

제 4 장 구 조 해 석

4.1 적용범위

- (1) 교량의 설계와 산정에 대한 적절한 해석 방법과 구조물의 모델링, 힘 영향의 결정 등을 설명한다.
- (2) 제시된 재료 특성을 기초로 하고, 평형과 적합성을 만족하는 해석 방법들이 사용된다.
- (3) 일반적으로, 교량 구조물은 탄성적으로 해석이 된다. 그러나 이 절에서는 연속보 상부 구조물에서 힘의 재분배 또는 비탄성 해석을 허용한다. 극한 한계 상태에 대한 대체이며, 비탄성적으로 거동하는 압축부재를 위해 비탄성 해석에 대해 설명한다.

4.2 구조해석법

평형과 적합성을 만족하고 제시된 재료에 대한 응력-변형률 관계가 이용되는 해석의 방법들은 다음과 같다.

- (1) 고전적인 하중과 변위 방법
- (2) 유한차분법
- (3) 유한요소법
- (4) 절판법
- (5) 유한대판법
- (6) 격자해석법
- (7) 일련의 또는 다른 조합 방법
- (8) 항복선 이론

4.3 수학적 모델

4.3.1 일반

- (1) 수학적 모델은 하중, 기하학 및 구조물의 재료적 거동 그리고 적절한 곳에 기초(footing)의 응답 특성을 포함해야 한다.
- (2) 모델의 선택은 한계 상태 조사, 양적 힘의 영향 그리고 요구되는 정확도 등을 기초로 한다.
- (3) 만일 허용되지 않는다면 연속 합성 방호벽의 고려는 사용성과 피로 한계 상태 그리고 구조적 평가에 제한적이다.
- (4) 구조적으로 불연속인 철도, 연석, 중앙 분리대 그리고 방호벽의 강성은 구조해석에서 고려되지는 않는다.
- (5) 교량의 지점인 지반 또는 암반의 적절한 표시가 기초(footing)의 수치 모델에 표시되어야 한다.

(6) 지진설계의 경우, 전체 토양의 이동과 액상화 등이 고려되어야 한다.

4.3.2 구조적 재료의 거동

(1) 탄성과 비탄성 거동

- ① 구조 재료는 탄성 그리고 비탄성 한계까지 선형적으로 거동하는 것에 대해 고려한다.
- ② 극한 한계상태에서의 거동은 비탄성과 탄성 범위 모두에서 허용한다.

(2) 탄성 거동

콘크리트의 성숙도와 환경적 영향에 의해 변하는 탄성 재료 특성과 속성들이 모델 내에 포함되어야 한다.

(3) 비탄성 거동

- ① 비탄성 변형이 발생하는 구조성분의 단면은 연성이거나 아니면 특별한 장치로 연성이 되도록 한다.
- ② 비탄성 해석이 사용되는 경우 적절한 설계 파괴 메커니즘 그리고 그것에 따르는 힌지의 위치가 결정되어야 한다.
- ③ 해석 시 구조성분 내에서 전단, 좌굴 그리고 부착파괴에서 힘 비탄성 메커니즘의 형태가 우월하게 발생되지 않음이 확인되어야 한다.
- ④ 힌지처리가 예상되는 구조성분의 뜻하지 않은 과강도에 대한 고려가 필요하다.
- ⑤ 대변형에 의한 구조물의 기하학적 원형이 노후화되는 것에 대해서도 고려해야 한다.
- ⑥ 비탄성 거동이 confinement(구속효과)에 의해 이루어지는 것이 기대되는 경우, 시험 공시체는 그런 confinement(구속효과)를 제공하는 요소를 포함하고 있어야 한다.
- ⑦ 극한 힘 효과가 반복되는 것이 예상되는 경우, 시험은 그들의 주기적 성질을 반영해야 한다.
- ⑧ 열거한 경우를 제외하고 용력과 변형은 다변적 요소의 종단면에서 변형률에 대한 선형 분배에 기초를 두고 있다.

4.3.3 기하학

(1) 미소변위 이론

만약 구조물의 변형이 압축력 또는 인장력의 편심력 증가로 인한 힘 효과에 의해 심각한 변화를 초래하지 않는다면 그런 2차적인 힘 효과는 무시될 수도 있다.

(2) 대변위 이론

- ① 만약 힘 효과에 의해 구조물의 변형이 구조물 내에서 심각한 변화를 초래한다면, 변형의 영향은 평형 방정식에서 고려해야 되는 사항이다.
- ② 구성성분의 변형과 비 직선 형상의 영향은 안정도 해석과 대변위 해석에서 포함되어야 한다.

4.3.4 경계조건의 모델링

경계조건은 지점의 실제적인 특성과 연속성을 나타내어야 한다.

4.3.5 등가 부재

다변적이지 않은 구성성분은 요소의 위치에서 실제 구조물의 강성 특성을 취하는 다수의

프레임 요소로 성분을 이상화시켜 모델링할 수 있다.

다양한 중단면을 취하거나 그렇지 않은 교량의 구성성분들은 구성성분의 모든 강성 특성을 나타낼 수 있는 단일 등가 구성성분으로 모델링할 수 있다.

4.4 정적 해석

4.4.1 정밀한 해석 방법 (refined method of analysis)

(1) 일반

지침서 4.2에 열거한 정밀한 방법은 교량 해석 시 사용된다. 그러한 해석에서, 고려사항은 해석 풀이법의 정확도에 영향을 주는 요소의 가로세로 비율, 절점의 위치와 개수 그리고 원형의 또 다른 특징 등에 관한 것이다.

(2) 바닥판(deck)

① 일반

가. 명시되지 않았을 시, 바닥판의 휨과 뒤틀림 변형은 해석 시 고려되어야 한다.

나. 그러나 수직전단변형은 무시될 수 있다.

② 등방성 판 모델(isotropic plate model)

가. 이번 절의 목적에 있어, 고형체(solid)인 교량 바닥판은 균일하거나 또는 균일에 가까운 깊이를 갖는다.

나. 그리고 모든 면내 방향에서 같은 값을 갖는 바닥판의 강성은 등방성으로 고려되어야 한다.

③ 직교 판 모델(orthotropic plate model)

가. 직교 판 모델에서, 요소의 휨 강성률은 바닥판의 중단면을 따라 균일 분포된다.

나. 바닥판의 비틀림 강성이 균일한 두께의 고형체 판에 의해 단독으로 영향을 끼치지 않는 경우, 비틀림 강성률은 물리적 시험, 3차원 해석 또는 일반적으로 받아들여지고 근사해석법에 의해 산정되어야 한다.

(3) 보-슬래브 교량

① 유한요소와 격자 판넬의 가로세로 비율은 5.0을 넘어서는 안 된다. 뜻하지 않은 유한요소와 격자 판넬의 크기나 형태의 변화는 피해야 한다.

② 절점 하중은 적용되는 실제 하중에 정적으로 등가여야 한다.

(4) 다실 · 박스 거더

① 다공질 교량의 정밀한 해석방법은 기준 4.2에서 소개된 해석방법들을 사용할 수 있다. 단, 항복선 이론은 제외한다.

② 뒤틀림과 횡적 프레임 거동을 하려는 모델은 완전한 3차원 해석이 이루어져야 한다.

③ 단실 박스 중단면에 대해서, 상부구조는 휨과 뒤틀림 모두를 고려하는 spine beam처럼 해석할 수 있다.

(5) 트러스 교량

정밀한 평면 프레임 또는 공간 프레임 해석은 다음에 따르는 고려사항을 확인해야 한다.

- ① 바닥판 또는 바닥판 시스템을 가진 합성 거동
- ② 구성성분 사이의 연속성
- ③ 구성성분의 자중에 의한 힘 효과, 변형에 의한 기하학적 변화 그리고 판넬 점에서의 축방향 오프셋(offset)
- ④ 원형을 포함하는 구성성분의 면내·면외 좌굴, 구성성분 사이의 연속성 그리고 구성성분에 나타난 유효 축력

(6) 아치교

기준 4.4.1(5)의 조항이 적용된다.

케이블 행거의 연장이 미치는 영향을 아치 타이의 해석에서 고려해야 한다.

보다 상세히 조정되는 경우가 아니라면, 리브 수축에 관한 고려를 수행해야 한다.

(7) 사장교

사장교의 구성성분에 대한 힘 효과의 분배가 주탑 기하학의 고려, 지주 평면의 수 그리고 바닥 상부구조의 뒤틀림 강성에 의해 산정이 되는지를 공간이나 평면 구조 해석으로 결정되어야 한다.

사장교는 다음으로부터 초래되는 비선형 효과에 대해 고려되어야 한다.

- ① 모든 한계 상태에서 케이블 새그의 변화
- ② 모든 한계 상태에서 바닥판 상부구조와 주탑의 변형
- ③ 극한 한계 상태에서 재료적 비선형성

(8) 현수교

현수교에서의 힘 효과는 수직하중에 대한 대변위 이론에 의해 해석되어야 한다. 케이블의 인장 강성과 함께 풍하중의 영향이 해석에서 고려되어야 한다.

4.4.2 안정도

안정도에 대한 해석은 대변위 이론을 적용할 수 있다.

4.4.3 온도 구배에 대한 해석

수직 온도 구배에 의한 힘 효과를 결정하는 경우, 해석에서는 축방향 연장, 휨 변형 그리고 내부 응력을 고려해야 한다.

4.5 동적 해석

4.5.1 동적 구조의 기본 사항

(1) 일반

- ① 교량의 동적 거동에 대한 해석을 하는 경우, 구조 성분의 강성, 질량 그리고 감쇠 특성에 대해 설계하도록 한다.
- ② 해석에 포함되는 최소 자유도 수는 고유진동수와 가정된 모드 형상의 신뢰도에 기초한다. 풀이 방법의 정확도에 따라 적합한 모델을 사용하도록 한다.

- ③ 동적 모델은 구조물과 활동에 관련된 상태를 나타낼 수 있어야 한다.
- ④ 구조물의 관련된 상태라 함은 다음과 같다.
 - 가. 질량의 분배
 - 나. 강성의 분배
 - 다. 감쇠 특성
- ⑤ 활동과 관련된 상태는 다음과 같다.
 - 가. 힘의 진동수
 - 나. 재하 하중의 지속기간
 - 다. 재하 하중의 방향
- (2) 질량의 분배

질량의 모델링은 모델과 예상된 움직임에서 이산도의 고려에 따라 수행된다.
- (3) 강성

교량은 진동수와 고유 모드를 나타내기 위해 선택된 자유도와 일치하도록 설계되어야 한다. 모델 요소의 강성은 설계된 교량과 일치하도록 정의되도록 한다.
- (4) 감쇠

등가 점성 감쇠는 에너지 이산을 나타내는 데 사용된다.
- (5) 고유진동수

기준 4.5.2에 있어서, 탄성 감쇠고유 모드와 진동 주기수가 사용되어야 한다.

4.5.2 탄성 동적 응답

- (1) 차량에 의한 진동

교량과 활하중 사이의 동적인 상호관계에 대한 해석이 필요한 경우, 해석자는 표면의 조도, 속도 그리고 해석에 적용되는 차량의 동적인 특성을 파악하고 인지해야 한다.
- (2) 바람에 의한 진동
 - ① 풍속

바람의 영향에 민감한 구조물인 경우, 그 구조물의 위치, 극한 압력의 크기 그리고 흡입력 등이 모형화 된 터널 풍 시험을 통해 산정되어야 한다.
 - ② 동적 효과
 - 가. 바람에 민감한 구조물은 난류성 기류 또는 돌풍에 의한 난타와 같은 동적 효과 그리고 급속도와 흔들림과 같은 바람에 불안정한 구조물의 상호관계에 대해 해석되어야 한다.
 - 나. 날씬하고 휘기 쉬운 구조물은 측방의 좌굴, 과도한 추력 그리고 발산 등에 대하여 해석한다.
 - ③ 설계 고려사항
 - 가. 바람이 부는 조건에서 과도한 응력치, 구조적 피로 그리고 사용자의 불편함과 불안감 등을 야기하는 진동에 의한 변형은 피해야 한다.
 - 나. 교량 바닥판, 케이블 지주 그리고 행거 케이블은 과도한 와류와 진동을 초래하는 비바람에 대해 보호되도록 한다.

4.5.3 비탄성 동적 응답

(1) 일반

지진이나 선박이 충돌하면, 에너지는 다음에 따르는 메커니즘에 의해 소산될 수 있다.

- ① 구조물에 충돌할 수 있는 물체의 탄성·비탄성 변형
- ② 구조물과 그 부속장치의 비탄성 변형
- ③ 구조물과 그 부속장치의 영구적인 변위
- ④ 특별한 목적의 기계적 에너지 소산으로부터 발생하는 비탄성 변형

(2) 소성 힌지와 항복선

해석에 있어서, 구조적 성분 내에 비탄성 변형에 의해 흡수된 에너지는 소성힌지와 항복선에 집중된다고 가정할 수 있다. 이 단면들의 위치는 에너지 흡수에 대한 저차 경계 해를 얻기 위해 적절한 가정을 함으로써 설정할 수 있다. 이러한 단면들에 대해서, 검증된 해석적 재료 모델을 사용함으로써 모멘트-회전 이력곡선을 결정할 수 있다.

4.6 실험에 의한 해석

4.6.1 축소모형 시험

구조적 거동을 정립하고 확인하기 위해서, 해석자는 구조물 전체나 일부분의 축소 모형 시험을 수행할 수 있다. 경계조건이나 하중뿐만 아니라, 구조물의 치수와 재료적 특성은 가능한 한 실제적으로 설계되어야 할 것이다.

4.6.2 교량 시험

존재하는 교량은 교량의 힘 효과와 내하력을 산정하기 위해 교통, 환경적 하중 또는 특별 목적의 차량 하중 시험 등 다양한 조건 하에서 얻어진 결과를 산출하고 계측될 수 있도록 한다.