

# 하천의 사행 저수로 복원에 따른 수리학적 특성분석 (Analysis of Hydraulic Characteristics According to Meandering Low Flow Channel Restoration)

1)김원일 / 2)김상선 / 3)안원석

## 1. 서론

### 1.1 연구배경

최근 부각되고 있는 하천 복원 계획 및 실무에 있어 우선적으로 고려되어야 할 사항은 여러 가지가 있으나 그중의 하나는 유역의 복합적인 요인(기후, 지형특성, 수리·수문특성, 식생특성, 유사특성 등)들에 의해 영향을 받게 되는 하천의 지형형태학적 측면으로 이는 안정 하도 형성에 직접적인 영향을 미치게 되므로 계획의 예비조사 단계서부터 충분한 검토가 이루어져야 하는데 반해 국내에서는 하천 지형형태학적인 측면을 고려한 하천 복원의 연구는 아주 미미한 것이 사실이다. 이러한 하천 복원 계획 및 설계의 성공적인 실행은 하천 유량과 유사가 수로형성이나 기능에 어떻게 관련되어져 있고 수로 발달 과정에 수반되는 과정들이 무엇인지를 정확히 파악하는데 있다고 해도 과언이 아니며, 이와같은 과정으로 본 연구에서 수행될 하천의 사행 저수로 복원에 따른 수리학적 특성을 분석하는 것의 주목적이라 할 수 있는 것은 만곡 수로에 집중되는 과도한 에너지를 소산시키고, 하도를 안정화하고, 이송 능력을 감소시켜 하류부에 대한 유사공급을 줄이고 하천의 서식지를 회복하기 위한 것이라 할 수 있겠다.

사행현상에 기인한 유로 만곡부의 특성은 편수위 상승현상, 세굴과 퇴적 현상 발생으로 수공 구조물에 크게 영향을 줌으로 이에 따른 정량적인 해석은 중요한 자료가 될 수 있고 하천 개수로 인한 자연하천 고유의 유로특성에 관한 자료가 점차 소멸될 것으로 예상되는 현 시점에 미루어 볼 때 이 분야의 연구는 시급하다고 판단되어진다. 그러나 이러한 목적 가치가 인정되더라도 적합한 평면상에서의 사행의 규모를 정량적으로 결정하는 것은 매우 어려운 문제이며 이로인해 수정이 불가능한 하도가 형성되어 지형적인 결과 또는 생태적인 결과를 유발할 수도 있고 이를 다시 조정할 경우 세굴과 퇴적이 활발해져 자연상태의 하천으로 영구히 복원할 수 없게 되는 일이 발생할 수도 있다.

따라서 본 연구에서는 기존에 하천환경 관리 계획사업을 통해 시범적으로 하천 복원이 실시된 지역에 대한 철저한 현장 조사를 바탕으로 설계에 따라 조성된 하천의 사행도와 얼마동안의 시간이 경과한 시점인 현재의 사행도와와의 비교를 통해 추후 하천 복원의 계획 및 설계 또는 유로의 유지 관리면에 있어 도움이 될 수 있는 지표를 연구하고자 한다.

### 1.2 연구내용 및 방법

1990년대 들어 하천복원과 회복에 대한 관심이 증가되면서 파괴된 하천환경을 원 상태의 자연형 하천으로 만들고자 하는 사업들이 진행되었다. 훼손된 하천을 원래 그 하천이 가지고 있는 생태적 기능과 구조에 가능하면 가깝게 되돌리는 하천복원이나 훼손된 서식처에서 생태계 구조와 기능을 회복시키는 하천회복을 위해서는 먼저 그 하천의 특성을 분석한 후 배경 지식을 바탕으로 하천의 수문 및 형태학적 특성과 생물학적 특성등으로 나누어 하천복원의 계획을 실행하여야 한다. 그 중 본 연구에서는 하천 지형 형태학적인 요소 중 하천의 사행저수로 복원에 따른 수리학적 특성을 고찰하여 봄으로써 복원된 하천의 유지관리 측면과 앞으로 시행될 하천 복원에 있어 적절한 지표를 제시하고자 한다.

그 첫 단계로 대상유역을 선정하여 대상하천 유역의 도시화 및 산업화로 인한 유역 특성의 변화를 기초로설계시 반영 유량과 현재로 나누어 개수 전·후의 하도에 적용하여 봄으로 하천내 유속 변화를 비교해 보고자 한다. 이렇게 비교된 수리 특성을 통하여 2차원 수리모형인 SMS 모델링을 이용한 사행하도 상·하류에 수류력(Stream Power)이 최소가 될 수 있는 유량을 산정·적용해 봄으로서 실제 하천여건에 부합되는 안정 사행 저수로의 설정에 방향성을 제시할 수 있는 연구가 수행될 것으로 기대된다.

- 
- 1) 수원대학교 대학원 석사과정
  - 2) 수원대학교 대학원 박사과정
  - 3) 수원대학교 교수

## 2. SMS 모형

SMS(Surface-water Modeling System)는 동수역학적 모형(hydrodynamic modeling)으로서 미국 육군공병단의 WES(Waterways Experiment Station)와 미 연방도로국(U.S.Federal Highway Administration)이 연계하여 Brigham Young University의 EMRL(Environmental Modeling Research Laboratory)에서 개발하였으며, GFGEN 모형, RMA-2 모형, RMA-4 모형, SED-2D 모형 등으로 구성되어 있으며, 본 연구에서는 수리모형인 RMA-2 모형만 사용하였다.

### 2.1 GFGEN 모형

ASCII 지형파일을 RAM-2에서 사용가능한 2진 파일(binary file)의 형태로 바꾸어 주는 일종의 전처리기로서, 유한요소망(finite element mesh)을 구성하는 격점(node) 및 요소(element)에 관한 정보를 읽어들이 오류확인 및 계산소요시간의 단축을 위해 격점 번호를 다시 매겨주는 (renumbering) 기능을 담당한다.

### 2.2 RMA-2 모형

RMA-2 모형은 2차원 수심 평균한 유한요소 수치 모형으로서 2차원 흐름 영역에서 자유 표면, 상류흐름의 수평방향 유속 성분과 수위를 계산하며, Navier-Stokes 방정식에 난류의 흐름을 고려한 Reynolds 방정식으로 유한요소의 해를 계산한다. 마찰력은 Manning 방정식의 조도계수나 Chezy 방정식의 평균유속계수로 계산되고, 와점성계수(eddy viscosity coefficient)는 난류의 특성을 정하는데 사용되며, 정상류 뿐만 아니라 부정류에서도 모의 가능하다. RAM-2 모형의 지배 방정식은 수심 적분한 유체의 연속방정식과 2차원 운동량 방정식을 사용하며, RMA-2 모형의 결과는 이진파일의 형태로 작성되는데 이것은 한 개 이상의 시간간격에 대한 동수역학적인 분석과 이송의 분석을 시행하여 포함할 수 있고, 이것을 이용하여 SMS에서 그래픽을 이용한 결과를 볼 수 있다.

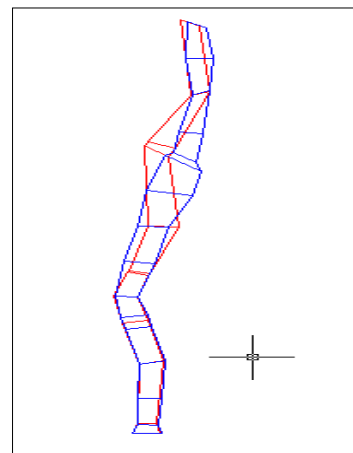
## 3. 대상 유역의 적용

### 3.1 대상 유역

본 연구의 대상유역인 오산천 유역은 우리나라 중부지방 안성천 수계의 중앙부인 동경 127°01' 32" ~ 127°10' 45", 북위 37°05' 42" ~ 37°17' 48" 사이에 위치하며, 유로 연장 29.50km(국가 하천 15.3km, 지방 2급 14.2km), 유역면적 15.283km<sup>2</sup>, 평균 하상경사 1/310 ~ 1/1160인 안성천의 제 2지류로서 유역의 동쪽으로는 진위천 유역과 접하며, 서북쪽으로는 황구지천 유역, 남쪽은 진위천 유역, 북쪽으로는 한강 수계의 탄천 유역과 접하고 있는 하천으로, 본 연구에서는 기흥 저수지에서 하류 방향으로 1.6km 떨어진 지점(No.28)으로부터 신리천 합류점에서 상류 방향으로 300m 떨어진 지점(No.22)까지를 대상 구간으로 이용하였다.

### 3.2 입력 자료

본 연구에서는 '97년 오산천 하천환경정비사업 실시설계 보고서(1997, 건교부)의 하천단면을 초기조건으로 하여 지형자료를 구성하고 모형을 실행시킨 후, 2001년 실측 하천 단면 자료와 비교하는 연구를 수행하였다. 모형의 모의를 위해서는 대상 구간의 유량 자료가 입력자료로서 필요하나, 본 대상 구간내에서는 유량 자료가 전무한 실정이므로, 기 설계보고서와 기흥 저수지 수문 방류량 자료를 통하여 유량 자료를 산정하였으며, 또한, 경계조건으로 필요한 수위자료는 '97년과 2001년 하천의 중·횡단 자료를 이용하여 RMA-2를 통해 각 측정별 수위를 모의하였다.



파란색 : 개수 후  
그림 3.1. 대상 유역도

#### 4. 분석 결과

2차원 모형을 이용하여 먼저 개수 전과 개수 후의 유속을 각 유량 규모별로 비교한 결과가 표 4.1과 같고 각 측정별 비교를 용이하게 하기 위하여 그림 4.1과 같이 나타내었다.

또한  $P(\text{Stream Power}) = \int_L \gamma Q S ds$ 로 정의되는 수류력을 비교한 결과는 그림 4.2와 같다. 표 4.2과 그림 4.3은 전체 하도 연장의 평균 수류력을 계산하여 나타낸 것으로 종합해 보면 단위면적의 하상에 작용하는 에너지 소비율인 Bagnold의 수류력에 하폭을 곱해 하천 전체 폭에 대해서 나타낸 에너지 소비율로서 위에서와 같이  $\gamma Q S$ 로 정의 될 수 있는데 최대 500%이상의 증가를 보이는 구간도 나타났으며, 평균적으로 134% ~ 168%의 증가 양상을 보이는 것을 알 수 있었다.

표 4.1 개수 전·후 유속 비교

구분	<sup>1)</sup> Q = 80	<sup>2)</sup> Q = 130			<sup>3)</sup> Q = 160		<sup>4)</sup> Q = 350	
	개수 후	개수 전	개수 후	개수 후 평균하폭	개수 전	개수 후	개수 전	개수 후
No. 22	3.940	1.630	1.562	1.309	2.186	2.110	3.806	2.195
No. 22+250	1.961	1.611	1.587	1.414	2.382	1.763	2.036	2.076
No. 23	0.859	1.128	1.535	1.209	1.307	1.223	1.161	1.716
No. 23+250	1.422	1.485	1.415	1.769	1.674	1.742	1.191	1.877
No. 23+300	-	1.842	1.709	1.921	2.041	1.876	1.221	1.783
No. 23+340	1.864	2.354	1.966	2.073	2.108	2.010	1.533	1.689
No. 24	1.723	2.867	4.351	1.684	2.175	1.921	1.844	2.030
No. 24+250	1.053	0.983	2.456	3.049	2.262	1.930	2.564	1.539
No. 25	1.028	0.616	1.171	2.944	0.779	1.358	1.043	1.601
No. 25+250	2.783	0.907	0.811	1.525	1.041	0.844	1.423	1.368
No. 26	2.039	1.198	2.501	2.051	1.302	2.443	1.803	2.762
No. 26+40	1.256	1.415	2.487	3.748	1.499	3.887	1.781	3.144
No. 26+50	-	1.632	1.823	2.574	1.697	2.551	1.758	3.039
No. 26+225	1.141	2.033	1.158	1.399	1.568	1.214	1.677	2.934
No. 27	1.562	2.435	2.502	1.998	1.438	1.557	1.596	2.454
No. 27+250	1.259	1.997	1.234	2.072	1.466	1.633	1.483	1.728
No. 28	4.234	1.559	1.756	1.554	1.459	1.421	1.370	4.837

<sup>1)</sup> 97년 오산천 하천환경정비사업 실시 설계 보고서 저수로 규모 결정유량

<sup>2)</sup> HEC-RAS 산정 저수로 결정유량

<sup>3)</sup> 기용저수지 수문방류량 분석을 통한 연륙대지 계열의 평균유량

<sup>4)</sup> 97년 오산천 하천환경 정비사업 실시설계 보고서 계획홍수량

그림 4.1 개수 전·후 유속 비교

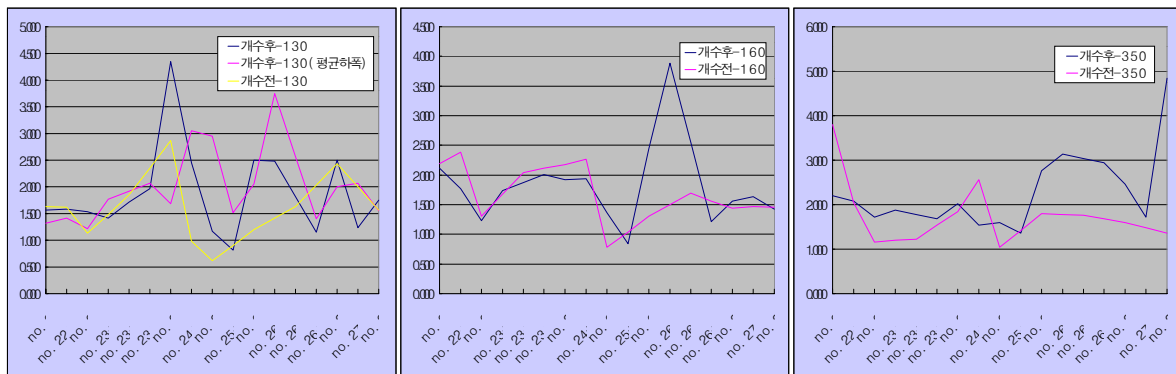


그림 4.2 개수 전·후 수류력 비교

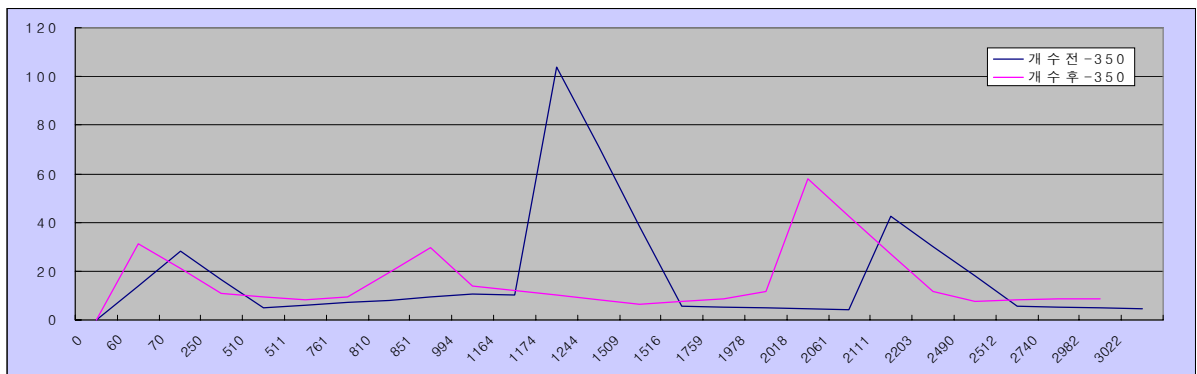
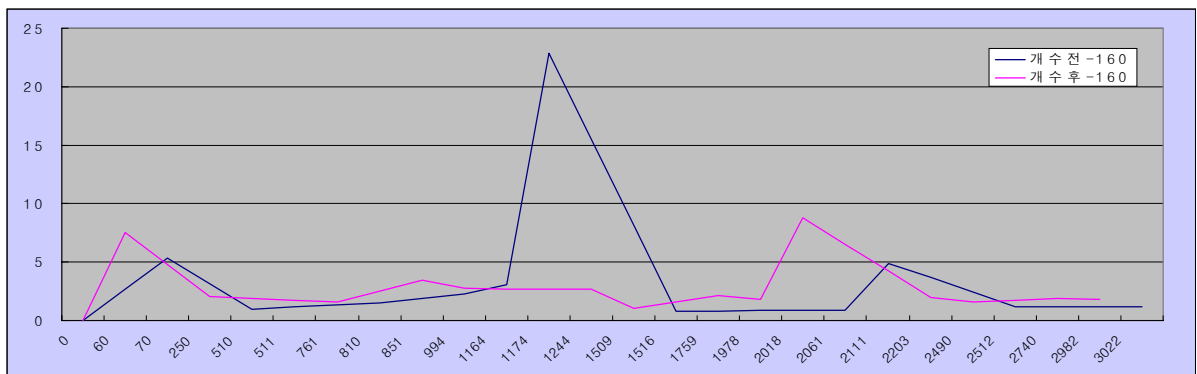
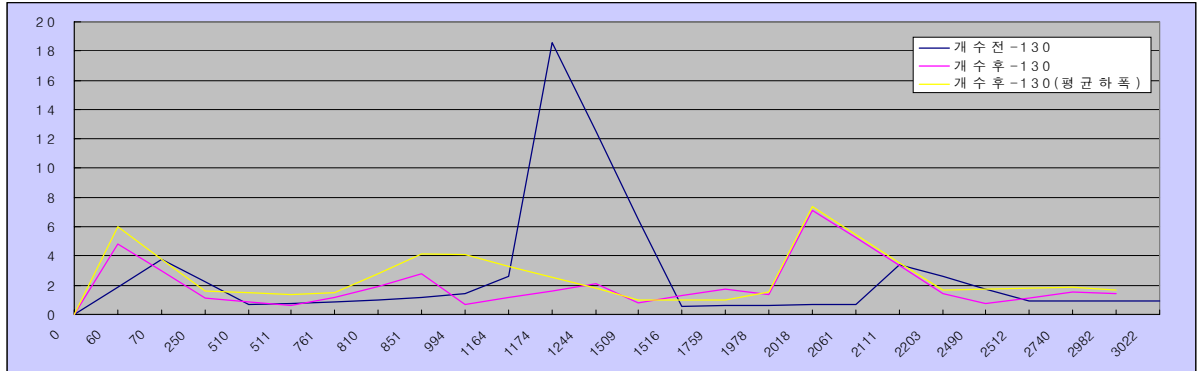
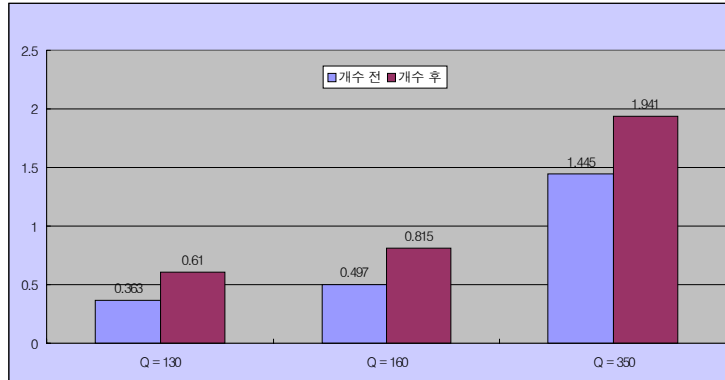


표 4.2 개수 전·후 수류력 비교

구 분	Q = 80		Q = 130		Q = 160		Q = 350	
	개수 후	개수 전	개수 후	개수 후 평균하폭	개수 전	개수 후	개수 전	개수 후
$\bar{y}$	const.	const.	const.	const.	const.	const.	const.	const.
$S$	0.004047	0.002793	0.004205	0.004691	0.003198	0.005095	0.00413	0.005544
$P$	0.324	0.363	0.547	0.610	0.497	0.815	1.445	1.941

그림 4.3 개수 전·후 평균 수류력 비교



## 5. 결론 및 추후 연구 과제

본 연구에서는 안성천 유역내 오산천의 대상구간(No. 22 ~ No. 28)에서 사행 저수로 복원을 위한 수리학적 특성 분석을 위해 1997년 하천 자료를 이용하여 2차원 모형을 실행하였으며, 이를 바탕으로 2001년 하천의 적용하여 현재의 하천 사행 저수로에서 나타내어지는 수리적인 특성과의 비교·분석을 수행하였다.

본 연구를 통해 얻을 수 있었던 결론은 다음과 같다.

1. 과거 자료를 이용하여 유속을 산정하여 원활한 통수능의 증가를 위한 치수 위주의 하천 정비가 이루어진 개수 후에서의 유속과 비교한 결과, 평균적으로 10~114% 정도의 증가 양상을 보이는 것으로 나타났다.
2. 유속 비교의 결과를 바탕으로 하천의 세굴 및 퇴적을 야기시킴으로 장기적으로 하천 시설물의 안정, 홍수위와 같이 하천에 미치는 영향이 막대하다 할 수 있는 에너지의 소비율로 나타내어지는 수류력(Stream Power)을 산정, 비교한 결과 평균적으로 134~168%의 증가 양상을 보이는 것으로 나타났다.
3. 이 결과는 2004년 현재 하천의 현장 조사 결과에 비취볼 때 보여지는 세굴 및 퇴적 현상등과 같은 하천 사행의 변화와 일치하는 것으로 나타났다. 실제로 No. 25 ~ No. 27 구간은 유속이 평균치 이상으로 상승하면서 수류력에 큰 영향을 미쳐 현재 하천에서 부분적인 세굴현상을 발생시키는 것을 확인하였는데, 이것은 하천 정비후 하천 직강화에 기인하는 것으로 생각할 수 있다. 이와는 반대로 유속이 작은 수치이지만 개수 전에 비해 개수 후에 감소한 구간인 No. 23 ~ No. 24 구간에서는 전체적인 수류력도 감소하였는데 이 구간에서는 국부적인 퇴적 현상이 호안 가까운 곳에서 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 현상은 대상 유역 전 구간에 걸쳐 모의된 결과와 현재 하천의 실제 형태와 같은 경향성을 나타내고 있는 것을 확인할 수 있었다.

이와 같은 결과로 미루어 볼 때 계획되어 시공된 기간이 불과 10년이 안된 현재의 시점에서 이러한 현상들을 관측할 수 있었다는 사실은 장기적인 하천의 유지관리 측면에서 볼 때 결코 간과할 수 없는 현상이며, 하천 계획 및 설계시 이러한 하천의 수리적 특성의 정확한 분석을 바탕으로 장기적인 하천 관리 차원에 계획 및 설계가 이루어져야 할 것이다. 이와 같이 2차원 모형으로 하천의 수리 특성을 모의함으로써 기존의 1차원 모형으로 모의할 수 없었던 부분들에 대한 좀 더 정확한 분석을 가능케 하였으며, 이에 앞으로의 하천 정비 설계 및 유지 관리 측면의 방향으로는 적절한 만곡수로의 채택과 적합한 유량 규모의 예측으로 수류력을 최소화할 수 있는 것으로 초점을 맞추어 나아가야 할 것이며, 본 연구에 이어 이러한 하천 복원시 수리적 특성의 대한 검증 모델의 개발은 앞으로의 연구 과제로 남아있다.