

## 항만설계기준의 국제 표준화와 대책방안 연구 Countermeasure of International Design Standards for Port and Harbor Facilities

윤길림<sup>1</sup>, 박준권<sup>2</sup>, 이철조<sup>2</sup>, 서승남<sup>1</sup>, 김병탁<sup>1</sup>

Gil-Lim Yoon<sup>1</sup>, Jun-Kwon Park<sup>2</sup>, Cheul-Joh Lee<sup>2</sup>, Seung-Nam Seo<sup>1</sup>, and Byung-Tak Kim<sup>1</sup>

### 1. 서 론

최근 세계적으로 빈번해진 지진운동으로 그 피해가 속출하고 있다. 이러한 분위기로 인하여 국내에서도 중요구조물에 대해서 “내진설계” 의무화라는 강제 규정을 제정하고 있다. 그러나 지진에 대한 기초연구 및 축적자료가 부족하여 내진설계 지침서를 만드는 데 상당한 애로사항으로 대두되었다. 이러한 연유에서 판단하면, 장기적으로 국가적으로 연구해야 할 또 다른 분야는 “한계상태 설계법”으로 판단된다. ISO (International Organization for Standardization)에서 제정한 ISO 2394 "General Principles on Reliability for Structures"와 유럽표준화위원회(European Committee for Standardization)에서 제정을 추진중인 유로코드 (Eurocode)는 구조물 설계와 관련하여 세계 각국에 그 영향력을 발휘하게 될 것으로 판단된다.

현재 세계 각국의 기술자 사이에서 논의되고 있고 국제적인 기술표준으로 자리잡아 가고 있는 한계상태 설계법 (limit state design, LSD)에 대한 국내의 연구는 미미한 정도에 불과하여 사실상 국내에 한계상태 설계법을 도입하기까지는 다소의 시간이 걸리겠지만 이제 우리나라도 기술기준의 국제 표준화에 대한 관심을 가지고 그 대책방안을 강구할 필요가 있다.

한계상태 설계법에 대한 국내의 대응은 1996년 도로교 표준시방서에 한계상태 설계법의 하나인 하중저

항계수 설계법 (load and resistance factor design, LRFD)을 부록으로 소개하는 정도에 그치고 있으며 현재로서는 국내의 실정에 맞지 않아 채택이 되지 않고 있지만 세계적인 조류를 감안하여 머지않아 한계상태 설계법을 채택해야 할 것으로 보인다. 국내의 항만설계 기술 기준은 기본적으로 미국 육군공병단의 수리연구소 (waterway experiment station)에서 발간한 Shore Protection Manual과 미국해군에서 제시한 Harbor and Coastal Facilities Design Manuals (DM-26.1~26.3) 및 일본의 항만설계기준을 참고로 수립되어 현재에 이르고 있다. 현재 우리나라의 항만설계기준에서 규정하고 있는 설계법 (내진설계기준 제외)은 확정론적 설계법 (deterministic design)으로 허용응력 설계법 (allowable stress design)이 주류를 이루고 있으며 콘크리트나 강재에 대해서 부분적으로 극한강도 설계법 (ultimate strength design)을 사용하고 있는 것이 현실이다.

### 2. ISO와 항만구조물 설계기준

ISO (International Organization for Standardization)는 스위스의 제네바에 본부를 두고 있고 1974년에 창설된 비정부 국제조직으로서 국가간의 물물교역과 그와 관련된 행동 및 표준을 개발하는 것 또한 국가 상호간의 지적, 과학적, 기술적 및 경제적인 행동을 개발을 촉진시킬 목적으로 조직되었다.

ISO 설계표준 규정중에서 건설 설계분야와 직접적으

<sup>1</sup> 한국해양연구원, 연안항만공학연구본부, 1270 안산 425-744, 031-408-5823(fax), glyoon@kordi.re.kr

<sup>2</sup> 해양수산부, 항만국, 항만정책과 서기관, 기술안전과 사무관

로 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 표준이 ISO 2394를 토대로 제정되고 있는 추세에 있는 것이다. 이러한 ISO 2394에서는 기본적으로 공용성 및 신뢰성을 기준으로 한 한계상태 설계법을 채택하고 있다. 그러므로 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 국가로 구성되어 있으며 현재 구조물의 모든 면을 다루는 소위 유로코드 (eurocode)를 개발하고 있다. 총 9개 부분으로 이루어진 유로코드도 공용성을 기준으로 한 한계상태 설계법을 기본으로 하고 있다. 9개 부분 중에서 parts 2와 3이 항만 및 해안구조물에 관련되어있으며 part 7이 지반구조물 설계에 대한 것이다.

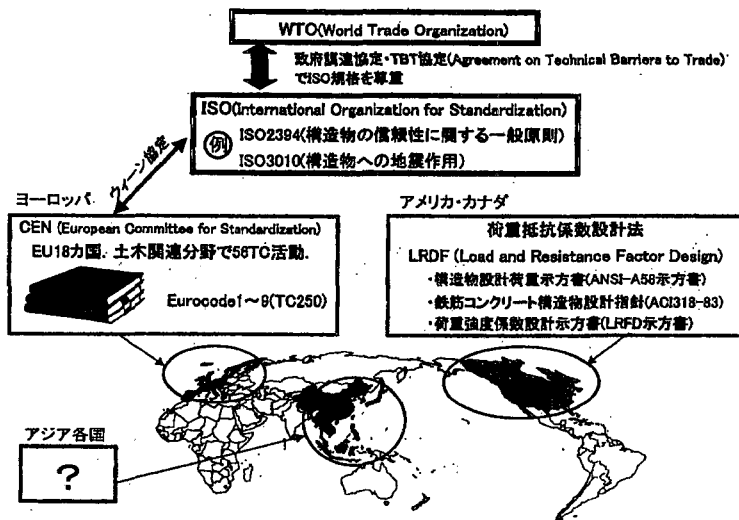


그림 1. 구조물의 설계기준 및 세계동향(after, Yamamoto, 1999)

미국과 캐나다를 중심으로 한 북미는 유로코드에 대응하여 현재 하중저항계수 설계법 (LRFD)를 개발하고 있는 상태이며 미국의 연방도로국 (AASHTO)의 설계기준으로 이미 채택되었고, 그리고 빌딩과 구조물에 대한 미국 국립표준설계기준 (ANSI)에도 포함되었다. 또한 1989년 이후, 지진에 대비한 설계기준에서도 매우 관심 있게 한계상태설계법의 채택에 대해서 토론되고 있다. 그림 1에는 최근 국제적으로 일고있는 한계상태 설계법에 관한 구역별 구분 및 발전배경에 대한 동향을 보여주고 있다. 그림에서와 같이, 세계적인 구조물의 설계기준으로 유럽을 중심으로 유로코드와 북미를 중심으로 LRFD가 제정되고 있으나, 동북

아시아에서는 아직도 새로운 합리적인 설계기준을 마련하지 못하고 있다.

### 3. 국제표준화와 국내기준의 문제점

무역상기술장벽 (TBT; technical barriers to trade)은 무역상대국 간에 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.

ISO의 경우 유럽국가를 중심으로 운영되고 있으며 그 동안 상당기간 동안 ISO의 활동이 이루어져 왔으나 건설관련 표준화 작업에는 투표권이 없는 O-member로 참여함으로써 향후의 건설시장 다변화에 대비한 우리의 입장과 기술적인 문제점을 반영하지는 못해왔다. 그러므로, 기술수준이 아직까지는 미약하고 준비가 되지 않은 우리나라의 경우에는 새로운 국제 표준에 대비하지 않고는 앞으로 외국의 건설시장에 진출하거나 외국건설관련 업체의 국내 건설시장 진출 시에는 기술적인 문제 물론 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 비춰볼 때, 이 같은 설계법은 많은 문제점을 안고 있다. 무엇보다도 시방서를 기준으로 한 설계는 필요한 요구조건을 아주 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 한계상태 설계법에 대한 체계적인 연구의 미비로 국제적인 기술조류의 대열에 능동적으로 참여하기가 곤란하여 선진국의 수준 높은 설계기술력에 적절히 대처할 수가 없는 실정이다. 우리의 경우 국제적인 기술조류에 따라 관련 설계법에 대한 연구의 필요성은 이전부터 인정하고 있었지만, 개인적인 연구에 그치고 있으나 이제는 다소 늦었지만 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 안 되는 변형량, 균열 폭 등의 조건에 의한 정량적인 정의가 필요한 것이다. 또한, 설계시점에서의 불확정 요인의 합리적인 고려가 필요하다. 즉, 사용기간 중에 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. 따라서, 한계상태의 정의에 관계되는 사항과 해외 선진국의 연구 및 개발동향을 우선적으로 분석하고 그 대처 방안을 사전에 국가적인 차원에서 대비하여야 한다.

이를 방지할 경우, 기술수준이 미약하고 준비가 되지 않은 우리나라의 경우에는 장차 새로운 국제적 설계기준에 대비하지 않은 상태로 선진국의 건설공사를 수행하거나, 국내의 건설공사를 발주할 때 상당한 국제적인 문제에 봉착하게 되는 것이다. 또한, 국제적인 기술 표준화에 대한 건설 관련자의 인식부족으로 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. 따라서, 새로운 설계법이 우리의 건설환경에서 제기능을 발휘하기 위해서는 어느 정도의 시일이 필요하며 많은 노력과 관심이 있어야 할 것이다.

#### 4. 한계상태 설계법

허용용력 설계법은 탄성론적 설계법이기 때문에 구조물의 최종내력을 예측하는 것은 어려운 실정이다. 구조물의 최종내력을 이해하기 위해서는 소성론적 설계개념인 소성해석 및 파괴 메커니즘이 도입되어야 가능하다. 그러므로 탄성론적인 설계만으로 구조물을 합리적으로 설계한다는 것은 많은 한계를 가지고 있어 많은 연구자 및 학자들이 소성론적인 구조물 설계에 관심을 두고 연구를 하여 구조분야인 콘크리트 및 강 구조분야를 중심으로 많은 발전을 해왔다. 새로운 설계법의 도입은 그 설계법을 지탱하는 학문과 지식의 분야로부터 폭 넓게 받아들이기까지는 성숙할 필요가 있다.

한계상태란 (limit state) 무엇인가? 한계에 이른 상황을 의미한다. 예를 들어 신축 건물은 훌륭히 사용할 수 있지만 20년이 지나면 벽이 금이 가는 것과 물이 새는 것 혹은 기울어지는 것이 있더라도 부서지지 않았다면 비바람은 피할 수 있다. 이처럼 훌륭히 도움이 되는 한계상태를 사용한계 (serviceability limit state, SLS)라 부르며, 최종적으로 부서지지 않는 한계를 중

국한계 (ultimate limit state, ULS)라 부르는 것이 한계상태 설계법으로 정착된 내용이다 (그림 2참조). 그러므로 기대하는 수명의 범위에서 이 두 가지 한계상태를 넘지 않게 하도록 설계하자는 것이다. 그 의미에서는

수명을 정해서 이 두 가지의 한계상태를 대상구조물마다 정량적으로 정의하는 것이 본 설계법의 중요한 일부이며 출발점이다.

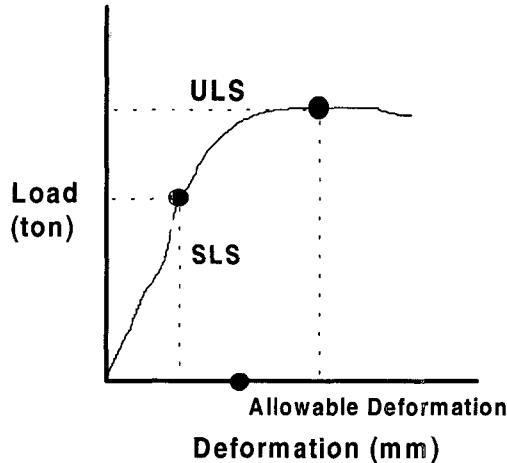


그림 2. 한계상태 설계법의 정의

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

한계상태 설계법은 지반재료강도, 확률이론 및 신뢰성이론으로 가능하게 된 외부하중의 불확실성을 정

량화 한 이후로 구조공학분야에서 지난 1세기 동안 일반적으로 사용되어 왔다.

토질분야에서는 1943년 Terzaghi가 그의 저서 "Theoretical soil mechanics"에서 지반의 극한지지력에 관한 이론을 발표하였다. 지반의 극한지지력은 지반조사기술의 발전과 더불어 이론적인 연구성과를 토대로 토질정수를 이용하여 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 신뢰도나 이에 대한 오차가 상당히 존재한다는 사실을 알고 있음에도 불구하고 설계에 전혀 반영하지 못하고 있는 실정이었다.

말뚝기초의 수평지지력을 설계하는 방법을 보면, 우선 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 것이

다. 이러한 설계방법은 전형적인 허용응력 설계법의 기본원리이며 이 방법으로 말뚝체의 발생할 수 있는 최종(중국)내력을 파악하는 것은 불가능하다. 이를 구체화하기 위해서는 말뚝과 접하고 있는 지반의 파괴 메카니즘이나 말뚝재료의 소성변형이 발생하는 이론적 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 허용응력 설계법에서 신뢰성 설계개념을 거치면서 현재의 한계상태 설계법으로 발전을 하는 단계이다. 그러므로 한계상태 설계법은 갑자기 제안된 설계법이 아니라 지금까지의 설계법을 통일하는 새로운 형식으로 합리성과 구체성을 가지고 구조물의 안전성과 공용성을 추구하는 설계법으로 개선되고 발전된 것이다.

### 5. 항만 기초구조물의 설계방안

항만구조물의 기초구조가 지지하는 상부구조인 방파제의 기능은 명료하며 직접적이다. 건축물은 사람이 생활한다고 하는 기능, 교량은 교통을 가능하게 한다고 하는 기능을 가지고 있고, 그것을 유지하는 것이 한계상태의 정의 그 자체이다. 그렇지만 항만시설의 기초구조에서 요구되는 기능은 상부구조를 지지하는 것이며, 상부구조를 매개로 하여 평가되는 특수성을 가지고 있다.

상부구조 중에서 방파제를 지지하는 기초구조의 최소한의 요구는 기초구조 자체의 안정성, 내구성을 확보하는 것이다. 이것에 영향을 주는 거동은 기초주변지반의 안정과 변형, 지지력, 기초구성부재 내력, 지반 및 부재의 파괴형태, 설계모델, 50년 확률파 그리고 파랑변형 등이다. 더욱이, 자연지반의 강도 특성, 기초의 지지력 특성, 부재의 품질 등은 크나큰 변동을 가진 통계 및 확률량이다. 또한, 지반은 극한상태에 도

달하지는 않지만, 상당히 큰 변형이 상부구조의 중국 한계상태를 일으킬 수가 있다. 기초구조물의 특수성은 보수가 매우 곤란한 동시에 많은 비용이 들며, 이것도 한계상태의 결정에 크나큰 영향을 준다. 기초의 한계상태의 설정에 직면하여 이들 사항을 적절히 평가할 필요가 있다.

최근에 일본에서는 항만구조물인 방파제의 설계에 대하여 기존의 허용응력 설계법보다는 보다 합리적이고 방파제의 활동안전성에 영향을 미치는 여러 영향 인자들의 확률적 영향성을 고려하며 방파제의 활동을 허용하는 신뢰성 설계법을 항만구조물 설계기술기준에 도입하려 지난 수년간 연구를 계속하고 있다. 이러한 움직임은 최근 단일 설계기준의 제정을 목표하고 있는 세계적으로 흐름에 적극적으로 대처하기 위한 방안이다.

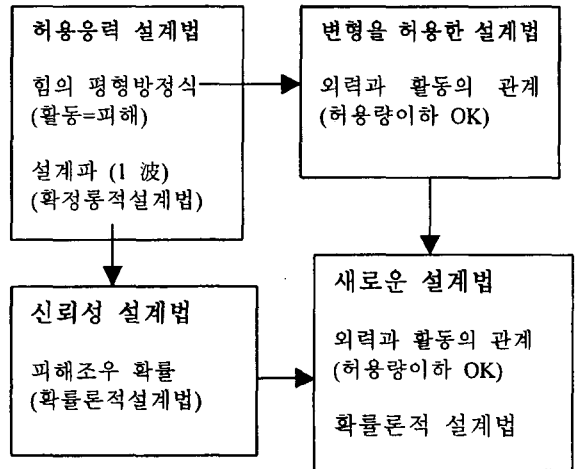


그림 3. 방파제 활동을 고려하는 신뢰성 설계법

방파제의 활동량을 고려하는 신뢰성 설계법과 허용응력 설계법과의 관계를 도식적으로 나타내면 그림 3과 같다. 허용응력 설계법은 힘의 평형방정식에 의하여 방파제의 안정성을 검토하는 설계법이며 설계파(1波)만을 대상으로 한 확정론적인 설계법이다. 이에 반하여 새로운 설계법은 활동을 고려한 설계법과 신뢰성 설계법을 조합한 것으로서 활동량  $S_E$  (사용기간중의 총활동량의 평균값)을 계산하여 설계하는 것이다. 다시 말하면, 지금까지의 활동의 안전을 대신에 사용기간중의 평균 활동량을 이용하고 이것이 허용값 이하가 되도록 방파제 단면을 설정하는 것이다.

이와 같이, 세계 각국에서는 구조물의 설계기준의 제정립에 설계자들의 창의성 도모와 시설물의 공

용성을 확보하고 설계단면의 감소를 목표로 하고 있으며 한계상태 설계법과 신뢰성 설계법에 대한 연구와 설계기준 마련에 몰두하고 있는 실정에서 우리나라도 이에 걸맞는 구조물 설계기준 마련을 위하여 다양한 검토와 연구가 이루어져야 할 것이다.

## 6. 유로코드의 구조적 특성분석

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. 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. 기초구조물의 설계에 관해서는 Eurocode의 7번째, Part 1에 있다. 관련된 것으로는, Eurocode 1, Part 1이 설계의 기본이 있다. 1980년에는 국제토질공학회 (ISSMFE)와 유럽연합과의 Eurocode7에 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 수준으로

서는 부분 안전계수법이며 기본적으로는 기존의 보정 단계를 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 (통상의 건물은 50년, 토목구조물 100년)에 있어서 목표안전도는 중극한계상태에서 3.8, 피로한계상태에서 1.5 - 3.8, 비가역적인 사용한계상태에서 1.5이다. 이것들의 수치는, 구조물의 파괴빈도를 나타낸다고 하기보다는 일관된 설계기준을 발전시키기 위한 도구로서 의도된 것이다.

말뚝기초의 경우에서, 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. 최소한 표 1의 두 조건 (a), (b)를 식 (2)로 만족해야 한다.

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

표 1.  $R_{ult}$  계산을 위한  $\xi$

재하시험의 횟수	1	2	2
(a) 평균 $R_{ult}$ 에서 계수 $\xi$	1.5	1.35	1.3
(b) 최소 $R_{ult}$ 에서 계수 $\xi$	1.5	1.25	1.1

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 시공 기록은 검토되어야 하며 일반적인 시공조건과 다른 경우의 기록인 경우는 이를 고려해야 한다. 이러한 시공조건에서 오는 편차는 시험말뚝의 올바른 선택으로 부분적으로 제거될 수 있다. 극한설계 지지력을 구하기 위해서는 특성지지력  $R_k$ 은 선단지지력 ( $R_{tip}$ )와 마찰지지력 ( $R_{sf}$ ) 두 요소로서 다음과 같이 계산된다.

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

선단지지력과 마찰지지력의 비는 말뚝재하시험을 이용하여 측정되어 구분할 수 있으므로 설계지지력 ( $R^*$ )은 다음 식 (3)과 같이 부분안전계수로 나누어 유도된다. 부분안전계수  $\gamma_b$ 와  $\gamma_s$ 는 다음 표 2에서 제시하였다.

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

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

부분안전계수	$\gamma_b$	$\gamma_s$	$\gamma_t$
항타 말뚝	1.3	1.3	1.3
현장 타설말뚝	1.6	1.3	1.5
CFA 말뚝	1.45	1.3	1.4

## 7. 결론 및 대책방향

ISO 등 표준화와 관련된 국제적 또는 지역적인 기구나 단체 등의 기술 표준화 작업이 빠른 속도로 이루어지고 있고 최근 일본의 주도로 아시아 지역에서도 Asia Concrete Model Code의 제정이 진행되고 있으며, 상품과 서비스의 자유로운 교역의 촉진이라는 WTO의 기본이념을 고려할 때 머지않아 ISO 등의 국제적인 기술표준이 각 국의 기술표준으로 자리잡을 것이 확실하다.

이 같은 세계적인 추세에 능동적으로 대처하기 위해서는 무엇보다도 미래지향의 발전적 기술기준 체계를 마련하는 것이 무엇보다 시급하다고 할 수 있겠다. 이를 위하여 먼저 국내의 설계기준의 이원화를 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. 다시 말해, 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 지반 기술자, 학자, 정부 연구기관의 관련 기술자들로 구성된 한국의 전문가 그룹은 국내 상황에 맞는 새로운 국제 설계기준을 정립하는데 가능한 모든 노력을 기울여야 한다. 이상과 같이 국제 현황 및 국내 여건을 판단하여 보면 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

- ◆ ISO 국제기준인 한계상태 설계법은 허용응력 설계법에 비해 보다 일관성 있고 체계적이며, 합리적인 방법으로서 국제적인 구조물 설계법으로 광범위하게 사용될 것으로 판단된다.
- ◆ 한계상태 설계법이 ISO의 국제적인 설계기준으로서 이미 인정하고 설계에 반영하는 추세에서 국내에서도 이에 대한 연구가 신속히 이루어지도록 연구체계를 수립하여야 하며 특히 동북아 국가간의 상호협력을 통한 대처방안이 강구되어야 한다.
- ◆ 향후 개정할 “항만 및 어항 시설물 설계기준서”는 ISO 국제기준에 적합한 한계상태설계 개념으로 변화할 것으로 판단 되므로 국내 항만기술자로 하여금 국제적인 조류를 이해하도록 교육해야 하며 중장기적으로 한국형 설계기준을 위한 연구개발에 정진해야 한다.

## 참고 문헌

윤길립, 1996. "Overview and Analysis of New International

- Code of Practice for Pile Foundation," 한국지반공학회 논문집, 제 12권 3호, pp. 73-82.
- 윤길립, 구자갑, 1995. "관입말뚝을 위한 새 국제적 시방서에의 방문," 한국지반공학회 가을학술 발표회 논문집, pp. I-17.
- 윤길립, 권오순, 차대선, 1999. "말뚝기초의 국제적 설계기준에 관한 고찰," Proceedings, 말뚝기초 위원회 워크샵, 현장기술자를 위한 말뚝기초, 한국지반공학회, pp. 35-43, 1999.
- American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO) 1994. AASHTO LRFD Bridge Specification, First Edition, AASHTO, Washington, DC.
- 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.
- CFEM 1992. Canadian Foundation Engineering Manual, Canadian Geotechnical Society, Toronto.
- Cornell, A., 1969. A Probabilistic Based Structural Code, *Journal of American Concrete Institute*, Vol. 66, No. 12, December, pp. 974-985.
- Eurocode 7 1993. Geotechnical Design, General Rules, European Committee for Standardization. Prestandrad. Danish Geotechnical institute, Copenhagen.
- 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.
- Gao, D. Z., and Li, J. P. 1993. Reliability Analysis on Pile Bearing Capacity, *Proceedings of Probabilistic Methods in Geotechnical Engineering*, Eds. Li K. S., and Lo, S-C. R., Balkema/Rotterdam /Brookfiled Press, pp. 295-301.
- Li K. S., and Lo, S-C. R. 1993. Limit State Design in Geotechnics, *Proceedings of Probabilistic Methods in Geotechnical Engineering*, Eds. Li K. S., and Lo, S-C. R., Balkema/Rotterdam/Brookfiled Press, pp. 29-42.
- 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.
- 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.
- Phoon, K. K., Kulhawy, F. H., and Grigoriu, M. D., 1995. Reliability-Based Design of Foundations For Transmission Line Structures, Research Projects 1493-4, Prepared for Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA.
- RCL, Research Committee on LSD, (1994), How to Define the Limit States for Foundation Design, *Japanese Journal of Soil and Foundation (in japanese)*, Vol. 42, No. 9, September, pp. 9-14, 1994.
- Standards Association of Australia (SAA) 1991. Draft Reinforced Soil Code DR-91273.
- Standards Association of Australia (SAA) 1992. Draft Australian Piling Code DR-92097.
- 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.
- 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.