선형회귀분석을 적용한 강원도 지역 화강암의 일축압축강도 산정

이문세¹ · 김만일^{1*} · 백종남¹ · 한봉구²

¹한국시설안전공단 시설안전연구소, ²서울과학기술대학교 건설공학부

Calculating the Uniaxial Compressive Strength of Granite from Gangwon Province using Linear Regression Analysis

Moon-Se Lee¹, Man-Il Kim^{1*}, Jong-Nam Baek¹, and Bong-Koo Han²

¹Institute of Infrastructure Safety, Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation

²School of Civil Engineering, Seoul National University of Science & Technology

일축압축강도는 깎기비탈면이나 지하구조물 등의 설계 및 시공에서 중요하게 취급되는 인자로 인식되고 있으나 실무에서는 일축압축강도를 시험하기 위해 많은 시간과 비용이 소요되는 것이 현실이다. 따라서 일축압축강도에 비해 상대적으로 시험방법이 간단하며 시료성형 시간 및 비용이 적게 소요되는 점재하강도 시험결과를 바탕으로 통계적인 방법의 하나인 선형 회귀분석법을 이용하여 일축압축강도를 산정할 수 있는 모델을 제안하였다. 이를 위해, 통계 프로그램의 상관분석을 통해 일축압축강도와 밀접한 인자를 선별하고, 이렇게 선별된 인자들과 일축압축강도의 상관관계를 선형회귀분석으로 공식화하였다. 추가로 모델과 실제 일축압축강도시험으로 구한 결과값을 비교 분석함으로써 제안된 모델의 적합성을 검증하였다. 점재하강도 시험시 얻어지는 인자들과 일축압축강도의 상관관계를 분석한 결과, 일축압축강도에 가장 크게 영향을 미치는 인자는 점재하강도 및 시료의 형상인 것으로 나타났으며, 모델에 의해 산정된 일축압축강도는 일축압축강도시험으로 구한 일축압축강도와 거의 유사한 결과를 보여 주었다. 따라서 본 연구에서 개발된 일축압축강도 산정모델은 연구지역과 같은 화강암질 암반 조건에서 일축압축강도의 산정을 위한 예측모델로서 활용이 가능할 것으로 사료된다.

주요어 : 일축압축강도, 점재하강도, 선형회귀분석, 상관분석, 일축압축강도산정모델

The uniaxial compressive strength (UCS) is an important factor in the design and construction of surface and underground structures. However, the method employed to measure UCS is time consuming and expensive to apply in the field. Therefore, we developed a model to estimate UCS based on a few properties using linear regression analysis, which is a statistical method. To develop the model, valid factors from the test results were selected from a correlation analysis using a statistical program, and the model was formulated by linear regression based on the relationships among factors. UCS estimates derived from the model were compared with the results of UCS tests, to assess the reliability of the model. The relationship between rock properties and UCS indicates that the factors with the greatest influence on UCS are point load strength and shape factor. The UCS values obtained using the model are in good agreement with the results of the UCS test. Therefore, the developed model may be used to estimate the UCS of rocks in regions with similar conditions to those of the present study area.

Key words : uniaxial compressive strength, point load strength, linear regression analysis, correlation analysis, estimation model of uniaxial compressive strength

*Corresponding author: mikim916@paran.com

서론

일축압축강도는 공학적으로 매우 중요한 특성으로서 비탈면 안정이나 지하구조물의 설계 및 시공 등 지반분야 전반에 걸쳐 직·간접적인 관계가 있으나 정확한 일축압축강도를 산출하는 것은 쉬운 일이 아니다(송원경 등, 2005; 강태승과 엄정기, 2007; 남정만 등, 2008). 이는 일축압축강도시험시 시료의 채취뿐만 아니라 공시체의 형상을 원주 등의 정해진 규격으로 일정하게 성형하여야 하며, 한 지역에서 채취된 시료라도 강도 변화가 심하므로 수십 개의 공시체를 제작하는 등의 어려움이 있기 때문이다.

이로 인해 일축압축강도시험을 대체하여 쉽게 암석을 시험할 수 있는 점재하강도시험이 많이 이용되고 있다. 점재하강도시험은 암석의 판정을 정량적으로 쉽게 현장에서 수행할 수 있을 뿐만 아니라 일축압축강도를 비교적 정확하게 추정할 수 있는 장점을 가지고 있다. 특히 정해진 규격이 없어 비정형성의 시료에 대해서도 이용이 가능하여 단시간에 다수의 시험을 수행할 수 있는 장점이 있다.

따라서 점재하강도($I_{s(50)}$)를 통해 일축압축강도(σ_c)를 추정하는 연구가 지속적으로 진행되어 왔다. 이와 관련하여 국외에서는 D'Andrea et al. (1964), Broch and Franklin (1972), Bieniawski (1975), Brook (1980), Akram and Bakar (2007) 등에 의하여 실험적으로 $I_{s(50)}$ - σ_c 관계식을 제안하고 있으나, 이는 시료의 지질 특성이나 형상에 의한 일축압축강도에 미치는 영향을 명확히 규명하지 못하고 있다. 이에 Greminger (1982), Forster (1983) 등은 공시체 시료의 이방성에 따른 강도의 영향에 관하여 연구성과를 도출하였으며, 국제암반역학회(International Society for Rock Mechanics, ISRM, 1985)에서는 점하중강도의 시험법 및 $I_{s(50)}$ - σ_c 의 상관계수를 보완 제시하여 현재 가장 널리 이용되고 있는 실정이다.

그러나 국내에서는 화강암에 대한 실험적 관계식(이수근과 이승, 1995), 풍화에 따른 상관관계식(정형식과 유병옥, 1997), 대구지역 세일의 상관관계(이영희와 윤찬호, 2009) 등과 같이 암석의 종류를 고려한 연구가 주로 이루어졌으며, 실무에서는 국외에서 제안된 관계식보다는 지질이 고려된 암석 종류에 따른 국내의 상관식이 보다 효과적일 것으로 판단된다.

점재하강도 및 일축압축강도는 암석의 지질학적인 생성과정, 암석의 종류, 풍화작용에 의한 물성변화 및 기하학적 요소가 모두 복합적으로 작용하여 강도에 영향을 받는다. 따라서 본 연구에서는 시간과 비용을 크게 소비하지 않는 선에서 점재하강도시험 중 얻을 수 있는 인자들

을 이용하여 일축압축강도에 영향을 주는 인자를 새롭게 선별하였다. 이에 따른 상관관계식을 개발하기 위하여 강원도 평창군 진부지역을 대상으로 화강암 시료를 채취하여 실내에서 각종 시험을 실시하였으며, 통계분석 프로그램을 이용하여 새로운 일축압축강도 산정모델을 제안하였다. 또한 제안된 모델의 신뢰성 검증을 위해 연구지역에서 채취한 시료를 실험실에서 직접 일축압축강도시험을 수행하여 얻은 일축압축강도와 본 연구에서 제안된 모델에 의해 산정한 일축압축강도를 상호 비교 분석하여 모델의 신뢰성을 확보하였다.

연구방법 및 연구지역 특성

선형회귀분석에 이용될 인자들을 구하기 위하여 시료 채취는 연구지역의 특성을 충분히 반영하고 지형 및 지질조건 등을 고려하여 비교적 일정한 빈도를 갖도록 함으로써 암반의 특성이 균등하게 평가될 수 있도록 총 30개 지점에서 화강암 암석시료를 채취하였다. 이 중 25개 시료의 시험결과를 사용하여 일축압축강도 산정모델을 개발하고, 모델을 만드는데 사용하지 않은 나머지 5개 시료를 모델에 적용함으로써 신뢰성을 검증하였다.

점재하시험의 경우 일반적으로 널리 이용되는 ASTM D 5731을 기준으로 수행 하였으며, 일축압축강도는 한국 산업표준 KS E 3033을 기준으로 수행하였다.

본 연구는 실내시험을 통해 점재하강도를 구하고, 이를 통계적 방법을 이용해 제안된 일축압축강도 산정모델에 적용하여 적은 시간과 비용으로 간단하지만 효과적으로 일축압축강도를 예측하는데 목표를 두고 있다.

Fig. 1은 이러한 일축압축강도 산정모델을 개발하기

Fig. 1. Flow chart of the statistical analysis.

위한 흐름도이며, 연구과정은 우선 점재하강도시험에서 구한 각종 수치를 범용통계 프로그램을 이용하여 Pearson 상관계수를 고려해 상관분석을 실시하였다. 또한 상관성이 높은 인자를 우선 선정하고, 이후 선정된 인자를 독립변수로 두고 일축압축강도시험으로 구한 강도값을 종속변수로 적용 후 선형회귀분석을 통해 선형적 계수 및 상수인 가중치를 구함으로써 최종적으로 일축압축강도를 산정할 수 있는 모델을 완성하였다. 또한 일축압축강도시험을 통해 구한 강도값과 본 연구에서 제안된 모델로 산정된 강도값을 상호 비교 분석함으로써 모델의 신뢰성을 검증하였다.

일축압축강도 산정모델 제안을 위해 실험에 적합될 시료를 채취할 연구지역으로서 강원도 평창군 진부면 일대를 선정하였으며, 본 연구대상 지역은 오대산(1,563 m), 발왕산(1,377 m) 등으로 둘러싸인 해발고도 500 m 이상의 고원지대이며, 하진부 일대는 넓은 평지와 구릉지를 이루고 있다.

지질은 중립·조립질의 흑운모화강암이 분포하고 있는 지역으로 지형적으로는 풍화 및 침식현상 등으로 인해 비교적 낮은 산지를 형성하고 있다(Fig. 2).

선정기준은 동일한 지질인 화강암으로 이루어져 있고 시료채취가 용이할 뿐만 아니라 진부면 일대에서 발생한 산사태로 인해 복구공사에 이용된 골재의 강도와 관련하여 지질 및 지반공학적으로 분석할 가치가 충분하다고 판단하여 선정하였다.

연구방법에 따라 연구대상 지역에서 30개의 시료를 채취하고, 일축압축강도 및 점재하시험을 실시하였으며, Fig. 3과 같이 점재하강도의 경우 형상의 영향성을 통계

에 적용하기 위해 점재하시험 수행절차에 따라 구하게 되는 시료의 폭(W), 두께(D), 재하점과의 거리(L), 단위폭 당 두께(D/W) 등을 추가로 측정하였다.

점재하강도시험과 일축압축강도시험을 각각의 기준에

Fig. 3. Schematic diagram of the point load strength test.

Fig. 4. Strength comparison between the point load strength test and the uniaxial compressive strength test.

Fig. 2. Geological map of the study area.

따라 수행한 결과를 도시하면 Fig. 4와 같은데, 이는 30개의 시료에 대한 점재하강도와 일축압축강도 시험결과를 비교한 산포도로서 이들 둘의 관계가 어느 정도 선형적 관계에 있음을 보여준다. 그러나 국제암반역학회(ISRM, 1985)에서 제안한 방식으로 점재하강도에 단순히 상수 22를 곱하여 일축압축강도를 추정할 경우 본 연구 대상지역의 경우 강도를 정확히 예측하기 어렵고 오차가 발생할 수밖에 없다. 따라서 이러한 산포 즉, 오차를 줄일 수 있는 보다 효과적인 추정식이 필요하다.

이러한 오차는 서론에서 서술한 바와 같이 암석의 지질학적인 생성과정, 암석의 종류, 풍화작용에 의한 물성변화 및 기하학적인 요소 등이 강도에 영향을 미치기 때문일 것이다. 이에 본 연구에서는 우선적으로 시료를 강원도 화강암 지역의 암석으로 한정하여 지질학적인 특성을 한정하고, 점재하강도 시험시 사용되는 시료의 기하학적인 형상이 일축압축강도 추정에 영향을 미친다는 가정을 대전제로하고, 이에 대한 상관성을 분석하였다.

선형회귀분석에 의한 일축압축강도강도 산정 모델

상기의 연구방법에 따라 점재하강도시험시 사용되는 시료의 기하학적인 형상이 일축압축강도에 미치는 영향을 분석하기 위하여 일축압축강도 및 점재하강도시험시 얻어지는 인자들을 Pearson 이변량 상관계수를 이용하여 분석하였다. Pearson 이변량 상관계수는 모집단에서 두 변수가 선형의 직선 관계가 있으며, 비교대상의 기준인 종속변수와 이에 영향을 미치는 독립변수를 한 번에 비교하기 쉽고, 각각의 변수가 등비인 경우에 일반적으로 많이 적용되는 분석이론으로서 본 연구의 적용인자들의 특성과 가장 부합하기에 Pearson 이변량 상관계수를 이용하여 일축압축강도와 상관성이 높은 인자를 선별하였다.

이에 따라 일축압축강도를 포함한 9가지 변수에 대한 상관성을 분석한 결과, Table 1과 같다. 이는 상관분석을 통해 얻은 일축압축강도와 각 인자간의 Pearson 상관계수 및 유의도를 구한 것으로 Pearson 상관계수는 음(negative)과 양(positive)에 상관없이 절대값이 클수록 상관성이 높으며, 유의도는 0에 가까울수록 상관성이 높음을 의미한다. 그리고 상관계수의 음은 반비례관계를 나타내며, 양은 비례관계를 의미한다.

Table 1에 따라 유의도의 기준인 0.01 이내에는 점재하강도($I_{s(50)}$), 단위폭 당 두께(D/W) 및 파괴시 하중값(P) 순으로 상관성이 높음을 알 수 있다. 그러나 유의도 수

Table 1. Pearson correlation and significance of the tests.

Variable	Correlation	Angle of shearing resistance
uniaxial compressive strength(σ_c)	Pearson correlation coefficient	1.000
	Significance	.
D	Pearson correlation coefficient	0.32046
	Significance	2.60E-06
W	Pearson correlation coefficient	0.17845
	Significance	1.50E-06
L	Pearson correlation coefficient	0.10915
	Significance	0.00123
P	Pearson correlation coefficient	0.675967
(point load)	Significance	4.16E-06
$I_{s(50)}$	Pearson correlation coefficient	0.96495
(point load strength)	Significance	6.89E-15
D/W	Pearson correlation coefficient	0.86433
	Significance	6.77E-15
D/L	Pearson correlation coefficient	0.37596
	Significance	1.13E-06
W/L	Pearson correlation coefficient	0.15324
	Significance	0.00138

준에서 P는 $I_{s(50)}$ 및 D/W에 비해 상대적으로 오차가 클 뿐만 아니라, 산정모델의 간편화를 위해 상관계수가 크고 유의도가 가장 낮은 인자인 “점재하강도” 및 “단위폭 당 두께”를 모델에 적용할 인자로 최종 선정하였다.

위의 상관분석으로부터 상위의 변수인 점재하강도 및 단위폭 당 두께를 독립변수로 이용하고 실제 일축압축강도시험에 의한 강도값을 종속변수로 하여 선형적 관계의 두 변수를 일차원 방정식 형태로 간단하게 만들 수 있는 선형회귀분석을 실시한 결과는 다음과 같다.

① 모형 요약

모형	R	R 제곱
1	.941	.927
수정된 R제곱	추정값의 표준오차	Dubin-Watson
.921	.5731	2.655

② 분산분석

모형	제곱합	자유도
1 선형회귀분석	110.122	2
잔차	7.712	22
합계	116.321	24
평균제곱	F	유의확률
54.418	154.269	.000
.339		

③ 계수

모형	비표준화계수	
	B	표준오차
1 (상수)	98.54	10.225
$I_{s(50)}$	18.33	4.120
D/W	232.15	6.840
표준화계수	m	유의확률
베타		
	2.668	.015
-.478	-1.507	.181
.517	1.311	.247

위의 모형요약, 분산분석, 계수는 선형회귀분석시 통계프로그램에 의해 출력되는 결과를 그대로 표시한 것으로서 “모형요약”은 제안된 모형의 설명력을 분석하여 적합성을 나타내는 척도이며, 수정된 R제곱 즉, 설명력이 약 92%로서 회귀모형에 매우 적합함을 나타낸다. 또한, “분산분석”은 제안된 모형의 분산 즉, 오차에 대한 분석과 이에 대한 유의성을 분석한 결과로서 잔차의 정규성과 등분산성은 모두 만족하며, 분산분석의 유의확률 $P=0.000$ 으로서 매우 높은 유의수준을 확보했음을 보여준다.

이에 따라 일축압축강도 산정모형은 위의 선형회귀분석 결과 중 “계수”부분의 비표준화계수 B의 값을 독립변수의 계수 및 상수로 이용하여 완성할 수 있는데, 그 결과는 다음의 식 (1)과 같이 표현된다.

$$\text{일축압축강도}(\sigma_c) = [18.33 \times I_{s(50)}] + [232.15 \times (D/W)] + 98.54 \quad (1)$$

여기서, $I_{s(50)}$: 점재하강도,

D/W : 시료의 단위폭 당 두께

이는 “점재하강도”와 시료의 “단위폭 당 두께”만으로도 높은 신뢰도의 일축압축강도를 산정할 수 있음을 의미하는 것으로 일축압축강도는 점재하강도 및 단위폭 당 두께와 비례 관계를 가지고 있음을 보여주며, 본 연구의 목표와 같이 점재하강도시험을 통해 얻어지는 자료를 제안된 일축압축강도 산정모형에 적용하여 적은 시간과 비용으로 간단하지만 효과적으로 일축압축강도를 예측할 수 있음을 의미한다.

일축압축강도 산정모형 검증

본 연구에서 제안된 일축압축강도 산정모형의 신뢰성을 검증하고자 점재하강도시험 결과를 본 산정모형에 적용

여 일축압축강도값을 산정하고, 실제 일축압축강도시험을 통해서도 함께 강도값을 구하여 두 경우의 강도값을 비교 분석하였다. 검증은 모형을 만드는데 사용된 자료뿐만 아니라 모델 개발시 사용되지 않은 새로운 자료를 이용하여서도 검증하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

Fig. 5는 일축압축강도 산정모형을 통해 예측한 강도와 실제시험에 의해 구한 일축압축강도를 비교하여 도시한 것으로써 X축의 시료번호 1번부터 25번까지는 선형회귀분석을 통해 모형을 만들 때 사용한 자료이고, 시료번호 26번부터 30번까지는 Dummy로서 모형을 만들 때 사용하지 않은 새로운 자료로서 그림에서와 같이 두가지 경우 모두 높은 유사성의 동일한 패턴을 보이고 있음을 알 수 있다.

또한, 정량적인 검증을 위해 두 값의 유사성을 판단하는 척도로 널리 이용되는 편차의 평균 즉, 모델에 의해 구한 일축압축강도와 실제시험에 의한 일축압축강도의 차이를 평균한 수치는 그 값이 12.86으로서 일축압축강도 시험 평균값 1573.69 대비 0.82%에 해당하는 아주 적은 오차를 갖는 것으로 나타났다. 이는 “점재하강도”와 시료의 “단위폭 당 두께”만으로도 일축압축강도를 비교적 높은 정확도로 산정할 수 있음을 의미하는 것으로 본 모형의 신뢰성이 높은 것을 알 수 있다.

추가로 최초 채취한 30개의 시료 중 본 산정모형을 구성하는데 사용하지 않은 Fig. 5의 X축 시료번호 26번부터 30번까지의 Dummy 시료를 적용하여 분석한 결과, 높은 유사성뿐만 아니라 편차의 평균이 11.36으로써 모델 개발시 사용한 25개 시료의 편차의 평균 12.86보다 오차가 오히려 적은 것으로 나타나 높은 신뢰도를 확보하는 것으로 확인되었다.

Fig. 5. Strength comparison between the proposed model and the uniaxial compressive strength test.

결 론

이 연구는 암반특성을 평가하는 주요 영향인자인 일축압축강도를 “점재하강도”와 시료의 “단위폭 당 두께”만으로 간편하게 산정할 수 있도록 선형회귀분석을 이용한 일축압축강도 산정모델을 제안하였다. 그리고 제안된 산정모델과 일축압축강도시험에서 취득된 강도값을 비교 분석하여 모델의 적합성을 검증하였다. 그 결과 연구지역과 유사한 화강암질 조건에서 제안된 산정모델을 이용할 경우 실제 일축압축강도시험에 의한 강도값에 거의 근접한 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료되며, 이에 대한 연구결과를 종합하면 다음과 같다.

1) Pearson 상관분석을 통해 관련된 인자들과 일축압축강도값 사이의 상관관계를 분석한 결과, 일축압축강도에 유의한 인자는 점재하강도 및 시료의 단위폭 당 두께인 것으로 확인되었다.

2) 상관성이 유의한 인자로서 점재하강도 및 단위폭 당 두께가 선정된 것으로 미루어 일축압축강도를 산정하기 위해서는 단순히 점재하강도만으로 산정하는 것 보다는 형상에 대한 인자도 일축압축강도값 산정시 고려되어야 할 요소로 판단된다.

3) 일축압축강도 산정모델과 실제 일축압축강도시험에 의해 구한 강도값은 상관성이 높아 시험을 통해 구한 강도값이 큰 시료는 산정모델로 구한 강도값 역시 크게 나타났으며, 작은 시료는 작게 나타나는 일관성을 갖는 것으로 확인되었다.

4) 제안된 일축압축강도 산정모델로 계산된 강도가 일축압축강도시험으로 획득된 강도와 비교해 매우 유사한 결과를 보임으로써 그 적합성이 검증된 것으로 판단된다. 따라서 이 산정모델은 연구지역과 같은 조건에서 간접적인 방법으로 일축압축강도를 산정할 경우 효율적인 적용이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문에 대해 세심한 검토의견을 주신 익명의 심사위원 세 분에게 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

강태승, 엄정기, 2007, 다중회귀분석을 통한 경남 지방도로 절취사면의 안정성평가, 지질공학, 17(3), 393-404.
남정만, 윤중만, 송영석, 김준호, 2008, 제주도 현무암의

- 압축 및 인장강도에 대한 영향요인 분석, 지질공학, 18(2), 205-215.
송원경, 이병주, 정용복, 황성근, 2005, 암반사면의 안정성과 지질요소와의 상관관계, 한국지반공학회 사면안정 학술발표회, 92-106.
이수곤, 이송, 1995, 점하중 강도를 이용한 한국 화강암의 일축압축강도 추정방법, 대한토목학회 논문집, 15(4), 1015-1027.
이영휘, 윤찬호, 2009, 대구지역 세일의 점재하중수 특성 및 일축압축강도와의 상관성, 한국지반환경공학회 논문집, 10(3), 37-45.
정형식, 유병옥, 1997, 암석의 풍화에 따른 강도변화 특성 및 강도추정에 관한 연구, 한국지반공학회지, 13(6), 71-91.
Akram, M. and Bakar, M.Z.A., 2007, Correlation between uniaxial compressive strength and point load index for salt-range rocks, Pakistan Journal of Engineering and Applied Science, 1, 1-8.
Bieniawski, Z.T., 1975, Point load test in geotechnical practice, Engineering Geology, 9(1), 1-11.
Broch, E. and Franklin J.F., 1972, The point load strength test, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts, 9(6), 669-697.
Brook, N., 1980, Size correction for point load testing, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts, 17(4), 231-235.
D'Andrea, D.V., Fischer, R.L. and Fogelson, D.E., 1964, US department of the interior, bureau of mines, Report of Investigations, 6702, 1-23.
Forster, I.R., 1983, Influence of core sample geometry on the axial point load test, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts, 20(6), 291-295.
Greminger, M., 1982, Experimental studies of the influence of rock anisotropy on size and shape effects in point load testing, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts, 19(5), 241-246.
ISRM, 1985, Commission on Testing Methods. Suggested method for determining Point Load Strength (revised version), International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts, 22(2), 51-60.

원고접수일 : 2011년 11월 8일

수정본채택 : 2011년 12월 12일(1차)

: 2011년 12월 15일(2차)

게재확정일 : 2011년 12월 16일

이문세

한국시설안전공단 시설안전연구소

411-758 경기도 고양시 일산서구 대화동 2311

Tel: 031-910-6708

Fax: 031-910-4181

E-mail: eoehehr@kistec.or.kr

김만일

한국시설안전공단 시설안전연구소
411-758 경기도 고양시 일산서구 대화동 2311
Tel: 031-910-4219
Fax: 031-910-4181
E-mail: mikim916@paran.com

한봉구

서울과학기술대학교 건설공학부
서울시 노원구 공릉로 232
Tel: 02-970-6578
Fax: 02-948-0043
E-mail: bkhan@snut.ac.kr

백종남

한국시설안전공단 시설안전연구소
411-758 경기도 고양시 일산서구 대화동 2311
Tel: 031-910-6711
Fax: 031-910-4181
E-mail: whitebell61@empal.com