

철근콘크리트 T형교의 안전진단에 관한 연구

A Study on the Safety Inspection of the T-Beam Bridges

채 원 규*
Won-Kyu Chai

ABSTRACT

In this thesis, the safety inspection of the T-beam bridges were studied. The stage of the safety inspection were classified according to the importance of the inspection contents the preliminary inspection, the resume inspection, the detail inspection, and the close inspection.

By stages, the inspection contents, the inspection items, and the inspection methods were systematized. And the method of the repair or the reinforcement for the damaged bridges were also suggested.

1. 서 론

현재 우리나라에서 공용중에 있는 철근콘크리트 교량에는 오래전에 가설되어 현행 도로교 표준시방서에 규정된 DB-24 또는 DL-24 하중 보다 낮은 하중으로 설계된 교량이 상당수에 달하고 있다^{1)~4)}. 뿐만 아니라 최근 지역사회의 급속한 발전에 따라 이러한 교량에 설계하중보다 높은 대형차량이 빠른 속도로 통과하고 있는 실정이며, 이들 교량에 대한 안전 진단은 매우 시급하다. 또한 철근콘크리트 교량은 공용년수가 경과함에 따라 노후화 되어 내하력이 점차 떨어지며, 결함이 발생되면 즉시 보수나 교체가 어렵기 때문에 부분적인

결함이 도로 전체의 기능을 잃게 하여 이용객이나 화물의 효율적인 운송을 불가능하게 한다. 그러므로 교량의 정기적인 안전 진단은 대상 교량의 현 상태를 파악하고 적절한 유지관리를 위해 필수적인 사항이다^{5,6)}.

그러나 현재 교량의 안전 진단에 대한 조사, 시험, 기준이나 지침서가 미비하여 통일성 있는 조사 및 평가가 이루어지지 않고 있는 실정이다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 철근콘크리트 T형교에 대한 안전 진단 방법을 체계적으로 정리함으로써, 앞으로 수행되는 교량 안전 진단 및 보수, 보강 대책에 대한 기초 자료를 제공하고자 한다.

* 신구전문대학 토목과

2. 연구방법

본 연구에서는 철근콘크리트 T형교의 안전 진단을 진단 내용의 순서와 중요도에 따라 크게 기초

진단 단계와 세부 진단 단계로 구별 하였고, 다시 기초 진단 단계에서는 예비 진단과 개략 진단으로, 또 세부 진단 단계에서는 상세 진단과 정밀 진단으로 분류하여, 이들 각 안전 진단 단계의 연관

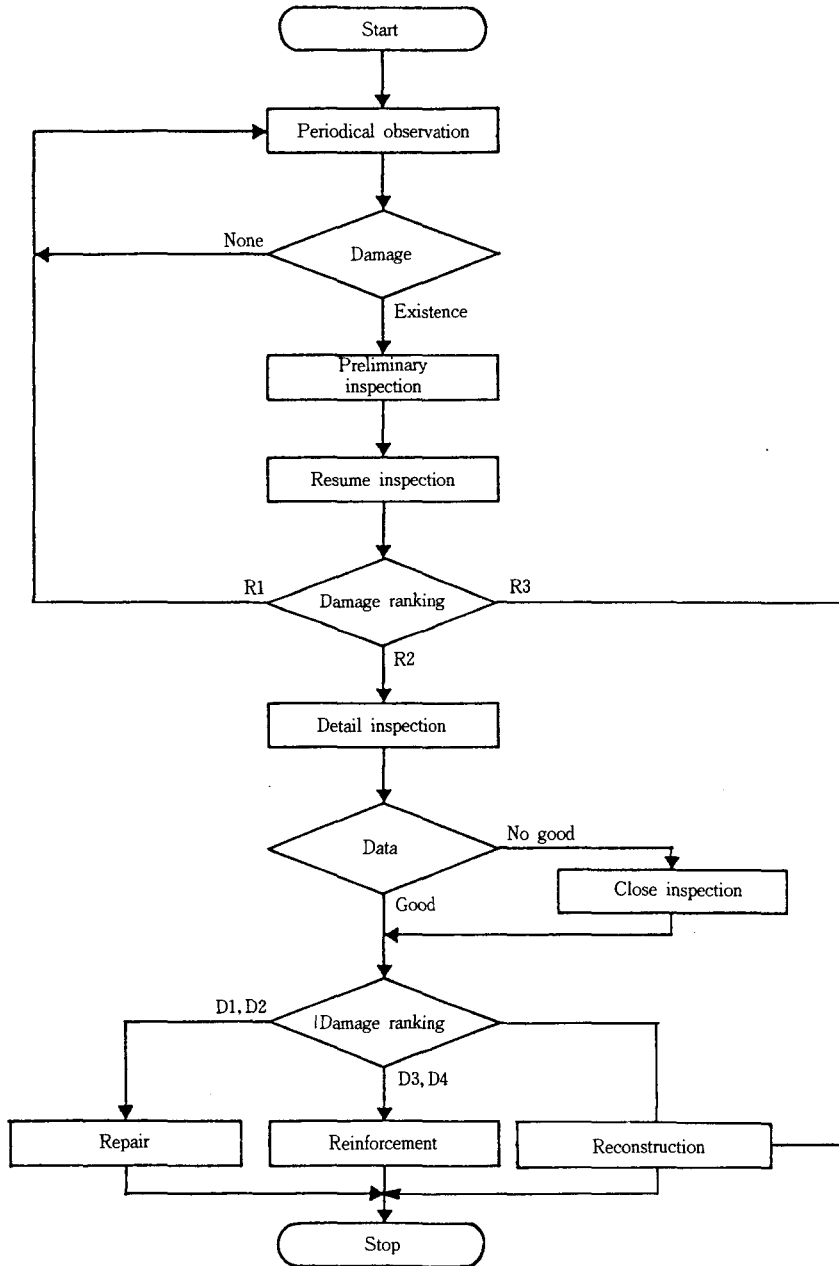


Fig. 1 The system of the safety inspection

성을 고찰하였으며, 각 안전 진단 단계별 진단 내용, 진단 항목 및 진단 방법을 정리하여 체계화 하였다. 또한 각 안전 진단 단계별 진단 내용의 조사 결과에 따라 교량의 노후화 및 손상도를 평가하고 이에 따른 보수, 보강 대책을 제시하였다. 본 연구에서 고찰한 철근콘크리트 T형교의 안전 진단 순서도는 Fig. 1과 같다.

Fig. 1에 나타나 있듯이 교량 구조물은 평상시 주기적으로 정기적인 관찰이 이루어져야 하며, 정기적인 관찰 결과에 의해 대상 교량에 손상이 발견된 경우에는 기초 진단 단계인 예비 진단과 개략 진단이 수행되어야 한다. 이러한 기초 진단 단계의 조사결과에 따라 대상 교량의 손상도 순위를 결정하게 되고, 손상도 순위에 따라 세부 진단 단계의 실시 여부를 결정하게 된다. 즉 개략 진단의 손상도 순위가 R1 일때는 대상 교량에 대해 정기적인 관찰을 수행 하도록 하고, 손상도 순위가 R2 일때는 세부 진단 단계를 수행하며, 손상도 순위가 R3 일때는 바로 보수공법을 선정하여 대상 교량에 대해 보수 또는 보강을 실시하거나, 재가설을 실시한다.

기초 진단 단계의 손상도 순위에 의해 세부 진단 단계의 수행이 필요한 경우에는 먼저 상세 진단을 수행하게 되며, 상세 진단의 조사 결과에 의해 손상도 판정이 불충분 할 경우에는 정밀 진단을 수행한다. 이들 상세 진단 또는 정밀 진단의 결과를 이용한 손상도 판정 결과에 의해 대상 교량에 대해 보수 공법을 선정하여 보수, 보강할 수 있게 된다. 즉 세부 진단 단계의 조사 결과에 의한 손상도 순위가 D1, D2 일때는 대상 교량에 대해 보수를 실시하며, 손상도 순위가 D3, D4 일때는 대상 교량에 대해 보강을 실시한다.

본 연구에서 고찰한 철근콘크리트 T형교의 안전 진단 순서에 의하면, 대상 교량의 손상도가 양호한 경우이거나 또는 극히 나쁜 경우에는 기초 진단 단계인 예비 진단과 개략 진단의 결과만으로도 대상 교량에 대해 정기적인 관찰만을 수행하면 되는지 또는 재가설을 해야 되는지를 결정할 수 있다. 따라서 이러한 경우에는 안전 진단 업무가 기초 진단 단계로서 마무리 되기 때문에 대상 교량에 대한 안전 진단이 신속하고 경제적으로 수행될 수 있다. 또한 세부 진단 단계에서도 진단 내용의 중요도에 따라 상세 진단과 정밀 진단으로 구별 하였

으며, 상세 진단의 결과에 의해 손상도 판정이 불가능한 경우에만 정밀 진단을 수행하도록 하는 등 교량의 안전 진단 과정을 일목요연하게 체계화 하였다.

3. 기초 진단 단계

철근콘크리트 T형교의 안전 진단에 대한 기초 진단 단계는 예비 진단과 개략 진단으로 나누어진다. 예비 진단과 개략 진단은 안전 진단 대상 교량에 대하여 모두 수행 되어야 하나, 이 진단 단계들은 신속하고 경제적으로 수행될 수 있다.

3.1 예비 진단

교량 안전 진단에서 맨처음 수행되는 예비 진단은 대상 교량에 대한 정기적인 관찰 결과에 의해 손상이 발견된 경우에 실시하게 된다. 이러한 예비 진단은 이 이후에 수행되는 개략 진단의 방법을 결정하기 위한 단계로서 교량 상태 파악과 자료 조사가 진단 내용에 포함되며, 이에 대한 진단 항목 및 진단 방법은 다음과 같다.

- 교량 상태 파악 : 교량의 현 상태를 육안으로 관찰한다.
- 자료 조사 : 설계도, 구조계산서, 기존 안전 진단 자료, 보수 이력, 교통량 등을 검토한다.

3.2 개략 진단

개략 진단은 예비 진단 이후에 반드시 따라서 수행되는 진단으로, 진단 내용에는 대상 교량에 대한 외관조사, 제원조사, 구조계산 등이 있으며, 이에 대한 진단 항목 및 진단 방법은 다음과 같다.

- 외관 조사(1) : 균열 패턴, 균열 폭, 누수 여부, 콘크리트의 박리 상태, 철근의 노출 및 부식 상태, 포장 상태, 신축이음장치의 상태, 교좌장치 상태 등을 쌍안경을 이용하여 육안으로 관찰한다.
- 제원 조사 : 교량의 평면 치수, 교량의 단면 치수 등을 줄자나 스케일을 사용하여 조사한다.
- 구조계산(2) : 구조계산서 앞의 제원 조사의 결과를 이용하여, 설계 모멘트와 극한 모멘트를 비교, 검토한다.

기초 진단 단계인 예비 진단과 개략 진단의 조사

결과에 의해 대상 교량의 손상도 순위를 판정하게 되고, 손상도 순위 판정 결과에 의해 안전 진단 수행 이전의 상태와 마찬가지로 대상 교량에 대해 정기적인 관찰만을 수행하면 되는지, 세부 진단 단계를 수행해야만 되는지, 또는 대상 교량을 재가설 할 것인지를 결정한다.

3.3 기초 진단 단계의 부분별 손상도 판정 순위

예비 진단과 개략 진단시 수행 되었던 진단 내용의 조사 결과를 이용하여, 대상 교량의 부분별 손상도 판정 순위를 결정할 수 있다. 교량의 부분별 손상도를 판정하기 위해서는 교량의 상부구조를 일정한 간격으로 세분화하여 부분적인 구간을 정해야 하는데, 일반적으로 횡방향 분배는 보와 보 사이로 나누고, 종방향 분배는 가로보가 있는 경우에는 가로보와 가로보 사이로 나눌 수 있다. 또한 가로보가 없는 경우에는 Fig. 2와 같이 L/4점을 목표로 한 3분할에 의해 부분적인 구간을 결정 지을 수 있다.

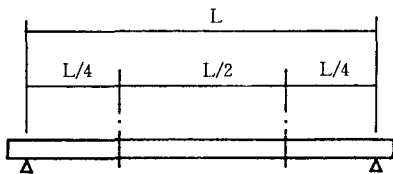


Fig. 2 Subdivision of partial zone

이상과 같은 방법으로 교량을 세부적으로 나누는 구간별로 부분별 손상도 판정을 하며, 이러한 부분별 손상도 판정은 각 구간에 발생되어 있는 균열의 양상, 균열의 간격, 및 누수 여부 등에 의해 O, A, B, C로 판정한다. 부분별 손상도 판정 기준은 Table 1과 같다.

Table 1 The graded list of partial damage

Damage class	Crack mode	Crack space	Leakage of water
O	none	none	none
A	one-way crack	about 100cm	none
B	two-way crack	about 50cm	little
C	two-way crack	about 20cm	much

3.4 기초 진단 단계의 전체 손상도 판정 기준 및 대책

대상 교량의 부분별 손상도의 합계에 의해 대상 교량의 전체 손상도를 결정 할 수 있다. 즉 부분별 손상도 순위인 A, B, C 각각에 대해, 해당되는 등분된 평면의 갯수의 합계를 전체 평면 갯수로 나누어 손상도 순위 A, B, C가 대상 교량에서 차지하는 비율을 각각 구한다. 대상 교량의 전체 손상도 판정 기준과 이에 대한 대책은 Table 2와 같다.

Table 2 The graded list of total damage

Damage class	Partial damage		Counterplan
	O, A	B, C	
R1	70% or more	30% or less	periodical observation
R2	50% up to 70%	30% up to 50%	detail inspection
R3	50% or less	50% or more	reinforcement

이상의 결과에 의해 대상 교량의 손상도가 대체로 양호한 상태인 손상도 순위 R1의 경우에는 기초 진단 단계 이전의 상태인 대상 교량에 대한 정기적인 관찰만을 수행하며 안전 진단 업무를 마칠 수 있다. 또 대상 교량의 손상도가 매우 불량한 상태인 손상도 순위 R3의 경우에도 대상 교량에 대한 보강 또는 재가설을 실시하도록 한다. 반면, 이들 두가지 경우의 중간 단계인 손상도 순위가 R2인 경우에는 세부 진단 단계를 수행하여 세부 진단 단계의 결과에 따라 보수, 보강 대책을 강구한다.

4. 세부 진단 단계

철근콘크리트 T형교의 안전 진단에 대한 세부 진단 단계는 기초 진단 단계에서 대상 교량의 손상도가 매우 양호 하다든지 또는 매우 불량한 경우가 아닌, 즉 명확한 안전 진단 결과가 나타나지 않은 경우에 수행되며, 상세 진단과 정밀 진단으로 나누어진다.

4.1 상세 진단

상세 진단은 세부 진단 단계에서 선행되는 진단 단계로서 개략 진단의 진단 내용을 더욱 정밀하게 수행하는 진단 과정이다. 상세 진단에서는 외관조

사, 비파괴 검사, 구조계산이 수행되며, 이에 대한 진단 항목 및 진단 방법은 다음과 같다.

- 외관 조사(2) : 균열 패턴, 균열 폭, 누수 여부, 콘크리트의 박리상태, 철근의 노출 및 부식상태, 포장상태, 신축이음장치의 상태, 교좌장치 상태 등을 크랙 게이지를 이용하여 조사하며, 정확한 손상위치를 표시하여 정리한다.
- 비파괴 검사 : 콘크리트의 압축강도, 압축 탄성계수, 철근의 위치, 철근의 직경, 철근의 덮개 등을 조사한다.
- 구조계산(2) : 구조계산시 재료의 물성치 및 철근의 배근상태 등은 앞의 비파괴 검사의 결과를 이용하여, 설계 모멘트와 극한 모멘트를 비교, 검토한다.

이상의 진단 내용중 외관 조사(2)와 구조계산(2)는 앞의 개략 진단의 진단 내용인 외관조사(1)과 구조계산(1)의 경우와 중복되는 내용이지만 진단 방법에서 다르다. 상세 진단에서의 외관조사는 균열의 패턴, 균열의 폭 등의 조사시에 크랙 게이지를 사용하여 정밀하게 수행되어야 하며, 기타 손상도 조사시에도 정확한 손상위치를 표시하여 정리하는 등 부분별 손상도 및 전체 손상도 판정시 정확성이 요구된다. 또한 상세 진단의 구조계산 과정에서는, 상세 진단에서 병행하여 수행되는 비파괴 검사의 결과인 콘크리트의 압축강도, 콘크리트의 탄성계수, 철근량, 철근의 덮개 등의 자료를 구조계산에 반영하여 수행하여야 한다.

4.2 정밀 진단

정밀 진단은 안전 진단 단계중 최종 단계로서, 상세 진단의 조사 결과 자료가 미비하여 대상 교량의 손상도 판정에 불충분하다고 판단되거나, 또는 상세 진단의 조사 결과만으로는 정확한 손상도 판정이 어려울때 수행되는 진단의 단계이다. 정밀 진단에서는 시료 채취에 의한 검사와 재하시험이 수행되며, 이에 대한 진단 항목 및 진단 방법은 다음과 같다.

- 시료 채취에 의한 검사 : 콘크리트의 압축강도, 압축 탄성계수, 함유 염분량, 배합 분석 등을 조사한다.
- 재하시험 : 정적 변형률, 동적 변형률, 정적 변위, 동적 변위, 가속도 등을 측정에 의한 내하력

판정을 실시한다.

한편 정밀진단에서 수행한 재하시험 결과에 의해 현재 교량의 공용하중을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_n = DB24 \times S_f$$

$$S_f = R \times \frac{M_u - 1.1 \times M_d}{M_1}$$

$$R = \frac{\text{주형의 계산 치짐량(또는 휨 변형량)}}{\text{주형의 실측 치짐량(또는 휨 변형량)}}$$

$$M_u = A_s \times \sigma_y \times \left(d - 1/2 \times \frac{A_s \times \sigma_y}{0.85 \times \sigma_{ck} \times b} \right)$$

- 여기서, P_n : 현재 상태의 교량의 공용하중,
 S_f : DB24에 대한 주형의 파괴 안전율,
 R : 실측 및 계산 응답비,
 M_u : 주형의 파괴에 대한 저항 휨 모멘트,
 M_d : 현재의 사하중에 의한 휨 모멘트,
 M_1 : DB24에 의한 휨 모멘트,
 A_s : 주형의 인장 철근량,
 σ_y : 철근의 항복강도,
 d : 주형의 유효높이,
 σ_{ck} : 콘크리트의 설계기준강도,
 b : 주형의 압축 플랜지의 유효폭 이다.

4.3 세부 진단 단계의 손상도 판정 및 대책

세부 진단 단계의 대상 교량에 대한 전체 손상도 판정은 DB24에 대한 주형의 파괴안전률인 S_f 만으로 평가하였으며, 그 기준은 Table 3과 같다.

Table 3 The graded list of total damage

Damage class	S_f (safety factor for DB24)
D1	1.0 or more
D2	0.75 up to 1.0
D3	0.5 up to 0.75
D4	0.5 or less

또한 세부 진단 단계에서 결정된 전체 손상도 순위에 의해 대상 교량에 대한 대책으로는 보수 또는 보강이 있으며, 이에 대한 공법 및 적용범위는 다음과 같다.

- 전체 손상도 순위 D1 : 균열에 에폭시를 주입하여 보수하거나, 수지계 모르타르에 의한 패칭을 실시한다.
- 전체 손상도 순위 D2 : 손상 부분의 성형이나, 수지계 프리팩트에 의한 단면조정을 실시 한다.
- 전체 손상도 순위 D3 : 보의 주철근을 보충할 경우에는 강판접착에 의한 보강, 단면이 부족할 경우에는 압축단면의 증가에 의한 보강, 보의 주철근이 부족하고 단면이 부족할 경우에는 철근을 동반한 모르타르의 부착 등의 보강공법을 실시한다.

5. 결 론

본 논문에서는 철근콘크리트 T형교에 대한 안전 진단에 대하여 연구, 고찰한 결과, 철근콘크리트 T형교의 안전 진단시 안전 진단 단계를 진단 내용의 순서와 중요도에 따라 구분 하였고, 각 안전 진단 단계의 연관성을 고찰하였으며, 각 안전 진단 단계별 진단 내용, 진단 항목 및 진단 방법을 정리하여 체계화 하였다. 또한 각 안전 진단 단계별 진단 내용의 조사 결과에 따라 교량의 노후화 및 손상도를 평가하고 이에 따른 보수, 보강 대책을 제시 하였다.

본 연구에서 고찰한 철근콘크리트 T형교의 안전 진단 순서에 의하면, 대상 교량의 손상도가 양호한 경우이거나 또는 극히 나쁠 경우에는 기초 진

단 단계의 결과 만으로도 대상 교량에 대한 안전 진단을 마칠 수 있기 때문에 신속하고 경제적으로 수행될 수 있다.

현재 교량에 대한 안전 진단은 대부분 대상 교량의 손상도가 심각할 경우에 한하여 단발적으로 실시하고 있기 때문에 보수 또는 보강 시기를 놓치는 경우가 많은 실정이며, 따라서 앞으로 교량에 대한 안전 진단이 정기적으로 실시 될 것을 감안하면, 본 연구에 의한 단계별 진단 방법이 교량 안전 진단의 기초 자료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 1) 건설부, 건설연구자료(교량내하력조사), 1968-1980.
- 2) 건설부 국립건설시험소, 교량 내하력 조사 (구조물 안전도 연구), 1990.
- 3) 건설부 국립건설시험소, 교량 내하력 조사 (구조물 안전도 연구), 1992.
- 4) 건설부, 도로교 표준시방서, 1992.
- 5) 한국도로공사, 고속도로 교량내하력 평가 시스템 개발 제1단계 연구 용역 종합 보고서, 1987.
- 6) 한국도로공사, 고속도로 교량내하력 평가 시스템 개발 제2단계 연구 용역 종합 보고서, 1988.