

우리나라 중·소하천 교량의 세굴특성조사

여운광*, 윤병만*, 김규한**

1. 서 론

지난 10여년간 우리나라 자연재해에 의한 피해액중 호우에 의한 것이 58%, 태풍이 31%, 폭풍이 6%, 기타 5%로서 물과 관련이 있는 피해가 90%를 넘고 있다. 이것은 강우량의 대부분이 여름철에 집중되어있고, 짧은 시간에 많은 비를 동반한 태풍의 내습으로 순식간에 대규모 피해가 발생하기 때문이다. 이렇게 홍수량이 시간적으로 급변하게 만드는 우리나라의 기상특성과 더불어, 하상경사 급한 지리적 특성으로 인하여 우리나라는 세굴의 위험성에 상대적으로 더 노출되어 있는 상태에 있다. 더구나 작년에 발생한 충남 서해안지방의 집중호우나 91년 용인·안성지역에 내린 국지적 호우 등 최근에 나타나고 있는 기상이변현상은 산사태나 세굴로 인한 위험성을 증대시켜 그의 대책수립이 시급함을 보이고 있다.

내무부에서 발간되는 재해년보에 따르면 전체 피해액중 세굴에 직접으로 영향을 받는 하천, 도로 및 수리시설에 대한 피해가 50%를 상회하고 있으며, 간접으로 영향받는 소규모시설의 피해도 25%나 되어 이를 더할 경우 직·간접의 피해는 75%이상되고 있음을 나타내고 있다. 작년에만도 직접피해액이 2000억원을 넘고 있다. 이와같이 매년 되풀이되는 엄청난 피해발생에도 불구하고 현재까지 세굴에 대한 현황조사나 피해형태에 대한 기본조사조차 이루어지지 않았으며 따라서 근본적인 원인분석이나 합당한 대책마련에 어려움이 많다. 이것은 피해발생시 사후 분석을 위한 자료 수집보다는 천재지변으로 취급하여 책임에서 빨리 벗어나기에 급급했던 잘못된 사회분위기와도 무관하지않았다. 본 연구에서는 세굴에 의한 피해중 하천교량을 중심으로 러곳에 흩어져있는 단편

표 1. 자연재해의 원인별 피해 구성비

년도											(%)
	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	평균
호우	69.3	20.3	50.5	91.5	63.4	91.5	32.7	62.5	40.0	58.9	58.1
태풍	27.8	72.4	47.4	0.0	21.7	0.2	63.2	21.8	44.6	13.3	31.2
폭풍	2.5	2.4	2.0	6.0	9.8	4.4	1.6	14.0	12.1	3.1	5.8
기타	0.4	4.9	0.1	2.5	5.1	3.9	2.5	1.7	3.3	24.7	4.9

(재해년보)

* 명지대학교 토목·환경공학과

** 관동대학교 토목공학과

적인 피해 사례를 수집하고 경기, 충청, 강원지방등 중부지역에 산재되어있는 중·소하천 교량을 대상으로 실제 현지답사를 하고 세굴현황을 조사하여 목록을 만들고 이들 자료를 분석하여 하천 교량에 대한 세굴기초자료를 제공하는데 목적이 있다.

2. 국내교량세굴 피해현황

세굴에 의한 피해를 파악하고 집계하기란 여간 어려운 일이 아니다. 이것은 세굴이 피해를 일으키는 원인일 뿐 피해의 직접대상이 아니기 때문이다. 예로서 세굴에 의하여 송전탑의 기초가 유실되어 피해를 입었을 때 해해년보의 집계로는 전력시설의 피해로 기록되어 진다. 따라서 세굴이 원인이 되어 나타나는 피해형태는 도로유실, 제방붕괴, 수리시설파괴, 철로손괴 등 매우 다양하게 나타나고 있으며 또한 피해의 대부분은 세굴만에 의하여만 나타나는 것이 아니라 다른 원인과 함께 복합적으로 나타난다. 그중 직접교량에 대한 피해는 표2.와 같다.

표 2. 교량피해 현황 (개소)

년	도	81	82	83	84	85	86	87	88
피해	교량	141	47	4	177	53	37	255	51
년	도	89	90	91	92	93	94	95	평
피해	교량	112	89	162	89	90	28	140	균
									98.3

이에 의하면 매년 평균 100여개의 교량이 수해에 의하여 손피됨을 알수있으며 87년에는 피해 교량수가 255개에 이르고 있다. 87년에 피해가 제일 컸던 이유는 태풍셀마와 다이너의 내습 및 중부지방의 집중호우 등 태풍과 호우가 유달리 많았기 때문이다. 피해형태로는 교각붕괴 및 유실, 교각침하, 상판유실 등 다양하나, 세굴이 피해의 직접원인이 되었음은 물론이다. 이는 교량설계시 세굴에 의한 안정성 검토가 얼마나 소홀히 다루어졌나를 잘 보여주고 있으며 이렇게 많은 교량이 매년 손피됨에도 불구하고 소홀히 다루어졌던데는 대부분의 교량이 중·소지방 하천에 위치한 것에서도 그 원인을 찾을수 있다.

3. 조사 구역 및 조사항목

3.1 조사구역

금번 조사대상으로는 중부지방의 중·소하천에 위치한 교량으로서 그림 1에 나타난 바와같이 경기도 북부지역, 남한강 중류지역, 강원지역, 충청 서해안 지역, 영동지역에 걸쳐 총 290개의 교량에 대하여 기초 조사를 실시하였다. 조사기간은 4월중순부터 말까지를 택하였으며 이기간 동안은 수위가 가장 낮아 세굴상태를 육안으로 관찰할 수 있는 좋은 시기이며 추후 하절기,홍수기가 지난 후 한차례 더 조사를 시행하여 홍수 전·후의 세굴양상을 비교하기 위함이다.

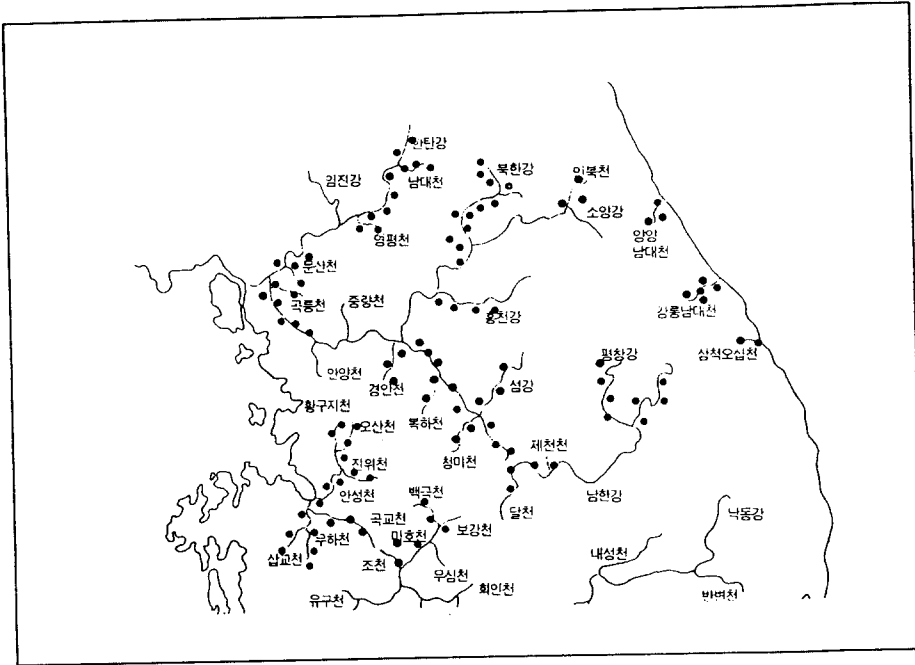


그림 1. 조사위치

3.2 조사항목

세굴에 대한 조사는 상·하류의 하천상태, 교량의 상·하부구조 및 수중교각기초 부분에 이르기까지 종합적으로 이루어져야 한다. 금번 실시한 조사는 육안이나 간단한 기구로서 측정할 수 있는 기초조사이며 미연방도로국에서 추천한 조사항목을 참조하여 다음의 총 22개 항목에 걸쳐 수행하였다.

I 하천에 관한 사항 ;

- ① 하천종류 (준용하천, 지방하천 · · ·)
- ② 하천폭
- ③ 홍수터유무
- ④ 개수되었는가 ?
- ⑤ 만곡부에 위치하는가 ?
- ⑥ 주위의 제방상태는 안정한가?
- ⑦ 인위적 구조물이 상·하류에 존재하는가?

II 교량건설에 관한 사항;

- ① 제작년도 및 위치
- ② 교량전체 길이

- ③ 스펠의 길이
- ④ 보수한 흔적이 있는가 ?
- III 교각과 교대의 기초에 관한 사항;
 - ① 기초의 종류
 - ② 교각 및 교대길이
 - ③ 흐름과의 각도
 - ④ 부유잡물의 유무
 - ⑤ 폭 또는 직경
- IV 세굴에 관한 사항;
 - ① 최대세굴이 발생한 위치
 - ② 세굴 깊이
 - ③ 기초밑까지 세굴되었는가 ?
 - ④ 세굴에 의한 구조물의 손상여부
 - ⑤ 세굴 방지공의 설치여부
- V 기타사항

이밖에 세굴된 부분에 대한 사진촬영과 하천형상의 대략적인 스케치 그리고 하상재료의 입도 분석을 위하여 시료를 500 g 정도 채취하였다.

4. 세굴현황과 분석

4.1 세굴현황

조사된 교량의 길이를 나타낸 것이 표.3이며 60m이내의 중·소교량이 대부분을 차지하고 있으나 100m가 넘는 중규모 이상의 교량도 8%나 되었다. 중규모 이상의 경우 손쉽게 세굴깊이를 측정하기는 어려우며 보트를 이용하여야 하고 세굴측정을 위한 장비가 별도로 필요해진다. 또한 교각사이의 길이는 20m이내가 90% 이상 되었다. 교량의 제작년도는 5년 이내의 새로 건설된 것이 32%로 제일 많았고 10년에서 20년이 35% 30년 이상도 5%를 차지하고 있다. 교각기초의 모양은 타원형이 74%, 원형과 사각형이 각각 13% 및 7%로서 타원형이 가장 보편적으로 사용됨을 알 수 있다.

표. 3 조사교량의 길이 290 개소(%)

20m이내	20~40m	40~60m	60~80m	80~100m	100m이상
61 (21%)	88 (30%)	70 (24%)	31 (11%)	18 (6%)	22 (8%)

한편 흐름이 교각과 만나는 각도는 표.4와 같으며 10° 이내가 제일 많으나 30° 이상되는 것도

22%나 되며 60° 이상도 보이고 있어 흐름을 고려하지 않고 도로위주로 교각이 설계된것도 적지 않음을 보이고 있다. 세굴된 깊이를 나타낸것이 표.5이다. 30cm이내의 미미한 세굴을 보이는 곳이 26%정도이며 조사교량의 경우 주로 60cm내외로 세굴이 일어났음을 알수 있다. 그러나 1m이상 세굴이 일어난 곳도 20%를 넘고 있으며 1.5m이상도 3%로서 이들은 추후 정밀조사가 필요한 부분이다. 이러한 세굴깊이는 홍수시 훨씬 커질 것을 감안한다면 약 20%이상의 교량에서 잠재적으로 세굴의 위험성에 직면하고 있다고 볼 수 있다.

표. 4 흐름과 교각이 만나는 각도

10° 이내	10~20°	20~30°	30~40°	40° 이상
44%	21%	13%	11%	11%

표. 5 세굴 깊이

30cm이내	30~60cm	60~90cm	90~120cm	120~150cm	150cm이상
26.2%	31.0%	20.7%	13.4%	5.5%	3.1%

4.2 세굴원인 분석

현재까지 조사된 자료를 가지고 분석한 결과 교량을 설계할 때 반드시 고려해야할 사항을 요약하면 다음과 같다.

첫째 교량의 위치선정을 신중하게 해야 한다. 대부분의 문제교량은 만곡부에 설치됨으로서 만곡부 외측은 세굴이 심하게 일어나고 내측은 퇴적이 일어나 교량의 안정을 해치는 경우가 많다. 더구나 이 경우 홍수시 유량이 커짐에 따라 세굴되는 위치가 이동함으로서 적절한 방호대책도 찾기 힘들다. 따라서 세굴에 안정적이기 위하여는 흐름이 전체 단면에 고르게 분포하는 비교적 직선수로에 위치시켜야 한다.

둘째 교각이나 교대의 방향을 흐름과 평행하도록 설계해야한다. 최근들어 도로의 효율성을 높이기 위하여 하천을 비스듬히 가로지르는 교량이 증가하고 있으며 이때 교각이나 교대는 하천흐름에 따라 결정되어야 함에도 도로중심으로 설계되는 예가 빈번해 졌다. 이에 의한 세굴의 증가는 교량의 안정성을 해칠뿐 아니라 하천의 원활한 흐름을 방해하여 하상의 굴곡이 심해진다. 이런 곳에서는 원형교각을 사용하므로써 부정적인 영향을 다소 감소시킬수 있음을 보여준다. 더구나 도로가 하천내에서 곡선으로 휘는 경우에는 반드시 원형교각을 사용하도록 함이 바람직하다.

셋째 교량주위에 인위적인 구조물을 설치할 때 세굴에 대한 검토를 반드시 해야한다. 교량 상·하류에 일어나는 급격한 흐름변화는 예기치 못한 피해를 초래할 수 있기 때문이며 중·소 하천에 설치되는 농업용 보뿐만 아니라 특히 요즈음 도로의 확장으로 새로운 교량이 기존의 교량옆에 설치되는 경우가 많은데 이 경우 기존의 교량을 고려한 설계가 요구된다.

넷째 하천환경의 변화를 예측한 미래지향적인 설계가 필요하다. 급격한 도시화 및 산업화에 따른 대단위 아파트, 주택단지 조성 등 토지이용의 변화, 상류지역의 댐건설이나 유역변경등으로 하

천환경이 바뀜으로서 세굴양상도 달라지는데 이러한 것을 고려할수 있도록 장기적인 안목으로 설계함이 필요하다.

이외에도 안정한 교량을 설계하고 유지하기 위하여는 하상변동예측, 적합한 상부구조의 결정, 효과적인 방호대책의 선정등 많은 사항이 있으나 세굴에 대한 인식을 새롭게 하는 것이 가장 먼저 선행되어야 할 과제이다.

5. 결론

흔히 교량에서의 세굴문제는 기초가 암반까지 충분한 깊이로 근입되지 않아서 생기는 문제로 인식되고 있으나 이것은 크게 잘못된 것이다. 아무리 암반 깊숙히 설치되었다 하더라도 설계시 세굴에 대한 고려와 검토가 없었다면 세굴에 안정하다고 할 수 없다. 현재 기초밑 암반까지 세굴되어 심각한 위험에 노출되어 있는 교량이 우리주위에 많이 산재되어 있기 때문이다. 본 조사·연구를 통하여 세굴이 심한 교량일수록 상부구조를 보수한 흔적이 발견되는 것에서도 교량의 안정성에 세굴이 매우 중요한 역할을 담당한다는 것을 알 수 있다. 따라서 세굴에 대한 근원적인 접근과 효과적인 방지대책이 시급히 요구된다.

참고문헌

1. 내무부, 재해년보, 1971년~94년.
2. FHWA, Interim Procedures for Evaluating Scour at Bridges, Bridge Div, 1988.
3. Richardson, et. al, "Scour at Bridges," FHWA, 1988.