

분수계의 지형적 개념과 기능*

이민부** · 한주엽***

Geomorphic Conception and Function of the Divide*

Min-Boo Lee** · Joo-Yup Han***

요약 : 분수계는 지형적 실체이며, 지역의 지형 연구 분야에서 자연적 경계로서 설정된다. 분수계는 수계, 산계, 유역 등의 지형 요소들과 연관된다. 분수계의 지형 형성과 기능은 경사의 법칙, 구조의 법칙, 분수의 법칙, 그리고 계층의 법칙으로 설명될 수 있다. 분수계는 구조적 형성과정과 기후적 삭박과정을 통하여 변화한다. 지형 분수계는 능선 분수계, 하천 분수계, 폐쇄 분수계, 세달 분수계, 문턱 분수계, 세포형 분수계 등으로 유형화될 수 있다. 지하수 분수계는 대개 지형의 기복을 반영하지만, 지역의 지질구조, 암석, 파쇄대 등으로 인하여 지형 분수계와 일치하지 않을 수 있다. 분수계의 법칙의 예외로서 설명되는 분수계의 일반적 단면은 선형이 아닌 대상 혹은 지대로서 나타난다. 분수계를 물의 흐름을 분리하는 곳으로 볼 때, 지형 분수계는 지표면의 고도에 의해서 결정되며, 지하수 분수계는 지형, 지질 구조, 선구조적 지형 요소들의 배열, 지층의 방향을 고려하여 결정된다.

주요어 : 분수의 법칙, 지형 분수계, 지하수 분수계, 분수계의 유형, 분수계의 설정

Abstract : The divide exists as a geomorphic substance and acts as function of natural bordering in the geomorphological studies of the region. The concept of divide is interconnected with those of drainage network, drainage basin and mountain range. The geomorphic formation and function of the divide can be interpreted by the laws of declivities, structure, divides, and hierarchical orders. The divide evolves through tectonic processes and climatic degradation. The geomorphic divide types can be classified into ridge-line divide, stream divide, endorheic divide, wash divide, threshold divide and cellular divide. The ground water divide is generally in accordance with the relief of the landform, but strong lithologic and geologic structures and fracture systems interrupt the general conformity between the geomorphic and ground water divides. The general profile of the divide presents the belt or zone appearance explained by an exception to the law of divides. With the role of separating the water flow, the geomorphic divide can be depicted by the elevation of the surface and the ground water divide by relief, structure, and lithology, considering the linear arrangements of geomorphic elements and directions of the bedding.

Key Words : law of the divides, geomorphic divide, ground water divide, type of the divide, determination of the divide

1. 서론

분수계는 물의 흐름을 구분하면서 지표와 지하의 수계, 산지와 구릉지, 평야와 고원 등의 다양한 지형 요소들과 관련되어 있다. 분수계는 지리학, 지역연구, 경관분석, 수문학, 토목공학 등 지표의 자연과 인문현상을 설명하는 과정에서 비교적 많이 사용되는 지형적 개념이면서도 그 자체에 대

한 연구는 거의 없는 편이다(김일기 외, 1997a). 따라서 본 연구에서 분수계의 지형적 의미와 분수계와 연관된 지형 현상을 고찰하고자 한다.

분수계(divide)는 지표수와 지하수를 포함한 각각 표층의 물의 흐름과 방향을 경계짓고 유역을 분리하는 지형적 실체이다. 또한 분수계를 지형형성과정에서 보면 사면의 경사와 방향을 결정하고 물질의 이동의 방향을 경계짓는다. 분수계는 일반

* 이 연구는 1998년도 한국교원대학교 기성회계 학술연구비 지원에 의하여 이루어졌음.

** 한국교원대학교 지리교육과 부교수(Associate Professor, Korea National University of Education)

*** 한국교원대학교 지리교육과 석사(Master of Education, Korea National University of Education)

적인 지형의 형성과정과 마찬가지로 구조적인(tectonic) 생성 과정과 기후적인(climatic) 삭박과정의 결과로서 다양한 형태를 보여주며 지속적으로 변화한다.

분수계의 지형적 연구는 분수계의 정의, 분수계의 형태 분류, 분수계 지형의 발달과정, 유역과 수계에 대한 분석 등을 들 수 있다. 분수계는 물의 흐름과 흐름의 방향과 관련된 지형 개념이다. '물은 흐르기 쉬운 곳으로 또는 가장 적절한 통로를 통하여 이동한다(Fetter, 1994; Yamamoto, 1983)'는 가정을 바탕으로 물의 흐름을 제어하는 지형적, 지질적 요소들에 대하여 생각할 수 있다.

분수계에 대한 지형 분석 연구는 지형학 연구 자체 외에도, (1) 지역의 경관 발달 과정(landscape evolution)의 분석, (2) 정확한 유역 경계 설정을 통한 유역관리(drainage basin management)와 수자원 관리 체계 구축, (3) 환경적 갈등 지역간의 지형적 권역 설정의 기본 자료, (4) 생물상(biota)의 분포와 종의 분화(speciation)의 범위와 경계 설정 등에 적용될 수 있다.

2. 분수계 관련 연구

분수계는 유역과 수계와 같은 자연 지역의 구분을 위하여 실제 지형에서 설정된다. 따라서 지형과 관련된 여러 분야에서 언급되고 있으며, 다음이 그 사례들이다.

첫째, 지형 생성(morphogenetic)을 기준으로 이탈리아 포평야(the Po plain)의 지형을 하성 또는 하빙성(fluvioglacial) 지형, 빙하 지형, 해안 지형, 풍성(aeolian) 지형, 구조(tectonic) 지형, 인공(artificial) 지형 등으로 지형을 분류하여 작성한 지형 분류도(geomorphological map)의 예(Castiglioni et al., 1999)에서, 분수계는 분지를 경계짓는 녹색 선으로, 하성 분수계 능선(fluvial ridge)은 중간 밝기의 붉은 색 지대(half-tone red belts)로 나타내는 등, 분수계를 계층(hierarchy)에 따라 지형 분류도에 선 또는 지대로서 표시하고 있다.

둘째, 한국의 지형·토양환경 정밀 지도화 방안 연구(오경섭, 1996)는 지형 형태의 분포와 영력(process)의 유형을 동시에 고려한 범례를 제시하

면서 또한 하천과 사면 퇴적물의 이동 방향이 분수계에 의하여 제어되고 있음을 보여주고 있다.

셋째, 유역 분지의 지형환경과 경관 분석, 유역의 퇴적물 분석, 유역의 지형 발달(조화룡·이금삼, 1998; 황상일, 1996; Eliet and Gawthorpe, 1995; Newson, 1992)을 설명하는 대상 범위로서, 유역의 범위와 경계를 표시하는 분수계를 설정하고 있다. 고도가 주위보다 상대적으로 높은 지점을 연결하여 분수계를 설정한 이후에 분수계의 경계 내에서 지형현상을 설명하고 있다. 이러한 분수계는 지형학 연구에서 가장 보편적으로 사용되는 지형 현상의 경계조건(boundary condition)이 된다.

넷째, 하천쟁탈에 관련된 지형발달(손명원, 1993; 고기만, 1993; 김정규, 1998; Calvache and Viseras, 1995; Bishop, 1995; Clark, 1989)은 분수계의 변화를 직접 다루게 된다. 하천쟁탈은 일반적으로 3가지로 분류되는데, (1) 고도차가 있는 인접한 하천들에서 낮은 위치에 있는 하천이 두부 침식을 진행하여 높은 위치에 있는 하천을 쟁탈하는 것, (2) 한 하천이 상대적으로 측방침식을 활발히 하여 인접한 다른 하천을 쟁탈하는 것, 그리고 (3) 기반암의 용해에 따른 지중의 쟁탈로 석회암과 같은 가용성 암석에서 잘 일어나는 것으로 나눌 수 있다(손명원, 1993; Bishop, 1995). 하천 쟁탈에 의한 지형발달은 분수계의 변화과정을 지표상의 침식현상과 연관하여 설명하고 있다.

다섯째, 수문학과 수문지질학(Fetter, 1994; Yamamoto, 1983)에서는 다양한 지표 환경, 지형, 지질구조를 고려하면서 지표수와 지하수의 이동과 물수지, 수질 등을 지역적 범위나 특정 지질, 지형적 범위 내에서 밝히기 위해 분수계를 설정한다. 지역적 범위나 지형적 범위는 바로 분수계를 의미하며 이때의 분수계는 지표수는 물론 지하수에 대해서도 경계 조건으로 작용한다.

따라서, 분수계는 지형적 실체인 동시에 연관된 다른 지형 및 수문, 인문 환경 등을 설명하기 위해서 설정되기도 하는 경계선 또는 경계지대이다.

3. 분수계의 개념적 특성

지형용어로서의 분수계는 많은 지형 개념들과

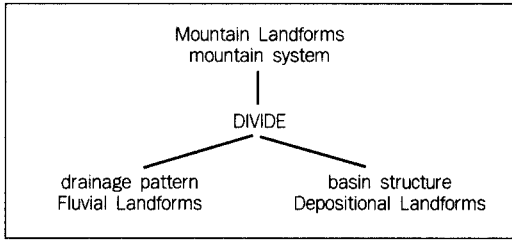


그림 1. 분수계의 지형적 개념들

연계되어 있어 다양한 지형 분석에 응용되고 있다. 지형적 개념들의 사례를 보면(그림 1), 분수계는 유역과 산맥 사이에 연결된 위치에 있으며 수계, 산지, 산계, 고원, 하천, 구릉지, 침식 평야, 분지 등의 지형들과 연관된다. 또한 분수계는 용기, 습곡 등 구조적으로 생성되어 삭박 또는 침식 작용으로 지속적으로 변형된다.

분수계는 대체로 지형상 가장 높은 고도의 산계를 따르나 꼭 일치하는 것은 아니다. 하천쟁탈로 인한 유로 변화에 의하여 최고봉이 고립되어 나타날 수도 있다. 또한 분수계의 봉우리가 인근의 봉우리보다 더 높았다 하더라도 지속적인 두부침식의 결과로 인근의 봉우리보다 낮아질 수도 있다(김일기 외, 1997a).

분수계는 수계의 경계를 의미하므로 하계망 분석과도 관계가 있다. 실제로 분수계의 구분 작업은 산계나 산열의 확인보다는 유역 범위의 경계를 위해 더 많이 사용되고 있는 편이다. 산계는 용기, 풍화와 침식에 의해 잔존, 쇠퇴하는 등 지속적으로 변하고 있다. 산계는 조산운동, 지각의 용기 등의 구조적인 요인에 의하여 형성된다. 그리고 용기작용이 미약한 경우에는, 외력의 작용, 즉 기후의 작용에 의하여 수계가 발달하면서 산계는 상대적인 고도의 하락, 산체의 면적 감소에 의해 쇠퇴한다. 그러나 강한 암석조건으로 잔존하는 비교적 높은 산봉이나 구조선에 따라 산계의 잔흔이 남아 산계의 형태가 유지되기도 한다. 대략적으로 지형의 높은 지점을 연결하는 산계의 산릉을 분수계로 하여 수계의 영역을 경계짓는다.

수계는 산지가 용기하거나 혹은 침식기준면(level of erosion)이 존재하는 동안에는 지표면에 삭박작용을 계속하면서 풍화물과 침식물을 바다로 운반한다. 따라서 수계는 상류쪽으로 계속 발

달해가고 산지의 부피는 감소하면서 분수계는 고도가 낮아지고 형태는 지속적으로 변형된다. 이 경우 분수계는 보다 복잡해지면서 소멸단계로 진행된다. 분수계의 고도가 낮아지면 산릉부분까지도 저평화(planation, etchplanation, and pediplanation)되면서 하천쟁탈이 빈번해지고 수계의 방향이 자주 변하면서 분수계의 혼란이 나타난다.

4. 분수계 지형 형성의 원리

Gilbert(1877)는 미국 서부 헨리 산지(Henry Mts.)의 지형 발달에 대한 설명 중에서 분수계 지형 형성에 관련된 법칙인 경사의 법칙, 구조의 법칙과 분수의 법칙 등을 제시하고 있다. 또한 분수계는 일정한 크기로 연결된 지형적 단위들이므로 공간 규모에 따른 분수계간의 계층성의 특징도 분수계 지형 형성의 주요 원리이다.

1) 경사의 법칙

지표수를 비롯한 대부분의 침식작용의 기구는 지형의 경사(declivity)가 클수록 강하게 작용한다. 이를 경사의 법칙(the law of declivities)이라고 하며, 경사가 급할수록 침식력은 기하급수적으로 증가한다. 그러므로 가파른 사면은 좀더 빨리 침식되므로 사면의 기복차를 없애고 균등한(uniform) 지형을 생성하게 되는 것이다.

2) 구조의 법칙

침식작용은 암석의 특성의 영향을 받는다. 암석의 강도(resistance)가 작은 곳에서 침식작용은 빨리 일어나므로, 연암은 쉽게 침식을 받고 경암은 돌출되어 남게되는 것이다. 차별침식은 경사의 법칙을 통해 평형에 도달할 때까지 암석의 경연에 의한 차별침식은 계속되는 것이다. 이를 구조의 법칙(the law of structure)이라고 하며, 경암지역은 돌출되어 남게 되고 연암지역은 침식되어져 계곡으로 되는 것이다.

3) 분수의 법칙

분수계 쪽으로 가까이 갈수록 물이 흐르는 사면의 경사가 급해지고 분수계로부터 멀어질수록 사면의 경사가 완만해진다. 산의 정상부근의 단면의 경사가 가장 가파른 현상과 일치하는 것이다. 구조의 법칙과 분수의 법칙(the law of divides)은 사면 지형 형성의 기본적인 원리이기도 하다. 암석의 강도가 높을수록 사면의 경사는 가파르며, 분수계에 가까울수록 사면의 경사가 가파른 것이다.

실제 악지형(badland)의 관찰에서, 분수계에 가까이 갈수록 사면의 경사가 급격히 증가하다가 분수계에 바로 근처에서부터는 경사가 완만해지는 것이다. 이를 분수 법칙의 예외(exception to the law of divides)라고 한다(Gilbert, 1877). 구조의 요인을 고려하지 않고 분수계의 법칙의 예외 법칙이 적용된 악지형의 분수계의 단면도에서 지형 분수계가 지대(divide zone)로 나타나는 것을 알 수 있다(그림 2).

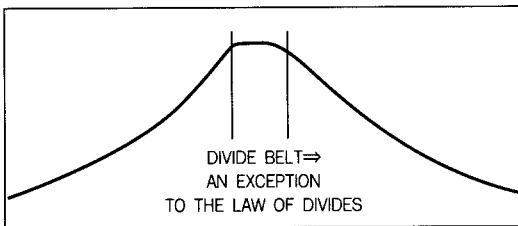


그림 1. 분수 지대
출처: Gilbert, 1877.

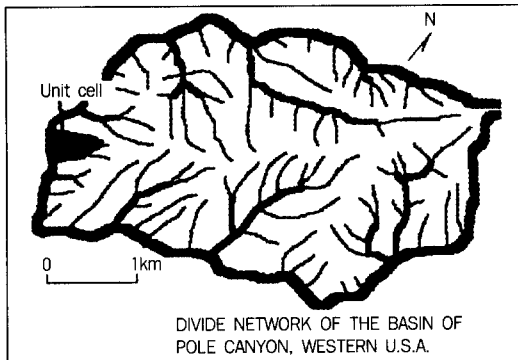


그림 3. 계층의 법칙

출처: Strahler and Strahler, 1992, 300에서 수정

유역 분지 내의 모든 하천에 크기에 따라 구간별로 차수(order)를 매길 수 있다. 차수가 높아짐에 따라 하천의 수는 급격하게 줄어든다. 또한 하천의 유역분지에도 차수를 매길 수 있다(권혁재, 1999). 유역분지의 차수(drainage order)도 하천의 차수가 높아질수록 같이 높아지며, 유역의 면적이 일정한 비율로 넓어지며 분수계도 일정하게 길어진다. 하천의 차수가 가장 큰 유역분지의 분수계는 또 작은 차수의 분지들의 분수계들을 포함하고 있다. 분수계도 계층적으로 서로 연결된 분수계 체계로 인식될 수 있다(the law of hierarchy)(그림 3).

5. 분수계의 변화

분수계는 지형의 일부분이므로 구조적(tectonic), 기후적 지형 형성 작용을 받게 된다. 구조적 요인과 기후적 요인에 의하여 분수계가 각각 변화되는 사례를 들어본다.

1) 하천 쟁탈에 의한 변화

동질적인 사면 구성물질과 동일한 수량 아래, 비교되는 두 사면 상의 침식률은 사면의 경사에 달려 있다. 한 분수계의 양측 사면 중 경사가 가파른 사면은 좀더 빨리 침식을 받아 분수계를 경사가 완만한 사면쪽으로 이동시킨다. 이동은 분수계가 단면상 상호대칭이 될 때까지 계속된다. 분수계의 한쪽의 수로가 다른 쪽의 것보다 빨리 침식되어지면, 분수계는 꾸준히 늦게 침식되어지는 수로쪽으로 이동하며 결국 그 수로에 도달하게

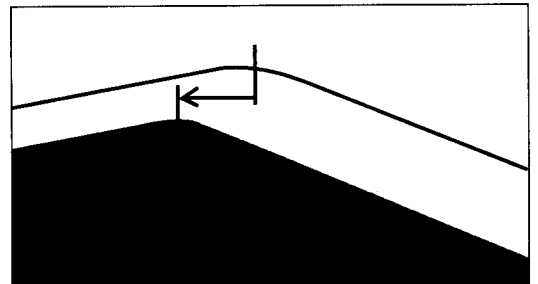


그림 4. 분수계의 변화

출처: Gilbert, 1877.

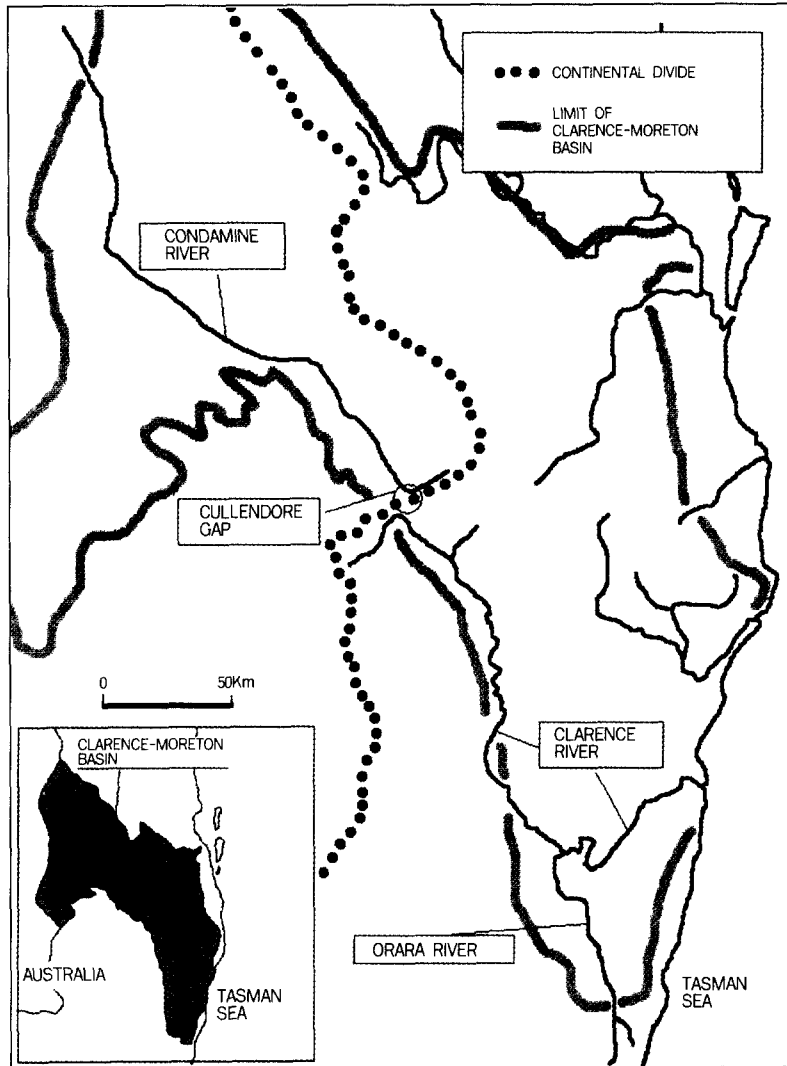


그림 5. 오스트레일리아의 클라렌스강과 대륙분수계

출처: Haworth and Ollier, 1992, 390.

된다. 이때 높은 고도의 계곡상의 하천은 고도가 낮은 쪽의 하천으로 물을 합류하게 되는 것이다 (Gilbert, 1877)(그림 4).

두 개의 하천이 하나의 분수계를 사이에 두고 평행하게 달리면서 비슷한 속도로 침식해가는 중, 하나의 하천이 경암지역을 만났을 때, 방해받지 않은 하천이 앞서르게 되고 계곡으로 잠식해 들어와 결국 하천을 제거(abstract)하게 된다. 경암에 대한 초기의 침식작용은 멈추게 되는 것이다 (Gilbert, 1877). 길버트의 분수계의 법칙과 분수계

의 이동 설명은 분수계의 변화 과정에 대한 일반적인 가이드 역할을 해준다.

분수계는 지류의 말단부를 경계지므로 양면에서 발달하는 두부침식의 영향을 받는다. 두부침식(headwater erosion)이 보다 강하게 나타나는 지류부에 의해 분수계는 변화된다. 두부 침식의 진행이 많은 곳에서는 저평한 구릉지를 이루면서 분수계의 정확한 경계가 흐려지고 결국에는 동일한 유역으로 통합하면서 분수계가 변형되고, 복잡해지면서, 하천쟁탈(river capture or river piracy)에

이르게 된다. 이러한 하천쟁탈이 저평해진 계곡분지상에서 일어나게 되면, 산릉을 따라 형성된 분수계는 분지내를 통과하면서 곡중분수계(divide in valley)가 만들어진다.

두부침식에 의한 분수계의 이동에 있어 단단한 기반암의 장애물은 이동을 느리게 하지만 완전히 방해하지는 못한다. 단단한 기반암도 연약한 부분을 드러내면 하천은 이를 절단하면서 진행한다. 상대적으로 약한 사암이나 세일층이 그 예가 된다. 하천쟁탈의 결과로 나타나는 유로의 역전은 완만히 장시간에 걸쳐서 일어난다. 보다 흐름이 용이한 새로운 하도를 따라 흐르면서 하천 조정(river adjustment)이 일어난다. 이러한 조정은 쉽게 침식에 약한 퇴적지형의 지표를 흐르는 하천이 침식저항이 큰 산지를 흐르는 하천을 장악하면서 발생한다(Morisawa, 1989).

따라서 분수계의 후퇴(retreat)에 의해서 분수계의 변화가 일어나며, 후퇴의 원인은 최상류에서의 두부침식, 홍수에 의한 범람으로 인한 연약부분의 분수계 파괴, 분수계 양사면에서의 경사도 차이에 의한 두부침식 속도의 차이, 하천 쟁탈의 결과 등으로서 발생한다.

2) 열곡 현상에 의한 변화

오스트레일리아의 동부지역 클라렌스강(the Clarence River)은 대륙적 열곡현상(continental rifting)으로 인하여 유로가 역전된 대표적인 사례이다(그림 5). 쥘라기 동안 과거의 클라렌스강(the Condamine-Clarence-Orara)은 클라렌스-몰튼 분지(Clarence-Moreton Basin)의 대부분을 배수하였을 것으로 본다. 백악기 말기에 태즈맨해(the Tasman Sea)로 통하는 길을 따라 클라렌스강은 분지의 동부지역만 배수하게 되었는데, 이는 대륙 분수계가 새로 생성되면서 분지의 중앙을 남북으로 가로질렀기 때문이다. 마이오세의 화산활동은 클라렌스강의 배수구역을 분지의 남서쪽으로 제한하게 하였다. 클라렌스-몰튼 분지의 남동지역은 쥘라기 퇴적층을 형성하는데 열곡현상을 뒤따른 이 지역 동부의 용기의 결과로 서쪽으로 경사지게 되었다. 이 지역에서 클라렌스강이 분지의 서쪽 구석으로 측방이동하도록 하였다. 태즈맨해로

배수가 가능하자, 역전된 클라렌스강은 과거보다 짧고 경사가 가파른 유로를 가지게 되었다. 분지의 중앙계곡축을 따라서 북서방향으로 흘러 내륙으로 배수하던 북동방향의 하천들을 클라렌스강이 쟁탈한 것으로 보인다(Haworth and Ollier, 1992). 지구 내부의 구조적인(tectonic) 영향을 받아 배수구역의 발달과정을 잘 보여주고 있다.

6. 지형 분수계의 유형

지형 분수계(geomorphic divide or topographic divide)는 단순히 지표면의 고도에 따라 결정되며, 지역의 경관 분석에서 지역적 범위를 설정할 때 자주 사용된다. 대체로 고도가 높은 산릉을 따라 표시되며, 이를 능선 분수계(ridge divide or divide ridge)라고 부를 수 있다. 또한 실제 지형에서 분수계는 다양한 형태와 기능을 가지고 있다. 이에 따라 분수계의 명명도 달리할 수 있다. 하천을 지형의 일부분으로 볼 때, 하천이 분수의 기능을 할 수 있으므로 하천 분수계로, 폐쇄 유역을 형성하거나 호수와 같은 지역에서 문턱의 역할을 하는 폐쇄 분수계와 문턱 분수계, 부식평탄화 작용의 지형형성작용의 산물로서 세탈 분수계, 그리고 세포들이 모인 것처럼 형태적으로 세포형 분수계로 부를 수 있다.

1) 능선 분수계

능선 분수계는 다양한 형태로 나타난다. 예를 들면, 산계의 분수계적 표현방법으로 분수계의 단면 형태 분석(김일기 외, 1997a)에서는, 침봉형, 비대칭완사사면형, 비대칭형, 평탄면형, 용식 다분수계형으로 나누고 있다(그림 6). 연결된 산계의 산릉들이 다양한 형태를 띠는 것은 구조(tectonic)운동의 영향, 암석의 차이, 차별 침식 등에 의해 나타난다.

하천이 감입곡류(incised meandering)하는 사이, 또는 하천이 합류하는 지점의 상류부분에서의 하간대(interfluvium)를 고도를 연결하여 능선 분수계로 볼 수 있다. 독립 구릉의 경우, 산정상이 방사상으로 발달하는 수계에 대한 분수계의 역할을 한다.

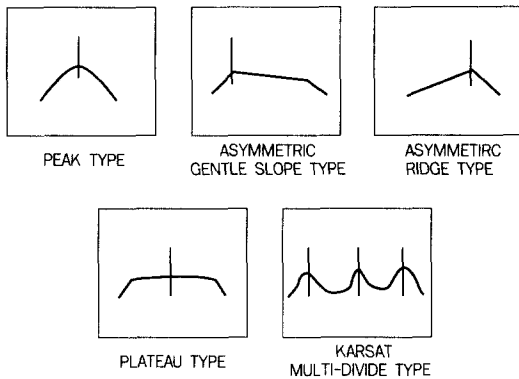


그림 6. 능선 분수계 지형의 단면 형태 사례
출처: 김일기 외, 1997a, 121

카시키아레강을 분수계로 하여 안데스 산맥(the Andes)과 기아나 고지(Guyana Highlands)의 수계가 분리되는 것이다. 하천은 지형의 일부분으로서 볼 때, 하천이 물의 흐름을 분리하는 역할을 할 수 있음을 보여주고 있다.

하천은 지하수면(water table)의 지표면으로의 표출이라고 볼 때, 유입하천(influent stream, losing stream)이 지하수로 물을 충전하거나, 수위가 높아지는 홍수시(flood stage)에 하천이 일시적으로 지하수면을 높이기도 하는 등의 분수계의 역할을 할 때도 있다. 때로는 저평화된 곳에서 하천쟁탈이 진행 중에 있으면서 일시적으로 쟁탈상의 중립적인 상태로 볼 수도 있다.

2) 하천 분수계

남아메리카 베네주엘라(Venezuela)의 남부 지역에서, 오리노코강(the Orinoco)의 상류는 길이 350km의 카시키아레강(the Casiquiare)에 의해, 아마존강(the Amazon)의 상류 지류의 하나인 네그루강(the Rio Negro)과 연결되고 있다(그림 7). 카시키아레강은 넓은 수로(channel)로 기능을 한다. 카시키아레강은 지상에서 두 하천을 연결하는 유일한 강으로 알려져 있다. 즉 하천 자체가 분수계의 기능을 하는 특이한 경우이다. 때때로 카시키아레강은 오리노코강의 유량의 20%를 아마존강으로 흐르게 한다(Webster, 1998; McIntyre, 1985).

3) 폐쇄 분수계

미국 서부지역의 그레이트베이슨(Great Basin)은 습곡산지 로키산맥(Rocky Mountains)과 태평양 연안의 시에라네바다산맥(Sierra Nevada Mountains) 사이에 위치하면서 하천이 바다로 나가는 출구가 막힌, 거대한 내륙 분지 유역이다. 이 폐쇄유역 분지는 단층운동에 의하여 형성된 남북 방향의 작은 분지들로 나누어져 있는데, 제4기 플라이스토세의 다우기(pluvial period)에는 이들 작은 분지들은 많은 독립 유역의 호소를 이루었다. 가장 큰 내륙분지는 과거 본느빌호(Lake Bonneville)의 유역을 형성하고 있는 그레이트솔트호 계곡(Great Salt Lake

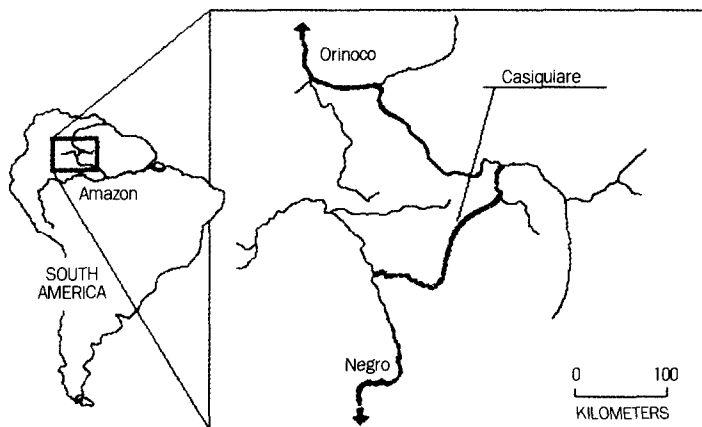


그림 7. 남아메리카의 카시키아레강

출처: Webster, 1998, 10.

Valley)이다(Gilbert, 1890). 그레이트베이슨이 만약에 기후적으로 유량이 풍부한 지역이라면 큰 하천을 이루어 출구를 만들어 바다로 나갈 가능성이 있었겠으나 강수량이 적은 건조지역이기 때문에 큰 하천을 이루지 못하여 내륙의 폐쇄유역을 형성하고 있다. 세계적으로 내륙의 폐쇄유역분지를 형성하고 있는 곳은 중국 서부의 타림분지(Tarim Basin), 중가리아 분지(Dzungaria Basin)와 같이 대륙 내부의 건조 또는 반건조 지역에서 주로 형성되어 있다. 폐쇄유역은 폐쇄분수계(endorheic divide)에 의해 그려질 수 있다. 이들은 분지 바닥의 불투수성(염분, 알칼리각 등)과 증발성 등에 의해 지하수 체계와는 연결되지 않는 수가 많다.

화구호, 용암 언지호, 사태성 언지호, 빙하 권곡호 등 지형적으로 폐쇄된 경우 국지적인 폐쇄유역을 형성할 수 있다. 카르스트(karst) 지역의 함몰지(이민부 · 한주엽, 1999)의 경우 지형적으로 독립적인 폐쇄유역으로 함몰지 주위로 분수계를 설정할 수 있다. 그러나 이들은 지하수 체계에서는 다른 유역의 하천과 연결될 수 있다.

4) 세탈 분수계

열대 또는 아열대 환경에서는 화학적 풍화작용에 의해 두꺼운 표토(regolith)가 형성되어 침식에 쉽게 지표면에서 벗겨져 나간다. 즉 부식평탄화작용(etchplanation)을 말한다. 이중평탄화 이론(theory of double planation)에 의하면, 지표 침식(surface erosion)에 의한 지표면 고도의 저하 속도와 화학적 부식작용(chemical etching)에 의한 풍화전선의 하강속도가 같다고 가정한다. 즉 저기복

의 지표면은, 지속적이며 느린 속도의 지반 융기 동안에도 이중평탄화작용에 의한 지속적인 지형 고도의 저하에 의해 유지된다고 한다. 지형형성과 정 모델에서 부식작용은 열대지역에서 특히 효과적인 작용을 하지만, 열대 지역 외의 기후 지역에서도 모델 적용이 가능하다(Huggett, 1997; Büdel, 1982). 지형적으로 잔류암체가 상대적 고도를 유지하면서 일정기간 동안 세탈 분수계(wash divide)를 이룬다(그림 8).

5) 문턱 분수계

분지에 호수가 형성되면, 분지는 분지의 문턱(basin threshold)의 높이 만큼 최대 수위를 가지므로 분지의 문턱 고도는 궁극적으로 분지용량(basin capacity)을 결정한다. 퇴적물의 부가작용, 문턱에 대한 파이핑(piping)과 굴식(sapping), 지표수에 의한 두부침식, 문턱의 붕괴와 같은 지형적 요인과, 지각평형운동(isostasy), 지진에 의한 변위운동(displacement), 용암류 유입, 화산쇄설물의 퇴적현상과 같은 구조적 요인에 의하여 문턱수준은 변화된다(Currey, 1991). 따라서 문턱 분수계(threshold)는 지형분수계로서 호수의 수위와 수량을 제어한다(그림 9).

문턱 분수계의 지형형성 사례인 미국 서부 지역의 레드락 패스(Red Rock Pass)는 제4기 플라이스토세 다우기(pluvial period) 때에 본느빌호(Lake Bonneville)의 수위가 높아지면서 문턱 분수계 역할을 했다. 이 문턱 분수계가 일부 허물어져 낮아지면서 많은 물이 호소 밖으로 쏟아져 나갔다. 이때 본느빌호로 유입되던 마쉬천(Marsh

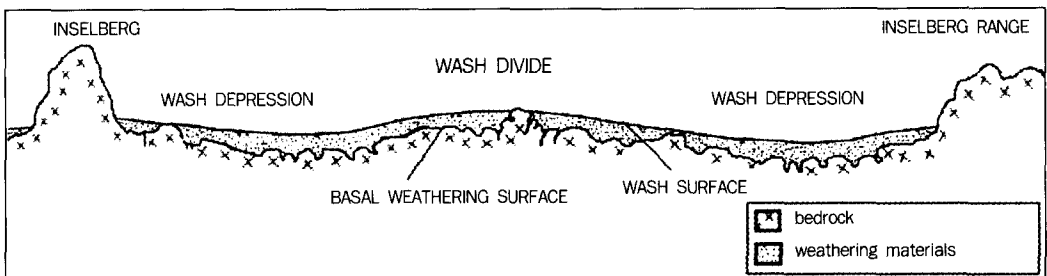


그림 8. 세탈 분수계 모식도

출처: Huggett, 1997, 235.

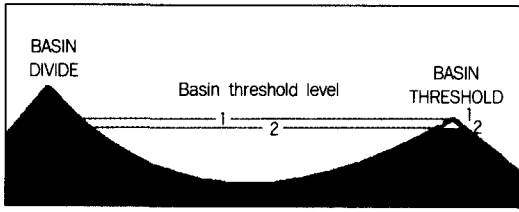


그림 9. 문턱 분수계의 모식도
출처: Currey, 1991, 16.

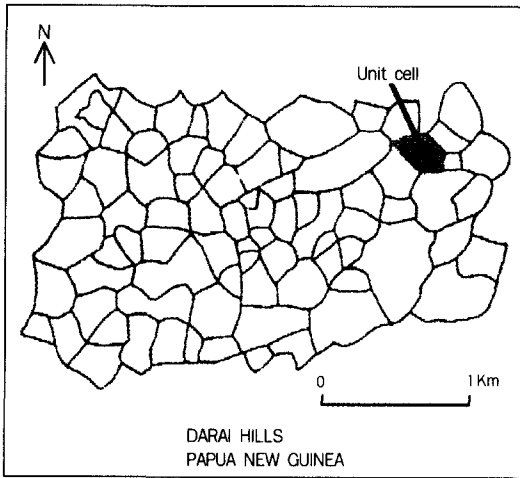


그림 10. 세포형 분수계의 평면도의 예. 선은 분수계를 나타냄
출처: Ford and Williams, 1989, 413.

Creek)은 본느빌호 유역에서 방향을 바꾸어 태평양에 도달하는 스네이크강(Snake River) 유역으로 흐르게 되었다(Lee, 1993).

6) 세포형 분수계

지표가 폐쇄된 함몰지로 모두 채워져 있는 다각형 카르스트 지형(polygonal karst)은 함몰지가 각각의 유역을 구성하고, 분수계는 평면상으로 볼 때 세포형의 체계(cellular networks)를 만든다(Ford and Williams, 1989)(그림 10). 지형적으로는 각각의 함몰지를 독립된 유역으로 볼 수 있다. 그러나 이들 함몰지로 유입된 물은 지하에서 다양한 방법으로 합쳐져서 지하수 체계상에서 다른 호소나 하천과 연결될 수가 많다.

7. 지하수 분수계

1) 지하수 분수계의 구조

분수계는 강우나 흐르는 물의 진로를 결정하며, 물의 진로는 지형의 기복에 의해 달라진다. 지각에서의 물의 흐름은 지표수(표면수, 하천수, 호

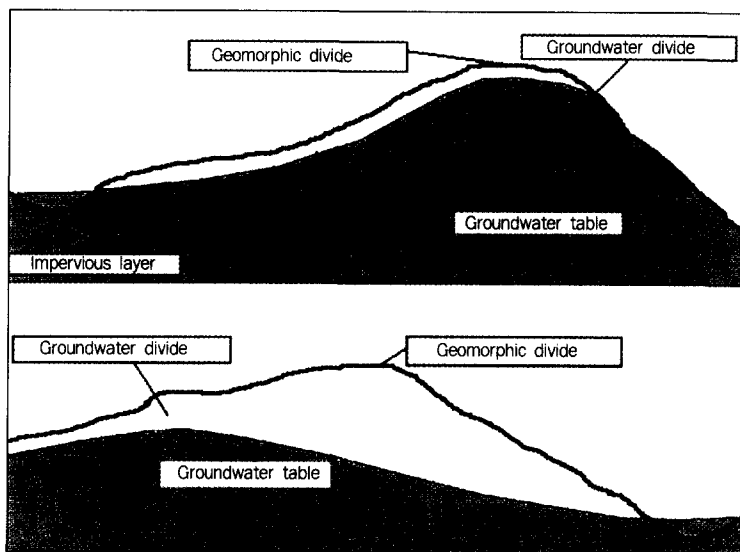


그림 11. 지형 분수계와 지하수 분수계의 불일치 모식도
출처: Keller, 1979, 253.

수), 토양수, 지하수의 흐름으로 대별되며 이들은 연결된 형태로 존재한다. 지표수와 토양수는 지형의 기복을 반영하며 흐르므로, 지형 분수계는 가장 높은 산릉과 고개 등의 지형적인 최고점을 연결하여 결정되나, 지하수 분수계(ground water divide)는 지하수 흐름을 고려하여 결정된다.

그런데 지형 분수계와 지하수 분수계가 동일한 지역에서 나타날 때 서로 상이한 위치에 나타나는 수가 많다(Keller, 1979). 지형분수계와 지하수 분수계가 일치하지 않으므로 지하수계는 완전히 다른 하천의 유역으로 흘러 들어가는 경우가 있다. 일반적으로 지하수의 흐름은 지표수의 흐름과 비교적 일치하지만 지각의 구조적인 영향을 받으면서 지형구조와 방향을 달리할 수 있다(그림 11).

일반적으로 지하수면은 지형의 반영인 경우가 많다(김영기 · 성익환, 1986). 지하수의 형태를 나타내는 지하수면은 일반적으로 지형에 의해서 결정된다. 지하수면과 지형의 관계를 요약하면, (1) 지형의 형태는 자연상태에 있어서 지하수면의 형태를 결정한다. (2) 지형을 구성하는 지질이 등방, 등질성이면, 주어진 지형에 대해서 대응하는 유동계의 포텐셜 분포가 결정된다. (3) 지질의 이방, 이질성은 (2)의 포텐셜 분포를 수식하고 그 형태를 복잡하게 한다. 또한 지하수의 운동 방정식을 풀 때, 경계조건으로 지하수면의 형태가 필요하지만, 지하수면 대신에 지형면을 줄 수 있다(Yamamoto, 1983).

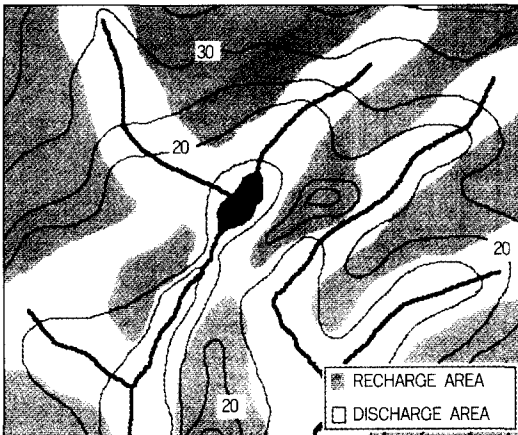


그림 12. 지하수의 함양역과 유출역의 모식도

출처: Yamamoto, 1983, 104.

지형의 기복에 따라 지하수의 함양역(recharge)과 유출역(discharge)으로 2개의 구역으로 구분할 수 있다(그림 12). 사면에 있어서 함양역은 물의 흐름이 빠르며, 유출역의 물의 흐름은 느리다. 유출역까지의 거리가 짧고 지하수면이 얇은 경우, 지하수와 지표수의 엄밀한 구분은 어렵다(Fetter, 1994; Yamamoto, 1983). 지표의 함양역 부분이 바로 지하수 분수계의 위치를 나타내며, 평면상으로는 불 때, 지대(zone)로 표시된다.

2) 지하수 분수계의 지형별 사례

지하 수리에 있어서 지형의 적용은, 지하수를 함양하고 집적하고 유출하는 지표의 고도와 기복, 지형의 배열에 관련된 것이다. 지형을 산지, 구릉지, 대지, 저지로 구분하여 각 지형별로 지하수와와의 관계를 설정할 수 있다. 지질학에서 제공하는 지식은 함양된 지하수의 저류, 유동 및 순환의 해명에 도움이 되는 반면, 특정 지형에 있어서 지하수의 수문조건이 만들어진다는 것은 지표수와 상당히 다른 특색이 있다고 말할 수 있다(Yamamoto, 1983).

오래된 암석과 화성암으로 물을 포함할 수 있는 것은 균열이나 절리, 풍화층 등의 존재에 의한 것이며, 단층작용에 수반되는 균열도 자주 지하수를 유도한다. 배사구조와 향사구조의 지층구조 등도 지하수의 흐름을 결정하기도 한다(Yamamoto, 1983; Thyne et al., 1999; Strahler and Strahler, 1992).

지하의 균열은 많은 과정을 통하여 만들어지지만, 풍화에 의해 투수성의 변화를 일으키는 것으로 알려져 있다. 물이 통과하기 위해서는 각각의 균열이 연결되어야 한다. 균열 속의 지하수는 그 양이 적은 것이 보통이지만, 때로는 현저하게 큰 것이 있다. 특히 용암이나 카르스트 균열에서 잘 나타난다. 분지간의 지형분수계를 가로질러 지하수가 흐르는 사례(Thyne et al., 1999)에서 파쇄대(fracture)가 서로 연결되어 나타남을 보여준다(그림 13, 그림 14). 파쇄대는 종종 경암과 석회암 지역에서 투수성이 뛰어난 수로의 역할을 한다.

카르스트 지형의 경우, 지표수가 흐르지 않는 경우가 많다. 용천에서 나온 물이 100m도 흐르지 않는 동안에 자연 소실하는 경우가 많다. 카르스

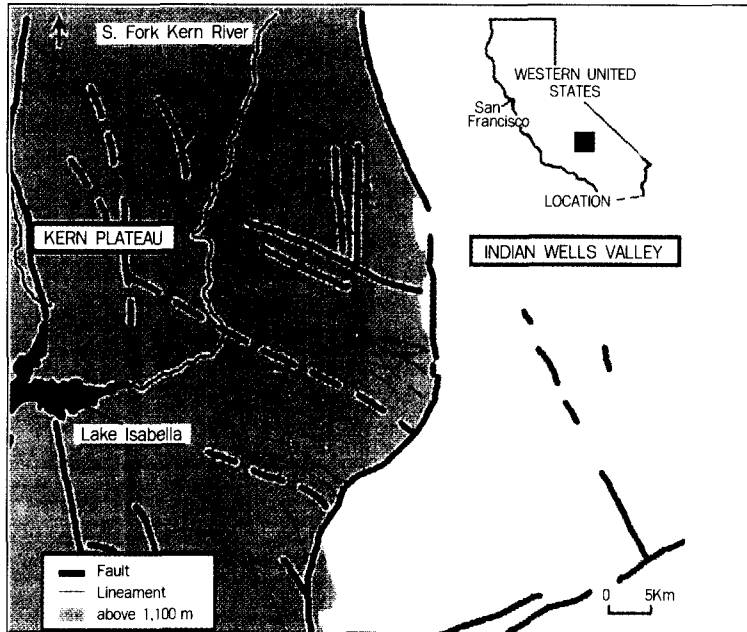


그림 13. 미국 서부 지역의 켄 대지상의 파쇄대의 분포

출처: Thyne et al., 1999, 1613.

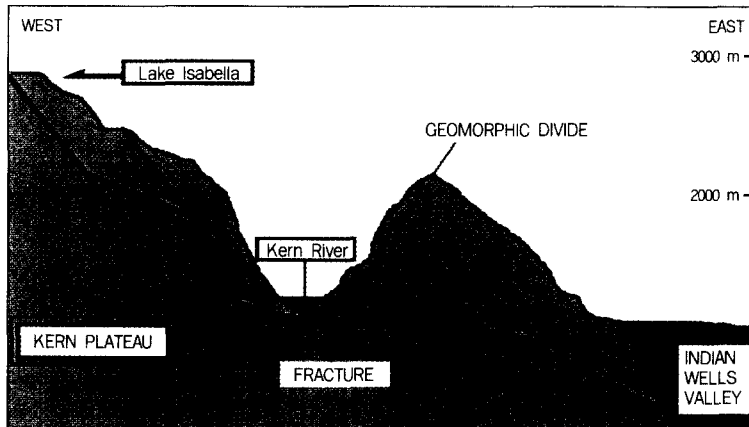


그림 14. 켄 대지와 인디언 웰즈 계곡간의 파쇄대의 수직 연결 모식도
(수평적 거리는 축척 없음)

출처: Thyne et al., 1999, 1614.

트 지역의 지하수에는 다시(Darcy)의 법칙에 지배되는 확산류와 중유동과 같은 동형 속을 흐르는 관류가 있다. 카르스트 지형의 지하수에서 중요한 것은 동형 흐름이다(Yamamoto, 1983). 실제 카르스트 지형의 동형, 파쇄대의 흐름을 찾기란 그리 쉽지 않다.

강원도 강릉시 옥계면과 정선군 임계면 사이의 산계령 일대의 카르스트 지형상의 분수계 연구(이민부·한주엽, 1999)에 의하면, 미지형적으로는 카르스트 함몰지 전체를 독립적인 분수계로 둘러싸인 폐쇄유역으로 보았지만, 계곡 내의 간헐천, 건천, 복류천 형태의 하계망의 발달과, 카르스트샘,

카르스트 못, 카르스트 동굴 등을 연계하고 지하에서 석회암층의 층리, 절리, 파쇄대, 싱크홀이나 포노르 등 지표수의 집수구, 돌리네, 우발라와 사면 지형 등의 지형 요소들의 경향성을 파악하여 지하수분수계가 폐쇄유역을 둘러싼 지형분수계의 남쪽 부분에 위치할 것으로 추정하였다(그림 15).

화산 지형에서 화산사력과 용암 등은 대수층을 형성하고, 니류, 집괴암, 응회암 등은 불투수층을 형성하게 된다. 하상에 용암류가 덮힐 경우, 용암층의 아래의 구하로를 따라 지하수가 흐를 수 있다(Yamamoto, 1983; 원종관 외, 1987).

8. 분수계의 설정

분수계는 산맥의 주능선을 따를 때는 주 능선과 일치하는 곳이 많지만 저지나 평야에서는 명확하

게 구분하기 어려운 곳이 많다(김우관, 2000). 그러나 실제에서는 지형도를 통하여 특정 지역의 분수계를 간단하게 선으로 명확하게 표시하고 있다. 산간지와 준평야지의 유역자동추출기법 연구(이근상 · 조기성, 1999)에서 인공위성 DEM으로부터 유역의 경계를 자동으로 추출하는 과정을 보여주고 있다. 이는 지형의 고도 수치자료를 근거하며, 유역경계 추출에 장애가 되는 부분적인 함몰지(sink)는 추출과정에서 제거되어진다. 이 함몰지는 카르스트 지역, 빙하 지역, 또는 화산 지형에서 잘 생긴다(이금삼, 1999; 조화룡 · 이금삼, 1998).

지형도상에서 분수계를 선으로 나타내는 방법은, 지표수가 등고선과 수직으로 만나면서 흐르는 방향을 나타내는 벡터(vector)를 표시하고 이 벡터들이 분기하는 지대 또는 지역의 중간을 선으로 그으면 되는 것이다. 분수계를 연이어 그으면 하나의 유역을 형성할 수 있는 것이다(Marsh,

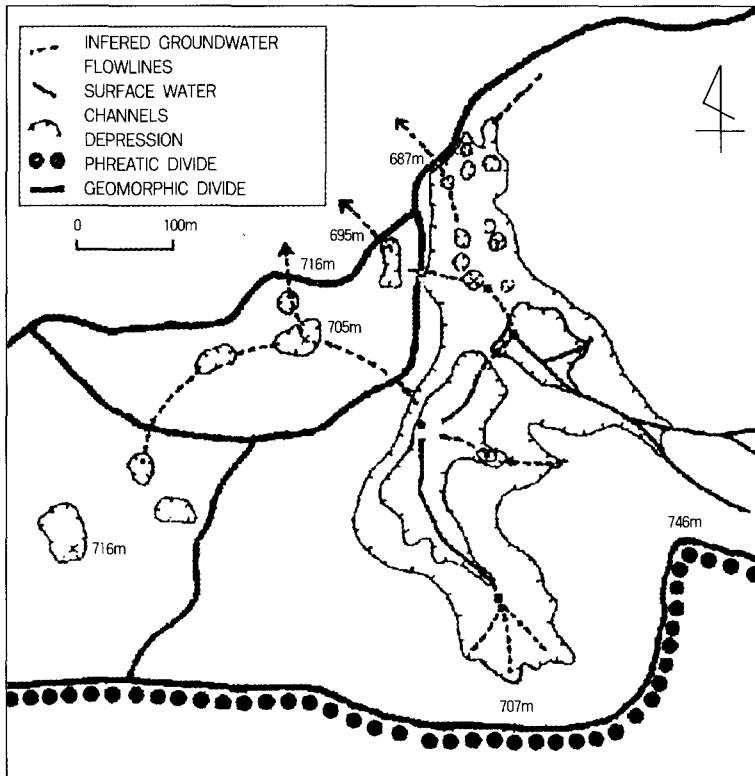


그림 15. 카르스트 지형의 분수계 사례

강원도 정선군 임계면과 강릉시 옥계면의 산계령 인근 지역이며, 북쪽으로는 주수천, 남쪽으로는 임계천 유역이다.
출처: 이민부 · 한주엽, 1999, 393; 김일기 외, 1996, 63.

1983). 그러나 규모가 큰 지형도(1:5,000 같은 경우)에서는 분수계가 지대로 나타난다.

길버트의 분수계의 법칙의 예외처럼, 분수계의 일반적인 실제의 단면은 선으로 그을 수 있는 것이 아니라 지대(zone, belt)로서 나타난다. 그러므로 지형도 상에서 정확하게 선으로 설정하기보다는 어느 정도의 공간적 범위를 가진 지대로서 나타난다. 이는 지하수의 흐름에 있어서도 지하수의 단면상의 분수계를 표시할 때 정확하게 선으로 표시하지 않는 경우와 같다(Fetter, 1994).

지각에서의 물을 지표수와 지하수로 크게 구별할 때, 분수계의 설정에 있어서 지하수의 흐름에 유의해야 한다. 일반적으로 지하수면의 고도는 지형을 반영한다. 그러나 암석과 지질구조의 이질, 이방성은 지하수면의 형태를 복잡하게 한다. 대체적으로 지형의 기복과 지형요소들의 배열을 기준으로 지형분수계를 설정한 후 지질 구조, 암석의 특성을 바탕으로 한 지하수분수계를 설정할 수 있다. 지형분수계와 지하수분수계는 상호 연결되어 있으며 동시에 고려될 수 있다.

분수계 설정에 있어서 고려되어야 할 지형적 요인은 야외조사에 의한 판별작업, 원격탐사자료에 의한 분석으로 가능한 가시성을 가지는 지표의 기복이라고 할 수 있다. 지질적 요인으로는 암석, 층리, 절리, 파쇄대 등이 있으며 지하수 체계에 영향을 주어 유역분지의 수문학적 조건에 영향을 준다.

암석과 토양에는 많은 개공(opening)이 있다. 간극(interstice), 공극(pore), 절리(joint), 동굴(cavern), 터널(tunnel) 등이 있다. 이들 통로를 통하여 지하의 물은 이동하는 것이다. 그러나 이들 개공들이 균일하게 지하에서 발달하지 않으며 지질의 구성하는 물질의 불균일성을 염두에 두어야 한다. 개공을 1차 개공과 2차 개공으로 나눌 수 있다. 1차 개공은 퇴적암, 화산암의 행인상 공동(amygdaloidal cavities), 결정질 암석내의 간극 등이며, 2차 개공은 지구 응력에 의한 균열, 단층작용의 파쇄대, 풍화작용, 석회질 암석의 용식공, 부정합 등이다(Yamamoto, 1983).

분수계는 지표수와 지하수의 흐름을 방해하여 다른 곳으로 흐르게 하는 지역이라고 할 수 있다. 물의 흐름을 방해하는 지역의 암석과 토양의 조

건은 (1) 고도가 상대적으로 높은 지역, (2) 대수층(aquifer)의 유동시스템에 뚜렷한 경계를 형성하는 제한층(confining layer)을 형성하는 난대수층(aquiclude), 비대수층(aquifuge)의 암석과 지층을 가진 지역에 존재한다고 할 수 있다. 이 조건들을 고려하여 분수계를 설정하는 방법을 간단히 정리하고자 한다.

① 지표면의 고도에 의해서 분수계를 결정하는 경우, 지표수는 자연상태에서 상대적인 고도에 따라 중력에 의해 아래로 흘러가므로 대체적으로 가장 높은 고도를 따라 분수계가 결정된다. 풍화가 많이 이루어진 사면이나 지질구조가 균질적인 경우, 토양수나 지하수도 지표수의 흐름의 방향과 일치하면서 흐른다.

② 지하수 체계에 의한 분수계의 결정은, 지표수가 잘 발달하지 않는 경우이거나 암석과 지질구조의 영향이 클 때이며, 지표수가 침투하여 발달하는 토양수나 지하수의 흐름에 유의할 필요가 있다. 카르스트 지형, 지층의 방향이 강하게 반영되는 지역, 절리나 파쇄대가 잘 발달한 지역, 와지 지형의 지하수의 흐름을 파악하는 일은 용이하지 않다. 이 경우 흐름의 기원이 되는 최초 강수의 분수작용(dividing of running water)이 일어나는 곳을 분수계로 삼을 수 있다. 또한 지역에는 선구조적 지형요소들의 배열, 지층의 방향 등을 고려하면서 그 지역의 암석 지형 전체를 대상으로 하여 분수계를 설정할 수 있다.

9. 토의 및 결론

분수계는 유역, 수계 그리고 산계와 가깝게 관련된 개념으로 대부분이 삭박지형에 속하면서 산계의 결정보다는 주로 유역이나 수계의 영역을 결정하여 유역내의 지형발달의 설명을 위하여 이용된다.

지표면의 형태에 따라 분수계를 다양하게 유형화할 수 있다. 주로 고도가 높은 산릉을 따르는 능선 분수계, 지형의 일부분으로 본 하천 분수계, 폐쇄유역 분수계, 세탈 분수계, 문턱 분수계, 그리고 세포형 분수계로 구분할 수 있다. 이들 분수계는 형태적으로 구분된 것이며 지형과 지형 형성

작용을 반영하고 있다.

암석 구조의 법칙과 분수계의 법칙의 예외 사항은 분수계의 형성에 대한 설명과 분수계의 일반적인 형태적 특징인 대상적 패턴을 보여 주었다. 분수계는 지속적으로 변화되며 지형적으로는 주로 양사면상에 작용하는 지형형성작용과 하천 최상류의 침식작용 등의 영향을 받으며, 구조적(tectonic) 운동의 영향으로 인한 열곡 현상, 융기 작용 등의 영향도 받는다.

지형적으로 분수계를 설정하는 데 있어서 연구의 목적과 연구 지역의 규모에 따라 선으로 쉽게 그을 수 있다. 그러나 분수계의 일반적인 실제의 단면 형태는 일정한 공간적 넓이를 가진 지대이다. 또한 지하수 분수계의 범위 설정도 평면도상에서 지하수 함유역인 지대로서 나타난다.

일반적으로 지하수면은 지형의 기복을 반영한다. 지질구조가 이질, 이방성을 띠는 경우 지형 분수계와 다르게, 지하수 분수계가 위치할 수 있다. 지역에서의 절리나 파쇄대의 분포와 발달은 지형의 발달은 물론 지하의 물의 흐름을 쉽게 하는 역할을 한다. 분수계는 지형적으로는 고도가 상대적으로 높은 지역에 위치하지만, 지하수 분수계는 지하수 유동 시스템에 뚜렷한 경계를 형성하는 제한층 지역에 존재한다.

지표수는 자연상태에서 상대적으로 고도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 즉 중력 방향으로 흘러가며, 분수계의 위치는 지형에서 가장 높은 지점을 연결하거나 지표수의 흐름이 분산되는 곳을 연결하여 결정할 수 있다. 대체로 풍화가 많이 이루어졌거나 지질구조가 균질적인 경우에 해당된다. 그러나 지표수가 잘 발달하지 않거나 암석과 지질구조의 영향이 강하게 작용하는 지역에서는 지하수의 흐름을 그 지역에서 발달하는 절리나 파쇄대의 발달 형태, 지층의 구조 등을 분석하거나, 흐름의 기원이 되는 최초의 강수의 분수 작용이 일어나는 곳을 분수계로 삼거나 그 지역의 암석 지형 전체를 대상으로 하여 분수계로 설정할 수 있다.

이 글에서 지표수, 지하수, 사면 퇴적물의 이동을 결정하는 지형의 한 부분으로서의 분수계에 대한 지형적 형성 원리와 변화, 형태적 분류, 지하수 체계를 고려한 분수계 설정 등에 대하여 정리

하면서 지형학적인 면에서의 분수계의 개념과 기능을 논의하였다. 앞으로 유역관리, 수자원 관리 특히 지하수의 분포와 유동 해석을 위한 하나의 지형으로서 분수계의 설정과 역할에 대한 세부적이고 실제적인 사례 연구가 지리학에서 이루어질 수 있다. 나아가 분수계는 집수 구역뿐만 아니라 주민들의 생활 권역도 경계짓기 때문에 지역지리 및 인문지리학적 기능에 대한 연구로 연계될 수 있다.

사사

본 논문에 많은 건설적인 비평과 조언을 주신 익명의 심사자들에게 감사드립니다.

文獻

- 고기만, 1993, "운봉분지의 지형분류," 한국교원대학교 석사학위논문, 25-29.
- 권순식, 1984, "G. K. Gilbert," 상당지리, 3, 청주대학교 지리교육학과, 7-16.
- 김우관, 2000, 지형학, 형설출판사, 서울.
- 김정규, 1998, "추풍령 일대의 산지지형 - 백화산 일대를 중심으로," 한국교원대학교 석사학위논문, 49-62.
- 김영기 · 성익환, 1986, "경북 북구지역 화강편마암 내의 지하수 유동," 지질학회지, 22(1), 87-100.
- 김일기 · 원경렬 · 이장렬 · 오경섭 · 이민부, 1996, 백두대간과 관련한 자병산 지역의 석회암 채광에 대한 지형학적 연구, 한라시멘트주식회사 연구보고서, 39-79.
- 김일기 · 양보경 · 임덕순 · 오경섭 · 이민부 · 정연숙 · 김지홍, 1997a, 백두대간의 개념정립과 실태조사 연구, 산림청 연구보고서.
- 김일기 · 이민부 · 정연숙 · 최한성, 1997, 백두대간 실태조사 및 합리적인 보전방안 연구, 산림청 · 대한지리학회 연구보고서.
- 손명원, 1993, "낙동강 상류와 왕피천의 하안단구," 서울대학교 박사학위논문, 92-101.
- 오경섭, 1996, "한국의 지형 · 토양환경 정밀 지도

- 화 방안에 관한 연구," 한국지형학회지, 3(1), 1-27.
- 원종관 · 이문원 · 우준기, 1987, "추가령구조대의 지형발달과 화산활동-민통선 부근을 중심으로," 조규성 외, 휴전선일대의 자연연구, 강원대학교 출판부, 11-46.
- 이근상 · 조기성, 1999, "산간지와 준평야지역의 유역자동추출기법," *The 9th '99 GIS WORKSHOP-Object Component GIS*, (주)캐드랜드, 227-233.
- 이금삼, 1999, "DEM을 이용한 한반도 지형의 계량적 특성과 기반암질과의 관계 분석," 경북대학교 박사학위논문.
- 이민부, 1995, "Grove Karl Gilbert와 미국의 지형학," *청주지리*, 10, 청주대학교 지리교육과, 33-42.
- 이민부 · 한주엽, 1999, "산계령 일대의 분수계와 지형 경관 분석," *지리 · 환경교육*, 7(1), 373-397.
- 조화룡 · 이금삼, 1998, "GIS 기법을 이용한 동강 유역분지의 지형 특성 분석," 한국지형학회지, 5(2), 93-107.
- 황상일, 1996, "하계망패턴의 특색으로 구분한 중국의 자연지역," 한국지역지리학회지, 2(1), 151-164.
- Allen, P. A., 1997, *Earth Surface Processes*, Blackwell Science, Oxford, 96-148.
- Bishop, P., 1995, Drainage rearrangement by river capture, beheading and diversion, *Progress in Physical Geography*, 19, 449-473.
- Büdel, J., 1982, *Climatic Geomorphology*, Princeton University Press, Princeton.
- Calvache, M. L. and Viseras C., 1995, Long-term control mechanisms of stream piracy precesses in Southeast Spain, *Earth Surface Processes and landforms*, 22, 93-105.
- Clark, G. M., 1989, Central and Southern Appalachian water and wind gap origins: Review and new data, *Geomorphology*, 2, 209-232.
- Currey, D. R., 1991, *Hemiarid Lake Basins: Hydrographic and Geomorphic Patterns*, NSF Grant EAR-8721114 Limneotectonics Laboratory Technical Report 91-2, University of Utah, U.S.A.
- Eliet, P. P. and Gawthorpe, R. L., 1995, Drainage development and sediment supply within rifts, examples from the Sperchios basin, central Greece, *Journal of the Geological Society*, 152, 883-893.
- Fetter, C. W., 1994, *Applied Hydrogeology*, Prentice Hall, New Jersey.
- Ford, D. C. and Williams, P. W., 1989, *Karst Geomorphology and Hydrology*, Unwin Hyman, London.
- Gilbert, G. K., 1877, Land sculpture in the Henry Mountains, in Dury, G. H. (ed.), 1970, *Rivers and River Terraces*, MacMillan, London, 95-116.
- , 1890, *Lake Bonneville*, U.S. Geological Survey Monograph 1.
- Castiglioni, G. B., Biancotti, A., Bondesan, M., Cortemiglia, G. C., Elmi, C., Favero, V., Gasperi, G., Marchetti, G., Orombelli, G., Pellegrini, G. B., and Tellini, C., 1999, Geomorphological map of the Po plain, Italy, at a scale of 1:250000, *Earth Surface Processes and Landforms*, 24, 1115-1120.
- Haworth, R. J. and Ollier, C. D., 1992, Continental rifting and drainage reversal: The Clarence River of Eastern Australia, *Earth Surface Processes and Landforms*, 17, 387-397.
- Huggett, R. J., 1997, *Environmental Change: The Evolving Ecosphere*, Routledge, London and New York.
- Keller, E. A., 1979, *Environmental Geology*, Bell & Howell Company, Columbus.
- Lee, M., 1993, Geomorphic evolution of lacustrine and prolacustrine slope profiles of late Pleistocene pluvial lakes in the Eastern Great Basin, Western U.S.A. Ph.D thesis, The University of Utah, U.S.A., 53-65.
- Marsh, W. M., 1983, *Landscape Planning*:

- Environmental Applications*, Addison-Wesley Publishing Co.
- McIntyre, L., 1985, Pioneer of modern geography: Humboldt's way, *National Geographic*, 168, 318-345.
- Morisawa, M., 1989, Rivers and valleys of Pennsylvania revisited, *Geomorphology*, 2, 1-22.
- Newson, M., 1992, *Land, Water and Development: River Basin Systems and Their Sustainable Management*, Routledge, London.
- Strahler, A. H. and Strahler, A. N., 1992, *Modern Physical Geography*, John Wiley & Sons, New York.
- Thyne, G. D., Gillespie, J. M. and Ostdick, J. R., 1999, Evidence for interbasin flow through bedrock in the southeastern Sierra Nevada, *Geological Society of American Bulletin*, 111, 1600-1616.
- Webster, D., 1998, The Orinoco: Into the heart of Venezuela, *National Geographic*, 193, 6-31.
- Yamamoto, S., 1983, 地下水調査法, 古今書院, 김남형 · 오윤근 역, 1997, 지하수 조사법, 동화기술, 서울, 15-162.