

## 원분포 특성을 고려한 설계정수의 통계적 산정에 관한 연구

김종관<sup>1)</sup>, 양형식<sup>2)\*</sup>

### A Study on the Statistical Determination of Design Parameters Considering the Original Distribution Characteristics

Jong-Gwan Kim and Hyung-Sik Yang

**Abstract** In this study, design parameters were determined statistically with and without consideration of original distribution characteristics. Obtained parameters were applied to test numerical analysis and the results were compared. Distribution characteristics of statistically treated parameters show the similar characteristics of original distribution. Mean values show more than 19% of errors between the two cases. Regarding the characteristics as normal distribution can cause distorted results, it is proper to consider the original distribution characteristics of the parameters.

**Key words** Design parameter, Statistical treatment, Distribution characteristics

**초 록** 본 연구에서는 표본의 원분포 특성을 고려하여 통계처리한 경우의 설계정수와 그렇지 않은 경우를 비교하였다. 통계처리를 한 경우는 통계처리 후에도 비슷한 양상을 나타냈으며 평균값의 경우 최대 약 19%의 편차가 발생하였다. 표본의 분포 특성을 무조건 정규 분포화 하는 것은 모집단의 특성을 왜곡하게 되므로 설계정수 산정시 표본의 분포 특성을 고려하여 통계처리를 하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

**핵심어** 설계정수, 통계처리, 분포특성

#### 1. 서 론

현장조사 초기단계에서부터 암반구조물의 설계에 이르기까지 암반고유의 불확실성을 고려하는데 어려움이 많다(Kim and Gao, 1995). 지반구조물의 설계 타당성을 평가하는 데는 흔히 안전율 개념을 적용하는데, 암반 물성의 불확실성으로 인하여 신뢰성 있는 판단을 하는 데는 한계가 있다. 따라서 암반의 역학적 특성을 하나의 특정한 대표 값으로 보는 결정적인 방법보다는 암반의 임의성, 불확실성, 모호성을 감안하여 불확실성 자체를 정량적으로 고려하는 확률론적 방법의 적용이 필요하다.

확률론적 방법 중에서 몬테카를로 시뮬레이션은 불확실성들이 결합된 중첩효과를 평가하는 수단으로서 유용하다. 이 방법을 이용하면 많은 수의 실행을 바탕으로

통계 자료를 얻고 그 자료로부터 역산하여 어떤 특정항 수치나 확률분포를 구할 수 있다. 이러한 방법의 특성상 통계자료가 많을수록, 또 입력 값의 분포가 고를수록 결과의 정밀성이 높아지게 되지만, 현재 실행되는 설계에서는 조사 단계에서 많은 수의 표본을 이용하기 어렵기 때문에 모집단의 특성을 정확하게 반영하기는 어렵다.

몬테카를로 시뮬레이션 기법을 이용한 암반 설계 정수 산정에 있어 표본의 분포 형태가 다름에도 불구하고 일괄적으로 정규분포화 하는 경우가 있다. 이 경우 표본의 왜곡이 발생하게 된다. 통계적인 방법을 적용한 후에 다시 등가화 된 하나의 값을 산정해 해석상에 적용시키므로 각 설계정수에 대한 임의의 분포 상태를 구현하지 못한다.

본 연구에서는 로그로지스틱분포 형태를 갖는 실내 실험 결과를 표본으로 하여, 정규분포화를 통한 몬테카를로 시뮬레이션 결과와 실내 실험 결과의 분포 형태를 고려한 시뮬레이션 결과를 비교하고, 설계정수 산정에 있어 분포 형태를 고려한 경우와 하지 않은 경우에 어느 정도의 차이가 발생하는지를 고찰하였다. 수치해석

<sup>1)</sup> 전남대학교 대학원 지구시스템공학과

<sup>2)</sup> 전남대학교 건설지구환경공학부 교수

\* 교신저자 : hsyang@jnu.ac.kr

접수일 : 2007년 4월12일

심사 완료일 : 2007년 6월 8일

범으로는 2차원 유한차분 해석 프로그램인 FLAC<sup>2D</sup>를 사용하였다.

## 2. 설계정수 산정기법

Mohammad 등(1997)은 수치해석 관련 논문에서 수치해석을 위한 입력변수의 적용을 살펴본 결과 탄성계수의 경우 그림 1과 같은 양상을 나타내었다. 실내 실험을 통한 탄성계수가 수치해석 적용시에는 약 0.46배 정도로 감쇠된 것을 알 수 있다. 단축압축강도는 실내 실험값의 약 0.28배, 인장강도는 실내 실험값의 약 0.49배, 그리고 포아송 비는 실내 실험값과 거의 유사한 값으로 적용되었다. 이를 통하여 실내 실험으로부터 구한 지반의 물성을 수치해석 모델링에 적용하기 위한 감쇠기법은 많은 해석자들에 의해 적용되고 있음을 알 수 있으며, 타당성이 검증되었다고 할 수 있을 것이다(최성웅, 정소결, 2004).

### 2.1 표본산정

통계 처리를 위한 표본 산정을 위해 동일한 지역 내의 암석 시료를 가지고 실내 실험을 실시하였다. 조사 지역은 전남 화순군 일대이며 사용된 시료는 주로 변성 셰일이다. 단축압축강도 시험을 실시하여 탄성계수를 산출하였다. 본 연구에서는 현장 조사의 부족으로 인하여 암반 등급 평가가 미흡하였으므로, 실내 실험을 통한 결과를 이용하여 현지 암반 조건의 설계정수를 산정하였다. 이때에 Mohammad 등이 제안한 실내 실험의

탄성계수와 수치해석에서 사용된 탄성계수의 관계식을 이용하여 실내 실험 결과를 보정하였다. 식 (1)은 Mohammad 등이 제안한 실내 실험 탄성계수와 현지 암반 탄성계수의 관계식이며, 실내 실험 결과에 의한 탄성계수와 보정된 탄성계수는 표 1과 같다.

$$E = 0.46 \times E_{lab} \tag{1}$$

$E_{lab}$ : 실내 실험 탄성계수

표 1. 탄성계수 (GPa)

시료번호	실험치	보정치	시료번호	실험치	보정치
1	9.7	4.46	15	13.5	6.19
2	16.1	7.42	16	44.3	20.4
3	16.7	7.68	17	12	5.53
4	10.1	4.66	18	9.9	4.55
5	17.3	7.94	19	11.1	5.13
6	14	6.45	20	39.1	18
7	16.3	7.48	21	21.6	9.96
8	14.1	6.49	22	8.54	3.93
9	8.91	4.1	23	14.3	6.58
10	13.2	6.08	24	15.8	7.29
11	11.5	5.29	25	23.2	10.7
12	18.8	8.67	26	8.95	4.12
13	15.5	7.14	27	15.3	7.02
14	10.3	4.75	28	9.17	4.22

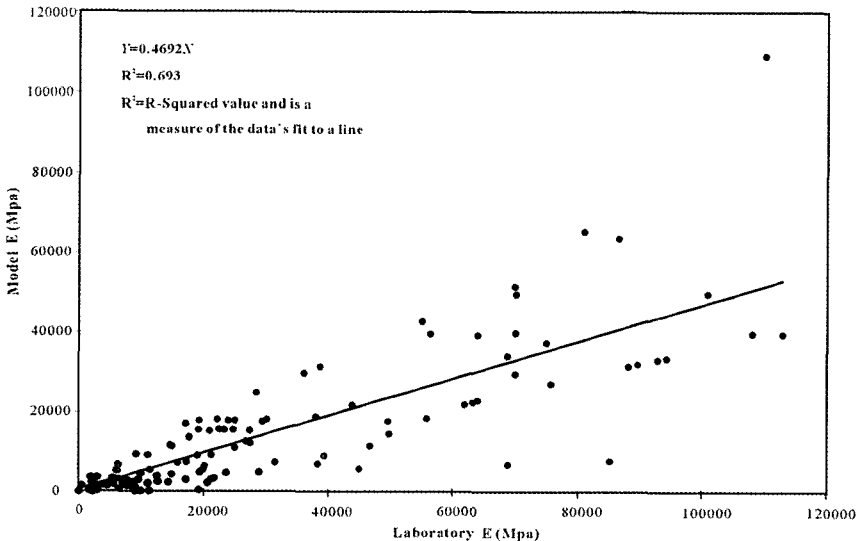


그림 1. 실내실험과 수치해석 모델링의 탄성계수 비교 (Mohammad et al., 1997)

몬테카를로 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 암석 물성의 분포 특성을 파악하는 것이 선행되어야 한다(Kim and Gao, 1995). 그림 2는 실내 실험에 의한 28개의 표본을 히스토그램 및 분포 함수 곡선을 나타낸 결과이다. 실내 실험 결과에 가장 적합한 분포 특성은 로그로지스틱분포이며 분포 특성 및 신뢰 범위 90% 구간 내의 상, 하한값은 그림 2(a)와 같다. 로그로지스틱분포 특성을 나타내는 실내 실험 결과를 임의로 정규분포 형태로 가정한 결과는 그림 2(b)와 같다. 이때 x축은 탄성계수를 나타내며 y축은 해당값의 빈도를 나타낸다. 표 2는 실내 실험 결과를 로그로지스틱분포 형태와 정규분포 형태로 연속 확률 분포화 하였을 경우 나타나는 결과를 정리한 것이다. 두 분포의 평균은 약 19% 정도의 편차를 보이는 것으로 나타났다.

2.2 통계처리

대부분의 설계정수 산정에서 탄성계수는 정규분포의 분포 특성을 가지는 것으로 알려져 있으며, 정규분포라는 가정 하에 실내 실험 및 현장 조사 결과의 평균과 표준편차를 이용하여 통계 처리한다. 그러나 실내 실험

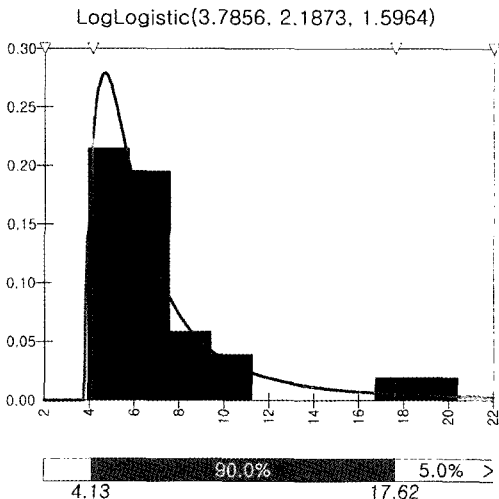
결과에 있어 정규분포 외의 분포를 나타내는 표본의 특성을 무시하고 정규분포라고 일괄적으로 가정하면 모집단의 분포 특성을 왜곡할 가능성이 있다.

이러한 분포 특성 가정이 나타낼 수 있는 모집단의 왜곡을 평가하기 위하여 본 연구에서는 다음의 세 가지 경우를 비교해 보았다. Case I은 표본에 가장 적합한 연속 확률 분포 형태인 로그로지스틱분포의 평균과 표준편차를 분포 특성으로 이용하여 몬테카를로 시뮬레이션을 정규분포로 정의하여 실시한 경우이다. Case II는 표본의 분포 형태를 최적의 분포 형태인 로그로지스틱 분포가 아닌 정규분포로 가정하고 이때의 분포 특성을 이용하여 정규분포로 몬테카를로 시뮬레이션을 실시한 경우이고, Case III는 표본의 분포 형태를 로그로지스틱 분포로 가정하고 분포 특성을 이용하여 Case I과 다르게 로그로지스틱분포로 정의하여 몬테카를로 시뮬레이션을 실시한 경우이다.

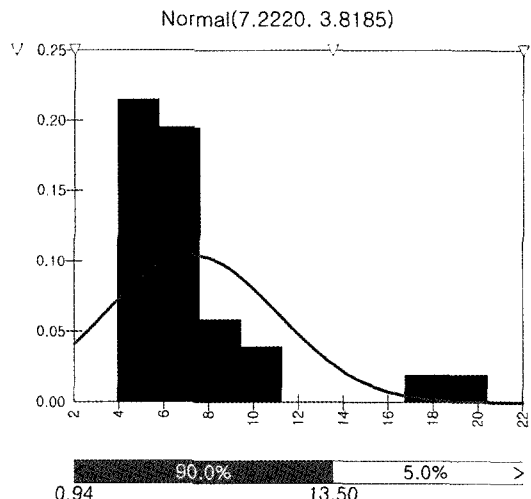
그림 3은 각각의 경우에 대한 몬테카를로 시뮬레이션의 결과를 나타낸 것이며 시뮬레이션을 통해서 산정된 평균값과 표준편차는 표 3과 같다. 그림 3은 확률밀도 함수로서 x축은 표준단위, y축은 표준단위별 비율을 나타낸다. 평균값의 경우 가장 차이가 큰 Case I과 Case II의 경우에 약 19%의 편차가 발생하였다. 이는 시뮬레이션 전의 표본 분포에서 발생한 결과와 유사하다. 이를 통해서 표본의 분포 특성을 어떻게 보느냐에 따라 확률론적 방법으로 설계정수를 결정하는 결과에 있어 오차가 발생할 수 있음을 알 수 있다.

표 2. 분포 결과

구분	평균	표준편차
로그로지스틱분포	8.45	13.5
정규분포	7.22	3.82



(a)



(b)

그림 2. 표본 분포

### 3. 수치해석을 통한 결과 분석

#### 3.1 해석 모델 및 방법

표 3의 결과에서와 같이 설계정수의 편차가 실제 설계에 미치는 영향을 알아보기 위해서 2차원 유한차분 해석 프로그램인 FLAC<sup>2D</sup>를 통해 수치해석을 실시하였다. 본 연구에서는 변화되는 적용 물성으로 탄성계수만을 고려하였기 때문에 탄성해석을 실시하였다. 암반 정수로서 단위중량은 2.4 t/m<sup>3</sup>, 포아송 비는 0.28을 적용하였고, 지보재의 물성치는 표 4와 같다. 해석에 사용된 모델의 크기는 가로 150 m, 세로 100 m이고 터널 단면 크기는 폭 12 m, 높이는 9 m이며 토피의 두께는 50 m이다. 그림 4는 해석에 사용된 요소망이다.

변위와 지보재에서 발견되는 지보력을 기준으로 그 차이를 분석하였다. 그림 5 및 표 5는 각각의 경우에 대해 수치해석 결과 발생한 변위 크기를 Case III의 결과를

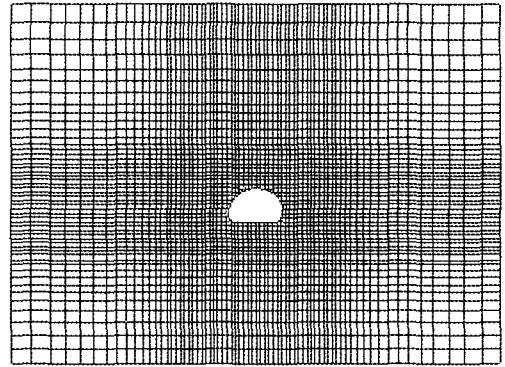


그림 4. 요소망

#### 3.2 해석 결과

수치해석 결과로 터널 구조물 주변에 발생하는 최대

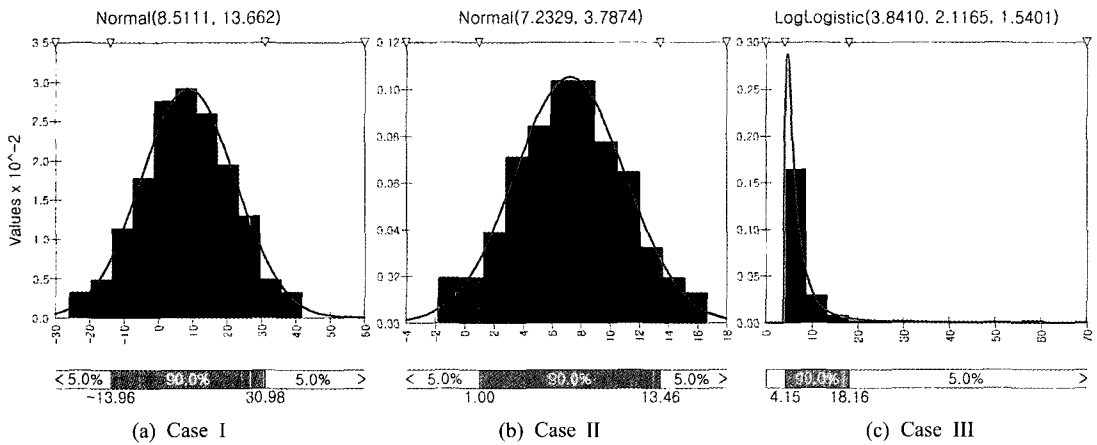


그림 3. 몬테카를로 시뮬레이션

표 3. 산정된 탄성계수 (GPa)

	구분	평균	표준편차
Case I	로그로지스틱 분포 ⇨ 정규 분포	8.51	13.7
Case II	정규 분포 ⇨ 정규 분포	7.23	3.78
Case III	로그로지스틱 분포 ⇨ 로그로지스틱 분포	8.68	13.4

표 4. 지보재 물성

지보재	탄성계수 (GPa)	포아송비 (ν)	단위중량 (t/m <sup>3</sup> )	그라우트 강성 (GPa)	그라우트 강도 (kPa)	항복강도 (kPa)
연한 숏크리트	5.0	0.3	2.0	-	-	-
굳은 숏크리트	15.6	0.2	2.0	-	-	-
록볼트	210	0.3	-	14.0	80	177

기준으로 하여 각 Case별 차이를 나타낸 것이다. 표 5에서 나타난 것과 같이, Case I과 Case III는 거의 비슷한 최대변위를 나타내고 있다. 그러나 Case II는 Case I, III에 비해 큰 값을 보이며 그 차이는 약 19%이다. 이러한 결과는 각 Case별 분포 특성 중 표본의 분포 특성을 이용한 Case I, III의 경우, 확률 분포 특성을 결정짓는 평균과 표준편차가 표본의 통계 분포 곡선에 의한 것으로 신뢰구간 범위의 상, 하한의 차이는 발생하지만, 그 기준이 되는 평균은 서로 유사한 값을 갖기 때문이다. 결과로서, Case I의 경우는 표본의 분포 특성을 고려하였기 때문에 몬테카를로 시뮬레이션 결과도 비슷한 양상을 나타내고 있다. Case II는 표본의 분포 특성을 임의로 정규분포로 가정하였기 때문에 I, III의 경우와는 많은 편차가 발생함을 확인할 수 있다.

표 6은 록볼트 축력과 슛크리트의 최대 휨 압축응력 및 전단응력을 각 경우별로 비교한 것이다. 지보력 결과 역시 최대변위 발생 결과와 마찬가지로 Case II는 Case I, III와 큰 편차가 발생함을 알 수 있으며, 그 차

이는 약 19%에 달한다. 그림 6은 록볼트의 최대 축력 및 슛크리트의 최대 휨 압축응력을 나타낸 것이다.

표 5. 최대변위

구분	최대변위 (mm)	편차 (Case III기준)
Case I	1.49	+2.05%
Case II	1.75	+19.8%
Case III	1.46	0%

표 6. 지보력 비교

	록볼트		스�크리트			
	축력 (kN)		전단응력 (kPa)		휨 압축응력 (kPa)	
	최대값	편차	최대값	편차	최대값	편차
Case I	6.08	+2.01%	5.97	+2.05%	8,908	+2.66%
Case II	7.11	+19.2%	7.06	+20.6%	10,326	+19.0%
Case III	5.96	0 %	5.85	0 %	8,677	0 %

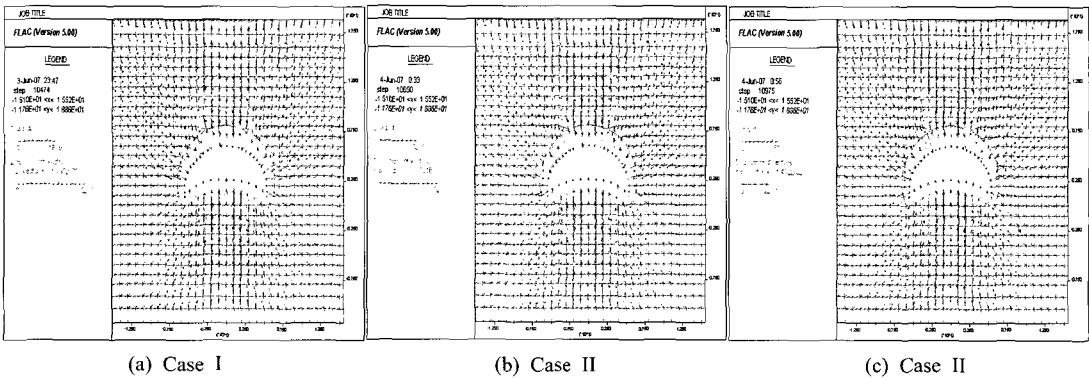


그림 5. 변위 분포

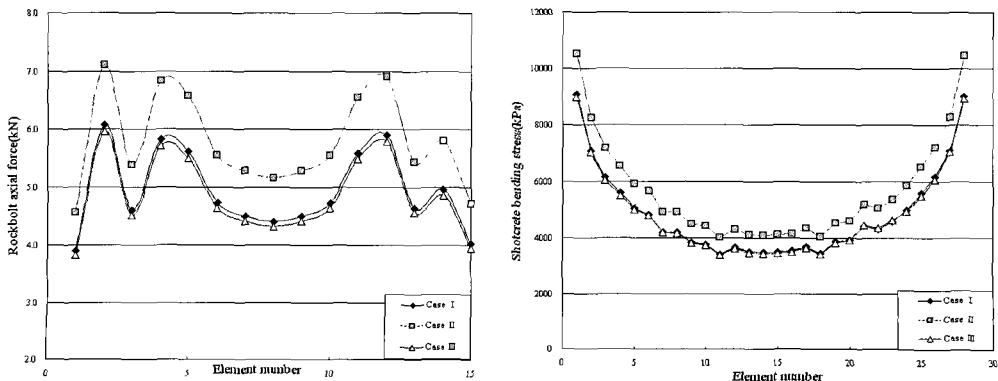


그림 6. 록볼트 축력 및 슛크리트 휨 압축응력

#### 4. 결론

본 연구에서는 표본의 원분포 특성을 고려하여 통계 처리한 경우의 사례와 그렇지 않은 경우를 비교해 보았다. 원분포 특성을 고려하여 통계처리를 실시한 경우는 통계처리 후에도 비슷한 양상을 나타냈으며 평균값의 경우 가장 차이가 큰 Case I과 Case II의 경우에 약 19%의 편차가 발생하였다. 이는 시뮬레이션 전의 표본 분포에서 발생한 결과와 유사함을 알 수 있다. 수치해석을 통해 최대변위, 록 볼트 축력 및 슛크리트 휨 압축 응력을 비교 검증한 결과, 본래의 분포 특성을 고려하여 통계처리를 실시한 Case I의 경우는 표본의 분포 특성을 고려하였기 때문에 몬테카를로 시뮬레이션 결과도 비슷한 양상을 나타냈으며 Case II는 표본의 분포 특성을 임의로 정규분포로 가정하였기 때문에 I, III의 경우와 약 19%의 편차가 발생함을 확인할 수 있었다. 따라서 표본의 분포 특성을 무조건 정규분포화 하는 것은 모집단의 특성을 왜곡하게 되므로 설계정수 산정 시에 표본의 분포 특성을 고려하여 통계처리를 해야 할 것이다.

#### 참고문헌

1. 최성용, 정소걸, 2004, Monte Carlo simulation 기법을 이용한 RMR의 역산 및 그에 의한 암반사면의 안정성 분석, 터널과 지하공간 (한국암반공학회지) 14.2, 97-107.
2. Kim, K. and H. Gao, 1995, Probabilistic approaches to estimating variation in the mechanical properties of rock masses, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 32.2, 111-120.
3. Mohammad, N., D. J. Reddish and L. R. Stace, 1997, The relation between in situ and laboratory rock properties used in numerical modeling, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 34.2, 289-297.

#### 김 종 관

2003년 전남대학교 공과대학 자원공학과  
학사

Tel: 062-530-0824  
E-mail: 00kjg@hanmail.net  
현재 전남대학교 대학원 지구시스템공  
학과 석사과정



#### 양 형 식

1979 서울대학교 공과대학 자원공학과  
학사  
1981 서울대학교 대학원 자원공학과 석사  
1987 서울대학교 대학원 자원공학과 박사

Tel: 062-530-1724  
E-mail: hsyang@jnu.ac.kr  
현재 전남대학교 건설지구환경공학부  
교수

