

## PC 침목의 한계상태에 대한 고찰

## A Study on the Limit State of PC Sleeper

윤경민\*, 정덕희\*, 이진옥\*, 임남형\*†

Kyung-Min Yun\*, Duk-Hee Jeong\*, Jin-Ok Lee\*, Nam-Hyung Lim\*†

**Abstract** When proportioning of section of sleeper, sleepers are designed with elastic design method and examined the load-carrying capacity by ultimate strength method. Generally, this method considers excessive safety factor because of the uncertainty of design and construction. And it becomes uneconomical design as a result. Therefore, the introduction of limit state design which is applying the probability concept and defining the failure conditions or degree of risk is needed for rational design. In this paper, limit states of prestressed concrete sleeper abroad are investigated as a basic research for development of limit state design of sleeper.

**Keywords** : Limit state design, Limit state, PC sleeper, Probability, Ultimate strength method

**초 록** 국내에서 침목의 단면 산정 시 결정론적인 접근법에 기초하여 탄성론적 설계를 후, 강도설계법에 의해 내하력을 검토한다. 이 방법은 일반적으로 설계 및 시공의 불확실성을 과다안전율을 고려하여 적용하는 것으로 비경제적인 설계가 된다. 따라서 확률론적인 개념을 적용하며, 구조물의 파괴 또는 그와 관련된 위험도를 정의하여 합리적인 설계를 가능토록 하는 한계상태설계법의 도입이 필요하다. 본 논문에서는 PC침목의 한계상태 설계법 개발을 위한 기초연구로써, 국외에서 침목설계 시 고려하는 한계상태를 살펴보았다.

**주요어** : 한계상태설계, 한계상태, PC 침목, 확률, 강도설계법

## 1. 서 론

국내 자갈궤도에서 사용되고 있는 대부분의 침목은 PC침목이며, 설계를 위한 단면 산정 시 탄성이론에 따르는 것을 원칙으로 하되 강도설계법에 의하여 내하력을 검사한다. 이는 콘크리트 구조물 설계 시 허용응력 설계법(Allowable Stress Design, ASD)과 극한강도설계법(Ultimate Strength Design, USD)를 기반으로 한 것이다. 그러나 최근 경제적이고 합리적인 최적설계방안에 대한 요구가 증가하면서 신뢰성 분석을 기반으로 하는 한계상태설계법(Limit State Design, LSD)에 대한 관심이 높아지고 있다.

† 교신저자: 충남대학교 공과대학 토목공학과([nhrim@cnu.ac.kr](mailto:nhrim@cnu.ac.kr))

\* 충남대학교 공과대학 토목공학과

국내의 경우, 도로 분야에서는 이미 2012년 도로교 설계기준에서 한계상태설계법을 제정하여 변화된 설계법의 숙지에 소요되는 시간을 감안하여 2015년부터 시행하게 되지만, 침목 분야에서는 아직까지 한계상태 설계법에 대한 연구가 미흡한 상태이다. 본 논문에서는 침목의 한계상태 설계법 개발을 위한 기초연구로써 국외 침목설계 시 고려하는 한계상태에 대해 살펴보았다.

## 2. 한계상태 설계

한계상태(Limit State)란 어떤 구조물이 설계 시 의도된 기능들 중의 일부 또는 전부를 수행할 수 없는 상태를 말한다. 구조물 설계 시 우리가 고려해야 하는 기능들에는 여러 가지가 있다. 그 중 가장 대표적이고 중요한 기능은 안전성과 사용성이라 하겠는데, 안전성에 대한 한계상태는 구조물에 작용하는 하중이 그 구조물의 강도의 한계에 도달한 상태, 즉 강도한계상태(Strength Limit State) 또는 극한한계상태(Ultimate Limit State)를 말하는데, 통상적으로 불리지는 극한강도설계법(Ultimate strength Design)이 바로 이 경우에 해당한다. 사용성에 대한 한계상태는 작용하중으로 인하여 그 구조물의 범용적인 사용이 불가능해지거나 편리성이 상실되는 상태를 말하는데 이를 사용한계상태(Service Strength State)라 부른다. 사용한계상태의 대표적인 예로는 처짐, 진동, 균열, 소음 등이 있다. 이 밖에도 반복하중으로 인한 구조물의 피로응력이 그 구조물이 견딜 수 있는 한계에 도달한 상태를 피로한계상태(Fatigue Limit State)라 하고, 지진이나 태풍 등과 같은 천재지변이나 거대한 유조선 충돌 등에 의한 극단적이고 발생 확률이 적은 하중 작용 시 구조물이 기능의 한계에 도달한 상태를 말하는 극단한계상태(Extreme Limit State) 또는 사고 한계상태(Accidental Limit state)가 있다. 이런 각의 한계상태는 그 고유의 하중 조건과 구조물에 요구되는 기능에 대하여 정의된다.

## 3. 국외에서 고려되는 침목의 한계상태

### 3.1 국제철도연합(UIC 713R, EN 13230)[1, 2]

UIC 713R 및 EN 13230 규격은 콘크리트 침목 설계 및 실험방법에 대해서 다루고 있다. UIC 코드에서 설계 하중 및 설계 모멘트를 산정하고 있으며, 이를 이용하여 EN 규격에서 실험 하중 및 실험방법을 제시한다. 설계기준은 ORE(Office for Research and Experiments of the International Union of Railways)에서 실시한 실험 결과를 토대로 작성되었다.

EN 규격에서는 침목의 극한하중과 피로하중이 고려된 실내실험을 통해 발생한 균열 크기를 이용해 다음과 같이 승인기준을 정의하고 있다.

- 0.05mm(Unloaded, PSC 또는 RC)
- 0.1mm(Loaded, PSC)

위의 조건은 일정한 수분침투의 조건에서 침목에 아무런 영향이 없다는 경험적 판단을 기초로 하고 있다.[3]

### 3.2 일본(철도구조물 등 설계표준 및 동해설(궤도구조))[4]

침목의 합리적 설계를 저해하는 최대 요인으로 충격윤중이 작용 시 PC침목의 동적 거동과 내하성능이 잘 파악되지 않는 문제점을 지적하였으며, 1990년대 허용응력 설계법에서 한계 설계법으로 전환하기 위하여 수치 해석 및 실·내외 실험이 수행되었다.

설계규격에서 콘크리트 침목의 안전성에 대한 성능은 사용 기간 중 모든 설계 작용 및 그 반복에 대해 한계상태에 이르지 않는 것으로 정의하고 있으며, 한계상태는 극한 하중에 의한 파괴, 피로 파괴, 사용성에 대해서 제시하고 있다.

#### 1) 극한하중에 의한 파괴(중국한계상태)

: 중국한계상태의 설계 휨모멘트는 동적 해석법에 의한 작용하중 산정을 기본으로 하며, 하중에 의해서 생긴 궤도 부재의 설계 응답값과 설계 한계값에 따라 한계상태를 제시하고 있다.

#### 2) 콘크리트 침목의 피로파괴(피로한계상태)

: 침목은 설계 단면력 산정 시 변동 하중이 차지하는 비율이 크고 반복횟수가 많이 때문에 휨 모멘트에 대한 PC강재의 피로 파단, 콘크리트의 압축 피로 파괴 및 체결장치의 매립부의 파단을 한계상태를 제시하고 있다.

#### 3) 사용성한계상태

: 설계휨모멘트에 의해 발생한 휨 균열폭을 기준으로 사용성 한계상태를 제시하고 있다.

### 3.3 호주(AS 1085.14)[5]

현재의 AS 규격에서는 허용응력설계법을 근간으로 하고 있으며, 허용응력 개념은 재료의 특성, 확률론적 개념, 위험도 등이 고려되지 않는 점을 한계로 보고, Rail CRC(the Cooperative Research Centre for Railway Engineering and Technology) project 등을 통해 침목설계법을 한계상태 설계법으로 전향하기 위해 노력중이다.

호주의 철도기관에서는 침목이 다음의 경우에 해당 시 파괴상태로 판단한다.

- 상부구조의 손실을 일으키는 침목 바닥면의 마멸
- 상부구조의 손실을 일으키는 레일좌면부의 마멸
- 체결구 앵커부에 영향을 주는 심각한 균열
- 침목이 휘거나 규격문제가 발생하는 침목 중앙부의 심각한 균열
- 알칼리 골재 반응 또는 콘크리트 재료의 성능저하에 의한 콘크리트 침목의 심각한 성능저하

여기서 알칼리 골재 반응과 마멸은 침목의 구조적 파괴로는 보지 않으며, 심각한 균열만 한계상태와 관련된 파괴기준으로 고려한다.

## 3. 결론

본 논문에서는 침목의 한계상태설계기준 개발을 위한 기초연구로, 국외에서 고려하고 있는 한계상태를 살펴보았다. 국외의 경우 극한하중에 의한 파괴, 반복하중에 의한 피로파괴,

균열을 근거로 한 사용성문제를 공통적으로 침목의 한계상태로 고려하고 있으며, 그에 대한 설계 및 실험방법을 확인하였다. 현재의 국내 침목설계기준은 설계하중 및 설계모멘트 산정과 관련된 규정이 제시되지 않고, 실험방법만 규정하고 있다. 기존 설계법을 보완하고, 추후 침목의 합리적인 설계를 위한 새로운 설계법 도입 시 본 논문이 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업 “고속철도 자갈레도 레도구조 개량기술개발” 과제의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

- [1] UIC (2004) UIC 713R *Design of monoblock concrete sleepers*, Paris, France, 26pp
- [2] CEN (2009) EN 13230-2 *Railway applications-Track-Concrete sleepers and bearers-Part 2: Prestressed monoblock sleepers*, Brussels, Belgium, 28pp
- [3] ERRI (1991) ORE D170 RP4, Utrecht, Netherlands
- [4] RTRI (2012) Railway structure design criteria-explanation, Japan, pp. 141-151.
- [5] Standart Australia International (2003) AS 1085 *Railway track material Part 14 : Prestressed concrete sleepers*, Sydney, Australia, 60pp