

세굴에 대비한 교량설계기준의 필요성

이 정 규*

1. 서 론

작년에 발생한 성수대교의 붕괴(1994년 10월 21일)는 교량하나가 시민생활에 얼마나 큰 영향을 줄 수 있는가를 보여주는 좋은 본보기가 되었으며 교량의 안전문제에 관한 경종을 울려주었다. 이에 따라 정부는 노후화된 교량의 안전문제를 심각하게 받아들여 전국의 교량을 대상으로 안전진단을 실시하고 있으며 교량안전에 대한 정기적인 점검계획도 발표한 바 있다.⁷⁾

교량이 무너지는 이유는 여러가지가 있을 수 있지만 교각이나 교대 하단부근의 심한 하상세굴이 원인인 경우가 많다. 특히 홍수가 발생하여 피해가 났다면 피해의 상당부분을 공공시설물의 피해가 많이 차지하고 있다. 그중에는 도로, 철도, 제방등의 유실(流失)이 많이 일어나고 교각이나 교대가 침하되어 교량이 붕괴되는 일도 종종 일어난다. 이러한 홍수피해는 모두가 세굴이 과다하게 일어나서 구조물이 안전하게 지탱할 수 없도록 불안정하게 되었기 때문이다.

교량붕괴로 인한 피해는 사고시에 일어날 수 있는 인명피해와 차량파손은 물론이고, 교량을 이용하던 교통소통이 단절되기 때문에 이용객들의 불편이 커질 뿐 아니라 교량을 원상복구하려면 많은 시간과 공사비용이 소요되는 등 막대한 경제적 손실이 뒤따르게 된다.

최근에 국내에서 발생한 교량피해 사례를 본다면 '92년 7월 30일에 발생한 경남 남해군 창선대교의 붕괴원인이 교각세굴이었으며 '95년 8월 8일에 발생한 경기도 광주군 장지교의 붕괴도 세굴로인한 교각의 지반침하가 그 원인으로 생각된다.

금년 8월 23일부터 집중적으로 내린 호우로 인한 피해에서도 분야별로는 도로손실이 가장 많아 교량 83곳을 포함하여 모두 741곳이 파손되었으며(한겨레신문, 95.8.28), 또한 8월 25일에 발생한 홍수로 인하여 충북 괴산군 청안천 충북선 철교가 붕괴된 것도 폭우로 지반이 약해진 교각이 무너져 내리면서 일어난 것이다.

미국의 예를 보면¹⁾ 1973년도 미연방도로청(FHWA)의 조사에서는 387건의 홍수로 인한 교량붕괴사고중 25%는 교각의 손상이 원인이었고 72%는 교대손상 때문에 일어났으며 1978년도에 실시한 제2차 조사에서는 교량붕괴발생의 원인으로 교각세굴과 교대세굴의 비율이 거의 비슷하다는 분석결과가 나와있다.

이와같이 홍수시에 발생하는 교량피해원인의 대부분이 세굴이 심하게 일어나서 교각이나 교대를 지지하고 있는 지반의 지지력이 약해지기 때문에 일어난다.

이상의 몇가지 예에서 알 수 있는 바와 같이 하천의 세굴현상은 교량의 안전에 중대한 영향을 주는 요소임에도 불구하고 지금까지는 교량을 설계하거나 유지관리하는 측면에서 세굴의 영향을 소홀히

* 정회원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수

한 점이 많았으며, 최근의 교량안전 점검시에도 하천기술자는 제외되는 것을 볼 때 아직도 교량세굴의 문제점을 심각하게 받아들이고 있지 않는 분위기가 있다.

그러나 최근에 서울시에서는 한강에 걸쳐있는 교량의 교각하단부 부근의 하상이 심하게 세굴되어 있는 현상을 파악하고 이들이 교량의 안전에 심각한 영향을 줄 수도 있기 때문에 전체 16개 한강교량에 대한 “한강교량 하부보호공사”를 통하여 손상된 교각을 보수하고 세굴방지공사를 계획 시행하고 있다.

본 란에서는 교량의 안전과 세굴에 관한 평가연구와 국내외의 여러가지 교량설계기준을 검토해 보고 세굴과 관련된 설계기준의 미비점을 보완하는 제안을 하고자 한다.

2. 설계기준의 검토

현재 하천시설이나 교량설계에 적용하고 있는 설계기준과 시방서에서 세굴과 관련된 규정을 살펴본다.

2.1. 도로교표준시방서²⁾

- 1) 제 I 편 공동편의 2.9 수압 : 세굴의 영향이 있는 경우 유수압을 산출할때 사용하는 수심은 평상시에는 하부구조에 세굴의 영향이 없을 때의 수심에 평상시 하부구조의 영향에 의해 발생하는 세굴의 깊이와 교량의 내용기간 중에 예상되는 전반적인 하상저하량을 더한 깊이로 한다. 홍수시에는 평상시의 설계수심에 홍수시 수위의 증가와 홍수시 세굴깊이를 더한 깊이로 한다.
- 2) 제 I 편 공동편의 2.10 부력 혹은 양압력 : 부력 혹은 양압력은 연직방향으로 작용하는 것으로 하고 구조물에 가장 불리하도록 재하시킨다.
- 3) 제 IV 편 하부구조편의 2.3 하상, 이수상황 등의 조사 : 하상(河床), 이수(利水)상황 등의 조사는 하천의 형태나 장래계획 및 이수,

주운(舟運) 등에 대하여 하도록 한다.

- 4) 제 IV 편 하부구조편의 6.4 설계상의 지반면 : 평상시에서 설계상의 지반면은, 다음사항을 고려해서 정해져야 한다.
 - (1) 세굴 및 지반면의 저하

2.2 미국 도로교 표준시방서³⁾

- 1) 제 I 편 설계편 제1장 일반규정 1.3.2. 수리학적 연구조사 1.3.2.3. 수리학적 분석 : 교량의 예비설계에 교량지점의 수리학적 연구조사는 필수적이며 교량의 교각과 교대 설치시 세굴심의 추정을 포함하여야 한다.
- 2) 제 I 편 설계편 제4장 기초, 4.3.5. 세굴 : 세굴심은 지반조사와 수리학적 검토를 통하여 결정되어야 한다.
- 3) 제 I 편 설계편 제7장 하부구조, 7.3.2. 교각 보호, 7.3.2.3. 세굴 : 세굴심이 먼저 결정되어야 하며 이러한 조건하에서 교량의 붕괴를 최소화 하도록 설계가 이루어져야 한다.

2.3. 일본 교량설계·시공 핸드북⁴⁾

- 1) 제 3 편 콘크리트교 제2장 도로교 2.1.2. 설계에 관한 일반사항 : 하천과의 관계에 관한 규정에서 교량위치, 시간분할, 교각위치 및 교각형상 등은 하천관리자와 충분히 협의하여 정한다.
- 2) 제 4 편 하부공(下部工) 제1장 총설 1.3 설계에 관한 일반사항 중에서 교량의 하부구조를 계획할때 하천의 조건을 다음과 같이 정하고 있다 : 하천구역내에 설치하는 교대와 교각은 설계홍수위 이하의 홍수의 흐름을 방해하지 않고, 부근의 하안 및 하천관리시설의 구조에 현저히 지장을 주지 않고, 아울러 교대 또는 교각에 접촉하는 하상과 홍수터의 세굴방지를 위하여 적절히 배려(配慮)한 구조로 한다.
- 3) 제 4 편 하부공 제2장 교대·교각 2.1.2 계획일반 중에서 교각의 상재토(上載土)깊이 : 홍수때는 유수의 소류력 때문에 하상이 변동하

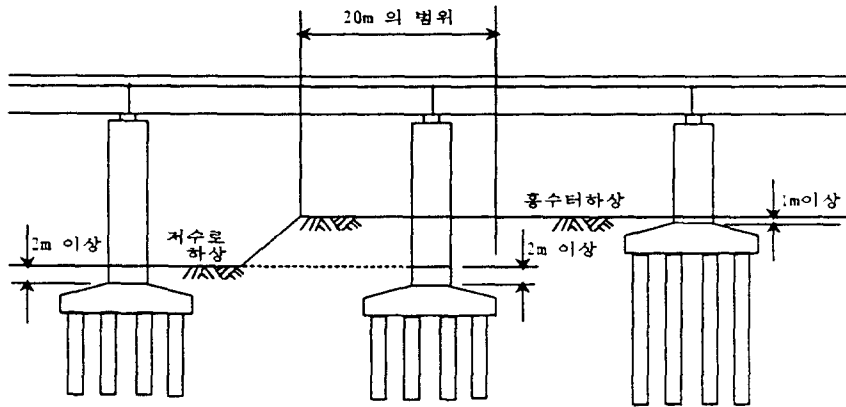


그림 1. 교각의 기초부의 상재토 깊이

며, 특히 교각부근에서는 와류(渦流)에 의하여 국부세굴이 발생하기 쉽고, 교량구조물의 안정성 뿐 만 아니라 하천관리상 현저한 지장을 주게도 된다.

이때문에 교각의 푸팅 또는 상부판의 마루부는 저수로와 저수로하안(河岸)의 법선으로부터 20m 이내의 홍수터 표면에서 1m 이상의 상재토를 덮는다. [그림참조]

지금까지 국내외의 도로교 시방서나 교량설계 핸드북에서 교대와 교각의 세굴과 관련된 규정이나 항목을 조사하여 보았다.

설계규정에는 단순히 교대와 교각을 설계할때 구조물의 설치위치나 형상은 홍수시에 유수에 지장을 최소화하도록 하고, 세굴로 인한 하상저하의 영향을 고려하고 세굴방지도에 세심한 주의를 기울여야 된다는 정도로 규정되어 있는 것이 대부분이다.

따라서 구체적으로 교량의 교각을 설계할때 일반적으로 세굴발생과정에 대한 정확한 이해의 부족과 세굴에 대한 설계기준이 명확하지 않아서 세굴문제를 상세하게 다루지 않고 형식적으로 처리하는 경향이 많다.

또한 교량기초의 설계지반면에 대한 뚜렷한 설계기준이 없기 때문에 기초의 설계지반면이 하천수리학적 면보다는 교각의 안전구조와 유지관리 측면에서 결정되는 경우가 많다.

그러나 교량의 안전은 이용차량의 하중과 더불어 구조역학적인 안전도 중요하지만, 세굴등을 고려한 하부구조의 안전문제 또한 못지 않게 중요한 문제이다. 그러므로 앞으로 하천구역내에 설치되는 교각이나 교대를 설계할 때는 반드시 세굴문제를 보다 심도있게 다루어야 하며, 이에 따른 세굴현상, 세굴심을 구하는 방법, 세굴방지공의 설계, 기초지반면의 설정과 같은 문제에 대하여 보다 구체적이고 상세한 설계기준이나 방법이 정해져야 할 것으로 생각한다.

필자는 교량세굴에 관한 설계기준 등을 조사하면서 이와 관련된 사항을 하천시설기준³⁾(1993)이나 하천공사표준시방서(1994)에서도 조사해 보았다. 그러나 하천구역내에 교량설치와 관련된 사항은 전혀 찾아볼 수 없었다.

하천교량은 하천법에 규정된 “하천부속물”(하천법 제2조 3항)이나 하천공사표준시방서에서 말하는 “하천시설물”은 아니지만 하천법 제19조에 규정된 “검용타공작물공사”에 해당하는 공작물이라고 볼 수 있다.

특히 하천교량은 홍수가 났을때 홍수의 소통에 지장을 줄 뿐 아니라, 교각이나 교대의 설치위치와 형상은 하상변동에 커다란 영향을 미치고 있으며, 만일의 경우에 교량이 붕괴되거나 접속된 제방이나 도로가 유실되면 대단히 큰 피해를 초래하게 된다. 그러므로 하천시설기준이나 하천공사표준시방서에



(사진) 경기도 광주군 광주읍 장지리 장지교 교각붕괴현장(95.8.8)

도 반드시 교량과 같은 겸용타공작물과 관련된 설계와 공사에 관련된 항목이 추가, 보완되어야 할 것으로 생각된다.

3. 세굴에 대비한 교량설계의 원칙

교량은 붕괴의 위험없이 대홍수(100년 빈도 이상의 홍수)때의 세굴작용에 견딜 수 있도록 설계되어야 한다. 다음은 교량설계에 대한 기본원칙으로 HEC-No.18¹⁾에 제시된 세굴대비설계를 위한 기본개념이다.

- 1) 기초는 수리학적 및 지반공학과 구조설계 분야의 전문지식을 가진 기술자로 구성된 공동팀에 의하여 설계하여야 한다.
- 2) 교량지점의 수리학적 검토는 교량설계의 필수적인 부분이다. 이것은 교량지점의 유수공간의 규모결정과 세굴에 견딜 수 있는 기초설계의 2가지 문제를 포함하여야 한다. 이러한 분석은 도로의 중요성과 붕괴의 결과에 대하여 대등하

게 비중을 두어야 한다.

- 3) 현재 적용할 수 있는 세굴추정 공식을 사용할 때는 현재의 지식의 한계와 부족한 면에 대하여 신중하게 고려해야 한다.
- 4) 경제분석의 원칙과 실제 홍수피해에 관한 경험으로 미루어 볼때, 대홍수(大洪水)에도 붕괴되지 않을 기초를 세우는 것이 대부분 투자효과가 크다는 것을 보여준다. 그러므로 세굴에 대비한 교량기초의 설계에는 통상적으로 교량의 유수공간에 필요한것 보다 더 높은 수준의 수리학적 기준을 택하는 것이 정당화 된다.

4. 교량세굴에 관한 설계지침

다음은 미국연방도로청(FHWA)이 발간한 연구보고서¹⁾(HEC No.18)의 내용 중에서 교대와 교각의 설계와 관련된 중요한 사항을 간략하게 정리해 보았다.

특집 : 하천세굴과 교량의 안전

4.1 세굴의 개념과 정의

세굴은 흐르는 물의 침식작용과 하상과 하안(河岸)을 굴착하거나, 이들로부터 하상물질을 떼어내 이동시킴으로써 생기는 결과이다.

4.2 총세굴(Total scour)

하천교량의 총세굴은 다음 3가지 성분의 합으로 구성된다.

4.2.1 장기적인 하상변동

이것은 교량이 설치되는 하천구간에 영향을 줄 수 있는 자연적 혹은 인위적 원인으로 인하여 생기는 장기적인 하상높이의 변동이다.

하상상승은 교량상류의 유역이나 수로에서 침식된 물질의 퇴적현상과 관련되는 반면, 하상저하는 상류로부터의 토사공급의 부족으로 인한 하상의 저하현상 또는 세굴현상과 관련된다.

4.2.2 수축세굴

수축세굴은 유수단면의 수축이나 수면높이를 하류에서 조절함으로써 생기는 결과이다. 홍수터나 수로를 잠식하는 교량접속제방(Bridge approach embankments)으로 인한 수축흐름은 수축세굴의 가장 보편적인 원인이다.

4.2.3 국부세굴

국부세굴은 교각, 교대, 돌출수제, 제방의 주변에서 하상물질을 이동시키는 현상과 관계가 깊다. 이러한 세굴은 유수의 가속작용과 유수장애물에 의하여 유발된 와운동(渦運動)이 원인이다. 자연현상에서는 통상 주기성을 띤다.

5. 세굴방지공의 설치계획

다음은 세굴방지공의 설치에 관하여 HEC-No. 18의 지침내용을 요약하였다¹⁾.

5.1 개설

세굴방지공은 교량이 세굴로 인한 파손이나 붕괴

에 취약하지 않도록 교량을 완공한후 추가설치된 공작물이다.

5.2 신설교량

교량을 신설할 때 세굴피해를 최소화 할 수 있는 최선의 방안을 간략하게 열거한다.

- 1) 역류의 홍수를 피하도록 교량위치 선정
- 2) 흐름에 장애가 최소화 되도록 교량요소의 유선형화
- 3) 세굴에 안전한 기초의 설계
- 4) 사석공이나 기타 방지대책이 필요하지 않도록 충분한 깊이의 교량의 기초 설치
- 5) 교대의 세굴에 대하여 사석공이나 적절한 방지 대책이 세워져 있을 때는 교대를 추정된 세굴 심위에 기초를 설치한다.

5.3 기존교량

기존교량에 대하여는 교량의 세굴방지를 위한 비교안들을 대략적인 공사비의 순서로 나열하면 다음과 같다.

- 1) 세굴심을 조사한후 과다할 때는 교량의 폐쇄
- 2) 교각에 사석공을 설치한 후 관측조사
- 3) 교대에 사석공의 설치
- 4) 도류제의 축조
- 5) 수로개수공사의 시공
- 6) 교량기초의 강화
- 7) 낙차공의 설치
- 8) 안전교량(Relief bridge)의 건설 또는 기존교량의 연장

이상의 비교안들은 충분한 수리공학적인 시행경험에 의하여 평가되어야 한다.

6. 교량의 세굴방지설계를 위한 제안

하천은 물이 흐를때 유수의 소류력과 유수단면변화로 인한 가속과 감속작용을 받아 하상물질이 끈입없이 이동하기 때문에, 이결과 곳에 따라 퇴적과 세굴이 발생하므로 하천은 살아 움직이고 있는 것이다.

.....세굴에 대비한 교량설계기준의 필요성

특히 하천에 교량과 같이 유수작용에 지장을 주는 구조물이 세워지면 이로 인하여 흐름현상이 복잡해지며 세굴작용도 더욱 활발해 진다.

교량의 하부구조물을 이루는 교각과 교대는 세굴의 영향을 직접 받는 부분일 뿐 아니라, 교량의 안전과 밀접한 관계가 있기 때문에 하부구조물을 설계할 때는 세굴과 관련된 사항에 대해 지금보다 더 상세한 기술검토가 필요하다고 생각된다.

이에 따라 필자는 교량의 하부공 설계기준의 보완을 위하여 몇가지 제안을 하고자 한다.

- 1) 하천교량의 하부공을 설계할 때는 반드시 수리 기술자가 공동으로 참여하여야 한다.
- 2) 국내 도로교 표준시방서에서 교대와 교각의 설계기준을 보완하여 세굴심의 결정, 기초의 깊이 결정에 관한 사항과 세굴방지대책에 관한 사항이 명시되어야 한다.
- 3) 세굴공식이나 세굴방지대책에 관한 상세한 사항은 별도로 지침이 마련되어야 한다.
- 4) 하천시설기준과 하천공사표준시방서에도 하천

에 교대와 교각과 같은 겸용타공작물의 설치기준이 추가되어야 한다.

- 5) 국내의 지역적 조건에 알맞는 적절한 세굴공식과 세굴방지공이 개발되어야 한다.

참 고 문 헌

- 1. Hydraulic Engineering Circular No.18(1993), "Evaluating Scour at Bridges 2nd Ed.", FHWA-IP-90-017 FHWA, U.S. Department of Transportation.
- 2. 도로교표준시방서(1992년 개정판)(1992), 건설부.
- 3. Standard Specifications for Highway Bridges, 15th Ed., (1992), AASHTO.
- 4. 最新橋梁設計·施工ハンドブック(1990), 建設産業調査會
- 5. 하천시설기준(1993), 건설부.
- 6. 하천공사표준시방서(1994), 건설부.
- 7. 이정규(1995), "하천교량은 세굴에 안전한가", 한국수자원학회지 제28권 제3호.