

갑천의 웅덩이-여울 연속구조에서 하상토의 입도 및 이동 특성

Gradation and Transport Characteristics of Bed Materials in Pool-Riffle Sequence in the Gap Stream, Korea

최 성 옥* / 배 혜 득**

Choi, Sung-Uk / Bae, Hye Deuk

Abstract

Natural streams meander, forming pools at the outer part of bend and riffles at the crossing. Pools are deep at a lower flow velocity, and riffles are shallow at a higher flow velocity. Attentions are being paid to pool-riffle sequences in meandering streams because pool-riffle sequences tend to increase biodiversity of the stream ecosystem. This study investigates the characteristics of distribution of bed sediment particles in the upstream reach of the Gap Stream, which is a tributary of the Geum River in Korea. The upstream part of the Gap Stream, the study reach, is a gravel-bed stream, showing a pool and three riffles due to meandering. The reach also includes pools at the upstream and downstream parts of the weir. The characteristics of bed sediment particles sampled at the wetland and in the side channel are studied, revealing that the median particle diameter in the riffle is about four times larger than that in the pool. In addition, flow simulations are carried out for ordinary discharge and design flood, and such parameters important to sediment transport as velocity, shear stress, dimensionless shear stress (or Shields number), and dimensionless shear velocity are provided to see the mobility of sediment particles in the pool-riffle sequence.

Keywords : pool-riffle sequence, gradation of bed sediment particles, sediment transport, shear stress, Shields number, the Gap Stream

요 지

자연하천은 사행을 보이며 만곡부 외측에 웅덩이가 그리고 만곡과 만곡을 연결하는 직선 유로에 여울이 형성된다. 웅덩이는 수심이 깊으며 유속이 느리고, 여울은 수심이 비교적 얇고 유속이 빠른 특징이 있다. 사행유로를 따라 자연적으로 발달하는 웅덩이-여울 연속구조에 근래들어 관심이 집중되는 이유는 이러한 하천형태학적 구조가 생물학적인 다양성을 증가시키기 때문이다. 본 연구에서는 금강의 지류인 갑천 상류구간을 대상으로 웅덩이-여울 연속구조에서 하상토의 입도특성을 조사하였다. 대상구간인 갑천 상류부는 자갈하천으로 사행에 의한 웅덩이가 1개소와 여울 3개소를 포함하고 있으며, 구간 상류측에 보로 인해 상하류에 형성된 웅덩이 2개소가 위치한다. 아울러 조사대상 구간의 습지 및 셋강에서 채취한 하상토의 입도특성도 살펴보았는데, 여울에서의 중앙입경이 웅덩이에서보다 약 4배 큰 것으로 나타났다. 또한, 평수량 및 홍수량에 대하여 부등류 계산을 실시하여, 유사이동에 중요한 웅덩이와 여울에서 평균유속, 전단응력, 무차원 전단응력 (Shields 수), 그리고 무차원 전단속도를 검토하였다.

* 연세대학교 토목환경공학과 교수 (e-mail: schoi@yonsei.ac.kr)

Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Yonsei Univ., Seoul 120-749, Korea.

** 교신저자, 연세대학교 대학원 토목환경공학과 석사과정 (e-mail: emr8517@yonsei.ac.kr)

Corresponding Author, Graduate Student, Department of Civil and Environmental Engineering, Yonsei Univ., Seoul 120-749, Korea.

1. 서론

일반적으로 만곡을 보이는 자갈하천은 웅덩이-여울 연속구조 (pool-riffle sequence)가 발생한다. 웅덩이는 수심이 깊고 유속이 느린 부분으로 만곡의 외측에 형성되고, 여울은 비교적 얇은 수심에 유속이 빠른 부분으로 만곡부와 만곡부를 연결하는 직선유로에 만들어 진다 (Fig. 1). 웅덩이-여울 구조가 만들어지기 위한 요건으로, Leopold et al. (1964)은 하상재료가 굵은 모래보다 커야 하고 (즉, $D_{50} > 1 \text{ mm}$), Sear (1996)은 하상경사가 0.05보다 작아야 한다고 보고하였다.

자갈하천의 웅덩이-여울 연속구조는 Fig. 1에 제시된 바와 같이 거리에 따라 입자의 분급현상 (sediment sorting)이 발생한다. 즉, 유속이 느린 웅덩이의 하상재료는 세립토이며, 유속이 빠른 여울에서는 조립토로 하상재료가 구성된다. Keller (1971)는 이와같은 하상재료의 분급현상에 대한 발생기작으로 다음과 같은 과정을 제시하였다. 저유량에서 여울에서의 유속과 전단응력이 크므로 세립토가 하상에서 이탈하여 웅덩이로 이동한다. 유량이 증가함에 따라 웅덩이에서도 유속 및 전단응력이 증가하는데, 이때의 증가율이 여울에서의 값을 초과하게 되며 이를 유속전도 (velocity reversal)라고 한다. 이로 인해 조립토는 여울에 퇴적되고 웅덩이는 지속적으로 세굴이 진행된다. 그러

나 지금까지의 현장관측 경험은 이러한 Keller의 가설을 항상 뒷받침하는 것은 아니다 (Biedenharn et al., 2007).

하천에서 웅덩이-여울 연속구조가 생물학적 다양성에 미치는 영향에 관하여 많은 선행연구가 있다. Peterson et al. (2009)과 Johnson and Arunacharam (2010)은 사행하천의 웅덩이-여울 연속구조가 하천 서식처의 복잡성을 증대시키고, 이로 인하여 어류 종의 다양성이 증가한다는 것을 현장조사를 통해 규명하였다. 또한, Hose et al. (2005)에 따르면, 웅덩이-여울 연속구조에 분류상, 기능상으로 뚜렷하게 구별되는 무척추 동물이 서식한다고 보고하고 있다. 특별히, 여울에 더 많은 무척추동물의 개체 수와 종들이 발견되고 있으며 여과섭식동물 (filter feeders)의 비율도 높은 것으로 확인되었다.

웅덩이-여울 연속구조와 어류종의 다양성에 관한 연구로, Hauer et al. (2009)은 미소서식지 평가모형 (micro-habitat evaluation model)을 이용하여 여러 유형의 어류 서식지를 평가하였다. Hauer et al (2009)은 웅덩이-여울 연속구조의 존재 여부에 따라 다양한 어류가 서식할 수 있음을 보였다. Fischer et al. (2010)은 웅덩이-여울 연속구조가 어류의 절대 개체수 보다는 다양성에 영향을 미친다고 보고하였다. Tayler (2000)는 하천에서 얻은 어류 풍부도 자료를 이용하여 웅덩이와 관련된 어류가 14종, 여울과 관련된 어류가 2종이라고 보고하였다. 또한, 환경변

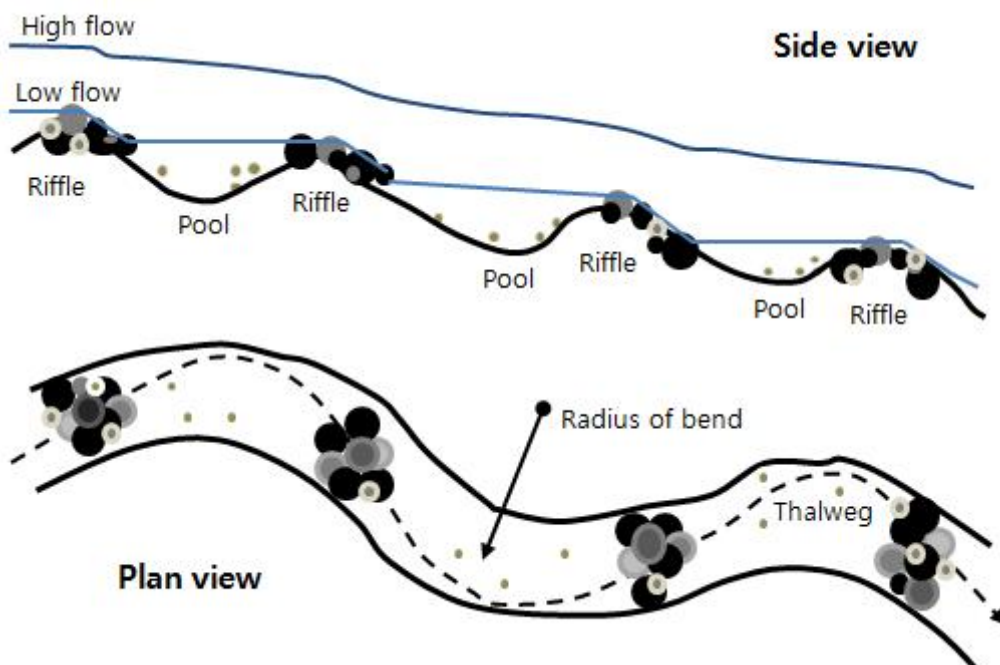


Fig. 1. A Schematic Sketch of Pool-Riffle Sequence

화에 따른 반응에서도 웅덩이와 여울에서 각각의 군집이 다른 방식으로 반응함을 발견하였다.

하천수리학적 관련 연구로, Hey and Thorne (1986)은 영국의 62개 자갈하천의 웅덩이-여울 연속구조에서 만제 유량에 대해 안정하도의 수리적 특성을 조사하였다. Hey and Thorne (1986)에 따르면, 웅덩이와 여울에서 최대수심은 각각 평균 최대수심의 109%와 91%, 유속은 평균 유속의 97%와 103%, 그리고 중앙입경은 평균 중앙입경의 81%와 119%로 보고되었다. Robert (1997)는 캐나다 Ontario 소재 자갈하천인 Little Rouge River의 웅덩이-여울 연속구조에서 유속을 측정하여 여울에서 바닥 전단응력이 웅덩이보다 큰 것을 확인하였다. Booker et al. (2001)은 3차원 전산 유체역학 (computational fluid dynamics) 모형을 이용하여 영국 Hampshire 지방 Highland Water의 웅덩이-여울 연속구조에서의 유동현상을 수치모의 하였다. Booker et al. (2001)은 유량이 증가함에 따라 웅덩이에서 유속이 크게 증가하고 여울에서는 유속이 줄어들지만, Keller (1971)가 주장한 유속진도 현상은 관찰하지 못하였다.

국내에서 웅덩이-여울 연속구조에 관한 연구 실적은 미진한 편이다. 유대영 등 (2003)은 v자형 여울로 인해 하류 하도에 만들어지는 웅덩이의 생성 및 크기에 관한 실험 연구를 수행하였다. 이배성 등 (2006)은 수치모의를 통하여 댐 하류 여울보 (riffle barrier) 설치에 따른 수리특성 변화를 연구하였다. 성영두 등 (2006)은 2차원 수치모의를 통해 금호강에서 웅덩이-여울 연속구조가 유지될 수 있는 유량 조건과 PHABSIM을 이용하여 어류 서식에 필요한 생태학적 유지유량을 제시하였다.

본 연구의 목적은 금강의 지천인 갑천을 대상으로 웅덩

이-여울 연속구조를 보이는 구간에서 하상토의 입도 특성을 조사하고 평수기 및 홍수기의 유사이동 특성을 분석하는 것이다. 대상구간의 하상토 자료는 하천 생물서식처 평가를 위한 갑천 특성 조사 보고서 (한국건설기술연구원, 2008)를 기초로 하였으며, 하상토의 이동 특성 분석을 위해서 HEC-RAS (USACE, 2006)를 이용하여 부등류 계산을 실시하였다.

2. 대상하천 및 구간

연구대상 하천은 금강의 지류인 갑천으로 (Fig. 2), 2008년 한국건설기술연구원 (2008)이 갑천의 생물서식처 평가를 위하여 다양한 생태 및 하상토 조사를 시행한 바 있다. 갑천은 국가 및 지방하천으로 구성되며, 전체 유로연장 73.7 km 중 국가하천 구간은 33.53 km이며 지방하천 구간은 27.0 km이다. 갑천의 유역면적은 648.28 km²로서 유역의 평균폭과 형상계수는 각각 8.8 km와 0.119이다. 갑천은 충청남도 금산군, 논산시, 그리고 대전광역시를 북류하여 금강으로 흘러들어 가는 하천이다. 한국건설기술연구원 (2008)의 갑천에 대한 하천조사는 자연형 및 도시형 구간에 대해 각각 실시되었는데, 본 연구의 하상토 조사 자료는 Fig. 3에 제시된 자연형 3km 구간에서 채취된 것이다. 연구대상 구간은 유등천 합류점으로부터 7km 상류에 위치하며, 평균 하폭은 약 180~200m 그리고 하상경사는 0.00143이다.

Fig. 3은 갑천의 대상구간에서 하상토 입도분포 조사지점을 보여준다. 전체 10개 지점에서 하상토 시료가 채취되어 입도분포가 조사되었다. 조사지점은 웅덩이 3개소



Fig. 2. The Gap Stream

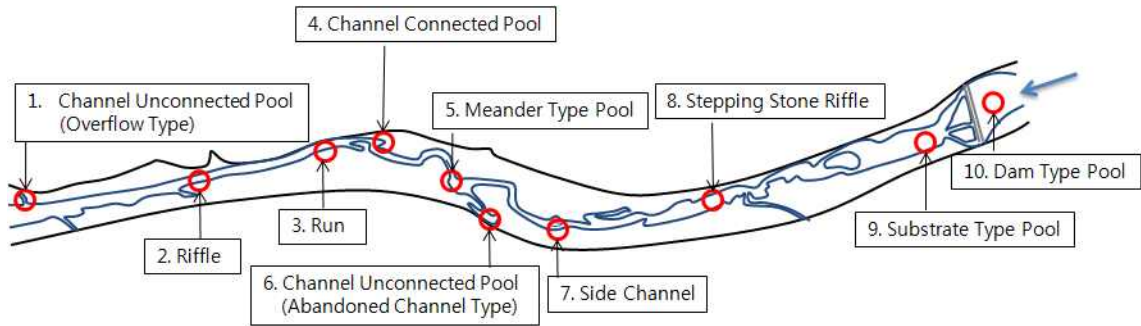


Fig. 3. Study Reach of the Gap Stream

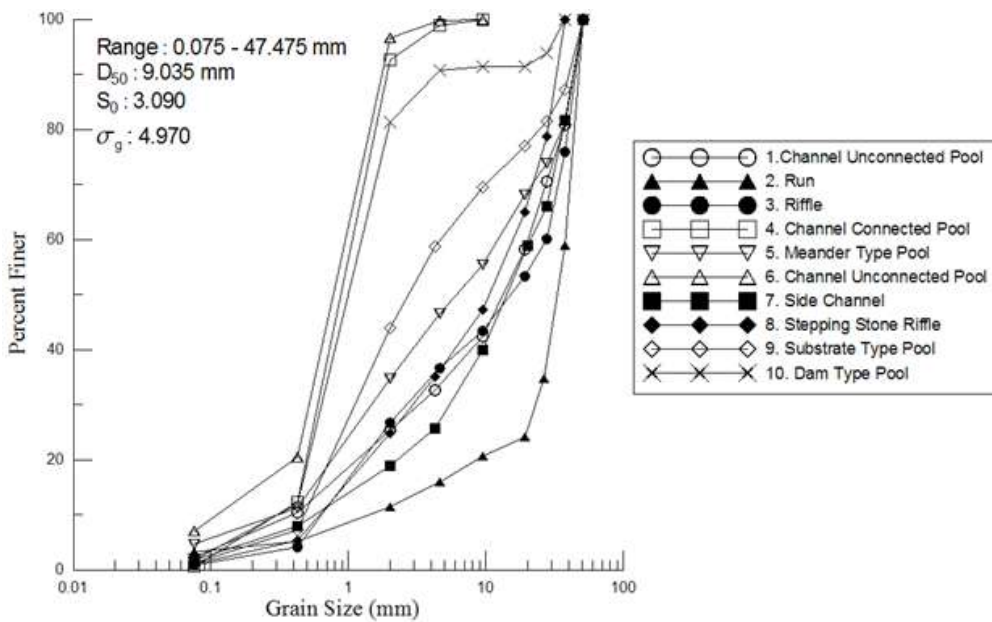


Fig. 4. Distribution of Sediment Particles Sampled at the Study Reach

(5, 9, 10번), 여울 3개소 (2, 3, 8번), 폐쇄형 습지 2개소 (1, 6번), 개방형습지 (4번)와 셋강 (7번) 각각 1개소이다. 이 중 9번과 10번의 웅덩이는 보로 인해 형성된 것으로 하천 사행과 무관하며, 각각 보의 하류와 상류에 위치한다.

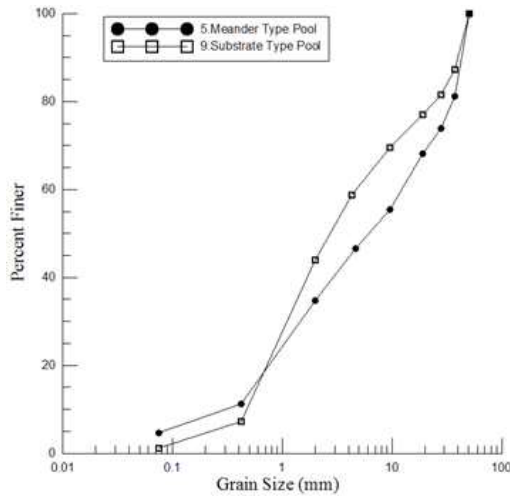
3. 하상토 입도분포 특성

Fig. 4는 조사대상 지점에서 채취된 하상토의 입도분포 곡선이다. 대상 구간에서 하상토는 0.075~47.5mm 범위에 존재하여 가는 모래 (fine sand)에서부터 매우 굵은 자갈 (very coarse gravel)에 걸쳐 분포하고 있는 것으로 나타났다. 또한 중앙입경 $D_{50}=9.0\text{mm}$ 를 기준으로 대상구간은 자갈하천으로 판단된다. 또한, 분급계수의 평균값은 3.0 표준편차는 4.97로서 입자가 비교적 넓은 범위에 걸쳐 입자가 분포하는 것으로 나타났다.

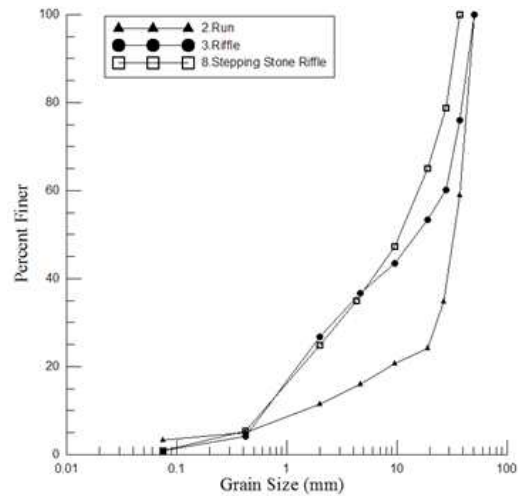
웅덩이와 여울에서 하상토의 입도분포를 Fig. 5에 비교하였다. 웅덩이와 여울에서의 중앙입경은 각각 4.5mm와

18.0mm로서, 대상구간의 평균 중앙입경에 각각 0.5배와 2배를 보였다. 이는 웅덩이와 여울에서 하상토가 조립토와 세립토로 구성되는 일반적인 경향과 일치하나, Hey and Thorne (1986)의 조사 결과보다는 차이가 큰 것으로 나타났다. 또한, 분급계수는 웅덩이에서 4.3 여울에서 3.4를 보여, 웅덩이에서 입자가 더 다양하게 분포하는 것으로 나타났다. 참고로, Hey and Thorne (1986)은 영국의 62개 자갈하천을 조사하여 안정하도에서 웅덩이 및 여울에서의 입경은 유로 전체의 평균 입경의 약 0.8배와 1.2배 해당한다고 보고한 바 있다.

Fig. 6에는 대상구간 상류에 위치한 보 전후에 형성된 웅덩이에서 하상토의 입도분포를 도시하였다. 보 상류와 하류의 웅덩이에서 하상토의 중앙입경은 각각 1.0mm와 2.8mm로서 대상구간 중앙입경의 평균값 9.0mm와 비교해 보면 세립토가 퇴적되어 웅덩이의 특성을 잘 보이고 있음을 알 수 있다. 또한, 보 직상류 웅덩이에서는 수류의 정체현상으로 인하여 세립토가 퇴적되었고, 직하류 웅덩



(a) Pool



(b) Riffle

Fig. 5. Distribution of Sediment Particles Sampled at (a) Pool and (b) Riffle

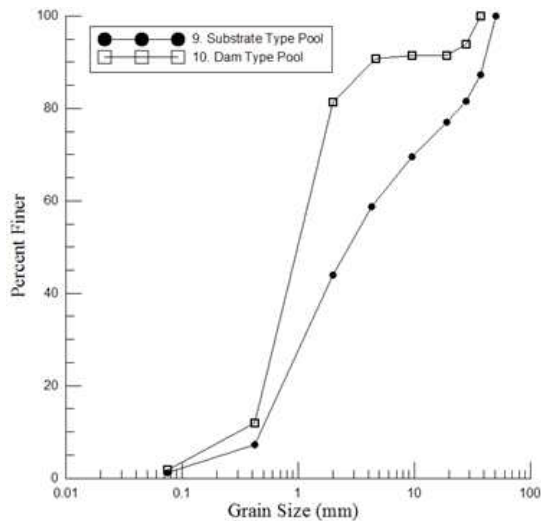


Fig. 6. Distribution of Sediment Particles Sampled at Pools Upstream and Downstream of the Weir

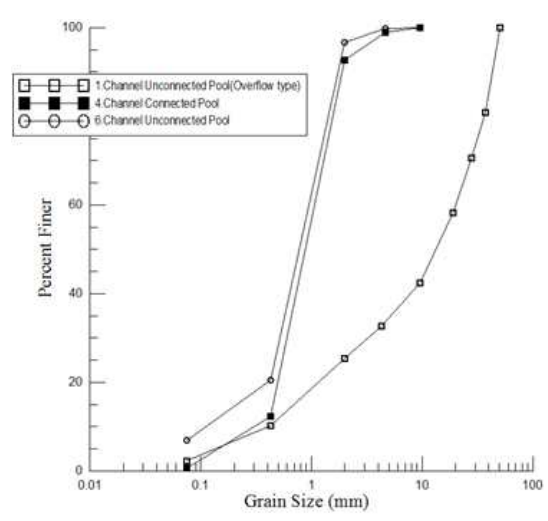


Fig. 7. Distribution of Sediment Particles Sampled at the Wetland

이에서는 세립토의 공급중단으로 인한 조립화가 진행되는 일반적인 경향과 일치한다. 그러나 하상토의 분급계수를 보면 보 상류 웅덩이의 하상토가 더 균일하게 나타나고 있어 하상토 채집 시 기층을 제외하고 웅덩이의 퇴적토만을 채집했을 가능성도 배제할 수 없다.

하상토 조사 구간에는 폐쇄형 습지 2개소와 개방형 습지 1개소를 포함하고 있다. Fig. 7은 습지에서 하상재료의 특성을 보여준다. 그림에서 개방형 습지 4번과 폐쇄형 습지 6번의 하상토 입도분포가 매우 유사한 것으로 나타나, 개방형 및 폐쇄형에 따른 하상토 분포상 차이는 없으므로 보인다. 습지에서 하상토 중앙입경의 평균값은 5.4 mm로서 웅덩이의 중앙입경과 비슷하며 분급계수는 2.49

로서 웅덩이에서 보다 입도분포가 더 균일한 것으로 나타났다.

Fig. 8은 셋강에서 채취된 하상토의 입도분포를 도시하였다. 셋강에서 하상토의 중앙입경은 10.5 mm로서 웅덩이와 여울의 중간 크기를 보였다. 하상토의 분급계수는 2.86으로 습지보다는 입도가 다양하였으나 웅덩이와 여울에서 보다는 균일한 것으로 나타났다.

4. 하상토 이동 특성

웅덩이-여울 연속구조에서 하상토 입자의 운동성을 검토하기 위해서 HEC-RAS (US Army Corps of Engineers,

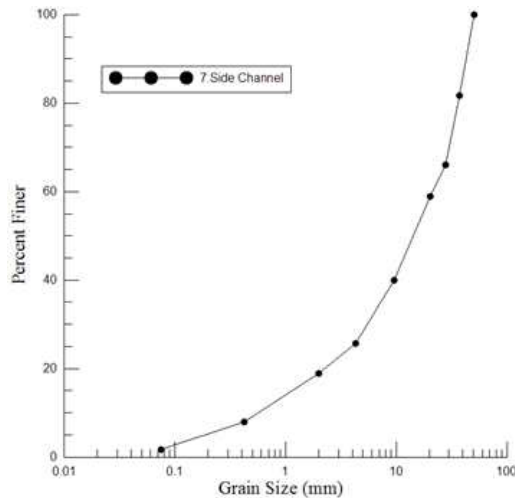


Fig. 8. Distribution of Sediment Particles Sampled at the Side Channel

2006)를 이용하여 부등류 계산을 실시하였다. 상류경계조건으로 평수량 $Q=6.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 와 200년 빈도 홍수량 $1,310 \text{ m}^3/\text{s}$ 에 대해서 모의를 하였으며, 이에 대한 하류단계조건으로는 등류조건 (수심 0.5m)과 기본계획상의 수위 EL. 47.23 m (수심 5.66 m)를 부여하였다 (건설교통부, 2002).

Table 1에는 평수량과 홍수량에 대해 웅덩이와 여울에서 계산된 수심과 유속을 제시하였다. 여기서 수심은 특정 지점의 단면에서 최심부에 해당된다. 평수량에 대해서

웅덩이와 여울에서의 유속이 큰 차이를 보이지 않는 것을 알 수 있다. Robert (1997)도 Canada의 Little Rouge River에서 저수량 조건에서 실측을 통해 얻은 평균 유속이 웅덩이와 여울에서 비슷한 것을 보고하였다. 그러나 Table 1에 의하면, 홍수량에 대해서는 여울에서 유속이 일관성 있게 평균 17% 크게 나타나고 있다. 이는 Hey and Thorne (1986)이 영국의 하천에서 조사한 유속차 7%보다 큰 차이를 보이는 것이다.

각각의 흐름 조건에 대해 웅덩이와 여울에서 전단속도를 Table 2에 제시하였다. 전단응력의 경우 평수량에 대해 웅덩이에서 가장 큰 값을 보이는데, 이는 저수량에 대한 지형적인 효과로 판단된다. 홍수량에 대해서는 여울에서 웅덩이보다 전단응력이 일관성있게 평균 21% 크게 나오는 것을 알 수 있다. 이는 기존의 연구성과와 일치하는 것이다 (Robert, 1997). 다음과 같이 정의된 무차원 전단응력 (τ_*)이 Table 2에 함께 제시되어 있다.

$$\tau_* = \frac{\tau_b}{\rho R g D_{50}} \quad (1)$$

여기서, τ_b 는 하상 전단응력, ρ 는 물의 밀도, R은 하상토의 수중 비중 (석영질의 경우 1.65), g는 중력가속도, 그리고 D_{50} 는 하상토의 중앙입경이다. Shields 곡선에 의하면 무차원 전단응력이 0.03~0.06을 초과하면 레이놀즈수가 큰 흐름에서 입자가 이동하는 것으로 알려져 있다 (Garcia, 2007). 따라서 중앙입경을 기준으로, 대상하천의 웅덩이

Table 1. Flow Depth and Velocity at the Pool and Riffle for Ordinary and Flood Discharges

Location	Q=6.4 m ³ /s (Ordinary Discharges)		Q=1,310 m ³ /s (Flood Discharges)	
	Flow Depth (m)	Flow Velocity (m/s)	Flow Depth (m)	Flow Velocity (m/s)
5 (Pool)	0.58	1.72	3.68	3.79
2 (Riffle)	0.38	1.38	3.38	4.72
3 (Riffle)	0.53	1.62	3.91	4.06
8 (Riffle)	0.37	1.2	3.33	4.5

Table 2. Shear Stress and Non-dimensional Shear Stress at the Pool and Riffle for Ordinary and Flood Discharges

Location	Q=6.4 m ³ /s (Ordinary Discharges)		Q=1,310 m ³ /s (Flood Discharges)	
	Shear Stress (N/m ²)	Non-dimensional Shear Stress	Shear Stress (N/m ²)	Non-dimensional Shear Stress
5 (Pool)	39.26	0.3945	112.75	1.1330
2 (Riffle)	29.31	0.1709	142.51	0.8309
3 (Riffle)	36.2	0.0678	123.29	0.2309
8 (Riffle)	24.63	0.1500	142.88	0.8700

Table 3. Non-dimensional Shear Velocity at the Pool and Riffle for Ordinary and Flood Discharges

Location	Normalized Shear Velocity (u^*/v_s)	
	Q=6.4 m ³ /s (Ordinary Discharges)	Q=1,310 m ³ /s (Flood Discharges)
5 (pool)	0.34	0.58
2 (riffle)	0.22	0.50
3 (riffle)	0.16	0.29
8 (riffle)	0.21	0.51

와 여울의 연속구조에서 하상토의 소류사로서 운동은 모두 가능하며 웅덩이에서의 운동성이 더 높은 것으로 나타났다. 이를 통하여 홍수량 유과 후, 웅덩이 여울 연속구조가 더욱 발달할 것으로 예측된다.

Parker는 기존의 Shields 곡선에 하상토가 부유사로 부상하는 조건을 추가한 Shields Regime 곡선을 제시하였다 (Garcia, 2007). Shields Regime 곡선에 의하면 입자의 침강속도로 무차원시킨 전단속도 (U_*'/v_{*c})가 1을 초과하면 부유사로 부상한다는 것이다. Table 3에 평수량 및 홍수량에 대해 무차원 전단속도를 제시하였다. 본 논문에서는 입자의 침강속도를 산정하기 위해 Dietrich (1982) 공식을 사용하였다. 계산결과에 의하면, 중앙입경을 기준으로, 평수량과 홍수량에 대해 웅덩이와 여울에서 하상토가 부상하지 않는 것으로 나타났다. 따라서 연구 대상 웅덩이-여울 연속구조에서 하상토의 이동은 주로 소류사 형태로 발생하며, 이는 대상구간이 비교적 상류에 위치하는 것을 감안하면 타당한 것으로 판단된다.

5. 결론

자갈하천의 사행구간에서 발달하는 웅덩이-여울 연속구조는 하천생태계의 생물학적 다양성을 증가시키는 것으로 알려져 자연하천의 관리에 그 중요성이 새롭게 인식되고 있다. 또한, 동일한 이유로 웅덩이-여울 연속구조는 훼손된 하천 복원 시 중요한 설계 요소로 평가받고 있다. 본 논문에서는 2008년 한국건설기술연구원 조사보고서를 근거로 하여 금강의 지류인 갑천에 대해 웅덩이-여울 연속구조에서 하상토의 입도와 이동 특성을 검토하였다.

갑천 연구대상 구간에서 하상토는 가는 모래에서 매우 굵은 자갈에 걸쳐 분포하며, 평균입경이 9mm인 자갈하천으로 분류된다. 대상구간의 웅덩이와 여울에서 중앙입경은 각각 평균입경의 0.5배와 2배를 보여, 여울에서 하상토의 크기가 웅덩이에 비해 약 4배 크고 웅덩이에서 입자가 더 다양하게 분포하는 것으로 나타났다. 습지에서 하상토의 중앙입경은 5.4mm로 웅덩이와 비슷하였고 셋강에서 하상토의 중앙입경은 웅덩이 및 여울에서의 중간정

도의 크기를 보였다.

대상구간에서 하상토의 이동특성을 검토하기 위하여 HEC-RAS를 이용한 부등류 계산을 실시하였다. 유량이 작은 경우, 여울에서의 특성이 나타나지 않았으나 홍수량에 대해서는 여울에서의 유속이 웅덩이에 비해 17% 정도 크게 산정되는 것을 확인하였다. 이는 여울에서의 바닥 전단응력을 약 21% 크게 증가시켰는데, 이는 실제 하천에서 관측된 기존의 경향과 일치하는 것이다. 그러나, 각 지점에서의 무차원 전단응력에 의하면 하상토의 운동성은 여울보다는 웅덩이에서 크며, 중앙입경을 기준으로 소류사 이동이 지배적일 것으로 예측되었다. 향후 2차원 및 3차원 모의를 통하여 웅덩이-여울 연속구조의 생태서식처로서의 기능과 관련하여 디테일한 수리 현상을 모의할 필요가 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업인 자연과 함께하는 하천복원기술개발 연구단 (ECORIVER21) (06건설핵심B01)의 연구비 지원에 의해 수행 되었습니다.

참고문헌

건설교통부 (2002). 금강수계하천정비기본계획, 건설교통부 대전지방국토관리청.
 성영두, 박봉진, 이삼희, 정관수 (2006). “여울과 소 형성 조건에 따른 어류서식처 환경 영향.” **한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 1007-1011.
 유대영, 박정환, 우효섭 (2003). “V형 여울에서 발생하는 세굴에 관한 실험 연구.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제36권, 제3호, pp. 507-520.
 이배성, 황만하, 강신욱, 유승엽 (2006). “댐하류 여울보 설치에 따른 수리학적 특성 변화 분석.” **대한토목학회 정기학술대회 발표논문초록집**.
 한국건설기술연구원 (2008). 하천 생물서식처 평가를 위한 갑천 특성조사.

- Biedenharn, D.S., Watson, C.C., and Thorne, C.R. (2007). Chapter 6. Fundamentals of fluvial geomorphology, *Sedimentation Engineering* (edited by M.H. Garcia), American Society of Civil Engineers, Reston, VI.
- Booker, D.J., Sear, D.A., and Payne, A.J. (2001). "Modeling three dimensional flow structures and patterns of boundary shear stress in a natural pool-riffle sequence." *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 26, 553-576.
- Dietrich, W.E. (1982). "Settling velocities of natural particles." *Water Resources Research*, Vol. 18, No. 6, 1615-1626.
- Fischer, J.R., Quist, M.C., Wigen, S.L., Schaefer, A.J., Stewart, T.W., and Isenhardt, T.M. (2010). "Assemblage and population-level responses of stream fish to riparian buffers at multiple spatial scales." *Transactions of the American Fisheries Society*, Vol. 139, No. 1, pp. 185-200.
- Garcia, M.H. (2007). Chapter 2. Sediment transport and morphodynamics, *Sedimentation Engineering* (edited by M.H. Garcia), American Society of Civil Engineers, Reston, VI.
- Hauer, C., Mandlbürger, G., and Habersack, H. (2009). "Hydraulically related hydro-morphological units: Description based on a new conceptual mesohabitat evaluation model (MEM) using LIDAR data as geometric input." *River Research and Applications*, Vol. 25, No. 1, pp. 29-47.
- Hey, R.D., and Thorne, C.R. (1986). "Stable channels with stable mobile beds." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 112, No. 8, pp. 671-689.
- Hose, G.C., Jones, P., and Lim, R.P. (2005). "Hyporheic macroinvertebrates in riffle and pool areas of temporary streams in south eastern Australia." *Hydrobiologia*, Vol. 532, pp. 81-90.
- Johnson, J.A., and Arunachalam, M. (2010). "Relations of physical habitat to fish assemblages in streams of Western Ghats, India." *Applied Ecology and Environmental Research*, Vol. 8, No. 1, pp. 1-10.
- Keller, E.A. (1971). "Areal sorting of bed-load material: The hypothesis of velocity reversal." *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 82, pp. 753-756.
- Leopold, L.B., Wolman, M.G., and Miller, J.P. (1964). *Fluvial Processes in Geomorphology*, W.H. Freeman, CA.
- Peterson, J.T., Jackson, C.R., Shea, C.P., and Li, G. (2009). "Development and evaluation of a stream channel classification for estimating fish responses to changing streamflow." *Transactions of the American Fisheries Society*, Vol. 138, No. 5, pp. 1123-1137.
- Robert, A. (1997). "Characteristics of velocity profiles along riffle-pool sequences and estimates of bed shear stress." *Geomorphology*, Vol. 19, pp. 89-98.
- Sear, D.A. (1996). "Sediment transport processes in pool-riffle sequences." *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 21, pp. 241-262.
- Taylor, C.M. (2000). "A Large-scale Comparative Analysis of Riffle and Pool Fish Communities in an Upland Stream System." *Environmental Biology of Fishes*, Vol. 58, No. 1, pp. 89-95.
- US Army Corps of Engineers (2006). *HEC-RAS River Analysis System User's Manual*.

논문번호: 10-105	접수: 2010.12.22
수정일자: 2011.01.04	심사완료: 2011.01.04