

# 중부 지역 중·소 하천의 교량의 세굴보호공 실태 조사

김병일<sup>\*1</sup>, 박용원<sup>\*2</sup>, 조성민<sup>\*3</sup>

## 1. 서론

국내에서 교각 기초의 세굴 문제가 본격적으로 대두된 시기는 1980년대 후반으로서, 당시 한강교량 중 하나인 광진교의 보수를 위해 기초 상태를 확인하는 과정에서 우물통(caisson) 기초 밑부분의 세굴이 심각한 상태인 것으로 관측되었다. 그 이후, 한강의 교량 전체를 조사한 결과 상당수 교량에서 보수가 시급할 정도로 심각한 규모의 기초 세굴이 발견되었다. 하천이나 해안에 건설되는 교량의 수명이나 안정성에 세굴이 미치는 영향은 매우 크며, 특히, 우리나라와 같이 홍수시 단기간에 걸쳐 유량이 급증하는 경우 유속에 의한 교량 기초의 급격한 세굴은 예상치 못한 교량 붕괴사고를 초래할 수 있다.

국내의 경우, 1981년 이후 조사된 결과에 의하면 매년 약 100여 개의 크고 작은 교량이 세굴로 인하여 붕괴 및 손상을 입는 것으로 나타났다(내무부, 1995). 1987년 여름 태풍 셀마와 다이너가 몰고 온 집중호우시 발생한 31건의 교량 붕괴 사고 중 경남 산청 고읍교를 비롯한 26건이 하상 세굴에 의한 교각 붕괴가 주요 원인이었으며, 1995년에는 태풍 제니스가 동반한 폭우로 충북선(철도) 화성철교의 2개 교각이 주변 세굴로 붕괴되면서 지나던 열차가 탈선하여 큰 피해가 발생하였다(한국도로공사, 2001).

근래 우리나라에서도 문헌조사, 수리모형실험, 현

지 조사 등을 통해 세굴 원인을 규명하고 세굴심 산정의 합리성을 제고하기 위한 연구가 비교적 활발하게 진행되고 있으나, 기초 자료인 국내 하천 교량 기초의 세굴 규모 및 적용한 보호공 현황 등에 대한 조사 실적이 부족하여 장·단기 세굴 대책 수립의 장애요인으로 작용하고 있다. 또한, 일부 진행 중인 현지 조사의 경우도 대부분 한강 등 큰 하천이나 고속도로 교량 등 주요 구조물에 한정되어 있어, 국내 교량의 절대다수가 위치한 중·소 하천에 대한 조사 자료는 특히 빈약한 형편이다. 따라서, 우리나라 전체를 대상으로 권역별로 하상 기초 세굴에 대한 전반적인 조사와 분석이 시급한 실정이다. 이 연구에서는 중부지역의 중·소 하천에 위치한 교량을 대상으로 세굴현황 및 세굴보호공에 관하여 조사하였다.

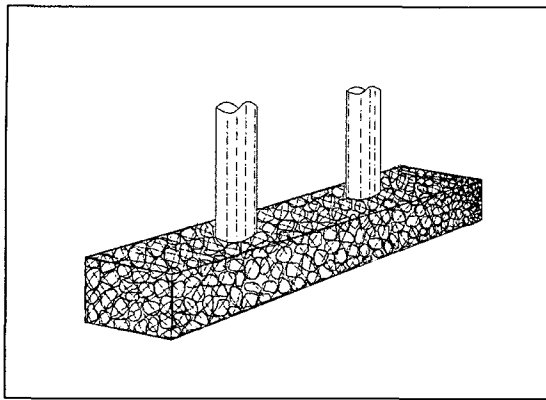
## 2. 세굴보호대책

세굴보호대책으로 현재 사용되고 있는 방법은 주로 교각의 형상을 물 흐름방향에 대해 유선형으로 하는 것과 교각배치를 흐름에 거스르지 않게 하는 것, 그리고 잡석을 쌓는 정도이다. 그러나, 우리나라와 같이 집중호우에 의해 강수량이 급격히 증가하고, 이에 따라 유속이 급속히 증가하는 경우에는 사석, 콘크리트 블록매트, 토목섬유 매트 등의 구조체를 이용하는 것과 같이 근본적이고 적극적인 방호대책을 적용해야 한다. 세굴로부터 교량기초를 보호하는 적극적인 보호공(방호공)의 종류를 서술하면 다음과 같

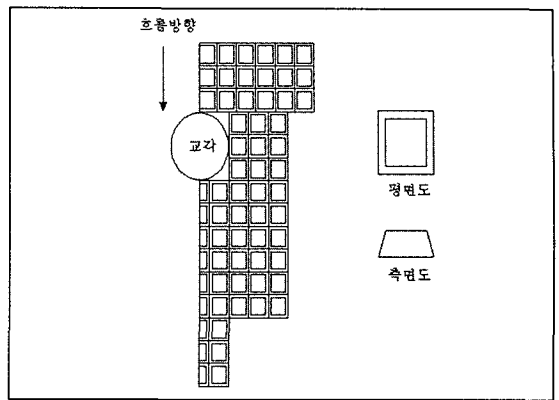
\*<sup>1</sup> 정회원, 명지대학교 토목환경공학과 부교수

\*<sup>2</sup> 정회원, 명지대학교 토목환경공학과 교수

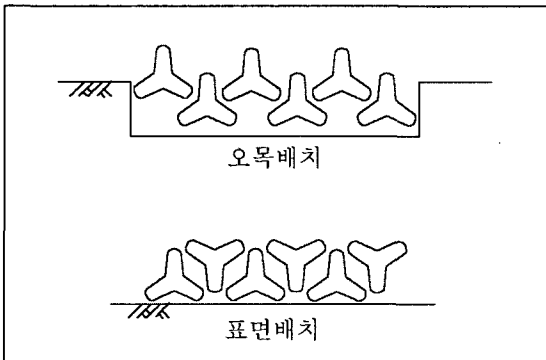
\*<sup>3</sup> 정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원



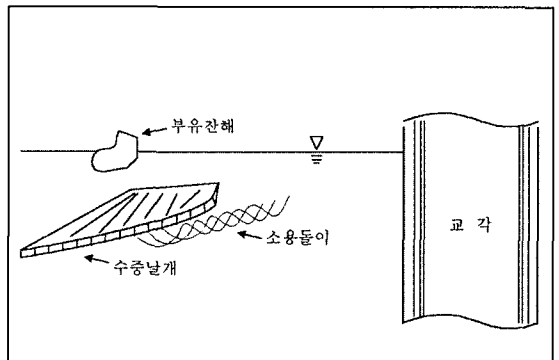
(a) 돌망태 공법 시공 예



(b) 콘크리트 블록매트



(c) 테트라포드를 이용한 방법



(d) 부유물 방지대책

그림 1. 세굴보호공 종류

으며, 몇 가지 예는 그림 1에 나타내었다(Dragahi, 1990 ; Betoldi & Kilgoro, 1993 ; McCorquodale et al., 1993).

- 1) 사석을 이용한 방법
- 2) 돌망태를 이용한 방법
- 3) 케이블로 연결된 콘크리트 블록매트를 이용한 방법
- 4) 테트라포드(tetrapod)를 이용한 방법
- 5) 부유물 방지대책
- 6) 교각에 평판을 부착하는 방법
- 7) 케이슨 기초를 설치하는 방법
- 8) 도류제(guide bank), 돌출수제 설치

- 9) 낙차공의 건설 혹은 기존기초의 보강
- 10) 토목섬유 등을 이용한 포설형 보강 방법

이들 중 일반적으로 가장 많이 이용되고 있는 것은 사석을 이용하는 방법이며, 테트라포드는 주로 해상 세굴 보호를 위해 사용되고 있으나, 최근 하천세굴의 적용에 있어 그 효율성이 검토되고 있는 실정이다. 사석을 대신하여 케이블로 연결된 콘크리트 블록매트를 이용하기도 하며, 부유물이 기초 주변에 쌓이면 흐름 폭이 좁아져 유속이 증가하게 되고 이로 인해 세굴이 발생하게 되는데 이를 방지하기 위해 부유물이 기초에 부딪치지 않고 그대로 흘러가도록 하는 부유물 방지대책이 세굴보호공으로 사용되기도 한다.

또, 교각에 평판을 부착하여 교각 전면에 발생하는 하강류를 감소시켜 세굴을 줄이는 방법도 있다. 최근에는 교각 기초의 형태에 맞게 재단한 토목섬유를 설치 대상지점에 고정시키고 수중콘크리트를 타설하는 방법도 사용되고 있는데, 다열식 기초에서 각 말뚝에 보호막을 밀착시켜 국부세굴을 방지하는 효과도 있다(정 외, 2001; 한국도로공사, 2001).

### 3. 세굴보호공 조사

우리나라는 산악지형이 국토의 대부분을 차지하고 있어 전체유역을 놓고 보았을 때 중·소 하천이 차지하는 비율이 대하천보다 상대적으로 크고, 그 중엔 교량의 길이가 매우 짧은 소교량이 수적으로 많이 분포하고 있다. 또한, 하상경사가 매우 급해 유속이 빠르며, 하상을 이루는 입자들도 입경이 큰 모래나 자갈로 대부분 이루어져 있다. 이러한 지역적 특성과 함께 연강우량의 절반 이상이 여름철에 집중하고 있어 홍수로 인한 피해가 항시 우려되며, 더욱이 태풍 등에 의한 집중호우 때문에 생기는 피해도 매우 크다. 이로 인하여 하천의 유량이 매우 빠르게 변화하며 유속 또한 급속히 빨라져 하상 상태의 변화가 순식간에 이루어지고 있다.

이와 같은 우리나라 중·소 하천의 경우 지형적 특성이 교량세굴에 매우 큰 영향을 주고 있는 것으로 판단되어, 관측이 비교적 쉬운 중부지역의 중·소 하천 교량을 대상으로 세굴현황 및 세굴보호공 실태조사, 그리고 보호공이 있는 경우와 없는 경우 세굴상

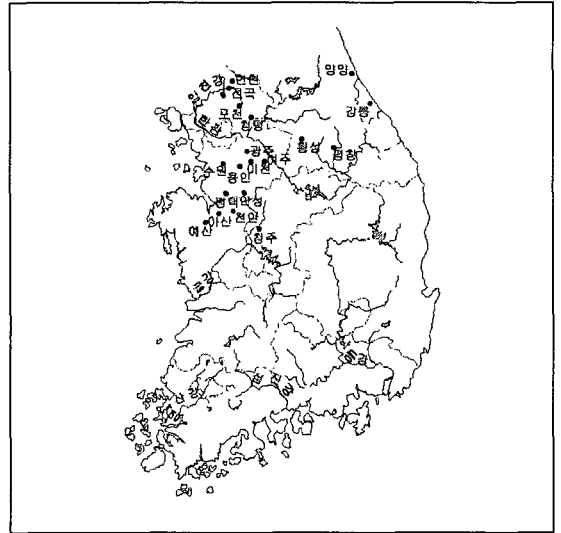


그림 2. 대략적인 조사 지역

태 비교 연구 등을 실시하였다.

#### 3.1 조사 지역

표 1 및 그림 2와 같이 경기, 충청, 강원 지역의 중·소하천에 위치한 교량 439개를 대상으로 세굴현황 및 세굴보호공에 관하여 조사하였다. 조사는 수위가 낮아 육안 관찰이 용이한 4월~5월 중순 사이에 실시하였으며, 중부지방에 산재되어 있는 중·소 하천에 위치한, 일반적으로 교각수 5개 이하, 조사 당시의 수심이 1.5m이하인 소규모 교량을 대상으로 조사가 이루어졌다. 표 2는 조사된 교량을 길이별로 분류한 것이다.

표 1. 지역별 조사교량수

조사 지역	청평 포천	용인 광주	전곡 연천	안성	수원 아산	이천 철주	평택 온양	천안 예산	여주	황성 양양	강릉 평창	총계
교량수	38	34	31	38	30	35	30	30	22	81	70	439

표 2. 조사교량의 길이별 분류

20m 이내	20~40m	40~60m	60~80m	80~100m	100m 이상
97(22%)	140(32%)	97(22%)	44(10%)	26(6%)	35(8%)

표 3. 현장 조사항목

구 분	항 목
하천에 관한 사항	하천종류(준용하천, 지방하천 ...)
	하천폭
	홍수터유무
	개수되었는가?
	만곡부에 위치하는가?
	주위의 제방상태는 안정한가?
	인위적 구조물이 상·하류에 존재하는가?
교량 기초에 관한 사항	기초의 종류
	교각 및 교대길이
	흐름과의 각도
	부유잡물의 유무
	폭 또는 직경
교량에 관한 사항	제작년도 및 위치
	교량전체 길이
	스팬의 길이
	보수한 흔적이 있는가?
세굴에 관한 사항	최대세굴이 발생한 위치
	세굴깊이
	기초밀까지 세굴되었는가?
	세굴에 의한 구조물의 손상여부
기타사항	세굴방지공의 설치여부 및 방호공 종류
	세굴된 부분에 대한 사진촬영과 하천형상의 대략적인 스케치, 하상재료의 입도분포를 위하여 시료를 500g정도 채취

### 3.2 조사 항목

이번 조사는 육안이나 간단한 기구(줄자, 스타프, 각도기 등)를 이용하여 표 3과 같이 하천의 상·하류 상태, 교량의 상·하부구조, 수중 교각기초, 세굴 형상 및 세굴 깊이, 보호공의 설치여부 등을 조사하였다. 조사항목은 미연방도로국에서 추천한 조사항목(FHWA, 1988; Richardson & Davis, 1995)을 참조하여 결정하였다.

### 3.3 조사시 나타난 세굴 상태

그림 3은 세굴 현황조사시 나타난 세굴 상태를 나타낸 것으로, 교각 밀부분이 세굴로 인하여 하부구조를 드러내거나 심하게 손상된 모습을 볼 수 있으며,

제방의 손실과 교각주위의 유송잡물도 볼 수 있었다.

## 4. 조사교량 분석

### 4.1 세굴현황

우리나라 중부지역의 중·소하천에 위치한 439개의 교량을 조사한 결과 교량의 길이는 표 2에서 보는 바와 같이 직접기초를 사용하는 60m이하의 교량이 대부분을 차지하고 있으며, 대부분 교량의 경간장은 20m이내이고, 교각 기초는 타원형이 2/3 이상이었다. 하천 흐름과 교각이 이루는 접근각이 30°가 넘는 교량이 18%나 되었고, 세굴심이 1m 이상인 곳이 20%로 조사되었다(여 & 강, 1999 a). 또한, 세굴심은 교량 제작년도, 수심, Froude 수 및 접근각이 커짐에 따라 증가하는 경향을 나타내고 있다(여 & 강, 1999 b).

한편, 용인·광주지역 34개소 교량 중에서 원형과 타원형의 교각을 갖는 33개소의 교량에 대하여 경간장과 세굴심의 관계를 정리하면 그림 4와 같다. 그림 4에서는 하천 흐름과 교각이 이루는 접근각을 15° 단위로 분류하였다. 그림 4를 살펴보면, 경간장이 증가하면 교각폭에 대한 상대 세굴심이 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 접근각 크기보다는 경간장 크기에 세굴심이 보다 민감함을 알 수 있다. 최근 하천설계 기준에서는 최소 경간장을 12.5m로 규정하고 있다(건설교통부, 2000). 이는 경간장이 작은 경우 그림 3(d)에서 보는 바와 같이 홍수시 급류와 함께 상류로부터 유입된 유송잡물이 교각에 걸리며, 통수단면이 줄어들어 유속이 더욱 증가하여 세굴작용이 활발해지기 때문이다. 그런데, 그림 4에서 보는 바와 같이 22개소 교량은 경간장이 12.5m보다 작다. 이는 최근의 하천설계기준이 적용되기 전에 이미 가설된 교량을 대상으로 조사하였기 때문이기도 하고, 또한 중·소 하천상에 위치한 현재 공용중인 대부분의 교량의 현실이기도 하다. 따라서, 현재 공용중인 대부



(a) 기초파손



(b) 바닥이 들어난 기초



(c) 제방손실



(d) 유송잡물의 모습

그림 3. 조사시 나타난 세굴상태

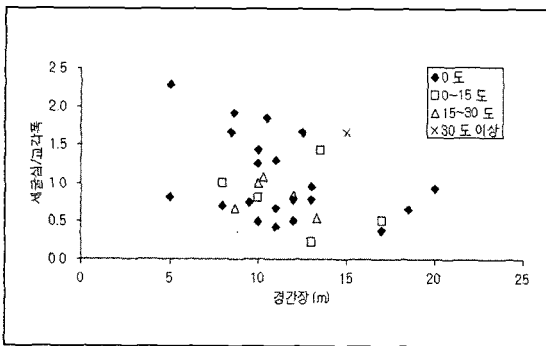


그림 4. 경간장과 세굴심의 관계

표 4. 세굴보호공이 있는 교량

조사분석 교량수	방호대책이 있는 교량수
288개	21개(7.3%)

분의 교량에서 세굴보호대책은 교량의 안정성에 있어 큰 영향을 주는 것임을 알 수 있다.

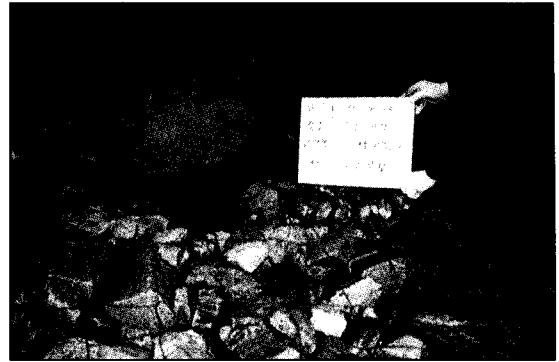
#### 4.2 세굴보호공이 설치된 교량수

경기도 북부지역, 남한강 중류지역, 강원지역, 충청 서해안 지역, 영동지역에 걸쳐 총 439개에 이르는 교량에 대하여 세굴 현황 파악을 위한 기초 조사를 실시하였으나, 강원 지역의 151개 교량은 하천 구배가 크고 유속이 비교적 빠름에도 불구하고 별다른 보호대책이 없어 세굴보호공 조사 분석에는 제외하였다.

전체 교량 중 방호대책이 전혀 없는 강원지역을 제외한 경기 및 충청 지방의 288개 하천 교량의 조사



(a) 사석보호공



(b) 돌망태를 이용한 방법

그림 5. 설치된 세굴보호공

표 5. 세굴 보호공이 시공된 교량의 제원, 세굴심 및 보호공 종류

교량 이름	준공년도 (m)	교량길이 (m)	교각폭 (m)	교각길이 (°)	흐름각도 (m)	세굴심	교각모양	보호공 종류
합천교	1955	29.7	0.8	6.45	20	0.10	타원	돌망태
제2천리교	1968	30	0.8	7.4	0	0.68	타원	돌망태
난실교	1990	53	0.5	9.0	0	0.27	타원	돌망태
권율교	1988	24	0.35	6.8	0	-	사각	콘크리트 보강
석현교	1988	36	2.2	9.4	0	-	사각	콘크리트 보강
대광교	1985	175	5.2	8.0	0	0.78	원형	콘크리트 보강
조종교	-		2	4	0	0.4	사각	콘크리트 보강
반계교	1988	71	0.8	10.8	0	1.0	사각	돌망태
입초교상류	-	40	3.5	6.4	0	1.0	사각	콘크리트 보강
운담교	1994	73	1.2	-	15	1.0	원형	사석
구변교	1967	85	0.9	4.5	10	1.0	사각	강판으로 보강
송동교	1978	90	0.9	9.8	20	0.6	타원	콘크리트 보강돌망태
반암교	1970	20	2.2	9.4	15	0.5	타원	콘크리트 보강
구갈교	1992	60	1.5	9.15	20	1.18	원형	옹벽설치
북창교	1988	72	0.8	6.3	40	0.7	타원	콘크리트 보강
기곡교	1976	55	0.4	7.3	15	0.35	타원	콘크리트 보강
속곡교	1994	45	1.0	7.0	15	0.27	사각	돌망태
합강교	1985	170	2.5	4.5	0	0.7	사각	강판보강
화일교	1986	10	-	-	0	0.4	타원	콘크리트 보강
청미교	-	141.5	1.2	4.8	0	0.6	타원	강판으로 보강 콘크리트벽 설치
좌부교	1974	88	1.0	6.5	0	0.58	사각	돌망태

내용을 분석한 결과 보호공이 시공된 교량은 표 4와 같이 7.3%에 불과한 21개였다. 세굴이 교량의 안정성에 심각한 영향을 주는 데도 불구하고 국내 중소 하천에 위치한 교량의 세굴에 대한 보호대책은 매우

미비한 것으로 나타났다.

그림 5는 보호공이 설치된 교각 예이다. 세굴보호공이 설치된 경우에도 대부분은 세굴이 많이 진행된 이후에 시공된 것으로 판단되었다.

표 6. 조사된 전체 교량(288개)의 세굴깊이 분포

30cm 이내	30~60cm	60~90cm	90~120cm	120~150cm	150cm 이상
26.2%	31.0%	20.7%	13.4%	5.5%	3.1%

표 7. 적용된 보호공의 비율(교량수 21개)

보호공	비율
교각기초의 콘크리트 보강	47.6%(10개)
돌망태	33.3%(7개)
교각기초의 강판 보강	14.3%(3개)
콘크리트벽 설치	9.5%(2개)
사석	4.8%(1개)

### 4.3 세굴보호공이 설치된 교량의 특징

조사된 교량 중 보호공이 설치된 교량의 제원, 세굴심, 보호공 종류는 표 5와 같다. 표 5에서 보는 바와 같이 세굴보호공이 시공된 교량에서 세굴 깊이의 평균값은 0.88m이다. 이 값을 표 6과 비교해 보면 288개의 조사교량 세굴깊이 분포에서 보호공이 시공된 교량의 세굴 깊이가 평균값은 더 큰 경향이 있음을 알 수 있다. 그러나, 보호공이 시공된 교량에서 측정된 세굴깊이는 교각 주변이 아닌 각각의 보호공 주변에서 발생한 세굴 깊이이므로 실제 교각에 직접적으로 세굴이 발생하는 일반 교량의 경우에 비하여 안전한 상태에 있는 것으로 조사되었다. 또한, 세굴에 대한 큰 피해가 예상되는 교량에 대해서만 보호공을 설치하였기 때문인 것으로 추정되기도 한다.

표 7은 조사교량에 적용된 세굴 보호공의 종류별 비율을 나타낸 것으로, 콘크리트로 교각기초를 보강하는 방법이 가장 많이 사용된 것으로 나타났고 또한, 사석을 이용한 돌망태 방법도 비교적 큰 비율을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 교각 기초를 콘크리트로 보강하는 방법이 많이 이용되는 이유는 수월한 시공 때문으로 판단된다. 이 조사는 단순한 측정장비에 의한 기초조사였으므로 필요에 따라 하천의 규모, 유속, 교량 형태, 흐름 각도 등을 고려한 다양하고 정밀한 관측이 요구된다.

이번 조사결과를 사석 보호공이 다수를 차지하는

것으로 나타난 다른 조사 결과와 차이를 보이고 있다. 2000년 3월 당시에 설계가 완료된 고속도로 신설노선의 하천교량을 대상으로 적용한 세굴보호공의 종류를 조사한 연구에 따르면, 조사대상 76개 교량의 90%에 해당하는 70개 교량에서 사석 보호공을 채택한 것으로 파악되었다(한국도로공사, 2000). 미국의 경우 1995년의 조사 자료에서 직·간접 형태의 세굴 보호공이 적용된 교량의 수가 36,432개에 이르며, 이 중에서 7,801개의 교량에 하상의 세굴 저항력을 높이는 장갑화 방법이 사용되었고, 그 중 77%에 해당하는 5,985개소에 사석 보호공이 채택된 것으로 나타났다(Parker et al., 1998).

## 5. 결론

이 연구에서는 우리나라 중부지역의 중·소 하천에 시공된 교각기초에 대하여 세굴현황 및 세굴보호공 실태조사를 수행하였다. 조사결과 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 중부지방의 중·소 하천 교량의 세굴현황 조사 결과 교량 세굴이 심각하게 발생하고 있으며, 몇몇 교량은 기초가 드러나거나 일부 파손되는 등 교량 안정성이 위협을 받고 있어 세굴보호대책이 필요한 것으로 나타났다.
- 2) 조사한 대부분의 교량 경간장이 20m이내이며, 경간장이 작을수록 세굴심이 증가하는 경향을 보이고 있다. 특히, 현재 중·소하천에 위치한 대부분의 공용중인 교량의 경간장이 하천설계기준의 최소 경간장 규정을 만족시키지 못하고 있는 실정에서 세굴보호대책은 교량의 안정성을 확보하기 위하여 매우 시급한 상태임을 알 수 있다.

- 3) 경기·충청 지방의 조사 교량 288개 중에서 보호공이 있는 교량수가 전체교량수 중에 10%에도 못 미치는 21개소(7.3%)에 불과했으며, 이것은 세굴의 중요성에 비해 상당히 부족한 실정이다.
- 4) 보호공의 실태조사 결과, 세굴보호공 설치된 21개 교량 중, 교각 기초의 콘크리트 보강이 47.6%, 돌망태공이 33.3%, 교각 기초의 강판 보강이 14.3%, 콘크리트벽 설치가 9.5%, 사석 보호공이 4.8%로 조사되었다. 조사된 교량 중에서 교각 기초를 콘크리트로 보강하는 방법이 가장 많이 이용되는 이유는 시공의 수월성 때문으로 판단된다.

### 참고문헌

1. 건설교통부(2000), 하천설계기준
2. 내무부(1995), 1985-1994 재해년보
3. 여운광, 강준구(1999 a), "우리나라 중·소 하천의 세굴 특성 조사 연구(1)", 한국수자원학회 논문지 제 32권 제 1호, pp.41~47
4. 여운광, 강준구(1999 b), "우리나라 중·소 하천의 세굴 특성 조사 연구(2)", 한국수자원학회 논문지 제 32권 제 1호, pp.49~59
5. 정경자, 김태수, 김경석, 송재현(2001), "토목섬유대를 이용한 세굴 방호공의 개발", 2001년 토목섬유 학술발표회, pp.267~272
5. 한국도로공사(2000), 고속도로의 공용 중인 교량의 세굴 안정대책 수립(I), 중간보고서, pp.65~67
6. 한국도로공사(2001), 고속도로의 공용 중인 교량의 세굴 안정대책 수립(II), 연구보고서, pp.1~2
7. Betoldi, D. and Kilgore, R.(1993), "Tetrapods as a Scour Countermeasure", Proceedings of Hydraulics, pp.1385~1390
8. Dragahi, B.(1990), "Controlling Mechanism of Local Scouring", J. of Hydraulic Eng., ASCE, Vol.116, No.10, Oct., pp.197~214
9. FHWA(1988), Interim Procedures for Evaluating Scour at Bridges, U.S., Dept. of Transportation, FHWA, Washington, D.C.
10. McCorquodale, J. A., Mowad, A. and McCorquodale, A. C.(1993), "Cable-tied Concrete Block Erosion Protection", Proceedings of Hydraulics, pp.1367~1372
11. Parker, G., Toro-Escobar, C., and Voigt, R. I. Jr.(1998), "Countermeasures to Protect Bridge Piers from Scour", Draft Final Report(Project NCHRP 24-7) prepared for National Cooperative Highway Research Program, University of Minnesota, Minneapolis, Minnesota, USA, 402pp
12. Richardson, E. V. and Davis, S. R.(1995), Evaluating Scour at Bridges, Report FHWA-IP-90-017, Federal Highway Administration, Hydraulic Engineering Circular No.18, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.

### 모시는 글

우리 학회 회장을 역임하신 단국대학교 토목 환경공학과 죽전 이종규 교수님께서 올해로 정년을 맞이하게 되었습니다. 이에 정년기념 논문 봉정식을 갖고자 하오니 회원 여러분의 많은 참석을 부탁드립니다.

- 일 시 : 2003. 8. 29(금) 오후 6:00
- 장 소 : 메리어트 호텔(Grand Ballroom)

죽전 이종규 교수 정년 기념사업회