

한국 도로교설계기준(한계상태설계법)을 위한  
통합 하중-저항계수

이해성 이호현

2021.04.

Ver. 1.2

서울대학교 건설환경공학부 구조해석연구실

서울대학교 교량설계핵심기술연구단

이해성  
서울대학교 건설환경공학부 교수

이호현  
서울대학교 교량설계핵심기술연구단 선임연구원

© 2020 서울대학교 산학협력단(교량설계핵심기술연구단)

이 문서는 대한민국 저작권법에 의하여 보호받는 저작물입니다.

저작권자의 사전 동의 없이 이 문서의 전부 혹은 일부를 전재할 수 없습니다.

## 머리말

한국 도로교설계기준(한계상태설계법)에 적용할 수 있는 통합된 새로운 하중-저항계수체계를 설계기준의 형식으로 이 문서에 기술하였다. 제시된 하중-저항계수체계는 대한민국 정부기관의 심사를 거친 공인된 규정이 아니며 이해성(2019a)의 연구 결과를 설계기준 형식으로 정리한 것으로서, 앞으로의 도로교설계기준(한계상태설계법) 개정 작업에서 집필진이 참고자료로서 활용할 수 있도록 작성한 것이다. 제시된 하중-저항계수를 결정하는 배경 이론은 2016년부터 국토교통부가 지원하고 있는 케이ابل교량글로벌연구단 제2세부과제에서 도출된 연구 성과물이다(이해성 2019a). 새로운 하중-저항계수는 다양한 검토 과정을 거쳐 결정하였으나, 실제 설계기준 작성시에는 집필진의 견해에 따라 제시된 하중-저항계수체계를 적절히 수정 보완할 수도 있을 것이다. 이 문서에는 도로교설계기준의 총칙과 하중저항계수에 해당하는 1장과 3장 만이 포함되어 있다. 1장의 경우 현 설계기준 규정의 자구를 약간 수정하여 수록하였으며, 3장의 대부분 내용은 기존의 설계기준과 동일하고 풍하중, 지진하중 그리고 하중-저항계수 체계만 다르기 때문에 현 도로교설계기준(한계상태설계법) (국토교통부 2015; 국토교통부 2016)과 동일한 규정은 해당 내용을 인용하는 것으로 가름하였다. 이 문서에 수록된 내용은 공인받은 설계기준은 아니지만 편의상 제시된/제안된 설계기준으로 지칭한다.

현재 국내의 도로교설계기준은 일반교에 대한 도로교설계기준(한계상태설계법)(국토교통부 2015)과 케이블 지지 장대교량에 대한 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(국토교통부 2016)가 있고, 이 두 설계기준에서 서로 다른 하중-저항계수 체계를 적용하고 있어 통합된 개념에서 유도되는 새로운 체계가 필요하다. 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편에서는 상당히 정교한 과정을 거쳐 하중-저항계수를 결정하였으나 상당 부분을 일반교 설계기준에서 인용하여 일반교에 대한 하중-저항계수 체계에서 완전히 탈피하지 못하였다. 국내 설계기준에서 사용하여 왔던 한계상태와 그에 따른 하중-저항계수체계는 상당 부분 미국의 AASHTO LRFD 교량설계기준(AASHTO 2014)을 따르고 있다. 이해성(2019a)은 AASHTO LRFD 교량설계기준의 하중-저항계수체계의 여러가지 문제점을 지적하고 보다 체계적인 하중-저항계수 결정법을 최적화기법에 기반하여 제시하였다. 이해성(2019a)이 제시한 하중-저항계수체계는 AASHTO LRFD 교량설계기준의 체계에서 완전히 탈피한 독립적인 체계이다. 전체 하중효과에 대하여 각각 하중효과가 차지하는 비율을 하중비로 정의하고 이 하중비에 의하여 극한한계상태를 정의하여 일반교와 케이블교량에서 통합적으로 사용할 수 있는 하중-저항계수체계를 제시하였다. 제안된 하중-저항계수 체계는 상당히 복잡하지만 잘 정립된 수학적 이론에 근거하고 있기 때문에 설계조건(예를 들어 설계수명, 목표신뢰도 등)이 바뀐다고 하더라도 이해성(2019a)이 제시한 신뢰도기반 하중-저항계수 결정법에 따라 주어진 설계조건에 특화된 하중-저항계수를 쉽게 유도할 수 있고, 하중-저항계수의 물리적 의미가 명확히 정의되어 보다 합리적인 설계가 가능하게 된다. 이 문서에 제시된 하중-저항계수체계의 중요한 특징은 다음과 같다.

## 1. 통계자료와 목표신뢰도지수

AASHTO LRFD 교량설계기준이나 유로코드와 같이 국제적으로 널리 사용되고 있는 대부분의 신뢰도기반 교량설계기준에서는 하중-저항계수를 계산하기 위하여 적용된 통계자료를 제시하지 않고 있다. 신뢰도기반 하중-저항계수는 각 설계변수의 불확실성을 고려하여 결정되기 때문에 각 설계변수의 불확실성을 나타내는 통계자료가 정의되지 않은 상태에서 주어지는 하중-저항계수는 아무런 공학적 의미가 없다. 이 문서에서 제시하는 설계기준 1장에서 각 설계변수에 대한 통계특성치를 정의하였다.

신뢰도기반 설계기준이 추구하는 구조물의 안전성은 목표신뢰도(target reliability) 혹은 목표신뢰도지수(target reliability index)에 의하여 정의된다. AASHTO LRFD 설계기준과 도로교설계기준(한계상태설계법)에서는 중력하중이 지배하는 한계상태에 대한 목표신뢰도지수를 각각 3.5와 3.72로 설정하고 있다. 신뢰도기반 설계개념을 적용한 설계에서는 모든 부재가 각 한계상태에서 설계기준이 추구하는 목표신뢰도를 허용오차 범위 내에서 만족시켜야 한다. 따라서 모든 극한한계상태에서 설계기준이 추구하는 목표신뢰도가 정의되어야 하며, 이 목표신뢰도가 정의되지 않는 극한한계상태는 신뢰도기반 설계법 관점에서 무의미하다. 국제적으로 통용되고 있는 여러 설계기준에서 풍하중 및 지진하중 조합에 대한 명확한 목표신뢰도를 명기하지 않고 있으므로 풍하중 및 지진하중 지배 한계상태에서 적용되고 있는 하중-저항계수의 타당성을 검증할 수 없다. 새로 제시된 하중-저항계수체계에서는 현재 도로교설계기준(한계상태설계법)에서 규정된 기본풍속과 설계지반가속도가 확보하는 신뢰도를 분석하고 목표신뢰도지수를 설정하여 모든 극한한계상태의 목표신뢰도를 정의하였다.

## 2. 재해하중에 대한 설계수명대비 재현주기 비(RRD) 개념도입

기존의 국내외 설계기준에서 강풍이나 강진과 같이 자연 재해와 관련한 하중을 정의하기 위하여 재현주기 개념을 사용하여 왔다. 일반적으로 하나의 설계기준에서는 교량수명이 고정되어 있으나 반드시 고정된 설계 수명을 적용할 필요는 없으며 교량의 사회적 중요도 또는 역할에 따라 설계수명을 설계자나 발주자가 지정할 수도 있어야 한다. 새로운 하중-저항계수체계에서는 교량의 수명을 100년 혹은 200년으로 지정할 수 있게 하였기 때문에 서로 다른 설계수명에 대하여 동일한 신뢰도를 보장하기 위하여는 설계수명과 재해하중의 재현주기를 동시에 고려하여야 재해하중을 정의하여야 한다. 이는 교량 수명이 길어지면 긴 재현주기의 자연재해 하중을 고려하여야 만이 동일한 신뢰도를 보장할 수 있기 때문이다. 이해성 (2019a)의 연구에서 재해하중에 대한 신뢰도는 재현주기가 아닌 설계수명대비 재현주기 비(Ratio of return period to design life; RRD)가 지배한다는 것을 보였으며, 이 연구 결과를 적용하여 설계풍속과 설계지반가속도를 RRD에 의하여 규정하였다.

### 3. 하중-저항계수

2020년 현재 사용되고 있는 도로교설계기준(한계상태설계법)의 극한한계상태 및 하중-저항계수 체계와 완전히 다른 체계를 제시하였다. 8종의 극한한계상태를 사용하였으며 각 한계상태의 순서와 정의를 개정하였다. 기존의 체계에서는 저항계수와 고정하중계수가 모든 한계상태에 대하여 동일한 값을 사용하고 있으니, 새로 제안하는 체계에서는 각 한계상태에서 저항계수와 고정하중계수가 모두 다르게 정의된다. 이는 고정하중과 저항에 대한 한계상태를 지배하는 변동하중의 상대적 통계특성에 따라 저항계수와 고정하중계수가 달라지기 때문이다(이해성 2019a). 현 도로교설계기준(한계상태설계법)에는 하중계수는 하중편에서 저항계수는 각 부재설계편에서 분리되어 정의되고 있으나, 하중-저항계수는 하나의 한계상태에서 정의되는 계수이기 때문에 분리하여 정의할 수 없고 반드시 같이 정의되어야 한다. 이 설계기준에서는 하중계수와 저항계수를 모두 3장에서 규정하였다.

현재 설계기준에서는 콘크리트부재에 대하여 재료계수를 사용하고 있으나, 이 문서에서 제시된 하중-저항계수체계에서는 부재저항계수를 적용하였다. 이해성 등(2019b)의 연구에서 현재 도로교설계기준(한계상태설계법)과 유로코드에서 규정하고 있는 재료계수 체계의 문제점을 지적하였다. 국내 설계기준의 재료계수는 신뢰도이론에 기반하고 있지 않고 유로코드에서 적용하고 있는 재료계수는 신뢰도개념에 기반하고 있지만 유도과정의 문제점때문에 신뢰도기반 설계기준에 도입하기가 부적절하다. 재료계수를 실제 설계기준에 도입하기 위하여는 그 개념과 적용성에 대한 심도 깊은 신뢰도 관점에서의 연구가 선행되어야 할 것이다. 이 문서에서 제시하고 있는 각 극한한계상태의 저항계수와 하중계수는 RC 부재의 저항계수가 0.9로 고정되었을 때의 상대적인 값이다(이해성 2019a).

휨과 전단의 저항강도에 대한 부재 종류 별 통계특성은 이미 여러 국내외 연구자들에 의하여 발표되어 있기 때문에 이 자료 중에서 신뢰성 높은 자료를 선택하여 이 설계기준에서의 하중-저항계수를 산정하였다. 그러나 휨과 전단을 제외한 하중효과(예로서 비틀이나 압축 같은 하중효과)의 경우 발표되었거나 일반적으로 인정되는 저항강도의 확률모델이 없기 때문에 신뢰도 계산을 통하여 한계상태에 대한 하중-저항계수를 산정할 수 없다. 원칙적으로는 각 하중효과의 저항강도에 대한 통계모델을 정립한 후 하중-저항계수를 결정하여야 하지만, 저항강도에 대한 통계모델을 정립하기 위하여는 장기간에 걸친 별도의 실험적 연구가 필요하고 많은 시간과 비용이 필요하기 때문에 현 단계에서는 불가능하다. 한편 AASHTO LRFD 설계기준에서는 휨과 전단을 제외한 다양한 하중효과에 대하여 저항계수를 정의하고 있으나, 이 저항계수가 어떤 통계자료에 의하여 계산되었다고 판단할 수 없으며 아마도 과거의 경험에 근거하여 휨 저항계수에 대한 상대적 크기로 결정한 것으로 추정하였다. 이러한 추론에 의하여 휨과 전단을 제외한 하중효과에 대한 저항계수는 이 설계기준에서 제시한 휨 저항계수에 하중효과 보정계수를 곱하여 결정하는 것으로 규정하였으며, 여기서의 하중효과 보정계수는 AASHTO LRFD 설계기준에서 제시하고 있는 각 하중효과 저항계수의 휨 저항계수에 대한 비로서 정의하였다.



# 제 1 장

## 총 칙





## 목 차

제 1 장 총 칙.....	1-1
1.1 적용 범위.....	1
1.2 용어.....	1
1.3 기호.....	4
1.4 설계개념.....	5
1.4.1 설계수명대비 재현주기 비(RRD).....	6
1.5 설계원칙.....	7
1.5.1 한계상태.....	7
1.5.2 교량의 설계수명.....	9
1.5.3 교량의 등급.....	10
1.6 품질보증 요건.....	11
1.7 설계도에 기재할 사항.....	11
1.8 기록.....	12
1.8.1 교량대장.....	12
1.8.2 교명판.....	12



## 제 1 장 총 칙

### 1.1 적용 범위

- (1) 이 설계기준의 규정은 대한민국 영토 내에서 건설 혹은 사용되는 도로교의 설계, 평가 및 보수에 적용한다.
- (2) 일반적으로 알려진 이론이나 실험에 의해 기술적으로 증명된 사항에 대해서는 이 설계기준의 규정을 대체하거나 수정, 보완할 수 있다.
- (3) 장대교량 혹은 특수교량의 설계를 위하여 필요한 경우에는 설계자가 대상 교량에 대한 특별설계기준을 작성하고 발주자의 승인을 받아 적용할 수 있다.
- (4) 이 설계기준은 설계자의 판단을 대체하기 위한 것이 아니고 공공의 안전을 위해 필요한 최소 필요조건을 기술한 것이다. 발주자 또는 설계자는 최소필요조건보다 높은 수준의 설계나 재료 및 시공의 품질을 요구하거나 설정할 수 있다.
- (5) 이 설계기준에는 고정교와 가동교가 포함되나 가동교의 기계적, 전기적인 사항, 특수차와 보행자 안전에 관한 사항은 취급되지 않았으며 철도, 궤도차량 또는 공공설비 전용교량에 대한 규정도 포함되지 않았다.

### |해설|

- (1) 대한민국 도로교통법에서 규정하는 도로상에 건설되는 교량은 이 설계기준의 규정에 따라 설계되어야 한다. 이 설계기준의 규정은 교량의 안전성을 확보하기 위해 필요한 최소한의 요구조건을 제시한 것이다. 기존에는 일반교량과 케이블교량에 대한 하중-저항계수는 각각 도로교설계기준(한계상태설계법)과 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편에서 상이하게 정의하였다. 이 설계기준에서는 이해성(2019a)의 연구에 근거하여 통합된 하중-저항계수를 제시한다. 하중비를 기준으로 한계상태와 하중-저항계수를 설정하면 일반교량 및 케이블교량을 구분할 필요가 없다.
- (2) 널리 알려진 이론이나 시험에 의해 기술적으로 증명된 사항에 대해서는 발주자의 승인을 받아 이 설계기준의 규정을 대체할 수 있다. 이 설계기준에 규정되어 있지 않은 사항이 여타의 국가 공인 설계기준에서 다루어 지고 있다면 그러한 설계기준을 준용할 수 있다. 설계기준 내용 중 "할 수 있다"라는 표현은 제시된 기준을 적용하거나 LRFD의 설계방식과 부합하고 적절하게 문서화되고 공인된 다른 기준을 적용할 수도 있다는 것을 의미한다.
- (3) 케이블교량의 설계에서는 정형화할 수 없는 매우 다양한 조건을 고려하여야 하는 경우가 종종 발생하기 때문에 설계자가 이 설계기준의 규정이 유효하지 않거나 비합리적인 것으로 판단할 경우 별도의 특별설계기준을 작성하여 발주자의 승인을 받아 사용할 수 있다. 특별설계기준의 각 규정의 이론적 근거를 입증할 수 있어야 한다.
- (4) 이 설계기준의 규정은 설계의 목적에만 적용되기 위한 것으로서 원칙적으로 가설관리 등 다른 목적에는 적용할 수 없다. 예를 들어 3장에서 정의한 제작 및 가설오차 규정은 설계 시 검토되어야 할 각종 오차를 포괄하여 검토 기준을 제시하였으나 이 값들이 실제 가설관리 등의 기준 값으로 적용되어야 한다는 것을 의미하지 않는다.

### 1.2 용어

#### 가동교

차량 또는 선박에 대한 다리밑공간이 가변적인 교량

**고정교**

차량 또는 선박에 대한 다리밑공간이 고정되어 있는 교량

**공칭저항**

설계기준에 명시된 규격, 허용응력, 변형 또는 규정된 재료강도에 의해 산출되는 구성요소 또는 연결부의 하중효과에 대한 저항

**공칭하중**

설계기준에 명시된 하중 또는 하중효과

**구조해석모델**

해석을 위한 구조물의 이상화

**극단상황한계상태 (accidental(extreme event) limit state)**

교량의 설계수명을 초과하는 재현주기를 갖는 지진과 케이블 파단, 그리고 유빙하중, 차량과 선박의 충돌 등과 같은 사건과 관련한 한계상태

**극한한계상태 (ultimate(strength) limit state)**

설계수명 동안 강도, 안정성 등 붕괴 또는 이와 유사한 형태의 구조적인 파괴에 대한 한계상태

**기술자**

교량설계의 책임자

**다재하경로 구조물**

하중을 지지하는 주된 구성요소 또는 연결부의 하나가 기능을 상실한 경우에도 규정하중을 지지할 수 있는 구조물

**목표신뢰도지수**

구조물이 목표로 하는 안정성을 결정하는 신뢰도지수로서, 일반적으로 기존 구조물들의 안전성(신뢰도지수)과 사회, 경제적 측면을 고려하여 결정

**발주자**

교량에 대한 관할권을 가진 개인 또는 기관

**보수·보강**

교량의 내구성이나 내하력, 강성 등의 역학적 성능을 회복 또는 향상시키는 작업

**부 부재**

케이블교량의 부재를 중요도에 따라 구분하는 경우에 주 부재 이외의 부재를 일컬으며, 케이블 밴드, 포장 및 도장, 신축이음장치, 각종 기계장치, 교량받침 등이 이에 속함.

**붕괴**

교량의 사용불능을 초래하는 기하구조의 심한 변형

**사용수명**

교량을 구성하는 구조부재가 사용될 것으로 기대되는 기간

**사용한계상태 (serviceability limit state)**

균열, 처짐 등의 사용성에 관한 한계상태로서, 일반적으로 구조물 또는 부재의 특정한 사용 성능에 해당하는 한계상태

**설계수명**

구조물 또는 부재를 대대적인 보수 없이 소정의 유지관리를 통해 의도한 목적대로 사용할 수 있는 기간으로서 풍하중, 지진하중 등 변동하중의 통계적 산출 근거 기간으로 이 설계기준의 경우 100년 또는 200년

**신뢰도**

구조물이나 구조부재가 설계 요구조건을 만족시키는 능력의 정도

**신뢰도지수**

파괴확률  $p_f$  를 대신하여 신뢰도를 나타내기 위하여 사용하는 지수로  $\beta$  로 표현한다.

$\beta = -\Phi^{-1}(p_f)$  로 정의하며, 여기서  $\Phi^{-1}$  은 표준정규분포 누적분포함수의 역함수이다.

**여용성(Redundancy)**

부재나 구성요소의 파괴가 교량의 붕괴를 초래하지 않는 성능

**연성(Ductility)**

비탄성응답을 허용하는 구성요소 또는 접합부의 특성

**저항계수**

부재나 재료의 공칭값에 곱하는 통계기반 계수이며, 일차적으로 재료와 치수 및 시공의 변동성과 저항모델의 불확실성을 고려하기 위한 계수이다. 보정과정을 통하여 하중의 통계특성과도 연관되어 있다.

**정상상태**

특별허가차량의 통행, 25m/s를 초과하는 바람, 그리고 세굴 등의 극단 상황을 제외한 조건

**주 부재**

케이블교량의 부재를 중요도에 따라 구분하는 경우에, 부재가 파괴되었을 때, 교량 전체의 안정성을 심각하게 저하시킬 수 있는 부재를 일컬으며, 케이블, 거더, 주탑 및 주탑새들, 주탑기초, 앵커리지, 스프레이새들, 앵커블록이 이에 속함.

**중요도(Operational Importance)**

도로 기능상 교량의 중요한 정도

**특등급 교량**

1등급 케이블교량과 구분하여 발주자의 지정으로 매우 높은 중요도를 가지도록 설계되는 케이블교량이며, 1등급 교량과 별도로 정의된 하중-저항계수를 적용하여 설계한다. 특등급 교량의 설계수명은 100년 혹은 200년으로 설정할 수 있으며, 설계수명에 따라 정의되는 풍하중 및 지진하중을 적용한다.

**평가**

기존 교량의 내하력 결정

**피로와 파단한계상태(Fatigue and Fracture Limit State)**

반복적인 차량하중에 의한 피로파괴 및 파단에 관한 한계상태

**하중계수**

하중효과에 곱하는 통계에 기반한 계수이며, 일차적으로 하중의 가변성, 해석정확도의 결여 및 서로 다른 하중의 동시작용확률을 고려하며, 계수 보정과정을 통하여 저항의 통계와도 연관되어 있다.

**하중계수**

교량의 연성, 여용성 및 중요도를 고려한 계수

**하중효과**

작용하중, 부과된 변형, 체적변화로 인하여 발생하는 변형, 응력 또는 단면력(축력, 전단력, 비틀림모멘트, 또는 휨모멘트)

**한계상태 (Limit State)**

교량 또는 구성요소가 사용성, 안전성, 내구성의 설계규정을 만족하는 최소한의 상태로서, 이 상태를 벗어나면 관련 성능을 만족하지 못하는 한계

**1등급 교량**

이 설계기준의 기본적인 중요도를 가지는 케이블교량이며, 이 기준에서 정의하는 하중계수 및 구조별로 주어진 저항계수를 적용하여 설계한다. 교량의 설계수명은 100년 혹은 200년으로 설정할 수 있으며, 설계수명에 따라 정의되는 풍하중 및 지진하중을 적용한다.

**1.3 기호**

$N_{EQ}$	지진하중의 RRD (1.4)
$N_i$	설계하중 $i$ 의 RRD (1.4.1)
$N_{WS}$	풍하중의 RRD (1.4)
$p_f$	파괴확률 (1.2)
$Q$	하중계수를 고려한 총 설계하중효과 (1.5.1)
$Q_i$	하중효과 (1.5.1)
$R$	기본풍속 또는 지반가속도의 재현주기 (1.4.1)
$R_n$	단면의 공칭저항 (1.5.1)
$R_r$	계수저항: $R_r = \phi R_n$ 을 적용 (1.5.1)
$t_d$	교량의 설계수명 (1.4.1)
$V_{10}$	개활지의 지상 10m 위치에서 측정된 10분 평균 풍속 (1.4)
$\gamma_i$	하중계수: 하중효과에 곱하는 통계기반 계수 (1.5.1)
$\delta_{V_{10}}$	$V_{10}$ 의 변동계수 (1.4)
$\delta_{WS}$	풍하중의 변동계수 (1.4)
$\beta$	신뢰도지수 (1.2)
$\kappa$	오일러 상수 (1.4)
$\lambda_{EQ}$	지진하중의 편심계수 (1.4)
$\lambda_{WS}$	풍하중의 편심계수 (1.4)
$\phi$	저항계수 (1.5.1)

## 1.4 설계개념

이 설계기준은 구조신뢰성이론(structural reliability theory)에 기반한 하중-저항계수설계법(Load-resistance factor design; LRFD)을 근간으로 하여 작성되었다. LRFD 설계법에서 사용하는 하중-저항계수를 결정하기 위하여는 각 설계변수에 대한 통계특성이 필요하며, 이 설계기준에서는 표 1.4.1에서 보이고 있는 통계특성을 적용하여 하중-저항계수를 산정하였다, 표에서 주어진 통계특성이 변경될 경우에는 이 기준에서 제시한 하중-저항계수를 재설정하여야 한다.

표 1.4.1 국내 저항강도 및 하중효과의 통계특성

확률변수		편심계수	변동계수	분포함수	참조	
저항강도	휨모멘트	RC	1.229	0.130	대수정규	Paik et al. 2009
		ST	1.180	0.093	대수정규	신동구 등 2006
		PC	1.056	0.073	대수정규	Paik et al. 2009
	전단	RC	1.289	0.144	대수정규	Paik et al. 2009
		ST	1.224	0.115	대수정규	Bae 2016
		PC	1.274	0.139	대수정규	Paik et al. 2009
하중효과	DC(공장제작)	1.03	0.08	정규	Nowak 1999	
	DC(현장제작)	1.05	0.10	정규	Nowak 1999	
	DC(케이블)	1.00	0.06	정규	이승한 2014	
	DW	1.00	0.25	정규	Nowak 1999	
	LL	1.00	0.20	대수정규	이승한 2014	
	LL(중차량) <sup>1)</sup>	1.00	0.08	대수정규	이해성 2019a	
	WS	식 (1.4.1)	식 (1.4.1)	검블	Lee and Kim 2019	
	WS(통행제한풍속)	1.0	0.16	감마 <sup>2)</sup>	이해성 2019a	
	EQ	식 (1.4.2)	1.5082	대수정규	임현홍 2019	

1) 모든 차축하중을 정확히 측정하였을 경우에 해당

2) 신뢰도해석에서는 대수정규분포 적용

자연재해하중(풍하중, 지진하중)의 통계특성은 설계수명대비 재현주기 비(Ratio of return period to design life; RRD)에 대한 함수로 표현할 수 있다. 바람이 구조물에 유발하는 풍하중의 통계특성은 다음과 같다.

$$\lambda_{WS} = \frac{0.986 + 0.239\delta_{V_{10}}}{(1 + \sqrt{6}\delta_{V_{10}} (\ln N_{WS} - \kappa) / \pi)^2}, \quad \delta_{WS} = 0.077 + 1.910\delta_{V_{10}} \quad (1.4.1)$$

여기서,  
 $\lambda_{WS}$  = 풍하중의 편심계수  
 $\delta_{V_{10}}$  = 연최대  $V_{10}$ 의 변동계수  
 $N_{WS}$  = 기본풍속의 RRD  
 $\kappa$  = 0.5772(오일러 상수)  
 $\delta_{WS}$  = 풍하중의 변동계수

지진하중의 편심계수는 다음과 같다.

$$\lambda_{EQ} = 1.6473(N_{EQ})^{-0.4045} \quad (1.4.2)$$

여기서,  
 $\lambda_{EQ}$  = 지진하중의 편심계수  
 $N_{EQ}$  = 지진하중의 RRD

**[해설]**

- 하중-저항계수는 구조물의 안전을 확보하기 위하여 하중효과와 저항에 곱하는 계수로서 주어진 공칭 하중효과와 저항이 각 한계상태별로 정의된 목표신뢰도를 만족시킬 수 있도록 신뢰성이론에 의하여 결정된다. 이 설계기준은 이해성(2019a)이 제안한 신뢰도기반 하중-저항계수 결정법을 도입하였다. 하중-저항계수는 각 한계상태를 구성하는 저항과 하중효과의 불확실성 고려하여 결정되기 때문에 하중-저항계수 설계기준에서는 각 설계변수의 통계적 특성이 반드시 명기되어야 한다. 대부분의 국내외 설계기준에서는 각 설계변수의 통계특성을 명기하지 않고 있으나, 각 설계변수의 통계적 특성이 적절히 정의되지 않으면 하중-저항계수를 산정할 수 없기 때문에 설계변수에 대한 통계특성이 반드시 주어져야 한다. 이 설계기준에서 적용한 통계특성은 표 1.4.1과 같으며 그 출처는 이해성(2019a)의 저서에서 인용하였다. 표 1.4.1에 주어진 통계특성은 여러 참고문헌에서 제시된 신뢰할 수 있는 자료를 선별한 것이다. 그러나 아직도 LFRD설계법에서 필요한 여러 통계자료는 현재 매우 제한적으로 알려져 있기 때문에 지속적인 연구를 통하여 신뢰도 높은 통계자료를 구축하여야 할 것이다. 통계특성이 변경되면 적절한 신뢰성이론을 사용하여 모든 하중-저항계수를 다시 산정하여야 한다.
- 이 설계기준에서 사용된 풍하중과 지진하중의 통계특성은 국내자료를 이용한 몬테카를로 모사법에 의하여 결정된 것이다. 자세한 사항은 이해성(2019a)의 연구에 기술되어 있다.

**1.4.1 설계수명대비 재현주기 비(RRD)**

풍하중과 지진하중의 산정을 위한 기본풍속 및 지반가속도는 설계수명대비 재현주기비(RRD)를 기준으로 결정한다. RRD는 다음과 같이 정의한다.

$$N_i = \frac{R}{t_d} \quad (1.4.3)$$

여기서,  
 $N_i$  :  $i$  하중의 RRD



$R$  : 기본풍속 또는 지반가속도의 재현주기

$t_d$  : 교량의 설계수명

#### [해설]

- 기존의 국내외 설계기준에서 강풍이나 강진과 같이 자연 재해와 관련한 하중을 정의하기 위하여 재현주기 개념을 사용하여 왔다. 그러나 다양한 교량의 설계수명에 대하여 동일한 신뢰도를 보장하기 위하여는 설계수명과 자연재해의 재현주기를 동시에 고려하여야 한다. 즉 교량 수명이 길어지면 긴 재현주기의 자연재해 하중을 고려하여야 만이 동일한 신뢰도를 보장할 수 있다. 이해성 (2019a)의 연구에서 재해하중에 대한 신뢰도는 재현주기가 아닌 RRD가 지배한다는 것을 보였으며, 이 설계기준에서는 이 연구 결과를 적용하였다.

### 1.5 설계원칙

교량은 점검, 경제성 및 미관에 대해 적절히 고려를 하면서 시공성, 안전성 및 사용성의 목표를 달성할 수 있도록 규정된 한계상태, 연성 그리고 여유성을 만족시키도록 설계되어야 한다. 또한 케이블교량의 주탑 및 케이블과 같은 주요부재의 낙뢰로 인한 피해에 대하여 검토하여야 한다.

#### [해설]

- 한계상태(Limit States)는 설계수명 동안 교량이 여러가지 외부하중에 대하여 충분한 안전도를 확보하고 그 기능을 원활히 수행하기 위한 다양한 조건을 정의한 것이다.
- 낙뢰로 인한 교량이 손상될 확률은 매우 낮지만 낙뢰로 인한 화재로 인하여 서해대교의 사장케이블이 파단된 사례가 있으므로, 장대 케이블교량의 설계단계에서 낙뢰로 인한 피해 가능성을 검토하도록 하였다.

#### 1.5.1 한계상태

별도의 규정이 없다면 교량의 모든 부재와 연결부는 각 한계상태에 대하여 식 (1.5.1)을 만족하여야 한다. 모든 한계상태는 동등한 중요도를 갖는 것으로 고려한다.

$$Q = \sum \gamma_i Q_i \leq \phi R_n = R \quad (1.5.1)$$

여기서,

$Q$  = 하중계수를 고려한 총 설계하중효과

$R$  = 계수저항

$Q_i$  = 공칭하중효과

$R_n$  = 공칭저항

$\gamma_i$  = 하중계수

$\phi$  = 저항계수

#### [해설]

- 한계상태는 구조물 또는 구조부재의 안전과 파괴의 경계상태를 의미한다. 여기서 안전은 구조물이 설계목적에 맞게 거동하는 상태이고 파괴는 그러하지 못하는 상태를 의미한다. 구조물에 재하되는 하중의 종류 및 그 조합에 따라 발생할 수 있는 다양한 형태의 파괴상태를 한계상태에 의하여 정의한다. 식 (1.5.1)은 한계상태설계법에서 사용하는 기본적인 설계식이며, 하중-저항 계수는 각 한계상태별로 3장에 자세히 정의되어 있다.

- 각종 하중에 의해 발생하는 하중효과는 일반적으로 탄성해석에 의해 결정하지만, 구조부재와 접합부 혹은 연결부의 저항은 비탄성 거동을 고려하여 의하여 결정되기 때문에 하중효과와 저항의 산정 방법이 일반적으로 일치하지 않는다. 이러한 불합치성은 거의 대부분의 설계기준에서 인정되고 있다. 많은 설계기준에서 이러한 불일치성을 인정하는 이유는 비탄성영역에서 구조물 거동에 대한 공학적 지식이 불완전/불확실할 뿐아니라 하중효과를 비탄성영역에서 계산하려면 설계과정이 너무 복잡해지기 때문이다.
- 연성, 여유성, 구조물의 중요도는 교량의 안전여유도에 영향을 주는 중요한 요소이다. 연성과 여유성은 물리적 강도와 직접 관련된 것이며, 구조물의 중요도는 교량의 사용불능 상태가 초래할 수 있는 사회적 또는 국가적인 손실 규모에 따라 결정되는 지표이다. 도로교설계기준(한계상태설계법)(국토교통부 2015)에서 이러한 요소들을 고려하기 위하여 추가의 계수를 하중효과 항에 고려하고 있다. 그러나 이러한 추가의 계수에 대한 정확한 정의가 없고 단순한 선언적 의미로 사용되고 있어 이 설계기준에서는 도입하지 않는다. 전술한 바와 같이 이 설계기준에서 제시하고 있는 규정은 최소한의 요구조건이므로 교량설계자의 판단에 따라 추가의 안전도를 확보하기 위하여 필요요구저항을 적절히 수정할 수 있다.

### 1.5.1.1 사용한계상태

사용한계상태는 일상적인 사용조건 하에서 응력, 변형 및 균열폭을 제한하는 것으로 규정한다.

#### [해설]

- 사용한계상태(Serviceability Limit State)는 설계변수의 불확실성을 고려하여 통계적으로 정의되지 않으며 주로 과거의 설계 경험을 바탕으로 결정된 한계상태이다. 이 설계기준에서 정의하는 사용한계상태는 국제적으로 널리 사용되는 신뢰도기반 설계기준을 참고하여 결정하였다.
- 사용한계상태에서 교량의 성능과 관련하여 다음과 같은 하중조합을 검토한다..
  - (1) 콘크리트 부재의 균열폭, 강재의 좌굴, PSC부재의 인장 등 주요 구조부재의 내구성 및 안전성과 관련된 하중조합
  - (2) 항로 관련 보강거더의 처짐, 철도하중 관련 보강거더의 꺾임각, 지진 시 신축장치 및 교좌장치 이의 이동량 등을 포함하는 전체 구조물의 변위 또는 변형과 관련된 하중조합
  - (3) 차량통행제한풍속에서의 바람에 대한 가속도, 현수교의 행어 또는 사장교 케이블의 진동 제어 등 주요 구조부재의 사용성에 대한 검토를 위한 하중 조합

### 1.5.1.2 피로와 파단한계상태

피로한계상태는 설계수명 동안 받을 것으로 예상되는 응력범위 반복횟수에 대해 피로설계트럭하중 1대에 의한 응력범위를 제한하는 것으로 규정한다. 파단한계상태는 「KS D 3515-용접구조물 압연강재」에 제시하고 있는 재료인성요구사항으로 규정한다.

#### [해설]

- 설계수명 기간 동안 부재의 파단을 막기 위해 반복하중 하에서 균열의 성장을 제한할 수 있다.
- 장대교량의 설계수명이 길어지면서 강부재의 피로수명 확보는 매우 중요한 설계 요소가 되기 때문에 용접상세 등을 교량의 설계 수명에 따라 적절히 개선해야 할 수 있다.

### 1.5.1.3 극한한계상태

극한한계상태는 교량의 설계수명 이내에 발생할 것으로 기대되는, 통계적으로 중요하다고 규정한 하중조합에 대하여 국부적/전체적 강도와 안정성을 확보하는 것으로 규정한다.

#### [해설]

- 극한한계상태(Ultimate(Strength) Limit State)는 각 구조부재의 안정성(Stability)과 항복(Yielding)을 고려한다. 교량의 어떤 한 부재 또는 연결부가 한계상태에 도달하면 교량 전체가 한계상태에 도달한 것으로 가정한다. 실제적으로 부정정 구조물에서는 몇 개의 부재가 한계상태에 도달하더라도 하중의 재분배 효과에 의하여 전체적인 교량의 안전성은 충분히 유지될 수도 있다. 이는 외부 하중이 모든 부재를 한계상태에 도달하도록 재하될 가능성이 매우 낮기 때문이다. 극한한계상태에서는 상당한 구조적 손상과 함께 응력재분배가 발생할 수 있으나 전반적인 구조적 일체성은 유지되는 상태로 고려하여야 한다.

### 1.5.1.4 극단상황한계상태

극단상황한계상태는 선박, 차량 혹은 유빙의 충돌, 강진, 케이블 파단 등과 같이 발생할 확률이 매우 낮은 사건에서 교량의 붕괴를 방지하기 위한 한계상태이다.

#### [해설]

- 극단상황한계상태는 교량의 설계수명 동안 발생 확률이 매우 낮은 하중에 대한 한계상태이다.

### 1.5.2 교량의 설계수명

설계수명이란 대대적인 보수 없이 소정의 유지관리를 통해 의도한 목적대로 사용할 수 있는 기간으로 일반교량의 경우 설계수명은 100년으로 설정한다. 케이블교량의 설계수명은 100년 혹은 200년으로 설정하되 교량의 공학적, 사회적, 경제적 역할을 고려하여 발주자가 결정한다.

#### [해설]

- 교량의 설계수명에 따라 통계에 기반한 변동하중의 공칭값이 결정되고, 또한 내구성 설계 및 피로 설계 등과 같이 시간과 관련한 부재 설계항목이 규정된다.
- 현재 국제적으로 적용되고 있는 대부분의 설계기준에서는 교량의 설계수명을 75 ~ 100년으로 설정하고 있다. 일반적으로 교량의 설계수명이 길어지면 재현주기에 의하여 결정되는 하중이 커지게 되므로 교량의 건설 비용과 설계수명 동안 필요한 유지 관리 비용이 증가하게 된다. 그러나 설계수명이 증가하면 교량이 제공하는 편익성을 장기간 유지할 수 있기 때문에 총 비용에 대한 편익성 비(Benefit/Cost ratio; B/C ratio)는 오히려 증가할 수 있다. 따라서 발주자는 교량의 총 소요비용과 B/C ratio를 고려하여 적절한 설계수명을 결정하여 한다. 현재 사용하고 있는 일반 케이블교량에 비하여 규모가 상대적으로 큰 케이블교량에 대해서는 설계수명 100년을 기준으로한 건설비용이 이미 매우 고가이기 때문에 설계수명 200년을 보장하는 교량을 건설하기 위하여 필요한 비용의 증가분은 상대적으로 작을 수 있다. 특히 최근에는 건설 재료가 고강도화, 장수명화, 고신뢰도화되고 있으므로 200년 설계수명을 가지는 교량을 건설하기 위하여 필요한 추가의 건설 비용은 점차적으로 감소할 것으로 기대된다. 이러한 경우에는 교량의 설계수명을 200년으로 설정하는 것이 바람직하다. 또한, 교량의 사용불능상태가 발생하였을 때 재시공이 어렵거나, 재시공에 필요한 기간이 매우 긴 경우, 교량이 기념비적인 의미를 가지고 있어 오랜 시간 동안 사용할 필요가 있는 경우, 국토의 효율적인 사용을 위하여 매우 중요한 역할을 담당하고 있는 교량의 경우 등에도 설계수명을 200년으로 설정하는 것이 바람직하다.

- 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(국토교통부 2016)에서는 보수/보강 혹은 교체가 가능한 부재에 대해 교량 전체의 설계수명이 아닌 각 부재의 보수/보강, 교체주기에 따른 설계수명에 따라 저항계수를 약간 증가시키는 설계법을 허용하고 있다. 이러한 규정은 개념적으로는 매우 합리적인 접근법으로 판단되지만 교량 구조물에서 어떤 부재의 교체주거나 보수주기를 명시적으로 정하기가 어렵기 때문에 실제 설계에서 적용하기가 어려운 것으로 판단하여 이 설계기준에서 채택하지 않았다. 그러나 발주자가 동의할 경우 설계자의 판단에 따라 해당 규정을 적용할 수 있다.
- 참고로 Eurocode EN 1990에서는 구조물에 대한 설계수명을 아래와 같이 정의하고 있다.

해설 표 1.5.1 구조물에 대한 설계수명(Eurocode EN 1990)

등급	설계수명(년)	건물 및 토목공학 시설물 예
1	10	임시구조물
2	10 ~ 25	교체 가능한 구조 부속물(예 : 받침거더, 베어링 등)
3	15 ~ 30	농업용 구조물 및 유사 구조물
4	50	건물이나 기타 일반 구조물(예 : 병원, 학교)
5	100	기념비적인 건물, 교량, 기타 토목구조물(예 : 교회)

### 1.5.3 교량의 등급

(1) 일반교량

3장에 규정된 설계 차량활하중 KL-510으로 설계하는 교량을 1등교로 한다.

2등교는 1등교 활하중효과의 75 % 를 적용하며, 3등교는 2등교 활하중효과의 75 %를 적용한다.

(2) 케이블교량

케이블교량은 기본적으로 1등급의 등급을 가진다. 그러나 발주자가 지정하는 경우 특등급으로 설계한다.

(3) 교량의 등급은 발주자가 지정하여야 한다.

**[해설]**

(1) 고속국도 및 자동차 전용도로상의 교량은 1등교로 한다. 교통량이 많거나 중차량의 통과가 빈번한 특수산업시설에 인접한 지방도, 시도 및 군도상의 교량은 1등교로 설계함을 원칙으로 한다. 일반도로상의 교량이라도 사회적, 국가적 중요도가 높은 도로상에 가설하는 교량은 발주자의 판단에 의하여 도로등급에 상관없이 일등교로 설계할 수 있다. 일반국도, 특별시도와 지방도상의 교통량이 적은 교량은 2등교로 한다. 또한 시도 및 군도 중에서 중요한 도로상에 가설하는 교량은 원칙적으로 2등교로 한다. 산간벽지에 있는 지방도와 시도 및 군도 중에서 교통량이 극히 적은 곳에 가설하는 교량은 3등교로 한다. 교통량이 극히 적은 경우에는 예외적으로 발주자 또는 설계자의 판단에 의하여 3등교로 설계할 수 있다.

(2) 지금까지 국내 및 국제적으로 건설되어 안전하게 사용되고 있는 대부분의 케이블교량은 1등급 중요도를 적용하여 설계되었다. 따라서 이 설계기준에서도 원칙적으로 케이블교량의 등급을 1등급으로 정의한다. 다만, 발주자가 교량의 사용불가상태가 초래할 수 있는 결과(인명손실 및 경제

적, 사회적, 환경적 영향)를 고려하여 대상 교량의 등급을 특등급으로 지정할 수도 있도록 한다. 특등급교량의 설계를 위하여 별도의 하중계수를 사용한다.

- (3) 교량의 등급은 교량의 설계에 관한 기술적 사항과 무관하게 결정되는 정책적 고려 사항이므로 교량의 발주자 혹은 소유자가 지정하여야 한다.

## 1.6 품질보증 요건

구조물의 적절한 품질보증 요건을 만족시키기 위하여 설계자는 공사품질에 관한 특별 시방서를 작성하여야 하며, 도급자는 품질요건을 만족시키도록 품질관리를 실시하고, 구조물 소유주는 도급자의 직접고용자가 아닌 자로 감리 또는 감독체제를 구성하여 공사과정을 철저히 감독하여야 한다. 기본설계, 실시설계의 각 단계에서 설계 품질관리를 위한 검토가 이루어져야하며, 품질보증 활동과 관련된 수행과정과 결과는 기록으로 보존되어야 한다.

### [해설]

- 이 규정은 이전 설계기준에 없었던 것으로 품질관리의 중요성을 강조하기 위하여 신설하였다. 실제 경험으로부터 설계, 시공, 유지관리의 각 단계에서 품질관리 및 품질보증과 관련된 체계가 구조물의 안전도에 매우 중요한 역할을 한다는 것을 알 수 있었으며 이에 따라 구조물 소유주, 도급자, 설계자 모두 품질보증 활동에 특별히 유념해야 한다.

## 1.7 설계도서에 포함되어야 할 항목

설계도서에는 다음 사항이 포함되어야 한다.

노선명 및 교량 위치  
교량명  
책임기술자, 참여기술자  
설계년월일  
주된 설계조건 및 설계변경기록  
설계에 사용된 구조해석 혹은 설계 프로그램의 명칭, 버전 및 공개일자  
구조해석 모델 및 해석결과에 대한 전자 문서  
내진기준

### [해설]

- 설계도는 교량의 보수, 보강 및 기타의 유지관리를 위하여 필요한 것이므로, 차후 이용의 편의를 생각하여 최소한도로 필요한 기재사항을 정한 것이다.
- 교량은 그 사용기간이 길기 때문에 교량의 안전을 위협할 수 있는 다양한 사건이 발생할 수 있고 또한 교량의 안전성 및 사용성을 유지하기 위하여 지속적인 관리가 필요하다. 따라서 원래 교량이 설계된 조건, 해석 모델, 해석 결과 등을 교량의 설계 수명동안 CD 등과 같은 매체에 전자 문서의 형태로 보관하여야 한다. 보관용 문서의 종류는 발주자가 지정하여 교량의 발주시 설계자에게 제시하고, 설계자는 설계 성과물과 함께 보관용 문서를 장기 보관이 가능한 매체에 기록하여 발주자에게 제출하여야 한다. 발주자는 보관용 문서를 교량의 설계수명 동안 안전하게 보관하여 교량의 유지 보수가 필요할 경우 기술자들이 즉시 참고할 수 있도록 하여야 한다.

## 1.8 기록

### 1.8.1 교량대장

교량대장에는 교량길이, 교폭, 설계하중(시방서명), 설계지진도, 기초의 형식과 근입깊이, 지반조건, 주요 부분의 구조도, 준공년월일, 기타 장래의 유지관리에 필요한 사항을 기재하여 이것을 보관하여야 한다. 또한 교량에 관한 주요 정보를 전자 문서로도 보관하여야 한다.

#### [해설]

- 교량대장은 유지관리, 향후의 계획, 각종 조사를 위해 필요한 것이므로 이를 정비하고 보관하는데 있어서 특별히 유의하여 필요한 경우 즉시 활용할 수 있도록 한다.

### 1.8.2 교명판

교량에는 교명판을 부착시킴을 원칙으로 한다.  
교명판의 치수와 기재사항은 그림 1.8.1에 따르는 것을 표준으로 한다.

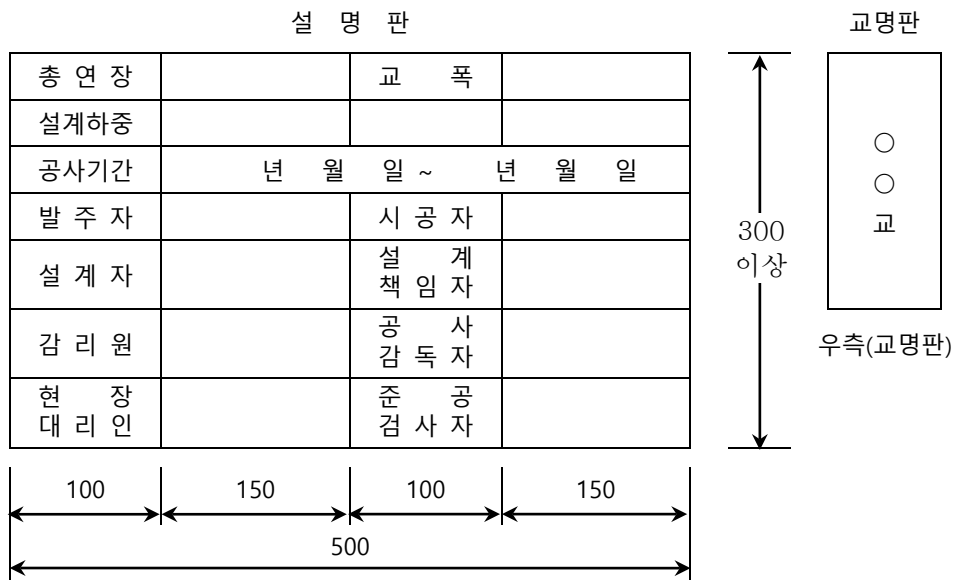


그림 1.8.1 교명판

#### [해설]

- 교명판은 장래의 교량에 관한 문제, 예를 들면 보수, 보강, 유지관리 등에 참고하기 위하여 설치한다. 제목이나 내용은 동일한 크기로 하며, 판과 다른 색을 칠하여 시인성이 양호하도록 한다. 설계자와 설계책임자는 해당 교량의 설계를 수행한 기관과 교량분야책임기술자를 기재한다. 감리원, 공사감독자 중 없는 항목의 경우에는 그 항목을 기재하지 않는다. 감리원, 공사감독자, 현장대리인 등은 공사기간 중 가장 오래 근무하였거나 주요 공종 시공시의 참여자를 기재한다.

# 제 2 장

## 설계개요





## 제 2 장 설계개요

이 장의 조항은 도로교설계기준(한계상태설계법) (국토교통부 2015)의 2장을 따른다.



# 제 3 장

## 하중조합 및 하중



## 목 차

<b>제 3 장 하중조합 및 하중</b> .....	<b>3-1</b>
3.1 적용 범위.....	1
3.2 용어.....	1
3.3 기호.....	1
3.4 한계상태의 정의.....	2
3.4.1 하중비.....	2
3.4.2 목표신뢰도지수.....	4
3.4.3 한계상태별 하중조합.....	4
3.5 하중의 종류와 기호.....	9
3.5.1 고정하중 : DC, DW.....	9
3.5.2 활하중 : LL, PL.....	9
3.5.3 충격하중 : IM.....	9
3.5.4 풍하중 : WS, WL.....	9
3.5.5 지진하중 : EQ.....	12
3.5.6 프리스트레스힘 : PS.....	14
3.5.7 콘크리트의 크리프 : CR.....	14
3.5.8 콘크리트의 건조수축 : SH.....	15
3.5.9 토압 : EH, EV, ES, DD.....	15
3.5.10 정수압, 유수압, 부력 : WA, BP.....	15
3.5.11 파압 : WP.....	15
3.5.12 온도변화 : TU, TG.....	15
3.5.13 설하중 및 빙하중 : IC.....	15
3.5.14 지반변동 및 지점이동의 영향 : GD, SD.....	15
3.5.15 원심하중 및 제동하중 : CF, BR.....	15
3.5.16 가설 시 하중 : ER.....	15
3.5.17 차량충돌하중 : CT.....	15
3.5.18 선박충돌 : CV.....	15
3.5.19 마찰 : FR.....	15
3.5.20 시공 중 발생하는 구속응력 : EL.....	16
3.5.21 케이블 교체 : PS1.....	16
3.5.22 케이블 파단 : PS2.....	16
3.6 하중의 조합 및 하중-저항계수.....	16
3.6.1 하중계수.....	16
3.6.2 저항계수.....	19



## 제 3 장 하중조합 및 하중

### 3.1 적용 범위

이 장은 교량의 설계에 사용되는 하중들에 대한 최소한의 요구조건, 적용한계, 한계상태 및 하중-저항계수에 대해 규정한다. 또한 이 규정은 기존 교량의 구조적 안전성 평가에도 적용될 수 있다. 이 규정들은 하중에 대한 최소 요구조건이므로, 필요한 경우 발주자의 판단에 따라 이 기준 이상의 하중을 사용할 수 있다.

### 3.2 용어

#### 공칭하중

설계기준에 명시된 하중 또는 하중 영향

#### 국부

요소 또는 요소의 부품에 관련된 항목

#### 변형

구조물의 기하학적인 변화

#### 상부구조

구조물 하부 및 기초를 제외한 부분. 케이블교량의 주탑은 상부구조로 분류할 수 있다.

#### 설계풍속

대상지역의 기본풍속(지표조도구분 II인 개활지에서 지상 10 m 높이에서의 10분 평균 풍속)을 토대로 지표조도의 영향을 고려하고 풍하중을 재하할 교량 부재의 고도를 반영하여 각 부재 별로 산정하는 설계용 풍속. 대상 부재가 거더인 경우에는 8장에서 정의하고 있는 설계기준풍속과 같다.

#### 지속하중

완성된 구조물에 영구적으로 작용하거나 또는 장기간에 걸쳐서만 변화하는 또는 그렇게 가정하는 힘이나 하중

#### 전체안정성

교대를 포함하는 사면 또는 구조체의 전체적인 안정성

#### 차량통행제한풍속

강풍에서 차량의 전도나 미끄러짐을 방지하기 위하여 차량의 통행을 제한하는 풍속. 통상 교면상 10분 평균 풍속 25 m/s를 의미함. 그러나 차량통행제한풍속을 별도로 결정한 교량의 경우에는 그 풍속을 적용

#### 충격하중계수

교량과 이동중인 차량간의 동적인 작용을 계산하기 위한 정적인 하중효과의 증가

#### 하부구조

교량의 상부구조를 지탱하며 지반과 연결시키는 부분구조계를 총칭하는 말로 교대와 교각 등이 이에 해당

#### 하중

구조물 또는 부재에 응력 및 변형의 증감을 유발시키는 외부에서 작용하는 일체의 작용

### 3.3 기호

$N_{WS}$	풍속의 RRD (3.5.4.1)
$(Q_i)_0$	$i$ 하중에 의한 공칭하중효과 (3.4.1)
$(T_i)_0$	$i$ 하중에 의한 케이블 공칭장력 (3.4.1)
$V_{10}$	지표조도구분 II 지역(개활지) 지상 10m 위치에서 측정된 10분 평균 풍속 (3.5.4.1)
$V_B$	기본풍속 (3.5.4.1)
$V_D$	설계기준풍속 (3.5.4.2)
$V_{G,m}$	관측소에서 측정한 풍속 (3.5.4.1)
$z_{,D}$	설계기준고도 (3.5.4.2)
$z_{,m}$	관측소 풍속 측정고도 (3.5.4.1)
$z_{G,D}$	표 3.5.1에서 주어진 교량부지의 경도풍고도 (3.5.4.2)
$z_{G,m}$	표 3.5.1에서 주어진 관측소의 경도풍고도 (3.5.4.1)
$\alpha_{,D}$	표 3.5.1에서 교량부지의 지표조도지수 (3.5.4.2)
$\alpha_{,m}$	표 3.5.1에서 주어진 관측소의 지표조도지수 (3.5.4.1)
$\delta_{V_{10}}$	설계수명동안 $V_{10}$ 의 변동계수 (3.5.4.1)
$\mu_{V_{10}}$	설계수명동안 $V_{10}$ 의 평균 (3.5.4.1)
$\zeta$	중력하중비 (3.4.1)
$\zeta_C$	케이블하중비 (3.4.1)
$\eta$	DC 하중비 (3.4.1)
$\xi$	고정하중비 (3.4.1)

### 3.4 한계상태의 정의

이 설계기준에서는 다음과 같은 4종류 한계상태를 고려한다

- (1) 극한한계상태
- (2) 극단상황한계상태
- (3) 사용한계상태
- (4) 피로 및 파단 한계상태

#### [해설]

- 이 설계기준은 기본적으로 신뢰도이론에 기반하여 하중-저항계수를 산정하고자 하였으며 이를 위해 하중비를 정의하고 이를 기준으로 한계상태를 정의하고자 하였다. 그러나 극한한계상태를 제외한 한계상태의 경우에는 국내외적으로 공인된 설계변수의 확률모형 등과 같이 신뢰도이론을 적용하기 위하여 필요한 자료가 없기 때문에 신뢰도기반 하중-저항계수를 결정할 수 없다. 따라서 이러한 한계상태들의 경우에는 기존 도로교설계기준(한계상태설계법)(국토교통부 2015) 및 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(국토교통부 2016)의 상응하는 한계상태를 준용하였다.

#### 3.4.1 하중비



하중비는 각 하중조합별 주요하중의 하중효과 간의 비로 이 설계기준에서 고려한 하중비는 다음과 같다.

(1) 고정하중비

고정하중비는 고정하중과 변동하중이 유발하는 공칭하중효과의 총합에서 고정하중에 의한 공칭하중효과가 차지하는 비를 나타낸다.

$$\xi = \frac{(Q_{DC})_0 + (Q_{DW})_0}{(Q_{DC})_0 + (Q_{DW})_0 + (Q_V)_0} \quad (3.4.1)$$

여기서,

$\xi$  : 고정하중비

$(Q_i)_0$  :  $i$  하중에 의한 공칭하중효과

$DC$  : DC 하중

$DW$  : DW 하중

$V$  : 변동하중

(2) DC 하중비

DC 하중비는 전체 고정하중에 의한 공칭하중효과에서 DC 하중에 의한 공칭하중효과가 차지하는 비를 나타낸다.

$$\eta = \frac{(Q_{DC})_0}{(Q_{DC})_0 + (Q_{DW})_0} \quad (3.4.2)$$

여기서,

$\eta$  : DC 하중비

$(Q_i)_0$  :  $i$  하중에 의한 공칭하중효과

$DC$  : DC 하중

$DW$  : DW 하중

(3) 중력하중비

중력하중비는 주 작용방향이 연직방향이 아닌 풍하중, 지진하중이 차량활하중과 동시에 작용하는 경우, 총 공칭하중효과에 대한 중력방향의 하중효과의 비를 나타낸다.

$$\zeta = \frac{(Q_{DC})_0 + (Q_{DW})_0 + (Q_{LL})_0}{(Q_{DC})_0 + (Q_{DW})_0 + (Q_{LL})_0 + (Q_V)_0} \quad (3.4.3)$$

여기서,

$\zeta$  : 중력하중비

$(Q_i)_0$  :  $i$  하중에 의한 공칭하중효과

<p><math>DC</math> : DC 하중  <math>DW</math> : DW 하중  <math>LL</math> : 차량활하중  <math>V</math> : 풍하중 또는 지진하중</p> <p>(4) 케이블하중비</p> <p>케이블하중비는 현수교 주케이블의 저항계수 산정을 위해 정의된 것으로 케이블자중과 다른 부재의 DC하중에 의해 발생한 장력에서 케이블자중에 의해 발생하는 장력이 차지하는 비를 나타낸다.</p> $\zeta_c = \frac{(T_{CB})_0}{(T_{DC})_0} \quad (3.4.4)$ <p>여기서,  <math>\zeta_c</math> : 케이블하중비  <math>(T_i)_0</math> : <math>i</math> 하중에 의한 케이블 공칭장력  <math>DC</math> : DC 하중  <math>CB</math> : 케이블 자중</p>
---

**[해설]**

- 이 설계기준의 설계식 (1.5.1)은 구조물의 특성과는 무관하게 정의되지만 각각의 하중에 의한 하중효과들 간의 상대적 크기는 구조물의 종류에 따라 다르게 발생한다. 각 하중효과는 서로 다른 불확실성을 보이므로 총 공칭효과 및 공칭강도가 동일하더라도 신뢰도지수는 한계상태에 포함된 하중효과들의 상대적인 구성비에 따라 달라진다. 따라서 각 하중효과 간의 상대적 크기에 의하여 한계상태를 설정하면 다양한 형태의 구조형식에 무관하게 하중-저항계수를 결정할 수 있다. 이해성(2019a)은 이러한 논의를 바탕으로 설계식을 총공칭하중효과로 표준화(normalize)하여 설계식 및 각 설계변수를 하중비로 나타낸 뒤 이를 바탕으로 교량의 형식에 무관한 하중-저항계수 결정법을 제시하였다.
- (4) 사장교 케이블은 현수교 주케이블과는 달리 보강거더의 자중에 의한 하중효과에 비해 그 크기가 작으며 케이블만으로 독립된 구조계를 구성할 수 없다. 이러한 이유로 사장케이블 자중을 보강거더의 자중과 구분하여 별도의 하중으로 고려하는 것은 적절하지 않은 것으로 판단되어 별도의 케이블하중비도 정의하지 않는다. 사장케이블의 자중은 보강거더 혹은 주탑의 자중에 포함시킬 수 있다.

**3.4.2 목표신뢰도지수**

신뢰도기반 설계기준에서는 구조물이 확보하여야 하는 안전도를 목표신뢰도지수에 의하여 정의한다. 이 설계기준에서는 극한한계상태에 포함된 한계상태에 대한 목표신뢰도지수를 제시하였으며, 그 외의 한계상태에는 신뢰도이론이 적용되지 않기 때문에 목표신뢰도지수를 설정하지 않는다.

**3.4.3 한계상태별 하중조합**

**3.4.3.1 극한한계상태 하중조합**

극한한계상태 검토를 위하여 다음 하중조합을 고려한다.

- (1) 극한한계상태 하중조합 I  
고정하중이 지배적으로 작용하는 중력방향 하중조합.
- (2) 극한한계상태 하중조합 II  
차량활하중이 지배적으로 작용하는 중력방향 하중조합.
- (3) 극한한계상태 하중조합 III  
거더 높이에서의 풍속 25 m/s를 초과하는 설계 풍하중을 고려하는 하중조합
- (4) 극한한계상태 하중조합 IV  
설계수명 내 초과확률 8% 지반가속도가 유발하는 지진하중을 고려하는 하중조합
- (5) 극한한계상태 하중조합 V  
차량 통행이 가능한 수준의 최대풍속과 일상적인 차량통행에 의한 하중효과를 고려한 하중조합
- (6) 극한한계상태 하중조합 VI  
파압과 풍하중을 동시에 고려하는 하중조합
- (7) 극한한계상태 하중조합 VII  
케이블 교체 검토를 위한 하중조합
- (8) 극한한계상태 하중조합 VIII  
교량소유자가 공익을 위하여 통행을 허가한 특수중차량에 대한 하중조합

각 하중조합의 유효 하중비구간 및 목표신뢰도지수는 다음과 같다.

표 3.4.1 극한한계상태의 유효 하중비구간 및 목표신뢰도지수

한계상태	$\xi$	$\eta$	$\zeta$	목표신뢰도지수	
				일등급	특등급
극한한계상태 I	$0.55 \leq \xi \leq 1.0$	$0.65 \leq \eta \leq 0.95$	-	3.72	4.00
극한한계상태 II	$0.0 \leq \xi \leq 0.55$	$0.65 \leq \eta \leq 0.95$	-	3.72	4.00
극한한계상태 III	$0.0 \leq \xi \leq 0.5$	$0.65 \leq \eta \leq 0.95$	-	2.00	2.15
극한한계상태 IV	$0.2 \leq \xi \leq 0.8$	$0.65 \leq \eta \leq 0.95$	$0.0 \leq \zeta \leq 0.50$	1.28	1.42
극한한계상태 V	$0.2 \leq \xi \leq 0.8$	$0.65 \leq \eta \leq 0.95$	$0.5 \leq \zeta \leq 0.80$	3.72	-
극한한계상태 VI	$0.0 \leq \xi \leq 0.5$	$0.65 \leq \eta \leq 0.95$	-	-	-
극한한계상태 VII	검토 대상 한계상태와 동일 <sup>1)</sup>				
극한한계상태 VIII <sup>2)</sup>	$0.55 \leq \xi \leq 1.0$ $0.0 \leq \xi \leq 0.55$	$0.65 \leq \eta \leq 0.95$	-	3.72	-

1) 교체 대상케이블을 제거한 상태로 다른 극한한계상태에 대해 검토를 수행하며 그에 따라 유효하중비를 산정한다.  
2) 중차량하중조합의 경우 고려한 극한한계상태 I/II와 동일하게 고정하중비에 따라 서로 다른 하중계수를 적용한다.

케이블부재의 유효 하중비구간 및 목표신뢰도지수 다음과 같다.

표 3.4.2 케이블부재의 유효 하중비구간 및 목표신뢰도지수

한계상태	$\xi$	$\eta$	$\zeta_c$	목표신뢰도지수
------	-------	--------	-----------	---------

현수교 주케이블	$0.75 \leq \xi \leq 0.95$	$0.75 \leq \eta \leq 0.90$	$0.10 \leq \zeta_C \leq 0.40$	7.00
사장교 케이블	$0.70 \leq \xi \leq 0.95$	$0.50 \leq \eta \leq 0.90$	-	5.70

**[해설]**

- (1/2)차량활하중효과를 고려하는 하중조합이다. 하중조합 I, II 는 차량활하중을 재하한 상태에서 총 하중효과를 각각 고정하중과 차량활하중이 지배하는 경우이다. 이해성(2019a)의 연구에서 고정 하중과 활하중이 지배하는 영역을 고정하중비 0.55 기준으로 구별하였다. 이에 따라 기존에 사용하던 하중조합 IV 는 불필요한 하중조합이기 때문에 삭제하였다.
- (3) 극한한계상태 하중조합 III은 설계풍속에 대한 교량의 안전성을 확보하기 위한 조합으로서, 이 풍속에서는 일상적인 차량통행은 불가능하므로 차량에 작용하는 풍하중은 고려하지 않는다. 이 하중조합에서 고려하는 설계풍속의 RRD는 12이다.
- (4) 극한한계상태 하중조합 IV는 단면설계를 위한 지진하중조합으로서, 이 하중조합에서 고려하는 설계지반가속도의 RRD는 12이다. 지진의 발생 시점을 알 수가 없기 때문에 이 한계상태에서는 차량 활하중을 고려한다. 교량의 설계수명이 100년인 경우 기존 도로교설계기준(한계상태설계법)(국토교통부 2015)과 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(국토교통부 2016)에서 공통적으로 RRD 10(초과확률 9.5%)에 해당하는 재현주기 1000년의 지진하중을 단면설계에 고려하도록 규정하고 있다. 설계수명 200년의 경우 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편에서 RRD 12(초과확률 8%)에 해당하는 재현주기 2400년 지진을 고려하도록 하였다. 이렇게 단면설계를 위한 지진하중의 초과확률이 다른 것은 기존에 개발되어있던 도로교설계기준(한계상태설계법)과 이후 개발된 케이블교량편 간의 간극을 줄이기 위하여 통일된 값을 규정한 것으로 보인다. 그러나 이 기준에서는 이러한 차이를 두는 것 보다 공통된 논리에 따라 통일된 값을 규정하는 것이 보다 바람직할 것으로 판단하여 설계수명에 관계없이 RRD 12(초과확률 8%)에 대한 지진을 단면설계를 위한 설계지진으로 적용하도록 규정하였다.
- (5) 극한한계상태 하중조합 V는 차량 통행이 가능한 최대 풍속의 풍하중과 차량 활하중을 고려한 하중조합이다. 이 한계상태는 차량활하중이 주 변동하중이다. 별도로 제시된 값이 없는 경우 차량통행가능 풍속은 25m/sec 를 사용한다.
- (6) 교량에 작용하는 파압이 지배하중이다.
- (7) 케이블의 교체는 사장케이블의 교체 시에만 적용한다. 현수교 행어의 교체 시에는 임시케이블을 이용하여 행어의 하중을 전달한 후에 작업을 하는 것이 일반적이기 때문에 별도의 검토가 필요 없으나, 임시케이블의 설치가 용이하도록 행어 정착구에 구조적인 조치를 계획하여야 한다. 이 하중조합은 한 개의 하중조합이 아니고 교체 대상 케이블이 제거된 상태에서 적용 가능한 모든 극한한계상태 하중조합을 포함한다.
- (8) 교량의 소유자가 공익을 위하여 특별히 통행을 허가한 특수중차량에 대한 하중조합을 극한한계상태 하중조합 VIII로 정의하였다. 특수중차량의 운행주체는 통행 목적과 통행시 차축하중을 정확히 측정하여 교량 소유자에게 제시하여 한다. 이 하중조합에 대한 검토에는 제출된 차축하중을 적용한다.
- 극한한계상태 하중조합은 주로 하나의 대표 변동하중을 중심으로 동반 하중들을 조합하여 구성하거나, 또는 대표 변동하중 없이 동반하중들만을 중심으로 구성하기도 한다. 이 설계설계기준의 극한한계상태 하중조합은 모두 하나의 대표하중을 중심으로 구성하였다.
  - 극한한계상태 하중조합 I의 대표하중은 고정하중, 하중조합 II는 차량활하중, 하중조합 III은 풍

하중이다. 하중조합 IV는 지진하중을 대표하중으로 고려한 경우이다. 하중조합 VI은 파압이 대표 하중이다. 극한한계상태 V에서는 차량하중이 대표하중이고 통행가능풍속은 동반하중이다.

- 표 3.4.1 과 표 3.4.2 에서 주어진 하중비 구간을 초과하는 경우 3.6 절에서 정의되는 하중-저항 계수는 원칙적으로 유효하지 않다. 각 한계상태에 대한 하중비 구간을 약간 벗어나는 경우에는 설계자의 판단에 의하여 하중계수를 약간 조정하여 사용할 수 있지만, 설계 대상 교량의 하중비가 이 규정에서 제시된 범위를 현저히 벗어날 경우에는 이해성(2019a)이 제안한 방법을 적용하여 다시 계산하여야 한다. 이 규정에서 제시한 한계상태 별 하중비 범위는 현재 사용되는 다양한 형식의 교량을 포함할 수 있도록 설정되었기 때문에 대부분의 교량설계에 적용될 수 있을 것이다. 단지 설계기준의 적용성을 높이기 위하여 이 기준에서 설정한 하중비 범위는 비교적 넓게 설정되어 있다. 실제 특정 교량에서 발생할 수 있는 하중비 범위는 이 규정에서 제시한 하중비 범위보다 훨씬 좁을 수 있다. 이런 경우 하중비 범위를 실제 설계 대상 교량에 대한 값으로 설정하고 이해성(2019a)이 제시한 최적화 기법에 의하여 보다 합리적이고 정확한 하중-저항계수를 계산할 수 있다. 케이블부재의 경우 단면설계 시 고정하중이 주하중으로 작용하는 극한한계상태 하중조합 I 이 지배적으로 작용하기 때문에 표 3.4.2 에서 제시된 하중비 구간 및 목표신뢰도지수도 극한한계상태 하중조합 I 에 대한 값이다.

### 3.4.3.2 극단상황한계상태 하중조합

극단상황한계상태 검토를 위하여 다음 하중조합을 고려한다.

- (1) 극단상황한계상태 하중조합 I  
설계수명 내 초과확률 4% 지진의 지진하중을 고려하는 하중조합
- (2) 극단상황한계상태 하중조합 II  
유빙하중, 선박 또는 차량의 충돌하중 및 감소된 활하중을 포함한 수리학적 사건에 관계된 하중조합. 이 때 차량충돌하중 CT의 일부분인 활하중은 제외
- (3) 극단상황한계상태 하중조합 III  
케이블 파단 검토를 위한 하중조합

#### [해설]

- 이 한계상태에서는 교량의 설계수명동안 발생할 확률이 매우 낮은 극단하중을 고려한다. 재현기간은 교량의 설계수명을 초과할 것으로 판단된다. 이런 극단하중들의 동시발생 확률은 매우 낮으므로 각각의 극단상황을 개별적으로 검토하도록 한다. 이런 극단상황에서의 구조물은 비선형적 거동을 할 것으로 판단되며, TU, TG, CR, SH 및 SD의 영향은 극단하중효과에 비하여 무시할 수 있을 것으로 판단되어 고려하지 않는다. 극단한계상태는 신뢰도를 고려한 한계상태가 아니므로 저항과 극단하중은 모두 공칭값을 사용한다.
- 극단상황한계상태 하중조합 I 은 강진에 대하여 교량의 붕괴방지검토를 수행하기 위한 하중조합으로 이 하중조합에서 고려하는 지진의 RRD는 24이다.
- 이 홍수시에 발생할 수 있는 사건에서는 수압과 구조물의 세굴된 상태를 고려한다.

### 3.4.3.3 사용한계상태 하중조합

사용한계상태 검토를 위하여 다음 하중조합을 고려한다.

- (1) 사용한계상태 하중조합 I  
교량의 정상 운용 상태에서 발생 가능한 모든 하중의 표준값과 25 m/s의 풍하중을 조합한 하중조합이며, 교량의 설계수명 동안 발생확률이 매우 적은 하중조합. 이 하중조합은 철근콘크리트의 사용성 검증에 사용할 수 있다.
- (2) 사용한계상태 하중조합 II  
차량 활하중에 의한 강구조물 및 케이블부재의 항복과 마찰이음부의 미끄러짐을 고려한 하중조합
- (3) 사용한계상태 하중조합 III  
부착된 PS 강재가 배치된 상부구조의 균열폭과 인장응력 크기를 검증하기 위한 하중조합
- (4) 사용한계상태 하중조합 IV  
부착된 PS 강재가 배치된 하부구조의 사용성 검증에 사용하는 하중조합
- (5) 사용한계상태 하중조합 V  
설계수명 동안 항상 작용하는 고정하중과 수명의 약 50 % 기간 동안 지속하여 작용하는 하중들을 조합한 하중조합
- (6) 사용한계상태 하중조합 VI  
설계수명 내 초과확률 63 % 지진의 지진하중을 고려하는 하중조합

**[해설]**

- 사용한계상태는 주로 경험에 기반한 한계상태이며 극단상황한계와 동일한 논리로 유효하중비 구간 및 목표신뢰도는 정의되지 않는다.
- (1) 사용한계상태 하중조합 I은 철근콘크리트 및 프리스트레스 콘크리트 부재의 사용성 검증에 사용할 수 있다. 케이블교량의 경우, 풍속이 높아지면 차량통행이 제한될 수 있으며 이 설계기준에서는 교면 상 10분 평균풍속 25 m/s를 정상적 차량운행의 최대풍속으로 제안하였다. 그러나 차량통행제한풍속이 별도로 규정된 교량에 대해서는 그 풍속을 사용하여 검토하여야 한다.
- (2) 사용한계상태 하중조합 II는 강교에 적용하는 초과하중규정에 해당하며 오직 강구조물에만 적용한다. 적용하중의 수준에서 보면, 이 조합은 사용한계상태조합 I과 극한한계상태조합 I의 중간정도이다.
- (3) 사용한계상태 하중조합 III은 교량의 정상 운용 상태에서 설계 수명 동안 종종 발생 가능한 하중조합으로서, 프리스트레스 콘크리트 부재의 노출환경에 따라 요구되는 설계등급을 결정하기 위한 한계상태의 검증에 적용한다.
- (4) 사용한계상태 하중조합 IV는 설계수명 동안 종종 발생 가능한 하중조합으로, 교량 특성상 하부구조는 연직하중보다 수평하중에 노출될 때 더 위험하기 때문에 연직 활하중 대신에 수평 풍하중을 고려한 하중조합이다. 하부구조의 경우 사용한계상태 하중조합 III에서의 사용성 요구조건도 동시에 만족하도록 설계하여야 한다.
- (5) 사용한계상태 하중조합 V는 모든 구조물의 자중과 설치물의 자중, 토압, 유효프리스트레스를 구간으로 구성된다. 건조수축, 크리프 및 부등침하도 고정하중으로 간주하여 이 하중조합에 포함한다. 온도하중의 영향은 절반만 지속하중으로 간주하여 이 하중조합에 포함하여야 한다. 그러나 교량에서 차량하중과 보도하중, 풍하중은 전혀 고려하지 않는다.
- (6) 사용한계상태 하중조합 VI은 교량의 설계수명 내 한두차례 발생 가능한 지진(RRD = 1)을 고려한 하중조합으로서 지진 후 교량은 보수없이 기능을 유지하여야 한다. 이를 위해서는 사용한계상태 하중조합 I ~ V에서 요구하는 사용성 요구조건을 동시에 만족하도록 설계하여야 한다.
- 일상적인 사용상태에서 응력, 변형 및 균열폭을 제한한 상태로서 다양한 하중조합이 가능하며,

일반 중소규모의 교량과 달리 장대교량은 대변위 특성이 강하므로 현실적인 하중조합의 재구성이 필요하다. 해외 장대교량 설계에 사용된 다음과 같은 하중조합 사례를 통하여 국내 현실을 고려해 수정 및 보완해 나갈 수 있다.

- ① 신축이음장치의 이동량 :  $1.0(DC+DW) + 1.0LL + 0.6WS + 0.6TU$
- ② 항로확보를 위한 형하고 확보 :  $1.0(DC+DW) + 0.4LL + 0.5TU$
- 상용되는 부속시설들의 한계를 감안하여 설계자들의 합리적인 상세설계를 유도하기 위해 다음과 같은 사용한계를 검토할 수 있다.
  - ① 최대 신축이음장치 이동량 :  $\pm 1.2 \text{ m}$
  - ② 최대 신축이음장치 회전각(단차) :  $1^\circ(10 \text{ mm})$

#### 3.4.3.4 피로한계상태 하중조합

피로설계트럭하중을 이용하여 반복적인 차량하중과 동적응답에 의한 피로파괴를 검토하기 위한 하중조합. 이 하중조합은 신뢰도이론에 기반하여 캘리브레이션되지 않았기 때문에 별도의 유효 하중비구간은 정의되지 않는다.

##### [해설]

- 단일 설계트럭하중에 적용되는 하중계수는 강재나 연결부에 발생하는 누적피로와 변동응력 반복횟수를 고려한 대표적인 트럭의 중량을 반영한다.

### 3.5 하중의 종류와 기호

이 조항은 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(국토교통부 2016)의 2.4.1을 따른다.

#### 3.5.1 고정하중 : DC, DW

이 조항은 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(국토교통부 2016)의 2.5를 따른다.

#### 3.5.2 활하중 : LL, PL

이 조항은 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(국토교통부 2016)의 2.6을 따른다.

#### 3.5.3 충격하중 : IM

이 조항은 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(국토교통부 2016)의 2.7을 따른다.

#### 3.5.4 풍하중 : WS, WL

##### 3.5.4.1 일반사항

풍하중 및 내풍설계에 관련된 대한 규정은 도로교설계기준(한계상태설계법)(국토교통부 2015)의 관련 규정 혹은 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(국토교통부 2016)의 내풍설계편의 규정을 따른다. 바람이 교량 부재에 유발하는 풍압이 풍하중으로 정의된다. 풍압의 산정은 전술한 두 설계기준의 규정에 따른다. 이 목에서는 한계상태 별 풍압을 산정하기 위한 기본풍속을 RRD에 의하여 정의한다.

##### 3.5.4.2 기본풍속

- (1) 교량에 작용하는 풍하중 산정에 기준이 되는 풍속을 기본풍속이라고 정의하고  $V_B$ 로 표기한다.
- (2) 기본풍속은  $V_{10}$ 에 의하여 결정한다.  $V_{10}$ 이란 지표조도구분 II 지역(개활지) 지상 10m 위치에서 측정된 10분 평균 풍속을 지칭하며 통계적 변량이다. 일반적으로 교량이 지표조도구분 II 지역에만 건설되는 것이 아니고, 더욱이 교량 부지에서 직접적으로 측정된 풍속은 거의 구할 수가 없기 때문에 교량부지에서 가장 가까운 기상관측소에서 측정된 풍속을 다음과 같은 변환공식을 이용하여 교량부지에서의  $V_{10}$ 으로 사용한다.

$$V_{10} = 0.5194 \left( \frac{z_{G,m}}{z_m} \right)^{\alpha_m} V_m \tag{3.5.4.1}$$

여기서,

- $\alpha_m$  = 표 3.5.1에서 주어진 관측소의 지표조도지수
- $z_m$  = 관측소 풍속 측정고도
- $z_{G,m}$  = 표 3.5.1에서 주어진 관측소의 경도풍고도
- $V_m$  = 관측소에서 측정한 풍속

표 3.5.1 지표조도구분에 따른 풍속보정계수

구분	부지 특성	$\alpha$	$z_G$ (m)	$z_b$ (m)	$z_0$ (m)
I	해상, 해안	0.12	500	5	0.01
II	개활지, 농지, 전원 수목과 저층건축물이 산재한 지역	0.16	600	10	0.05
III	전원 수목과 저층건축물이 밀집한 지역, 중,고층 건물이 산재하여 있는 지역, 완만한 구릉지	0.22	700	15	0.3
IV	중,고층 건물이 밀집한 지역, 기복이 심한 구릉지	0.29	700	30	1.0

- (3) 통행가능풍속을 제외한 기본풍속은 RRD에 의하여 정의한다.

$$N_{WS} = \frac{R_{WS}}{t_d} \tag{3.5.4.2}$$

여기서

- $N_{WS}$  = 기본풍속의 RRD
- $R_{WS}$  = 기본풍속의 재현주기
- $t_d$  = 교량의 설계수명

주어진 RRD에 상응하는 기본풍속은 다음과 같이 결정한다.

$$V_B = \left( 1 + \frac{\sqrt{6}}{\pi} (\ln N_{WS} - 0.5772) \delta_{V_{10}} \right) \mu_{V_{10}} \tag{3.5.4.3}$$



여기서

$$\mu_{V_{10}} = \text{설계수명 동안 연최대 } V_{10} \text{의 평균}$$

$$\delta_{V_{10}} = \text{설계수명 동안 연최대 } V_{10} \text{의 변동계수}$$

(4) 풍하중이 포함된 한계상태에서 사용하는 기본풍속은 다음과 같다.

표 3.5.2 한계상태에 따른 기본풍속

한계상태	풍속	비초과확률
극한한계상태 III	RRD 12 대응 풍속	92%
극한한계상태 VI, 사용한계상태 IV	RRD 1 대응 풍속	37%
극한한계상태 V 사용한계상태 I	차량통행제한풍속 (별도의 규정이 없으면 25m/sec)	-

(5) 식 (3.5.4.3)에 포함된  $V_{10}$ 의 평균과 표준편차는 실측풍속 혹은 태풍시뮬레이션등과 같이 수치 해석적 기법에서 계산된 값에 근거하여 결정된 값을 사용하여야 한다.

(6) 교량부지에서의 실측풍속자료가 없고, 풍하중이 교량의 설계를 지배하지 않을 경우에는 설계수명 100년 교량에는 표 3.5.3 에서 주어진 기본풍속을 적용할 수 있다.

표 3.5.3 100년 설계수명에 대한 지역별 기본풍속 ( $V_B$ )

구분	지역	지명	RRD=1 풍속(m/s)	RRD=12 풍속(m/s)
I	내륙	서울, 대구, 대전, 춘천, 청주, 수원, 추풍령, 전주, 익산, 진주, 광주	27	33
II	서해안	서산, 인천	30	37
III	서남해안	군산	33	40
	남해안 동남해안	여수, 충무, 부산 포항, 울산		
IV	동해안	속초, 강릉	33	40
	제주지역 특수지역	제주, 서귀포 목포		
V		울릉도	39	49

**[해설]**

(1) 이 규정에서 정의한 바와 같이  $V_{10}$ 은 지표조도구분 II 지역(개활지) 지상 10m 위치에서 측정된 10분 평균 풍속을 지칭하며 통계적 변량이고, 기본풍속은  $V_{10}$ 의 분포에서 비초과확률 혹은 재현 주기 등을 이용하여 정의할 수 있는 공칭풍속을 의미한다. 이 설계기준에서 기본풍속을 명확히

표시하기 위하여 기본풍속을  $V_B$ 으로 표기하였다. 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편 (국토교통부 2016)에서는 재현주기  $T$ 에 대한 기본풍속을  $V_{10}(T)$ 로 정의하고 있기 때문에  $V_B = V_{10}(T)$ 이다. 이 설계규정에서는 교량의 수명과 재현주기의 영향을 동시에 고려하기 위하여 RRD에 의하여 기본풍속을 정의한다. 설계수명이 다르더라도 동일한 RRD에 대한 풍속을 사용하면 동일한 신뢰도를 확보할 수 있다.

- (2) 교량 가설 지역의 지표조도 구분을 결정하기 위하여 고려하여야 하는 규정은 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편 8.5.1(6)을 준용한다. 부지특성이 다른 두 지역의 풍속 간의 일반적인 관계는 다음과 같다.

$$V_2 = \left(\frac{z_2}{z_{G,2}}\right)^{\alpha_2} \left(\frac{z_{G,1}}{z_1}\right)^{\alpha_1} V_1 \tag{해설 3.5.4.1}$$

여기서 아래 첨자 1 과 2는 지역 1과 2를 나타낸다.

- (3) 연 최대풍속의 분포는 일반적으로 검블분포를 따르는 것으로 알려져 있다. 연 최대풍속의 분포가 주어지면 설계수명 동안의 최대 풍속의 분포를 검블분포의 특성을 이용하여 결정할 수 있다. 연 최대풍속은 교량 부지에서 직접 측정해야 하지만 교량부지에서의 장기관측 데이터가 일반적으로 없기 때문에 주변 관측소에서의 장기 관측 데이터를 식 (3.5.4.1)을 적용하여 교량 부지의 풍속 특성을 구성할 수 있다. RRD와 비초과확률의 관계는 다음과 같다.

$$P_{NE} = \exp\left(-\frac{1}{N_{WS}}\right) \tag{해설 3.5.4.2}$$

위 식은 오차가 1% 미만인 매우 정확한 근사식이다.

- (6) 표 3.5.3에서 주어진 기본풍속은 각 지역별 대표 도시에서 100년간 연최대  $V_{10}$ 의 통계특성을 이용하여 계산한 값이다 (Lee and Kim 2019). 200년 설계수명은 케이블지지 장대교량에만 적용될 수 있으므로 반드시 실측치나 기상대자료를 사용하여야 한다.

해설 표 3.5.1. 지역별 대표 도시에서의 100년 설계수명에 대한 풍속 통계특성

지역	대표도시	풍속통계특성		
		평균 (m/s)	표준편차 (m/s)	변동계수
I	서울	28.4	3.13	0.1103
II	인천	31.4	3.50	0.1114
III	부산	34.7	3.45	0.0995
IV	목포	34.4	3.62	0.1051
V	울릉도	41.0	5.27	0.1284

### 3.5.5 지진하중 : EQ

#### 3.5.5.1 일반사항

지진 하중 및 내진설계에 관련된 대한 규정은 도로교설계기준(한계상태설계법)(국토교통부 2015)의 관련 규정 혹은 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(국토교통부 2016)의 내진설계편의 규정을 따른다. 이 목에서는 위험도계수와 한계상태 별 설계지진 가속도의 RRD 를 규정한다.

**3.5.5.2 설계지반가속도**

지진의 재현주기 별 설계지반 가속도는 표 3.5.4에서 주어진 위험도계수를 교량부지에 대한 지진 구역계수를 곱하여 계산한다. 지진구역계수는 표 3.5.5와 같다.

표 3.5.4 위험도계수

재현주기(년)	100	200	500	1200	2400	4800
위험도계수	0.57	0.73	1.00	1.49	2.00	2.60

표 3.5.5 지진구역계수 (단위: g)

지진구역	I	II
구역계수	0.11	0.07

여기서 g는 중력가속도이다.

**[해설]**

- 이 설계기준에서는 위험도계수를 Frechet 분포로 모사하였다. 주어진 RRD에 대응하는 위험도계수는 다음과 같이 결정할 수 있다. (이해성 2019a)

$$I_{N_{EQ}} = v_{t_d} (N_{EQ})^{0.40} \tag{해설 3.5.5.1}$$

여기서,

$$N_{EQ} = \frac{R_{EQ}}{t_d} = \text{위험도계수의 RRD}$$

$R_{EQ}$  = 설계지진의 재현주기

$I_{N_{EQ}}$  =  $N_{EQ}$ 에 대응하는 위험도계수

$$v_{t_d} = 0.0847(t_d)^{0.4}$$

$t_d$  = 교량의 설계수명 (년)

표 3.5.5의 각 지진구역에 해당하는 행정구역은 도로교설계기준(한계상태설계법) 관련 규정 혹은 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편의 내진설계편에 주어져 있다.

**3.5.5.3 설계응답스펙트럼**

지반가속도를 설계응답스펙트럼은 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(국토교통부 2016)에 따라 계산하며 설계자의 판단에 따라 KDS 17 10 00 내진설계 일반(국토교통부 2018)도 적용할 수 있다.

도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편에 따라 가속도의 설계응답스펙트럼을 계산하는 경

우, 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편에 표로 주어진 지진계수와 이 기준의 표 3.5.4에 주어진 위험도계수를 곱하여 최종적인 지진계수를 산정한다.

KDS 17 10 00 내진설계 일반에 따라 가속도의 설계응답스펙트럼을 설정하는 경우, 유효수평지반가속도(S)를 구하기 위한 위험도계수 및 지진구역계수는 이 기준의 표 3.5.4와 표 3.5.5에 주어진 값을 사용한다.

**[해설]**

- 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편의 경우 가속도설계응답스펙트럼을 계산 시 지반의 영향을 반영하기 위해 추가의 계수를 곱하는 것이 아니라 이미 지반의 영향이 반영된 계수를 별도의 표로 제시하고 있다. 따라서 그에 따라 설계응답스펙트럼을 계산할 때에도 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편에 표로 제시된 계수를 그대로 적용하도록 규정하였다.

**3.5.5.4 지반의 분류**

지반의 분류는 설계대상 교량의 형식에 따라 도로교설계기준(한계상태설계법)(국토교통부 2015) 혹은 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(국토교통부 2016)에 따라 결정한다. 설계자의 판단에 따라 KDS 17 10 00 내진설계 일반(국토교통부 2018)의 4.2.1.2도 적용할 수 있다.

지반의 분류 시에는 3.5.5.3에 규정한 설계응답스펙트럼의 계산방법이 주어진 기준과 동일한 기준의 규정을 적용하여야 한다.

**[해설]**

- 지반을 분류하기 위한 규정은 설계기준에 따라 상이하다. 도로교설계기준(한계상태설계법)과 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편의 경우 분류기준은 전단파속도, 표준관입시험 결과, 비배수전단강도로 동일하나 세부적인 규정이 다르다. 반면에 KDS 17 10 00 내진설계 일반의 경우 기반암 깊이와 토층평균전단파속도를 통해 지반을 분류한다. 따라서 정확한 지진하중을 산출하기 위해서는 설계응답스펙트럼과 동일한 기준의 규정을 적용하여야 한다.

**3.5.5.5 설계지진수준**

지진하중이 포함된 한계상태에서 사용하는 설계지진수준은 다음과 같다.

표 3.5.6 한계상태에 따른 설계지진수준

한계상태	지반가속도	초과확률
극한한계상태 IV	RRD 12 대응 지반가속도	4%
극단상황한계상태 I	RRD 24 대응 지반가속도	8%
사용한계상태 VI	RRD 1 대응 지반가속도	63%

**3.5.6 프리스트레스힘 : PS**

이 조항은 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(국토교통부 2016)의 2.8을 따른다.

**3.5.7 콘크리트의 크리프 : CR**

이 조항은 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(국토교통부 2016)의 2.9를 따른다.

**3.5.8 콘크리트의 건조수축 : SH**

이 조항은 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(국토교통부 2016)의 2.9를 따른다.

**3.5.9 토압 : EH, EV, ES, DD**

이 조항은 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(국토교통부 2016)의 2.10을 따른다.

**3.5.10 정수압, 유수압, 부력 : WA, BP**

이 조항은 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(국토교통부 2016)의 2.11을 따른다.

**3.5.11 파압 : WP**

이 조항은 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(국토교통부 2016)의 2.12를 따른다.

**3.5.12 온도변화 : TU, TG**

이 조항은 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(국토교통부 2016)의 2.14를 따른다.

**3.5.13 설하중 및 빙하중 : IC**

이 조항은 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(국토교통부 2016)의 2.16을 따른다.

**3.5.14 지반변동 및 지점이동의 영향 : GD, SD**

이 조항은 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(국토교통부 2016)의 2.17을 따른다.

**3.5.15 원심하중 및 제동하중 : CF, BR**

이 조항은 도로교설계기준(한계상태설계법) (국토교통부 2016)의 3.18을 따른다.

**3.5.16 가설 시 하중 : ER**

이 조항은 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(국토교통부 2016)의 2.18을 따른다.

**3.5.17 차량충돌하중 : CT**

이 조항은 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(국토교통부 2016)의 2.19를 따른다.

**3.5.18 선박충돌 : CV**

이 조항은 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량(국토교통부 2016)편의 2.20을 따른다.

**3.5.19 마찰 : FR**

이 조항은 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량(국토교통부 2016)편의 2.21을 따른다.

### 3.5.20 시공 중 발생하는 구속응력 : EL

이 조항은 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(국토교통부 2016)의 2.22를 따른다.

### 3.5.21 케이블 교체 : PS1

케이블 교체에 대한 하중조합에서는 특별한 하중이 별도로 정의되는 것은 아니고 설계시 고려하는 모든 하중이 동일하게 정의된다. 단지 하중효과 산정시 완성계 교량에서 교체 대상이 되는 케이블을 제거한 구조계를 사용하고, 교통통제를 실시한다면 차량활하중을 특정 설계차로에 재하하지 않을 수 있다. 케이블 교체 상황에서는 적용 가능한 모든 극한한계상태를 고려하여야 한다.

#### [해설]

- 케이블 교체 시 교통통제를 실시하는 경우 교체하는 케이블에 인접하는 최소 1개 설계차로를 제외한 후 차량활하중을 재하한다. 다만, 케이블의 형식, 케이블 배치 형태, 장비 및 구조적 요건에 따라 합리적으로 통제 차로수를 정하고 활하중을 배치한다. 또한 통제된 차로 내에 배치되는 작업하중을 고려하여야 한다.
- 교체되는 케이블의 최소단위는 설계된 케이블의 형식에 따라 다를 수 있으며, 교통통제 상황에 따라 차량활하중계수를 설계자가 정할 수 있으나, 설계도서에 반드시 그 근거를 명기하여야 한다.

### 3.5.22 케이블 파단 : PS2

이 조항은 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(국토교통부 2016)의 5.8.2에 따른다.

## 3.6 하중의 조합 및 하중-저항계수

### 3.6.1 하중계수

#### 3.6.1.1 하중의 조합과 계수

- (1) 각 한계상태에서 하중계수는 표 3.6.1, 표 3.6.2 그리고 표 3.6.3에 주어진 값을 사용한다.
- (2) 특등급교량에 대한 하중계수를 극한한계상태 I~IV에 대하여 정의하였다.
- (3) 기존 설계기준과는 달리 극한한계상태에서의 고정하중계수는 각 한계상태에서 독립적으로 정의된다.
- (4) 극단상황한계상태에서 극단하중에 대한 하중계수는 1.0을 적용한다.
- (5) 하중계수에 대한 일반적 규정은 도로교설계기준(한계상태설계법)(국토교통부 2015) 혹은 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(국토교통부 2016)의 해당 내용을 따른다.
- (6) 극단상황한계상태 하중조합 I에서 활하중에 대한 하중계수  $\gamma_{L(EQ)}$ 는 별도의 규정이 없으면 활하중 재하가 구조물의 안전성능에 증가를 가져오는 경우에는 0, 감소를 가져오는 경우에는 0.5를 사용할 수 있다. 특별설계기준과 같이 대상 교량에 특화된 규정이 있으면 그 규정을 따른다.

표 3.6.1 하중조합과 하중계수

한계상태 하중조합	하중	지속 하중	변동하중										극단하중								
			DC, DW, DD, EH, EV, ES, EL, PS, CR, SH	LL IM PL	WA	WP	WS <sup>1)</sup>	WL	FR	TU	TG	GD SD	PS1	EQ <sup>2)</sup>	CI	CT	CV	PS2			
극한 한계 상태	I	$\gamma_P$	1.5	1.0	-	-	-	1.0	0.5;1.2	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SD}$	-	-	-	-	-	-				
	II		1.8 1.9 <sup>3)</sup>		-	-	-			$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SD}$	-	-	-	-	-					
	III		-		1.0	1.0	1.06 <sup>3)</sup>			-	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SD}$	-	-	-	-	-				
	IV		0.75		-	-	-			-	-	-	-	-	1.0 1.17 <sup>3)</sup>	-	-	-	-		
	V		1.6		-	1.3	1.0			$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SD}$	-	-	-	-	-	-	-			
	VI		-		1.4	1.0	-			$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SD}$	-	-	-	-	-	-	-			
	VII		3.5.21 참조																		
	VIII		$\gamma_P$		1.15/ 1.30 <sup>4)</sup>	1.0	-			-	-	1.0	0.5;1.2	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SD}$	-	-	-	-	-	-
극단 상황 한계 상태	I	1.0	$\gamma_{L(EQ)}$	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	-	-	-	-				
	II <sup>5)</sup>		0.50	-	-	-	1.0	-	-	-	-	-	-	1.0	1.0	1.0	-				
	III		0.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0				
사용 한계 상태	I	1.0	1.0	1.0	-	1.0	1.0	1.0	1.0;1.2	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SD}$	-	-	-	-	-	-				
	II		1.3	-	-	-	1.0	1.0;1.2	-	-	-	-	-	-	-	-					
	III		0.8	-	-	-	1.0	1.0;1.2	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SD}$	-	-	-	-	-	-					
	IV		-	-	-	0.6	-	1.0	1.0;1.2	-	1.0	-	-	-	-	-					
	V		-	-	-	-	-	-	0.5	-	-	-	-	-	-	-					
	VI		-	1.0	-	-	-	1.0	-	-	-	-	1.0	-	-	-					
피로한계상태	-	0.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						

1) WS : 각 한계상태에서 고려하는 풍하중 영향은 다음과 같다.

극한한계상태 III : RRD 12 대응 풍속

극한한계상태 VI, 사용한계상태 IV : RRD 1 대응 풍속

극한한계상태 V, 사용한계상태 I : 차량통행제한풍속에 대한 풍하중 영향

2) EQ : 각 한계상태에서 고려하는 지진하중 영향은 다음과 같다.

극한한계상태 IV : RRD 12 대응 지반가속도

극단상황한계상태 I : RRD 24 대응 지반가속도

사용한계상태 VI : RRD 1 대응 지반가속도

3) 특등급 케이블교량을 설계하는 경우 적용하는 하중계수

4) 고정하중지배/활하중지배

5) 이 하중조합의 극단하중은 한번에 한 가지만 고려한다.

표 3.6.2 극한한계상태에서 고정하중의 하중계수,  $\gamma_P$

하중의 종류	하중계수								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII <sup>3)</sup>	최소
DC : 구조부재와 비구조적 부착물									
• 공장제작부재 <sup>1)</sup>	1.25/1.31 <sup>2)</sup>	1.00	0.85	0.75	1.15	1.15	3.5.21 참조	1.30/1.20	0.80
• 케이블부재	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.10		1.10	0.80
DW : 포장과 시설물	1.45	1.00	0.85	0.75	1.20	1.50		1.45/1.25	0.65

- 1) 현장타설부재에서는 공장제작부재의 하중계수를 5%할증.
- 2) 일등급/특등급
- 3) 고정하중지배/활하중지배

표 3.6.3 극한한계상태에서 고정하중을 제외한 지속하중의 하중계수,  $\gamma_P$

하중의 종류	하중계수	
	최대	최소 <sup>1)</sup>
DD : 말뚝부마찰력	1.80	0.45
EH : 수평토압		
• 주동	1.50	0.90
• 정지	1.35	0.90
EV : 연직토압		
• 전체안정성	1.00	-
• 옹벽 및 교대	1.35	1.00
• 강성 암거(예, 콘크리트 박스)	1.30	0.90
• 뼈대형 강성구조물(예, 라멘형)	1.35	0.90
• 연성 암거(예, 파형강판)	1.95	0.90
• 박스형 연성 강재암거	1.50	0.90
ES : 상재토하중	1.50	0.75
EL : 시공중 발생하는 구속응력	1.00	1.00
PS : 프리스트레스힘		
• 세그멘탈콘크리트교량의 상부, 하부구조		1.0
• 비세그멘탈콘크리트교량 상부구조		1.0
• 비세그멘탈콘크리트교량 하부구조		
- $I_g$ 를 사용하는 경우		0.5
- $I_{effective}$ 를 사용하는 경우		1.0
• 강재 하부구조		1.0
CR, SH : 크리프 건조수축		
• 세그멘탈콘크리트교량의 상부, 하부구조		DC에 대한 $\gamma_P$ 사용
• 비세그멘탈콘크리트교량 상부구조		1.0
• 비세그멘탈콘크리트교량 하부구조		
- $I_g$ 를 사용하는 경우		0.5
- $I_{effective}$ 를 사용하는 경우		1.0
• 강재 하부구조		1.0



**|해설|**

- 하중계수 규정에 대한 해설은 도로교설계기준(한계상태설계법) 혹은 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편의 해당 내용을 따른다. 표 3.6.3 은 기존에 설계기준에서 제시된 값을 그대로 적용한 것이다. 이 표에서 제시된 각종 하중효과에 대한 통계특성치가 없기 때문에 하중계수는 신뢰도개념에서 유도된 것이 아닐 것으로 판단된다.
- (1) 극한한계상태 VIII의 경우 고정하중과 특수중차량 활하중이 지배하는 두가지 경우가 있을 수 있다. 이에 따라 표 3.6.1 과 표 3.6.2에 각각 경우에 대한 하중계수가 정의되어 있다.
- (2) 극한한계상태 I~IV 에서는 특등급교량에 대한 하중계수가 적용된다. 특등급교량에서는 각 극한한계상태의 지배하중에 대한 하중계수가 증가되고 여타의 하중 및 저항계수는 일등급교량과 동일하다. 극한한계상태 I에서의 지배하중은 고정하중이기 때문에 특등급교량에 대한 하중계수는 표 3.6.2. 에 정의되어 있다. 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편에서는 특등급교량을 정의하기 위하여 저항계수를 조정하였으나 이 설계기준에서는 각 극한한계상태에 대한 지배하중계수를 조정하는 것으로 하였다. 이는 새로운 하중-저항계수체계에서 저항계수를 조정하여 특등급교량을 정의하기에는 설계기준이 너무 복잡해지기 때문이다.

**3.6.1.2 가설하중에 대한 하중계수**

이 조항은 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(국토교통부 2016)의 2.4.3을 따른다.

**3.6.1.3 긴장력에 대한 하중계수**

이 조항은 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(국토교통부 2016)의 2.4.4를 따른다.

**3.6.2 저항계수**

**3.6.2.1 극한한계상태**

**3.6.2.1.1 힘/전단부재의 설계를 위한 저항계수**

극한한계상태 하중조합에서 힘 및 전단에 대한 설계를 수행할 경우 다음의 저항계수를 적용한다.

표 3.6.4 극한한계상태에서 힘/전단 설계를 위한 저항계수

하중조합	철근콘크리트 부재		프리스트레스트 콘크리트 부재		강부재	
	힘	전단	힘	전단	힘	전단
극한한계상태 하중조합 I	0.90	0.91	0.92	0.91	0.97	0.95
극한한계상태 하중조합 II	0.90	0.91	0.87	0.91	0.94	0.95
극한한계상태 하중조합 III	0.90	0.92	0.81	0.92	0.90	0.92
극한한계상태 하중조합 IV	0.90	0.94	0.78	0.93	0.87	0.90
극한한계상태 하중조합 V	0.90	0.91	0.90	0.91	0.96	0.95
극한한계상태 하중조합 VI	0.90	0.92	0.81	0.92	0.90	0.92
극한한계상태 하중조합 VII	3.5.21 참조					
극한한계상태 하중조합 VIII	0.90	0.91	0.93	0.91	0.98	0.95

**[해설]**

- 기존의 도로교설계기준(한계상태설계법)(국토교통부 2015)과는 달리 극한한계상태에서의 부재저항계수는 각 한계상태별로 정의된다. 이는 저항과 각 한계상태를 지배하는 변동하중의 상대적 통계적특성에 따라 저항계수가 결정되기 때문이다. 표 3.6.4에서 주어진 저항계수는 철근콘크리트 부재의 저항계수를 0.9로 고정하였을 때의 값이다..
- 기존의 도로교설계기준(한계상태설계법)과 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(국토교통부 2016)에서는 철근콘크리트 및 프리스트리트 콘크리트 부재에 대해 재료계수 체계를 도입하였다. 그러나 이해성 등(2019b)의 연구에서 현재 설계기준에서 규정하고 있는 재료계수 체계의 문제점이 지적된 바 있어 이 기준에서는 콘크리트 부재에 대해서도 강부재와 동일한 저항계수 체계를 적용하였다.
- 극한한계상태 하중조합 I과 II는 하중조합은 동일하지만 유효 고정하중비 구간이 달라 주하중이 고정하중과 차량활하중으로 달라지기 때문에 서로 다른 하중-저항계수를 적용하여야 한다.

**3.6.2.1.2 하중효과 보정계수**

힘과 전단을 제외한 하중효과에 대한 저항계수는 표 3.6.4에 주어진 힘 저항계수에 다음의 하중효과 보정계수를 곱하여 산정한다.

표 3.6.5 강부재의 하중효과 보정계수

설계조건	하중효과 보정계수
축방향 압축력에 대해(강재)	0.90
축방향 압축력에 대해(합성부재)	0.90
인장력에 대해(순단면 적용 시 파단)	0.80
인장력에 대해(총단면 적용 시 항복)	0.95
핀의 지압력에 대해	1.00
볼트의 지압력에 대해	0.80
전단연결재에 대해	0.85
인장력을 받는 고장력볼트 F8T, F10T, F13T에 대해	0.80
인장력을 받는 일반볼트에 대해	0.80
전단력을 받는 고장력볼트 F8T, F10T, F13T에 대해	0.80
전단력을 받는 일반볼트에 대해	0.65
블록전단에 대해	0.80
완전용입 그루브용접시의 용접 금속에 대해:	
- 유효단면적에 대한 전단력	0.85
부분용입 그루브용접시의 용접 금속에 대해:	
- 용접선에 평행한 전단력	0.80
- 유효단면적에 수직한 인장력	0.80
필릿용접시 용접금속에 대해:	
- 용접금속의 목에 작용하는 전단력	0.80
관입상태가 불량한 지반으로 인한 영향을 받고 압축력을 받는 말뚝의 축방향력에 대해:	

- H형 말뚝	0.50
- 강관 말뚝	0.60
관입상태가 양호한 지반에서 압축력을 받는 말뚝의 축방향력에 대해:	
- H형 말뚝	0.60
- 강관 말뚝	0.70
비행타말뚝의 축방향력과 힘의 조합에 대해:	
- H형 말뚝의 축방향력에 대해	0.70
- 강관 파일의 축방향력에 대해	0.80
- 힘에 대해	1.00
항타시의 저항계수에 대해	1.00

표 3.6.6 콘크리트 부재의 하중효과 보정계수

설계조건	하중효과 보정계수 <sup>1)</sup>
비뚤에 대해:	
일반 콘크리트	1.00
경량 콘크리트	0.89
나선철근 또는 띠철근을 적용한 압축 지배단면에 대해	0.83
콘크리트의 지압	0.78
스트럿-타이 모델에서 압축에 대해	0.78
정착구에서 압축에 대해:	
일반 콘크리트	0.89
경량 콘크리트	0.72
정착구에서 강재의 인장에 대해	1.11
항타 시 말뚝의 지지력에 대해	1.11

1) 콘크리트 부재의 하중효과 보정계수는 철근콘크리트(RC)의 힘에 대한 저항계수 0.9에 곱하여 사용한다.

### [해설]

- 힘과 전단의 저항강도에 대한 부재 종류 별 통계특성은 이미 여러 국내외 연구자들에 의하여 많이 발표되어 있기 때문에 이 자료 중에서 신뢰성 높은 자료를 선택하여 이 설계기준에서의 하중-저항계수를 산정하였다. 그러나 힘과 전단을 제외한 하중효과(예로서 비뚤이나 압축 같은 하중효과)의 경우 발표되었거나 일반적으로 인정되는 저항강도의 확률모델이 없기 때문에 신뢰도 계산을 통하여 한계상태에 대한 하중-저항계수를 산정할 수 없다. 원칙적으로는 각 하중효과와 저항강도에 대한 통계모델을 정립한 후 하중-저항계수를 결정하여야 하지만, 저항강도에 대한 통계모델을 정립하기 위하여는 장기간에 걸친 별도의 실험적 연구가 필요하고 많은 시간과 비용이 필요하기 때문에 현 단계에서는 불가능하다. 한편 AASHTO LRFD 설계기준(AASHTO 2014)에서는 힘과 전단을 제외한 다양한 하중효과에 대하여 저항계수를 정의하고 있으나, 이 저항계수가 어떤 통계자료에 의하여 계산되었다고 판단할 수 없으며 아마도 과거의 경험에 근거

하여 휨 저항계수에 대한 상대적 크기로 결정한 것으로 추정하였다. 이러한 추론에 의하여 휨과 전단을 제외한 하중효과에 대한 저항계수는 이 설계기준에서 제시한 휨 저항계수에 하중효과 보정계수를 곱하여 결정하는 것으로 규정하였으며, 여기서의 하중효과 보정계수는 AASHTO LRFD 설계기준에서 제시하고 있는 각 하중효과 저항계수의 휨 저항계수에 대한 비로서 정의하였다.

### 3.6.2.1.3 케이블부재의 설계를 위한 저항계수

케이블부재의 인장설계를 위한 저항계수는 다음과 같다.

- (1) 현수교 주케이블:  $\phi=0.52$
- (2) 행어 및 사장교 케이블:  $\phi=0.62$

#### [해설]

- 기존의 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(국토교통부 2016)에서는 케이블부재의 설계를 위해 별도로 규정된 저항계수와 저항수정계수를 모두 곱하여 설계를 수행하여야 하였다. 그러나 이 기준에서는 저항수정계수 개념을 도입하지 않았기 때문에 기존의 두 계수를 곱한 값에 해당하는 저항계수를 직접적으로 규정하였다.

### 3.6.2.2 극단상황한계상태

극단상황한계상태에서 저항계수는 1.0을 적용한다. 단, 강재 볼트에는 극한한계상태와 동일한 저항계수를 적용하고 케이블 부재에서는 0.95를 사용한다.

### 3.6.2.3 사용한계상태

사용한계상태에 대한 검토를 수행하는 경우 부재의 저항계수는 1.0을 적용한다.

### 3.6.2.4 피로 및 파괴한계상태

피로 및 파괴한계상태에 대한 검토를 수행하는 경우 저항계수는 1.0을 적용한다.

## 참고문헌

- 국토교통부 (2015). *도로교설계기준(한계상태설계법)*, 국토교통부
- 국토교통부 (2016). *도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편*, 국토교통부
- 국토교통부 (2018). *KDS 17 10 00 내진설계 일반*, 국토교통부
- 신동구, 김천용, 백인열 (2006). "하중저항계수설계법(LRFD)으로 설계된 강합성 거더의 휨에 대한 신뢰도해석." *대한토목학회논문집*, 대한토목학회, 제26권, 제3A호, pp.539-546.
- 이승한 (2014). *케이블교량의 신뢰도기반 설계를 위한 하중-저항계수 산정*, 공학박사학위논문, 서울대학교.
- 이해성 (2019a). *신뢰도기반 하중-저항계수*, 기문당
- 이해성, 송상원, 김지현 (2019b). "도로교설계기준(한계상태설계법)의 콘크리트 부재 설계를 위한 재료계수 결정법 및 신뢰도 분석." *대한토목학회논문집*, 대한토목학회, 제39권, 제1호, pp.13-24
- 임현홍 (2019). *도로교설계기준의 지진하중조합에 대한 신뢰도분석 및 하중-저항계수 결정*, 공학석사학위논문, 서울대학교.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (2014). *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*, 7th edition, AASHTO, Washington, D.C.
- Bae, C. (2016). *Determination of the Load-Resistance Factors for Reliability-Based Codes by Optimization*, Master thesis, Seoul National University, Seoul, South Korea.
- European Committee for Standardization (CEN) (2002). *Eurocode: Basis of Structural Design*. EN1990, European Committee for Standardization, Brussel, Belgium
- Lee, H. S., and Kim, J. H. (2019). "Wind pressure statistics and target reliability index for wind loadgoverned limit state of reliability-based bridge design codes." *KSCE Journal of Civil Engineering*, KSCE, Vol. 23, No. 5, pp.2263-2271.
- Nowak, A. S. (1999). *Calibration of LRFD Bridge Design Code*. NCHRP Report 368, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC.

Paik, I., Hwang E.S., and Shin, S. (2009). "Reliability analysis of concrete bridges designed with material and member resistance factors." *Computers and Concrete*, Techno-Press, Vol. 6, No.1, pp. 59-78.