

半圓形橋脚에서 局部洗掘에 대한 接近角度的 影響

安相鎭* 崔桂溍** 金宗燮*** 安昌鎭****

1. 序 論

自然 河川에서 橋梁을 建設하는 경우 局部洗掘을 적게하기 위하여는 橋脚을 흐름의 方向과 나란하게 배열하는 것이 바람직하지만 現實的으로는 그렇지 못한 경우가 많다. 다시 말해 道路를 建設할때 道路의 線形에 의하여 橋梁을 設置하게 되는 경우와 같이 外的 要因에 의해 흐름의 方向과 어떤 角度를 이루어 橋脚을 設置하는 경우가 흔히 있다. 또한 橋梁 建設 당시에는 흐름의 方向과 일치하게 橋脚이 設置되었을지라도 建設 이후 河川內 여러 影響因子에 의하여 변경 되므로서 흐름의 接近角度가 바뀌게 되는 경우가 있다. 이와같은 접근 각도의 影響은 이미 建設된 橋脚의 세굴에 대한 安全性 검토에 상당히 중요하다.

本 論文에서는 半圓形橋脚에 대해 接近角度에 의한 局部洗掘深의 影響을 分析하였으며, 이를 위하여 實際 河川에서 採取한 河床材料을 利用한 模型實驗을 實施하고 各各의 接近角度에 대해 河床傾斜別 最大洗掘深을 조사하여 Fr數 範圍에 따른 接近角補正係數(K_a)를 導出하고, 지금까지 一般的으로 使用되고 있는 接近角補正係數와 比較 分析하였다.

2. 接近角에 의한 補正係數

接近角度 α 인 橋脚의 接近角 보정계수 K_a 는 接近角度가 α 인 경우의 세굴深度와 接近角度가 0° 인 경우의 세굴深度의 비로써 표시될 수 있으며, 이의 필요성에 관한 이론적 接近은 橋脚 전면에서 발생하는 마제형 와류의 強度를 考慮하므로써 이루어질 수 있다.

Schneider(1968)¹⁾에 의하면 馬蹄型渦流 中心의 無次元 渦流強度는 특성길이로 橋脚의 폭을 이용한 橋脚 Reynolds數와 比例하고 洗掘深도 이에 比例한다. 따라서, 보정계수 K_a 는 그림 1에서 보는바와 같이 橋脚의 폭(b)에 기초한 橋脚 Reynolds數 Re_b 와 橋脚의 投影幅(B)에 기초한 橋脚 Reynolds數 Re_B 의 比 Re_B/Re_b 로 나타낼 수 있으며 이를 식으로 표시하면 식 2.1과 같다.

* 忠北大學校 工科大學 土木工學科 教授

** 韓國水資源公社 水資源研究所 責任研究員

*** 大田産業大學校 都市工學科 專任講師

**** 忠北大學校 大學院 土木工學科 碩士過程 修了

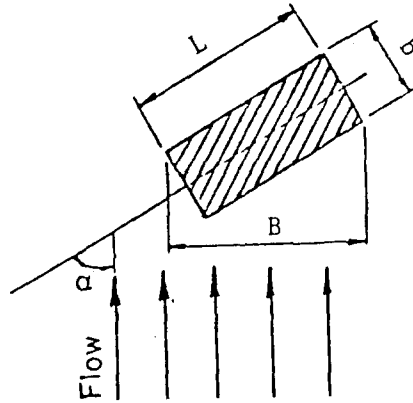


그림 1 直四角形橋脚에서 接近角度에 의한 투영폭(B)

$$K_a = \frac{Re_B}{Re_b} = \frac{B}{b} \quad (2.1)$$

여기에서 直四角形橋脚을 고려하면 투영폭 B는 식 2.2와 같으며, 교각폭 b와 투영폭 B를 고려한 접근각 보정계수 K_a 는 식 2.3과 같다.

$$B = L \sin \alpha + b \cos \alpha \quad (2.2)$$

$$K_a = \frac{L}{b} \sin \alpha + \cos \alpha \quad (2.3)$$

또한, 半圓形橋脚에 대한 K_a 는, 식 2.4와 같다.

$$K_a = \frac{(L - b)}{b} \sin \alpha + 1 \quad (2.4)$$

3. 模型水路內 實驗 橋脚 設置

本 研究를 위한 實驗水路로 길이 12 m, 幅 40 cm, 높이 40 cm의 開水路를 이용하였다. 설치된 實驗水路는 양측 벽면이 유리로 되어 있어 흐름을 관찰할 수 있고, 河床傾斜를 0.0% - 4.0% 범위까지 변화시킬 수 있도록 되어 있다.

實驗의 사용된 橋脚의 模型은 半圓形橋脚을 사용 하였으며, 橋脚의 폭(b)은 2.5cm이고, 橋脚의 길이(L)는 6.75cm로서 橋脚形狀比(L/b)는 2.7 을 사용하였다.

河床材料는 報青川內 山桂橋 지점에서 채취된 모래를 이용하였으며, 모래의 平均粒徑(d_{50})은 0.8mm, 幾何學的 標準偏差(σ_g)는 1.95로 不均等 모래를 사용 하였고, 比重은 2.58 이었다. 實驗은 한 接近角度에 대해 각각의 河床傾斜別로 水深을 증가시키면서 실시하였다. 河床傾斜는 0.01%, 0.03%, 0.05%, 0.1%, 0.2%, 0.4% 까지 변경시키면서 수행되었고, 接近角度는 0°에서 90° 까지 15° 간격을 기준으로 실시하였다. 實驗結果의 分析에 이용된 實驗데이터는 $V/V_c > 1$ 인 移動床洗掘 (Live-bed scour) 조건의 것이 사용되었다.

4. 實驗結果의 分析

4.1 同一한 河床傾斜에서 接近角度에 의한 洗掘深의 變化

그림 2는 同一한 河床傾斜에서 接近角度의 變化에 따른 最大洗掘深의 變化를 보여 주고 있다. 그림에서 보는바와 같이 同一한 河床傾斜에서는 接近角度가 0° , 15° , 30° , 60° 및 90° 로 증가함에 따라 最大洗掘深도 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 河床傾斜가 커질 수록 接近角度에 의한 最大洗掘深의 증가폭은 둔화되는 것으로 나타났다.

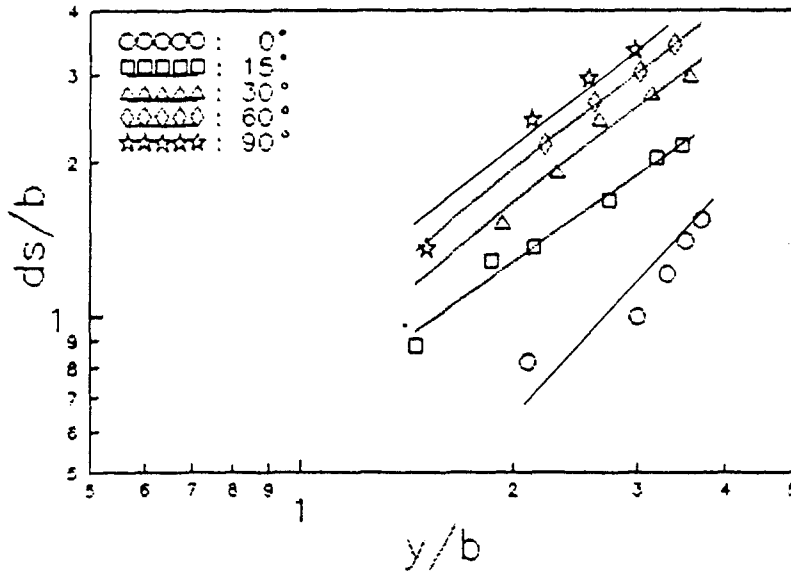


그림 2 同一한 河床傾斜에서 接近角度에 의한 洗掘深의 變化(河床傾斜 0.01 %)

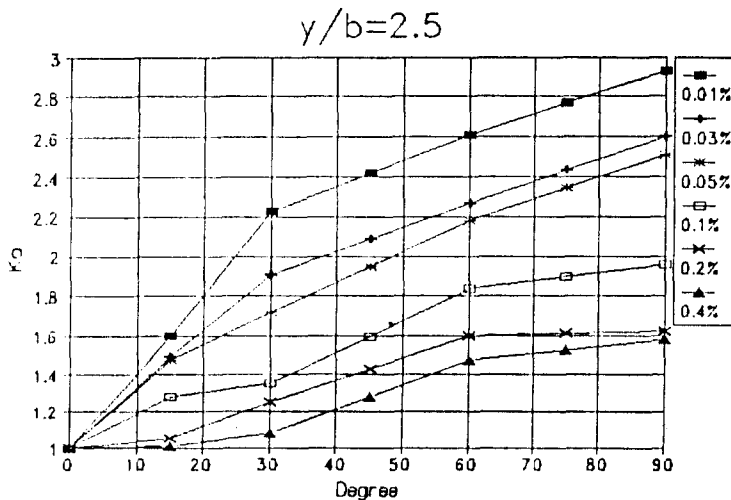


그림 3 河床傾斜別 接近角度보정係數 Ka 의 變化(無次元 水深 $y/b=2.5$ 일 경우)

4.2 同一한 水深에서의 河床傾斜別 接近角度보정係數 $K\alpha$ 의 變化

그림 3은 동일한 水深에서 河床傾斜別 接近角度係數 $K\alpha$ 값을 나타내고 있다. 이때 $K\alpha$ 의 값은 接近角度가 0° 일때의 最大洗掘深과 接近角度가 $15^\circ \sim 90^\circ$ 일때의 最大洗掘深의 비를 말한다. 無次元 水深 y/b 에 대하여 分析하여 본 결과 그림에 나타난 바와 같이 $K\alpha$ 값은 河床傾斜에 따라 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.

4.3 實驗結果에 의한 接近角補正係數 $K\alpha$ 의 決定

위와 같이 실시된 實驗結果를 分析한 결과 接近角補正係數 $K\alpha$ 는 水深 및 河床傾斜의 變化와 이에 따른 流速의 變化에 많은 영향을 받고 있는 것으로 나타났다. 따라서 이러한 影響因子를 대표하는 無次元變量인 Fr 數를 이용하여 그림 4에서와 같이 Fr 數의 범위에 따라 3개의 $K\alpha$ 曲線을 얻었다.

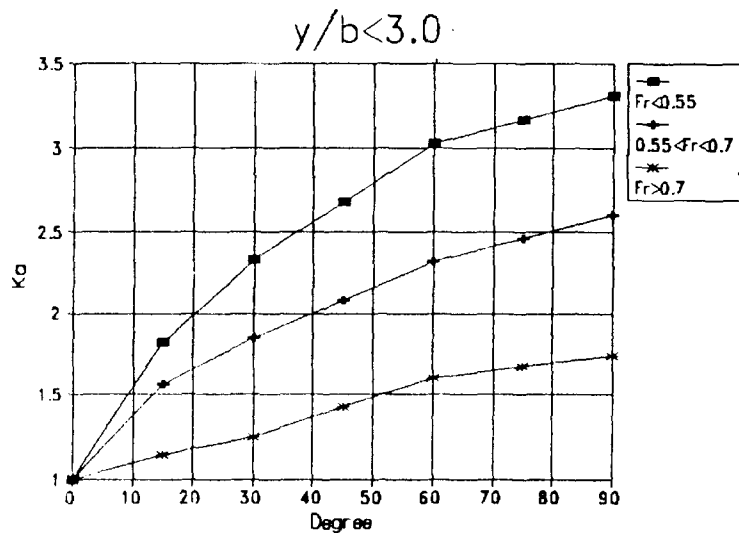


그림 4 半圓形橋脚에서 接近角度보정係數 $K\alpha$ 의 變化

그림 4에서 얻어진 3개의 曲線을 2장에서 誘導된 馬蹄型渦流系의 強度를 이용한 理論的 接近角補正係數 式을 이용하여 나타내면 式 (4.1) ~ (4.3)과 같다.

$Fr < 0.55$ 인 경우,

$$K\alpha = \left[\left(\frac{L}{b} - 1 \right) \sin\alpha + 1 \right]^{1.24} \quad (4.1)$$

$0.55 < Fr < 0.7$ 인 경우,

$$K\alpha = \left[\left(\frac{L}{b} - 1 \right) \sin\alpha + 1 \right]^{0.97} \quad (4.2)$$

Fr > 0.7 인 경우.

$$K\alpha = \left[\left(\frac{L}{b} - 1 \right) \sin\alpha + 1 \right]^{0.6} \quad (4.3)$$

5. 既存의 研究結果와 本 研究結果와의 比較

Laursen과 Toch(1956)²⁾는 直四角形橋脚에서 여러가지 橋脚形狀比((L/b)에 대한 接近角度보정係數 K α 를 그림5와 같이 나타내었다.

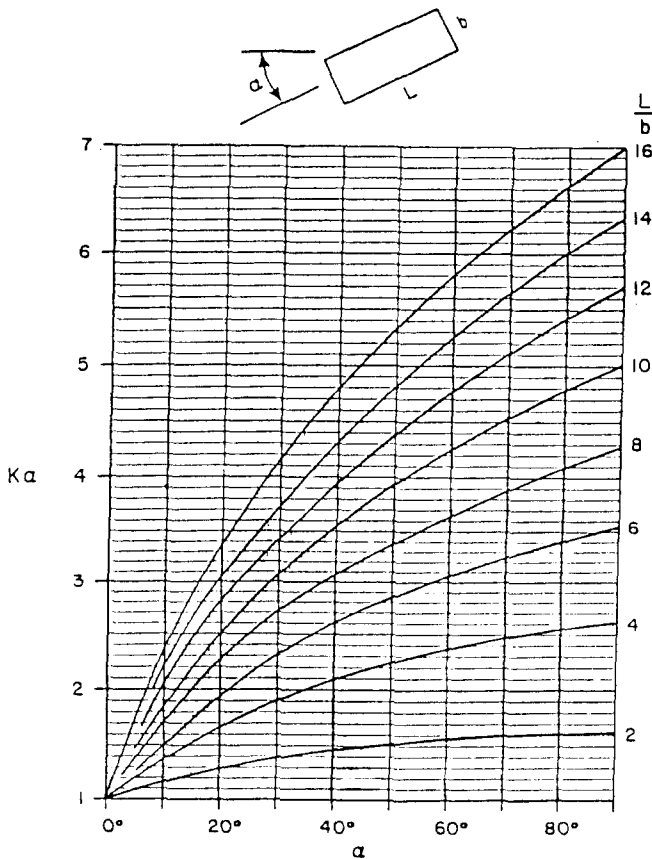


그림 5 Laursen과 Toch(1956)의 接近角度補正係數의 變化

그림 5에 나타난 曲線을 理論的 接近角度補正係數 式으로 표현하면 $2 \leq L/b \leq 16$ 의 범
위에서 직사각형 橋脚에 대하여 式 5.1과 같이 나타낼 수 있다.³⁾

$$\text{(Rectangular)} \quad K\alpha = \left[\frac{L}{b} \sin\alpha + \cos\alpha \right]^{0.68} \quad (5.1)$$

또한, 半圓形橋脚에 대해서는 式 5.1에 橋脚形狀係數(Ks)를 곱하여야 하므로 式 5.2와

같이 나타낼 수 있다.

$$K\alpha = 0.9 \left(\frac{L}{b} \sin\alpha + \cos\alpha \right)^{0.68} \quad (5.2)$$

Laursen과 Toch(1956)에 의해 제안된 $K\alpha$ 곡선은 橋梁의 橋脚 設計時에 接近角度에 의한 局部洗掘深 예측에 보편적으로 사용되어 왔으며, 다른 學者들의 研究結果도 대개 그 범주내에 있었다. 그러나 이 $K\alpha$ 는 橋脚形狀比(L/b) 외에도 橋脚의 局部洗掘深에 영향을 미치는 다른 因子, 즉 水深, 河床傾斜의 변화와 관련한 流速의 변화, 流砂의 粒度分布 및 橋脚의 形狀 등과 독립적이 아닐지도 모른다는 의문이 남는다. 다시 말하면 지금까지의 研究結果 接近角度보정係數 $K\alpha$ 가 局部洗掘深에 영향을 미치는 다른 因子와는 獨立的이고 L/b 에 의해서만 變化하는 것으로 알려져 왔다.

또한, Mostafa 등(1993)³⁾ 은 實驗을 통하여 直四角形橋脚과 半圓形橋脚에 이용될 수 있는 式을 다음과 같이 提案하였다.

$$\text{(Rectangular)} \quad K\alpha = \left(\frac{L}{b} \sin\alpha + \cos\alpha \right)^{0.8} \quad (5.3)$$

$$\text{(Oblong)} \quad K\alpha = \left[\left(\frac{L}{b} - 1 \right) \sin\alpha + 1 \right]^{0.9} \quad (5.4)$$

Mostafa 등은 接近角度보정係數 $K\alpha$ 는 水深, 河床材料의 크기 및 均等性에 대해서도 명백히 변화한다고 하였으며, Laursen과 Toch에 의해 제안된 $K\alpha$ 곡선은 接近角度에 의한 局部洗掘深을 실제보다 적게 豫測한다고 결론 지었다.

本 研究에서도 接近角度보정係數 $K\alpha$ 는 흐름의 接近角度와 橋脚形狀比 L/b 에 의해서만 영향을 받는 독립적인 常數가 아니며 局部洗掘深에 영향을 주는 다른 因子, 즉 水深, 河床傾斜에 대해서도 변화가 있는 것으로 나타났다. 따라서 水深 및 河床傾斜의 변화와 이에따른 流速의 변화를 대표할 수 있는 無次元變量 Fr 數의 범위를 기준으로 接近角度보정係數 $K\alpha$ 는 選別되어 適用는 것이 바람직한 것으로 分析되었다.

6. 結 論

本 研究는 河川에 橋梁을 설치할 때 半圓形橋脚의 接近角度에 의한 局部洗掘深을 豫測하기 위한 實驗的 研究로써 흐름의 방향이 橋脚과 어떤 接近角度를 이룰 때 水深 및 河床傾斜의 변화와 이에따른 流速의 변화를 고려한 最大洗掘深의 比較 分析을 통하여 아래와 같은 結論을 導出하였다.

첫째로, 동일한 接近角度에서 河床傾斜가 증가할 수록 最大洗掘深은 증가하나 그 증가폭은 크지 않은 것으로 나타났다.

둘째로, 동일한 河床傾斜에서 接近角度가 증가함에 따라 最大洗掘深도 증가하며, 河床傾斜가 커질수록 그 증가폭은 鈍化된다.

셋째로, 接近角補正係數 K_a 는 흐름의 接近角度 α 와 橋脚形狀比 L/b 에 의해서만 영향을 받는 독립적인 常數가 아니며, 水深 및 河床傾斜의 변화와 이에 따른 流速의 변화에 대해서도 변하는 것으로 나타났다.

넷째로, 半圓形橋脚에서 接近角度에 의한 局部洗掘深을 豫測할 때 接近角度보정係數 K_a 는 Fr 數에 따라 아래와 같이 표현될 수 있는 것으로 나타났다.

$Fr \leq 0.55$ 인 경우,

$$K_a = \left[\left(\frac{L}{b} - 1 \right) \sin \alpha + 1 \right]^{1.24}$$

$0.55 < Fr \leq 0.7$ 인 경우,

$$K_a = \left[\left(\frac{L}{b} - 1 \right) \sin \alpha + 1 \right]^{0.97}$$

$0.7 < Fr$ 인 경우,

$$K_a = \left[\left(\frac{L}{b} - 1 \right) \sin \alpha + 1 \right]^{0.6}$$

다섯째로, 위에 提案한 式은 $0.7 < Fr$ 의 범위에서는 Laursen & Toch의 式과, $0.55 < Fr \leq 0.7$ 의 범위에서는 Mostafa 등의 式과 비슷하게 나타났으나, $Fr \leq 0.55$ 의 범위에서는 Laursen & Toch의 식이나 Mostafa et. al.의 式 보다 局部洗掘深이 크게 나타났다.

參考文獻

1. Schneider, V.R., Mechanics of Local Scour, Ph.D. dissertation, Colorado State Univ., Fort Collins, Colorado, 1968.
2. Laursen, E. M. and Toch A., Scour around Bridge Piers and Abutments, Iowa Highway Research Board, Bulletin No. 4, 1956.
3. Mostafa, E. A., A. A. Yassin, R. Ettema and B. W. Melville, Local Scour at Skewed Bridge Piers, Hydraulic Engineering '93, Proc. of the 1993 Conference, ASCE, 1993.