

중·소 하천의 교량세굴에 대한 인자별 분석 및 기존 공식과의 비교

여운광*, ○강준구**

1. 서론

우리나라는 산악지역이 국토의 대부분을 차지하고 있어 전체유역을 놓고 볼 때 대하천이 차지하는 부분보다는 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 흐름 방향과 홍수시 흐름방향이 현격히 차이나는 경우가 많다. 이러한 지형적 특성과 더불어 우리나라의 연 강우량의 2/3이상이 6,7,8월 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 호우 특성과 지형특성으로 인하여 중·소 하천에 위치한 교량은 특히 세굴에 매우 취약함을 보여주고 있는데 이는 외국과 매우 상이할 것으로 판단된다. 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 실험실내에 국한된 것이 많아 적용에 한계성이 있어왔다. 이에 본 연구는 현장측정에 초점을 맞추었다. 따라서 가장 세굴의 위험성에 노출되어 있는 중·소 하천교량을 대상으로 실제 발생한 세굴심을 실측하였으며 이들 자료를 모아 기존공식들에 적용시켜 비교, 분석한 결과를 수록하였다.

2. 조사구역

조사구역은 우리나라 중부지역을 중심으로 실시하였다. 주로 한탄강 유역을 포함한 한강수계에 대하여 두루 측정하였으며 미호천 등의 금강 상류 지역과 안성천, 삼교천 등 서해안으로 흐르는 하천과 양양, 강릉의 남대천 및 삼척의 오십천 등 동해안 유역도 포함시켰다. 조사 교량수는 총 400여개에 이르렀으나 우선 본 연구에서는 그 중 그림 1에 나타난 것과 같이 청평·포천 지역, 용인·광주 지역, 연천 지역, 북일 지역 등 한강수계의 자료를 중심으로 세굴인자에 대한 분석을 실시하였다.

* 명지대학교 공과대학 토목·환경공학과 교수

** 명지대학교 공과대학 토목·환경공학과 박사과정

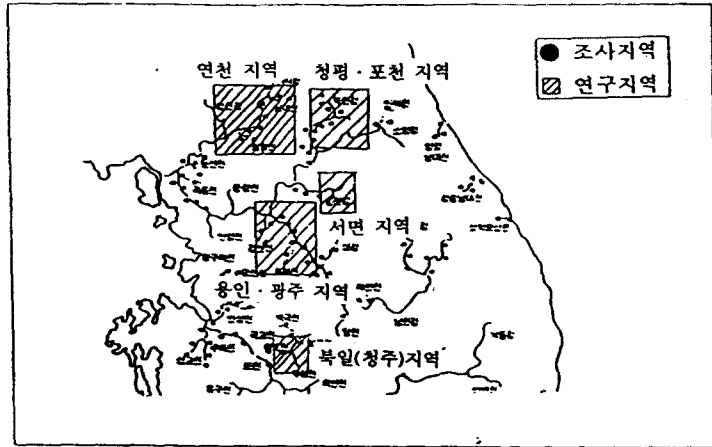


그림 1. 조사구역

3. 세굴영향 인자별 분석

본 연구에서 실시한 교량에 의한 세굴상태의 조사에서는 우선적으로 교량의 실태를 알기위해 교량의 제작년도, 길이, 교각의 형태, 세굴된 깊이와 교량이 위치한 주변하천 환경 등을 조사하였고 국부세굴에 대한 영향인자의 도출을 위해 이 자료로부터 세굴이 심하게 일어난 교량을 선택하여 좀 더 정밀한 조사를 실시 하였다. 이러한 두 번에 걸친 현장조사를 기초로 하여 세굴에 가장 영향이 크다고 여겨지는 수심, Froude 수, 접근각에 대해 각각의 세굴심을 분석하였고 기존 공식에 대한 비교도 실시 하였다. 또한 접근각의 영향을 알기위해 세굴심, 수심, Froude 수를 적용하여 비교 하였다. 기존의 세굴심 산정공식과의 비교는 Jones(1983)의 비교표를 참조하여 세굴심과 수심을 비교하였으며 Froude 수의 변화에 대한 세굴심은 Anderson (1974)을 참조로 하여 비교·분석하였다.

3.1 세굴심과 수심의 비교

세굴심과 수심의 관계는 그림 2 와 그림 3에 나타난 바와같이 지역적인 특성과 교각의 모양에 따라 각각 분류하여 분석하였다. 지역적으로는 용인·광주지역, 북일(청주)지역, 서면(홍천강)지역, 연천(임진강)지역, 청평·포천지역으로 나누었고 교각모양은 원형교각과 타원형교각으로 나누었다. 세굴심은 수심이 커질수록 증가하는 것으로 알려져 있으며 세굴심에 대한 많은 공식들은 수심의 지수형태로 표현하고 있다. 조사 교량 전체에 대한 수심과 세굴심의 관계를 나타낸 것이 그림 2 이며 이러한 경향을 잘 보여주고 있다. 다만 깊은 수심에도 불구하고 세굴심이 작게 나타나는 경우도 다수 보이고 있으나 이것은 교량이 세워진지 얼마되지 않아 아직 최대세굴심에 이르지 못했기 때문으로 여겨진다. 한편 지역적인 특성을 알아보기 위하여 5개 지역으로 세분하여 수심과 세굴깊이와의 관계를 나타내었는데 이에 의하면 용인·광주지역은 매우 좁은 띠를 형성하고 있는 반면에 다른 지역은 매우 산재되어 있음을 보인다. 이것은 용인·광주지역은 4m이내의 비교적 얇은 수심으로 타지역에 비하여 평탄한 지형때문으로 여겨지며 반면에 북일이나 연천 및 청평·포천지역은 중규모 하천에 산악지형의 특성에 의하여 비교적 큰 세굴심을 보이고 있다고 판

단된다. 그러나 구체적인 입증에는 좀더 세밀한 분석이 요구된다. 다음은 교각의 형태에 따른 영향을 알아보기 위하여 타원형 및 원형으로 구분하여 나타낸 것이 그림 3이며 이에 따르면 한 지점을 제외하고는 일반적으로 원형형태의 교각이 작은 세굴심을 보인다. 이는 원형이 세굴에 보다 안정적임을 말해주고 있으며 그 이유는 원형교각은 교각과 흐름이 이루는 각도에 무관하기 때문으로 판단된다.

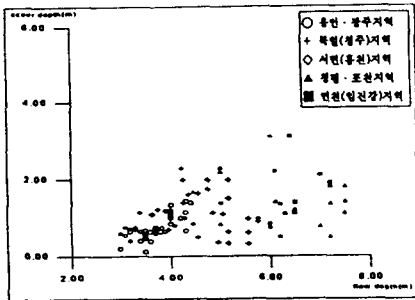


그림 2. 수심과 세굴심의 관계(지역별 분류)

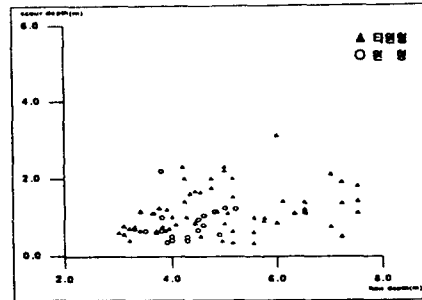


그림 3. 수심과 세굴심의 관계(원형·타원교각 비교)

3.2 기존의 세굴심 산정공식과의 비교

현재까지 세굴심의 산정을 위한 공식은 매우 많이 있으며 제안된 공식마다 나름대로 타당성을 가지고 있다. 그러나 공식이 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 기존에 측공식을 현장에 적용시켜 실측값과 산정값을 비교·분석하였으며 이를 위하여 수심과 세굴심을 각각 교각폭으로 나누어 무차원화시켜 비교의 편리함을 도모하였다.

3.2.1 교각폭에 대한 세굴심과 수심비교

우선 교각폭에 대한 세굴심과 수심과의 관계를 알아보기 위하여 실측치와 기존의 공식중 Inglis-Poona(1949), Neill(1964), Laursen II(1958), Laursen-Toch(1956), C.S.U(1987), Breuser(1964), Blench(1960)에 의한 산정값을 나타낸 것이 그림 4와 그림 5이다. 현장 여건상 정확한 Froude 수를 결정하기 힘든 경우에는 실측치의 평균값이 0.4내외에서 변하므로 분석을 위하여 0.4를 가정하였다. 이에 의하면 Inglis-Poona(1949), Neil(1964)은 너무 과대평가되고 있으며 Blench(1960)공식은 과소평가되고 있음을 보이고 있다. 반면 수심이 낮은 곳에서는 Blench의 공식에 접근하나 수심이 깊은 곳에서는 세굴의 상한값은 Laursen -Toch(1956)공식이나 C.S.U(1987)공식에 잘 부합되고 있다. 한편 지역적 특성을 알아보기 위하여 용인·광주지역, 청평·포천지역, 연천지역 등 5개 지역으로 세분하였는데 연천 및 청평·포천지역의 경우는 C.S.U(1987)공식보다 낮은 세굴심을 보이는 반면 용인·광주지역은 거의 접근하고 있다. 또한 교각형태에 따른 영향을 보기 위하여 교각을 타원형 및 원형으로 구분하여 표시한 것이 그림 5이다. 이에 의하면 원형과 타원형이 모두 산재되어 있음을 보이고 있어 원형 또는 타원형 등 특정 형태에 잘 맞는 공식을 이끌어 내기는 곤란하다.

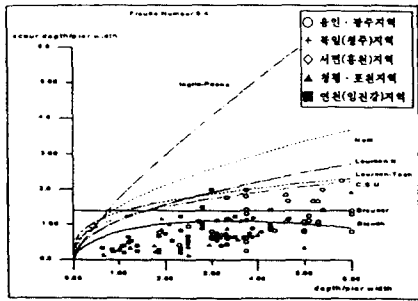


그림 4. 교각폭에 대한 세굴심, 수심 비교
(지역별 분류)

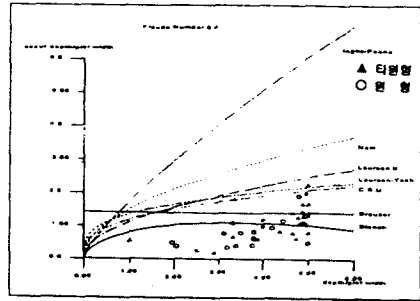


그림 5. 교각폭에 대한 세굴심, 수심 비교
(원형·타원교각 비교)

3.2.2 Foude 수에 대한 세굴심의 비교

세굴심에 영향을 미치는 인자로서 앞에서 분석한 수심뿐만 아니라 Froude 수도 매우 중요한 요인으로 Froude 수와 세굴심이 어떠한 관계가 있는지를 알아보기 위하여 실측 세굴깊이와 Shen II(1969), Ahmad(1962), Jain II(1979) 및 C.S.U(1987)공식등 세굴심이 Froude 수와 연관이 있다고 제안된 공식을 함께 나타낸 것이 그림 6과 그림 7이다. 이에 따르면 실측치들이 Froude 수가 0.4 내외에 집중되고 있음을 보이고 있으며 Froude 수가 커지면 세굴심도 증가됨을 보이고 있다. 그러나 세굴깊이의 상한선은 앞서의 C.S.U(1987)공식보다는 Shen II(1969)공식에 더 접근하고 있다. 지역적 특성을 알아보면 용인, 서면, 청평·포천 지역은 매우 집중되어 있으나 그 외에는 비교적 산재되어 있어 일관성을 찾기가 어렵다. 한편 교각의 형태에 따른 분포를 나타낸 것이 그림 7이며 이에 의하면 원형교각이 역시 작은 세굴깊이를 보이고 있으며 상한선으로는 Ahmad(1962)공식에 접근하고 있다.

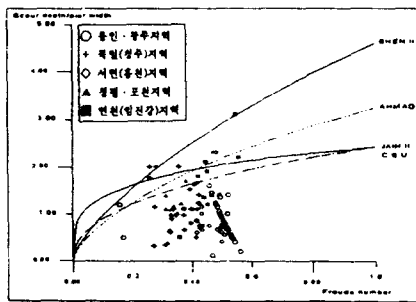


그림 6. 교각폭에 대한 세굴심, 수심비교
(지역별 분류)

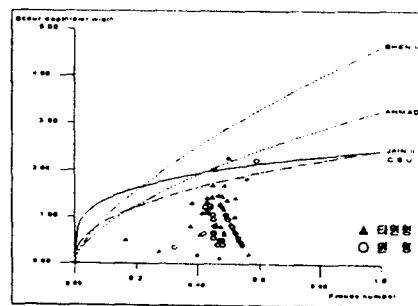


그림 7. 교각폭에 대한 세굴심, 수심비교
(원형·타원교각 비교)

3.2.3 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

접근각을 결정하기에는 어려움이 많다. 따라서 여기서는 실측자료중 주변 현장여건을 보고 흐름방향을 어느정도 정확히 결정할 수 있는 경우만을 분석하였다. 이들 자료를 분석하여 세굴심을 수심 및 접근각에 따라 나타낸 것이 그림 8이다. 예상대로 교각과 흐름이 평행을 이루는 곳에서는 세굴이 작고 접근각이 커질수록 세굴심이 또한 커짐을 보여주나 증가율을 정량적으로 평가하기는 아직 이르다.

또한 접근속도에 따른 접근각의 영향을 좀 더 세밀히 분석하기 위하여 Froude 수와 세굴심을 함께 비교해 보았으며 이를 나타낸 것이 그림 9이다. 이에 의하면 앞의 그림 8보다 확실하게 접근각의 영향을 볼 수 있으며 변화하는 증가율도 크다. 이는 접근속도가 커질수록 접근각이 세굴에 영향을 많이 주는 것으로 판단된다. 이와같은 경향을 정량화하기 위하여 측정된 세굴자료를 가지고 접근각에 대한 세굴깊이를 평균하여 나타낸 것이 그림 10이며 교각이 흐름과 나란한 경우, 접근각이 0° 인 경우를 기준으로 할 때 접근각에 따른 세굴깊이의 증가율을 나타낸 것이 그림 11이다. 이에 따르면 0° 에서 15° 사이의 증가는 124%의 증가를 보였고 15° 에서 30° , 30° 이상에서는 각각 40%정도의 증가를 보여 접근각이 커지면서 세굴심의 증가폭도 상대적으로 매우 크게 나타나고 있다. 따라서 교량 설치시 교각의 방향을 주흐름과 평행하게 위치시키는 것이 세굴에 훨씬 안정적인 설계가 될 것임에 틀림없다.

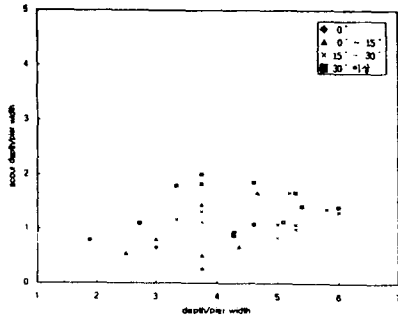


그림 8. 접근각에 대한 세굴심과 수심 비교

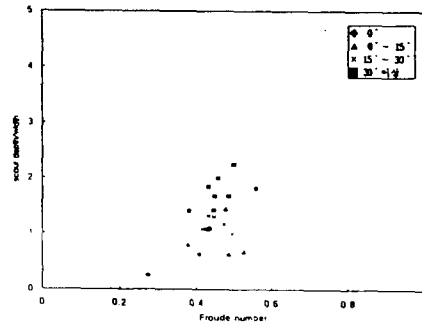


그림 9. 접근각에 대한 세굴심과 Froude 수 비교

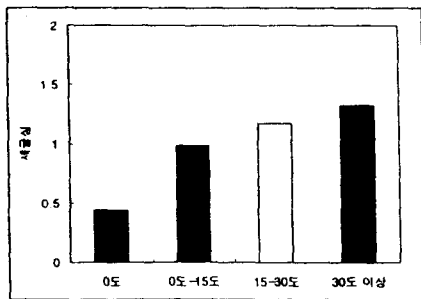


그림 10. 접근각에 대한 세굴심도비교

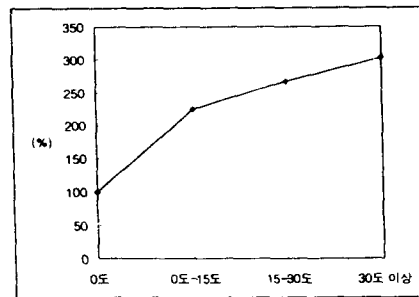


그림 11. 접근각에 대한 세굴심도 증가율

4. 결론

본 연구에서는 우리나라 중부지역을 중심으로 중·소 하천에서의 세굴현황을 조사하여 세

굴의 현 상태를 파악하고 기존 세굴예측공식에 사용된 영향인자를 도출하여 이들 식들에 대한 적용성을 검토하였다.

이들로부터 우선 세굴되는 깊이는 교량의 제작년도, 수심, Froude 수 및 접근각이 커짐에 따라 증가함을 확인 하였으나 정량적으로 그 증가율을 규명하기는 아직 이르다. 또한 기존의 세굴깊이 산정공식을 적용한 결과 공식들간에도 그 차이는 매우 컸으며 실측치와의 차이 또한 컸다. 조사대상 지역별로 크게 상이한 결과는 보이지 않고 다만 세굴깊이의 상한값은 Laursen-Toch나 C.S.U 공식에 가장 접근하고 있음을 보여주고 있다. 한편 세굴심과 Froude 수에 따른 접근각의 비교에서는 Froude 수가 커질수록 접근각의 영향을 많이 받으며 접근각이 30° 정도일 때 세굴심이 약 1.5배이상 증가함을 나타내었다.

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

참 고 문 헌

- Ahmad, M., Discussion of "Scour at Bridge Crossing," by E. M. Laursen, Transactions of ASCE, Vol. 127, Part1, 1962, pp 198-206.
- Anderson, A. G., "Scour at Bridge Waterway A Review," Report No. FHWA-RD-75-89, Federal Highway Administration, Washington, D.C, 1974.
- Blench, T., "Discussion of Scour at Bridge Crossings." ASCE, Journal of the Hydraulic Division, Vol. 86, No. HY5, 1960.
- Breusers, H. N. C., "Confirmity and Time Scale in Two Dimensional Local Scour." Research Eng., Delft Hydraulics Lab., Netherland.
- FHWA, "Interim Procedures for Evaluating Scour at Bridges", U.S., Dept. of Transportation, FHWA, Washington, D.C., 1988.
- FHWA, "Scour at Bridges", Hydraulic Engineering Circular, No. 18, Washington, D.C., 1989.
- Inglis, C. C., "The Behavior and Control of Rivers and Canals," Research Publication No. 13, Part2, Central Power, Irrigation and Navigation Report, Poona Research Station, India, 1949.
- Jain, S. C., and Fischer, R. E., "Scour Around Bridge Piers at High Froude Numbers," Report No. FHWA-RD-79-104, Federal Highway Administration, Washington, DC, April 1979.
- Jones, J. S., "Comparison of Prediction Equation for Bridge Pier and Abutment Scour", Transportation Research Board, Vol. 2, No. 950, 1983.
- Laursen, E. M. and A. Toch a., "A Generalized Model Study of Scour around Bridge Piers and Abutments", Proc. IAHR, 1953.
- Laursen, E. M., "Scour at Bridge Crossing", Bulletin No. 8, Iowa Highway Research Board, Iowa State Highway Commission, Iowa, 1958.
- Richardsen, E. M. "Scour at Bridge", FHWA, Technical Advisory, Fort Collins, Co., 1987.
- Shen, H. W., Schneider, V. R., and Karaki, S. S., "Local Scour Around Bridge Piers," ASCE Journal of Hydraulics Division, Paper No. 6891, Nov. 1969.
- WSDT, "Riverbed Scour at Bridge Piers", U.S., Dept. of Transportation, FHWA, 1987.

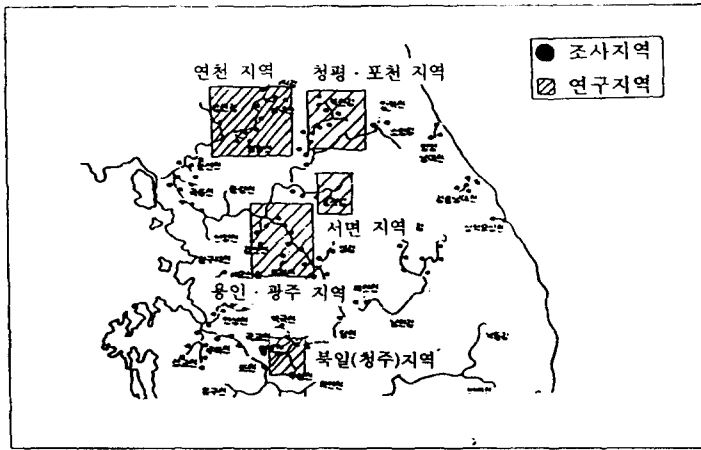


그림 1. 조사지역

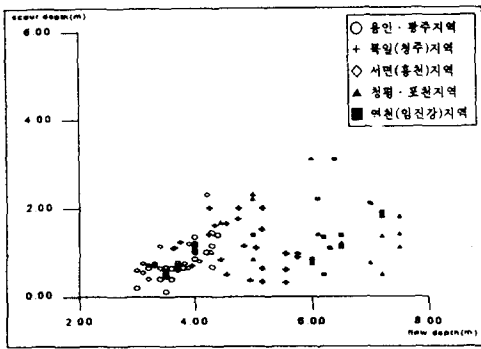


그림 2. 수심과 세굴심의 관계(지역별 분류)

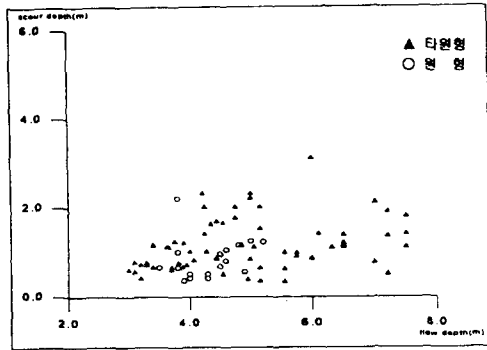


그림 3. 수심과 세굴심의 관계(원형·타원교각 비교)

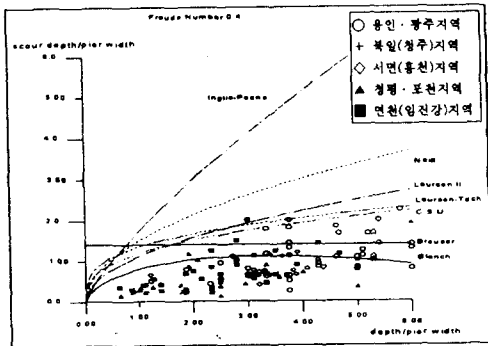


그림 4. 교각폭에 대한 세굴심과 수심 비교 (지역별 분류)

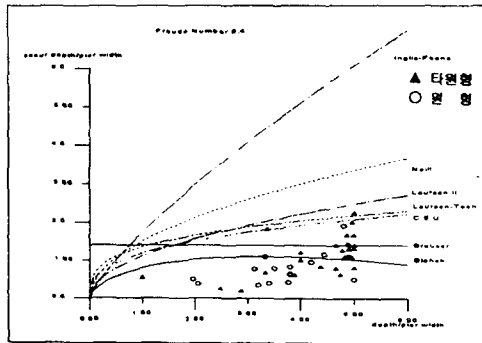


그림 5. 교각폭에 대한 세굴심과 수심 비교 (원형·타원교각 비교)

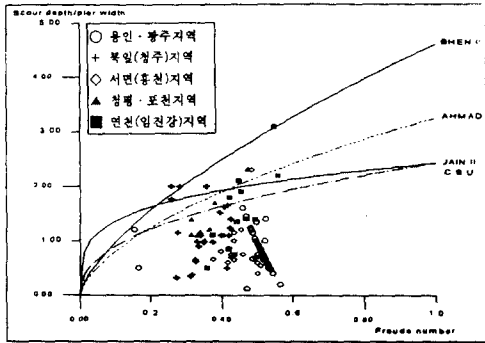


그림 6. 교각폭에 대한 세굴심과 Froude 수 비교 (지역별 분류)

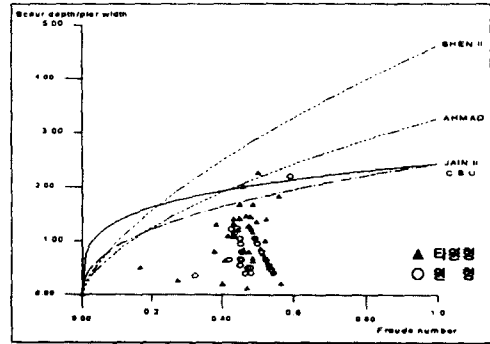


그림 7. 교각폭에 대한 세굴심과 Froude 수 비교 (원형·타원교각 비교)

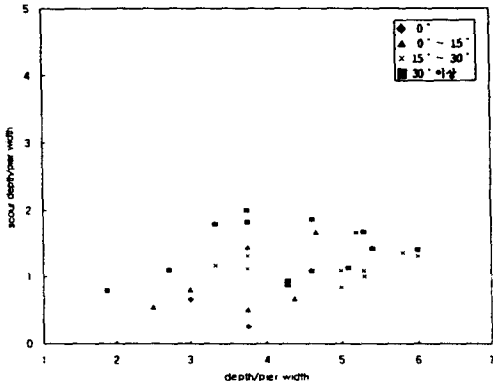


그림 8. 접근각에 대한 세굴심과 수심 비교

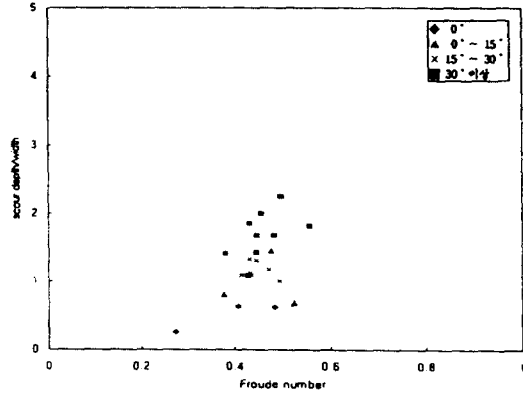


그림 8. 접근각에 대한 세굴심과 Froude 수 비교

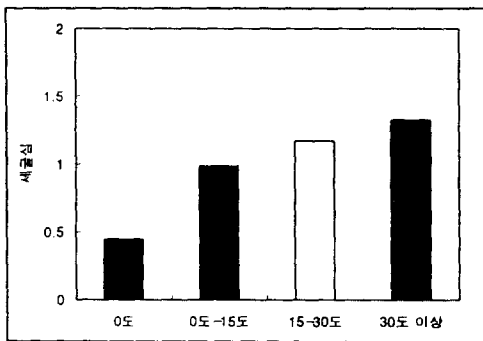


그림 9. 접근각에 대한 세굴심도 비교

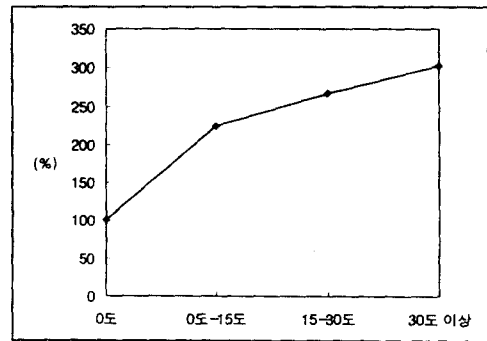


그림 10. 접근각에 대한 세굴심도 증가율