 \text{ kgf/cm}^2 > f_y \Rightarrow f_s' = f_y$
 $C_c = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot ab \cdot B = 434025 \text{ kgf}$
 $T = A_s \cdot f_y = 92904 \text{ kgf}$
 $C_s = A_s' \cdot (f_s' - 0.85 \cdot f_{ck}) = 86587 \text{ kgf}$
- 평형하중 및 편심
 $P_b = C_c + C_s - T = 427707 \text{ kgf} = 427.71 \text{ tonf}$
 $M_b = C_c \cdot (d - ab/2 - d') + C_s \cdot (d - d' - d'') + T \cdot d' = 7626355 \text{ kgf} \cdot \text{cm} = 76.28 \text{ tonf} \cdot \text{m}$
 $e_b = M_b / P_b = 17.84 \text{ cm}$

$e_b < e \Rightarrow$ 인장 파괴

* 공칭 강도

$c = 14.41 \text{ cm}$, $a = k_1 \cdot c = 12.25 \text{ cm}$ 라 가정하면
 $f_s = 6120 \cdot (D - c) / c = 9723.42 \text{ kgf/cm}^2 > f_y \Rightarrow f_s = f_y$
 $f_s' = 6120 \cdot (c - d') / c = 3571.46 \text{ kgf/cm}^2 > f_y \Rightarrow f_s' = f_y$
 $C_c = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot a \cdot B = 249839 \text{ kgf}$
 $C_s = A_s' \cdot (f_s' - 0.85 \cdot f_{ck}) = 86587 \text{ kgf}$ $T = A_s \cdot f_y = 92904 \text{ kgf}$

-231-

$P_n = C_c + C_s - T = 243522 \text{ kgf} = 243.52 \text{ tonf}$
 $M_n' = C_c \cdot (D - a / 2) + C_s \cdot (D - d') = 10499267 \text{ kgf} \cdot \text{cm} = 104.99 \text{ tonf} \cdot \text{m}$
 $e' = e + d' = 43.11 \text{ cm}$
오차 $= |e' - M_n / P_n| = 0.001 \text{ cm} < 0.01 \dots$ 가정만족

* 강도 검토

$\phi_c \cdot P_n = 170.47 \text{ tonf} > \text{Min} (0.1 f_{ck} A_g, \phi_c \cdot P_b) = 103.92 \text{ tonf}$
 $\phi = \phi_c = 0.700$
 $\phi \cdot P_n = 170.47 \text{ tonf} > P_u = 123.05 \text{ tonf} \dots$ 만족
 $\phi \cdot M_n = \phi \cdot (P_n \cdot e) = 46.98 \text{ tonf} \cdot \text{m} > M_u = 33.91 \text{ tonf} \cdot \text{m} \dots$ 만족

* 철근비 검토

- 최소철근비 검토
철근항복강도 $f_y < 4000.0 \text{ kgf/cm}^2$ 사용 최소철근직경 (D22) $> 16 \text{ mm}$
사용 철근비 $\rho = (A_s + A_s') / (B \cdot H) = 0.0143 > \text{최소 철근비} = 0.0015 \dots$ 만족
- 최대철근비 검토

* 전단설계

$\phi_v \cdot S_c = \phi_v \cdot 0.53 \cdot (1 + 0.0071 \cdot P_u / A_g) \cdot \sqrt{(f_{ck}) \cdot B \cdot D} / 1000 = 29.44 \text{ tonf}$
 $S_u \leq \phi_v \cdot S_c \dots$ 전단보강철근 필요없음.
최소간격 $s = \text{min} (60 \text{ cm}, 0.5 D) = 18.6 \text{ cm}$

>> 아 치 부

설계단면력 : 모멘트 $M_u = 20.62 \text{ tonf} \cdot \text{m}$ 축력 $P_u = 112.19 \text{ tonf}$ 전단력 $S_u = 10. \text{ tonf}$
편심 $e = M_u \cdot 100 / P_u = 18.38 \text{ cm}$
사용단면 : 두께 $H = 35.0 \text{ cm}$ 폭 $B = 100.0 \text{ cm}$
인장철근 : D22@125 ($A_s = 30.97 \text{ cm}^2$) 철근중심 $d_c = 6.00 \text{ cm}$
유효두께 $D = H - d_c = 29.00 \text{ cm}$
압축철근 : D22@125 ($A_s' = 30.97 \text{ cm}^2$) 철근중심 $d' = 6.00 \text{ cm}$

* 평형하중 산정

- 소성중심
 $C_c = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot A_g = 714000 \text{ kgf}$
 $C_{s1} = A_s \cdot f_y = 92904 \text{ kgf}$ $C_{s2} = A_s' \cdot (f_y - 0.85 \cdot f_{ck}) = 86587 \text{ kgf}$
 $X_p = [C_c \cdot H / 2 + C_{s1} \cdot d_c + C_{s2} \cdot (H - d')] / (C_c + C_{s1} + C_{s2}) = 17.42 \text{ cm}$
 $d'' = X_p - h + d = 11.42 \text{ cm}$

-232-

- 평형상태
 $cb = 6120 / (6120 + f_y) \cdot D = 19.46 \text{ cm}$ $ab = k_1 \cdot cb = 16.54 \text{ cm}$
 $f_s' = 6120 \cdot (cb - d') / cb = 4233.10 \text{ kgf/cm}^2 > f_y \Rightarrow f_s' = f_y$
 $C_c = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot ab \cdot B = 337446 \text{ kgf}$
 $T = A_s \cdot f_y = 92904 \text{ kgf}$
 $C_s = A_s' \cdot (f_s' - 0.85 \cdot f_{ck}) = 86587 \text{ kgf}$
- 평형하중 및 편심
 $P_b = C_c + C_s - T = 331128 \text{ kgf} = 331.13 \text{ tonf}$
 $M_b = C_c \cdot (d - ab/2 - d') + C_s \cdot (d - d' - d'') + T \cdot d' = 5205444 \text{ kgf} \cdot \text{cm} = 52.05 \text{ tonf} \cdot \text{m}$
 $e_b = M_b / P_b = 15.72 \text{ cm}$

$e_b < e \Rightarrow$ 인장 파괴

* 공칭 강도

$c = 16.29 \text{ cm}$, $a = k_1 \cdot c = 13.85 \text{ cm}$ 라 가정하면
 $f_s = 6120 \cdot (D - c) / c = 4775.92 \text{ kgf/cm}^2 > f_y \Rightarrow f_s = f_y$
 $f_s' = 6120 \cdot (c - d') / c = 3865.67 \text{ kgf/cm}^2 > f_y \Rightarrow f_s' = f_y$
 $C_c = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot a \cdot B = 282445 \text{ kgf}$
 $C_s = A_s' \cdot (f_s' - 0.85 \cdot f_{ck}) = 86587 \text{ kgf}$ $T = A_s \cdot f_y = 92904 \text{ kgf}$
 $P_n = C_c + C_s - T = 276128 \text{ kgf} = 276.13 \text{ tonf}$
 $M_n' = C_c \cdot (D - a / 2) + C_s \cdot (D - d') = 8227128 \text{ kgf} \cdot \text{cm} = 82.27 \text{ tonf} \cdot \text{m}$
 $e' = e + d' = 29.80 \text{ cm}$
오차 $= |e' - M_n / P_n| = 0.004 \text{ cm} < 0.01 \dots$ 가정만족

* 강도 검토

$\phi_c \cdot P_n = 193.29 \text{ tonf} > \text{Min} (0.1 f_{ck} A_g, \phi_c \cdot P_b) = 84.00 \text{ tonf}$
 $\phi = \phi_c = 0.700$
 $\phi \cdot P_n = 193.29 \text{ tonf} > P_u = 112.19 \text{ tonf} \dots$ 만족
 $\phi \cdot M_n = \phi \cdot (P_n \cdot e) = 35.53 \text{ tonf} \cdot \text{m} > M_u = 20.62 \text{ tonf} \cdot \text{m} \dots$ 만족

* 철근비 검토

- 최소철근비 검토
철근항복강도 $f_y < 4000.0 \text{ kgf/cm}^2$ 사용 최소철근직경 (D22) $> 16 \text{ mm}$
사용 철근비 $\rho = (A_s + A_s') / (B \cdot H) = 0.0177 > \text{최소 철근비} = 0.0015 \dots$ 만족
- 최대철근비 검토

* 전단설계

$\phi_v \cdot S_c = \phi_v \cdot 0.53 \cdot (1 + 0.0071 \cdot P_u / A_g) \cdot \sqrt{(f_{ck}) \cdot B \cdot D} / 1000 = 23.38 \text{ tonf}$
 $S_u \leq \phi_v \cdot S_c \dots$ 전단보강철근 필요없음.
최소간격 $s = \text{min} (60 \text{ cm}, 0.5 D) = 14.5 \text{ cm}$

-233-

>> 천 정 부

설계단면력 : 모멘트 $M_u = 14.54 \text{ tonf} \cdot \text{m}$ 축력 $P_u = 53.15 \text{ tonf}$ 전단력 $S_u = 4.91 \text{ tonf}$
편심 $e = M_u \cdot 100 / P_u = 27.36 \text{ cm}$
사용단면 : 두께 $H = 35.0 \text{ cm}$ 폭 $B = 100.0 \text{ cm}$
인장철근 : D22@125 ($A_s = 30.97 \text{ cm}^2$) 철근중심 $d_c = 6.00 \text{ cm}$
유효두께 $D = H - d_c = 29.00 \text{ cm}$
압축철근 : D22@125 ($A_s' = 30.97 \text{ cm}^2$) 철근중심 $d' = 6.00 \text{ cm}$

* 평형하중 산정

- 소성중심
 $C_c = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot A_g = 714000 \text{ kgf}$
 $C_{s1} = A_s \cdot f_y = 92904 \text{ kgf}$ $C_{s2} = A_s' \cdot (f_y - 0.85 \cdot f_{ck}) = 86587 \text{ kgf}$
 $X_p = [C_c \cdot H / 2 + C_{s1} \cdot d_c + C_{s2} \cdot (H - d')] / (C_c + C_{s1} + C_{s2}) = 17.42 \text{ cm}$
 $d'' = X_p - h + d = 11.42 \text{ cm}$
- 평형상태
 $cb = 6120 / (6120 + f_y) \cdot D = 19.46 \text{ cm}$ $ab = k_1 \cdot cb = 16.54 \text{ cm}$
 $f_s' = 6120 \cdot (cb - d') / cb = 4233.10 \text{ kgf/cm}^2 > f_y \Rightarrow f_s' = f_y$
 $C_c = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot ab \cdot B = 337446 \text{ kgf}$
 $T = A_s \cdot f_y = 92904 \text{ kgf}$
 $C_s = A_s' \cdot (f_s' - 0.85 \cdot f_{ck}) = 86587 \text{ kgf}$
- 평형하중 및 편심
 $P_b = C_c + C_s - T = 331128 \text{ kgf} = 331.13 \text{ tonf}$
 $M_b = C_c \cdot (d - ab/2 - d') + C_s \cdot (d - d' - d'') + T \cdot d' = 5205444 \text{ kgf} \cdot \text{cm} = 52.05 \text{ tonf} \cdot \text{m}$
 $e_b = M_b / P_b = 15.72 \text{ cm}$

$e_b < e \Rightarrow$ 인장 파괴

* 공칭 강도

$c = 10.15 \text{ cm}$, $a = k_1 \cdot c = 8.63 \text{ cm}$ 라 가정하면
 $f_s = 6120 \cdot (D - c) / c = 11361.03 \text{ kgf/cm}^2 > f_y \Rightarrow f_s = f_y$
 $f_s' = 6120 \cdot (c - d') / c = 2503.24 \text{ kgf/cm}^2 < f_y$
 $C_c = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot a \cdot B = 176048 \text{ kgf}$
 $C_s = A_s' \cdot (f_s' - 0.85 \cdot f_{ck}) = 71203 \text{ kgf}$ $T = A_s \cdot f_y = 92904 \text{ kgf}$
 $P_n = C_c + C_s - T = 154347 \text{ kgf} = 154.35 \text{ tonf}$
 $M_n' = C_c \cdot (D - a / 2) + C_s \cdot (D - d') = 5983428 \text{ kgf} \cdot \text{cm} = 59.83 \text{ tonf} \cdot \text{m}$
 $e' = e + d' = 38.78 \text{ cm}$
오차 $= |e' - M_n / P_n| = 0.009 \text{ cm} < 0.01 \dots$ 가정만족

* 강도 검토

-234-

$\phi c^*P_n = 108.04 \text{ tonf} > \text{Min} (0.1f_{ck} A_g, \phi c^*P_b) = 84.00 \text{ tonf}$
 $\phi = \phi_c = 0.700$
 $\phi^*P_n = 108.04 \text{ tonf} > P_u = 53.15 \text{ tonf} \dots \text{만족}$
 $\phi^*M_n = \phi^*(P_n^*e) = 29.56 \text{ tonf} \cdot \text{m} > M_u = 14.54 \text{ tonf} \cdot \text{m} \dots \text{만족}$

* 철근비 검토

- 최소철근비 검토
 철근항복강도 $f_y < 4000.0 \text{ kg/cm}^2$ 사용 최소철근직경 (D22) $> 16\text{mm}$
 사용 철근비 $\rho = (A_s + A_s') / (B \cdot H) = 0.0177 > \rho_{\text{최소}} = 0.0015 \dots \text{만족}$
- 최대철근비 검토

* 전단설계

$\phi v^*S_c = \phi v^*0.53 \cdot (1 + 0.0071 \cdot P_u / A_g) \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot B \cdot D / 1000 = 21.10 \text{ tonf}$
 $S_u \leq \phi v^*S_c \dots \text{전단보강철근 필요없음.}$
 최소간격 $s = \min (60\text{cm}, 0.5D) = 14.5 \text{ cm}$

=====

균열 검토

콘크리트 설계기준강도 $f_{ck} = 240 \text{ kgf/cm}^2$
 철근항복강도 $f_y = 3000 \text{ kgf/cm}^2$
 콘크리트 탄성계수 $E_c = 15000 \cdot \sqrt{f_{ck}} = 232379.0 \text{ kgf/cm}^2$
 철근의 탄성계수 $E_s = 2040000 \text{ kgf/cm}^2$ 탄성계수비 $n = E_s / E_c = 8.78$

>> 측 복 부

사용 하 중 모 멘 트 : $M_o = 15.62 \text{ tonf} \cdot \text{m}$
 사 용 단 면 두 겜 : $H = 43.30 \text{ cm}$ 폭 : $B = 100.00 \text{ cm}$
 부식에 대한 환경조건 : 일반 환경 (0.005C)

인장철근 : 8 -D22 ($A_s = 30.97 \text{ cm}^2$) 피복 : $d_{c1} = 6.00 \text{ cm}$

압축철근 : 8 -D22 ($A_s' = 30.97 \text{ cm}^2$) 피복 : $d_1' = 6.00 \text{ cm}$

허용 균열폭 $W_a = 0.005C = 0.245 \text{ mm}$
 $\rightarrow C = \text{최외단철근덜개} = d_{c1} - \text{주철근 } D/2 = 49.00 \text{ mm}$

인장철근중심거리 $d_{cg} = d_{c1} = 6.00 \text{ cm}$
 압축철근중심거리 $d_{cg}' = d_1' = 6.00 \text{ cm}$
 인장철근비 $p = A_s / [(H - d_{cg}) \cdot B] = 0.0083$
 압축철근비 $p' = A_s' / [(H - d_{cg}) \cdot B] = 0.0083$
 중립축비 $k = -n(p + 2p') + \sqrt{[n^2 (p + 2p')^2 + 2n(p + 2p')(d'/d)]} = 0.2717$
 $j = (1 - d_{cg}/d) - k^2 \cdot (k/3 - d_{cg}/d) / [2np(1 - k)] = 0.8880$

철근열폭 $W = 1.08 \cdot R \cdot f_s^{*3} \cdot \sqrt{(d_{cg} \cdot A)} / 100000 = 0.19389 \text{ mm}$
 $\rightarrow f_s = M_o / (A_s \cdot j \cdot d) = 1522.77 \text{ kgf/cm}^2$
 $R = (H - k \cdot d) / (D - k \cdot d) = 1.221$
 $d_{cg} = 6.00 \text{ cm}$
 $A = 2 \cdot d_{cg} \cdot B / \text{철근총갯수} = 150.00 \text{ cm}^2$

철근열폭 $W = 0.19389 \text{ mm} < \text{허용철근열폭 } W_a = 0.24500 \text{ mm} \dots \text{만족}$
 >> 아 자 루

사용 하 중 모 멘 트 : $M_o = 11.13 \text{ tonf} \cdot \text{m}$
 사 용 단 면 두 겜 : $H = 35.00 \text{ cm}$ 폭 : $B = 100.00 \text{ cm}$
 부식에 대한 환경조건 : 일반 환경 (0.005C)

인장철근 : 8 -D22 ($A_s = 30.97 \text{ cm}^2$) 피복 : $d_{c1} = 6.00 \text{ cm}$

압축철근 : 8 -D22 ($A_s' = 30.97 \text{ cm}^2$) 피복 : $d_1' = 6.00 \text{ cm}$

허용 균열폭 $W_a = 0.005C = 0.245 \text{ mm}$
 $\rightarrow C = \text{최외단철근덜개} = d_{c1} - \text{주철근 } D/2 = 49.00 \text{ mm}$

인장철근중심거리 $d_{cg} = d_{c1} = 6.00 \text{ cm}$
 압축철근중심거리 $d_{cg}' = d_1' = 6.00 \text{ cm}$
 인장철근비 $p = A_s / [(H - d_{cg}) \cdot B] = 0.0107$
 압축철근비 $p' = A_s' / [(H - d_{cg}) \cdot B] = 0.0107$
 중립축비 $k = -n(p + 2p') + \sqrt{[n^2 (p + 2p')^2 + 2n(p + 2p')(d'/d)]} = 0.3054$
 $j = (1 - d_{cg}/d) - k^2 \cdot (k/3 - d_{cg}/d) / [2np(1 - k)] = 0.8684$

철근열폭 $W = 1.08 \cdot R \cdot f_s^{*3} \cdot \sqrt{(d_{cg} \cdot A)} / 100000 = 0.19317 \text{ mm}$
 $\rightarrow f_s = M_o / (A_s \cdot j \cdot d) = 1427.17 \text{ kgf/cm}^2$
 $R = (H - k \cdot d) / (D - k \cdot d) = 1.298$
 $d_{cg} = 6.00 \text{ cm}$
 $A = 2 \cdot d_{cg} \cdot B / \text{철근총갯수} = 150.00 \text{ cm}^2$

철근열폭 $W = 0.19317 \text{ mm} < \text{허용철근열폭 } W_a = 0.24500 \text{ mm} \dots \text{만족}$

>> 천 정 부

사용 하 중 모 멘 트 : $M_o = 5.53 \text{ tonf} \cdot \text{m}$
 사 용 단 면 두 겜 : $H = 35.00 \text{ cm}$ 폭 : $B = 100.00 \text{ cm}$
 부식에 대한 환경조건 : 일반 환경 (0.005C)

인장철근 : 8 -D22 ($A_s = 30.97 \text{ cm}^2$) 피복 : $d_{c1} = 6.00 \text{ cm}$

압축철근 : 8 -D22 ($A_s' = 30.97 \text{ cm}^2$) 피복 : $d_1' = 6.00 \text{ cm}$

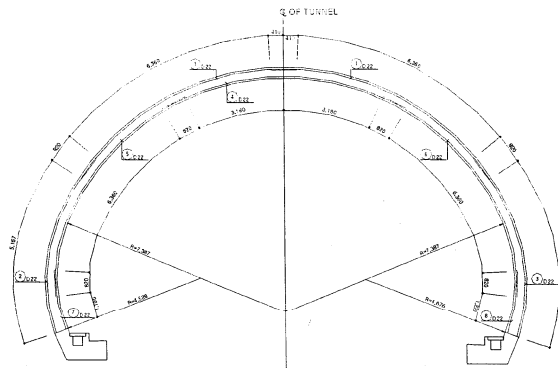
허용 균열폭 $W_a = 0.005C = 0.245 \text{ mm}$
 $\rightarrow C = \text{최외단철근덜개} = d_{c1} - \text{주철근 } D/2 = 49.00 \text{ mm}$

인장철근중심거리 $d_{cg} = d_{c1} = 6.00 \text{ cm}$
 압축철근중심거리 $d_{cg}' = d_1' = 6.00 \text{ cm}$
 인장철근비 $p = A_s / [(H - d_{cg}) \cdot B] = 0.0107$
 압축철근비 $p' = A_s' / [(H - d_{cg}) \cdot B] = 0.0107$
 중립축비 $k = -n(p + 2p') + \sqrt{[n^2 (p + 2p')^2 + 2n(p + 2p')(d'/d)]} = 0.3054$
 $j = (1 - d_{cg}/d) - k^2 \cdot (k/3 - d_{cg}/d) / [2np(1 - k)] = 0.8684$

철근열폭 $W = 1.08 \cdot R \cdot f_s^{*3} \cdot \sqrt{(d_{cg} \cdot A)} / 100000 = 0.09598 \text{ mm}$
 $\rightarrow f_s = M_o / (A_s \cdot j \cdot d) = 709.09 \text{ kgf/cm}^2$
 $R = (H - k \cdot d) / (D - k \cdot d) = 1.298$
 $d_{cg} = 6.00 \text{ cm}$
 $A = 2 \cdot d_{cg} \cdot B / \text{철근총갯수} = 150.00 \text{ cm}^2$

철근열폭 $W = 0.09598 \text{ mm} < \text{허용철근열폭 } W_a = 0.24500 \text{ mm} \dots \text{만족}$

C.T.C 125



-239-

자. INPUT 및 OUTPUT

1) INPUT DATA

PUSAN-ULSAN TUNNEL (본선과 면역 접속부)
 SYSTEM
 R=0 L=5
 JOINTS

73	Y=2.455	Y=-6.540	Z=0	
74	Y=1.555	Y=-6.540	Z=-1	
1	Y=6.867	Y=6.895	Z=0	A=73, 74, 1, 4, 1, 9, 6.9717
75	X=0.000	Y=7.562	Z=0	
76	X=0.000	Y=-7.562	Z=-1	
6	X=6.990	Y=4.678	Z=0	A=75, 76, 6, 21, 1, 6.1437
77	X=2.046	Y=6.718	Z=0	
78	X=2.046	Y=-6.718	Z=-1	
42	X=6.990	Y=4.678	Z=0	A=77, 78, 28, 5, 1, 9.6153
28	X=8.125	Y=-8.203	Z=0	A=73, 74, 42, 3, 1, 9.6137
46	X=7.915	Y=4.297	Z=0	A=75, 76, 46, 21, 1, 6.1437
68	X=7.915	Y=-4.297	Z=0	A=77, 78, 68, 4, 1, 9.6153

```

REstraints
  1 33 32 R=1 1 1 1 1 1
  2 32 1 R=0 0 1 1 1 0
 42 45 1 R=1 1 1 1 1 1
 69 78 1 R=1 1 1 1 1 1

```

```

FRAME
NM= 8  NL=47  Y=-1
1 SH=R  T=0.450 1.000  E=2.322E6  W=0.450*2.50  TC=1E-5
2 SH=L  T=0.433 1.000  E=2.322E6  W=0.433*2.50  TC=1E-5
3 SH=R  T=0.397 1.000  E=2.322E6  W=0.397*2.50  TC=1E-5
4 SH=L  T=0.371 1.000  E=2.322E6  W=0.371*2.50  TC=1E-5
5 SH=R  T=0.355 1.000  E=2.322E6  W=0.355*2.50  TC=1E-5
6 SH=L  T=0.350 1.000  E=2.322E6  W=0.350*2.50  TC=1E-5
7 A=1.0  I=1E-6  E= 945
8 A=1.0  I=1E-6  E= 940

```

C SELF-WEIGHT

1 WG= 0, -18.572
2 WG= 0, -16.932
3 WG= 0, -15.356
4 WG= 0, -13.892
5 WG= 0, -12.512
6 WG= 0, -11.232
7 WG= 0, -10.064
8 WG= 0, -9.024
9 WG= 0, -8.122
10 WG= 0, -7.370
11 WG= 0, -6.776
12 WG= 0, -6.348
13 WG= 0, -6.088

```
C ***** (수정표양) *****
14 WG= 23.390*0.5, 0
15 WG= 21.846*0.5, 0
16 WG= 20.224*0.5, 0
17 WG= 18.572*0.5, 0
18 WG= 16.932*0.5, 0
19 WG= 15.356*0.5, 0
20 WG= 13.892*0.5, 0
21 WG= 12.512*0.5, 0
22 WG= 11.232*0.5, 0
23 WG= 10.064*0.5, 0
24 WG= 9.024*0.5, 0
25 WG= 8.122*0.5, 0
26 WG= 7.370*0.5, 0
27 WG= 6.776*0.5, 0
28 WG= 6.348*0.5, 0
29 WG= 6.088*0.5, 0
```

-240-

30	WG=	-23.3900	5,	0
31	WG=	-21.84650	5,	0
32	WG=	-20.2240	5,	0
33	WG=	-18.5720	5,	0
34	WG=	-16.9320	5,	0
35	WG=	-15.3560	5,	0
36	WG=	-13.8920	5,	0
37	WG=	-12.5120	5,	0
38	WG=	-11.2320	5,	0
39	WG=	-10.0640	5,	0
40	WG=	-9.0240	5,	0
41	WG=	-8.1220	5,	0
42	WG=	-7.3700	5,	0
43	WG=	-6.7760	5,	0
44	WG=	-6.3480	5,	0
45	WG=	-6.0880	5,	0

46 T=0, 15/0.35
47 T=0, -15/0.35

[illegible]

COMBO	Pd	Pv	Ph	T	T
1 C=1.54	1.54	1.80	0.0	0.0	
2 C=1.54	1.54	0.90	0.0	0.0	
3 C=1.155	1.155	0.675	1.125	0.0	
4 C=1.155	1.155	0.675	0.0	1.125	
5 C=1.00	1.00	1.00	0.0	0.0	
6 C=1.00	1.00	1.00	1.0	0.0	
7 C=1.00	1.00	1.00	0.0	1.0	

-241-

2) OUTPUT DATA

PUSAN-ULSAN TUNNEL(본선과 면벽 접속부)
FRAME ELEMENT FORCES

ELT	LOAD	DIST	1-2 PLANE		AXIAL
ID	COND	ENDI	SHEAR	MOMENT	FORCE
1					
1	.000				130.571
	.000	-9.272	21.848		
	.827	-23.922	8.121		
	.827				-123.410
2	.000				-121.589
	.000	-36.177	66.755		
	.827	-43.249	33.906		
	.827				-117.353
3	.000				-90.866
	.000	-27.833	56.844		
	.827	-33.137	31.628		
	.827				-87.689
4	.000				-91.517
	.000	-26.432	43.289		
	.827	-31.736	19.231		
	.827				-88.340
5	.000				-83.102
	.000	-11.068	22.611		
	.827	-19.159	10.110		
	.827				-79.000
6	.000				-82.812
	.000	-11.691	28.636		
	.827	-19.782	15.620		
	.827				-78.711
7	.000				-83.391
	.000	-10.445	16.586		
	.827	-18.536	4.601		
	.827				-79.290
2					
1	.000				-125.707
	.000	-3.224	8.121		
	.827	-18.587	-.899		
	.827				-121.252
2	.000				-123.047
	.000	-24.066	33.906		
	.827	-28.617	10.877		
	.827				-120.172
3	.000				-92.080
	.000	-18.766	31.628		
	.827	-24.429	13.763		
	.827				-89.923
4	.000				-92.491
	.000	-17.333	19.231		
	.827	-22.996	2.553		
	.827				-90.335
5	.000				-81.129
	.000	-6.003	10.110		
	.827	-14.514	1.082		
	.827				-78.533
6	.000				-80.946
	.000	-6.640	15.620		
	.827	-15.151	6.638		
	.827				-78.350
7	.000				-81.312
	.000	-5.366	4.601		

-242-

3		.827	-13,877	-3,357	-78,715
1		.000			-122,745
		.000	.934	-899	
		.051	.000	.875	
		.827	-14,071	-6,332	
		.827			-121,061
2		.000			-124,087
		.000	-14,675	10,877	
		.827	-22,158	-4,357	
		.827			-122,634
3		.000			-92,974
		.000	-11,640	13,763	
		.827	-17,253	1,813	
		.827			-91,884
4		.000			-93,156
		.000	-10,372	2,553	
		.827	-15,985	-8,348	
		.827			-92,066
5		.000			-79,956
		.000	-2,322	1,625	
		.827	-10,654	-3,741	
		.827			-78,906
6		.000			-79,875
		.000	-2,886	6,608	
		.827	-11,218	.775	
		.827			-78,825
7		.000			-80,038
		.000	-1,758	-3,357	
		.827	-10,050	-8,257	
		.827			-78,987
4		.000			-121,857
1		.000	4,649	-6,332	
		.271	.000	-5,702	
		.827	-9,523	-8,349	
		.827			119,372
2		.000			-125,180
		.000	-7,973	-4,357	
		.827	-15,363	-14,009	
		.827			-121,752
3		.000			-93,885
		.000	-6,423	1,813	
		.827	-11,965	-5,793	
		.827			-91,314
4		.000			-93,885
		.000	-5,537	-8,348	
		.827	-11,079	-15,221	
		.827			-91,314
5		.000			-79,751
		.000	.651	-3,741	
		.068	.000	-3,719	
		.827	-7,279	-6,483	
		.827			-77,960
6		.000			-79,751
		.000	.257	.775	
		.027	.000	.778	
		.827	-7,673	-2,293	
		.827			-77,960
7		.000			-79,751
		.000	1,045	-8,257	
		.102	.000	-8,201	
		.827	-6,885	-10,673	
		.827			-77,961
					-243-

5		.000			-119,450
1		.000	8,599	-8,349	
		.517	.001	-6,127	
		.827	-5,165	-6,929	
		.827			-115,795
2		.000			-123,389
		.000	-3,957	-14,009	
		.827	-11,997	-20,607	
		.827			-117,917
3		.000			-92,594
		.000	-3,139	-5,793	
		.827	-9,169	-10,883	
		.827			-88,490
4		.000			92,490
		.000	-2,797	-15,221	
		.827	-8,826	-20,028	
		.827			-88,386
5		.000			-78,304
		.000	3,228	-6,483	
		.339	.000	-5,135	
		.827	-4,636	-7,065	
		.827			-75,589
6		.000			-78,350
		.000	3,076	-2,293	
		.323	.000	-1,795	
		.827	-4,798	-3,001	
		.827			-75,636
7		.000			-78,257
		.000	3,381	-10,673	
		.355	.000	-10,073	
		.827	-4,483	-11,130	
		.827			-75,543
6		.000			-115,410
1		.000	10,756	-6,929	
		.663	.000	-3,363	
		.810	-2,389	-3,539	
		.810			-111,330
2		.000			-118,448
		.000	4,281	-20,607	
		.404	.000	-19,742	
		.810	-4,302	-20,616	
		.810			-112,193
3		.000			-88,911
		.000	3,048	-10,883	
		.384	.000	-10,298	
		.810	-3,389	-11,021	
		.810			-84,220
4		.000			-88,761
		.000	3,373	-20,028	
		.425	.000	-19,312	
		.810	-3,064	-19,903	
		.810			-84,070
5		.000			-75,511
		.000	5,770	-7,065	
		.609	.000	-5,309	
		.810	-1,910	-5,501	
		.810			-72,454
6		.000			-75,578
		.000	5,625	-3,001	
		.594	.000	-1,331	
		.810	-2,055	-1,554	
		.810			-72,521
7		.000			-75,445
					-244-

7		.000	5,914	-11,130	
		.524	.000	-9,284	
		.810	-1,766	-9,449	
		.810			-72,387
1		.000			-110,946
		.000	9,539	-3,539	
		.609	.000	-.632	
		.810	-3,149	-.949	
		.810			-106,799
2		.000			-112,009
		.000	7,730	-20,616	
		.695	.000	-17,931	
		.810	-1,286	-18,005	
		.810			-105,599
3		.000			-84,099
		.000	5,644	-11,021	
		.676	.000	-9,112	
		.810	-1,118	-9,187	
		.810			-79,291
4		.000			-83,915
		.000	5,951	-19,903	
		.713	.000	-17,781	
		.810	-.811	-17,820	
		.810			-79,107
5		.000			-72,242
		.000	5,855	-5,501	
		.628	.000	-3,662	
		.810	-1,695	-3,815	
		.810			-69,125
6		.000			-72,324
		.000	5,718	-1,554	
		.614	.000	.201	
		.810	-1,832	.021	
		.810			-69,206
7		.000			-72,160
		.000	5,991	-9,449	
		.643	.000	-7,522	
		.810	-1,559	-7,653	
		.810			-69,043
8		.000			-106,522
1		.000	8,299	-.949	
		.550	.000	1,333	
		.810	-3,931	.821	
		.810			-102,517
2		.000			-105,130
		.000	10,023	-18,005	
		.810	.643	-13,683	
		.810			-98,915
3		.000			-78,955
		.000	7,374	-9,187	
		.810	.339	-6,062	
		.810			-74,294
4		.000			-78,740
		.000	7,660	-17,820	
		.810	.625	-14,463	
		.810			-74,078
5		.000			68,909
		.000	5,713	-3,816	
		.525	.000	-2,031	
		.810	-1,695	-2,188	
		.810			-65,894
6		.000			-69,005
		.000	5,586	.021	
		.611	.000	1,728	
					-245-

		.810	-1,822	1,546	
		.810			-65,990
7		.000			-68,813
		.000	5,839	-7,653	
		.639	.000	-5,787	
		.810	-1,568	-5,922	
		.810			-65,798
9		.000			102,349
1		.000	7,063	.821	
		.487	.000	2,541	
		.810	-4,691	1,782	
		.810			-98,651
2		.000			-98,278
		.000	11,225	-13,683	
		.810	1,597	-6,467	
		.810			-92,534
3		.000			-73,831
		.000	8,289	-6,062	
		.810	1,067	-2,270	
		.810			-69,523
4		.000			-73,586
		.000	8,549	-14,463	
		.810	1,328	-10,461	
		.810			-69,278
5		.000			-65,697
		.000	5,367	-2,188	
		.601	.000	-.574	
		.810	-1,866	-.769	
		.810			-62,912
6		.000			-65,806
		.000	5,251	1,546	
		.588	.000	3,091	
		.810	-1,982	2,871	
		.810			-63,021
7		.000			-65,588
		.000	5,483	-5,922	
		.614	.000	-4,237	
		.810	-1,750	-4,409	
		.810			-62,803
10		.000			-98,587
1		.000	5,894	1,782	
		.425	.000	3,034	
		.810	-5,353	2,002	
		.810			-95,316
2		.000			-91,832
		.000	11,491	-8,487	
		.810	1,756	-3,119	
		.810			-86,755
3		.000			-69,010
		.000	8,502	-2,270	
		.810	1,201	1,661	
		.810			-65,202
4		.000			-68,738
		.000	8,735	-10,461	
		.810	1,454	-6,340	
		.810			-64,931
5		.000			-62,750
		.000	4,877	-.769	
		.563	.000	.604	
		.810	-2,142	.339	
		.810			-60,288
6		.000			-62,871
		.000	4,774	2,871	
					-246-

	.551	.000	4.186	
	.810	-2.246	3.895	-60.409
	.810			
7	.000			-62.629
	.000	4.981	-4.409	
	.575	.000	-2.977	
	.810	-2.039	-3.217	-60.167
	.810			
11				-95.342
1	.000			
	.000	4.879	2.002	
	.369	.000	2.901	
	.810	-5.843	1.611	-92.571
	.810			
2	.000			-86.069
	.000	11.031	-3.119	
	.810	1.326	1.888	-81.777
	.810			
3	.000			-64.699
	.000	8.172	1.661	
	.810	.893	5.334	-61.480
	.810			
4	.000			-64.404
	.000	8.374	-6.340	
	.810	1.096	-2.503	-61.185
	.810			
5	.000			-60.171
	.000	4.322	.339	
	.817	.000	1.457	
	.810	-2.449	1.098	-58.086
	.810			
6	.000			-60.302
	.000	4.232	3.895	
	.596	.000	4.967	
	.810	-2.540	4.581	-58.217
	.810			
7	.000			-60.040
	.000	4.412	-3.217	
	.528	.000	-2.052	
	.810	-2.359	-2.385	-57.955
	.810			
12				-92.665
1	.000			
	.000	4.097	1.611	
	.325	.000	2.278	
	.810	-6.100	.800	-90.427
	.810			
2	.000			-81.166
	.000	10.071	1.888	
	.810	.511	6.176	-77.710
	.810			
3	.000			-61.032
	.000	7.468	5.334	
	.810	.298	8.481	-58.440
	.810			
4	.000			-60.717
	.000	7.638	-2.503	
	.810	.468	.782	-58.126
	.810			
5	.000			-58.015
	.000	3.781	1.098	
	.471	.000	1.989	
	.810	-2.721	1.528	-56.333
	.810			
6	.000			-58.155

-247-

	.000	3.706	4.581	
	.462	.000	5.437	
	.810	-2.796	4.950	-56.473
	.810			
7	.000			-57.875
	.000	3.857	-2.385	
	.481	.000	-1.458	
	.810	-2.645	-1.894	-56.193
	.810			
13				-90.560
1	.000			
	.000	3.613	.800	
	.302	.000	1.345	
	.810	-6.088	.203	-88.856
	.810			
2	.000			-77.209
	.000	8.825	6.176	
	.766	.000	9.555	
	.810	.515	9.543	-74.588
	.810			
3	.000			-58.072
	.000	6.551	8.481	
	.758	.000	10.954	
	.810	-1.454	10.952	-56.107
	.810			
4	.000			-57.741
	.000	6.636	.782	
	.774	.000	3.369	
	.810	-1.318	3.363	-55.776
	.810			
5	.000			-56.301
	.000	3.324	1.528	
	.432	.000	2.246	
	.810	-2.908	1.696	-55.022
	.810			
6	.000			-56.448
	.000	3.264	4.950	
	.424	.000	5.642	
	.810	-2.968	5.070	-55.170
	.810			
7	.000			-56.153
	.000	3.384	-1.894	
	.440	.000	-1.149	
	.810	-2.847	-1.677	-54.875
	.810			
14				-88.997
1	.000			
	.000	3.457	-.203	
	.302	.000	.320	
	.810	-5.806	-1.155	-87.811
	.810			
2	.000			-74.215
	.000	7.471	9.543	
	.666	.000	12.031	
	.810	-1.619	11.915	-72.397
	.810			
3	.000			-55.833
	.000	5.554	10.952	
	.660	.000	12.785	
	.810	-1.264	12.690	-54.470
	.810			
4	.000			-55.489
	.000	5.653	3.363	
	.672	.000	5.282	
	.810	-1.165	5.181	-54.126
	.810			

-248-

5	.000			-55.018
	.000	2.998	1.696	
	.406	.000	2.305	
	.810	-2.985	1.702	-54.128
	.810			
6	.000			-55.170
	.000	2.954	5.070	
	.400	.000	5.660	
	.810	-3.029	5.039	-54.281
	.810			
7	.000			-54.865
	.000	3.042	-1.677	
	.412	.000	-1.050	
	.810	-2.941	-1.636	-53.976
	.810			
15				-87.928
1	.000			
	.000	3.625	-1.155	
	.329	.000	-.558	
	.810	-5.291	-1.830	-87.232
	.810			
2	.000			-72.155
	.000	6.138	11.915	
	.562	.000	13.639	
	.810	-2.718	13.300	-71.093
	.810			
3	.000			-54.292
	.000	4.573	12.690	
	.558	.000	13.966	
	.810	-2.070	13.705	-53.496
	.810			
4	.000			-53.940
	.000	4.635	5.181	
	.565	.000	6.492	
	.810	-2.008	6.246	-53.144
	.810			
5	.000			-54.137
	.000	2.825	1.702	
	.396	.000	2.261	
	.810	-2.953	1.650	-53.617
	.810			
6	.000			-54.294
	.000	2.798	5.039	
	.392	.000	5.588	
	.810	-2.981	4.965	-53.774
	.810			
7	.000			-53.980
	.000	2.853	-1.636	
	.400	.000	-1.065	
	.810	-2.928	-1.665	-53.460
	.810			
16				-87.298
1	.000			
	.000	4.075	-1.830	
	.380	.000	-1.055	
	.810	-4.605	-2.045	-87.070
	.810			
2	.000			-70.976
	.000	4.906	13.300	
	.458	.000	14.425	
	.810	-3.767	13.762	-70.630
	.810			
3	.000			-53.411
	.000	3.668	13.705	
	.457	.000	14.543	
	.810	-2.837	14.041	-53.151
	.810			

-249-

4	.000			-53.053
	.000	3.691	6.246	
	.460	.000	7.094	
	.810	-2.814	6.601	-52.794
	.810			
5	.000			-53.625
	.000	2.802	1.650	
	.403	.000	2.214	
	.810	-2.833	1.637	-53.455
	.810			
6	.000			-53.784
	.000	2.791	4.965	
	.401	.000	5.525	
	.810	-2.844	4.944	-53.614
	.810			
7	.000			-53.466
	.000	2.812	-1.665	
	.404	.000	-1.097	
	.810	-2.823	-1.670	-53.296
	.810			
17				-87.063
1	.000			
	.000	4.740	-2.045	
	.443	.000	-.996	
	.810	-3.939	-1.721	-87.291
	.810			
2	.000			-70.627
	.000	3.813	13.762	
	.356	.000	14.441	
	.810	-4.660	13.338	-70.974
	.810			
3	.000			-53.149
	.000	2.867	14.041	
	.357	.000	14.554	
	.810	-3.637	13.729	-53.409
	.810			
4	.000			-52.792
	.000	2.853	6.601	
	.355	.000	7.108	
	.810	-3.652	6.277	-53.052
	.810			
5	.000			-53.451
	.000	2.904	1.637	
	.418	.000	2.244	
	.810	-2.731	1.707	-53.621
	.810			
6	.000			-53.610
	.000	2.911	4.944	
	.419	.000	5.553	
	.810	-2.724	5.019	-53.780
	.810			
7	.000			-53.292
	.000	2.898	-1.670	
	.417	.000	-1.066	
	.810	-2.737	-1.605	-53.462
	.810			
18				-87.211
1	.000			
	.000	5.425	-1.721	
	.493	.000	-.383	
	.810	-3.491	-.937	-87.906
	.810			
2	.000			-71.086
	.000	2.764	13.338	
	.253	.000	13.687	
	.810	-6.093	11.989	

-250-

		.810		-72.148
3	.000			-53.492
	.000	2.099	13.729	
	.256	.000	13.998	
	.810	-4.543	12.739	-54.288
4	.000			-53.138
	.000	2.046	6.277	
	.250	.000	6.533	
	.810	-4.596	5.244	-53.934
5	.000			-53.606
	.000	3.024	1.707	
	.424	.000	2.348	
	.810	-2.755	1.816	-54.126
6	.000			-53.763
	.000	3.047	5.019	
	.427	.000	5.671	
	.810	-2.731	5.147	-54.283
7	.000			-53.448
	.000	3.003	-1.605	
	.421	.000	- .973	
	.810	-2.778	-1.515	-53.969
19				-53.969
1	.000			-87.775
	.000	5.937	-.937	
	.519	.000	.605	
	.810	-3.325	.121	-88.962
2	.000			-72.385
	.000	1.664	11.989	
	.148	.000	12.112	
	.810	-7.425	9.654	-74.904
3	.000			-54.462
	.000	1.293	12.739	
	.154	.000	12.838	
	.810	-5.524	11.024	-55.826
4	.000			-54.116
	.000	1.202	5.244	
	.143	.000	5.330	
	.810	-5.615	3.456	-55.480
5	.000			-54.110
	.000	3.054	1.816	
	.414	.000	2.448	
	.810	-2.923	1.867	-54.999
6	.000			-54.264
	.000	3.094	5.147	
	.419	.000	5.796	
	.810	-2.889	5.231	-55.153
7	.000			-53.956
	.000	3.013	-1.515	
	.408	.000	-.900	
	.810	-2.969	-1.497	-54.845
20				-54.845
1	.000			-88.807
	.000	6.214	.121	
	.519	.000	1.734	

-251-

		.810	-3.487	1.226	-90.511
2	.000				-74.572
	.000	.558	9.654		
	.048	.000	9.667		
	.810	-8.782	6.321	-77.193	
3	.000				-56.097
	.000	.482	11.024		
	.055	.000	11.038		
	.810	-6.523	8.577	-58.062	
4	.000				-55.762
	.000	.355	3.456		
	.041	.000	3.463		
	.810	-6.650	.905	-57.727	
5	.000				-54.997
	.000	2.974	1.867		
	.387	.000	2.442		
	.810	-3.257	1.752	-56.275	
6	.000				-55.145
	.000	3.030	5.231		
	.394	.000	5.828		
	.810	-3.201	5.162	-56.424	
7	.000				-54.848
	.000	2.917	-1.497		
	.372	.000	-.943		
	.810	-3.314	-1.658	-56.126	
21					-56.126
1	.000				-90.364
	.000	6.220	1.226		
	.494	.000	2.764		
	.810	-3.977	2.135	-92.603	
2	.000				-77.689
	.000	-.470	6.321		
	.810	-10.029	2.067	-81.145	
3	.000				-58.427
	.000	-.271	8.577		
	.810	-7.441	5.452	-61.019	
4	.000				-58.108
	.000	-.433	.905		
	.810	-7.603	-2.351	-60.699	
5	.000				-56.301
	.000	2.784	1.752		
	.347	.000	2.235		
	.810	-3.718	1.374	-57.982	
6	.000				-56.442
	.000	2.856	5.162		
	.356	.000	5.670		
	.810	-3.646	4.842	-58.124	
7	.000				-56.159
	.000	2.712	-1.658		
	.338	.000	-1.199		
	.810	-3.790	-2.094	-57.841	

-252-

22					-92.497
1	.000				-92.497
	.000	5.957	2.135		
	.450	.000	3.476		
	.810	-4.766	2.618	-95.267	
2	.000				-81.753
	.000	-1.287	2.067		
	.810	-10.991	-2.908	-86.045	
3	.000				-61.464
	.000	-.867	5.452		
	.810	-8.146	1.800	-64.683	
4	.000				-61.164
	.000	-1.063	-2.351		
	.810	-8.341	-6.162	-64.383	
5	.000				-58.047
	.000	2.509	1.374		
	.300	.000	1.750		
	.810	-4.262	.663	-60.132	
6	.000				-58.181
	.000	2.596	4.842		
	.311	.000	5.245		
	.810	-4.175	4.202	-60.265	
7	.000				-57.914
	.000	2.422	-2.094		
	.290	.000	-1.743		
	.810	-4.349	-2.875	-59.998	
23					-59.998
1	.000				-95.230
	.000	5.458	2.618		
	.393	.000	3.691		
	.810	-5.789	2.484	-98.500	
2	.000				-86.727
	.000	-1.719	-2.908		
	.810	-11.454	-8.246	-91.803	
3	.000				-65.184
	.000	-1.176	1.800		
	.810	-8.477	-2.112	-68.991	
4	.000				-64.906
	.000	-1.403	-6.162		
	.810	-8.703	-10.257	-68.714	
5	.000				-60.243
	.000	2.198	.663		
	.254	.000	.942		
	.810	-4.822	-.400	-62.705	
6	.000				-60.366
	.000	2.298	4.202		
	.265	.000	4.507		
	.810	-4.721	3.220	-62.828	
7	.000				-60.119
	.000	2.097	-2.875		
	.242	.000	-2.621		
	.810	-4.922	-4.020	-62.828	

-253-

24					-62.582
1	.000				-98.554
	.000	4.786	2.484		
	.330	.000	3.273		
	.810	-6.967	1.600	-102.252	
2	.000				-92.502
	.000	-1.563	-8.246		
	.810	-11.191	-13.414	-98.246	
3	.000				-69.502
	.000	-1.045	-2.112		
	.810	-8.266	-5.885	-73.810	
4	.000				-69.251
	.000	-1.300	-10.257		
	.810	-8.520	-14.236	-73.559	
5	.000				-62.861
	.000	1.917	-.400		
	.215	.000	-.194		
	.810	-5.315	-1.778	-65.646	
6	.000				-62.973
	.000	2.030	3.220		
	.227	.000	3.451		
	.810	-5.203	1.934	-65.758	
7	.000				-62.749
	.000	1.803	-4.020		
	.202	.000	-3.838		
	.810	-5.430	-5.489	-65.534	
25					-65.534
1	.000				-102.410
	.000	4.016	1.600		
	.265	.000	2.134		
	.810	-8.214	-.102	-106.415	
2	.000				-98.879
	.000	-.612	-13.414		
	.810	-9.992	-17.710	-105.094	
3	.000				-74.271
	.000	-.319	-5.885		
	.810	-7.354	-8.994	-78.932	
4	.000				-74.048
	.000	-.599	-14.236		
	.810	-7.634	-17.572	-78.709	
5	.000				-65.838
	.000	1.740	-1.778		
	.190	.000	-1.512		
	.810	-5.667	-3.369	-68.853	
6	.000				-65.937
	.000	1.864	1.934		
	.204	.000	2.124		
	.810	-5.543	.443	-68.952	
7	.000				-65.739
	.000	1.615	-5.489		
	.177	.000	-5.347		

-254-

		.810	5.792	-7.182	68.754
26		.810			
1	.000				-106.683
	.000	3.222	-1.102		
	.206	.000	.230		
	.810	-9.466	-2.632		-110.831
	.810				
2	.000				-105.560
	.000	1.313	-17.710		
	.118	.000	17.633		
	.810	-7.702	-20.299		-111.970
	.810				
3	.000				-79.266
	.000	1.136	-8.994		
	.136	.000	-8.916		
	.810	-5.625	-10.813		-84.073
	.810				
4	.000				-79.074
	.000	.834	-17.572		
	.100	.000	-17.530		
	.810	-5.927	-19.636		-83.882
	.810				
5	.000				-69.064
	.000	1.734	-3.369		
	.186	.000	-3.208		
	.810	-5.816	-5.023		-72.182
	.810				
6	.000				-69.149
	.000	1.868	.443		
	.201	.000	.631		
	.810	-5.681	-1.102		-72.267
	.810				
7	.000				-68.979
	.000	1.600	-7.182		
	.172	.000	-7.045		
	.810	-5.950	-8.945		-72.097
	.810				
27					
1	.000				-111.207
	.000	2.448	-2.632		
	.151	.000	-2.447		
	.810	-10.693	-5.972		-115.286
	.810				
2	.000				-112.151
	.000	4.323	-20.299		
	.408	.000	-19.417		
	.810	-4.256	-20.272		-118.404
	.810				
3	.000				-84.192
	.000	3.403	-10.813		
	.428	.000	-10.084		
	.810	-3.031	-10.662		-88.882
	.810				
4	.000				-84.034
	.000	3.082	-19.636		
	.388	.000	-19.038		
	.810	-3.352	-19.746		-90.724
	.810				
5	.000				-72.390
	.000	1.941	-5.023		
	.205	.000	-4.824		
	.810	-5.736	-6.560		-75.446
	.810				
6	.000				-72.460
	.000	2.084	-1.102		
					-255-

	.000	7.171	-2.033		
	.748	-.002	.648		
	.896	-1.428	.542		-80.173
	.896				
7	.000				-78.212
	.000	6.378	-10.378		
	.655	-.001	-8.257		
	.896	-2.221	-8.514		-80.165
	.896				
30					
1	.000				-121.845
	.000	12.824	-6.786		
	.707	.001	-2.255		
	.896	-3.444	-2.581		-123.629
	.896				
2	.000				-123.945
	.000	19.587	-4.546		
	.896	11.472	9.376		-125.500
	.896				
3	.000				-92.872
	.000	15.335	1.685		
	.896	9.249	12.704		-94.038
	.896				
4	.000				-93.046
	.000	14.046	-8.504		
	.896	7.960	1.360		-94.212
	.896				
5	.000				-79.514
	.000	9.596	-3.986		
	.896	.562	.567		-80.630
	.896				
6	.000				-79.436
	.000	10.169	.542		
	.896	1.135	5.609		-80.552
	.896				
7	.000				-79.591
	.000	9.023	-8.514		
	.896	-.011	-4.475		-80.707
	.896				
31					
1	.000				-122.543
	.000	16.352	-2.581		
	.878	.012	4.603		
	.896	-.326	4.600		-127.316
	.896				
2	.000				-122.155
	.000	28.265	9.376		
	.896	20.065	31.038		-125.244
	.896				
3	.000				-91.413
	.000	21.931	12.704		
	.896	15.781	29.607		-93.730
	.896				
4	.000				-91.819
	.000	20.466	1.360		
	.896	14.316	16.950		-94.135
	.896				
5	.000				-79.501
	.000	12.853	.567		
	.896	3.613	7.947		-82.284
	.896				
6	.000				-79.320
	.000	13.504	5.609		
	.896	4.264	13.572		-82.104
	.896				
					-257-

	.220	.000	-.873		
	.810	-5.593	-2.523		-75.516
	.810				
7	.000				-72.319
	.000	1.798	-8.945		
	.190	.000	-8.774		
	.810	-5.879	-10.598		-75.375
	.810				
28					
1	.000				-115.663
	.000	5.207	-5.972		
	.313	-.000	-5.157		
	.896	-9.712	-7.991		-119.625
	.896				
2	.000				-117.870
	.000	12.011	-20.272		
	.896	3.297	-13.410		-123.802
	.896				
3	.000				-88.459
	.000	9.178	-10.662		
	.896	2.642	-5.363		-92.907
	.896				
4	.000				-88.346
	.000	8.838	-19.746		
	.896	2.302	-14.752		-92.795
	.896				
5	.000				-75.520
	.000	4.657	-6.560		
	.490	-.001	-5.419		
	.896	-3.866	-6.205		-78.462
	.896				
6	.000				-75.570
	.000	4.809	-2.523		
	.506	-.001	-1.307		
	.896	-3.715	-2.033		-78.512
	.896				
7	.000				-75.470
	.000	4.506	-10.598		
	.474	-.000	-9.529		
	.896	-4.017	-10.378		-78.412
	.896				
29					
1	.000				-119.682
	.000	9.026	-7.991		
	.527	-.001	-5.614		
	.896	-6.339	-6.786		-122.391
	.896				
2	.000				-122.349
	.000	13.896	-13.410		
	.896	5.878	-4.546		-126.091
	.896				
3	.000				-91.767
	.000	10.868	-5.363		
	.896	4.854	1.685		-94.573
	.896				
4	.000				-91.757
	.000	9.976	-14.752		
	.896	3.962	-8.504		-94.564
	.896				
5	.000				-78.216
	.000	6.775	-6.205		
	.706	-.002	-3.813		
	.896	-1.825	-3.986		-80.169
	.896				
6	.000				-78.220
					-256-

7	.000				-79.681
	.000	12.202	4.475		
	.896	2.962	2.321		-82.464
	.896				
32					
1	.000				-125.608
	.000	20.627	4.600		
	.896	4.687	15.946		-133.308
	.896				
2	.000				-120.237
	.000	39.455	31.038		
	.896	31.757	62.957		-124.799
	.896				
3	.000				-82.853
	.000	30.309	29.607		
	.896	24.535	54.190		-93.275
	.896				
4	.000				-90.502
	.000	28.874	16.950		
	.896	23.100	40.246		-93.924
	.896				
5	.000				-80.556
	.000	16.926	7.947		
	.896	8.121	19.173		-84.968
	.896				
6	.000				-80.267
	.000	17.564	13.572		
	.896	8.760	25.371		-84.679
	.896				
7	.000				-80.845
	.000	16.288	2.321		
	.896	7.483	12.976		-85.256
	.896				