

동강유역에 있어서 하상퇴적지의 연대학적 연구(I) *

-GIS와 원격탐사기법을 이용한 하천지형의 위계적 해석-

전근우¹ · 김경남¹ · 서옥하² · 김창환³

Chronological Study on the Deposits in Donggang Watershed(I) *

-Hierarchical Interpretation of River Topography using Remote Sensing Technique and GIS-

Kun-Woo CHUN¹ · Kyoung-Nam KIM¹ · Ok-Ha SEO² · Chang-Hwan KIM³

요 약

유역 및 하천지형을 해석하기 위해 이전에는 지형도와 경험에 의존한 연구가 주로 이용되었으나 최근에는 과생되는 많은 자료를 효과적으로 분석하기 위해 GIS와 원격탐사 자료를 사용하는 컴퓨터 시스템이 도입되고 있다. 이 연구는 동강유역을 대상으로 GIS와 원격탐사 기법을 사용하여 유역과 하천지형을 분석하였으며, 또한 연륜 연대학적 방법으로 하상퇴적지의 생성연대를 추정하였다. 따라서 이 연구를 통하여 제작된 하상미지형도, 유역구분도, 하천차수도는 동강보존에 유효한 자료로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

주요어: 위계적 해석, 하천지형, 연륜연대학, 합성

ABSTRACT

This research was carried out for analyzing watershed and river topography. The method based on experience and map was mainly used, but derived data are too much to effectively analyze. Therefore some researchers have introduced computer system using GIS technique and remote sensing data. This research used GIS and remote sensing technique for classifying and analyzing watershed and river topography. Also dendrochronology method was introduced for guessing the creation times of deposits. Stream order map, sub-basin delineation map, river-bed microtopography were produced through this research. These results may be used in planning for Donggang conservation.

KEYWORDS: Hierarchical Interpretation, River Topography, Dendrochronology, Fusion

2001년 8월 15일 접수 Received on August 15, 2001

* 이 논문은 1999년도 한국학술진흥재단의 연구비에 의하여 지원되었음(KRF-99-041-G00083).

1 강원대학교 산림자원학부 (nam4200@hotmail.com) Division of Forest Resources, Kangwon National University

2 강원대학교 건축조경학부 Division of Architecture and Landscape Architecture, Kangwon National University

3 강원대학교 사회교육학부 Division of Social Education, Kangwon National University

서 론

유역단위로 환경자원의 보존계획을 수립하기 위해서는 하천지형에 대한 이해가 전제되어야 하며(강원도, 2000; EPA, 1997), 지금까지는 주로 경험적 지식을 바탕으로 진행되어 왔다. 그러나 최근에 와서는 시스템 기반의 지형분석을 통한 자료의 재생산과 정밀도를 높이기 위해 많은 연구가 진행되고 있으며(김창환, 1999; Douglas, 1986; Davie, 1994; Wolock과 Price, 1994; Wolock과 McCabe, 1995), 특히 유역단위의 하천지형에 대한 위계적 해석(Montgomery와 Buffington, 1993; Rosgen, 1994)은 최근에 들어 여러 분야에서 다양하게 응용되고 있다. 특히 하천지형을 개관적이고 구체적으로 이해하기 위한 위계적 해석은 데이터의 양과 추출되는 정보의 양이 매우 많기 때문에 최근에는 시스템 기반의 해석이 주류를 이루고 있다(안승섭과 조명희, 1999; Lawrence, 1986; Jensen과 Domingue, 1988; Leehaers와 Okx, 1989; Montgomery 등, 1998; Montgomery, 1999).

이 연구는 국내에서 자연도가 높은 하천에 해당하는 동강유역을 대상으로 하천지형을 위계적으로 분류하기 위해 원격탐사 자료와 GIS 기술을 응용하여 접근이 어렵고 넓은 하천유역의 지형상을 해석하였다. 즉 유역단위의 하천지형을 위계적으로 해석하기 위해 개관적 해석은 위성사진을, 그리고 지형의 기복량에 대한 해석은 GIS 기반의 DEM 자료를 사용하였으며, 또한 하상변동의 구체적 해석을 위해 현지답사 및 수목의 연륜자료를 사용하여 동강 분류에 형성된 하상퇴적지의 형성연대를 추정하였다.

연구자료 및 방법

1. 연구대상지

연구대상지는 그림 1과 같이 강원도 중부

내륙지역에 위치하는 동강유역을 구성하는 평창, 정선 및 영월을 일부 포함하는 산지유역이다.

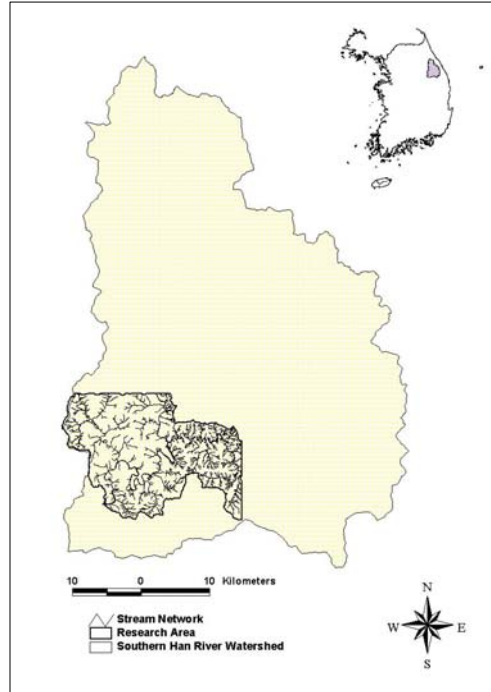


FIGURE 1. The location map of research site

동강은 태백시 창죽동 안창죽을 수원발생원으로 하여 영월과 정선군의 일부 지역을 흐르며, 가수리부터는 하류구간의 하천으로 영월읍의 동쪽에서 서강과 합류한다. 기반암은 주로 고생대의 옥천지향사에 퇴적된 석회암을 포함한 퇴적암류(평안계 대석회암통)가 주축을 이루며, 고도분포는 400~500m가 전체의 20.8%로 가장 많고, 200~300m가 가장 적다. 또한 경사분포는 20~25°의 급간이 20% 정도를 차지하고 있으며, 15~35°가 전체의 67%로 매우 높게 나타나고 있다(강영복, 1998; 송언근, 1998; 조화룡과 이금삼, 1998; 강원도, 2000).

2. 연구자료

연구대상 하천에 대한 신속하고 개관적인

하천지형의 정보를 획득하기 위해 국·내외에서 비교적 용이하게 획득되는 중·고해상도 위성영상을 활용하여 하천지형을 위계적으로 해석하였다. 즉 사용된 위성영상은 SPOT 위성자료와 KOMSAT 위성자료로 SPOT 위성영상(resolution 20m)은 XS band 자료이며, KOMSAT은 EOC(resolution 6.6m) 자료이고, 영상자료의 기하보정을 위해 1/5,000 수치지형도를 사용하여 GCP를 취득하였다. 자료해석은 범용적으로 사용되는 ENVI, Arc/Info를 사용함으로써 각 분석과정에서 객관적으로 인정된 분석 알고리즘이 연구과정에서 채택되도록 하였다. DEM 추출을 위해서는 축척 1/25,000 수치지형도를 사용하였고, 하상퇴적지의 형성연대를 추정하기 위해 성장추로 수목연륜을 채취한 후, Win dendroTM을 사용하여 연륜, 연륜폭 등을 분석하였다.

3. 연구방법

1) 하천지형의 위계적 해석

하천지형에 대한 해석은 일반적으로 현지조사 위주로 진행되고 있다. 즉 대규모의 축적하천은 접근이 용이하고, 하상퇴적지의 구분이 명확하기 때문에 지형도 분석과 현지답사를 통해 해석이 가능하나, 산지하천의 경우 접근이 어렵고 하상퇴적지의 규모 및 분포상태가 명확하지 않으므로 해석이 곤란한 점이 많다. 따라서 이 연구에서는 이러한 문제점을 보완하기 위해 그림 2와 같이 지형 및 지질학 분야에서 연구되어 온 하천지형의 위계적 분류기법을 도입하였으며, 특히 현지답사의 효율성 제고를 위해 고해상도 위성영상의 시각적 판단에 의해 현지답사 지점을 미리 선정하였다.

한편, 유역구분과 하성작용에 따른 valley

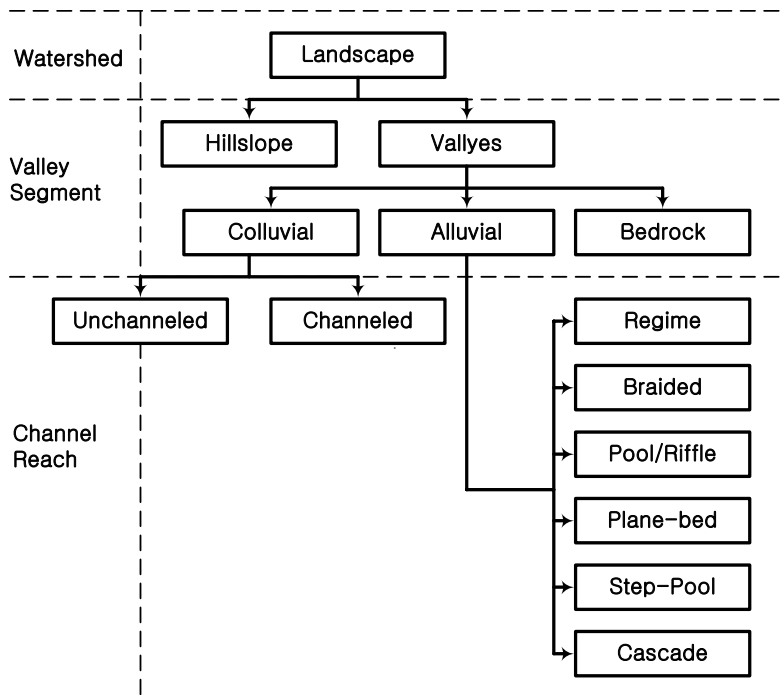


FIGURE 2. Landscape classification illustrating process divisions at the watershed, valley segment, and channel reach levels (modified by Kim, Kyoung-nam)

segment를 구분하기 위해 수치지형도로부터 파생된 DEM을 사용하여 1차적으로 남한강유역을 구분하였고, 2차적으로 연구대상지역인 동강유역을 추출하였다. channel reach는 충적하천을 대상으로 총 6개의 형태로 구분한 후, 주요 조사대상 channel unit를 선정하였다. 선정된 channel unit는 모두 하상퇴적지로서 홍수빈도(범람빈도)가 15년~100년에 해당되는 하안식생이 발달한 지역을 선정하였다.

이상의 방법은 기존의 방법에 비해 하천지형 및 하천미지형에 대한 이해도가 높기 때문에 동강유역과 같이 하폭-계곡비가 매우 높은 하천에서 일반적으로 나타나는 높은 하상계수로 인한 잦은 하상변동으로 발생하기 쉬운 하천지형의 해석오류를 최대한 줄일 수 있다. 도입된 방법으로는 KOMSAT EOC 자료와 SPOT의 HRVIR 자료의 color normalized(일명 Brovey method) 변환을 통한 시각적 하천지형 판독방법을 채택하였다. 또한 영상의 방사보정을 위해서 normalization기법을 사용하였고, 기하보정에는 affine변환 방법, resampling에는 최근린 내삽법을 각각 사용하여 전처리하였다.

2) 위성영상 합성 및 판독

하천지형의 구분 및 하상미지형 해석시 유침선의 추적, reach unit의 구분, 하폭의 판정에 원격탐사 자료를 사용할 경우에는 일반적인 원격탐사 자료를 활용하는 경우보다 작은 규모의 공간적 변화와 분광학적 변화에 주의를 기울여야 한다. 특히 원격탐사 기법을 이용하여 지상정보를 취득할 경우 단일자료를 사용하여 정보를 추출하므로 항상 한계가 내재되어 있기 때문에 많은 연구자들에 의해 다양한 원천의 자료를 통합하여 정보를 추출하고자 하는 연구가 진행되고 있다. 이러한 연구 중에서도 원격탐사 자료의 분광해상도와 공간해상도 측면에서 연구사례가 특히 주목할 만하므로 이 연구에서는 color normalized(Brovey method)기법으로 영상을 제작하고, valley segment와 channel reach 분석과정에 사용하였다.

한편 Brovey기법은 다분광 자료와 고해상도 자료를 사용하는 것으로 RGB 3밴드의 합으로 표시할 밴드 값을 나누는 다음, intensity 밴드 값으로 나누는 방법에 의해 RGB 각 밴드의 값을 새로이 생성시키는 것으로 식 ①, ②, ③과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Red band: } \{R / (R + G + B)\} * I \quad \text{①}$$

$$\text{Green band: } \{G / (R + G + B)\} * I \quad \text{②}$$

$$\text{Blue band: } \{B / (R + G + B)\} * I \quad \text{③}$$

여기서 R=Red, G=Green, B=Blue, I=Intensity (panchromatic)이다.

이 식의 연산결과, 각 밴드의 공간해상도는 고해상도 이미지의 공간해상도로 resampling 되고, 분광해상도는 다분광밴드의 정보를 유지하므로 시각적 판독이 용이한 영상이 얻어진다. 이 연구에서는 SPOT의 XS 밴드 자료를 다분광 자료로 사용하였고, 고해상도 자료는 KOMSAT EOC의 자료를 사용하였다.

3) DEM을 이용한 유역분할과 차수구분

하천지형의 위계적 해석은 대상하천이 유하하는 유역의 면적에 따라 수작업에 의한 분석과 시스템 기반에 의한 분석 중에서 채택할 수 있으나, 이 연구에서는 시스템 기반의 「수문지형분석」을 수행하였다. 수문지형분석은 지형학 및 수문학에서 실시되고 있는 지형분석을 대상으로 하는 분야로 유역을 단위로 각 미지형의 계량적 정보 및 기하학적 정보를 추출하여 수문모의과정에서 사용하기 위해 개발된 것이다. 이 연구에서는 동강유역을 대상으로 map-based의 수문지형정보 추출기법을 개발하기 위해 Arc/Info를 사용하여 그림 3과 같은 작업과정을 통해 수문지형정보를 추출하였다.

수문지형정보를 추출하기 위해 사용되는 지형도의 등고선 자료는 미지형의 기복변위와 실제지형에 대한 등고선 작도의 추출한계로 인해 실제 지형과 다른 소규모의 sink & peak 에러가 다수 발생할 수 있다. 기존 연구

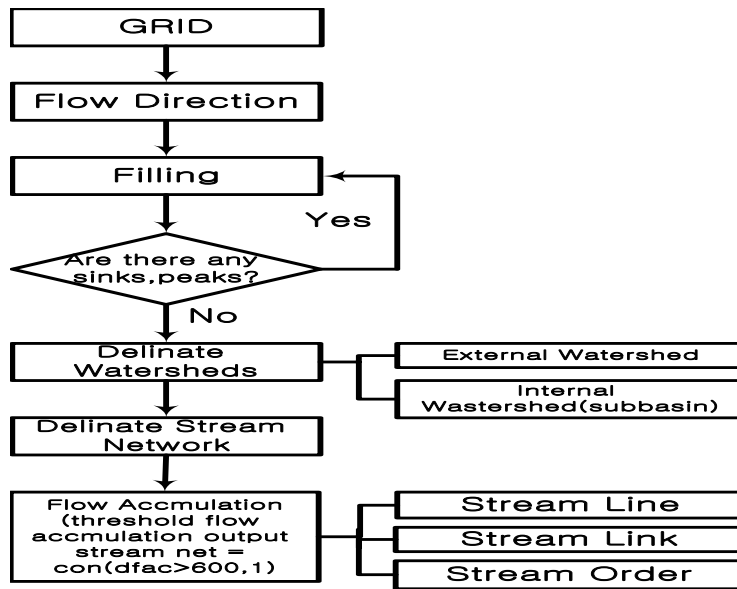


FIGURE 3. Operating routine for extracting hydrologic terrain information based on Arc/Info

(Wolock과 Price, 1994)에 의하면 이러한 경향은 실제로 매우 크게 나타나는 경향이 있으며, 이는 실제 수문지형정보 추출과정에서 오분류될 수 있기 때문에 이 연구에서는 자료처리 순서에 의하여 sink & peak 보정을 하였으며, 야계사방 구분은 소야계 기준인 임계치 20ha를 적용(산림청, 1998)하여 분석하였다.

연구결과

1. 유역의 분할과 차수의 구분

동강유역의 접세강변 지점을 유출구로 가정하고 계곡 분할로 선정된 구간을 소유역 단위로 구획한 후, 구획된 각 소유역을 통과 하천차수를 기준으로 0~5등급으로 분할하였다. 그 결과, 표 1에서 알 수 있듯이 소유역의 등급별 빈도 및 면적을 살펴보면, 수계가 발달하지 않은 지역은 11개소에 누가면적 0.366km², 평균면적 0.033km²였으며, 1차류가 통과하는 소유역은 총 빈도수 355개소에 누가면적 229.663km²,

평균면적 0.646km²였다. 또한 2차류가 통과하는 소유역은 90개소에 누가면적 36.295km², 평균면적 0.403km², 3차류가 통과하는 소유역은 57개소에 누가면적 30.506km², 평균면적 0.535km², 4차류가 통과하는 소유역은 24개소에 누가면적 14.799km², 평균면적 0.616km², 5차류가 통과하는 소유역은 23개소에 누가면적 15.825km², 평균면적 0.688km²였다.

TABLE 1. Frequency, accumulated and mean areas by sub-basin class

Sub-basin class	Frequency	Accumulated area(km ²)	Mean area(km ²)
0	11	0.366	0.033
1	355	229.663	0.646
2	90	36.295	0.403
3	57	30.506	0.535
4	24	14.799	0.616
5	23	15.825	0.688

수계가 발달한 지역은 조사대상지 327,508km² 중에서 약 30%에 해당하는 97,425km²가 2, 3, 4, 5차 수계가 통과하는 것으로 나타났다. 조화룡과 이금삼(1998)의 연구결과에 따르면, Horton-Strahler의 수계망 결정방법을 기준으로 동강을 차수구분할 경우, 그림 4에서 알 수 있듯이 분류는 5차류, 주요지류는 4차류로 구분되어 이 연구결과와 일치하였다. 그림 5는 구분된 소유역에 대해 하천차수를 기준으로 연구대상 전체의 소유역을 재분류한 것이다.

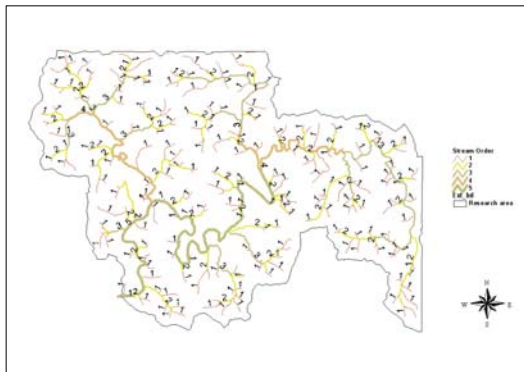


FIGURE 4. Stream order derived from DEM on Arc/Info

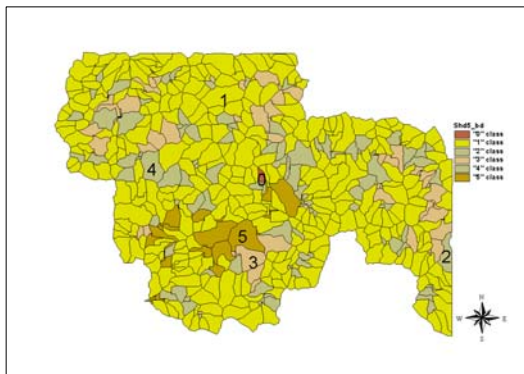


FIGURE 5. Sub-basin class in Donggang watershed on the basis of stream order

2. Valley segment 및 channel reach 구분

하상퇴적지는 지형분류 개념으로는 하천미

지형으로 구분되며, 외부영역인 수리현상의 변화에 따라 매우 민감하게 반응하는 특징이 있다. 따라서 하상퇴적지로부터 얻을 수 있는 주요정보는 하상퇴적지가 위치한 지점의 수리현상에 의한 각종 정보이며, 홍수재해에 따른 수위·수량변동은 중요한 정보원이다. 한편 개념적으로 하상퇴적지는 geomorphic province — watershed — vally segment — channel reach — channel unit의 위계적 분석 중 channel unit 단계에 해당된다(Mongomery와 Buffington, 1993). 이 연구에서는 하천지형 분석단계 중 최소 단계에 해당하며, 하천수리 현상 변화에 따라 다양한 정보를 제공하고 있는 하상퇴적지의 공간적 분포상태를 파악하기 위해 위계적 분석방법을 적용하였다. valley segment와 channel reach 구분은 원격탐사 자료를 사용하여 제작하였으며, 유역 관리시스템에서 구동되는 sharpening 자료를 사용하여 시각적으로 분할·구분하였다. 구분된 valley는 가수분교부터 협세강변까지 분할하였고, reach는 분할된 구역내에서 8개의 reach를 분류한 후, 각 reach에서 퇴적현상이 빈번히 발생하고 수변식생이 생육하고 있는 지역을 sampling site로 선정하였다. 그림 6은 동강 유역관리 시스템 중 valley segment로 선정된 구간이며, 그림 7은 구분된 valley segment중 channel unit level에 대한 주요 하상퇴적지의 관독결과 및 수목의 채취지점이다.

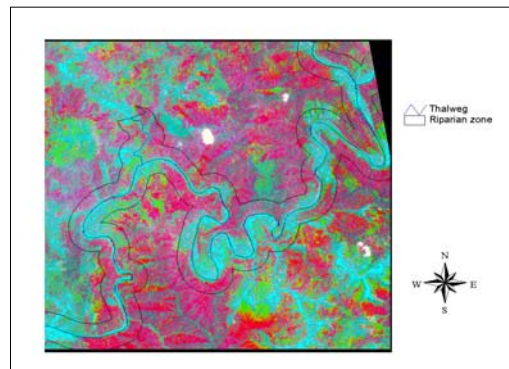


FIGURE 6. Donggang valley extracted from the sharpened image

TABLE 2. Tree ages of each deposit analyzed with tree core on Win dendro™

Deposits	Scientific name	Age	Growing state
1	<i>Platanus orientalis</i>	50	planted
	<i>Robinia pseudo-acacia</i>	13	autogenesis
	<i>Ulmus davidiana var japonica</i>	22	autogenesis
2	<i>Platanus orientalis</i>	15	bud
	<i>Platanus orientalis</i>	17	bud
3	<i>Ulmus davidiana var japonica</i>	22	autogenesis
4	<i>Salix koreensis</i>	5	autogenesis
	<i>Salix koreensis</i>	7	autogenesis
	<i>Salix koreensis</i>	6	autogenesis
5	<i>Ulmus davidiana var japonica</i>	22	autogenesis
	<i>Ulmus davidiana var japonica</i>	22	autogenesis
6	<i>Robinia pseudo-acacia</i>	27	autogenesis
	<i>Robinia pseudo-acacia</i>	23	autogenesis
7	<i>Ulmus davidiana var japonica</i>	25	autogenesis
8	<i>Ulmus pumila</i>	42	autogenesis
	<i>Ulmus pumila</i>	74	autogenesis
	<i>Ulmus pumila</i>	83	autogenesis
	<i>Ulmus pumila</i>	50	autogenesis
	<i>Ulmus pumila</i>	65	autogenesis
	<i>Ulmus pumila</i>	43	autogenesis
9	<i>Hemiptelea davidii</i>	30, 31, 32	even stand
	<i>Ulmus pumila</i>	98	autogenesis
	<i>Ulmus pumila</i>	63	autogenesis
	<i>Ulmus pumila</i>	98	autogenesis
	<i>Ulmus pumila</i>	83	autogenesis
	<i>Ulmus pumila</i>	85	autogenesis
	<i>Ulmus pumila</i>	94	autogenesis
	<i>Ulmus pumila</i>	71	autogenesis

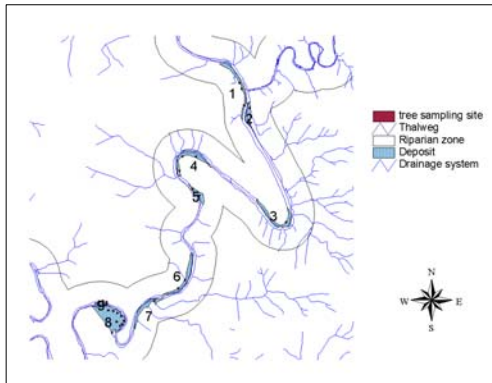


FIGURE 7. Deposits interpreted from the fusion image

3. 연륜연대학적 기법에 의한 하상퇴적지의 성립연대 추정

하상퇴적지의 시간적 해석은 하상퇴적지에 생육하고 있는 수목의 연륜해석에 의해 판독이 가능하므로(전근우, 1990; 1992; 마호섭, 1996) 하천지형에 대한 위계적 해석에 의해 channel unit level의 하상퇴적지를 구분하고, 현지답사를 통하여 채취된 수목의 core를 Win dendro™를 사용하여 분석하였다. 분석항목은 시료의 연륜폭, 춘재, 추재, 춘재 폭(%), 추재 폭(%), 연륜밀도, 춘재밀도이며, 그림 8은 5번 하상퇴적지에 생육하고 있는 느릅나무의 해석 결과로 1994~1995년이 예년에 비해 성장량이 상대적으로 낮게 나타났다.

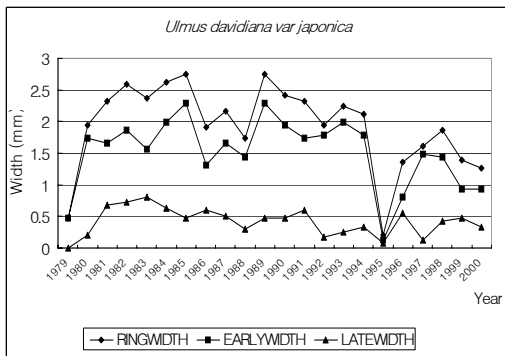


FIGURE 8. Tree ring results analyzed with Win dendro™ on No. 5 deposits

연륜해석을 실시한 결과, 각 하상퇴적지에 생육하고 있는 수목의 수령은 표 2와 같이 최소 5년생부터 98년생까지 분포하여 하상퇴적지가 다양한 규모로 생성과 소멸이 반복되었음을 잘 반영하고 있다. 특히 9번 하상퇴적지에 생육하고 있는 비술나무의 경우 수령이 98년에 이르는 것으로 보아 하상퇴적지의 성립연대가 최대 100년 이전일 것으로 추정되며, 또한 일부구간에 생육하고 있는 시무나무 동령림 임분은 30~32년의 수령을 나타내는 등 수령이 다양하여 중·소규모의 하상변동이 빈번하게 발생하였음을 잘 반영하고 있다. 그림 10은 수목연륜을 사용하여 추정한 각 하상퇴적지의 생성연대를 나타낸 하상미지형도이다.

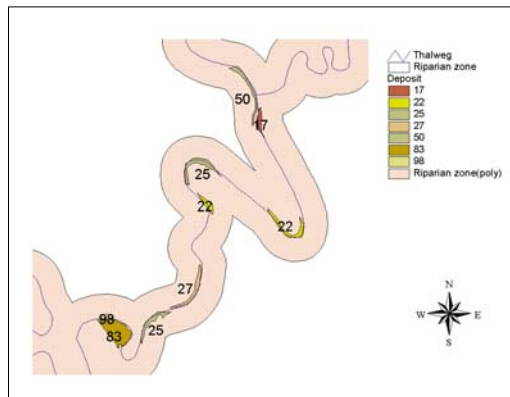


FIGURE 10. Creation times of deposits guessed by tree core

결 론

원격탐사 자료와 GIS 기술을 활용하여 시스템 기반의 유역 및 하천지형에 대한 위계적 해석을 수행한 결과, 객관적이고도 신속한 소유역 구분, 차수구분 정보를 제공할 수 있는 것으로 파악되었다. 동강의 경우 위계적 개념을 적용하여 하천미지형을 분할하면 valley segment는 남한강 유역내에서 가수리부터 설세강변까지 만곡현상이 완연하다는 것을 알 수 있었고, reach 구분에 의해 주요 구간의 하

친특성을 구분할 수 있었으며, 특히 하상퇴적지의 연륜연대학적 해석을 위한 수목 샘플링 장소를 합리적으로 선정할 수 있었다. 따라서 이 연구를 통해 얻어진 유역, 하천지형 및 하상퇴적지의 생성연대에 관한 정보는 향후 동강보존에 귀중한 자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다. **KAGIS**

참고문헌

- 강영복. 1998. 동강유역의 카르스트 지형. 한국지형학회지 5(2):131-142.
- 강원도. 2000. 동강(영월, 평창, 정선) 학술조사. 5-34쪽.
- 김창환. 1999. GIS기법을 이용한 동강유역의 지형경관 분석. 한국지형학회지. 6(1):1-10
- 마호섭. 1996. 하상퇴적지의 식생침입과 안정화 과정에 관한 연구 -낙동강 담서면 삼각주를 중심으로-. 경상대학교 연습립연구보고 6:29-37.
- 산림청. 1998. 사방기술교본. 145쪽.
- 송언근. 1998. 동강유역 하안단구와 곡류절단의 지형발달. 한국지형학회지 5(2):109-130.
- 안승섭, 조명희. 1999. 지리정보시스템을 이용한 하천 유역의 지상학적 분석. 한국지리정보학회지. 2(3):23-34
- 전근우. 1990. 미시령 용춘천 하상퇴적지의 연대학적 연구. 삼림과학연보 7:22-34.
- 전근우. 1992. 수목지표에 의한 하상퇴적지의 연대학적 연구. 한국림학회지 81(3):263-272.
- 조화룡, 이금삼. 1998. GIS기법을 이용한 동강유역분지의 지형특성 분석. 한국지형학회지 5(2):93-107.
- Davie, A. E. 1994. A geographic information system procedure to quantify drainage basin characteristics. Water Resources Bull. 30(1):1-8.
- Douglas, D. H. 1986. Experiments to locate ridges and channels to create a new type of digital elevation model. Cartographica 23(4):29-61.
- EPA. 1997. Designing an information management system for watersheds. EPA 841-R-97-005. pp.1-15.
- Jenson, S. K. and J. O. Domingue. 1988. Extracting topographic structure for digital elevation data for geographic information system analysis. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 54(11):1593-1600.
- Lawrence, E. B. 1986. Topographic partition of watershed with digital elevation model. Water Resources Research 22(4):15-24.
- Leehaers, H. and J. P. Okx. 1989. The use of digital elevation models for flood hazard mapping. Earth Surface Processes and Landforms 14:631-640.
- Montgomery, D. R. and J. M. Buffington. 1993. Channel classification, prediction of channel response, and assessment of channel condition. SHAMW Committee of the Washington State Timber/Fish/Wildlife Agreement(RFW-SH10-93-002). pp.1-67.
- Montgomery, D. R., W. E. Dietrich and K. Sullivan. 1998. Landform Monitoring, Modelling and Analysis -The Role of GIS in Watershed Analysis-. John Wiley & Sons. pp.241-261.
- Montgomery, D. R. 1999. Process domains and the river continuum. Journal of The American Water Resources Association 35(2):397-410.
- Ramos, C. 1996. Quantification of stream channel morphological features: recommended procedures for use in watershed analysis and TFW ambient monitoring. TFW-AM9-96-006. pp.1-83.
- Rosgen, D. R. 1994. A classification of natural rivers. Catena 22:169-199.

Wolock, D. M. and C. V. Price. 1994. Effects of digital elevation model map scale and data resolution on a topography-based watershed model. *Water Resources Research* 30(11):3041-3052.

Wolock, D. M. and G. J. McCabe Jr. 1995. Comparison of single and multiple flow direction algorithms for computing topographic parameters in TOPMODEL. *Water Resources Research* 31(5):1315-1324.

KAGIS