

남강에 대한 하천분류체계의 적용 연구

An Application of Stream Classification Systems in the Nam River, Korea

김기흥* · 정혜련

경남과학기술대학교 건설환경공과대학 토목공학과

Kiheung Kim* and Heareyn Jung

Department of Civil Engineering, Gyeongsang National University of Science and Technology, Jinju 660-758, Korea

Received 13 May 2015, revised 29 May 2015, accepted 23 June 2015, published online 30 June 2015

ABSTRACT: Because streams have a great diversity of morphological features according to their reaches, it is necessary to classify the types of streams in order to assess their characteristics of channel. In addition, a quantitative assessment system for channel characteristics should be reflected in the stream type properties. Therefore, this study compares two stream classification system (Rosgen's and Yamamoto's) to review their applicability on Korean streams, and the two classification systems were applied on the Nam River. In order for the mean bed slope and the longitudinal connectivity of the provincial and national streams to be reflected in the assessment system of channel characteristics, the Yamamoto system is considered highly adaptable in the stream geomorphology side. In addition, it has been found the Rosgen system has a low correlation of bed slope compared to the Yamamoto system in the view of bed materials. On the other hand, the Yamamoto system was found to be capable of reflecting sediment sorting (hydraulic sorting) of the bed slope. According to the results obtained at the Nam River, the Rosgen system could not classify a type of stream by relationship between bed material and bed slope, but the Yamamoto system can verify the correlation of stream type. However, further review is needed with respect to the applicability of natural rivers. Three types of stream that can be applied to the assessment system of channel characteristics were proposed.

KEYWORDS: Bed slope, Longitudinal connectivity, Morphological features, Stream type

요 약: 하천은 구간에 따라 하도의 지형학적인 특성이 다양하기 때문에 수리 및 하도 특성 평가를 위해서는 하천의 유형을 분류할 필요가 있다. 또한 하도 특성에 대한 정량적 평가체계는 하천 유형의 특성이 반영되어야 한다. 따라서, 본 연구에서는 하천분류체계의 한국 하천에 대한 적용성을 검토하기 위하여 Rosgen의 하천분류체계와 Yamamoto의 하천분류체계를 비교, 분석하였고, 남강을 사례로 그 적용성을 검토하였다. 하천 지형학적인 측면에서 우리나라의 지방 및 국가하천의 평균하상경사와 종적 연속성을 고려하기 위해서는 하천 지형학적인 측면에서 Yamamoto의 하천분류체계가 적용성이 높은 것으로 판단된다. 또한, 하상재료의 측면에서 Rosgen 분류체계가 Yamamoto의 분류체계보다는 하상경사와의 상관성이 낮게 나타났다. 반면에 Yamamoto의 분류체계는 하상경사에 따른 토사분급 (수리분급)을 반영할 수 있는 것으로 확인되었다. 남강에 대하여 얻어진 결과에 의하면, Rosgen의 분류체계로서는 하상경사와 하상재료의 관계로서 하천유형을 분류할 수 없으나, Yamamoto 분류체계는 그 상관성을 입증할 수 있었다. 다만, 자연하천에 대하여 추가적인 적용성 검토가 필요하다. 하도 특성 평가체계에 적용할 수 있는 3개의 하천유형을 결정하여 제시하였다.

핵심어: 하상경사, 종적 연속성, 지형학적 특성, 하천유형

*Corresponding author: khkim@gntech.ac.kr

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

최근 하천환경 개선 및 보전에 대한 사회적 요구의 증가에 따라 중앙정부 및 각 지방자치단체는 하천복원사업을 경쟁적으로 추진하고 있으나, 하천환경의 현황 특히, 생태계 기반인 하천의 물리적 특성(구조)에 대한 평가 및 진단 절차도 없이 시행되고 있는 사례가 대부분이다. 1990년대 후반부터 선진국은 하천서식환경에 대한 정성적, 정량적 평가기준을 마련하여 적용하고 있으나 국내에서는 연구과제로서 영국 (RHS), 독일 (LAWA), 미국 (EPA) 및 호주 (AUSRIVAS)의 물리평가기준을 그대로 도입하여 적용함으로써 우리나라 고유의 수문학적 및 지문학적 환경에 지배를 받는 하도 특성을 반영하지 않고 검증 없이 적용되고 실정이다.

하천의 분류에 대한 연구는 지형학적인 관점에서의 선행연구로서 Davis (1899)가 유역의 지형과 하천의 진화 단계에 따라 유년기, 장년기, 노년기로 구분하여 제시한 이후 Horton (1945)과 Strahler (1952)는 하천의 분류와 지류를 구분하기 위하여 하천 차수 이론을 제시하였다. 또한, 하도의 평면형상이 직선형, 사행형, 망상형으로 구분되는 지형학적인 하천형성 과정에 대한 연구는 Leopold and Wolman (1957)과 Leopold et al. (1964)에 의하여 시작되었으며, 그 이후는 유수력 (stream power)이 하천 형성과정을 지배한다는 명제 하에 여러 가지 하천분류법이 제시되었다 (Lane 1957, Ferguson 1987, Thorne 1997). 그러나 하천복원에 대한 사회적 분위기의 형성과 더불어 하천의 설계 및 관리 등 하천공학분야에 적용할 수 있도록 개발된 하천분류체계는 미국의 Rosgen (1996), Montgomery and Buffington (1993), 영국의 SEPA (Environment Agency 1990) 및 일본 (Yamamoto 1988) 등이 있다.

하천환경의 물리적 특성 즉, 수리 및 하도 특성 평가의 목적은 하천기본계획 수립과 하천복원사업의 실행과정에 있어 기본방향의 설정 및 통합적 평가기준으로서 사업의 성공여부를 평가하고, 또한 하천이용과 보전, 나아가 복원계획에 대한 잠재적인 적합성의 근거를 파악하고 이에 가치를 부여하기 위함이다.

본 연구에서는 하천 실무자가 적용할 수 있는 하천환경의 수리 및 하도 특성 평가를 위한 지표와 정량

적 평가기준을 마련함에 있어 선진국의 하천분류체계 및 평가기준을 검토하였다. 또한, 검토 결과를 토대로 우리나라 하천의 물리적 특성을 반영할 수 있는 하천의 유형을 분류하고 각 유형의 특성을 반영할 수 있는 정량적 평가기준을 제시하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 연구수행 절차

본 연구에서는 한국형 하천환경의 수리 및 하도 특성 평가기준을 개발하기 위하여 하천분류 체계를 도입하고자 하였다. 하천분류 체계는 지형학적으로 노년기 지형이면서 전국토의 77%가 산지인 우리나라 하천의 유역특성과 충적지 하천의 특성을 반영할 수 있어야 할 것이다.

따라서, 하천환경의 수리 및 하도 특성 평가체계를 구축, 적용하고 있는 선진국의 사례에서 하천유형의 분류, 수리 및 하도 특성 평가 항목들을 비교, 분석하고 정량적인 하천유형의 분류 기준을 검토하였다. 일반적으로 정량화가 가능한 하천의 공간적 특성으로서 종단적 연속성을 지배하는 하상경사, 유량과 경사의 곱으로 표현되는 유수력 (stream power)에 대한 반응으로서 하상재료의 토사분급(수리분급)에 따른 하상재료 입경분포 등을 기준으로 미국 (Rosgen 1994)과 일본 (Yamamoto 1988)의 하천분류체계를 검토하였다. 또한, 하천분류체계의 적용성을 검토하기 위하여 남강을 대상하천으로 하상경사와 하상재료를 분석, 검토하였다. 본 연구의 수행절차는 Fig. 1과 같다.

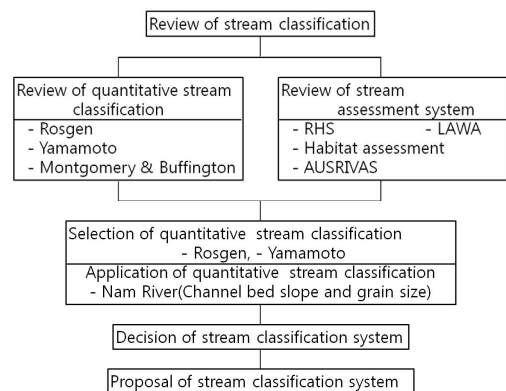


Fig. 1. Flowchart of study process.

2.2 하천분류 체계의 분석

본 연구에서는 Table 1과 같이 지형학적 및 공학적 하천분류 체계에 대한 고찰보다는 하천의 수리 및 하도 특성 평가기준에 명시된 하천분류 체계를 검토하였다.

독일 (LAWA)의 평가체계는 6개 항목, 25개 지표에 대해 정량적으로 평가하여 7개 등급으로 최종 판정하도록 하고 있다. 현장조사표의 작성에서 조사구역에 하천유형을 저수로 특징에 따라 6개 유형으로 분류하고 있으며, 25개 지표 중 7개 지표에서 하천유형에 따라 적용 평가점수가 다르다 (LAWA 2000). 영국 (River Habitat Survey, RHS)의 평가체계는 21개 항목에 대해 정성적으로 평가하여 대조하천과 비교, 평가하도록 되어 있으며, 현장조사표에 계곡 형상을 기준으로 6개 유형으로 분류하고 있다 (SEPA 2003). 미국 환경보호청 (EPA, Habitat assessment)의 평가체계는 Rosgen의 하천분류 체계를 기준으로 급경사 (A, B, C 형)와 완경사 (E, C형 포함)의 2개의 하천유형으로 구분하여 10개 항목에 대해 정량적으로 평가하도록 하고 있으며, 다른 국가와 달리 하천유형에 따라 현장조사표의 평가항목이 다르고 종합판정은 4개의 등급으로 구성되어 있다. 또한, 호주 (AUSRIVAS)의 평가체계는 정성적 평가와 정량적 평가로 구분되어 있다. 정성적 평가는 영국의 RHS 평가기준과 유사한 데 하천유형을 계곡의 형상을 기준으로 6개 유형으로 구분하고 있으며, 정량적 평가는 미국 EPA의 기준을 그대로 적용하고 있다 (Parsons et al. 2002). 일본의 평가체계는 정성적 또는 정량적 평가 기준을 구축하지 않고 있으나 하천수변국세조

사에서 전국의 직할 하천 및 1급 하천에 대하여 모니터링을 시행하고 있다. 일본의 하천설계 및 관리를 위한 기준은 하천구간을 하상경사 및 하상재료 등을 기준으로 4개의 세그먼트로 구분하고 있다 (Yamamoto 1988).

그러나 영국 (RHS)과 독일 (LAWA) 등 EU 지역에서는 하도나 하도 주변 지역의 단면형상을 시각적으로 6~7개 유형 분류하고 있으나 정량화된 기준은 아니다. 이러한 분류체계의 설정 이유는 하천의 생태 환경평가에 초점을 두고 대조하천 (reference stream) 네트워크를 기준으로 상대평가를 하기 때문인 것으로 보인다. 또한, 비교적 일정한 월별 강우분포와 관련된 수문기상 조건, 구릉이 발달된 지형조건 및 토지이용 조건 등과 관련이 있으며, 규모가 작은 하천들을 기준으로 하고 있다.

따라서 본 연구에서는 하천 공학적으로 정량화된 기준인 미국의 Rosgen (1994) 및 일본의 Yamamoto (1988) 하천분류 체계의 중요 매개변수 중에서 하상경사와 하상재료에 초점을 두고 비교·검토하였다.

2.2.1 미국의 하천분류 체계

현재 미국 (EPA)의 서식처 평가 (habitat assessment)에서는 Rosgen (1994)의 하천분류 체계를 적용하고 있으며, 하상경사, 하도 횡단형상, 평면형상, 굴입비, 하폭/수심 비, 사행도 및 하상재료를 기준으로 A, B, C, D, E, F, G의 7개 하천유형으로서 분류하고 있다. A, B, C, F, G형 하천은 하상경사 1/50 정도 내외의 하천에서 하상재료가 암반에서 전석, 호박돌, 자갈, 모래, 실트 및 점토까지 다양하게 분포하고 있으며,

Table 1. Comparisons of stream classification systems.

Classification system	Number of types	Type
Germany (LAWA)	6	Channel of V shape, Channel of U shape, Channel of flat shape, Channel of pool type, Pool and gravel bed and Stream of flat type
England (RHS)	7	Shallow vee, Deep vee, Gorge, Concave/bowl, Asymmetrical valley, U-shape valley and No obvious valley side
USA (Habitat Assessment)	2	High gradient (Rosgen A, B, C type) and Low gradient (Rosgen E, C type)
Australia (AUSRIVAS)	6 (2*)	Steep valley, Shallow valley, Broad valley, Gorge, Symmetrical floodplain and Asymmetrical floodplain
Japan (Segment)	4	Segment M, Segment 1, Segment 2 and Segment 3

*Number of types in AUSRIVAS equal to the USA system.

Table 2. Classification of segments (Yamamoto 1988).

Category	Segment M	Segment 1	Segment 2		Segment 3
			2-1	2-2	
Morphological type	Mountainous Region	Alluvial fan	Valley plain	Natural bank region	Delta
Representative grain size	Variable	> 2 cm	1-3 cm	0.03-1 cm	< 0.3 mm
Structural materials in bank	In many cases, the bedrocks are exposed to the channel and banks.	Sand and silt are placed on the surface, but the thickness is thinner. Bank materials are same as the bed material.	Bottom layer is same as bed materials as fine sand, silt and clay mixture.		Silt, clay.
Channel slope	>1/60 (variable)	1/60-1/400	1/400-1/5000		1/5000-Level
Sinuosity	Variable	Meandering sections are a few longitudinally.	Meanders are frequently, but channel width/depth ratio is greater where there are S-shaped meanders or islands		Sinuosity is various.
Erosion in bank	Very changeable.	Very changeable.	Moderate and if bed materials are coarse, channel width would be changeable frequently.		Infinitesimal and, channel is not changeable substantially.
Mean depth in channel	Variable	0.5-3 m	2-8 m		3-8 m

D, E형 하천은 1/200 정도 내외에서 호박돌(자갈)에서 자갈, 모래, 실트 및 점토까지 분포하고 있다. 또한, D, E형 하천은 1/200 정도 내외에서 망상하도와 하도 사행이 발생하는 것으로 조사되었다. 미국의 하천유역은 하천의 윤회과정에서 볼 때 과거에 바다였던 장년기 지형인 사막이 대부분이며 고도는 높지만 평지가 많고, 강우량도 아주 적은 편으로서 우리나라와는 하천환경이 많이 다름을 알 수 있다.

2.2.2 일본의 하천분류 체계

일본은 Yamamoto (1988)가 하도 특성론에서 제시한 세그먼트 분류법을 적용하도록 권장하고, 하천의 하천복원사업 및 치수사업 등의 하천 계획·설계에 이를 반영하고 있다. Yamamoto (1988)는 하도 특성론에서 산간부를 포함하는 하천의 종단형은 거의 동일한 경사를 가지는 구간으로 나누어진다고 볼 수 있고, 하상경사가 거의 동일한 구간은 하상재료나 하도의 여러 가지 특성이 유사하므로 이것을 세그먼트(segment)라 한다. 하천에서 세그먼트 수는 하천에 따라서, 또는 하천을 세그먼트로 구분하는 목적에 따

라 다르다. 세그먼트마다 하도의 특성이 크게 다르기 때문에 그것을 존재기반으로 하는 하천생태계도 세그먼트마다 그 특징이 크게 다르다는 것을 나타낸다 (Table 2).

따라서 세그먼트는 하도의 특성을 나타내는 단위인 동시에 하천생태계 공간구분의 단위이다 (Yamamoto 2004). 세그먼트 분류체계는 하상경사와 하상재료 입경을 기준으로 연속적인 4개의 영역으로 구분함으로써 종적 연속성과 유수력에 기인하는 하상재료의 분포특성을 반영하고 있으며, 이러한 특성이 하천생태계 기반으로서 통계적으로 유사한 특성을 가진다는 것을 의미한다.

3. 결 과

3.1 하천분류체계의 검토

3.1.1 하상경사

하천의 물리적 특성 즉, 수리 및 하도 특성은 유역의 수문·기상학적 환경과 지형·지질학적 환경에 좌우

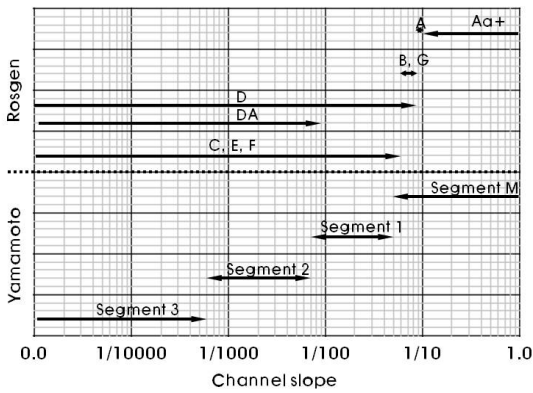


Fig. 2. Comparison of Rosgen (1994) system and Yamamoto (1988) system of channel slope.

된다. 따라서 유역의 지형학적 위치로서 유년기, 장년기, 노년기의 구분과 산지부, 충적 평야부 등의 종단적 위치 및 강우량에 지배되는 유출량에 의한 영향 (impact)에 따른 반응 (response)으로서 현재의 하천이 형성되어 있다고 볼 수 있다.

하천분류 체계 도입 및 적용을 검토하기 위하여 Fig. 2에서는 Rosgen과 Yamamoto의 하천분류를 위한 매개변수 중 하상경사를 기준으로 비교, 검토하였다. Rosgen의 하천분류체계에서는 1/200 이하에서 망상하도 (braided channel: DA)가 발생하고, 1/50 이하에서는 사행하도 (meandering channel: E, C)가 형성되며, 1/50 이상에서 직선하도 (Aa+, A) 및 준만곡하도 (B)가 나타나는 것으로 분류하고 있다. 또한, 1/200 이하의 동일 하상경사의 범위에는 복열사주가 존재하는 하도 (D)와 망상하도 (DA), 사행하도 (C, E), 단열사주 하도 (F)가 혼재하는 것으로 분류하고 있다.

Yamamoto의 하천분류체계에서는 하상경사에 따라 연속된 4개 세그먼트 (Segment)로 구성되는 것으로 분류하고 있다. 따라서 상류 산간부에 위치하는 세그먼트 M 구간은 하상경사가 급하고, 중류부 충적 선상지 및 곡저 평야부에 위치하는 세그먼트 1 및 2-1 구간은 하상경사가 중간 정도이며, 하류부 충적 평야 및 자연 제방대부에 위치하는 세그먼트 2-2 및 3 구간은 하상경사가 완만하다. 이 분류체계에서는 하나의 세그먼트 구간에서는 수리 및 하도 특성이 통계적으로 유사하다는 조사 결과를 바탕으로 하고 있다.

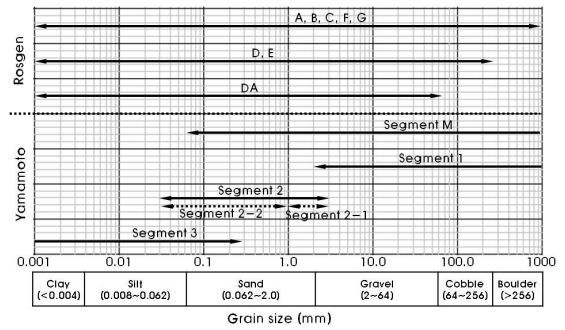


Fig. 3. Comparison Rosgen (1994) system with Yamamoto (1988) system of grain size.

3.1.2 하상재료

하도의 특성을 구분하는 주요 매개변수 중의 하나가 하상재료이다. 하상재료는 유수력 또는 한계소류력의 작용에 의한 결과로서 토사분급현상이 발생하며, 상류구간에서는 하상재료의 입경이 굵고, 하류구간으로 갈수록 작아진다. Fig. 3에서는 Rosgen과 Yamamoto의 하천분류를 위한 매개변수 중 하상재료 입경을 기준으로 비교, 검토하였다.

Rosgen의 하천분류체계에서는 하상경사 및 하도 평면 형상에 관계없이 A, B, C, F 및 G 유형에서는 기반암, 전석, 호박돌, 자갈, 모래, 실트 및 점토가 분포하고, D 및 E 유형에서는 호박돌, 자갈, 모래, 실트 및 점토가 분포하며, DA 유형에서는 자갈, 모래, 실트 및 점토가 분포하는 것으로 제시하고 있다.

Yamamoto의 하천분류체계에서는 하상경사와 수리분급에 따라 하상재료가 분포하는 것으로 제시하고 있다. 세그먼트 M에서는 여울-소 (step-pool)의 구조가 발달하여 대부분 하상과 하안에 기반암이 노출되어 있다. 그 위에 전석과 호박돌이 분포하고, 부분적으로 모래와 자갈이 존재하며, 하안의 구성재료는 하안에 기반암이 노출되어 있는 경우가 많다. 세그먼트 1에서는 대표입경이 2 cm 이상인 굵은 자갈, 호박돌 및 전석이 분포하며, 하안의 구성재료는 표면에 모래나 실트 등이 분포하나 두께가 얇고 하상재료와 동일하다. 세그먼트 2는 대표입경이 0.03-3 cm 정도인 자갈, 모래가 혼합된 상태로 분포하며, 하안의 구성재료는 가는 모래, 실트 및 점토가 혼합되어 있으나 하부에서는 하상재료와 동일하다. 세그먼트 3에서는 대표입경이 0.3 mm 이하인 가는 모래, 실트 및 점토가 분포하며, 하안의 구성재료는 실트와 점토이다.



Fig. 4. Map showing the study area.

3.2 하천분류체계 적용

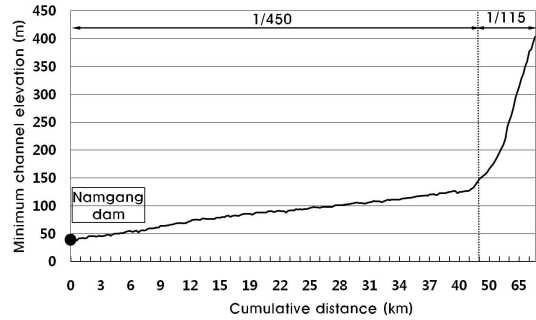
남강은 낙동강의 제1지류로서 유역면적은 3,467.52 km², 유로연장은 189.83 km, 유역평균폭 18.27 km, 형상계수는 0.10이며 유역형상은 하천형태학적으로 수지상 형태이며, 남강에는 낙동강 합류점으로부터 79.04 km 지점에 남강댐이 위치하고 있다 (Fig. 4). 본 연구에서는 하도의 특성 평가 기준의 개발에 필요한 하천분류체계의 도입을 위하여 남강을 대상하천으로 하상경사와 하상재료를 분석하여 그 적용성을 검토하였다.

3.2.1 하상경사

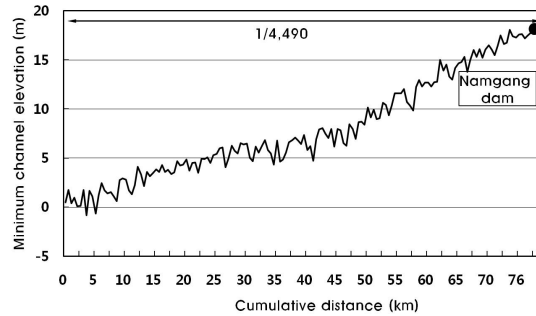
남강의 구간별 하천유형 분류를 위하여 남강댐 하류구간 (낙동강 합류점-남강댐) 79.06 km와 상류구간 (단성교-남강 시점 : 댐 구간 제외) 73,00 km에 대하여 하천지형측량 결과를 이용하여 최심하상경사를 분석하였다 (Fig. 5).

남강댐 하류구간의 최심하상경사는 1/4,490로서 Rosgen (1996)의 하천분류체계에서는 D [$<1/200$: D4c, D5c ($<1/1,000$)] 형으로 분류되었으며, Yamamoto의 하천분류체계에서는 세그먼트 2 (1/400-1/5,000) 구간으로 분류할 수 있었다.

또한, 남강댐 상류의 최심하상경사는 0-41.5 km 구간의 1/450과 41.5-73 km 구간의 1/115의 2개 구간으로 구분할 수 있었다. Rosgen (1996)의 하천분



(a) Upstream reach of Namgang dam



(b) Downstream reach of Namgang dam

Fig. 5. Minimum channel slope of Nam River.

류체계에서는 C [$<1/50$: C1, C2, C3 및 C4 (1/50~1/1,000)] 형으로 분류되었으며, Yamamoto의 하천분류체계에서는 남강댐으로부터 41 km 지점 상류구간은 세그먼트 1 (1/60-1/400) 구간으로 나타났으며, 남강댐 상류의 41 km 구간과 남강댐 하류구간은 세그먼트 2 (1/400-1/5,000)구간으로 분류할 수 있었다.

3.2.2 하상재료

남강의 구간별 하상재료의 특성을 파악하기 위하여 남강댐 하류구간 (낙동강 합류점-남강댐)에 21개 지점과 상류구간 (단성교-40.0 km: 댐 구간 제외)에 13개 지점에 대하여 체분석법과 화상처리기법으로 하상재료의 대표입경 (D_{60})과 최대입경(D_{max})을 분석하였다 (Fig. 6).

남강댐 하류구간의 0 (낙동강 합류점)-60.67 km 구간은 모래가 분포하고 있으며, 금산보 상류의 64.38 km 지점을 포함하여 남강댐까지는 굵은 자갈이 분포하는 것으로 나타났다. 금산보 하류구간의 평균대표입경 (D_{60})은 0.79 mm, 평균최대입경 (D_{max})은 5.40

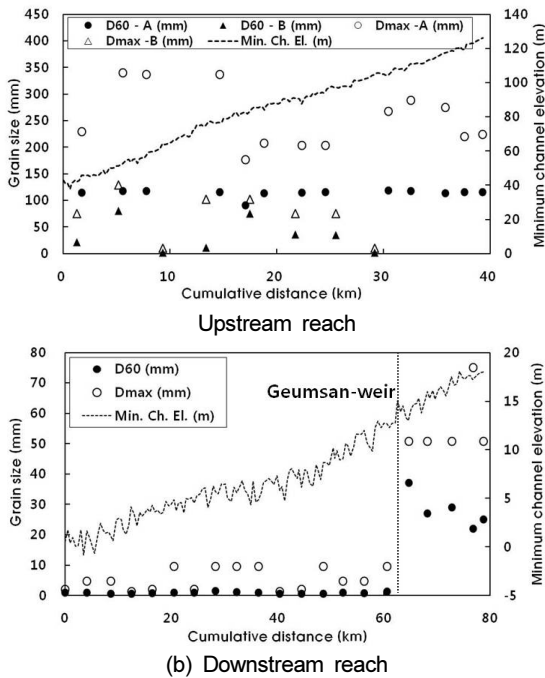


Fig. 6. Distribution of bottom materials in Nam River (D_{60} - A (D_{60}) and D_{max} - A (D_{max}) are the results of sieve analysis, D_{60} - B and D_{max} - B are the results of digital image processing).

mm로 분석되었다. 또한, 금산보 상류구간에서 평균 대표입경 (D_{60})은 28 mm, 평균최대입경 (D_{max})은 56 mm로 분석되었다.

남강댐 상류구간에서는 자갈과 호박돌이 주로 분포하는 것으로 나타났고, 화상처리기법 (digital image processing)에 의하여 구한 평균대표입경 (D_{60} -A)은 113 mm, 평균최대입경 (D_{max} -A)은 254 mm로 분석되었으며, 체분석법 (sieve analysis)으로 구한 평균대표입경 (D_{60} -B)은 32 mm, 평균최대입경 (D_{max} -B)은 72 mm로 분석되어 큰 차이를 나타내었다.

남강댐 상류 41.0 km 구간과 하류 79.0 km 구간에 대하여 하천분류체계에 의한 하천유형을 분석하였다. 0 (낙동강 합류점)–60.67 km 구간에서는 하상재료 대표입경이 0.44–1.20 mm로서 모래가 분포하고 있어 Rosgen의 하천분류체계에서는 A, B, C, D, E, F, G형으로 분류되었으며, Yamamoto의 하천분류체계에서는 세그먼트 2-2 구간으로 분류할 수 있었다.

또한, 금산보 상류의 64.38 km–남강댐 구간에서는 대표입경이 25–37 mm로서 자갈이 분포하고 있

어 Rosgen의 하천분류체계에서는 A, B, C, D, E, F, G형으로 분류되었으며, Yamamoto의 하천분류체계에서는 세그먼트 1 구간으로 분류할 수 있었다. 특히, 이 구간에서 갑자기 굵은 자갈이 분포하는 원인은 남강댐 방류시 플러싱 (flushing)에 의하여 입경이 작은 소류사가 하류로 운반됨에 따라 나타나는 현상이며, 하상경사 1/4,490 (segment 2) 와 하상재료 대표입경이 25–37 mm (segment 1)의 범위가 일치되지 않는다. 남강댐과 같은 다목적댐은 홍수조절에 따라 유량을 급격하게 감소시키고, 유사를 완전히 차단하기 때문에 댐 직하류 구간에서 경사는 완만해지지만 하상재료의 대표입경은 증가하는 경향을 나타내기 때문에 자연하천과 대비되는 경향을 보인다.

세그먼트분류법은 자연하천을 대상으로 조사, 분석된 분류체계이므로 댐하류 하천의 특성을 반영하여 분류할 수 없으나 세그먼트 규모로 하천을 분류하고 세구간 (reach)의 하도특성 조사에서는 그 특성을 반영할 수 있을 것이다.

남강댐 상류의 0–41.5 km 구간에서 화상처리기법으로 구한 하상재료 대표입경은 90–118 mm, 0–29 km 구간에서 체분석법으로 구한 대표입경은 0.9–80 mm로 분석되었다. 이 구간은 Rosgen의 하천분류체계를 적용한 경우, 두 가지 방법에 의한 결과에 관계 없이 A, B, C, D, E, F, G형으로 분류되었으나, Yamamoto의 하천분류체계를 적용한 경우 화상처리기법에 의한 결과는 세그먼트 1 구간으로 분류되었으며, 체분석법으로 분석한 결과는 세그먼트 2-1 구간으로 분류할 수 있었다.

4. 고찰

하천의 수리 및 하도 특성 평가를 위한 정량적인 하천분류체계의 도입을 위하여 Rosgen과 Yamamoto의 하천분류체계를 남강에 적용하였다. 정량적인 변수로서 하상경사와 하상재료의 입경을 선정한 것은 동일유량에서 유수력을 결정하는 인자는 하상경사이며, 유수력에 대한 반응인 토사분급으로 하상재료의 입경이 결정되기 때문이다.

하상경사를 분석한 결과 Rosgen의 하천분류체계는 하도의 종단적인 연속성을 명확하게 구분할 수 없는 단점이 있으며, 동일 하상경사에 대해서도 여러

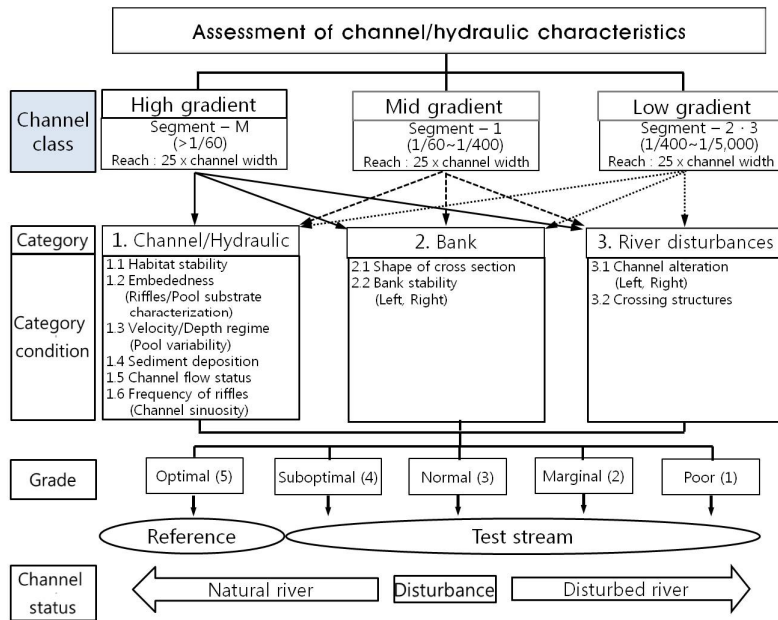


Fig. 7. Assessment system of channel characteristics.

가지 하천유형이 중첩되어 유형 분류가 곤란하였다. 또한, 상류의 급경사 하천 구간에 대해서는 유형을 세분화하고 있으나 중·하류 구간에 대해서는 하상경사의 적용 범위가 너무 크기 때문에 하천유형을 구분하기 어려운 문제점이 있었다.

Yamamoto의 세그먼트 분류법은 산지하천이 많은 일본의 하천을 대상으로 제안된 방법이기 때문에 하도의 중단적인 연속성을 명확하게 구분할 수 있는 장점이 있으며, 수문 및 지문 환경이 유사한 우리나라 하천에 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 일본은 장년기 지형으로서 상류는 급경사 하천이 많고 중·하류는 선상지 하천 및 충적하천이 많기 때문에 노년기 지형을 기반으로 하는 우리나라 하천 특성을 반영할 수 있는 하상경사의 구분 기준이 필요하다.

하상재료의 분포특성은 하상경사에 따른 유수력에 지배를 받기 때문에 하상재료 조사시점 기준으로 선행 유출량과 빈도에 좌우된다. 따라서, 조사시점마다 하상재료의 분포특성이 다소 차이를 나타낼 수 있으며, 저수로 폭의 수십 배 정도 짧은 구간 내에서도 여울과 소의 입경분포 특성은 큰 차이가 있다.

하상재료를 분석한 결과에 의하면, Rosgen의 하천 분류체계는 동일 하상경사에서 전 입경 범위의 하상재료가 분포하는 것으로 되어 있기 때문에 남강의 하

천유형을 분류할 수 없었다.

Yamamoto의 세그먼트 분류법은 하상경사의 변화에 따른 토사분급을 반영하고 있어 하천유형의 분류가 가능하지만 세그먼트 경계 부근에 해당되는 구간에서는 다소의 차이가 있었다. 특히, 표면층 30 cm 정도 아래의 하상재료를 분석하는 전통적인 체분석법과 표면층 하상재료를 분석하는 화상처리기법에 의한 결과는 상당히 큰 차이가 있었다. 현재 제시된 하상재료에 의한 분류기준은 체분석에 의한 결과로서 비교적 일치하는 결과를 보였다.

하천환경평가의 한 분야인 서식환경평가 시에는 표면 하상재료의 입경과 그에 따른 다공성이 중요하다. 따라서 체분석법 보다는 화상처리기법을 적용하는 것이 합리적이고 효율적일 것이며, 그에 따른 하상재료 분류 기준을 마련할 필요가 있다.

향후, 우리나라 하천의 하도특성을 정확히 파악, 평가하기 위해서는 하상경사 및 하상재료에 대한 많은 현장조사 자료를 분석하고, Yamamoto의 세그먼트 분류법을 개량하여 적용할 수 있는 연구가 필요하다.

본 연구에서는 하천생태계의 기반인 하도 및 수리특성에 대한 평가기준을 개발하기 위한 제1단계로서 하천의 유형을 구분하는 것이다. 하천은 규모에 따라 대규모 스케일 (지형, 지질, 토양 등에 의한 구분)로서

세그먼트 (segment), 중규모 스케일 (경사, 하폭, 여울-소, 평면형상 등에 의한 구분)로서 세구간 (reach) 및 소규모 스케일 (수심, 유속, 토사분급, 유향, 소규모 하상과 등에 의한 구분)으로 위계를 구분할 수 있다 (Yamamoto 2004). 따라서 Rosgen과 Yamamoto의 하천분류체계를 검토한 결과를 이용하여 세그먼트 분류체계를 적용하기로 하였다. 하도의 물리적 특성을 지배하는 매개변수로서 하상경사와 하상재료의 대표입경을 기준으로 급경사 하도 (high gradient: $>1/60$), 중경사 하도 (mid gradient: $1/60 - 1/400$) 및 완경사 하도 (low gradient: $1/400 - 1/5,000$)로 하천유형을 분류하고 그 유형의 특성을 평가기준에 반영하고자 하였다. 하천유형 분류 (channel class) 결과의 활용 방안은 Fig. 7과 같고, 하천유형 분류 이하의 과정은 후속 연구범위이다.

5. 결론

본 연구에서는 하천 실무자가 적용할 수 있는 하천환경의 수리 및 하도 특성 평가를 위한 지표와 정량적 평가기준을 마련함에 있어 Rosgen의 하천분류체계와 Yamamoto의 하천분류체계를 비교, 분석하고 남강을 사례로 그 적용성을 검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 하천 지형학적인 측면에서 우리나라의 지방 및 국가하천의 평균하상경사를 반영하고, 단일하천에 대한 하도 특성 평가를 위하여 하천 분류체계를 도입할 경우에는 Yamamoto의 하천분류체계가 적용성이 높은 것으로 판단된다.
- 2) 하상재료의 대표입경을 기준으로 비교, 검토한 결과, 상류구간에서는 불규칙적인 하상구조에 따라 부분적으로 입경이 작은 하상재료가 분포하고, 하류구간에서는 저수로의 사행 또는 사주 등에 의한 여울-소의 발생에 따라 하상재료의 분포가 큰 것으로 보인다. 따라서, 하천분류체계에서는 토질역학적인 통일분류법에 의하여 하상표면 30 cm 아래의 하상재료를 채취하여 분석하는 방법 보다는 유수력에 의한 반응의 결과인 하상표면의 재료를 분석하는 방법을 도입할 필요가 있다고 본다.
- 3) 남강을 대상으로 분석한 결과에 의하면 Rosgen의

분류체계로서는 하상경사와 하상재료의 관계로서 하천유형을 분류할 수 없으나 Yamamoto 분류체계에서는 그 상관성이 입증되었다. 다만, 자연하천에 대하여 그 적용성을 확인해 볼 필요가 있다.

- 4) 향후의 연구에서 하천분류체계를 도입하여 3개의 하천유형을 결정하고 해당 하천유형에 적합한 하도특성 평가기준을 개발한다는 목표에 부합되도록 하천환경의 수리 및 하도 특성 평가기준(안)을 제시할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비 지원 (12기술혁신C02)에 의해 수행되었습니다.

References

- Davis, W.M. 1899. The geographical cycle. *The Geographical Journal* 14: 481-504.
- Ferguson, R.I. 1987. Hydraulic and sedimentary controls of channel pattern. In, Richardson, K.S. (ed.), *River Channels*. Blackwell, London, UK. pp. 129-158.
- Horton, R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America* 56: 277-370.
- Lane, E.W. 1957. A Study of the Shape of Channels Formed by Natural Streams Flowing in Erodible Materials. Missouri River Division Sediment Series No.9, U.S. Army Engineer Division, Missouri River, Corps of Engineers, Omaha, Nebraska, USA.
- LAWA. 2000. Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland - Verfahren für kleine und mittelgroße Fließgewässer. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Berlin, Germany (in German).
- Leopold, L.B. and Wolman, M.G. 1957. River channel patterns: braiding, meandering and straight. *U.S. Geological Survey Professional Papers* 282b: 39-85.
- Leopold, L.B., Wolman, M.G. and Miler, J.P. 1964. *Fluvial Process in Geomorphology*. W.H. Freeman and Company, San Francisco, USA.
- Parsons, M., Thoms, M. and Norris, R. 2002. Australian River Assessment System: AusRivAS Physical Assessment Protocol. Monitoring River Health Initiative Technical Report no 22, Commonwealth of Australia and University of Canberra, Canberra, Australia.
- Montgomery, D.R. and Buffington, J.M. 1993. Channel Classification, Prediction of Channel Response, and

- Assessment of Channel Condition. Washington State Department of Natural Resources – Timber, Fish and Wildlife. Olympia, WA, USA.
- Rosgen, D.L. 1994. A classification of natural rivers. *Catena* 22: 169-199.
- Rosgen, D.L. 1996. *Applied River Morphology*. John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- SEPA. 2003. *Field Survey Guidance Manual: 2003 Version*. Scottish Environment Protection Agency, Environmental Agency, Bristol, UK.
- Strahler, A.N. 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Bulletin of the Geological Society of America* 63: 1117-1142.
- Thorne, C.R. 1997. Channel types and morphological classification. In, Thorne, C.R, Hey, R.D. and Newson, M.D. (eds.), *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*. Wiley, Chichester, UK. pp. 175-222.
- Yamamoto, K. 1988. *Channel Specific Analysis*. Public Works Research Institute Report 1394. Tsukuba, Japan. (in Japanese).
- Yamamoto, K. 2004. *Structural Fluviology*. Sankaidou, Tokyo, Japan (in Japanese).