

# 차세대 구조물 기초 설계기준 - EUROCODE 및 LRFD를 중심으로 -

윤길림\*

## 1. 연구배경

현재 세계 각국의 지반기술자 사이에서 상당히 심도있게 논의되고 있으며, 심지어는 인터넷을 통하여 세계 각국의 학자들이 열띤 찬반 양론을 이루어 뜨겁게 토론하고 있는 것이 지반기초 구조물의 한계상태 설계법이다. 하지만 안타깝게도 국내에서는 이에 대한 관심과 학술연구가 미미한 정도에 불과하여 외국의 설계기준을 모방하거나 준비없이 무조건 도입하여야 하는 국내현실에 필자는 본고를 통하여 새로운 차세대 설계기준인 한계상태설계법의 배경을 우리학회 회원들에게 소개하고자 한다.

국제표준화기구인 ISO(International Organization for Standardization)에서 제정한 ISO 2394: "General Principles on Reliability for Structures"와 유럽표준화위원회(European Committee for Standardization)에서 제정을 추진 중인 유로코드(Eurocode)는 구조물 설계와 관련하여 머지않아 세계 각국에 그 영향을 발휘하게 될 것으로 판단된다. 이에 대한 국내의 대응은 1996년 도로교 표준시방서에 한계상태설계법의 하나인 하중저항계수설계법(load and resistance factor design, LRFD)을 부록으로 소개하는 정도에 그치고 있다. 현재로서는 국내의 실정에 맞지 않아 채택이 되지 않고 있지만, 세계적인 조류를 감안하여 머지않아 한계상태설계법을 토목분야 전체에 대하여 채택해야 할

것으로 보인다. 본 고에서는 국제적으로 공감하고 있는 분야에 대하여 국내에서도 그 의미의 중요성을 알리고자 한다.

## 2. 국제 표준화기구(ISO)와 설계기준

ISO는 스위스의 제네바에 본부를 두고 있고 1974년에 창설된 비정부 국제조직으로서 국가간의 물물 교역과 그와 관련된 행동 및 표준을 개발하는 것 또한 국가 상호간의 지적, 과학적, 기술적 및 경제적인 행동 개발을 촉진시킬 목적으로 조직되었다. 현재 130개 국가를 회원으로 하고 있으며 기본 표준(basic standard)으로서, 품질관리를 목적으로 "ISO 9000 시리즈"와 환경관리를 목적으로 "ISO 14000 시리즈"를 제정하였다. ISO 설계기준 규정중에서 건설 설계분야와 직접적으로 관련있는 것은 "ISO 2394"으로 구조물 신뢰성에 관한 일반원리(general principles on reliability for structures)이다. 현재 국제적으로 토목 및 건축 구조물의 설계에 있어, 실험과 설계에 대한 표준을 ISO 2394를 토대로 제정되고 있는 추세에 있는 것이다. 이러한 ISO 2394에서는 기본적으로 공용성 및 신뢰성을 기준으로 한 한계상태설계법을 채택하고 있다. 즉, 구조물은 대상 구조물의 한계상태 조건에서 필요로 하는 공용성을 확보하는 차원에서 설계되는 것이다.

ISO의 부속 위원회인 TC 250인 CEN(European Committee for Standardization)은 유럽 18개 국

\* 정회원, 한국해양연구원 선임연구원, glyoon@kordi.re.kr

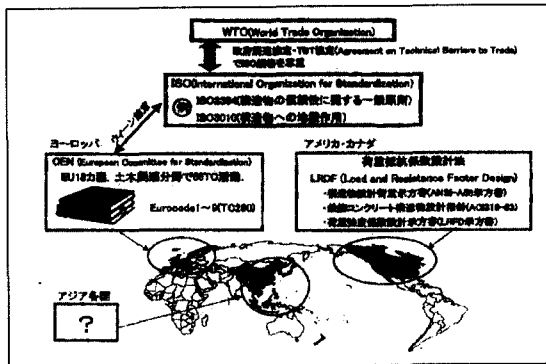


그림 1. 구조물의 설계기준 및 세계동향 (after, Yamamoto, 1999)

가로 구성되어 있으며 현재 구조물의 모든면을 다루는 소위 유로코드(eurocode)를 개발하고 있다. 총 9개 부분으로 이루어진 유로코드도 공용성을 기준으로 한 한계상태설계법으로 기본으로 하고 있다. 9개 부분중에서 part 2와 3이 기초구조물에 관련되어 있으며 part 7이 지반구조물 설계에 대한 것이다. 한편, 미국과 캐나다를 중심으로 한 북미는 유로코드에 대응하여 현재 하중저항계수설계법(LRFD)를 개발하고 있는 상태이며 캐나다의 온타리오 도로기초 구조물 및 미국의 연방도로국(AASHTO)의 설계기준으로 이미 채택되었다.

국제표준을 개발 및 보급하는 ISO에서는 국제표준으로서 관련 기준을 채택하기 위해서 미리 기술위원회 및 부속위원회의 검토를 거쳐 최종 국제표준기준의 시안(final draft international standards, FDIS)이 만들어진다. 이렇게 준비된 시안(FDIS)은 ISO 모든 회원 국가에게 배포되며 국제표준으로서 채택하기 위해서는 회원국의 투표를 거치게 된다. 총 참가 회원국의 투표에서 2/3의 승인이 있으면 통과되며, 1/4에 못 미치면 승인이 거부된다.

또한 현재 국가간 기술장벽을 제거하고자 하는 국가간 무역거래 지침(TBT) 규정은 세계무역기구(WTO)의 기본지침이 되었으며, 현재 ISO에서 통과한 국제표준기준은 특정 국가의 기술수준 및 제도와 적합하지 않을 지라도 무조건 ISO 국제기준을 따라

야 하는 의무가 발생하게 된 것이다. 그림 1에는 현재 세계적인 구조물의 설계기준의 동향을 보여주고 있으며, 특히 동북아 국가들이 유럽이나 북미에 비해 아직까지 이에 대한 대비가 필요함을 제시하고 있다.

### 3. 국제 표준과 국내 기준과의 충돌

국가간의 기술장벽을 제거하고자 하는 국가간 GATT/TBT협정이 1979. 4. 12 스위스 제네바에서 채택되어 1980. 1. 1 발효되었으며, 이는 우루과이라운드협상('86~'94) 결과로 동 협정이 WTO/TBT협정으로 대체되었다. 무역상기술장벽(TBT; technical barriers to trade)은 무역상대국간에 서로 상이한 표준(standard), 기술규정(technical regulation), 인증절차(certification procedure), 검사제도(inspection system) 등으로 상품 및 서비스의 자유로운 이동을 저해하는 무역에 있어서의 제반 장애요소를 의미한다. 따라서, 국제적인 표준으로서 채택된 기술기준이 특정국가의 기술수준 및 제도, 표준, 기술규정 등과 상이하여 무역상의 장벽이 발생할 때에는 국가간의 무역분쟁이 발생할 수 있게 된 것이다.

ISO는 지금까지 유럽국가를 중심으로 운영되고 있으며 그동안 상당한 ISO의 활동이 활발히 이루어져 왔으나, 우리나라는 건설관련 표준화 작업에는 투표권이 없는 O-member로서 참여함으로써 향후의 건설시장 다변화에 대비한 우리의 입장과 기술적인 문제점을 반영하지는 못해왔다. 그러므로, 기술수준이 아직까지는 미약하고 준비가 되지 않은 우리나라의 경우에는 새로운 국제 표준에 대비하지 않고서는 앞으로 외국의 건설시장에 진출하거나 외국건설관련 업체의 국내 건설시장 진출시에도 기술적인 문제물론 국제적인 문제에 봉착할 수도 있음을 간과할 수 없게 되었다.

현재까지는 건설 관련 구조물을 설계하는 경우에는 소위 시방서를 기준으로 하여 구조물을 설계

(specification-based design)하여 왔다. 그러나, 시방서를 기준으로 하는 설계법이 구조물의 공용성 및 신뢰성을 기준(performance-based design or reliability-based design)으로 한 새로운 설계기준으로 빠르게 변화하는 현 추세에 비취볼 때 이같은 설계법은 많은 문제점을 안고 있다. 무엇보다도 시방서를 기준으로 한 설계는 필요한 요구조건을 세부적으로 제시하고 있기 때문에 목표하는 성능을 달성하기 위한 다양한 접근방법을 배제함으로써 설계자의 창의력을 제한하고 있으며 설계자로 하여금 현실에 안주하도록 한다는 것이다. 또한, 새로운 기술에 대한 적용을 어렵게 함으로서 결과적으로 기술발전의 장애요인으로 작용하고 있는 것이 현실이다.

국내의 경우 한계상태설계법에 대한 체계적인 연구의 미비로 국제적인 기술조류의 대열에 능동적으로 참여하기가 곤란하여 선진국의 수준 높은 설계기술의 도전에 적절히 대처할 수가 없는 실정이다. 이제 우리나라의 경우, 국제적인 기술조류에 따라 관련 설계법에 대한 국가 차원에서는 실제적인 연구에 착수할 필요성이 대두된 것이다. 한계상태설계법의 국내적용을 위해서는 구조물의 한계상태에 대한 정량적인 명확한 정의가 필요하다. 예를 들어 사용한계상태는 그 상태로 구조물 또는 부재가 만족하지 않으면 안되는 변형량, 균열폭 등의 조건에 의한 정량적인 정의가 필요한 것이다. 또한, 설계시점에서의 불확정요인의 합리적인 고려가 필요하다. 즉, 사용기간중에 작용하는 외력의 변동 및 실제로 작용하는 외력과 설계하중과의 차이나 재료강도, 단면치수, 재료시험결과를 구조물에 적용할 때 포함되는 불확실성에 의한 부재 및 구조물 강도의 변화 등을 충분히 합리적으로 고려하여야 한다.

국제적인 기술 표준화에 대한 건설 관련자의 인식 부족으로 새로운 설계법에 대한 기술적인 적용문제가 해결되어도 실제 적용과정에서 실무자 사이에 상당 기간동안의 혼란이 예상되며, 관련되는 각종 건설기준이 새로운 설계법에 부합될 수 있도록 하기 위해서는 많은 노력이 투입되어야 할 것으로 보인다. 한

계상태설계법을 구조물 설계에 도입하기 위해서는 구조물 거동의 복잡성, 지반의 강도특성이나 여러 설계공법과 그 품질 등에 관한 통계 및 확률량, 상부구조의 기능에 대한 간접적 평가 등 수많은 과제를 극복하여야 한다. 그러므로 한계상태의 정의에 관계되는 사항과 해외 선진국의 연구 및 개발동향을 우선적으로 분석하고 그 대처방안을 사전에 국가적인 차원에서 대비하여야 한다.

## 4. 한계상태설계법의 태동

토질분야에서는 1943년 Terzaghi가 그의 저서 "Theoretical soil mechanics"에서 지반의 극한지지력에 관한 이론을 발표하였다. 지반의 극한지지력은 지반조사기술의 발전과 더불어 토질정수를 산정하고 이론적인 연구성과를 토대로 실지로 계산이 가능하게 되었다. 지반분야에서도 허용응력 설계법의 영향으로 기초구조물을 설계할 경우에 최종내력인 극한지지력에 안전율을 고려하는 허용지지력개념의 설계법으로 현재까지 이용되고 있는 것이다. 하지만 허용응력 설계법에서는 기초구조물의 안정성에 밀접한 변수로 토질정수나 시공성에 대한 신뢰도이나 이에 대한 오차의 변수가 상당히 존재한다는 사실을 알고 있음에도 불구하고 설계에 전혀 반영하지 못하고 있는 실정이었다.

말뚝기초의 수평지지력을 설계하는 방법을 보면, 말뚝을 시공할 지반을 탄성체로 간주하여 설계한다. 즉, 말뚝을 탄성지반 위에 있는 보(beam)로 가정하여 외부하중에 대해 말뚝체에 발생하는 응력이 말뚝재료의 허용응력 이하이고 말뚝두부의 수평 변위량이 허용수평 변위량 이내에 있도록 설계하는 것이다. 이러한 설계방법은 전형적인 허용응력 설계법의 기본원리이며 이 방법으로 말뚝체에 발생할 수 있는 최종(종국)내력을 파악하는 것은 불가능하다. 이를 구체화하기 위해서는 말뚝과 접하고 있는 지반의 파괴 메카니즘이나 말뚝재료의 소성변형이 발생하는 이론

적 해석을 포함한 말뚝기초 전체의 파괴 메카니즘을 규명해야 한다. 이러한 개념의 설계법이 중국내력 설계법이다.

구조물의 안전성을 확률이론을 토대로 정량적으로 표현하는 설계법을 "신뢰성 설계법"이라고 불리고 1940년대부터 토목분야에서 연구나 진행되고 있으나 하중, 재료특성 및 시공성에 대한 통계자료를 산정하기가 어려워 신뢰성 설계법이 실용적으로 성공하는 데에는 한계가 있었다. 하지만 구조분야에서는 일부 성공적으로 발전되고 있지만 지반분야에서는 토질의 특성자료를 축적하거나 시공성 등을 확률론적으로 분석하는데 상당한 어려움이 있어 실용화에 성공적이지 못했다. 이렇듯 구조물 설계법은 허용응력설계법에서 신뢰성설계개념을 거치면서 현재의 한계상태설계법으로 발전을 하는 단계이다. 그러므로 한계상태설계법은 갑자기 나타나거나 제안된 설계법이 아니라, 지금까지의 설계법이 진화되는 단계에서 연구개발되어 통합화하는 새로운 형식으로 발전한 것이다. 즉, 합리성과 구체성을 가지고 구조물의 안전성과 공용성을 추구하는 설계법으로 발전된 것이다.

## 5. 구조물의 한계상태 개념 소개

한계상태란(limit state) 무엇인가? 한계에 이른 상황을 의미한다. 예를 들어 신축 건물은 훌륭히 사용할 수 있지만 20년이 지나면 벽이 금이 가는 것파 물이 새는 것 혹은 기울어지는 것이 있더라도 부서지지 않았다면 비바람은 피할 수 있다. 이처럼 훌륭히 도움이 되는 한계상태를 사용한계(serviceability limit state design, SLS)라 부르며, 최종적으로 부서지지 않는 한계를 종국한계(ultimate limit state design, ULS)라 부르는 것이 한계상태설계법으로 정착된 내용이다. 그러므로 기대하는 수명의 범위에서 이 두 가지 한계상태를 넘지 않게 하도록 설계하는 것이다. 그 의미에서는 수명을 정해서 이 두 가지의 한계상태를 대상구조물 마다 정량적으로 정의

하는 것이 본 설계법의 중요한 일부이며 출발점이다. 한계상태설계법은 종래의 설계법과 비교하여 결코 혁명적인 것은 아니다. 단지 종전의 설계법과 비교하면 다른 새로운 과학적 원칙을 가미한 것이며 합리적 사고의 설계법이다.

한계상태 설계법을 도입하는 가장 중요한 사항은 한계상태의 설정이다. 지반을 구성하는 흙은 구조물의 주요 재료인 금속이나 콘크리트에 비하면 소성적인 성질을 가진 재료이고 하중의 성상이나 변형의 크기 등이 다른 형태를 보인다. 이렇기 때문에 기초설계에서는 이러한 요인을 고려하여 한계상태의 수준은 다음과 같이 정의할 수 있다.

- A. 한계상태 수준 I : 설계공용기간 중에 작용하는 하중에 대해서 기초가 소요 사용성과 내구성을 잃거나 기초의 변위가 탄성범위 값을 초과하는 상태
- B. 한계상태 수준 II : 설계공용기간 중에 드물게 작용하는 하중에 대해서 기초가 사용성과 내구성을 잃거나 기초의 변위가 지반의 항복점을 초과하는 경우
- C. 한계상태 수준 III : 설계공용기간 중에 극히 드물게 작용하는 하중에 대해서 기초가 상당한 손상이나 변위를 초래하고 안정이나 기능을 잃어버린 상태

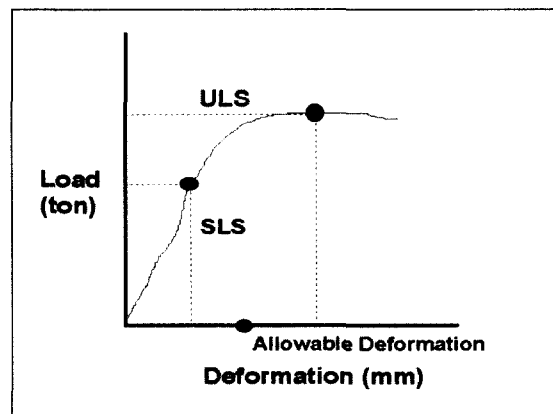


그림 2. 한계상태설계법의 정의

한계상태설계법은 지반재료강도, 확률이론 및 신뢰성이론으로 가능하게 된 외부하중의 불확실성을 정량화 한 이후로 구조공학분야에서 지난 1세기 동안 일반적으로 사용되어 왔다. 한계상태설계법에서 설계개념은 일반적으로 극한 한계상태(ULS)와 공용성 한계상태(SLS)로 나뉘어진다. 이것은 구조물의 파괴와 불안정성과 관련이 되어 기초의 침하와 구조물의 변형과 같은 공용 상태아래의 구조물의 거동과 관련이 있다. 한계상태설계의 기초개념은 그림 2와 같이 설명된다. 그림 2에서 보이는 것처럼 기초공학에서 안전영역(safety margin)은 주로 불확실성과 지반 물성치 설계모델과 같은 안정성 분석을 하는데 있어서의 근사성, 그리고 적용된 외부하중 조건의 변화성 등에 의존한다. 그러므로 만일 어느 하나가 간단한 확률과 신뢰성이론을 사용한다면, 불확실성들을 정량화 할 수 만 있다면 보다 합리적이고 일관되며 체계적인 기초설계를 할 수 있는 것이다

## 6. 유로코드(Eurocode)의 소개

1970년대에 유럽연합위원회(Commission of European Communities, CEC)는 건설 및 토목공학의 설계에 있어서 구조공학 및 지반공학분야에 대해서 통일된 기술적 설계규정의 필요성을 제안했다. 이를 토대로 하여 탄생한 것이 Structural Eurocode이다. 제도적으로 유럽연합의 건설제품의 시방기준에 규정되어 있는 6개의 기본요건의 하나이며 역학적 내력과 안정성에 대응하는 해석 문서적인 것으로 인식되고 있다. 유럽의 건설설계 표준화 위원회는 Eurocode를 제정하기 위해, 1990년 5월에 기술위원회 250에 Structural Eurocode를 설치했다.

Eurocode는 1에서 9까지 제정되었으며 현재 제정 작업중이며 일부가 유럽 규격 안으로서 발행되었다. 시행을 거쳐서 장래에 유럽의 공동 규정이 된다. 유로코드에서 다루고 있는 실내실험 및 현장시험법과 관련한 상당한 양의 지반조사 관련 규정을 이 자리에

서 언급하는 것은 다음 기회로 미루고자 하며, 구조물 기초 설계분야에 관해서는 Eurocode의 7번째, Part 1에 있다. 기초설계와 관련된 다른 항목은 Eurocode 1, Part 1, Eurocode 2와 3의 강관말뚝 및 콘크리트 말뚝, 그리고 Eurocode 8의 내진설계 분야에서 기초부분을 상세히 거론하고 있다. 1980년에는 국제토질공학회(ISSMFE)와 유럽연합과의 유로코드 7에 대한 시안작성에 합의를 하여 국제토질공학회안에 특별위원회를 가동하였다. 이러한 과정을 통해서 제정한 지반공학의 유로코드의 구성은 다음과 같다.

Part 1 Geotechnical design, general rules: standardization of general geotechnical design rules for building and civil engineering works

Part 2 Geotechnical design, standards for laboratory testing: Identification of existing and development of new standards for laboratory testing on soil and rock materials

Part 3 Geotechnical design, standards for field testing and sampling: Identification of existing and development for new standards for field testing and sampling of soil and rock

Part 4. Geotechnical design, rules for specialized elements and structures: Standardization of additional design rules for specialized elements and structures taking into account the general design rules specified in Part 1.

유로코드의 특징과 목표 안전도 설계법의 수준으로서의 부분 안전계수법이며 기본적으로는 기존의 보정단계를 거쳐서 필요한 설계계수를 정한다. 그러나, 일부 계수는 FORM(First Order Reliability

Method)의 단순화로서 결정되기도 한다. 후자는 주로 실험에 의해 지원된 설계분야에 이용되고 있다. 예를 들면, 말뚝의 재하시험의 실시 회수에 의해 극한지지력의 산정이 유리하게 되는 점들에 고려되어 있다. 목표로 하는 사용기간(4종류; 통상의 건물은 50년, 토목구조물 100년)에 있어서 목표안전도, 중국한계상태에서는 3.8, 피로한계상태에서 1.5 - 3.8, 비가역적인 사용한계상태에서 1.5이다. 이것들의 수치는, 구조물의 파괴빈도를 나타낸다고 하기보다는 일관된 설계기준을 발전시키기 위한 도구로서 의도된 것이다.

말뚝재하시험 동안에는 주변마찰력이 말뚝의 전체 길이를 따라 발생한다. 재하시험 말뚝에 적용하는 최대 재하하중은 설계 외부하중에 downdrag의 두배를 더한 값보다 커야 한다. 하나 또는 다수의 말뚝재하시험에서 측정된 지지력( $R_{max}$ )으로부터 극한특정 지지력( $R_{ult}$ )를 산정할 때, 지반의 변이성 및 말뚝설치에 따른 변이성에 고려한 허용치를 반영하여야 한다. 최소한 표 1의 (a)와 (b)의 두 조건 모두를 만족하여야 한다.

$$R_{ult} = R_{max} / \xi \quad (1)$$

지반의 변이성이 체계적이거나 우연적 요소로 이루어진 경우에는 말뚝재하시험의 결과는 이러한 요소를 고려하여 해석되어야 한다. 체계적인 요인으로 발생하는 지반의 변이성은 균질한 지반의 다른 지역을 고려하거나 또는 시험현장의 지반특성의 특정한 경향을 파악하여 고려하면 제거할 수 있다. 시험 말뚝의 시공기록은 검토되어야하며 일반적인 시공조건과 다른 경우의 기록인 경우는 이를 고려해야 한다. 이러한 시공조건에서 오는 편차는 시험말뚝의 올바른 선택으로 부분적으로 제거될 수 있다. 극한설계지지력을 구하기 위해서는 특성지지력  $R_k$ 은 선단지지력( $R_{tip}$ )와 마찰지지력( $R_{sft}$ ) 두 요소로서 다음과 같이 계산된다.

표 1.  $R_{ult}$  계산을 위한  $\xi$

|                              |     |      |     |
|------------------------------|-----|------|-----|
|                              | 1.5 | 1.35 | 1.3 |
| (a) 평균 $R_{ult}$ 에서 계수 $\xi$ |     |      |     |
| (b) 최소 $R_{ult}$ 에서 계수 $\xi$ | 1.5 | 1.25 | 1.1 |

표 2.  $\gamma_b, \gamma_s$  및  $\gamma$

|                                 |      |     |     |
|---------------------------------|------|-----|-----|
|                                 | 1.3  | 1.3 | 1.3 |
| 항타말뚝                            |      |     |     |
| 현장타설말뚝                          | 1.6  | 1.3 | 1.5 |
| CFA(Continuous Flight Auger) 말뚝 | 1.45 | 1.3 | 1.4 |

$$R_k = R_{tip} + R_{sft} \quad (2)$$

선단지지력과 마찰지지력의 비는 말뚝재하시험을 이용하여 측정되어 구분할 수 있으므로 설계지지력( $R^*$ )은 다음 식과 같이 부분안전계수로 나누어 유도된다. 부분안전계수  $\gamma_b$ 와  $\gamma_s$ 는 다음 표 2에서 제시하였다.

$$R^* = R_{tip} / \gamma_b + R_{sft} / \gamma_s \quad (3)$$

## 7. 허용응력설계법과 한계상태설계법의 비교

### 7.1 허용응력설계법에 의한 설계

허용응력설계법 개념을 바탕으로 한 여러가지 설계법중에서 가장 많이 이용되는 Meyerhof Method

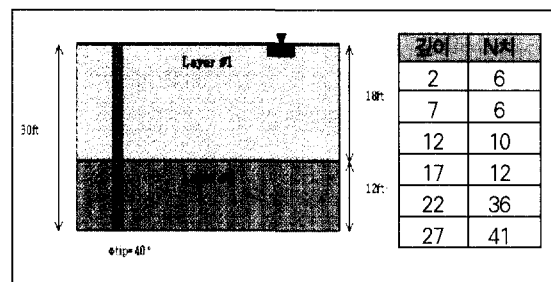


그림 3. 지반과 말뚝의 조건

을 이용하여 말뚝기초설계를 해보자. 아래 그림과 같은 지반에 설치할 말뚝(항타말뚝)의 극한지지력을 구하기 위해서 수행한 표준관입시험결과는 아래와 같으며 사용한 말뚝은 사각형 프리캐스트 콘크리트 말뚝으로 크기는 12' × 12'이다.

1) Meyerhof Method에 의한 설계

Meyerhof가 제안한 극한지지력산정식은 항타 및 현장타설말뚝을 적용대상으로 하고 마찰계수를 산정하는 식을 표준관입시험에 의한 N치로부터 산정하였다는 것이 특징이다.

① N치 보정은 다음과 같다.

- Soil Layer#1에 대하여

$$N_1' = \frac{(2 \times 6) + (7 \times 6) + (12 \times 10) + (17 \times 12)}{2 + 7 + 12 + 17} \approx 10$$

- Soil Layer#2에 대하여

$$N_2' = \frac{(4 \times 36) + (9 \times 41)}{4 + 9} \approx 40$$

② 토질과 말뚝간의 마찰계수  $f_s$ 산정은

Meyerhof공식에서 주면마찰력은 아래 식으로 산정하도록 되어있다.

$$f_s = 2 N' \leq 100 \text{ kPa}$$

여기서,  $N'$ 은 보정한 N치

$$f_{s1} = 2 \times 10 = 20 \text{ kPa} (\leq 100 \text{ kPa})$$

$$f_{s2} = 2 \times 40 = 80 \text{ kPa} (\leq 100 \text{ kPa})$$

③ 주면마찰력은

$$R_s = f_s \cdot A_s$$

$$R_{s1} = 20 \times (12 \times 0.0254 \times 4 \times 18 \times 0.3048) = 133.78 \text{ KN}$$

$$R_{s2} = 80 \times (12 \times 0.0254 \times 4 \times 12 \times 0.3048) = 356.75 \text{ KN}$$

$$\therefore R_s = 490.53 \text{ KN} = 110.28 \text{ kips}$$

④ 선단지지력은

$$q_t = \frac{40 N_b D_b}{b} \leq 400 N_b$$

$$= \frac{40 \times 41 \times (12 \times 0.3048)}{0.3048} > 400 \times 41$$

$$\therefore q_t = 16400 \text{ kPa}$$

⑤ 극한선단지지력은

$$R_t = q_t \cdot A_t \text{ 이므로}$$

$$R_t = 16400 \times (12 \times 0.0254)^2 = 1523.6 \text{ kN} = 342.52 \text{ kips}$$

⑥ 전체 극한지지력은

$$Q_u = R_s + R_t$$

$$= 490.53 + 1523.6 = 2014.13 \text{ kN}$$

$$= 452.8 \text{ kips}$$

⑦ 안전율을 고려한 허용지지력은

$$Q_a = \frac{Q_u}{F.S}$$

여기서 안전율은 일반적으로 3을 사용한다.

$$\therefore Q_a = \frac{452.8}{3} = 150.93 \text{ kips} = 671.3 \text{ kN}$$

$$\therefore Q_{\text{design}} = 150.9 \text{ kips}$$

7.2 한계상태설계법에 의한 설계

한계상태설계법중의 하나인 LRFD법은 저항값은 설계모델에 의해 계산되며, 계산된 저항값은 재료나

설계모델의 불확실성을 반영하기 위해서 저항계수를 곱해준다. 한계상태설계법의 경우에는 하중이나 토질정수에도 하중계수나 저항계수가 존재하기 때문에 허용지지력의 산출은 저항계수만 이용하여 행하여지는 것은 아니다. AASHTO에서는 하중저항계수(LRFD)에 의해 각 한계상태를 다음 기본식으로 나타낸다.

$$\phi R_n \geq \sum r_i Q_i$$

여기서,  $\phi$  : 저항계수  
 $R_n$  : 공칭(normal)저항  
 $r_i$  : 하중계수  
 $Q_i$  : 외부하중

위의 식은 저항계수가 곱해진 구조물의 저항치는 항상 하중계수가 곱해진 외부하중의 합보다 커야 한다는 의미다. 말뚝기초의 주면마찰력과 선단지지력으로 제각기 산정되는 항타말뚝의 저항계수  $\phi$ 는 표 3에 나타나 있다. 즉, 지반의 종류 및 지지력 산정방법에 따라 서로 다른 저항계수를 취하고 있다. 한편, Canadian Foundation Engineering Manual에서는 각 한계상태의 안정성을 조사하고 있다. 저항계수

표 3. AASHTO(1994) 말뚝설계시 설계방법에 따른 저항계수

| 마찰력:점성토                                |      |
|--|------|
| $\alpha$ 법 (Tomlinson,1987)            | 0.70 |
| $\beta$ 법 (Esrig & Kirby,1979)         | 0.50 |
| $\gamma$ 법 (Vijayvergiya & Focht,1972) | 0.55 |
| 선단지지력:점성토 및 암반                         |      |
| 점성토 (Skempton,1951)                    | 0.70 |
| 암반 (Canadian Geotech Society,1985)     | 0.50 |
| 마찰력 및 선단지지력:모래                         |      |
| SPT방법                                  | 0.45 |
| CPT방법                                  | 0.55 |
| 마찰력 및 선단지지력:모든 토질                      |      |
| 말뚝재하시험                                 | 0.80 |
| 동재하시험(PDA)                             | 0.70 |

는 각 기초에서 다르며 말뚝의 경우 0.5로 되어 있다. 또한 저항계수는 토질시험방법에 의해 결정되어 있으며 표준관입시험의 경우 0.3으로 되어 있다. 제각기 이전의 설계방법이 어떠한 것이었던가 명확하지 않지만, 종래의 전체 안전율에 맞도록 보정한 것이 이들 저항계수를 이용하도록 연구된 것으로 보인다.

### 1) AASHTO(1994)에 의한 설계

허용응력설계법중 Meyerhof Method에 의한 극한지지력(공칭강도)은 452.8kips이고 항타말뚝에 대한 모래지반에서 SPT에 대한 저항계수( $\phi$ -FACTOR)는 0.45이다. 그러므로

$$\phi \cdot R_n = 0.45 \times 452.8 \text{ kips} = 203.7 \text{ kips}$$

이론상, 하중과 하중계수를 곱한 값은  $\phi \cdot R_n$ 이 저항력 보다 작아야 하므로 즉,  $\sum r_i Q_i \leq 203.7 \text{ kips}$ 이어야 한다. 말뚝이 사하중만을 받는 경우, 설계하중은 다음 식을 만족하여야 한다.

$$Q_{\text{design}} \leq \frac{203.7}{1.25(\text{사하중계수})} = 163.0 \text{ kips}$$

따라서, 그 결과를 비교하면 다음 표 4와 같다.

그러므로 말뚝설계과정에 있어서 한 본의 말뚝이 가지는 지지력을 계산한 결과, 허용응력설계법 보다는 한계상태설계법으로 계산한 지지력이 큰 것으로 산정하였다. 이러한 결과는 말뚝 한본 당 지탱해야 하는 지지력 설계측면에서 한계상태설계법이 허용응력설계법 보다 경제적인 설계임을 제시하는 것이다.

표 4. 설계법에 의한 지지력의 비교

|            |            |
|------------|------------|
| 150.9 kips | 163.0 kips |
|------------|------------|



## 8. 대책수립 및 대응전략

국제표준화와 관련된 국제적 또는 지역적인 기구나 단체 등의 기술 표준화 작업이 빠른 속도로 이루어지고 있고 상품과 서비스의 자유로운 교역의 촉진이라는 WTO의 기본이념을 고려할 때 머지않아 ISO 등의 국제적인 기술표준이 각 국의 기술표준으로 자리잡을 것이 확실하다. 이를 위하여 먼저 국내의 설계기준의 이원화(허용응력설계법과 한계상태설계법)를 이루어야 한다. 국제적인 표준에 부합되면서 국내의 특수한 요구조건을 정하는 성능기준과 이를 달성하는 기술적인 방법과 절차를 규정하는 기술기준으로 구분하여야 할 것이다. 성능기준은 국제적인 표준에 부합되면서도 국가별로 특수하게 요구되는 사항과 하중조건, 성능요구사항, 사회·환경관련 요구사항 등을 포함하도록 규정함으로써 법적인 강제성을 가지게 되나, 하위개념의 기술기준은 국제적으로 공통되는 자연과학적 및 공학적 분야를 포함하고 성능목표를 달성하는 기술에 관한 구체적인 시방과 방법 등을 제시함으로써 설계자에게 대안을 선택할 수 있는 자유를 보장하여야 한다.

기술의 규격에 관한 상세한 규정은 탈피하고 품질에 관한 요구사항을 명시하며, 제작방법과 구체적인 기술은 선택사항으로 하여 기술발전과 설계자의 창의력이 발휘될 수 있고 국제적인 시장개방에 적극적으로 대비할 수 있는 방향으로 국가 전체의 기술기준이 수립되어야 하는 것이다. 또한, 성능기준에 체계성과 통일성을 부여하여야 한다. 국가 전체의 시스템을 고려하여 성능수준의 개념과 설정방법을 통일하여야 하며 당해 구조물과 시설물의 상호 관련성을 고려하여 성능수준과 성능목표를 체계적으로 설정하는 것이 필요하다. 앞으로는 국가간 무역협정(WTO)으로 건설시장도 예외는 아닐 것으로 판단되므로 시급히 이에 대한 대책을 강구해야 한다. 각 회사의 지반기술자, 학자, 정부 연구기관의 관련 기술자들로 구성된 한국의 전문가 그룹은 국내 상황에 맞는 새로운 국제 설계기준을 정립하고자 가능한 모든 노력을 기

울여야 한다. 이상과 같이 국제 현황 및 국내 여건을 판단하여 보면 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

1) ISO 국제기준인 한계상태설계법은 허용응력설계법에 비해 보다 일관성 있고 체계적이며, 합리적인 방법으로서 국제적인 설계법으로 광범위하게 사용될 것으로 판단된다. 이미 ISO의 국제적인 지반공학 및 토목구조물의 시방서로서 인정하고 설계에 반영하는 추세에 있으므로 국내에서도 이에 대한 연구가 신속히 이루어지도록 연구체계를 수립하여야 한다.

2) 한국지반공학회가 향후 추진하고자 하는 "구조물 기초 설계기준"은 한계상태설계 개념을 포함시켜야 하므로 학회에서는 중장기적인 대책을 반드시 수립해야 하며, 무엇보다도 지반공학 분야의 기술자로서 하여금 국제적인 조류를 이해하도록 하는 교육과 연구가 병행되어야 한다.

### 참고문헌

1. 윤길립(1996), "Overview and Analysis of New International Code of Practice for Pile Foundation," 한국지반공학회 논문집, 제 12권 3호, pp. 73-82.
2. 윤길립, 김병탁(2001), "말뚝기초의 차세대 설계법 개발 연구," 현장기술자를 위한 말뚝기초 워크샵, 한국지반공학회, pp. 112-140.
3. American Association of State Highway and Transportation Official(AASHTO) (1994). AASHTO LRFD Bridge Specification, First Edition, AASHTO, Washington, DC.
4. Barker, R. M., Duncan, J. M., Rojiani, K. S., Ooi, P. S. K., Tan, C. K., and Kim, S. G. (1991), NCHRP Report 343, TRB, National Research Council, December, 308 pp.
5. CFEM(1992). Canadian Foundation Engineering

- Manual, Canadian Geotechnical Society, Toronto.
6. Eurocode 7(1993), Geotechnical Design, General Rules, European Committee for Standardization. Prestandrad. Danish Geotechnical institute, Copenhagen.
  7. Fellenius, B. H. (1994), Limit State Design for Deep Foundations, Proceedings, U.S. DOT, International Conference on Deep Foundations, Orlando, FL, December, pp. 415-426.
  8. Meyerhof, G. G. (1994), Evolution of Safety Factors and Geotechnical Limit State Design, Spencer J. Buchanan Lecture, Texas A/M University, Nov. 4, 32 pp.
  9. Ovesen, N. K., and Oorr, T. (1991), Limit State Design - The European Prospective, Proceedings, Geotechnical Engineering Congress 1991, ASCE, Edited by McLean, F. G., Campbell, D. A., and Hariss, D. W. pp. 1341-1352.
  10. Yamamoto, Shuji(1999), "Application of International Standards to the Design of Port and Harbor Facilities in Japan and Associated Problems," Joint Meeting Symposium between Korea and Japan's Director of Harbor Bureau, Cheju Island, 1999, 9 15, Korea.
  11. Yoon, G. L. and O'Neill, M. W.(1997), "Resistance Factor for Single Driven Piles from Experiments, Transportation Research Board, TRR 1569, pp. 47-54.

## 연약지반 기술위원회 세미나 개최안내

지반공학회 연약지반기술위원회에서는 연약지반 상의 시공 시 실제현장에서 발생될 상황을 설계 시 미리 예측하는 데에는 기술적으로 많은 어려움과 문제점이 있어 이를 여러분과 함께 해결 해 보고자 아래와 같이 세미나를 계획하였사오니 관심 있는 연구 및 실무분야 전문가들의 많은 참여를 바랍니다.

1. 주 제 : 연약지반의 공학적 특성평가와 활용
2. 일 시 : 2002년 2월 5일 (화) 13:00 ~ 18:00
3. 장 소 : 한양대학교 박물관 (서울 성동구 행당동)
4. 예정논문편수 : 10편 (각 편당 15분)
  - 발표논문의 구성 : - 현장평가(3편)  
- 시험실평가(3편)  
- 실제적용사례(4편)
  - 논문제출 마감일 : 2002년 1월 26일 (논문발표를 원하시는 분은 2001.12.23까지 제목과 요지를 남순성 간사에게 제출하여 주시기 바랍니다. [ssnam@ejtech.net](mailto:ssnam@ejtech.net))
5. 동 료 비 : 10,000원 보고서 및 음료제공
6. 문 의 처 : 위원장 김승철(에스코컨설팅 02-6006-4100)  
간사 남순성(이제이텍 02-529-0964, 011-265-5756)

\* 세미나 후 운영위원회가 있습니다.