

# 자갈하상하천의 bar지형 발달에 관한 연구\*

- 골지천을 사례로 -

양 희 경\*\*

## Bar Development in Gravel-bed River\*

Hee-Kyung Yang\*\*

**요약 :** bar는 하상의 기복중에서 가장 대표적인 충적지형으로 어느 하천에서나 쉽게 발견된다. 본 연구의 목적은 이러한 bar의 지형적 특성을 구명하는 것이다. 연구지역은 골지천 하류부이며, 총 6개 지점 bar를 조사하였다. 6개 bar는 모두 입경이 2mm 이상인 gravel bar이며 3, 5지점을 제외한 나머지 bar들은 유수의 방향을 따라 길쭉한 형상을 하고 있다. bar의 력을 조사한 결과, 상류부에서 하류부로 가면서 입경이 감소하며 원마도는 증가하였다. bar의 형상은 수위변동, 하도경사, 형상계수 등에 따라 국지적으로 다르게 변화한다.

주요어 : 바아, 바아의 형상, 분급, 입자 구조

**Abstract :** Bars in a river bed show the flow of the river, the shape of a river bar can be easily measured in any river. The purpose of this study is to research the morphological characteristics of river bars. The case study area is the lower Golgi River, six bars were examined. All six bars are gravel bars with a grain size in excess of 2 millimeters. Four of the bars are longitudinal bars, in which the direction of the bar follows the river current. After analyzing the gravel in the bars, it was determined that as the gravel flows down the river, gravel grain size decreases while grain roundness increases. The shape of bar varies locally according to flow regime, channel slope, and w/d ratio.

Key Words : bar, the shape of bar, grain size distribution, grain structure

## 1. 서 론

### 1) 연구목적

하천은 그 흐름을 통해 물질을 운반 퇴적시키기도 하고 하상 혹은 주변 제방을 침식하기도 하면서 다양한 하천지형을 형성한다. 그러나 이렇게 형성된 하천지형들은 그대로 머물러 있는 것이 아니라 다시 흐름 상태를 변화시킨다. 물과 운반 물질 사이의 상호작용에 의해서 발생하는 하천지형은 다양한 시간 스케일에서 일어난다. 즉, 유역분지나 하곡의 형성과 같이 지질시간대에 걸쳐서 일어날 수도 있고, 국부 침식(local scouring)이나 bar의 형

성과 같이 수 십년 혹은 그 이하의 짧은 시간 스케일에서 일어날 수도 있다.

bar는 하상의 기복 중에서 가장 대표적인 충적 지형으로 어느 하천에서나 쉽게 발견할 수 있다. 또한, 다른 하상지형에 비해 규모도 큰 편이다. 따라서 그 형태와 물질구성을 통해서 현 하도의 수리적 특징 및 침식, 운반, 퇴적작용 사이의 상호관계를 이해하는 데 유리하다.

본 연구의 목적은 위와 같은 bar의 지형적인 특성을 알아보는 것이다. 이를 위하여, 인위적인 요소가 적으며 자갈하상하천(gravel-bed river)인 골지천의 하류부를 택하였다. 구체적으로 이 논문은 bar의 형태적 특성과 식생, 그리고 bar 구성 물질

\* 본 논문은 석사학위 논문을 재구성한 것임.

\*\* 서울대학교 대학원 지리교육과(Graduate Student, Department of Geography Education, Seoul National University)

의 분급과 원마도, 입자 배열 등을 조사한다. 이 자료를 이용하여 bar의 형성과 하도와의 관계를 알아보았다.

## 2. 연구 지역 개관

골지천 유역분지 중에서도 주요 연구지역은 송천과 합류하는 지점에서 상류방향으로 0.75km, 여량리부터 21.85km 떨어진 낙천리까지의 구간이다. 이 구간은 곡률도가 2.07로 비교적 높고 하도 경사는 약 0.8%이며 사력이 풍부하여 여러 종류의 bar가 잘 발달해 있다. 또한, 보(淤)와 같은 인위적인 요소가 적어 자연 상태의 bar 발달에 관한 연구를 하기에 적합한 곳이다. 이 일대의 지질을 보면, 중생대 쥐라기의 대보화강암, 선캄브리아기의 변성암 종류인 원남층군, 고생대 조선계에 속하는 대석회암층군이 대부분을 차지하고 있다.

## 3. bar의 형상과 식생

bar는 국지적으로 하상물질이 퇴적되어 이루어진 지형이며 충적하도(alluvial channel)의 일반적인 특징이다. 대략 그 크기는 하폭보다 작거나 같으며 고도는 수심과 비슷한 값을 가진다(Church and Jones, 1982, p.292). bar는 형성기간이 수 년에서 수십 년정도로 짧고 그 형상이 다른 퇴적지형들에

비해 쉽게 변화한다.

연구지역에서 발견되는 bar들은 입경이 2mm이상인 전형적인 gravel bar이다. 연구지역에는 총 38개의 bar가 관찰되었다. 이 중 인위적인 교란이 적고 관찰이 용이한 6개 지점의 bar를 선택하여 조사하였다.

bar의 형상은 평면, 횡단면, 종단면의 3가지 측면에서 살펴볼 수 있다. 우선 6개 bar의 평면도를 보면, 3지점과 5지점을 제외한 나머지 bar들은 모두 유수의 방향을 따라 길쭉한 형상을 하고 있다. 그리고 bar의 장직경이 단직경의 2-6배에 달한다. 6개 bar중에서 2, 6지점은 한쪽 하도에 거의 붙어 있는 반면에 4, 5지점은 하도의 정가운데 위치하여 양쪽 하도의 하폭이나 수심이 거의 비슷하다.

bar의 종단면과 횡단면은 수면을 기준으로 하여 판토크미터(Pantometer)<sup>1)</sup>로 측정을 했다. 종단면과 횡단면의 특성을 보면, bar의 외연부에서 중심부로 갈수록 볼록한 형태를 보인다. 1, 2, 6지점은 수직성장이 1m 이상 이루어져 다른 지점에 비해 높다.

bar가 어느 정도 수직적인 성장을 하게 되면, 유수의 힘이 미치지 못하는 곳에 식생이 정착하게 된다. 이러한 식생은 bar상의 물질들을 고정시키면서 점차 그 밀도를 높여가게 된다. bar표면에 대한 식생의 피도(coverage)<sup>2)</sup>가 높을수록, 그 식생이 모래, 실트 같은 세립질을 포획하여 bar의 수직성장이 급속히 이루어지게 된다. 그러나 bar는 다른 퇴적지형에 비해 하천이 범람할 때마다 침수되어 주기적으로 식생이 교란되는 지역이다. 따라서 식생

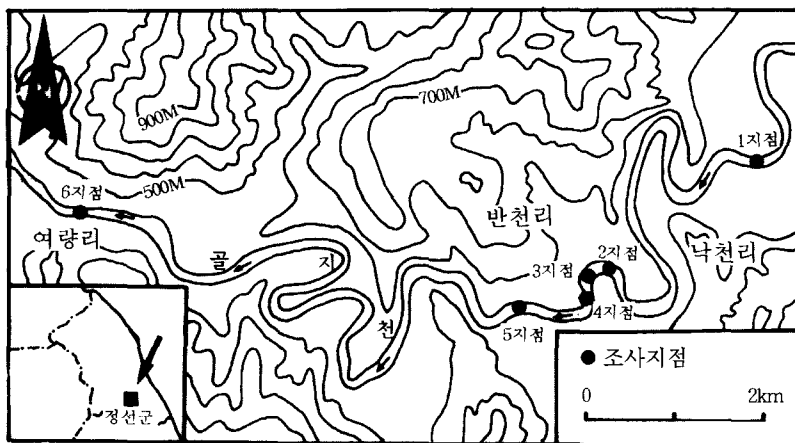


그림 1. 연구지역

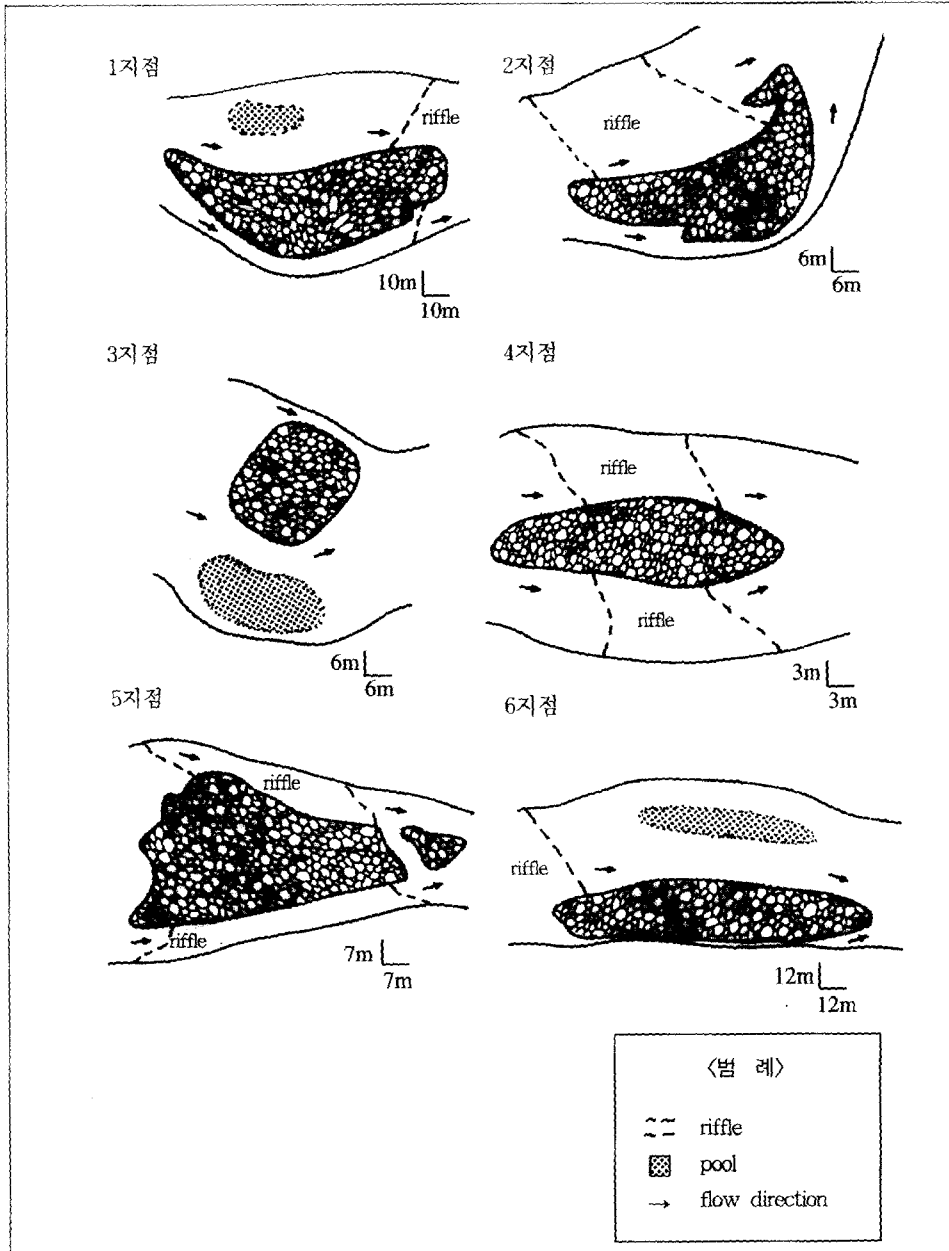


그림 2. bar의 평면도

이 다양하지 못하며, 1-2개의 수생관속 식물이 주로 자라게 된다.

연구지역에 많이 분포하는 식생은 환삼덩굴, 줄, 애기부들, 물쭉 등이며 일년생 초본 식물이 대부분이다. 식생의 키는 약 20cm 에서 50cm 정도이다. bar 전체 면적에 대한 모든 식생의 피도는 (그림

4)와 같다. 각각의 식생에 대한 밀도는 bar지점에 따라 각기 다르게 나타난다. 피도가 가장 높은 곳은 4지점이다. 수직 성장이 높았던 1, 2, 6지점에 비해 4지점이 높은 걸로 보아 수직 성장과 식생 정착은 반드시 비례하지는 않음을 알 수 있다.

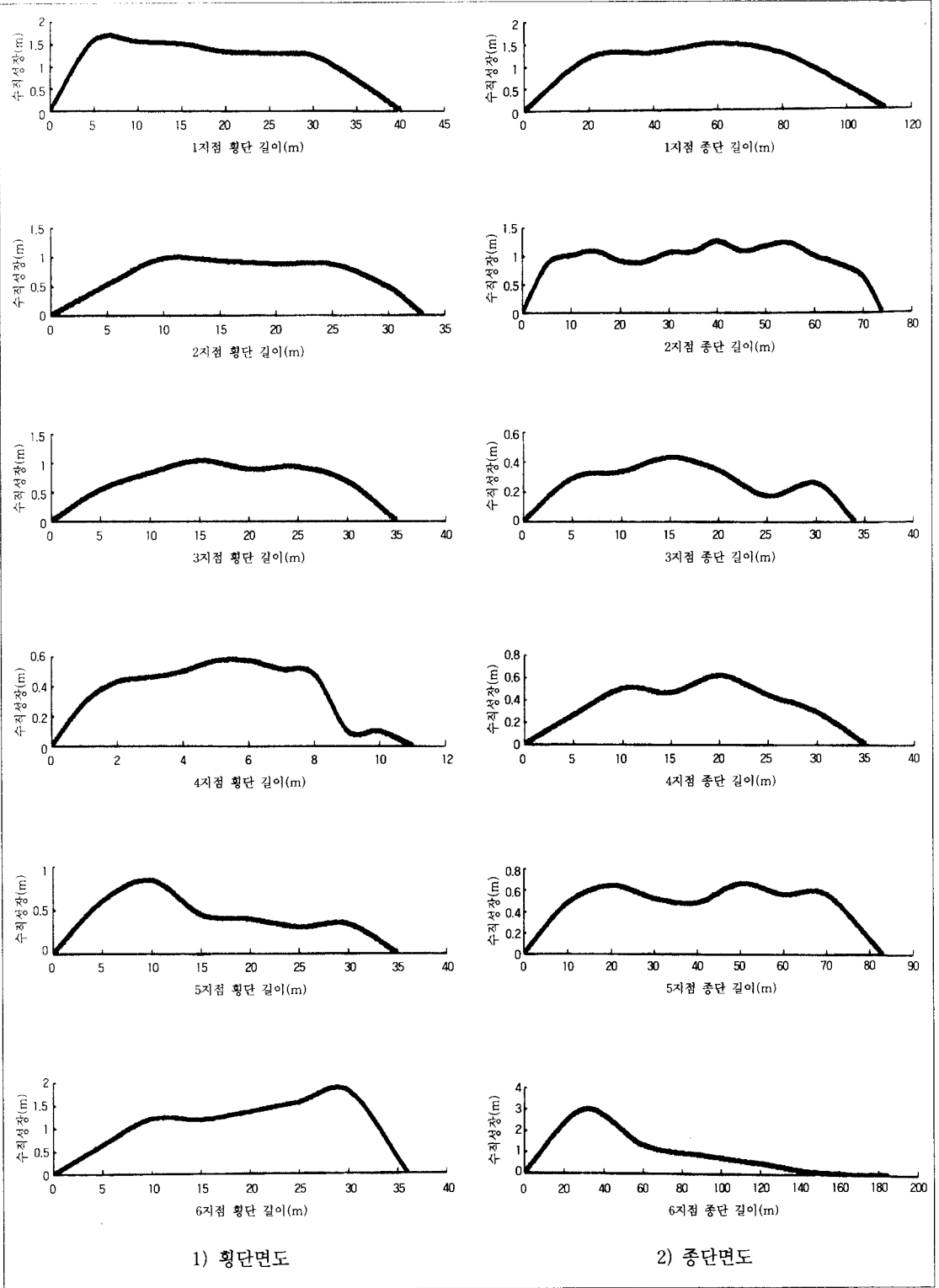


그림 3. bar의 횡단면도와 종단면도

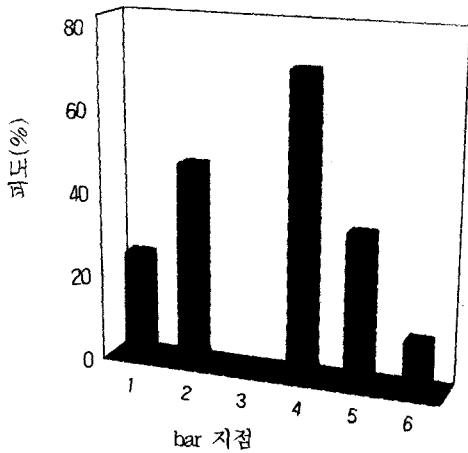


그림 4. 식생의 피도

#### 4. bar 구성 물질의 특성

##### 1) 입경

하도에 대한 bar의 분급효과를 조사하기 위해 6개 bar의 상류부와 하류부로 부터 표면에서 샘플 채취한 것을 인접 하도의 것과 비교하였다<sup>3)</sup>. (그

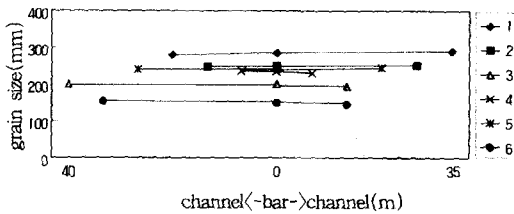


그림 5. bar의 상류부와 인접 하도의 입경 비교

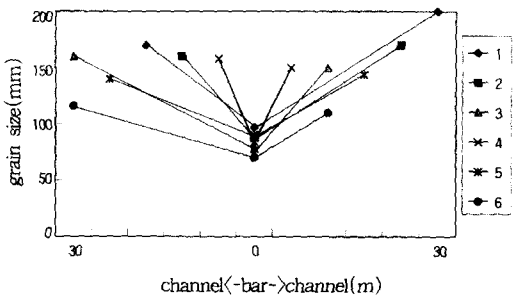


그림 6. bar의 하류부와 인접 하도의 입경 비교

림 5)과 (그림 6)는 각각 bar와 인접하도의 물질 입경을 비교한 것인데, bar의 상류부의 경우 6개 지점 모두 하상물질과 그 입경이 비슷하나 하도의 폭에 따라 약간의 입경 차이가 나타난다. bar의 하류부와 인접 하도의 입경은 6개 지점 모두 bar에 비해 인접 하도의 입경이 큰 것으로 나타났다. 특히 bar의 수직적 성장이 어느 정도 이루어져 있는 1, 2지점과 식생의 피도가 높은 4지점이 하도물질에 비해 bar물질이 현저히 작다.

위와 같은 결과로 볼 때, bar는 하류부로 가면서 세립화되나 하도는 일반적으로 그렇지 않다는 점을 알 수 있다. 그리고 bar가 인접 하도쪽으로 성장함에 따라 조립질의 하상퇴적물에 세립질의 bar 물질을 겹쳐 놓게 된다.

bar는 어느 정도의 크기와 안정 상태에 이르게 되면 표면에서도 분급이 이루어지게 되는데, 대개 상류부는 조립질, 하류부는 세립질로 이루어지게 된다. 그러나 이러한 분급은 bar의 크기, 유량과의 관계, 입경, 식생의 발달 등에 따라 달라지게 된다.

(그림 7)과 같이 연구지역내 bar들은 상류부에서 하류부로 가면서 입자의 크기가 줄어드나 그 비율은 bar마다 일정치 않다.

6개 지점의 bar중에서 가장 감소율이 두드러지는 곳은 4지점과 3지점의 bar이다. 가장 길이가 긴 6지점의 bar는 오히려 감소율이 가장 낮게 나타났다. 4지점의 경우에는 식생의 정착이 두드러지게 나타나고 bar가 안정되어 있어 bar의 규모는 작으나 분급이 잘 이루어져 있는 편이다. 3지점의 경우에는 식생의 정착도 거의 없고 bar의 수직적 성장이 크게 이루어지지 않았다. 그러나 하류부의 세립질이 다른 지점에 비해 입경이 아주 작기 때문에 감소율이 크게 나타나고 있다. 6지점의 경우에는 bar의 길이가 너무 길어 상류부는 조립질이 많으나 중간 부분과 하류 부분간에 입경변화가 작아 감소율이 가장 낮게 나타난 것으로 사료된다.

##### 2) 암석의 종류

bar를 구성하는 물질은 하천의 운반물질 중 일부가 쌓인 것이다. 또 이러한 운반 물질은 유역분지내에 있는 기반암으로부터 떨어져 나온 암편들이 유수를 통해 이동되는 것이다.

연구지역의 하도나 bar에서 주로 발견된 암석은

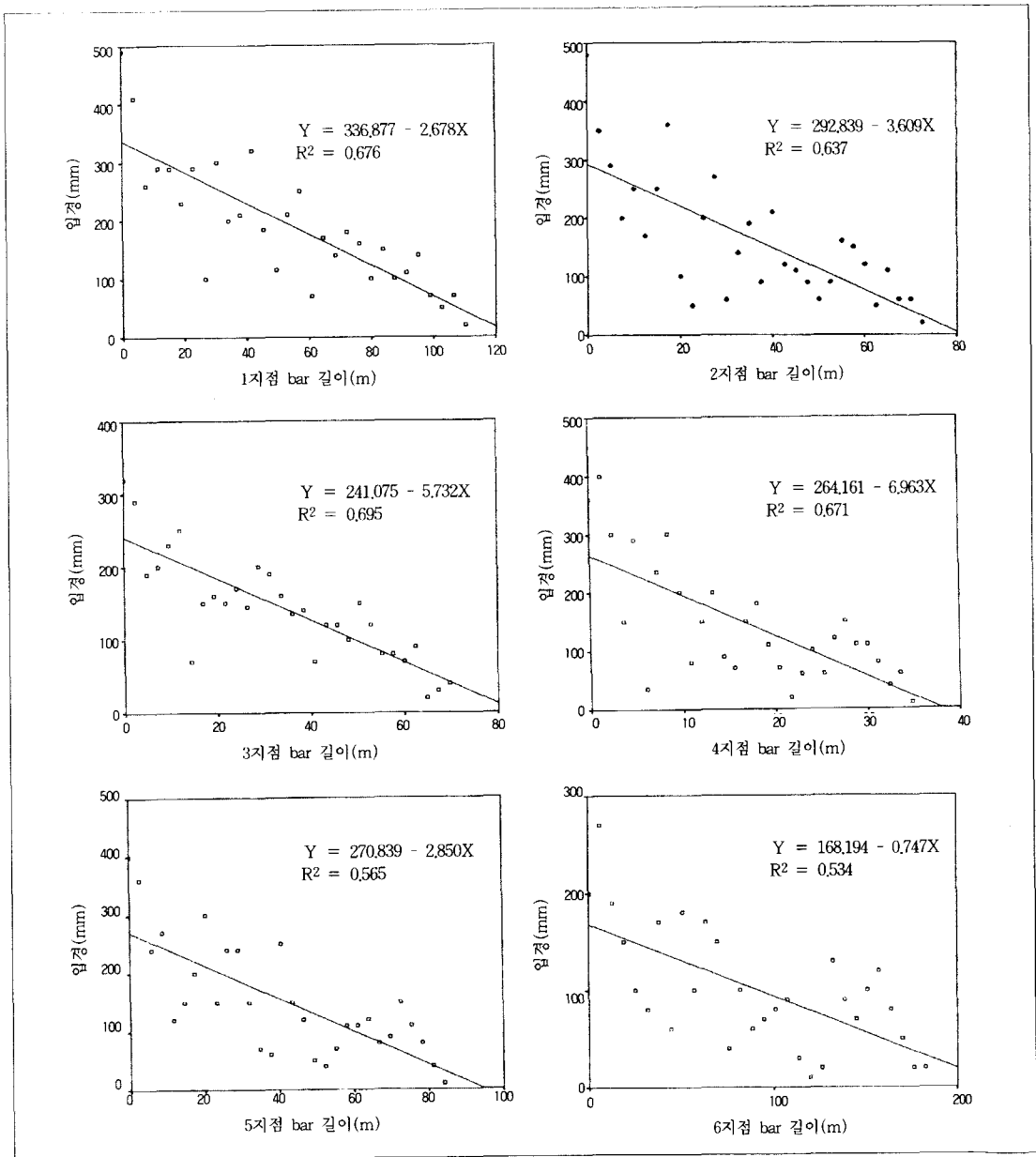


그림 7. 입경과 bar 길이와의 관계

화강암, 사암, 편마암, 석회암 등이며 일부 셰일, 규암, 역암, 점판암 등이 나타난다. (그림 8)는 각 지점별 암석의 종류를 표시한 것인데 크게 화강암, 편마암, 사암 및 석회암, 기타 암석으로 나누었다. 전 구간에서 가장 많은 비율을 차지하는 것은 화강암이다. 이는 유역분지의 북부지역에 넓게 분포하고 있는 대보화강암이 그 근원인 것으로 사료된다.

화강암이 전 구간에서 가장 많은 비율을 차지하고 있기는 하지만 6지점으로 갈수록 화강암의 비율이 약간씩 줄어드는 대신 사암 및 석회암, 기타 암석의 비중이 점차 높아져 가는 것을 알 수 있다. 석회암의 비율이 점차 높게 나타나는 이유는 유역분지의 남서부지역에 넓게 나타나고 있는 대석회암층군에서 공급된 것으로 사료된다.

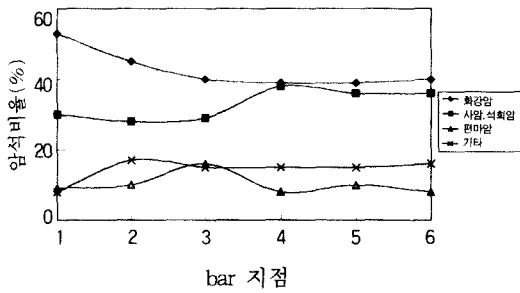


그림 8. 암석의 분포 비율

### 3) 원마도

원마도는 퇴적물이 운반과정에서 마모된 상태를 알아보는 지표이다. 이러한 원마도를 알아보기 위하여 각력, 아각력, 아원력, 원력의 4등급으로 구분된 Reichelt의 도표를 이용하여 조사지점에서 채취된 력을 대상으로 구분하였다. 하류로 가면서 각 조사지점 bar와 주변하도의 원마도를 정량적으로 비교하기 위하여 아래와 같은 상대적인 원마도 (Ru)를 구하였다(김중욱, 1991, p.23).

$$Ru = 1/8 \sum_{i=1}^4 (Ag \cdot X)$$

Ag: 도표를 이용하여 판별한 원마도  
(각력 1, 아각력 2, 아원력 3, 원력 4)  
X: 퇴적물의 개수

이 식으로 구한 원마도의 값은 200개 모두 각력 이면 25이며 200개 모두 원력이면 100이 된다.

(그림 9)에서 알 수 있듯이 bar를 구성하는 력이나 하상물질 모두 하류로 갈수록 원마도가 모두 증가한다. 그런데, bar물질보다는 하상물질의 원마도가 높게 나타난다. bar상의 력들은 이미 퇴적되

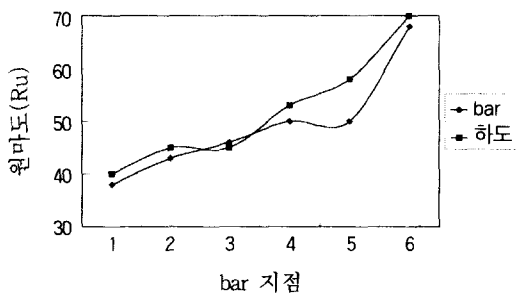


그림 9. bar간의 원마도 비교

어 마모될 기회가 적은 반면 하도내의 물질은 계속해서 유수 혹은 하상과의 접촉으로 인해 원마도가 증가하기 때문이다.

력의 입경과 원마도의 관계를 보면, boulder (256mm 이상)이상의 크기와 cobble(64-256mm)이하의 크기에는 아각력이 많았다. cobble크기의 입경에서는 아원력과 원력이 많이 발견되었다. boulder이상의 역들은 주변 제방에서 침식된 것들이 많아서 이동거리가 짧기 때문에 원마도가 별로 진행되지 않았으며, pebble(2-64mm) 크기의 력들은 이동거리 길지만 력과 력 혹은 력과 기반암과의 충돌 때문에 큰 입자들이 거칠게 쪼개지면서 오히려 원마도가 진행되지 않은 것으로 사료된다.

암종과 원마도와와의 관계를 보면, 조사지역의 경우 화강암은 하류로 갈수록 원마도가 높게 나타났다. 반면에 편마암이나 규암, 석회암 등은 상대적으로 낮게 나타났다.

위와 같은 원마도는 bar내에서도 달리 나타나는 데, 상류부보다는 하류부의 원마도가 더 높다. 이는 하류부에 있는 입자들의 크기가 상류부에 비해 상대적으로 더 작고 구형도도 높으며 이동거리도 더 길기 때문이다.

### 4) 입자 구조

bar를 형성하는 물질은 주변 하상에서 공급된 것이다. 이때 하천의 수위에 따라 다양한 크기의 입자들이 퇴적된다. 이러한 입자들은 그 크기에 따라 분류되면서 특이한 형태의 입자 구조 (grain structure)를 이루게 된다.

연구지역에서 많이 발견되는 입자구조는 와상구조(imbrication), pebble cluster<sup>4)</sup>, transverse clast dams<sup>5)</sup> 등이다. 와상구조의 경우에는 bar의 상류부와 하류부 모두에 나타난다. 특히 pebble cluster와 연결되어 나타나는 경우도 많다. 와상구조의 방향은 흐름이 집중되는 하도 쪽에서 그렇지 못한 하도 쪽으로 비스듬히 나타나는 경우가 많고 그 길이는 대략 0.5-1.5m 정도이다.

pebble cluster의 경우에는 boulder의 돌출이 두드러지는 곳에서 많이 나타난다. 주 분포지는 bar의 상류부와 중간 부분이다. 조립질 뒤에 나타나는 세립질의 길이는 조립질의 크기에 비례한다. 연구지역에서 boulder의 크기는 약 400-600mm이며, 세립

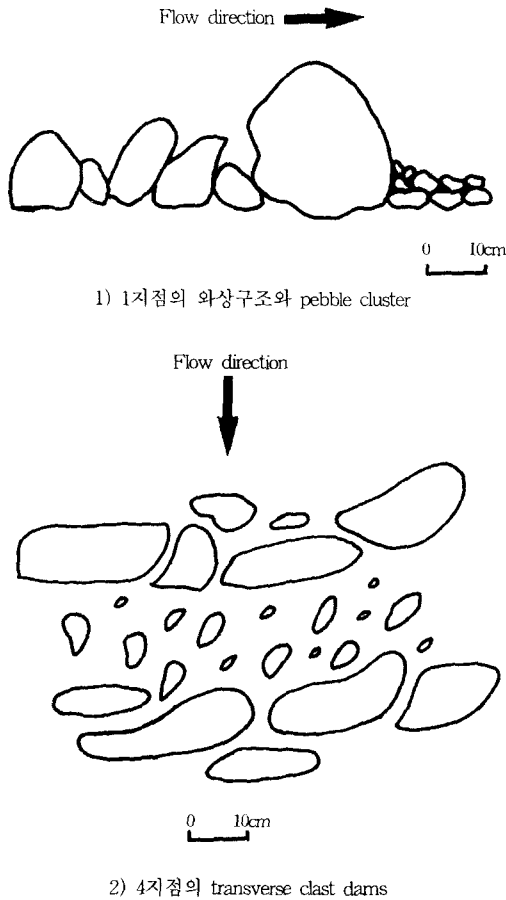


그림 10. 입자 구조

질의 길이는 대략 10-30cm 이다.

transverse clast dams는 bar의 중간부와 하류부에서 많이 나타난다. 그 종단길이는 대략 0.5-2m사이이다. transverse clast dams의 뒤에 나타나는 세립질의 경우 두드러지게 나타나지 않는 곳도 있다. 이 형태가 bar의 하류부에 나타나는 경우에는 bar가 하류방향으로 확장되면서 계단상의 형태를 갖추게 되는데 특히 4지점에서 이와 같은 형태를 볼 수 있다.

### 5. bar의 형성과 하도와의 관계

bar는 하상물질이 이동되어 퇴적된 지형이다. 하상물질이 이동하는데 가장 영향을 미치는 것이 하천력(stream power)이다. 하천력은 유량과 하도경

사로 이루어진다.

사질하상 하천(sand-bed river)의 경우에는 입자의 크기 범위가 2mm 이하이기 때문에 일정한 유량이면 대부분의 입자들이 전부 이동된다. 연구지역의 bar는 구성 물질 입경이 2mm에서 800mm에 이르기까지 다양하다. 따라서 유량변화에 따라 같은 크기의 물질이 부유상태로 이동될 수도 있고 혹은 하상물질의 형태로 이동될 수도 있다.

연구지역의 수문조사연보(1984-1993)에 따르면, 각 연도에 따라 약간의 차이는 있으나 장마기인 7월 말과 8월 초, 태풍의 영향을 받는 9월 그리고 융설수의 영향으로 4월의 수위가 가장 높았다. 따라서 이때의 수위차에 따라 하상물질들이 이동 혹은 퇴적되어 bar를 형성시킨 것으로 사료된다. 그러나 2,3,4지점과 같이 비교적 가까운 거리에 있는 bar들은 유량의 변화를 비슷하게 겪었을 것으로 사료된다. 따라서 bar의 형성에 유량의 변화만이 작용했다고 보기는 어렵다.

같은 유량일 경우, 하도경사가 큰 구간에서 물질의 이동이나 주변 제방 침식력이 높게 나타난다. 6개 bar 구간의 평균 하도경사는 1.14%이며, 주변 하도의 riffle구간의 경사는 평균 1.12%이다. Hooke(1986)에 의하면, 초기의 bar는 높은 하도경사 구간에서 형성되어 퇴적물을 축적해감에 따라 국지적인 경사를 증가시키나, bar가 수평적으로 커가고 측방성장을 거듭함에 따라 이러한 경사는 점차 낮아지게 된다고 한다. 실제로 1지점은 1년 후에 규모가 커지면서 하도경사가 1.13%에서 0.98%로 감소하였다(그림 11 참조)

형상계수(width/depth ratio : w/d ratio)가 크다는 것은 하상침식보다는 주변의 제방침식이 더 활발히 이루어짐을 의미한다. 이런 지역은 운반물질이 풍부하고 수심이 얇은 관계로 하상 전단력(bed shear stress)이 크며 분산류(divergent flow)가 발생하여 하상지형 형성이 용이하다.

그러나 일단 bar와 같은 하상지형이 형성된 후에는, 이것이 흐름을 방해하여 하도의 형상계수를 증가시킨다. 즉, bar가 하도의 가운데에 형성됨으로써 흐름을 양쪽 하도로 분산시키게 된다. 이때 하상 침식보다는 주변 제방을 침식하게 되어 수심에 비해 하폭을 넓히게 된다. 따라서 주변 제방의 지질적 조건과 하상 기반암 조건이 침식에 용이하다



면, bar가 성장할수록 형상계수가 커지게 된다.

연구지역의 bar구간의 평균 형상계수는 6.1이다. 전체 하폭에서 bar가 차지하고 있는 비율은 약 20%에서 40% 정도이다. 그리고 하도 주변이 point bar와 범람원, 하안단구에 연결된 구간이 많다. 따라서 앞으로 bar가 측방으로 성장해감에 따라 형상계수도 커질 것으로 사료된다.

bar는 고정된 지형이 아니라 하천의 수위변동에 따라 변화하는 역동적인 지형이다. (그림 11)은 1지점과 2지점 bar의 변화된 양상을 보여준다. bar의 수직성장은 크게 진행되지 않았으나 외연부의 모양이 상당히 바뀌었음을 알 수 있다.

## 6. 요약 및 결론

본 연구에서는 골지천의 하류부에 발달한 bar 지형의 형상적 특성, 구성 물질, 하도와의 관계 등을 분석해 보고자 하였다. 구체적 분석 결과는 아

래와 같다.

- 1) 6개 bar 중에서 3, 5지점을 제외한 나머지 bar들은 모두 유수의 방향을 따라 길쭉한 형상을 하고 있다. bar의 장직경이 단직경의 2-6배에 달한다. 2, 6지점은 한쪽 하도에 거의 붙어 있는 반면에 4, 5지점은 하도의 정가운데에 위치하여 양쪽 하도의 하폭이나 수심이 거의 비슷하다.
- 2) 하도와 bar의 구성물질 분석 결과, 하도 물질이 bar상의 력들에 비해 입경이 더 컸으며, 원마도는 더 높았다.
- 3) bar상의 력들은 상류부에서 하류부로 가면서 입경이 감소하며 원마도가 증가하였다. bar상의 력들을 판별해 본 결과, 화강암이 가장 많았으나, 상류의 1지점에서 하류의 6지점으로 가면서 사암, 석회암, 그리고 기타 암석의 비율이 높아진다.
- 4) bar표면의 입자구조를 보면, 와상구조와 pebble cluster, transverse clast dams 등이 관찰되었다.

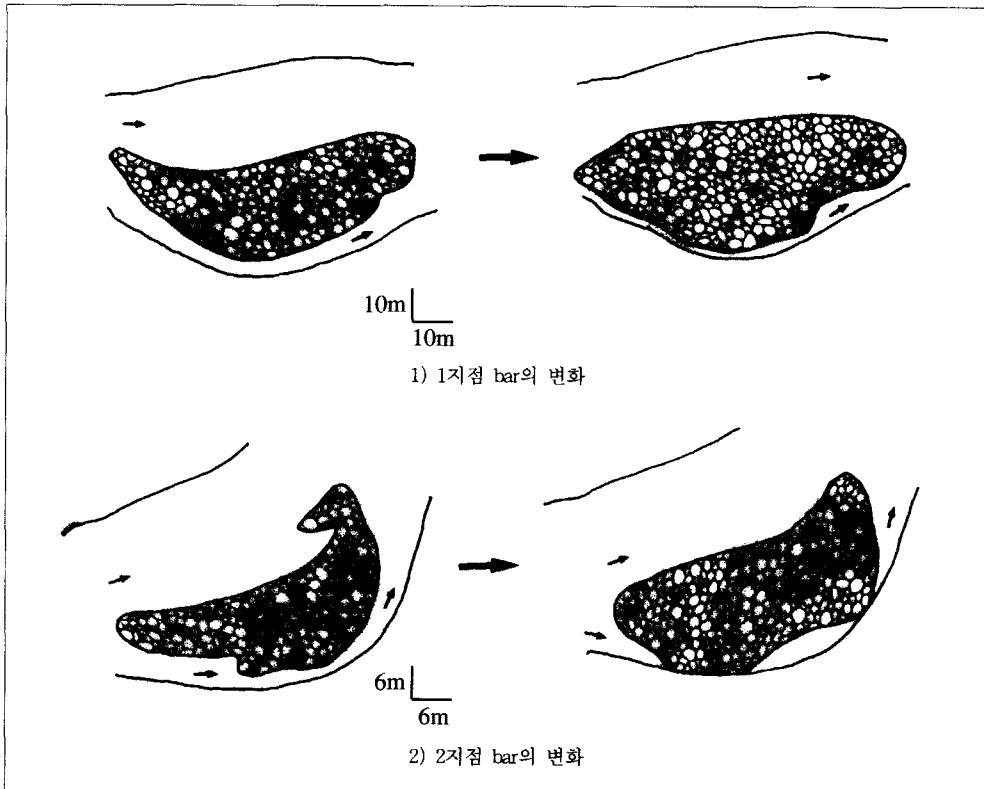


그림 11. bar의 변화(1994년 7월 → 1995년 7월)

pebble cluster는 주로 bar의 상류부에서 관찰되었으며 그 길이는 대략 0.5-1.5m이다. transverse clast dams는 bar의 하류부에서 많이 관찰되었으며 그 길이는 대략 0.5-2m이다.

- 5) 6개 지점 bar 구간의 평균 하도 경사는 1.14%이며, 평균 w/d 비율은 6.1이다.

### 註

- 1) 판토크미터는 원래 사면 경사를 재는데 사용되는 기구이며, 이를 이용한 논문으로는 다음과 같은 것이 있다. 김훈기, 1995, 사면 단면 분석을 통한 사면 형태의 특성에 관한 연구-송천 유역분지를 사례로, 서울대학교 석사학위논문.
- 2) 피도는 다음과 같이 구하였다.  

$$\text{피도}(\%) = \frac{\text{전체 식생이 덮고 있는 면적}}{\text{bar의 면적}} \times 100$$
- 3) bar와 하도의 riffle구간에서 일정한 간격으로 각각 200개의 렉을 채취하여 입경, 원마도, 암석의 종류를 측정하거나 판별하였다.
- 4) boulder 크기의 거력이 장애물 역할을 하여 흐름을 방해함으로써, 뒤에 pebble이하 크기의 물질이 쌓이게 되는 것을 말한다(Richards and Clifford, 1991).
- 5) 유수 방향에 수직으로 커다란 렉들이 일종의 댐을 형성하고 있는 형태이다(Bluck, 1987).

### 文 獻

- 김종욱, 1991, "하천지형발달에 관여하는 주요 변수들간의 기능적인 관계에 관한 연구 : 신리천, 사천내, 군선강을 사례지역으로 하여", 지리학, 26, 1-29.
- 손명원, 1985, "내성천 상류 bar의 형성과정", 지리학, 31, 32-41.
- 손 일, 1983, "하도변천에 의해 형성된 하안 퇴적지에 관한 연구-영산강 중류를 대상으로-", 지리학논총, 10, 347-358.
- Bluck, B.J., 1987, Bed forms and clast size changes in gravel-bed rivers, in K.Richards(ed.), *River Channels : environment and process*, Basil Blackwell, 159-178.
- Cant, D.J., 1978, Bedforms and bar types in the south Saskatchewan River, *Journal of Sedimentary Petrology*, 48(4), 1321-1330.
- Church, M. and Jones, D., 1982, Channel bars in gravel-bed rivers, in R.D.Hey, J.c.Bathurst and C.R.Thorne(eds.), *Gravel-bed Rivers*, John Wiley and Sons Ltd., 291-338.
- Hooke, J.M., 1986, The significance of mid-channel bars in an active meandering river, *Sedimentology*, 33, 839-850.
- Larone, J.B. and Carson, M.A., 1976, Interrelationships between bed morphology and bed-material transport for a small, gravel-bed channels, *Sedimentology*, 23, 67-85
- Lewin, J., 1976, Initiation of bedforms and meanders in coarse-grained sediment, *Geological Society of America Bulletin*, 87, 281-285.
- Naden, P., 1987, Modelling gravel-bed topography from sediment transport, *Earth Surface Processes and Landforms*, 12, 353-367.
- Richards, K. and Clifford, N., 1991, Fluvial geomorphology : structured beds in gravelly rivers, *Progress in Physical Geography*, 15(4), 407-422.
- Smith, N.D., 1970, The braided stream depositional environment : comparison of the Platte River with some Silurian Clastic Rocks, North-Central Appalachians, *Geological Society of America Bulletin*, 81, 2993-3014.
- , 1971, Transverse bars and braiding in the lower Platte River, Nebraska, *Geological Society of America Bulletin*, 82, 3407-3420.
- , 1974, Sedimentology and bar formation in the Upper King Horse River, a braided outwash stream, *Journal of Geology*, 82, 205-223.