

## 금강유역의 침식과 하상변동과의 관계

양동윤, 김주용, 이진영, 이창범, 정혜경(한국자원연구소 지질연구부)

### The relationships of erosion and river channel change in the Geum river basin

Dong-Yoon Yang, Ju-Yong Kim, Jin-Young Lee, Chang-Bum Lee, Hye-Gyeong Jeong  
(Geology Division, Korea Institute of Geology, Mining and Materials)

**요 약 :** 금강유역중 상류는 선캄브리아기의 변성암류가 중·하류는 중생대의 화성암류가 주를 이루고 있다. 이 유역에서의 변성암류는 상대적으로 풍화에 강하고 화성암류는 풍화에 약하기 때문에, 상류는 심하게 만곡된 협곡을 이루고 급경사이고, 중하류로 가면서 점점 하폭은 넓어지면서 완경사를 이루며 서해로 유입된다. 특히 하류지역은 제4기 동안에 수차례의 침식과 퇴적이 반복되었고, 현재는 홍수 퇴적층이 넓게 발달되어 있다. 금강 중·하류 유역 산사면에서의 침식현상을 파악하기 위하여, 현장조사와 침식율실험과 함께, GIS기법을 이용하여 소유역별로 침식율을 산정하였다. 그 결과 화강암류 분포 지역의 침식율이 가장 높은 것으로 나타났고, 조사구간 전반에 걸쳐 침식율이 비교적 높은 것으로 나왔다. 원격탐사, 측량 등을 이용하여 금강하류의 최근 11년간의 연도별 하상퇴적물의 변화를 추적한 결과 1994년에 완공된 하구언뜯의 영향으로 인한 뚜렷한 퇴적현상이 관찰되었다. 정밀하상지형도를 작성하여 퇴적율을 구한 결과, 하류에서는 최근 11년동안에 매년 약 5cm씩 퇴적이 일어난 것으로 나타났다. 강경지역에서 HEC-6 모형으로 2004년까지 하상변동을 예측한 결과, 전반적으로 하상이 상승되는 것으로 예측되었다. 공주에서 강경까지의 지역에서 많은 양의 골재채취가 이뤄지고 있음에도 불구하고 강경 하류지역에서 뚜렷한 퇴적경향이 나타나는 것으로 보아 지류유역에서의 활발한 침식현상은 금강의 하상변동에 많은 기여를 하는 것으로 판단된다.

**중심어 :** 침식, 퇴적, GIS, 하상변화

**Abstract :** The basement rock of upper stream of Keum River Valley consists of Precambrian gneiss which is resistant to weathering. That of mid and lower stream valley, however, is mainly composed of Mesozoic granites which are vulnerable to weathering. The upstream part of Geum River Basin is typified by the deeply-incised and steep meandering streams, whereas mid and lower part is characterized by wide floodplain and gently dipping river bottom toward the Yellow Sea. In particular flooding deposits, in which are imprinted a number of repetitions of erosion and sedimentation during the Holocene, are widely distributed in the lower stream of Geum River Basin. For understanding of erosions in the mid and lower stream of Geum River Basin, the rate of erosion of each small basins were estimated by using the data of field survey, erosional experiments and GIS analysis. It was revealed that erosion rate appeared highest in granite areas, and overall areas, in this field survey were represented by relatively high erosion rates. By implementation of remote sensing and imagery data,

the temporal changes of river bed sediments for about last 11 years were successfully monitored. Observed as an important phenomenon is that the river bed has been risen since 1994 when an embankment (Dyke) was constructed in the estuarine river mouth. From the results derived from the detailed river bed topographical map made in this investigation, the sedimentation of the lower river basin is considered to be deposited with about 5 cm/year for the last 11 years. Based on this river bed profile analysis by HEC-6 module, it is predicted that Geum River bed of Ganggyeong area is continuously rising up in general until 2004. Although extraction of a large amount of aggregates from Gongju to Ganggyung areas, the Ganggyung lower stream shows the distinct sedimentation. Therefore, it is interpreted that the active erosions of tributary basins Geum drainage basins can affect general river bed rising changes of Geum River.

**Keywords** : erosion, deposition, GIS, river bed change

## 1. 서언

홍수재해를 평가 또는 예측하는데 있어서, 유역 산사면의 침식현상과 관련된 토사의 생성과 이동 그리고 하상에서의 퇴적현상의 파악은 수문, 수리현상을 다루는 것과 함께 매우 중요하다고 할 수 있다.

산사면 침식에 관하여 GIS (Navas & Machin, 1997) 또는 인공강우장치(Teixeira & Misra, 1997)를 이용한 연구가 있고, Al-Sheriadeh & Al-Hamdan(1999)는 USLE식을 이용하여 침식위험지역을 추출하였으며, Hairsine 등(1999)은 토양침식과 관련한 강우의 영향에 따른 부유토사를 예측하기 위한 새로운 모델을 제시하였다. 국내에서는 정영상 등(1976, 1999)이 인공강우장치를 이용하여 USLE식의 토양침식성인자 K값을 구하였고, 상이한 작목 별로 토양유실량을 조사한 연구(정필균 등, 1985), 침식연구에 GIS를 적용한 예(이규성, 1994; 김경숙 등, 1995)도 있다. 윤세의 등(1997)은 운동과 이론에 기초한 강우 유출특성을 파악하고, 강우 및 유수에 의해서 발생하는 침식, 퇴적량을 산정하는 모형을 연구하였다.

하천의 하상변동에 대한 모형연구는 1970년대부터 시작되어, HEC-6 (Thomas & Prashun, 1977), ALLUVIAL (Holly & Karim, 1983) 모형 등이 개발되었으며, 부정류 해석이 가능한 CHARIMA (Holly et al., 1990)모형으로 발전하였다. 대표적인 2차원 모형은 TWODSR (Simons et al., 1979), 미공병단의 TAB-2 등이 있고, 3차원 모형에는 FLESCOT(Onishi & Trent, 1985)이 있다. 국내의 경우에는 남선우(1978), 박정웅(1984), 박상덕(1989) 이남주와 이길성 (1998) 등에 의해 모형이 개발되어 그 적용성이 검토되었다. 1차원 모형은 하천의 사행 진행이나, 유사의 횡방향 분포 등을 고려할 수 없다. 기존의 개발된 컴퓨터 모형 중에서 하천에서의 흐름이나 유사의 운동을 2·3차원적으로 모의하는 것이 있으나, 대부분의 2·3차원 모형은 모형의 검증에 위해서. 과도한 양의 수리·수문 및 유사 자료와 계산능력이 필요하다.

이처럼 산사면에서의 침식현상과 하상변동에 관한 연구는 국내외적으로 많은 연구가 이뤄졌지만, 산사면에서의 침식현상은 주로 임학이나 농학분야에서, 하상변동에 관해서는 수리, 수문학에서 다루었고, 홍수재해를 평가 또는 예측하기 위해 하천유역의 침식과 퇴적현상을 동시에 다룬 연구는 드물다.

우리 나라의 홍수피해 발생은 대개 강의 본류에서보다는 지류유역에서 더 많이 발생하는

경향이 있다. 여기에는 두 가지의 원인을 들 수 있다. 첫째, 유역 산사면에서 발생하는 침식 현상으로 토사가 이동되어 상당량이 지천에 퇴적되고, 이로 인한 하상고의 상승은 홍수 시 지천의 수위를 상승시키기 때문이다. 둘째로 지천은 대개 지방자치단체가 관리하는 지방하천으로 하천 정비율이 낮기 때문이다. 따라서 유역 산사면에서 침식·이동되어 하천에 퇴적되는 토사는 하상변동 연구는 물론 홍수재해예측에 있어서 매우 중요한 인자로 작용한다. 본 연구에서는 금강 중·하류 유역(공주~입포)의 산사면의 침식현상과 하상에서의 퇴적현상을 비교 검토하기로 하였다. 침식현상의 경향을 파악하기 위하여 GIS를 이용하여 1982년부터 1997년까지의 인공위성영상을 분석하였다. 그리고 결과와 비교하기 위하여 각 지질별로 대표적인 곳을 선정하여 침식정도를 조사하였고 이를 분석자료와 비교하였다. 또한 하상변동을 파악하기 위하여 인공위성 영상은 물론, 조사구간의 하상에 대하여 정밀 측량, 공중사진 촬영 등의 방법을 이용하였고, 결과를 1988년의 측량자료와 비교하였다.

## 2. 금강유역의 수문지형 및 지질

### 수문지형

금강은 전국의 주요 5대강 중에서 한강, 낙동강 다음으로 유역면적이 크다. 금강은 전반적으로 남서방향으로 뻗어 있는 차령산맥과 노령산맥사이의 낮은 지형을 따라 발달하는데(그림 1), 최상류 소지류들은 노령산맥의 남동부에 발달한 또 다른 산맥인 소백산맥의 서부 전북 장수군

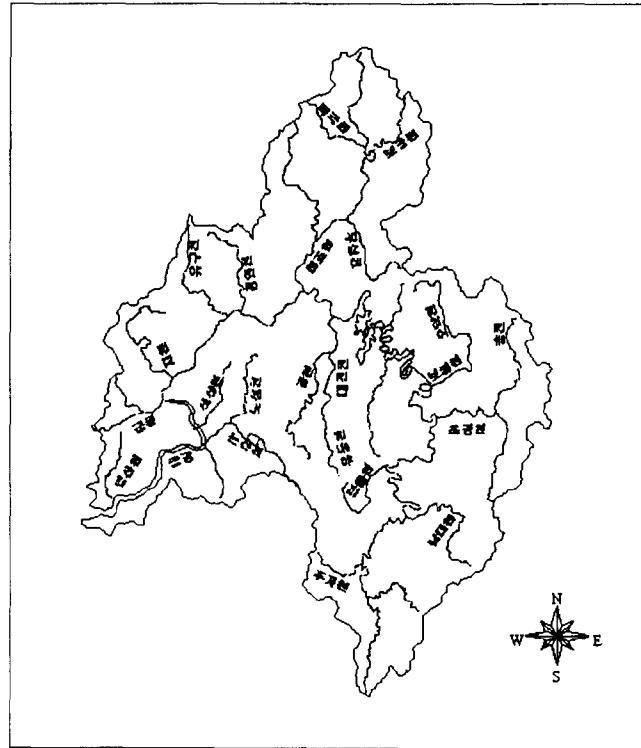


Fig. 1. Drainage basin of Geum River

장수읍 일대에서부터 시작하고 있다. 이 지역은 사면이 산악지대로서 가파른 산사면 계곡을 따라 조그만 하천들이 발달하고, 금강의 발원지는 장수읍에서 남으로 약 7.5km 떨어진 남원군 산동면으로 이어지는 수분령이다. 장수읍을 중심으로 사면에는 경사가 가파른 산악지대가 발달되

어 있으며 이들에서 합류된 하천수가 금강의 최상류 역할을 하고 있다. 이들 사면의 계곡들 중에서도 장수읍의 서편과 남쪽에서 발원된 금강의 최상류를 이루는 천천과 합류하고, 동편의 덕유산에서 유래하는 구랑천과 서편의 진안군 및 완주군의 군계 분수령들로부터 발달한 정자천과 주자천이 서로 합류하면서 금강은 드디어 강으로서의 면모를 나타낸다. 이들 합류지점으로부터 금강은 가파른 계곡들 사이를 굽이쳐 흘러 내려와 남대천 합류한다. 무주에서부터의 금강은 계곡의 경사들이 상대적으로 완만하게 되어 금강의 폭도 약 100m 이상으로 넓어지며 굴곡반경도 커지고 있다. 강바닥에는 굽은 자갈들이 퇴적되어 있으며 계곡의 안사면 하안에는 모래와 자갈들로 구성된 하안퇴적층이 분포하고 있는 곳들도 있다. 영동군 심천면 초강리에서는 금강 상류 지역에서 가장 큰 지류인 초강천이 합류하고, 금강의 강폭은 상류에 비하여 상대적으로 증가하지만 가파른 계곡사이로 흐르면서 북서쪽으로 계속 곡류하다가 속리산 일대에서부터 발달한 보청천과 합류한다. 옥천은 상류의 소지류인 서화천과 합류되어 옥천읍을 통과하는 지류로서 옥천군 군북면에서 금강본류와 합류한다. 이와 같이 상류로부터 여러 지류들이 합류하면서 이루어진 금강은 신탄진까지는 좁은 계곡들 사이를 통과하면서 구불구불하게 발달한 곡류수문을 나타내고 있다.

청원군 문의면 덕유리에는 이러한 좁은 계곡에 대청댐을 만들어 금강의 종합적인 하천관리를 실시하고 있다. 신탄진에서부터 주변지형의 변화에 따라 금강은 좁은 계곡을 벗어나며 지역적으로는 충적평야가 발달한 지형으로 바뀌므로 금강의 중류지역으로 간주할 수 있다. 특히 남으로부터 대전시를 통과하여 북으로 발달한 갑천과 만나는 지점부터 이와 같은 지형의 변화가 더욱 뚜렷하다. 갑천은 대전광역시를 통과하는 금강의 주요 지류로서 계룡산 남서부의 두마동 일대에서 발달하여 북으로 흐르며 유성천과 유동천 및 대전천 등이 합류하고 있다. 금강의 지류들 중에서 가장 큰 미호천은 진천군 일대의 저구릉지들이 발달하여 있는 지역에서 여러 소지류들이 합류하여 남으로 흐르고 있으며 이 지류들 중에는 증평을 통과한 보강천과 청주시를 통과한 무심천 및 청원군 일대에서 발달한 천수천등이 주를 이루고 있다. 미호천의 유역연장을 따라 넓은 평야지가 발달하고 있어 이들을 중심으로 농경활동이 활발히 이루어지고 있다.

공주에서 부여까지는 강폭이 약 200m 이상으로 증가하나 일직선의 수계를 보이고 있어 유역의 평야 발달이 양호하지 못한 편이다. 이 지점에서는 지류들의 발달도 일반적으로 감소하며, 공주시 유구면 일대에서 발달한 유구천과 청양읍 일대에서 발달한 금강천 등이 예외적으로 발달하고 있을 뿐이다. 부여를 지나서부터 주변지형이 전형적인 한반도 서해안에서 발달하고 있는 저구릉 지형을 보이며 계곡사이에 충적평야들이 널리 발달하고 있는 지역으로서 금강의 하류로 간주할 수 있다. 특히 강경에서부터는 하천의 유속도 느려져 강 내에 모래톱(sand ridge)과 같은 하상퇴적도 발달한다. 완만한 경사의 충적평야를 통과한 금강은 군산과 장항 사이의 하구를 지나 서해로 유입되고 있다. 이 지역의 서해안은 조수간만의 차이가 큰 지역으로서 금강으로부터 밀려온 하성퇴적물이 조수의 이동을 따라 해안에 넓은 조간대 퇴적층을 이루고 있다.

### 금강유역의 지질

일반적으로 지질은 수문지형에 가장 큰 영향을 미치는 요인이다. 암석의 종류, 또는 같은 암석이라도 형성시기가 다르면 풍화와 침식의 정도 차이를 나타내며 낮은 계곡지형으로 침식된 부분을 따라 하천이 발달하기 때문이다. 지질형성 이후 주변의 구조선 발달방향에 따라서는 수문지형은 영향을 받을 수 있다. 금강유역의 수문지형도 이와 같은 지질구성과 구조선 발달방향 모두에 영향을 받는다. 지질구조선은 주로 소지류 형성방향과 일치할 뿐 금강본류의 유로형성이거나 주변의 일반적인 지형에는 특이한 영향을 미치지 못한 편이다. 이와 같이 금강유역의 수문지

형 발달에 일차적인 요인이 되고 있는 지질에 대한 개략적인 분포에 대해 해석하였다.

금강유역의 지질은 선캠브리아기의 변성암류, 고생대와 중생대의 퇴적암류와 중생대의 화성암류로 구성되며 하천유역을 따라 제4기의 퇴적지층이 기반암류를 피복하고 있다. 분포위치로 보아 금강의 상류인 무주군과 장수군의 산악지대는 대부분 변성암으로 구성되어 있으며 중류와 하류는 중생대 화강암류들이 주로 분포되어 있다. 이와 같은 암석분포의 차이에 따라 변성암류 지역은 주로 산악지대를 이루고 있으며, 화강암류 지역은 상대적으로 풍화와 침식에 약하여 저구릉지대를 나타내고 있다. 금강의 수문지형과 지질과의 관련성을 비교하기 위하여 지역별 암종 분포를 설명하면 다음과 같다.

금강의 최상류인 장수군 장수읍 일대는 한반도에서도 가장 오래된 암종의 하나인 선캠브리아기의 화강암질 편마암(소백산 편마암대)으로 구성되어 있다. 이들은 침식에 강한 변성암류로서 가파른 산악지형을 나타내고 있다. 그러나 이들 편마암류들 중에서도 흑운모와 장석의 함량에 따라 풍화도가 다르며 부분적으로 차별침식이 나타내는 곳도 있다. 무주군 안성면 일대는 덕유산 주변의 운모편암류와는 달리 흑운모가 우세한 화강암질 편마암으로 구성되어 있어 차별침식으로 인한 낮은 분지 지형이 발달한다. 금산군 남일면 일대에는 주로 중생대의 화성암류가 분포하는데 이들 화성암류는 쥬라기에 형성된 소위 대보화강암류와 이보다 후기인 백악기에 관입한 불국사화강암이 주를 이루며 석영반암과 같은 화성암류도 분포하고 있다. 이들 중에서도 대보화강암류가 분포한 지역은 상대적으로 낮은 침식지형을 나타내고 있으며 석영반암의 분포지역은 가파른 산악지세를 나타내고 있다. 이와 같은 암석구성에 따른 지형차이가 금산읍이나 옥천읍의 분지 지형에서 뚜렷이 나타나고 있다. 금강을 기준으로 서편의 금산읍 일대는 대보화강암이 분포하고 있으며 이들은 대체로 조립의 석영, 장석, 운모 등으로 구성되어 있고 풍화에 약한 암석들이다. 반면에 금산읍을 둘러싼 주변은 침식에 강한 석영반암으로 구성되어 있어 가파른 산악지형을 나타내고 있으므로 금산읍은 분지형 침식지형으로 분류할 수 있다. 또한 옥천읍 일대에서도 대보화강암이 분포한 지역은 낮은 경사의 침식지형을 보이며 주변 사면은 가파른 산악지형을 이루고 있다. 동으로 석영반암, 남으로 불국사화강암, 그리고 북과 동편으로 변성암류로 구성되어 있다. 이 지역의 변성암류는 소위 옥천계로 알려져 있으며, 천매암, 편암, 각섬암, 규암을 비롯한 여러 변성암류와 석회석, 변질사암 등이 협재되어 있는 지층이다. 이들의 형성시기는 선캠브리아기 혹은 이보다 약간 후기의 암석들로 해석되고 있으며 아주 가파른 지세를 나타내고 있는 것이 특징이다. 이와 같은 편마암류는 이원으로부터 신탄진의 미호리까지 계속되고 있으며 지형적으로 좁은 계곡을 이루고, 대청댐이 위치하는 지역도 이와 유사하다.

신탄진으로부터 연기군 금남면 대평리까지도 쥬라기 화성암류로 구성되어 있어, 상류의 변성암류 지역보다 상대적으로 낮은 구릉지와 넓은 유로를 나타내고 있다. 그러나 대평리에서 공주까지는 또 다른 변성암류 지역을 통과하고 있다. 이 지역 변성암류는 금강의 상류지역인 덕유산 지역에 나타나는 변성암류와 유사한 운모편암이나 편마암류로 구성되어 있으나 그 분포지역이 상이하며 이곳 공주지역의 변성암류 지역은 소위 차령산맥 방향과도 일치하며 경기 편마암대로 알려져 있다. 그러나 경기 편마암대는 소백산 편마암대보다는 낮은 지세를 나타내고 있는 것이 특징적이다. 공주에서 북서 방향으로 흐르는 금강이 남서 방향으로 유로를 바꾸는데 그 이유는 공주시 북서쪽 맞은 편에 역암류와 안산암류로 구성되어 있는 취미산이 유로를 방해하고 있기 때문으로 해석된다. 이 지역에 분포하고 있는 역암류와 안산암류는 비교적 침식에 강한 암석이다. 공주에서 부여군 탄천면 저석리까지는 중생대 역암류로 구성되어 있어 상대적으로 좁은 계곡의 폭을 나타내고 있으나 부여에서부터 익산군 망성면과 강경읍 일대를 주축으로 중생대 화성암류가 분포하여 낮은 지형들을 나타내고 있으며 이들에 퇴적평야가 널리 발달하여 있다. 그

러나 망성면으로부터 금강하구까지는 다시 경기편마암류가 분포되어 있다.

이상과 같은 기반암들 위에 하천유역에서는 제4기퇴적층들이 부정합으로 분포되어 있다. 금강상류 지역에서는 가파른 산악지형 때문에 사면붕적층 이외의 제4기층은 거의 없는 편이며 금강의 중류 이하의 낮은 지형에서는 계곡을 충전하고 있는 미고결 퇴적층이 분포하기 시작한다. 이들은 유역의 상류에서는 자갈이나 모래 등으로 구성되어 있으며 금강 하류로 갈수록 가는 입자의 모래나 점토 등으로 구성되어 있다. 특히 강경 일대의 낮은 저구릉들 사이에 이와 같은 퇴적층이 널리 분포하고 있으며 모두가 농경지로 이용되고 있다.

### 금강유역의 기상 특성

금강유역의 기상 특성은 동절기에는 대륙성 고기압의 영향을 받아 한랭건조하며 하절기에는 해양성 고기압의 영향을 받아 고온다습하고 연강우의 약 2/3가 하절기 4개월에 집중된다. 6월에서 9월에 걸쳐 서에서 동으로 통과하는 저기압 및 6월말에서 8월초에 걸쳐 상륙하는 열대성 저기압에 의한 집중호우 발생이 하절기의 특색이며, 여름과 겨울의 기간이 비교적 길고 계절의 변화상태가 뚜렷하다. 풍향은 계절에 따라 변하며 여름철은 남풍 또는 남서풍, 겨울철은 북풍 또는 북서풍이 불고, 봄과 가을은 일정한 풍향이다. 금강유역의 기온은 여름과 겨울의 기온차가 심하여 여름철에는 38℃까지 상승하지만 겨울철에는 영하 25℃까지 내려간다. 금강유역의 연평균 증발량은 약 1,095.9mm로 5월의 증발량이 가장 많고 1월의 증발량이 가장 적게 나타나고 있다. 금강유역의 연평균 강우량은 약 1,240mm로 연 강우량의 65%가 우기인 6~9월에 집중되며, 건조기인 10월부터 익년 3월까지 6개월 동안 약 20%, 농번기인 4~5월에 약 15%가 내리고 있다.

## 3. 금강 중·하류유역 산사면의 지질별 침식현상

### 화성암류 지역

#### - 부여읍 규암면 석우리 반산저수지 북쪽(화강섬록암)

부여시 규암면 반산저수지 주변은 기반암이 주로 화강암질 편마암과 화강암으로 구성되어 고, 화강암은 동북동 방향으로 배열된다. 반산저수지의 남쪽에서의 화강암 지역은 대부분이 차별침식을 받아 저지대를 이루고 있다. 침식저지를 따라 동북동 방향의 금치가 흐르고 있으며, 그 유역은 거의 논이나 밭으로 이용되고 있다. 반산저수지는 낮은 구릉지로 둘러 쌓이며, 구릉지는 고도 70m 이하의 것들로 사면 경사도 5-7°로 완만하다. 화강암질편마암 또한 침식율이 높아서 화강암과 유사한 지형을 이루고 있어서 반산저수지 주변에서는 상당 부분이 경작지 또는 과수원 등으로 이용되고 있으며, 소나무 군락지역도 밤나무 등이 심어져 있다. 조사 지점은 반산저수지의 북서쪽 화강암으로 이뤄진 구릉으로 7-10m 키의 소나무, 밤나무 그리고 작은 관목들로 피복되어 있는 지점이다. 토양층의 두께는 1.5m 정도이다. 토양 표면은 소나무와 밤나무의 낙엽이 10cm 이하의 두께로 덮고 있으며, 잡초류는 거의 없는 편이다. 구릉 사면에서 경작지와 경계를 이루는 지점과 도로와 접하는 지점에서는 심한 침식현상이 관찰된다. 남아 있는 구릉사면에서의 침식활동도 인간의 간섭이 있는 곳을 중심으로 이뤄진다. 즉, 집중호우가 발생하면 오솔길 등으로 유출이 집중되어 구곡이 발달하며 구곡을 중심으로 침식현상이 나타난다. 관측지점은 폭 10m, 길이 30m의 소수계에 구곡이 하나 발달하는데, 구곡은 오솔길을 따라 점점 커져서 도로와 접하는 곳에서의 구곡의 폭은 2m, 높이가 1.1m의 것이 발달되어 있다.

- 연무읍 양지리 (흑운모 화강섬록암)

양지리의 서편은 고도 50m 이내의 낮은 구릉지와 농경지가 연속되고, 이는 고속도로 건너편 약 1-2km까지 연속된다. 그 동쪽으로는 갑자기 경사가 급하고 고도가 높아지면서 산악 지형으로 바뀐다. 이렇게 저지대를 이루는 곳은 화강섬록암으로 이뤄진 곳으로 지질에 따른 지형의 변화가 확연하게 드러나는데 이는 대표적인 차별침식으로 인한 지형으로 볼 수 있다. 이러한 저지대는 논산평야이며, 이 평야에는 많은 소지류를 합류해서 금강으로 유입되는 논산천과 강경천이 흐르고 있다. 이러한 지역은 土良里라는 지명이 있을 정도로 토양의 발달이 양호하고 비옥한 농경지를 이루고 있다. 동편으로 급경사를 이루는 산악지대는 북동 Table 1. Location of in-situ erosion test

조사 번호	지 질	위 치
1	화강섬록암	충남 부여읍 규암면 석우리 반산저수지 북쪽
2	흑운모화강섬록암	충남 논산시 연무읍 양지리 고속도로 건너편
3	반상쇄설화강섬록암	충남 논산시 강경읍 채산리 채운산
4	반상쇄설편마상화강암	충남 공주시 계룡면 기산리 기산저수지 서쪽
5	혼성편마암	충남 공주시 무룡동
6	혼성편마암	충남 공주시 금성동 공산성
7	호상편마암	충남 공주시 우성면 동대리 통천포휴게소 뒷산
8	운모편암	충남 부여시 은산면 신대리 밤나무 밭
9	운모편암	전북 익산시 용안면 용두리 용두2 양수장 뒤
10	저색 세일	충남 부여시 세도면 청포리 다그이나루
11	저색 역암	충남 공주시 쌍신동 하신 취미산 사면
12	용회질 세일, 저색 세일	충남 공주시 웅진동 국궁장 뒤

Table 2. Erosion parameters based on in-situ erosion test and survey

조사 지점	지질 인자 화강암=10	토양발달			사면 경사 (도)	경사길이 50m 연속=100	식생피복		토지이용	침식 형태	침식정도 (나무뿌리노출 깊이;m)
		두께(m)	성분	유기물 10cm=10			목본 2m간격 =100	초본 1m'당% =100			
1	10	1.5	사질토	10	6	30	70	10	숲	구곡	0.2
2	10	1.1	역 포함 사질토	5	8	50	80	10	숲	구곡	0.2
3	9	0.5	사력포함 실트질토	3	17	60	70	0	숲	판상, 구곡	0.18
4	7	0.5	사력포함 실트질토	5	18	80	70	10	숲	구곡	0.13
5	7	0.3	사력포함 실트질토	5	20	80	20	10	숲	구곡	0.02
6	1	0.1	사력포함 실트질토	0	40	10	80	5	숲	판상	0
7	8	1.5	역 포함 실트질토	0	26	5	60	0	과수원	판상, 구곡	0.15
8	6	0.4	역 포함 사질토	1	15	30	35	70	과수원	세류, 구곡	0
9	6	0.7	역포함 사질토	7	25	20	60	30	숲	구곡	0.08
10	6	0.4	역포함 실트질토	10	17	20	80	15	숲	판상, 구곡	0.05
11	1	0.05	역포함 사질토	1	25	5	80	5	숲	판상	0
12	5	1.2	역포함 사질토	2	20	10	80	20	숲	판상, 구곡	0.1

방향으로 달리는 편암, 천매암 등의 변성암으로 이뤄지며 화강암류에 비해 상대적으로 풍화에 강한 암석임을 지형도에서도 읽을 수 있다. 화강섬록암으로 이뤄진 저구릉은 대개 농경지로 이용되는 관계로 침식활동이 활발한 편이다.

연무읍 양지리의 매화산자락 아래의 구릉까지 화강섬록암으로 연결되는데 이 지점에서 노두를 관찰하였다. 노두는 산간으로 연결되는 도로 양측에 노출되어 있었으며 입자는 조립질로 보통 2mm 정도, 최대 3-4mm의 조립질로 되어 있다. 대부분은 심한 풍화작용으로 마사토화되어 있다. 마사토 위의 황갈색의 토양이 분포하고 그 상위에 적황색을 띠는 토양이 0.3~1.8m의 두께로 있으며 분포되어 있다. 적황색 토양은 풍화되지 않고 남아 있는 약 2mm의 굵은 입자가 10-15% 정도 남아 있고 실트질이 우세한 토양으로 구성된다. 이러한 토양층의 두께 차이는 부분적으로 침식 진행정도가 차이가 있기 때문이다. 이러한 지역의 경사는 5-15°로 완만한 편이고, 식생은 소나무와 아카시 나무가 주를 이루며, 그 사이를 떡갈나무와 잡초가 채우고, 토양표층은 낙엽이 약 5cm의 두께로 덮고 있다. 따라서 침식의 형태는 강우시의 표층류로 인한 판상침식이나 세류침식보다는 파이프망(pipe network)이 발달하여 하나의 파이프로 연결되는 구곡침식(digitate gullying)의 형태가 주를 이룬다. 구곡은 폭 1-2m, 길이 10m 정도의 것들이 많으며, 이는 농경지와 경계부분으로, 또는 도로 사면으로 집중된다. 따라서 집중호우 시에 이러한 구곡발달이 활발하여 농경지로 토사가 유입되거나, 급경사인 경우 농경지 자체가 침식되어 유실될 위험성이 커지게 된다.

#### - 강경읍 채산리 채운산(반상쇄설 화강섬록암)

강경읍은, 강경천과 논산천이 합류하여 금강으로 유입되는 지점을 기준으로 남쪽에 인구가 집중되어 있으며, 합류되어 유입되는 지점의 옥녀봉(43m)이 북에 위치하고 남에는 47.3m의 채운산이 위치하고 있다. 또한 황산나루터와 접하여 약 30m 높이를 가진 암반의 작은 봉우리가 노출되어 있다. 이 들을 제외하면 대부분 낮은 저지대로 이뤄지며, 논으로 이용되고 있다. 집중호우 시에는 주변으로부터의 유출이 집중되고 강경천과 논산천이 합류하는 관계로 금강의 수위가 높아지면서 내수가 배수되지 않아 상습침수재해 지역으로 지정되어 있었다. 따라서 최근에 낭청이에 낭청배수펌프장이 개설되었다.

이 지역일대의 지질은 화강섬록암으로 구성되며, 특히 강경읍내 주변의 봉우리들은 반정이 현저히 많은 반상쇄설 화강섬록암으로 이뤄져 있다. 반상쇄설 물질은 장석과 석영으로 이뤄지며 크기는 1-3cm 정도이다. 이러한 반상의 물질은 풍화작용에 비교적 강하여 토양화 과정을 거치면서도 굵은 입자로 남아 있는 경우가 많다. 따라서 토양은 다른 지점에서의 토양 색깔이 적황색을 띠는 반면에 여기서는 옅은 갈색에서 황갈색을 띠며, 다른 지역의 토양보다 굵은 입자의 크기나 양이 많은 편이다. 이러한 토양의 구성물질이나 색깔로 판단할 때 강경읍의 이러한 봉우리들을 제외한 나머지 부분들의 지질은 보통의 화강섬록암으로 구성되어 있었을 것으로 판단된다. 채운산의 토양은 2-5mm의 조립 물질이 약 5% 함유되고, 주로 실트질에서 세립사질로 구성되어 있으며 두께는 30-60cm로 얇다. 채운산은 완만한 곳이 10-15°, 급한 곳이 20-25°의 경사를 이루고 있다. 산림지역의 식생은 1-3m 간격의 소나무가 주종을 이루고 중간에 밤나무가 끼어 있다. 표층은 낙엽이 2-3cm로 얇게 덮여 있으며 토양내의 유기물의 형성은 두껍지 않은 편이다. 산 전체가 인간의 간섭활동이 많은 편으로 표층이 노출된 부분에서는 침식활동이 활발하며, 굵은 입자가 많아서 판상침식보다는 구곡침식의 형태가 많다. 나무뿌리의 노출정도로 볼 때 심한 곳은 30cm 이상 침식된 부분이 많다. 구곡은 작은 것이 폭 30-50cm, 깊이 약 10cm이며, 큰 것이 폭 5-10m, 깊이 0.5-0.8m이다.



- 공주시 계룡면 기산리 기산저수지 서쪽(반상쇄설 편마상 화강암)

기산저수지 주변은 혼성편마암과 운모편암 등의 변성암류와 반상쇄설 편마상 화강암이 분포하고 있다. 기산저수지를 중심으로 볼 때 변성암류는 북북동 방향으로 분포되어 있고 화강암류가 그 사이에 대상으로 끼어 있는데, 이러한 경우, 화강암류에 비해 비교적 풍화에 강한 변성암류의 분포 때문에 차별 침식에 의한 넓은 평야의 발달은 거의 없다. 남북으로 달리는 23번도로를 필두로 하여 구조적 영향으로 충적저지가 발달하는 경우가 많다. 그렇지만 소규모의 충적저지는 변성암류 분포지점보다는 화강암류 분포 지점에 많다.

기산저수지를 에워싸는 산 구릉의 지형은 주로 화강암류로만 이뤄진 지역과는 차이를 보여 화강암질의 지형도 150-220m의 고도를 나타내며 20-35°의 급경사를 이루는 곳이 많은데 이러한 지점은 침식으로 인해 토양층이 거의 남아 있지 않아 기반암이 노출되어 있거나 20-30cm 정도의 두께로 남아 있다. 경사가 10-20°로 비교적 완만한 지점에서 토양층의 두께는 30-50cm 정도로 얇은 편이다. 완만한 경사지에서는 소규모의 계단식 논이나 밭으로 이용되고 있으며, 경작지 보다 상위지점의 약 5부 능선까지는 과수원으로 이용되는 경우가 많다. 토양은 기반암이 조립 쇄설물이 많은 관계로 토양에도 조립물질이 많은 편이며, 10-15cm의 암편들도 약간 섞여 있다. 토양의 주 구성 물질은 세립사와 실트이지만 굵은 자갈이 많이 섞여 있다. 따라서 산사면의 경사윤곽은 직선형이지만 자세히 보면 작은 기복이 많이 발달하여 있어서 침식에 대하여 상당한 저항을 갖는 것으로 생각된다. 또한 구성물질에 조립물질의 함유량이 비교적 많기 때문에 강우에 지표면이 직접 노출되어도 어느 정도 침식되어 세립물질이 제거된 다음부터는 표면에 조립물질의 양이 상대적으로 많아져서 소위 장갑화 현상이 일어나기 때문에 침식작용에 비교적 저항성이 강하다고 볼 수 있다. 이곳의 식생은 키가 5-7m 정도의 소나무 군락지역으로 사이사이에 떡갈나무와 같은 작은 관목들이 자라고 있으며 비교적 식생이 밀집되어 있다고 볼 수 있다. 낙엽 등의 유기물 층은 5cm 이하로 얇은 편이다. 침식율측정장치가 설치되어 있는 곳은 밤나무가 심어져 있는 곳으로 밤나무 사이의 식생피복은 약간의 잡초로 덮여 있을 뿐이고 열악한 편이다. 밤나무의 낙엽이 어느 정도는 덮고 있으나 대부분은 강우에 의해 지표면이 그대로 노출되는 상황이다.

최근(2000년 5월 현재)에는 기존의 밤나무 밭과 이의 연장부 8부 능선까지 밤나무를 다시 심기 위하여 식생을 제거한 상태이기 때문에 금년에 집중호우가 발생하면 많은 토사가 저수지 및 소 하천으로 유입될 것으로 판단된다.

**편마암, 편암류 지역**

- 공주시 무룡동(혼성 편마암)

공주시 정자말에서 금강교까지는 변성암류 사이를 관통하는데 이는 차별침식보다는 구조적 영향으로 강이 형성된 것으로 생각된다. 이러한 지역에서는 화강암으로 이뤄진 부분만 낮은 저지를 이루고 있을 뿐 대부분 급한 신지를 이루고 있어서 비교적 완만한 곳이 15-25°, 급한 곳은 32° 이상의 급경사를 이루고 있다.

조사 지점은 혼성편마암으로 이뤄진 곳으로 계곡의 발달이 화강암 지역에 비해 미미하다. 구곡의 발달은 뚜렷하지 않으나, 계곡은 비교적 깊게 발달되어 있어 폭이 5-10m, 길이는 60여m이며, 계곡의 양 벽은 30-45°의 급경사를 이루고 있다. 따라서 집중호우시에는 경사면보다는 이러한 계곡의 양 벽을 세굴하는 침식작용이 주를 이룰 것으로 판단된다. 식생은 키가 7-10m인 소나무, 아카시아 나무, 참나무, 그리고 키가 1-2m인 잡목으로 이뤄져 있다. 표토를 덮고 있는 유기물은 소나무와 참나무의 낙엽으로 이뤄지며 두께는 약 5cm 정도이다.

사면 경사는 20-25°이며 전반적으로 경사길이가 길고 직선형이나 토양층의 구성물질 중, 자갈이 많이 포함되는 관계로 작은 기복이 많아져서 침식활동에 대해 저항성을 갖는 것으로 보인다.

- 공주시 금성동 공산성(혼성편마암)

이 지점은 금강교를 건너 좌측에 위치하며 금강 남쪽에서 절벽을 이루고 있으며 경사가 강과 접한 면은 45-52°, 강 반대쪽인 남쪽 사면은 강과 가까운 쪽에서 35-40°의 급경사를 이루고 있으나, 강과 멀어지면서 지질은 운모편암으로 접이하고 경사도 10-15°로 완만해진다. 급경사인 곳은 토양이 부분적으로 남아 있거나 매우 얇고 기반암이 노출되는 곳이 많다. 식생은 참나무과의 활엽수(5-6m의 키)들이 주종을 이루고 있으며 뿌리는 바위틈 사이로 뚫고 들어가 풍화에 기여를 하고 있으나 한편으로는 침식을 막아주는 역할도 하고 있다. 따라서 이러한 지점에서 침식활동은 매우 약한 것으로 보인다. 완경사인 운모편암 분포 지점은 같은 종의 활엽수인데도 키가 크고(약 10m 이상), 끈게 뻗어 있으나, 경사가 급한 쪽의 것들은 기울거나 구부러져 있는 상태가 많으며, 발육속도가 매우 나쁜데, 이는 토양의 발달과 관계되는 것으로 판단된다.

- 공주시 우성면 동대리 통천포휴게소 뒷산 (호상편마암)

침식조사 지역은 호상편마암 지역으로 산의 고도는 120m 전후로 비교적 낮은 편이나 경사는 약간 급하여 30-35°를 이루고 있다. 토양층은 비교적 두꺼워서 1.5m 이상이다. 실트가 주를 이루나 2-5cm의 암편이 5% 정도 포함되어 있다. 이 지역은 전반적으로 키 10m 전후의 소나무 군락 지역으로 다른 수종은 거의 볼 수 없다. 전반적으로 침식활동이 활발하여 계곡의 폭(20-40m)이 넓고 연장성도 좋다. 소나무 군락 지역에서의 피복은 주로 소나무의 낙엽이며 계곡의 벽 부분에서 계속 침식해 들어가는 현상이 있다. 소나무 군락 지역에서는 관목이 사이에 많이 자라고 있는 지역에서는 침식이 약하고 그렇지 않은 곳에서는 집중호우시 침식이 활발한 것으로 보인다. 산이 높지 않고 도로와 가까운 관계로 밤나무를 재배하고 있는 곳이 많다. 밤나무 과수원은 경사가 급한 탓으로 폭2m 내외의 계단상으로 설치하였고, 사면길이는 5m 경사는 45° 정도이다. 계단사면에서의 경사가 심하고, 밤나무 뿌리가 노출된 곳도 보인다. 나무뿌리의 노출로 보아 침식이 심한 곳은 20-50cm의 침식 깊이를 보인다. 특히 이곳에서는 인간의 간섭이 많은 곳에서의 침식현상이 현저하다.

- 부여시 은산면 신대리 밤나무 밭 (운모편암)

이 지역은 운모편암으로 구성되는데, 동북동 방향으로 분포하는 화강암과 화강편마암 사이에 분포하는 암체로 규모는 크지 않다. 조사대상 지점인 밤나무 밭 사면은 10-20°의 경사를 가지고, 10-30cm 암편과 2-3cm의 것을 약 15% 포함하고 있는 실트질 토양이다. 토양층의 두께는 얇은 편이며 대개 30-50cm이다. 밤나무 밭의 토양표면은 비교적 균일하게 잡초가 덮고 있으며 경사가 급한 곳은 침식으로 인하여 노출되어 있다. 편암으로 구성된 지역이 보통 그러하듯이 굽은 암편이 포함되어 있고, 전반적인 산사면은 직선적이나 부분적으로 잔 기복이 많아 구곡 침식에도 비교적 저항성이 큰 편이다. 그렇지만 집중호우시에는 비교적 급경사이므로 그러한 굽은 자갈까지도 휩쓸려 내려올 가능성이 있으며 실제로 소 계곡을 선상지 모양으로 채워 완만한 퇴적지형을 이루는 곳이 자주 관찰된다. 이 지점은 침식을 측정장치 설치 지점이다.

- 익산시 용안면 용두리 용두2 양수장 뒤(운모편암)

용두리의 운모편암의 노두는 이처럼 차별침식에 의해 남아 있는 노두의 일부분으로, 이 또한 계속되는 풍화 작용으로 인해 용두리 양수장 뒤편에서는 깎아지른 듯한 절벽을 이루고

있다. 한편 환경사 지점에는 토양이 어느 정도 발달되어 있고 활엽수(10-15m의 키), 관목 등이 울창하게 자라고 활엽수의 낙엽이 표층을 피복하고 있다. 이 지점에서의 침식작용은 주로 구곡침식에 의한 것이고 구곡의 폭은 2-3m이며 깊이는 0.6-0.7m이다(나무뿌리의 노출).

### 세일, 역암류 지역

#### - 부여시 세도면 청포리 다근이나루(저색 세일)

상기한 퇴적암류와 변성암류의 블록 중에서 풍화와 침식에 저항하여 노두 상태로 남아 있는 것 중의 하나가 다근이나루 우안에 노두로 남아있는 퇴적암류이다. 유로와 접하는 부분의 지질은 저색 역암층인데, 이러한 역암은 특히 풍화와 침식에 대해 저항성이 큰 것으로 나타났다. 강경 지역에서의 퇴적암류의 분포는 금강이 남동에서 남서로 유로를 바꾸는 우측에 블록으로 분포하고 있다. 이러한 퇴적암류는 역암뿐만 아니라 저색 세일, 응회질 세일, 사암 등 다양한 분포양상을 보인다. 다근이나루 뒤편 구릉도 유로에서 벗어나 안쪽으로 가면 저색 세일과 사암으로 변한다.

이 지점은 침식을 측정장치 설치 지점으로 지질은 저색 세일로 0.5-1.5mm의 장식 입자가 5% 정도 들어 있다. 기계적 풍화의 영향을 크게 받아 1-3cm의 암편으로 깨어지는 경우가 많다. 이 곳에서의 토양층의 두께는 부분적으로 차이가 있어서 급경사인 곳에서는 노두가 드러나 있고, 환경사인 곳은 비교적 두껍게 발달되어 농경지로 활용되고 있다. 토양화가 진행이 많이 된 곳은 암편의 함유량이 적지만 그렇지 않은 곳은 약 30%까지 들어 있다. 그리고 부분적으로 10-20cm의 각진 자갈이 섞여 있는 경우도 관찰된다. 침식을 측정장치가 설치된 곳은 농경지에서 약 10m 위쪽으로 소나무 군락지역이다. 소나무는 10-15m의 키이고 그 간격은 1-3m이며 사이에 작은 관목들이 분포하며 잡초 등의 식생은 밀도가 크지 않고 토양의 표면은 소나무 낙엽이 두께 약 10cm로 덮고 있다. 따라서 침식의 형태도 대부분이 구곡의 형태로 일어나며 폭은 2m, 깊이는 0.2-0.4m, 길이는 약 10m 내외이다. 노출된 지점에서 나무뿌리 관찰에 의하면 대개 5-20cm의 두께로 침식되어 있다.

#### - 공주시 쌍신동 하신 취미산 사면(저색 역암)

조사 지점의 지질은 저색 역암으로 이뤄졌고 대부분 25° 이상의 급경사를 이루고 있다. 식생은 소나무, 떡갈나무가 주종을 이루고 그 사이를 관목이 메우고 있다. 낙엽피복은 5cm 미만이다. 기반암의 노출이 많으며 토양의 두께는 얇다. 기반암의 노출이 많은 관계로 기복이 심하며, 전체적으로 급경사업에도 불구하고 침식은 거의 일어나지 않는다. 계곡은 직경 0.5-1.5m의 암반이 노출되어 있다. 토양은 주로 실트질이며 1cm 내외의 암편이 많이 포함되어 있다. 토양층의 두께는 30cm 미만으로 얇아서 나무뿌리는 암반사이의 틈을 비집고 들어가 있는 상태이다.

#### - 공주시 웅진동 국궁장 뒤편(응회질 세일, 저색 세일)

이 지점은 취미산 남쪽 금강 좌안에 해당하며, 퇴적암 블록 중 쌍신리의 층적저지와 더불어 비교적 침식이 많은 지점이다. 이곳은 저색 세일과 응회질 세일이 혼재하는 곳으로 저색 세일이 분포하는 곳은 토양색깔도 저색이고 충분한 토양화 과정을 거치지 않은 것들이 많아 암편 함유율이 높다. 그렇지만 응회질 세일의 경우 토양은 황갈색을 띠며 비교적 토양화 과정이 진전되어 세립사와 실트로 된 토양을 형성하고 있다. 따라서 저색 세일의 경우 약간 급경사 사면이고 후자의 경우 완경사를 이루고 있다. 활발한 침식현상은 이러한 황적색을 띠는 토양층에서 나타나며 심한 곳은 깊이 폭 1m 이상의 구곡을 나타내는 곳도 보인다. 저

색 세일로 이뤄진 부분은 경사가 급하고 토양층 발달이 불량하다. 따라서 표면은 0.5-1cm 직경의 조립사 - 콩자갈이 덮고 있고 식생피복도 나쁘다. 집중호우 시를 제외하면 침식이 많지는 않은 것으로 보인다. 또한 경사는 15-25° 이며 낙엽이 많이 덮고 있는 부분은 토양층이 남아 있다. 식생은 주로 1-3m 간격의 소나무가 주를 이루고 1m 키 미만의 떡갈나무가 그 사이를 메우고 있다.

#### 4. 금강 중·하류유역의 침식량 추정

##### GIS를 이용한 침식취약 지역 추출과 USLE식을 이용한 소유역의 침식량 추정

USLE식에서 계산한 소유역별 단위면적당 추정 침식량은 표 3과 같다.

이 값은 지질요인을 포함하고 있지 않은 것으로 높은 지질 등급(화강암류 등급; 9)을 많이 포함하는 소유역의 경우, USLE 공식으로부터 추정된 단위면적당 침식량은 현장조사에서 관찰한 결과와는 약간 차이를 보이고 있다. 실제로는 화강암류(9등급)와 같은 침식되기 쉬운 지질의 분포율이 높은 경우에도 단위면적당 침식율은 낮게 나타났다. 이는 화강암류 분포지

Table 3. Erosion estimation based on USLE equation in distributary channels of Geum River

	소유역 구분	지질등급별 면적점유비	유사량(g/l)	유역별 유실량	자연·인공 상태의 침식량 실험위치	면적당 토양침식량 (kg/m <sup>2</sup> /year)
1	정안천	5등급(편마암류):94.4	공주대교 (0.78)	1,208,924		1.82
2	유구천	5등급:86.28	백제교(19.69)	2,203,802		1.76
3	지천	5등급:76.41	지천(0.96)	3,687,114	부여 신대리	1.81
4	도성천	5등급:56.19 10등급(충적층):77.66		1,191,884		1.89
5	금천	5등급:71.9	금천(0.40)	1,147,604		1.92
6	사동천	5등급:11.6 10등급:77.66		751,552	강경 간대리 다군이나루	1.39
7	음성천	5등급:13.6 9등급(화강암류):30.62 10등급:47.61		1,012,524	공주 기산저수지	1.82
8	부여	10등급:44.79		574,586		1.52
9	석정천	10등급:66.40		781,486		1.41
10	논산천	2등급(화산암류):11.08 9등급:71.94		2,304,912		1.54
11	용안면	9등급:44.93 10등급:43.85	황산교 (1.40)	314,444		1.45

역이 일반적으로 경사가 낮고 식량을 추정하는데 있어서 충적평야지대가 넓은 면적을 차지하고 있기 때문에 침식량을 추정하는데 있어서, 지질등급을 포함시키지 않은 USLE 식에서는 경사 인자가 강조되어 나타난 결과로 보인다. 실제로 유사량측정법을 이용한 유사량값을 보면 매우 높은 값을 나타내는 백제교에서의 측정값을 제외한다면 황산대교에서 측정된 유

사량값이 가장 높게 나타났다. 황산대교에서 측정된 유사량값이 넓은 논산평야를 거쳐 금강으로 유입되는 논산천과 강경천으로부터 유입되는 유사의 영향을 받았다고 보면, 논산천 유역의 경우, 유역면적이 넓으므로 금강에 유입되기까지는 상당량의 유사를 소유역에 퇴적시킨 상태일 것이다. 그러한 상태에서 황산대교에서의 유사량값은 높게 나오는 반면 논산천유역의 추정침식량이 낮게 나왔다는 것은 현실과는 약간 차이가 있는 것으로 보이며, USLE 식에 지질요인을 포함시키는 것이 합리적일 것으로 생각된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 지질요인을 고려하여 침식재해도를 작성한 것이 그림 2이다. 이 그림에서 보면 화강암류의 분포율이 높은 부여와 논산 지역의 침식율이 높은 것으로 나타나 있고 이는 현장조사에서 확인된 결과와도 조화적이다.

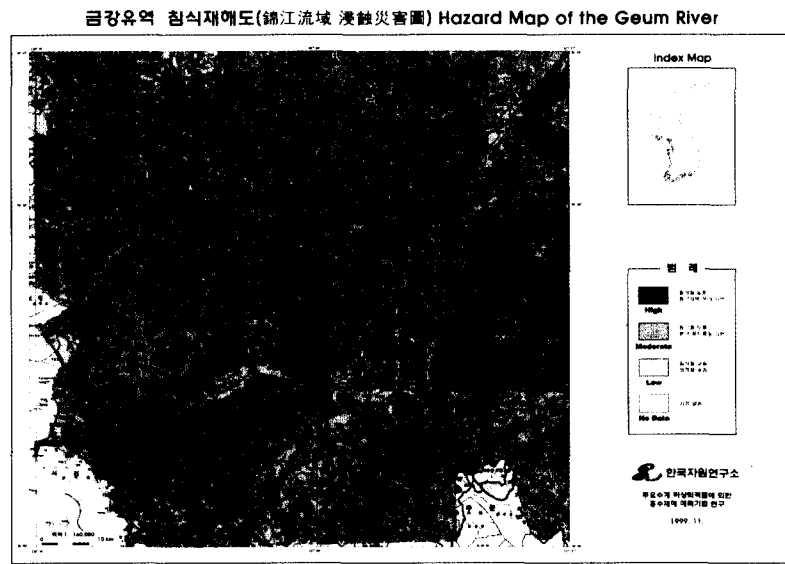


Fig. 2. Erosion hazard map drawn by USLE equation and local geology in Geum River Basin.

### 실험을 통한 침식량 추정

침식량 측정을 실시한 곳은 반상쇄설 편마상 화강암 지역인 공주시 계룡면 기산리 기산저수지 서쪽 사면 밤나무밭, 운모편암 지역인 부여시 은산면 신대리 밤나무 밭 그리고 저색세일로 이뤄진 부여시 세도면 청포리 다근이나루 뒤편 산사면의 3개소이다. 각각 경사 12-15°, 20-25° 등의 경사 조건과 자연상태와 경작지상태의 조건에서 침식율실험을 실시하였다. 침식율실험장치는 침식실험 대상 토양 넓이를 40×50cm<sup>2</sup>로 하고, 침식되어 유출되는 토사는 시료채취통에 회수되도록 제작하였다. 인공강우 장치는 펌프를 이용하여 살수장치로 물을 공급하도록 하였고, 살수되는 유량은 유량계로 조절하여 150mm/hr의 조건으로 하였다. 자연강우에서의 침식량 측정은 1999년 4월에서 1999년 9월까지의 것과 1999년 10월에서 2000년 4월까지의 것으로 나누어서 측정하였다. 인공강우를 이용한 침식량측정은 위에서 나열한 각각의 조건에 대하여 실험을 실시하였다. 측정결과는 표 4와, 그림 3-d와 같다. 그림 3-d에서 보듯이 인공강우를 이용한 침식율실험에서는 경작과 비경작(자연) 상태에서의 침식량의 차이가 크고 경사와의 상관관계가 낮게 나타났다. 이는 150mm/hr의 강우 조건으로 실험하였으므로 경사보다는 강우강도의 영향을 많이 받은 것으로 해석된다. 그러나 자연강우에서의 실험에서는 경사와 침식량과의 상관관계는 상당히 높게 나타났다. 따라서 집중호우

와 같은 극한 상황에서는 경사에 크게 영향을 받지 않고 침식이 이뤄진다는 것을 추정할 수 있다. 공주와 부여의 경우 토양에 자갈이 많이 포함되어 있고 강경의 경우 주로 모래와 실트로 구성되는데, 침식을 실험결과로 보면 강경에서의 침식량이 매우 많은 것으로 보아 토양의 구성물질에 따라서 침식활동이 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

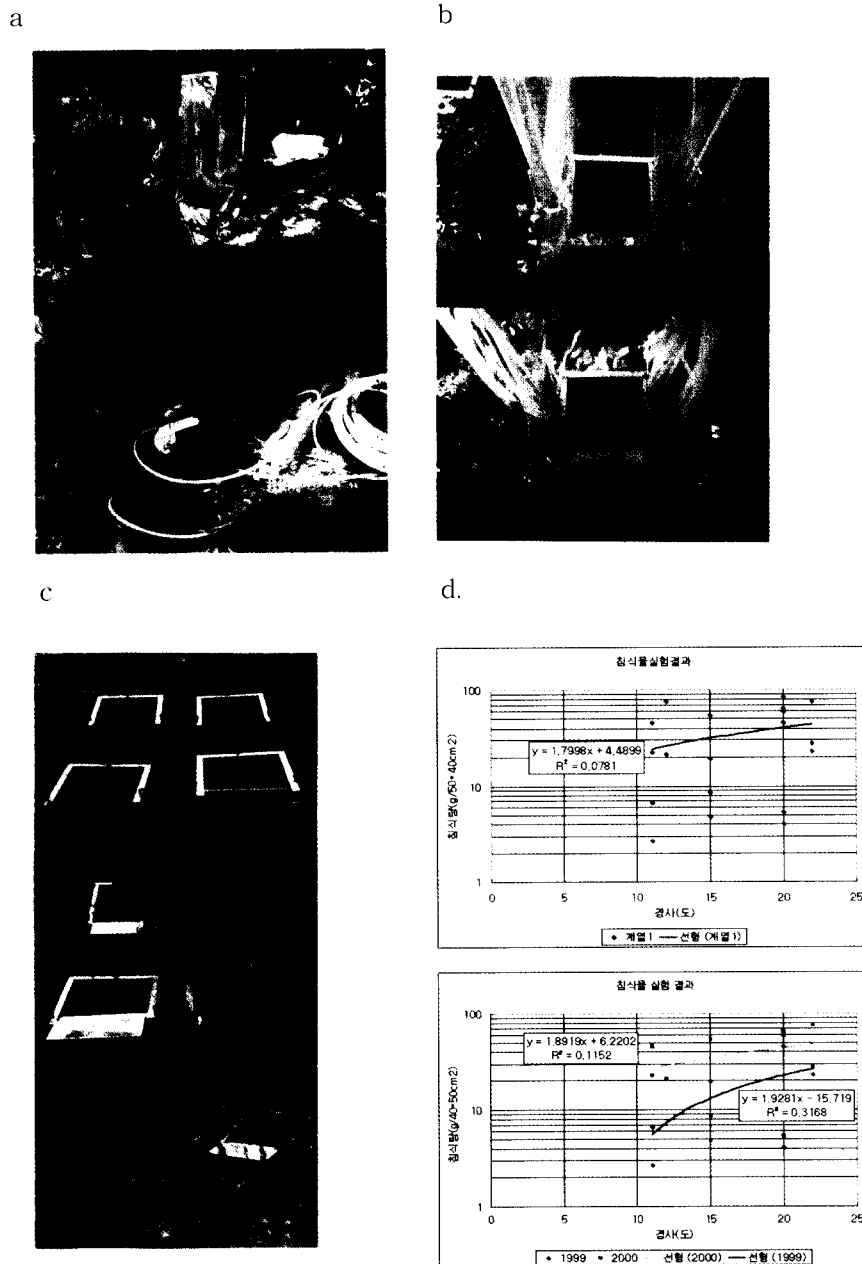


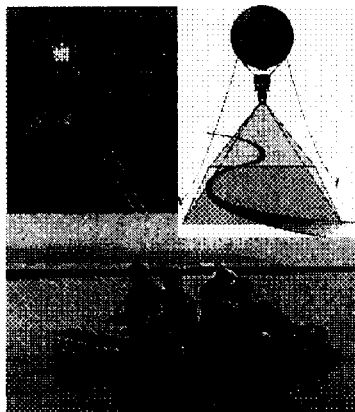
Fig. 3. Devices for in-situ erosion test a; erosion measurement under artificially controlled rainfall precipitation, b; comparison of surface soil between pre-test and post-test, c; erosion test under natural rainfall precipitation(geology, slope and cultivation practices were considered), d; Diagrams of erosion vs slope(upper; artificial rain, down; natural rain)

Table 4. Results of natural erosion test (1999. 4.-1999. 9.; wt(g))

지역	상태	경사(°)	S & C	SAND	GRAVEL	무기퇴적물	유기퇴적물	침식량
강경	자연	20	8.71	88.99	2.30	80.38	4.38	84.76
강경	자연	12	6.97	90.37	2.66	66.61	9.71	76.32
강경	경작	20	4.94	94.04	1.02	225.21	13.96	239.17
강경	경작	12	1.41	95.76	2.84	232.15	7.25	239.58
부여	자연	24	16.92	70.90	12.19	3.71	0.31	4.02
부여	자연	15	14.15	83.27	2.57	8.23	0.32	8.55
부여	경작	20	13.58	84.40	2.02	42.87	2.78	45.65
부여	경작	15	5.44	94.56	0.00	17.25	2.06	19.31
공주	자연	22	6.92	86.92	6.15	1.1	0.2	1.3
공주	자연	14	4.92	69.70	25.38	2.13	0.51	2.64
공주	경작	22	16.98	83.02	0.00	19.69	3.22	22.91
공주	경작	11	10.76	82.36	6.88	6.09	0.6	6.69

따라서 토양침식율을 계산할 때 집중호우와 같은 강우요인, 토양의 구성물질 등의 인자가 강조되도록 가중치가 설정되어야 할 것이다.

### 5. 금강유역 하류의 하상변동



#### 광파측량, 수심측량, 기구항공사진 등을 이용한 하상지형 측량

정밀 하상지형도 작성을 위하여 수면위로 누출되어 있는 부분은 광파측량으로, 수면 아래의 하상지형은 음향측심 장치를 이용하였다. 측량만으로는 조사가 곤란한 기복의 변화가 다양한 지형이나 사주 등의 지형조사에는 기구항공사진 촬영 장치를 활용하였다. 광파측량기는 스웨덴제 기종 Geodimeter 440으로, 사거리 5km, 오차는  $\pm 3\text{mm}$ 이다. 음향측심기는 미국 Raytheon 사의 모델 719-C 기종이다. 사용된 주파수는 200kHz였고 수신기의 깊이는 수심 30cm가 되도록 보트에 설치하였다. 보트가 통과하는 최저 수심은 약 50cm였고, 속도를 일정하게 유지하기 위하여 보트에는 모터를 장착하였다. 공중사진촬영에는 기구를 이용하였는데, 기구촬영장치는 기구와 카메라 장착부 그리고 리모콘으로 구성되며, 바람이 강하지 않으면 1km까지 올릴 수 있다. 기구는 최대한 올린 다음, 내리면서 리모콘으로 촬영한다. 측량은 국립지리원 발행의 1등 수준점 성과를 이용하였고, 과거의 측량 결과(금강수계 종합개발계획, 1988)와 비교하기 위하여 과거에 기준으로 삼았던 측선의 위치를 찾아서 측량하였으며, 그 횡단측선의 간격은 400-600m이다. 또한 수면하부의 하상지형은 변화가 많으므로 100m 간격으로 측심하였다. 노출된 부분에서 지형이나 기복의 변화가 심한 지점과 사주에 대해서는 기구를 이용한 공중사진을 촬영하여 측량점을 이용하여 보정한다. 조사 구간은 금강의 중·하류 유역으로 공주 무릉동에서 부여군 양화면 입포리까지 총연장 65km 구간이며, 정밀 조사 구간은 공주 3.8km, 부여 4.2km, 강경 11km 구간이다(그림 4).

### 인공위성영상 분석으로 본 하상변동

인공위성 영상을 이용하여 공주에서 강경까지의 대략적인 하상변동을 추적하여 보았다. 이는 각각의 해당연도에 대한 주성분분석 후에 각 해당연도의 PCA1영상을 기본자료로 하여 다시 주성분분석을 시행하면, 1982년부터 1997년까지의 층적지변화와 사주의 변화를 쉽게 파악할 수 있다. 영상분석결과 공주지역에서 부여 구간은 매우 심한 하상변동을 보였는데, 이는 골재채취와 퇴적, 침식의 변화가 매우 컸다는 것을 나타낸다. 실제로 82년과 86년 사이의 영상을 비교하면 이 구간에서의 퇴적현상은 눈에 띄게 증가하였다. 그러나 골재파동을 겪으면서 다량의 하천골재가 채취된 후의 91년도 영상에서는 퇴적물의 상당량이 없어진 것을 알 수 있다. 그 후 95년도 영상에서는 어느 정도 퇴적이 진전되지만 계속되는 골재 채취로 인하여 97년도 영상에서는 다시 침식경향으로 나타났다. 따라서 강경 하류의 구간에서도 골재채취는 많지 않았지만 상류의 영향으로 91년까지는 비슷한 침식과 퇴적 경향을 보이다가 하구언의 완성과 함께 퇴적경향이 뚜렷하게 나타나서 신생사주 발달이 많아진다.

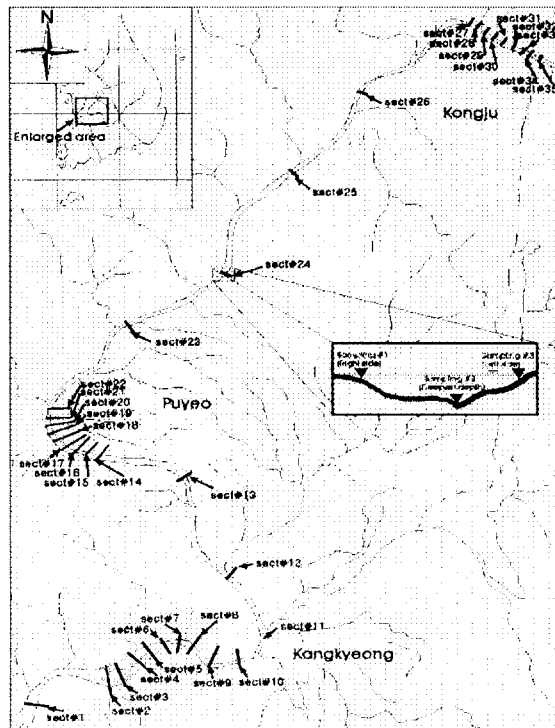


Fig. 4. Location of survey profiles in Geum River

### 측량자료를 이용한 하상의 퇴적을 산정

금강 중하류유역과 미호천 하상에서의 침식과 퇴적의 대체적인 경향을 파악하기 위하여, 하상변화가 큰 곳을 골라 1994년, 1997년, 1999년 3회에 걸쳐 좌안에서 우안을 향해 물가까지 측량을 실시하였다. 측량 결과를 보면, 미호천 중, 조치원 항공대 앞의 경우 유로가 크게 변화하였고 전반적으로 퇴적되는 경향을 보였다. 금강 중류의 공주 육교지점에서는 '94년과 '97년 사이에 많은 퇴적 경향을 보이다가 '97년과 '99년 사이에 약간 침식이 진전되었다. 측량지점에서 약 2km 하류에서 골재채취가 이뤄지고 있는데 이의 영향을 받고 있는 것으로 보인다. 부여 정동리의 경우, '94년과 '97년 사이에는 거의 변화가 없었으나 '97년과 '99년 사이



에는 많은 양의 토사가 퇴적되었다. 이는 지천과 합류되는 지점으로 지천에서의 토사 유입량이 많은 것을 알 수 있다. 부여 규암리의 경우, '94년과 '97년 사이에는 큰 변화가 없었고, '97년과 '99년 사이에는 하상변화가 약간 있어서 퇴적 경향을 보였으나 정동리에 비해서 적은 편이었다.

조사구간의 퇴적율을 구하기 위하여 정밀측량을 실시한 결과 중 '88년 측량결과와 비교한 주요 측선을 그림 5에 나타낸다. 이는 조사 구간 중 각 측선에서의 '88년과 '99년의 단면적 변화를 비교한 것이다. 측선 1에서 측선 10까지는 강경지역으로 조사구간 중 최하류에 속한다. 측선의 비교로 대략적인 침식과 퇴적 경향을 분석하면 다음과 같다.

입포수위표가 있는 측선 1과 석동리의 측선4를 제외하고 나머지 측선들은 전반적으로 퇴적 경향을 나타낸다. 특히 사주가 발달하는 측선 2 지점과 측선 5지점은 퇴적물이 많이 쌓여 어로작업을 하는 배가 통과하는데 지장을 받을 정도이다. 강경지역은 1990년대 전후를 제외

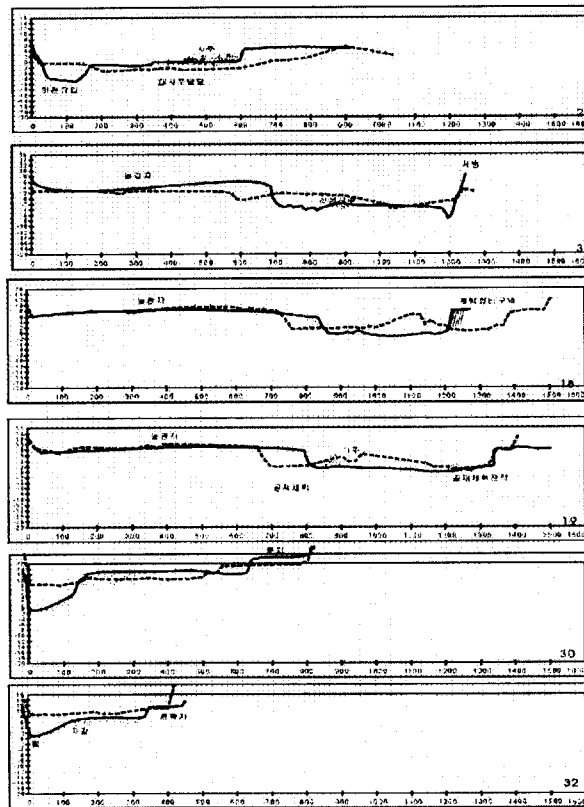


Fig. 5. Change of river bed based on the profiles data of 1988(dots) and 1999(solid lines), Ganggyeung profiles, No.2 and 3; Buyeo profiles, No.18 and 19; Gongju profiles, No.30 and 32)

하고 골재채취가 별로 이뤄지지 않았기 때문에 퇴적이 많이 이뤄진 것으로 보인다. 측선 12 지점은 금강하류의 지류로서는 비교적 큰 유역 면적을 갖는 논산천과 강경천이 합류되어 유입되는 지점으로 토사가 많이 퇴적되는 지점이다. 이 지점의 상류와 하류에서 골재채취가 활발하게 이뤄지고 있음에도 불구하고 이러한 퇴적현상을 나타내는 것으로 보아 지류에서 유입되는 토사의 양이 상당히 많은 것으로 추정된다. 다음으로 부여지역 정밀조사 구간은 과거에 골재채취가 많이 이뤄졌고, 제방정비 과정을 거치면서 하상이 심하게 교란된 구간이

다. 특히 측선 15와 측선 16 구간은 현재 골재채취가 진행되고 있는 구간이다. 측선 17과 측선 18 구간은 제방정비 구간이며, 측선 19에서 측선 21까지는 과거의 골재 채취로 인하여 사주가 없어지거나 일부 남아 있는 상태이며, 바닥은 대부분 평탄화되고 골재의 선별채취로 인해 자갈이 남아 바닥을 덮고 있다. 일부 구간에서는 하상이 세굴되어 구 홍수범람층이 노출되어 있는 곳도 있다. 그러나 전반적으로 골재채취 작업이 활발하게 이루어졌음에도 불구하고 침식현상이 현저하지 않은 점으로 보아 지천과 급천에서 유입되는 토사의 양이 많은 것으로 판단된다. 부여와 공주사이의 정밀조사 구간은 측선 23에서 측선 26까지이다. 이 구간은 80년대 후반부터 90년대 후반까지 골재채취가 가장 많이 이뤄진 곳으로 하상지형 변화도 가장 심하다. 따라서 이 구간은 '88년도와 비교할 때 '99년의 경우 측선 26을 제외하면 전반적으로 뚜렷한 침식경향을 나타내고 있다. 위에서 언급하였듯이 정동리(측선 23)의 경우, '94년도와 비교할 때 퇴적경향을 나타내고 있으나, 이 지점의 경우도 '88년의 측선과 비교하면 침식경향이 뚜렷함을 알 수 있다. 공주지역 정밀조사 구간은 측선 25에서 측선 35 구간이다. 측선 27에서 약 1km 하류에서 수년간에 걸친 골재채취의 영향으로 전반적으로 침식경향을 나타내고 있다. 측선 27에서 측선 30까지의 약 1.5km 구간은 유로가 좌안으로 거의 고정되고 수심은 깊어지고 있으며, 유로 주변에서 자갈이 표면을 덮는 장갑화 현상이 나타난다. 이와 같이 '88년도와 '99년도의 측선만으로 비교할 때 강경지역은 퇴적현상을 부여지역은 거의 평형상태, 그리고 부여에서 공주까지는 침식현상이 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 부여에서 공주사이의 주로 침식이 일어나는 구간에서는 하상을 자갈이 덮는 장갑화현상이 나타나고 있어 어느 정도 침식을 억제해주는 역할을 하는 것으로 보인다.

이렇게 작성된 정밀하상지형도, 기존 하상지형측량 자료, 과거의 골재채취자료 등을 이용하여 퇴적율을 산정하였다. 공주에서 부여 사이는 침식경향이 강하지만 강경하류지역에서는 퇴적되는 경향으로 나타나 강경지역의 퇴적율을 계산한 결과 매년 약 5cm의 퇴적이 이뤄지는 것으로 산정되었다(그림 6).

#### 하상퇴적물의 입도분포 분석

강경, 부여, 공주의 정밀조사 구간에서 좌안, 우안, 최심선에서 채취한 시료에 대해 입도분포를 분석하였다. 그 결과 금강 퇴적물의 평균 입도는 강경에서 0.37mm, 부여에서 0.59mm, 공주에서 0.53 mm로 나왔다. 각 측선에서의 D<sub>50</sub> 입도분포(그림 7)를 보면 전반적으로 공주에서

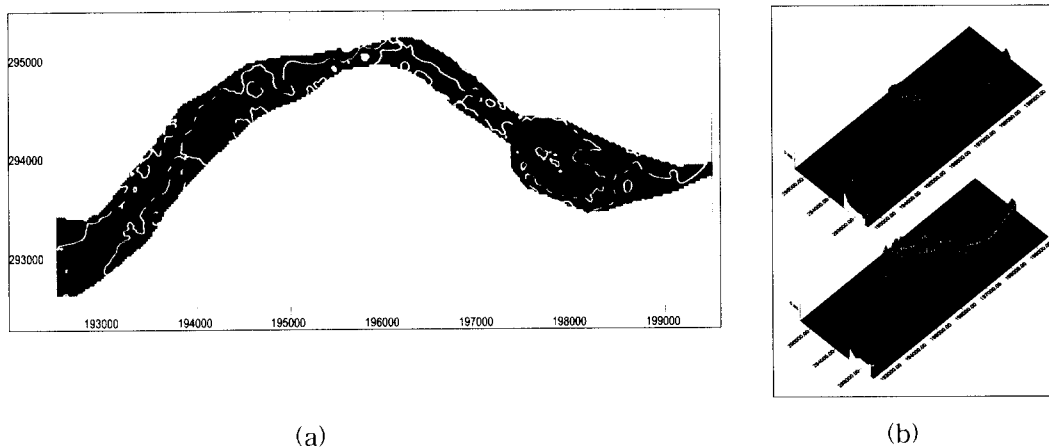


Fig. 6. Sedimentation analyzed 1988 profiles and 1999 profiles, a) sedimentation dominant (red); erosion dominant (blue); b) riverbed in 1988(upper) and river bed in 1999

강경을 향하여 입도가 작아지는 경향을 보이고 있으나 부여에서 공주 사이의 구간은 편차가 매우 크게 나타났다. 또한 각 구간에서의 입도분포곡선을 보면 강경에서는 약간의 불규칙한 곡선이 있을 뿐 전반적으로 정상적인 패턴을 보인다(그림 8). 그러나 부여와 공주구간은 매우 불규칙하며 편차가 큰 곡선을 나타내고 있다. 따라서 부여와 공주에서의 이러한 원인은 골재의 선별채취로 인한 입도의 교란으로 보는 것이 타당할 것으로 보인다.

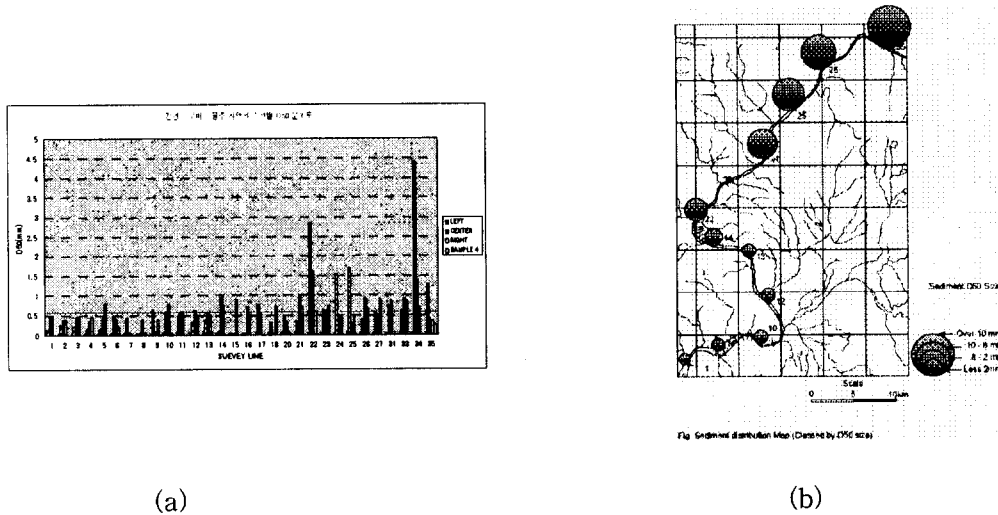


Fig. 7. Distribution of grain size(histogram) and mean size of Geum River bed sediments.

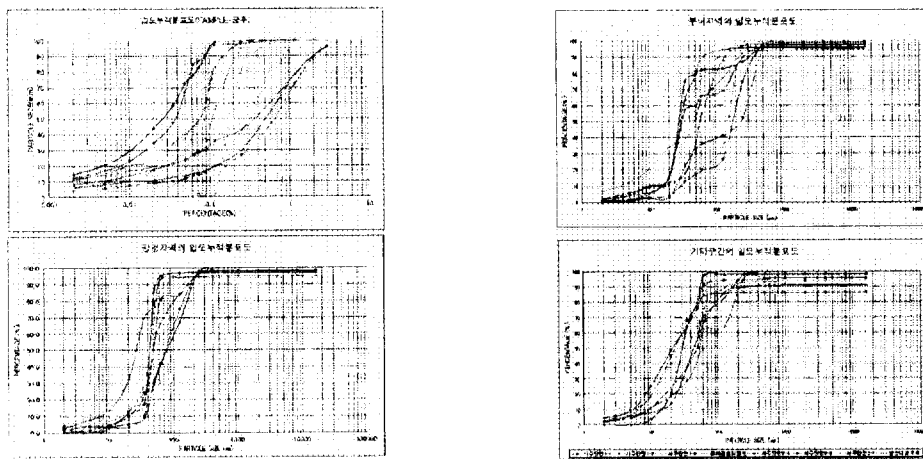


Fig. 8. Cumulative curve of grain sizes for the river bed sediments Ganggyeong, Buyeo and Gongju areas.

### HEC-6 모형을 적용한 하상변동 예측

본 연구에서는 금강 하류를 대상유역으로 하여, 하천 및 저수지의 세굴 및 퇴적에 따른 하상변동을 모의하고 추정하기 위해, 충남대학교 토목공학과와 자문을 얻어, HEC-6 모형을 이용하여 하상변동을 예측하여 보았다. HEC-6모형은 하천 및 저수지의 세굴 및 퇴적에 따른 하상변동을 모의하고 추정하기 위한 1차원 개수로 흐름의 수치모형이다. 하천의 총유사량을 계산하기 위하여 Laursen(1958)에 의해 개발된 유사량 공식을 선정하여 사용하였다.

적용 대상유역은 금강 중류와 하류구간으로, 대상구간의 유로 연장은 강경의 황산대교에서 입포 수위표에 이르는 7.35 km이다.

하상변동은 자연적인 것 외에도, 하천정비, 골재채취, 댐 및 교량 등의 인간간섭에 의한 경우가 많다. 금강의 하천단면 자료는 1974년, 1975년, 1983년, 1988년의 금강수계종합정비계획 등이 있다. 또한 1980년에 완공된 대청댐 건설 후, 상당한 시간이 지난 후의 하천 단면 자료이므로, 모형의 입력자료로 사용하고, 1999년 한국자원연구소에서 수행한 하천측량 자료는 모형의 예측결과를 검토하는데 이용하였다. 수집된 하천단면 자료를 도시한 결과는 그림 9와 같다.

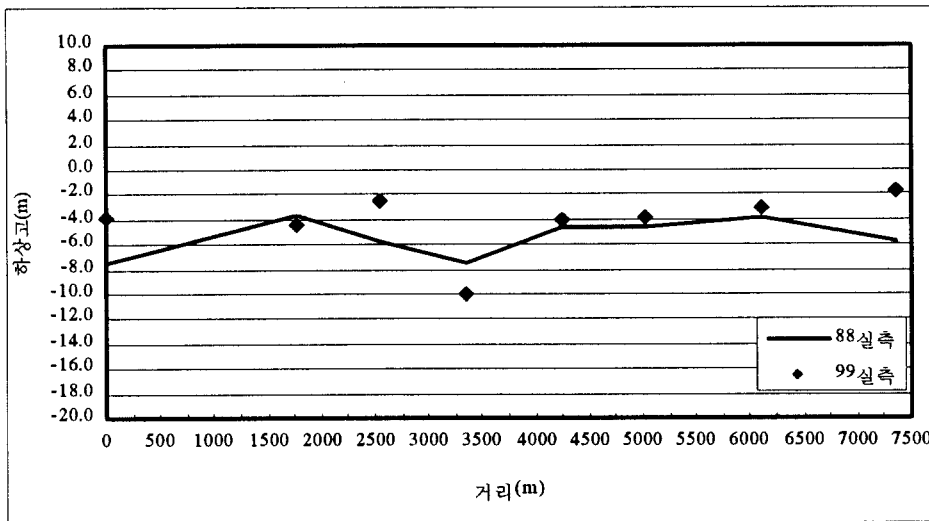


Fig. 9. River bed change in the Ganggyeong area of Geum River (1988~1999), (dots; '99 measurement, solid line; '88 data)

강경지점에서 수집된 하상토는 주로 0.5 mm 내외의 세립사 및 중립사이다. 호박돌이나 자갈 등 조립질이 거의 없는 모래로 이루어져 있으며, 장갑화 현상이 거의 발생하지 않는 것으로 판단된다. 본 구간 내에는 강경 수위표가 있으며, 상류에는 규암 수위표가 있고, 하류에는 입포 수위표가 있다. 대상지점에서의 수위-유량 곡선을 결정하기 위해서, 건설교통부 및 금강홍수통제소에서 수집·정리하고, 개발한 수위 곡선식을 사용하였다. 강경 수위-유량 곡선식은 1995년부터 1998년까지 정리한 것이며,

$$2.17 \leq h \leq 8.04, Q = 66.855(h - 0.367)^{2.334} \text{ 을 사용하였다.}$$

HEC-6의 변수보정은 이동상(movable bed) 모형보정을 적용하였다. 수온은 댐청댐 방류시의 수온을 적용하였는데 1981~1985년의 5개년간의 평균 수온은 15.5℃이다.

Manning의 n 값은 물의 흐름 및 유사의 이동을 지배하는 가장 중요한 인자이며, 한국건설기술연구원(1991)에서 결정한 값 즉, 하도구간은 0.025, 고수부지는 0.03의 값을 입력하였다. 1965년 및 1968년 금강유역조사사업시 금강의 용담, 옥천, 수통, 송포, 공주, 규암의 6개 수위표 지점에서 실측한 유량 및 부유사량 상관도(건설부, 1988)로부터 유도한 유사량 공식(건설부, 1993)을 사용하였다. 또한 총유사량을 계산에는 Laursen 공식을 선정하여 사용하였다.

HEC-6모형을 이용하여 금강 하류지역에서 2004년까지 예측해 본 결과는 다음과 같다. 1988년 실측 자료와 1999년 실측 자료를 이용하여 HEC-6로 모의하여 본 결과 대체적으로

하상이 상승되는 현상을 보이고 있다.

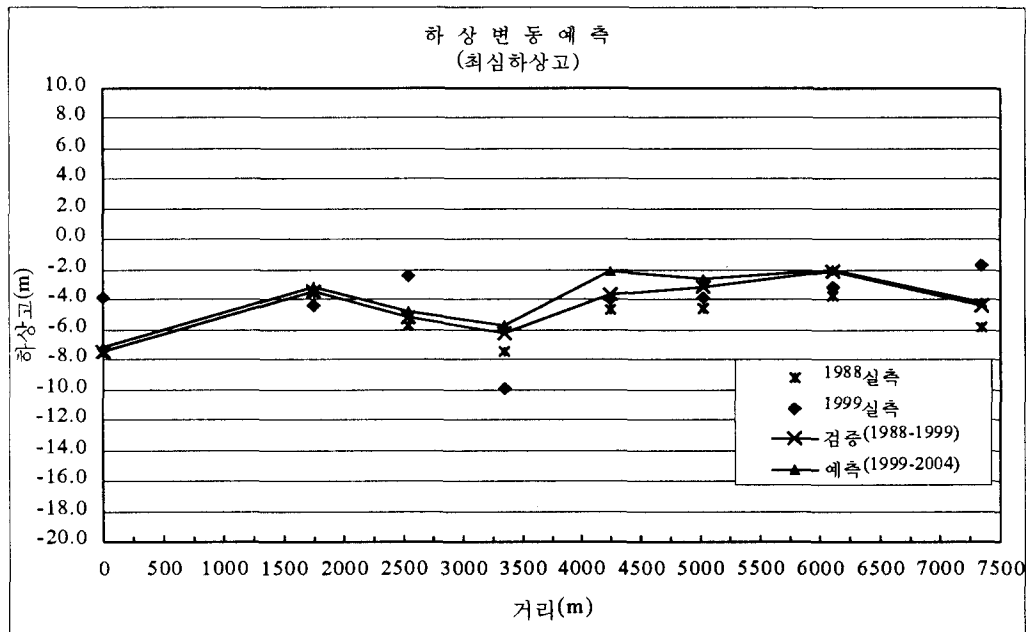


Fig. 10. Prediction of river bed change until 2004 based on HEC-6 analysis.

그림 10에서 보여주고 있는 것처럼, 하류로부터 약 1.55 km 지점까지 1988년에 비해 1999 년도에 하상고가 크게 상승된 결과를 보여 주고 있으나, HEC-6의 결과를 보면 2004년까지 모의결과는 훨씬 적은 양으로 상승된 결과를 보여주고 있다. 이러한 현상은 금강 하구둑으로 인하여 금강호의 영향으로 유속이 매우 작으므로 하상이 빠른 속도로 상승하고 있는 현상을 보여 주고 있으나, 이 영향을 무시한 HEC-6에서는 적은 양으로 상승하는 현상을 나타 내고 있다. 그러나 HEC-6 모의 현상과 실제 하상변동이 같은 추이를 보여 주고 있다.

하류로부터 약 3.5km 지점에서는 1988년도에 비해 1999년에 하상이 세굴되고 있으나, HEC-6로 모의한 결과는 하상이 적은 양으로 상승하는 현상을 보이고 있다. 하류로부터 약 4.25km 지점에서는 1988년도에 비해 1999년에 하상이 상승되고 있고, HEC-6로 모의하여 본 결과 하상이 계속 상승될 것을 예측이 되고 있다. 하류로부터 약 5km에서 6.5km 지점까지는 HEC-6 모형이 매우 정확하게 모의하고 있으며, 앞으로 하천의 교란 등 간섭이 없는 한 계속해서 상승될 것을 보이고 있다. 본 연구구간의 상류에서는 1988년에 비해 1999년도 에 하상 상승이 큰 폭으로 이루어지고 있으나, HEC-6 모형에서는 하상 상승이 적게 이루어 지고 있는 현상을 보이고 있다. 개략적인 측면에서 실측과 HEC-6 모의결과는 같은 경향을 보여주고 있다.

### 결 론

본 연구에서는 금강 중·하류유역 산사면에서의 침식현상이 하상변동에 미치는 영향을 파악하기 위하여, 현장조사, 침식율실험, GIS를 이용한 침식율 산정을 하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 금강유역 산사면에서의 침식을 산정에 있어서 USLE 공식에 지질인자를 포함시킨 결과가 현실에 가까웠다.
- 2) 금강유역에서는 화강암류 분포지역에서 침식율이 높게 나왔다.
- 3) 유사량 측정결과, 부여 백제대교와 강경 황산대교에서 높게 나왔다.
- 4) 정밀하상지형도를 작성하여 강경하류지역의 퇴적율을 산정한 결과 연간 약 5cm의 퇴적이 일어나는 것으로 산정되었다. HEC-6를 이용하여 2004년까지 예측한 결과도 하상의 상승 경향으로 나왔다.
- 5) 공주에서 강경 상류까지 많은 골재채취가 이뤄지고 있음에도 불구하고 강경하류에서 퇴적현상이 나타나는 원인은 소유역 침식으로 인한 토사의 이동과 하구언댐 건설로 인한 것이다.

사 사 : 이 연구는 과학기술부에서 시행하는 중점국가연구개발사업의 하나인 자연재해방재 기술개발사업으로 수행된 것입니다. 연구비를 지원해 준 정부에 감사 드립니다.

## 참 고 문 헌

- 건설부, 1988, 금강수계 종합 정비계획 보고서.
- 건설부, 1993, 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서, pp. 5-1 - 5-121.
- 건설교통부, 1995, 금강수계 주요지점 유량측정보고서(규암, 공주, 금남, 석화), 동부엔지니어링, 금강홍수통제소.
- 건설교통부, 1995, 금강 하류지역 유량 측정정보고서(강경, 우곤, 논산, 석동, 구룡)
- 김경숙, 박종현, 윤기준, 이상호. 1995. GIS를 이용한 분산형 강우-유출 모형의 개발. 대한원격탐사학회지 11(2): 1-16.
- 남선우, 1978, “하천의 유사량과 하상변동에 관한 연구.” 한국수문학회지, 제 11 권, 제 1호, pp. 47-58.
- 박정웅, 1984, 홍수시의 하상변동에 관한 연구, 공학박사학위논문, 한양대.
- 박상덕, 1989, 홍수파의 영향을 고려한 하상 변동 예측 모형, 공학박사학위논문, 연세대.
- 윤세의, 이종태, 정재욱. 1997, 하천유역의 유사량 산정 및 하상변동 예측을 위한 영향인자의 평가분석. 한국수자원학회논문집 30(5): 561-570.
- 이규성. 1994, 산림유역의 토양유실량 예측을 위한 지리정보시스템의 범용토양유실식(USLE)에의 적용. 한국임학회지 83(3): 322-330.
- 이남주, 이길성, 1998, “좌표변환에 의한 이차원 유사이동모형(I).” 대한토목학회 논문집, 제18권, 제II-5호, pp. 407-421.
- 정영상, 신제성, 신용화. 1976, 야산개발지의 토양침식에 관하여. 한국토양비료학회지 9(1): 9-16.
- 정영상, 건영기, 임형식, 하상건, 양재의. 1999, 강원도 경사지 토양유실 예측용 신USLE의 적용을 위한 강수 인자와 토양 침식성 인자의 검토. 한국토양비료학회지 32(1): 31-38.
- 정필균, 고문환, 엄기태. 1985, 토양유실량 예측을 위한 작부인자 검토. 한국비료학회지 18(1): 7-13.
- 한국건설기술연구원, 1991, 하상변동 예측모형의 비교분석, 건기연 91-WR-112.
- Al-Sheriadeh, M. S and A. Z. Al-Hamdan, 1999, Erosion risk assessment and sediment

- yeild production of King Talal Watershed, Jordan. *Enviroment Geology* 37(3): 234-242.
- Hairsine, P. B., C. G. Sander, C. W. Rose, J. Y. Perlange, W. L. Hogarth and I. Lisel, 1999, Unsteady soil erosion due to rainfall impct: a model of sediment sorting on the hillslope. *Journal of Hydrology* 220: 115-128.
- Holly, F. M. Jr. and Karim, M. F., 1983, Computer Simulation Prognosis of the Degradation of the Missouri River between Gavins Point Dam and Iowa's Southern Border, Iowa Institute of Hydraulic Research, Report No. 276.
- Holly, F. M. Jr., Yang, J. C., Schwarz, P., Schaefer, J., Hsu, S. H., and Einhelling, R., 1990, CHARIMA, Numerical Simulation of Unsteady Water and Sediment Movement In Multiply Connected Networks of Mobile-Bed Channels, IIHR Report No. 343, Iowa Inst. of Hydr. Res., Univ. of Iowa.
- Laursen, E. M., 1958, "The Total Sediment Load of Streams." *J. of Hydraulics Division, ASCE*, Vol. 84, No HY1, pp. 1530-1-1530-36.
- Navas, A. and J. Machin, 1997, Assessing erosion risk in the gypsiferous steppe of Litigo(NE Spain). AN approach using GIS. *Journal of Arid Environment* 37: 433-441.
- Onishi, Y., 1994, Sediment Transport Models and Their Testing. *Computer Modeling of Free-Surface and Pressurized Flows*(edited by Chaudhry, M. H. and Mays, L. W.), NATO ASI Series, Vol. 274, Kluwer Academic Publishers, Chapter 10, pp. 281-312.
- Simons, Li and Senturk, F., 1977, *Sediment Transport Technology*, Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado.
- Teixeira, P. C. and R. K. Misra, 1997, Erosion and sediment characteristics of cultivated forest soils as affected by the mechanical stability of aggregates. *Catena* 30: 119-134.
- Thoams, W. A. and Prasuhn, A. L., 1977, "Mathematical Modeling of Scour and Deposition." *J. of Hyd. Eng., ASCE*, Vol. 103, HY8.