

## 2차원 모형을 이용한 수리해석(I) : 교각형상별 주변부 흐름해석

김응석<sup>1</sup>, 이승현<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>선문대학교 건축사회환경학부

### Hydraulic Analysis Using a Two-Dimensional Model(I) : Flow Analysis around Bridge Piers with Pier Shapes

Eung-seok, Kim<sup>1</sup>, Seung-hyun, Lee<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Architecture, Architectural Eng. & Civil Eng., Sunmoon University

**요약** 본 연구(I)는 교량 설치에 따른 발생하는 교각 형상별 수리학적 특성을 분석하였다. 교각의 형상은 사각형, 마름모형, 팔각형, 타원형, 원형 및 교각 설치전을 포함하여 총 6가지로 구분하였으며, 1차원 모형(HEC-RAS)와 2차원 모형(RMA-2)을 적용하여 수리특성을 분석하였다. 분석결과 사각형과 마름모형의 유속 벡터가 상류방향 흐름을 보임으로 교각주위의 침식 및 유사이송으로 하상변동에 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다. 또한, 타원형의 유속이 설치전의 유속과 가장 유사하게 산정되어 흐름의 방해가 거의 없다고 판단된다. 이러한 분석은 향후 신설 교각형상 선택시 도움을 주리라 판단된다.

**Abstract** This study(I) has analyzed hydraulic characteristics with pier shapes by the bridge construction. The pier shapes are classified into total six types such as square, rhombus, octagon, oval, round, and no-piers. One-dimensional model(HEC-RAS) and two-dimensional model (RMA-2) were employed to analyze hydraulic characteristics around bridge piers. Square and rhombus shapes of piers showed velocity vectors in the upstream direction, which has a significant impact on the river bed changes by erosion and sediment transport around the piers. The flow characteristics of the oval type pier was most similar to that of no-pier situation almost without disrupting the river flow. This analysis can help to select pier types in the new bridge construction for the future.

**Keywords** : Piers shape, HEC-RAS, RMA-2

### 1. 서론

교통 및 도시가 발전함에 따라 주변하천에는 많은 수공구조물들이 설치되어지고 있다. 이러한 수공구조물들은 하천의 통수단면적을 축소시키게 되어 상·하류의 흐름상태에 영향을 주므로 홍수시 수위상승의 가능성이 커지고 있다. 하천의 수공구조물 설치에 따른 교량의 설치에 대다수이며 교량설치에 따른 수리해석에 대한 연구가 진행되어 왔다.

2차원 수리해석모형인 RMA-2를 적용한 연구로는, [1]은 RMA-2 모형에 만곡보정계수를 적용하여 만곡부

흐름특성분석에 대한 모형의 적용성을 검토하였다. [2]은 호안의 수리적 안정성을 판단하는데 사용되는 소류력을 산정할 때 기존의 1차원 단면 평균 유속 대신에 2차원 유속을 사용하기 위해 RMA-2 모형을 이용하였다. 1차원 평균유속을 사용하면 대상 단면의 평균 소류력만 구할 수 있는 반면, 2차원 유속을 이용하면 대상 단면의 구간별 소류력을 산정할 수 있다. [3]은 홍제천을 대상으로 RMA-2 모형을 적용하였으며, 모형내 주요 수리특성인자에 대한 영향도 분석을 위해 민감도 분석을 수행하였다. [4]은 직선 및 곡선하도의 교각특성에 따른 수리학적 변동분석을 효과적으로 모의하기 위해서 실제 수리모

\*Corresponding Author : Seung-hyun, Lee (Sunmoon Univ.)

Tel: +82-41-530-2328 email: shlee02@sunmoon.ac.kr

Received April 3, 2015

Revised May 20, 2015

Accepted July 16, 2015

Published July 31, 2015

형실험을 통하여 모형검정을 실시하였으며, 이를 이용한 RMA-2모형으로 하도구간에 대한 수리특성을 파악하고 흐름변화를 유발시키는 인자로서 교각의 배치와 수리특성 등과 같은 조건하에서 직선 및 만곡하천의 유속 및 수위변화 등에 대한 영향 등을 비교분석하였다. [5]은 가곡천 하구부에 위치한 솔섬 주변의 흐름특성을 분석하기 위해 유한요소법을 이용한 이차원 흐름해석 모형인 RMA-2 모형을 적용하였다. [6]은 RMA-2모형을 이용하여 동천하류부에서의 조위와 준설에 따른 흐름변동 특성을 분석하였다. 따라서 본 연구에서는 기하학적 교각형상에 의한 하천의 수리특성을 RMA-2 모형을 이용하여 2차원으로 분석하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 SMS 모형 및 RMA-2모형

SMS(Surface water Modeling System ver. 8.1)는 미 육군 공병단의 수리실험국과 미 연방도로국이 연계하여 미국의 Brigham Young University의 EMRL (Environmental Modeling Research Laboratory)에서 개발된 1차원, 2차원 그리고 3차원 동수역학적 모형으로서 전처리, 분석과정, 후처리과정을 윈도우상에서 편리하게 운영할 수 있는 프로그램이다. 수리분석에 필요한 경계 조건의 지형자료와 유한요소망 격자는 SMS내에서 작성되어 저장되고, 이를 바탕으로 대상구간의 수리해석, 오염물이송, 유사이송을 분석할 수 있다. SMS는 GFGEN, RMA-2, RMA-4 그리고 SED2D 등 여러 부모형(associate model)으로 구성되며, 본 연구에서는 교각의 영향으로 인한 수리해석을 위해 RMA-2를 사용하였다.

수심평균을 취한 2차원 천수방정식은 자유수면을 가진 물의 운동을 기술하는 3차원 Navier-Stokes 방정식의 일반식을 수심방향으로 적분함으로써 유도될 수 있는데 이를 위해서는 연직방향의 가속도항은 무시하여 압력항을 정수압 분포로 처리하며, 유체는 비압축성이라고 가정한다. 2차원 천수방정식의 연속방정식과 운동량방정식은 다음 식(1)-(3)과 같다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \left( \epsilon_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \epsilon_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + g \frac{\partial a}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} + \tau_x = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \left( \epsilon_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \epsilon_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + g \frac{\partial a}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial y} + \tau_y = 0 \quad (3)$$

여기서  $x, y, t$ 는 좌표축과 시간,  $g$ 는 중력가속도,  $u$  및  $v$ 는  $x, y$ 방향의 수심 평균유속,  $\rho$ 는 물의 밀도,  $h$ 는 수심,  $a$ 는 하상표고,  $\tau_x, \tau_y$ 는  $x, y$  방향으로 작용하는 외부 응력으로 각각 하상, 바람, Coriolis 효과에 의한 응력,  $\epsilon$ 는 확산계수를 의미한다. 본 연구에서는 RMA-2모형을 이용하여 교각형상에 따른 교각주변의 수리특성을 분석하였다.

### 2.2 1차원 수리해석 모형 HEC-RAS

HEC-RAS(River Analysis System)모형은 미육군 공병단의 수문연구소에서 개발된 상류, 사류, 혼합흐름영역 등의 수문곡선을 계산하는 프로그램이며, 자연하천이나 인공수로에서 변하는 정류에 대하여 1차원 수면의 계산을 수행한다. 수면곡선의 계산 절차는 표준축차계산법(Standard Step Method)에 의해 식(4)와 같은 에너지 방정식의 반복과정과 연속방정식을 이용하여 해석함으로써 계산된다. 여기서 최초 단면에서 계산된 수심, 유속 등의 값은 그 다음 단면을 계산해 나가는데 사용된다.

$$Z_1 + T_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + T_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + H_t \quad (4)$$

여기서  $Z$ 는 하상표고,  $Y$ 는 수심,  $V$ 는 유속,  $a$ 는 속도분포 계수,  $g$ 는 중력가속도 이고  $H_t$ 는 전체 에너지 손실이다. 식(4)에서 사용된 에너지 손실수두  $h_t$ 는 식(5)에 구해진다.

$$h_t = L_0 \bar{S}_f + C \left| \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} - \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} \right| \quad (5)$$

여기서  $L_0$ 는 검사 단면간의 수로 구간길이,  $\bar{S}_f$ 는 구간에서의 평균마찰계수 이고  $C$ 는 단면의 확대 또는 축소에 따른 손실계수 이다. 그리고, 수로구간 길이  $L_0$ 는 식(6)으로 계산 할 수 있다.

$$L_0 = \frac{L_{lob} \overline{Q_{lob}} + L_{ch} \overline{Q_{ch}} + L_{rob} \overline{Q_{rob}}}{\overline{Q_{lob}} + \overline{Q_{ch}} + \overline{Q_{rob}}} \quad (6)$$

여기서  $L_{lob}$ ,  $L_{ch}$ ,  $L_{rob}$ 는 좌측제방, 수로중앙, 우측제방에 대한 구간 양단의 수로 구간 길이,  $\overline{Q_{lob}}$ ,  $\overline{Q_{ch}}$ ,  $\overline{Q_{rob}}$ 는 좌측제방, 수로중앙, 우측제방에 대한 구간 양단에서의 평균유량 이다(HEC-RAS메뉴얼, 2006). 본 연구에서는 RMA-2모형으로 모의한 교각형상에 따른 교각부의 수리특성 결과를 경계조건으로 하여, 교각형상에 따른 배수위 영향구간을 HEC-RAS 모형으로 분석하였다.

### 3. 적용 및 결과

#### 3.1 대상유역

덕포천은 금강의 제2지류로서 본류인 석성천 지방1급 하천구간으로 유입된다. 유역면적은 19.31km<sup>2</sup>, 유로연장 8.59km인 지방하천이며 동경 126° 3′ 53″ ~ 127° 7′ 26″, 북위 36° 15′ 30″ ~ 36° 18′ 49″사이에 위치하고 있다. 유역의 동서 길이는 약 4.9km, 남북으로는 약 7.4km로서 수지형 형상을 이루고 있으며 수원은 논산시 노성면 가곡리 EL.186.5m의 정상 및 노성산(북쪽의 EL.348.1m)에서 발원하여 병사저수지에 유입하고 저수지를 거쳐 남서 방향으로 유하하다 하구부 사월소하천과 합류 후 유향을 서쪽으로 급사행하여 석성천 좌안에 유입된다. 덕포천의 하상경사는 구간별로 1/162 ~ 1/961 정도로 완만한 경사로 형성되어 있으며, 하상의 구성물질은 대부분이 모래, 상류에서 자갈과 모래가 혼재되어 있다. Fig. 1은 덕포천 위치 및 본 연구 수행구간을 나타내었다. 수행되는 구간은 호남고속철도교이며 교각은 합류점으로부터 140m 떨어진 구간에 설치되어 있다. Fig. 2는 하천의 단면을 나타내었다.

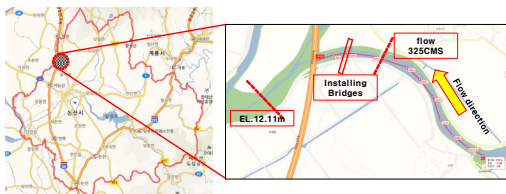


Fig. 1. The Map of Study Basin and Bridge Section

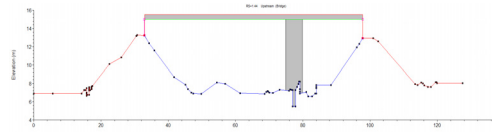


Fig. 2. River Cross Section with a Bridge Pier

#### 3.2 1, 2차원 모형을 이용한 교각형상에 따른 수리분석

본 연구에서는 RMA-2모형 및 HEC-RAS모형을 이용하여 기하학적 교각형상에 따른 수리특성을 분석을 수행하였다. RMA-2모형 및 HEC-RAS모형을 수행하기 위해서는 홍수량 및 홍수위의 경계조건이 필요하다. 본 연구에서는 [7]의 계획빈도 80년 빈도의 홍수량 325m<sup>3</sup>/s, 본류하천인 석성천 합류부 지점의 기점홍수위 EL.12.32m를 경계조건으로 적용하였으며 교각 설치전 교각위치에서의 RMA-2모형 수리특성과 HEC-RAS모형의 수리특성을 동일하게 맞춘 후 교각형상에 따른 수리특성을 분석을 수행하였다.

교각의 형상에 따른 수리특성은 교각주위의 유속, 수위, Froude Number 등을 분석하였고, RMA-2모형에서의 교각형상 및 수리특성 분석 지점은 Fig. 3와 같이 교각 주위 4개의 지점이며, HEC-RAS모형에서는 교각 전·후의 수리특성을 분석하였다. 교각형상은 설치전을 포함하여 총 6개의 경우로 구분하였으며, 하천의 흐름방향은 Fig. 3의 지점 ④에서 ①방향이다. 또한, RMA-2모형에서는 격자구성이 삼각형 및 사각형으로 구성되기 때문에 정확한 원형 및 타원형을 구성하기에는 어려움이 있다. 따라서 교각위치 주변의 격자의 크기를 매우 작게 하여 많은 격자를 구성한 후 삼각형 및 사각형으로 곡선형을 구현하였다.

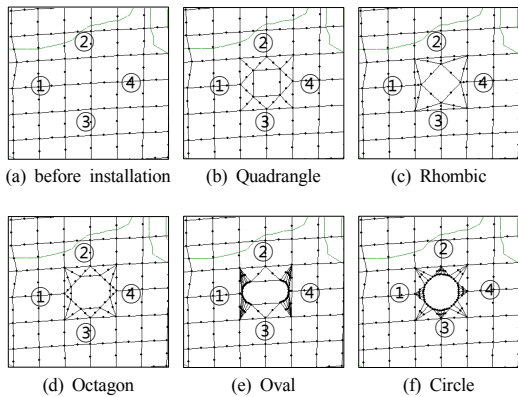
HEC-RAS 모형의 경우 기하학적 교각의 형상을 나타내기 위해 Momentum 및 Yarnell의 교각 형상에 따른 계수를 입력하게 된다. 다양한 교각형상에 대한 Momentum 및 Yarnell 교각형상계수는 Table 1~2와 같으며, 본 연구에서는 다양한 형상계수를 가지고 있는 Momentum 교각형상계수를 이용하였다. 또한, 팔각형에 대한 교량계수가 없어 본 연구에서는 삼각형 각도가 30도인 Momentum 교각형상계수를 이용하여 분석하였다.

**Table 1.** Typical drag coefficients for various pier shapes[8]

Pier Shape	Drag Coefficient
Circular pier	1.20
Elongated piers with semi-circular ends	1.33
Elliptical piers with 2:1 length to width	0.60
Elliptical piers with 4:1 length to width	0.32
Elliptical piers with 8:1 length to width	0.29
Square nose piers	2.00
Triangular nose with 30 degree angle	1.00
Triangular nose with 60 degree angle	1.39
Triangular nose with 90 degree angle	1.60
Triangular nose with 120 degree angle	1.72

**Table 2.** Yarnell's pier coefficient, K, for various pier shapes[8]

Pier Shape	Yarnell K coefficient
Semi-Circular nose and tail	0.90
Twin-cylinder piers with connecting diaphragm	0.95
Twin-cylinder piers without diaphragm	1.05
90 degree triangular nose and tail	1.05
Square nose and tail	1.25
Ten pile trestle bent	2.50



**Fig. 3.** Geometric Shapes of Piers

총 6개의 교각형태에 따라 RMA-2 모형으로 수리특성분석을 수행하여 Fig. 4와 같이 흐름방향 및 유속분포를 나타내었다. 5개의 교각형상 모두 ①지점에서 ②지점 및 ③지점을 지나 ①지점으로 흐르게 되는데, ①지점으로 흐름방향이 모입에 따라 와류현상을 보이고 있다. 특히 사각형 및 마름모형에서 유속 벡터가 역방향을 나타

내었다. 이는 다른 교각보다 심한 와류현상을 보이기 때문이라 판단되며 사각형 및 마름모형 교각형상이 다른 교각형상보다 교각주위의 침식 및 유사이송으로 하상변동에 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다.

교각형상에 따른 수리특성 분석결과 교각 설치전 유속은 1.52m/s로 4개 지점 모두 동일하였다. 교각을 설치하고 ①지점에서는 유속분포에는 변화는 있지만, 마름모를 제외하곤 교각형상과 관계없이 동일한 지점에서 0.31m/s의 유속을 보였다. 이러한 이유는 ①지점의 경우 교각에 의해 흐름을 완전히 통제 받고 있기 때문이라 동일한 유속을 보인 것으로 판단된다. ②지점 및 ③지점의 경우 ①지점과 다르게 교각형상별 약간의 차이를 보였다. 사각형의 경우 2.12m/s의 유속을 보였으며 마름모형의 경우 2.42m/s의 유속을 보였다. 팔각형의 경우 ②지점에서 2.12m/s, ③지점에서 2.43m/s의 유속을 보였으며 타원형의 경우 1.52m/s, 1.82m/s의 유속을 보였다. 원형의 경우 교각형상중에서 가장 빠른 2.43m/s의 유속을 보였다. 교각의 형상이 길고 교각모서리에 각이 없을수록 교각 설치전과 유사한 유속을 보이는 것을 확인할 수 있었다. HEC-RAS의 교각(1.44 지점)이 위치한 단면의 하류(1.4지점) 및 상류(1.48지점)에서의 유속을 분석한 결과, 교각 설치전 유속은 모두 1.23m/s로 나타났으며, 모든 교각형상에 관계없이 교각 단면 하류 및 상류 지점에서의 유속은 각각 0.97m/s 및 0.98m/s로 나타났다. RMA2모형의 ①지점 및 ④지점과 비교해 볼 때, HEC-RAS모형의 1.4지점 및 1.48지점은 교각에 접하는 단면이 아닌 교각이 위치한 지점과 이격되어 있는 단면들이기 때문에, HEC-RAS모형의 유속이 RMA2모형보다 더 빠르게 나타났다.

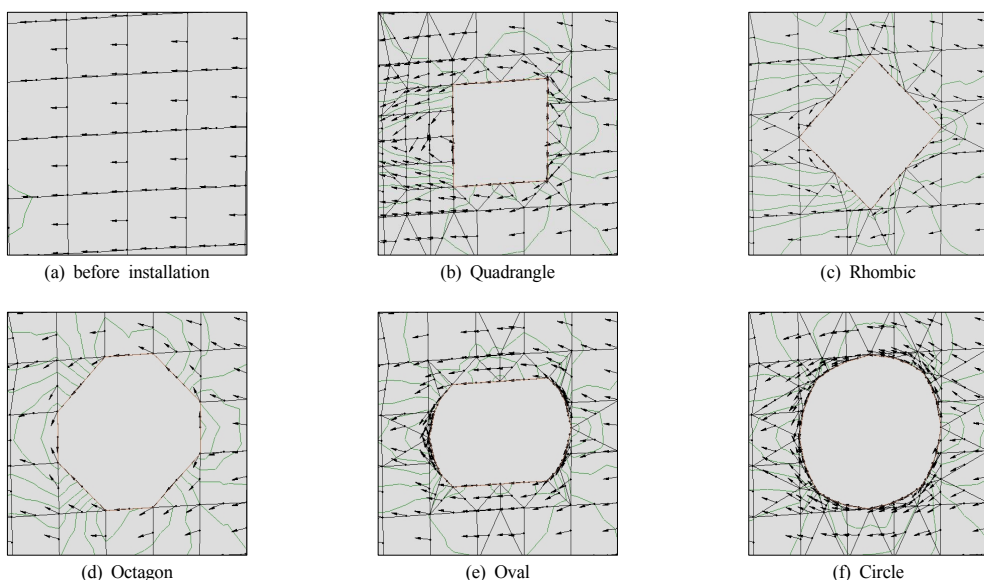
교각 설치전 수표면의 높이는 모든 지점에서 EL.12.34m로 나타났다. 모든 교각형상에서 ①지점은 교각 설치전보다 유속이 매우 낮게 나타났다. 이로 인해 ①지점에서의 수위는 상승 할 것으로 판단하였으나 EL.12.30m, EL.12.34m의 수표면 높이를 보이며 낮거나 동일한 수치를 보였다. 이는 ①지점에서의 와류 현상 때문이라 판단된다. ②지점 및 ③지점의 경우 타원형을 제외하곤 EL.12.24m, 및 EL.12.27m의 수표면 높이를 보였다. 그러나 타원형의 경우 EL.12.30m로 가장 높은 수표면 높이를 보였다. 이는 유속에서 알 수 있듯이 가장 느린 유속을 보였기 때문에 가장 높은 수표면을 보인 것이다.

④지점의 경우 모두 동일한 EL.12.37m의 수표면 높이를 보였으며 이는 교각의 형상에 상관없이 동일한 배수위를 보인 것으로 판단된다. HEC-RAS의 교각 전·후의 수표면 수위를 분석한 결과 교각 설치전 수위는 EL.12.31m로 나타났으며, 교각형상에 따른 하류방향(①, 1.4번 지점) 단면의 수위는 EL.12.31m, 상류방향(④, 1.48번 지점) 단면의 수위는 EL.12.34m로 나타났다. 이는 모든 교각의 형상과 관계없이 교각에 의해 수위가 0.03m상승한 것을 알 수 있다.

Froude number의 RMA-2 및 HEC-RAS모형 모두 유속 1이하의 상류상태를 보이므로 상류방향으로 배수곡선을 형성하게 된다[9]. HEC-RAS모형의 수리특성 및 RMA-2 모형의 ①, ②지점에서 수리특성을 비교한 결과 전체적으로 비슷한 양상을 보였으나 약간의 차이를 보이고 있다. RMA-2모형의 적용된 교각형상과 HEC-RAS의 교각형상계수에서의 차이로 인해 다른결과가 나타난 것으로 판단된다. 교각 설치전 및 교각의 기하학적 형상에 따른 교각주위의 수리특성을 다음 Table 3에 나타내었다.

**Table 3.** The Hydraulic Characteristics with Pier Shapes

Hydraulic characteristics	Piers shape	RMA-2 Model Results				HEC-RAS Model Results	
		① Point	② Point	③ Point	④ Point	Piers downstream	Piers upstream
Velocity (m/s)	before installation	1.52	1.52	1.52	1.52	1.23	1.23
	Quadrangle	0.31	2.12	2.12	0.31	0.97	0.98
	Rhombic	0.30	2.42	2.42	0.30	0.97	0.98
	Octagon	0.31	2.12	2.43	0.31	0.97	0.98
	Oval	0.31	1.52	1.82	0.31	0.97	0.98
	Circle	0.31	2.43	2.43	0.31	0.97	0.98
Water Surface elevation (EL.m)	before installation	12.34	12.34	12.34	12.34	12.31	12.31
	Quadrangle	12.30	12.27	12.27	12.37	12.31	12.34
	Rhombic	12.30	12.27	12.27	12.37	12.31	12.34
	Octagon	12.34	12.27	12.24	12.37	12.31	12.34
	Oval	12.34	12.30	12.30	12.37	12.31	12.34
	Circle	12.34	12.27	12.24	12.37	12.31	12.34
Froude number	before installation	0.091	0.091	0.091	0.091	0.19	0.19
	Quadrangle	0.046	0.14	0.18	0.046	0.13	0.14
	Rhombic	0.045	0.18	0.18	0.045	0.13	0.14
	Octagon	0.046	0.18	0.18	0.046	0.13	0.14
	Oval	0.046	0.091	0.014	0.046	0.13	0.14
	Circle	0.046	0.18	0.18	0.046	0.13	0.14



**Fig. 4.** Flow Direction and Velocity Vectors Around Piers

## 4. 결론

본 연구에서는 HEC-RAS 및 RMA-2 모형을 이용한 교각 형상에 따른 수리특성을 분석하였다. 교각 형상에 의한 흐름방향 및 유속 분포를 분석한 결과 모든 교각형상의 하류방향(①지점)에서 와류현상을 보였으며 사각형과 마름모형에서 유속 벡터가 상류방향 흐름을 보임으로 교각주위의 침식 및 유사이송으로 하상변동에 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다. 교각형상에 따른 수리특성 분석결과 교각 설치전 유속은 1.52m/s로 4개 지점 모두 동일하였으며 타원형의 유속이 설치전의 유속과 가장 유사하게 산정되어 흐름의 방해가 거의 없다는 판단된다. HEC-RAS의 교각 전·후 유속을 분석한 결과 모든 교각형상에서 0.97m/s 및 0.98m/s로 나타났다. RMA-2모형의 유속보다 빠르게 나타난 이유는 교각에 접하는 단면에서의 유속이 아닌 교각의 앞, 뒤 단면에서의 유속이기 때문에 유속이 빠르게 나타난 것으로 판단된다. 교각 설치 전 수표면의 높이는 모든 지점에서 EL.12.34m로 나타났다. 타원형의 경우 유속과 마찬가지로 설치전과 가장 근접한 수리특성을 보인 것을 확인할 수 있었다. 이는 유속에서 알 수 있듯이 가장 느린 유속을 보였기 때문에 가장 높은 수표면을 보인 것이다.

## References

- [1] Jung, J.W., Jung, H.S., Lee, J.S., Yoon, S.E., An Analysis of the Flow Characteristics in Curved Channels Using RMA-2 Model, Korean Society of Civil Engineers, Vol. 20 No. 4, pp.479-489, 2000.
- [2] Kim, D.Y., Park, N.H., Kim, C., Tractive Force Computation Using RMA2 Model, Journal of The Industrial Technology, Vol.13 pp.137-142, 2007.
- [3] Hyun, J.S., Kim, S.H., Sensitivity Analysis for Hydraulic Parameters of RMA-2 Model, Korean Society of Civil Engineers, Vol. 2012 No. 10, pp. 1649-1652, 2012.
- [4] Kim, Y.H., Computation of Backwater due to Piers in Bend of Mobile Bed Channels, Kyung Bok College, Vol.4, pp.579-600, 2000.
- [5] Yoon, J.J., Jun, K.W., A Study on Flow Characteristics around Sol-seom in the Gagokcheon Using RMA-2 Model, Crisis and Emergency Management Theory and Praxis, Vol. 9, No. 10, pp.141-148, 2013.
- [6] Chung, Y.T., Lee, Y.H., A Study of the Flow

Characteristics by RMA2 Model in the Dong Creek, J. Korea Society of Environmental Administration, Vol. 6, No. 3, pp.305-313, 2000.

- [7] Deokpocheon Basic Plan for River Maintenance, 2005.
- [8] USACE-HEC, Hydrologic Modeling HEC-RAS User's Manual, 2006.
- [9] Yoon, Y.N., Hydraulics, Cheong Moon Gak Publishing Co., pp.1-731, 2008.

## 김 응 석(Eung-Seok Kim)

[정회원]



- 1995년 2월 : 동국대학교 토목공학과 (공학사)
- 1997년 2월 : 고려대학교 토목환경공학 (공학석사)
- 2002년 2월 : 고려대학교 토목환경공학 (공학박사)
- 2004년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 토목공학과 부교수

<관심분야>

수자원시스템, 상하수도 관망시스템

## 이 승 현(Seung-Hyun Lee)

[정회원]



- 1988년 8월 : 서울대학교 토목공학과 (공학사)
- 1991년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학박사)
- 2000년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

토질역학, 기초공학