

우리나라 중·소 하천의 세굴특성 조사연구(2) Field Investigation of Bridge Scours in Small and Medium Streams(2)

여운광* / 강준구**
Yeo, Woon Kwang / Kang, Joon Gu

Abstract

In order to understand the present situation of bridge scouring and to provide the fundamental information for bridge design, *in-situ* measured data is analyzed for bridge scours at small and medium streams in the heartland of Korea. The physical parameters affecting the bridge scouring such as flow depth, velocity, pier length and width, scouring depth, and the angle between flow and pier are extensively surveyed and measured.

According to the locality and the pier type data are classified to analyze. With these data, some important factors for the scour depth such as flow depth, angle and Froude number are investigated and applied to existing formulas proposed by many researchers. In addition, the computational results are compared with the measured and some of the applicable formulas in this region are recommended.

keywords: bridge scour, scour formula, scour depth, scour analysis

요 지

우리 나라의 세굴현황을 파악하고 교량설계에 대한 기초자료를 제공하기 위하여 중부지방의 중·소하천에 위치한 교량에 대하여 실시한 세굴조사 자료를 분석하였다. 현장실측은 주로 세굴에 영향을 미치는 물리량들, 즉 수심, 유속, 교각폭 및 길이, 세굴깊이, 접근각 등을 중심으로 이루어졌다. 지역적으로는 경기도 용인·광주지역, 홍천강의 서면지역, 청평·포천지역, 연천지역, 청주북일지역으로 구분하였으며 교각도 타원과 원형으로 구분하였다. 이들로부터 세굴깊이와 수심, 접근각 또는 Froude수 등 주요 인자들과의 관계를 도출하였으며 또한 기존의 제안된 세굴공식에 이들을 적용시켜 세굴깊이를 산정하였다. 또한 실측된 세굴깊이와 비교하여 우리 나라에 적용가능한 세굴공식을 제안하였다.

핵심용어 : 교량세굴, 세굴공식, 세굴깊이, 세굴분석

-
- * 명지대학교 공과대학 토목·환경공학과 교수
Prof., Dept. of Civil and Envir. Engrg., Myongji Univ., Yongin, Kyonggi 449-728, Korea
 - ** 명지대학교 공과대학 토목·환경공학과 박사과정
Doctoral Student, Dept. of Civil and Envir. Engrg., Myongji Univ., Yongin, Kyonggi 449-728, Korea

1. 서 론

우리나라는 산악지역이 국토의 대부분을 차지하고 있어 전체유역을 놓고 볼 때 대하천이 차지하는 부분 보다는 중·소 하천이 차지하는 부분이 상대적으로 크고 교량의 길이가 짧은 소교량이 수적으로 많은 부분을 차지하고 있다. 또한 소교량을 가지고 있는 중·소 하천은 대부분 산악지대에 위치하여 하상경사가 크므로 유속이 대체적으로 빠르고 평상시 흐름방향과 홍수시 흐름방향이 현격히 차이나는 경우가 많다. 이러한 지형적 특성과 더불어 우리 나라 연강우량의 2/3이상이 여름철에 집중되고 있을뿐 아니라 태풍 또는 국지적 호우도 짧은 기간에 강우가 집중적으로 내려 피해를 가중시키고 있다. 그 중에서도 특히 중·소 하천의 유량은 시간적으로 매우 빠르게 변화하며 유속 또한 급속히 빨라져 하상의 변형이 순식간에 일어나고 있다. 이와같은 시간적, 공간적인 호우특성과 지형특성으로 인하여 중·소 하천에 위치한 교량은 특히 세굴에 매우 취약함을 보여주고 있는데 이는 외국과 매우 다른 성격을 내포하고 있다. 그럼에도 불구하고 설계시 세굴에 적용시키는 식들은 모두 외국에서 개발된 것으로서 이들 식들의 적용성에 대한 의구심은 전부터 제기되어 왔다. 그러나 현재 세굴에 관한 연구는 현장측정보다는 주로 실내실험에 국한된 것이 많아 적용에 한계성이 있어왔으며 이에 본 연구는 현장측정에 초점을 맞추었다. 따라서 가장 세굴의 위험성에 노출되어 있는 중·소 하천교량을 대상으로 실제 발생한 세굴깊이를 실측하였으며 이들 자료를 모아 기존 공식들에 적용시켜 비교·분석하였다.

2. 조사 및 분석자료

조사유역은 우리 나라 중부지역을 중심으로 실시하였다. 주로 한탄강 유역을 포함한 한강수계에 대하여 두루 측정하였으며 미호천 등의 금강 상류지역과 안성천, 삽교천 등 서해안으로 흐르는 하천과 양양, 강릉의 남대천 및 삼척의 오십천 등 동해안 유역도 포함시켰다. 구체적인 조사지점은 여운광과 강준구(1999)에 나타나 있다. 조사 교량수는 총 439여개에 이르렀으나 우선 본 연구에서는 청평·포천 지역, 용인·광주 지역, 연천 지역, 북일 지역 등 한강수계의 자료를 중심으로 세굴인자에 대한 분석을 실시하였다. 세굴관측은 1, 2차에 걸쳐 실시했고 홍수기가 지난 직후 1차 관측한 자료에서 선택한 지역을 중심으로 조사하였는데 조사

항목은 상·하류의 하천상태, 교량의 교각형태 및 주요 인자에 대해 종합적이고 구체적으로 이루어졌다. 본 조사 대상인 하천은 중·소하천이므로 평시에는 직접 들어가 측정할 수 있어 간단한 기구로서 측정하였다. 유속 및 유형 등 흐름조건에 대해서는 홍수시 대상교량에서 직접 확인하는 방법과 홍수흔적을 통해 간접적으로 확인하는 방법을 사용하였다.

3. 세굴영향 인자별 분석

본 연구에서 실시한 교량에 대한 1차 조사에서는 우선 교량세굴의 상태를 알아보기 위해 교량의 제작년도, 길이, 교각의 형태, 세굴된 깊이와 교량이 위치한 주변 하천환경 등을 중심으로 조사하였으며, 2차 조사에서는 국부세굴에 대한 영향인자의 도출을 위해 이 자료로부터 세굴이 심하게 일어난 교량을 선택하여 좀 더 정밀하게 다시 조사하였다. 이러한 두 번에 걸친 현장조사를 기초로 하여 세굴에 가장 영향이 크다고 여겨지는 수심, Froude수, 접근각에 대해 각각의 세굴심을 분석하였고 기존 공식에 적용시켜 비교하였다. 하상물질은 현장에서 채취하여 d_{16} , d_{50} , d_{84} 의 값을 뜰체분석하여 사용하였다. 이때 Jones (1983)의 비교표를 참조하여 세굴심과 수심을 비교하였으며 Froude수의 변화에 대한 것은 Anderson(1974)을 참조하였다.

3.1 세굴심과 수심의 비교

세굴심과 수심의 관계는 그림 1과 2에 나타난 바와 같이 지역 및 교각의 모양에 따라 각각 분류하여 나타내었다. 지역적으로는 용인·광주지역, 북일(청주)지역, 서면(홍천강)지역, 연천(임진강)지역, 청평·포천지역으로 나누었고 교각모양은 원형교각과 타원형교각으로 나누었다. 이들 그림에 의하면 세굴심은 수심이 커질수록 증가하는 것을 보여주고 있는데 이는 세굴심에 대한 많은 공식들이 수심의 지수형태로 표현되고 있음을 감안할 때 이러한 경향을 잘 나타내주고 있다. 다만 깊은 수심에도 불구하고 세굴심이 작게 나타나는 경우도 다수 보이고 있으나 이것은 교량이 세워진지 얼마 되지 않아 아직 최대세굴심에 이르지 못했기 때문으로 여겨진다.

한편 지역적인 특성을 알아보기 위하여 5개 지역으로 세분하여 수심과 세굴깊이와의 관계를 나타낸 바에 의하면 용인·광주지역은 매우 좁은 띠를 형성하고 있으나 다른 지역은 매우 산재되어 있음을 보인다. 이것은 용인·광주지역은 4 m 이내의 비교적 얇은 수심으

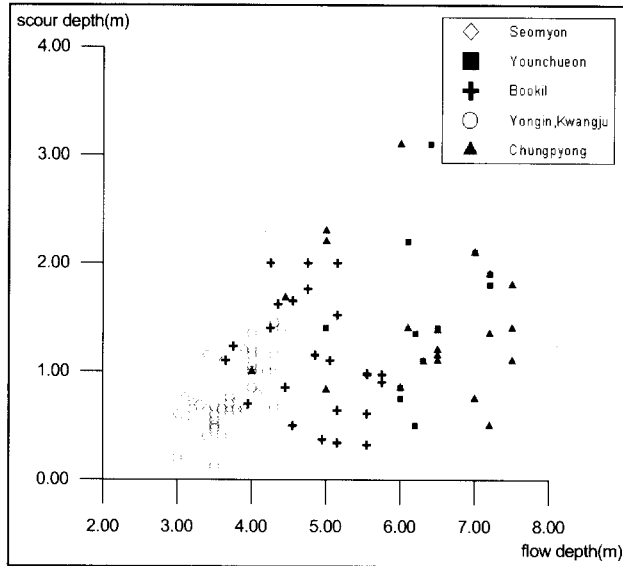


그림 1. 수심과 세굴심의 관계(지역별 분류)

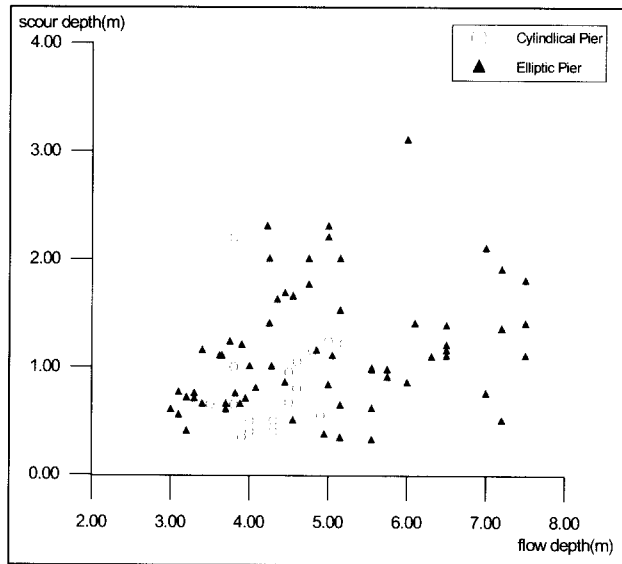


그림 2. 수심과 세굴심의 관계(원형 · 타원교각 비교)

로 타지역에 비하여 평탄하기 때문에 여겨지는 반면에 연천 및 청평·포천지역은 산악지형의 특성에 의하여 비교적 큰 세굴심을 보이고 있다고 판단된다. 그러나 구체적인 입증에는 좀 더 세밀한 분석이 요구된다. 다음은 교각의 형태에 따른 영향을 알아보기 위하여 타원형 및 원형으로 구분하여 나타낸 것이 그림 2이며

이에 따르면 한 지점을 제외하고는 일반적으로 원형형태의 교각이 작은 세굴심을 보인다. 이는 원형이 세굴에 보다 안정적임을 말해주고 있으며 그 이유는 교각과 흐름이 이루는 각도에 무관하기 때문으로 판단된다.

3.2 기존의 세굴심 산정식과의 비교

현재까지 세굴심의 산정을 위하여 매우 많은 식이 제안되어 왔으며 제안된 식마다 나름대로 타당성을 가지고 있다. 그러나 식이 많다는 것은 역설적으로 잘 안 맞는다는 것을 뜻하며 그 이유는 세굴심에 영향을 미치는 인자들이 매우 많을 뿐 아니라 이들이 복합적으로 연계되어 있기 때문이다. 더구나 지형적 특성 및 강우특성에 따라 많은 차이를 나타내어 범용적인 공식을 이끌어 내기가 쉽지 않은 것도 사실이다. 여기서는 이러한 현실을 감안하여 현재 많이 사용되고 있는 기존예측식을 현장에 적용시켜 실측값과 산정값을 비교·분석하였다. 이를 위하여 수심과 세굴심을 각각 교각폭으로 나누어 무차원화시켜 비교의 편리함을 도모하였으며 표 1은 비교에 사용된 식들을 나타낸 것이다.

한편 Froude수와 세굴심과의 관계를 나타낸 식들도 여러가지가 있으나 여기서는 Shen 등(1969), Ahmad(1962), Jain과 Fischer(1979) 및 CSU (FHWA, 1988)식과 비교하였으며 표 2에 이들의 구체적인 식의 형태를 수록하였다. 표 1과 2에 표기된 변수들은 여기서 생략하였으며 각각의 인용문헌을 참조하기 바란다.

3.2.1 실측된 세굴심과 산정된 값의 비교

본 조사연구에서 실측한 세굴깊이와 기존의 제안된 세굴식들로부터 산정된 세굴깊이를 나타낸 것 중 일부

분을 표 3에 수록하였고 표 4는 계산공식에 사용된 세굴인자의 값을 나타낸 것이다. 이에 의하면 전반적으로 관측치보다 제안식에 의한 계산치가 크게 나타나는 데 적게는 0.5배에서 크게는 8배의 차이가 있음을 보여준다. 이것은 지역적 특성, 강우특성 및 지질적 환경 등이 제안된 식의 상황과 다를 수 있기 때문이며 또한 세굴되는 깊이가 아직 최종세굴깊이에 이르지 않을 수도 있기 때문으로 생각된다. 따라서 이들 영향을 세분화시키는 것이 필요하며 우선 수심, 교각폭, Froude수 및 접근각에 따른 변화를 다음절에서 분석해 보았다.

3.2.2 교각폭에 대한 세굴심과 수심비교

교각폭에 대한 세굴심과 수심과의 관계를 알아보기 위하여 실측치와 기존의 공식중 Inglis(1949), Neill (1963), Laursen(1958), Laursen과 Toch(1953), CSU, Breusers(1964), Blench(1969)에 의한 산정값을 나타낸 것이 그림 3과 4이다. 이에 의하면 Froude수의 변화에 따라 차이가 있음을 볼 수 있는데 전체적으로 Blench 공식과 Inglis공식은 과소평가되고 있음을 보이고 있으나 수심이 낮고 Froude수의 값이 0.35 이하일 경우는 접근되어 있고 Froude수의 값이 0.40 이하일 경우 수심이 깊은 곳에서의 세굴의 상한값으로 볼 때 Neill 공식, Laursen과 Toch공식과 CSU공식에 잘 부합되고 있다. 그러나 Froude수의 값이 0.40 이상일 경우는 일부분의 실측치의 값이 제안된 식보다 크게 나타남을 알 수 있어 기존의 세굴식을 적용함에

표 1. 수심과 세굴심의 비교에 사용된 공식

Inglis	$d_s/b = 1.73 \cdot (Y_0/b)^{0.78} - (Y_0/b)$
Neill	$d_s/b = 1.5 \cdot (Y_0/b)^{0.3}$
Laursen	$d_s/b = 1.1 \cdot (Y_0/b)^{0.5}$
Laursen과 Toch	$d_s/b = 1.35 \cdot (Y_0/b)^{0.3}$
CSU	$d_s/b = 2.0 \cdot K_s \cdot K_a \cdot (Y_0/b)^{0.35} \cdot Fr^{0.43}$
Breuser	$d_s/b = 1.4$
Blench	$d_s/b = 1.8 \cdot (Y_0/b)^{0.75} - (Y_0/b)$

표 2. 세굴심과 Froude수의 비교에 사용된 사용된 공식

Shen 등	$d_s/b = 3.4 \cdot Fr^{0.67} \cdot (Y_0/b)^{0.33}$
Ahmad	$d_s/b = K_s \cdot g^{0.33} \cdot Fr^{0.67} \cdot (Y_0/b) - (Y_0/b)$
Jain	$d_s/b = 1.84 \cdot Fr^{0.25} \cdot (Y_0/b)^{0.3}$
CSU	$d_s/b = 2.0 \cdot K_s \cdot K_a \cdot (Y_0/b)^{0.35} \cdot Fr^{0.43}$

표 3. 실측세굴깊이와 제안된 세굴공식에서 얻은 세굴깊이(m)

교량명 \ 기준식	실측 세굴심	Inglis (1949)	Neill (1963)	Laursen (1958)	Laursen과 Toch(1953)	CSU (1988)	Breuser (1964)	Blench (1969)	Shen등 (1969)	Ahmad (1962)	Jain (1979)
신대교	0.95	1.10	2.17	2.06	1.95	2.26	1.40	1.11	3.23	6.89	2.61
문화교	1.15	0.87	1.89	1.90	1.70	2.72	1.12	0.84	3.40	6.84	2.90
능말교	0.47	0.64	1.45	1.48	1.31	2.18	0.84	0.61	3.92	6.61	3.14
석성교	0.60	0.64	1.47	1.52	1.33	2.79	0.84	0.60	3.65	6.08	3.09
금학교	1.15	0.87	1.89	1.90	1.70	2.64	1.12	0.85	3.64	7.58	2.98
김량대교	1.40	0.72	1.75	1.83	1.58	3.31	0.98	0.67	3.38	6.54	3.07
고진교	1.15	0.59	1.55	1.65	1.40	4.01	0.84	0.53	3.70	6.76	3.28
유수교	0.67	0.88	1.81	1.77	1.63	2.72	1.12	0.87	3.71	7.27	2.87
고림교	1.00	0.61	1.52	1.61	1.37	2.57	0.84	0.55	3.74	6.71	3.23
산장교	1.09	2.17	4.23	3.94	3.81	3.67	2.80	2.21	2.38	8.07	2.27
덕현교 3변교각	2.30	2.07	3.95	3.51	3.55	7.89	2.80	2.16	2.79	9.44	2.25
반암교	1.68	2.14	4.08	3.47	3.66	5.20	3.08	2.67	2.24	6.65	1.95
화장교	1.38	2.61	4.99	4.47	4.50	3.73	3.50	2.71	2.15	7.79	2.06
팔걸교 3변교각	2.00	1.97	3.79	3.24	3.39	2.76	2.80	2.08	2.19	5.94	1.96
팔걸교 4변교각	1.10	1.88	3.59	3.00	3.23	2.80	2.8	2.00	2.32	6.08	1.91
차탄교	1.40	4.37	8.47	6.80	7.62	8.22	7.0	4.69	2.33	14.02	1.80
차탄철교	2.10	4.25	8.29	6.57	7.47	9.21	7.0	4.58	2.22	12.51	1.74
대광교	3.10	4.06	8.14	6.20	7.32	8.36	7.28	4.42	2.38	13.15	1.69
반곡교 1변교각	2.30	2.78	5.55	4.27	5.00	9.61	1.40	3.03	2.22	8.15	1.66
반곡교 3변교각	0.65	1.10	2.22	2.13	2.00	4.18	1.40	1.10	3.38	7.63	2.65

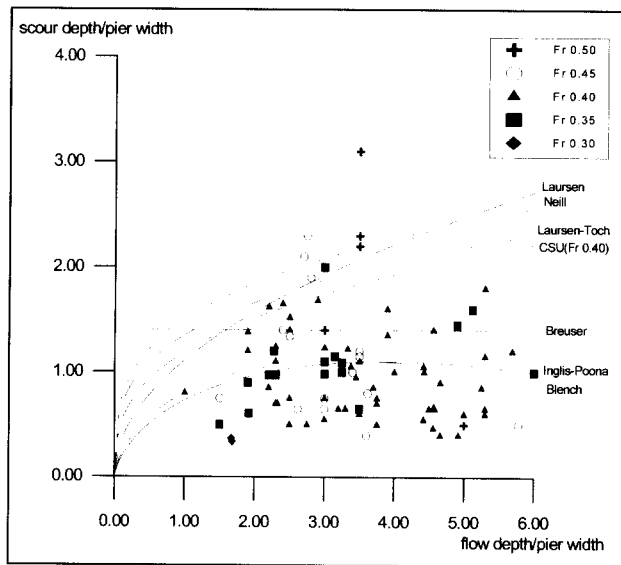


그림 3. 교각쪽에 대한 세굴심과 수심의 비교

표 4. 제안된 세굴공식에 사용된 세굴인자

교량이름	세굴심(m)	유속(m/s)	접근수심(m)	교각폭(m)	흐름각도(°)	교각모양	d ₅₀ (mm)	비고
신대교	0.95	2.9	3.45	1.0	0	원형	1.2	
문화교	1.15	2.8	3.65	0.8	0	타원	0.9	
농말교	0.47	3.0	3.00	0.6	0	타원	1.3	
석정교	0.60	2.7	3.10	0.6	15	타원	1.0	
금학교	1.15	3.1	3.65	0.8	5	타원	0.8	
김량대교	1.40	2.7	3.90	0.6	10	타원	2.0	
고진교	1.15	2.6	3.70	0.6	0	타원	1.2	
유수교	0.67	3.2	3.17	0.8	20	타원	1.2	
고림교	1.00	2.8	3.50	0.6	0	타원	0.94	
산장2교	1.09	2.6	6.30	2.0	30	타원	1.75	
덕현교 3번교각	2.30	3.3	5.00	2.0	0	타원	1.6	
반암교	1.68	2.5	4.45	2.2	0	타원	1.8	
화장교	1.38	2.9	6.50	2.5	0	타원	1.0	
팔걸교 11번교각	1.65	2.79	4.55	2.0	0	타원	1.2	
팔걸교 8번교각	1.40	2.73	4.25	2.0	0	타원	1.2	
차탄교	1.40	4.0	7.50	5.0	0	타원	2.0	
차탄철교	2.10	3.7	7.00	5.0	5	원형	2.3	
대광교	3.10	4.2	6.00	5.2	0	타원	2.5	
반곡교 1번교각	2.30	3.1	4.22	3.5	30	타원	2.1	
반곡교 2번교각	0.8	2.5	4.08	1.0	0	타원	2.1	

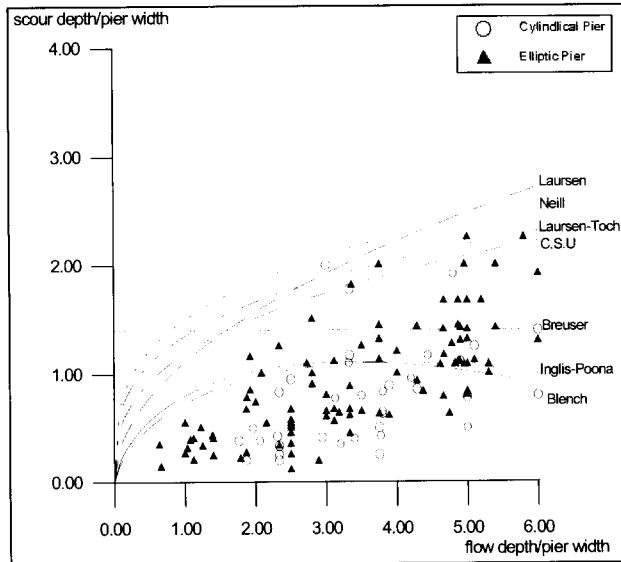


그림 4. 교각폭에 대한 세굴심과 수심의 비교
(원형 · 타원교각 비교 Froude = 0.4)

어려움이 있다. 따라서 세굴깊이를 예측함에 있어 지형적인 상황과 수리학적 요인을 정밀히 검토하여 제안식에 적용하여야 하겠다. 교각의 형태의 분석은 대부분이 타원형 및 원형으로 되어 있어 두 형태에 대해 비교하였고 이를 표시한 것이 그림 4이다. 이에의하면 원형과 타원형이 모두 산재되어 있어 특정 형태에 잘 맞는 공식을 이끌어 내기는 어렵다. 그러나 원형교각의 세굴깊이가 전반적으로 작게 나타남을 볼 수 있어 좀 더 안정적임을 보이고 있다.

3.2.3 Foude 수에 대한 세굴심의 비교

세굴심에 영향을 미치는 인자로서 앞에서 분석한 수심뿐만 아니라 Froude수도 매우 중요한 요소로 알려져 왔다. 그러나 현장에서 직접 유속을 측정할 수 있는 정확한 값을 가지나 홍수가 통과한 후 홍수 흔적을 통하여 유속을 산정하는 간접적인 방법으로 얻은 Froude수는 다소간의 오차가 예상된다. 이러한 조사자료를 분석하여 Froude수에 따른 세굴심을 비교하였고 제안식의 변수값인 Y_0/b 의 값은 2.5, 3.5, 4.5의 경우에 대해 나타낸 것이 그림 5~그림 7이다. 이에 따르면 실측치들이 Froude수가 0.4내외에 집중되고 있음을 보이고 있으며 Froude수가 커지면 세굴심도 증가됨을 보이고 있다. 또한 Y_0/b 에 따라 조금의 차이가 있는데 Y_0/b 의 값이 2.5일 경우 세굴깊

이의 상한치가 Shen 공식과 Ahmad에 접근하나 Y_0/b 의 값이 2.5보다 커지면서는 Jain과 Fischer의 공식과 CSU공식에 더 접근하고 있다. 그러나 자료가 대부분 고르게 분포되어 있어 일관성을 찾기는 어렵다. 한편 교각의 형태에 따른 분포를 보면 원형교각이 역시 작은 세굴깊이를 보이고 있다.

3.2.4 세굴심, 수심, 접근각 비교

세굴깊이는 같은 조건이라도 흐름과 교각이 이루는 접근각의 영향을 많이 받는 것은 당연한 결과로 취급되고 있다. 그러나 평상시의 흐름과 홍수시의 흐름이 꼭 일치하지는 않을 것이므로 정확한 접근각을 결정하기는 어려움이 많다. 따라서 여기서는 실측자료중 주변 현장여건을 보고 흐름방향을 어느정도 정확히 결정할 수 있는 경우만을 분석하였다. 이들로부터 세굴심을 수심 및 접근각에 따라 나타낸 것이 그림 7이다. 예상대로 교각과 흐름이 평행을 이루는 곳에서는 세굴이 작고 접근각이 커질수록 세굴심이 또한 커짐을 보여주나 증가율을 정량적으로 평가하기는 아직 이르다. 또한 접근각도에 따른 접근각의 영향을 좀 더 세밀히 분석하기 위하여 Froude수와 세굴심을 함께 비교하여 나타낸 것이 그림 8이다. 이에 의하면 그림 7보다 확실하게 접근각의 영향을 볼 수 있다. 이는 접근속도가 커질수록 접근각이 세굴에 영향을 많이 주는 것을 뜻한

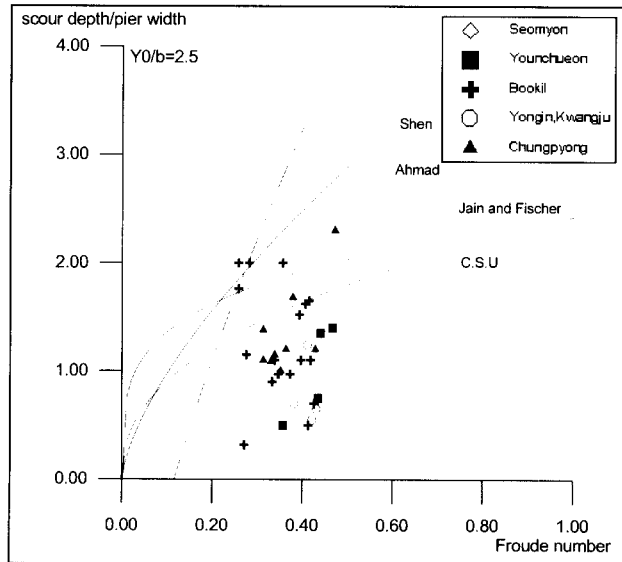


그림 5. 교각폭에 대한 Froude수와 세굴심의 비교($Y_0/b = 2.5$)

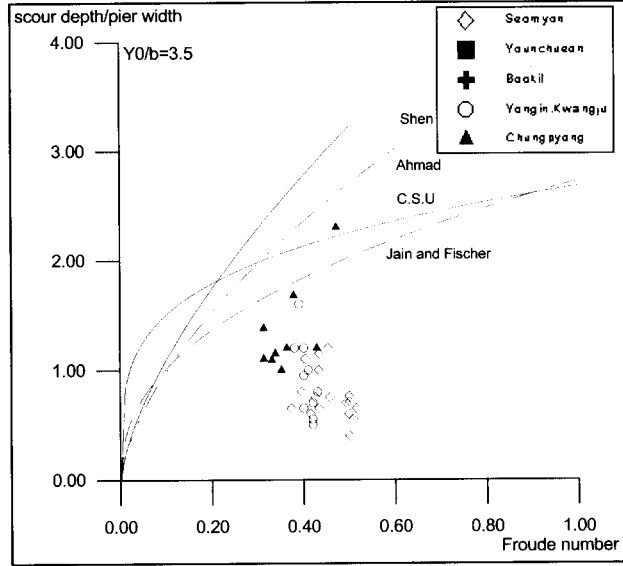


그림 6. 교각폭에 대한 Froude수와 세굴심의 비교($Y_0/b = 3.5$)

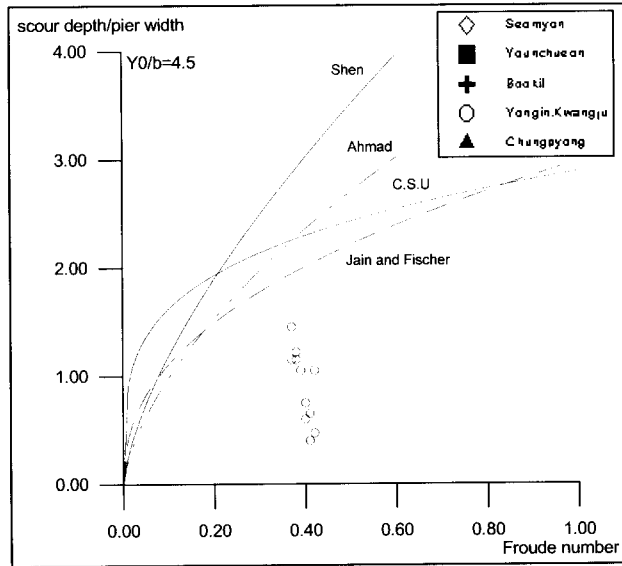


그림 7. 교각폭에 대한 Froude수와 세굴심의 비교($Y_0/b = 4.5$)

다. 이를 정량화하기 위하여 접근각에 대한 세굴깊이를 평균한 값과 접근각에 따른 세굴깊이의 증가율을 나타낸 것이 표 5이다. 이에 따르면 0° 에서 15° 사이가 2.2배의 증가를 보였고 15° 에서 30° 가 2.6배, 30° 이

상에서는 3.0배의 증가를 보여주고 있다. 이는 흐름과 교각의 접근각이 증가하면서 급속한 세굴의 증가를 나타내고 15° 이상부터는 증가율이 다소 둔화됨을 나타내고 있다. 따라서 교량 설치시 교각의 방향을 주흐름

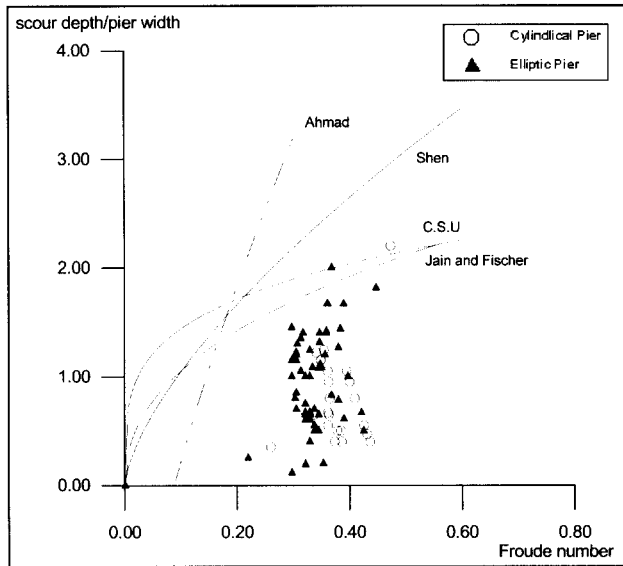


그림 8. 교각폭에 대한 Froude수와 세굴심의 비교(원형 · 타원교각 비교)

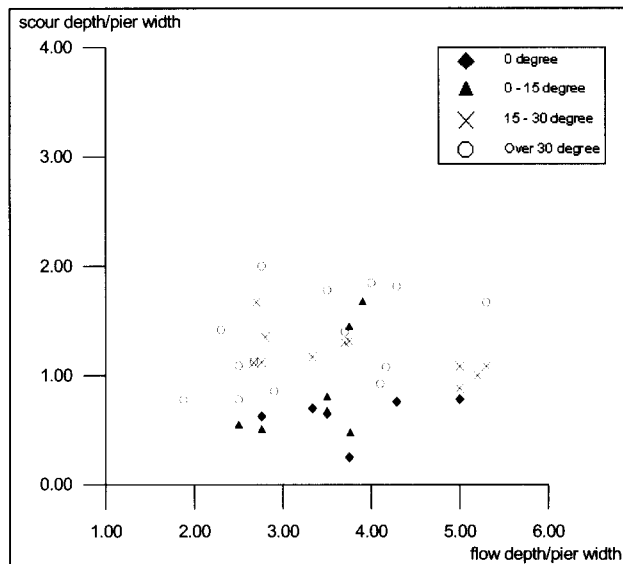


그림 9. 접근각에 대한 세굴심과 수심의 비교

표 5. 접근각에 대한 세굴깊이 비교 및 증가율

분류 \ 접근각	0°	0° ~ 15°	15° ~ 30°	30° 이상
세굴깊이(m)	0.49	1.10	1.31	1.48
증가율(%)	100	224	267	302

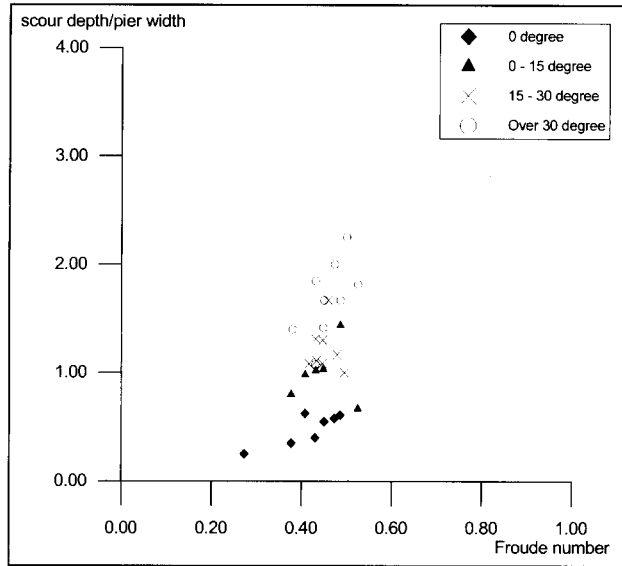


그림 10. 접근각에 대한 세굴심과 Froude수의 비교

과 평행하게 위치시키는 것이 세굴에 훨씬 안정적인 설계가 될 것임에 틀림없다.

4. 결 론

본 연구에서는 우리 나라 중부지역의 중·소 하천을 중심으로 조사한 세굴자료를 분석하여 세굴의 실태를 파악하고 기존 세굴예측공식에 사용된 영향인자를 도출하여 이들 식들에 대한 적용성을 검토하였다. 우선 세굴되는 깊이는 교량의 제작년도, 수심, Froude수 및 접근각이 커짐에 따라 증가함을 확인 하였으나 정량적으로 그 증가율을 규명하기는 아직 이르다. 세굴깊이와 수심의 무차원 비교에서는 Froude수가 0.4 이하일 경우 세굴깊이의 상한값은 CSU공식에 접근하고 있음을 보여주고 있으나 Froude수가 0.4 이상일 경우는 제안된 식보다 실측치가 크게 나오는 경우도 있었다. 세굴심과 Froude수의 비교에서는 Y_0/b 가 2.5일 경우는 상한치가 Shen 공식과 Ahmad 공식에 접근하고 있으나 전반적으로 Laursen과 Toch식과 CSU공식에 잘 부합되고 있음을 볼 수 있다. 그러나 두 비교에서 모두 세굴깊이의 분포가 고르게 퍼져있어 세굴예측식의 선택은 지형적인 요소와 수리적요소를 정밀한 조사하여 판단함이 필요하다. 한편 세굴심과 Froude수에 따른 접근각의 비교에서는 Froude수가 커질수록 접근각의 영향을 많이 받으며 접근각이 30°가 넘을 때 세굴

심이 약 3배의 증가를 나타내었다.

끝으로 본 조사연구를 통하여 세굴깊이에 영향을 미치는 인자들에 대한 정성적 분석은 가능하였으나 이들 인자들에 대한 정량적 해석은 좀 더 장기적이고 정밀한 분석이 요구된다.

감사의 글

이 연구는 95년도 한국과학재단 연구비 지원에 의하여 수행하였으며(과제번호 : 95-0600-07-01-3) 이에 심심한 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 여운광, 강준구 (1999). "우리 나라 중·소하천의 세굴특성 조사연구(1)." 한국수자원학회논문집, 제 32권, 제1호, pp. 41-47.
- Ahmad, M. (1962). Discussion of "scour at bridge crossing." by E.M. Laursen, Transaction of ASCE, Vol. 127, Part 1. pp. 198-206.
- Anderson, A.G. (1974). *Scour at bridge waterway, A review*. Report No. FHWA-RD-75-89, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- Blench, T. (1969). *Mobile bed Fluviology*,

- University of Alberta Press, Edmonton, Alberta, Canada
- Breusers, H.N.C. (1964). *Confirmity and time scale in two dimensional local scour.* Research Eng., Delft Hydraulics Lab., Netherland.
- Inglis, C.C. (1949). *The behavior and control of rivers and canals.* Research Publication No. 13, Part 2, Central Power, Irrigation and Navigation Report, Poona Research Station, India.
- Jain, S.C., and Fischer, R.E. (1979). *Scour around bridge piers at high Froude numbers.* Report No. FHWA-RD-79-104, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- Jones, J.S. (1983). *Comparison of prediction equation for bridge pier and abutment scour.* Transportation Research Board, Vol. 2, No. 950.
- Laursen, E.M. and A. Toch. (1953). "A generalized model study of scour around bridge piers and abutments." *Proc. IAHR.*
- Laursen, E.M. (1958). *Scour at bridge crossing.* Bulletin No. 8, Iowa Highway Research Board, Iowa State Highway Commission, Iowa.
- Neill, C.R. (1963). "Introduction to the problem of scour at bridges." Unpublished information paper presented to the Subcommittee on *Bridge Scour of the Committee on Bridges and Structures,* Canadian Good Roads Association, Winnipeg, Manitoba.
- Shen, H.W., Schneider, V.R., and Karaki, S.S. (1969). "Local scour around bridge piers." *ASCE Journal of Hydraulics Division,* Paper No. 6891.
- U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration (1988). "*Scour at bridges.*" Technical Advisory 5140.20, updated by Technical Advisory 5140.23, October 28, 1991, "Evaluation Scour at Bridges." U.S. Department of Transportation, Washington, D.C
- (논문번호:98-024/접수:1997.04.17/심사완료:1998.12.12)