

# 콘크리트, 잡석에 의한 이질기초 치환효과에 관한 연구

## A Study on Displacement Effect of Different Foundation using Concrete and Rubble

임해식<sup>1</sup> · 박용부<sup>2</sup>

Hae-Sik Lim<sup>1</sup> and Yong-Boo Park<sup>2</sup>

(Received March 5, 2011 / Revised April 5, 2011 / Accepted April 20, 2011)

### 요 약

동일 건축물의 지지력변화 구간이나 이질기초 부위에서 보강방법은 경험적이나 약식검토의 방법으로 처리되고 있으므로 이 문제를 보완하기 위해 해석적 기법에 의한 기초의 안정성을 판단하고 보완할 수 있는 방법을 제시하였다. 이질 기초지반의 치환에 의해 보강효과를 산정하기 위하여는 기초면 하부 지반의 깊이에 따른 영향계수를 고려한 지반강성 평가방법을 적용하여 치환지반의 효과를 판정하여야 한다. 이에 본 논문에서는 잡석치환과 콘크리트 치환에 의해 지반이 보강되는 효과를 나타내는 등가 지반반력계수를 손쉽게 산정할 수 있는 도표와 관계식을 제시하였다.

**주제어:** 잡석치환, 콘크리트 치환, 이질기초, 등가반력계수

### ABSTRACT

To reinforce bearing capacity-changed section or different foundation in the same building, empirical or simple tools have been used. To solve this problem, we suggest the analytical solution that can evaluate and reinforce the stability of foundation. To estimate the effect of reinforcement by replacement in different foundation, soil stiffness evaluation method taking into account the influence factor with respect to depth beneath the foundation need to be applied. In this paper, graphs and relevant formulae are suggested to calculate equivalent soil reaction coefficient showing the effect of reinforcement by crushed stone and lean concrete replacement.

**Key words:** Rubble Replacement, Concrete Replacement, Different Foundation, Equivalent Reaction Coefficient

## 1. 서 론

구조물 기초가 불균질하거나 경사진 지반, 또는 일반토사에서 암반으로 지지력이 급변하는 지반구간에서 시공되는 경우가 빈번하다. 특히, 주차장과 건축물을 통합하는 통합주차장의 기초는 영역별로 다른 형식으로 계획한다. 이 경우 말뚝과 지내력 또는 지내력과 매트등 이질기초로 시공하고 경계부위에 대한 보강대책을 적용하고 있다.

이때, 현장이나 설계부서에서는 기초선정 및 지지력 계산이 곤란하므로 구조물 종류, 크기 및 형태, 하부지반 조건등을 고려하지 않은 경험적 방식으로 기초 슬래브를 보강하거나 기초치환(콘크리트, 잡석)을 실시하고 있다. 기초지반의

물성이 다르면 침하나 변형해석을 위해 각층별 강성을 고려한 지반반력계수 산정이 필요하다. 일반적으로 층별 가중치를 고려한 각 지반의 평균 산술평균을 구하여 지반반력계수를 적용하므로 실제와 다른 거동해석을 한다(건설교통부, 1998). 따라서, 본 연구에서는 미공군의 기술매뉴얼 TM 5-822-13의 지반반력계수를 이용하여 잡석 및 콘크리트 치환시 지반의 등가 지반반력계수를 산정하고 이질기초에 대한 보강효과와 실무적인 적용방안을 제시하였다. 즉, 공동주택의 대표 평형인 49m<sup>2</sup>-104-15I, 59m<sup>2</sup>-90-15I, 84m<sup>2</sup>-60-15I(평형-세대수-층수)을 대상으로 치환재료(잡석, 콘크리트), 지반물성치 N, 치환두께별 지반반력계수 변화를 산정하여 치환효과, 치환재, 원지반 강성과의 상호관계를 분석하였다. 이를

본 논문은 “기초 지지력 변화구간에서의 기초안정성 검토방안(1999)”를 바탕으로 작성하였음.

1) LH 녹색도시설계단 차장(주저자: haisik@lh.or.kr)

2) LH 토지구획연구원 수석연구원(교신저자: parkyb@lh.or.kr)

통해 현장에서 쉽게 적용할 수 있는 등가 지반반력계수, 치환 두께, 원지반사이의 상관관계식을 도출하였다.

## 2. 상부치환에 의한 이질기초 보완

### 2.1 다층지반의 지반반력계수 산정

기초지반의 물성치가 층마다 다른 경우, 기초지반의 침하나 변형을 고려한 해석을 위해 각 층마다의 강성을 고려한 기초저면의 지반반력 계수 산정이 필요하다.

일반적으로 층 두께별 가중치만을 고려한 각 지반의 강성계수의 산술평균을 구하여 기초저면의 지반반력계수를 산정하는 방법을 주로 사용하나 실제로 기초저면 지반의 깊이별 응력분포는 그림 1에서와 같이 분포하게 된다(Sridharan,

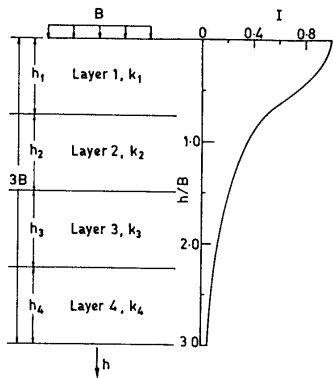


그림 1. 기초저면 지반의 응력분포 및 영향계수

1990). 따라서, 기초면 바로 아래 지반강성이 그 아래 지반의 강성보다 훨씬 큰 영향을 미치므로 이를 고려하여 기초면 지반 아래의 전체 평균 지반반력계수를 적용하여야 한다. 기초면 아래 깊이에 따른 영향계수는 그림 1에서 I와 같이 분포하며 수식으로 표현해 보면 식 (1)과 같다.

$$K_{eq} = K_1(\Sigma I_j)_{h_1} + K_2(\Sigma I_j)_{h_2} \quad (1)$$

여기서,  $K_{eq}$  : 기초면 아래 등가 지반반력계수

$K_j$  : 각 층의 지반반력계수

$I_j$  : 각 층의 영향계수

$h_i$  : 각 층의 두께이다.

본 연구에서는 각층별 영향계수를 산정하기 위해 기초저면 지반의 응력분포 곡선을 두께  $h_i$ 를 0.1m 간격으로 산정하였다.

### 2.2 치환지반의 물성치

대개, 기초지반 보강방법으로 잡석치환을 사용한다. 이때, 객관적인 잡석치환 효과를 분석하기 위해서 잡석층의 물성치가 중요하다. 그러나, 실제적으로 잡석층의 보강 효과를 예측하기 위한 물성치의 측정이 어렵다. 따라서, 잡석층의 물성은 지반조건과 무관하므로 미공군의 기술매뉴얼 TM 5-822-13의 자갈과 모래함유 자갈(GW와 GP)에 해당하는 지반반력계수 물성치(표 1, 2)를 적용하였다(대한주택공사, 1999).

표 1. 지반반력계수( $t/m^2/m$ ) : 기초폭 및 침하계수 미고려(US AIR FORCE, 1994)

지반종류	함수비							
	1 ~ 4	5 ~ 8	9 ~ 12	13 ~ 16	17 ~ 20	21 ~ 24	25 ~ 28	28 이상
실트와 점토, LL≥50(OH, CH, MH)	-	4,727	4,052	3,376	2,701	2,026	1,350	675
실트와 점토, LL≤50(OH, CL, ML)	-	5,402	4,727	4,052	3,376	2,701	2,026	1,350
실트와 점토질 모래 (SM과 SC)	8,103	6,753	6,077	5,402	4,052	-	-	-
모래와 자갈함유 모래(SW와 SP)	9,454	8,103	6,753	-	-	-	-	-
실트와 점토함유 자갈(GM과 GC)	10,804	9,454	8,103	6,753	-	-	-	-
자갈과 모래함유 자갈(GW와 GP)	13,505	12,155	-	-	-	-	-	-

주) k값은 일반적으로 최대 건조밀도의 90~95%때 값이며 최대 건조밀도가 90%이하인 경우는 최소 675 $t/m^2/m$ 를 제외하고는 설계에 적용할 때 1,350  $t/m^2/m$ 를 저감시켜 적용.

표 2. 포장재료의 포아손비

포장재료	포아손비
unbound 입상토층이나 보조 기층	0.3 ~ 0.35
화학적으로 안정된 층이나 보조기층	0.2
노반	
점성토성 노반	0.4
비점성토성 노반	0.3

상기의 이론들을 근거로 하여 지반 상층부를 잡석으로 치환하는 경우에 지반의 등가 지반반력계수를 산정한 예를 표 3에 나타내었다. 이때, 지반강성은 N치로 구분하였고 N치에 의하여 지반 변형계수는  $E = 280N (t/m^2)$  에 의하여 구하였다.

$\mu_H$ 는  $\nu = 0.3$ 인 사질토로 간주하여 0.642을 적용하였다.

치환용 콘크리트는 구조체 콘크리트보다 품질이 떨어지고 균열이 발생할 수 있는 것을 전제로 기초보강용으로 사용하므로 보통콘크리트 물성치를 사용하지 않고 도로포장시 하부 지반을 시멘트로 개량할 때, 개량된 지반의 일축 압축강도에 의한 변형계수(E) 추정치를 적용하였다. 이때, 치환 콘크리트의 압축강도  $1,800t/m^2$ 에 해당하는 개량지반의 변형계수  $363,300t/m^2$ 를 적용하였다. 지반 상층부를 콘크리트로 치환시 지반의 등가 지반반력계수 산정예를 표 4에 나타내었다.

이때, 지반의 반력계수는 일종의 스프링 계수로서 다음 관계가 성립한다.

$$S_E = \mu_H \frac{q\sqrt{A}}{E} \quad \text{이므로} \quad k = \frac{E}{\mu_H\sqrt{A}} = \frac{q}{S_E} \quad (2)$$

여기서,  $k$  : 기초저면의 해석시 지반반력 간격을 고려하지 않은 지반반력계수( $t/m^2/m$ )

$S_E$  : 즉시침하량(m)

$A$  : 기초의 저면적( $m^2$ )

$q$  : 기초의 평균하중( $t/m^2$ )

$E$  : 지반의 탄성계수( $t/m^2$ )

$\mu_H$  : 침하계수

### 3. 치환효과 및 두께 산정

#### 3.1 치환효과 분석

표 3과 표 4는 잡석과 콘크리트에 의한 상부치환시 등가 지반반력계수의 변화이며 아파트 바닥면적(평형)별로 그림 2~ 그림 7에 나타내었으며 이를 분석하여 다음과 같은 경향을 파악하였다. 치환재료에 관계없이 원지반의 지반반력이 클수록 상부치환층에 의한 치환효과가 감소한다. 예를 들어, 49m<sup>2</sup>(전체 기초크기 11m×49m)형 기초의 원지반이 N치 10인 경우, 원지반의 지반반력계수는  $188t/m^2/m$ 에서 잡석을

표 3. 잡석치환을 고려한 등가 지반반력계수( $t/m^2/m$ )

N치	49m <sup>2</sup> (11m×49m)				59m <sup>2</sup> (11m×45m)				84m <sup>2</sup> (15m×46m)			
	원 지반	0.5m 치환	1m 치환	2m 치환	원 지반	0.5m 치환	1m 치환	2m 치환	원 지반	0.5m 치환	1m 치환	2m 치환
10	188	230.1	272.2	398.2	196	284	328	415	166	203	240	352
15	282	317.8	353.6	460.8	294	369	406	481	249	280	312	407
20	376	405.5	435.1	523.5	392	454	484	546	332	358	384	462
25	470	493.3	516.5	586.1	490	539	563	611	415	436	456	518
30	564	581	598	648.8	588	623	641	677	498	513	528	573
40	751	755.5	760	773.4	784	793	800	807	664	668	672	684
50	939	931	922.9	898.7	980	963	955	938	830	823	816	794

주) 잡석 물성치  $k = 12,155t/m^2/m$ (기초폭 및 침하계수 미고려), 포아손비 0.3,  $\mu_H = 0.642$

표 4. 콘크리트치환을 고려한 등가 지반반력계수( $t/m^2/m$ )

N치	49m <sup>2</sup> (11m×49m)				59m <sup>2</sup> (11m×45m)				84m <sup>2</sup> (15m×46m)			
	원 지반	0.5m 치환	1m 치환	2m 치환	원 지반	0.5m 치환	1m 치환	2m 치환	원 지반	0.5m 치환	1m 치환	2m 치환
10	188	333.9	479.8	916.7	196	501	653	956	166	294	422	804
15	282	421.7	561.3	979.3	294	585	731	1,022	249	371	494	860
20	376	509.4	642.7	1,042	392	670	809	1,087	332	449	565	915
25	470	597.1	724.2	1,104.6	490	755	888	1,152	415	526	637	970
30	564	684.8	805.6	1,167.3	588	840	966	1,218	498	604	709	1,026
40	751	859.3	967.6	1,291.9	784	1,010	1,123	1,348	664	759	853	1,136
50	939	1,034.8	1,130.5	1,417.2	980	1,180	1,280	1,480	830	914	997	1,247

주) 콘크리트 물성치  $E = 36,300t/m^2$ , 포아손비 0.2,  $\mu_H = 0.659$

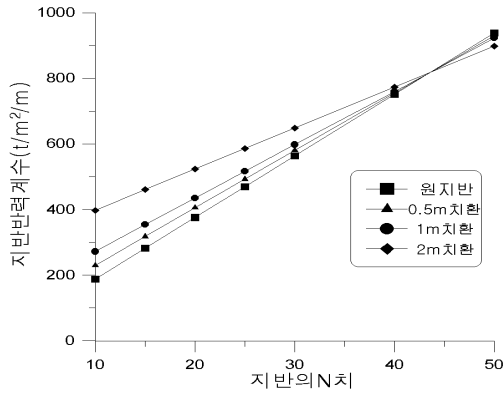


그림 2. 잡석치환에 의한 지반반력계수 변화(49m<sup>2</sup>)

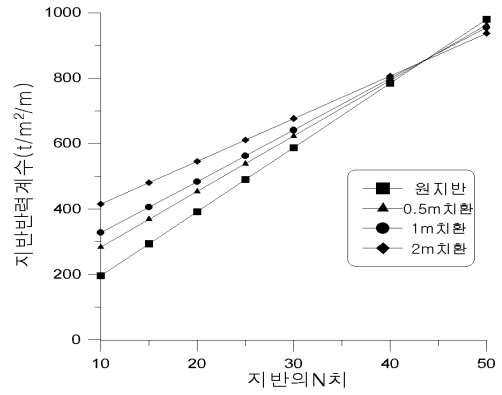


그림 3. 잡석치환에 의한 지반반력계수 변화(59m<sup>2</sup>)

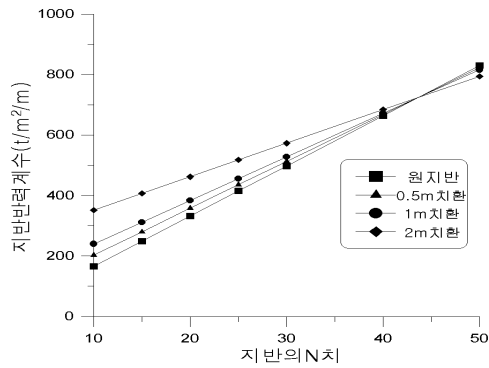


그림 4. 잡석치환에 의한 지반반력계수 변화(84m<sup>2</sup>)

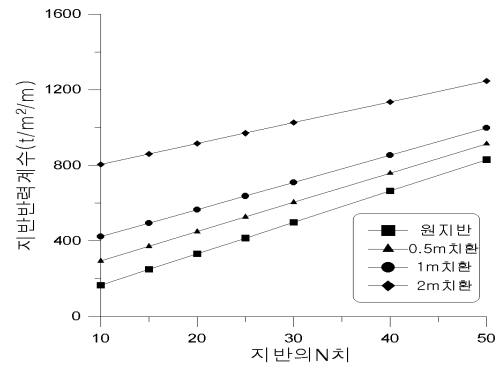


그림 5. 콘크리트치환에 의한 지반반력계수 변화(84m<sup>2</sup>)

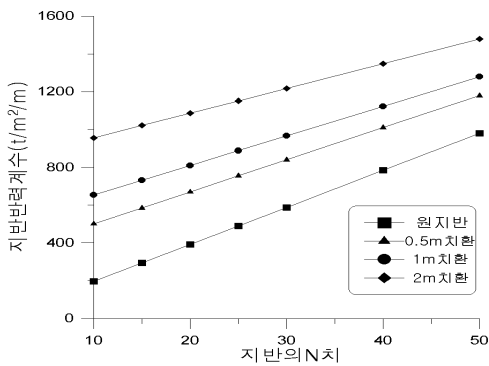


그림 6. 콘크리트치환에 의한 지반반력계수 변화(59m<sup>2</sup>)

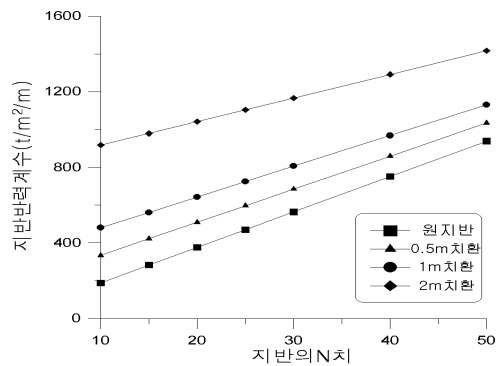


그림 7. 콘크리트치환에 의한 지반반력계수 변화(49m<sup>2</sup>)

상부 2m 치환하면 등가 지반반력계수가  $398t/m^2/m$ 로  $210t/m^2/m$  정도 증가하나, 원지반이 N치 30인 경우 원지반의 지반반력계수는  $564t/m^2/m$ 에서 잡석을 상부 2m 치환하면 등가 지반반력계수가  $649t/m^2/m$ 로 지반반력계수의 증가는  $85t/m^2/m$ 의 증가효과밖에 없다.

또한, 잡석치환에서 원지반의 지반반력계수가 잡석치환층의 지반반력계수보다 큰 경우(약  $N=43$ )에는 상부를 잡석으로 치환시 스프링계수를 이용하여 지층별 두께를 산술평균하므로 전체적인 등가 지반반력계수는 오히려 원지반보다 작아

지는 경향을 나타낸다.

전체적으로 보면 상부표층의 양호한 재료에 의한 치환효과와 치환재료, 원지반의 강성, 치환두께의 영향을 받는 것을 알 수 있다.

등가 지반반력계수와 치환두께, 원지반 N치 사이의 상관관계를 NONLIN(Nonlinear Regression Analysis Program Ver 1.0, Sherrod(1992))을 이용하여 통계분석을 실시하고 산정식 식 (3)~식 (8)을 제시하였다(대한주택공사, 1999).

49m<sup>2</sup>(11m×49m), 콘크리트치환

$$K = 1.52 + 18.73 \times N + 322.16 \times D - 1.95 \times D \times N - 45.38 \times D^2 + 40.90 \times D^3 - 0.58 \times D^2 \times N \quad (3)$$

59m<sup>2</sup>(11m×45m), 콘크리트치환

$$K = 2.89 + 19.49 \times N + 845.71 \times D - 4.87 \times D \times N - 476.46 \times D^2 + 129.48 \times D^3 + 0.84 \times D^2 \times N \quad (4)$$

84m<sup>2</sup>(15m×46m), 콘크리트치환

$$K = 0.69 + 16.57 \times N + 284.27 \times D - 1.75 \times D \times N - 42.29 \times D^2 + 36.67 \times D^3 - 0.50 \times D^2 \times N \quad (5)$$

49m<sup>2</sup>(11m×49m), 잡석치환

$$K = 1.43 + 18.74 \times N + 98.54 \times D - 1.97 \times D \times N - 4.72 \times D^2 + 6.95 \times D^3 - 0.57 \times D^2 \times N \quad (6)$$

59m<sup>2</sup>(11m×45m), 잡석치환

$$K = 3.11 + 19.49 \times N + 249.05 \times D - 4.84 \times D \times N - 96.40 \times D^2 + 21.00 \times D^3 + 0.82 \times D^2 \times N \quad (7)$$

84m<sup>2</sup>(15m×46m), 잡석치환

$$K = 0.82 + 16.57 \times N + 85.77 \times D - 1.71 \times D \times N + 4.96 \times D^2 + 6.10 \times D^3 - 0.52 \times D^2 \times N \quad (8)$$

여기서, K : 지반의 등가 지반반력계수(t/m<sup>2</sup>/m)

D : 치환두께(m)

N : 원지반의 N치

### 3.2 치환두께 결정 방법

이 절에서는 도표 및 그림을 이용하여 상부층이 치환된 경우의 등가 지반반력계수를 구하여 치환두께를 결정하는 방법을 제시하였다. 예를 들어, 59m<sup>2</sup>-90-15I 전면기초로 설계된 아파트 구조물 기초의 일부가 N치 40이고 일부가 N치 25이면 부등침하에 대해 검토해야 한다. 이때, 검토순서를 단계적으로 언급해 보기로 한다.

일반적으로 이질 정도가 크지 않으면, 기초바닥 저면에 이질지반이 위치하는 면적비에 따라 슬래브에 발생하는 최대 모멘트값을 구하여 철근량으로 배근하면 된다.

보강이 필요하면, 이질기초를 고려한 기초슬래브 해석 결과에 따라 바닥 기초판 두께와 철근량을 재산정하여 설계해

야 되므로 해석시간이 소요되고 전문가의 검토가 요구되므로 다음과 같은 치환두께 결정 방안을 예제를 통해 제시하였다.

1. 표 3, 표 4에서 N치 40, 25인 지반의 지반반력계수는 각각 784t/m<sup>2</sup>/m, 490t/m<sup>2</sup>/m이므로 N치 25인 지반의 지반반력계수를 증가시키기 위해 치환재료와 두께를 산정한다.
2. 표 3, 그림 3에서 잡석치환의 경우에 N치 25인 지반의 상부를 2m 치환하면 등가 지반반력계수가 611t/m<sup>2</sup>/m로 부족하다. 치환 두께를 증가시킨 경우의 등가 지반반력계수를 알려면 표 3, 그림 3에서 직선 보간으로 확대하여 그 값을 찾거나 식 7에 의해 계산할 수 있다. 또, 식 7에 의해서 3m, 3.5m 잡석치환하면 등가 지반반력계수가 각각 758t/m<sup>2</sup>/m, 909t/m<sup>2</sup>/m이므로 보간법에 의해 결정하거나 자세한 계산으로 치환두께 3.1m 때의 등가 지반반력계수 784t/m<sup>2</sup>/m를 구할 수 있다.
3. 콘크리트로 치환하는 경우에는 N치 25의 지반을 N치 40지반의 지반반력을 가지도록 하기 위해 표 4, 그림 6에 의해서 개략적으로 판단해 보면 약 50cm 치환두께로 가능하며 이를 식 4에 의해 자세히 계산해 보면 치환 두께 0.6m일 때 788t/m<sup>2</sup>/m의 값을 얻을 수 있다.
4. 따라서, N치 25인 지반을 3.1m 잡석치환하거나 버림콘크리트로 0.6m 치환하면 N치 40인 지반의 지반강성과 동일한 지반반력을 가진다.
5. 분석 대상인 3가지 타입 49m<sup>2</sup>-104-15I, 59m<sup>2</sup>-90-15I, 84m<sup>2</sup>-60-15I 이외의 경우는 기초바닥 면적에 따라 상기 타입에 의해 산정된 값에 선형보간에 의해 치환 두께를 계산하면 된다.
6. 실제 현장에서 원지반의 특성이 깊이별로 달라서 일률적으로 N치 얼마로 규정하기 곤란한 경우가 많으므로 원지반의 깊이별 영향계수와 지반특성을 함께 고려하여 지반의 등가 지반반력계수를 산정할 수 있는 워크시트 파일을 사용하면 된다.

### 4. 결론

동일 건축물의 지지력변화 구간이나 이질기초 부위에서 보강방법은 경험적이나 약식검토방법으로 처리되고 있는 현재의 문제점을 보완하기 실무적인 잡석 및 콘크리트 치환시 보강효과와 치환두께 방안을 제시하였다.

1. 기초지반의 이질성이 차이가 나는 경우, 재설계에 의한 구조물기초의 보강방안 보다는 치환에 의해 기초지반의 이질성을 해소시켜주는 방안이 효과적이다.
2. 이질 기초지반의 치환에 의해 보강효과를 산정하기 위

해 기초면 하부 지반의 깊이에 따른 영향계수를 고려한 지반강성 평가방법을 적용해야 한다.

3. 잡석치환과 콘크리트 치환에 의한 지반보강 효과를 나타내는 등가 지반반력계수를 실무적으로 쉽게 적용할 수 있는 관계식을 제시하였다.

## 참고문헌

1. 대한주택공사(1999), 「기초지지력 변화구간에서의 기초안정성 검토방안」.
2. 우기영·박영호·이승호·김상수(역)(1992), 「기초구조 설계지침」, 탐구문화사.
3. 건설교통부(1998), 「도로교 표준시방서」.
4. Sridharan, A., Gandhi, N.S.V.V.S.J., Suresh, S. (1990), “Stiffness Coefficients of Layered Soil Systems”, *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 116(4): 604-624.
5. Sherrod, P.H. (1992), *NONLIN Manual*, Ver. 1.0.
6. US Air Force (1994), “Pavement Design for Roads, Streets and Open Storage Areas”, *Elastic Layered Methods, ARMY TM 5-822-13*.