KGS Spring '99 National Conference / March 27, 1999 / Seoul / Korea

블록파괴가능성을 이용한 터널키블록의 안정해석 사례연구

A Case Study of Tunnel Keyblock Stabiliy by the Block Failure Likelihood

이인모[1], In-Mo Lee, 박준경[2], Jun-Kyung Park, 이석원[3], Seok-Won Lee

[1] 고려대학교 토목환경공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engrg., Korea Univ.
[2] 삼보기술단 지반공학부 사원, Engineer, Dept. of Geotechnical Engrg., Sam Bo Engrg. Co., Ltd.
[3] 한국건설기술연구원 선임연구원, Senior Researcher, KICT.

SYNOPSIS : The probabilistic keyblock concept which was based upon block theory was applied to the example site by using the observed block moulds data. The more was the block failure likelihood (P(B)) which was defined by the product of the joint combination probability, the shape parameter and the instability parameter, the more were the frequencies of failures observed. If we can acquire these data during a tunnel construction stage, they will be used as a very useful data to construct another tunnel in the neighborhood. Furthermore, a sedimentary rock may have larger P(B) values than a crystalline rock, and for the given P(B) value, the percent block moulds are larger in the former than latter.

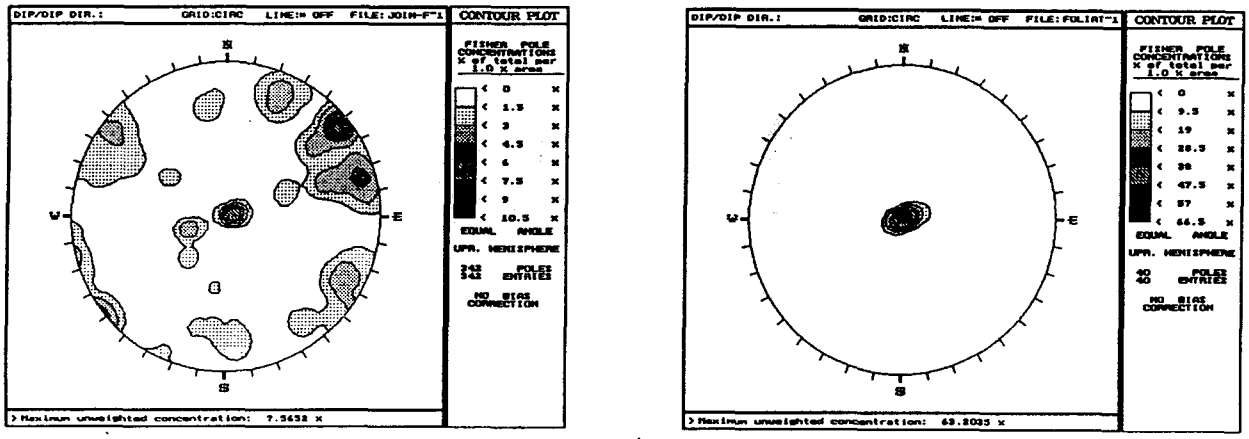
Key words : probabilistic keyblock concept, block theory, block moulds, block failure likelihood

1. 서 론

블록이론을 이용하면 암반구조(rock structure)와 굴착형상(excavation geometry)을 연관시켜 키블록의 안정성에 대해 수학적으로 접근할 수 있다. 즉, 굴착자유면 뒤의 모든 불연속면의 교차점들에 의해 개략적으로 존재가능한 반무한공간 중에서 어떤 불연속면조합이 이동가능블록(removable block)을 형성하는지의 여부뿐만 아니라 파괴양상, 소요지보력(required support force)등을 블록이론을 이용하여 결정할 수 있다. 또, 최근의 연구결과에 의하면 불연속면군(joint set)의 여러 가지 특성들(방향, 간격, 마찰각)을 이용한 블록이론의 이동가능성 해석(removability analysis)으로부터 굴착과정에서 발생할 수 있는 가장 파괴가능성이 높은 블록들을 예측할 수 있다(Hatzor and Goodman, 1992). 블록이론에 의해 결정되는 이론적인 이동가능블록과 현장에서 실측된 블록파괴를 연관짓기 위해 파괴가 발생한 후에 모암에 잔존하는 공간인 블록몰드(block mould)를 이용하여 이론적인 이동가능블록의 파괴가능성 예측 및 굴착면에서 가장 위험한 키블록의 결정이 가능하다. 본 논문에서는 ○○통신구터널의 천정부 및 측벽부로부터 실측된 불연속면의 분포양상으로부터 통계처리를 이용하여 대표절리군을 산정하고 각 대표절리군에 대한 특성들을 이용하여 각각의 불연속면 조합으로 이루어지는 블록들의 블록파괴가능성을 산정한다. 현장에서 실측된 파괴형태인 사면체블록에 대해서만 고려하므로 불연속면 3개로 구성되는 블록들에 대해서만 고려하였으며 현장의 실측된 파괴형태와 해석결과를 비교하였다.

2. 불연속면의 통계처리

○○통신구 건설공사시 관측된 모든 불연속면들에 대한 통계처리로부터 주요한 불연속면군을 찾을 수 있고 그 결과를 그림 1.에 나타내었다. 터널의 총 연장이 922m로 터널구간이 직선이 아니므로 터널축 정리(tunnel axis theorem)를 이용하기 위해 약 100m 정도의 길이를 가지는 9개의 소구간으로 구분하여 각 소구간에서의 대표불연속면을 산정하였으며 그 결과를 표 1.과 표 2.에 정리하였다. 또, 현장에서 관측된 블록몰드(block moulds)를 표 3.에 정리하였다. 대부분의 블록몰드는 파괴가 발생한 후의 모암에서 측정이 가능하였지만 단층파쇄대에서의 파괴나 안산암맥의 관입으로 인해 파괴가 발생한 구간에서는 파괴된 블록의 불연속면 정보를 얻을 수 없었다. 또, 표 3.에서의 파괴양상(sliding mode)은 실측에 의한 결과가 아닌 블록이론에 의한 안정해석(stability analysis) 결과로 얻어진 것이다.



(a) Joint, Fault & Shears (b) Foliation

그림 1. 전체터널구간에서 관측된 불연속면군의 등밀도선(contour plot)

표 1. 주요 불연속면군 (경사/경사방향 , [Fisher's 상수])

소구간	Global Sets
1 (0 ~ 105 m)	G_{11} : 3/76 [114] , G_{12} : 80/117 [156] , G_{13} : 40/222 [2171] G_{14} : 80/27 [454] , G_{15} : 86/51 [699] , G_{16} : 83/78 [136]
2 (105 ~ 203m)	G_{21} : 7/80 [230] , G_{22} : 77/49 [144] , G_{23} : 84/67 [218] G_{24} : 80/306 [92] , G_{25} : 69/247 [375]
3 (203 ~ 301m)	G_{31} : 28/246 [136] , G_{32} : 70/208 [477] , G_{33} : 44/71 [1166] G_{34} : 68/67 [89]
4 (301 ~ 400m)	G_{41} : 3/140 [23] , G_{42} : 86/61 [57] , G_{43} : 72/178 [47] G_{44} : 86/307 [24] , G_{45} : 50/307 [456] , G_{46} : 68/22 [657]
5 (400 ~ 505m)	G_{51} : 13/84 [30] , G_{52} : 88/232 [199] , G_{53} : 85/80 [263] G_{54} : 79/142 [817] , G_{55} : 71/188 [230] , G_{56} : 49/297 [320]
6 (505 ~ 603m)	G_{61} : 1/310 [70] , G_{62} : 74/298 [85] , G_{63} : 70/47 [223]
7 (603 ~ 706m)	G_{71} : 2/282 [120] , G_{72} : 30/143 [790] , G_{73} : 79/25 [199]
8 (706 ~ 804m)	G_{81} : 6/222 [56] , G_{82} : 85/270 [66] , G_{83} : 82/2 [122] G_{84} : 73/57 [102] , G_{85} : 50/5 [224]
9 (804 ~ 922m)	G_{91} : 6/47 [114] , G_{92} : 7/205 [156]

표 2. 빈도(frequency)와 간격(spacing)

소구간	G_{ai}	Frequency, λ_i (m^{-1})	Mean Spaing, $1/\lambda_i$(m)
1	G_{11} ; G_{12} ; G_{13} G_{14} ; G_{15} ; G_{16}	1.75 ; 0.39 ; 0.37 0.30 ; 0.31 ; 0.22	0.57 ; 2.58 ; 2.72 3.32 ; 3.22 ; 4.45
2	G_{21} ; G_{22} ; G_{23} G_{24} ; G_{25}	1.96 ; 0.29 ; 0.23 0.26 ; 0.20	0.51 ; 3.50 ; 4.26 3.79 ; 4.96
3	G_{31} ; G_{32} ; G_{33} G_{34}	1.61 ; 0.21 ; 0.28 0.21	0.62 ; 4.67 ; 3.52 4.79
4	G_{41} ; G_{42} ; G_{43} G_{44} ; G_{45} ; G_{46}	1.67 ; 0.26 ; 0.27 0.34 ; 0.27 ; 0.26	0.60 ; 3.84 ; 3.67 2.97 ; 3.72 ; 3.82
5	G_{51} ; G_{52} ; G_{53} G_{54} ; G_{55} ; G_{56}	1.72 ; 0.27 ; 0.25 0.27 ; 0.36 ; 0.27	0.58 ; 3.75 ; 3.95 3.67 ; 2.81 ; 3.73
6	G_{61} ; G_{62} ; G_{63}	1.82 ; 0.36 ; 0.34	0.55 ; 2.77 ; 2.94
7	G_{71} ; G_{72} ; G_{73}	2.08 ; 0.33 ; 0.22	0.48 ; 3.01 ; 4.60
8	G_{81} ; G_{82} ; G_{83} G_{84} ;G_{85}	1.96 ; 0.26 ; 0.35 0.26 ; 0.28	0.51 ; 3.85 ; 2.89 3.89 ; 3.54
9	G_{91} ; G_{92}	0.17 ; 0.20	5.88 ; 4.97

표 3. ○○통신구터널의 블록몰드(block moulds)

Block No.	J1	J2	J3	Block Code (Sliding Mode)	JC(G_{ai};G_{bj};G_{ck})
1~3	85/108	5/70	83/27	011(1)	2 (G_{12};G_{11};G_{14})
4	7/78	78/119	80/57	101(2)	3 (G_{11};G_{12};G_{15})
5	84/31	3/79	83/112	110(3)	4 (G_{16};G_{11};G_{12})
6	4/68	88/120	85/67	101(2)	3 (G_{11};G_{12};G_{15})
7	83/127	5/68	87/58	011(1)	2 (G_{12};G_{11};G_{14})
8	90/73	85/52	10/71	111(0)	10 (G_{16};G_{15};G_{11})
9	90/68	5/70	82/121	010(3)	4 (G_{16};G_{11};G_{12})
10	87/119	10/83	88/25	110(3)	2 (G_{12};G_{11};G_{14})
11	11/85	85/127	84/25	100(23)	2 (G_{11};G_{12};G_{14})
12	4/78	86/122	83/57	101(2)	3 (G_{11};G_{12};G_{15})
13	12/78	88/128	85/35	100(23)	2 (G_{11};G_{12};G_{14})
14	9/68	89/120	77/29	111(0)	2 (G_{11};G_{12};G_{14})
15	66/117	88/37	45/231	111(0)	11 (G_{12};G_{14};G_{13})
16~17	75/124	37/230	74/35	011(1)	11 (G_{12};G_{13};G_{14})
18~22	10/80	48/55	77/298	100(23)	22 (G_{21};G_{22};G_{24})
23	86/78	8/77	90/308	010(13)	24 (G_{23};G_{21};G_{24})
24	10/88	85/295	64/254	101(2)	26 (G_{21};G_{24};G_{25})
25~26	15/88	75/316	67/54	011(1)	22 (G_{21};G_{24};G_{22})
27~29	76/68	15/83	80/295	110(23)	24 (G_{23};G_{21};G_{24})
30~31	77/48	80/77	61/248	101(2)	28 (G_{22};G_{23};G_{25})
32	45/71	5/70	---	Fault + Foliation	----------
33~34	25/261	71/215	40/80	110(0)	31 (G_{31};G_{32};G_{33})
35	90/68	16/72	---	Fault Zone	----------
36~38	35/250	78/312	10/70	101(2)	32 (G_{31};G_{32};G_{34})
39	45/70	58/70	33/256	101(2)	33 (G_{33};G_{34};G_{31})
40~43	10/140	85/65	83/302	011(1)	36 (G_{41};G_{42};G_{44})
44~46	13/135	70/167	75/308	110(23)	39 (G_{41};G_{43};G_{44})

Block No.	J1	J2	J3	Block Code (Sliding Mode)	JC(G_{ai};G_{bj};G_{ck})
47	75/183	13/135	45/306	100(3)	40 (G_{43};G_{41};G_{45})
48~49	80/60	80/294	45/312	110(3)	48 (G_{42};G_{44};G_{45})
50	65/18	78/299	53/300	101(2)	54 (G_{46};G_{44};G_{45})
51	77/182	85/154	---	Fault + Joint	----------
52~56	80/65	5/134	83/302	101(2)	36 (G_{42};G_{41};G_{44})
57	10/137	88/65	60/25	101(2)	38 (G_{41};G_{42};G_{46})
58~60	10/135	65/170	85/308	101(2)	39 (G_{41};G_{43};G_{44})
61~64	70/25	79/300	10/133	111(0)	43 (G_{46};G_{44};G_{41})
65~67	83/240	10/87	83/146	111(0)	56 (G_{52};G_{51};G_{54})
68	80/225	18/79	57/302	100(23)	58 (G_{52};G_{51};G_{56})
69~70	22/77	80/90	70/185	101(2)	60 (G_{51};G_{53};G_{55})
71~72	20/88	80/240	78/150	011(1)	56 (G_{51};G_{52};G_{54})
73	10/92	83/90	65/190	101(2)	60 (G_{51};G_{53};G_{55})
74	45/270	---	---	Fault Zone	----------
75	---	---	---	Fault Zone	----------
76~80	10/315	75/50	80/303	010(13)	75 (G_{61};G_{63};G_{62})
81~90	---	---	---	Fault Zone	----------
91	75/351	48/193	---	Andesite Intrusion	----------
92~94	68/352	75/33	10/248	011(12)	77 (G_{83};G_{82};G_{81})
95	70/332	76/34	8/253	011(1)	78 (G_{81};G_{82};G_{84})
96	21/148	53/214	5/250	101(2)	77 (G_{82};G_{83};G_{81})
97~98	---	---	---	Fault Zone	----------
99	68/352	75/33	10/248		77 (G_{83};G_{82};G_{81})
100~101	70/332	76/34	8/253		78 (G_{81};G_{82};G_{84})
102~103	80/10	15/215	74/55		80 (G_{83};G_{81};G_{84})

3. 블록의 파괴가능성 (P(B))

3.1 불연속면의 조합확률 (P(JC))

불연속면의 모든 조합이 같은 크기의 작은 부피에서 조차도 발생가능성이 일정하지 않다. 예를 들어 간격이 작은 불연속면군은 주어진 부피에서 교차가능성이 크고 간격이 큰 불연속면은 그와 반대이다. 불연속면(n_i)에 수직한 방향의 scan-line을 따라 길이 [x_i] 간격으로 불연속면군(i)으로부터 N=k개의 불연속면을 만날 확률은 다음의 식 (1)에 의해 결정할 수 있다.

$$P[N_i = k] = \frac{e^{-\lambda_i x_i}(\lambda_i x_i)^k}{k!} \tag{1}$$

여기서, λ_i 는 불연속면군의 빈도(frequency)이다. 실제로 우리는 매우 작은 간격 [x_i]을 따라 불연속면군(i)의 하나의 교점이 있는 경우에 대해 관심이 있으므로 이 때의 확률은 다음과 같다.

$$P[N_i = 1]_{x_{i\to 0}} = \lambda_i x_i \tag{2}$$

이와 유사하게 불연속면 조합 {i;j;k}의 다른 불연속면군(j, k)에 대한 Poisson 확률을 나타낼 수 있다. 서로 독립적이라고 가정하면 작은 간격{[x_i],[x_j],[x_k]}내에서 세 개의 불연속면이 발생활 확률은 세 개의 독립적인 확률의 곱으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} JC &: \{N_i = 1\} \cup \{N_j = 1\} \cup \{N_k = 1\} \\ P(JC) &\propto P(\{N_i = 1\}) \cdot P(\{N_j = 1\}) \cdot P(\{N_k = 1\}) \\ P(JC) &\propto \lambda_i x_i \cdot \lambda_j x_j \cdot \lambda_k x_k \end{aligned} \tag{3}$$

윗 식은 불연속면 간격(spacing)분포를 어떻게 가정하느냐에 따라 달라지며, 불연속면조합에서 불연속면 방향(orientation)에 대한 확률의 상호연관성과는 거리가 멀다. Mauldon(1995)은 어떠한 불연속면 간

격분포에도 잘 일치하고 불연속면 방향의 내재적인 연관성을 나타내는 일반적인 다음과 같은 식을 유도하였다.

$$P(JC) = \frac{(\lambda_i x_i)(\lambda_j x_j)(\lambda_k x_k)}{V_{ijk}} \quad (4)$$

여기서, V_{ijk}는 간격이 각각 $[x_i],[x_j],[x_k]$에 의해 구분되는 법선벡터가 $\{n_i,n_j,n_k\}$인 불연속면 $\{i;j;k\}$에 의해 형성되는 평면의 쌍에 의해 경계지워지는 직육면체의 부피이다. 직육면체의 부피는 다음과 같다.

$$V_{ijk} = \frac{[x_i][x_j][x_k]}{|n_i \cdot n_j \times n_k|} \quad (5)$$

여기서, n_i는 불연속면에 수직한 방향으로의 단위벡터이다. 이 식을 앞의 식에 대입하면 다음과 같은 Mauldon 방정식을 얻을 수 있고, 이 논문의 해석에서는 불연속면 조합확률을 계산하기 위하여 위의 방정식을 사용한다.

$$P(JC) = (\lambda_i)(\lambda_j)(\lambda_k)\,|n_i \cdot n_j \times n_k| \quad (6)$$

표 1.에 나타낸 각 소구간의 주요 불연속면군에 대한 발생가능한 86가지 불연속면 조합에 대한 불연속면의 조합확률은 다음의 그림 2.와 같다.

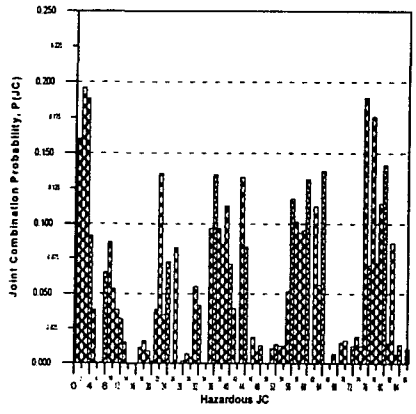


그림 2. 불연속면의 조합확률 (P(JC))

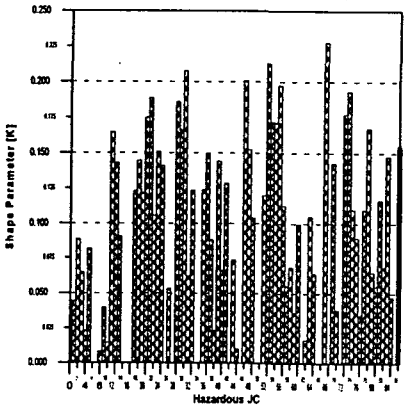


그림 3. JP의 형상인수 (K)

3.2 형상인수 [K]

JP의 형상인수 [K]는 기본적인 운동학적 조건들을 이용하여 굴착피라미드(excavation pyramid)로부터 실제로 해방되는 이동가능블록의 가능성을 평가한다. 이것은 서로 다른 이동가능 JP(joint pyramid)들의 운동가능성(kinematically free or kinematically constrained sliding vector)을 구분한다. 그러므로 형상인수로 각각의 이동가능 JP에 의한 위험정도를 비교할 수 있다. 각 JP는 특별한 평면사이의 각을 나타내는 구면삼각형면적을 가지고 있고 단지 사면체 블록의 형상만을 고려한다. 그러므로 JP 구면삼각형의 면적으로부터 이동가능한 JP의 위험정도를 평가할 수 있으며 구면삼각형의 면적이 커질수록 실제 블록 파괴가 발생할 확률이 증가한다. JP형상인수는 아래의 식과 같이 평사투영구의 표면적에 대한 JP 구면삼각형의 면적의 비로서 나타내어질 수 있다.

$$K = \frac{(A + B + C - \pi)R^2}{4\pi R^2} \quad (7)$$

여기서, A,B,C는 3개의 불연속면에 의해 이루어진 JP에 대한 JP경계면 사이의 내각이고 R은 평사투영 구의 반경이다. 앞의 그림 3.에는 86가지의 불연속면 조합에 대한 형상인수를 도시하였다.

3.3 The JP Instability Parameter [F]

JP의 불안정인수는 다음의 식과 같이 표현되며, 이것은 현장의 JP에 의한 활동력을 0부터 1영역에서 나타내기 위한 사상(*mapping*)이다.

$$F = 2^{(F^*/R)-1} \quad (8)$$

여기서, R은 활동력 벡터(active resultant)의 크기이다. F=0 일 때는 블록의 파괴가 발생하지 않는 경우이고($F^*/R \rightarrow -\infty$), F=1/2 일 때는 한계평형상태에 해당하며 ($F^*/R=0$), 그리고 F=1은 낙반(falling)이 발생하는 경우이다 ($F^*/R=1$). 윗 식은 실제 블록 크기는 고려하지 않고 단지 블록의 형상만을 근거로 모든 이동가능 JP에 대한 불안정인수를 계산할 수 있도록 해준다. 블록의 크기는 자유면의 방향과 최대이동가능블록 내에서 형성된 실제 블록의 지배를 받는다. 86개의 경우에 대한 불안정인수를 그림 4.에 나타내었다.

3.4 블록파괴가능성 (P(B))

불연속면 조합확률(P(JC)), JP 형상인수(K)와 JP 불안정인수(F)를 사용하여 암반내의 모든 불연속면 조합에 대한 전체적인 블록의 파괴가능성을 찾을 수 있다. 이것은 고정된 방향의 자유면을 통해 굴착시 암반내의 서로 다른 불연속면 조합에 의해 발생가능한 블록들의 상대적인 위험도를 나타내는 것이다.

$$P(B) = P(JC)[K][F] \quad (9)$$

여기서, P(B) = 상대적인 블록파괴가능성, P(JC) = 불연속면 조합확률
K = JP 형상인수, F = JP 불안정인수

모든 불연속면의 조합에 대한 블록파괴가능성을 그림 5.에 정리하였으며 ○○통신구 터널에서 실측된 블록몰드의 갯수를 함께 표시하였다. 블록파괴가능성이 클수록 파괴가 발생한 블록의 갯수도 증가하였다. 또, 불연속면 조합확률(P(JC)) 및 블록파괴가능성(P(B))과 전체블록파괴에 대한 백분율(percent block mould)과의 상관관계를 그림 6.과 그림 7.에 도시하였다. 불연속면 조합확률 및 블록파괴가능성이 클수록 관측된 블록몰드의 수가 증가함을 알 수 있다.

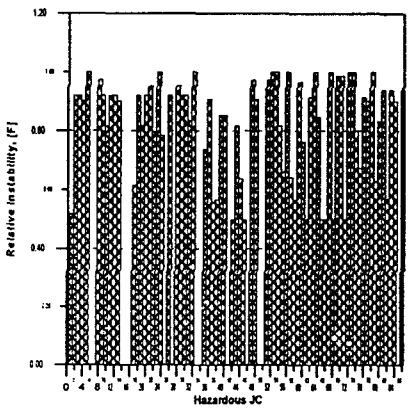


그림 4. JP의 불안정인수 (F)

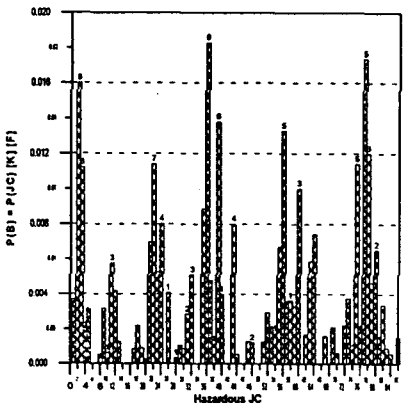


그림 5. 블록파괴가능성 (P(B))

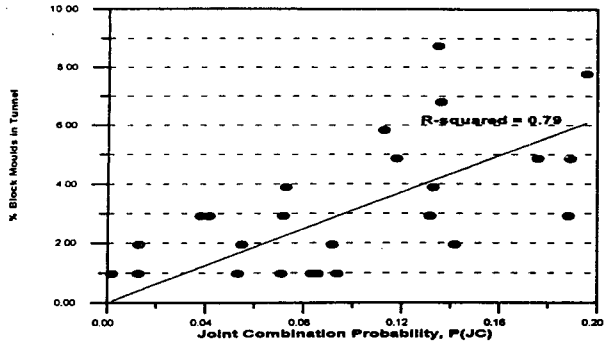


그림 6. P(JC)와 전체블록파괴에 대한 백분율

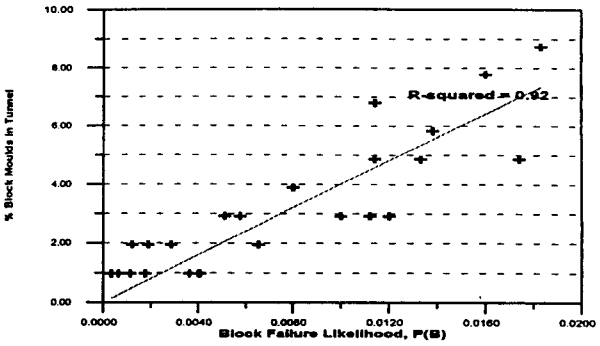


그림 7. P(B)와 전체블록파괴에 대한 백분율

4. 기존연구결과와의 비교

Hatzor(1993)의 연구결과와 ○○통신구터널에서의 결과를 상호 비교하여 그림 8.에 나타내었다. 3개의 터널현장에 대한 블록파괴가능성과 전체 파괴가 발생한 블록의 백분율은 서로 다른 암종의 분포로 인하여 기울기가 서로 다르게 나타남을 알 수 있었다. 여기에서 Cumberland Gap 터널(■)은 퇴적암지역에 시공되었으며 Hanging Lake 터널(●)은 결정질암 지역에 시공되었다. ○○통신구 터널(+)은 결정질암으로 분류될 수 있는 화성암기원 편마암 지역에 시공되었다. 그림 8.에서의 비교를 통해 대체적으로 퇴적암 지역에서의 블록파괴가능성(P(B))이 결정질암 지역에서의 블록파괴가능성보다 크게 나타남을 알 수 있다. 또, 일정한 블록파괴가능성에 대해서 퇴적암 지역에서 관측된 전체파괴블록의 백분율(percent block moulds) 값이 결정질암에서의 값보다 크게 나타났다.

5. 해석결과와 현장실측데이터와의 비교 · 검토

파괴가 발생한 대부분의 지질구조에서는 충진물질(gouge)이 포함되는 경우와 불연속면의 경사방향이 터널의 굴진방향과 반대방향으로 되는 경우가 상당히 많았으며, 이것은 터널의 시공시 현장불연속면 조사를 통해 이러한 지질구조가 파악되는 경우에는 낙반사고에 특별히 유의하여야 함을 알려준다. 흑운모 화강암질 편마암으로 주로 구성되는 연구대상 터널구간중 지질구조운동의 영향을 크게 받은 부분에서는 엽리면을 따라 절리면, 단층면이 발생되고 있으나 대부분의 구간에서는 엽리면이 불연속면으로 나타나지 않고 있다. 터널 시공시에 관측된 각 소구간에서의 대표적인 파괴형상과 블록파괴가능성에 근거한

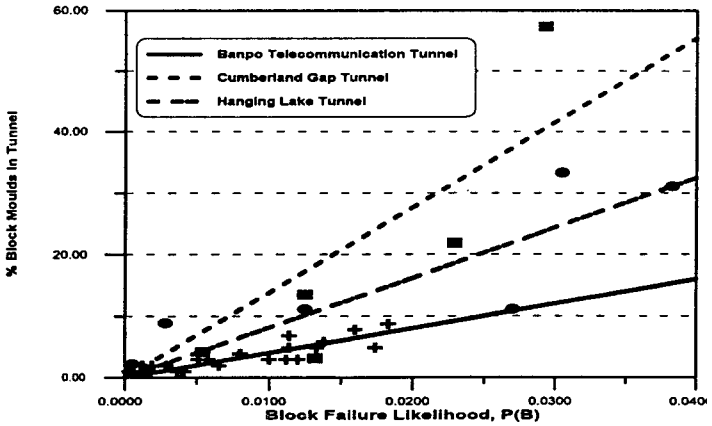
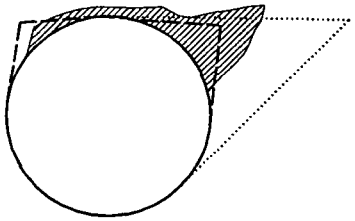


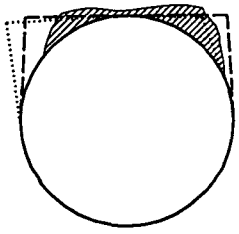
그림 8. 기존의 연구결과와의 비교

해석결과와의 비교를 그림 9.에 나타내었다. 불연속면군의 분산정도가 작은 경우의 구간에 대해서는 비교적 파괴형태가 균일한 분포를 보이지만 불연속면의 분산정도가 커서 Fisher 상수가 작게 나타나는 구

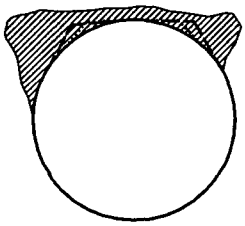
간에 대해서는 파괴형상이 어떤 일반적인 형상을 나타내지 않으므로 각각의 불연속면의 이러한 구간에서는 불연속면군의 분산성을 고려하여 해석하여 설계하는 것이 합리적일 것으로 사료된다(이인모 등, 1998). 각각의 소구간에 대한 특징적인 내용을 살펴보면 다음과 같다. 1구간과 2구간에서는 주로 천정부에서의 파괴가 주된 형태였으며 결정론적 해석에 의한 결과보다는 불연속면의 가변성을 고려하여 해석하는 경우에 좀 더 실측치에 가까운 결과를 얻을 수 있었다(그림 9. (a), (b)). 3구간에서는 다른 구간과는 달리 전반적으로 구간전체에 걸쳐 RMR값이 낮은 암종의 분포로 인하여 해석결과 보다 훨씬 큰 양의 파괴를 관측할 수 있었다 (그림. 9(c)). 또, 4구간에서는 G_{45}, G_{46} 불연속면이 주로 분포하는 영역에서는 결정론적 해석으로만으로도 실제 파괴형태와 유사한 결과를 얻을 수 있었으나 (그림. 9(e)), 블록파괴가능성이 높은 불연속면군이 주로 분포하는 영역에서는 결정론적 해석보다는 블록파괴가능성을 이용하는 것이 실측결과와 좀 더 유사한 결과를 주는 것으로 나타났다 (그림. 9(d)). 5구간에서는 천정부 및 측벽부에서의 소규모의 낙반현상이 관측되었으며 이 구간 역시 결정론적 해석보다는 블록파괴가능성을 이용하는 것이 좀 더 합리적인 것으로 판단된다(그림. 9(f)). 6구간과 7구간에서는 다양한 규모의 단층파쇄대의 존재로 인하여 대부분의 영역에서 어떠한 해석방법으로도 현장의 파괴형태를 예측할 수 없었다. 6구간에서는 천정부에 분포하는 대규모의 단층파쇄대로 인해 (그림. 9(h)), 또, 7구간에서는 좌측측벽부에 존재하는 단층파쇄대의 존재로 인해 (그림. 9(i)) 블록이론을 이용한 해석방법으로는 파괴형상을 예측할 수 없었다. 그러나 단층파쇄대가 출현하기 전의 영역에서는 블록파괴가능성을 이용하는 해석방법으로 현장실측치와 어느 정도 유사한 파괴형상을 찾을 수 있었다(그림. 9(g)). 8구간에서는 전반적으로 우측측벽부 상단과 천정부에서 파괴가 발생하였으며, 이 구간 역시 블록파괴가능성을 이용하여 지보를 설계하는 것이 좀 더 합리적인 것으로 판명되었다.



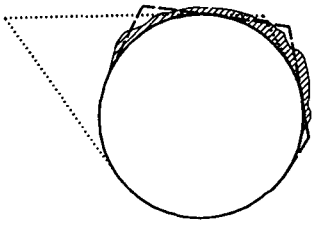
(a) 소구간 1



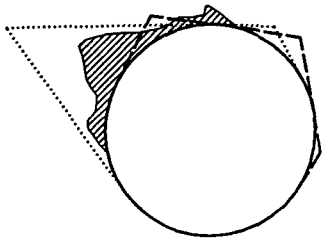
(b) 소구간 2



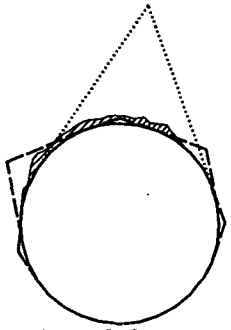
(c) 소구간 3



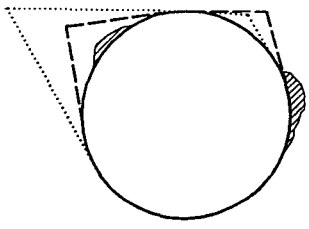
(d) 소구간 4



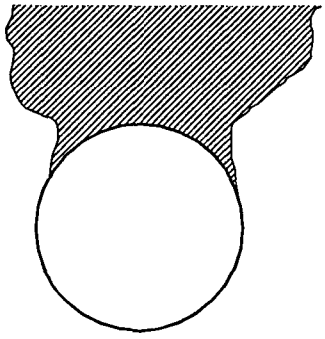
(e) 소구간 4



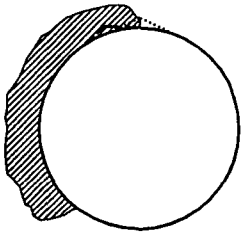
(f) 소구간 5



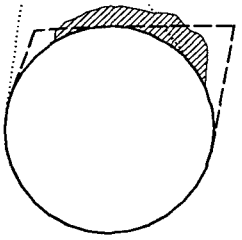
(g) 소구간 6



(h) 소구간 6



(i) 소구간 7



실측파괴형태
결정론적 해석결과
확률론적 해석결과

(j) 소구간 8

그림 9. 실측결과와 해석결과와의 비교

6. 결 론

현장에서 관측된 불연속면 자료들을 사용하여 구한 블록파괴가능성을 이용한 터널키블록의 안정해석으로부터 다음과 같은 종합적인 결론을 얻을 수 있었다.

1) 현장에서 관측된 블록몰드자료들과 블록이론을 이용하여 구한 블록파괴가능성으로부터 현장의 파괴가능한 위험한 블록들을 합리적으로 판단할 수 있었다.

2) 블록파괴가능성이 높은 불연속면 조합이 관측되는 곳에서 주로 파괴가 발생하였으며 이러한 자료들을 이용한다면 인근에 건설되는 다른 지하구조물의 공사시에 유용한 자료로서 이용될 수 있을 것이다.

3) 고전적인 블록이론에 의한 해석보다는 블록파괴가능성을 이용하여 확률론적인 방법으로 접근하는 것이 좀 더 신뢰성 있는 결과를 주는 것으로 검증되었다.

4) 퇴적암 지역에서의 블록파괴가능성이 결정질암에서의 그것보다 현저히 크게 나타나는 것을 알 수 있었고, 일정한 블록파괴가능성에서는 퇴적암지역에서의 전체파괴블록의 백분율(percent block moulds) 값이 결정질암에서의 값보다 크게 나타났다.

5) 단층파쇄대가 존재하는 구간에서는 블록이론에 근거한 어떤 방법으로도 파괴를 예측할 수 없음이 실증되었다. 이러한 구간에서는 터널시공시 막장전방을 예측할 수 있는 3차원 계측기법등을 이용하는 것이 합리적일 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 이인모, 박준경, 송승원 (1998), 절리면 실측데이터의 통계처리와 블록이론을 이용한 터널안정해석 사례연구, 한국지반공학회 '98년도 봄 학술발표회 논문집, pp. 329-346.
2. Hatzor, Y. and Goodman, R. E. (1992), Application of Block Theory and the Critical Key Block Concept to Tunneling : Two Case Histories. Proceedings of ISRM Conference on Fractured and Jointed Rock Mass, Lake Tahoe, CA.
3. Hatzor, Y. (1993), The Block Failure Likelihood : A Contribution to Rock Engineering in Blocky Rock Masses, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 30, No. 7, pp. 1591-1597.
4. Mauldon, M. (1995), Keyblock Probabilities and Size Distributions : A First Model for Impersistent 2-D Fractures, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 32, No. 6, pp. 575-583.