

KR C-08010

Rev.1, ?. January 2014

교량 설계일반

2014. 1. ?



한국철도시설공단

경 과 조 치

이 “철도설계지침 및 편람” 이전에 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설공사에 대하여는 발주기관의 장이 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 우리공단 “철도설계지침 및 편람”을 그대로 사용할 수 있습니다.

일 러 두 기

- 사용자의 이용 편의를 위하여 책 단위로 구성된 “철도설계지침” 및 “편람”을 국제적인 방식에 맞게 체계를 코드별로 변경하였습니다.
또한, 코드에 대한 해설 및 목차역할을 하는 KR CODE 2012, 각 코드별로 기준 변경사항을 파악할 수 있도록 Review Chart 및 Record History를 제정하였습니다.
- 이번 개정된 “철도설계지침 및 편람”은 개정 소요가 발생할 때마다 각 항목별로 수정되어 공단 EPMS, CPMS에 게시될 것이니 설계적용 시 최신판을 확인 바랍니다.
- “철도설계지침 및 편람”에서 지침에 해당하는 본문은 설계 시 준수해야 하는 부분이고, 해설(이전 편람) 부분은 설계용역 업무수행의 편의를 제공하기 위해 작성한 참고용 기술도서입니다. 여기서, 제목 부분의 편람은 각 코드에서의 해설을 총칭한 것입니다.

목 차

1. 용어의 정의	1
2. 조사	2
3. 계획	3
4. 설계의 기본	4
4.1 설계의 원칙	4
4.2 설계 계산	4
4.3 설계도 및 설계 계산서	5
5. 철도교의 요구사항	6
5.1 일반내용	6
5.2 하중의 특성	7
5.3 운행을 위한 조건	7
5.4 궤도-교량 간 상호작용	7
5.5 유지관리	8
6. 기록	8
6.1 교량대장	8
6.2 교명판	8
해설 1. 콘크리트교 교량 기본계획	10
1. 개요	10
1.1 적용범위	10
1.2 콘크리트교량의 분류	11
2. 교량설계 절차	16
2.1 단계별 설계절차	16
2.2 성과품	23
3. 교량의 기본계획	27
3.1 개요	27
3.2 교량계획을 위한 조사	28
3.3 교량형식 선정	32
3.4 곡선교의 구조계획기준	38
3.5 교량의 구조시설기준	40



3.6 환경 및 경관의 고려	45
3.7 경제성의 고려	48
해설 2. 콘크리트교 교량 설계	52
1. 개요	52
2. 설계방법 및 설계기준	52
2.1 설계방법	53
2.2 설계기준	57
2.3 사용성 및 내구성 설계	58
3. 설계하중	67
3.1 영구하중	68
3.2 2차 고정하중	68
3.3 운행하중	72
3.4 기타하중	80
3.5 특수하중	85
4. 하중의 조합	87
4.1 허용응력설계법에서의 하중조합	87
4.2 강도설계법에서의 하중조합(RC 부재)	88
5. 사용재료	90
5.1 콘크리트	90
5.2 철근 및 강연선	92
5.3 설계계산에 사용하는 물리상수	96
6. 받침, 신축이음장치 및 기타	98
6.1 일반사항	98
6.2 받침용 재료	98
7. 교량 구조해석	99
7.1 해석방법	100
7.2 해석프로그램	101
해설 3. 강합성교 설계일반사항	104
1. 일반사항	104
1.1 조사	104
1.2 계획	110
1.3 강철도교의 종류	118
해설 4. 상부 구조형식에 의한 분류	122
1. 슬래브교	122
2. 라멘교	122

3. PSC 합성거더교(PSC Beam교 및 Preflex Beam교)	123
4. PSC 박스거더교	124
5. PSC U형 거더교	124
6. 콘크리트 아치교	125
 RECORD HISTORY	 127

1. 용어의 정의

- (1) 가도교 : 도로위에 가설된 교량
- (2) 가속도계수(Acceleration Coefficient) : 내진설계에 있어 설계지진력을 산정하기 위한 계수로서 지진구역과 재현주기에 따라 그 값이 다름.
- (3) 강도감소계수(Strength Reduction Factor) : 재료의 공칭강도와 실제강도 간의 불가피한 차이, 제작 또는 시공, 저항의 추정 및 해석 모형 등에 관련된 불확실성 등을 고려하기 위한 안전계수.
- (4) 고유주기(Natural Period) : 자유진동하는 구조물의 진동이 반복되는 시간 간격(sec)
- (5) 고유진동수(Natural Frequency) : 감쇠효과가 무시된 구조물의 자유진동에서 시간당 발생진동수(Hz).
- (6) 공칭강도(Nominal Strength) : 강도설계법의 규정과 가정에 따라 계산된 부재 또는 단면의 강도를 말하며 강도감소계수를 적용하기 이전의 강도.
- (7) 과선교 : 철도선로 위에 가설된 교량.
- (8) 경간(Span) : 교량에서 교대와 교각, 또는 교각과 교각사이 공간을 말함. 연속교인 경우 그 위치에 따라 측경간, 중앙경간 등으로 부르고, 경간 수에 따라 3경간, 5경간 연속교 등으로 부름.
- (9) 계수하중(Factored Load) : 강도설계법으로 부재를 설계할 때 사용하는 하중으로서, 사용하중에 하중계수를 곱한 하중.
- (10) 교량의 전복(뒤집힘) : 차량의 탈선 또는 바람의 상향력으로 교량이 뒤집히는 현상.
- (11) 단부각변위 : 실제 열차하중에 의한 동적 안정성 검토에서 교량 바닥판의 단부와 단부사이의 상대각변위 또는 교량 바닥판 단부와 교대 사이의 상대각변위.
- (12) 동륜하중 : 동력차의 구동차륜 하중.
- (13) 부하중 : 교량의 주요 구조부를 설계하는 경우에 항상 또는 자주 작용하지는 않지만 내하력에 영향을 미칠 수 있고, 통상 다른 하중과 동시에 작용하는 하중으로서 하중의 조합에서 반드시 고려해야 하는 하중의 총칭.
- (14) 사용하중(Service Load) : 고정하중 및 표준열차하중으로서 하중계수를 곱하지 않은 것, 작용하중.
- (15) 설계강도(Design Strength) : 공칭강도에 강도감소계수(ϕ)를 곱한 강도.
- (16) 설계기준강도(Specific Compressive Strength) : 콘크리트부재의 설계에 있어 기준으로 한 압축강도. 일반적으로 재령 28일의 압축강도를 기준.
- (17) 설계사용기간 : 구조물 또는 부재가 그 사용에 있어서 목적하는 기능을 완수하도록 설계상에 고려하는 기간.
- (18) 설계하중 : 부재를 설계할 때 사용되는 적용 가능한 모든 하중으로서, 강도설계법에 의한 설계에서는 하중계수를 곱한 하중(계수하중)이고 허용응력설계법에 의한 설계



에서는 하중계수를 곱하지 않은 하중(사용하중)이 설계하중.

- (19) 소요강도(Required Strength) : 하중조합에 따른 계수하중을 저항하는데 필요한 부재나 단면의 강도, 또는 이와 관련된 휨모멘트, 전단력, 축방향력 및 비틀림모멘트 등으로 나타낸 설계단면력.
- (20) 순경간(Clear Span) : 교대와 교각, 또는 교각과 교각사이 전면간의 거리.
- (21) 실제 열차하중 : 동적해석에 사용되는 실제 열차의 차축하중을 모델로 만든 하중.
- (22) 연성(Ductility) : 비탄성응답을 허용하는 부재나 접합부의 성질.
- (23) 응답수정계수(Response Modification Factor) : 탄성해석으로 구한 각 요소의 내력으로부터 설계지진력을 산정하기 위한 수정계수.
- (24) 주하중 : 교량의 주요 구조부를 설계하는 경우에 항상 또는 자주 작용하여 내하력에 결정적인 영향을 미치는 하중의 총칭.
- (25) 주행안전성 검토 : 고속열차의 동적 안정성 등을 포함하는 열차의 안전확보를 위한 최소 요구조건에 대한 검토
- (26) 차축하중 : 차량의 좌우측 바퀴의 하중을 합한 하중.
- (27) 충격계수 : 정적설계시 동적 충격효과를 고려할 수 있도록 표준열차하중에 곱해지는 계수. 열차 또는 차량의 주행에 의해 구조물에 발생하는 정적응답에 대한 동적응답의 증가비율을 나타냄.
- (28) 캔트 : 곡선 선로에서 열차의 원심력에 대항하여 차량의 안전을 도모하기 위해 내측레일을 기준으로 외측레일을 높게 하는데 이 때의 고저 차.
- (29) 특수하중 : 교량의 주요 구조부를 설계하는 경우에 교량의 종류, 구조형식, 가설지점의 상황 등의 조건에 따라 특별히 고려해야 하는 하중의 총칭.
- (30) 하로 플레이트거더교 : 통로가 주거더의 하면위치에 배치되는 교량.
- (31) 하중계수(Load Factor) : 하중의 공칭값과 실제 하중 간의 불가피한 차이, 하중을 작용외력으로 변환시키는 해석상의 불확실성, 예기치 않은 초과하중, 환경작용 등의 변동을 고려하기 위하여 사용하중에 곱해주는 안전계수.
- (32) 허용응력(Allowable Stress) : 탄성설계에서 재료의 기준강도를 안전율로 나눈 것.
- (33) 합성거더교 : 주거더와 현장치기 바닥판이 전단연결재에 의해 결합되어 주거더와 바닥판이 일체로 된 합성단면으로 하중에 저항하는 교량.
- (34) 단부구역 : 캔틸레버로 거동하는 기둥의 하단과 골조로 거동하는 기둥의 하단과 상단.

2. 조사

- (1) 철도교량의 합리적이고 경제적인 설계와 시공을 위해서는 교량가설 예정지점의 상황, 구조물의 규모 등에 따라 필요한 조사를 해야 한다.
- (2) 조사내용 및 방법 등 조사에 관한 제반사항은 「KR C-02030」을 따른다.

3. 계획

(1) 계획에 관한 사항은 「KR C-02030」을 따른다.

(2) 가설위치와 형식선정

- ① 철도교량의 계획에 있어서 가교위치를 선정할 때 열차속도가 향상됨에 따라 선형을 위주로 하여 선정하되 부수되는 문제를 사전에 고려해야 한다.
- ② 종래에는 노선전체의 선형만을 중시한 결과 사각이 매우 큰 교량이 계획되는 경우도 있었는데 이를 미연에 방지하기 위해서는 교량의 정적 및 동적거동의 안정성, 시공성 등의 측면을 고려한 교량의 종평면 선형, 사각, 교대 및 교각 위치 등을 유념하여 계획해야 한다.
- ③ 교량의 형식을 선정할 때도 지형, 지질, 기상, 교차물 등의 외부적 조건이나, 열차의 주행안전성, 전차선주의 설치, 시공성, 유지관리, 경제성 및 환경과의 미적인 조화를 고려하여 가설위치 및 교량의 형식을 선정해야 한다.

(3) 교차조건과의 관계

- ① 가교위치, 경간분할, 교각위치, 교각형상 등은 관계기관과 협의하여 정한다.
- ② 교량의 계획단계에서는 교량가설 예정지점의 관계기관과 협의해야 하고, 특히 다음의 여러 입지조건을 고려해야 한다.

가. 하천에 가교(架橋)하는 경우

- (가) 가교위치, 교량길이와 교대의 위치결정에는 하천의 형상과 개수(改修) 계획 등
- (나) 경간장, 다리밑 공간, 교각형상의 결정에는 계획홍수위, 계획홍수량, 항운조건, 인접구조물 등
- (다) 기초상단의 높이 결정에는 개수계획, 세굴상태 등

나. 해협이나 운하에 가교하는 경우

- (가) 경간장과 다리밑 공간의 결정에는 항로통과 선박의 크기 등

다. 도로나 철도위에 가교하는 경우

- (가) 교량길이, 경간장, 다리밑 공간, 교각의 위치와 형상 등의 결정에는 도로나 철도의 폭원구성, 건축한계, 시거 등
- (나) 교대, 교각 및 기초의 위치와 형상의 결정에는 지하매설물, 지하구조물 등

(4) 건축한계 및 다리밑 공간

- ① 교량의 설계에 있어서 건축한계 및 다리밑 공간(거더밑 공간)에 대한 한계 등은 「KR C-02030 3.3항」을 따른다.
- ② 교량설계 시 규정 등에 정한 건축한계 외에 다리밑 공간에 대한 한계, 교측보도 설치 등의 각종 한계를 고려해야 한다.



4. 설계의 기본

4.1 설계의 원칙

- (1) 철도교량은 안전하고도 경제적이며 목적에 맞는 것이어야 한다. 따라서 실험결과 및 과거의 경험을 바탕으로 하여, 구조물이 받는 정적 및 동적하중, 온도변화, 궤도-교량간 상호작용, 지진의 영향, 기상작용, 지반의 지지력 등에 대응할 수 있도록 하고 구조물의 중요도, 시공검사 및 유지관리, 환경조건, 미관 등을 고려해서 교량의 형식, 사용하는 재료 및 강도, 구조세목 등을 정하여 교량을 설계해야 한다.
- (2) 철도교량의 설계에 있어서는 일반적으로 교량 및 부재의 강도, 안정, 정적 및 동적변형, 내구성 등에 대하여 검토해야 한다. 필요한 경우에는 부재의 좌굴, 콘크리트의 균열에 대해서도 검토해야 한다.
- (3) 지진의 영향을 고려하는 경우에는 특히 다음 사항에 대하여 검토해야 한다.
 - ① 지진의 영향으로 과대한 변형, 비틀림, 응력집중 등이 생기지 않는 구조로 한다.
 - ② 재현주기 100년 지진에서도 열차가 주행기능을 수행할 수 있는 궤도안정성이 확보되도록 구조물에 대한 검토를 해야 한다. 이때 구조물은 탄성설계를 기본으로 해야 한다.
 - ③ 설계지진 발생 후의 피해정도를 최소화하고 구조물을 구성하는 부재들의 부분적인 피해는 허용하나 구조물의 전체적인 붕괴는 방지할 수 있도록 구조물에 대한 검토를 해야 한다.
 - ④ 교량 전체의 붕괴를 방지하기 위해 구조상 소성힌지가 생기는 부분에는 급격한 파괴가 생기지 않도록 연성을 갖게 해야 한다.
 - ⑤ 일반적인 내진계산은 교량의 직교 2방향에 대하여 각각 독립적으로 지진의 영향을 고려해서 계산하고 있으나 실제의 지진 진동은 수평 2방향과 연직방향의 3개 성분이 합성된 것이므로 구조물에 수평비틀림이 생기지 않도록 구조물의 강성의 중심과 질량의 중심이 가급적 일치되는 구조형식으로 해야 한다.
- (4) 기초 및 교대, 교각의 단면이 상당히 큰 경우 수화열해석에 의한 검토를 수행해야 하며, 온도해석 및 응력해석, 이들 결과를 사용한 균열발생의 평가방법은 콘크리트표준시방서(2009, 한국콘크리트학회) 제18장 매스 콘크리트에 따른다.

4.2 설계 계산

- (1) 교량 안전성설계는 정적해석에 의하여 수행해야 하며, 지진이나 충격 등의 영향을 계산하는 경우와 주행안전성 검토는 실제 열차하중을 사용한 동적해석에 의한 검토를 해야 한다.
- (2) 강교의 설계는 허용응력설계법으로 하는 것을 원칙으로 하되 강합성교의 콘크리트 바닥판 등의 설계에는 강도설계법을 적용하는 것을 원칙으로 한다.

- (3) 콘크리트교량의 설계는 강도설계법으로 하는 것을 원칙으로 하되 하부구조의 안정성 검토, 기초구조 검토, 프리스트레스가 도입되는 부재의 사용성 검토 등에 대해서는 허용응력으로 적정성을 검토할 수 있다.
- (4) 구조물의 안정검토에서는 일반적으로 받침면, 기초저면 등에서의 전도, 그리고 지반 및 말뚝 등의 수평 및 연직지지 등에 대한 안전도가 확보되도록 한다.
- (5) 구조물의 변형은 일반적으로 열차의 주행안전성, 승객의 승차감, 궤도-교량간 종방향 상호작용을 고려한 허용변위량 이내라야 한다.
- (6) 철도교의 설계 내용기간(耐用期間)은 요구되는 공용기간과 환경조건에 대한 교량의 안전성과 내구성능을 고려해서 정한다. 특히, 별도로 규정하지 않는 경우 철도교의 설계 내용기간은 100년으로 한다.

4.3 설계도 및 설계 계산서

4.3.1 설계도

- (1) 설계자가 설계한 구조물이 실제로 시공될 경우에 설계자의 의도대로 구조물이 만들어지지 않는다면 구조물의 안전도가 확보될 수 없고 또 구조물이 그 목적에 맞지 않게 된다. 따라서 설계도에는 시공에 필요한 사항, 장래 구조물을 유지 관리하는데 필요한 사항 등을 명시해 둘 필요가 있다.
- (2) 또 필요한 경우에는 응력, 흙의 내부마찰각, 기초지반의 허용지지력, 기초말뚝의 허용지지력, 지질도, 철근의 이음종류나 이음위치 등도 기재해야 한다.
- (3) 설계도는 구조물 또는 부재의 형상 치수, 철근의 형상 치수, 배치 등을 도시해야 한다.
- (4) 설계도에는 기본적으로 다음에서 제시하는 설계계산의 기초적 사항, 시공의 조건 등을 명기해야 한다.
 - ① 구조물의 위치 및 명칭
 - ② 설계하중
 - ③ 사용재료의 종류 및 설계기준강도(또는 허용응력) 또는 안전도
 - ④ 콘크리트의 내구성 또는 수밀성으로부터 정해지는 물-결합재비의 최대값
 - ⑤ 굽은골재의 최대치수
 - ⑥ 설계 책임자의 소속, 성명
 - ⑦ 설계 년월일
 - ⑧ 치수단위와 축척
 - ⑨ 관련도면 및 시방서

4.3.2 설계 계산서

- (1) 설계 계산서에는 일정한 조건하에서 구조물 및 부재가 안전도를 갖고 있음을 보여주는 계산과정을 명시해야 한다.



- (2) 일반적으로 구조물의 구조와 시공방법과는 밀접한 관계가 있으므로 계산과정에서 일치되어야 한다. 특히 부재접합의 조건(고정, 힌지, 연속 등) 및 시공순서는 계산의 과정과 일치해야 한다.
- (3) 따라서 만일 설계 계산의 조건과 시공의 조건이 일치하지 못하는 경우에는 다시 설계 계산을 하여, 설계 계산서에 그 과정을 명기해야 한다.

5. 철도교의 요구사항

5.1 일반내용

- (1) 철도교는 열차의 운행 안전성, 승차감, 그리고 향후 유지관리를 위하여 관련되는 엄격한 기준을 만족해야 한다.
- (2) 철도교는 작용하중이 매우 크고, 많은 불리한 하중조건을 만족해야 할 뿐만 아니라 차량 운행과 관계된 특별한 인터페이스를 만족해야 하므로 다음에 기술하는 바와 같은 조건들에 대해 특별히 엄격하고 주의 깊은 설계와 시공, 유지관리, 통제관리 등이 수행되어야 한다.
 - ① 정적하중 조건(고정하중, 차량하중, 일반 환경적 하중)
 - ② 동적하중 조건(동적 구조응답, 공진현상 검토)
 - ③ 운행하중 조건(제동하중, 시동하중, 차량횡하중 등)
 - ④ 반복적인 차량 차축하중에 대한 피로 조건
 - ⑤ 승차감 확보 조건
 - ⑥ 궤도-교량간 상호작용 효과(변형 한계조건, 온도 신축길이 제한)
 - ⑦ 상부구조와 하부구조사이의 인터페이스 조건
 - ⑧ 교량진단과 유지관리 과정에서도 열차의 운행중지를 하지 않을 조건
 - ⑨ 열차 특수운행 요구사항
- (3) 「(2)항」에서 언급한 조건에 맞는 교량의 설계를 위해 다음 특성을 고려해야 한다.
 - ① 동적안정성의 확보와 작은 처짐을 유도하여 높은 수준의 편안함과 승객의 안전을 보장해야 한다.
 - ② 차량 운행에 따른 공진을 가능한 한 방지할 수 있도록 하거나 공진 시 구조물 변형 안전성을 확보할 수 있어야 한다.
 - ③ 구조물에 위험 요소가 발생할 수 있는 요인을 제한하기 위하여 교량상부구조의 경우 가급적 단일구조체로 설계하는 것으로 하고 다음 형식을 피해야 한다.
 - 가. 연결부위가 취약한 구조체
 - 나. 품질관리가 어려운 복잡한 구조체
 - 다. 구조물 점검이 어렵고 복잡한 구조체

- ④ 시공성과 품질관리의 용이성을 높이고, 보다 고품질의 시공 결과물과 고효율 유지관리를 위해 개념적으로 단순한 형식을 적용하도록 해야 한다.
- ⑤ 열차운행 시 소음문제를 최소화할 수 있는 환경친화적 저소음 형식을 적용하거나 그에 대한 대책을 강구해야 한다.

5.2 하중의 특성

- (1) 작용하중의 특성치는 합리적으로 계산되어지고 공인될 수 있는 통계적인 값을 사용해야 한다.
- (2) 통계적인 분포가 없을 경우에는 공칭하중이 사용될 수 있다.
- (3) 하중들은 다음의 3가지의 형태를 가진다.
 - ① 영구적인 작용하중(고정하중, 프리스트레싱, 영구적인 주위환경의 하중 등)
 - ② 빈도에 관계없이 변동성 있는 하중 또는 준영구적인 작용하중으로 차량과 보행자하중, 기타 여러 작용원인에 의한 다양한 하중들(동적인 증폭관련 외의 어떠한 우발적 사고상황은 포함시키지 않음)
 - ③ 우발적인 하중(열차운행 상의 우발적인 하중 또는 기타 환경적인 우발적 하중)

5.3 운행을 위한 조건

- (1) 교량은 재료의 특성과 관계된 사항 이외에 추가적으로 진동 한계와 엄격한 변형 제한을 만족해야만 한다.
- (2) 다음과 같은 4가지의 독립적인 항목이 반드시 고려되어야 한다.
 - ① 주행의 안전성
 - ② 승객의 승차감
 - ③ 교량의 동적 안정성
 - ④ 궤도-교량 간 상호작용
- (3) 차량 운행 조건 검토 시 다음 사항을 만족해야 한다.
 - ① 차량 운행에 대한 조건은 열차속도 또는 차축간격, 수직하중, 열차의 특성으로 인해 수반되는 운행 조건에 의해 평가되어야 한다.
 - ② 운행 조건 중에서 열차의 수, 열차의 구성과 그 크기는 특히 강구조물의 경우 피로 검토를 위해서 반드시 고려되어야 한다.
 - ③ 정적설계에 적용되는 교량에 재하되는 운행하중은 표준열차하중을 사용해야 한다.
 - ④ 표준열차하중에 동적 충격효과를 고려하기 위한 충격계수가 포함될 때 선로의 운행 하중에 상응하는 수평효과들이 고려되어야 한다.
 - ⑤ 교량의 동적해석을 수행하기 위해서는 실제 열차하중이 적용되어야 한다.

5.4 궤도-교량 간 상호작용



(1) 교량 등 선로 상부구조물이 두개의 교대에 걸쳐져 있는 단순구조 형식이거나, 또는 하나의 교대를 포함하는 상부구조를 가지거나, 혹은 레일신축이음장치(REJ)를 가지고 있거나 가지지 않는 복잡한 연속구조물인 경우 등의 모든 경우에 있어서, 장대레일에서 기인하는 교축방향 하중은 구조물과의 상호작용으로 복잡하게 분산되어진다. 이러한 하중들의 일부분은 다른 선로에 전달되어지며, 또한 교량 구조물은 다음과 같은 영향을 받을 수 있으므로 검토해야 한다.

- ① 교량의 종방향 변위에 대한 궤도의 저항
- ② 탄성받침 등 종방향 강성을 고려할 수 있는 특정한 형식의 받침에 의한 종방향 변위에 대한 상부구조의 저항

(2) 다음의 하중에 의한 영향은 복합적인 수평방향 거동을 유발하여 반드시 고려해야 한다.

- ① 온도변화에 따른 레일과 구조물에서의 서로 다른 거동의 영향
- ② 제동과 시동에 준용하는 수평하중의 영향
- ③ 다음 사항을 유도할 수 있는 수직하중에 의한 교량휨에 기인한 영향
 - 가. 받침 위의 상부구조 단부각변위
 - 나. 교량상부구조의 종방향 변위
 - 다. 레일에서의 추가 휨응력

(3) 궤도에 추가되는 하중들은 레일, 체결구 등 궤도 구성요소의 특성과 함께 고려되어야 한다. 특히, 장대레일이 부설된 콘크리트궤도에서의 교량 변위발생에 따른 체결구의 압상(Uplift) 및 압축에 대한 안정성을 검토해야 한다.

5.5 유지관리

- (1) 유지관리를 위한 최소치인 유지관리 요구도를 제시하기 위하여 세부적인 설계과정 동안 유지관리에 대한 계획이 수립되어야 한다.
- (2) 설계도서에는 유지관리를 위한 사전 고려사항 및 유지관리 시설이 반영되어야 한다.

6. 기록

6.1 교량대장

- (1) 교량대장은 유지관리, 금후의 계획, 각종 조사를 위하여 필요한 것으로 특별히 유의하여 정비하고 보관해야 한다.
- (2) 교량대장에는 교량의 길이, 교량 폭, 설계하중(시방서명), 설계지진의 크기, 기초의 형식과 근입깊이, 지반조건, 주요부분의 구조도, 준공년월일, 기타 장래의 유지관리에 필요한 기재사항을 기재하여 이것을 보관해야 한다.

6.2 교명판

- (1) 교량에는 교명판을 부착시킴을 기본으로 한다.
- (2) 교명판에는 교량 명칭, 총연장, 교량 폭, 설계하중, 공사기간, 시행청, 설계자, 시공자, 책임감리원, 준공검사자 등을 기재해야 하며, 교량종류에 따른 교명판의 구체적인 제작요령과 부착위치는 시행청이 정한 바에 따른다.



해설 1. 콘크리트교 교량 기본계획

1. 개요

철도교는 철도가 통행을 저해하는 지형 및 공간적 장애물(하천, 계곡, 도로, 철도 등)을 만났을 때 장애물의 상부로 통행할 수 있도록 축조하는 철도구조물이다.

최근 경제발전과 사회적 요구의 변화로 인하여 철도의 품질이 향상되었고, 이에 따라 고품질의 교량 가설이 요구되고 있다. 이를 위해 교량의 계획단계에서는 교량의 선형, 가설상의 제약조건, 구조설계기준 만족, 내구성과 안전성 확보, 교장 및 경간분할, 하부구조의 형식 및 형상, 기초 형식 및 공법 결정 등이 이루어지게 되며 특히, 경제적이면서 미적인 교량형식 선정의 중요성이 부각되고 있다. 계획단계에서 치밀한 조사를 행한 체계적인 계획 수립은 향후 교량의 설계단계와 공용단계에서 교량 성능에 큰 영향을 미치게 되므로, 교량계획은 신중하게 이루어져야 한다.

교량계획을 성공적으로 수행하기 위해서는 설계·시공에 대한 실무경험과 교량의 거동에 대한 이해, 설계 및 해석기법에 대한 폭 넓은 지식, 신재료 및 신기술의 접목, 연관 분야 기술의 이해가 있어야 가능하다. 이를 바탕으로 계획단계에서 교량기술자는 교량의 안전성 및 내구성 확보, 이를 위한 적절한 교량 형식과 가설공법의 선정, 가설 후의 유지관리 편의성, 교량 가설이 미치는 사회적·환경적 영향 등에 대해 면밀하게 검토하여야 하며, 다음 각 요건을 종합적으로 고려하여 결정해야 한다.

- (1) 가설위치와 노선 선형
- (2) 외적 제반조건
- (3) 구조적 안전성과 경제성
- (4) 열차주행 안정성과 쾌적성
- (5) 시공성과 유지관리성
- (6) 미관
- (7) 지역주민의 의견

1.1 적용범위

본 해설은 철도설계기준에 의거하여 선로를 지지·보호하는 국철의 철도교 구조물 중 지간 150m 이하의 철근콘크리트(RC)교량 및 프리스트레스트 콘크리트(PSC)교량의 상부구조에 적용하는 것을 원칙으로 하며, 지간이 150m를 넘는 교량을 설계할 경우에는 각각 구조형식에 따른 최대 지간의 교량에 대하여 응력 및 변형의 해석, 재료 특성, 품질관리 등의 면에서 철도설계기준에서 규정하는 사항 이외의 제 사항도 검토하여야 한다. 본 해설은 상위기준에 명시되어 있지는 않으나 설계 업무수행을 위하여 필요한 사항, 상위 설계기준에서 기술하기에 곤란한 사항, 보편적으로 인정되고 있는

설계 기술자의 경험 등을 체계적으로 정리한 설계 참고자료이다. 따라서 본 편람보다 관련법규, 설계기준, 시방서, 발주기관 지침을 우선적으로 적용하여야 하며, 편람에 기술된 내용은 설계 실무자가 보다 발전적인 설계를 위한 실무 보조 자료로서 활용하도록 한다.

1.2 콘크리트교량의 분류

철근콘크리트교의 종류는 철도교의 특성에 따라 구조형식 및 레일의 위치에 따라 다음과 같이 각각 분류할 수 있다.

1.2.1 구조형식에 의한 분류

(1) 슬래브교

슬래브교는 상부구조의 두께에 비하여 폭과 길이가 크고 상대되는 2변이 자유스런 직사각형 판을 주구조로 한 교량이다. 단순지지 RC슬래브교는 보통 10m 이하의 짧은 지간에 대해서는 1방향 슬래브교가 경제적이다. 단순지지 속 빈 RC슬래브교는 15m 정도 지간에 사용되며, 경우에 따라 직사각형 모양의 속 빈 슬래브교를 사용하기도 한다. 반면에 연속지지 속 빈 RC슬래브교에서는 지간길이를 최대 25m 정도까지 가설할 수 있다.

단순지지 PSC슬래브교는 15m 정도 지간, 연속지지 PSC슬래브교는 최대 25m 지간장까지 설계가 가능하여 속 빈 RC슬래브교의 적용 지간장과 유사하다.

슬래브교의 특징은 다음과 같다.

- ① 단면특성상 균열안전율이 비교적 크다.
- ② 장경간에서는 고정하중이 증가하여 불리하며 지간장 15 m 정도에서 널리 사용된다.
- ③ 상부구조물의 두께를 줄일 수 있으므로 형고의 제약을 받는 곳에서 유리하다.
- ④ 거푸집이 간단하고 콘크리트 타설시 수평이음을 두지 않고 마무리할 수 있으므로 시공이 비교적 용이하고 확실하다.

(2) 라멘교

부재의 절점들이 강결되어 있는 뼈대 구조물을 라멘구조라고 하는데 구조형식상 구분으로 거더교형식과 기둥이 일체화된 구조를 포함할 수 있으나 본 절에서는 수평슬래브 부재와 수직부재(벽체)가 강결되어 있는 RC라멘구조를 위주로 기술한다.

RC라멘교는 구조물의 절점 부위가 철근으로 연속되어 있고 콘크리트도 연속 타설되기 때문에 일체화된 구조로 된다. 따라서 RC라멘교에서는 하중이 어느 한 부재에만 작용하더라도 다른 부재에 변형과 응력이 발생하게 된다.

RC라멘교의 특징은 다음과 같다.

- ① 상하부구조가 일체로 가설되기 때문에 일반적으로 신축이음과 받침이 불필요하고, 유지관리가 용이하다. 반면에 수직부재(벽체)에 작용하는 토압과 수압이 상부구조에



전달된다.

- ② 수평부재에 작용하는 휨모멘트의 일부를 수직부재가 부담할 수 있기 때문에 동일한 지간의 슬래브교에 비하여 상부구조 두께를 낮출 수 있다. 일반적으로 설계 경간장은 15m 이하이다.
- ③ 부정정구조이기 때문에 부재의 일부가 항복해도 응력이 재분배되어 인성이 있는 구조이다. 반면에 온도, 건조수축, 기초의 부등침하에 의한 영향이 크다.
- ④ 다경간 교량에서는 지진력(수평력)을 각 하부구조에 분산하도록 설계가 가능하고 강결구조이기 때문에 내진 저항성이 우수하다.
- ⑤ 문형 라멘교를 제외한 T형 라멘교, II형라멘교, 연속 라멘교에서는 교량의 시점과 종점에 신축이음과 받침을 두는 경우가 있다.

(3) PSC 합성거더교(PSC Beam교 및 Preflex Beam교)

콘크리트는 압축에 강한 반면에 인장에 약한 재료적인 특성을 갖고 있어서 이를 보완하는 방안으로서 콘크리트에 프리스트레스 힘을 가하는 방법이 사용되고 있다. 콘크리트에 프리스트레스를 가하는 방법은 강선, 텐던 또는 강봉을 인장 정착시킴으로써 콘크리트에 압축응력을 도입하는 방법과 미리 구부려 놓은 강재를 강제로 편 상태에서 콘크리트를 타설 양생한 후 구속을 풀으로써 콘크리트에 압축응력을 도입하는 방법이 있는데 전자의 방법으로 제작된 거더를 프리스트레스트 콘크리트(PSC) 거더라 하고 후자의 방법으로 제작된 거더를 프리플렉스(Preflex) 거더라 한다.

철도교 위로 열차를 통과시키기 위하여는 이러한 거더 위에 철근콘크리트(RC) 바닥판을 설치하여야 한다. RC 바닥판의 주 기능은 열차 하중을 주 거더에 전달하는 것이지만 RC 바닥판 역시 구조체이므로 주 거더와 일체로 작용하도록 하여 주 거더의 기능을 일부 분담할 수 있도록 하면 보다 경제적인 교량의 건설이 가능한데 이러한 형식의 교량을 합성거더교라 한다.

합성거더교에서 가장 중요한 것은 완전한 합성작용(composite action)을 확보하는 것이다. 즉, 휨전단(flexural shear)은 주 거더와 철근콘크리트 바닥판의 접합면을 따라 수평활동을 일으키는 원인이 되는데 주 거더와 RC 바닥판 사이에 전단연결재를 설치함으로써 이 수평활동에 충분히 저항할 수 있는 구조로 하여야 한다.

일반적으로 합성거더교는 다음과 같은 특징을 갖는다.

- ① 주 거더는 작업여건이 좋은 제작장에서 생산되므로 비교적 높고 균일한 품질의 시공이 가능하다.
- ② 현장에서 거푸집과 비계공을 크게 줄일 수 있다.
- ③ 현장 작업이 간단하여 공사기간을 단축할 수 있다.
- ④ 현장치기 RC바닥판은 주 거더에 비하여 그렇게 높은 품질의 것이 아니라도 좋다. 실제로 주 거더에 사용되는 콘크리트의 압축강도는 35.0MPa 이상의 품질이 사용되

고 있으며 RC 바닥판에 사용되는 콘크리트의 압축강도는 27.0MPa 내외의 것이 사용되고 있다.

합성거더교는 지간이 50m 이하인 철도교에 적용되고 있으며 주로 쓰이고 있는 합성거더교의 형식은 PSC 합성거더교와 프리플렉스 합성거더교이다.

PSC 합성거더교는 PSC거더를 주 거더로 하는 합성거더교로서 지간이 20 m에서 25 m까지의 철도교에 적합한 교량 형식이며, 프리플렉스 합성거더교는 미리 설계하중의 10%~20% 수준의 프리플렉션하중을 재하시킨후 하부플랜지에 고강도 콘크리트($f_{ck} = 40.0\text{MPa}$)를 타설하여 콘크리트 부위에 압축프리스트레스를 도입하는 일종의 프리텐션(pretension)공법으로 철골과 콘크리트의 구조적 장점을 최대한 활용한 합성거더교로서 지간이 30m에서 40m까지의 철도교에 적합한 교량 형식이다.

(4) PSC 박스거더교

콘크리트에 프리스트레스 힘을 가하게 되면 사용하중 하에서 콘크리트의 발생하는 응력을 콘크리트의 인장 또는 압축강도 미만으로 조절할 수 있다. 이러한 프리스트레스 힘은 강선, 텐던 또는 강봉을 사용하여 외력의 형태로 콘크리트에 도입되며, 프리스트레스 힘이 도입된 콘크리트를 프리스트레스트 콘크리트(PSC)라 한다. PSC 박스거더교는 PSC 합성 거더교와 함께 PSC의 특성을 이용한 교량형식으로서 중간 규모의 지간으로부터 장지간에 이르기까지 많이 사용되고 있으며 다음의 특징을 갖고 있다.

- ① 콘크리트를 현장에서 타설함으로써 제작과 가설이 동시에 이루어지므로 일반적으로 경제적인 시공이 가능하다.
- ② 이동식 비계공법(MSS ; Movable Scaffolding System) 등과 같이 이동식 비계를 이용함으로써 다경간 교량의 연속시공에 대하여 적합한 교량형식이다.
- ③ 비틀림 강성이 크다.
- ④ 지간이 너무 짧으면 거더의 높이가 작게 되어 박스 내부의 거푸집 작업이 곤란하게 되므로 적합하지 않다.
- ⑤ 현장작업이 많기 때문에 도로 위를 지나가는 가도교의 경우 교통저해 기간이 길어지므로 하천교량, 교통량이 많지 않은 도로 또는 도시계획 도로의 가도교 등에 많이 사용된다. 다만, 동바리가 필요하지 않은 이동식비계공법(MSS) 또는 연속압출공법(ILM), 프리캐스트공법(PSC) 등을 채택함으로써 일반의 가도교에도 적용할 수 있다.

(5) PSC U형 거더교

프리스트레스 콘크리트(PSC)를 이용한 철도교량의 경우 PSC 합성거더교와 PSC 박스거더교가 일반적인 형식으로 표준화된 형태로 주로 사용되었으나, 근래들어 PSC U형 거더교, PSC 사판교 및 엑스트라도즈교 등 프리스트레스 콘크리트를 이용한 다양한 교량형식이 설계에 적용되고 있으며, 이 중 PSC U형 거더교의 경우 주거



더가 구조적인 기능과 방음벽의 역할을 동시에 수행이 가능한 친환경적인 교량으로 일반철도 및 경전철 등에 많이 사용되고 있는 실정이다.

PSC U형 거더교란 궤도를 슬래브로 지지하고 그 슬래브를 건축한계 밖으로 설치한 주거더로 지지하는 구조로서 철도구조물로서의 안전성과 다리밑 공간 확보의 용이성 등으로 인하여 일찍부터 일본 및 유럽 등지에서 자주 적용된 교량형식으로 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

① 다리밑공간 확보의 용이성

거더하면에서부터 궤도까지의 높이가 극히 작아 상로방식의 거더로는 필요한 다리밑 공간 확보가 곤란한 경우에 사용이 가능하다. 또한 궤도고가 낮은 교량 특성상 접속부 교량 또는 토공 쌓기부의 성토높이를 최소화하여 전체 공사비 절감이 가능하다.

② 친환경성 및 유지관리성

거더자체가 방음벽 역할을 수행하여 방음벽의 배제 또는 축소로 인한 친환경성 확보가 용이하며 방음벽 배제로 교량측면에서 조망시 구조물 전체의 위압감 최소화 도모가 가능하고 유지관리성이 우수하다.

③ 열차 탈선시 안전성

열차탈선시 주거더가 방호벽 역할을 수행하므로 열차의 주행안전성 확보가 가능하므로 철도교로서의 기능성 측면에서 우수하다.

④ 다양한 경간장 적용

일반적으로 경간장 30~50m 내외의 다양한 경간장 적용이 가능하며 연속화 및 단면변형시 50m~120m 까지도 적용이 가능하다. 경간장 적용시 유의하여야 할 점은 구조물의 구조적 기능성을 고려 충분한 유효폭 확보가 가능하도록 하여야 하며 특히, 복선 교량설계시에는 구조적으로 기능이 저하되는 플랜지가 발생하지 않도록 유효폭을 충분히 고려한 경간장을 선정하여야 한다.

⑤ 가설공법 적용성

PSC 박스거더교와 마찬가지로 다양한 가설공법의 적용이 가능하므로 주변현황 및 가설여건 등을 충분히 분석하여 경제성 및 시공성을 감안한 최적의 가설공법을 선정할 수 있다. 일반적인 단경간 단순교의 경우 시공성이나 경제성 측면에서 전체지 지식 동바리공법(FSM) 또는 Span by Span공법이 용이하며 도로나 하천을 고가로 통과하는 가도교 또는 연속교의 경우 프리캐스트 세그먼트공법(PSM)과 연속압출공법(ILM) 공법 등의 적용이 가능하다.

⑥ 3선 이상의 확폭구조인 경우 효율성이 떨어지고 적설지에서는 제설여유폭을 확보하거나 용융설비가 필요하다.

(6) 콘크리트 아치교

아치는 곡선으로 된 부재를 의미하는데, 아치의 역학적인 정의는 원호 형상의 보가

양단에서 단순지지 되어 있고, 지점이 수평방향으로 구속된 구조이다. 휘어진 보를 단순보와 같이 지지시킨 보와 역학적으로 다른 점은 수평방향 구속력있고, 수평반력은 휘어진 아치의 부재에 휨모멘트와 함께 축력을 주게 되는데, 수평반력으로 인해 발생하는 휨모멘트는 하중에 의해 발생하는 휨모멘트를 없애도록 거동하므로 이상적인 아치부재에서는 축력(압축력)만 발생하게 된다.

일반적인 아치교량의 구성은 상판, 스펀드렐(Spandrel), 아치리브, 스프링잉(Springing) 등으로 구성됩니다. 상판은 직접 차량등의 상부하중을 부담하는 구조로 거더의 바닥판과 같은 역할을하고 스펀드렐은 상판과 아치리브 사이의 공간을 지칭하며, 주로 수직재가 설치되어 상판의 하중을 아치리브로 전달하게 된다.

아치리브는 아치교의 주부재로 스펀드렐 내의 수직재등으로 전달된 상판의 수직 하중을 압축력으로 부담하여 지반에 수평력으로 전달하는 구조이고, 아치리브의 중심선을 아치축선이라 하고, 아치축선의 정점을 크라운부라고 한다. 또한 아치의 양끝 지점부를 스프링잉(Springing)이라 하며, 이 스프링잉을 연결하는 직선과 아치크라운부와의 연직거리를 아치 라이즈(Rise)라고 한다.

일반적으로 아치교는 다음과 같은 특징을 갖는다.

- ① 지간장 100m 정도의 길이에 적합
- ② 경간을 넓혀 하부의 원활한 통행이 가능
- ③ 단순한 교량의 형태와 달리 구조물의 미적인 부분 강조 가능
- ④ 안정감이 있고 경관이 아름다운 곳에 적합
- ⑤ 외력에 대해 수평, 수직반력이 발생
- ⑥ 수평반력 때문에 견고한 기초지반위에 가설해야함

1.2.2 레일의 위치에 의한 분류

콘크리트철도교는 레일의 위치에 따라 상로식, 하로식 및 중로식으로 분류된다. 각각의 형식은 교량의 목적, 가설위치 및 주변환경에 따라 적절한 형식을 선정하여야 한다.

(1) 상로식(Deck type)

주형의 상부에 궤도가 위치한다.

(2) 중로식(Half-through type)

바닥틀이 중간에 위치하게 되는 구조이며, 구조적으로는 본질적으로 하로식과 비슷하게 된다.

(3) 하로식(Through type)

바닥틀이 궤도를 지지하고, 이 바닥틀을 좌우의 주형으로 구속하는 형식으로 상로식보다 구조는 복잡하고 레일면과 주형 최하단과의 거리가 짧게 된다.



2. 교량설계 절차

신설되는 교량의 설계는 타당성조사, 기본설계, 실시설계의 순서로 진행되며, 각 단계별 과업의 정의 및 내용을 교량 위주로 정리하면 <표1>과 같다[건설공사의 설계도서 작성기준(건설교통부, 2005)]. 교량 설계는 일반적으로 철도 설계와 동시에 이루어지게 되므로 본 절에 수록되지 않은 철도설계에 관련된 내용은 「철도설계지침 및 편람 제2장 철도계획 및 공통」을 참조하도록 한다.

2.1 단계별 설계절차

2.1.1 타당성 조사

교량의 규모나 중요성, 가설지점의 상태를 정확히 판단함으로서, 교량 건설 기간 중 큰 변경 없이 합리적이고 경제적인 계획, 설계, 시공을 하기 위한 목적으로 타당성 조사를 실시한다. 타당성 조사에서는 실측도 작성, 가설위치 선정, 교량 형식과 경간장 등을 결정하기 위하여 기본조사를 실시하고, 이를 바탕으로 실측도를 작성하며, 가설지점의 고수위와 저수위, 기타 도로와의 관계, 장래 도로신설 및 확장계획, 하천의 유량과 주변 지형, 하상변화, 지질 등을 조사하여야 한다.

타당성 조사는 계획단계에서 수행되는 것이 일반적이나, 설계단계 또는 설계심의 후 추가 조사가 요구되는 경우에는 재조사가 실시되며, 최종 조사보고서로 작성된다. 한편, 교량의 가설을 위하여 용지보상이 필요한 경우에는 용지보상의 근거자료인 용지도 및 지장물 조서를 작성하기도 한다.

타당성조사의 경우에도 구조물의 설계 작업이 수행되는데, 그 내용은 다음과 같다.

(1) 설계기준의 설정

- ① 교량의 등급을 정한다.
- ② 교량의 폭원 구성을 제안한다. (보도설치 유무 검토, 폭원 검토)
- ③ 교량의 설계방법 및 내진설계 등급을 제안한다.
- ④ 계획 시설물 설계에 적용할 홍수재현 빈도에 따른 계획홍수량, 계획홍수위, 다리밑 공간 및 경간장을 제안한다. 교량이 하천을 점용하는 경우에는 [하천설계기준·해설(국토해양부, 2009)]등 관련기준을 고려하여 설치위치의 적정성, 홍수재현빈도 등을 결정하여야 한다.
- ⑤ 교량이 해상에 설치되는 경우, 조석의 차 및 설계파고 등을 제안한다.
- ⑥ 구조물 설계에 적용할 하중의 종류 및 크기 등을 제안한다.

(2) 설계 내용

- ① 구조물 계획결과와 결정된 설계기준을 토대로 주요 구조물의 형식 및 형태를 설계한다. 과업수행방법은 기존 설계자료 및 관련 기술자료를 참조하고 주요부재의 구조계산을 통하여 계획된 교량형식의 적정성을 확인한다.

- ② 경제성, 시공성, 안전성, 내구성, 친환경성, 유지관리 등을 고려하여 사용재료를 선정하고, 경간 구성을 결정한다.
- ③ 도로, 철도, 항로 등의 통과와 계획홍수위 등을 고려하여 적정 다리밑 공간을 결정하고 구조물 설계에 반영한다.

표 1. 단계별 설계과정 분류

구 분	정 의	내 용
타당성 조사	<ul style="list-style-type: none"> 교량공사에 대한 사업비의 기본구상을 토대로 경제적 타당성, 재무적 타당성, 기술적 타당성, 사회 및 환경적 타당성을 사전에 종합적으로 판단하며 여러 대안을 비교 검토하여 최적안을 선정 교량사업의 기본계획을 수립하고 설계용역에 필요한 기술자료를 작성 	<ul style="list-style-type: none"> 지형, 지질, 교차로, 지하매설물, 하천, 바다, 토질, 지진, 기상, 교량 부속물, 부식, 재료, 시공성 등의 조사 적용 가능한 교량의 대안 선정 추정사업비 산출 및 분석 타당성 조사 보고서 작성 교통분석, 경제성 분석 등
기본 설계	<ul style="list-style-type: none"> 타당성 조사 결과를 근거로 교량의 규모, 배치, 형태, 공사방법 및 기간, 소요비용 등에 있어 일반적인 조사 및 분석, 비교 검토를 거쳐 최적안을 선정하고 교량의 예비설계를 수행하며, 설계기준 및 조건 등 실시설계용역에 필요한 기술자료를 작성하는 단계 실시설계에서 고려하여야 하는 조건과 설계방향 및 설계기준을 제시하는 단계로서 다양한 교량형식의 적용성 검토, 주요수량에 근거한 예상사업비 산출 등의 내용을 포함 	<ul style="list-style-type: none"> 구조계산서, 수리계산서 작성 <ul style="list-style-type: none"> 주요부재의 구조계산 교량 형식 및 주요제원 결정 교량 형식별 검토 자료 사용재료 결정 각 형식의 장단점 분석 난간, 배수구, 신축이음, 받침 등 형식 비교 검토 지질 및 지반조사 보고서 작성 기본설계 도면 작성 <ul style="list-style-type: none"> 중단면도, 횡단면도, 평면도, 토질주상도 기본설계 예산서 작성 <ul style="list-style-type: none"> 개략 공사비 및 유지관리비 비교 확인조사 및 여건변동조사 시공법 결정 교량형식별 설계 가정의 적정성, 시공성 등 검토 중요하지 않은 세부설계 생략
실시 설계	<ul style="list-style-type: none"> 실시설계는 시공을 위한 설계단계 기본설계를 토대로 교량의 규모, 배치, 형태, 공사방법 및 기간, 소요비용, 유지관리 등에 관하여 세부조사 및 분석·비교·검토를 통하여 상세설계를 수행하며 시공 및 유지관리에 필요한 모든 기술자료를 작성하는 단계 	<ul style="list-style-type: none"> 실시설계 보고서 작성 실시설계 도면 작성 <ul style="list-style-type: none"> 교량 상세도면 등 지질 및 지반조사 보고서 작성 공사시방서 작성 설계예산서 작성 <ul style="list-style-type: none"> 물량 및 공사비 등

2.1.2 기본설계

거더높이, 주거더 배치, 주요단면제원, 기초 크기, 말뚝수량 등을 구하고, 물량을 개략 산출하여 구조물 형식비교에 필요한 자료를 작성하는 계획단계와 비교대상 구조물 중 최적형식에 대한 교량제원, 난간, 배수구, 신축이음, 받침 등 교량 부속물의



형식 결정, 사용재료 종류 및 수량 결정, 기타 주요단면 크기 산정, 구조계산, 시공법을 명확하게 하는 설계 단계로 나눌 수 있으며, 이를 기본설계라 한다.

(1) 교량 계획단계

교량의 형식은 다음과 같은 요소의 장단점을 비교·검토하여 지간, 상부구조, 하부구조 형식을 결정한다.

- ① 경제성(공사비, 유지관리, 내용연수 등의 적정성)
- ② 시공성(작업공간확보 및 민원최소화 등)
- ③ 기능성(소음, 진동을 최소화하고 다리 밑 공간 확보 등)
- ④ 안전성
- ⑤ 미관성
- ⑥ 유지관리 용이성

가. 지간구성

- 사용재료 등을 고려하여 적정한 지간을 계획
- 하상 또는 해저면 까지 수심, 지형 등과 기초지반의 상태를 고려하여 지간을 계획
- 계획홍수위 및 홍수량 등을 고려하여 적정지간을 계획하고 홍수시 수위상승으로 기존 제방에 미치는 영향을 최소화
- 교차시설(도로, 철도, 선박의 항로 등)들이 갖는 적정폭을 고려하여 지간 계획
- 지장물 및 기타 장애물을 고려하여 지간 계획
- 주변 경관과 조화를 고려하여 지간 구성

나. 상부구조형식

- 하중의 종류, 크기, 하부 구조에 미치는 영향 등을 고려
- 승차감을 고려하여 되도록 연속 구조로 계획
- 교차시설(도로, 철도, 선박의 항로 등)을 고려, 적정 다리 밑 공간을 유지 할 수 있도록 계획
- 제작, 가설방법 등을 고려, 적정한 구조형식 계획.
- 내구성과 유지관리 등을 고려, 적정 구조형식 계획

다. 하부구조 및 기초형식

- 상부구조형식, 폭, 사용재료, 하중의 크기 등을 고려하여 하부구조 및 기초 형식 계획
- 내진설계를 고려, 상·하부구조 연결부(내진받침, 면진받침, 강결구조 등)를 검토
- 지지층까지 심도, 지반의 상태 등을 고려, 기초의 형식 계획
- 하부구조는 하천 흐름에 방해가 되지 않도록 계획
- 자재 및 장비의 운반 및 진입, 공사방법 등을 고려, 적정 구조형식 계획

라. 공법

- 계획시설물의 규모, 위치 및 지형지질 동원가능 장비의 성능, 가설제작장 설치가
능여부, 공사소요기간, 가설공사비 등을 검토하여 계획
- 주변시설 및 인근 주민에 미치는 소음, 진동, 교통의 혼잡을 최소화할 수 있는
공법 결정
- 하천 또는 해상공사 중 토사유출 등에 의한 주변의 오염 여부

(2) 교량 설계단계

설계단계에서는 타당성 조사에서 적용한 설계기준에 대해 적정성을 검토하고 설계를 수행하며, 그 내용은 다음과 같다.

① 설계기준

- 가. 설계속도, 폭원구성, 구조물 연장 등을 결정
- 나. 구조물 설계방법과 내진설계 등급 결정
- 다. 재현빈도에 따른 계획홍수량 및 계획홍수위 결정
- 라. 설계하중의 종류, 크기를 결정
- 마. 사용재료의 종류 및 특성(재질, 강도) 규정
- 바. 해상에 가설되는 경우 조수간만의 차, 설계파고 등을 결정
- 사. 설계에 적용할 설계기준, 시방서, 지침, 편람 등을 규정

② 교량설계

- 가. 조사 및 계획에 의한 주요 교량의 형식을 비교, 검토하여 최적형식을 결정하고, 이때 구조형식에 따라 상부구조, 하부구조, 기초구조의 단면을 설정하고, 구조물의 안전성, 내구성, 사용성 등을 검토
- 나. 주요 구조물에 대한 단면을 가정하고, 관련 설계기준에 규정된 해석방법으로 모델링하여 구조계산에 필요한 단면계수를 산출
- 다. 최대단면력이 산출될 수 있도록 하중조합은 가장 불리한 조건이 되는 재하위치를 결정
- 라. 설계방법에 따른 하중계수, 강도감소계수 등을 적용
- 마. 시공방법 및 순서를 고려하여 구조계산을 수행하되 교량의 대표적인 단면에 대하여 수행
- 바. 산출된 최대단면력(휨모멘트, 축력, 전단력, 비틀림모멘트)에 대한 안전성을 설계기준에 근거하여 검토·확인
- 사. 사장교, 현수교와 같이 케이블지지 특수교량은 풍하중에 대한 안정성을 반드시 검토
- 아. 구조계산에 따른 전산프로그램은 검증된 것을 사용
- 자. 개략 구조계산에 따른 주요 구조물의 표준단면도 및 표준구조상세도를 작성한편 기본설계시 설계자는 발주청의 과업지시서에 따른 사업내용을 충분히 파악하고, 해당사업에 대한 발주청의 의도를 정확하게 파악하며, 설계 및 제반법규 등을 조



사한다. 해당사업의 기본계획, 타당성 조사보고서에 대하여 관공서 자료, 관련 설계자료 등을 참고하여 추가 조사항목, 수집할 자료 등 설계를 위해 필요한 정보가 검토된다.

2.1.3 실시설계

실시설계란 기본설계를 구체화하여 구조물을 정확하게 시공하는데 필요한 모든 설계로서, 시공을 위한 설계이다. 따라서 시공에 필요한 주의사항을 시공계획서 등에 기술하여 시공담당자에게 설계자의 의도를 충분히 전달할 수 있어야 한다.

설계자는 발주청이 제시하는 입찰공고, 과업지시서와 관공서자료 등으로부터 사업의 개요, 목적, 범위, 설계방침, 용역성과품 범위 등 설계업무수행에 관련된 정보를 획득하고, 축적된 설계기술을 활용하여 용역성과품을 작성하는 것이다. 이러한 실시설계 과정은 관련 법규 및 규정(국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률, 건설기술관리법 등)에 의하여 통제된다.

실시설계단계는 설계기준 검토, 구조해석, 설계도면 작성, 공사시방서 작성, 건설사업비 산출 등으로 구성된다. 따라서 실시설계는 계획단계에서 타당성조사 보고서, 기본설계 검토결과, 유사 규모의 시설물 자료 등 관련 설계자료를 이용하여 실시설계단계에서 구조계산서, 실시설계도면, 공사시방서, 설계내역서 등을 작성하며, 설계심의단계에서 지적사항이 있을 경우에는 이를 반영하게 된다.

실시설계업무도 계획단계와 설계단계로 구분할 수 있으며, 그 상세 내용은 다음과 같다.

(1) 교량 계획단계

기본설계에서 검토되지 않았거나 생략된 교량가설과 관련된 모든 사항에 대해 경제성, 시공성, 안전성, 미관성, 유지관리의 각각의 장단점을 검토하여 결정한다.

① 지간구성

가. 상부구조형식, 사용재료 등을 고려하여 적정지간 계획

나. 하상 또는 해저면 까지의 수심, 지형 등과 기초지반 상태를 고려하여 지간 계획

다. 계획홍수위 및 홍수량을 고려하여 적정지간을 계획하고 홍수시 수위상승으로 기존 제방에 미치는 영향을 최소화

라. 교차시설(도로, 철도, 선박의 항로)이 갖는 적정폭을 고려하여 지간 계획

마. 주변 경관과 조화를 고려하여 지간 구성

② 상부구조 형식

가. 하중 종류, 크기, 하부구조에 미치는 영향을 고려

나. 교차시설(도로, 철도, 선박의 항로)을 고려, 적정 다리 밑 공간을 유지할 수 있도록 계획

다. 제작, 가설 등을 고려, 적정 형식을 계획

라. 내구성과 유지관리 등을 고려, 적정 구조형식 계획

마. 신축이음은 상부구조 형식 및 연장, 사용재료 등을 고려하여 선정

③ 하부구조 및 기초형식

가. 상부구조 형식, 폭, 사용재료, 하중 크기 등을 고려하여 하부구조 및 기초형식 계획

나. 내진설계를 고려, 상·하부구조 연결부(내진받침, 면진받침, 강결구조 등)를 검토

다. 지지층까지 심도, 지반상태 등을 고려, 기초형식 계획

라. 하부구조는 하천 흐름에 방해가 되지 않도록 계획

마. 자재, 장비의 운반 및 진입, 공사방법 등을 고려, 적정 구조형식 계획

바. 홍수, 파랑에 의한 세굴, 손상 등을 고려, 적정 구조형식 계획

사. 받침은 하중 크기, 상부구조 형식, 지간구성 등을 고려, 선정

④ 공법선정

가. 계획시설물의 규모, 위치 및 지형, 지질, 동원가능 장비 성능, 수효, 가설제작장 설치 가능 여부, 공사소요기간, 가설공사비 등을 검토하여 계획

나. 주변시설, 인근 주민에 미치는 소음, 진동, 교통혼잡을 최소화할 수 있는 공법 결정

다. 하천 또는 해상공사중 토사유출 등에 의한 주변 오염 여부

(2) 교량 설계단계

기본설계용역의 결과를 참조하여 다음과 같은 사항을 확정하고 상세설계를 수행한다.

① 설계기준

가. 폭원구성, 구조물 연장

나. 구조물 설계방법과 내진설계 등급

다. 계획홍수량 및 계획홍수위

라. 설계하중의 종류, 크기 및 부가하중

마. 사용재료의 종류 및 특성(재질, 강도)

바. 조수간만의 차, 설계파고, 조류 속도

사. 설계기준, 시방서, 지침, 편람 등을 규정

② 공법검토

가. 「2.1.3 실시설계 (1) 교량계획단계 ④ 공법선정」과 동일한 방법으로 검토한다.

③ 구조설계

가. 조사 및 계획업무 결과로 선정된 최적의 구조형식에 따라 상부구조, 하부구조, 기초구조의 단면을 설정하고, 구조물의 안전성, 내구성, 사용성 등을 검토한 후 상세설계

나. 관련 시방서 및 규정, 지침에 따라 세부사항 검토후 설계

다. 구조물의 각 단면을 상세하게 선정하고, 관련 설계기준에 규정된 해석방법으로 모델링하여 구조계산에 필요한 단면계수를 산출

라. 주하중 및 부가하중을 선정하여 최대단면력이 산출되도록 하중재하 위치를 결정



- 마. 지진력 계산은 구조물 형식, 형태를 고려, 계산방법 결정
- 바. 설계방법에 따른 하중계수, 강도감소계수 등을 적용
- 사. 시공방법 및 순서를 고려하여 구조계산 수행
- 아. 산출된 최대단면력(휨모멘트, 축력, 전단력, 비틀림모멘트)에 대한 안전성, 내구성, 사용성 등을 검토·확인
- 자. 상부구조의 처짐, 하부구조의 전도 및 활동, 기초구조의 지지력, 변위 등을 검토
- 차. 구조물에 국부적으로 작용하는 하중 및 단면력을 산정하고, 안전성을 확인
- 카. 사장교, 현수교와 같은 특수교량은 풍하중에 대한 안정성을 반드시 검토
- 타. 강도설계 및 피로설계에 따른 상세사항을 관련 기준에 따라 설계
- 파. 하중집중부에 대한 상세설계를 관련 기준에 따라 설계
- 하. 받침부와 상하구조물 연결구조를 상세히 검토하여 설계
- 거. 온도변화에 따른 구조물의 변위 및 구조물 단면력을 상세히 검토하여 설계
- 너. 구조계산에 따른 전산프로그램은 검증된 것을 사용
- 더. 중요 가시설물에 대해서는 상세히 검토하여 설계

④ 부속시설설계

- 가. 선박 운항을 고려, 관련규정(항만 및 어항설계기준)에 따른 항로표시 등을 설치
- 나. 선박의 충돌로 인한 하부구조의 피해를 막기 위해 충돌 방지공을 검토
- 다. 난간, 방호책, 경계석 등의 크기, 재질을 검토하여, 교량의 안전기능을 확보하도록 설계
- 라. 교명주 등은 발주청과 협의하여 위치, 크기, 재료를 결정
- 마. 다음의 유지관리시설을 검토하여 계획
 - 점검통로 및 교각 안전난간
 - 박스거더 내부 조명 및 환기시설
 - 계측기기
 - 기타 유지관리에 필요한 시설

2.1.4 설계단계 통합수행

설계용역은 타당성조사, 기본설계, 실시설계를 순차적으로 시행하는 것을 원칙으로 하되, 공사의 규모와 특성에 따른 발주청의 판단에 따라 타당성조사와 기본설계 또는 기본설계와 실시설계를 함께 시행할 수 있다. 이 경우 발주청은 타당성조사 과업 지시서와 기본설계 과업지시서를 통합하거나 또는 기본설계 과업지시서와 실시설계 과업지시서를 통합할 수 있으며, 각 통합과업지시서의 내용은 개별과업지시서의 내용을 충분히 참고하여 작성한다. 또한 기본계획고시가 필요한 사업은 기본계획고시에 필요한 제반사항을 타당성조사 또는 기본설계과업에 포함하여 시행할 수 있다. 설계와 시공을 일괄발주하는 경우(Design Build)에는 기본설계단계를 별도 구분하

지 않지만, 일반적으로 구조물의 형식 및 가설공법이 결정되는 단계 까지를 기본설계로 간주한다. 따라서, 기본설계의 범위는 공사특성이나 발주청에 따라 유동적이나, 실시설계의 경우에는 공사특성에 관계없이 용역 범위와 수행절차가 유사하다.

2.2 성과품

설계용역 성과품의 구성체계가 각 발주청별로 상이하고 타당성조사 및 기본설계 등 설계 초기단계 업무의 미흡, 설계단계별 업무범위 및 내용의 모호함 등의 문제점이 대두됨에 따라 이러한 문제점을 타개하고 건설공사 설계업무의 표준화 및 선진화를 위한 기반으로 건설공사의 공종별로 표준화 된 [건설공사의 설계도서 작성기준]을 1998년에 제정하게 되었다. 그 이후 관계 법령과 설계기준의 변경, 발주청 자료조사 등을 거쳐 2005년 개정에 이르게 되었다.

[건설공사의 설계도서 작성기준(건설교통부, 2005)]은 각 발주청이 시행하는 토목공사의 설계단계별 업무를 표준화함으로써 설계업무의 효율화 및 내실화를 도모하기 위한 것이다. 이 기준은 발주청이 과업의 성격에 따라 추가·변경하여 적용할 수 있는 것이다.

2.2.1 성과품 작성

설계자는 과업착수시 예정공정표, 사업책임 기술자 선임신고서가 포함된 착수보고서를 발주청에게 제출한다.

착수보고서를 제출 후 현장여건 등을 검토한 후 과업수행계획서를 제출하게 되는데, 다음과 같은 내용을 포함하여야 한다.

- (1) 세부공정계획서
- (2) 과업의 단계별 성과품 제출 계획서
- (3) 과업수행조직 및 인력(장비) 투입 계획서
- (4) 건설기술 경력사항 확인서
- (5) 참여기술자 인적사항, 참여과업내용 및 참여 예상기간
- (6) 참여기술자의 보안각서

타당성 조사에서 발주청은 타당성 조사용역을 발주하여 과업지시서(과업수행계획서)에 따라 현장조사 및 타당성 조사가 이루어지면 타당성조사 보고서를 평가하여 평가보고서를 작성하게 된다. 따라서 설계자는 과업지시서에 내용을 숙지하여 타당성 조사 보고서를 작성하여야 한다.

발주청은 사업시행계획서, 관련 법규, 사업예산에 따라 설계용역을 발주하고, 설계용역계약서 및 설계방침에 따라 기본설계, 실시설계가 이루어지도록 관리한다. 발주청은 설계의 품질확보를 위해 설계자문위원회를 조직·운영하거나 설계감리를 시행하게 된다. 따라서 설계자는 설계 완료전에 주요 성과물에 대한 심의를 통해 설계의 적정성을 검토하고 타당한 심의결과를 설계에 반영하여 실시설계를 확정하여야 한다.



2.2.2 성과품 내용

설계용역 성과품과 관련하여 일반적인 설계도서 작성기준을 [건설기술개발 및 관리 등에 관한 운영규정(건설교통부, 2006)], [건설공사의 설계도서 작성기준(건설교통부, 2005)]에서 설계단계별 업무를 명확하게 구분하고 있으며, 발주청의 기준과 과업성격에 따라 성과품을 추가 변경하여 적용하도록 하였다.

일반적으로 제출하는 설계용역 성과품을 설계단계별로 기술하면 다음과 같다.

(1) 타당성 조사용역 성과품

건설공사에 대한 사업비의 기본구상을 토대로 경제적 타당성, 투자우선순위평가, 재무적 타당성, 기술적 타당성, 사회 및 환경적 타당성을 사전에 종합적으로 판단하며 목적 시설물의 실현방법에 있어 여러 대안을 비교·검토 최적 안을 선정, 그에 대한 사업의 기본계획을 수립하고, 기본설계 용역에 기본이 되는 기술자료를 작성하며, 교통체계효율화법에 의하여 공공교통시설에 대해서는 [공공교통시설 개발사업에 관한 투자평가지침(건설교통부, 2002)]을 활용하여 작성하는 단계이다.

타당성조사의 교량설계 관련 성과품 및 주요 내용은 다음과 같다.

① 타당성 조사보고서

가. 과업의 개요(목적, 범위, 내용, 과업수행방법 등)

나. 관련계획조사, 현지조사 및 답사

- 교통량 및 교통시설조사, 수리·수문조사
- 기상·해상조사, 선박운항조사, 환경영향 조사

다. 교량형식 검토·평가

라. 계획

마. 노선대 검토

- 후보노선대 설정 및 검토, 평가
- 최적노선대 선정 및 노선계획
- 최적노선대의 주요 구조물

바. 추정사업비 산출

② 타당성 조사보고서 별책 부록

가. 교통분석

나. 경제성 및 재무 분석

다. 추정수량 및 추정공사비 산출서

③ 설계도면

가. 목차, 위치도, 최적노선 및 비교노선, 최적노선도, 교량표준단면도

(2) 기본설계용역 성과품

타당성조사를 토대로 목적시설물의 규모, 배치, 형태, 공사방법 및 기간, 소요비용

등에 있어 일반적인 조사 및 분석, 비교·검토를 거쳐 최적 안을 선정하고 주요시설물에 대해서만 예비설계를 수행하며, 설계기준 및 조건 등 실시설계 용역에 필요한 기술자료를 작성하는 단계

기본설계 용역의 교량설계관련 성과품 및 주요 내용은 다음과 같다.

① 기본설계보고서

가. 공사개요(목적, 규모, 범위, 내용, 과업수행방법 등)

나. 현지조사, 수리·수문조사, 환경영향조사, 측량조사, 지질 및 지반조사, 지장물 및 구조물 조사, 토취장·골재장·사토장 조사

다. 계획

- 구조물계획
- 설계기준 작성

라. 기본설계(설계기준 및 조건, 교량공, 기타)

마. 기본사업비

바. 부록(각종 조사자료, 선형계산서, 기술심의 및 자문사항, 업무협의 및 지시사항, 관계기관 협의자료, 주민공청회 결과, 설계의 경제성 등)

② 주요 구조 및 수리계산서

가. 주요 구조계산서

- 개요
- 구조계획도
- 설계조건(구조형식, 설계방법, 설계하중, 사용자재 및 특성, 지반조건 및 물성치, 사용 Program, 설계기준 및 지침, 기타)
- 주요 구조계산(개요, 사용자재, 단면상수, 하중조건, 설계단면력, 단면응력 검토, 안정검토)

나. 주요 수리계산서

③ 지질 및 지반조사 보고서

④ 기본설계예산서

가. 기본설계내역서

나. 기본단가산출서

다. 기본수량산출서

⑤ 기본설계도면

가. 목차, 위치도, 일반도, 선로 종평면도, 구조일반, 주요단면 구조상세도, 표준도 및 표준설계단면도

(3) 실시설계

기본설계를 토대로 목적시설물의 규모, 배치, 형태, 공사방법 및 기간, 소요비용, 유



지관리 등에 관하여 세부조사 및 분석, 비교·검토를 통하여 최적 안을 선정하고 상세설계를 수행하며 시공 및 유지관리에 필요한 기술자료를 작성하는 단계 실시설계 영역의 교량설계관련 성과품 및 주요 내용은 다음과 같다.

① 실시설계보고서

가. 공사개요(목적, 범위, 내용, 기간, 과업수행방법, 금액 등)

나. 현지조사, 수리·수문조사, 환경영향조사, 측량조사, 지질 및 지반조사, 지장물 및 구조물 조사, 토취장·골재장·사토장 조사, 용지조사

다. 계획

- 구조물계획
- 설계기준 및 기타

라. 상세설계(설계기준/조건, 구조물공, 기타)

마. 사업비 분석

- 부록(각종 조사자료, 선형계산서, 기술심의 및 자문사항, 업무협의 및 지시사항, 관계기관 협의자료, 주민공청회 결과, 설계의 경제성 등)

② 지질 및 지반조사 보고서

③ 구조 및 수리계산서

가. 구조계산서

- 개요
- 구조계획도
- 설계조건(구조형식, 설계방법, 설계하중, 사용자재 및 특성, 지반조건/물성치, 사용 프로그램, 설계기준 및 지침, 기타)
- 구조계산(개요, 구조해석 방법 및 모델, 사용자재, 단면상수, 하중조건, 구조해석, 설계단면력, 단면응력 검토, 기초 허용지지력 계산, 안정검토)
- 내진설계
- 가시설(개요, 구조해석 방법 및 모델, 사용자재, 단면상수, 하중조건, 설계단면력, 단면응력 검토, 안정검토, 기타)
- 수리계산서

④ 설계예산서

가. 설계설명서

나. 설계내역서

다. 단가산출서

라. 수량산출서

⑤ 실시설계도면

가. 목차, 선로종평면도, 위치평면도, 평면도, 종단면도, 교통처리계획도, 배수계획평면,

배수구조물도, 구조물일반도, 구조상세도, 정거장평면도, 부대시설도

⑥ 공사시방서

2.2.3 성과품 검토

교량설계 성과품은 발주청의 최종 승인을 거쳐 제출하게 된다. 이들 성과품의 적정성을 검토하기 위해 발주청은 설계자문위원회를 구성하여 설계심의를 실시한다. 일반적으로 설계단계에서 중요한 결정이 요구되는 경우 설계자문회의를 시행하거나 발주청에게 중간보고를 하여 결정하는데, 설계는 특별한 사유가 없는 한 자문에서 지적된 사항을 설계에 반영하여 그 조치결과를 설계자문위원회에 보고하여야 한다.

설계의 적정성을 확보할 목적으로 건설기술관리법 시행령 제2장(건설기술심의위원회)에 따라 중앙위원회, 지방위원회를 구성하여 동법 제9조(중앙위원회의 기능), 제19조(지방위원회의 구성 및 기능 등)에 해당하는 사항을 심의 받도록 되어 있으나, 지방위원회의 경우 동법 제21조(설계자문위원회의 구성 및 기능 등)에 따라 발주청이 설계자문위원회를 구성·운영하는 경우에는 심의대상에서 제외된다. 그러나 설계자문 규정은 임의 규정으로 되어 있기 때문에 자문위원회의 운영이 활성화되지 못하고 있는 실정이다.

실시설계 심의는 설계종료전에 실시설계서를 작성하여 제출하면 발주청에서는 심의위원회에 실시설계 적격여부를 요청하고, 심의위원회는 설계배점표 규정에 의거, 채점하여 발주청에 통보한다.

3. 교량의 기본계획

3.1 개요

일반적으로 교량은 하천이나 계곡 등 장애물을 통과하는 것이 주목적이지만, 경제발전 등에 따른 의식수준의 변화로 교량을 단순한 통행 수단으로만 계획하는 것은 부적절하게 되었고 교량을 설계하기에 앞서 교량계획 단계를 둔다. 즉 교량의 계획단계에서는 교량의 선형, 가설상의 제약조건, 구조설계기준 만족, 안전성과 내구성 확보, 경제적이며 심미적인 교량형식 선정, 교장 및 경간 분할, 주형 및 바닥틀의 배치계획, 하부구조의 형식 및 형상, 기초 형식 및 공법 등의 계획이 이루어지게 된다. 계획단계에서 치밀한 조사를 행한 체계적인 계획 수립은 향후 교량의 설계 및 시공시 그리고 공용중 교량 성능에 큰 영향을 미치게 되므로, 교량계획은 신중하게 이루어져야 한다.

교량계획을 성공적으로 이끌기 위해서는 설계·시공에 대한 실무경험과 교량의 거동에 대한 이해, 설계 및 해석기법에 대한 폭 넓은 지식, 신재료 및 신기술의 이해, 연관 분야 기술의 이해가 있어야 가능하다. 이를 바탕으로 계획단계에서 교량 기술자는 교량의 안전성 및 내구성 확보, 이를 위한 적절한 교량 형식과 가설공법의 선정, 가설



후의 유지관리 편의성, 교량 가설에 미치는 사회적·환경적 영향 등에 대해 면밀하게 검토하여야 한다.

3.2 교량계획을 위한 조사

3.2.1 조사 개요

조사의 기본 방침으로서는 합리적이고 경제적인 계획, 설계, 시공을 하기 위하여 필요한 조건을 명확히 하는 것으로 구조물의 규모, 중요성 및 가설지점의 상황 등을 충분히 고려한 후, 공학적으로 필요한 정도의 조사내용을 갖는 것이어야 한다.

조사시 교량의 계획, 설계, 제작, 가설, 유지 및 보수에 필요한 내용이 광범위하게 포함되어야 하며 교량 가설위치의 여건에 따라 중요도를 구분하여 조사방법을 기술자의 지식 및 경험과 연관하여 정확하게 시행하여야 한다. 교량의 계획, 설계, 시공시 잘못된 조사에 의해 교량길이, 경간장 및 구성, 기초공법 변경이 유발되고 공사기간 및 공사비 등의 차질이 발생하므로 철저한 사전조사를 하여 계획 및 설계에 반영하여야 한다.

3.2.2 조사목적과 조사내용

조사의 목적 및 내용은 교량의 규모에 따라 다소 상이하다. 교량계획에 필요한 조사 내용은 <표 2>에 나타내었다.

조사가 불충분하여 공사단계에서 설계변경을 하는 일이 없도록 교량의 규모에 맞는 적절한 조사계획을 사전에 수립하는 것이 필요하다. 특히, 조사시에 관련기관 및 타기관의 자료를 인용하는 경우가 많으므로 자료의 출처, 근거, 판단기준을 명확히 하여야 하며 구체적인 자료에 근거한 것과 추측을 구별하여야 한다. 또한 기초의 조사가 불충분하여 커다란 변경을 해야 하는 경우가 종종 발생하기 때문에 기초 조사시 보링(Boring)의 간격 및 심도는 특히 신중하게 결정할 필요가 있다.

3.2.3 조사의 단계

교량의 계획단계에서 조사는 예비조사와 본조사로 크게 나눌 수 있다. 본조사는 구조물의 설치구역을 대상으로, 1차 조사, 2차 조사와 현지의 진척도에 맞게 나누어진 다. 교량 계획, 설계의 각 단계에서의 필요한 조사항목을 조사계통 흐름도로 표시하면 <그림 2>와 같다.

교량의 계획에서 시공까지 각 단계별로 크게 계획조사, 설계조사, 시공조사를 해야 하며 계획, 설계, 시공의 각 단계에 관련된 조사를 살펴보면 다음과 같다.

(1) 계획단계

교량가설위치, 교량길이, 다리밑 공간과 구조형식 등을 결정하기 위해 필요한 조사이다. 이 조사로부터 교량의 형식 비교와 계획설계를 하고 개략적인 공비의 산정, 공기의 예측과 공사 방법의 검토를 행한다.

(2) 설계단계

계획조사의 결과를 바탕으로 결정된 조건 아래서 공사 발주에 필요한 교량의 설계도를 작성하기 위한 조사이다. 이 조사로부터 교량의 기초공, 하부공 및 상부공의 상세 설계를 시행하고 시공조건, 공사비 및 공기를 산정한다.

(3) 시공단계

상세 설계된 결과를 가지고 시공에 앞서 행하는 조사이다. 설계에 적용된 조건이 현장에 적합 한지를 조사 확인하기 위한 것과 시공상 문제가 될 점들을 공사에 앞서 미리 파악하기 위한 것이 있다. 시공조사에서는 지금까지 시행한 조사들에 대하여 보충하며 현장 재하 시험을 통해 설계에 정해진 지지력을 확인 조사하고 제시된 설계도가 현장조건에 부합되는지 여부와 현장 부근에 어떤 영향을 끼치는지 또는 이로 인한 공사상의 손해가 있는지 여부를 시공조사를 통하여 수행한다.

표 2. 조사의 종류

조사종류	조사내용	조사목적
지형조사	· 지형도 작성	· 교량가설위치, 교량길이, 경간분할 결정
지질조사	· 지질역사, 지질자료 수집 · 지표지질조사 · 지질도 작성 · 물리탐사	· 교량 지지층의 지질조건 판단 · 교량가설위치, 교량길이, 경간분할 결정 · 하부공 위치선정과 구조계획
교차도로 조사	· 교차도로, 철도 등의 폭원, 교량높이, 건축한계, 횡단구조, 종단경사 등의 현황 및 장래계획 조사 · 지하매설물의 조사 · 교통량 조사	· 교량길이, 경간분할, 다리밑 공간, 시공방법의 선정
하천조사	· 하천횡단형상 · 유량, 유속, 고수위, 저수위, 하천경사 등의 형상 및 장래계획 조사 · 세굴, 조류, 표층모래, 부유물 등의 변화에 대한 조사 · 항해선박의 조사	· 경간분할, 다리밑 공간, 교각형상, 기초, 근입깊이의 선정 · 시공시기, 시공방법의 선정 · 가교 또는 가축도 설계 · 월류방지 소요단면의 결정 · 경간분할, 교각형상, 시공방법의 결정, 충돌하중의 결정 · 세굴방지공 계획

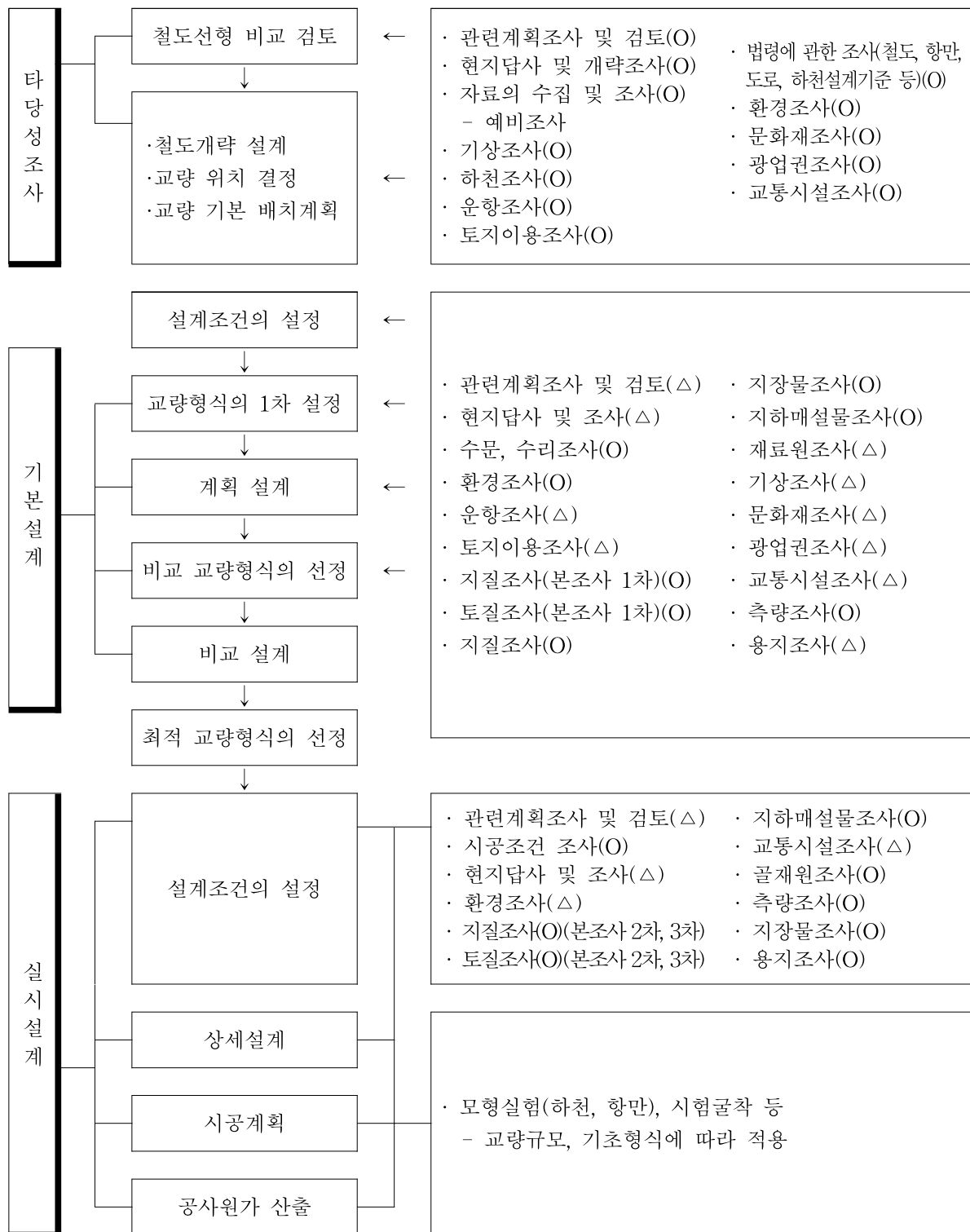


표 2. 조사의 종류(계속)

조사종류	조사내용	조사목적
바다, 호수, 저수지의 조사	<ul style="list-style-type: none"> 조수위, 파고, 조류조사 항해선박 및 장래계획 조사 	<ul style="list-style-type: none"> 계획고의 선정 수압, 시공시기, 시공방법의 선정 경간분할, 교각형상, 충돌하중의 결정 충돌방지공 계획
토질조사	<ul style="list-style-type: none"> 보링 표준관입시험 공내 물리검층 공내 재하시험 평판 재하시험 물성시험 일축 압축시험 삼축 압축시험 압밀시험 	<ul style="list-style-type: none"> 하부공의 설계 지지층 판단 지지력, 침하 검토 기초형식 선정 지반반력 계수 말뚝기초의 경우 부마찰력 검토
지진조사	<ul style="list-style-type: none"> 지진기록, 지진피해 기록의 조사 지반상시 미진동측정 지진기반의 확인 	<ul style="list-style-type: none"> 설계진도의 결정 내진, 구조형식 선정
기상조사	<ul style="list-style-type: none"> 기상관측 기록의 조사(풍속, 온도, 강설, 천후) 	<ul style="list-style-type: none"> 온도변화의 결정, 풍하중, 설하중의 결정 피복두께의 선정, 재료의 선정 시공시기 및 방법의 선정
교량 부착첨가물 조사	<ul style="list-style-type: none"> 교량위치의 기설 지하매설물조사 상수도, 하수도, 가스, 전력, 통신선 등의 신설계획 조사 	<ul style="list-style-type: none"> 부착첨가물의 제원, 중량의 결정
부식조사	<ul style="list-style-type: none"> 기존구조물의 부식상황 조사 유기물 조사, pH조사 도료에 대한 시험 	<ul style="list-style-type: none"> 사용재료의 선정 방청방법의 결정
재료조사	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트용 골재 및 물의 품질과 물량조사 	<ul style="list-style-type: none"> 재료의 선정 및 적산
시공조사	<ul style="list-style-type: none"> 재료운반로의 현황조사 제작장, 조립장의 현황조사 주변건물의 조사 양식장 축산농가의 조사 사적, 문화재 등의 유무 	<ul style="list-style-type: none"> 교량형식의 결정 운반될 최대부재의 결정 공사용 도로계획 타공사와의 관련 교차물(도로, 철도, 하천)에 의한 제약조건 제작장, 조립장 위치 선정 시공중 소음, 진동 등의 주변 영향파악 환경보존 대책수립

표 2. 조사의 종류(계속)

조사종류	조사내용	조사목적
주변환경 조사	<ul style="list-style-type: none"> • 교량의 조망권 조사 • 생태환경 보호구역 유무조사 • 교량주변의 지형조사 • 교량주변의 문화적, 역사적 유적지 유무조사 • 주변개발계획 조사 	<ul style="list-style-type: none"> • 교량의 경관설계 • 교량형식 및 시공방법의 선정
지역특성 조사	<ul style="list-style-type: none"> • 비행 고도한계(항공장애) 유무 조사 • 군작전지역 유무 조사 	<ul style="list-style-type: none"> • 교량형식 및 시공방법의 선정 • 교량 계획고의 결정 • 설계하중의 결정 • 거부시설의 유무 결정



주) (O) 수행하는 업무, (△) 필요시 수행하는 업무

그림 1. 조사계통 흐름도

3.3 교량형식 선정

3.3.1 형식 결정

교량형식을 선정하기 위한 기본방향은 교량의 가설목적 및 기능을 만족하면서 생애 주기비용이 최소가 되도록 하고, 시공성이 우수하며 유지관리가 용이하고, 주변환경과 조화를 이룰 수 있는 교량의 상부구조 및 하부구조 형식을 선정하는 것이다. 철도교 목적에 부합되는 안전한 구조가 되도록 하여야 한다. 교량의 형식 선정과정에는 다음 사항들을 고려한다.

- (1) 교량의 가설목적(기능)에 부합하는 형식(교량길이, 지간, 교대, 교각의 위치와 방향, 다리밑 공간 확보에 적합한 형식)
- (2) 안전성과 시공성이 우수하고 계획된 철도선형에 적합한 형식
- (3) 구조상 안전해야 함은 물론 열차의 주행성 및 운행안전성을 확보할 수 있는 형식
- (4) 생애주기비용이 최소화될 수 있는 형식
- (5) 공사비가 유사할 경우에는 시공성과 조형미, 경관미가 유리한 형식
- (6) 열차 주행의 안정성 및 쾌적성을 좋게 하려면 구조적으로 상로교 형식이 좋고, 특히 도시내에 가설되는 교량은 구조물 자체도 날렵한 느낌을 주는 형식이 좋으며 주위의 경관과 균형을 이루는 것도 중요하다.

3.3.2 경간 분할

교량의 형식별로 표준적용지간, 거더높이비(거더높이/지간)는 일반적으로 설계조건에 따라 다르게 된다. 철도교는 교량상에 레일이 부설되는 구조이므로 레일과 구조물과의 관계를 고려하여 장대레일의 적용성을 감안한 경간계획을 수립하여야 하며, 다음과 같은 사항을 고려하여 경간을 분할한다.

(1) 경관을 고려한 경간 분할

교량경관설계에 대한 자세한 사항에 대해서는 「3.6 환경 및 경관의 고려」를 참고한다.

- ① 연속교는 중앙 경간을 측경간 보다 크게 분할하면 안정감이 크게 됨
- ② 3경간일 때는 경간의 개략적 비율이 3:5:3, 4경간일 때는 3:4:4:3 이 많이 채택됨
- ③ 교장이 길고 지형이 평탄할 때는 등경간이 좋음
- ④ 접속교량과의 연결은 경간이 점점 변하여 조화되도록 분할
- ⑤ 미관을 고려하여 연속교로 계획할 경우 상부 레일과의 관계를 고려하여 구조검토를 하여야 함

(2) 하천 통과구간의 경간 분할

- ① 유속이 급변하거나 하상이 급변하는 지역에는 교각을 두지 않음
- ② 저수로 지역에서는 경간을 크게 분할함
- ③ 하천 단면을 줄이지 않도록 하고 교각설치로 인한 수위 상승과 배수를 검토함
- ④ 하천 협소부에서는 교각수를 줄임
- ⑤ 유로가 일정하지 않은 하천에서는 가급적 장경간 선택함
- ⑥ 동일하천상의 기존교량에 근접하여 신설교량을 건설할 때는 경간분할을 같게 하거



나 하나씩 건너뛰는 교각배치를 하도록 함

- ⑦ 유목, 유빙이 많은 하천에서는 교각수를 줄이고 이들이 걸리지 않는 구조로 함

(3) 경제성을 고려한 경간 분할

- ① 상부구조와 하부구조의 단위길이당 건설비가 같거나 상부구조 공사비가 하부구조보다 약간 크게 하는 것이 적절함
- ② 기초지반이 불량할 때는 장경간이 유리하고, 기초지반이 양호할 때 단경간이 유리함
- ③ 하저지반이 불균일할 때는 각 구간별로 나누어 경제성을 검토한 후 경간을 분할함

3.3.3 상부구조형식 선정

교량의 상부구조 형식을 선정할 때에는 구조적으로 안전하고 시공성, 경제성, 장래 유지관리, 기능성을 고려해야 하고 주변 경관과 조화되도록 경관미를 고려하여 선정하는 것이 필요하다. 교량형식 선정은 기본적으로 도로의 평면선형, 종단선형, 교차시설의 교차각, 다리 밑 공간(최소 상부구조 높이), 교량가설 여건을 고려해야 하고 주변 여건에 따라 경제성을 우선적으로 고려할 것이나, 경관미를 고려할 것이나 가 관건이 된다. 최근의 경우, 경제성보다는 미관을 고려하여 교량을 설계하는 경우가 다수 있으나 건설공사비 및 유지관리비가 많이 소요되어 비경제적일수도 있다.

그러므로 형식선정 시에는 구조안전성, 기능, 경관, 시공성, 경제성, 친환경성, 유지관리 등의 요소에 대해 입지여건을 고려한 요소별 가중치를 반영한 종합적인 검토가 필요하다. 교량형식 선정과정에서 경제성 검토방법 및 절차는 「3.7 경제성의 고려」를 참고한다.

소음이나 진동 등의 환경조건이 문제가 되는 지역에서는 강교 보다 철근콘크리트 교나 프리스트레스트 콘크리트교가 많이 채택되고 있으며, 교량의 형식선정 단계별로 다음과 같이 검토가 필요하다.

- (1) 설계기준 작성 및 검토
 - ① 설계하중·도로의 폭원
- (2) 도로의 선형 검토
- (3) 교량의 평면형상 검토
 - ① 교량의 폭원
 - ② 곡선교, 사교에 대한 검토
- (4) 교량의 시종점 및 교량길이 검토 및 결정
- (5) 다리밑 공간 결정
 - ① 도로 및 철도 횡단
 - ② 하천 횡단
- (6) 교량의 경간 분할 검토 및 결정
- (7) 적용 가능한 교량형식 비교 검토

(8) 교량길이, 경간, 거더 높이에 적합한 교량형식 선정

- ① 과거의 설계 및 시공사례
- ② 외국의 설계자료

(9) 시공법에 대한 검토

- ① 특수공법 도입 여부
- ② 외국기술 도입 여부
- ③ 국내장비로 시공가능 여부

(10) 사용재료 및 재질에 대한 검토

- ① 사용재료의 재질
- ② 외국기술 도입 여부
- ③ 재료의 내구성

(11) 유지관리(내구성) 검토

(12) 경관에 대한 검토

- ① 교량 자체의 조형미
- ② 주변 경관과의 조화
- ③ 가설 지역의 상징성

(13) 경제성 검토

- ① 가치공학(Value Engineering)적으로 초기투자비 검토
- ② 생애주기비용(Life Cycle Cost) 산정

(14) 각 교량형식에 대한 비교표 작성

(15) 교량형식 최종 선정

일반적인 교량 상부구조형식에 따른 적용지간장을 나타내면 <표 3>과 같으며, 콘크리트교 선정시의 일반적인 고려사항은 다음과 같다.

- ① 철근콘크리트 슬래브교 및 라멘교의 적용지간은 15 m 이하의 비교적 짧은 지간의 교량에 적용하는 것이 적합하다.
- ② 슬래브교의 경우 속 찬 단면과 속 빈 단면 및 각각의 캔틸레버를 갖는 단면으로 대별할 수 있으며 속 빈 단면의 경우 중공 하단부의 콘크리트 타설에 대한 신뢰도 부족 및 균열발생 등으로 적용을 지양하고 있으며 캔틸레버를 갖는 속 찬 단면의 경우에는 캔틸레버의 영향을 충분히 검토하여 교량받침을 선정하여야 한다.
- ③ 라멘교는 기초의 부등침하, 수평이동 또는 회전을 일으키면 경우에 따라서 치명적인 결함이 되므로 견고한 지반 또는 충분히 신뢰할 수 있는 지반에 계획하여야 한다.
- ④ PSC 합성형식의 구조는 최근 들어 활발하게 연구개발 되고 있는 상황이므로 그 적용에 있어서 경제성, 시공성 및 구조적 안정성 등을 충분히 고려하여 선정하여야 한다.



- ⑤ 이동식 지보공에 의한 시공, 연속 압출공법(ILM)에 의한 시공을 고려하는 경우 미리 선형조건, 시공규모 및 가설상의 제약조건에 대해 충분히 검토하여야 한다.

표 3. 교량 형식별 적용지간장

구 분		지 간 (m)						
		20	40	60	80	100	120	140
RC 라멘교		—						
RC 거더교	슬 레 브 교	—						
	중 공 슬 레 브 교	—						
	Box Girder 교	—						
PSC 거더교	슬 레 브 교	—						
	PSC Beam교	—						
	BOX Girder(캔틸레버공법)							
	BOX Girder(압출공법)							
	BOX Girder(동바리공법)							
	BOX Girder(세그멘탈공법)							
	BOX Girder(M.S.S공법)							
특수 교량	사 장 교	중앙경간장 150m ~ 1,000m						
	현 수 교	중앙경간장 500m ~ 2,000m						

3.3.4 하부구조형식 선정

하부구조 형식은 상부구조를 효과적으로 지지하기 위한 구조적 안전성, 거푸집 설치가 용이한 시공성, 주변 여건과 조화되는 경관미, 교차시설물에 영향을 최소화하는 기능성, 효율적인 내진성능 확보 등을 고려하여 하부구조 형식을 선정하여야 하며, 각 요소별로 고려할 사항은 다음과 같다.

(1) 구조적 안전성

- ① 상부구조에서 작용하는 하중이 효과적으로 코핑, 기둥을 거쳐 기초에 전달할 수 있는 형상을 확보해야 한다.
- ② 힘의 흐름과 조화되는 교각의 형상 변화가 필요하다.

(2) 시공성

- ① 거푸집의 반복 사용이 용이한 교각 형상을 계획한다.
- ② 경관미를 고려한 교각 계획시는 시공성을 충분히 검토하여야 한다.

(3) 경관미

- ① 상부구조와 형상조화, 비례를 고려해야 한다.
- ② 전체 교량길이에 걸쳐 지형변화에 따른 교각의 연속적(Panorama)인 경관 조화를 고려해야 한다.
- ③ 교량점검시설 설치를 고려하여 형상 조화를 검토한다.

(4) 기능성

- ① 하천 횡단시 통수에 유리한 기둥 형상을 확보한다.
- ② 시가지 교량에서는 도로시거 확보가 용이한 교각 형상을 계획한다.
- ③ 도심부 고가도로에서는 도로기능성(종단선형) 확보에 유리한 교각을 검토한다.(예; 코핑 없는 교각)

(5) 내진성능 확보

- ① 교각 높이, 상부구조를 고려하여 효과적 내진거동을 확보할 수 있는 형상을 계획한다.
- ② 응답수정계수가 유리한 단면으로 계획한다.

3.3.5 기초형식 선정

- (1) 교량하부구조의 기초형식 선정은 기초지반의 지질조건, 수심, 유속, 상부구조형식 등과 아래의 중점사항을 고려하여 선정하여야 한다. 각 기초 구조형식의 근입깊이, 설계방법 등의 특징은 다음 <표 4>와 같다.

- ① 하천변 지반여건
- ② 수상구간에서의 시공성
- ③ 구조적인 안전성 확보
- ④ 지진 및 온도변화에 의한 수평력 저항
- ⑤ 세굴의 영향
- ⑥ 유수저항계수가 작은 단면 선택
- ⑦ 측방유동에 관한 검토

표 4. 기초형식별 특징

구 분	근입깊이	형 상	시 공 법	설 계 방 법	
				구 체	지 반
직 접 기 초	얕 다	구 형		강 체	탄성체
말 뚝 기 초	깊 다	원형, H형	말 뚝	탄성체	탄성체
케 이 슨 기 초	깊 다	원형, 타원형	케이슨	강 체	탄성체
사면상의 깊은기초	사면 · 깊다	원 형	말 뚝	탄성체	탄소성체



- (2) 기초 구조형식은 상부구조조건, 지반조건, 시공조건 등을 충분히 조사, 검토하여 가장 안전하고 경제적인 형식으로 하여야 한다. 또한, 하나의 기초구조에서는 다른 종류의 형식을 병용하지 않는 것을 원칙으로 한다.

3.4 곡선교의 구조계획기준

철도교의 계획시 곡선교인 경우에는 철도교의 특성을 반영하면서 다음과 같은 사항을 특히 고려하여 계획하여야 한다.

3.4.1 일반사항

지간 중앙에서 궤도중심을 교축선보다 곡선 외측으로 이동시키는 거리는, 교형의 길이를 현으로 하는 곡선궤도 중심선이 만드는 원호와 현 사이의 최대 거리의 단선의 경우 $e/6$, 복선인 경우 $e/2$ 을 표준으로 한다.

- (1) 곡선궤도와 교형의 위치관계는 2개의 주형이 있는 단선용 T형 거더 및 단선용 1실 박스 거더의 경우, 내궤측 혹은 외궤측 주형 또는 복부가 받는 지간 중앙의 휨모멘트는, 곡선궤도에서 설정하는 캔트의 영향을 고려하지 않으면, <식 (1)> 및 <식 (2)>와 같다.

$$M(\text{외궤측}) = \frac{wl^2}{16} \left(1 + \frac{2c}{\lambda} - \frac{e}{3\lambda} \right) \quad (1)$$

$$M(\text{내궤측}) = \frac{wl^2}{16} \left(1 - \frac{2c}{\lambda} + \frac{e}{3\lambda} \right) \quad (2)$$

따라서, $c=e/6$ 일 때 내궤측 및 외궤측의 주형 또는 복부가 받는 지간 중앙의 휨모멘트가 같은 값으로 되므로, 이론적으로는 궤도 중심을 교축선으로부터 곡선 바깥쪽으로 옮기는 거리는 지간 중앙에 있어서 교형의 전단중심을 포함하는 수평면에서, 교형 길이를 현으로 하는 곡선 궤도중심선이 만드는 원호와 현 사이의 최대거리 C 는 $e/6$, 또는 $e/2$ 로 한다.

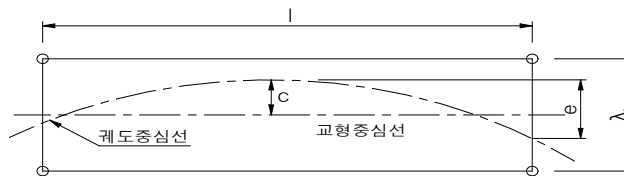


그림 2. 곡선궤도와 주형의 위치관계

- (2) 그러나, 이값은 교형이 궤도 직각방향의 단면에 대칭이고, 곡선궤도를 부설하는 경우의 캔트의 영향을 고려하지 않은 것이어서 대략의 값을 나타내므로 엄밀한 값을 필요로 하는 경우에는 적용하지 말아야 한다.

3.4.2 주형의 분담하중 및 비틀림 모멘트

주형의 분담하중 및 비틀림 모멘트는 교형에 작용하는 하중의 합력의 연직성분이 다음의 위치에 작용하는 것으로 하여 구한다.

- (1) T형 거더의 경우에는 합력이 슬래브의 상면과 교차하는 위치
- (2) 슬래브 거더 및 박스 거더의 경우에는 합력이 교형의 도심을 포함하는 수평면과 교차하는 위치

3.4.3 받침, 스톱퍼, 교좌 및 주형단부의 설계에 사용하는 지점반력

- (1) 받침, 스톱퍼, 교좌 및 주형단부의 설계에 사용하는 지점반력은 교형에 작용하는 하중을 기본으로 하여 정하도록 한다.

① 원심하중의 취급은 다음을 따른다.

가. 원심하중에 의한 수평 지점반력은 다음과 같이 구한다.

$$Q = \frac{1}{3} \times H \quad (3)$$

여기서, Q : 수평지점 반력 (kN)

H = α W : 원심하중 (kN)

α : 3.5로 결정한 원심하중 계수

W : 교형의 전길이에 재하한 열차의 중량 (kN)

나. 열차하중 및 원심하중에 의한 연직지점 반력을 다음과 같이 구한다.

$$R_1 = \frac{d - [f - (\delta + e_c)]}{2d} P - \frac{h_v}{2d} H \quad (4)$$

$$R_2 = \frac{f - (\delta + e_c)}{2d} P + \frac{h_v}{2d} H \quad (5)$$

여기서, R1 : 곡선 내측의 연직 지점반력 (kN)

R2 : 곡선 외측의 연직 지점반력 (kN)

f : 궤도 중심선 원호의 중심점으로부터 곡선 안쪽의 2지점을 연결한 선 까지의 거리(mm)

h_v : 교좌면부터 차량중심까지의 높이 (mm)

δ : 차량 중심이 캔트에 의해 궤도중심으로부터 이동한 거리 (mm)

e : 차량 중심선이 교형의 길이로 짚려진 곡선의 도심과 차량 중심선 원호의 중심점과의 거리 (mm)

d : 주형의 중심간격 (mm)

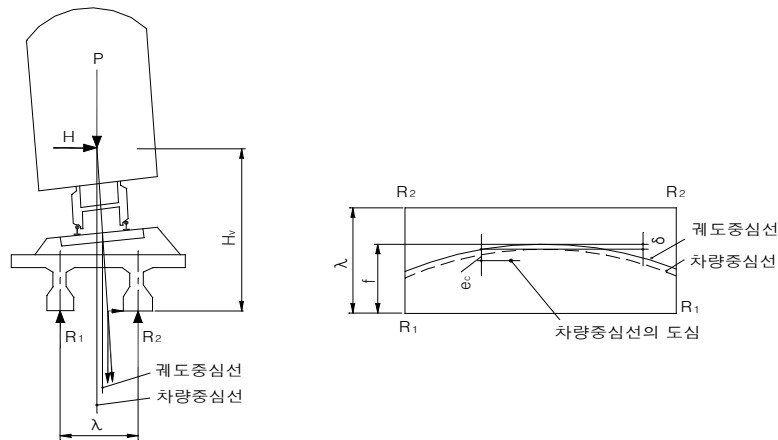


그림 3. 연직지점반력

3.5 교량의 구조시설기준

철도교의 폭원구성, 시설한계, 선형 등의 구조규격은 원칙적으로 「철도건설규칙」에 따라 설계하여야 한다. 교량의 설계에 있어서는 건축한계, 다리밑 공간에 대한 한계 등은 해당규정에 정한 바에 따라 설계해야 한다. 교량설계시 규정 등에 정한 건축한계 외에 다리밑 공간에 대한 한계, 하천을 횡단하는 경우의 경간장의 한계 등 각종 한계를 고려하여야 한다.

3.5.1 건축한계

(1) 직선구간의 건축한계

건축한계는 차량한계내의 차량이 안전하게 운행될 수 있도록, 궤도상의 일정공간을 확보하는 한계로서, 정거장건물, 흙, 신호기, 터널 등 일체의 건물이나 건조물도 이 내측으로 들어오는 것이 허용되지 않는다. 다만, 가공 전차선 및 그 현수장치와 작업상 필요한 일시적 시설로서 열차 및 차량운전에 지장이 없는 경우에는 그러하지 않는다.

직선 선로구간의 건축한계는 <그림 4>를 기준으로 하며, 전기동차 전용선인 경우에는 <표 5>를 기준으로 한다. 다만, 도시철도와 연결되는 경우에는 연계성을 고려하여 이에 맞도록 하여야 한다.

(2) 곡선구간의 건축한계

곡선 선로구간 건축한계의 폭은 직선구간 건축한계에서 다음 식에 의하여 산출한 치수 이상을 확보하여야 한다. 다만 가공전차선과 그 현수장치를 제외한 상부의 한계는 그러하지 않는다.

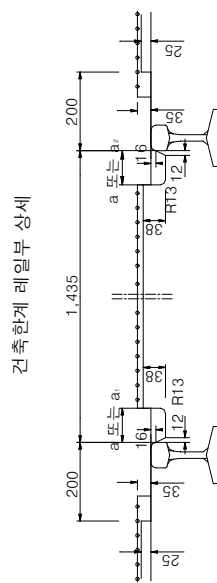
$$W = \frac{50,000}{R} \quad \left(\text{전기동차 전용선인 경우 } \frac{24,000}{R} \right) \quad (6)$$

여기서, W : 궤도중심의 각 측으로 확대할 치수(mm)

R : 선로 곡선반경(m)

위의 규정에 의한 확대치수는 완화곡선구간에서 이를 체크하여야 한다. 완화곡선이 없는 경우에는 원곡선 시·종점에 접속한 직선구간 26m이상의 길이에서 이를 체크하여야 한다. 곡선구간 건축한계는 캔트에 따라 경사된 건축한계로 하여야 한다.

철도를 횡단하는 시설물이 설치되는 구간의 건축한계의 높이는 전차선 가설높이에 지장이 없도록 건축한계의 높이를 일반철도는 RL에서 7,010mm이상, 고속철도는 RL에서 8,050mm이상 확보하여야 한다. 다만, 기존선 개량등 부득이한 경우에는 승인을 받아 전차선 가설에 지장이 없는 범위로 축소할 수 있다.



a, a, 또는 a₂ 후관지 웨이 (바퀴길) 스백

1. 일반의 경우 $a = 75 + s$
2. 한쪽에 가드레일이 있는 경우 $a = 40 + s$
가드레일이 없는 쪽 $a = 75 + s$
3. 복레일의 경우 $a = 70 + s$
4. 크로스방의 경우 a
크로스방 가드레일이 있는 쪽 $a = 40 + s$
90+28로서 $a = 40 + s$
 $a = 65 + s$
5. 가드레일이 있는 건널목의 경우 $a + a_1$
6. 고승강장의 경우에는 궤도중심에서 승강장까지의 거리를 1,700 mm로 한다.

보 기

- 일반의 경우에 대한 건축한계: 다만, 철도를 횡단하는 시설물이 설치되는 구간에는 7,010밀리미터 이상을 확보하여야 한다.
- 가공전차선 및 그 현수장치를 제외한 상부에 대한 한계
이 한계는 교량, 터널, 구름다리 및 그 앞뒤에 있어서 필요한 경우에는 " " 까지, 시설된 교량, 터널, 노면개, 구름다리 및 그 앞뒤에 있어서 필요한 경우에는 개수할 때까지 잠정적으로 " " 로써 표시된 한도까지 철도청장의 사전승인을 받은 후 축소할 수 있다.
- 측선에서 급수, 급관, 전차, 계중, 세차 등의 설비, 신호주, 전차선로지지주, 차고의 문 및 내부장치 또는 본선 (중량, 태백, 영동, 황지, 고화 각선과 할배선에 한 함)에 있어서 시설된 교량, 터널, 구름다리 및 그 앞뒤에 있어서 부속한 경우에는 전차선로 지지물에 대한 건축한계를 축소 할 수 있는 한계
- 신로전환기 표시 등에 대하여 건축한계를 줄일 수 있는 한계

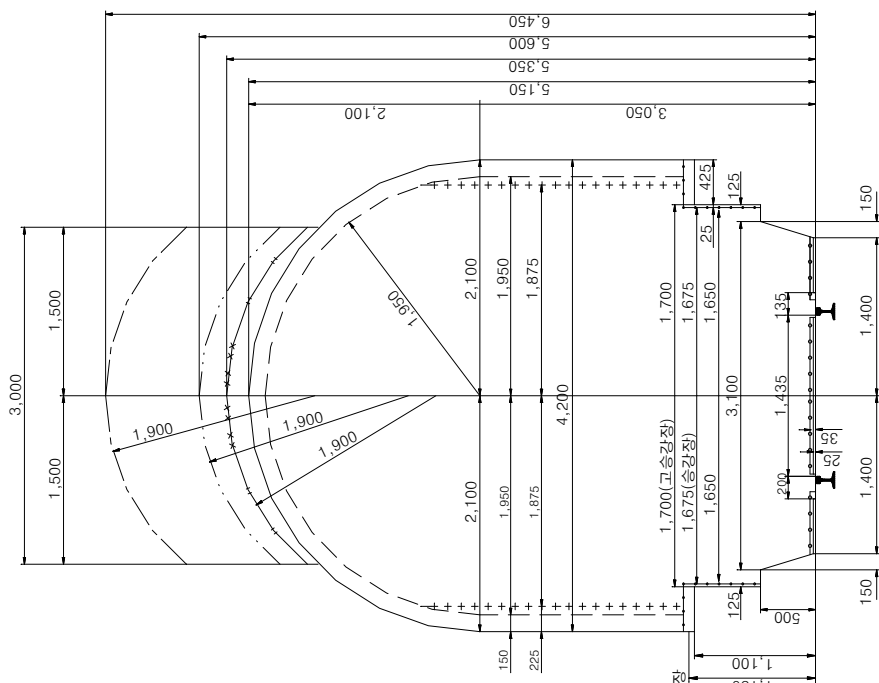


그림 4. 건축한계

3.5.2 다리밑 공간

다리밑 공간은 교량 밑의 교차조건에 필요한 공간과 유지관리에 필요한 공간을 관련시설 및 설계기준에 따라 합리적으로 정해야 한다.

(1) 도로횡단 시설한계

- ① 도로횡단 시설한계(도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 제18조.)의 통과높이 H는 4.5m

로 한다. 동계 적설에 의한 한계높이의 감소 또는 포장 덧씌우기 등이 예상되는 경우를 고려하여 5.0m 이상으로 하는 것이 바람직하다. 다만, 부득이한 경우에는 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙에 따라 축소할 수 있다.

- ② 도로횡단 철도구조물이 규정된 다리밑 공간을 확보한 경우에도 적재높이 제한 위반 차량으로 인한 충격이나 파손이 우려되는 개소는 차량통과한계틀을 설치해야 한다.
- ③ 도로횡단 구조물의 다리밑 공간이 4.7m(고속철도 5.0m) 미만의 개소에는 차량통과한계틀 및 차높이 제한표지를 설치하되 전후 고가도로 또는 보도육교 등 현지여건을 감안하여 설치여부 결정해야 한다.

가. 차량통과한계틀 설치위치

- 교량 : 전방 20~50m 부근에 지형여건 감안 설치
- 통로박스 : 전방 5~15m 부근에 지형여건 감안 설치

나. 차량통과한계틀 설치높이는 구조물의 실제 통과높이보다 0.1m 낮게 설치한다.

다. 차높이 제한표지에는 구조물의 실제 통과높이보다 0.2m 낮게 표기한다.

라. 차높이 제한표지는 도로교통법의 관계 규정을 따른다.

(2) 하천 등의 다리밑 공간

- ① 교량 밑의 통행에 사용되는 공간 또는 교량 밑에서 수위(水位)까지의 공간높이를 말하며, 배가 지나다니는 수로 위의 공간높이는 다음과 같다.

가. 범선 또는 소기선 통과최고수면에서 30m

나. 대기선 군함최고수면에서 45~60m

다. 소증기선 최고수면에서 4.5m

라. 폰툰(pontoon), 바지선(barge)최고수면에서 3.0m

- ② 교량 계획 시 조사한 계획 홍수위가 주거터 밑에 있도록 계획해야 한다. 선박의 운항이 없는 하천의 경우에는 하천설계 기준의 계획홍수량에 따라 <표 5>의 값을 표준으로 하되, 하상변동에 의한 수위상승과 만곡부의 수위상승, 수리계산 오차 등을 고려하여 제방여유고 이상을 확보해야 한다.



표 5. 계획홍수량에 따른 다리밑 공간

계획홍수량(m^3/sec)	다리밑 공간(m)
200 미만	0.6 이상
200 이상~500 미만	0.8 이상
500 이상~2,000 미만	1.0 이상
2,000 이상~5,000 미만	1.2 이상
5,000 이상~10,000 미만	1.5 이상
10,000 이상	2.0 이상

- ※ 1) 하천에서의 다리밑 공간은 홍수위로부터 교각이나 교대 중 가장 낮은 위치의 받침하면까지의 높이를 말하며, 라멘교의 경우에는 현치 하단까지의 높이를 말한다.
 2) 다만, 계획홍수량이 $50\text{m}^3/\text{sec}$ 이하이고 제방고가 1.0m 이하 이고 다리밑 공간은 0.3m 이상을 확보해야 한다.

3.5.3 하천 횡단교의 경간장

하천을 횡단하는 경우 교량의 경간장은 [하천설계기준(2009)]에 따라 다음과 같이 결정한다.

- (1) 교량의 길이는 하천폭 이상이어야 한다.
- (2) 경간장은 산간 협착부라든지 그 외 하천의 상황, 지형의 상황 등에 따라 치수상 지장이 없다고 인정되는 경우를 제외하고는 다음 식으로 얻어지는 값 이상으로 한다. 단, 그 값이 70 m 를 넘는 경우에는 70 m 로 한다.

$$L = 20 + 0.005Q \quad (7)$$

여기서, L 은 경간장(m)이고 Q 는 계획홍수량(m^3/sec)이다.

- (3) 다음의 각 항목에 해당하는 교량의 경간장은 하천관리상 큰 지장을 줄 우려가 없다고 인정될 때는 (2)의 규정에 관계없이 다음 각 호에서 제시하는 값 이상으로 할 수 있다.

- ① 계획홍수량이 $500\text{m}^3/\text{sec}$ 미만이고 하천폭이 30m 미만인 하천일 경우 12.5m 이상
- ② 계획홍수량이 $500\text{m}^3/\text{sec}$ 미만이고 하천폭이 30m 이상인 하천일 경우 15 m 이상
- ③ 계획홍수량이 $500 \sim 2,000\text{m}^3/\text{sec}$ 인 하천일 경우 20m 이상
- ④ 주운을 고려해야 할 경우는 주운에 필요한 최소 경간장 이상

단, 하천의 상황 및 지형학적 특성상 (2), (3)에서 제시된 경간장 확보가 어려운 경우, 치수에 지장이 없다면 교각 설치에 따른 하천폭 감소율(설치된 교각폭의 합계/설계홍수위에 있어서의 수면의 폭)이 5%를 초과하지 않는 범위내에서 경간장을 조정할 수 있다. 일반교량과 사교의 경간길이는 <그림 5>와 <그림 6>과 같다.

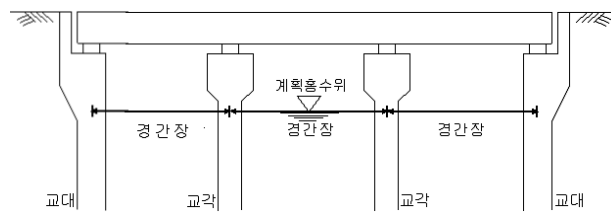


그림 5. 일반교량의 경간 길이

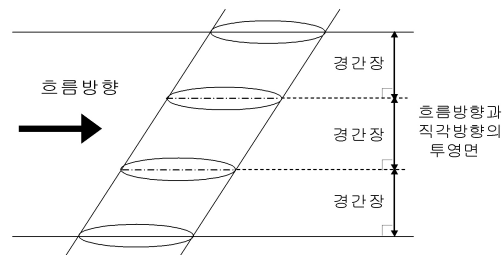


그림 6. 사교의 경간 길이

교대, 교각 등은 부득이한 경우를 제외하고는 체체 내에는 설치하지 말아야 한다. 교대, 교각을 제방 정규단면에 설치하면 체체 접속부에서의 누수 발생으로 인하여 제방의 안정성을 저해시킬 수 있을 뿐만 아니라 통수능의 감소로 치수에 어려움을 초래할 수 있다. 따라서 교대 및 교각 위치는 제방의 제외지측 비탈끝으로부터 10m 이상 떨어져야 한다. 다만, 계획홍수량이 $500\text{m}^3/\text{sec}$ 미만인 하천에서는 5m 이상 이격하여야 한다. 부득이 제방 정규단면에 교대 또는 교각을 설치할 경우에는 제방의 구조적 안정성이 확보될 수 있도록 충분한 검토와 대책을 강구해야 한다.

3.6 환경 및 경관의 고려

3.6.1 환경

교량형식 선정시에는 다음 사항에 대해 가교지점이 주위 환경에 미치는 영향 및 자연과 어우러진 환경친화성 여부 등을 충분히 검토한 후 형식을 결정하여야 한다.

(1) 공사중 진동, 소음, 수질오염 등의 영향

교량건설시의 공해는 그 영향 범위가 광역적인 것(대기, 수질 등)과 국지적인 것(소음, 진동 등)으로 분류되며, 공중에 따라 여러 종류의 공해가 발생하는 특수성을 가지고 있다. 더욱이 발생원 자체가 이동(덤프트럭 등)하는 이동공해이면서, 공사현장 내에서 발생하는 고정성 공해라는 이면성을 갖고 있다. 이런 특수성으로 방지책을 강구하기 어려운 면도 있지만 계획, 설계, 시공시에 공해를 예측한 정량적인 제반 대책을 고려해야 한다.

(2) 완성후 교량이 주위환경에 미치는 소음, 진동 및 수리적 변동 등의 영향

- ① 도시부, 연약지반 등에서 완성후의 교량에 발생하는 진동, 소음 문제가 야기될 것으로 예상되는 경우에는 다음 사항에 유의한다.



- ② 장경간 라멘구조에서는 라멘의 변형에 의해 기초가 횡방향으로 이동하고 지반진동이 문제가 되는 경우가 있다.
- ③ 받침의 마찰계수가 커서 온도변화에 따라 원활히 움직이지 않고 일정 온도변화에 달한 시점에서 급격히 이동함에 따라 진동, 소음의 원인이 될 수 있다.
- ④ 저주파 공기진동 문제가 드물게 발생하는 일이 있는데, 저주파음은 구조 각 부분의 진동에 기인하고, 음압수준(dB)도 구조물의 강성 및 교량이 받는 에너지(중량, 속도 등)에 관계되므로 가능한 한 강성이 큰 형식, 구조를 채용하는 것이 좋다.

3.6.2 경관

(1) 개요

교량은 기능성, 구조적 안전성, 유지관리의 편의성, 경제성, 시공성 등을 종합적으로 고려하여 가설목적을 달성할 수 있도록 설계 및 시공되어야 한다. 한편, 교량은 기능적·구조적 요구조건 이외에 지역주민과 철도이용자에게 시각적으로 안정감을 주고 환경과 조화를 이룰 수 있도록 아름답게 설계되어야 하는데 이를 교량의 경관설계(Aesthetic Design)라고 한다.

1970년대부터 시작된 우리나라 경제개발 단계에서 철도망을 확충하면서 철도의 주요 구조물인 교량은 지역특성, 주변경관, 미적인 요구보다는 경제성, 기능성, 안전성을 우선적으로 고려하여 건설되었다. 그러나 최근 사회 및 경제발전이 고도화 단계에 접어들면서 교량에 대한 사회·문화적 요구가 변화되어 교량경관에 대한 관심이 고조되고 있다. 선진국의 경우 오래전부터 교량을 포함한 토목구조물 설계에서 현대적인 경관설계 개념이 도입되었으며, 미국 등 선진국에서는 교량 경관설계의 중요성을 인식하여 교량 설계단계에 경관에 대한 검토를 수행하고 있다. 국내의 경우 1990년 중반부터 일부 교량건설에서 설계시공일괄입찰방식(Design Build)이 적용되면서 사장교, 현수교 등 특수교량을 위주로 경관설계 개념이 교량 설계과정에 도입되고 있다.

교량 경관설계는 교량 자체의 미적 고려는 물론, 지역의 역사·문화를 기초로 주변경관과 조화가 요구되므로 일률적인 교량경관설계 기준이나 지침을 마련하기는 어려운 실정이다. 본 편람에서는 교량 경관설계와 관련된 외국의 자료를 참고하여 경관설계의 기본개념을 기술하였고, 일반적인 교량형식의 계획단계에서 설계자가 고려해야 사항에 대해서 사례 위주로 기술하였다.

(2) 주요 고려사항

교량경관설계는 교량 자체의 미학적 가치를 중시하는 내적요구와 교량 주변환경과의 관계를 중시하는 외적요구를 고려하여야 한다. 경관설계에서는 기본적으로 미적조형원리와 상징성이 주요 고려사항이다. 대상물이 갖는 상징성을 제외하고 아름다움의 조건을 설명하는 것을 미적 조형원리라고 한다.

교량 경관설계에서 검토해야할 기본적인 미적 조형원리에는 비례(Proposition), 내부 및 외부 조화(Harmony), 대칭(Symmetry), 균형(Balance) 등이 있고, 기능미에는 간결성(Simplicity)과 명료성(Clearness)이 있다. <그림 7>에는 미적 조형원리를 포함하여 교량 기본설계 단계에서 고려해야할 주요 검토항목을 나타내었다.

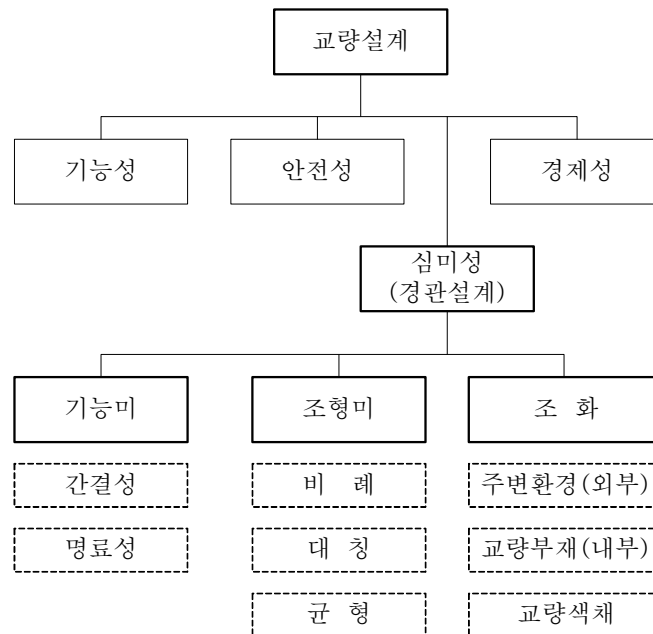


그림 7. 교량 경관설계 고려사항

① 비례

비례(Proposition)는 사물의 부분과 부분 또는 전체의 수치적 관계로서 길이나 면적의 비례관계를 의미한다. 구조물의 경우 비례는 구조적 안정감은 물론 시각적 아름다움을 주는 조형원리로 작용하며, 구조물 경관설계에 고려되는 중요한 검토항목이다.

교량 설계에 있어서 비례는 경간분할, 특히 중앙경간과 측경간의 분할, 그리고 교장에 따른 교량 또는 거더의 높이, 교각과 교각 간격 설정 등에 활용될 수 있다. 고대로부터 사물의 길이의 분할 또는 배분에 있어서 시각적으로 안정감과 아름다움을 주는 특정한 분할비율이 있다고 알려져 왔다. 교량의 경간분할 계획 등에서도 이러한 분할비율을 참고적으로 활용할 수는 있으나, 이상적인 비례는 다양한 공간적, 환경적 요인을 고려하고 교량설계자의 경험과 여러 가지 비례조합에 대한 반복적인 검토를 통하여 결정하는 것이 적합하다.

② 균형과 대칭

균형(Balance)이란 구조물에 작용하고 있는 힘이 평형상태를 이루는 역학적 개념으로서 역학적인 균형이 시각적인 균형으로 인지되는 조형원리 기본개념이며 앞서 기



술한 비례와 관계가 있다. 반면에 대칭(Symmetry)은 좌우대칭의 정적균형(Static Symmetry)과 비대칭의 동적균형(Dynamic Symmetry)으로 나눌 수 있다. 정적균형은 단순하고 명확하며 안정감 있는 조형미로써 구조물의 대칭축을 중심으로 등거리에 동일한 형상이 좌우에 위치한다.

③ 조화

교량은 내적조화와 외적조화가 이를 수 있도록 설계하는 것이 바람직하다. 내적조화란 교량을 구성하는 부재가 교량의 다른 구성요소와 조화(Harmony)를 이뤄야 하는 것을 의미하며, 외적조화는 교량이 주변을 구성하는 다양한 요소들과 조화를 이루는 것을 말한다.

교량구조물은 경간장, 거더의 높이, 교각의 크기 등을 적절하게 설정하여 시각 및 공간적인 조화를 확보하는 것이 좋다. 교량과 주변 환경과의 조화는 주변 환경 대비 구조물의 규모나 크기가 좌우한다.

도심지에서는 날렵한(Slender) 단면으로 교량을 구성하는 것이 조화측면에서 바람직하다. 그러나 교량을 구성하는 상부구조와 하부구조는 상호 조화와 균형을 이루어야 한다.

④ 교량형식

교량경관설계에서 교량 상부구조형식의 선정은 교량자체 경관은 물론 전체 경관을 좌우하는 중요한 요소이다. 경관을 고려한 교량설계에서 교량형식의 선정은 다음 두 가지 요인을 참고하여 결정하는 하는 것이 좋다.

첫째는 교량을 전체 경관(자연환경 포함)의 한 요소로 가정하여 교량이 강조되지 않도록 하는 교량형식을 선정하는 방법이다. 이 경우 교량의 구조형식은 비교적 단순한 형식이 적합하다.

둘째는 교량을 전체 경관에서 강조할 수 있도록 교량형식을 선정하는 방법이다. 이 경우 교량자체의 경관미를 강조하게 되므로 교량의 형식은 다소 복잡하게 되며, 교량을 가설지역에 상징적인 구조물로 계획하거나 랜드마크화 하고자 할 때 적합한 방법이다.

3.7 경제성의 고려

3.7.1 일반사항

교량은 국가 중요 시설물로서 계획 및 설계단계에서 경제성 검토는 중요한 고려사항 중 하나이며 설계단계에서 수행하는 경제성 검토는 일반적으로 대안비교를 위해서 수행된다. 모든 교량의 계획 및 설계에 있어서 방법과 수준의 차이는 있겠으나 경제성 검토를 수행하고 있다. 다만, 과거의 경제성 검토 및 분석은 주로 초기공사비와 공용연수에 따른 감가상각비용 정도를 고려하는 것이 일반적이었다.

최근에 와서 교량의 경제성 분석이라 함은 해당 교량의 계획 및 설계, 시공, 유지관리, 해체 및 폐기까지 소요되는 교량의 전생애기간 동안 발생하는 총 비용인 생애주기비용(Life Cycle Cost; 이하 LCC)을 고려하여 경제적인 대안을 선정하는 분석을 말한다. 특히, 각 생애주기에 따라 소요되는 교량과 관련한 직접적인 소요비용(건설비, 유지관리비)뿐만 아니라 유지관리행위로 인해 추가적으로 발생하는 사회간접비용(시간지연비용, 차량운행지체비용, 사회손실비용 등)의 추정과 이를 포함하는 경제성의 평가가 합리적이며 바람직한 것으로 인식되고 있으며 점차 이러한 분석을 수행하는 것이 일반적으로 받아들여지고 있다.

이와 같은 맥락에서 교량공사를 포함한 건설공사의 경제성 분석에 대해서는 국토해양부에서 제정 및 관리하고 있는 건설기술관리법 시행령이 있다. 동 시행령 제64조에 근거한 ‘설계의 경제성 등 검토에 관한 시행지침 제10조’에서 아래와 같은 기준에 해당하는 공사에 대해 ‘가치공학(VE : Value Engineering 또는 가중치부여 복합기법; 이하 VE)기법’을 적용하도록 규정하고 있으며, 이때 경제성 분석은 생애주기비용을 고려하도록 권고하고 있다.

- ① 총 공사비가 100억 이상인 건설공사의 기본 및 실시설계
- ② 공사 시행중 공사비 증가가 10% 이상 발생되어 설계변경이 요구되는 건설공사
- ③ 기타 발주청이 필요하다고 인정하는 사업
- ④ LCC에 기초한 교량의 경제성 분석은 설계단계와 유지관리단계에서 활용될 수 있으며, 적용단계에 따라서 분석목적에 따라 같이 구분할 수 있다.
- ⑤ 설계단계 : 교량의 설계에 있어서 교량형식, 적용공법, 부재, 재료, 신기술 적용여부 등에 대한 효율성 판단
- ⑥ 유지관리단계 : 공용 중 교량의 유지관리전략 및 공법 선정, 유지보수율, 예산투자 우선순위 등의 선정

그러나 교량의 설계에서 최종적인 설계대안의 선정은 교량의 경제성만을 고려하는 것은 아니고 해당 교량의 설계가 목적하는 성능(P: Performance - 안전성, 시공성, 사용성, 미관성, 민원성 등)과 경제성(C: Cost - LCC)을 종합적으로 고려하여 최고의 가치(Value)를 달성할 수 있는 설계안을 선정하는 것이 바람직하다.

이와 같은 VE기법은 선진각국에서 일반화되고 있는 기법으로서 국내에서도 2000년에 제정되었고, 2005년에 확대, 개정된 건설기술관리법의 시행령 제64조에서 규정한 ‘VE기법’에 기초하여 선정하는 것이 보다 효율적으로 활용될 수 있다. VE기법은 현재 토목, 건축을 비롯한 건설 전반에 걸쳐 최저가 입찰방식을 제외한 건설공사 설계에서 일반적으로 적용되고 있으며, 정부투자기관 등에서도 발주업무에 VE기법을 적용하고 있다.



3.7.2 설계안 선정절차

종래 교량의 설계대안 선정방법은 대안간 개요, 장·단점, 특징, 경제성(일반적으로 초기 공사비) 등을 바탕으로 하고 있다.

VE기법은 설계대상을 고려함에 있어 설계요소(상부구조, 하부구조, 부속장치 등) 자체보다는 이 설계요소들이 수행하여야 할 기능(Function)에 초점을 두고 있다. 이들 기능을 달성하기 위해서 정해진 수행절차(VE기법의 정식용어는 Job Plan)에 입각하여 여러 전문가들의 토론 및 합의 중심의 워크샵(Workshop)을 통한 창의적 설계대안을 도출하고, 각 대안에 대한 정량적인 비교분석을 수행함으로써 체계적으로 설계대안을 수집, 분석할 수 있는 기법이다. 이 기법에서는 크게 가치평가, 성능분석, 비용분석을 수행하여야 하며 간략하게 그 내용을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 가치평가

가치평가는 설계대상의 설계요소(상부구조, 하부구조, 부속장치 등)들의 목적하는바 기능(VE팀이 워크샷을 통해 정의한 기능)을 달성하기 위해 제안된 각 설계대안의 성능 대비 경제적 비용을 복합적으로 고려하는 평가이다.

제안된 아이디어 및 설계대안에 대해 상대적 비교우위를 정량적으로 평가하기 위한 지표로서 가치점수(V)를 산정하여 비교·분석할 수 있으며, 가치점수는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\text{가치점수}(V) = \frac{\text{성능점수}(P)}{\text{상대LCC}(C)} \quad (8)$$

여기서, 성능점수(P)와 상대LCC(C)는 각각 성능분석 및 비용분석을 통하여 평가된다. 아이디어 및 설계대안간 상대적 가치점수를 높일 수 있는 방법 즉, 가치를 향상하기 위한 유형은 식(8)의 성능과 비용의 상관관계에 따라 <그림 8>과 같이 4가지로 분류될 수 있으며, 대상 교량에 따라 적절한 가치향상 유형을 판정할 수 있다.

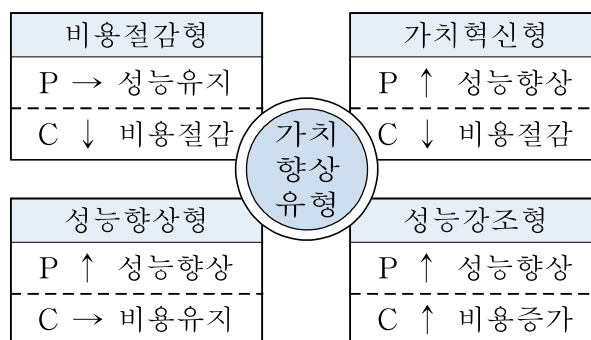


그림 8. 가치향상유형

(2) 성능분석

제안된 아이디어 및 설계대안간 상대적인 가치를 비교하고자 한다면 성능(안전성, 시

공성, 사용성, 미관성, 민원발생 가능성 등)에 대한 비교를 위하여 각 성능의 정량적 점수 즉, 성능점수(P)를 추정하는 분석을 수행한다.

VE팀의 워크샷을 통해 확정된 성능의 항목과 상대적 가중값에 의해 각 아이디어 및 설계대안에 대한 성능점수를 산정한다. 이때 각 설계대안에 대한 성능의 평가에 적용하는 성능평가기준은 성능기준매트릭스에 의한다. 이에 대한 보다 상세한 내용은 [설계VE 업무 매뉴얼(2006)]과 [예비타당성조사 수행을 위한 다기준분석 방안연구(2001)] 등을 참조하면 보다 자세히 이해할 수 있다.

(3) 비용분석

제안된 설계안간 상대적인 가치를 비교하고자 한다면 성능분석과 더불어 각 설계안에 대한 비용분석이 반드시 요구된다. 이를 위해 각 설계안에 대한 총수명간 소요비용인 LCC를 산정하여 분석한다. LCC를 분석하면서 소요되는 각종 비용은 과거의 데이터로부터 추정하게 되는데, 이들의 값을 그대로 적용하여 LCC를 추정하는 확정적 분석기법과 각종 비용의 추정에 관한 불확실성(평균, 표준편차, 확률분포 형태 등)을 추가적으로 고려하여 계산하는 확률적 분석 방법이 있다.

일반적으로 LCC를 구성하는 비용항목은 초기건설비용(계획·설계비, 시공비, 감리·감독비), 유지관리비용(일반관리비, 점검·진단비, 유지보수비), 해체폐기비용(해체폐기비), 간접비용(사용자비용, 사회경제 손실비용) 등으로 구성된다. 교량의 LCC 분석에서는 분석기간 동안 발생하는 모든 비용을 파악해야 하며 대안별 분석 시에는 공통되거나 중요도가 낮은 비용은 제외 가능하다.



해설 2. 콘크리트교 교량 설계

1. 개요

본 절에서는 예비 및 기본설계를 통해 최종적으로 결정된 교량의 상세설계를 수행함에 있어서 고려되어야 할 구체적인 설계내용 중 가장 기본이 되는 사항에 대해 기술하였다. 특히, 본 절의 대부분 내용은 2011년 개정된 「철도설계기준 제8장 교량 일반사항」의 일부에 해당하는 것으로서 설계기준의 내용과 참고문헌을 바탕으로 정리하고, 설계기준에서 언급되지 않고 있으나 편람을 이용하는 실무설계자의 편의를 위해 필요하다고 판단되는 내용을 추가적으로 기술하였다.

철근과 콘크리트를 주재료로 시공하는 철근콘크리트교(Reinforced Concrete Bridge; RC교)는 강교나 합성교에 비하여 내구성, 내화성, 경제성이 우수하고 진동과 소음이 작은 장점이 있다. 특히, RC교는 초기 건설비용도 다른 교량에 비하여 낮지만 철근 부식을 제외하면 유지관리가 거의 필요하지 않기 때문에 공용중 유지관리비용이 적고 물리적 수명도 길다.

그러나 RC교는 단면과 자중이 크기 때문에 장지간 교량에 적합하지 않으며 공기가 길게 소요되고 시공품질이 현장여건에 좌우되는 단점이 있다. RC교 부재에는 콘크리트 균열이 발생할 수 있는데 누수로 인한 철근 부식을 방지하고 침투한 수분의 동결 팽창으로 인한 콘크리트 파손을 방지하기 위해서는 균열폭을 제어할 수 있도록 설계하는 것이 필요하다.

또한 프리스트레스트콘크리트(PSC)의 개념은 “외력에 의하여 일어난 응력을 소정의 한도까지 상쇄할 수 있도록 미리 인공적으로 그 응력의 분포와 크기를 정하여 압축력을 준 콘크리트”라고 정의할 수 있으며, 응력개념·강도개념·하중평형 개념의 세 가지 기본적인 개념에 근거하여 해석한다. PSC의 구조물への 적용은 콘크리트의 응력 도입기술 및 고강도 강선과 콘크리트의 부착문제 등 여러 가지 실험적인 노력으로 다양한 프리스트레싱 기술의 개발이 이루어진 1900년대 중반에서야 이루어졌다. 그 후 제 2차 세계대전 이후 고강도 콘크리트와 고강도 강재의 개발은 PSC가 비약적으로 발전하게 되는 계기가 되었으며 이로 말미암아 콘크리트교량 건설분야에서 철근콘크리트보다 다양하게 이용되고 있다.

2. 설계방법 및 설계기준

예전의 설계방법 및 절차는 하중에 의한 작용력의 해석과 재료의 강도에 대한 기술자의 확신에 기초하였으나, 해석기술이 향상되고 재료의 품질관리가 향상됨에 따라 많은 변화를 거치며 발전해왔다. 종래에는 허용응력설계법(WSD: Working Stress Design)이 유일한 설계법이었으며 현재까지도 많은 부분에서 사용되고 있다. 1960년대 초반부터 강재에는

소성설계법(Plastic Design)이, 콘크리트에는 강도설계법(USD:Ultimate Strength Design)이 선진국의 설계기준에 채택되기 시작하였고, 1980년대에 이르러 명칭은 다르지만 원칙적으로 구조신뢰성이론에 기초한 동일한 설계이론인 하중저항계수설계법 (LRFD:Load and Resistance Factor Design)과 한계상태설계법(LSD:Limit State Design) 그리고 최근에는 성능평가형설계(PBD:Performance Based Design)이 미국과 유럽을 비롯한 선진각국의 설계방법으로 일반화되고 있을 뿐만 아니라 이러한 설계법으로 설계기준을 통합하려는 움직임이 국제적으로 활발히 진행되고 있다. 우리나라도 1977년부터 콘크리트 구조물에는 허용응력설계법을 채택하였고, 1996년 발행된 콘크리트표준시방서에서는 본격적으로 강도설계법을 채택하여, 허용응력설계법을 별도설계법으로 부록에 소개하였고 1999년 개정에서는 토목분야와 건축분야가 콘크리트구조물 설계와 시공에 대해 통일된 설계 기준과 표준시방서, 즉 콘크리트 설계기준(이후 콘·설로 표기) 그리고 콘크리트 표준시방서(이후 콘·시로 표기)로 통합되었다. 강구조물에 대해서는 아직도 허용응력설계법이 사용되고 있으나, 1996년 발행된 도로교표준시방서의 부록에 하중저항계수설계법을 도입하여 참고하도록 하였다. 향후, 하중저항계수설계법, 한계상태설계법, 성능평가형설계법 등이 실무에서 사용될 전망이므로 실무설계기술자들의 관심과 교육이 요구된다.

따라서, 본 절에서는 교량설계에 사용되는 현재 우리나라의 설계법의 기초개념과 관련 설계기준등 각종규준에 대하여 간략하게 요약하였다.

2.1 설계방법

2.1.1 허용응력설계법(WSD:Working Stress Design)

허용응력설계법(WSD)은 재료가 공칭항복응력에 도달하면 파손이 일어난다고 하는 기준과 이상적인 Hooke의 법칙, 즉 선형탄성거동에 의한 구조물내의 응력이 허용응력을 넘을 수 없다는 가정에 기초를 두고 있어 일명 탄성설계법(elastic design)이라고 한다. 허용응력은 재료와 단면성질·사용하중·2차응력·잔류응력 등에 대해 충분한 여유를 두고 과거의 경험으로부터 결정된다. 일반적으로 사용하중 하에서 구조물이 거의 탄성적으로 거동하는 강구조물의 설계에서는 아직 탄성이론에 의한 허용응력설계법이 많이 이용되고 있으며, 재료적 비탄성거동을 하는 콘크리트구조물에서도 (가)변형은 중립축으로부터 거리에 비례하며, (나)콘크리트의 탄성계수는 일정하고, (다) 콘크리트의 휨인장응력은 무시한다는 세 가지 가정을 전제로 하여 콘크리트를 탄성체로 보고 탄성이론을 적용한다.

대부분의 기준은 항복점의 응력을 적당한 안전율로 나누어줌으로써 최대허용응력을 결정하고 있는데, 이때의 안전율은 식(9)와 같이 규정함으로써 얻어진다. 설계기준이 이와 같이 안전율을 고려하여 허용되는 응력의 한계를 설정했기 때문에 허용응력설계라고 불리게 되었다.



$$\text{안전율}(n) = \frac{\text{저항}(R)}{\text{하중효과}(Q)} (\geq 1) \quad (9)$$

허용응력설계법은 초창기의 정역학적 정정인 강구조물의 설계를 위해 개발되었으므로 다른 재료와 다른 수준의 여유도(redundancy)를 갖는 구조에는 명료하게 적용되지는 않는다. 따라서, 철근콘크리트구조물의 설계에서는 재료의 비선형·비탄성거동을 고려하여 오래전부터 강도설계법(USD)을 사용하고 있다. 이는 콘크리트의 물성이 시간과 주어진 조건에 따라 변하는 비선형재료이므로 재료물성을 정확히 추정할 수 없으나 한계상태에서의 콘크리트강도, 즉 극한강도(ultimate strength)는 비교적 정확히 규명할 수 있기 때문이다.

[4. 설계의 기본]에서도 강철도교는 허용응력설계법을 따르고 콘크리트교는 원칙적으로 강도설계법을 따르되 필요한 경우 허용응력설계법도 사용할 수 있도록 규정하고 있다. 허용응력설계법을 적용함에 있어 필요한 하중조합과 증가계수와 각 재료 및 조건별 허용응력은 [KR C-08020 허용응력설계법에 따른 하중조합]에 강고, 콘크리트교, 하부구조로 분류되어 제시되어 있다. 각 교량형식에 대한 보다 상세한 허용응력이 [콘크리트 설계기준 부록 I.3 허용응력]에도 제시되어 있다.

2.1.2 강도설계법(USD:Ultimate Strength Design)

강도설계법은 앞에서 간단하게 언급한 바와 같이 부재의 파괴상태 또는 파괴에 가까운 극한강도상태에 기초한다. 구조부재의 가장 중요한 성질은 그 부재의 실제 강도이나 설계시 사용하는 공칭강도는 실제강도와 다르며 이는 실제 시공된 구조물과 실제 재료강도의 불가피한 변동성과 오차등 여러 가지 이유 때문이다. 뿐만 아니라 작용하는 하중도 어떤 범위의 오차를 가지고 있는 크기를 예측할 수 있을 뿐이지 작용하중의 실제크기는 알지 못한다.

따라서, 구조부재가 안전하기 위해서는 공칭강도 S_n 은 예상되는 재료 강도의 불확실성, 즉 부족을 고려하여 강도감소계수 ϕ 에 의하여 감소시켜 설계강도를 설정하고, 설계기준에 규정된 설계하중 혹은 사용하중은 있을 수 있는 초과하중을 고려하여 하중계수 γ 에 의하여 증가시켜 소요강도 또는 계수화된 설계 작용외력을 구한후 이를 비교해야 한다. 이때 단면의 설계강도가 소요강도보다 크게 되도록 설계하는 것이 강도설계법이다. 따라서 식(10)와 같은 관계가 만족되어야 한다.

$$\phi S_n \geq \gamma_d D + \gamma_l L = U \quad (10)$$

여기서, D : 사용 고정하중(service dead load)에 의한 단면력

L : 사용 활하중(service live load)에 의한 단면력

γ_d, γ_l : 각 하중에 대한 하중계수

ϕS_n : 설계강도(design strength)

U : 소요강도 (required strength) 또는 계수화된(factored) 설계작용외력

소요강도는 사용하중에 하중계수를 곱해서 구하기 때문에 이 설계법을 하중계수설계법(Load Factor Design)이라고도 한다.

설계를 위한 하중조합 규정과 강도감소계수 및 하중계수는 [철도설계기준 8.3.4 강도설계법에 따른 하중조합]와 [콘크리트 설계기준 3.3.2 소요강도]에 자세히 제시되어 있다. 또한 설계강도는 [철도설계기준 10.6.2 강도]에 제시되어 있으며 콘크리트 교량에 대한 강도설계법에서는 공칭강도에 설계기준에서 제시하고 있는 강도감소계수를 곱하여 산정하고, 강교에 대한 하중계수설계법에서는 계산된 최대공칭강도를 그대로 설계강도로 사용한다. 콘크리트교에 대한 보다 상세한 강도설계법에 관련된 기준은 [철도설계기준 10.6강도설계법]과 [콘크리트 설계기준 제3장 설계하중 및 하중조합]에서 자세히 기술하고 있다.

마지막으로 강도설계법에 의해 설계된 휨부재는 그 강도 외에 반드시 사용성 검토를 수행하여 이의 충족여부를 확인하여야 한다. 따라서 휨부재는 사용하중 작용시 처짐과 하중의 반복작용에 따른 철근의 피로응력 한계, 또는 휨균열을 조절하기 위한 철근의 배근조건도 충족되어야 한다.

2.1.3 하중저항계수설계법(LRFD:Load and Resistance Factor Design)

구조물 또는 부재가 파괴 또는 파괴에 가까운 상태로 되어 그 기능을 완전히 상실한 상태를 극한한계상태(Ultimate Limit State)라 하고, 처짐·균열·진동 등이 과대하게 일어나서 정상적인 사용상태의 필요조건을 만족하지 않게 된 상태를 사용한계상태(Serviceability Limit State)라고 한다. 하중저항계수설계법(LRFD)과 한계상태설계법(LSD)은 이러한 한계상태로 되는 확률이 구조물의 모든 부재가 동일한 한계상태 파괴모드에 대하여 일정한 값이 되도록 하려는데 목적을 두고 있다.

구조물에 작용하는 실제의 하중과 재료의 실제 강도는 일정한 분포형태를 가지는 무작위변량이라는 것은 이미 잘 알려진 사실이다. 그러므로 작용하중 및 재료강도의 변동을 고려하여 확률론적으로 구조물의 안전성을 평가해야 옳을 것이다. 이러한 뜻에서 하중저항계수설계법이나 한계상태설계법은 안전성의 척도를 구조물이 파괴될 확률(파괴확률), 또는 구조물이 파괴되지 않을 확률(신뢰성)로 나타내려고 한다. 그렇기 위해서는 작용하중이나 재료강도 등에 관한 통계자료가 충분히 있어야 한다. 그러나 현재의 단계에서는 그러한 자료가 충분하지 못하기 때문에 하중과 재료강도에 대한 부분안전계수(Partial Safety Factor)를 도입함으로써, 이 방법에서의 접근을 시도하고 있다.

이와 같이 부분안전계수를 사용하는 설계기준은 미국의 AISC, NBS (National Bureau of Standards), 캐나다의 CSA(Canadian Standard Association)과 같이 전체 저항에 대한 하나의 안전계수(Total Resistance Factor)를 사용하는 하중저항계수설계법과 일본의 JCSS(Joint Committee on Structural Safety), 유럽의 BS(British



Standards), CEB(Comit' Europeen du Beton)와 같이 부분저항계수(Partial Resistance Factor)를 사용하는 한계상태설계법으로 크게 구분할 수 있다.

LRFD 설계법은 교량의 모든 부재에 대하여 파괴되는 확률을 일정하게 확보할 수 있는 설계법으로서 합리적이고 경제적인 설계방법이다. 우리나라에서는 1996년 발행된 도로교표준시방서에 하중저항계수설계법을 부록으로 수록하고 있다. 그러나 설계자들은 허용응력설계법과 강도설계법에 익숙하기 때문에 미국의 경우에도 LRFD 설계기준을 제정한 후 약 10년간 실무에 활용되지 못한 사례가 있다. 미국의 경우 2007년부터 FHWA에서 지원하는 예산으로 건설하는 모든 교량은 AASHTO LRFD 교량설계기준에 의해서 설계하도록 하고 있다.

하중저항계수설계법은 종래의 허용응력 중심의 허용응력설계법과는 달리 부재나 상세요소의 극한내력강도 또는 한계내력에 기초를 두고, 극한 또는 한계상태하중에 의한 부재력이 부재의 극한 또는 한계내력을 초과하지 않도록 하는 설계법이다. 따라서 이 설계법은 종래의 강도설계법이나 소성설계법과 설계기준의 형식(Design Format)면에서는 유사하다. 그러나 하중 및 저항관련 안전모수, 즉 계수안전율의 결정을 종래의 설계법에서 하듯이 주로 오랜 기간의 경험에만 의존하여 확정적으로 결정하지 않고 하중과 구조저항 관련 모든 불확실성을 확률·통계적으로 처리하는 구조신뢰성이론에 기초하여 보정(Calibration)함으로써 구조물의 일관성 있는 적정수준의 안전율 즉, 신뢰성(Reliability)을 갖도록 하는 보다 합리적이고 새로운 설계법이다.

하중저항계수설계는 일반적으로 다음과 같은 과정들을 거치게 된다.

- ① 구조물에 발생 가능한 모든 한계상태 관련 파괴(파손)모드의 확인
- ② 각 한계상태에 적정한 안전수준의 결정
- ③ 설계자에 의한 지배적이고 주요한 한계상태를 고려한 구조단면의 설계

보통 구조물의 설계문제에서 ①, ②단계는 한계상태설계 관련 기준에 구조물의 종류·형태·특성별로 규정되어 있다. 즉, 설계기준에는 어떠한 한계상태를 고려하여 특정한 구조물이나 구조요소를 어떻게 설계할 것인가와 이에 따른 하중 및 저항관련 안전계수들이 함께 규정되어 있다.

대개의 경우, 설계자는 일반적으로 고려되는 구조물의 가장 위험한 한계상태의 결정으로부터 출발하면서 ③단계만 수행하면 된다. 설계기준에 규준화 되어 있지 않은 비정상적인 구조물에 대해서는 설계자가 세 가지 단계를 모두 고려해야 한다. 실제로 한계상태설계는 종래의 구조설계절차와 동일한 것이지만, 다만 여러 가지 지배적이거나 주요한 거동과 관련된 한계상태를 모두 구체적으로 고려하고 체계적으로 정식화하여 설계한다는 점이 재래적인 설계법과는 다르다.

이상과 같이 설계함에 있어 구조안전도는 구조수명 기간동안 실제로 작용하는 하중들의 조합에 대해 구조물에 발생하는 최대외력과 구조물의 실제강도 및 강성이 결

정하는 최소저항의 크기와 이들과 관련된 모든 불확실성의 정도에 따라 달라진다. 어느 경우에도 구조수명 기간동안 실제하중과 실제저항을 정확하게 예측하기란 절대로 불가능하다. 따라서 구조물의 안전도나 사용성은 구조물의 실제강도나 저항이 구조수명 기간동안 작용하는 최대하중을 지지할 수 있는 확률 즉, 신뢰도에 기초하여 표현할 수밖에 없다. 따라서 구조물의 안전도와 신뢰도는 불확실량들의 통계적인 추정에 기초한 확률모형, 즉 구조신뢰성방법에 의해 파괴확률 P_f (또는 신뢰성지수 β)를 척도로 하여 해석해야 하고, 종래에 사용해오던 공칭안전율도 신뢰성지수와 저항 및 하중의 통계적 불확실량(평균·분산)의 함수로 유도되어야 한다.

구조안전도를 추정함에 있어 또 하나의 복잡한 요인은 구조물의 안전도가 구조요소의 동일한 파괴모드에 대해서도 구조물이 정정 또는 부정정의 여부에 따라서도 크게 달라진다는 점이다. 뿐만 아니라 대개의 경우 각종 하중과 저항에 관한 불확실량이나 이들의 모델링, 해석 및 예측관련 불확실량 등의 통계적 자료가 부족하여 정확하게 추정할 수 없는 반면에 계산되는 확률값은 저항의 매우 작은 값과 하중의 매우 큰 값 부근에서 이들의 극치분포에 따라 매우 민감하게 변한다. 더구나 이들 저항과 하중관련 불확실성 중에는 인적오차(Human Error, Gross Error)와 같이 통계적으로나 확률적으로 취급하기 곤란한 것들도 있다. 따라서 구조물의 실제 안전도와 실제 신뢰도는 미지인 경우가 대부분이며, 대개는 인적오차문제는 별도로 취급하고, 공칭안전도·공칭신뢰도를 구조신뢰성방법으로 해석하여 구조안전도를 추정한다.

2.2 설계기준

국내에서는 국토해양부를 비롯한 정부기관의 주관으로 공공단체나 학회 등이 관련관리주체로 설정되어 구조물 설계 및 시공시 적용할 각종설계기준 및 지침 등과 건설공사기준을 제정하고 있다. 건설공사와 관련된 기준은 사실상 법령이나 다름없는 설계기준 및 시공기준(표준시방서)과 하위기술기준(표준도·지침·편람·기술지도서·업무요령 등)으로 나뉘어진다. 각종 건설공사에 사용되는 설계기준은 그 종류가 다양하고 지속적으로 개정작업을 거쳐 계속해서 개정되고 있다. 이러한 건설공사기준 가운데 교량의 설계 및 시공과 관련된 건설공사기준을 정리하면 <표 6>과 같다.

구조물의 설계자는 대상구조물에 따라 반드시 적용해야 하는 법규와 시방서 및 관련기준 등의 규정에 적합하도록 설계하게 된다. 그러나 이러한 기준이나 시방서 등은 설계를 위한 일반적인 지침만을 제공할 뿐이며 올바른 설계를 위해서는 올바른 판단과 경험이 필요하다. 이는 아무리 많은 기준이 제정된다고 하더라도 모든 상황을 전부 포함할 수는 없기 때문이다.



표 6. 건설공사 해당 법규와 기준

해당 법규와 기준	해당 기관
철도건설법과 그의 시행령, 시행규칙	국토해양부
철도건설규칙과 철도의 건설기준에 관한 규정	국토해양부
철도 안전법과 그의 시행령, 시행규칙	국토해양부
건설기술관리법과 그의 시행령, 시행규칙	국토해양부
건설공사 설계도서작성기준	국토해양부
기본설계 등에 관한 세부시행기준	국토해양부
콘크리트 표준시방서	국토해양부
콘크리트 구조설계기준	국토해양부
구조물 기초 설계기준	국토해양부
내진설계기준(Ⅰ,Ⅱ편)	국토해양부
토목공사표준시방서	국토해양부
터널 설계기준	국토해양부
하천 설계기준	국토해양부
도로 설계기준	국토해양부
도로교 설계기준	국토해양부
도로공사 표준시방서	국토해양부
도로교 표준시방서	국토해양부
도로교 안전시설 설치 및 관리지침	국토해양부
도로공사 노천 발파설계 시공지침	국토해양부
환경친화적 철도건설지침	환경부, 국토해양부
자연환경보전법	환경부
환경영향평가법	환경부
소음·진동규제법	환경부
자연재해대책법	소방방재청

2.3 사용성 및 내구성 설계

구조물 또는 부재는 소요공용기간 중에 극한하중을 받을 때 안전성뿐만 아니라 사용하중을 받을 때의 사용성 그리고 환경조건을 고려한 내구성을 검토하여야 한다.

내구성 설계는 환경조건에 변화에 적절히 대응할 수 있도록 규정되었으며, 특히 해풍, 해수, 황산염 등에 노출되는 경우 보다 구체적인 대책이 될 수 있도록 규정하고 있다. 그리고 설계 착수 전에 발주자(혹은 건축주)와 설계자는 구조물의 소요공용기간과 환경조건, 구조거동, 중요도, 그리고 유지관리방법을 고려하여 내구성능을 설정한 후 이를 확보할 수 있는 적절한 설계기법을 검토함으로써 향후 구조물의 수명을 고려한 설계가 되도록 유의하여야 한다.

2.3.1 사용성 설계

(1) 처짐제한

교량구조물의 휨부재는 적절한 강성을 가짐으로써 사용하중과 충격으로 인해 발생한 처짐 또는 변형이 구조물의 강도나 실제사용에 해로운 영향을 주지 않도록 설계하여야 한다.

부등변위에 대한 검토를 할 때의 하중조합은 아래 <표 7>에 준용하여야 한다.

표 7. 하중조합

[KR C-08020 7항] 변형검토를 위한 하중조합	하중조합 I	D + L + [I] + CF + ■ 여기서, ■는 Q + WL 또는 E와 같음 []는 필요한 경우 고려하여야 하는 하중	
	하중조합 II	하중조합 I + LF + F + G	
[KR C-08020] 처짐	검토 항목	하 중 조 합	
	부등 변위	상 시	고정하중 + 열차하중 + 충격
		지진시	고정하중 + 지진의 영향

처짐 검토를 위한 하중조합 및 기준은 [KR C-08070 주행안전성 및 승차감 검토 기준]를 따르도록 한다.

표 8. 연직처짐 검토를 위한 하중조합

주행안전성	표준열차하중+충격계수(복선 이상 재하)
승차감	1. 표준열차하중+충격계수(단선재하) 2. 실 열차하중 속도별 동적해석(단선재하) 승차감에 대한 연직변위는 1과 2중 불리한 값을 적용한다.

주행안전성에 대한 연직처짐 검토는 충격계수가 고려된 표준열차하중이 가장 불리하게 재하된 상태(복선재하 포함)에서 다음 값으로 제한하여야 한다.

$$\frac{f}{L} \leq \frac{1}{600} \quad (11)$$

여기서, f : 교량 상판의 최대 처짐

L : 지간길이

상판의 최대 처짐검토를 위한 재하계도수는 <표 9>를 따른다.

표 9. 상판의 최대 처짐검토를 위한 하중재하 계도 수

계도 수		
1	2	3 이상
1	1 또는 2 (가장 불리한 경우를 재하)	1 또는 2 또는 3 이상 (가장 불리한 경우를 재하)



부재의 최소두께는 <표 10>에 따라야 한다. 다만, 처짐계산에 의하여 [KR C-08070 4. 주행안전성 및 승차감 검토 기준]을 만족하는 경우에는 <표 10>의 최소 두께를 적용할 필요가 없다.

표 10. 높이가 일정한 부재의 최소 두께

부재의 종류	최소 두께 (m)	
	단순경간	연속경간
주철근이 차량 진행방향에 평행한 교량 슬래브	$\frac{1.2(I+3)}{30}$	$\frac{(I+3)}{30}$
T형 거더	0.070 <i>I</i>	0.065 <i>I</i>
박스 거더	0.060 <i>I</i>	0.055 <i>I</i>

주) 가. 변단면 부재가 사용되는 경우, <표10>은 정모멘트 단면과 부모멘트 단면에서의 상대강성의 변화를 고려하기 위해 수정될 수 있다.

나. *I*는 지간의 길이를 나타낸다.(M)

(2) 균열제어

특별히 수밀성이 요구되거나 미관이 중요한 구조는 적절한 방법으로 균열에 대한 검토를 하여야 하고 [철·콘 부록V]의 방법을 따른다. 이 경우를 제외하고는 [KR C-08020 8. 허용응력설계법에 따른 하중조합]을 포함하여 제 규정을 만족하는 경우 균열에 대한 검토가 이루어진 것으로 간주 할 수 있다.

한편, 2007년 한국콘크리트학회에서는 [콘크리트구조설계기준(2003)]의 균열제어 규정이 과도하게 엄격하다는 지적과 철근의 부식을 방지하는데 콘크리트 표면에 발생하는 균열폭보다는 콘크리트의 품질, 적절한 다짐, 충분한 피복두께 등이 중요하다는 실험연구 결과를 반영하여 균열 제어 규정을 대폭 개정하였다. 참고로 2007년 개정된 [콘·설 4.2] 균열제어 규정에 대해서 기술하면 다음과 같다.

특별히 수밀성이 요구되거나 미관이 중요한 콘크리트 구조는 지속하중에 대하여 계산한 휨균열폭이 <표 11>에 나타난 허용균열폭 이하가 되도록 설계하되, 균열폭의 계산은 CEB-FIP Model Code 1990의 해석방법을 적용하도록 하였다 [콘·설 부록 V3.2 참조]

균열폭을 계산하는 하중이 종전 사용하중에서 지속하중으로 개정되었는데, 이는 사용하중에서 활하중이 제거되면 균열폭이 줄어들게 되며 내구성에 영향을 주는 균열은 지속하중에 의해서 발생하기 때문이다.

그 밖의 구조에 대해서는 다음과 같이 휨인장철근의 간격을 제한함으로써 균열을 제어하도록 하였다. 콘크리트 인장연단에 가장 가까이 배치되는 철근의 중심간격 *s*는 다음 식에 의해 계산된 값 중에서 작은 값 이하로 한다 [콘·설 6.3.3]

$$s = 375 \left(\frac{210}{f_s} \right) - 2.5c_c \quad (12 \text{ a})$$

$$s = 300 \left(\frac{210}{f_s} \right) \quad (13 \text{ b})$$

여기서, c_c : 인장철근의 표면과 콘크리트 표면 사이의 콘크리트 최소피복두께 (mm)
 f_s : 사용하중 상태에서 인장연단에서 가장 가까이에 위치한 철근의 응력 (MPa) 사용하중 휨모멘트에 대한 해석으로 결정하여야 하지만, 근사값으로 f_y 의 2/3를 사용할 수 있음.

표 11. 허용균열폭 (mm)

강재의 종류	강재의 부식에 대한 환경조건			
	건조 환경	습윤 환경	부식성 환경	고부식성 환경
철근	0.4mm와 0.006 c_c 중 큰 값	0.3mm와 0.005 c_c 중 큰 값	0.3mm와 0.004 c_c 중 큰 값	0.3mm와 0.0035 c_c 중 큰 값
PS 강재	0.2mm와 0.005 c_c 중 큰 값	0.2mm와 0.004 c_c 중 큰 값	-	-

(3) 피로검토

피로에 대한 안전성을 검토할 경우, 충격을 포함한 사용 활하중에 의한 철근의 응력 범위 및 프리스트레싱 긴장재의 인장응력 변동 범위가 <표 12>의 응력 이내에 들면 피로에 대하여 검토할 필요가 없다[콘·설]. 반복하중에 의한 철근의 응력이 <표 12>의 값을 초과하여 피로의 검토가 필요할 경우는 합리적 방법으로 피로에 대한 안전을 검토하여야 한다. 또한 사용하중 하에서 활하중 충격의 반복작용에 의하여 발생하는 피로현상을 감소하기 위한 제한으로 피로의 검토가 필요한 구조부재는 높은 응력을 받는 부분에서 철근을 구부리지 않도록 하여야 한다.

표 12. 피로를 고려하지 않아도 되는 철근과 프리스트레싱 긴장재의 응력 범위(MPa)

강재의 종류와 위치		철근의 인장 및 압축응력 범위 또는 프리스트레싱 긴장재의 인장응력 변동범위
이형철근	SD 300	130
	SD 350	140
	SD 400	150
프리스트레싱 긴장재	연결부 또는 정착부	140
	기타 부위	160

이 규정은 하중 중에서 변동하중이 차지하는 비율이 많거나 작용빈도가 많아서 피로에 대한 안전성 검토를 필요로 하는 경우를 위해 규정하고 있다. 보 및 슬래브의



피로에 대하여는 휨 및 전단에 대하여 검토하는 것이 일반적이며, 기둥의 피로에 대하여는 검토하지 않아도 좋지만 휨모멘트나 축방향 인장력의 영향이 큰 경우에는 보에 준하여 검토하도록 한다. 콘크리트 슬래브에 대한 피로검토는 활하중에 의한 콘크리트 슬래브 모멘트 변화가 큰 곳에서(주로 지간의 중앙점이 검토대상이 됨) 최대 모멘트와 최소모멘트에 의한 응력을 어느 한계 이내에 들도록 하여 검토하며 주로 주철근 방향이 차량진행방향에 평행한 슬래브에 대해 검토한다[철·설 제10장 콘크리트교]. 이것은 차량진행방향으로의 모멘트 변화가 크기 때문이며 강교편의 근사방법에 따라 설계되는 주철근의 방향이 차량 진행 방향에 직각인 콘크리트 바닥판에 대해서는 응력차이가 크지 않아서 피로응력의 한계를 고려할 필요가 없다.

2.3.2 내구성 설계

(1) 설계 일반

철근콘크리트 철도교량이 외부환경에 노출되면 동결융해, 건조습윤 등이 작용하는 기상작용을 비롯하여, 황산염 및 각종 산류 등의 화학물질에 의한 침식작용, 차륜이나 유수 및 유사등에 의한 마모작용, 중성화 및 염해에 의한 철근의 부식, 반응성골재 등의 영향, 기타 콘크리트의 사용상 발생하는 여러 조건 등에 의해 교량의 내구성에 영향을 미치고 있다. 이러한 영향으로 인해 콘크리트를 구성하는 복잡한 내부 미세구조의 건전성과 수밀성이 약화될 뿐만 아니라 조기에 구조물의 결함을 초래하게 되어 결국은 구조물의 수명을 단축시키게 된다. 이에 목표로 하는 내구수명을 결정하기 위해서는 그 기간에 따라 성능저하외력을 산정할 필요가 있는데 이러한 성능저하외력으로는 활하중, 지진의 영향, 풍하중, 설하중 등의 외력 외에 기온, 온도, 습도, 일사, 중성화, 동해, 염해, 황산염침해 등의 환경적인 외력이 있다. 또한 환경열화작용은 크게 물리적 작용과 화학적 작용으로 나눌 수 있는데 물리적 작용으로는 손상(마모, 균열), 동해 등을 들 수 있고, 화학적 작용으로는 콘크리트의 부식(산, 알칼리·골재반응 등) 및 철근의 부식(중성화, 염해 등)을 들 수 있다. 이외에도 일반성능저하와 특수성능저하로 분류할 수 있는데, 일반성능저하외력으로는 기온, 습도, 일사열, 중성화, 동해, 염해가 있으며, 특수성능저하외력으로는 침식, 고열, 극저온, 피로 등이 있다. 이들의 적용은 구조물의 용도, 입지조건 등의 환경으로부터 적절히 산정한다. <그림 9>는 콘크리트 구조물의 열화와 구조특성과의 관계를 나타낸다.

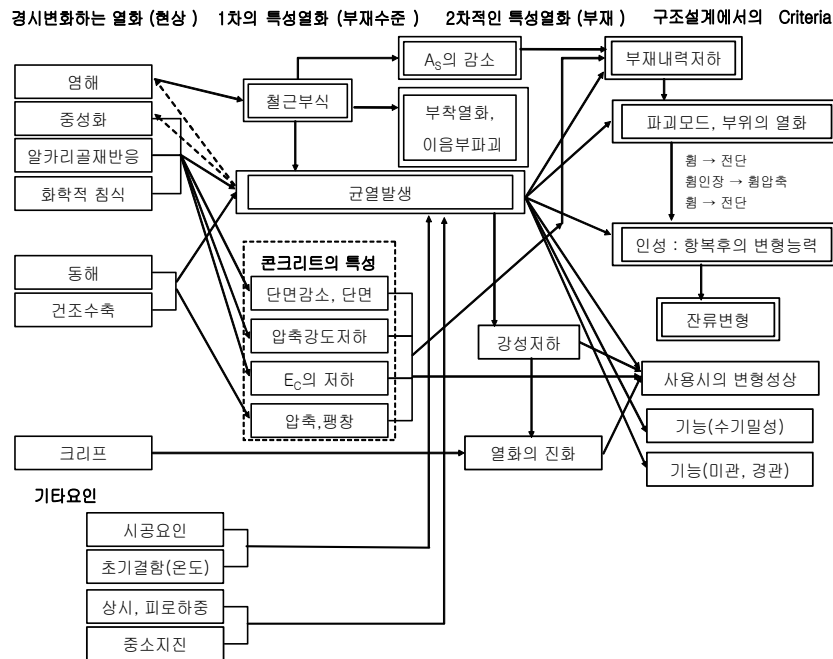


그림 9. 열화현상과 구조특성과의 관계

(2) 내구성 설계기준

철근콘크리트 철도교량에서의 내구성설계는 철도교량이 콘크리트 구조물로서의 내구성 확보뿐 아니라 내구적 콘크리트 재료 및 배합의 선정, 구체적인 콘크리트 교량 구조물의 목표내구수명의 설정 및 요구되는 내구성 설계기준의 준수까지를 포함한다. 내구성설계를 위해 일반적으로 설계 착수 전에 구조물 소유주와 설계자는 구조물의 소요공용기간 또는 요구내구수명과 환경조건을 결정해야 한다. 이 결정에서 구조의 환경조건, 구조거동, 중요도, 유지관리방법 등을 고려하여 선정해야 한다. 특히 배수시설, 줄눈, 신축이음장치, 받침부, 난간 및 방호 울타리, 부재연결부, 조명시설, 계측기 및 기타 부속물들은 구조의 수명보다 공용기간이 짧으므로 별도의 방법에 의하여 내구성이 검토되어야 한다.

설계자는 설계 초기에 목표내구수명을 확보할 수 있는 적절한 설계기법을 결정해야 한다. 일반적으로 철근 콘크리트 구조물의 목표 내구수명은 다음 <표 13>과 같으며 철근 콘크리트 철도교량은 특별히 높은 내구성이 요구되는 구조물이므로 100년의 목표내구수명 또는 예정공용기간을 확보하여야 한다. 설계 초기단계에서 구조적으로 환경에 민감한 구조배치를 피하고, 유지관리 및 점검을 위하여 접근이 용이한 구조 형상을 선정해야 한다.



표 13. 철근 콘크리트 구조물의 목표 내구수명

구조물 내구등급	구조물의 내용	목표 내구수명1)
1등급	특별히 높은 내구성이 요구되는 구조물	100년
2등급	일반 구조물	65년
3등급	비교적 짧은 내구수명을 갖는 구조물	30년

주1) 목표 내구수명은 대규모 보수를 필요로 하지 않고 철근부식이나 콘크리트에 중대한 성능저하가 생기지 않는 예정기간을 의미함

특히 콘크리트 구조물의 내구성측면에서는 외측 표면에 있는 콘크리트의 품질이 보장될 수 있도록 해야 한다. 즉, 다지기와 양생이 적절하여 밀도가 크고, 강도가 높고, 투수성이 낮은 콘크리트를 시공하고, 적절한 콘크리트의 피복두께가 확보되어야 한다. 열화 환경 하에 놓일 철근콘크리트 철도교량에 대한 적절한 피복두께의 확보는 <그림 10>과 같이 환경조건에 따른 사용 콘크리트 및 콘크리트 교량에 대한 내구성 조사 또는 내구성 평가를 내구성설계과정에 포함시킴으로써 확인할 수 있다. 내구성 평가의 구체적인 방법은 국토해양부 제정 「콘크리트 표준시방서 내구성편」을 참조할 수 있다.

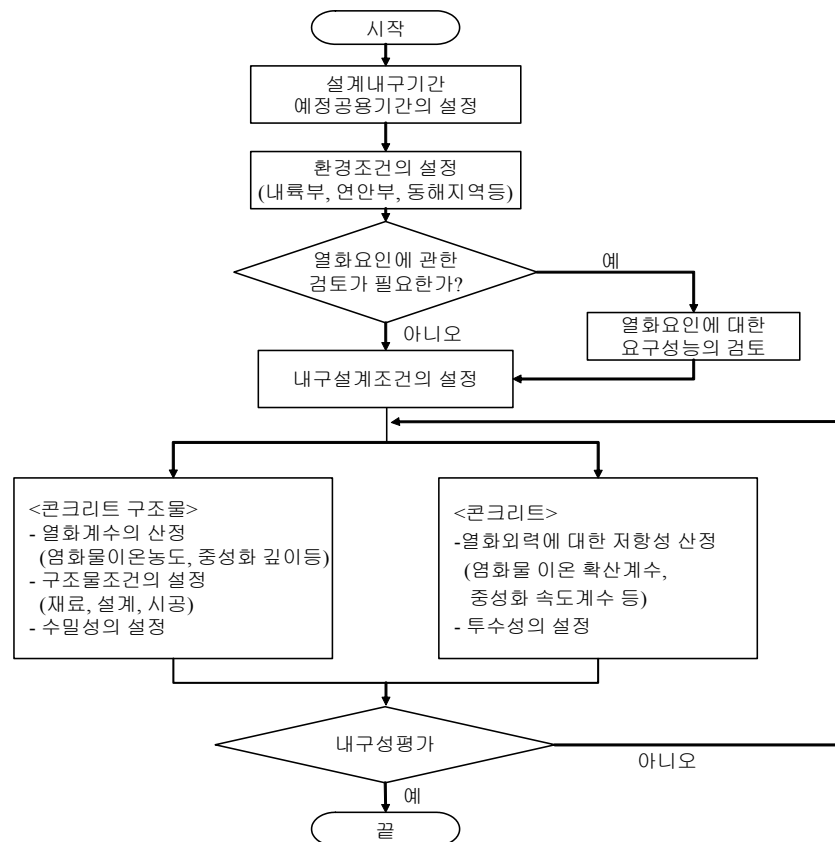


그림 10. 내구성 설계 흐름

설계자는 내구성에 관련된 콘크리트 재료, 피복두께, 프리스트레싱 긴장재, 처짐, 균열, 피로 및 기타 사항에 대한 제반 규정을 모두 검토하여야 한다. 구조의 모서리나 부재 연결부 등의 건전성 확보를 위해서는 철근콘크리트 및 프리스트레스트 콘크리트 구조요소의 구조 상세가 적절하여야 한다. 소요공용기간 동안 주어진 환경조건, 철근과 프리스트레싱 긴장재의 지름과 배치 조건하에서 공칭균열폭이 허용균열폭 내에 있도록 하여야 한다. 또한 해풍, 해수, 황산염 및 기타 유해물질에 노출된 콘크리트는 내구성 허용기준을 만족하는 콘크리트를 사용하여야 한다. 고부식성 환경 하에 있는 구조는 표면을 보호하여 내구성을 증진시켜야 한다.

(3) 내구성 허용기준

설계자는 콘크리트 구조물 부재가 건설되는 위치의 노출환경 정도를 고려해 설계해야 한다. 구조물 성능에 영향을 미치는 노출환경의 정도는 <표 14>를 참조한다.

표 14. 구조물의 노출 환경 구분

노출환경	정도	구분	설명	
F (동결융해 ¹⁾)	무시	F0	동결융해 사이클에 노출되어 있지 않음	
	보통	F1	동결융해 사이클에 노출되어 있고 때때로 수분에 접촉하고 있음 ²⁾	
	심함	F2	동결융해 사이클에 노출되어 있고 항상 수분에 접촉하고 있음 ²⁾	
	매우 심함	F3	동결융해 사이클에 노출되어 있고 항상 수분에 접촉하고 있으며, 동결방지제에 노출되어 있음	
C (강재 부식)	무시	C0	기건 상태에 있거나 수분으로부터 차단되어 있음	
	보통	C1	수분에 노출되어 있으나 염화물 ³⁾ 에 노출되어 있지 않음	
	심함	C2	수분에 노출되어 있고 염화물에 노출되어 있음 해수중부, 해안선으로부터 250미터 이내 지역	
	매우 심함	C3	수분에 노출되어 있고 염화물에 노출되어 있음 해상의 간만대, 비말대	
S (황산염)			토양 중의 수용성 황산염 (SO ₄)농도 (wt%)	수중에서의 황산염(SO ₄)농도 (ppm)
	무시	S0	SO ₄ < 0.10	SO ₄ < 150
	보통	S1	0.10 ≤ SO ₄ < 0.20	150 ≤ SO ₄ < 1500
	심함	S2	0.20 ≤ SO ₄ ≤ 2.00	1500 ≤ SO ₄ ≤ 10,000
	매우 심함	S3	SO ₄ > 2.00	SO ₄ > 10,000

주1) 우리나라는 겨울철 평균기온이 대부분 영하로 내려가므로, 동결융해 사이클에 노출되어 있다고 볼 수 있다.

주2) 교각 받침대, 교각, 옹벽, 터널 복공 등과 같이 수면 가까이에서 포화된 부분 및 이러한 구조물 외에도 수면에서 떨어져 있지만 용설, 유수, 물방울 등의 영향을 받는 부분 등이 포함된다.

주3) 바닷물, 염화물계 동결방지제 등



① 노출환경에 대한 콘크리트 요구사항

콘크리트 구조물이 내구성을 필요로 하는 위치에 놓일 경우, 다음의 노출환경에 따른 요구사항을 만족시켜 설계하여야 하고, 노출환경이 복합적일 경우, 안전적인 측면에서 보다 엄격한 기준을 만족시키도록 해야 한다.

표 15. 동결융해 환경에 노출된 콘크리트에 대한 요구사항

환경구분	최대 물-결합재비	최소설계 기준강도 (MPa)	공기량(%)			사용결합재																			
F0	-	18	-			-																			
F1	0.45	30	<table><tr><th>최대 골재 치수 (mm)</th><th>F1</th><th>F2,F3</th></tr><tr><td>10</td><td>6</td><td>7.5</td></tr><tr><td>15</td><td>5.5</td><td>7</td></tr><tr><td>20</td><td>5</td><td>6</td></tr><tr><td>25</td><td>4.5</td><td>6</td></tr><tr><td>40</td><td>4.5</td><td>5.5</td></tr></table>			최대 골재 치수 (mm)	F1	F2,F3	10	6	7.5	15	5.5	7	20	5	6	25	4.5	6	40	4.5	5.5	-	
최대 골재 치수 (mm)	F1	F2,F3																							
10	6	7.5																							
15	5.5	7																							
20	5	6																							
25	4.5	6																							
40	4.5	5.5																							
F2	0.45	30	-																						
F3	0.45	30	<table><tr><th>광물성 혼화재</th><th>최대 혼합량 (%)</th></tr><tr><td>플라이애시</td><td>25</td></tr><tr><td>고로슬래그</td><td>50</td></tr><tr><td>실리카폼</td><td>10</td></tr><tr><td>플라이애시+ 고로슬래그+ 실리카폼 사용시</td><td>50</td></tr><tr><td>플라이애시+ 실리카폼 사용시</td><td>35</td></tr></table>		광물성 혼화재	최대 혼합량 (%)	플라이애시	25	고로슬래그	50	실리카폼	10	플라이애시+ 고로슬래그+ 실리카폼 사용시	50	플라이애시+ 실리카폼 사용시	35									
			광물성 혼화재	최대 혼합량 (%)																					
			플라이애시	25																					
			고로슬래그	50																					
			실리카폼	10																					
			플라이애시+ 고로슬래그+ 실리카폼 사용시	50																					
플라이애시+ 실리카폼 사용시	35																								

표 16. 강재부식 환경에 노출된 콘크리트에 대한 요구사항

환경구분	최대 물-결합재비	최소 설계기준강도 (MPa)
C0	-	18
C1	-	18
C2	0.45	30
C3	0.40	35

표 17. 황산염 환경에 노출된 콘크리트에 대한 요구사항

환경구분	최대 물-결합재비	최소설계 기준강도 (MPa)	사용결합재
S0	-	18	
S1	0.50	27	보통포틀랜드시멘트(1종)+포졸란 ¹⁾ 플라이애시시멘트(KS L 5211) 중용열포틀랜드시멘트(2종) (KS L 5201) 고로슬래그시멘트(KS L 5210)
S2	0.45	30	내황산염포틀랜드시멘트(5종) (KS L 5201)
S3	0.45	30	내황산염포틀랜드시멘트(5종) (KS L 5201)±포졸란 ²⁾

주1) 1종 시멘트가 포함된 콘크리트에 사용될 때, 황산염에 대한 저항을 개선시킨 실적이 있거나 또는 실험에 의해 증명된 포졸란

주2) 5종 시멘트가 포함된 콘크리트에 사용될 때, 황산염에 대한 저항을 개선시킨 실적이 있거나 또는 실험에 의해 증명된 포졸란

3. 설계하중

교량을 설계할 때 고려해야할 하중은 교량을 구성하고 있는 각 부재에 응력이나 변형을 발생하게 하는 모든 외력과 내력으로, 시공 중에 작용하는 하중과 완성 후에 작용하는 모든 하중이다. 구조물 설계에 있어서 부재의 응력을 정확하게 계산해야 함은 물론이지만 이에 못지 않게 중요한 것은 정확한 하중의 산정이다. 구조물에 작용하는 하중은 일반적으로 관련 설계기준에 명시되어 있다. 그러나 이러한 설계기준은 설계를 위한 일반적인 지침만을 제공할 뿐이며 올바른 설계를 위한 하중의 산정은 설계자의 올바른 판단과 경험이 필요하다.

이러한 하중들 중에서 교량설계에 적용하는 하중은 교량의 형식이나 교량 가설지시물이 조건에 따라 하중의 종류 및 하중조합 조건이 적절히 결정되어야 하며, 하중의 특성·작용빈도·교량에 미치는 영향 등에 따라 영구하중·운행하중·기타하중·특수하중 등으로 분류한다.

구조물에 작용하는 하중은 고정하중(Dead Load)과 활하중(Live Load)으로 대별할 수 있다. 고정하중이란 구조물 자체의 중량을 말하며, 활하중이란 구조물이 완공된 후 그 위에 작용하는 하중이나 작용력을 말한다. 활하중은 차량과 같이 스스로 움직이는 이동하중(Moving Load)과 기구나 장비같이 위치를 이동시킬 수 있는 가동하중(Moveable Load)으로 나누어 생각할 수 있다. 뿐만 아니라 물체의 이동에 의한 충격하중(Impact Load), 구조물에 작용하는 풍하중(Wind Load), 설하중(Snow Load), 지진하중(Seismic Load)등도 활하중에 포함된다.



3.1 영구하중

3.1.1 고정하중

자중은 전체 구조물의 중량으로 다루어 진다. 여러가지 재료의 단위중량은 <표 18>의 값을 사용하는 것을 원칙으로 한다.

표 18. 재료단위중량

재 료	단위중량 (kN/m ³)	재 료	단위중량 (kN/m ³)
강, 주강, 단강	77	프리스트레스트 콘크리트	24.5
연 철	76.5	인공경량골재콘크리트	15~17
주 철	71	모르타르	21
목 재	8	방수용아스팔트	11
도상(자갈 또는 쇄석)	19	석 재	26
무근콘크리트	23	모래, 자갈, 부순돌, 흙	16~20
철근콘크리트	24.5	석탄, 탄가루	10

3.2 2차 고정하중

2차 고정하중은 궤도, 방수, 방음벽, 신호기 기둥, 전차선 지주 등을 포함하여야 한다. 제거 가능한 2차 고정하중은 자갈도상, 케이블 등이 있다. 자갈 및 콘크리트 도상 궤도의 2차 고정하중은 정량적으로 계산하여 적용하는 것을 원칙으로 하며, 단선 궤도에 대한 재료의 중량은 다음 값을 표준으로 할 수 있다.

(1) 레일(체결구 포함) 1.5kN/m

(2) 침목 : 일반철도용 4.1kN/m

고속철도용 5.0kN/m

(3) 자갈도상 19kN/m³

보조도상 16kN/m³

(4) 콘크리트궤도 도상 24.5kN/m³

콘크리트궤도 보조도상 24.5kN/m³

자갈도상의 중량은 보선작업과정을 고려하여 30%할증된 값을 사용하고 곡선부에서는 캔트부설에 따른 증가량을 추가하여 사용한다. 또 전선 및 신호케이블 등의 2차 고정하중은 1kN/m로 하고 트러프 하중은 별도로 계산한다.

3.2.1 수평 토압

(1) 수평 토압은 평상시와 지진시를 구분하여 계산한다.

(2) 수평 토압의 크기와 분포는 구조물 종류 및 흙의 종류에 따라 다른데, 산정하는 방법으로는 Coulomb 방법과 Rankine 방법이 있다. 실내외 실험 결과 Coulomb 토압공식이 비교적 실험결과와 가까운 값을 보이므로 Coulomb 토압공식을 사용하는 것을 원칙으로 한다.

(3) 그러나, 역T형 옹벽 또는 부벽식 옹벽과 같이 뒷굽판이 비교적 긴 경우에는 뒷굽판에서 연직으로 세운 가상면에 토압이 작용하는 것으로 간주하고, 이 면에 작용하는 토압은 Rankine 토압공식으로 구한다.

(4) 지진시의 수평 토압은 내진설계편람을 참고한다.

3.2.2 수압

(1) 수압은 정수압과 유수압으로 구분할 수 있으며 정수압은 수면에서의 깊이로 비례하여 작용한다.

(2) 유수압은 유수방향에 대한 교각의 연직투영면적에 작용하는 수평하중으로 하고 하저에서 0.6H의 높이에 작용하는 집중하중으로 고려한다.

(3) 세굴이 있는 경우에는 이를 고려하여 유수압을 구하여야 한다.

3.2.3 부력 또는 양압력

(1) 부력은 지반중 또는 지반과 구조물 사이에 간극수가 존재하는 구조물의 저면에 작용하는 상향의 정수압에 의해 생기는 힘이며 양압력은 구조물의 전후의 수위차 또는 파랑 등에 의한 구조물 위치에서의 일시적인 수위의 상승에 의해 생기는 상향의 힘을 말한다.

(2) 부력이나 양압력의 작용이 확실치 않더라도 설계에서는 안전측이 되도록 그 작용을 고려하는 것이 좋다.

(3) 부력 또는 양압력의 작용을 받는 구조물의 안정에 대한 안전율은 1.2 이상이 되어야 한다.

3.2.4 파압

(1) 연직벽에 작용하는 쇄파의 파력은 식(14)에 의해 산출한다. 파력은 정수면상 1.25 H_o 의 높이에서 해저까지 균일하게 분포한다.

$$p = 1.5wH_o \quad (14)$$

여기서, p : 쇄파의 압력(kN/m²)

w : 해수의 단위중량(kN/m³)

H_o : 외해파의 파고(m)이다.

이 식은 히로이 공식 (廣井公式)이다. 이 파력은 국부적인 파력을 표시한 것이 아니고, 주로 방파제가 전체적으로 받는 평균파력을 표시한 것이다. 이 점이 교각의 경우와는 조금 다르지만 실용적으로는 큰 차가 없다고 보아도 좋다.

또 이 식은 쇄파의 파력의 식이므로 수심이 파고의 2배 이하일 때에만 적용한다. 이 한계를 넘으면 작용하는 파(波)는 중복파(重複波)로서 작용한다. 이것에 대해서는 Sainflou의 식이 일반적으로 적용된다.

(2) 하천이나 호수 등에 설치된 교각에 대해서는 일반적으로 수심이 얇고 파압의 영향이



작아서 무시하여도 좋다. 근처를 통과하는 선박에 의한 파력을 받는 경우도 똑같다. 설하중적설이 많은 지역에 설치하는 구조물에는 필요에 따라 설하중을 고려해야 한다. 일반적인 경우 1kN/m^2 정도면 충분하며 상세한 산식은 $SW=P \cdot Z_s$ 에 의해구할 수 있다.

SW : 설하중(kN/m^2),
P : 눈의 평균단위중량(kN/m^3),
 Z_s : 설계적설깊이(m)

3.2.6 프리스트레스 힘

- (1) 구조물에 프리스트레스힘을 도입하는 경우에 설계에 이를 고려하여야한다.
- (2) 설계시에 고려해야할 프리스트레스힘은 프리스트레싱 직후의 프리스트레스힘과 그 후 콘크리트의 크리프, 건조수축 및 PS강재의 릴랙сей션 등이 끝났을 때의 유효프리스트레스힘이다. 필요에 따라서는 프리스트레싱 직후의 프리스트레스힘과 유효프리스트레스힘中间的 프리스트레스힘에 대하여서도 고려하여야 한다.

3.2.7 콘크리트의 크리프의 영향

콘크리트부재 외에 강합성거더교와 같이 강재 주거더와 콘크리트 바닥판이 합성된 경우에 대해서는 콘크리트의 크리프와 건조수축의 영향을 고려하여야 한다.

- (1) 콘크리트 크리프는 콘크리트 구조설계기준을 따른다.
- (2) 크리프에 대한 실험은 KS F 2453 (콘크리트의 압축 크리프 시험방법)에 따라야 한다.
- (3) 프리캐스트 콘크리트에서는 최종 크리프 변형과 즉시변형 사이의 최종 크리프 계수는 2로 가정할 수 있다.
- (4) 현장타설 공법을 적용한 교량 또는 타설한 직후 중량의 하중재하조건이 부여되는 시공 방법을 적용한 경우는 최종 크리프 계수는 3으로 가정될 수 있다. 예를 들면 FCM(Free Cantiever Method)공법이 적용되는 경우 이 계수를 3으로 적용할 수 있다.
- (5) 크리프 값은 노출되는 교량 상부구조와 같은 조건의 경우 30% 증가된 값을 적용하여야 한다.

3.2.8 콘크리트의 건조수축의 영향

- (1) 프리스트레스 손실량 산정시 콘크리트의 건조수축 변형률은 <표19>의 값을 표준으로 한다. 콘크리트의 건조수축 변형률의 크기는 <표 19>의 값보다 실제 더 큰 값을 나타내지만 이 표의 값은 콘크리트 내에 배치되어 있는 축방향 강재량에 의한 영향을 어느 정도 고려하여 정한 것이다.

표 19. 콘크리트의 건조수축 변형률 (10^{-6})

프리스트레스를 도입할 때 콘크리트의 재령(일)	4-5	28	90	365
건조수축 변형률	270	200	140	70

옥외의 경우라는 것은 부재가 외기에 접촉하는 상태이고, 옥내의 경우라는 것은 외기와 차단되는 상태를 의미한다. <표 19>는 상대습도 70-75%, 증기양생, 등가 부재 두께 130mm 등의 표준조건에 해당하는 옥외의 경우에 대해 나타낸 값이다.

- (2) 콘크리트의 건조수축에 의한 부정정력을 계산할 때 콘크리트의 건조수축 변형률은 150×10^{-6} 으로 한다. 다만, 축방향 강재량이 부재의 콘크리트 단면적의 0.5% 미만인 경우에는 200×10^{-6} 으로 한다. 이때 구조물에 배치되어 있는 강재량, 콘크리트의 크리프 등을 고려하여 콘크리트의 건조수축 변형률을 적용하는 것이 바람직하므로 콘크리트 그 자체의 건조수축 변형률보다 작은 값을 사용한다.
- (3) 경량 콘크리트의 건조수축 변형률은 콘크리트에 배합된 경량골재의 건조수축 변형률을 고려하여 정하여야 한다.
- (4) 건조수축 변형률은 다음에 준용하는 것으로 가정할 수 있다.

- | | |
|--------------|---------------------|
| ① 철근콘크리트 구조물 | 15×10^{-5} |
| ② 라멘구조물 | 15×10^{-5} |
| ③ 아치구조물 | 20×10^{-5} |

3.2.9 지반변동 및 지점이동의 영향

- (1) 지반변동의 주원인은 주로 기초주변지반의 압밀침하, 배면성토에 의한 연약지반의 측방 유동, 하천의 흐름, 파랑에 의한 세굴, 하상저하 등이다. 이들이 구조물의 완성 후 예측되는 경우에는 설계에 이것을 고려할 필요가 있다.
- (2) 연속거더 라멘구조, 교각과 같은 부정정 구조물에서는 지반의 부등침하 등으로 인하여 생기는 기초구조물의 침하, 수평이동, 회전 등에 의하여 부재응력이 증가되는 곳이 생기므로 이들 영향을 고려해야할 경우에는 최종이동량을 추정하여 단면력을 산정하여야 한다.
- (3) 콘크리트교에서는 콘크리트의 크리프 영향에 의하여 그 응력은 상당히 작게 되어 크리프계수 $\phi = 2.0$ 의 경우 탄성계산에 의한 값의 50 % 정도로 된다. 따라서 크리프의 영향을 고려하지 않고 계산하는 경우에는 계산값의 50 %를 설계 단면력으로 보면 된다. 그러나 처음부터 크리프의 영향을 고려하여 엄밀하게 계산할 경우에는 그렇지 않다.
- (4) 강교에서는 콘크리트교와 같은 크리프 현상은 없으므로 탄성계산으로 구한 단면력을 그대로 설계단면력으로 하여야 한다.

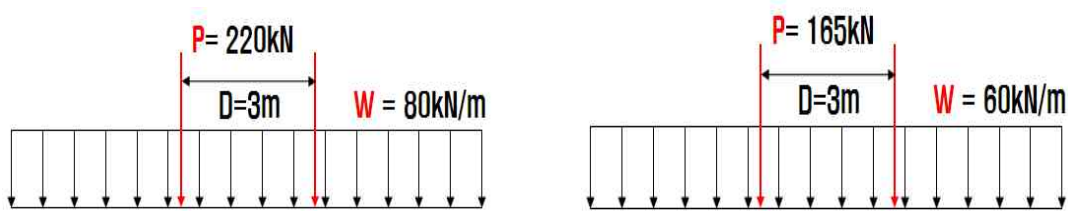


3.3 운행하중

3.3.1 표준열차하중

(1) KRL2012 표준열차하중 재하도

- ① 여객, 화물 혼용 구간의 철도 구조물은 다음 KRL-2012 표준열차하중 재하도에 나타난 하중을 견디도록 설계되어야 한다. 단, 고속열차만 운행하는 여객전용선의 경우에는 KRL-2012 표준열차하중의 75%를 적용한 KRL-2012 여객전용 표준열차하중 재하도에 나타난 하중을 견디도록 설계한다.



(a) KRL-2012 표준열차하중도(여객, 화물 혼용선) (b) KRL-2012 여객전용 표준열차하중도

그림 11. 표준열차하중도

- ② 고속철도열차재하로 인한 동적인 해석은 실제적인 고속철도 열차의 하중이 사용되어야 하며, 모든 하중은 구조물의 가장 불리한 위치에 대해서 검토되어야 한다.
- ③ 하나 혹은 두개의 궤도를 가지는 구조물은 각각의 궤도에 KRL2012하중이 적용되어지며 두개이상의 궤도를 가지는 구조물은 다음 두 경우 중 불리한 조건을 적용하여 검토하여야 한다.

가. 두개의 궤도에는 KRL2012하중을 전부 재하하고 세 번째 궤도에는 KRL2012하중 50%, 나머지 궤도에는 비 재하

나. 모든 궤도에 KRL2012하중의 75%를 재하

(2) KRL2012 표준열차하중 편심

수직하중의 편심은 고려되어야 한다.

(3) 구조물에 대한 KRL2012 표준열차하중의 전달

도상구조물이나 비 도상구조물 모두 침목과 레일로 인한 KRL2012 표준열차하중의 분산이 고려되어야 한다.

(4) 피로의 영향을 검토할 때의 KRL2012 표준열차하중

피로의 영향을 검토할 때는 단선을 지지하는 부재는 단선재하의 응력으로, 복선의 경우에도 단선재하의 상태에서 검토한다. 다만 동시재하 가능성이 높은 경우에는 동시재하 확률을 고려하여 검토한다.

(5) 바람의 영향을 검토할 때의 KRL2012 표준열차하중

바람에 의한 교량의 전도에 대한 검토에서 공차하중을 사용할 때는 1궤도당 16kN/m의 등분포 하중으로 하고 충격은 가산하지 않는다.

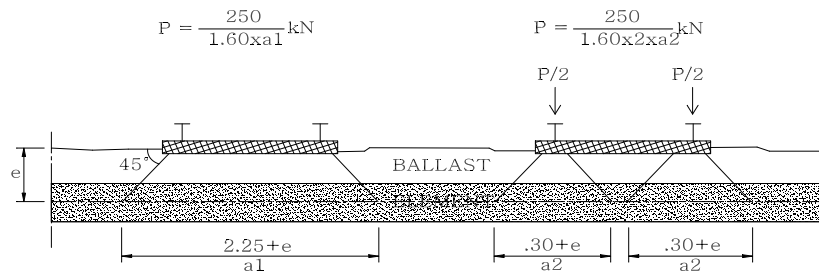


그림 12. 횡방향 하중분포도

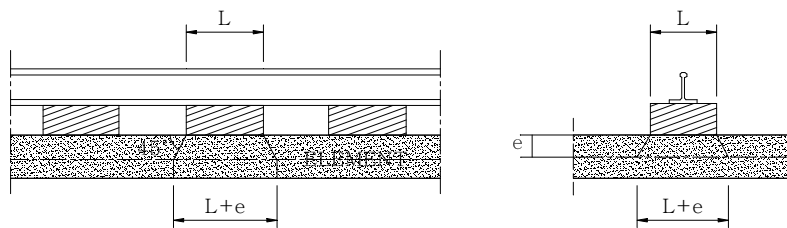


그림 13. 콘크리트 도상 경우의 하중 분포도

3.3.2 EL 표준열차하중 재하도

- (1) 전동차 전용선인 경우에는 EL-18 표준열차하중을 적용한다. 그러나 특정차량만을 운전하는 선로에서는 그 차량의 중량 및 통과빈도 등을 고려하여 표준열차하중을 정할 수 있다.

축하중												
EL-18	180	180	180		180	180	180	180		180	180	180
EL-22	220	220	220		220	220	220	220		220	220	220

그림 14. EL 표준 열차하중 (단위 : kN, m)

(2) 하중의 재하방법

복선의 표준열차하중은 복선을 같은 방향으로 재하하고, 3선의 경우 복선하중과 나머지 1선은 1/2하중을 재하한다. 4선의 경우에는 복선하중과 1선은 1/2하중으로 나머지 1선은 1/4하중을 재하한다.

(3) 피로의 영향을 검토할 때의 활하중

피로의 영향을 고려할 때는 단선을 지지하는 부재는 단선재하의 응력으로, 복선의 경우에도 단선재하의 상태에서 검토한다. 다만 동시재하 가능성이 높은 경우에는 동시재하 확률을 고려하여 검토한다.



(4) 바람의 영향을 검토할 때의 활하중

바람에 의한 교량의 전도에 대한 검토에서 공차하중을 사용할 때는 1궤도당 16kN/m의 등분포 하중으로 하고 충격은 가산하지 않는다.

3.3.3 표준열차하중에 대한 동적 효과(충격계수)

(1) 충격계수

- ① 표준열차하중은 충격계수에 의한 하중이 곱해지는 동적 충격효과를 포함하여야 한다.
- ② 충격계수는 구조물의 진동효과와 응력의 동적확대로 산정되어진다. 그러나 공명효과와 상부구조에서 초과 진동은 이 값에서 고려되지 않으며 그 효과는 별도 해석으로 검토되어야 한다.
- ③ 충격계수는 철근콘크리트, 프리스트레스 콘크리트와 강구조 또는 합성구조물에서 동일한 값을 갖는다.
- ④ 충격계수의 값은 구조물의 길이 특성치 $L_c(m)$ 에 의존하여야 한다. $L_c(m)$ 의 크기는 다음 <표 20>을 따른다.
- ⑤ 선로의 유지상태가 매우 불량한 경우를 제외하고는 다음 식으로 충격계수를 계산하여 적용한다.

$$I_m = \frac{1.44}{\sqrt{L_c} - 0.2} - 0.18 \quad (15)$$

여기서, $0 < I_m \leq 0.67$

표 20. 충격계수 산정을 위한 구조물 길이 특성치 L_c

번호	교량 부재, 교량 유형		L_c					
바닥 부재								
1	레일베어러(Rail Bearer)		가로거더 간격 + 3.0 m					
2	단순 지지된 레일베어러에 의해 재하된 가로거더		가로거더 간격의 2배 + 3.0 m					
3	연속 상판 부재(deck elements)에 의해 재하된 가로거더		주거더의 지간 또는 가로거더 지간의 2배 중 작은 값					
4	단부 가로거더		4.0 m					
5	상판 슬라브(deck slabs)		각각의 주 지간 방향에 대하여 번호 1-4에 해당하는 값					
6	캔틸레버로 된 가로거더		가로거더에 해당하는 값 (번호 2-4)					
7	캔틸레버로 된 레일베어러		0.50m					
8	오직 가로거더에 의해서만 재하된 서스펜션 바(Suspension Bars) 또는 지지(Supports)		가로거더에 해당하는 값 (번호 2-4)					
9	박스거더 돌출(Box Girder Overhang)		2 × 돌출 폭					
10	박스거더 슬라브		복부(webs) 사이 거리					
주거더								
11	거더	2개 지지점 위에서	주거더의 지간					
12		n개 지간에 걸쳐서 연속		2	3	4	5	지간
		$L_m = \frac{1}{n}(L_1 + L_2 \dots + L_n)$	L_c	1.2	1.3	1.4	1.5	$\times L_m$ (최소 L_{max})
13	캔틸레버/ 현수(suspended) 지간 교량	캔틸레버 거더	거더의 지간					
14		현수(suspended) 거더	현수(suspended) 거더의 지간					
15	아 치		지간 절반					
16	주거더 위에 침목을 바로 놓는 경우, 보와 이음매에 대하여		주거더의 L_c					
17	교량 부재의 L_c 는 강기둥, 지지 뼈대(support frame), 가로보, 연결 조인트, 베어링, 앵커, 주춧돌(bed stone) 등과 같은 부재들과 주춧돌과 벽돌 사이 및 베어링 아래의 압력의 지지에 적용된다.							
18	부재에서의 총응력이 몇몇 항들의 합인 경우, 각 상응하는 지지 함수, 즉, 상판 슬라브 또는 레일베어러 경우의 방정식은 만약, 그 단면이 주거더의 계산에 고려된다면, 총 응력의 각 항은 상응하는 특성치 지간 L_c 를 사용하여(4, 14번은 제외), 문제에 있어서의 운반 함수(carring function)에 대한 동적 인자를 고려하여 계산되어야 한다.							

⑥ 충격계수가 적용된 하중은 다음과 같은 부분의 설계에 적용하여야 한다.

- 가. 상부구조, 강재 또는 콘크리트로 지지하는 기둥, 라멘구조의 기둥, 그리고 일반적으로 일부 주 기초에 까지 이르는 구조부분도 확장 적용하여야 할 필요가 있다.
- 나. 콘크리트 또는 강파일의 지반선위의 부분으로서 상부구조와 직접 연결된 강결형식이나 연속형식의 구조

⑦ 충격하중은 다음의 구조물에는 적용하지 않는다.



- 가. 교대, 옹벽, 벽식 기초, 그리고 말뚝기초나 가구
- 나. 기초와 지반, 터널안의 기초 바닥 슬래브
- 다. 보도부

(2) 실제 열차 하중 하에서의 동적 해석

- ① 차량속도 s 가 200km/h 보다 클 경우, 실제 열차재하 하중에 의한 특별한 동적해석이 필수적으로 수행되어야한다.
- ② 실제 동적 증폭계수는 다음과 같다.

$$I_r = \max \left[\frac{z_{dyn}}{z_{stat}} \right] \quad \text{for} \quad 0 < s \leq s_{\max} \quad (16)$$

여기서, z_{dyn} : 실 열차를 동적 재하 해석하였을 때의 최대 처짐량

z_{stat} : 실 열차하중을 정적하중으로 재하 해석하였을 때의 최대 처짐량

- ③ 윗 식에 의해 실 열차하중으로 계산된 구조물의 응력이나 변형량이 「 KR C-08020 4.4 (1)항」의 방법으로 계산된 충격계수를 사용하여 HL하중에 의해 계산된 값들보다 크게 되는 경우에는 구조물의 응력이나 변형치를 윗 식으로 계산한 실제 차량 하중에 의한 값으로 적용하여야 한다.
- ④ 활모양으로 볼록한 단면의 상판 내민 슬래브에서는 고정하중에서 20%의 동적충격을 적용하여 계산하여야 한다.

(3) 라멘교 및 아치교 등에서 구조물의 상면에 흙이 1m 이상 덮여져 있는 경우의 값은 <식 (17)>에 따라 저감하여 적용한다.

$$i = i_0 - 0.1 (H_c - 1.0) \geq 0 \quad (17)$$

여기서, i : 구조물의 충격계수

i_0 : 구조물에 복토가 없다고 보았을 때의 충격계수

H_c : 구조물 상면에서 침목상단까지의 복토 높이(m)

- (4) 하부구조의 설계에 사용하는 상부구조 반력에는 표준열차하중에 의한 충격을 고려하지 않아도 된다. 그러나 반침부나 콘크리트 및 강재로 된 기둥형의 교각 또는 이와 유사한 경량의 구체로 된 하부구조의 구체부분에는 충격을 고려해야 한다.

3.3.4 차량 횡하중

(1) KRL2012 표준열차하중의 차량 횡하중

- ① 차량횡하중은 궤도중심선과 직각을 이룬 레일의 윗면에 수평하게 집중하중으로 작용하는 것으로 하며, 직선과 곡선 궤도 모두 적용한다.
- ② KRL-2012 표준열차하중에 대한 차량횡하중의 크기는 $Q=100\text{kN}$ 으로 정하며, 충격계수 및 원심력 감소계수와 곱해서 적용하지 않는다. 복선 이상의 선로를 지지하는 구조물인 경우, 차량횡하중은 1궤도에 대한 것만을 고려하는 것으로 한다.
- ③ 차량 횡하중은 레일 체결구와 직접적으로 접촉하는 구조 부재(자갈도상이 없는 궤도가 사용되어질 때)에 고려하며, 자갈도상을 가지는 교량상부의 설계에는 고려하지

않는다. 그러나 슬래브 궤도구조(콘크리트도상)인 경우에는 고려되어야 한다.

(2) EL 표준열차하중의 차량 횡하중

- ① EL 표준열차하중에 대한 횡하중은 <그림 15>와 같이 연행집중이동하중으로 하고, 레일면의 높이에서 교축에 직각이고 수평으로 작용하는 것으로 한다. 그 크기 Q 는 EL하중 축중의 20%로 값으로 한다.
- ② 복선이상의 선로를 지지하는 구조물인 경우, 차량횡하중은 1궤도에 대한 것만을 고려하는 것으로 한다.
- ③ 차량 횡하중은 레일 체결구와 직접적으로 접촉하는 구조 부재(자갈도상이 없는 궤도가 사용되어질 때)에 고려하며, 자갈도상을 가지는 교량상부의 설계에는 고려하지 않는다. 그러나 슬래브 궤도구조(콘크리트도상)인 경우에는 고려되어야 한다.

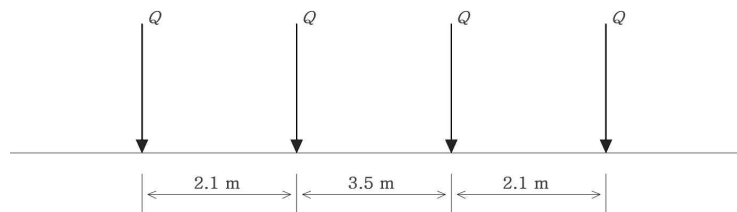


그림 15. EL표준열차하중의 차량횡하중

3.3.5 캔트(cant) 효과

- (1) 곡선궤도를 가지는 구조물에서는 캔트(cant) 효과를 고려하여야 한다. 이 효과는 횡방향으로 열차의 중심을 이동시키는 것으로 고려하여야 한다.
- (2) 캔트(cant) 효과를 적용하는 데에 있어 다음의 두 가지 경우가 고려되어야한다.
 - ① 정지상태열차
 - ② 운행중인열차 ; 이 경우는 원심하중이 고려되어야 한다.

3.3.6 원심하중

- (1) 교량상의 궤도가 일부 또는 전구간에 걸쳐 곡선부를 갖는 경우 원심하중을 고려한다.
- (2) 원심하중은 표준열차하중에 <식 (18)>에서 계산되는 계수 α 를 곱한 값을 수평하중으로 계산해야 한다.

$$\alpha = \frac{V^2 f}{127 R} \quad (18)$$

여기서, V : 설계속도

f : 곡선 궤도에서의 L 과 V 에 따라 고려되는 감소계수(<식 (19)>)

R : 곡률반경(m)

L : 지간(m)

- (3) <표 21>은 감소계수(f)를 계산한 결과를 표로 나타낸 값이다.



$$f = 1 - \left(\frac{V-120}{1000} \right) \times \left(\frac{814}{V} + 1.75 \right) \times \left(1 - \sqrt{\frac{2.88}{L}} \right) \quad (19)$$

- (4) 원심하중은 레일상면에서 KRL2012하중은 1.8m , EL하중은 1.5m 높이에 수평방향으로 곡선 바깥쪽으로 작용하도록 하여야 한다.
- (5) 원심하중에는 충격계수를 곱하지 않는다.
- (6) 자갈도상이 없는 직결식 궤도 등에 있어서와 같은 레일 체결구와 직접적으로 접하는 구조부재에서는 원심하중과 차량횡하중 100kN이 동시에 작용한다고 본다.
- (7) 원심하중과 횡하중이 동시에 작용하는 경우 큰 쪽의 하중이 작용하는 것으로 가정한다.
- (8) 원심하중으로 인해 발생된 하중은 연직하중과 하중조합을 한다. 이때 최고 속도가 120 km/h 이상인 경우는 다음과 같은 2가지를 고려하여야 한다.
- ① 총 연직하중 + 원심하중(V=120km/h)
- ② 감소 연직하중(f 와 동일비례 감소)+원심하중(V=설계속도)

표 21. 설계속도에 따른 원심력 감소계수

$L(m)$	설계속도				
	≤ 120	160	200	250	≥ 300
≤ 2.88	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3.0	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98
4.0	1.00	0.96	0.93	0.90	0.88
5.0	1.00	0.93	0.89	0.84	0.81
6.0	1.00	0.92	0.86	0.80	0.75
7.0	1.00	0.90	0.83	0.77	0.71
8.0	1.00	0.89	0.81	0.74	0.68
9.0	1.00	0.88	0.80	0.72	0.65
10	1.00	0.87	0.78	0.70	0.63
12	1.00	0.86	0.76	0.67	0.59
15	1.00	0.85	0.74	0.63	0.55
20	1.00	0.83	0.71	0.60	0.50
30	1.00	0.81	0.68	0.55	0.45
40	1.00	0.80	0.66	0.52	0.41
50	1.00	0.79	0.65	0.50	0.39
60	1.00	0.79	0.64	0.49	0.37
70	1.00	0.78	0.63	0.48	0.36
80	1.00	0.78	0.62	0.47	0.35
90	1.00	0.78	0.62	0.47	0.34
100	1.00	0.77	0.61	0.46	0.33
≥ 150	1.00	0.76	0.60	0.44	0.31

3.3.7 시동하중 및 제동하중

(1) 작용

- ① 시동 및 제동하중은 레일의 윗면에 레일방향인 교량 종방향 하중으로 작용하여야 한다. KRL-2012하중은 1.8m, EL하중은 1.5m 높이에서 교축방향으로 수평으로 작

용하는 것으로 하고 구조물에 고려되어진 하중의 작용 영향길이 L_f 위에 일정하게 분포되어야 한다. 복선이상의 경우에는 복선재하 상태에서 검토하며, 시동+제동“의 경우로 적용한다. 여기에서 충격은 모두 고려하지 않는다.

② 시동, 제동하중의 값은 연속궤도(장대레일)에 대하여 다음의 값을 취하여야 한다.

가. KRL-2012 표준열차하중에 대하여 (여객전용선의 경우 0.75KRL-2012)

- 시동하중 : $Q_{lak} = 33 \text{ kN/m} \times L(\text{m}) \leq 1000 \text{ kN}$

- 제동하중 : $Q_{lbk} = 20 \text{ kN/m} \times L(\text{m}) \leq 6000 \text{ kN}$

나. EL하중에 대하여

- 시동하중 : $(0.27 + 0.95 \times L/L_v) \times T$

- 제동하중 : $(0.27 + 1.00 \times L/L_v) \times T$

여기서, L_v 는 차량장(1차량길이), L 은 부재에 최대영향을 주는 하중재하 길이, T 는 EL하중의 축중을 나타낸다.

③ 위의 공식에서 $L(\text{m})$ 은 하중의 재하된 길이이며 다음과 같다.

가. 상부구조, 받침 : 상부구조물의 길이

나. 교각, 교대 : 상부구조의 길이로서 이들 교각 교대 부분이 상부와 고정단으로 연결된 부분에 해당하는 부분으로서 그 상부구조의 수평 하중이 전달되는 길이

④ 시동 및 제동하중은 최대값 제한치 이내에서 해당 하중의 전체길이 L 에 적용되어 진다. (시동하중에 대해서는 시동 축하중이 재하된 길이만큼, 제동하중은 전 열차 길이만큼 적용)

⑤ 시동 및 제동하중은 표준열차하중과 조합하여 검토되어야 한다.

(2) 교량에 의한 시동/제동하중의 저항

① 궤도가 교량 구조의 양쪽 또는 한쪽 끝에서 끊어지지 않고 연속으로 이어지는 장대레일이 적용되어 있을 때, 시동하중 또는 제동하중의 그 중 일부는 궤도를 통해 연속된 부분으로 전달되어지고 그 나머지가 상부구조를 통해 받침에 전달되어진다. 궤도를 통해 전달되어지는 그 일부 하중은 교대 뒤에서 저항되는 힘으로 고려하여야 한다.

② 상부구조를 통해 받침에 전달되어지는 하중의 비는 다음 <표 22>에 주어진다.



표 22. 상부구조를 통해 받침에 전달되어지는 하중의 비

단위 교량의 연장	연속 장대레일	한쪽 끝이 REJ가 있는 장대레일
	단선 또는 복선의 경우	단선 또는 복선의 경우
30	0.50	/
60	0.50	0.60
90	0.60	0.65
120	0.70	0.70
150	0.75	0.75
180	/	0.80
210	/	0.85
≥240	/	0.90

주) 여기서 단위교량이란 독립적인 한 개의 교량상부구조 또는 연속된 다수의 독립적인 교량상부구조 형식에서 그것을 구성하는 각각의 독립적인 교량 상부구조를 말한다.

3.4 기타하중

3.4.1 풍하중

(1) 풍하중은 교량에 대하여 1방향으로 수평 및 직각으로 작용하는 것을 원칙으로 하고, 그 크기는 다음 각 항에 의한다.

① 교량상에 열차가 없을 때

가. 교량의 연직투사면 : 3.0kN/m^2

나. 트러스의 바닥틀과 겹쳐지지 않는 바람맞이 반대편 주트러스의 연직투사면 : 2.0kN/m^2

② 교량상에 열차가 있을 때

가. 교량의 연직투사면 : 1.5kN/m^2

나. 트러스의 바닥틀과 겹쳐지지 않는 바람맞이 반대편 주트러스의 연직투사면 : 1.0kN/m^2

다. 통과열차에 대하여 연직투사면 : 1.5kN/m^2

다만, 열차의 연직투사면은 레일상면으로부터 4.0m 높이의 폭으로 하고, 열차와 겹쳐지는 보의 바람맞이 쪽과 바람맞이 반대쪽의 부재에 대하여는 풍하중을 고려하지 않는다.

(2) 지간 80m까지의 하로트러스에 대하여는 전항의 규정에 관계없이 바람맞이 쪽과 바람맞이 반대쪽을 합계하여 <표 23>의 값을 표준으로 한다.

표 23. 시간 80m까지의 하로트러스의 풍하중 크기(단위 : kN/m)

구 분	상 현 재	하 현 재
교량상에 열차가 없는 경우	5.0	6.0
교량상에 열차가 있는 경우	3.0	8.0 *

주) * : 열차에 대한 풍하중을 포함한 값이다.

- (3) 대상지역의 풍속기록과 구조물 주변의 지형 및 환경 등에 대한 특별한 조사연구에 따라 설계풍속을 결정하였을 때에는 「해설2의 3.4.1 풍하중」에 제시된 풍하중 값을 결정된 설계풍속의 제곱과 기본설계풍속의 제곱의 비율에 따라 증가시킬 수 있는데, 이 경우 풍하중의 산정근거를 명시하여야 한다. 다만, 「해설2의 3.4.1 풍하중」의 값은 최소값이다.
- (4) 원형 또는 이에 준하는 단면을 갖는 부재에 고려하는 풍하중은 해설2의 3.4.1 풍하중」에 규정한 수치의 0.6배로 한다.

3.4.2 온도

- (1) 설계시 단면에서의 온도변화의 범위

콘크리트교의 온도변화 범위는 지역별 평균기온을 고려하여 정하여야 한다. 보통의 경우 온도의 증강은 각각 15℃로 하면 된다. 단면의 최소 치수가 700mm 이상인 경우에는 위 표준을 10℃로 하면 된다.

- ① 바닥판과 기타 부분의 온도차에 의해 생기는 단면력을 산출하는 경우의 온도차는 5℃를 표준으로 하고 온도분포는 바닥판과 기타부분에 있어서 균일하다고 본다. 실측에 의하면 바닥판의 상면과 하면에서는 5~15℃의 온도차가 <그림 16> (a)에 보인 바와 같이 발생하고, 복부부의 온도분포는 거의 일정하다. 따라서 계산의 편의상 온도분포를 <그림 16> (b)에 보인대로 온도차를 5℃라고 가정한다. 이 값은 실측된 온도분포에서 산출된 응력과 큰 차이가 없는 응력이 발생하도록 환산한 것이다.

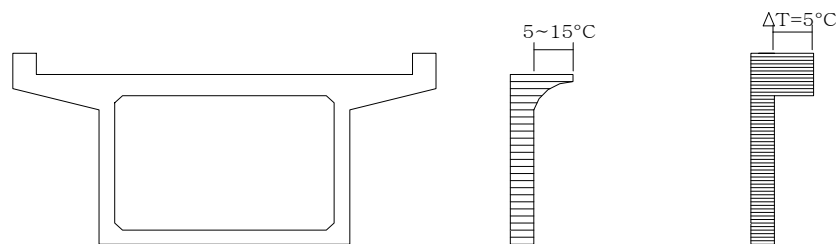


그림 16. 바닥판과 보의 온도차

- ② 부재 해석을 위한 수직방향의 거더의 온도변화에 대한 검토에는 거더의 가장 윗쪽과 가장 아래쪽면 사이의 온도 변화를 적용하며 다음의 값을 적용 할 수 있다.



가. 무도상 교량 : 10℃

나. 운행면을 보호하는 도상을 가지는 교량 : 5℃

- ③ 교량이 영구적으로 직사광선을 차단하는 구조물로 건설되어져 있을 경우에는 온도 변화율이 무시될 수 있다. 온도변화율은 상부구조의 상하면을 통해 선형으로 가정하여야 한다.

(2) 설계시 선팅창계수

- ① 강교에서 강재의 선팅창계수는 12×10^{-6} 으로 하여야 한다.
 ② 콘크리트교에서 철근 및 콘크리트의 선팅창계수는 10×10^{-6} 으로 하여야 한다.
 ③ 강재와 콘크리트의 합성거더교에서 강재 및 콘크리트의 선팅창계수는 12×10^{-6} 으로 하여야 한다.

가. 수중 또는 토중에 있는 구조물에 대해서는 온도변화의 영향을 고려하지 않는다.

나. 신축이음과 받침의 이동 크기를 정할 때, 반드시 현장에서 이들 장치의 설치시 실제 온도가 고려되어 재산정 되어야 한다.

3.4.3 장대레일 종하중

- (1) 교량상의 궤도에 장대레일을 적용하는 경우 궤도에 있어서 궤도와 슬래브 각각에서의 신축이음 적용여부에 따라 종방향 응력 결과가 다르다.
 (2) 이러한 응력은 궤도에서부터 슬래브 위쪽 면으로 마찰 등에 의해 전달되거나 상호 작용하게 된다.
 (3) 다음 공식은 한쪽 끝단에 고정받침을 가지는 자갈도상이 있는 상부구조에 사용될 수 있다.

- ① 레일신축이음장치가 없을 경우

$$f_{\text{r0}} = \pm 3L \text{ (kN) (1 레일 당)} \quad (20)$$

여기서, L = 슬래브의 팽창이 고려될 수 있는 길이

- ② 구조물의 가동끝단에서 레일 신축이음이 있는 경우

$$f_{\text{r0}} = \pm 500 \text{ (kN) (1 레일 당)} \quad (21)$$

- (4) 다음 공식은 한쪽 끝단에 고정받침을 가지는 콘크리트도상이 있는 상부구조에 사용될 수 있다.

- ① 레일 신축이음장치가 없을 경우

$$f_{\text{r0}} = \pm 6L \text{ (kN) (1 레일 당)} \quad (22)$$

여기서, L = 슬래브의 팽창이 고려될 수 있는 길이

- ② 구조물의 가동끝단에서 레일 신축이음이 있는 경우

$$f_{\text{r0}} = \pm 1,000 \text{ (kN) (1 레일 당)} \quad (23)$$

- (5) 기타 다른 특별한 경우는, 그에 적절한 특별한 해석을 수행 하여야 한다.

3.4.4 2차 구조부분, 장비, 설비 등에 작용하는 하중

(1) 유지보수통로 하중

- ① 교량의 주거더의 설계에 있어서, 유지보수 등을 위한 보행시설 상에 작용하는 해당 수직하중은 적용하지 않는다.
- ② 유지보수 통로 등 보행시설을 지지하는 부재의 설계에는 5.0kN/m^2 의 등분포 수직하중이 작용하는 것으로 본다. 단, 특별한 구성 부재의 설계에서 위의 등분포하중 보다 더 불리한 값을 나타내는 경우에는 위의 등분포 하중 대신 2kN 의 집중하중을 가장 불리한 재하위치에 두고 계산할 수 있다.
- ③ 이때 집중하중은 $0.2 \times 0.2\text{m}$ 면적에 작용하는 것으로 가정하며 하중 경감효과는 고려하지 않는다.

(2) 균중하중, 승강장에 재하되는 하중

- ① 교량의 주거더 설계에 있어서 만약 일반 보행자용 보도시설이 포함되어 있을 경우에는 보도 위에 2kN/m^2 의 하중을 철도차량에 따른 하중에 추가하여 고려하여야 한다.
- ② 일반 보행자용 보도부를 직접 지지하는 구조에 적용되는 설계에서는 5kN/m^2 이 적용되어야 한다.
- ③ 승강장에 공공 교통용 차량이 올라타지 않는 이상 승강장 면 위에는 5kN/m^2 의 등분포 하중을 적용할 수 있다. 또한 이 등분포 하중 재하 상태에서 가장 불리한 구조 위치에 20kN 의 집중하중을 추가로 올릴 수 있다.
- ④ 구조계산의 대상에 따라 다음의 균중하중을 재하할 수 있다.

표 24. 균집하중

구조계산의 대상	구 조 종 별	상 시 (kN/m^2)
콘크리트 슬래브	승환과선교, 홈	5.0
	역부고가교의 중간층 슬래브 등, 캔틸레버 슬래브, 교측보도(도상궤도의 교량거더)	
	캔틸레버 슬래브, 교측보도 (슬래브궤도 또는 무도상의 교형)	3.0
보, 기둥	승환과선교, 승강장	3.5
	역부고가교의 중간층 보 등	
교량점검 통로		4.0

(3) 난간하중

- ① 일반보도 위의 난간은 난간의 끝에서 800N/m 의 수평하중이 작용하는 것으로 설계



되어야 한다. 특별한 경우에는 2.5kN으로 하고, 보도면에서는 1.5m의 높이에 또 난간의 상단에 직각과 수평으로 작용한다.

- ② 일반보도 위에 핸드레일이 있는 난간은 핸드레일의 높이에 위 하중이 작용하는 것으로 설계되어야 한다. 또한, 보도 위 난간의 핸드레일의 끝에서 800N/m의 수직하중이 작용하는 것으로 설계되어야 한다.
- ③ 난간의 높이는 소음을 경감시키는 형식으로 된 경우라면 난간 높이에 따른 소음 저감효과에 따라 그 높이를 결정하여야 한다.
- ④ 이 하중은 풍하중과 조합하여야 한다.

(4) 방음벽

- ① 구조물과 방음벽의 연결정착부 및 방음벽 자체는 열차 통과로 인한 후폭풍 등의 압력을 저항할 수 있어야 한다.
- ② 열차 통과로 인한 후폭풍의 압력에도 저항할 수 있도록 비교 검토하여야 하며 설계 속도에 따라 다음 식을 적용할 수 있다.

$$p_{traffic} = k_v \frac{4100}{d} \quad (\text{N/m}^2) \quad (24)$$

여기서, d 는 열차 외측면 끝단에서부터 벽의 안쪽 면까지의 거리(m)

k_v : 설계속도에 따른 계수($(\frac{V}{350})^2$)

- ③ 이 하중은 구조물과의 연결부 해석을 위해 풍하중과 조합되어야 한다.

(5) 지주 하단에 작용하는 하중

- ① 대부분 교량 상부 플랜지 상단에 설치되는 전차선주나 신호 지주 등의 지주 설계에 적용되는 하중은 일반적인 사용상태의 하중 이외에 지진, 태풍 등의 하중이 고려되어야 한다.

(6) 마찰저항하중

마찰저항하중은 마찰면에 수직한 하중에 가동반침 마찰계수를 곱하여 얻어진 값을 표준으로 한다.

(7) 화물하중

화물하중은 <표 25>의 값을 표준으로 한다.

표 25. 화물 하중

화물의 종류	중량 (kN/m ²)
수소화물	10
일반 화물	15
큰 화물	30

3.5 특수하중

3.5.1 충돌하중

(1) 자동차의 충돌

자동차가 충돌할 염려가 있는 각주(脚柱)에는 콘크리트벽 등으로 충분히 안전한 방호시설을 설치하여야 한다. 이들 방호시설을 설치하지 않는 경우에는 다음 충돌하중이 노면 위 1.8m에서 수평으로 작용하는 것으로 보고 각주를 설계하여야 한다.

- ① 차도방향에 대하여 1,000kN
- ② 차도직각방향에 대하여 500kN

(2) 유목(流木) 등의 충돌

- ① 유목 및 기타의 유송물(流送物)이 충돌할 우려가 있는 경우에는 식(25)에 의해 충돌력을 산출한다. 그 작용높이는 수면으로 한다.

$$P = 0.1 W v \quad (25)$$

여기서, P : 충돌력 (kN)

W : 유송물의 중량 (kN)

v : 표면유속 (m/s)

- ② 유송물의 중량을 결정함에 있어서는 가교지점 부근의 주민의 경험담, 상류의 교량 하천구조물, 산지의 상황 등을 조사한 후 적절한 값을 정한다.

(3) 선박의 충돌

- ① 항로상 또는 항로근처에 교각을 설치하여 선박과 충돌할 우려가 있는 경우에는 이것을 설계에 고려하여야 한다. 즉, 하천의 하류부에서 항해가 행하여지는 경우에, 통상의 하부구조에 대해 소형선박의 충돌은 거의 교량의 안정조건을 좌우하지 않는다. 그러나 하구(河口)에 가까운 항만구역의 일부든지 바다에 건설되는 교각의 경우에는 대형강철선의 충돌이 예상되기 때문에 이때는 선박의 영향을 설계에 고려하여야 한다.
- ② 그러나 일반적으로 선박이 충돌하는 데는 기상 악조건에서 방향타를 잘못 잡는 경우, 기관에 고장을 일으켜 표류하는 경우 등이며 순항속도(巡航速度)로 충돌하는 경우는 거의 없기 때문에 충분히 조사하여 충돌하중을 정하여야 한다.

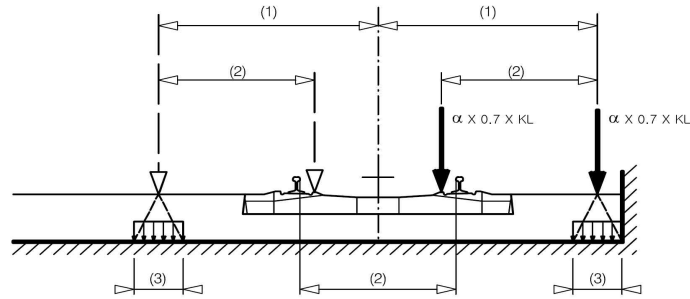
3.5.2 탈선하중

(1) KRL-2012 열차하중의 탈선하중

- ① 교량은 탈선 사고로 인한 교량 손상이 최소가 되도록 설계하여야 하고 특히 교량의 전복이나 구조물의 파괴가 방지되도록 설계하여야 한다.
- ② 다음과 같은 두 가지 탈선상태의 하중이 고려되어야 한다.
가. 탈선상황 I : 탈선된 열차가 교량 상 궤도구조 안에 존재할 때
나. 탈선상황 II : 탈선된 열차가 궤도구조를 벗어나 교량 상판 끝 부분에 걸쳐있을 때
- ③ 탈선상황 I에서는 <그림 17>과 같이 1.4×KRL-2012(집중하중과 등분포하중 모두



재하, 여객전용선의 경우 0.75KRL-2012)의 하중이 궤도중심으로부터 궤간의 1.5배 이내에서 궤도와 평행하게 가장 불리한 위치에 재하되도록 한다.



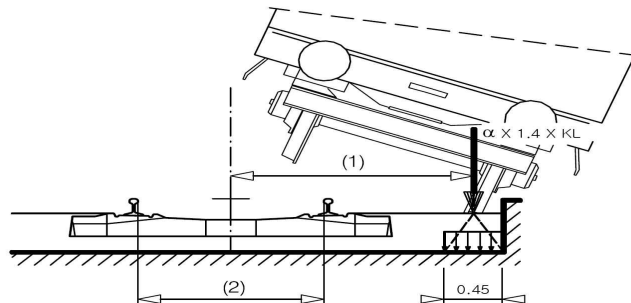
주 (1) : 탈선 방호벽 안쪽으로 최대 궤간의 1.5배

(2) : 궤간

(3) : 자갈도상의 경우에는 교량상판으로부터 450mm 까지 분포하중으로 재하할 수 있다.

그림 17. 탈선상황 I (KRL-2012하중의 집중하중과 등분포하중 모두 재하)

- ④ 탈선상황 II에서는 <그림 18>과 같이 $1.4 \times \text{KRL-2012}$ (등분포하중만 재하, 여객전용선의 경우 0.75KRL-2012)의 하중이 최대 20m 길이로 보도와 같은 비구조부재를 제외한 교량 상판 끝에 재하되도록 한다.



주 (1) : 교량 상판 끝에 작용

(2) : 궤간

그림 18. 탈선상황 II (KRL-2012하중의 등분포하중만 재하)

- ⑤ 탈선상황 I과 II는 각각 따로 계산한다. 두 상황은 조합하지 않으며, 충격계수를 고려하지 않는다.

(2) EL하중의 탈선하중

- ① EL하중의 집중하중을 선로중심에서 1.5m씩 편기하여 작용시켜 단면 검토한다.
- ② 상대편 선로에는 EL하중의 등분포하중을 불리한 경우로 재하 한다.

3.5.3 가설시 하중

- (1) 교량 가설시에는 가설단계별 가설방법과 가설중의 구조를 고려하여 자중, 가설장비, 기차재, 바람 지진의 영향 등 모든 재하조건에 대한 안전도 검토를 하여야 한다.
- (2) 가설시 하중이란 교량가설시 작용하는 하중이다. 가설시 하중으로 인한 응력은 가설 방법에 따라서는 가설 후의 응력보다 큰 값을 나타낼 경우가 있어 때로는 교량주거터의 좌굴, 낙교 등의 사고가 생긴다. 또, 하부구조에서는 케이슨기초 본체 외부에 돌출하여 가설중의 상부구조를 지지하고 있는 교각이나 두부(頭部) 힌지고정의 유연한 교각 등에 대해서는 시공시의 안정이나 단면조사로부터 구체와 기초의 치수나 제원이 결정되는 경우가 많다. 따라서 교량의 설계시에는 시공방법과 시공 중의 구조를 고려하여 자중, 시공기재, 바람, 지진, 온도변화 등에 대해 검토하여야 한다.

3.5.4 지진의 영향

- (1) 지진의 영향은 교량 설계시 필요에 따라 고려하여야 한다. 내진 설계에 대한 구체적인 사항은 별도 내진 설계 조항에서 정하는 바에 따른다.
- (2) 설계자는 단층이 횡단하는 선에서 고가교의 사용을 가능한 한 피하여야 한다.
- (3) 단층이 횡단하는 선 지역에 고가교의 적용이 필요한 경우에는 설계자는 발주자에게 적절한 해석 결과를 제시하여야 한다.
- (4) 고속철도의 설계에서는 고속도로 교량이나 일반 철도교량에 비해 지진발생 후 그리고 발생하는 동안 보다 주의 깊은 변위해석을 요구하여야 한다.
- (5) 시속 200km/h 이상 고속철도의 경우에는 요구하는 안전도를 제공하기 위하여, 다음에 추가하는 지침을 준용하여야 한다.
 - ① 변위 억제장치가 상부구조와 하부구조사이의 연결을 유지하기 위해 각각의 교각위에 설치하는 것이 검토될 수 있다. 이러한 변위 억제장치는 크리프와 건조수축, 온도로 인한 구조물의 선형변화를 고려하여 설계되어야 한다.
 - ② 두 지지점에서의 변위 억제장치의 적용과 낙교방지를 위한 최소받침 지지길이의 적용에 있어서는 두개의 독립된 상·하부구조 사이의 예상 수평변위가 주의 깊게 검토되어야 한다.
 - ③ 지진을 고려한 하중조합에서 PSC 거더의 교량상판에서의 인장응력 발생이 제한되어야 한다.
 - ④ 기초의 지질 상태로부터 얻어지는 지반구속조건은 변화하는 높이에서 다양한 자유장 굴곡에 대하여 조절된 수평 지반반력계수를 사용하여 깊은 기초 전체를 통하여 자유장 운동이 고려되는 방식으로 결정되어야 한다.

4. 하중의 조합

4.1 허용응력설계법에서의 하중조합

- (1) PSC 박스거더 및 빔교의 종방향해석 등은 원칙적으로 허용응력설계법을 따른다.



<표 26>은 허용응력설계법을 위한 하중조합 및 허용응력 증가계수를 나타내었다.

표 26. 하중조합 및 허용응력 증가계수

하 중 조 합			허용응력 증가계수
1	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+온도변화의 영향	P+PP+T	1.15
2	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+차량횡하중	P+PP+LF	1.25
3	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+시동하중 또는 제동하중	P+PP+SB	1.25
4	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+풍하중	P+PP+W	1.25
5	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+차량횡하중+풍하중	P+PP+LF+W	1.35
6	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+시동하중 또는 제동하중+풍하중	P+PP+SB+W	1.35
7	차량횡하중+주하중에 해당하는 특수하중+풍하중	LF+PP+W	1.25
8	풍하중+시동하중 또는 제동하중	W+SB	1.25
9	주하중*+지진의 영향	P+E	1.40
10	주하중+충돌하중	P+CO	1.50
11	가설하중	ER	1.25

주 : 주하중* - 이 경우에는 주하중에 충격하중과 원심하중을 포함시키지 않고 단선 활하중을 포함시킨다.

여기서, 주하중(P) : 고정하중(D), 활하중(L), 충격(I), 장대레일 중하중(LR), 콘크리트 크리프의 영향(CR), 콘크리트 건조수축의 영향(SH), 토압(H), 수압, 부력 또는 양압력(Q)

부하중(S) : 차량 횡하중(LF), 시동하중 또는 제동하중(SB), 풍하중(W)

주하중에 상당하는 특수하중(PP) : 설하중(SW), 지반변동의 영향(GD), 지점이동의 영향(SD), 파압(WP)

부하중에 상당하는 특수하중(PA) : 온도변화의 영향(T), 지진의 영향(E), 가설시 하중(ER), 충돌하중(CO), 탈선하중(DR), 기타하중

- ① 가설하중에 대한 허용응력 증가계수의 값은 가설시 하중으로서 가설시의 풍하중 및 지진의 영향을 고려하지 않은 경우에 대한 규정이다. 따라서 이를 고려하는 경우에는 허용응력 증가 계수를 <표 25> 및 <표 26>에 주어진 값과 관계없이 가교지점의 조건, 시공 중의 구조계 등을 고려하여 별도로 정한 값으로 하여야 한다.
- ② 콘크리트교에서 부하중 및 부하중에 해당하는 특수하중을 고려하는 경우에 PS강재의 허용인장응력은 PS강재 항복점의 90% 이하의 값으로 하며, 프리스트레싱 직후의 콘크리트 및 PS강재의 허용응력은 증가시키지 않는다.

4.2 강도설계법에서의 하중조합(RC 부재)

강도설계법을 적용하는 교량의 하중조합은 다음을 준용하여야 한다.

(1) 주요 하중조합의 하중계수

$$U = 1.35 D + 1.85 (L + I) + 1.35 CF(LF) + 1.6 H + 1.4 Q \quad (26)$$

$$U = 1.6 (D + L + I + CF(LF) + H + Q) \quad (27)$$

$$U = 1.35 D + 1.4 (L + I) + 1.35 CF(LF) + 1.6 H + 1.35 Q + 1.35 G \quad (28)$$

$$U = 1.35 D + 1.6 H + 1.35 Q + 1.35 W + 1.35 G \quad (29)$$

$$U = 1.35 D + 1.4 (L + I) + 1.35 CF(LF) + 1.6 H + 1.35 Q + 1.35 (0.5 W + WL) + 1.4 (SB + LR) + 1.35 G \quad (30)$$

$$U = 1.0 D + 1.0 (L/2) + 1.0 H + 1.0 Q + 1.0 E \quad (31)$$

여기서, <식 34>의 L/2는 단선 활하중을 의미한다.

$$U = 1.35 D + 1.4 (L + I) + 1.6 H + 1.35 Q + 1.35 CO \quad (32)$$

$$U = 1.2 D + 1.5 H + 1.2 Q + 1.2 W + 1.2 CO \quad (33)$$

여기서, 원심하중(CF)과 횡하중(LF)이 동시에 작용하는 경우 큰 쪽의 하중이 작용하는 것으로 가정한다.

D : 고정하중 또는 이에 따른 단면력

L : 활하중 또는 이에 따른 단면력

I : 충격하중 또는 이에 따른 단면력

CF : 원심하중 또는 이에 따른 단면력

LF : 차량횡하중 또는 이에 따른 단면력

H : 토압 또는 이에 따른 단면력

W : 풍하중 또는 이에 따른 단면력

WL : 차량하중에 작용하는 풍하중 또는 이에 따른 단면력

SB : 시동 및 제동하중 또는 이에 따른 단면력

LR : 장대레일 종하중 또는 이에 따른 단면력

E : 지진하중 또는 이에 따른 단면력

CO : 충돌하중 또는 이에 따른 단면력

G : 부등침하, 크리프, 건조수축, 제작 또는 시공시치수의 착오, 습도변화 또는 온도 변화 등으로 인한 팽창 또는 수축변형으로 유발된 변형력 또는 이에 따른 단면력

Q : 부력 또는 양압력, 수압, 파압 등의 하중 또는 이에 따른 단면력이다.

- (2) 「해설2의 4.2 (1) 주요 하중조합의 하중계수」의 모든 하중조합에서 <표 27>의 각 경우에 대한 고정하중계수와 토압하중계수는 각 표에 제시한 값을 사용하여야 한다.

표 27. 주요하중조합에서 고정하중계수와 토압하중계수를 바꾸어 설계하는 경우

식	고 정 하 중 계 수	토 압 하 중 계 수	
	① 기둥설계시 최소 축하중 및 최대 모멘트 또는 최대 편심에 대하여 설계할 경우	② 라멘구조에서 횡토압에 의해 상판의 정모멘트를 검토하는 경우	③ 연직토압에 대하여 설계할 경우
(9) ~ (16),(18)	0.8	0.6	1.4
(19)	0.9	0.8	1.2



5. 사용재료

교량의 사용목적을 달성하면서 안전하고 경제적으로 설계하기 위해 설계자는 먼저 구조물에 사용되는 재료의 성질을 충분히 이해하고 있어야 한다. 최근 교량은 여러 종류의 재료를 사용하여 건설되고 있으며, 교량의 각 구성요소마다 최상의 재료를 선정하는 것은 설계자에게 중요한 일이다. 그러므로 서로 다른 재료로 건설되는 두 형식의 교량이 타당성에서 비슷할 경우, 두 형식은 모두 대안으로 설계하여 초기 건설비용뿐만 아니라 유지보수비용을 포함한 교량수명간 총비용을 고려하여 보다 경제적인 교량을 선택하는 것이 중요하다.

강재와 콘크리트는 교량을 건설할 때 사용되는 대표적인 재료들이며, 다른 재료들은 대부분이 난간·교좌장치·신축이음장치 등 교량의 부대시설 등에 사용되고 있다. 최근에는 첨단 복합신소재를 교량의 주 구조재료로 사용하는 경우도 있으나, 인도교와 같은 경량의 교량이나 장대교량의 고강도 신소재 케이블, 프리웹브 상판구조 정도에 그치고 있으며 일반교량에의 사용은 아직도 실용화단계에 이르지 못하고 있다.

따라서, 교량의 대표적 구조재료인 콘크리트와 강재의 재료적 성질을 이해하는 것은 매우 중요하므로 각 재료의 기본적인 물성 뿐만 아니라 최근 성능과 품질이 눈부시게 발전한 고성능 콘크리트와 고성능 강재의 특성 및 물성에 대해 참고문헌을 통해 충분히 습득하여야 한다.

교량설계시 고려해야하는 각 재료의 일반적인 물성치들은 [KR C-09010, KR C-10010의 재료부분]과 [콘·설 2장]을 참조하고, 각 장에 교량형식별로 제시된 추가적인 물성치들을 함께 적용한다.

5.1 콘크리트

5.1.1 설계기준강도

철도교에 사용하는 콘크리트는 설계기준강도가 원칙적으로 <표 28>에 나타난 값 이상이어야 한다.

표 28. 콘크리트의 최저 설계기준강도 (MPa)

부재의 종류		최저설계기준강도
무근콘크리트부재		18
철근콘크리트부재		21
프리스트레스트 콘크리트부재	프리텐션방식	35
	포스트텐션방식	30

- (1) 콘크리트의 설계기준 압축강도는 재령 28일 강도를 기준으로 하여야 한다.
- (2) 설계시 적용한 각 부재의 설계기준 압축강도를 도면상에 명시하여야 한다.

- (3) 콘크리트의 설계기준 압축강도는 실무에서 적용가능한 강도범위내에서 정하여야 한다.
 (4) 콘크리트 설계기준 압축강도는 원주형 표준공시체의 시험결과에 기초를 두어야 한다.

5.1.2 콘크리트 부재에서 콘크리트의 허용응력

콘크리트교의 설계에 사용되는 콘크리트의 허용응력을 요약 제시하였다. 보다 상세한 허용응력에 대해서는 [철·설 제10장 콘크리트교]의 해당규정을 따른다.

(1) 허용휨응력

- ① 허용휨압축응력 $f_{ca} = 0.4f_{ck}$
 ② 허용휨인장응력(무근확대기초와 벽체에서) $f_{ta} = 0.13 \sqrt{f_{ck}}$
 ③ 허용휨강도(파괴계수)

가. 보통콘크리트 $f_r = 0.63 \sqrt{f_{ck}}$

나. 부분경량콘크리트 $f_r = 0.54 \sqrt{f_{ck}}$

다. 전경량콘크리트 $f_r = 0.47 \sqrt{f_{ck}}$

(2) 허용압축응력(무근확대기초와 벽체에서) $f_{ca} = 0.25 f_{ck}$

(3) 허용전단응력

① 보 및 일방향 전단(1방향슬래브 및 확대기초)

가. 콘크리트의 허용전단응력 $v_{ca} = 0.08 \sqrt{f_{ck}}$

나. 전단보강이 있는 부재의 최대허용전단응력 $v'_{ca} = v_{ca} + 0.32 \sqrt{f_{ck}}$

② 2방향 전단(2방향 슬래브 및 확대기초)

가. 콘크리트의 허용전단응력

$$v_{ca} = 0.08 \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \sqrt{f_{ck}} \leq 0.16 \sqrt{f_{ck}}$$

나. 전단보강이 있는 부재의 최대허용전단응력

③ 경량골재콘크리트의 허용전단응력

위의 가항과 나항에 규정된 값의 70%를 취한다.

(4) 허용지압응력

① 허용지압응력은 다음의 값으로 한다.

$$f_{ba} = 0.25f_{ck} \sqrt{\frac{A_c}{A_b}}$$

여기서, A_c : 지지하는 콘크리트의 전면적

A_b : 지압을 받는 재하면적

② 전면적이 경사진 면이거나 계단식일 경우에는 지압면의 각 변 또는 경계면으로부터 1:2(수직1, 수평2)의 기울기로 경사면을 부재단부까지 그려 지압면의 도심과 일치하



는 가장 큰 값을 곱했을 때의 피라미드형 각추대나 원추대의 면적을 전면적 (A_c)으로 취한다.

- ③ 처짐이나 편심하중으로 인하여 지압면 단부에 큰 응력을 받는 경우에는 재하단면의 허용 지압응력은 가.항의 값에 0.75를 곱한 값을 취한다.

5.1.3 프리스트레스트 콘크리트부재에서 콘크리트의 허용응력

(1) 크리프와 건조수축에 의한 손실이 일어나기 전의 일시적 응력

① 압축응력

가. 프리텐션 부재 $0.6f_{ci}$

나. 포스트텐션 부재 $0.55 f_{ci}$

② 인장응력

가. 미리 압축력을 가한 인장구역 : 「해설2. 5.1.2 콘크리트 부재에서 허용응력」에 있는 손실 후의 허용응력을 따른다.

나. 그외 지역

- 부착된 철근이 없는 인장구역 1.4 MPa 또는 $0.25 \sqrt{f_{ci}}$

- 부착된 철근이 있는 인장구역 $0.50 \sqrt{f_{ci}}$

(2) 모든 손실이 일어난 후 사용하중 상태에서의 응력

① 압축응력 $0.4 f_{ck}$

② 미리 압축력을 가한 인장구역에서의 인장응력

(3) 균열응력(실험으로부터 얻은 파괴계수를 사용하되 실험자료가 없는 경우)

① 보통 콘크리트 $0.63 \sqrt{f_{ck}}$

② 부분 경량 콘크리트 $0.54 \sqrt{f_{ck}}$

③ 전 경량 콘크리트 $0.47 \sqrt{f_{ck}}$

(4) 정착부의 지압응력

부재단부에 적절한 철근을 배치한 포스트텐션 부재의 정착장치에 의해 발생하는 콘크리트의 지압응력은 다음값 이하로 하여야 한다.

① 긴장재 정착 직후 $0.7f_{ci} \sqrt{A'_b/A_b} - 0.2 \leq 1.1f_{ci}$

② 프리스트레스 손실 발생후 $0.5f_{ck} \sqrt{A'_b/A_b} \leq 0.90f_{ck}$

5.2 철근 및 강연선

5.2.1 재료일반

- (1) 철근콘크리트용 봉강은 KS D 3504에 규정되어 있는 종류 중 교량에 가장 많이 사용되고 있는 것을 규정한다. KS D 3504에 규정되어 있는 철근의 기계적 성질과 이 형봉강의 단위중량, 표준치수는 <표 29>, <표 30>와 같다.

(2) 선재, 선재2차 제품 피아노선재는 케이블 혹은 PS강선과 PS강연선 등의 선재 2차제품 소재에 대한 규정이며, 기계적 성질을 <표 31>에 나타내었다.

이형 PS강선의 표면형상에 대해서는 KS D 7002에 규정되어 있지 않지만 표면형상에 따라서는 강선 자체의 피로강도가 저하되기도 하고, 프리텐션 방식을 사용한 경우에 부재 단부의 정착부에 큰 균열응력을 발생시키기도 하기 때문에 사용시에 주의가 필요로 한다.

5.2.2 철근의 허용응력

(1) 철근의 허용응력은 지름 32mm 이하의 철근에 대하여 <표 32>의 값으로 한다.

표 29. 철근콘크리트용 봉강의 기계적 성질

종류의 기 호	인장 시험				굽힘성	
	항복점 또는 0.2% 항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	인 장 시험편	연신율 (%)	굽 힘 각 도	안 쪽 반지름
RS240	240 이상	380 이상	2호	20 이상	180°	공칭 지름의 1.5배
			3호	24 이상		
RS300	300 이상	440 이상	2호	18 이상	180°	지름 16mm 이하 공칭 지름의 1.5배
			3호	20 이상		지름 16mm 초과 공칭 지름의 2배
SD300	300 이상	440 이상	2호에 준한것	16 이상	180°	D16 이하 공칭 지름의 1.5배
			3호에 준한것	18 이상		D16 초과 공칭 지름의 2배
SD350	350 이상	490 이상	2호에 준한것	18 이상	180°	D16 이하 공칭 지름의 1.5배
			3호에 준한것	20 이상		D16 초과 D14 이하 공칭지름의 2배
						D51 공칭 지름의 2.5배
SD400	400 이상	560 이상	2호에 준한것	16 이상	180°	공칭 지름의 2.5배
			3호에 준한것	18 이상		
SD500	500 이상	620 이상	2호에 준한것	12 이상	90°	D25 이하 공칭 지름의 2.5배
			3호에 준한것	14 이상		D25 초과 공칭지름의 3배
SD400W	400 이상	560 이상	2호에 준한것	16 이상	180°	공칭 지름의 2.5배
			3호에 준한것	18 이상		
SD500W	350 이상	490 이상	2호에 준한것	12 이상	90°	D16 이하 공칭 지름의 2.5배
			3호에 준한것	14 이상		D25 초과 공칭 지름의 3배



표 30. 이형 봉강의 단위질량과 표준치수

호칭명	단위질량 (kg/m)	공칭지름(d) (mm)	공칭단면적(s) (mm ²)	공칭둘레(l) (mm)
D 6	0.249	6.35	31.67	20
D 10	0.560	9.35	71.33	30
D 13	0.995	12.7	126.7	40
D 16	1.56	15.9	198.6	50
D 19	2.25	19.1	286.5	60
D 22	3.04	22.2	387.1	70
D 25	3.98	25.4	506.7	80
D 29	5.04	28.6	642.4	90
D 32	6.23	31.8	794.2	100
D 35	7.51	34.9	956.6	110
D 38	8.98	38.1	1140	120
D 41	10.5	41.3	1340	130
D 51	15.9	50.8	2007	160

표 31. PS강선과 PS강연선의 기계적 성질, 공칭단면적 및 단위중량

기호	호칭명	인 장 시 험			릴랙세이션치 (%)	공칭 단면적 (mm ²)	단위 무게 (kgf/m)
		0.2%영구연신율에 대한 하중 (kN)	인장 하중 (kN)	연신율 (%)			
SWPC1 및 SWPD1	5mm	27.9 이상 (1.40 이상)	31.9 이상 (1.60 이상)	4.0 이상	3.0 이하	19.64	0.154
	7mm	51.0 이상 (1.30 이상)	58.3 이상 (1.50 이상)	4.5 이상	3.0 이하	38.48	0.302
	8mm	64.2 이상 (12.5 이상)	74.0 이상 (1.45 이상)	4.5 이상	3.0 이하	50.27	0.395
	9mm	78.0 이상 (1.20 이상)	90.2 이상 (1.40 이상)	4.5 이상	3.0 이하	63.62	0.499
SWPC2	2.9mm 2연선	22.60 이상 (1.70 이상)	25.5 이상 (1.95 이상)	3.5 이상	3.0 이하	13.21	0.104
SWPD3	2.9mm 3연선	33.8 이상 (1.70 이상)	38.3 이상 (1.95 이상)	3.5 이상	3.0 이하	19.82	0.156
SWPC7A	9.3mm 7연선	75.5 이상 (1.45 이상)	88.8 이상 (1.70 이상)	3.5 이상	3.0 이하	51.61	0.405
	10.8mm 7연선	102 이상 (1.45 이상)	120 이상 (1.70 이상)	3.5 이상	3.0 이하	69.68	0.546
	12.4mm 7연선	136 이상 (1.45 이상)	160 이상 (1.70 이상)	3.5 이상	3.0 이하	92.90	0.729
	15.2mm 7연선	204 이상 (1.45 이상)	240 이상 (1.70 이상)	3.5이상	3.0 이하	138.7	1.101
SWPC7B	9.5mm 7연선	86.8 이상 (1.6 이상)	102 이상 (1.85 이상)	3.5 이상	3.0 이하	54.84	0.432
	11.1mm 7연선	118 이상 (1.60 이상)	138 이상 (1.85 이상)	3.5 이상	3.0 이하	74.19	0.580
	12.7mm 7연선	156 이상 (1.60 이상)	183 이상 (1.85 이상)	3.5 이상	3.0 이하	98.71	0.774
	15.2mm 7연선	222 이상 (1.60 이상)	261 이상 (1.85 이상)	3.5 이상	3.0 이하	138.7	1.101
SWPC19	17.8mm 19연선	330 이상 (1.60 이상)	387 이상 (1.85 이상)	3.5 이상	3.0 이하	208.4	1.652
	19.3mm 19연선	387 이상 (1.60 이상)	451 이상 (1.85 이상)	3.5 이상	3.0 이하	243.7	1.931
	21.8mm 19연선	495 이상 (1.60 이상)	573 이상 (1.80 이상)	3.5 이상	3.0 이하	312.9	2.483

주) 괄호속의 값은 규격치를 공칭단면적으로 나눈 값(단위 : MPa)이다.



표 32. 철근의 허용응력 (MPa)

응력, 부재의 종류			철근의 종류	SD300	SD350	SD400
인장 응력	하중의 조합에 충돌하중 혹은 지진의 영향을 포함 하지 않을 경우	일반적인 부재	150	175	180	
		바닥판, 지간 8m 이하의 슬래브교	150	160	160	
		수중 혹은 지하수위 이하 에 설치하는 부재	150	160	160	
	하중의 조합에 충돌하중 혹은 지진의 영향을 포함하는 경우의 허용응력의 기본값		150	175	180	
압 축 응 력			150	175	180	

- (2) 활하중과 충격에 의해 직선으로 배근되는 철근에 발생하는 최대인장응력과 최소 인장응력 사이의 응력차는 [철·콘 제10장 콘크리트교]에 부합해야 한다. 그리고 응력이 큰 부분에서는 주철근의 절곡을 피하여야 한다.

5.2.3 PS강재의 허용응력

- (1) 긴장을 할 때 프리스트레싱 긴장재의 인장응력은 $0.80 f_{pu}$ 또는 $0.94 f_{py}$ 중 작은 값 이하로 한다.
- (2) 프리스트레스 도입 직후에 프리스트레싱 긴장재의 인장응력은 다음 값 이하로 한다.
- ① 프리텐션 부재 : $0.80 f_{pu}$ 또는 $0.9 f_{py}$ 중 작은 값
 - ② 포스트텐션 부재 : $0.70 f_{pu}$ 또는 $0.8 f_{py}$ 중 작은 값

5.3 설계계산에 사용하는 물리상수

5.3.1 콘크리트

- (1) 콘크리트의 할선탄성계수는 콘크리트의 단위질량 m_c 의 값이 $1,450 \sim 2,500 \text{kg/m}^3$ 인 콘크리트의 경우 <식 (34)>에 따라 계산하여야 한다.

$$E_c = 0.077 m_c^{1.5} \sqrt[3]{f_{cu}} \text{ (MPa)} \quad (34)$$

다만 보통골재를 사용한 콘크리트($m_c = 2,300 \text{kg/m}^3$)의 경우는 식 (38)을 이용할 수 있다.

$$E_c = 8,500 \sqrt[3]{f_{cu}} \text{ (MPa)} \quad (35)$$

여기서, $f_{cu} = f_{ck} + \Delta f$ (MPa)

Δf 는 f_{ck} 가 40MPa 이하면 4MPa, 60MPa 이상이면 6MPa이며, 그 사이는 직선보간으로 구함

- (2) 크리프 계산에 사용되는 콘크리트의 초기접선탄성계수와 할선탄성계수와의 관계는 식 (36)과 같다.

$$E_c = 0.85 E_{ci} \text{ (MPa)} \quad (36)$$

(3) 콘크리트의 전단탄성계수는 식 (37)에 의해 계산하는 것으로 한다.

$$G_c = \frac{E_c}{2(1+\nu)} \quad (37)$$

여기서, G_c : 콘크리트의 전단탄성계수(MPa)

E_c : 콘크리트의 탄성계수(MPa)

ν : 포아송비

5.3.2 강재

(1) 설계계산에 사용하는 강재의 물리상수 값은 <표 33>의 값을 사용한다.

표 33. 설계계산에 사용되는 강재의 물리상수

종 류	물리상수의 값
강과 주강의 탄성계수	2.1×10^5 MPa
철근의 탄성계수	2.0×10^5 MPa
PS강선, PS강연선, PS강봉의 탄성계수	2.0×10^5 MPa
주철의 탄성계수	1.0×10^5 MPa
강의 전단탄성계수	8.1×10^4 MPa
강과 주강의 포아송비	0.30
주철의 포아송비	0.25

KS규격이 아닌 많은 개수의 PS강선을 묶거나, 혹은 연선으로 만든 케이블로 된 PS강재의 탄성계수는 2.0×10^5 MPa 이하로 되는 경우가 있기 때문에 시험에 의해 별도로 정하여야 한다.

(2) 프리스트레스의 감소량을 산출하는 경우에 PS강재의 겉보기 릴랙세이션율은 <표 34>의 값을 표준으로 한다. 다만, PS강재가 고온의 영향을 받는 경우에는 PS강재의 겉보기 릴랙세이션율은 <표 34>의 값에 2%를 가산하는 것을 원칙으로 한다.

표 34. PS강재의 겉보기 릴랙세이션율(%)

PS강재의 종류	겉보기 릴랙세이션율
PS강선, PS강연선	5
PS강봉	3

(3) 나항에 따르기 힘든 경우에는 PS강재의 인장응력에 따라 측정된 릴랙세이션율에서 콘크리트의 크리프, 건조수축 등의 영향을 고려하여 별도로 PS강재의 겉보기 릴랙세이션을 정하여야 한다.



6. 받침, 신축이음 장치 및 기타

6.1 일반사항

받침은 상부구조에서 전달된 하중을 확실히 하부구조에 전달하고 온도변화와 탄성변형에 의한 상부구조의 신축 및 처짐에 의한 회전등에 충실하게 작동하여야 하며, 지진, 바람 등에 대해서 안전하도록 설계하여야 한다. 받침은 상부구조의 형식, 지간길이, 지점반력, 내구성, 시공성 등에 의해 그 형식과 배치 등이 결정된다. 특히, 곡선교나 사교 등은 지점반력의 작용기구, 신축과 회전방향을 충분히 검토하여 받침의 형식과 배치 등을 결정하여야 한다. 받침에 대한 설계규정은 [철·설 8.7 받침부 및 부속설비]에 제시되었으므로 참조한다. 교량의 신축이음은 다분히 설계적 내용보다는 제품적 사양이 지배적이므로 설계기준의 규정 및 편람에 명문화하여 두기 어렵다. 다만, 신축이음의 형식결정에서 중요한 요소는 교량의 신축량이므로 먼저 신축량으로 형식을 결정하고 동시에 내구성, 평탄성, 배수성과 수밀성, 시공성, 보수성 및 경제성을 종합적으로 고려하여 결정한다.

교량의 주부재는 아니지만 이용자의 안전과 원활한 교통흐름을 위해 필요한 부대구조물 및 부속시설과 관련하여 각종 설계상 규정이 [철·설 8.7 받침부 및 부속설비]에 제시되어 있으므로 해당내용을 참조하여 적용하면 된다.

6.2 받침용 재료

6.2.1 주철

주조기술의 발달에 의해 GC 250은 GC 150과 큰 가격 차이가 없고 인성도 높기 때문에 주철에 관해서는 GC 250을 사용한다.

최근에 주강받침에서 용접성이 요구되는 경우가 많고, 강도가 높은 것을 필요로 하므로 KS D 4106의 1종 및 2종과 KS D 4102중 저망간강주강품 1종 및 2종을 첨가하였다. 기계구조용 탄소강 강재는 종래 기계부품으로서 사용되어 온 것이지만 생산량 및 사용실적이 많고 재질면에서도 안정되어 있어 도입되었다.

롤러 및 받침판에 이용하는 특수 스테인레스강에 관해서는 KS화 되어 있지 않으므로 품질 등을 충분히 검토해서 이용하는 것이 좋다.

동합금 받침판에 관해서는 고체윤활제와 천연흑연과 함께 사용되는데 동합금 받침판이란 받침의 마찰을 줄이기 위해 사용하는 고장력 황동 주물판으로서 그 미끄럼면에 흑연을 주체로 한 고체윤활제를 주입한 것을 말한다. 받침용 재료는<표 35>의 것을 사용한다.

표 35. 받침용 재료

종 류	규 격	기 호
주 강	KS D 4101 (탄소강주강품) 3종 및 4종	SC 450 및 SC480
	KS D 4106 (용접구조용주강품) 1종 및 2종	SCW 410 및 SCW 480
	KS D 4102 (구조용고장력탄소강 및 저합금강주강품) 저망간주강품 1종 및 2종	SCMn 1A 및 SCMn 2A
주 철	KS D 4301 (회주철품)4종	GC 250
합금강	KS D 3752 (기계구조용탄소강재)	SM 35C 및 SM 45C

6.2.2 고무

고무를 이용한 받침에는 여러 가지 구조가 있으나 고무판 1개 또는 여러 개를 강판에 중첩한 것을 이용했다. 고무의 재질은 KS M 6617 C 08-b1에 적합한 양질의 클로로필렌계의 것이 일반적으로 자주 이용되고 있으나 충분한 강도, 강성, 내수성 등이 확보되어야 한다. 다른 재질을 이용하는 경우에는 성능을 확인할 필요가 있다. 보강판에 관해서는 내후성강판을 이용한 것도 있지만 접촉면이 반복되어 마찰되는 상황을 고려하면 적당하지 않으므로 일단 스테인레스강판을 사용하는 것으로 제한한다. 받침용 고무판 및 그 보강 강판에는 <표 36>의 것을 사용한다.

표 36. 받침용 고무판 및 보강 강판

종 별	규 격	기 호
클로로필렌계 고무	KS M 6617(방진고무용 고무재료)	C 08-b1
보강 강판	KS D 3698(냉간압연 스테인레스 강판 및 강대)	STS 304

7. 교량 구조해석

교량설계란 주어진 하중에 대하여 교량이 파괴되지 않도록 재료, 구조 등을 결정하는 것이다. 따라서, 적절히 가정한 설계하중에 대하여 교량의 거동을 해석하는 것이 설계에 있어서 중요한 부분이다.

최근까지 콘크리트 교량 또는 강교량에 대한 대부분의 설계 또는 해석은 탄성이론에 기초한 해석방법들이 주류를 이루고 있었으나 최근에 와서 교량구조에 대한 이해가 증가하고 복잡한 계산을 수행할 수 있는 컴퓨터 및 응용프로그램이 널리 보급됨에 따라 교량의 구조거동해석에 여러 가지 방법을 적용할 수 있게 되었다. 특히, 다양한 컴퓨터 프로그램이 교량해석용으로 사용되고 있으며, 단순한 공식에서 유한요소법에 이



르기까지 다양한 해석법이 프로그램에 사용되고 있다. 또한 교량의 거동에 대한 이론적·실험적 자료가 축적됨에 따라 파괴에 기준하여 설계를 좀더 실제적으로 하고자 하는 노력이 진행되고 있고 교량의 한계상태설계 개념을 설계 기준화하는데 필요한 자료가 축적되고 있다. 교량의 구조가 간단한 경우에는 파괴의 한계상태를 해석하기에 충분한 자료를 얻을 수 있어 소성힌지, 항복선이론등을 사용할 수 있다.

교량에 작용하는 활하중은 주로 선로하중, 즉 이동하중이다. 따라서, 교량을 설계하기 위해서는 각 부재의 거동에 미치는 영향(즉, 변위, 응력, 변형율 등)이 가장 크게 되는 하중의 위치를 찾고 그에 따른 거동을 해석하여야 한다. 이를 위해서는 영향선(influence line)과 포락선(envelop line)이 필요하며, 이에 대한 개념을 각종 참고문헌을 참조하여 충분히 이해해야만 한다.

7.1 해석방법

해석방법은 교량형식, 평면형태, 지지형식 등에 따라 여러 해석방법이 적용될 수 있으며 <표 37>에는 조건별로 각 해석방법의 적용성을 비교하여 제시하였다. 또한 이러한 해석방법은 2차원 및 3차원 해석방법으로 분류할 수도 있다. 2차원 해석방법에서는 교량 상판을 판이나 또는 상호연결된 격자로 이상화한다. 판해석을 하는 경우에는 직교성 판방정식을 푸리에급수에 의하여 해석하거나, 유한차분법에 의해 해석할 수 있다. 또한 판이론에 의거한 설계도표를 이용하여 근사해석을 할 수도 있다.

표 37. 교량의 해석방법

구조조건 \ 해석방법		직교성 판이론	직교성 판이론-설계도표	유한 요소	유한 대판	격자 해석	입체뿔대	유한차분
상판 형식	슬래브	○	○	○	○	○		○
	중공슬래브	○	○	○	○	○		○
	슬래브-보			○	○	○		
	합성	○	○	○	○	○		○
	직교성	○	○	○	○	○		○
	박스			○	○	△	○	
평면 형태	직교	○	○	○	○	○	○	○
	사교			○		○	○	○
	곡선교	○		○	○	○	○	○
	임의형태			○		○	○	○
지지 형식	단순지지	○	○	○	○	○	○	○
	연속지지	○		○	○	○	○	○
	임의지지			○		○	○	○

판을 이상화된 유한 크기의 삼각형 또는 사각형의 요소들이 조합된 것으로 모형화하는 유한요소법을 사용하여 교량을 해석할 수 있다. 이 방법에서는 유한 요소들이 각 절점에서 연결된 것으로 간주하고 주어진 하중 및 반력과 이에 대응되는 절점변위간

의 시스템방정식을 구성하고 이를 해석하여 미지의 절점변위를 구한다. 응력과 변형율은 이 결과에 기초하여 해석될 수 있다. 교량축을 따라 교량지간과 같은 길이를 가진 종방향의 대판으로 교량이 구성된 것으로 가정하는 유한대판법도 유한요소의 일종으로 볼 수 있다. 유한요소법은 3차원해석에 사용될 수 있고, 가장 일반적이고 강력한 전산해석법이며 복잡한 문제에 대해서는 이것이 거의 유일한 방법이 될 수도 있다. 그러나 유한요소법은 요소의 수가 증가함에 따라 계산시간이 증가하여 비경제적일 수도 있다. 따라서, 보다 간단한 문제에 대해서는 다른방법들이 효율적일 수 있으므로 설계자는 대상교량의 특성에 따라 적절한 해석방법을 선택하여야만 한다.

교량을 상호연결된 보가 강결된 절점에 의하여 연결된 것으로 근사화하는 방법도 일반적이다. 2차원 상판의 경우는 격자해석이 되고, 3차원의 경우는 입체뼈대해석이 된다. 이들 방법은 구조해석의 강성도법에 기준하여 쉽게 전산화할 수 있다.

교량의 동적거동을 해석하기 위하여 구조요소의 강성도, 질량 및 감쇠특성을 모델링하여야 한다. 해석시 사용하는 최소자유도수는 필요한 고유진동수의 개수와 가정된 모드의 정확도를 바탕으로 결정한다. 해석모델과 해석방법의 정확도는 조화있게 고려되어야 한다.

일반적으로 열차나 풍하중으로 인한 진동의 해석은 교량설계에서 고려하지 않고 있다. 열차가 교량을 통과할 때에는 정적인 상태가 아니지만, 교량을 따라서 선로하중을 여러 위치에 정적으로 재하하여 해석하고 동적효과는 이동열차에 의하여 발생한 동적응답에 관한 충격계수를 적용하여 고려한다. 그러나 유연도가 큰 교량이나 교량의 움직임에 의해서 진동이 발생하는 교량의 길고 가는 부재에서는 동적하중효과가 충격계수를 고려한 허용치를 초과할 수 있다. 진동이 문제가 되는 대부분의 교량에서는 구조물 자체의 자연감쇠력은 매우 작은 것으로 알려져 있다. 따라서 유연도가 큰 연속교량은 특히 진동에 취약한 구조적 특성을 가질 수 있으므로 이동 활하중에 대한 동적해석이 필요하게 된다. 또한 내진해석은 [KR C-02040 배진석재]에 따라 적절하게 동적해석을 수행한다.

7.2 해석프로그램

전술한 바와 같이, 최근 컴퓨터의 눈부신 발전과 더불어 유한요소법의 이론에 기초한 응용구조 해석프로그램이 사용자 위주의 편리한 기법으로 개발됨에 따라 많은 설계자들은 전산화 구조해석을 수행하고 있다. 그러나 대부분의 프로그램은 특정한 가정에 기초하여 작성되었기 때문에 각각의 특성이 있으며 설계자들은 이들 특성을 정확히 파악하고 실무에 적용하여야 할 것이다. 예를들어, 유한요소법(finite element method)에 의한 해석의 경우 대상교량의 구조거동에 기초한 구조해석 모델(model)과 사용 요소(element)에 따라 전산화 구조해석의 결과의 신뢰성 여부가 다르게 되므로 주의를 기울여야 한다.



이와 같이 구조물의 거동과 해석 및 설계이론에 대한 확실하고 올바른 이해 없이 단순히 응용프로그램의 기교적인 기법만을 익혀 전산화 구조해석을 수행하는 것은 특별히 주의하여야 한다. 또한 구조모델링 방법이나 입력자료에 대한 올바른 검증은 하여야 하며 고전적인 구조해석법 또는 다른 전산화 구조해석방법 등으로 재검토하여 확인 후 사용하는 것이 바람직하다.

<표 38>에는 현재 전산화 구조해석 및 설계에서 흔히 사용하고 있는 상용화된 응용프로그램의 일부 특징에 대해 간략히 비교하여 나타내었다. 각 응용프로그램은 나름대로의 특성이 있으므로 설계자는 설계하고자 하는 대상교량의 해석 및 설계목적에 따라 각 응용프로그램의 특징에 대한 면밀한 검토를 바탕으로 적절한 프로그램을 이용하여 해석 및 설계를 수행하여야 한다. 또한 일반 설계실무에서 자체적으로 개발하거나 일반적으로 통용되고 있는 소규모 응용 프로그램은 신뢰받을 수 있는 학회나 공인 검증기관을 통해 검증을 수행하는 것이 바람직하며 향후 인증제도를 구축하는 방향으로 추진되어야 할 것이다.

표 38. 구조해석 및 설계 응용프로그램의 개략 비교

프로그램	주요기능	비고
ABAQUS	<ul style="list-style-type: none"> · 선형·비선형 정적해석, 동적해석 · Transient 비선형 동적해석 · 크리프와 건조수축해석, 구조진동해석, 파괴해석 	범용설계지원
ADINA	<ul style="list-style-type: none"> · 2차원, 3차원 선형, 비선형 해석, 접촉문제 해석, 좌굴해석 · 균열진행을 수반한 파괴해석 · 대변형, 대변형을 해석 · 온도를 고려한 탄·소성 및 크리프 해석 	범용
ANSYS	<ul style="list-style-type: none"> · 콘크리트 재료 및 요소의 비선형 해석 · 동적해석, 좌굴해석 및 최적설계 모듈 포함 	범용설계지원
DIANA	<ul style="list-style-type: none"> · 콘크리트 및 암반의 균열해석, RC 및 PSC 구조물의 파괴거동 해석 · 장대교량의 동적 비선형 해석, 교량의 시공단계별 해석 · 항만구조물의 내진 해석 · 콘크리트 수화열에 의한 온도 및 균열분포 해석 · 크리프 및 건조수축 해석, 부작 거동을 고려한 철근 및 텐던모델링 	범용설계지원
GT-STRUDL	<ul style="list-style-type: none"> · 선형, 비선형 해석 · 철골 및 콘크리트 교량구조설계(부재 최적설계, 물량산출) 	범용
LUSAS	<ul style="list-style-type: none"> · 선형, 비선형 해석 · 시간에 따른 응력 및 변위해석, 비선형-동적해석 · 고유치 해석(좌굴해석, 내진·내풍해석), 피로해석(S-N Curve) 	범용
MARC	<ul style="list-style-type: none"> · 비선형 접촉해석, 재료 라이브러리(소성재료, 비금속재료, Polymer 등) · 열응력해석, 진동해석, 콘크리트의 균열해석 	범용
MIDAS	<ul style="list-style-type: none"> · 정·동적해석, P-Delta 해석 · 한국강구조 기준과 AISC(ASD,LRFD)기준에 대한 설계가능 	범용설계지원

표 38. 구조해석 및 설계 응용프로그램의 개략 비교(계속)

프로그램	주요기능	비고
NASTRAN	<ul style="list-style-type: none"> 선형 정적해석, 진동해석, 비선형 해석 공탄성해석(Static aeroelastic, Dynamic aeroelastic, Flutter 해석) Adaptive 해석, 설계최적화 대형구조물 해석 	범용설계지원
NISA	<ul style="list-style-type: none"> 선형·비선형 정적 해석, 동적해석 구조최적설계 	범용설계지원
RM	<ul style="list-style-type: none"> PSC-BOX교량 (FCM, MSS, ILM, FSM공법 등)해석 장대교량 해석 및 강박스교량해석, 시공단계별 해석 단면 물성치 자동계산, 크리프와 건조수축해석 동적해석, 좌굴해석 	교량전용설계지원
SAP2000	<ul style="list-style-type: none"> 하중조합, 이동하중(DB,DL,철도)에 의한 교량해석 비선형 해석(Isolator, Damper, Gap, Hook요소) 미국, 영국, 캐나다, 유럽기준에 따른 RC 및 철골부재 설계 	범용설계지원
SFRAME	<ul style="list-style-type: none"> 시공단계별 PSC세그먼트 해석 	교량전용
TANGO	<ul style="list-style-type: none"> 강교량, 콘크리트교량, 강합성교, 사장교 해석 AASHTO, OHBDC 이동하중 산정, ACI-209, CEB-FIP 기준고려 	교량전용



해설 3. 강합성교 설계일반사항

1. 일반사항

1.1 조사

1.1.1 교량의 조사

- (1) 조사의 기본 방침으로서는 합리적 또는 경제적인 계획, 설계, 시공을 하기 위하여 필요한 조건을 명확히 하는 것으로 구조물의 규모, 중요성 및 가설지점의 상황 등을 충분히 고려한 후, 공학적으로 필요한 정도, 내용을 갖는 것이어야 한다.
- (2) 교량은 계획과 설계, 제작과 가설로부터 유지 또는 보수까지를 포함하는 광범위한 내용으로 되어 있는데, 교량의 계획, 설계, 시공시 잘못된 조사에 의해 공기 및 공사비 등에 차질을 가져오는 경우가 종종 있으므로 사전 조사가 절대적으로 중요하다.

1.1.2 조사내용과 조사목적

- (1) 조사의 내용은 교량의 규모에 따라 다른데, 교량계획에 필요한 조사 내용으로서는 <표 39>에 나타내었다. 조사가 불충분하여 공사단계에 커다란 변경을 하는 일이 없도록 교량의 규모에 맞는 조사계획을 사전에 세우는 일이 필요하다. 특히, 기초의 조사가 불충분하여 커다란 변경을 해야하는 경우가 종종 발생하기 때문에 기초 조사시 보링(boring)의 간격 및 심도는 특히 신중하게 결정할 필요가 있다.

1.1.3 조사의 단계

- (1) 교량을 계획하는데 있어서의 조사는 크게 나누어, 예비조사와 본조사로 나뉘고, 본조사는 구조물의 설치구역을 대상으로, 1차조사, 2차조사와 현지의 진척도에 맞게 나누어진다.
- (2) 계획, 설계, 시공의 각 단계에서의 필요한 조사의 위치선정을 조사계통 흐름도에서 표시하면 <그림 19>과 같다.
- (3) 교량의 계획에서 시공까지 각 단계별로 크게 계획조사, 설계조사, 시공조사를 해야 하며 계획, 설계, 시공의 각 단계에 관련된 조사를 살펴보면 다음과 같다.
- (4) 계획단계
 - ① 교량 가설 위치, 교량 길이, 다리밑 공간과 구조형식 등을 결정하기 위해서 필요한 조사이다.
- (5) 설계단계
 - ① 계획조사의 결과를 바탕으로 결정된 조건 아래서 공사 발주에 필요한 교량의 설계도를 작성하기 위한 조사이다.
- (6) 시공단계
 - ① 상세설계된 결과를 가지고 시공에 앞서 행하는 조사로 설계에 적용된 조건이 현장

에 적합한지를 조사 확인하기 위한 것과 시공상 문제가 될 점들을 공사에 앞서 미리 파악하기 위한 것이 있다.

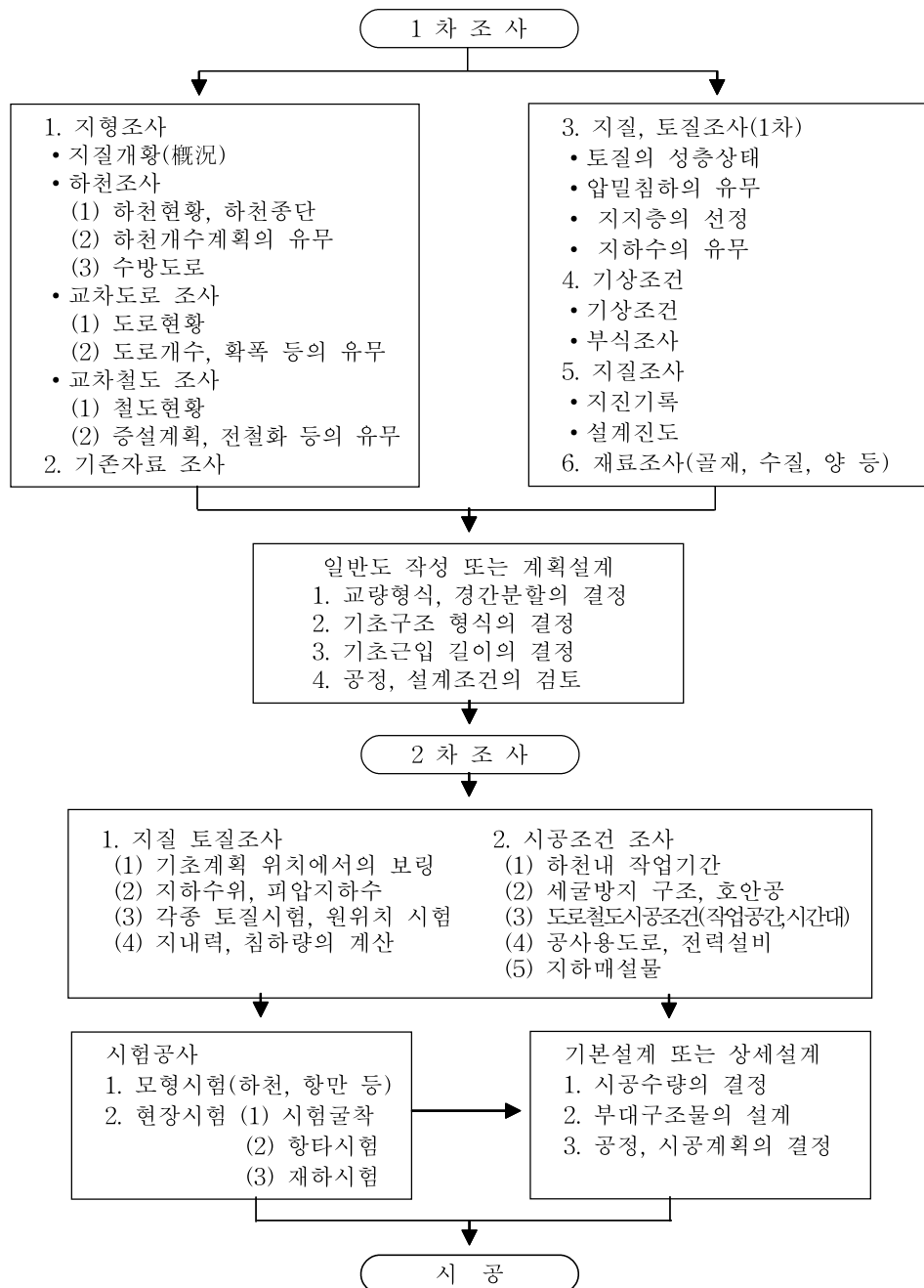
표 39. 조사의 종류

조사종류	조사내용	조사목적
지형조사	<ul style="list-style-type: none"> 지형도 작성 	<ul style="list-style-type: none"> 교량가설위치, 교량길이, 경간분할 결정
지질조사	<ul style="list-style-type: none"> 지질역사, 지질자료 수집 지표지질조사 지질도 작성 물리탐사 	<ul style="list-style-type: none"> 교량 지지층의 지질조건 판단 교량가설위치, 교량길이, 경간분할 결정 하부공 위치선정과 구조계획
교차도로 조사	<ul style="list-style-type: none"> 교차도로, 철도 등의 폭원, 교량높이, 건축한계, 횡단구조, 종단경사 등의 현황 및 장래계획 조사 지하매설물의 조사 교통량 조사 	<ul style="list-style-type: none"> 교량길이, 경간분할, 다리밑 공간, 시공 방법의 선정
하천조사	<ul style="list-style-type: none"> 하천횡단형상 유량, 유속, 고수위, 저수위, 하천경사 등의 형상 및 장래계획 조사 세굴, 조류, 표층모래, 부유물 등의 변화에 대한 조사 항해선박의 조사 	<ul style="list-style-type: none"> 경간분할, 다리밑 공간, 교각형상, 기초, 근입깊이의 선정 시공시기, 시공방법의 선정 가교 또는 가축도 설계 월류방지 소요단면의 결정 경간분할, 교각형상, 시공방법의 결정, 충돌하중의 결정 세굴방지공 계획
바다, 호수, 저수지의 조사	<ul style="list-style-type: none"> 조수위, 파고, 조류조사 항해선박 및 장래계획 조사 	<ul style="list-style-type: none"> 계획고의 선정 수압, 시공시기, 시공방법의 선정 경간분할, 교각형상, 충돌하중의 결정 충돌방지공 계획
토질조사	<ul style="list-style-type: none"> 보링 표준관입시험 공내 물리검층 공내 재하시험 평판 재하시험 물성시험 일축 압축시험 삼축 압축시험 압밀시험 	<ul style="list-style-type: none"> 하부공의 설계 지지층 판단 지지력, 침하 검토 기초형식 선정 지반반력 계수 말뚝기초의 경우 부마찰력 검토



표 39. 조사의 종류(계속)

조사종류	조사내용	조사목적
지진조사	<ul style="list-style-type: none"> · 지진기록, 지진피해 기록의 조사 · 지반상시 미진동측정 · 지진기반의 확인 	<ul style="list-style-type: none"> · 설계진도의 결정 · 내진, 구조형식 선정
기상조사	<ul style="list-style-type: none"> · 기상관측 기록의 조사 (풍속, 온도, 강설, 천후) 	<ul style="list-style-type: none"> · 온도변화의 결정, · 풍하중, 설하중의 결정 · 피복두께의 선정, 재료의 선정 · 시공시기 및 방법의 선정
교량 부착첨가물 조사	<ul style="list-style-type: none"> · 교량위치의 기설 지하매설물조사 · 상수도, 하수도, 가스, 전력, 통신선 등의 신설계획 조사 	<ul style="list-style-type: none"> · 부착첨가물의 제원, 중량의 결정
부식조사	<ul style="list-style-type: none"> · 기존구조물의 부식상황 조사 · 유기물 조사, pH조사 · 도료에 대한 시험 	<ul style="list-style-type: none"> · 사용재료의 선정 · 방청방법의 결정
재료조사	<ul style="list-style-type: none"> · 콘크리트용 골재 및 물의 품질과 물량조사 	<ul style="list-style-type: none"> · 재료의 선정 및 적산
시공조사	<ul style="list-style-type: none"> · 재료운반로의 현황조사 · 제작장, 조립장의 현황조사 · 주변건물의 조사 · 양식장 축산농가의 조사 · 사적, 문화재 등의 유무 	<ul style="list-style-type: none"> · 교량형식의 결정 · 운반될 최대부재의 결정 · 공사용 도로계획 · 타공사와의 관련 · 교차물(도로, 철도, 하천)에 의한 제약조건 · 제작장, 조립장 위치 선정 · 시공중 소음, 진동 등의 주변 영향 파악 · 환경보존 대책수립
주변환경 조사	<ul style="list-style-type: none"> · 교량의 조망권 조사 · 생태환경 보호구역 유무조사 · 교량주변의 지형조사 · 교량주변의 문화적, 역사적 유적지 유무조사 · 주변개발계획 조사 	<ul style="list-style-type: none"> · 교량의 경관설계 · 교량형식 및 시공방법의 선정
지역특성 조사	<ul style="list-style-type: none"> · 비행 고도한계(항공장애) 유무 조사 · 군작전지역 유무 조사 	<ul style="list-style-type: none"> · 교량형식 및 시공방법의 선정 · 교량 계획고의 결정 · 설계하중의 결정 · 거부시설의 유무 결정



주) 지형, 지질의 변화가 심한 가교지점 및 기초의 규모가 대단히 큰 경우에 대해서는
 1/3상당수의 보링을 실시하고, 지층의 넓이, 흐름등을 명확히 할 필요가 있음.

그림 19. 조사계통 흐름도

1.1.4 시험

- (1) 지반을 구성하는 흙은 다른 토목재료에 비해서 아주 복잡하므로 본조사를 실시할 때에는 하부구조의 형식이나 규모 등에 따라 적절한 시험방법을 선택하지 않으면 안 된다. 본조사에서 시행되는 시험방법과 대상지반에서 구해지는 사항과의 관계는 <표 40>와 같다.



표 40. 조사방법과 조사사항과의 관계

시험 방법	시험방법의 분류	대상지반의 종류	시료의 호트러짐(○) 않호트러짐(×)	조사 위치	조사 사항
1.보링	1)로타리보링 2)오가보링 3)왓슈보링	모든지반 점성토,사질토 연약점성토, 연약사질토		원위치 원위치 원위치	토질, 층두께, 심도,지하수위
2.샘플링	1)코아튜브 2)고정피스톤식 신월샘플러 3)테니손샘플러 4)샌드샘플러 5)호일샘플러 6)삼중관식 샘플러 7)블록샘플링	모든지반 연약점성토, 사질토 경질점성토 사질토 연약점성토 사질토 점성토, 암	(○) (×) (×) (×) (×) (×) (×)	원위치 원위치 원위치 원위치 원위치 원위치 원위치	시료채취, RQD(암) 시료채취 시료채취 시료채취 시료채취 시료채취 시료채취
3.사운딩	1)표준관입시험 2)베인전단시험 3)정적 콘 관입 시험 4)스웨덴식 샘플링	사질토,점성토 연약점성토 연약점성토, 사질토 사질토,점성토		원위치 원위치 원위치 원위치	N치, 시료채취 전단강도 콘 지지력 관입저항치
4. 토질 및 암석시험	1)물리특성시험 2)일축압축시험 3)삼축압축시험 4)직접전단시험 5)압밀시험 6)초음파 전파시험 7)크리프시험 8)침수붕괴도 시험	모든지반 점성토, 암 모든지반 사질토,점성토 점성토 암 암 암	(○) (×) (×) (×) (×) (×) (×) (×)	실내 실내 실내 실내 실내 실내 실내 실내	입도, 컨시스턴 시, 밀도, 함수비 일축압축강도, 변형계수 점착력, 전단저 항각, 변형계수 전단저항각,변형 계수 압축지수, 압밀 계수, 압밀항복응력 초음파 전파속도 크리프계수 침수 붕괴도

표 40. 조사방법과 조사사항과의 관계(계속)

시험 방법	조사방법의 분류	대상지반의 종류	시료의 호트러짐(○) 않호트러짐(×)	조사 위치	조사 사항
5. 지하수 조사	1)지하수위측정	모든지반		원위치	지하수위
	2)간극수압측정	모든지반		원위치	간극수압
	3)유향,유속측정	모든지반			유향, 유속
	4)투수시험	모든지반		원위치 실내	투수계수
	5)호일 샘플러	연약점성토	(×)	원위치	시료채취
	6)삼중관식 샘플러	사질토	(×)	원위치	시료채취
	7)블록샘플링	점성토, 암	(×)	원위치	시료채취

표 40. 조사방법과 조사사항과의 관계(계속)

시험 방법	시험방법의 분류	대상지반의 종류	시료의 호트러짐(○) 않호트러짐(×)	조사 위치	조사 사항
6. 재하 시험	1)지반의 평판 재하시험	모든지반		원위치	연직지지력, 지반반력계수
	2)공내수평 재하시험	모든지반		원위치	변형계수
	3)말뚝의 연직 재하시험	모든지반		원위치	연직지지력, 말뚝의 축방향 스프링 정수
	4)말뚝의 수평 재하시험	모든지반		원위치	지반반력계수
	5)말뚝의 인발	모든지반		원위치	인발 저항력
	6)블록전단시험	암		원위치	점착력, 전단저항각
7. 물리탐사 및 물리검층	1)탄성과 탐사	모든지반		원위치	탄성파속도, 지질구조
	2)음파 탐사	모든지반		원위치	탄성파속도, 지질구조
	3)전기 탐사	모든지반		원위치	지질구조, 지하수위
	4)속도 검층	모든지반		원위치	탄성파속도, 지질구조
	5)PS 검층	모든지반		원위치	탄성파속도, 지질구조
	6)전기 검층	모든지반		원위치	지하수위, 지질구조
	7)밀도 검층	모든지반		원위치	밀도, 지질구조



1.1.5 물리탐사 및 물리검층

- (1) 물리탐사 및 물리 검층 중 주로 쓰이는 것을 <표 41>에 요약하였다. 이들의 탐사 및 검층으로 측정되는 각종 물리량은 지반의 역학적, 공학적 성질을 그대로 나타낸 것이 아니고 어디까지나 전체의 지반 상태를 나타내는 것임을 인식하고 조사를 병용해서 그의 해석에 틀림이 없도록 함이 대단히 중요하다.

표 41. 물리탐사 및 물리검층 방법

구 분	측정방법	측정항목	조사사항
물리탐사법 (지표탐사법)	탄성과 탐사	탄성과 속도	지질구조, 기초의 깊이, 지반의 상대적 (硬軟)
	음파 탐사	음향 임피던스	해저지형, 지질구조
	전기 탐사	자연전위, 방사능	지질구조, 지하수위
	기 타	자기량, 방사능	
물리검층법 (공내탐사법)	속도 검층	P파 속도	지층구성, 지반의 상대적경도
	PS 검층	P파 속도, S파 속도	지층구성, 지반의 동적 성질, 지반의 상대적 경연
	전기 검층	자연전위, 비저항	지층구성, 대수층
	밀도 검층	γ 선 강도	지층구성, 밀도
	기 타	열중성자, 수온	함수비, 지하수의 용출

1.2 계획

1.2.1 교량계획의 기본사항

- (1) 교량계획시에는 노선의 선형과 지형, 지질, 기상, 교차물 등의 외부적인 제조건, 시공성, 유지관리, 경제성 및 환경과의 미적인 조화를 고려하여 가설위치 및 교량의 형식을 선정하여야 하며, 다음 각 요건을 종합적으로 고려하여 결정해야 한다.
- (2) 가설위치와 노선 선형
- (3) 외적 제반조건
- (4) 구조적 안전성과 경제성
- (5) 주행 안전성과 쾌적성
- (6) 시공성과 유지관리성
- (7) 표준화 및 미관
- (8) 지역주민의 의견

1.2.2 교량형식 선정

- (1) 교량형식을 선정하기 위한 기본방향은 교량의 가설 목적 및 기능을 만족하면서 생애 주기비용이 최소가 되도록 하고, 시공성이 우수하며 유지관리가 용이하고, 주변 환경과 조화를 이룰 수 있는 교량의 상부구조 및 하부구조 형식을 선정하는 것이며, 철

도교 목적에 부합되는 안전한 구조가 되도록 하여야 한다. 교량은 다음과 같은 형식으로 선정한다.

- (2) 교량의 가설목적(기능)에 부합하는 형식(교량길이, 지간, 교대, 교각의 위치와 방향, 다리밑 공간 확보에 적합한 형식)
- (3) 안전성과 시공성이 우수하고 계획된 철도선형에 적합한 형식
- (4) 구조상 안전해야 함은 물론 열차의 주행성 및 운행안전성을 확보할 수 있는 형식
- (5) 생애주기비용이 최소화될 수 있는 형식
- (6) 공사비가 유사할 경우에는 시공성과 조형미, 경관미가 유리한 형식
- (7) 열차 주행의 안정성 및 쾌적성을 좋게 하려면 구조적으로 상로교 형식이 좋고, 특히 도시내에 가설되는 교량은 구조물 자체도 심플한 느낌을 주는 형식이 좋으며 주위의 경관과 균형을 이루는 것도 중요하다.

1.2.3 경간 분할

교량의 형식별로 표준적용지간, 거더높이비(거더높이/지간)는 설계조건에 따라 다르지만, 다음과 같은 사항을 고려하여 경간을 분할한다.

- (1) 철도교는 교량상에 레일이 부설되는 구조이므로 레일과 구조물과의 관계를 고려하여 장대레일의 적용성을 감안한 경간계획을 수립하여야 한다.
- (2) 미관을 고려한 경간 분할
 - ① 연속교는 중앙 경간을 측경간 보다 크게 분할하면 안정감이 크게 됨
 - ② 3경간일 때는 경간의 개략적 비율이 3:5:3, 4경간일 때는 3:4:4:3 이 많이 채택됨
 - ③ 교장이 길고 지형이 평탄할 때는 등경간이 좋음
 - ④ 접속교량과의 연결은 경간이 점점 변하여 조화되도록 분할
 - ⑤ 미관을 고려하여 연속교로 계획할 경우 상부 레일과의 관계를 고려하여 구조검토를 하여야 함
- (3) 하천 통과 구간의 경간 분할
 - ① 유속이 급변하거나 하상이 급변하는 지역에는 교각을 두지 않음
 - ② 저수로 지역에서는 경간을 크게 분할
 - ③ 하천 단면을 줄이지 않도록 하고 교각설치로 인한 수위 상승과 배수를 검토
 - ④ 하천 협소부에서는 교각수를 줄임
 - ⑤ 유로가 일정하지 않은 하천에서는 가급적 장경간 선택
 - ⑥ 동일하천에 교량이 평행할 때는 경간분할을 같게 하거나 하나씩 건너뛰는 형식
 - ⑦ 유목, 유빙이 많은 하천에서는 교각수를 줄이고 이들이 걸리지 않는 구조로 함
- (4) 경제성을 고려한 경간 분할
 - ① 상부구조와 하부구조의 단위길이당 건설비가 같거나 상부구조 공사비가 하부구조보다 약간 클 때 최적



② 기초지반이 불량할 때 장경간이 유리, 기초지반이 양호할 때 단경간이 유리

③ 하저지반이 불균일할 때는 각 구간별로 나누어 경제성을 검토한 후 경간을 분할함

1.2.4 상부구조 형식선정

(1) 교량의 상부구조 형식을 선정할 때에는 경제성, 안전성, 시공성이 좋고 주변경관과 조화된 구조물이어야 하므로 다음 조건을 종합적으로 고려하여 결정하여야 한다.

(2) 구조적 측면

① 교량가설 최적위치 선정

② 교량의 외적 제요건 만족

③ 구조상 안전성 및 경제성

④ 레일 체결에 따른 상부 구조물의 영향

⑤ 시공의 확실성, 용이성 및 공기 고려

⑥ 구조물의 표준화 도모

⑦ 단순하고 저렴한 유지보수

(3) 미적 측면

① 주변 경관 및 구조물과의 조화

② 구조의 형식미

1.2.5 하부구조(교대 및 교각) 형식선정

(1) 하부구조 형식은 상부구조 형식의 특징, 상부공의 가설공법 등 상부구조계획과 서로 연관시켜 구조적 안전성, 경제성, 교량 입지조건에 따른 시공의 안전성 및 간편성, 교량미관 및 유지관리 측면 등을 고려하여 하부구조 형식을 선정하여야 한다.

1.2.6 기초구조 형식선정

(1) 교량하부구조의 기초형식 선정은 기초지반의 지질조건, 수심, 유속, 상부구조형식 등과 아래의 중점사항을 고려하여 선정하여야 한다.

① 하천변 지반여건

② 수상구간에서의 시공성

③ 구조적인 안전성 확보

④ 지진 및 온도변화에 의한 수평력 저항

⑤ 세굴의 영향

⑥ 유수저항계수가 작은 단면 선택

⑦ 측방유동에 관한 검토

(2) 하부 구조물 설치에 따른 수위상승의 영향을 검토하여야 한다.

1.2.7 곡선교량의 구조계획 기준

철도교의 계획시 곡선교 경우는 철도교의 특성을 반영하고 다음과 같은 사항을 특히 고려하여 계획하여야 한다.

(1) 일반사항

- ① 지간 중앙에서 궤도중심을 교축선보다 곡선 외측으로 이동시키는 거리는, 교형의 길이를 현으로 하는 곡선궤도 중심선이 만드는 원호와 현 사이의 최대 거리의 단선의 경우 $e/6$, 복선인 경우 $e/2$ 을 표준으로 한다.

가. 곡선궤도와 교형의 위치관계는 2개의 주형이 있는 단선용 T형 거더 및 단선용 1실박스 거더의 경우, 내궤측 혹은 외궤측 주형 또는 복부가 받는 지간 중앙의 휨모멘트는, 곡선궤도에서 설정하는 캔트의 영향을 고려하지 않으면, 다음 식과 같다.

$$M(\text{외궤측}) = \frac{wl^2}{16} \left(1 + \frac{2c}{\lambda} - \frac{e}{3\lambda} \right) \quad (38)$$

$$M(\text{내궤측}) = \frac{wl^2}{16} \left(1 - \frac{2c}{\lambda} + \frac{e}{3\lambda} \right) \quad (39)$$

따라서, $c = e/6$ 일 때, 내궤측 및 외궤측의 주형 또는 복부가 받는 지간 중앙의 휨모멘트가 같은 값으로 된다. 따라서, 이론적으로는 궤도 중심을 교축선으로부터 곡선 바깥쪽으로 옮기는 거리는 지간 중앙에 있어서 교형의 전단중심을 포함하는 수평면에서, 교형 길이를 현으로 하는 곡선 궤도중심선이 만드는 원호와 현 사이의 최대거리 c 는 $e/6$, 또는 $e/2$ 로 한다.

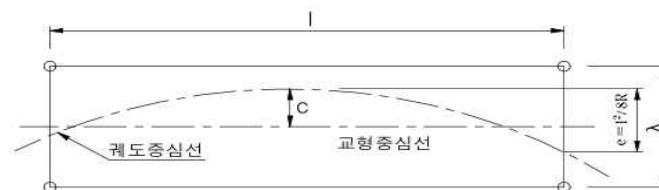


그림 20. 곡선궤도와 주형의 위치관계

나. 그러나, 이값은 교형이 궤도 직각방향의 단면에 대칭이고, 곡선궤도를 부설하는 경우의 캔트의 영향을 고려하지 않은 것이어서 대략의 값을 나타내므로 엄밀한 값을 필요로 하는 경우에는 적용하지 말아야 한다.

(2) 주형의 분담하중 및 비틀림 모멘트

주형의 분담하중 및 비틀림 모멘트는 교형에 작용하는 하중의 합력의 연직성분이 다음의 위치에 작용하는 것으로 하여 구한다.

가. T형 거더의 경우에는 합력이 슬래브의 상면과 교차하는 위치

나. 슬래브 거더 및 박스 거더의 경우에는 합력이 교형의 도심을 포함하는 수평면과 교차하는 위치

(3) 받침, 스토퍼, 교좌 및 주형단부의 설계에 사용하는 지점반력

- ① 받침, 스토퍼, 교좌 및 주형단부의 설계에 사용하는 지점반력은 교형에 작용하는 하중을 기본으로 하여 정하도록 한다.



② 원심하중의 취급은 다음을 따른다.

가. 원심하중에 의한 수평 지점반력은 다음과 같이 구한다.

$$Q = \frac{1}{3} \times H \quad (40)$$

여기서, Q : 수평지점 반력(kN)

$H = \alpha W$: 원심하중(kN)

α : 3.5로 결정한 원심하중 계수

W : 교형의 전길이에 재하한 열차의 중량(kN)

나. 열차하중 및 원심하중에 의한 연직지점 반력은 <그림 21>을 참조하여 다음과 같이 구한다.

$$R_1 = \frac{d - [f - (\delta + e_c)]}{2d} P - \frac{h_v}{2d} H \quad (41)$$

$$R_2 = \frac{f - (\delta + e_c)}{2d} P + \frac{h_v}{2d} H \quad (42)$$

여기서, R_1 : 곡선 내측의 연직 지점반력(kN)

R_2 : 곡선 외측의 연직 지점반력(kN)

f : 궤도 중심선 원호의 중심점으로부터 곡선 안쪽의 2지점을 연결한 선까지의 거리(mm)

h_v : 교좌면부터 차량중심까지의 높이(mm)

δ : 차량 중심이 캔트에 의해 궤도중심으로부터 이동한 거리 (mm)

e_c : 차량 중심선이 교형의 길이로 잘려진 곡선의 도심과 차량 중심선 원호의 중심점과의 거리(mm)

d : 주형의 중심간격(mm)

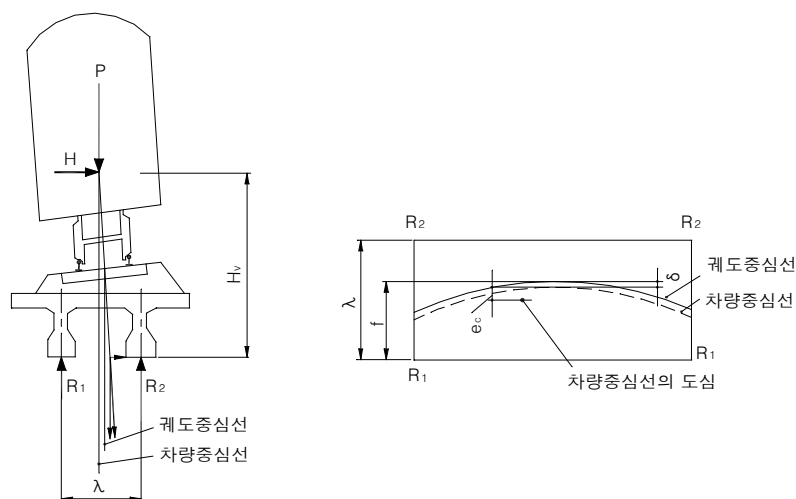


그림 21. 연직지점반력

1.2.8 교량의 구조시설 기준

철도교의 폭원구성, 시설한계, 선형 등의 구조규격은 원칙적으로 「철도건설규칙」에 따라 설계하여야 한다. 교량의 설계에 있어서는 건축한계, 다리밑 공간(거더밑 공간)에 대한 한계 등은 해당규정에 정한 바에 따라 설계해야 한다. 교량설계시 규정 등에 정한 건축한계외에 다리밑 공간에 대한 한계, 교측보도 설치 등에 대한 한계 등 각종 한계를 고려하여야 한다.

(1) 건축한계

건축한계 내에서는 건물, 기타 건조물을 설치하지 못한다. 다만, 가공전차선 및 그 현수장치와 작업상 필요한 일시적 시설로서 열차 및 차량운전에 지장이 없는 경우에는 그러하지 않는다. 직선 선로구간 건축한계는 <그림 22>에 따른다. 한편, 전기동차 전용선인 경우에는 <표 42>을 따른다. 다만, 도시철도와 연결 되는 경우에는 연계성을 고려하여 이에 맞도록 하여야 한다.

표 42. 전기동차 전용선의 건축한계 및 구축한계 (단위 : mm)

항목	구간별		폭	높이	비 고
건축한계	지상 · 고가		3,600	5,300	높이 : RL기준
	지하		3,600	4,800	
구축한계	지상 · 고가		3,600	5,800	
	지하	단선	4,700	4,850	폭 : 중앙기둥제외
		복선	4,100	4,850	

곡선 선로구간 건축한계의 폭은 직선구간 건축한계에서 식 (43)에 의하여 산출한 치수 이상을 확보하여야 한다. 다만 가공전차선과 그 현수장치를 제외한 상부의 한계는 그러하지 않는다.

$$W = \frac{50,000}{R} \quad (\text{전기동차 전용선인 경우 } \frac{24,000}{R}) \quad (43)$$

여기서, W : 궤도중심의 각 측으로 확대할 치수(mm)

R : 선로 곡선반경(m)

위의 규정에 의한 확대치수는 완화곡선구간에서 이를 체감하여야 한다. 완화곡선이 없는 경우에는 원곡선 시·종점에 접속한 직선구간 26m 이상의 길이에서 이를 체감하여야 한다. 또, 곡선구간 건축한계는 캔트에 따라 경사된 건축한계로 하여야 한다. 철도를 횡단하는 시설물이 설치되는 구간의 건축한계의 높이는 전차선 가설높이에 지장이 없도록 건축한계의 높이를 일반철도는 RL에서 7,010mm 이상, 고속철도는 RL에서 8,050mm 이상 확보하여야 한다. 다만, 기존선 개량 등 부득이한 경우에는 승인을 받아 전차선 가설에 지장이 없는 범위로 축소할 수 있다.

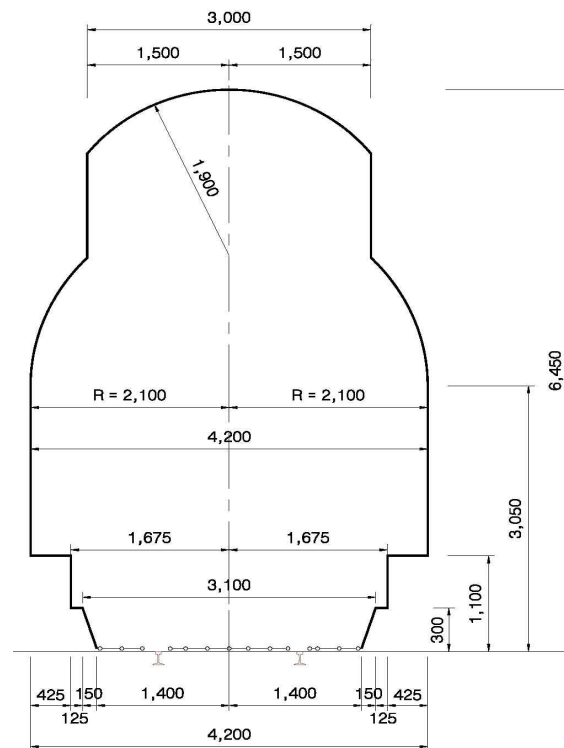


그림 22. 건축한계

(2) 다리밑 공간

다리밑 공간은 교량 밑의 교차조건에 필요한 공간과 유지관리에 필요한 공간을 관련시설 및 설계기준에 따라 합리적으로 정해야 한다.

도로 횡단시에는 도로횡단 시설한계(도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 제18조)의 통과높이 H는 4.5m로 한다. 동계 적설에 의한 한계높이의 감소 또는 포장 덧씌우기 등이 예상되는 경우를 고려하여 5.0m 이상으로 하는것이 바람직하다. 다만, 부득이한 경우에는 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙에 따라 축소할 수 있다.

도로횡단 철도구조물이 규정된 다리밑 공간을 확보한 경우에도 적재높이 제한 위반 차량으로 인한 충격이나 파손이 우려되는 개소는 차량통과 한계틀을 설치하여야 한다.

도로횡단 구조물의 다리밑 공간이 4.5m 이하의 개소에는 차량통과 한계틀 및 차높이 제한표지 설치를 원칙으로 하되 전후 고가도로 또는 보도육교 등 현지여건을 감안하여 설치여부 결정하여야 한다.

① 차량통과한계틀 설치위치

교 량 : 전방 20~50m부근에 지형여건 감안 설치

통로박스 : 전방 5~15m부근에 지형여건 감안 설치

② 차량통과한계틀 설치높이는 구조물의 실제 통과높이보다 0.1m 낮게 설치한다.

③ 차높이 제한표지에는 차량통과한계틀 설치높이 보다 0.2m 낮게 표기 한다.

④ 차높이 제한표지는 도로교통법의 관련규정을 준용해야 한다.

하천의 다리밑 공간은 교량 밑의 통행에 사용되는 공간 또는 교량 밑에서 수위(水位)까지의 공간높이를 말하며, 배가 지나다니는 수로 위의 공간높이는 <표 43>와 같다. 교량 계획 시 조사한 계획 홍수위가 주거터 밑에 있도록 계획하여야 한다. 선박의 운항이 없는 하천의 경우에는 하천설계 기준의 계획홍수량에 따른 여유고를 고려하여 다리밑 공간은 <표 44> 이상으로 한다. 다리밑 공간은 하천 홍수위로부터 교각이나 교대 중 가장 낮은 위치의 받침하면까지의 높이를 말하며, 라멘교의 경우에는 현치 하단까지의 높이를 말한다.

표 43. 통과선박에 따른 다리밑공간

통과선박	다리밑 공간(m) (최고수면에서)
범선 또는 소기선	30
대기선 군함	45~60
소중기선	4.5
폰툰, 바지선	3.0

표 44. 계획홍수량에 따른 다리밑 공간

계획홍수량(m ³ /sec)	다리밑 공간(m)
200 미만	0.6 이상
200 이상~500 미만	0.8 이상
500 이상~2,000 미만	1.0 이상
2,000 이상~5,000 미만	1.2 이상
5,000 이상~10,000 미만	1.5 이상
10,000 이상	2.0 이상

※ 다리밑 공간은 하천 홍수위로부터 교각이나 교대 중 가장 낮은 위치의 받침하면까지의 높이를 말하며, 라멘교의 경우에는 현치 하단까지의 높이를 말한다.

1.2.9 환경 및 미관의 고려

(1) 환경

교량형식 선정시에는 다음 사항에 대해 가교지점이 주위 환경에 미치는 영향을 충분히 검토한 후 형식을 결정하여야 한다.

- ① 공사중 진동, 소음, 수질오염 등의 영향
- ② 완성후 교량이 주위환경에 미치는 소음, 진동 및 수리적 변동 등의 영향
- ③ 자연과 어우러진 환경친화성 여부

(2) 미관

교량을 계획, 설계할 경우에는 가설지점의 의미와 아름다움을 나타낼 수 있는 형태



를 검토하며, 구조물과 주위경관과의 조화, 구조물의 형태 및 규모, 구조물의 질감 및 색채를 고려하는 것이 바람직하다. 이를 위한 교량의 미관설계 과정은 <그림 23>와 같다.

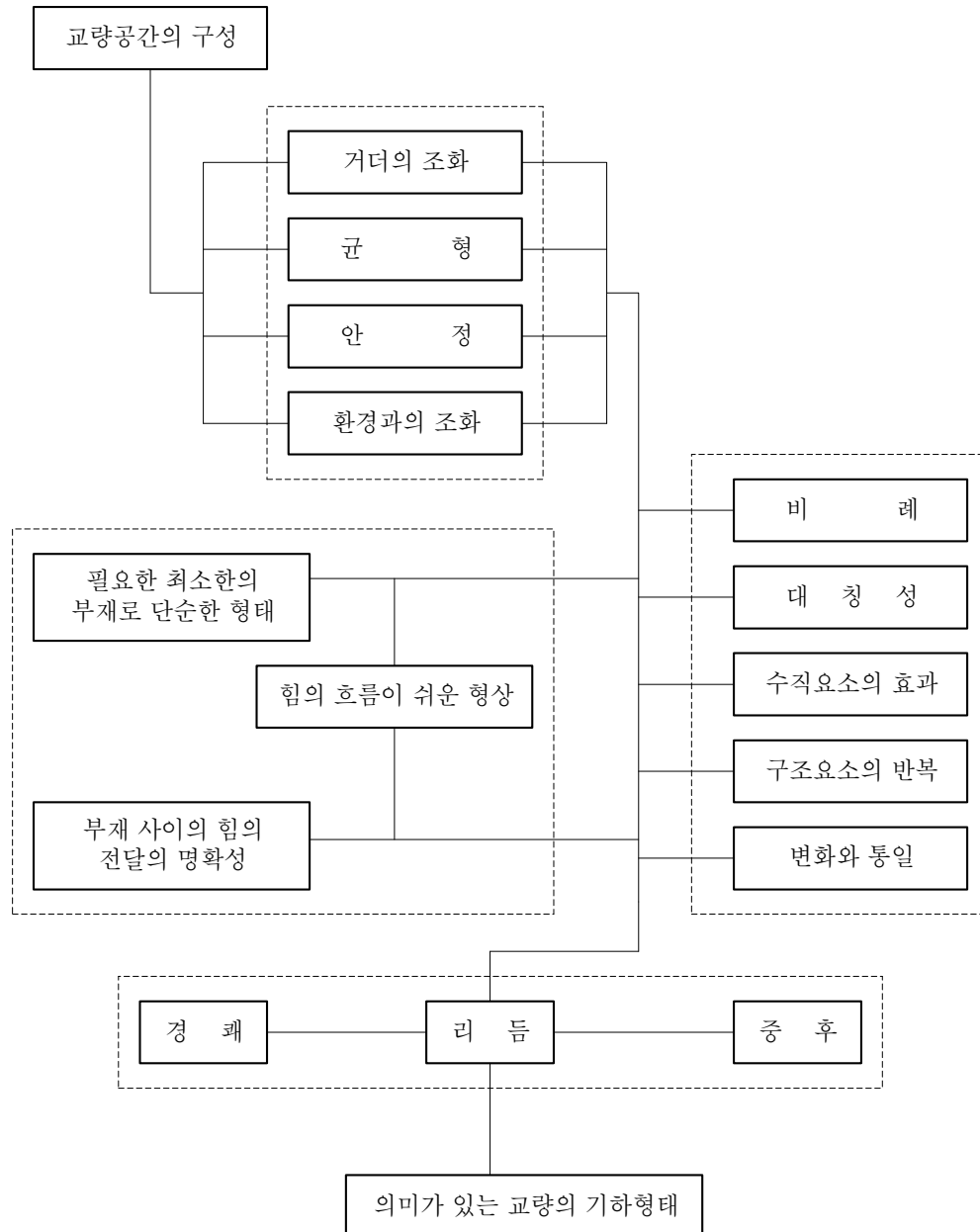


그림 23. 교량의 미관설계 과정

1.3 강철도교의 종류

강철도교의 종류는 철도교의 특성에 따라 구조형식 및 레일의 위치에 따라 다음과 같이 분류할 수 있다.

1.3.1 구조형식에 의한 분류

강철도교는 구조형식에 따라 판형교, 트러스교, 아치교 및 현수교로 분류된다. 교량

의 형식 결정시 교량의 목적, 가설위치 및 주변환경에 따라 적절한 구조형식을 선정하여야 한다. 철도교에는 열차하중에 의한 상당히 큰 진동의 영향을 받으므로 장시간으로 구성되는 트러스, 아치 및 현수교의 적용은 신중하게 판단하여야 한다.

(1) 판형교

판형교는 <그림 24>에 표시한 바와 같이 주부재를 보(beam)로 사용한 것이며, 부재의 휨과 전단저항을 이용한 교량 형식이다. 판형교는 이러한 휨과 전단저항에 대해서 효율이 좋은 I형이나 상자형 단면을 이용한다. 일반적으로 판형교는 거더를 여러 개 병렬시킨후 가로보를 이용하여 격자형식으로 조립한다. 본 편람에서는 편의상 I형 단면의 판형교를 플레이트거더교, 상자형 단면의 판형교를 박스거더교라 칭한다.

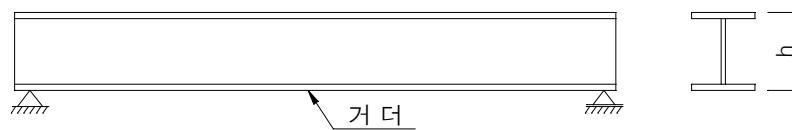


그림 24. 판형교

(2) 트러스교

주형의 지간이 길게 되면 휨이나 전단에 저항하지 못하는 한계가 오게 된다. 따라서 비교적 짧고 가느다란 부재를 삼각형 형상으로 조립하여 지간이 긴 교량에 적용할 수 있도록 고안한 것이 트러스교이다(<그림 25> 참조). 이러한 트러스의 경우 휨모멘트와 전단력은 부재의 압축력과 인장력으로 저항하게 된다. 트러스교는 레일의 위치에 따라 상로 및 하로 트러스교로 구분된다.

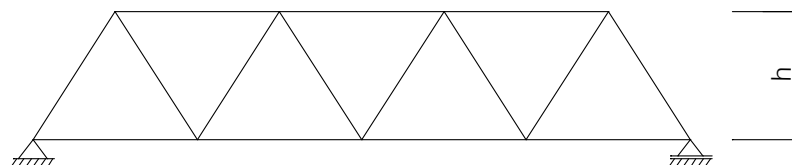


그림 25. 트러스교

(3) 아치교

아치는 <그림 26>과 같이 거더나 트러스를 위쪽으로 솟게 하여 양쪽 끝을 견고한 기초로 지지하는 구조이다. 아치형식은 기본적으로 2힌지 아치, 3힌지 아치 및 고정 아치가 있다. 어느 형식이라도 아치의 축선을 압력선과 일치시키면, 자중에 의한 휨의 작용이 전혀 발생하지 않고 압축력만 발생되도록 하는 구조로 할 수 있다. 아치리브를 바닥틀에 매달거나 지지하게 하여 하중에 의한 압축력과 휨을 저항하도록 한다. 아치교는 레일의 위치에 따라 하로, 중로 및 상로 아치교로 구분된다.

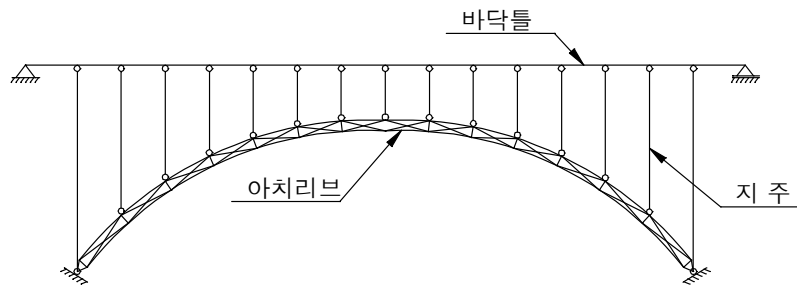


그림 26. 아치교

(4) 사장교

사장교는 연속거더교의 지간을 늘려 장지간화 하기 위하여 고안된 것으로, <그림 27>과 같이 중간지점 부분에 세운 주탑에 케이블을 걸쳐서 주형을 지지하는 구조이다. 철도교에 적용을 고려할 경우 진동 등의 영향을 면밀히 검토하여 적용하여야 한다.

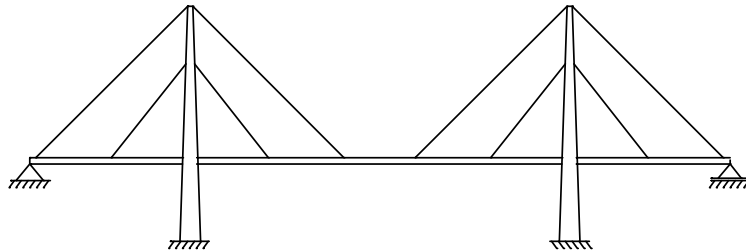


그림 27. 사장교

(5) 현수교

현수교는 <그림 28>과 같이 양단의 고정점과 주탑 사이에 케이블을 걸고 행어에 의해 보강거더를 매달아 하중을 지지하게 하는 구조이다. 케이블 축선의 형상은 아치와 유사하지만 케이블 축선에 인장력이 작용하는 점이 아치와 다르다. 아치교와 같이 압축력에 의한 부재의 좌굴이 발생될 우려가 없으므로 고장력의 케이블이 주부재가 된다. 다만, 현수교는 행어에 의해 지지되는 구조이므로 진동의 영향에 취약할 수 있다. 따라서, 철도교에 현수교를 적용할 경우, 열차의 이동하중에 의해 발생하는 상당히 큰 진동의 영향을 면밀히 고려하여야 한다.

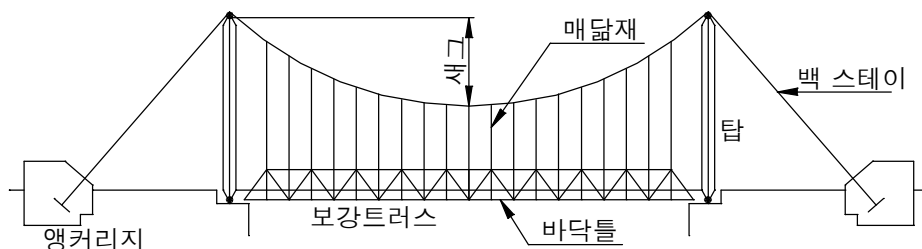


그림 28. 현수교

1.3.2 레일의 위치에 의한 분류

강철도교는 주거더에 대한 레일의 위치에 따라 상로식, 하로식 및 중로식으로 분류된다. 각각의 형식은 교량의 목적, 가설위치 및 주변환경에 따라 적절한 형식을 선정하여야 한다.

(1) 상로식(Deck type)

주거더의 상부에 궤도가 위치한다.

(2) 중로식(Half-through type)

바닥틀이 중간에 위치하게 되는 구조이며, 구조적으로는 본질적으로 하로식과 비슷하게 된다.

(3) 하로식(Through type)

바닥틀이 궤도를 지지하고, 이 바닥틀을 좌우의 주거더로 구속하는 형식으로 상로식보다 구조는 복잡하고 레일면과 주거더 최하단과의 거리가 짧게 된다.

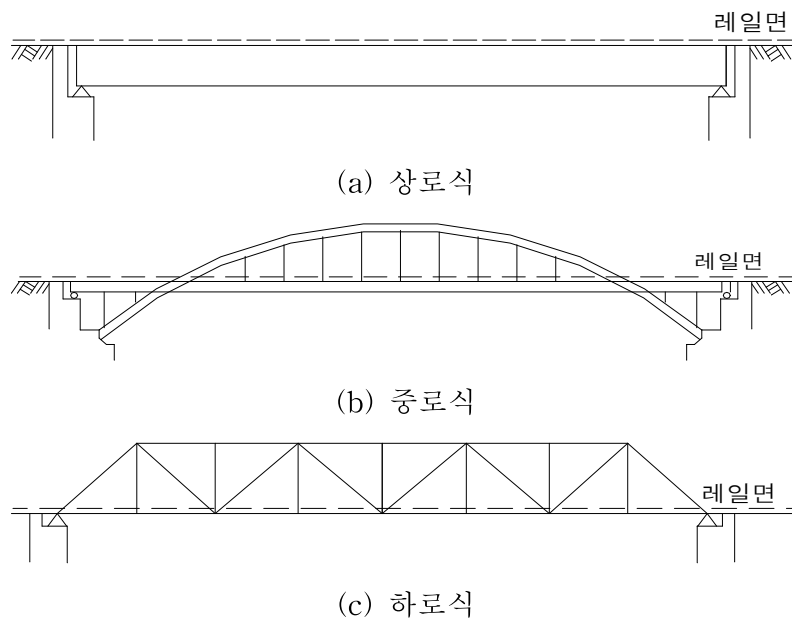


그림 29. 레일위치에 따른 강철도교 분류



해설 4. 상부 구조형식에 의한 분류

1. 슬래브교

슬래브교는 상부구조의 두께에 비하여 폭과 길이가 크고 상대되는 2변이 자유스런 직사각형 판을 주구조로한 교량이다. 단순지지 RC슬래브교는 보통 10m 이하의 짧은 지간에 대해서는 1방향 슬래브교가 경제적이다. 단순지지 속 빈 RC슬래브교는 15m 정도 지간에 사용되며, 경우에 따라 직사각형 모양의 속 빈 슬래브교를 사용하기도 한다. 반면에 연속지지 속 빈 RC슬래브교에서는 지간길이를 최대 25m 정도까지 가설할 수 있다.

단순지지 PSC슬래브교는 15m 정도 지간, 연속지지 PSC슬래브교는 최대 25m 지간장까지 설계가 가능하여 속 빈 RC슬래브교의 적용 지간장과 유사하다.

슬래브교의 특징은 다음과 같다.

- (1) 단면특성상 균열안전율이 비교적 크다.
- (2) 장경간에서는 고정하중이 증가하여 불리하며 지간장 15 m 정도에서 널리 사용된다.
- (3) 상부구조물의 두께를 줄일 수 있으므로 형고의 제약을 받는 곳에서 유리하다.
- (4) 거푸집이 간단하고 콘크리트 타설시 수평이음을 두지 않고 마무리할 수 있으므로 시공이 비교적 용이하고 확실하다.

2. 라멘교

부재의 절점들이 강결되어 있는 뼈대 구조물을 라멘구조라고 하는데 구조형식상 구분으로 거더교형식과 기둥이 일체화된 구조를 포함할 수 있으나 본 절에서는 수평 슬래브 부재와 수직부재(벽체)가 강결되어 있는 RC라멘구조를 위주로 기술한다.

RC라멘교는 구조물의 절점 부위가 철근으로 연속되어 있고 콘크리트도 연속 타설되기 때문에 일체화된 구조로 된다. 따라서 RC라멘교에서는 하중이 어느 한 부재에만 작용하더라도 다른 부재에 변형과 응력이 발생하게 된다.

RC라멘교의 특징은 다음과 같다.

- (1) 상하부구조가 일체로 가설되기 때문에 일반적으로 신축이음과 받침이 불필요하고, 유지관리가 용이하다. 반면에 수직부재(벽체)에 작용하는 토압과 수압이 상부구조에 전달된다.
- (2) 수평부재에 작용하는 휨모멘트의 일부를 수직부재가 부담할 수 있기 때문에 동일한 지간의 슬래브교에 비하여 상부구조 두께를 낮출 수 있다. 일반적으로 설계 경간장은 15m 이하이다.
- (3) 부정정구조이기 때문에 부재의 일부가 항복해도 응력이 재분배되어 인성이 있는 구조이다. 반면에 온도, 건조수축, 기초의 부등침하에 의한 영향이 크다.

- (4) 다경간 교량에서는 지진력(수평력)을 각 하부구조에 분산하도록 설계가 가능하고 강결구조이기 때문에 내진 저항성이 우수하다.
- (5) 문형 라멘교를 제외한 T형 라멘교, II형라멘교, 연속 라멘교에서는 교량의 시점과 종점에 신축이음과 받침을 두는 경우가 있다.

3. PSC 합성거더교(PSC Beam교 및 Preflex Beam교)

콘크리트는 압축에 강한 반면에 인장에 약한 재료적인 특성을 갖고 있어서 이를 보완하는 방안으로서 콘크리트에 프리스트레스 힘을 가하는 방법이 사용되고 있다. 콘크리트에 프리스트레스를 가하는 방법은 강선, 텐던 또는 강봉을 인장 정착시킴으로써 콘크리트에 압축응력을 도입하는 방법과 미리 구부러 놓은 강재를 강제로 편 상태에서 콘크리트를 타설 양생한 후 구속을 풀으로써 콘크리트에 압축응력을 도입하는 방법이 있는데 전자의 방법으로 제작된 거더를 프리스트레스트 콘크리트(PSC) 거더라 하고 후자의 방법으로 제작된 거더를 프리플렉스(Preflex) 거더라 한다.

철도교 위로 열차를 통과시키기 위하여는 이러한 거더 위에 철근콘크리트(RC) 바닥판을 설치하여야 한다. RC 바닥판의 주 기능은 열차 하중을 주 거더에 전달하는 것이지만 RC바닥판 역시 구조체이므로 주 거더와 일체로 작용하도록 하여 주 거더의 기능을 일부 분담할 수 있도록 하면 보다 경제적인 교량의 건설이 가능한데 이러한 형식의 교량을 합성거더교라 한다.

합성거더교에서 가장 중요한 것은 완전한 합성작용(composite action)을 확보하는 것이다. 즉, 휨전단(flexural shear)은 주 거더와 철근콘크리트 바닥판의 접합면을 따라 수평활동을 일으키는 원인이 되는데 주 거더와 RC 바닥판 사이에 전단연결재 등을 설치함으로써 이 수평활동에 충분히 저항할 수 있는 구조로 하여야 한다.

일반적으로 합성거더교는 다음과 같은 특징을 갖는다.

- (1) 주 거더는 작업여건이 좋은 제작장에서 생산되므로 비교적 높고 균일한 품질의 시공이 가능하다.
- (2) 현장에서 거푸집과 비계공을 크게 줄일 수 있다.
- (3) 현장 작업이 간단하여 공사기간을 단축할 수 있다.
- (4) 현장치기 RC바닥판은 주 거더에 비하여 그렇게 높은 품질의 것이 아니라도 좋다. 실제로 주 거더에 사용되는 콘크리트의 압축강도는 35.0MPa 이상의 품질이 사용되고있으며 RC 바닥판에 사용되는 콘크리트의 압축강도는 27.0MPa 내외의 것이 사용되고있다.
- (5) 합성거더교는 지간이 50m 이하인 철도교에 적용되고 있으며 주로 쓰이고 있는 합성거더교의 형식은 PSC 합성거더교와 프리플렉스 합성거더교이다.
- (6) PSC 합성거더교는 PSC거더를 주 거더로 하는 합성거더교로서 지간이 20 m에서 25 m



까지의 철도교에 적합한 교량 형식이며, 프리플렉스 합성거더교는 미리 설계하중의 10%~20% 수준의 프리플렉션하중을 재하시킨 후 하부플랜지에 고강도 콘크리트 ($f_{ck} = 40.0\text{MPa}$)를 타설하여 콘크리트 부위에 압축프리스트레스를 도입하는 일종의 프리텐션(pretension)공법으로 철골과 콘크리트의 구조적 장점을 최대한 활용한 합성 거더교로서 지간이 30m에서 40m까지의 철도교에 적합한 교량 형식이다.

4. PSC 박스거더교

콘크리트에 프리스트레스 힘을 가하게 되면 사용하중 하에서 콘크리트의 발생하는 응력을 콘크리트의 인장 또는 압축강도 미만으로 조절할 수 있다. 이러한 프리스트레스 힘은 강선, 텐던 또는 강봉을 사용하여 외력의 형태로 콘크리트에 도입되며, 프리스트레스 힘이 도입된 콘크리트를 프리스트레스트 콘크리트(PSC)라 한다. PSC 박스거더교는 PSC합성 거더교와 함께 PSC의 특성을 이용한 교량형식으로서 중간 규모의 지간으로부터 장지간에 이르기까지 많이 사용되고 있으며 다음의 특징을 갖고 있다.

- (1) 콘크리트를 현장에서 타설함으로써 제작과 가설이 동시에 이루어지므로 일반적으로 경제적인 시공이 가능하다.
- (2) 이동식 비계공법(MSS ; Movable Scaffolding System) 등과 같이 이동식 비계를 이용함으로써 다경간 교량의 연속시공에 대하여 적합한 교량형식이다.
- (3) 비틀림 강성이 크다.
- (4) 지간이 너무 짧으면 거더의 높이가 작게 되어 박스 내부의 거푸집 작업이 곤란하게 되므로 적합하지 않다.
- (5) 현장작업이 많기 때문에 도로 위를 지나가는 가도교의 경우 교통저해 기간이 길어지므로 하천교량, 교통량이 많지 않은 도로 또는 도시계획 도로의 가도교 등에 많이 사용된다. 다만, 동바리가 필요하지 않은 이동식비계공법(MSS) 또는 연속압출공법(ILM), 프리캐스트공법(PSM) 등을 채택함으로써 일반의 가도교에도 적용할 수 있다.

5. PSC U형 거더교

프리스트레스 콘크리트(PSC)를 이용한 철도교량의 경우 PSC 합성거더교와 PSC 박스거더교가 일반적인 형식으로 표준화된 형태로 주로 사용되었으나, 근래들어 PSC U형 거더교, PSC 사판교 및 엑스트라도즈교 등 프리스트레스 콘크리트를 이용한 다양한 교량형식이 설계에 적용되고 있으며, 이 중 PSC U형 거더교의 경우 주거더가 구조적인 기능과 방음벽의 역할을 동시에 수행이 가능한 친환경적인 교량으로 일반철도 및 경전철 등에 많이사용되고 있는 실정이다.

PSC U형 거더교란 궤도를 슬래브로 지지하고 그 슬래브를 건축한계 밖으로 설치한 주거더로 지지하는 구조로서 철도구조물로서의 안전성과 다리밑 공간 확보의 용이성

등으로 인하여 일찍부터 일본 및 유럽 등지에서 자주 적용된 교량형식으로 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

(1) 다리밑공간 확보의 용이성

거더하면에서부터 궤도까지의 높이가 극히 작아 상로방식의 거더로는 필요한 다리밑 공간 확보가 곤란한 경우에 사용이 가능하다. 또한 궤도고가 낮은 교량 특성상 접속부 교량 또는 토공 쌓기부의 성토높이를 최소화하여 전체 공사비 절감이 가능하다.

(2) 친환경성 및 유지관리성

거더자체가 방음벽 역할을 수행하여 방음벽의 배제 또는 축소로 인한 친환경성 확보가 용이하며 방음벽 배제로 교량측면에서 조망시 구조물 전체의 위압감 최소화 도모가 가능하고 유지관리성이 우수하다.

(3) 열차 탈선시 안전성

열차탈선시 주거더가 방호벽 역할을 수행하므로 열차의 주행안전성 확보가 가능하므로 철도교로서의 기능성 측면에서 우수하다.

(4) 다양한 경간장 적용

일반적으로 경간장 30~50m 내외의 다양한 경간장 적용이 가능하며 연속화 및 단면변형시 50m~120m 까지도 적용이 가능하다. 경간장 적용시 유의하여야 할 점은 구조물의 구조적 기능성을 고려 충분한 유효폭 확보가 가능하도록 하여야 하며 특히, 복선 교량설계시에는 구조적으로 기능이 저하되는 플랜지가 발생하지 않도록 유효폭을 충분히 고려한경간장을 선정하여야 한다.

(5) 가설공법 적용성

PSC 박스거더교와 마찬가지로 다양한 가설공법의 적용이 가능하므로 주변현황 및 가설여건 등을 충분히 분석하여 경제성 및 시공성을 감안한 최적의 가설공법을 선정할 수 있다. 일반적인 단경간 단순교의 경우 시공성이나 경제성 측면에서 전체지지식 동바리공법(FSM) 또는 Span by Span공법이 용이하며 도로나 하천을 고가로 통과하는 가도교또는 연속교의 경우 프리캐스트 세그먼트공법(PSM)과 연속압출공법(ILM) 공법 등의 적용이가능하다.

3선 이상의 확폭구조인 경우 효율성이 떨어지고 적설지에서는 제설여유폭을 확보하거나 용융설비가 필요하다.

6. 콘크리트 아치교

아치는 곡선으로 된 부재를 의미하는데, 아치의 역학적인 정의는 원호 형상의 보가 양단에서단순지지 되어 있고, 지점이 수평방향으로 구속된 구조이다. 휘어진 보를 단순보와 같이 지지시킨 보와 역학적으로 다른 점은 수평방향 구속력있고, 수평반력은 휘어진 아치의 부재에 휨모멘트와 함께 축력을 주게 되는데, 수평반력으로 인해 발생



하는 휨모멘트는 하중에 의해 발생하는 휨모멘트를 없애도록 거동하므로 이상적인 아치부재에서는 축력(압축력)만 발생하게 된다. 일반적인 아치교량의 구성은 상판, 스펀드렐(Spandrel), 아치리브, 스프링잉(Springing)등으로 구성됩니다. 상판은 직접 차량등의 상부하중을 부담하는 구조로 거더의 바닥판과 같은 역할을하고 스펀드렐은 상판과 아치리브 사이의 공간을 지칭하며, 주로 수직재가 설치되어 상판의 하중을 아치리브로 전달하게 된다.

아치리브는 아치교의 주부재로 스펀드렐 내의 수직재등으로 전달된 상판의 수직 하중을 압축력으로 부담하여 지반에 수평력으로 전달하는 구조이고, 아치리브의 중심선을 아치축선이라 하고, 아치축선의 정점을 크라운부라고 한다. 또한 아치의 양끝 지점부를 스프링잉(Springing)이라 하며, 이 스프링잉을 연결하는 직선과 아치크라운부와와의 연직거리를 아치 라이즈(Rise)라고 한다.

일반적으로 아치교는 다음과 같은 특징을 갖는다.

- (1) 지간장 100m 정도의 길이에 적합
- (2) 경간을 넓혀 하부의 원활한 통행이 가능
- (3) 단순한 교량의 형태와 달리 구조물의 미적인 부분 강조 가능
- (4) 안정감이 있고 경관이 아름다운 곳에 적합
- (5) 외력에 대해 수평, 수직반력이 발생
- (6) 수평반력 때문에 견고한 기초지반위에 가설해야함

RECORD HISTORY

Rev.0('12.12.5) 철도설계기준 철도설계지침, 철도설계편람으로 나누어져 있는 기준 체계를 국제적인 방법인 항목별(코드별)체계로 개정하여 사용자가 손쉽게 이용하는데 목적을 둔.

Rev.1('14.1.?) 철도설계기준(국토교통부고시제2013-757호, '13.12.5)이 개정 고시됨에 따라 개정내용을 반영