

지형 인자를 이용한 하천 분류 체계의 적용성 검토

이찬주*, 이두한**, 김규호***, 우효섭****

1. 서론

지형학적 하천 분류는 하천이 가진 지형학적 특성(사행도, 하상재료, 하도경사, 하폭수심비)에 대한 정량적, 정성적 분석을 통해 하천의 유형을 구별하고, 유사한 하천끼리 묶는 작업이다. 1990년대 이전, 하천 분류는 지형학의 한 분야로서 학문적 차원에서만 연구되었으며 인위적 교란이 없는 자연하천을 대상으로 하천의 고유한 형태 특성을 도출하는데 목적이 있었다. 한편, 하천을 설계 관리하는 공학적 입장에서, 자연형 하천 개념의 도입 이전에는 치수 관점에서 효율적인 홍수 배제가 주목적이었으므로 자연 상태의 하천에 대한 관심이 적었으며, 따라서 하천 분류와 하천공학을 연결시킬 필요성이 적었다. 그러나 최근 하천이 생태계의 물리적 서식공간으로 재인식되면서, 하천 설계에서 자연 상태의 형태를 고려하게 되었다. 이러한 경향으로, 과거 학문적 차원에 머물러 있던 하천 분류는 하천의 설계와 관리에서 하천의 형태를 결정하고, 하도의 변화를 예측할 수 있는 새로운 수단으로 인식되고 있다. 즉, 하천 분류는 설계 단계에서 하천의 평면형, 종단형, 단면형에 대한 기초자료를 제공하고, 관리 단계에서는 교란에 의한 하천 형태의 변화를 예측할 수 있는 기초자료를 제공한다(건설교통부, 2001). 본 논문에서는 기존에 개발된 외국의 공학적 하천 분류 체계를 검토하고 이를 응용하여 국내의 지형적 실정에 맞는 하천 분류 체계를 제시하였으며 청미천과 임진강의 하도 구간에 적용하여 새로운 분류 체계의 적용성을 검토하였다.

2. 기존의 하천 분류

2.1 지형학적 하천 분류

지형학적 관점에서의 하천분류는 침식운회의 관점에서 하천을 유년기, 장년기, 노년기로 나눈 Davis로부터 시작되었다. 이후 Horton과 Strahler는 하천 차수 법칙을 기초로 하천을 분류하였으나 본질적인 의미에서 하도의 특성에 기인한 하천 분류는 아니었다. 지형학적인 관점에서 하천의 평면 형태는 주요한 관심사였다. 직류, 사행, 망류로 구분되는 하천의 평면 형태를 좌우하는 요인을 밝히려는 노력은 Leopold와 Wolman(1957)의 연구에서부터 시작되었으며, 여러 연구자들은 하도의 평면형태는 연속적인 것이며 유량과 하도 경사의 곱인 하천력에 따라 임계치를 갖고 변화됨을 규명하였다(Lane, 1957; Ferguson, 1987; Thorne, 1997 등). Schumm(1977)은 하도 안정도, 유사이송양상, 하상재료에 따른 하도의 평면형 변화를 모식적으로 제시하였다. Alabyan과 Chalov(1998)는 기존의 하천력 대신 유효유량곡선을 적용하고 하천 지형의 구조적 성격을 반영한 분류법을 제안하였다. 한편, Nanson과 Croke(1992)는 하도가 놓인 범람원을 성인으로 유형화함으로써 하도의 특성을 간접적으로 분류하였다.

2.2 외국의 공학적인 하천 분류

지형학적인 하천 분류와는 달리 하천 설계나 관리와 같은 공학적인 목적으로 사용되는 대표적인 하천 분류 체계는 Rosgen(1996)의 하천 분류 체계와 미북서태평양 하천분류(Montgomery와 Buffington, 1993), 영국 EA(NRA, 1990)의 하천 교란 평가, 일본의 하천 분류(建設省, 1996)가 있다. 여기서는 이를 간략히 소개하겠다.

Rosgen의 하천 분류 체계는 30여년간 미국, 캐나다, 뉴질랜드 등의 약 419개 하천에서 얻어진 현장 조사결과를 토대로 개발되었으며 4단계로 구성된 계층적인 분류 체계이다. 1단계와 2단계 분류에서는 하도의 지형학적 특성을 결정짓는 인자를 계층적으로 구별하고 유형화하였으며, 3단계와 4단계에서는 현장 하도의 특성(수리, 지형, 퇴적 상태)에 대한 관측을 통해 하도의 상태를 평가하는 방법을 제시함으로써 자연 친화적 하도 설계에 구체적인 현장 정보를 제공한다. 그림1에는 Rosgen 분류 체계의 41개 유형의 분류군이 제시되어 있다. Rosgen 분류 체계는 명확한 물리적 근거가 부족하다는 지적과 함께 이를 응용한 결과들이 하천공학적인 측면에서 논리적이지 못하다는 지적을 받고 있으나, 현재까지 개발된 분류체계 중에서는

* 연구원, 한국건설기술연구원 수자원환경연구부
** 선임연구원, 한국건설기술연구원 수자원환경연구부
*** 수석연구원, 한국건설기술연구원 수자원환경연구부
**** 연구위원, 한국건설기술연구원 수자원환경연구부

지배적인 하상재료	Rosgen 하천 분류 체계							
	A	B	C	D	DA	E	F	G
기반암								
전곡								
중대물								
자갈								
모래								
스릴점토								
공달비	< 1.4	1.4 - 2.2	> 2.2	n/a	> 4.0	> 2.2	< 1.4	< 1.4
하곡/수심비	< 12	> 12	> 12	> 40	변동	< 12	> 12	< 12
사행도	1 - 1.2	> 1.2	> 1.2	n/a	변동	> 1.5	> 1.2	> 1.2
하도경사	.04-.099	.02-.039	< .02	< .04	< .005	< .02	< .02	.02-.039

그림1 Rosgen의 하천 분류 체계

표1 미북서태평양 하천 분류

	하천의 운반능력 부족				유사공급 부족			
	변동	안정	오래	강력	강력	안정	오래	변동
하상재료	변동	안정	오래	강력	강력	안정	오래	변동
하상지형	여러가지	주기의 수평 변화	다층 구조	주기의 수평 변화	안정	주기의 수평 변화	안정	여러가지
구간특성	유사공급 위주	공급 및 운반	공급 및 운반	공급 및 운반	공급 및 운반	공급 및 운반	공급 및 운반	유사공급 위주
지배적인 조도요소	전석, LWD	하상지형 (사주, 소)	하상지형 (사주, 소)	하상지형(사주, 소), 입자, LWD, 사행도, 강덕	입자, 강덕	하상지형(스텝, 소), 입자, LWD, 강덕	전석, 강덕	하상, 강덕
지배적인 유사공급원	사면, 사태류	유수운반물, 강덕분과, 사태류	유수운반물, 강덕분과, 비활성하도	유수운반물, 강덕분과, 비활성하도	유수운반물, 강덕분과, 사태류	유수운반물, 사면, 사태류	유수운반물, 사면, 사태류	유수운반물, 사면, 사태류
우사 지장요소	하상	범람원, 하상지형	범람원, 하상지형, 비활성하도	범람원, 하상지형, 비활성하도	범람원, 하상지형, 비활성하도	하상지형	호만, 강대물, 전곡	하상
경사범위	$s > 0.20$	$s < 0.05$	$s < 0.001$	$0.001 < s < 0.02$	$0.01 < s < 0.02$	$0.02 < s < 0.08$	$0.08 < s < 0.50$	변동
하곡 제약도	제한	제한없음	제한없음	제한없음	제한없음	제한	제한	제한
소의 강덕	변동	변동	하곡의 5-7개	하곡의 2-7개	없음	하곡의 1-4개	하곡의 1개 이하	변동

가장 많은 현장자료를 활용하였으며, 현장 적용 실적이 상대적으로 풍부한 분류 체계이다.

미북서태평양 하천분류는 Montgomery와 Buffington(1993)이 미국의 북서태평양 지방의 하천 조사 결과를 토대로 개발한 분류방법으로, Schumm(1977)의 하천 분류를 봉적하천(colluvial stream), 충적하천, 그리고 암반 하천에 구분하여 적용하였다. 그리고 충적하천은 계곡(cascade), 스텝-소(step-pool), 평하상(plane-bed), 여울-소(riffle-pool), 평형하천(regime), 망상(braided) 등의 6가지로 세분하여 총 8개 군으로 하천형을 나누었다. 미북서태평양 하천분류는 각 군별로 주요한 지형 형성 작용과 유사의 공급-운반 관계를 간략하게 유형화함으로써 대체적인 하도 특성을 파악하는 틀로써 이용되기에 적절하기는 하나, 계량적인 기준에 대한 제시하는 데는 부족한 점이 있다.

하천 분류 체계가 분류를 위하여 많은 정보를 필요로 하지만 하천관리자의 입장에서는 현장 방문을 통하여 하천에 대한 즉각적인 정보를 얻고자 하는 경우가 많다. 영국 EA(NRA, 1990)의 하천 분류법은 답사를 통하여 하천 현장의 교란에 대한 민감도를 파악한다. 그러나 본 분류체계는 유역의 기후나 유사량의 변화와 같이 하도의 형태 변화를 지배하는 인자들에 대한 기초 연구가 있어야만 하천이 교란에 대해 어떤 반응을 보일지를 예측할 수 있다. 이는 하천의 수리적, 지형적 특성에 관여하는 인자들에 대한 연구가 충분히 축적되어 있어야 적용할 수 있음을 의미한다.

일본 토목연구소가 일본의 전국 1급하천에 대한 현장 연구 후에 제시한 하천 분류표(표3)를 실제 하천의 설계에 참고하고 있다. 주요 분류 인자는 하상경사, 하상재료 등이며, 강덕의 침식에 대한 설계에서 유용하게 활용되고 있다. 이 분류법은 경계층 이론에서 출발하여 산지-선상지-범람원-삼각주로 연결되는 하천 지형의 종단 변화를 세그먼트로 구별하여 제시한다. 일본의 경우, 대부분의 하천이 유로연장이 길지 않고, 산지-선상지-범람원-삼각주로 이어지는 세그먼트 분할이 비교적 용이하므로 현장 하도가 종단 곡선상에서 놓인 위치에 따라 쉽게 분류가 가능하다. 따라서 일본의 하천분류는 실제 하천의 설계 단계에서 적극적으로 활용되고 있다. 그러나, 우리나라는 하천 지형의 종단적 변화가 일본과 다를 뿐만 아니라 기초적 수리자료가 부족하여 적용에 한계를 가진다.

표2 영국 NRA의 하천 교란 평가

퇴적에 대한 민감도	점수	하천의 상태
높음	8-10	교란이 거의 없고 자연 상태에 가까우며 사행발달에 제약이 없으며 하상이 잘 발달함(사주, 여울-소 구조 발달)
중간	5-7	교란의 흔적이 있으나 여전히 자연도가 높고, 자연 상태로 회복되고 있음
낮음	2-4	대규모 공사에 의해 하천 형태의 근본적인 변화가 있었음. 단면은 인위적인 형태이며 하상이 발달하지 않았으며 강턱에 식생이 부족함
하도화	1	강턱과 하상이 콘크리트 등의 인공 재료로 구성되어 있음
암거형	0	하도 전체가 콘크리트 등으로 구성되어 있음

표3 일본의 하천 분류표

지형구분	세그먼트 M 산간지 → ← 전산지	세그먼트 1		세그먼트 2		세그먼트 3 삼각주 →
		←	→	2-1	2-2	
			곡저평야 자연제방대			
하상재료 대표입경 d_r	여러 가지	2cm이상	1~3cm	0.3mm~1cm	0.3mm이하	
강덕구성물질	곳곳에서 하상과 하안에 암반 노출	표층은 얇은 모래, 실트층 대부분 하상재료와 동일	하층은 하상재료와 동일, 세사, 실트, 점토의 혼합물		실트, 점토	
하상경사	여러 가지	1/60~1/400	1/400~1/5000		1/5000~수평	
사행정도	여러 가지	작게 휩	사행이 심하지만, 하폭수심비가 큰 곳에서 8자사행 또는 하중도 발생		사행이 심한 곳도 있고 작은 곳도 있음	
강턱침식정도	아주 심함	아주 심함	중간 정도. 하상재료가 풀수록 하도 이동이 용이		미약. 하도는 거의 고정	
저수로 평균수심	여러 가지	0.5~3m	2~8m		3~8m	

3. 국내 하천 분류 체계의 구성

3.1 분류 단위 구간

하천을 분류하려면 먼저 일정 하도 구간을 분류 단위로 규정해야 한다. 하도에 부과된 유량과 유사량이 하도의 형태를 좌우하는 기본적인 인자이므로 그 변화를 기준으로 하도를 구분하는 것이 타당하다. 하도를 따라 지류의 유입이 없는 구간은 수리적, 지형학적인 연속성을 가진다고 가정할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 지류의 유입이 없는 하도 구간 범위를 분류의 공간적인 기본 단위로 설정하였다. 하도를 통해 입출하는 수리량의 관점에서는 하도의 지형 변화가 지류의 유입 여부에 의존한다. 그러나 지류의 규모가 분류에 비해 월등히 작은 경우 지류의 영향이 종종 무시될 수 있다. 한편, 하곡의 지형적 변화는 하천의 거동을 제약하거나 허용한다. 그러므로, 본 연구에서는 분류에 비해 매우 작은 지류가 합류하면 단위 구간을 통합하였고, 하곡의 지형 변화가 뚜렷한 곳에서는 구간을 구분해서 적용하였다.

3.2 분류 인자

분류 인자는 하천을 유형화하는데 적용하는 구별의 기준이다. 분류 인자를 기준으로 유사한 특성을 갖는 구간끼리는 묶고 상이한 특성을 갖는 구간과는 구별한다. 하도는 여러 요소들이 기능적으로 얽혀 있는 지형 체계로서 계층적인 성격을 가지므로 이를 반영하는 분류 인자도 계층적이다. 기후, 지질, 식생, 토양, 하곡 지형과 같은 유역 특성은 변화에 지질 시간이 소요되는 상위 계층의 요소이다. 반면에 현재 하도의 지형 변화를 야기하는 하곡 경사, 유량, 유사량과 같은 독립변수와 이들에 의해 좌우되는 종속변수인 하도 형태는 하상재료와 함께 하위 계층의 요소이다. 그러므로 하천 체계의 계층성을 고려하여 분류 인자를 적용해야 한다(Rosgen, 1996; Alabyan & Chalov, 1998).

곡저폭지수(valley width index) : 하도의 수평적 이동은 하곡이 넓고 곡저가 증적층으로 이루어진 범람원 상에서는 자유롭지만 하곡이 좁은 곳에서는 제약을 받는다. 또한 산지 사면을 끼고 있는 제약된 하도는 사면에서 공급되는 물질의 영향 하에 있다(Thorne, 1997). 이러한 특성으로 인해 하곡 지형은 기존의 분류체계에서도 대표적인 상위 분류 인자로 적용되어 왔다. 이러한 제약성은 하천의 상류뿐만 아니라 하류부까지 하천이 급사면의 산지를 끼고 있는 것이 일반적인 국내 하천에서 주요한 변수가 된다. 따라서, 본 연구에서는 하도의 제약성을 반영하는 곡저폭지수를 개발하여 분류 인자로 적용하였다. 곡저폭지수는 곡저폭과 강덕만배하폭의 비율로 나타낸다($VI = W_{cf} / W_{bk}$, VI는 곡저폭지수, W_{cf} 는 곡저폭이고 W_{bk} 는 강덕만배하폭). 이는 하도의 수평적 이동에 대한 제약도를 반영하므로 대략적인 사행대(meander belt)의 폭인 하폭의 5배를 기준으로 5 이하인 경우는 산지형(제약형, Confined), 5 이상인 경우는 평지형(비제약형, Unconfined)으로 구분하였다.

사행도(sinuosity) : 하도의 평면형은 지형 변화를 유발하는 독립변수인 수리량의 영향을 잘 반영할 뿐만 아니라 하도 구간 범위에서 비교적 일정하며 하도의 단면형과 종단형을 포괄하는 성격을 지닌다. 무엇보다 하천 설계에서 가장 기초가 되는 것은 평면 특성에 기초한다. 단면형은 구간 내에서도 평면상의 위치에 따라 상당히 다른 양상을 나타낸다. 따라서 구

간 내의 설계에서는 적용될 수 있으나 구간 전체로는 적용이 어렵다. 하도 경사로 대표되는 종단형은 하천의 하류 구간에서 매우 작은 값을 나타내므로 수치적인 구분이 큰 의미를 갖지 못할 수도 있다. 또한 경사를 측정하는 방법에 따라 수치가 다르므로 일정하게 적용하기 어려운 점이 있다. 따라서, 여기에서는 하도의 형태 변수 중에서 단면형과 종단형을 대표하는 변수보다는 평면형을 표현하는 사행도를 분류 기준으로 채택하였다. 사행도는 구간의 시점과 종점을 잇는 직선 거리에 대한 하도 거리의 비로 구하였다. 그리고 수치에 따라 1.2이하를 직류형(S), 1.2에서 1.5까지를 곡류형(N), 1.5이상을 사행형(M)으로 구분하였다. 한편, 하도 구간에서 하중도가 두드러지게 나타나는 구간은 별개로 분기형(D)으로 구분하여 취급하였다.

하상재료(bed material) : 하상재료는 본래 하곡에서 유래한 것이지만 하천의 운반 과정에서 분급되어 재배치된다. 하상재료는 유사이송과 지형형성작용을 동반하며 특징적인 하상지형 발달과 관계가 있다. 자갈 하상에서는 강턱이 뚜렷하게 발달하지 않으나 여울-소 구조와 같은 하상지형이 발달하는 반면, 모래나 실트-점토로 구성된 하도에서는 강턱의 발달이 비교적 뚜렷하다. 또한 일정한 지질을 갖는 하천에서 하상재료는 하도 경사와 밀접하게 관련된다(Knighton, 1998). 이러한 이유로 하상재료는 기존 하천 분류에서 주요 인자로 사용되었다(Rosgen, 1996; Montgomery & Buffington, 1993; 일본의 하천분류 등). 본 분류 체계에서도 하상재료를 주요 인자로 채택하였다. 대표 변수는 입경 중앙값(d_{50})을 사용하였으며 크기에 따라 전석(boulder, 256mm 이상), 자갈(cobble-pebble, 2mm 이상), 모래(sand, 0.0625mm 이상), 실트-점토(silt-clay, 0.0625mm 미만) 등으로 구분하고 기반암 하상을 추가하여 총 5가지 유형으로 구분하였다. 그리고 기호는 1-5 사이의 숫자를 사용하였다.

하폭수심비(width-depth ratio) : 하도의 단면형은 하천 에너지와 강턱과 하상재료의 저항 사이의 관계를 반영한다. 보통 단면형은 하폭수심비로 나타낸다. 하천 에너지가 크고 하도 재료의 입경이 크면 하폭수심비가 크고 반대의 경우 하도는 좁고 깊은 형상을 나타낸다. 하폭수심비는 하상재료 및 하도의 평면형과 밀접하게 관련된다. Rosgen 분류 체계에서는 하폭수심비를 직접적인 분류 인자로 채택하였으나 본 연구에서는 각 군별로 범위만을 제시하였다.

하도 경사(channel gradient) : 경사는 하천의 종단 특성을 대표한다. 하도 경사는 상류에서 하류로 완만해지는 경향이 있다. 하도 경사는 하상재료와 밀접하게 관련되므로 하상지형의 주요한 패턴을 결정짓는 요소가 된다. 그러므로 본 분류 체계에서는 하도 경사를 따로 분류 인자로 채택하지 않았다. 그 대신 하폭수심비와 함께 각 군별로 범위를 제시하였다.

3.3 분류 체계의 제시

본 연구에서는 3가지 주요 분류 인자를 기초로 총 22개 하천형으로 분류하였다. 표4에 제시한 하천 유형은 각각 독특한 하천 주변의 지형 배치를 가진다. 또한, 하천의 지형형성작용과 주요 하상지형을 동반한다. 표5에서는 각 유형별 특성을 간략하게 요약하였다.

표4 지형 인자에 기초한 하천분류표

평면형	하곡 제약도	하상재료의 입자 크기(d_{50})							
		기반암 1	전석 2	자갈 3	모래 4	실트-점토 5			
S 직류형 $P < 1.2$	산지형 c	1c $w/d < 20$ $s > 0.03$	2c $w/d < 20$ $s > 0.01$	S3c	$w/d > 20$ $s < 0.01$	S4c	$w/d > 20$ $s < 0.005$	S5c	$w/d < 20$ $s < 0.001$
	평지형 u			S3u	$w/d > 20$ $s < 0.01$	S4u	$w/d > 20$ $s < 0.005$	S5u	$w/d < 20$ $s < 0.001$
N 곡류형 $P < 1.5$	산지형 c			N3c	$w/d > 20$ $s < 0.01$	N4c	$w/d > 20$ $s < 0.005$	N5c	$w/d < 20$ $s < 0.001$
	평지형 u			N3u	$w/d > 20$ $s < 0.01$	N4u	$w/d > 20$ $s < 0.005$	N5u	$w/d < 20$ $s < 0.001$
M 사행형 $P \geq 1.5$	산지형 c			M3c	M4c	M4u	$w/d > 20$ $s < 0.005$	M5u	$w/d < 20$ $s < 0.001$
	평지형 u								
D 분기형		D2	$w/d > 20$ $s > 0.01$	D3	$w/d > 20$ $s < 0.02$	D4	$w/d > 20$ $s < 0.005$	D5	$w/d > 20$ $s < 0.005$

표5 하천 유형별 개략적 특성

하천형	하곡 지형	주요 하상 지형	유수에 의한 주요한 지형형성작용	교란요소
1c	상류 제곡, 기반암 노출지	계단형 급류(cascade) 폭포, 하상 침식형	기반암 침식, 국지적 침식형 형성, 사면물질의 제거 하천의 운반력이 유사 공급량 초과	산지 사면의 인위적 절개 사방류 공급
2c	상류 제곡, 가파른 곡사면	스텝-소(step-pool) 급여울(rapid)	수직적인 에너지 소비(스텝)와 저장(소) 사면 물질(전석과 세립자)의 분급	산지 사면의 인위적 절개 사방류 공급, LWD의 투입
S3c	산지, 직선상의 구조곡	급여울, 여울-소	최심하상의 주기적 승강과 수평적 이동, 감입(incision)	
N3c	화강암 지질 기반 하곡	평하상과 장감화	자갈과 모래의 입자 분급, 군집 하상지형 발달	산지 사면의 인위적 절개, 사방류 공급, 골재채취
M3c	편마암/퇴적암 산지에 발달한 하곡 하곡 사행	교호사주, 하중사주 만곡사주(N3c, M3c)	만곡에 의한 수평적 에너지 소비(N3c, M3c) 수층부에 깊은 소 형성(N3c, M3c)	
S3u	평지, 산지 전면의 평탄지,	여울-소, 평하상, 장감화	최심하상의 주기적 승강과 수평적 이동	강턱 붕괴, 골재채취
N3u	산간 분지, 곡저 평지 강턱재료에 따라 사행도 차이	하중사주, 교호사주 만곡사주(N3u)	자갈과 모래의 입자 분급 하천의 수평적 이동(N3u)	사주에 식생 활착을 통한 조도 증가와 확폭

표5 하천 유형별 개략적 특성(계속)

하천형	하곡 지형	주요 하상 지형	유수에 의한 주요한 지형형성작용	교란요소
S4c	산지, 직선상의 구조곡, 화강암 분지 내 하천	사구(dune), 사런(ripple) 교호사주, 하중사주	최심하상의 주기적 승강과 수평적 이동 모래 하상지형의 형상저항(form resistance)에 의한 에너지 소비	산지 사면의 인위적 절개, 사방류 공급, 강터 붕괴, 골재채취
N4c	산지, 화강암 분지 내 하천	만곡사주(N4c, M4c)	하중 사주의 발달, 고수위시 침수로 형성과 망상화	
M4c	편마암/퇴적암 산지, 하곡 사행		수중부에 깊은 소 형성(N4c, M4c)	
S4u	평지, 산지 전면의 평탄지, 화강암 풍화 분지 내 하천, 곡저 평지, 동해안 평지	사구(dune), 사런(ripple) 교호사주, 하중사주	최심하상의 주기적 승강과 수평적 이동 모래 하상지형의 형상저항에 의한 에너지 소비	골재채취, 강터 붕괴, 사주에 식생 활착을 통한 조도 증가와 확폭, 인공제방에 의한 수평적 이동의 제약
N4u	곡저 평지, 동해안 평지	만곡사주(N4c, M4c)	하중 사주와 하중도의 광범위한 발달	
M4u	강터재료에 따라 사행도 차이	하중도(island)	고수위시 침수로 형성과 망상화, 강터 침식에 의한 확폭	
S5c	산지, 좁은 하곡에서 미립질 풍화산물이 공급되는 하천, 곡저로 만입한 갯골	평탄한 하상	최심하상의 주기적 승강	산지 사면의 인위적 절개, 사방류 공급, 강터 붕괴
N5c				
S5u	평지, 충적 평지, 서해안 평지 대하천의 범람원	평탄한 하상	응집성 물질로 인한 강터 급사면 유지 대하천 수위 상승에 따른 역류	강터 붕괴, 인공 제방에 의한 수평적 이동의 제약
N5u	유수 에너지의 크기에 따라 사행도 차이 발생	하중사주 만곡사주(N5u, M5u)	최심하상의 주기적 승강과 하도의 활발한 수평적 이동 만곡부에 비대칭적 단면 발달	
M5u		하중도	응집성 물질로 인한 강터 급사면 유지	
D2, D3	구간별로 유사 공급량이 운반량을 초과하는 곳, 하천 합류지	하중사주	유수의 분류와 홍수시 유희로 인한	강터붕괴, 식생 활착을 통한 조도 증가, 골재 채취
D4, D5		하중도	하중도의 수직적 성장	

4. 분류 체계의 적용과 평가

4.1 청미천

청미천은 유역면적이 595.70km², 유로연장 60.8km인 한강의 제 1지류이다. 청미천은 주변이 비교적 평탄한 분지 내를 흐르다가 하류에서 산지를 관류하여 한강에 유입한다. 유역은 화강암이 풍화된 구릉지를 이루고 있다. 분석을 위해서는 하천 정비기본계획의 횡단측량, 입경 분석 자료가 이용되었다. 분류 단위 구간은 22개이다. 비교를 위해 본 연구에서 제시한 분류 체계와 Rosgen 체계를 동시에 적용하였다. 결과는 표6과 같다.

표6 청미천의 하도 구간별 분류 결과

구간	평면형	하상재료			하곡	분류 결과	Rosgen 분류	중단형 하상경사	단면형 하폭:수심	구간	평면형	하상재료			하곡	분류 결과	Rosgen 분류	중단형 하상경사	단면형 하폭:수심				
		사행도	입경(D ₅₀)	곡저폭지수								사행도	입경(D ₅₀)	곡저폭지수									
01	1.122	S	1.45	모래	4	69.30	u	S4u	C5	0.00427	33.00	12	1.080	S	-	모래	4	9.21	u	S4u	C5	0.00127	111.47
02	1.032	S	-	모래	4	38.43	u	S4u	C5	0.00248	35.15	13	1.051	S	0.90	모래	4	13.27	u	S4u	C5	0.00107	57.06
03	1.054	S	2.20	모래	4	28.99	u	S4u	C5	0.00187	33.76	14	1.099	S	-	모래	4	27.88	u	S4u	C5	0.00096	50.40
04	1.243	N	-	모래	4	26.45	u	N4u	C5	0.00536	26.36	15	1.101	S	-	모래	4	13.13	u	S4u	C5	0.00131	35.82
05	1.182	S	1.40	모래	4	11.66	u	S4u	C5	0.00173	71.00	16	1.096	S	1.33	모래	4	10.04	u	S4u	C5	0.00086	61.15
06	1.053	S	-	모래	4	12.15	u	S4u	C5	0.00171	84.42	17	1.205	N	4.92	자갈	3	8.41	u	N3u	C4	0.00101	70.97
07	1.006	S	-	모래	4	-	u	S4u	C5	0.00131	-	18	1.036	S	2.35	자갈	3	8.57	u	S3u	C4	0.00102	95.39
08	1.113	S	0.75	모래	4	15.31	u	S4u	B5	0.00176	50.83	19	1.243	N	1.27	모래	4	2.77	c	N4c	C4	0.00097	109.82
09	1.087	S	-	모래	4	19.27	u	S4u	C5	0.00130	50.31	20	1.056	S	1.75	모래	4	6.67	u	S4u	C4	0.00096	89.80
10	1.062	S	-	모래	4	24.03	u	S4u	C5	0.00107	59.02	21	1.152	S	1.18	모래	4	7.35	u	S4u	C4	0.00101	105.61
11	1.014	S	0.52	모래	4	14.12	u	S4u	C5	0.00131	82.86	22	1.547	M	1.13	모래	4	3.09	c	M4c	B4	0.00083	54.68

청미천은 대체로 직류 내지는 곡류한다. 하상재료는 거의 전구간에서 모래가 우세하며 하도에는 사주와 강터가 발달하였다. 그러나 용천이 합류한 17구간과 바로 하류인 18구간은 자갈이 분포한다. 17구간 이전에는 평탄하여 수평적인 이동에 제약을 받지 않는 분지 내를 관류하다가 편마암을 끼고 흐르는 17구간 하류부터 곡저폭이 좁아지며 간간히 산지형(19, 22)이 나타난다. 하도 경사는 상류 일부를 제외하고는 대개 0.001 내외의 값을 가진다. 하폭수심비는 하류로 가면서 약간 증가하지만 일정한 경향은 없는데 이는 사주가 발달한 구간은 하폭이 넓은 반면, 사주가 없고 강터의 발달이 두드러진 곳에서는 수심이 깊기 때문이다. 본 연구의 분류 체계를 적용하면 대부분 S4u군에 속하고 기타 N4u, N3u, S3u, N4c, M4c군으로 분류된다. 이러한 결과는 청미천이 평탄한 지형을 대체로 직류로 흐르는 모래하천이었다가 하류부에서 그 특성이 약간 변화되는 것을 비교적 잘 반영하고 있다. 반면, Rosgen 분류 체계로는 거의 전 구간이 C5, C4로 나타나고 각각 한 구간에서 B4, B5로 분류되었다. 하천의 지형적 특성 변화를 부각시킨다는 측면에서 본 연구에서 제시한 분류 체계가 Rosgen 분류 체계에 비해 세분화된 분류가 가능하다고 판단된다.

4.2 임진강

임진강은 유역면적 8117.5km², 유로연장 254.6km인 대하천이다. 여기서는 국가하천 구간 약 54.4km에 대해 분류를 시도하였다. 임진강 유역은 경기편마암복합체 지질로 이루어져 있고 한탄강 합류점 주변으로 제4기에 분출한 용암의 영향으로 수직절벽이 나타난다. 분석에는 2000년 임진강 측량성과와 입경 조사 자료가 이용되었다. 대하천인 임진강의 특성을 고려하여 대략 5km² 미만의 유역 면적을 갖는 지류가 유입하는 지점은 구간 분리 대상에서 제외된 후 합류점을 기준으로 분류 단위 구간을 설정하고 초평도 구간을 따로 취급하여 총 20개 구간을 설정하였다. 분류 결과는 표7과 같다.

표7 임진강의 하도구간별 분류 결과

구간	평면형		하상재료		하곡		분류 결과	Rosgen 분류	종단형 하상경사	단면형 하폭:수심	구간	평면형		하상재료		하곡		분류 결과	Rosgen 분류	종단형 하상경사	단면형 하폭:수심		
	사행도	사행도	입경(D ₅₀)	입경(D ₅₀)	곡저폭지수	곡저폭지수						사행도	사행도	입경(D ₅₀)	입경(D ₅₀)	곡저폭지수	곡저폭지수						
01	1.404	N	89.8	자갈	3	2.99	c	N3c	F4	0.00082	47.95	11	1.718	M	68.0	자갈	3	3.29	c	M3c	F4	0.00027	111.47
02	1.253	N	-	자갈	3	2.71	c	N3c	F4	0.00016	52.57	12	1.052	S	45.7	자갈	3	3.19	c	S3c	F4	-0.00070	57.06
03	1.033	S	-	자갈	3	3.30	c	S3c	F4	0.00290	71.54	13	1.069	S	19.4	자갈	3	4.40	c	S3c	F4	0.00005	50.40
04	1.079	S	75.6	자갈	3	4.47	c	S3c	B4	0.00070	58.97	14	1.074	S	-	자갈	3	3.28	c	S3c	F4	0.00389	35.82
05	1.246	N	76.0	자갈	3	2.58	c	N3c	F4	0.00348	38.98	15	1.561	M	51.8	자갈	3	2.74	c	M3c	B4	-0.00037	61.15
06	1.211	N	81.3	자갈	3	2.42	c	S3c	F4	0.00054	26.16	16	1.224	N	51.8	자갈	3	1.42	c	D3	B4	0.00058	70.97
07	1.804	M	88.5	자갈	3	1.94	c	M3c	B4	0.00058	30.29	17	1.027	S	-	자갈	3	3.94	c	M3c	B4	-0.00027	95.39
08	1.078	S	77.5	자갈	3	4.49	c	S3c	B4	-0.00116	44.34	18	1.315	N	52.4	자갈	3	6.29	u	N3u	B4	0.00034	109.82
09	1.055	S	69.0	자갈	3	6.33	u	S3u	B4	0.00045	39.95	19	1.028	S	-	모래	4	3.55	c	S4c	B5	0.00004	89.80
10	1.258	N	92.0	자갈	3	4.41	c	N3c	B4	0.00039	31.91	20	1.286	N	-	모래	4	3.66	c	N4c	B5	-0.00033	105.61

임진강은 구간별로 사행도의 차이가 있으나 합류점을 기준으로 분류 단위를 설정한 점을 감안하면 01, 02, 07, 09, 10, 11, 15구간에서 사행도가 크다. 대개 산지가 하천에 인접해 있거나 제4기 용암의 수직절벽으로 유로의 수평적인 이동이 제약을 받으며, 거의 전구간에서 곡저폭지수가 낮다. 즉, 전형적인 산지 사행하천의 특성을 보여준다. 하상재료는 19, 20구간을 제외하고는 전구간에서 자갈이 널리 분포한다. 하도 경사는 매우 완만하다. 하폭수심비는 하중도인 초평도 구간(15)과 하구인 최하류(19, 20)를 제외하면 비교적 낮다. 결과적으로 본 연구의 분류 체계로는 S3c, N3c, M3c군이 주로 나타나며, 나머지는 S3u, N3u, S4c, N4c, D3으로 분류된다. 한편, Rosgen 분류 체계로는 F4와 B4형이 주종을 이루고 하류는 B5로 분류된다. 임진강의 사례에서도 본 연구의 분류 체계가 Rosgen 분류 체계에 비해 세분화된 분류가 가능한 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 자연 친화적인 하천 정비와 복원에 기초적인 정보를 제공하는 기준에 개발된 외국의 하천 분류 체계를 살펴보고 국내 여건을 고려하여 보다 세분하게 하천을 분류할 수 있도록 지형 인자에 의한 하천 분류 체계를 구성하여 제안하였다. 새로운 분류 체계는 하천의 지형형성작용에 관여하는 상위 요소와 하위 요소를 반영하였다. 분류 단위는 하도 구간으로 하였으며, 곡저폭지수, 사행도, 하상재료를 주요 인자로 채택하여 22개 유형으로 하천을 분류하였다. 또한 하천구별로 하폭수심비와 하도 경사의 범위도 제시하였다. 하천 유형별로 주요 하상지형과 유수의 지형형성 작용을 간략하게 제시하였다. 본 연구의 분류 체계와 Rosgen 분류 체계를 청미천과 임진강에 적용하였으며, 그 결과를 비교하였다. 그 결과 새로운 분류 체계가 보다 세분화된 분류가 가능함을 알 수 있었다. 하천 분류 체계는 개발은 국내에서는 처음 시도되는 것이므로 아직 미비한 점이 있다. 따라서, 자연 친화적인 하천 정비와 복원에 적용하기 위해서는 더욱 보완되어야 할 것이다.

참고문헌

건설교통부 (2001). 자연친화적 하천정비기법 개발 보고서, pp. 29-30

Alabyan, A. M. and Chalov, R. S. (1998). Types of river channel patterns and their natural controls, *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 23. pp. 467-474

Ferguson, R. (1987). Hydraulic and sedimentary controls of channel pattern. In: Richards, K.S.(ed.), *River Channels*, Basil Blackwell, pp. 129-158

Knighton, D. (1998). *Fluvial Forms and Processes: A New Perspective*, Arnold, p.383

Lane, E. W. (1957). A study of the shape of channels formed by natural streams flowing in erodible material, MRD Sediment Series 9, US Army Engineer Division, Missouri River

Leopold, L. B., and Wolman, M. G. (1957). River channel patterns-braided, meandering and straight, Professional. Paper. United States Geological Survey, 282B, pp. 39-85

Montgomery, D. R., and Buffington, J. M. (1993). Channel classification, prediction of channel response and assessment of channel condition, Report prepared for the SHAMW committee of the Washington State Timber/Fish/Wildlife Agreement

Nanson, G. C. and Croke, J. C. (1992). A genetic classification of floodplains. *Geomorphology*, Vol. 4, pp. 459-486

NRA(National Rivers Authority) (1990). River Stort Morphological Survey: Appraisal and Watercourse Summaries, compiled by Brookes, A. and Long, H.

Rosgen, D. L. (1996). *Applied River Morphology*. Hilton Lee Silvey, Lakewood, pp. 8-30

Schumm, S. A. (1977). *The Fluvial System*, Wiley-Interscience, New York, pp. 119-159

Thorne, C. R. (1997). Channel types and morphological classification. In: Thorne, C. R., Hey, R. D., Newson, M. D. (ed), *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*, John Wiley & Sons, Chichester, pp. 175-222

建設省, (1996). 河道計劃策定の手引き(案)