

# 2000 도로교 설계 기준

양희용<sup>\*1</sup>, 박권제<sup>\*2</sup>, 전경수<sup>\*3</sup>

## 1. 개 설

설계는 연구를 통하여 정립된 이론을 현장여건에 맞도록 합리적으로 적용하는 것이라고 정의할 수 있으며, 기존의 연구결과를 집대성하여 실무에 적용할 수 있는 기준이 곧 설계기준이라고 말할 수 있을 것이다. 지금까지 설계의 적부 판정 기준이 도로교 표준 시방서와 같은 설계기준이 되어왔으므로 이 내용이 설계에 큰 영향을 미쳐왔다.

도로교 표준 시방서(1996, 건설교통부)는 도로의 교량설계시 중요한 지침의 역할을 해왔다. 그러나 도로교 표준 시방서는 최신의 공법에 대한 기술이 미흡하고, 특히 암반이 조기에 출현하는 국내의 지반 특성으로 인하여 대부분의 교량 기초가 암반에 거치되고 있는 현실과 달리 암반에 대한 공학적 특성 기술이 부족하며, 다양한 기초 거동 예측이론을 적용할 수 있는 여지가 제한되어 개정의 필요성이 대두어왔다. 1972년 12월에 제정된 도로교 표준 시방서를 4회에 걸쳐 개정하여 금번에 시방서와 설계기준을 분리되어 작성된 도로교설계기준(2000, 건설교통부)은 향후 연구를 통하여 보완되어야할 여지가 있으나 최신의 설계이론을 도입하여 구 시방서(1996, 건설교통부)의 부족한 부분이 많이 개선되었다.

## 2. 본 문

구 시방서(1996, 건설교통부), 외국의 설계기준 및 국내외의 기존 연구결과와 금번의 설계기준(2000, 건설교통부)을 비교하여 항목별로 도로교의 설계자로서 종사하며 느낀 의견, 해설편에서 추가로 기술되어야할 사항 및 향후 연구를 통하여 기준이 수립되어야할 사항을 기술한다.

### 2.1 설계를 위한 지반정수

구시방서(1996, 건설교통부)에서는  $E_0 = 28N$ 으로 정의하여 지반의 탄성계수를 과대평가하는 경향이 있다는 것이 지반공학자 및 실무 설계자들 사이에서는 공감되고 있다. 또한 현재  $N$ 치는 장비에 따라 효율이 달라 보정하여 사용해야 한다는 의견이 많이 제시되고 있으며, 각 장비별 효율에 대하여도 국내에서 많은 연구가 진행되고 있다. 그러므로 금번 설계기준(2000, 건설교통부) 해설편에서는 이에대한 의견 제시가 필요하리라고 판단된다.

### 2.2 기초의 허용 침하량

직접기초의 허용변위량은 상부구조물의 구조적 안정성 및 지반의 거동특성을 모두 고려하여 결정하여야 한다. 구조물의 허용변위량은 상부 구조물의 형식별로 달리 나타난다. 외국의 경우 절대적인 침하량을 제시하거나 교각과 교각 사이의 처짐각을 제시하고 있다. 이러한 침하량 및 처짐각은 상부구조물 형식에 따라 달리 나타날 것으로 판단되므로 국내의 교량형식에 맞는 기준의 수립이 필요하며, 이 값과 지반의 침하특성에 따른 허용침하량을 모두 고

\*1 한국도로공사 설계처장

\*2 한국도로공사 설계처 설계2부장

\*3 정회원, 한국도로공사 설계처 설계2부 과장

려하여 교량하부 구조물의 설계가 수행되어야 할 것이라고 판단된다. 미국 워싱턴주의 침하관련 설계 기준을 예시하면 표1, 2와 같다.

표1. 침하기준

침하량(mm)	영향	제안자
51	Not harmful	Bozozuk(1978)
63	Ride quality	Walkinshw(1978)
63이상	Structural distress	Walkinshw(1978)
102	Ride quality and structural distress	Grover(1978)
102	Harmful but tolerable	Bozozuk(1978)
102이상	Usually intolerable	Wahls(1990)

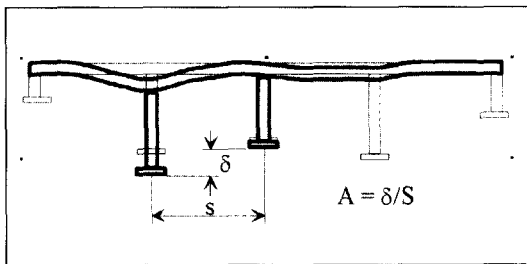


그림 1. 교량의 처짐각( $A = \delta/S$ )

표2. 교량의 허용 처짐각

처짐각( $A = \delta/s$ )	영향	제안자
0.004	다경간 교량에서 허용됨	Moulton, et al. (1985)
0.005	단경간 교량에서 허용됨	Moulton, et al. (1985)

### 2.3 허용 연직지지력

암반의 지지력은 구 시방서(1996, 건설교통부)에서 표3과 같이 제시되어 있다. 암반의 종류에서 연암·이암의 경우 일축압축강도를  $10\text{kg/cm}^2$  이상으로, 경암의 일축압축강도를  $100\text{kg/cm}^2$  이상으로 제시하고 있으나, 우리나라에서 현장기술자들을 위해 구분한 각 기관의 암반 분류와 비교하면 연암 및 경암의 최소강도를 너무 작게 제시하고 있다고 판단된다. 개인적으로는 경암은 연암으로 연암은 풍화암

으로 표현하는 것이 적당하리라고 판단되며, 설계시 암반정의 혼란을 막기위해 일축압축강도를 구체적으로 제시하고, RQD 또는 TCR과 같은 값을 참고적으로 제시할 필요가 있다고 판단된다.

표3. 구 시방서(1996, 건설교통부)의 지반 종류별 지지력

지반의 종류	최대지반반력( $t/m^2$ )	암반의 종류	최대지반반력( $t/m^2$ )		일축압축강도( $kg/cm^2$ )
			평상시	지진시	
자갈지반	70	경암 균열이적음 균열이많음	250	375	100이상
모래지반	40		100	150	
점성토지반	20	연암·이암	60	90	100이상

금번 설계기준(2000, 건설교통부)에서는 이를 크게 개선하여 허용지지력을 토사지반과 암반의 경우로 분류하여 기술하였고, 암반 절리의 틈새 $3.0\text{mm}$ 이하를 신선한 암으로 규정하였으며, Peck, et al.(1974) 및 Hoek(1983)의 제안을 채택하여 암의 지지력을 제안하였다. 이것은 구 시방서(1996, 건설교통부)에 지반의 변형계수  $5,000\text{kg/cm}^2$ 을 기준으로 구분하여 지지력을 제안하였던 것에 비하여 암의 공학적 성질의 판단의 중요한 물성치인 암의 일축압축강도, RQD 등을 이용하여 암의 지지력을 구할 수 있도록 제안되었다는 점에서 실무자가 보다 쉽고 합리적으로 암반위에 시공되는 기초의 지지력을 산정할 수 있도록 하고 있다.

### 2.4 암반위에 거치한 기초의 침하량 산정

기초의 침하량을 산정하기 위하여는 암반(rock mass)의 탄성계수를 산정하여야 한다. 암반의 탄성계수는 RMR을 이용하는 방법 이외에 RQD를 이용(Bieniawski, 1984)하거나 탄성계수와 연직강성의 비를 이용(Kulhawy, 1978)하여 구한 감소계수를 무결암의 탄성계수에 곱하여 암반의 탄성계수를 구하는 연구가 되어있으나, 어느 경우에도 RQD가 작거나 일축압축강도 시험을 할 수 있는 시료의 성형이 어려운 암에 대하여는 적용하기가 매우 어려운 실정이다. 예를들어 그림2는 Bieniawski(1984)가 제안

한 RQD와 무결암(Intact rock)과 암반(rock mass)의 탄성계수비를 나타내고 있다. 여기서 RQD가 50%이하인 경우 탄성계수비가 분명히 제시되고 있지 못하므로 이에대한 적당한 추천치 또는 암반의 탄성계수를 구할 수 있는 시험방법을 해설편에서 덧붙일 필요가 있을 것으로 판단된다.

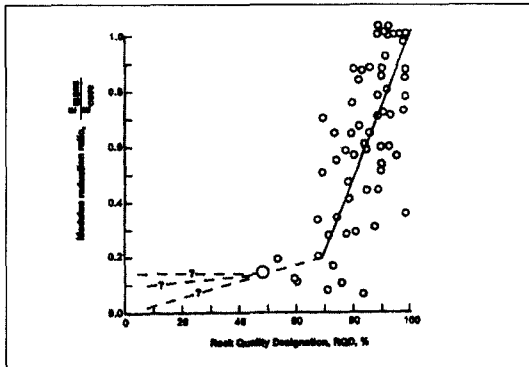


그림 2. 탄성계수비(Ecore/Emass)와 RQD와의 관계  
(Bieniawski, 1984)

## 2.5 세굴방지공

금번 설계기준에서 직접기초는 세굴 예상깊이보다 깊게 근입시키거나 적절한 세굴 방지 대책을 수립해야 한다고 규정하고 있다. 한편 건설교통부 승인하에 발간된 하천설계기준(2000, 한국수자원학회)에서는 세굴평가 및 세굴방지공에 대한 세부 설계기준을 제시하고 있다. 도로교 설계기준의 해설편에서는 하천설계기준과 세굴 예측 및 방호 대책 관련기준이 상호 상이하지 않도록 세부기준을 기술하여야 하며, 기준이 상이할 경우 이에 대한 설명을 추가하여 도로교 설계자에게 혼란이 없도록 하여야 할 것이다.

## 2.6 말뚝기초

말뚝기초의 설계부분에서는 예비설계, 검증시험 및 예비설계의 보완이라는 절차를 제시하고 있다. 이는 각 현장별로 다양한 지반 특성을 시험을 통하여

확인하고 이를 근거로 말뚝의 지지력을 산출하려는 것으로 많은 시험자료를 축적할 수 있도록 하며, 말뚝에 계측기를 부착하거나 매설하여 각 지층별 하중변위 관계를 구할 수 있도록하여 지층의 두께가 변하는 경우에도 정확한 지지력 예측이 가능하도록 하였다. 이와같이 지반의 다양성을 인정하고 시험후 세부설계를 수행하는 것은 설계 수준을 한단계 끌어올릴 수 있는 바람직한 방향이라고 판단된다. 그러나 설계가 완료된 후에 각종 인허가를 득할 수 있어 공사를 시행할 수 있는 법적인계와 총사업비 변경을 억제하려는 현행의 공사 운영 관행때문에 현실적으로 이를 적용하는데 어려움이 많을 것으로 판단된다. 이를 극복하기 위해 예비 설계단계에서 여유있는 가설계를 실시한 후, 공사에 말뚝시공을 시작하기 전에 재시험을 수행하고 그 시험결과에 따라 세부설계를 완성시키는 것도 한가지 방법이 될 수 있을 것이다.

암반에 근입된 말뚝은 대형교량의 기초로 많이 사용되고 있으나, 암반에 근입된 말뚝의 주면 및 선단 지지력 관계식 및 침하량 예측방법에 대한 기술이 구시방서(1996, 건설교통부)에서는 부재하여 설계시 논란이 많이 되어왔다. 해설편에서는 이에 대한 설계기준 제시가 필요하다고 판단된다. 또한 현장타설말뚝의 경우 횡방향 변위에 큰 영향을 미치는 EI 값은 산출방법에 따라 달리 나타나므로 이에 대한 기준을 제시하여 주는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

## 2.7 내진설계

금번 도로교 시방서의 내진설계편은 건설교통부의 연구과제인 "내진설계기준연구(Ⅱ)"(1997.12)의 연구결과에 제시된 내용중 현재 수준에서 인정할 수 있는 부분을 채택한 것으로 국내의 연구결과를 이용하여 설계의 기준을 제시한다는 면에서 가치를 높이 인정할 수 있다고 본다. 특히 6.2.2항의 내진 설계기준 기본개념에서 본 규정보다 발전된 설계를 할 경우에는 이를 인정한다는 항목을 계속 보유하는 것은

발전되는 연구결과를 받아들여서는 토목기술자들의 자세를 보여주는 것으로 매우 진취적이고 적극적인 사고를 나타내는 항목이라고 할 수 있다.

구 시방서(1996, 건설교통부)에서는 표4와 같이 가속도계수를 지역별로 0.07과 0.14로 규정하였으나, 표5와 같이 금번 설계기준에서 가속도계수는 설계지진 재현 주기에 해당하는 위험도계수를 지진구역계수에 곱하여 구하는 것으로 정의하였고, 동일한 도내에서는 군이나 시까지 지역을 세분하였으며, 내진 I 등급 교량과 내진 II 등급 교량에 대한 정의를 구체적으로 기술하였다. 지반의 분류기준은 구 시방서(1996, 건설교통부)에서는 토층의 깊이 60m를 기준으로 정상적 표현만이 있었으나, 금번 설계기준에서는 토층깊이 30m를 기준으로 하여 지반을 구분하였다. 이것은 암이 조기에 나타나는 국내 지반의 특성에 보다 근접한 기준이라고 판단되며, 표6과 같이 전단파속도, 표준관입시험결과(N치) 및 비배수전단강도등에 대한 기준을 제시하고 있어 설계시 지반 분류기준을 더욱 객관화 시킬 수 있다고 사료된다.

표 4. 구시방서(1996, 건설교통부) 지역별 가속도 계수

지역	가속도 계수(A)
강원도, 전라남도, 제주도	0.07
기타지역	0.14

표 5. 금번 설계기준(2000, 건설교통부)의 지역 분류

지진구역	행정구역
I	시 서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시
	도 경기도, 강원도 남부 <sup>(1)</sup> , 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부 <sup>(2)</sup>
II	도 강원도 북부 <sup>(3)</sup> , 전라남도 남서부 <sup>(4)</sup> , 제주도

주: (1) 강원도 남부(군, 시) : 영월, 정선, 삼척시, 강릉시, 동해시, 원주시, 태백시  
 (2) 전라남도 북동부(군, 시) : 장성, 담양, 곡성, 구례, 장흥, 보성, 여천, 화순, 광양시, 나주시, 여천시, 여수시, 순천시  
 (3) 강원도 북부(군, 시) : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천시, 속초시  
 (4) 전라남도 남서부(군, 시) : 무안, 신안, 완도, 영광, 진도, 해남, 영암, 강진, 고흥, 함평, 목포시  
 (5) 행정구역의 경계를 통과하는 교량의 경우에는 구역계수가 큰 값을 적용한다.

표 6. 금번 설계기준(2000, 건설교통부)의 지반종류

지반 종류	지반 종류의 호칭	지표면 아래 30m 토층에 대한 평균값		
		전단파속도 (m/s)	표준관입시험 (N치 <sup>(1)</sup> )	비배수전단 강도(kPa)
I	경암지반, 보통암지반	760 이상	-	-
II	매우조밀한 토사지반 또는 연암지반	360에서 760	>50	>100
III	단단한 토사지반	180에서 360	15에서 50	50에서 100
IV	연약한 토사지반	180 미만	<15	<50
V	부지 고유의 특성평가가 요구되는 지반			

주: (1) 비점착성 토층만을 고려한 평균 N치

구시방서(1996, 건설교통부) 6.6절의 지반반력계수 및 9.9절의 말뚝본체 설계에서는 말뚝기초의 정적인 횡방향 변위는 Chang(1937)의 방법을 근간으로 하여 유도된 식을 이용하여 평상시와 지진시에 대한 관계식을 추천하고 있으며, 내진설계편의 해설에서 연약한 점토 및 사질토에 대하여는 지반반력법인 p-y해석을 추가로 추천하고 있으나 이에 대한 세부적인 적용기준이 명확하지 않았다. 현재 지반의 종류에 따라 각 연구자별로 다양한 p-y 곡선이 제안되어 있고, 반복하중을 받는 경우 지반의 p-y곡선을 감소시켜 적용하여야 하므로 해설편에서는 이에대한 부연설명이 필요할 것으로 판단된다.

액상화 평가에 대하여는 구시방서(1996, 건설교통부)에서 액상화 안전율을 1.5로 정의하였으나, 금번 설계기준(2000, 건설교통부)에서는 실내시험 및 현장시험을 구분하여 안전율을 각각 1.0과 1.5로 구분하여 규정하였으며, Seed 및 Idriss(1971)의 간편식을 사용하는 경우 지진규모를 6.5로 제한하여 액상화 판정시 혼란을 피할 수 있도록 하였다.

### 3. 맺음말

지반공학은 특히 기술자의 공학적 판단이 많이 필요한 학문이라고 생각한다. 그러므로 설계기준이 이 모든 문제를 해결할 수는 없으며, 최소한 지침을 제시한다면 성공적이라고 판단한다. 금번 설계기준(2000, 건설교통부)에서 최신의 연구결과를 도입하려는 노력을 많이 찾아볼 수 있었으며, 특히 말뚝의 경우 재하시험시 계측을 통한 하중전이를 파악하려는 노력은 앞으로 많은 자료를 축적할 수 있는 길을 열어주는 것이라 판단되며, 실무에서 적용시 어려움은 많으나 개선시켜나가야 할 방향이라고 할 수 있다. 구 시방서(1996, 건설교통부)에서는 참고문헌이 제시되지 않아 설계기준의 이론적 배경을 알기 힘들었던 점이 아쉬웠다. 금번 설계기준(2000, 건설교통부)의 해설편에서는 참고문헌을 제시하여 설계자가 올바른 공학적 판단을 하는데 도움이 되기를 바란다.

#### 참고문헌

1. Barker, R. M., Duncan, J. M., Rojiani, K. B., Ooi, P.S.K., Tan, C. K. and Kim, S. G.(1991). "Manuals for the Design of Bridge Foundations", Transportation Research Council, Washington, D.C. pp220~223.
2. Bieniawski, Z. T.(1984). "Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling", A. A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands.
3. Bozozuk, M.(1978), "Bridge Foundations Move", Transportation Research Record 678, Tolerable Movements of Bridge Foundations, Sand Drains, K-Test, Slopes, and Culverts, Transportation Research Board, Washington, D.C., pp17~21.
4. Grover, R. A.(1978). "Movements of Bridge Abutments and Settlements of Approach Slabs in Ohio", Transportation Research Record 678,

Tolerable Movements of Bridge Foundations, Sand Drains, K-Test, Slopes, and Culverts, Transportation Research Board, Washington, D.C., pp12~17.

5. Kulhawy, F. H.(1978). "Geomechanical Model for Rock Foundation Settlement", Journal of Geotechnical Engineering Division. ASCE, Vol 104(GT2), pp211-227.
6. Moulton, L. L., GangaRao, H. V. S. and Halvorsen, G. T.(1985) "Tolerable Movement Criteria for Highway Bridge", Report No. FHWA/RD-85/107 Federal Highway Administration, Washington, D.C., p118.
7. Wahls, H. E.(1990), "Design and Construction of Bridge Approaches", National Cooperative Highway Practice 159, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., p45.

### 광고 게재 모집 안내

월간 "地盤"에 게재할 광고를 다음과 같이 연중 수시로 모집하오니 지면을 통하여 회사를 홍보하고자 하는 업체 및 회원은 신청하여 주시기 바랍니다.

- 다 음 -

(단위: 만원 / 회)

	표지 2, 4	표지 3	내지
할라	60	50	45
흑백	40	30	25

※ 1년 단위 계약 10% DC, 특별회원사 15% DC (1년 단위 계약 10% DC 추가)