

## 기존 세굴심 산정공식 적용을 위한 모형실험과의 비교 연구

# A Comparative Study on Estimated and Hydraulic Model Experiment for Application of Existing Scour Depths Equation

최 한 규\*      백 효 선\*\*      정 창 동\*\*\*  
Choi, Han-kyu      Beak, Hyo-Seon      Jung, Chang-Dong

### Abstract

The existing of developed scour Equation have a very different value by boundary condition, hydraulic condition and bed condition. Therefore it may give rise to a serious trouble if it make a wrong application of the scour Equation. So this research of purpose is the predicting of scour depths, the method is that analysis river of feature and hydraulic feature for river in kangwondo young-seo region. And hydraulic model experiment of Scour phenomenon execute after the existing of calculate scour depths equation analysis sensitivity, assort a practical.

키워드 : 세굴심, 수리모형실험, 민감도

Keywords : *scour depths, hydraulic model experiment, the sensitivity*

## 1. 서론

### 1.1 연구목적 및 배경

국내 하천의 경우 구미 각 국가와는 달리 계절적 유량 편기 현상이 심하여 세굴에 의한 구조물의 위험성이 상존하고 있는 실정이며 현재 사용되고 있는 교량의 경우에도 세굴에 대하여 무방비한 상태로 남아있는 경우가 있어 붕괴에 의한 인적 및 물적 손실을 야기할 우려가 있다.

2002년 태풍‘루사’와 2003년 태풍‘매미’에 의한 하천구조물이 다수 붕괴되거나 심각한 피해가 발생하였다. 특히 교량의 경우 교각이 상당수 붕괴되

거나 사용불능의 상태가 되는데 따른 교량피해원인이 다각적으로 모색될 수 있겠으나 현지 조사된 자료들에 의하면 그 동안의 교각 세굴로 인하여 교각하부 기초가 부실하여 교량이 붕괴되거나 교각이 전도되는 사례가 다수 발생되었다.

따라서 교각 세굴에 대한 관심이 높아지고 있어 교량 설계시 하부기초에 대한 세굴현상을 고려하여 설계에 반영하고 있으나 국내의 경우 외국과는 달리 세굴안전에 대한 평가나 향후 세굴진행 상태 등을 평가할 만한 공식이나 개발되어 있지 못하며 최근 들어서야 활발한 연구가 진행되어지고 있으나 아직 연구 단계로써 설계에 반영될만한 연구 실적이 전무한 상태이다. 따라서 현재까지도 외국에서 개발된 공식들을 적용하여 세굴심을 예측하고 있는 실정에 있다.

현재 나와 있는 산정식으로는 교각이나 교대 주위 내 세굴심을 예측하는 세굴심 예측공식이 수십

\* 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사

\*\* 강원대학교 토목공학과 박사수료

\*\*\* 강원대학교 산업대학원 석사과정

중에 이루고 있고 그 차이 또한 엄청나, 한 지역의 최대 세굴심을 예측한 결과가 10배 이상 차이가 나는 경우도 있다. 이유는 각각의 세굴공식이 개발된 경계조건, 수리조건 및 하상조건에 큰 차이가 있기 때문이며 국내 하천에 자칫 잘못 적용할 경우에는 오히려 문제를 야기할 소지가 있다. 특히, 국내의 경우 통상 강이나 하천의 흐름상태를 살펴보면 홍수기에는 단시간 내 급속히 수위와 유량이 증가하며 비홍수기에는 수위가 저하되어 유량이 적어 홍수시와 비홍수시의 유량비가 큰 차이를 보이고 있으며 강원도 영서지방의 하상재료나 하상경사등의 지형적 특성이 기존의 세굴심 산정식에서 제대로 반영되는지 확인 할 수 없는 실정이다.

따라서, 본 연구는 하천의 세굴심 예측을 위하여 강원도 영서지방의 하천에 대하여 하천 특성 및 수리적 특성을 분석하여 이에 따른 세굴현상의 모형실험을 실시함으로써 기존 산정식의 민감도를 분석하고 적용 가능한 기존식을 분류하는데 본 연구의 목적이 있겠다.

## 1.2 연구 방법

본 연구방법은 크게 3가지로 구분하여 설명할 수 있다. 우선 첫 번째로 기존의 세굴심 산정식들을 강원도 영서 지역의 대표적인 하천에 대하여 적용하여 각 산정식에 대한 민감도를 확인하는 연구단계이다. 위 연구를 실시하여 강원도 영서지역에 적용 가능한 식의 유형을 분석하는 절차를 실시하였다.

이러한 검토를 실시한 후 두 번째로 영서지역의 하천들을 중심으로 하천의 대표적인 교량을 선정하여 세굴모형실험을 실시하였다. 세굴모형실험은 기존교각의 형태를 원형에 국한되어 실시하였는데 이는 기존공식이 교각의 형태에 따라서 계수 값을 변동할 수 있게 하는 공식이 있기는 하나 최근의 교각형태가 원형으로 타원형이나 사각형 등의 교각을 하천에 사용하는 경우가 극히 드문 실정에서 실용적인 면과 각 실험에 따라서 모형의 교각형태를 달리 적용하게 됨으로서 발생할 수 있는 실험 오차를 줄이기 위해서 원형에 국한하여 실험을 실시하였다.

마지막으로 실험된 data를 통계 처리하여 기존식과 모형실험과의 상호 상관성을 통계적인 기법으로 분석함으로써 강원도 영서지방에 적용 가능한 기존산정식을 검토하였다.

## 2. 기존 세굴심 산정공식의 적용

### 2.1 모형적용지점의 수문특성

본 연구 수행을 위하여 적용한 하천은 영서지역에 위치한 하천을 중심으로 적용하였다. 각각의 수문특성을 표로 정리하면 표1, 표2와 같다.

표1 연구지점별 수문특성 I

| 하천명  | 교량명  | 홍수량  | 수심   | 유속   | 교각크기 |
|------|------|------|------|------|------|
| 가정천  | 의암교  | 150  | 2.89 | 3.09 | 1.5  |
| 한강   | 문곡교  | 5159 | 9.67 | 3.50 | 3.0  |
| 골지천  | 반천1교 | 2004 | 4.81 | 3.65 | 2.0  |
| 오대천  | 신기교  | 470  | 5.84 | 4.03 | 2.2  |
| 신촌천  | 신촌2교 | 65   | 1.37 | 2.10 | 1.5  |
| 방동천  | 평화교  | 45   | 1.62 | 1.87 | 1.5  |
| 옥동천  | 옥동교  | 2744 | 5.06 | 3.73 | 2.7  |
| 월송천  | 서상4교 | 224  | 1.79 | 3.68 | 1.5  |
| 추곡천  | 추곡교  | 2334 | 5.26 | 4.34 | 1.4  |
| 품안천  | 갓밭교  | 185  | 3.00 | 2.76 | 1.5  |
| 하수남천 | 하수교  | 635  | 3.25 | 4.12 | 2.0  |
| 산양천  | 산양교  | 203  | 3.58 | 3.09 | 1.5  |

표 2 연구지점별 수문특성 II

| 하천명  | 교량명  | 유역 면적  | 유로 연장 | 유역 경사 |
|------|------|--------|-------|-------|
| 가정천  | 의암교  | 17.6   | 10.4  | 1/160 |
| 한강   | 문곡교  | 5088.6 | 229.8 | 1/150 |
| 골지천  | 반천1교 | 483.0  | 68.8  | 1/210 |
| 오대천  | 신기교  | 451.5  | 57.8  | 1/140 |
| 신촌천  | 신촌2교 | 4.33   | 4.33  | 1/35  |
| 방동천  | 평화교  | 3.38   | 3.05  | 1/30  |
| 옥동천  | 옥동교  | 495.3  | 54.5  | 1/180 |
| 월송천  | 서상4교 | 18.6   | 8.9   | 1/170 |
| 추곡천  | 추곡교  | 472.6  | 52.8  | 1/160 |
| 품안천  | 갓밭교  | 19.3   | 11.4  | 1/150 |
| 하수남천 | 하수교  | 420.4  | 58.9  | 1/190 |
| 산양천  | 산양교  | 17.8   | 9.8   | 1/150 |

## 2.2 적용공식

본 연구에서 적용한 세굴심 산정공식은 국내에서 많이 사용하는 공식을 이용하였다. 총 10가지 공식에 대하여 검토를 실시하였으며 각 공식별 산정식은 다음과 같다.

### 1) Andru 공식

$$Z_s = 0.8h$$

여기서  $Z_s$  : 최대세굴심 (m)

$h$  : 교각지점의 수심 (m)

2) Qureshi 공식

$$Z_s/D = 1.8 (h/D)^{0.75} - h/D$$

$$\therefore Z_s/D = [1.8 (h/D)^{0.75} - h/D] \times D$$

여기서  $Z_s$  : 최대세굴심 (m)

$h$  : 교각지점의 수심 (m)

$D$  : 교각의 폭 (m)

3) Japan Rail

$$Z_s = 1.6D$$

여기서  $Z_s$  : 최대 세굴심 (m)

$D$  : 교각의 폭 (m)

4) Breusers 공식

$$Z_s = 1.4D$$

여기서  $Z_s$  : 최대세굴심 (m)

$D$  : 교각의 폭 (m)

5) Larras 공식

$$Z_s = 3.33KD^{3/4}$$

여기서  $Z_s$  : 최대세굴심 (cm)

$K$  : 교각의 형상계수 (원형 1.0, 사각형

1.4)

$D$  : 교각의 폭 (cm)

6) Colorado State University 공식

$$Z_s = 2.0 K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot d \cdot \left(\frac{h}{D}\right)^{0.35} \cdot Fr^{0.43}$$

여기서,  $Z_s$  : 최대세굴심 (m)

$D$  : 교각의 폭 (m)

$K_1$  : 교각전면부 형상에 대한 보정계수

$K_2$  : 흐름의 유입각에 대한 보정계수

$K_3$  : 하상조건에 대한 보정계수

$h$  : 교각지점의 수심 (m)

$Fr$  : Froude수 ( $V_o/\sqrt{gh}$ )

$V_o$  : 평균유속

$g$  : 중력가속도 (9.8m/sec<sup>2</sup>)

7) Melville 공식

$$1.15h = \frac{Z_s}{\left(1 + \frac{0.182}{Z_s/D}\right)^{0.589} - 1}$$

$Fr < 0.5$

$$Z_s = 3.4 \times D \times Fr^{0.670}$$

$Fr > 0.5$

여기서,  $Z_s$  : 최대 세굴심 (m)

$D$  : 교각의 폭 (m)

8) Laursen 공식

$$\frac{D}{h} = 5.5 \frac{Z_s}{h} \left\{ \left( \frac{Z_s}{11.5h} + 1 \right)^{1.7} - 1 \right\}$$

여기서,  $Z_s$  : 최대세굴심 (m)

$D$  : 교각의 폭 (m)

$h$  : 교각지점의 수심 (m)

9) Neill 공식

$$Z_s = 1.2 \left( \frac{h}{b} \right)^{0.30}$$

여기서,  $Z_s$  : 최대세굴심 (m)

$D$  : 교각의 폭 (m)

$h$  : 교각지점의 수심 (m)

계수 : 1.2 = 교각끝단이 둥근 경우

1.5 = 배열이 되지 않은

모든 교각

10) Froehlich 공식

$$Z_s = \left\{ 0.32K \left( \frac{D}{D} \right)^{0.62} \left( \frac{h}{D} \right)^{0.46} (Fr)^{0.20} \left( \frac{D}{D_{50}} \right)^{0.08} + 1 \right\} \times D$$

여기서,  $Z_s$  : 최대 세굴심 (m)

$h$  : 교각지점의 수심 (m)

$D$  : 교각의 폭 (m)

$D$  : 투영교각의 폭 (m)

$Fr$  : Froude수 ( $V_o/\sqrt{gh}$ )

$D_{50}$  : 사석의 평균직경 (m)

$K$  : 교각의 형상계수

(원형 1.0, 사각형 1.4)

위 산정식을 적용하여 하천별로 산정된 값은 다음 표3~표4와 그림1과 같다.

표 3 지점별 기존식 산정결과 I

| 하천명 | Andru | Qureshi | Froehlich | Japan Rail | Melville |
|-----|-------|---------|-----------|------------|----------|
| 가정천 | 2.31  | 1.53    | 2.53      | 2.40       | 3.54     |
| 한강  | 7.73  | 3.32    | 4.98      | 4.80       | 5.14     |
| 골지천 | 3.85  | 2.14    | 3.38      | 3.20       | 4.45     |
| 오대천 | 4.67  | 2.40    | 3.65      | 3.52       | 4.90     |
| 신촌천 | 1.10  | 1.15    | 2.25      | 2.40       | 3.51     |
| 방동천 | 1.30  | 1.24    | 2.28      | 2.40       | 3.07     |
| 옥동천 | 5.10  | 3.28    | 4.55      | 3.98       | 4.05     |

|      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|
| 월송천  | 1.43 | 1.29 | 2.26 | 2.40 | 4.68 |
| 추곡천  | 4.21 | 1.54 | 2.73 | 2.24 | 3.40 |
| 품안천  | 2.40 | 1.54 | 2.37 | 2.40 | 3.24 |
| 하수남천 | 2.60 | 1.93 | 3.32 | 3.20 | 5.51 |
| 산양천  | 2.87 | 1.60 | 2.53 | 2.40 | 3.30 |

표 4 지점별 기존식 산정결과II

| 하천명  | Breusers | Laursen | Larras | Neil | CSU  |
|------|----------|---------|--------|------|------|
| 가정천  | 2.10     | 2.28    | 1.43   | 2.19 | 3.29 |
| 한강   | 4.20     | 5.92    | 2.40   | 5.11 | 6.40 |
| 골지천  | 2.80     | 3.40    | 1.77   | 3.12 | 4.56 |
| 오대천  | 3.08     | 3.95    | 1.90   | 3.54 | 5.20 |
| 신촌천  | 2.10     | 1.57    | 1.43   | 1.75 | 2.52 |
| 방동천  | 2.10     | 1.70    | 1.43   | 1.84 | 2.45 |
| 옥동천  | 3.56     | 4.05    | 3.74   | 4.89 | 5.63 |
| 월송천  | 2.10     | 2.58    | 1.43   | 1.90 | 3.32 |
| 추곡천  | 1.96     | 2.98    | 1.36   | 2.50 | 3.94 |
| 품안천  | 2.10     | 2.33    | 1.43   | 2.22 | 3.15 |
| 하수남천 | 2.80     | 2.79    | 1.77   | 2.78 | 4.56 |
| 산양천  | 2.10     | 2.54    | 1.43   | 2.34 | 3.38 |

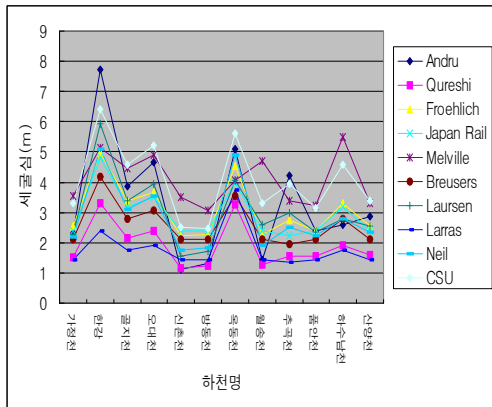


그림 1 하천별 기존 산정식에 의한 세굴심 결과

표 5 최대값과 최소값의 편차

| 가정천  | 한강   | 골지천  | 오대천 | 신촌천  | 방동천  | 옥동천  | 월송천  | 추곡천  | 품안천  | 하수남천 | 산양천  |
|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2.11 | 5.33 | 2.79 | 3.3 | 2.41 | 1.83 | 2.35 | 3.39 | 2.85 | 1.81 | 3.74 | 1.95 |

산정결과 그림1에 보는 바와 같이 일반적인 경

향은 Japan Rail 산정식이 일반적으로 다른 공식에 비하여 큰 값을 보였으며 Qureshi 산정식이 작은 값을 보였다. 또한 표5에서 최대 값과 최소 값의 편차를 산정한 결과 값 차이가 최소 1.81m~5.33m 까지 산정방법별 값 차이가 크게 발생하고 있었다. 따라서 기존식에 의하여 산정된 값에 대한 민감도 분석을 실시하기 위하여 홍수량에 대한 무차원화 ( $Q/Q_{max}$ )와 세굴심에 대한 무차원화 ( $D/D_{max}$ )하여 도시한 결과 그림2와 같다.

본 그림에서 보는 바와 같이 기존식들은 홍수량에 대하여 각 식별로 큰 차이가 없었다. 다만, Andru 식이 가장 민감하였으며 Melville식과 Larrs식이 상대적으로 다른 식에 비하여 덜 민감하다는 것을 알 수 있었다. 이는 위 식이 교각에 크기에 따라 세굴심이 결정되도록 하는 식이기 때문인 것으로 파악된다.

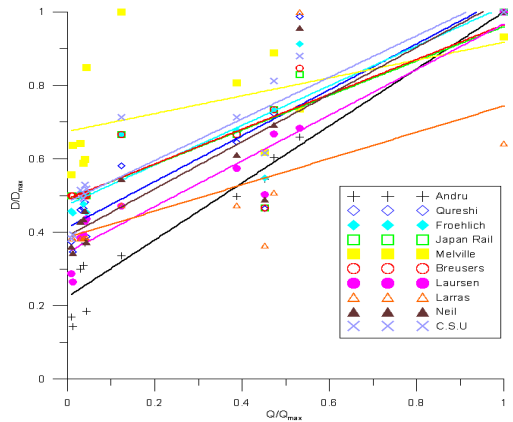


그림 2 홍수량에 따른 기존식 민감도

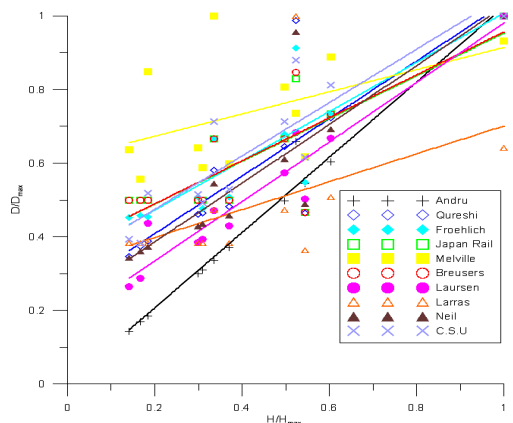


그림 3 수심에 따른 기존식 민감도

수심에 대한 무차원화( $H/H_{max}$ )를 실시하여 분석한 결과 앞서 분석한 홍수량에 대하여 분석한 결과와 같은 양상을 보였으며 이는 앞서 서술한 원인과 같은 요인에 의하여 나타난 현상이라고 판단된다.

그림4는 유속에 대한 무차원화( $H/H_{max}$ )를 실시하여 분석한 결과로 앞서 분석한 홍수량, 수심에 대한 분석결과의 경향과는 상이하게 Breusers식과 Larras식이 다른식에 비하여 민감도가 떨어지는 것으로 도시되었다. 이는 교각크기에 대한 항만으로 이루어진 식으로 교각크기에 의해서만 의존되므로 수심에 대한 영향이 다른 식에 비하여 크게 떨어지는 것으로 판단된다.

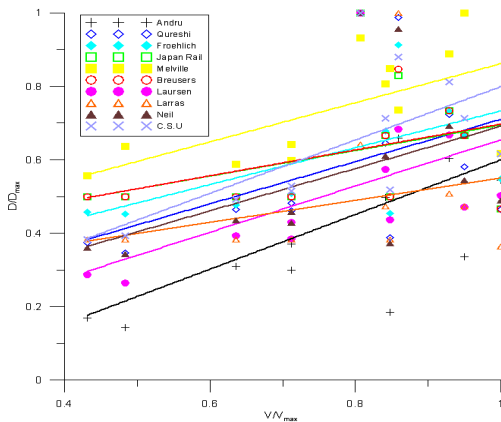


그림 4 유속에 따른 기존식 민감도

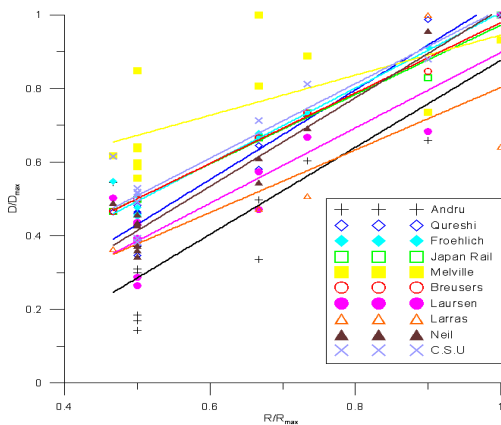


그림 5 교각크기에 따른 기존식 민감도

그림5는 교각크기에 따른 민감도를 나타낸 그림으로 앞서 도시화한 그림에 비하여 각 식들이 비

슷한 경향이 보이고 있는데 이는 기존의 식이 교각크기에 대한 민감도가 높게 나타나고 있다는 것을 알 수 있었다.

또한 그림6은 민감도가 작게 나온 Melville식에 대하여 비교 항목별로 도시화한 그림으로, 본 그림에서 보는 바와 같이 위식이 교각항목에 대하여 세굴심이 산정되는 식으로 홍수량에 대한 민감도는 0.24정도이었으며 교각에 대한 민감도는 0.54로 나타났다. 교각에 의하여 형성된 식이지만 강원도 영서지역에 적용하기에는 그 민감도가 작게 나타났다. 따라서 강원도 영서지역에 적용하는 식에는 교각만 이루어지는 식을 적용하는 것은 신중을 기하여야 할 것이다.

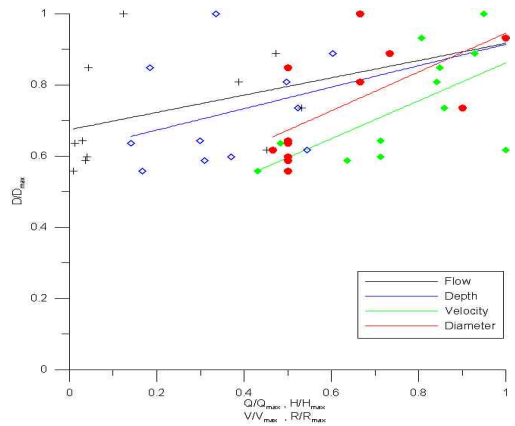


그림 6 Melville식의 항목별 민감도

### 3. 수리모형실험

#### 3.1 모형의 축척결정

모형의 축척은 각 교각의 크기 및 실험설비 및 측정의 정확도를 고려하여 결정하였으며, 축척비는 표6과 같다.

표 6 각 하천별 축척비

| 하천명 | 교각   | 수심   | 유속  |
|-----|------|------|-----|
| 가정천 | 1/17 | 1/17 | 1/4 |
| 한강  | 1/42 | 1/42 | 1/4 |
| 골지천 | 1/22 | 1/22 | 1/5 |
| 오대천 | 1/37 | 1/37 | 1/6 |
| 신촌천 | 1/17 | 1/17 | 1/4 |
| 방동천 | 1/17 | 1/17 | 1/4 |

|      |      |      |     |
|------|------|------|-----|
| 옥동천  | 1/45 | 1/45 | 1/7 |
| 월송천  | 1/17 | 1/17 | 1/4 |
| 추곡천  | 1/23 | 1/23 | 1/5 |
| 품안천  | 1/17 | 1/17 | 1/4 |
| 하수남천 | 1/22 | 1/22 | 1/5 |
| 산양천  | 1/18 | 1/18 | 1/4 |

|      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|
| 신촌천  | 2.00 | 1.92 | 2.03 | 1.98 |
| 방동천  | 1.92 | 1.85 | 1.82 | 1.86 |
| 옥동천  | 4.10 | 4.28 | 4.05 | 4.14 |
| 월송천  | 2.18 | 2.32 | 2.25 | 2.25 |
| 추곡천  | 2.33 | 2.57 | 2.80 | 2.57 |
| 품안천  | 2.20 | 2.25 | 2.18 | 2.21 |
| 하수남천 | 3.00 | 3.15 | 3.04 | 3.06 |
| 산양천  | 2.34 | 2.35 | 2.20 | 2.30 |

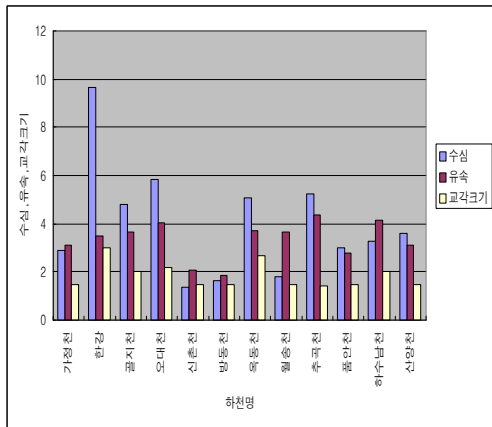


그림 7 하천별 실험조건

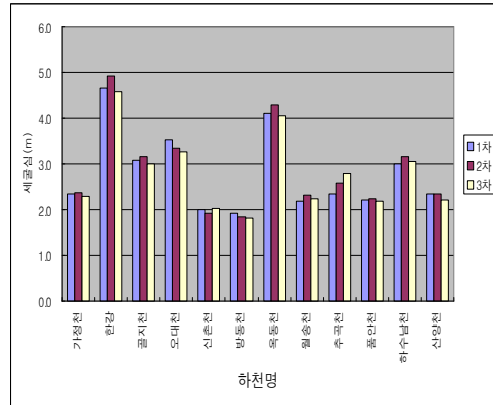


그림 8 하천별 세굴심 실험결과

### 3.3 세굴심도 및 세굴폭 측정

#### 3.3.1 실험방법

먼저 수로에 물을 천천히 유입시켜서 초기의 수면을 저수위로 유지하고 난 후에 물의 공급밸브와 하류의 수문을 조절하여 실험유량과 수위를 맞추었다. 이와 같은 상태 즉, 정상상태를 유지하면서 일정 시간 동안 물을 흘린 후, 천천히 배수를 시켰다. 상류와 하류의 수위, 세굴심도는 포인트 게이지(point gauge)를 이용하여 측정하였고 유속은 유속계를 이용하여 측정하였다.

#### 3.3.2 실험결과

교각에 대해 모형사만을 포설하여 실험한 결과를 원형으로 환산한 세굴심도를 관찰한 결과 표7과 그림8과 같은 값을 얻을 수 있었다. 실험은 오차 등을 고려하여 3회에 걸쳐 실시하였다.

표 7 세굴심 측정 결과

| 하천명 | 1차   | 2차   | 3차   | 평균   |
|-----|------|------|------|------|
| 가정천 | 2.33 | 2.38 | 2.30 | 2.34 |
| 한강  | 4.67 | 4.92 | 4.58 | 4.72 |
| 곰지천 | 3.09 | 3.17 | 3.00 | 3.09 |
| 오대천 | 3.52 | 3.34 | 3.26 | 3.37 |

## 4. 통계적 분석

### 4.1 기존 산정식과 모형실험과의 비교

기존 산정식과 모형실험과의 비교를 통하여 기존 산정식 중에 강원도 영서지역에 적합한 산정식이 어떠한 식인지 알아보았다.

#### (1) 기본 통계량

기존 산정식과 실험자료의 기본 통계량은 표8과 그림9와 같다.

표 8 기본 통계량

|            | N  | Mean  | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|------------|----|-------|----------------|-----------------|
| Andru      | 12 | 3.298 | 1.923          | 0.555           |
| Qureshi    | 12 | 1.913 | 0.744          | 0.215           |
| Froehlich  | 12 | 3.069 | 0.928          | 0.268           |
| Japan Rail | 12 | 2.945 | 0.812          | 0.234           |
| Melville   | 12 | 4.066 | 0.839          | 0.242           |
| Breusers   | 12 | 2.583 | 0.719          | 0.207           |
| Laursen    | 12 | 3.007 | 1.199          | 0.346           |
| Larras     | 12 | 1.793 | 0.684          | 0.197           |
| Neil       | 12 | 2.848 | 1.135          | 0.327           |
| CSU        | 12 | 4.033 | 1.248          | 0.360           |
| 실험         | 12 | 2.824 | 0.888          | 0.256           |

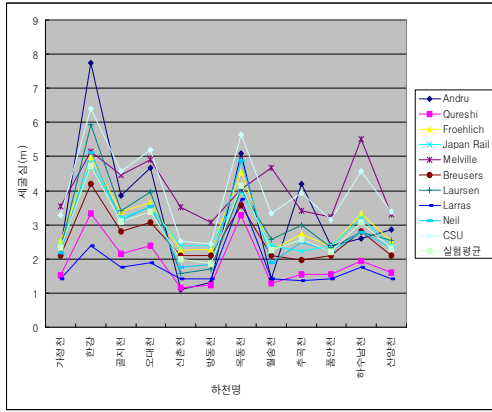


그림 9 기존산정식과 실험값 비교그래프

(2) 기존식과 모형실험값과의 상관분석  
기존 산정식과 실험자료와 상관관계를 검토하였다.

표 9 Paired Samples Statistics

| Pair    | 비교대상       | Mean  | N  | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|---------|------------|-------|----|----------------|-----------------|
| Pair 1  | ANDRU      | 3.298 | 12 | 1.923          | 0.555           |
|         | 실험         | 2.824 | 12 | 0.888          | 0.256           |
| Pair 2  | QURESHI    | 1.913 | 12 | 0.744          | 0.215           |
|         | 실험         | 2.824 | 12 | 0.888          | 0.256           |
| Pair 3  | FROENHLICH | 3.069 | 12 | 0.928          | 0.268           |
|         | 실험         | 2.824 | 12 | 0.888          | 0.256           |
| Pair 4  | JAPAN      | 2.945 | 12 | 0.812          | 0.234           |
|         | 실험         | 2.824 | 12 | 0.888          | 0.256           |
| Pair 5  | MELVILLE   | 4.066 | 12 | 0.839          | 0.242           |
|         | 실험         | 2.824 | 12 | 0.888          | 0.256           |
| Pair 6  | BREUSERS   | 2.583 | 12 | 0.720          | 0.208           |
|         | 실험         | 2.824 | 12 | 0.888          | 0.256           |
| Pair 7  | LAURSEN    | 3.007 | 12 | 1.199          | 0.346           |
|         | 실험         | 2.824 | 12 | 0.888          | 0.256           |
| Pair 8  | LARRAS     | 1.793 | 12 | 0.684          | 0.198           |
|         | 실험         | 2.824 | 12 | 0.888          | 0.256           |
| Pair 9  | NEIL       | 2.848 | 12 | 1.135          | 0.328           |
|         | 실험         | 2.824 | 12 | 0.888          | 0.256           |
| Pair 10 | CSU        | 4.033 | 12 | 1.248          | 0.360           |
|         | 실험         | 2.824 | 12 | 0.888          | 0.256           |

표 10 Paired Samples Correlations

| Pair    | N  | Correlation | Sig.     |
|---------|----|-------------|----------|
| Pair 1  | 12 | 0.925436    | 1.6E-05  |
| Pair 2  | 12 | 0.980288    | 2.27E-08 |
| Pair 3  | 12 | 0.993527    | 8.86E-11 |
| Pair 4  | 12 | 0.968691    | 2.25E-07 |
| Pair 5  | 12 | 0.649281    | 0.022327 |
| Pair 6  | 12 | 0.970717    | 1.61E-07 |
| Pair 7  | 12 | 0.956082    | 1.2E-06  |
| Pair 8  | 12 | 0.796557    | 0.001929 |
| Pair 9  | 12 | 0.984252    | 7.43E-09 |
| Pair 10 | 12 | 0.98184     | 1.51E-08 |

표 11 Paired Samples Test

| Pair    | Paired Differences |                |                 |   |        | t       | df | Sig. (2-tailed) |
|---------|--------------------|----------------|-----------------|---|--------|---------|----|-----------------|
|         | Mean               | Std. Deviation | Std. Error Mean | 95% Confidence Interval of the Difference |        |         |    |                 |
|         |                    |                |                 | Lower                                     | Upper  |         |    |                 |
| Pair 1  | 0.473              | 1.151          | 0.332           | -0.258                                    | 1.205  | 1.424   | 11 | 0.182           |
| Pair 2  | -0.910             | 0.216          | 0.062           | -1.048                                    | -0.773 | -14.578 | 11 | 1.54E-08        |
| Pair 3  | 0.245              | 0.111          | 0.032           | 0.175                                     | 0.315  | 7.658   | 11 | 9.87E-06        |
| Pair 4  | 0.121              | 0.226          | 0.065           | -0.023                                    | 0.264  | 1.855   | 11 | 0.091           |
| Pair 5  | 1.242              | 0.725          | 0.209           | 0.781                                     | 1.702  | 5.936   | 11 | 9.79E-05        |
| Pair 6  | -0.240             | 0.256          | 0.074           | -0.404                                    | -0.078 | -3.254  | 11 | 0.008           |
| Pair 7  | 0.1831             | 0.437          | 0.126           | -0.094                                    | 0.461  | 1.455   | 11 | 0.174           |
| Pair 8  | -1.031             | 0.537          | 0.152           | -1.372                                    | -0.689 | -6.646  | 11 | 3.63E-05        |
| Pair 9  | 0.024              | 0.305          | 0.088           | -0.169                                    | 0.218  | 0.275   | 11 | 0.789           |
| Pair 10 | 1.209              | 0.412          | 0.119           | 0.947                                     | 1.471  | 10.156  | 11 | 6.34E-07        |

본 자료의 상관성 분석결과 표10,11 및 표준오차 평균 표9 등을 살펴 볼 때 강원도 영서지방의 세굴산정식은 Froehlich의 세굴산정식이 대체적으로 모형실험값과 유사한 경향을 보이는 것을 알 수 있었다.

#### 4.2 수문특성 및 교각 크기에 따른 세굴산정식

세굴은 하천의 흐름에 따라 그 깊이가 다르게 변화하게 된다. 또한 세굴의 중요한 요소 중의 하나인 하상구성재료의 입경이라고 하겠다. 그러나 본 연구 하천의 하상구성 입자는 강원도 산지 하천의 일반적인 하천으로 각 하천별로 약간의 차이는 있었으나 구성재료 자체에는 알 질에서 수록한 바와 같이 큰 차이가 없었다. 따라서 본 연구에서는 홍수량, 유속, 수심에 따른 하천의 세굴심을 실험결과와 상관성을 구성하여 강원도 영서지방에 적용 가능한 식에 어떠한 항목이 포함되어야 하는지 알아보았다.

##### (1) 상관성 분석

각 인자들 중에 세굴에 영향을 주는 인자들을 확인하기 위하여 모형실과 각 인자들의 상관성을 확인하여 보았다. 표12와 그림10의 분석 결과 실험결과에 영향을 주는 요인은 교각크기, 홍수량, 수심, 유속 순으로 상관성이 높았다. 이는 유속의 운동에너지 세굴심과 깊은 연관이 있기는 하나 강원도 영서지역의 경우 산지지형의 하천이 대부분으로 하상경사가 급하고 이에 따른 유속의 변동이 큰 차이가 발생하지 않아 강원도 영서지역에서는 유속에 대한 세굴심과의 상관성이 크게 떨어지는 것으로 분석되었다.

표 12 Paired Samples Correlations

|        | N         | 자료수 | Correlation |
|--------|-----------|-----|-------------|
| Pair 1 | 실험평균&홍수량  | 12  | .912        |
| Pair 2 | 실험평균&수심   | 12  | .882        |
| Pair 3 | 실험평균&유속   | 12  | .537        |
| Pair 4 | 실험평균&교각크기 | 12  | .973        |

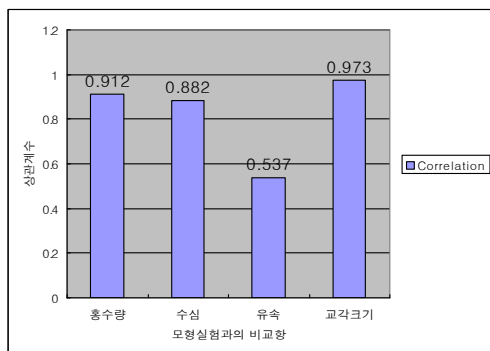


그림 10 항목별 모형실험과의 상관도

##### (2) 강원도 적용 가능한 기존식의 분류

강원도 영서지역에 적용 가능한 식에는 상관분

석결과 교각크기항목이 중요한 항목이므로 이는 포함되어 있으며, 다음으로 홍수량과 수심이 포함되는 식이어야 할 것이다. 따라서 3장에서 분석한 민감도 분석을 종합할 때 교각의 항목이 중요한 항목이지만 민감도 분석시 분석된 자료에 의하면 교각만으로 구성된 식에서는 영서지역에서는 민감도가 크게 떨어지는 것으로 나타났으며, 홍수량에 대한 항목은 기존식에서는 고려되지 못하고 있다.

따라서 강원도 영서지역에서 적용 가능한 식은 교각의 크기와 수심, 유속을 고려한 식이어야 한다. 이러한 점들을 고려할 때 Froehlich공식과 CSU공식이 강원도 영서 지역에 적합한 식으로 압축가능하다. 따라서 모형실험과의 상관분석을 통하여 상관성이 가장 높게 나타난 Froehlich공식이 강원도 영서지역에 적용하기에 가장 우수한 식이라고 사료된다.

## 5. 결론

### 5.1 결론

기존 산정식의 민감도 및 모형실험과의 비교를 통하여 실무에서 적용 가능한 기존 세굴산정공식을 파악하여 보았다. 본 연구 수행결과 확인 할 수 있는 결론은 다음과 같다.

1. 기존의 산정공식 중 강원도 영서지방의 경우 교각만으로 형성된 산정공식은 세굴산정이 간편하기는 하나 강원도 하천의 수심 및 유속의 영향을 충분히 반영하지 못하여 민감도가 크게 떨어지는 것으로 분석되었다.

2. 세굴에 영향을 주는 요인 중에 모형실험과의 비교를 통해서 강원도 영서지역의 하천은 교각크기, 홍수량, 수심, 유속 순으로 세굴심의 영향을 주는 것으로 확인되었으며, 세굴 요인중 유속의 영향이 가장 작은 것은 강원도 영서지역의 하천은 유속분포가 각 하천별로 큰 차가 없어 유속에 대한 상관도는 크게 떨어지는 것으로 분석되었다.

3. 강원도 영서지방의 경우 기존산정식의 민감도 및 모형실험과의 비교 결과 강원도 영서지역의 세굴심은 교각의 크기와 수심이 고려되는 세굴산정공식의 오차가 작으며 기존식 중에 Froehlich식의 세굴산정식이 강원도 영서지역의 세굴산정에 적합한 식으로 분석되었다.

### 5.2 추후연구과제

본 연구는 모형실험을 통하여 세굴에 대한 일반적인 영향을 주는 요인과 강원도 영서지방의 적용 가능한 산정방법에 대한 것이며, 실내모형실험으로



산업기술연구(강원대학교 산업기술연구소 논문집), 제24권 B호, 2004.

기존 세굴심 산정공식 적용을 위한 모형실험과의 비교 연구

국한하여 파악하여 보았다. 그러나 최근의 연구경향 등을 살펴볼 때 추후 연구는 현장 계측을 통하여 나타나는 세굴현상을 파악하여 기존식을 보완하여야 할 것이며, 자료를 지속적으로 수집하여 강원도 영서지역에 적합한 세굴심 산정공식을 개발하여야 할 것이다.

또한 본 연구에서 보는 바와 같이 강원도 산지 하천에 대한 하천특성을 갖고서 본 연구를 실시하였으나, 완만한 경사를 갖는 하천에 대해서도 본 연구의 추가적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

논문집, Vol.28, No.6, pp.22-27, 1995.

- [14] 이재수, 윤용남, 호정석, “교량에서의 세굴깊이의 예측 및 실측치와의 비교분석”, *한국수자원학회 학술발표회 논문집*, pp.167-172, 1996.
- [15] 안상진, 최계운, 김종섭, 안창진, “교각주변에서 세굴심도 영향인자의 민감도에 대한 시험적 연구”, *한국수자원학회 학술발표회 논문집*, pp.81-88, 1993.

### 참 고 문 헌

- [1] 안상진, 연기석, 김종섭, 김응용, “수위변화에 따른 교각주위에서의 세굴현상연구”, *대한토목학회 학술발표회 논문집*, pp.67-70, 1996.
- [2] 이철용, “교각주위의 국부세굴에 대한 신뢰성 해석”, *대한토목학회 논문집*, pp.491-501, 2000.
- [3] 윤용남, 호정석, 이재수, “교량에서의 홍수로 인한 세굴과 퇴채움의 실측치와 계산치의 실시간 비교분석”, *한국수자원학회 학술발표회 논문집*, pp.141-147, 1997.
- [4] 윤용남, “교량에서의 세굴깊이 산정 및 산정치와 실측치의 비교분석”, *대한토목학회 학술발표회 논문집*, pp.225-234, 1997.
- [5] 손광익, “비점확성 하상물질의 세굴 지배인자에 대한 실험적 해석”, *한국수자원학회 학술발표회 논문집*, pp.89-96, 1993.
- [6] 윤태훈, 윤성범, 윤광석, “원형교각에서의 세굴방지를 위한 사석보호공의 설계”, *한국수자원학회 학술발표회 논문집*, pp.48-53, 1995.
- [7] 이정규, 유권규, “교각 주변에서의 국부적 세굴에 관한 실험적 연구”, *한국수자원학회 학술발표회 논문집*, pp.186-195, 1991.
- [8] 박성식, 송재우, “만곡수로에서의 연속교각 세굴특성에 관한 연구”, *한국수자원학회 학술발표회 논문집*, pp.431-436, 1998.
- [9] 여운광, 윤병만, 김규한, “우리나라 중·소하천 교량의 세굴특성조사”, *한국수자원학회 학술발표회 논문집*, pp.173-178, 1996.
- [10] 최계운, 김현태, 권영식, “교각주위내 세굴검토를 위한 사석보호공에 관한 연구”, *한국수자원학회 학술발표회 논문집*, pp.598-603, 2000.
- [11] 이정규, “세굴에 대비한 교량설계기준의 필요성”, *한국수자원학회지*, Vol.28, No.6, pp.16-21, 1995.
- [12] 서일원, 김영도, “교각 주위의 난류 특성”, *대한토목학회 학술발표회 논문집*, pp.95-98, 1996.
- [13] 최계운, “하천 구조물 설치에 따른 세굴발생과 최근 연구동향”, *한국수자원학회 학술발표회*