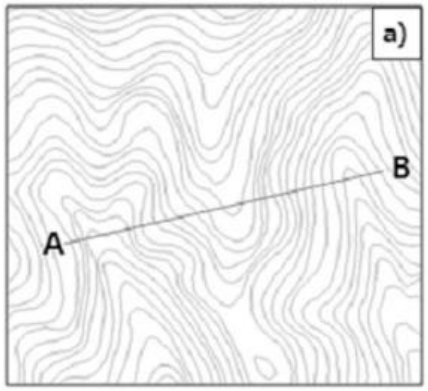
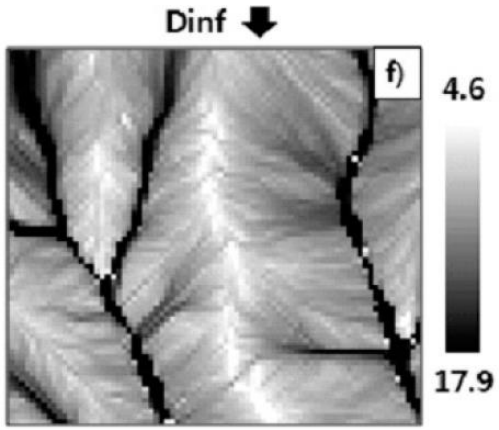
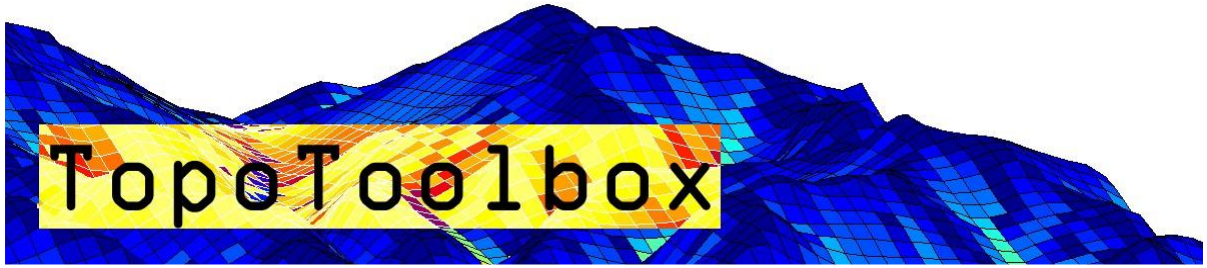



landlab

Google colab

Gemini




2025년 한국지형학교

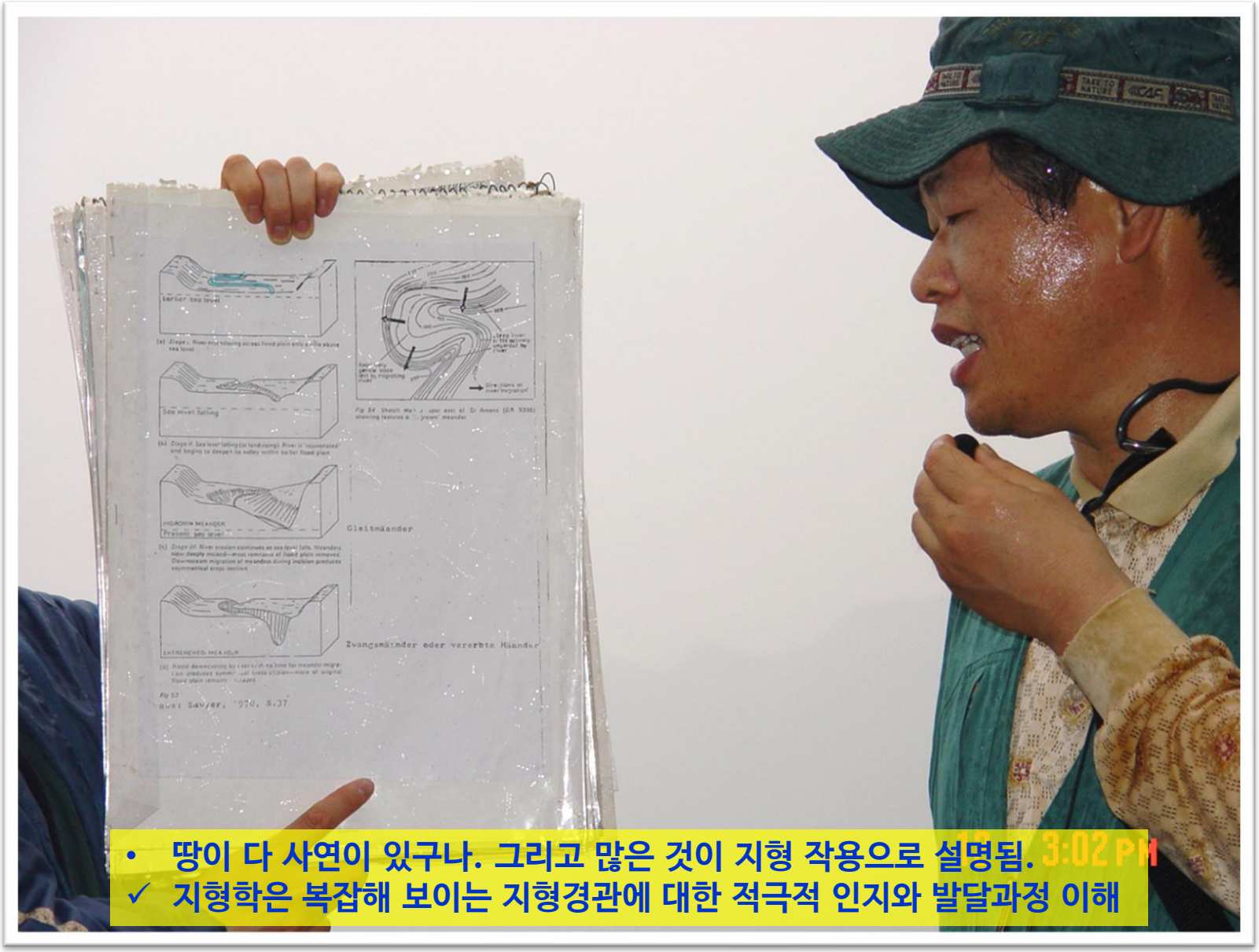
# GIS와 AI를 활용한 지형경관 분석과 이해

변종민 (서울대 지리교육과)

# (나에게) 지형학이란?

- 정선 고성리산성에서 바라본 동강, 2003년 5월 17일

# (나에게) 지형학이란?




- 땅이 다 사연이 있구나. 그리고 많은 것이 지형 작용으로 설명됨.
- ✓ 지형학은 복잡해 보이는 지형경관에 대한 적극적 인지와 발달과정 이해

- 정선 고성리산성, 2004년 5월 12일

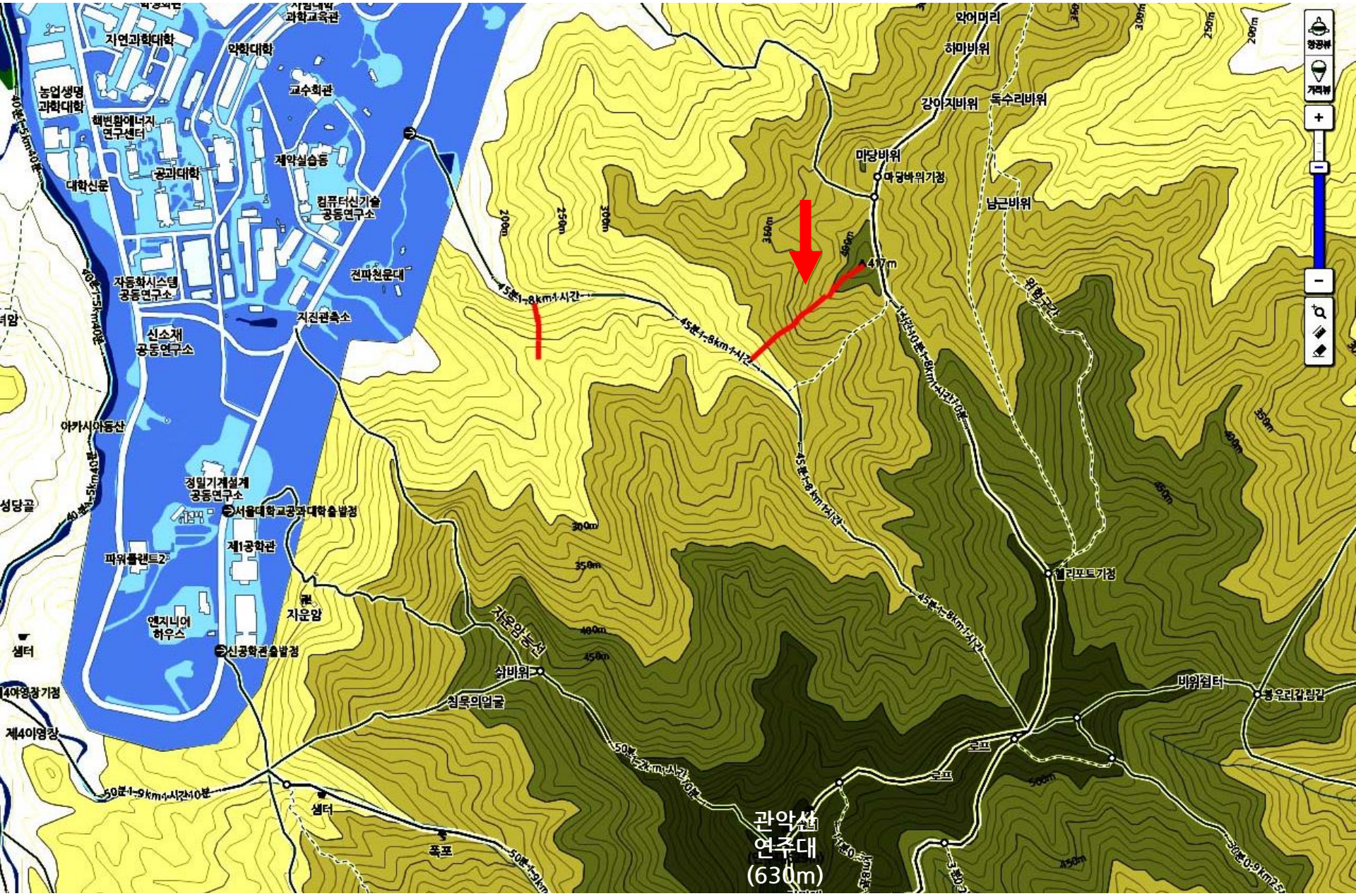
# GIS 등장 이전 지형경관 분석

- GIS 등장 이전 지형학자들은
  어떻게 지형을 분석하여
  연구(태백산맥 융기, 해안단구 융기, 하안단구 발달 등) 하였는가?

# 지형 읽기(형태 인지)

- 한 지점에서 시작하는 최대경사선(계곡선)과
  특정 집수구(유출구)의 상부 유역 경계(능선)을 그려보자!

# 지형 읽기(형태 인지)

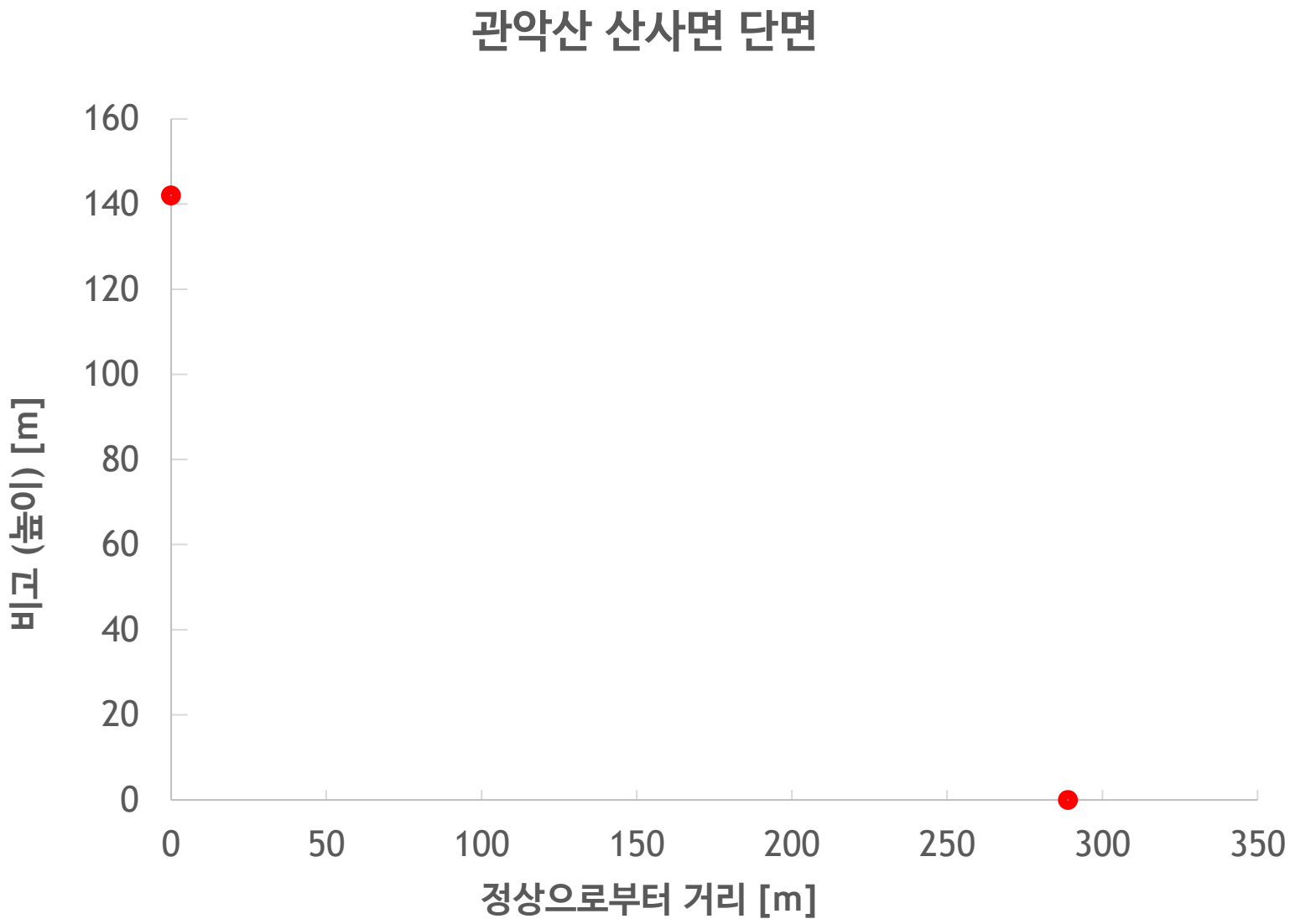



- 관악산 연주대 및 서울대학교 캠퍼스 일대 지도 (네이버맵)

# 지형 읽기(형태 인지)

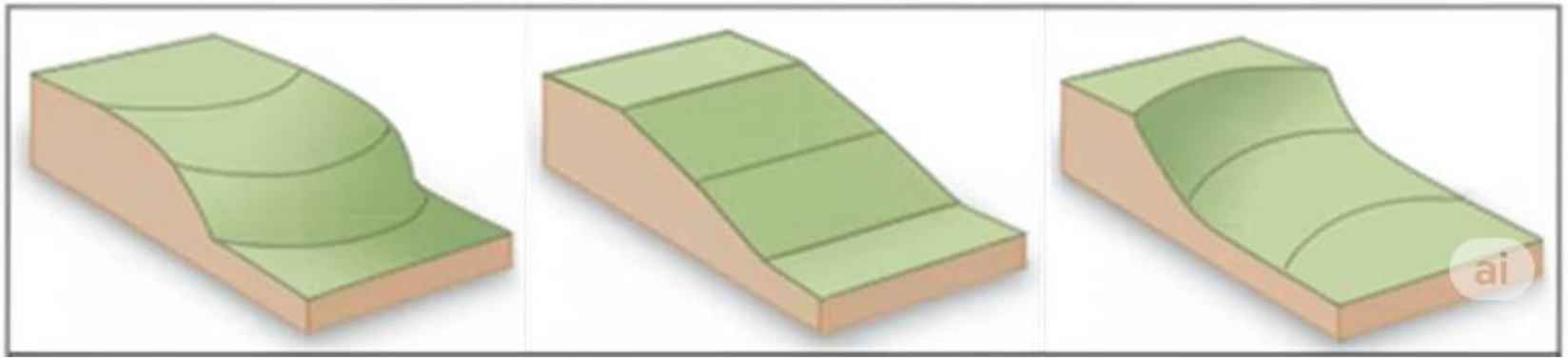
관악산 산사면 전경
(서울시 관악구)

# 지형 읽기(형태 인지)


관악산 산사면 단면
160
140
120
100
80
60
40
20
0
비고 (높이) [m]
0
50
100
150
200
250
300
350
정상으로부터 거리 [m]

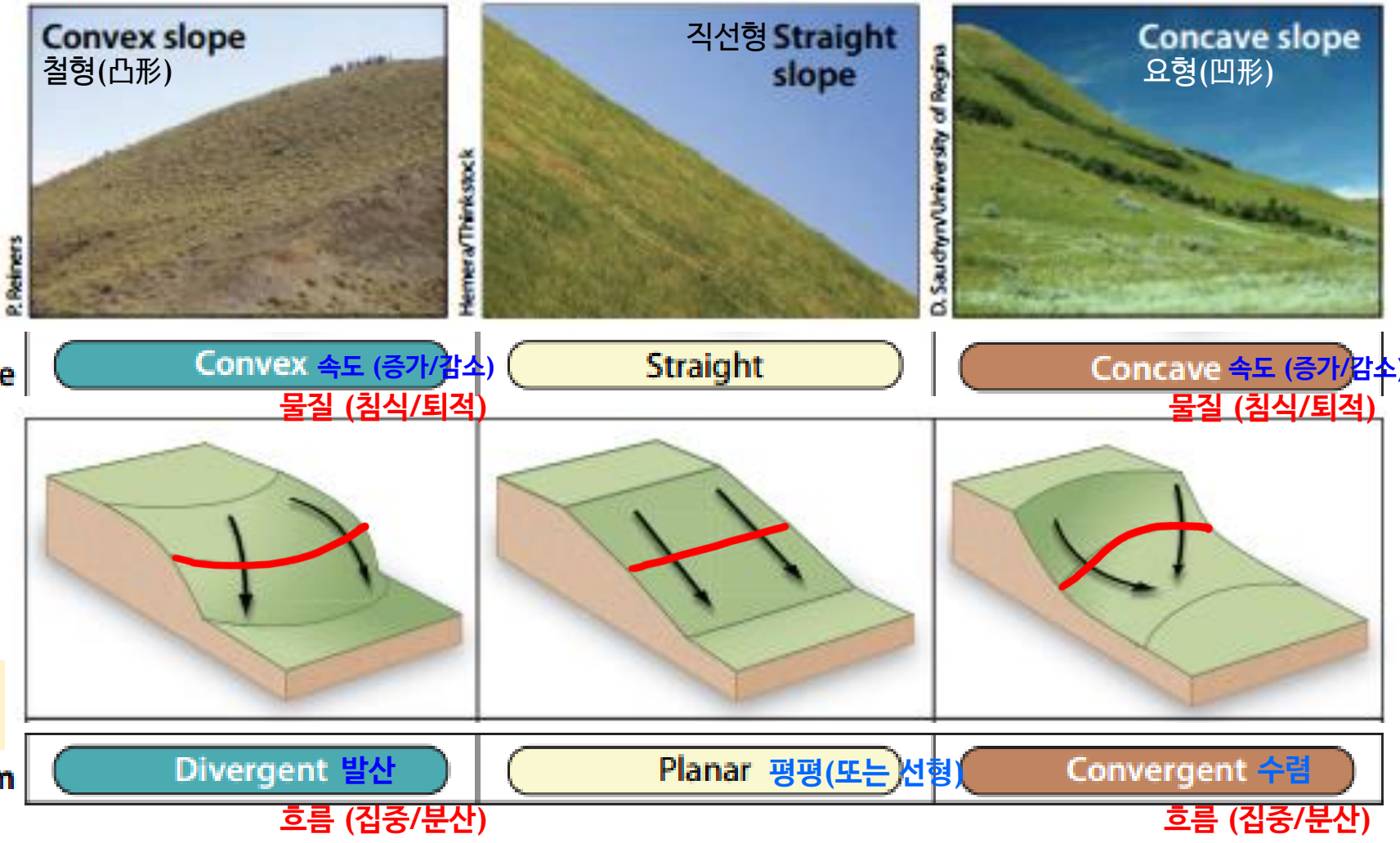
# 지형 읽기의 중요성 : 가. 사면 물질 및 이동

- 연인과 함께 스키를 탈 때 가장 피해야하는 사면은?



# 지형 읽기의 중요성 : 가. 사면 물질 및 이동

✓ 지표물질의 1) **이동 속도**와 2) **방향** 특성은?




Bierman, P.R., and Montgomery, D.R., 2014, Key Concepts in Geomorphology: W. H. Freeman and Company Publishers.

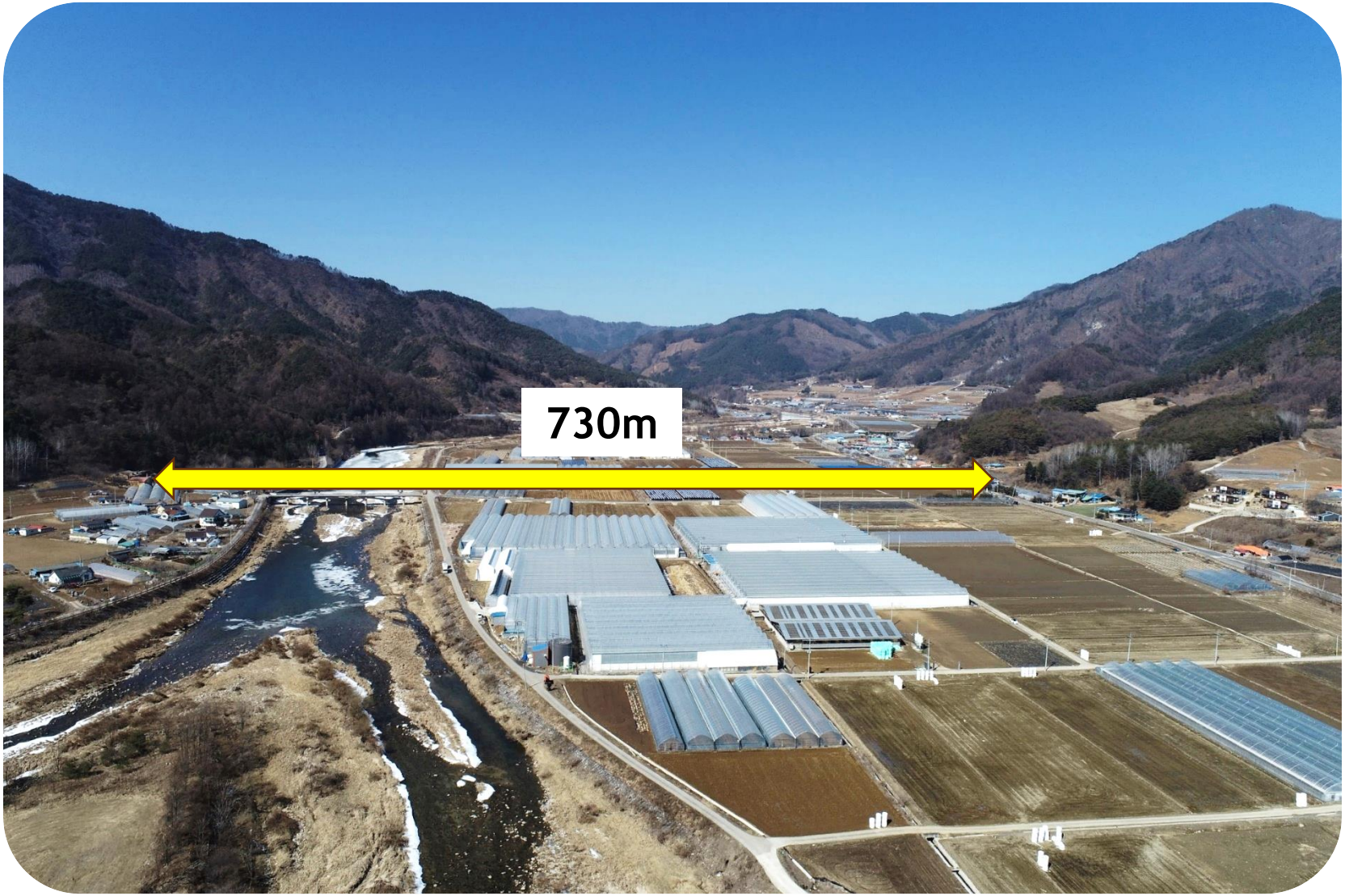
그림 5.9 사면의 기하학적 구조 (hillslope geometries)

g09C15a

# 지형 읽기의 중요성 : 나. 하상 물질 및 이동

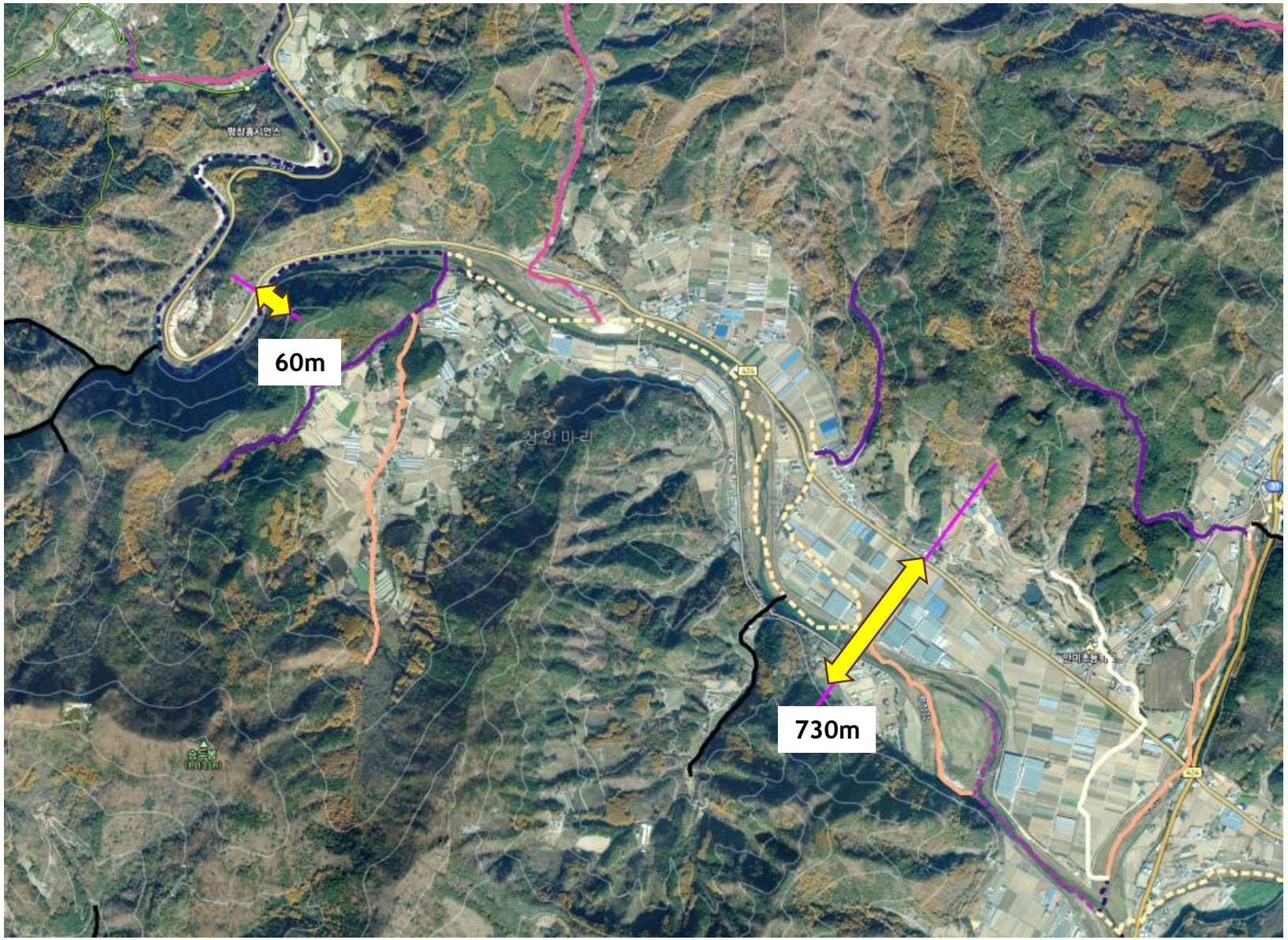
- 금당계곡, 강원도 평창군 대화면 상안미리

# 지형 읽기의 중요성 : 나. 하상 물질 및 유수 이동

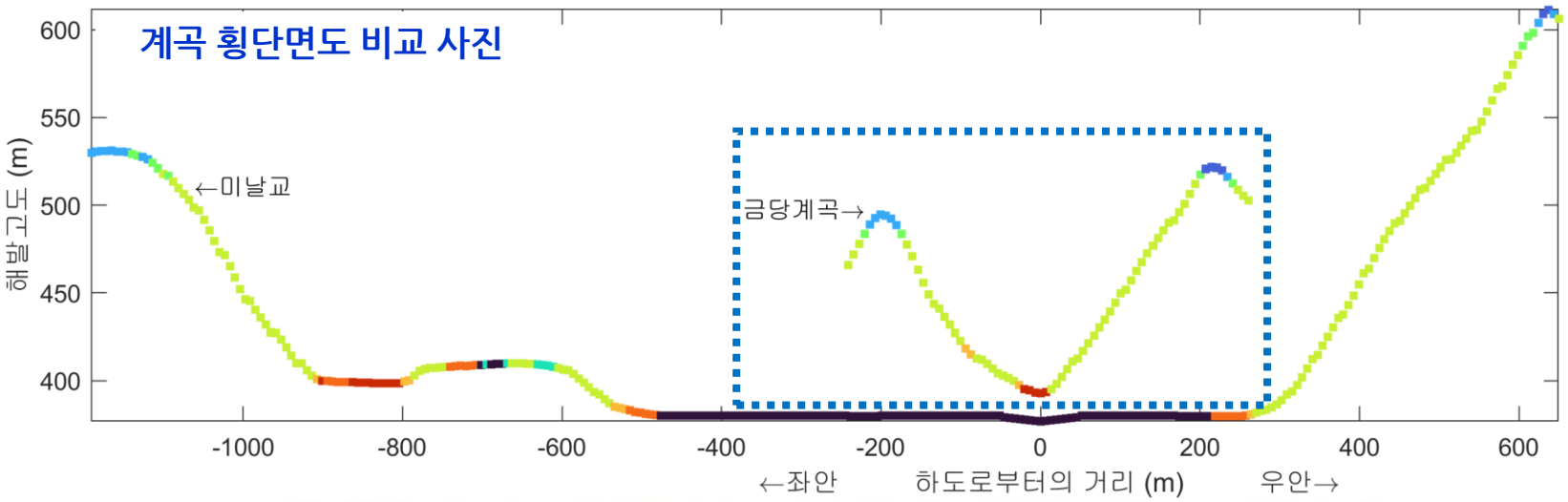



- 미날교 인근 전경사진, 강원도 평창군 대화면 상안미리

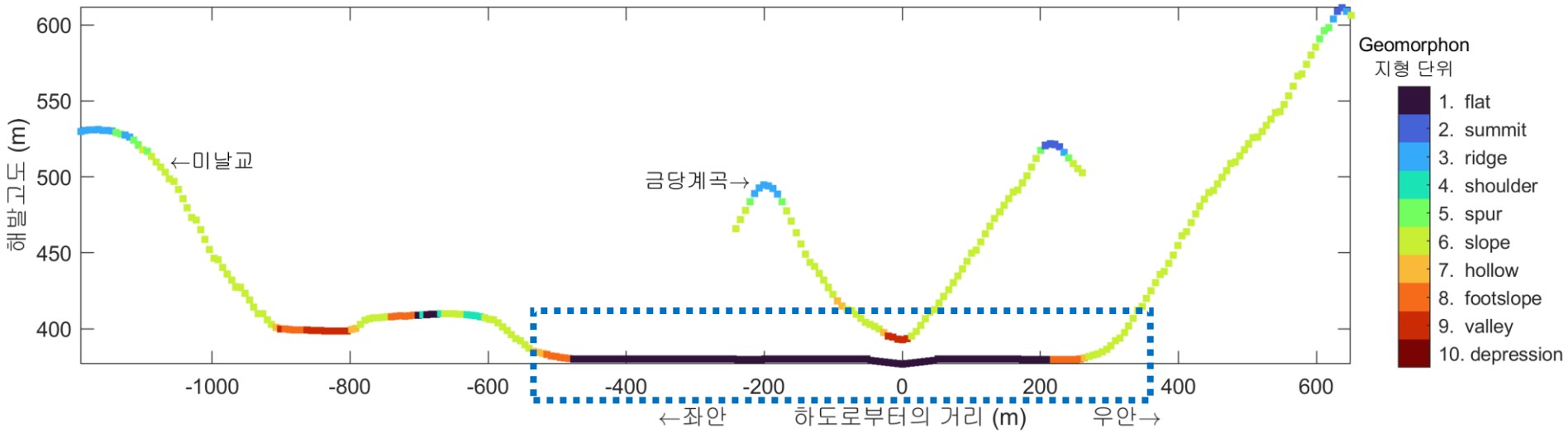
# 지형 읽기의 중요성 : 나. 하상 물질 및 유수 이동




- 평창강이 가로지르는 강원도 평창군 대화면 상안미리 일대

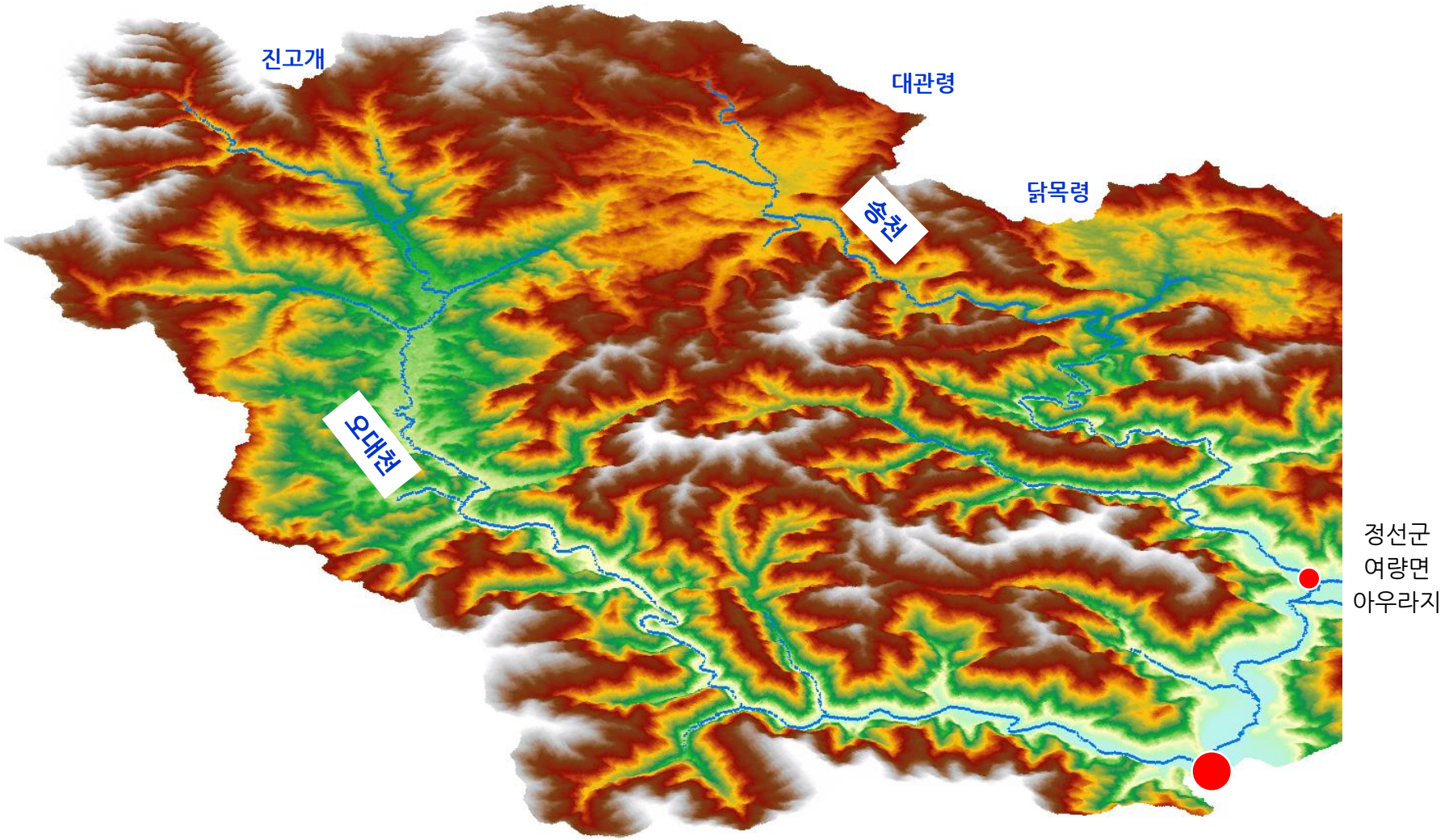


- 금당계곡의 하상 특성, 강원도 평창군 대화면 상안미리



- 대화면 상안미리 인근 구포들 일대 홍수 피해 사진(2006년 7월 16일, 한겨레 신문)

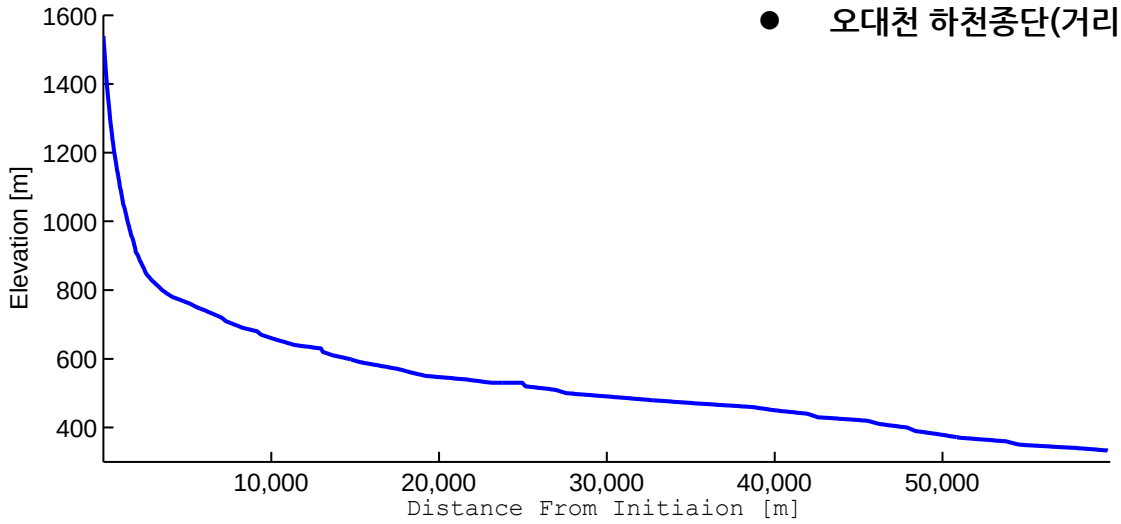
# 지형 읽기의 중요성 : 다. 지구조 운동 해석




- 조양강의 지류인 오대천과 송천 유역

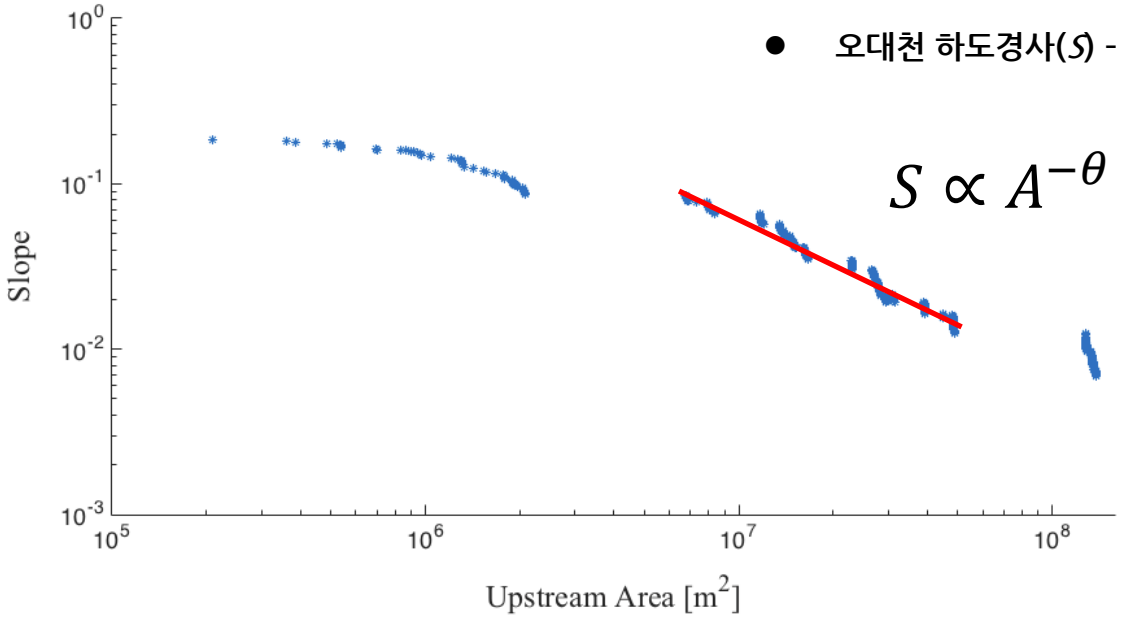
# 지형 읽기의 중요성 : 다. 지구조 운동 해석

- 오대천 하천종단(거리 - 고도)




- 오대천 하도경사($S$) - 유역면적($A$)

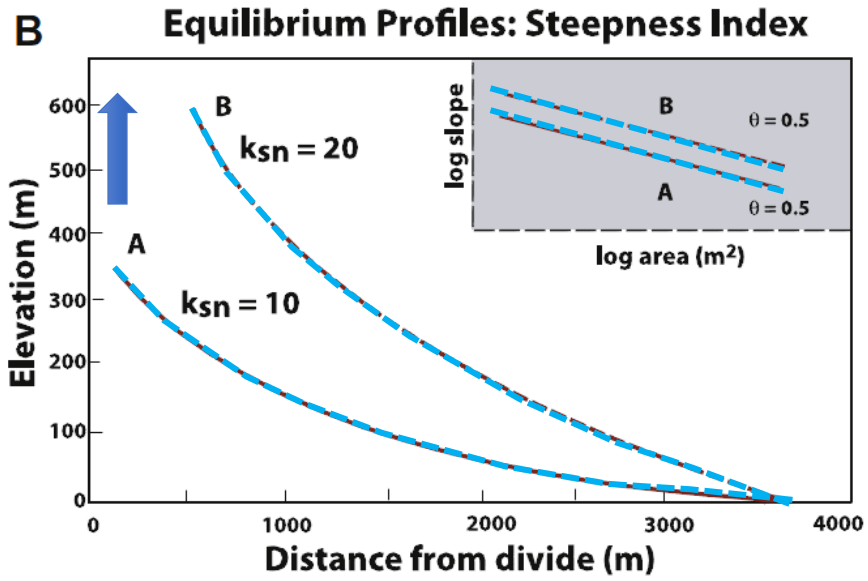
$$S \propto A^{-\theta} \quad = k_{sn} A^{-\theta}$$




- 오대천의 하천종단곡선과 하도경사-유역면적 관계도

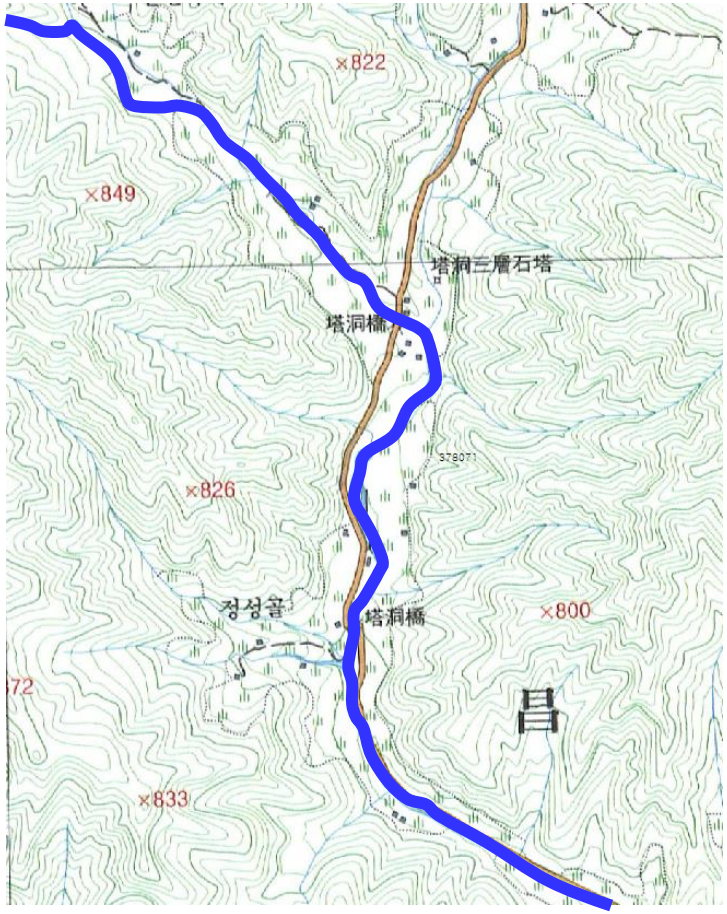
# 지형 읽기의 중요성 : 다. 지구조 운동 해석

지반
융기율
높은 지역




Kirby, E., and Whipple, K.X., 2012, Expression of active tectonics in erosional landscapes: Journal of Structural Geology, v. 44, p. 54 - 75.

# GIS 등장 이전 지형경관 분석




시간이 정말 정말 많이 소요됨

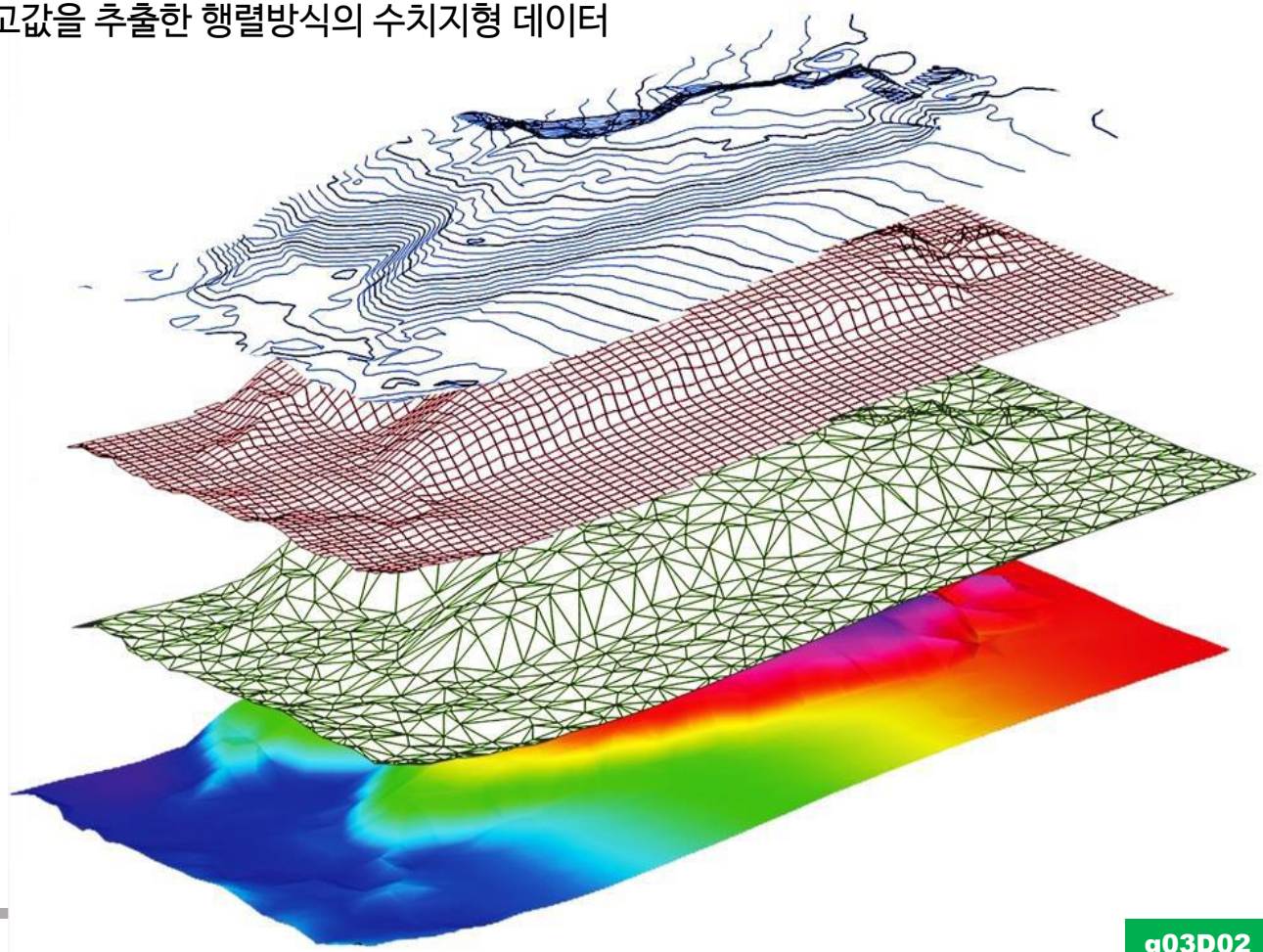
# GIS 등장 이후 지형경관 분석

- GIS 등장 이후
  정확히는 **수치고도모델**digital elevation model 등장 이후,
  지형경관 분석에는 어떤 변화가 일어났는가?

# Digital Elevation Model의 등장

- 수치고도모델(Digital Elevation Model, DEM)
  - 지형 변화를 수치 데이터 형태로 연속적 또는 불연속적으로 표현하는 공간자료
- 대표적인 유형
  - 격자 모델(grided DEM 또는 Raster DEM)

✓ 규칙적인 간격으로 표고값을 추출한 행렬방식의 수치지형 데이터



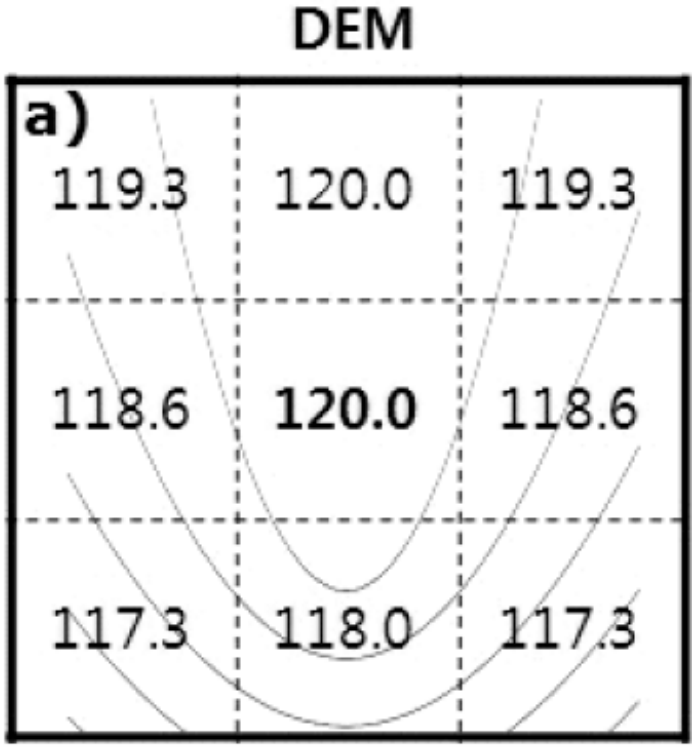
# 지형 읽기(형태 인지)

- 한 지점에서 시작하는 최대경사선(계곡선)과 특정 집수구(유출구)의 상부 유역 경계(능선)을 그려보자!

# 수치 지형경관 분석

**물은 어느 방향으로 흐를까?**

**셀 크기(dx)가 30m인 래스터raster DEM**




변종민·김종욱, 2009, 무한 유향 알고리듬과 Horn 경사 알고리즘이 TOPMODEL 지형지수와 수문반응에 미치는 영향: 대한지리학회지, v. 44, p. 207 - 223.

# 수치 지형경관 분석

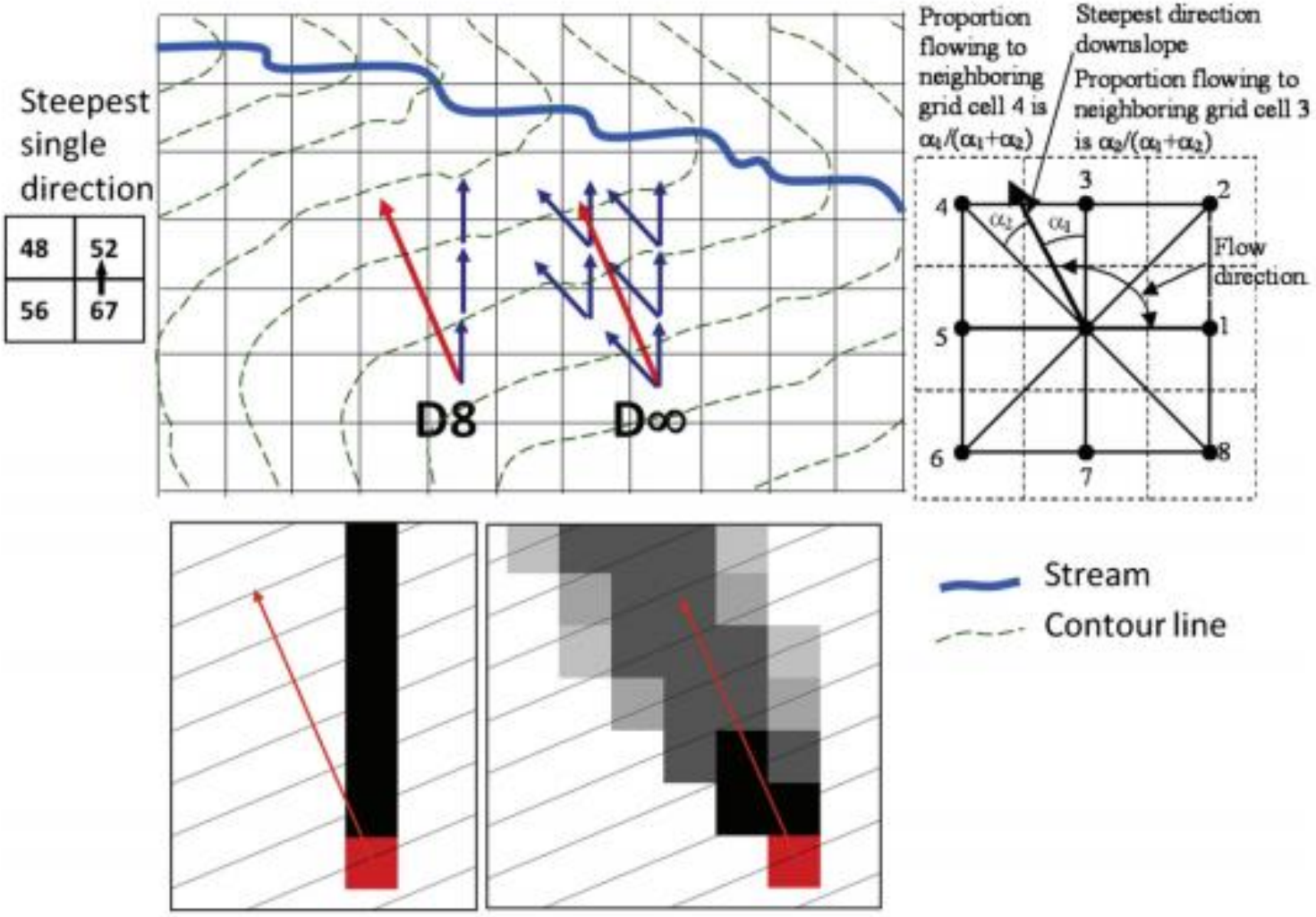
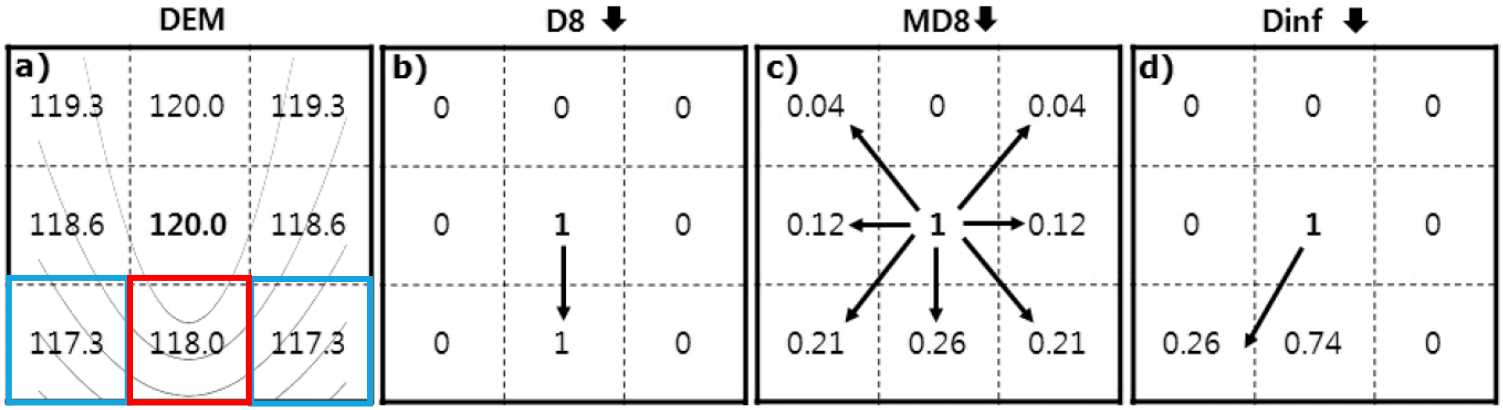



Fig. 1. The D8 and D∞ flow models.

Tarboton, D. G., (1997), "A New Method for the Determination of Flow Directions and Contributing Areas in Grid Digital Elevation Models," Water Resources Research, 33(2): 309-319.)

# 수치 지형경관 분석

## 물은 어느 방향으로 흐를까?
### 셀 크기(dx)가 30m인 래스터raster DEM




가. 경사가 가장 급한 한 이웃셀로만 가는 경우. Single Flow Direction (D8 으로 부름)

나. 고도가 낮은 모든 이웃 셀로 가는 경우. Multiple Flow Direction (MFD)

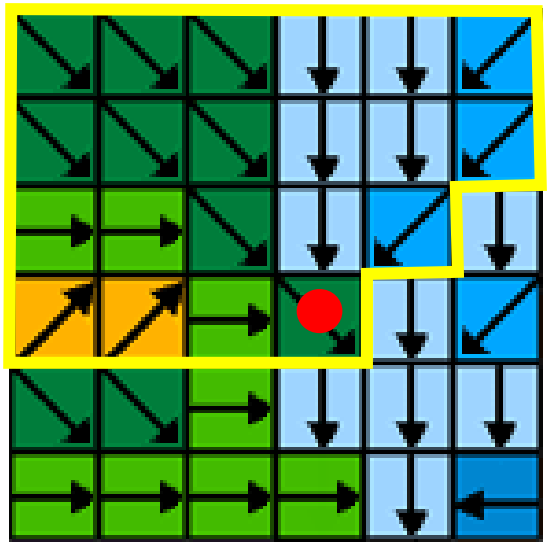
다. 가장 경사가 급한 방향의 두 이웃 셀로 가는 경우 D-infinity multiple flow direction (Dinf)

$$0.09 = \frac{(120.0 - 118.0)}{30}$$

$$0.06 \approx \frac{(120.0 - 117.3)}{30\sqrt{2}}$$

# 수치 지형경관 분석

## 유향 계산의 중요성



Flow direction

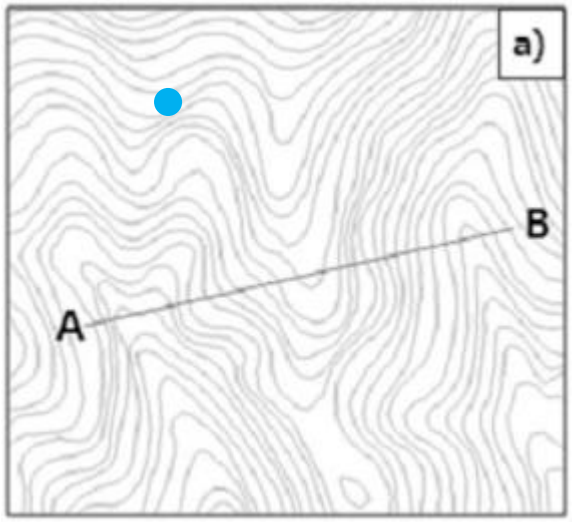
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 |
| 0 | 3 | 7 | 5 | 4 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 20 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 24 | 0 |
| 0 | 2 | 4 | 7 | 35 | 1 |

Flow accumulation

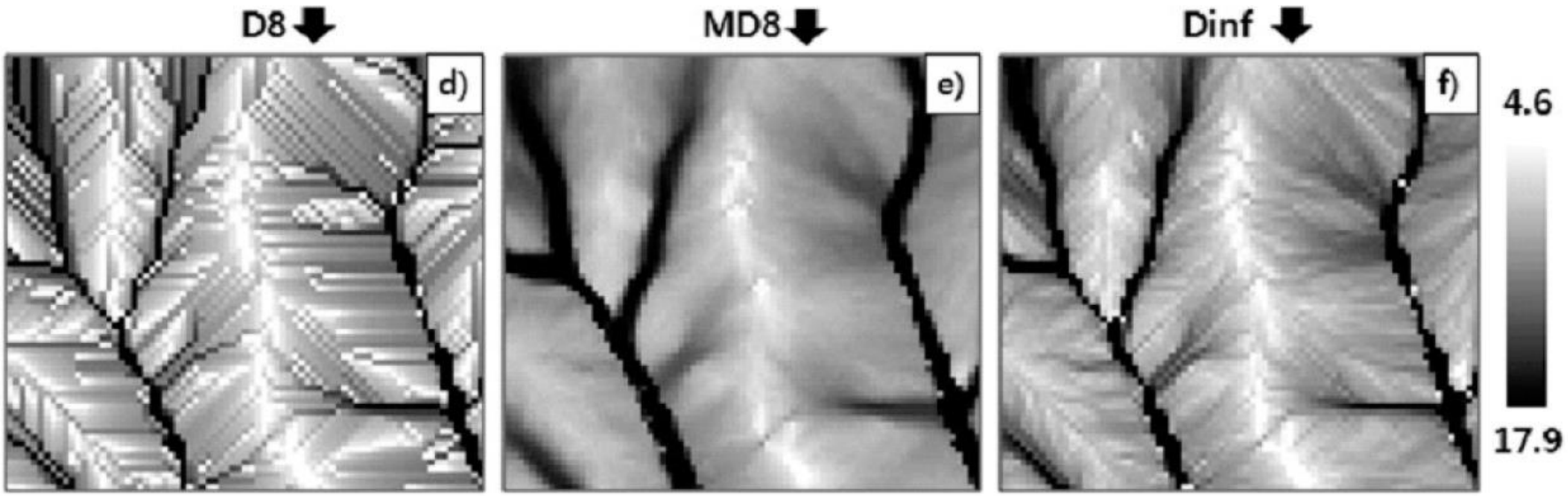
- **유역 추출 및 분할** 가능함

- **흐름 누적**flow accumulation 및
  유역면적(흐름 누적x셀 면적)을 계산

# 수치 지형경관 분석



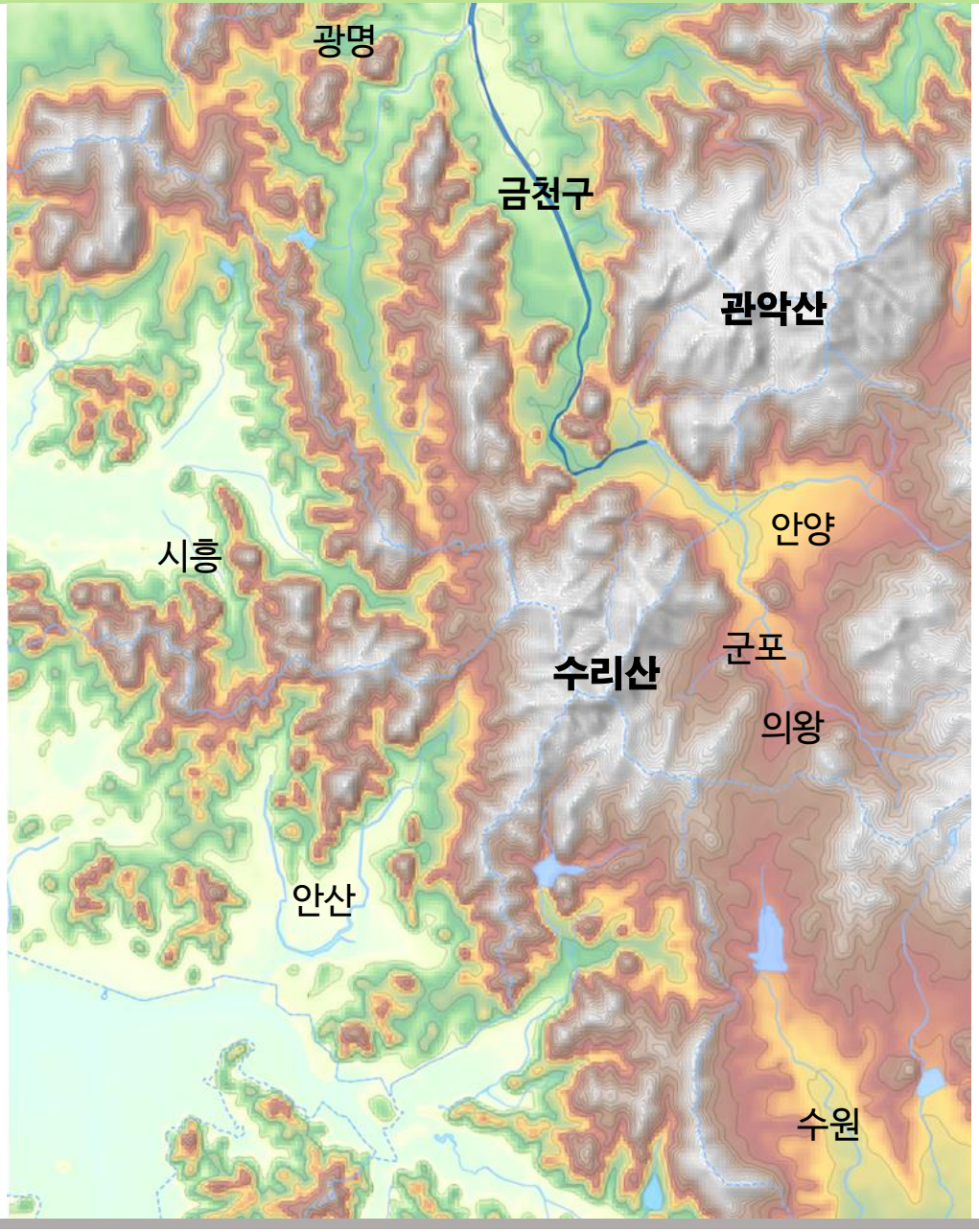

**손으로 그릴 필요가 없어요!**




- **다양한 유향 알고리듬에 따른 흐름 누적 분포**

변종민·김종욱, 2009, 무한 유향 알고리듬과 Horn 경사 알고리즘이 TOPMODEL 지형지수와 수문반응에 미치는 영향: 대한지리학회지, v. 44, p. 207 - 223.

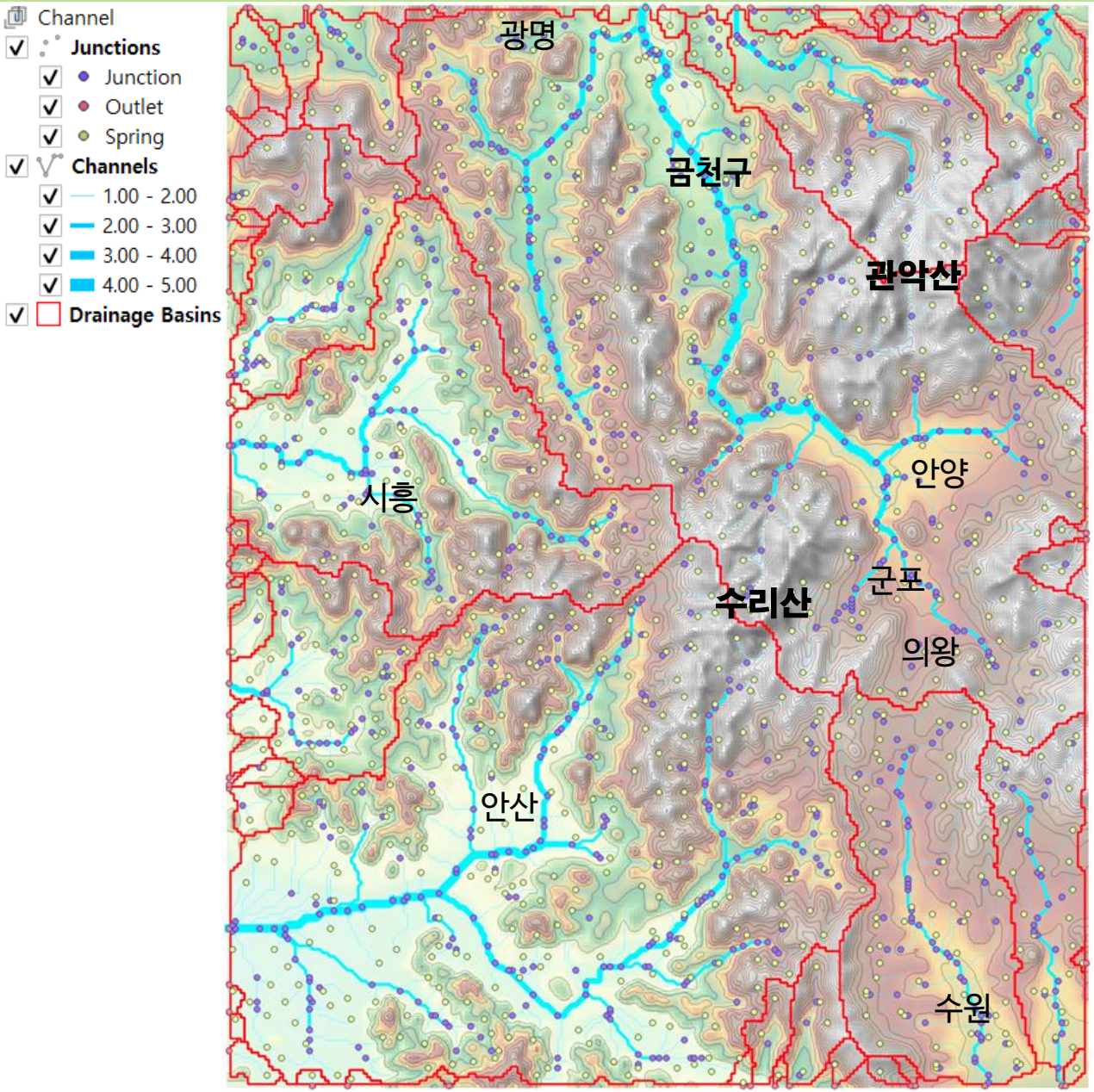
# 수치 지형경관 분석




**유역 경계를 그려볼까요?**

- 서울 남부 및 경기 서남부 일대 DEM

# 수치 지형경관 분석




**손으로 추출할 필요가 없어요!**

- 서울 남부 및 경기 서남부 일대 하계망과 유역

# 수치 지형경관 분석

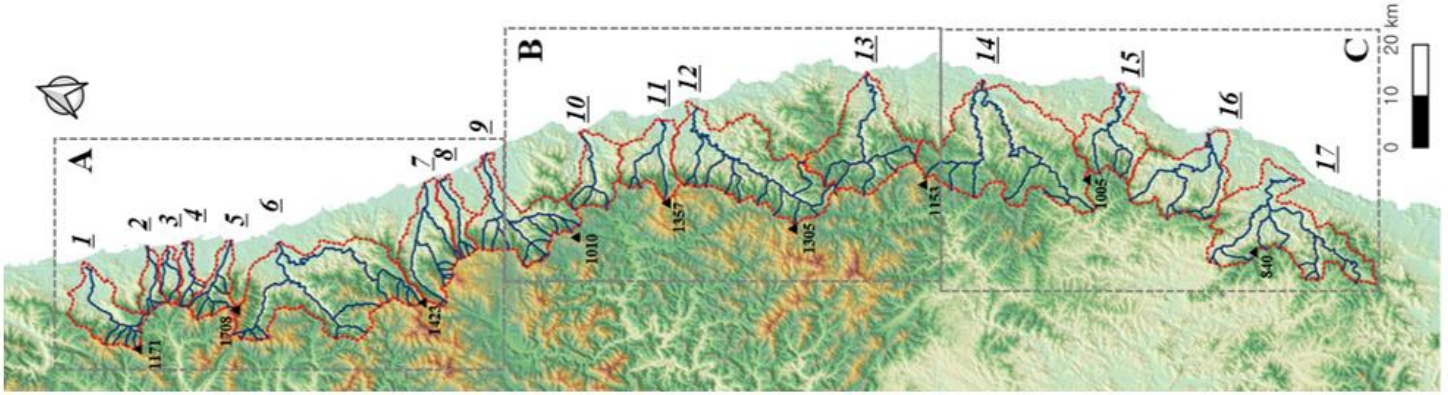



Figure 4. The study catchments in the southeastern margin of the Korean Peninsula (n=17). The dotted inset boxes A, B, and C indicate the extent of the Figure 5A, 5B, and 5C.

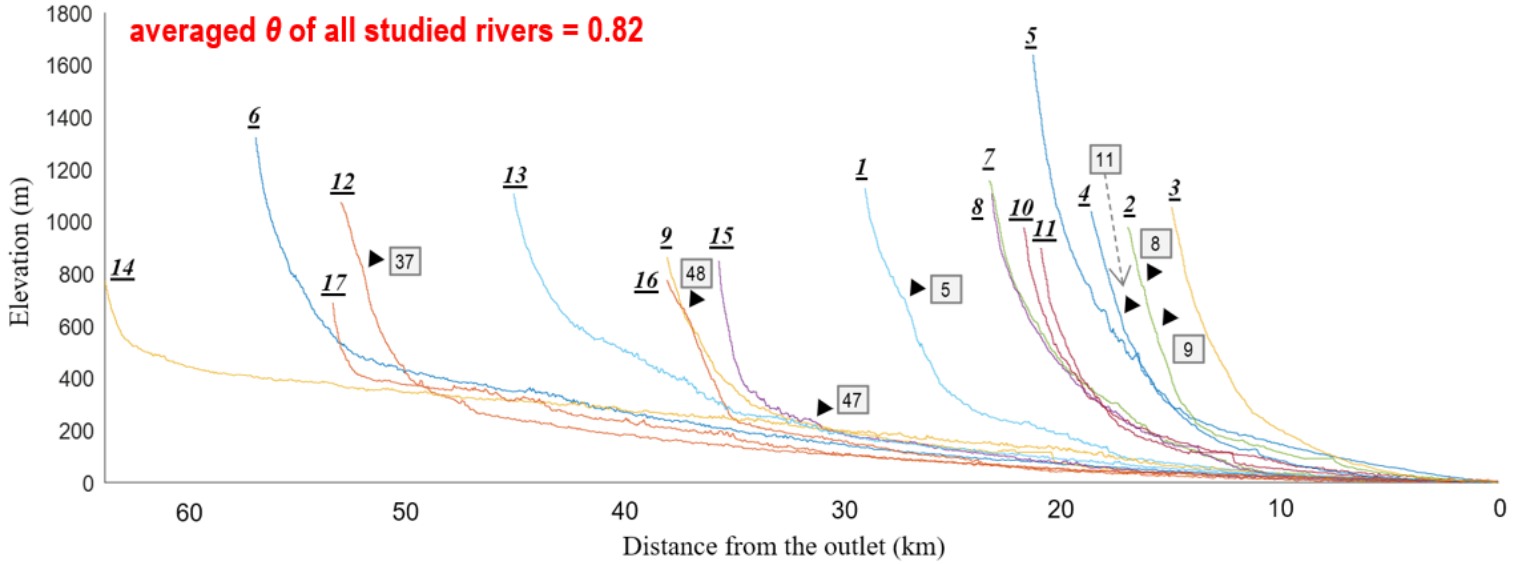



Figure 6. Longitudinal profiles of the rivers that characterize each study catchment. The italicized and underlined number above each profile head represents the number of each study catchment (refer to Figures 4 and 5 for each detailed location). Note that black triangles indicate the knickzones verified in this study. The number in the grey box is the knickzone number.

- Byun, J., Missing Evidence of Landscape Transience: Examination of the Knickzones in the Steep Marginal Escarpment in the Korean Peninsula, Poster session presented at: International Conference on Geomorphology; 2022 Sep 12; Coimbra, Portugal.

# AI 활용 수치 지형경관 분석 실제와 관련 연구 사례

- AI의 등장은
  수치 지형경관 분석에 어떤 변화를 가져올 수 있는가?

  - 분석 개념과 방법을 이해할 때 어떤 도움을 받을 수 있나?
  - 실제 분석에서는 어떤 도움을 받을 수 있나?

# 준비물

- 한국지형학교 수강생 여러분, 안녕하세요, 이번 주 2교시 'GIS와 AI를 활용한 지형경관 이해' 강의를 맡은 변종민(서울대 지리교육과)입니다. 이번 강의에서는 간단한 실습이 준비되어 있습니다. 강의 동안에 간단한 실습을 따라하기 원하는 수강생분들은 다음 사이트에 회원 가입을 미리 해오시면 좋을 것 같습니다. (*유료 회원으로 가입하실 필요가 없고 무료 회원으로도 실습을 따라하는데 전혀 문제가 없습니다.*) 또한 수정된 강의계획서와 최종 강의 자료는 강의 전에 네이버 카페에 올릴 예정입니다. 오늘이 투표일인데 투표 안 하신 분은 꼭 하시구요, 저는 수요일 저녁에 찾아 뵙겠습니다.

- 1. Google Colab (https://colab.research.google.com/) : Google에서 제공하는 Python Jupyter Notebook 앱입니다.
- 2. LLM 기반의 다음 AI 모델 중 하나에 회원 가입하시면 됩니다.
  - ChatGPT (https://chatgpt.com/)
  - Gemini (https://gemini.google.com/)
  - Perplexity (https://www.perplexity.ai/)

# 준비물

- TopoToolbox 소개
  - 지형 분석을 위한 전문 소프트웨어 도구. 현재 TopoToolbox 3가 최신 버전임.
  - TopoToolbox의 구성 :
    - TopoToolbox GitHub 사이트(https://github.com/TopoToolbox)에서 MATLAB, Python, R 버전을 제공
  - pytopotoolbox란?
    - TopoToolbox 3의 Python 구현체. Python 사용자들이 지형 분석 작업을 수행할 수 있도록 하는 라이브러리. TopoToolbox의 핵심 기능들을 Python 환경에서 사용할 수 있도록 해줌

    ✓ Python의 광범위한 생태계와 데이터 과학 도구들과 함께 활용할 수 있어, 지형학 연구자들과 데이터 분석가들에게 유용한 도구가 될 것으로 판단됨
  - 공식 문서
    - 공식 웹사이트(https://topotoolbox.github.io/)에서 더 자세한 정보를 확인할 수 있음.

# 준비물

# Google Colab for Python

- Google Colab: https://colab.research.google.com/
  - 파이썬python 기반의 데이터 분석 및 머신러닝 실습을 웹 브라우저에서 간편하게 수행할 수 있도록 도와주는 무료 클라우드 개발 환경
  - 모든 계산은 구글 서버(GPU/TPU 포함 가능)에서 수행됨. 따라서 개인 컴퓨터 사양에 구애받지 않고 대용량 연산이나 딥러닝 모델 학습도 비교적 원활하게 실행 가능함
  - 대부분의 파이썬 패키지가 설치되어 있어 최소한의 라이브러리만 추가 설치하면 됨
    - 주의 : TopoToolbox와 Landlab 파이썬 라이브러리 패키지는 설치해야 함
      - $ !pip install topotoolbox / $ !pip install landlab
  - 대화형 개발 환경을 가진 Jupyter Notebook(.ipynb)과 거의 동일한 인터페이스를 제공함
    → 셀(Cell) 단위로 코드와 설명(마크다운)을 섞어 작성할 수 있으며, 실행 결과가 바로바로 표시됨
  - 주의 : 구글 계정이 필요하며 소스는 구글 드라이브에 저장됨. 최대 세션 유지 시간은 12시간으로 세션이 종료되면 작업 중이던 데이터가 모두 삭제됨. 따라서 수시로 다운로드해 저장할 것을 추천함

# 준비물

- 대규모 언어 모델(Large Language Model, LLM) 기반의 대표적인 모델
- **ChatGPT** (https://chat.openai.com/)
  - 대화형 인터페이스가 매우 부드럽고, 다양한 주제(코딩, 글쓰기, 수학 문제 등)에 활용 가능
  - GPT-4(비전 포함) 버전을 쓰면 이미지 인식·설명도 가능
  - 기본적으로 실시간 웹 검색 기능이 없기 때문에 최신 정보 반영에 제한이 있음
- **Google Gemini** (https://gemini.google.com/)
  - 구글 검색 인프라와 결합해 “최신 자료”를 빠르게 반영할 수 있음
  - 멀티모달 입력(이미지·표·코드 조각 등) 처리가 상대적으로 원활
  - 구글 생태계(Google Docs, Gmail, Workspace 등)와 자연스럽게 연동 가능
- **Perplexity** (https://www.perplexity.ai/)
  - 사용자 질문 시 실시간으로 웹을 크롤링·요약하므로, “가장 최신” 자료에 기반한 답변을 받을 수 있음
  - 답변마다 출처 URL을 함께 제시해 정보 검증이 쉬움
  - 대화 맥락을 길게 이어가는 능력은 ChatGPT나 Gemini보다는 떨어질 수 있음
  - 멀티모달(이미지 인식 등) 기능은 제공하지 않음

✓ 답변의 품질이 전적으로 외부 웹 콘텐츠에 의존하므로, 신뢰도가 출처에 따라 달라질 수 있음

# AI를 활용한 수치 지형경관 분석 실제

- AI가 수치 지형경관 분석에 도움이 될 수 있는 영역
  - 수치 지형경관 분석 및 (최신) 분석 방법 개념에 대한 이해
  - 수치 지형경관 분석 알고리듬 설계 및 초기 코드 pseudo code 구현
  - 수치 지형경관 분석 구현 시 오류에 대한 원인 및 해결 방법 찾기 code assistant

✓LLM기반 AI 모델의 성능을 최대한 활용하여 수치 지형경관 분석을 하기 위한 전략

- 상세하고 구조화된 프롬프트 작성
- 가장 관련성이 높고 신뢰할 만한 컨텍스트 context를 반드시 포함해야함

# AI를 활용한 수치 지형경관 분석 실제

- **‘수치 지형경관 분석 및 (최신) 분석 방법 개념에 대한 이해’ 사례**

- 질문 1 : 지형학에서 수치고도모형(digital elevation model)에 기반한 지형분석(terrain analysis) 개념을 설명해주세요.
  - 고등학교 3학년 학생의 눈높이에 맞추어서 설명해주세요.
  - 설명이 없는 전문 용어 사용은 피해주세요.
  - 자세한 수식보다는 가장 기본적인 원리와 대략적인 이해에 초점을 두어 설명해주세요.
  - *반드시 논문과 공식적인 관련 문서에 기반해서* 사실의 정확성을 지켜주세요.

# AI를 활용한 수치 지형경관 분석 실제

- **'수치 지형경관 분석 알고리듬 설계 및 초기 코드pseudo code 구현' 사례**

- 질문 2 : 파이썬(python) 기반의 지형분석 프로그램(pytopotoolbox)를 이용하여 간단한 지형분석을 할 때 가장 관련성이 높으면서 신뢰할만한 자료는 무엇인가요?
  * 주의 : 대학원생이라면 핵심 논문을 읽어 보시겠죠? 이를 통해 더 좋은 자료를 확인하고 추가하면 좋을 것 같아요.

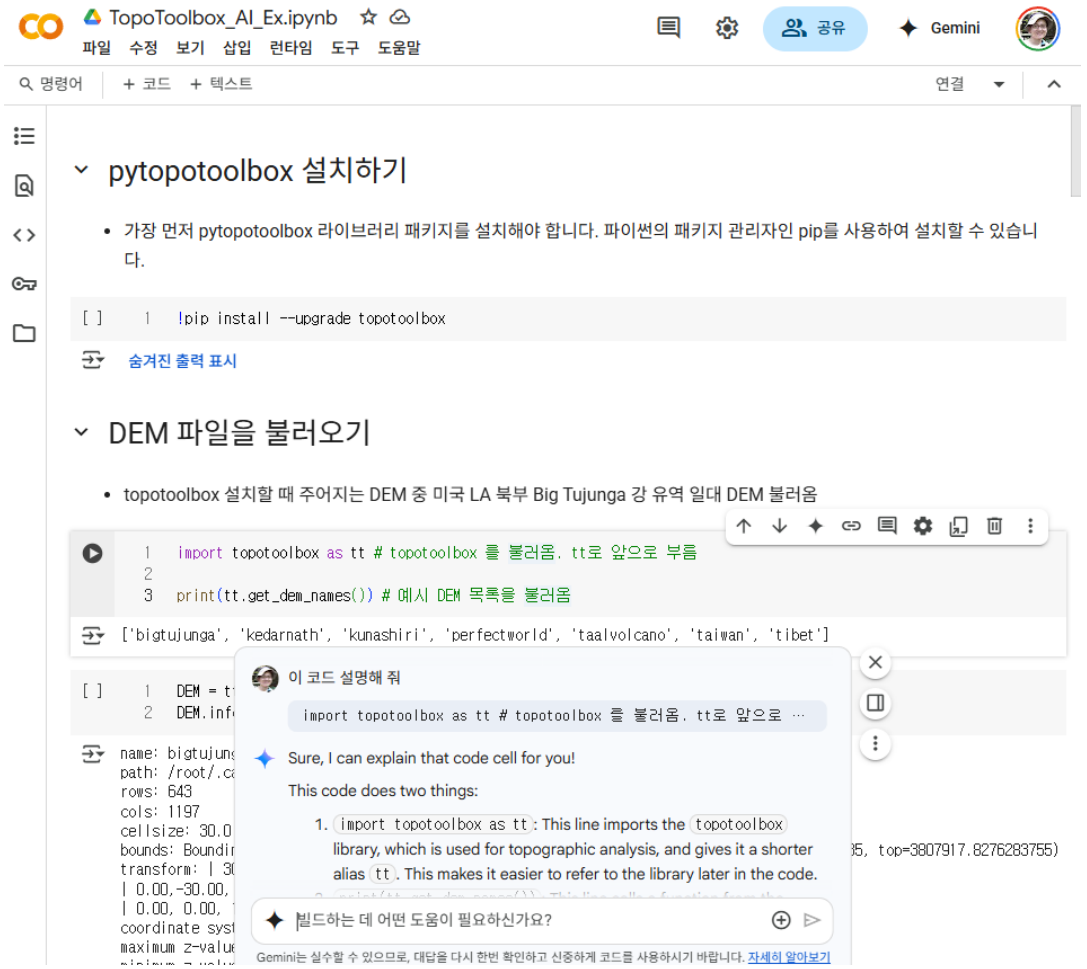
- 질문 3 : 위 문서들 중 pytopotoolbox 공식 문서(https://topotoolbox.github.io/pytopotoolbox/)토대로, pytopotoolbox를 이용하여 간단한 지형 분석을 하려면 어떻게 하면 좋을지 제안해주세요.
  * 주의 : 흐름을 파악하기에는 매우 좋습니다. 하지만 말 그대로 제안입니다. 이를 토대로 실제 구현하다보면 많은 오류가 발견될 수 있습니다. 여기서부터 배운다는 자세로 코드에 주석을 달면서 해나가길 권합니다.

• 답변
  - ChatGPT : https://chatgpt.com/share/683a5acc-db1c-800e-a1f3-c56560ebad12
  - Gemini : https://g.co/gemini/share/94d1eea4fd90
  - Perplexity : https://www.perplexity.ai/search/jihyeonghageseo-sucigodomohyeo-loKxCDuhQKqgXMroej6gNA

# AI를 활용한 수치 지형경관 분석 실제

- ‘수치 지형경관 분석 구현 시 오류에 대한 원인 및 해결 방법 찾기(Code Assistant)’ 사례
  - Colab 사용 시 Gemini를 활용하여 **‘코드 설명’, ‘오류 원인 설명’, ‘추가 팁 및 최적화 제안’**)

[* 주의 : 초기 코드를 자신의 목적에 맞는 코드로 만들어 나가는 과정임.]




**수치 지형경관 분석 Colab 코드 :**
**https://colab.research.google.com/drive/1VwjPX4yrCYJTT-BrCQ-fkr2SYgD6vRYl?usp=sharing**

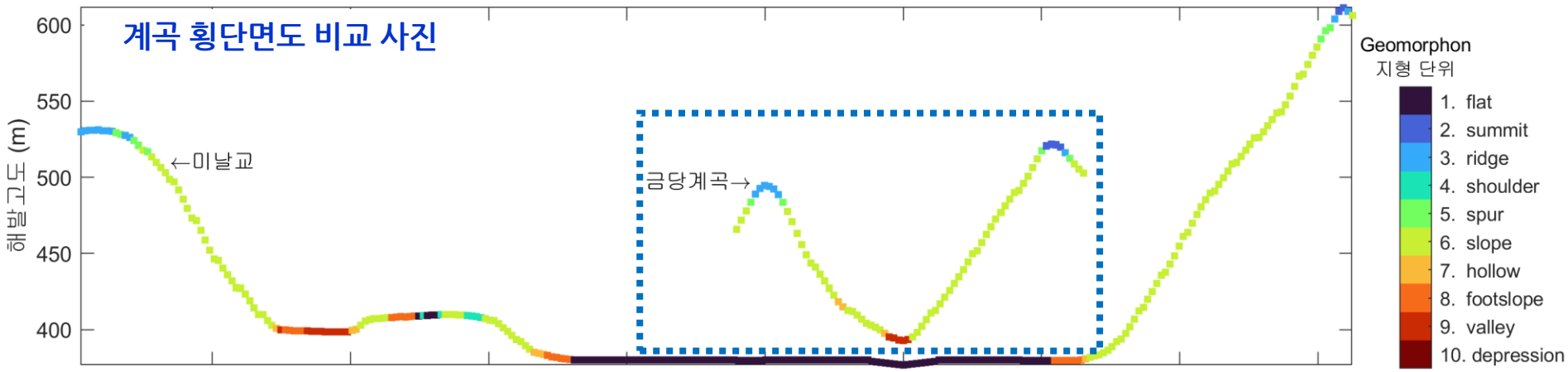
# 수치 지형분석 연구 사례

**강 낚시, 어디에서 ??**

- https://www.youtube.com/watch?v=fUxW5YwAOt4&ab_channel=TV%EB%B9%9B%EB%82%98%EB%9D%BC

# 지형 읽기의 중요성

- 금당계곡, 강원도 평창군 대화면 상안미리

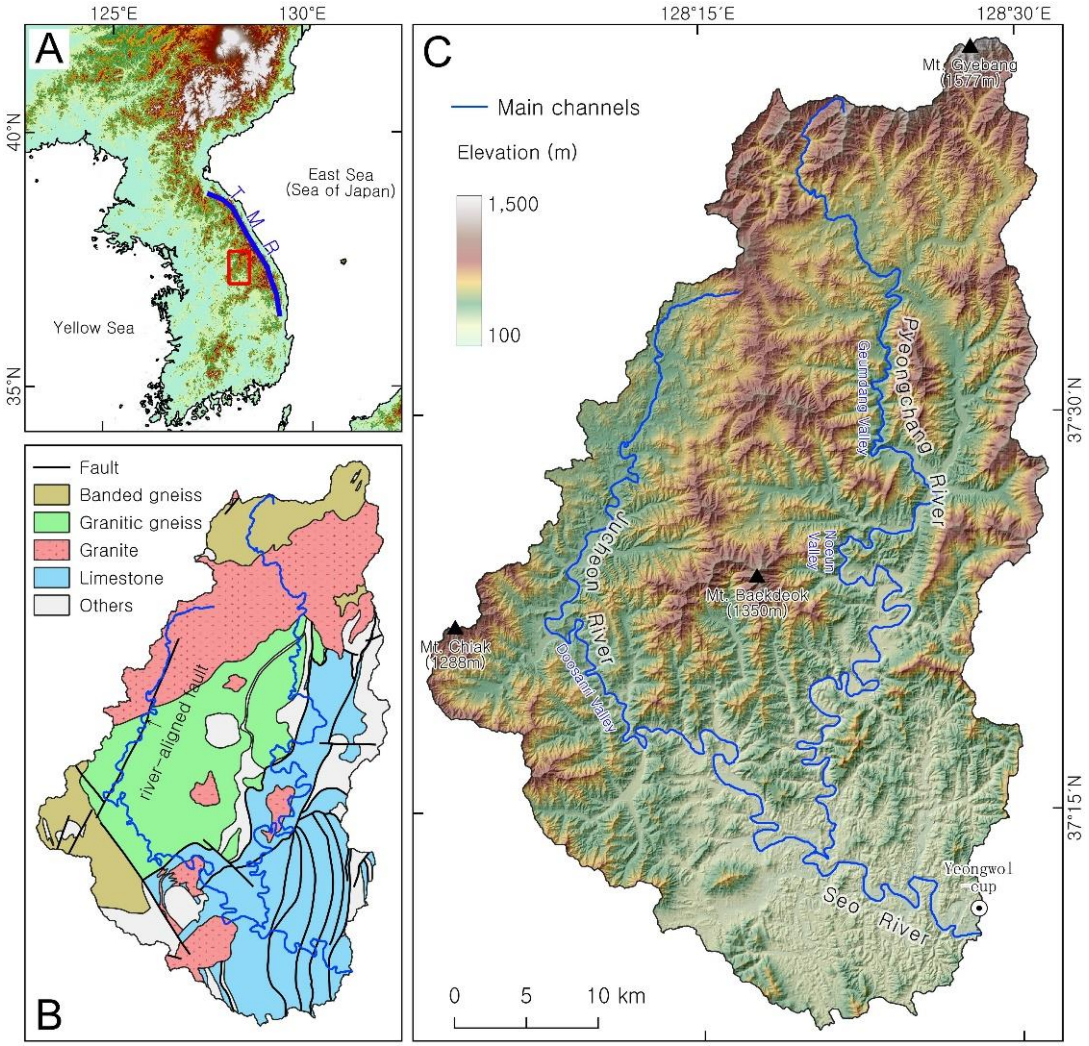



- 붕어가 머물러 있거나 살기 힘들어요 …
  물살이 빠르고 푹신한 모래가 없어서요 … → 기반암 하상 하도

✓ 좁은 계곡은 피하셔야 …

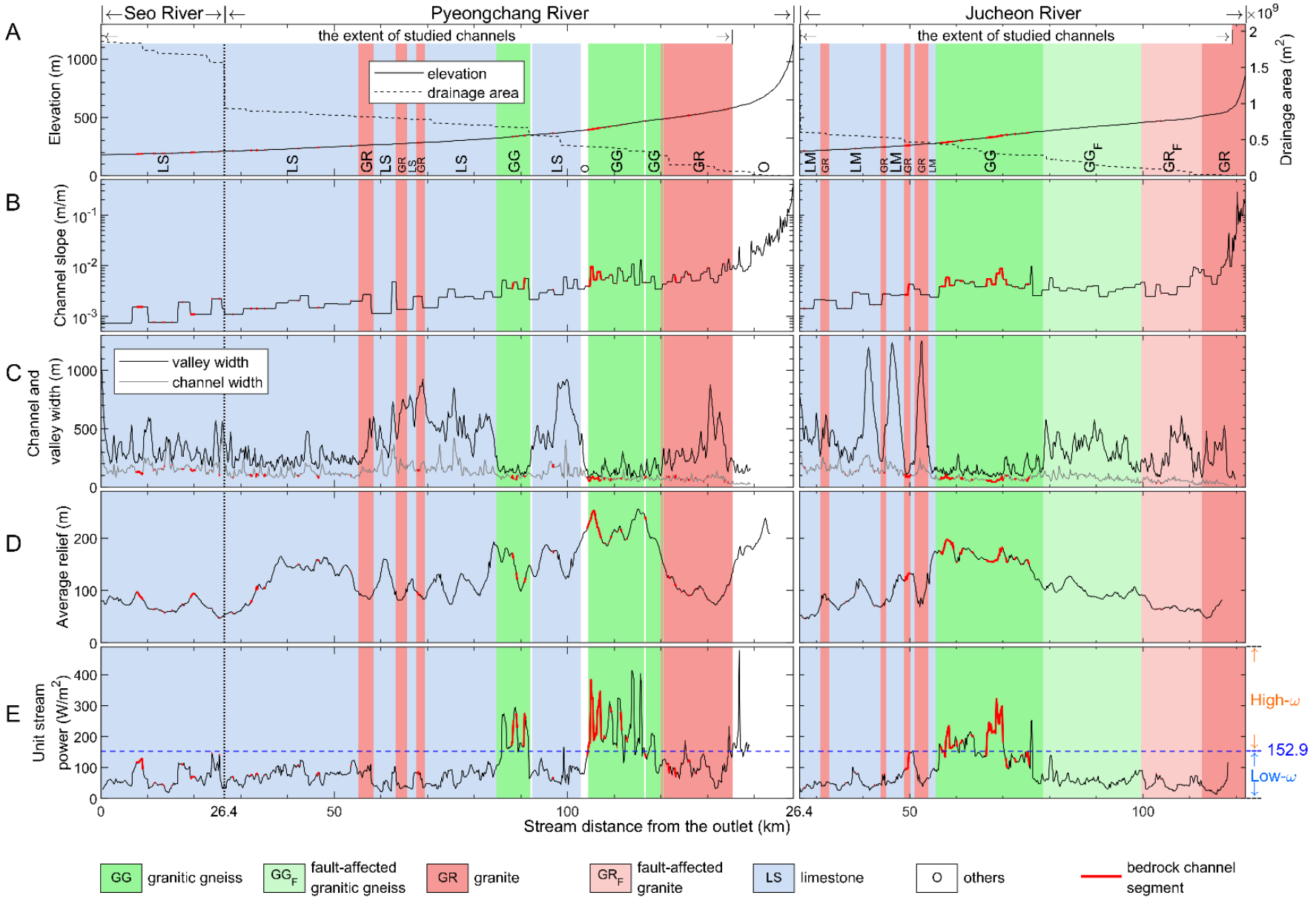
- 기반암 하상 하도(bedrock channel)는 반드시 좁은 계곡에서만 나타나는가요?

# 수치 지형분석 연구 사례 : 1. 기반암 하상 하도 분포




- 서강 유역의 지질과 수치고도모형

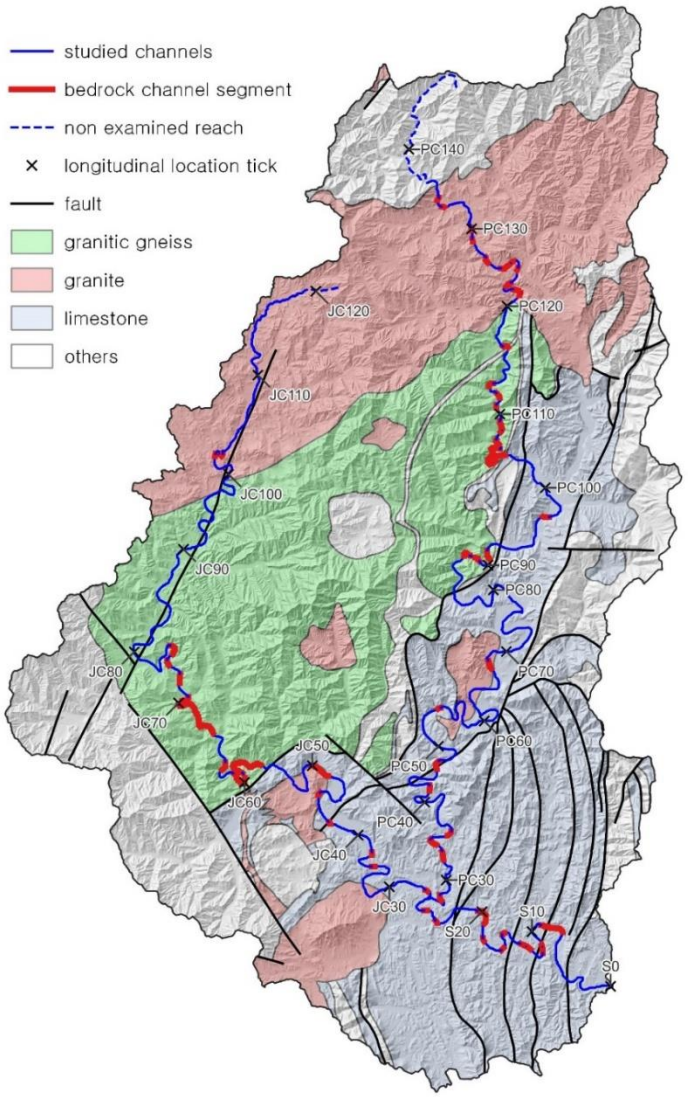
- Chen, H., and Byun, J., 2023, Effects of erosional resistance on bedrock channel occurrence and morphology: Examination of the Seo River catchment in South Korea: Geomorphology, v. 438, p. 108810.




- 평창강과 주천강의 하류 방향 고도, 경사, 계곡폭, 기복, 유수력 분포

- Chen, H., and Byun, J., 2023, Effects of erosional resistance on bedrock channel occurrence and morphology: Examination of the Seo River catchment in South Korea: Geomorphology, v. 438, p. 108810.

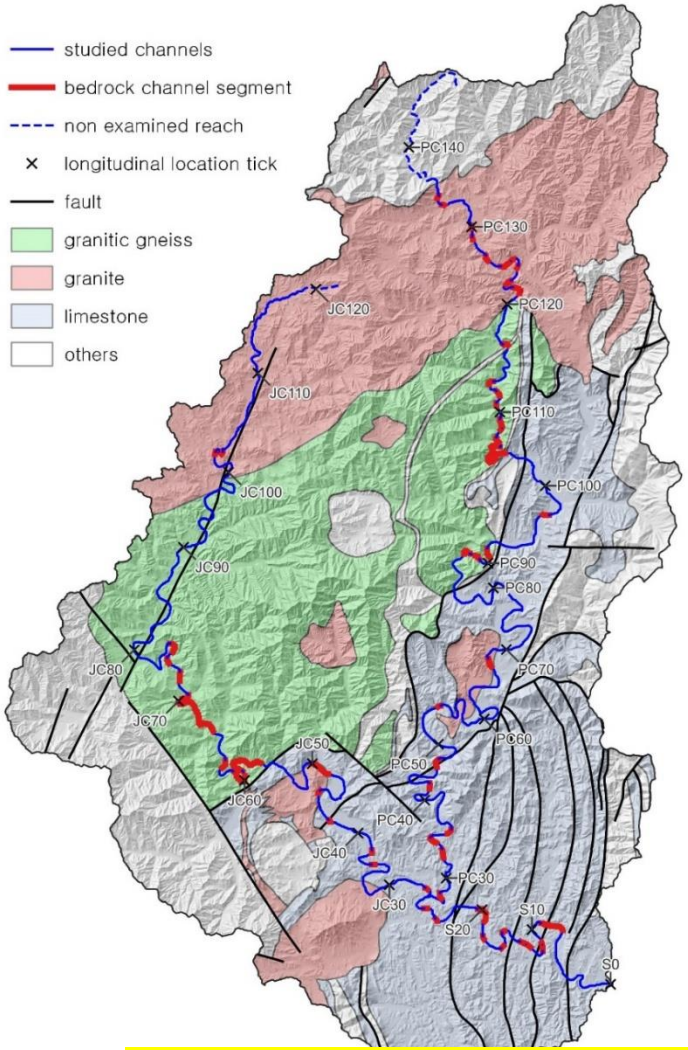
# 수치 지형분석 연구 사례 : 1. 기반암 하상 하도 분포



- **좁은 계곡의 기반암 하상 하도**

- Chen, H., and Byun, J., 2023, Effects of erosional resistance on bedrock channel occurrence and morphology: Examination of the Seo River catchment in South Korea: Geomorphology, v. 438, p. 108810.

# 수치 지형분석 연구 사례 : 1. 기반암 하

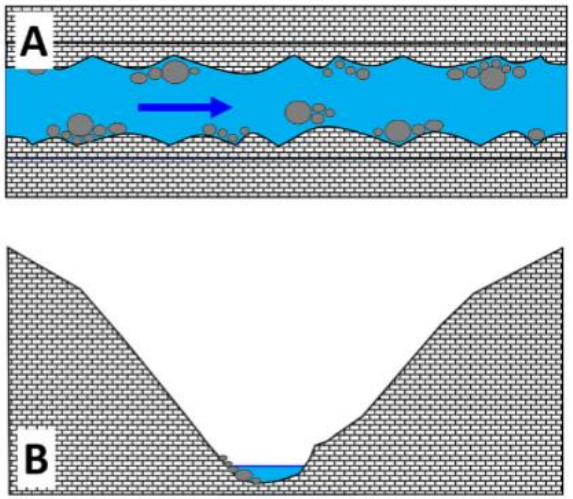


- **넓은 계곡의 기반암 하상 하도**

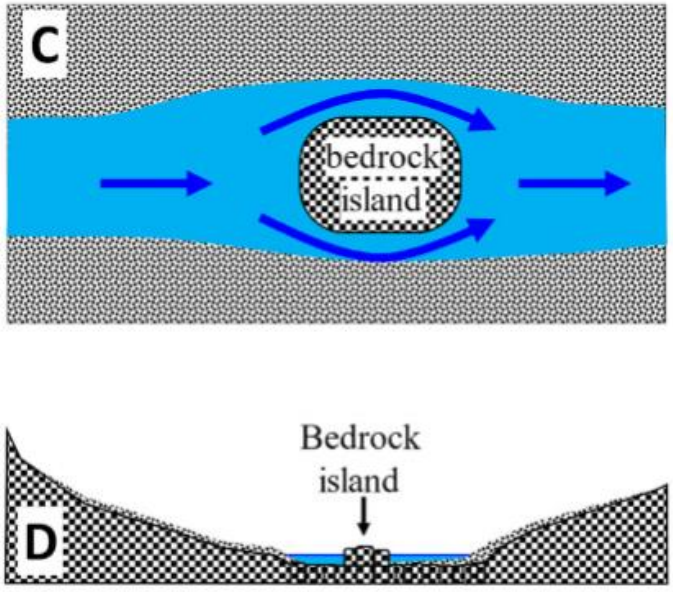
- Chen, H., and Byun, J., 2023, Effects of erosional resistance on bedrc of the Seo River catchment in South Korea: Geomorphology, v. 438, p.

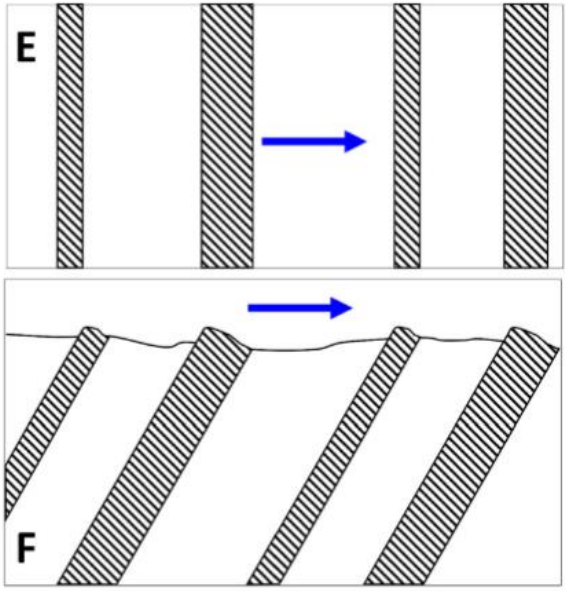
# 수치 지형분석 연구 사례 : 1. 기반암 하상 하도 분포

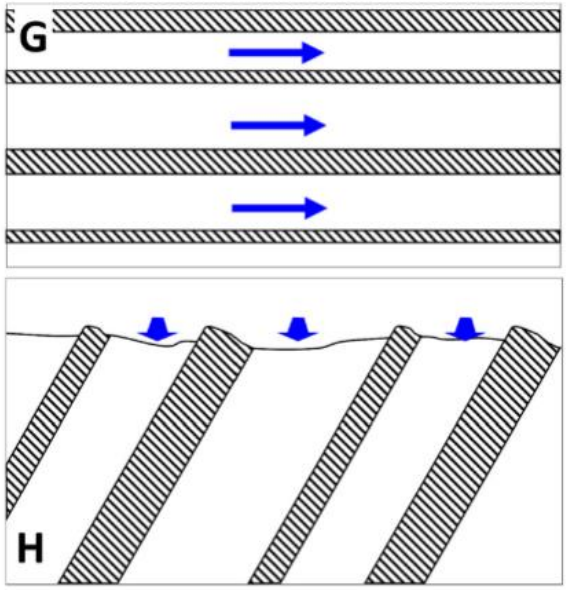
## 좁은 계곡의 기반암 하상 하도




## 넓은 계곡의 기반암 하상 하도



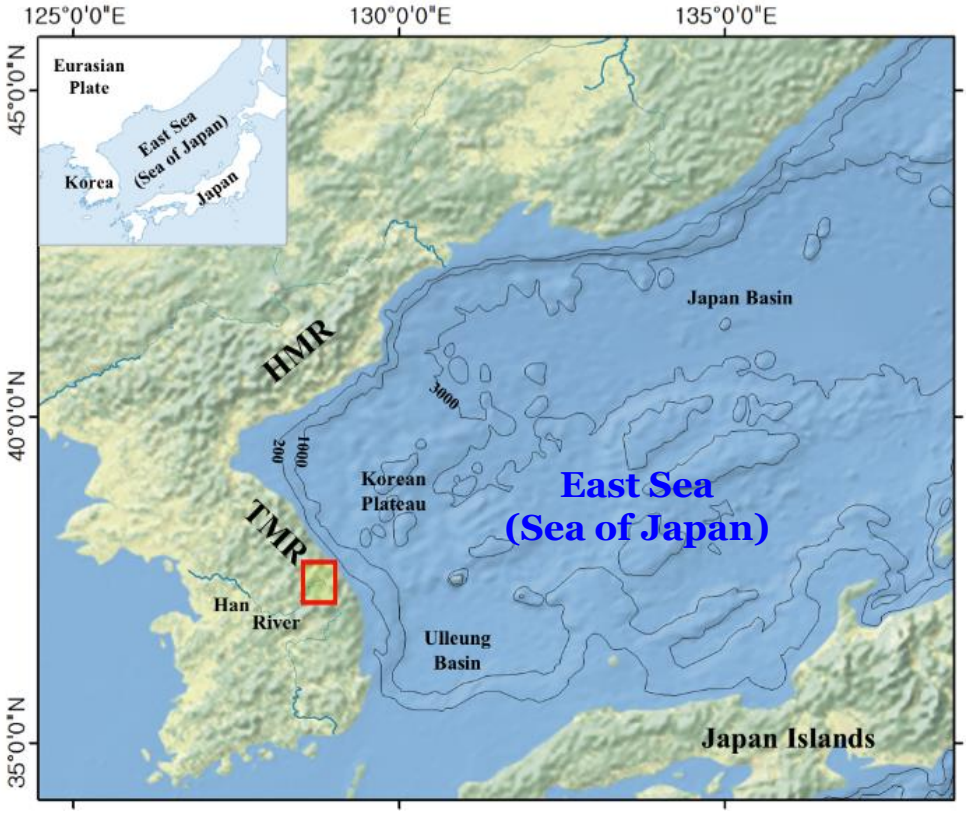



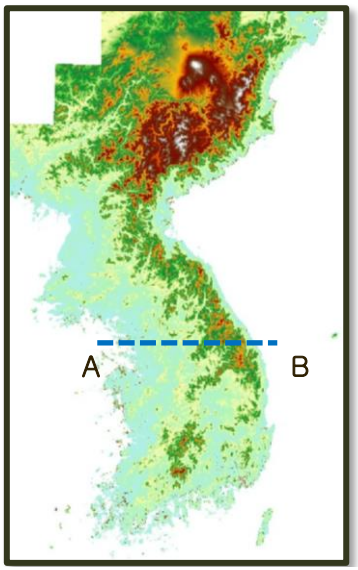




- Chen, H., and Byun, J., 2023, Effects of erosional resistance on bedrock channel occurrence and morphology: Examination of the Seo River catchment in South Korea: Geomorphology, v. 438, p. 108810.

# 수치 지형분석 연구 사례 : 3. 태백산맥 형성 시기

## 태백산맥의 형성 시기와 과정은?



- **태백산맥의 형성 시기와 과정에 대한 논쟁 :**

  **간헐적 반복 융기** 對

  **집중적 융기**


- Byun, J., and Paik, K., 2021, The development process of the Korean coastal mountain range: Examination from spatial distribution of knickzones: Progress in Physical Geography: Earth and Environment, v. 45, p. 541 - 563.

# 수치 지형분석 연구 사례 : 3. 태백산맥 형성 시기

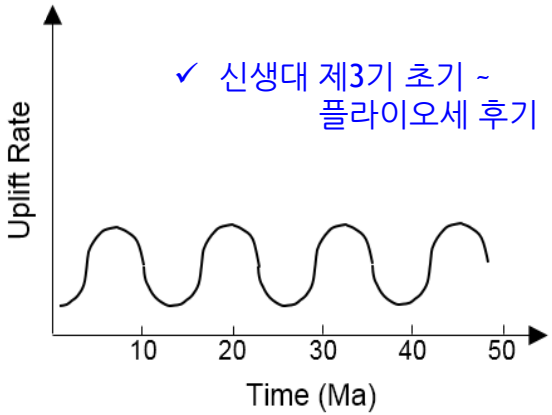
- 간헐적 반복 지반융기 가설

대관령 고원

충주 산록완사면

| 삭박면 구분 | 고도 (m) |
|---|---|
| 대관령 | 700 |
| 하진부 | 500 |
| 제천 | 320 |
| 충주 | 180 |

(Yoshikawa, 1941; 김상호, 1961)



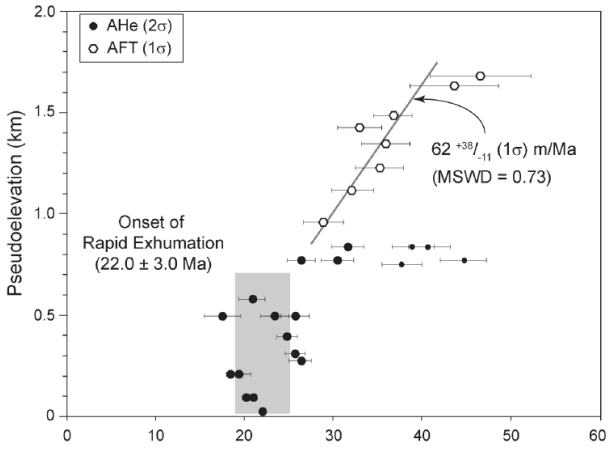


- Byun, J., and Paik, K., 2021, The development process of the Korean coastal mountain range: Examination from spatial distribution of knickzones: Progress in Physical Geography: Earth and Environment, v. 45, p. 541 - 563.

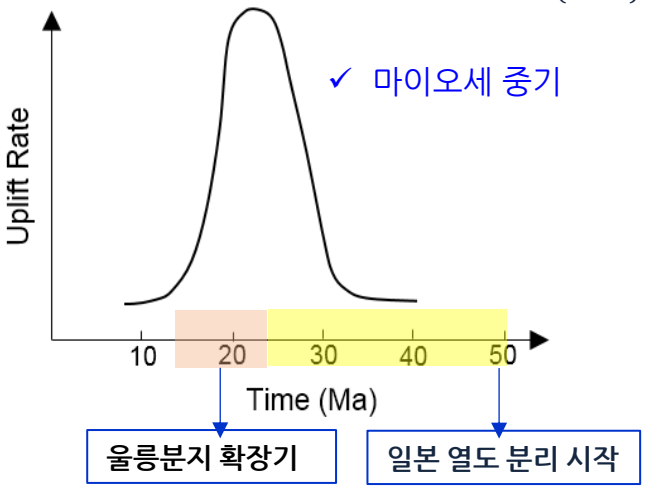
# 수치 지형분석 연구 사례 : 3. 태백산맥 형성 시기

- 동해 생성(울릉분지 확장)시 집중 융기 가설

핵분열 비적fission track 및 인회석apatite
(U-Th)/He 연대측정을 통해 얻은 고도-연대 관계




Min et al. (2010)

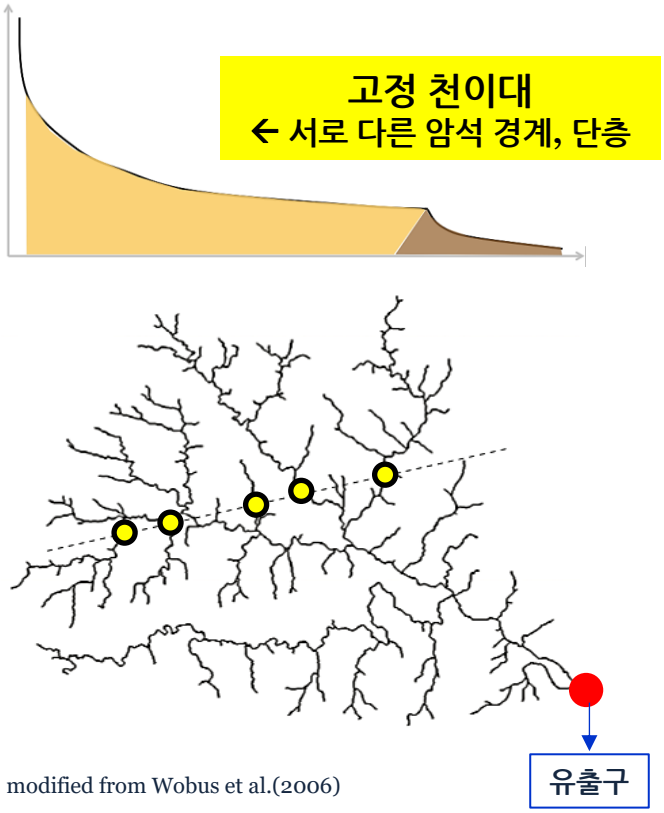


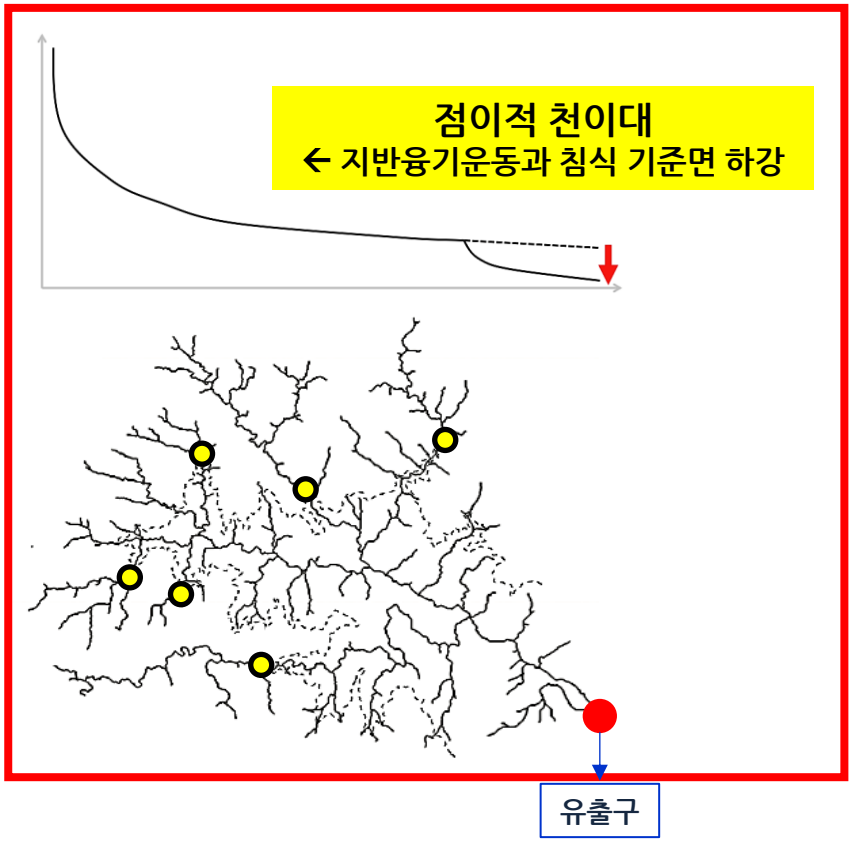


- Byun, J., and Paik, K., 2021, The development process of the Korean coastal mountain range: Examination from spatial distribution of knickzones: Progress in Physical Geography: Earth and Environment, v. 45, p. 541 - 563.

# 수치 지형분석 연구 사례 : 3. 태백산맥 형성 시기

- 하천 천이대knickzone 형성 원인에 따른 유형 구분



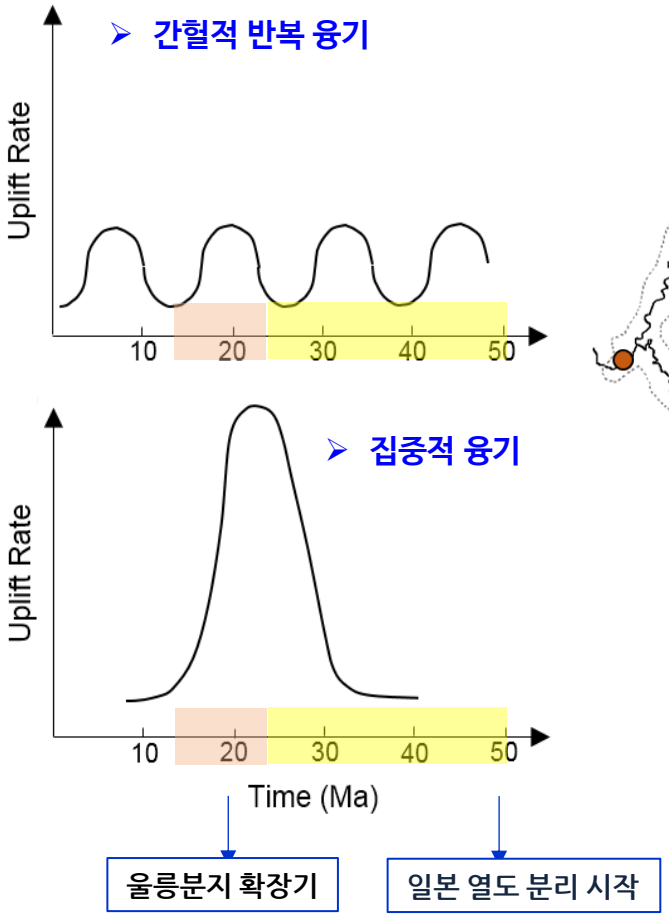



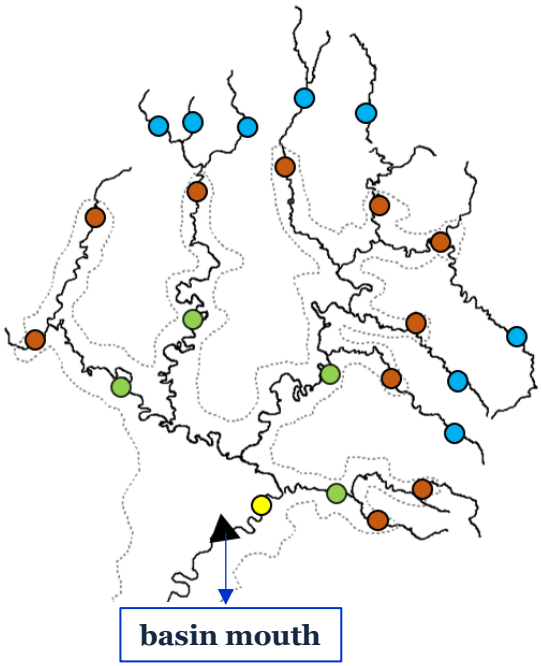


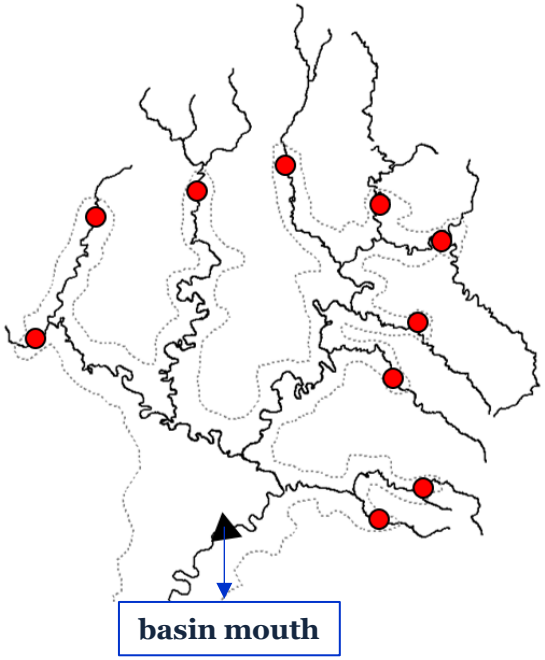
- Byun, J., and Paik, K., 2021, The development process of the Korean coastal mountain range: Examination from spatial distribution of knickzones: Progress in Physical Geography: Earth and Environment, v. 45, p. 541 - 563.

# 수치 지형분석 연구 사례 : 3. 태백산맥 형성 시기

- 지반융기운동 가설에 따른 점이적 하천 천이대의 서로 다른 분포



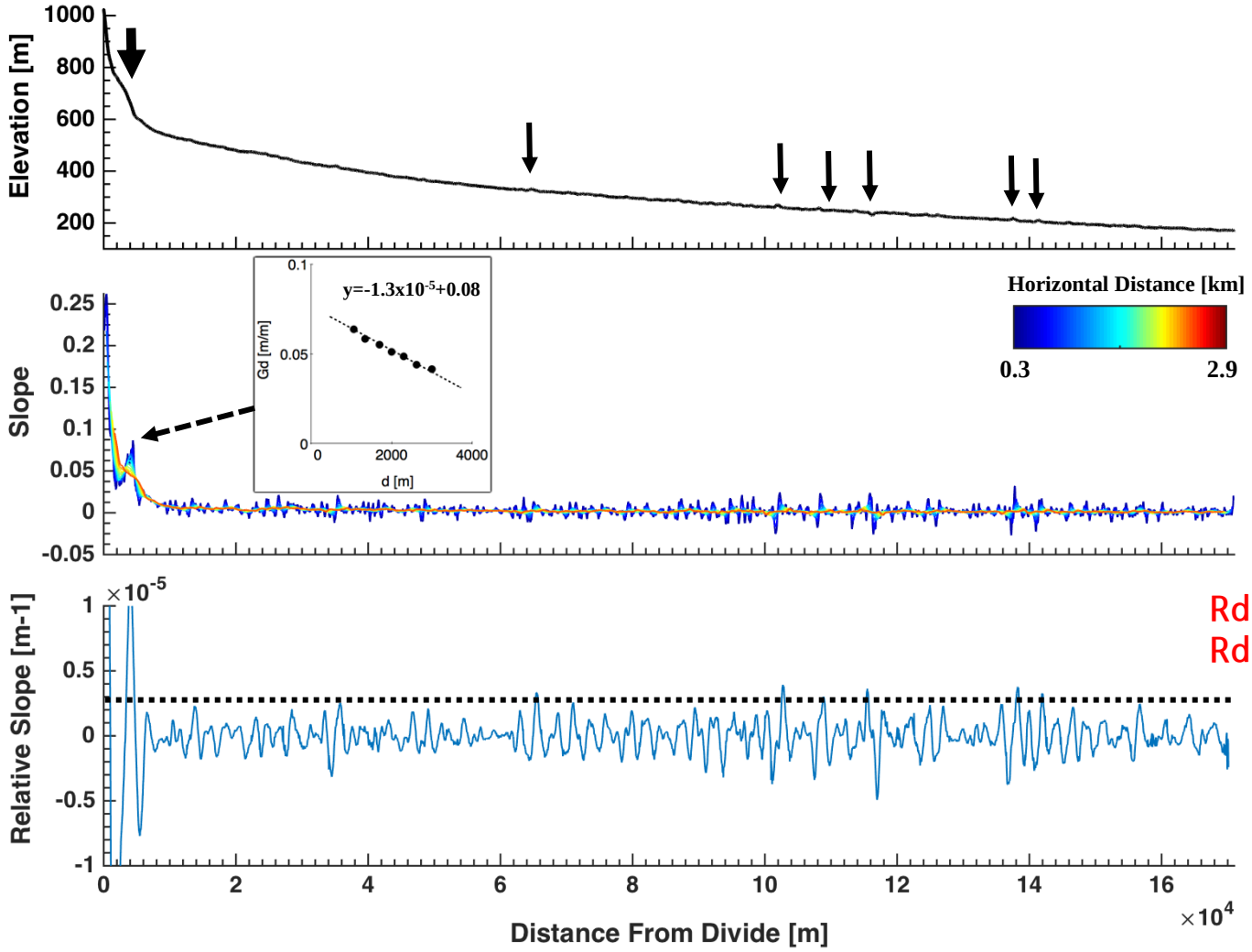




- Byun, J., and Paik, K., 2021, The development process of the Korean coastal mountain range: Examination from spatial distribution of knickzones: Progress in Physical Geography: Earth and Environment, v. 45, p. 541 - 563.

# 수치 지형분석 연구 사례 : 3. 태백산맥 형성 시기

- 수치 지형분석을 통한 정량적인 하천 천이점 추출

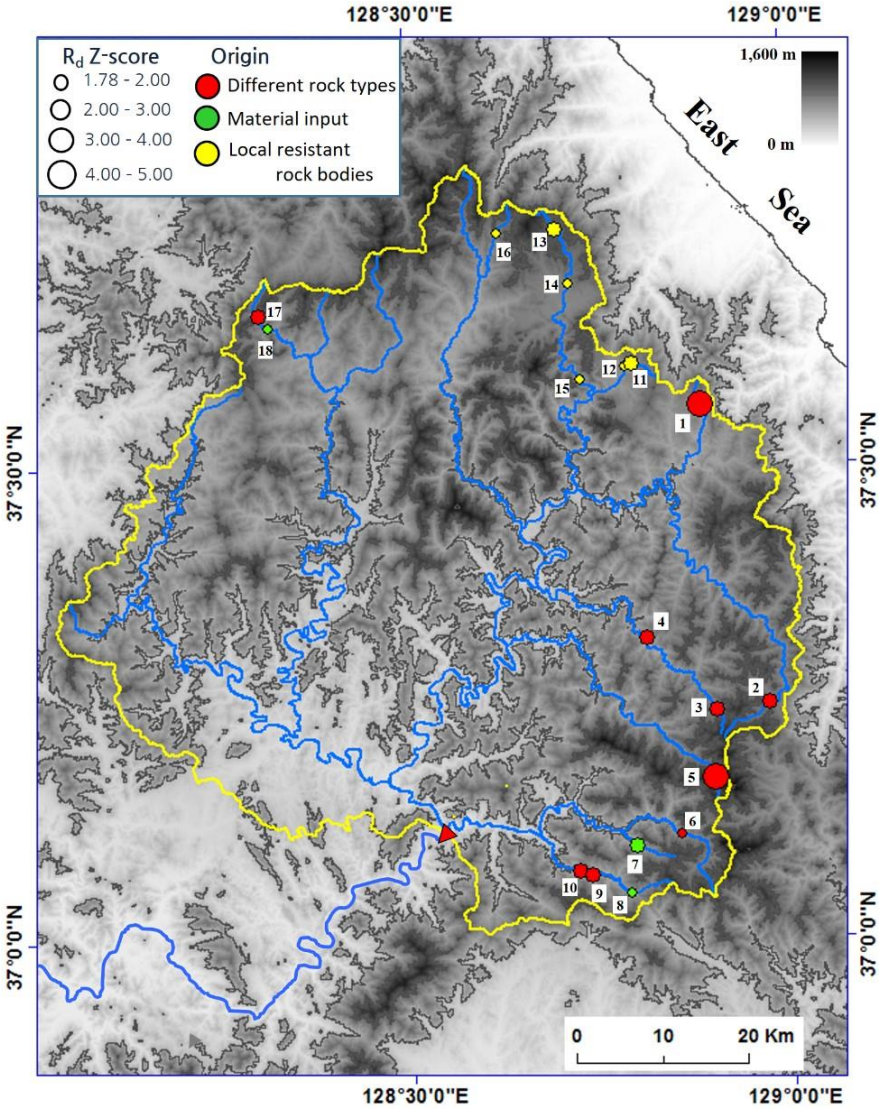



Rd = 0.00000256
Rd Z score = 1.5


- Byun, J., and Paik, K., 2021, The development process of the Korean coastal mountain range: Examination from spatial distribution of knickzones: Progress in Physical Geography: Earth and Environment, v. 45, p. 541 - 563.

# 수치 지형분석 연구 사례 : 3. 태백산맥 형성 시기

✓ <u>고정</u> 하천 천이점 유형만 관찰됨

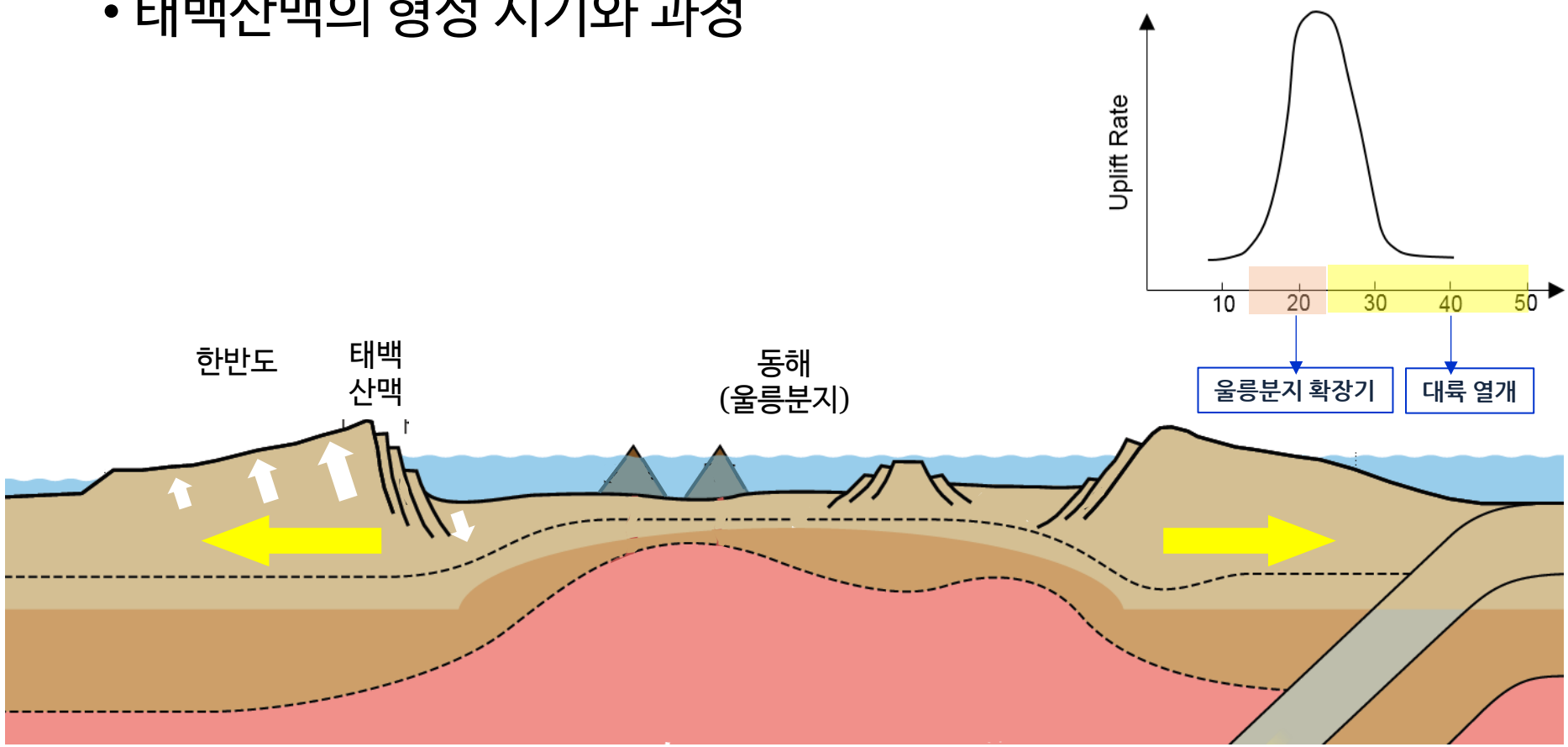



- 수치 지형분석을 통해 추출된 하천 천이대


- Byun, J., and Paik, K., 2021, The development process of the Korean coastal mountain range: Examination from spatial distribution of knickzones: Progress in Physical Geography: Earth and Environment, v. 45, p. 541 – 563.

# 수치 지형분석 연구 사례 : 3. 태백산맥 형성 시기

- 태백산맥의 형성 시기와 과정




**동해의 지질구조 개념도**
대한민국 국가지도집(2015) 그림 수정


- Byun, J., and Paik, K., 2021, The development process of the Korean coastal mountain range: Examination from spatial distribution of knickzones: Progress in Physical Geography: Earth and Environment, v. 45, p. 541 - 563.

# 수치 지형분석 연구 사례 : 3. 도시 지형 교육

## 도시 지형경관 교육 어떻게 할 것인가?

관악산에서 내려본 서울 남서부

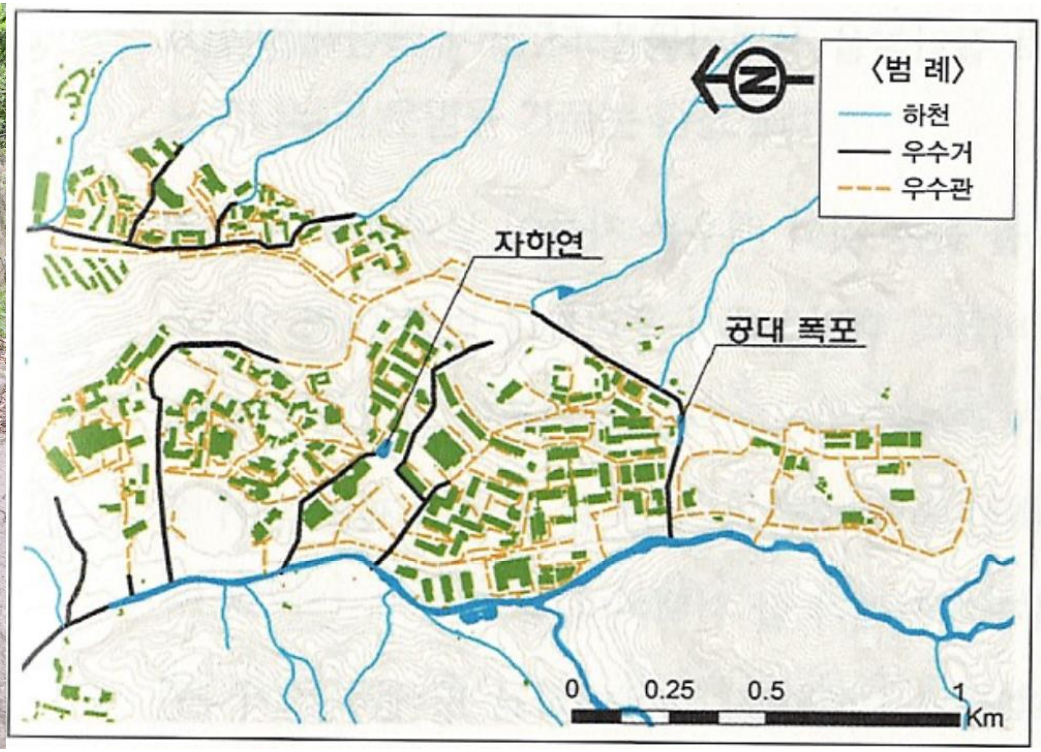
- 변종민, 2022, 예비교사를 위한 도시 지형답사 프로그램 개발: 한국지리학회지, v. 11, p. 287 - 303.

# 수치 지형분석 연구 사례 : 3. 도시 지형 교육

- 원래의 지형경관이 보이지 않는 도시, 어떻게 지형 교육을 할 수 있는가?
  - 인간에 의해 울퉁불퉁한 지표는 **평탄화** 되었다.
  - 지표의 **토양**은 시멘트와 아스팔트로 포장되어 자취를 감추었다.
  - **하천(물길)**이 보이지 않는다. 도시 하천에 접근하는 것도 힘들다.


- 변종민, 2022, 예비교사를 위한 도시 지형답사 프로그램 개발: 한국지리학회지, v. 11, p. 287 - 303.

# 수치 지형분석 연구 사례 : 3. 도시 지형 교육



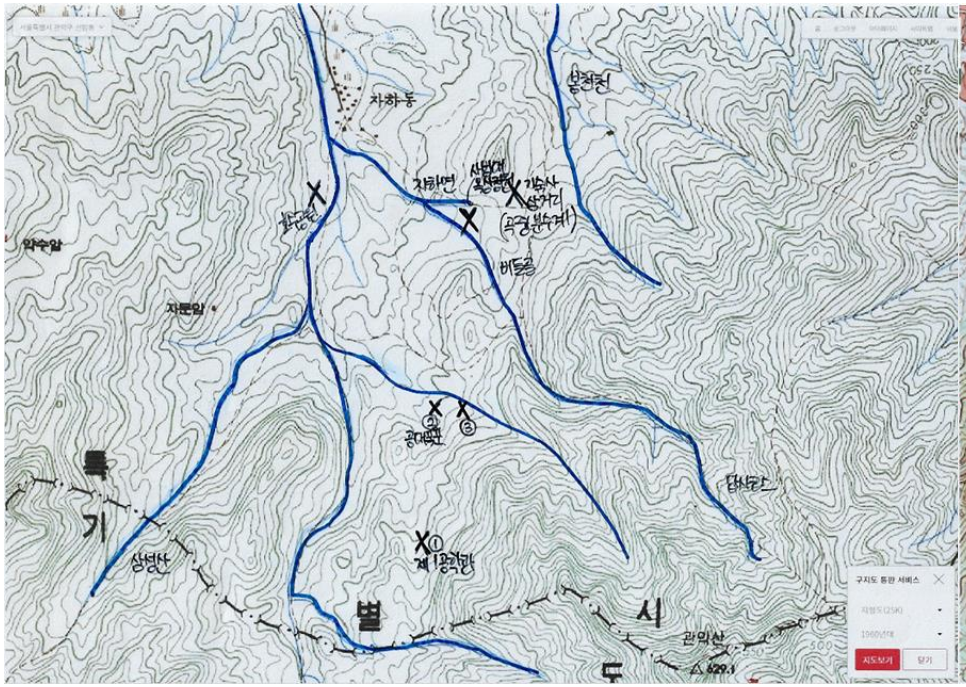

이도원(2020)

- 원래의 지형경관이 보이지 않는 도시, 어떻게 지형 교육을 할 수 있는가?
  - 인간에 의해 울퉁불퉁한 지표는 **평탄화** 되었다.
  - 지표의 **토양**은 시멘트와 아스팔트로 포장되어 자취를 감추었다.
  - **하천(물길)**이 보이지 않는다. 도시 하천에 접근하는 것도 힘들다.

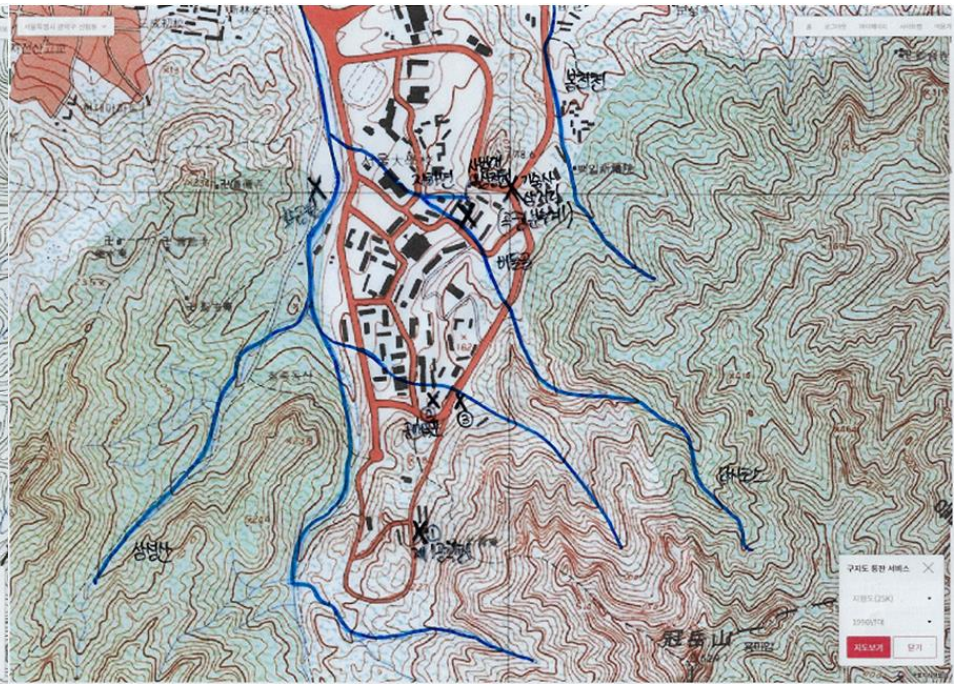

- 변종민, 2022, 예비교사를 위한 도시 지형답사 프로그램 개발: 한국지리학회지, v. 11, p. 287 - 303.

# 수치 지형분석 연구 사례 : 3. 도시 지형 교육

- **안 보이는 자연경관을 보이도록 만들기 (도시화 이전의 자연경관 복원)**
  - 과거 지형도에 **OHP 필름**을 올려 **하천,** 취락, 토지이용을 따라 그림.
  - 이후 과거 하천, 취락, 토지이용이 그려진 OHP 필름을 **현재 지형도 위에 올려 중첩**하여 비교함



60년대 지형도 위에 OHP 필름을 놓고 하천을 따라 유성펜으로 그림



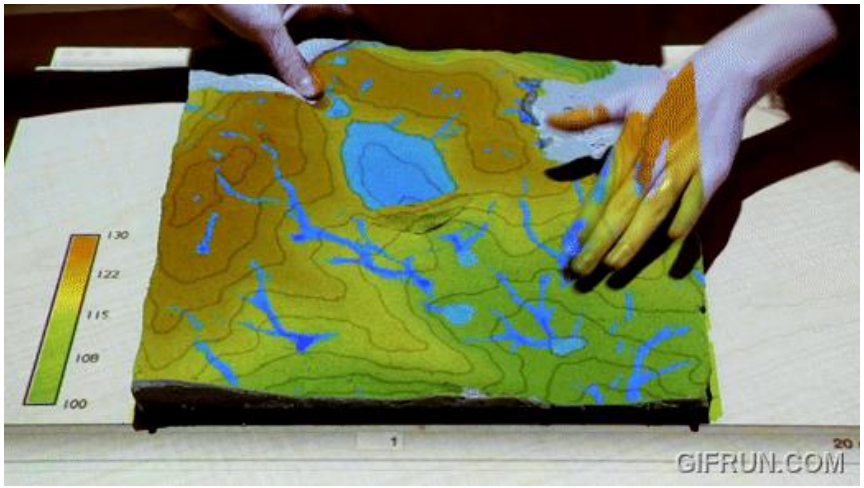
60년대 하천 유로가 기록된 OHP 필름을 90년대 지형도에 중첩함

**학생이 지형을 더욱 잘 인지할 수는 없을까?**

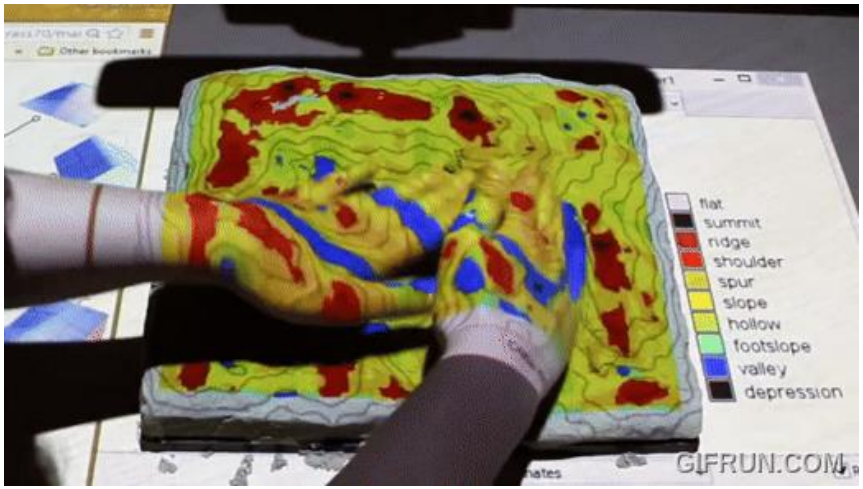

- 변종민, 2022, 예비교사를 위한 도시 지형답사 프로그램 개발: 한국지리학회지, v. 11, p. 287 - 303.

# 수치 지형분석 연구 사례

- 실감형 사용자 인터페이스 Tangible Landscape 활용 지형 교육

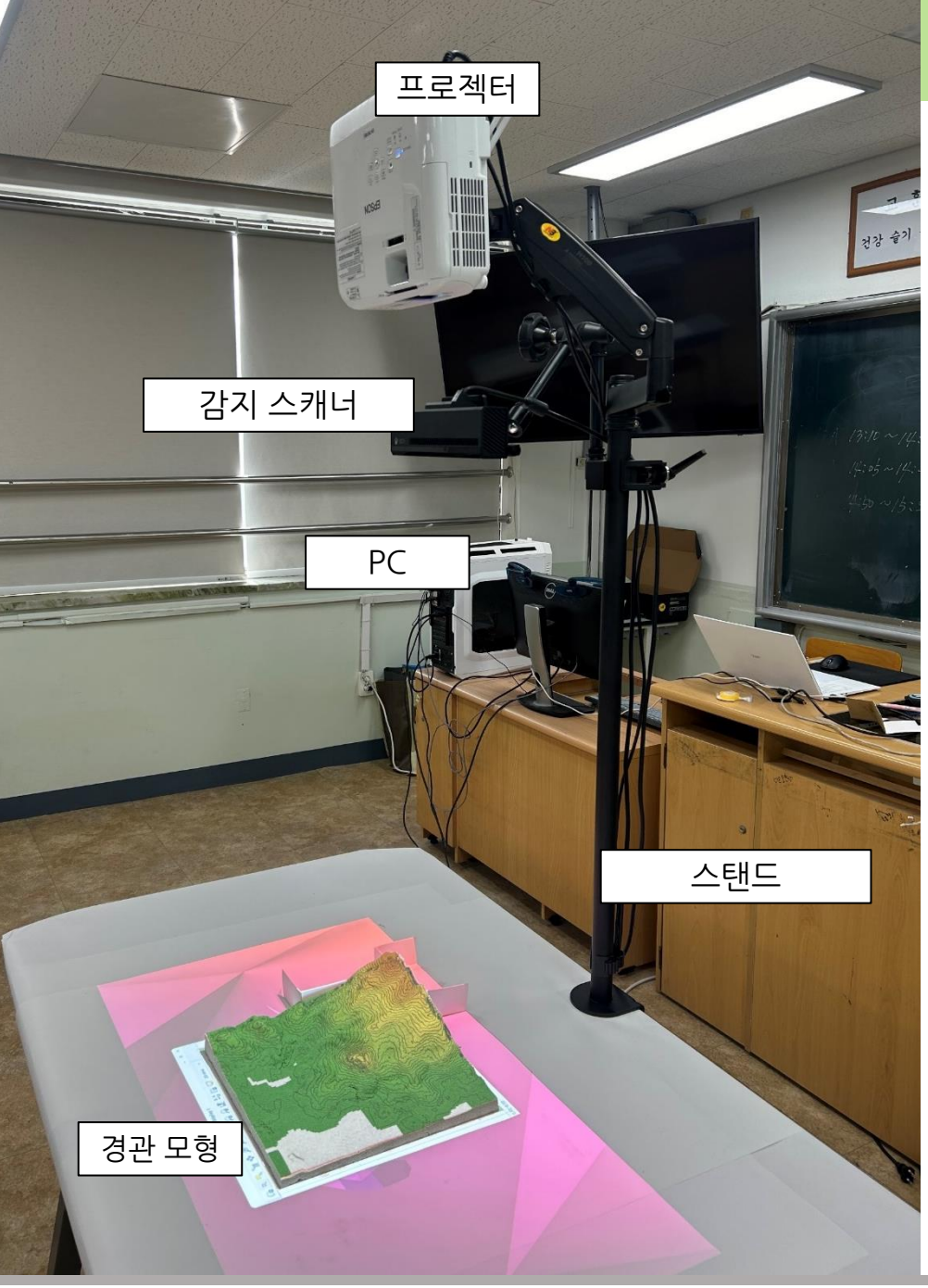



**Modeling water flow with Tangible Landscape**
https://youtu.be/Cd3cCQTGer4

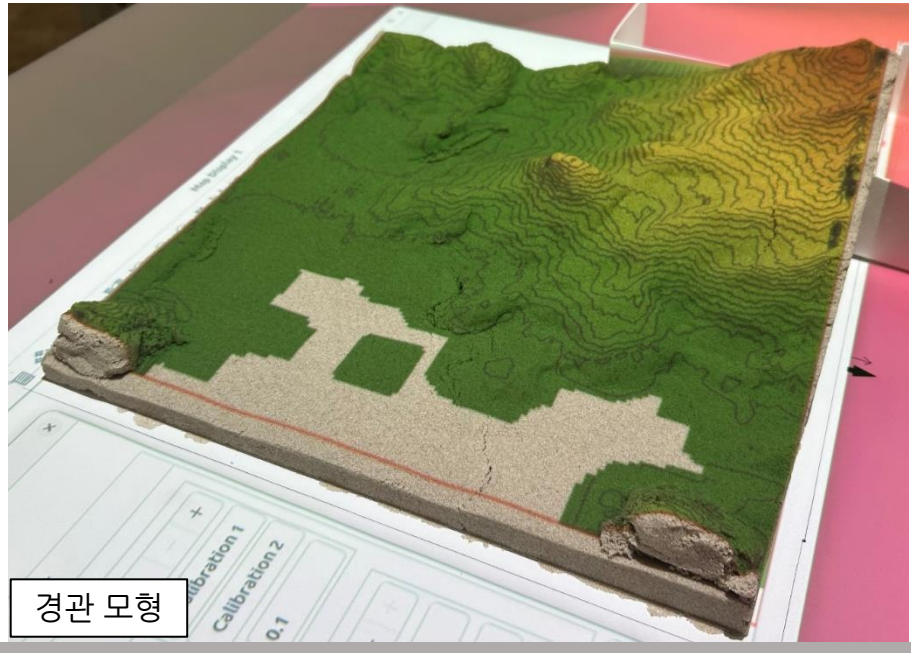



**Tangible Landscape: geomorphons (landforms) 1/2**
https://youtu.be/mrRqfnW8UGY

- 하승우·변종민, 일상 공간 중심 지형교육에서 실감형 사용자 인터페이스의 활용 가능성, 한국지리환경교육학회, 2024.12.14, 전남대학교




- 실감형 지형경관Tangible Landscape
  - 경관 모형 상에 나타나는 학생 일상공간의 등고선 모습 관찰
  - 학생에게 익숙한 위치 주변의 땅의 형태에 대해서 질문함

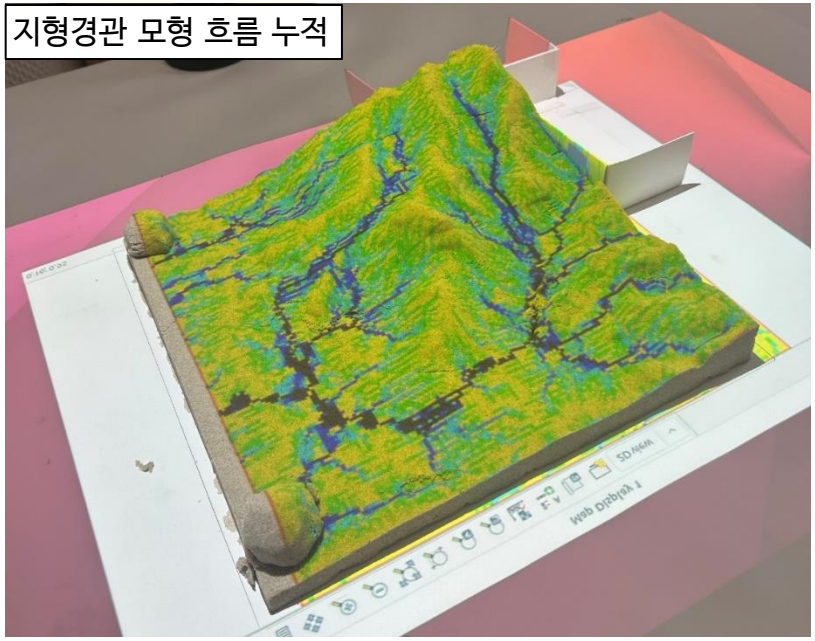




- 하승우·변종민, 일상 공간 중심 지형교육에서 실감형 사용자 인터페이스의 활용 가능성, 한국지리환경교육학회, 2024.12.14, 전남대학교

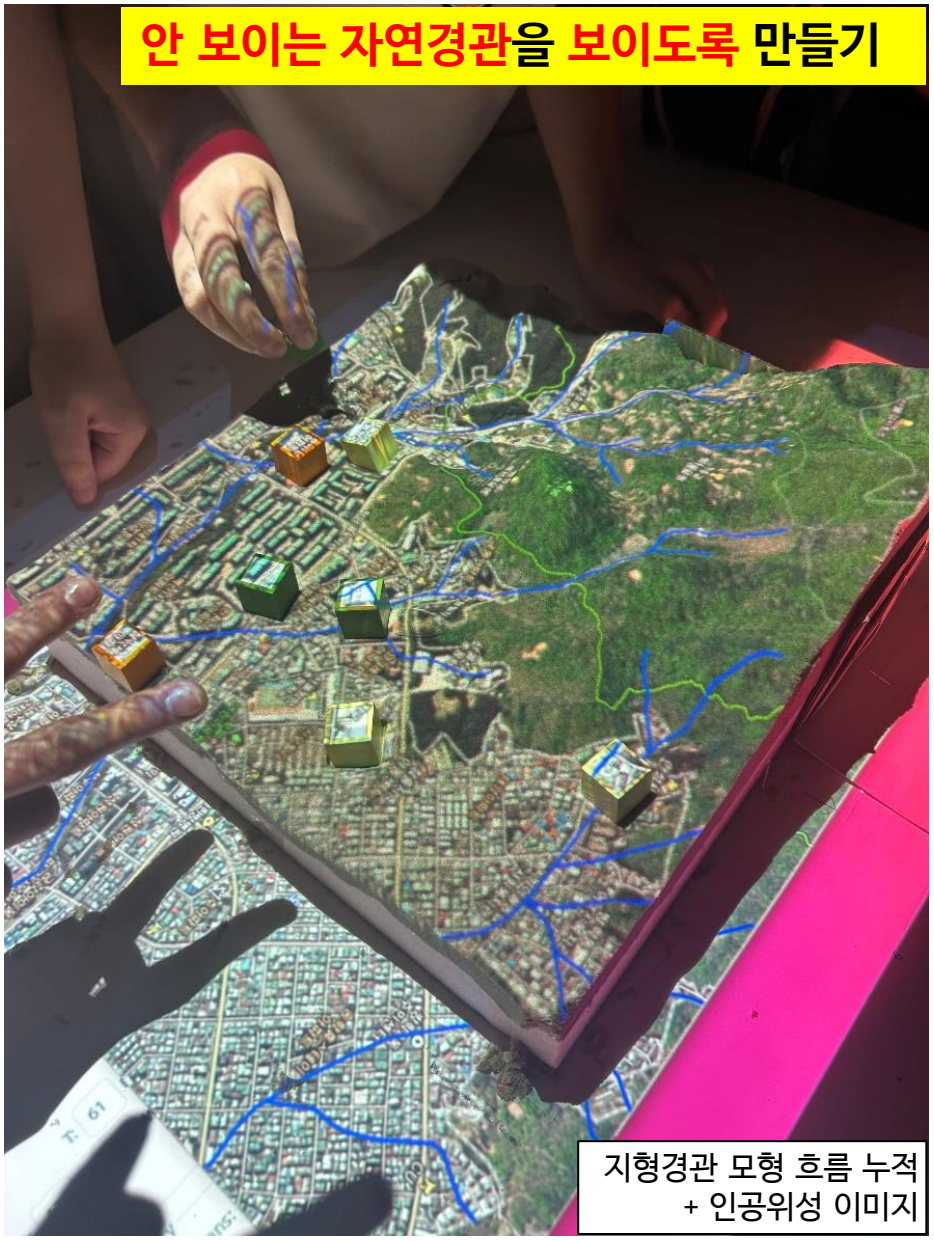
# 수치 지형분석 연구 사례

지형경관 모형 등고선



지형경관 모형 흐름 누적

**안 보이는 자연경관을 보이도록 만들기**



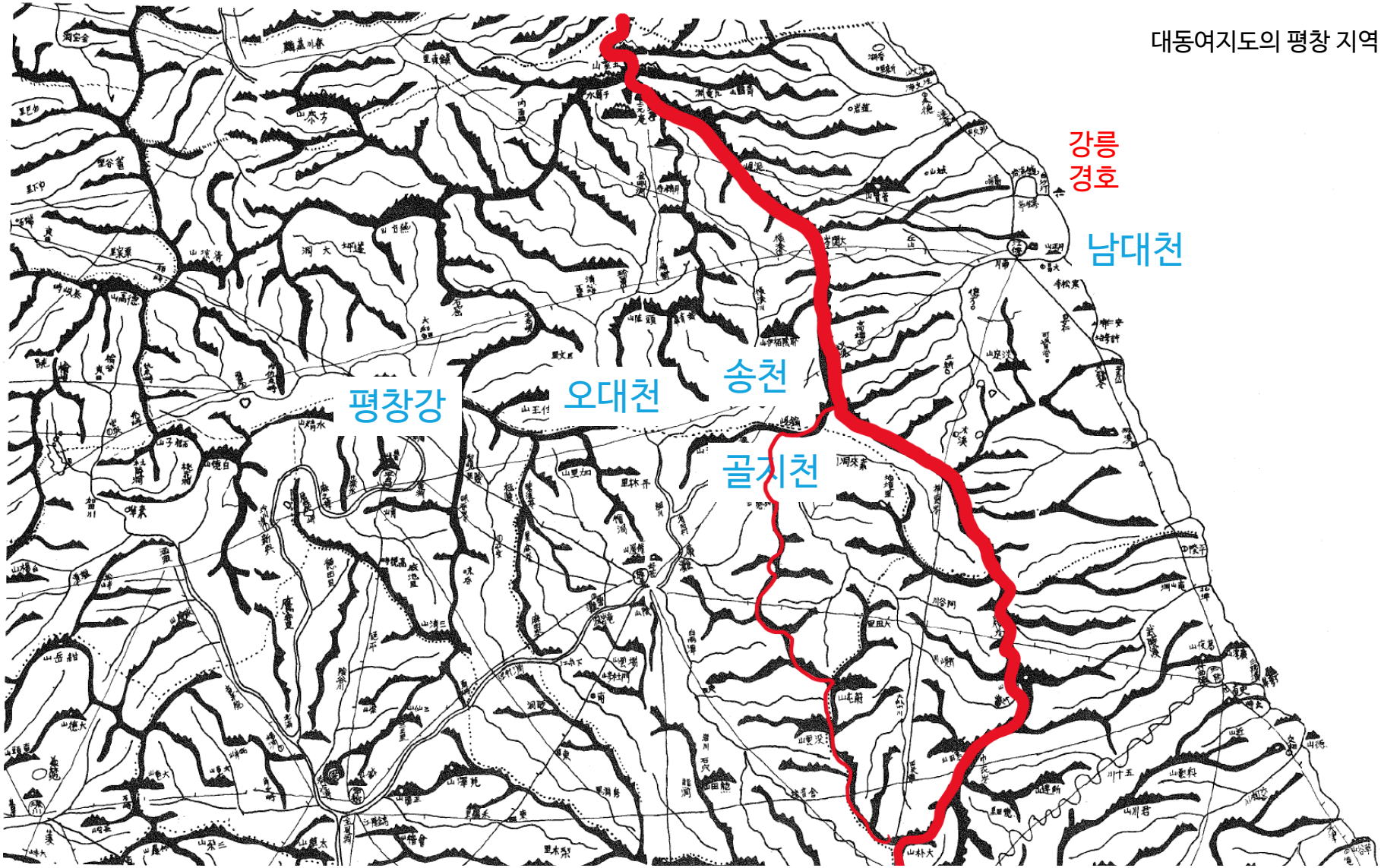
지형경관 모형 흐름 누적
+ 인공위성 이미지

- 하승우·변종민, 일상 공간 중심 지형교육에서 실감형 사용자 인터페이스의 활용 가능성, 한국지리환경교육학회, 2024.12.14, 전남대학교

# 지형경관 형태와 분포 패턴, 지형발달모델링

- 지형학 연구가 밝혀낸 성과 :
  복잡한 지형경관에 패턴이 있다구요?
- 그렇다면 무엇이 지형경관의 패턴을 만드는가?

# 지형경관 형태와 분포 패턴

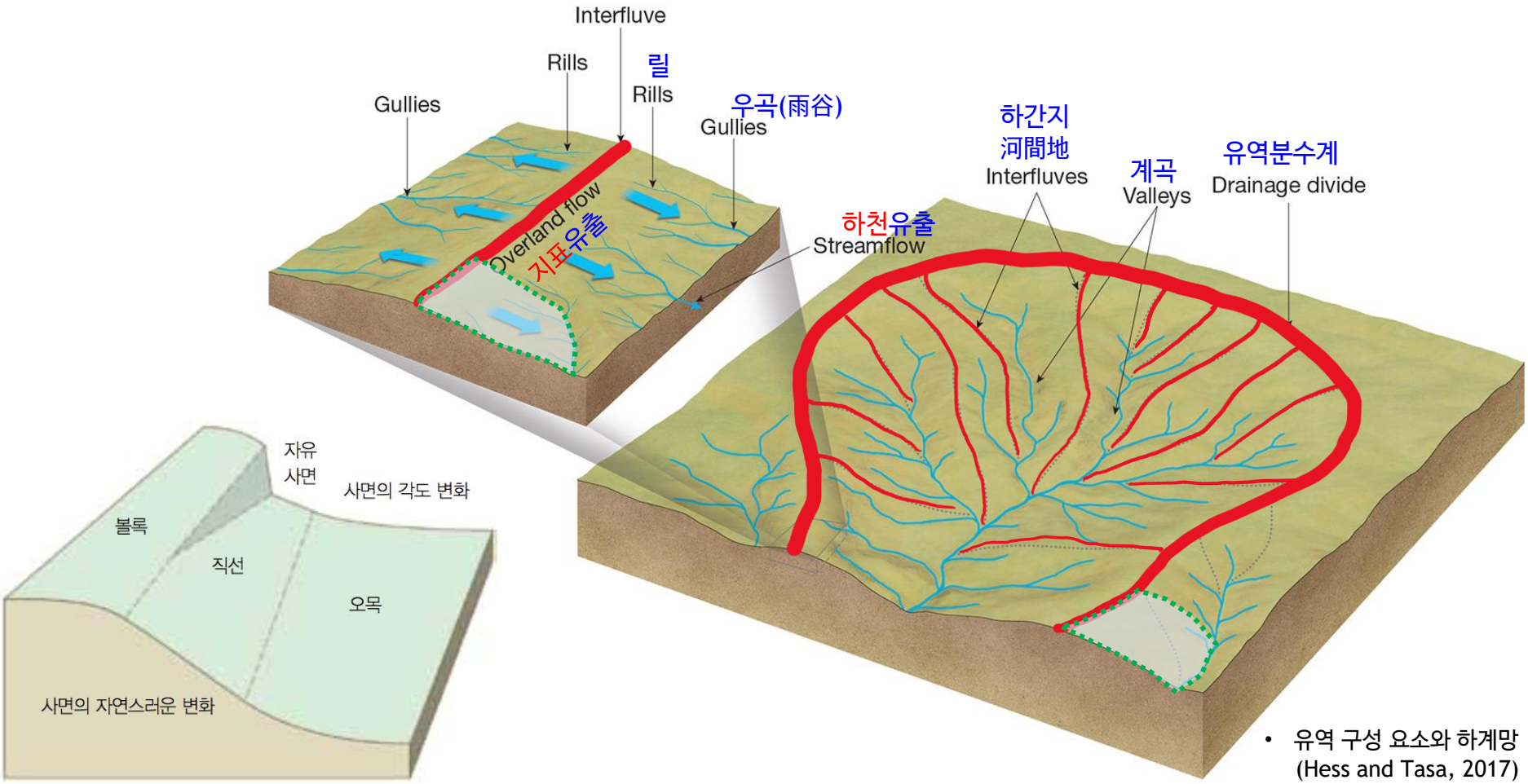



대동여지도의 평창 지역

하나의 근본에서 **만갈래로 나누어지는** 것은 **산**(山)이요,
만가지 다른 것이 모여서 **하나로 합하는 것**은 **물**(水)이다.

신경준의 「산수고」

# 지형경관 형태와 분포 패턴

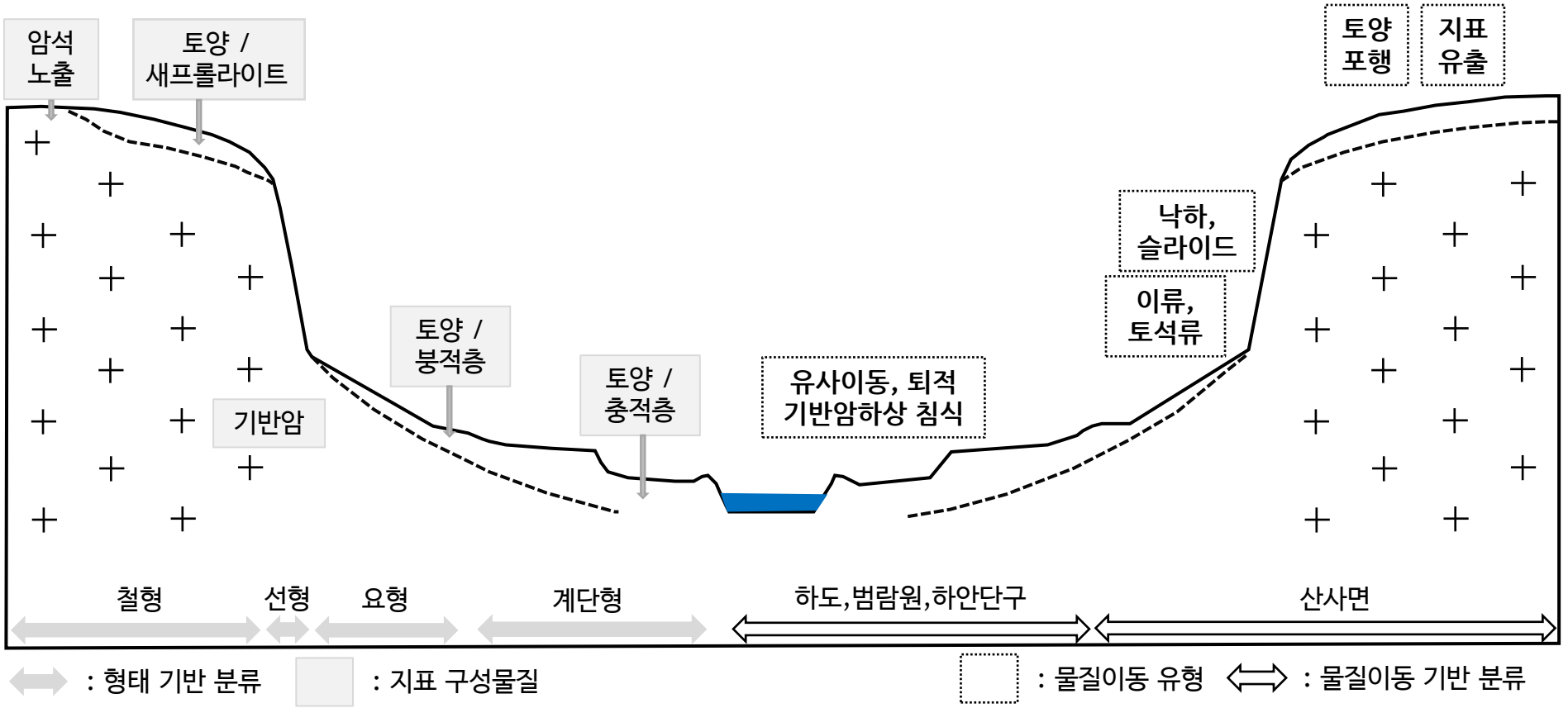



- 유역 구성 요소와 하계망 (Hess and Tasa, 2017)

- 지표는 유역으로 구성됨
- 유역 경계는 산줄기를 이루고 하천은 계곡을 따라 흐름
- 계곡은 산사면(형태적으로 볼록-직선-오목사면으로 구성됨)과 하천이 관찰됨
- ✓ 유역 내에는 같은 형태의 작은 유역이 존재함(자기유사성)


- 변종민, 2018, 사범대학 학부 지형학 강의 내용 구성 모색: 지리교육논집, v. 69, p. 9 - 27.

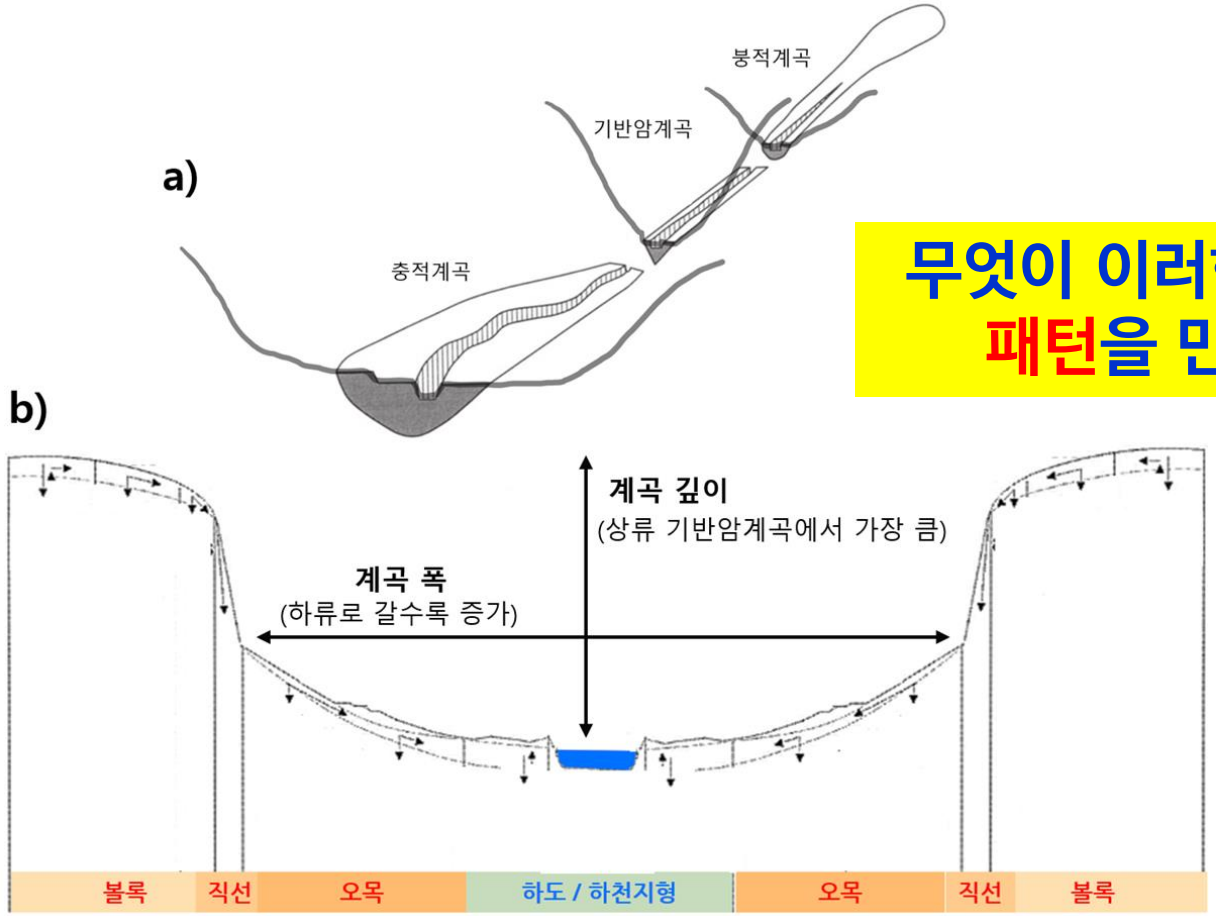
# 지형경관 형태와 분포 패턴




- 계곡 (횡단면) 형태와 과정 특징
  - 계곡은 바닥의 하도 및 하천지형, 양안의 계곡 산사면으로 구성됨
  - 계곡 내 위치에 따라 형태와 구성물질, 그리고 물질이동과정$_{\text{지형형성과정}}$은 서로 구분됨(Conacher and Dalrymple, 1977)


- 변종민, 2018, 사범대학 학부 지형학 강의 내용 구성 모색: 지리교육논집, v. 69, p. 9 - 27.

# 지형경관 형태와 분포 패턴




**무엇이 이러한 지형경관 패턴을 만드는가?**

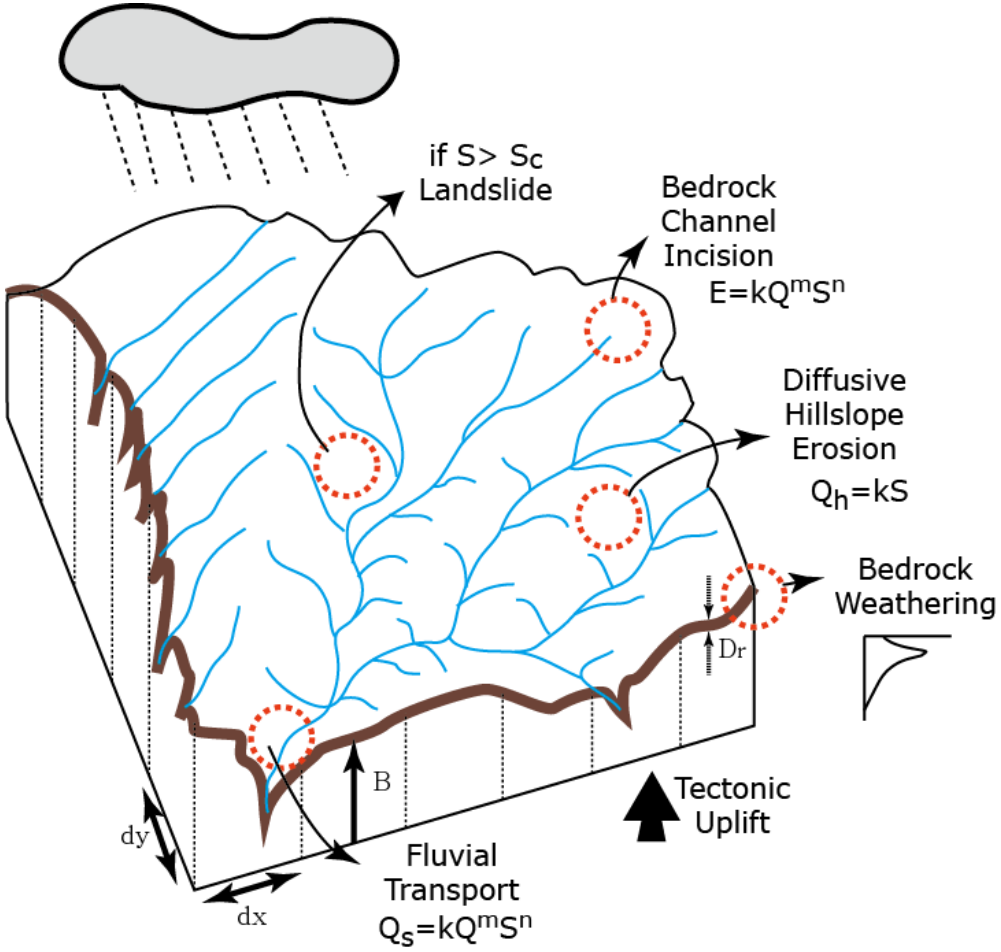
- 계곡 (횡단면) 형태와 과정 특징
  - 계곡은 바닥의 하도 및 하천지형, 양안의 계곡 산사면으로 구성됨
  - 계곡 내 위치에 따라 형태와 구성물질, 그리고 물질이동과정$_{\text{지형형성과정}}$은 서로 구분됨(Conacher and Dalrymple, 1977)
  - ✓ **유역 내 위치$_{\text{유역면적}}$에 따라 서로 다른 유형의 계곡이 규칙적으로 나타남**(Montgomery, 2001)


- 변종민, 2018, 사범대학 학부 지형학 강의 내용 구성 모색: 지리교육논집, v. 69, p. 9 - 27.

# 수치 지형경관 발달 모델링

- 지형학적 법칙
  - 풍화(토양생성) 작용, 사면물질이동, 하천작용 등 / 지구조 운동

● 오대산(소황병산, 노인봉 방향)

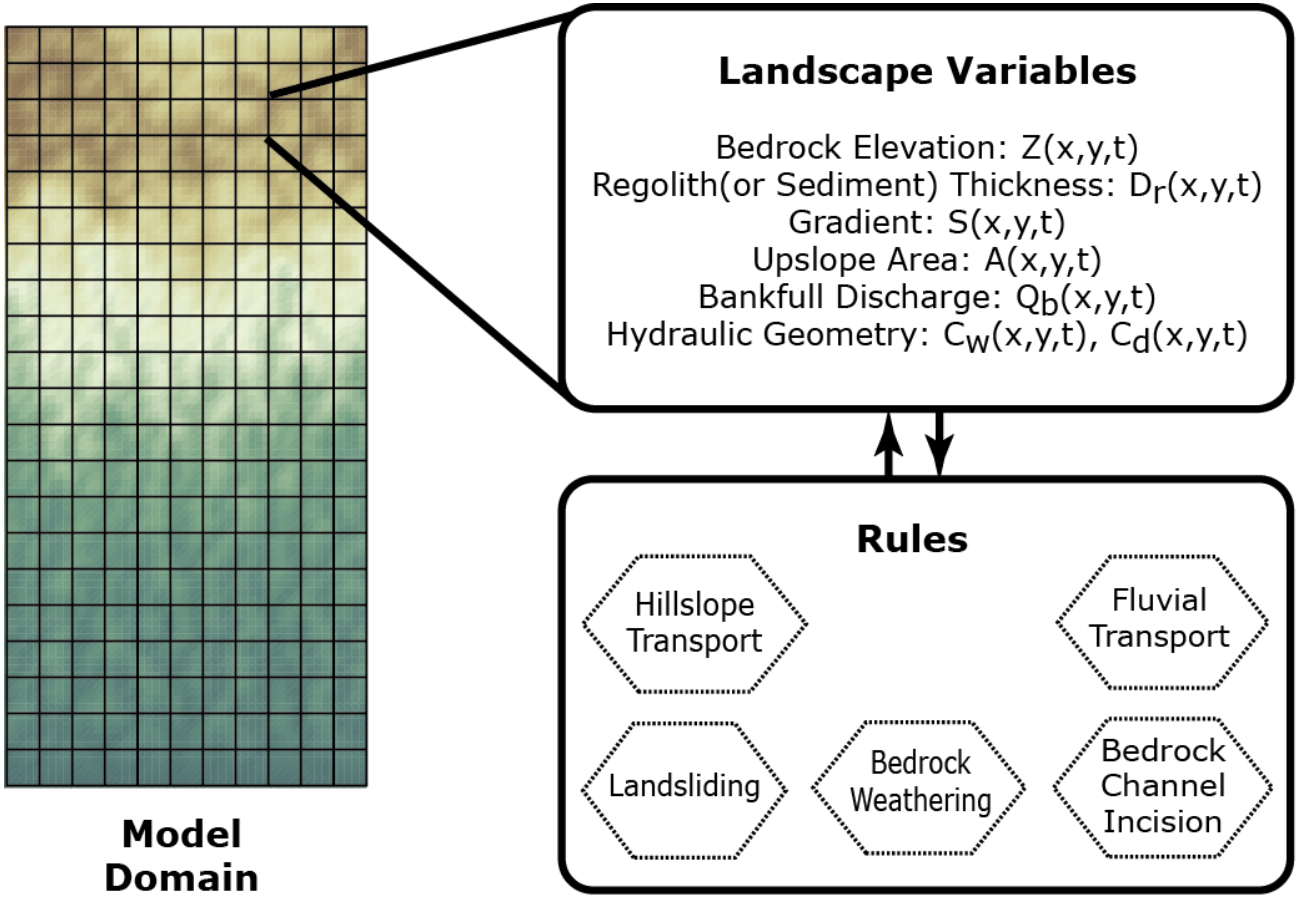



● 이산화된 공간상의 지형체계 개념도


- 변종민, 2011, 한반도 지반융기운동사 이해를 위한 수치지형발달모형의 개발과 적용 [박사] : 서울대학교.

# 수치 지형경관 발달 모델링

- 수치 지형경관 발달 모델링
  - 모델 격자(model grid) 도메인을 만들고, 밝혀진 지형학적 법칙을 적용하여, 반복 연산함




● **Components of the model:** model domain, variable, rules

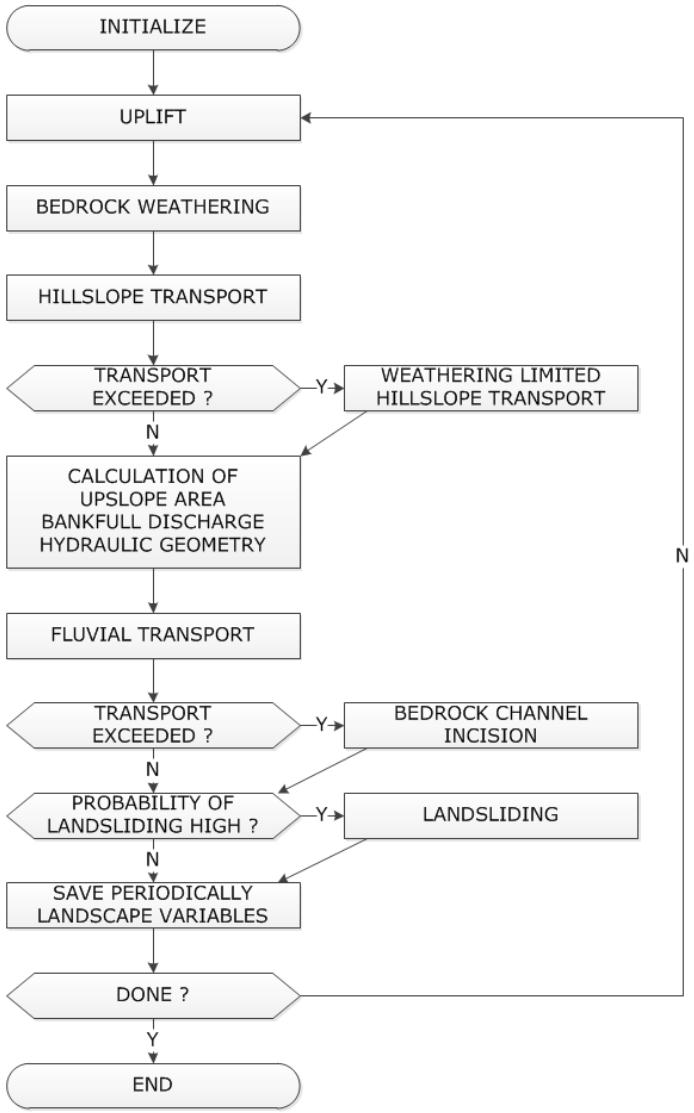
- 변종민, 2011, 한반도 지반융기운동사 이해를 위한 수치지형발달모형의 개발과 적용 [박사] : 서울대학교.

# 수치 지형경관 발달 모델링

- **반복문을 통한 지형경관 발달 모의 사례** (예. GPSS 주함수(GPSSMain_Hy.m))
  - 입출력을 위한 디렉터리와 출력 파일을 정의하고 중요한 초기 변수값을 입력
  - 모의기간 동안 융기율의 공간적, 시간적 분포를 정의함

  ✓ **단위시간마다 아래를 반복함**

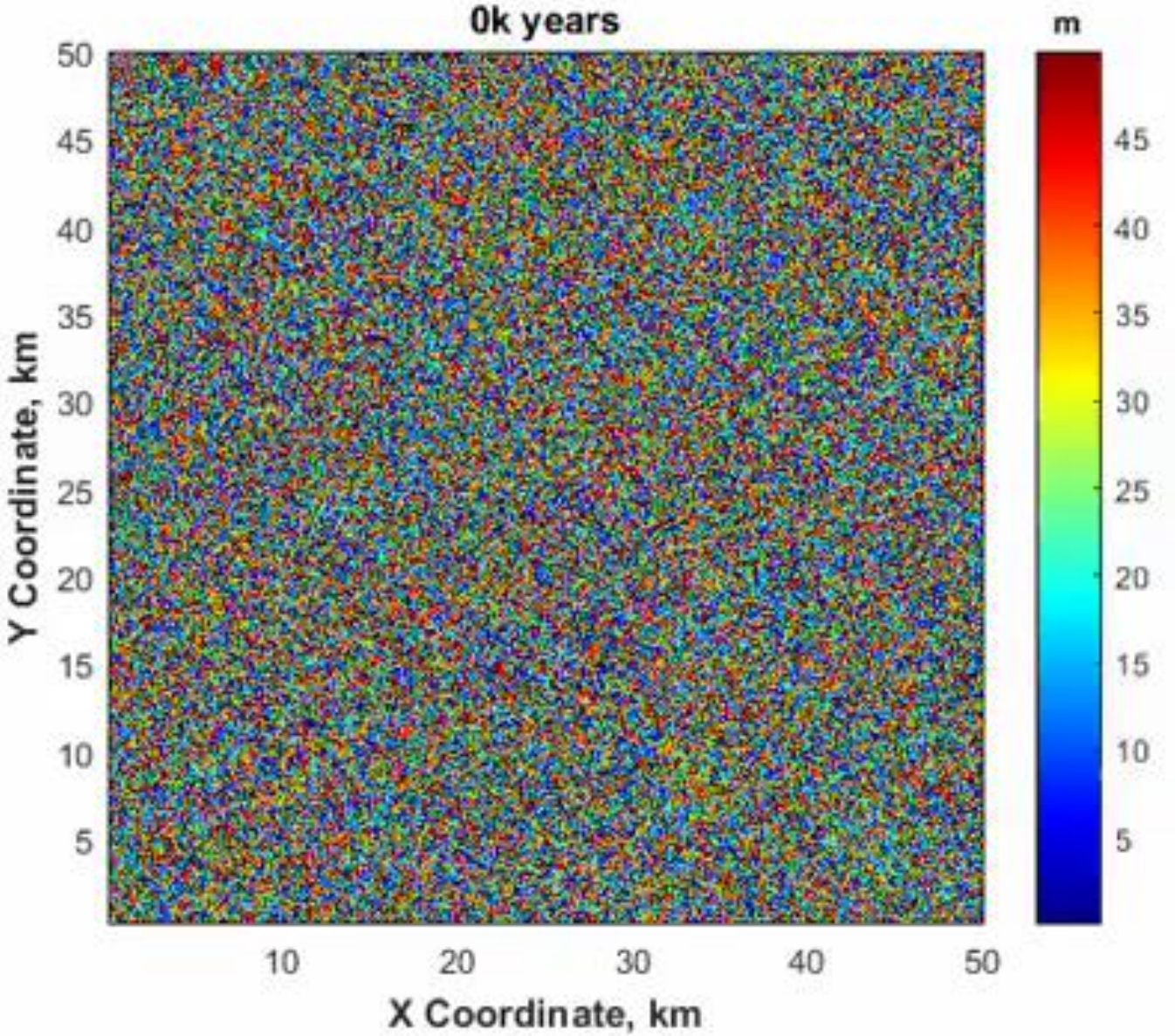
  - [영역설정] 경계조건에 따라 외곽 경계의 기반암 고도와 퇴적물 두께를 정의함
  - (내인적 작용) 지반융기 발생
  - (외인적 작용) 기반암 풍화 및 이로 인한 퇴적층 두께 및 기반암 고도 변화율을 반영함
    - (하도 양안 퇴적층 두께를 구하기 위해) 현 지형 및 기후 조건에서의 만제유량, 만제유량시 하폭 및 수심 그리고 하도 내 하상 퇴적물량을 추정
    - 풍화작용으로 인한 퇴적층 두께 및 기반암 고도 갱신
  - (외인적 작용) 사면작용과 이로 인한 퇴적층 두께 변화
  - (외인적 작용) 하천작용에 의한 퇴적층 두께 및 기반암 고도 변화율
    - 하천작용에 의한 퇴적물 두께 및 기반암 변화율
    - 퇴적물 두께 및 기반암 고도 변화율을 현 지형에 반영함




● Flow chart for the sequence of computation


- 변종민, 2011, 한반도 지반융기운동사 이해를 위한 수치지형발달모형의 개발과 적용 [박사] : 서울대학교.

# 수치 지형경관 발달 모델링




수치지형발달모형 중 하나인 TTLEM을 이용하여 **지반융기 및 침식기준면 저하로 발생하는 유역분지 조정**을 모의한 결과
TTLEM Synthetic model run, https://www.youtube.com/watch?v=ndiGQi7N6_E

# AI 활용 수치 지형경관 발달 모델링 실제와 관련 연구 사례

- AI의 등장은
  수치 지형경관 발달 모델링에 어떤 변화를 가져올 수 있는가?

  - 모델링 개념과 방법을 이해할 때 어떤 도움을 받을 수 있나?
  - 실제 분석에서는 어떤 도움을 받을 수 있나?

# 준비물

landlab

- Landlab 이란?
  - 지형발달 모델링을 위한 오픈 소스 파이썬 패키지
  - 지형학, 수문학, 빙하학, 생물지리학 등 지구 표면 역학(earth surface processes and dynamics)을 다루는 분야에서 사용할  있는 수치 지형경관 발달 모델링 **플랫폼**
  - 모듈식 설계
    - Landlab은 모듈식으로 설계되어 있어, 연구자들이 바닥부터 모든 코드를 작성할 필요 없이 이미 작성된 표준화된 프로세스 컴포넌트를 재사용하여 자신만의 고유한 모델을 구축할 수 있음. 이는 모델 개발 시간을 크게 단축시켜줌

✓프로세스 컴포넌트(Process Components)

- 특정 물리적 과정(예: 비 생성, 흐르는 물에 의한 침식 등)을 나타내는 모듈식 구성요소 라이브러리. 공통 인터페이스를 가지기 때문에 사용자의 필요에 따라 쉽게 결합하여 복잡한 모델을 만들 수 있음

# AI를 활용한 수치 지형경관 발달 모델링 실제

- AI가 수치 ~~지형경관 분석~~지형경관 발달 모델링에 도움이 될 수 있는 영역
  - 수치~~지형경관 분석~~지형경관 발달 모델링 및 (최신) ~~분석~~모델링 방법 개념에 대한 이해
  - 수치~~지형경관 분석~~지형경관 발달 모델링 알고리듬 설계 및 초기 코드 pseudo code 구현
  - 수치~~지형경관 분석~~지형경관 발달 모델링 구현 시 오류에 대한 원인 및 해결 방법 찾기 code assistant

✓LLM기반 AI 모델의 성능을 최대한 활용하여 수치 ~~지형경관 분석~~지형경관 발달 모델링을 하기 위한 전략

- 상세하고 구조화된 프롬프트 작성
- 가장 관련성이 높고 신뢰할 만한 컨텍스트context를 반드시 포함해야함

# AI를 활용한 수치 지형경관 발달 모델링 실제

- ‘수치 지형경관 발달 모델링 및 (최신) 모델링 방법 개념에 대한 이해’ 사례

- 질문 1 : 지형학에서 지형경관발달모델링(landscape evolution modeling)의 개념과 원리, 그리고 이의 활용도를 설명해주세요.
  - 고등학교 3학년 학생의 눈높이에 맞추어서 설명해주세요.
  - 설명이 없는 전문 용어 사용은 피해주세요.
  - 자세한 수식보다는 가장 기본적인 원리와 대략적인 이해에 초점을 두어 설명해주세요.
  - *반드시 논문과 공식적인 관련 문서에 기반해서* 사실의 정확성을 지켜주세요.

# AI를 활용한 수치 지형경관 발달 모델링 실제

- '수치 지형경관 발달 모델링 알고리듬 설계 및 초기 코드pseudo code 구현' 사례
  - 질문 2 : 지형발달모델링에 대해 배우고 이를 실제 구현하려고 할 때 가장 관련성이 높으면서 신뢰할 만한 자료는 무엇인가요?
  - 질문 3 : 위 문서들 중 파이썬(python) 기반의 지형발달모델링 프로그램인 Landlab의 개념과 원리, 그리고 이의 활용도를 설명해주세요.
    - 고등학교 3학년 학생의 눈높이에 맞추어서 설명해주세요.
    - 설명이 없는 전문 용어 사용은 피해주세요.
    - 자세한 수식보다는 가장 기본적인 원리와 대략적인 이해에 초점을 두어 설명해주세요.
    - 반드시 논문과 공식적인 관련 문서에 기반해서 사실의 정확성을 지켜주세요.

# AI를 활용한 수치 지형경관 발달 모델링 실제

- ‘수치 지형경관 발달 모델링 알고리듬 설계 및 초기 코드pseudo code 구현’ 사례
  - 질문 4 : Landlab 공식문서(https://landlab.readthedocs.io/en/latest/)를 토대로, Landlab을 이용해 지반융기운동(tectonic uplift)으로 인한 유역분지(drainage basin)의 지형경관 발달과정을 간단하게 모의하려면 어떻게 하면 좋을지 제안해주세요.
  - 질문 5 : 위 답변을 토대로, Landlab을 이용해 지반융기운동(tectonic uplift)으로 인한 유역분지(drainage basin)의 지형경관 발달과정을 간단하게 모의할 수 있는 스크립트를 구현해주세요.

- 답변
  - ChatGPT : https://chatgpt.com/share/683c889e-2f04-800e-9ba4-99028cf90c28
  - Gemini : https://g.co/gemini/share/ab5327eb14ad
  - Perplexity : https://www.perplexity.ai/search/jihyeonghageseo-sucigodomohyeo-loKxCDuhQKqgXMroej6gNA

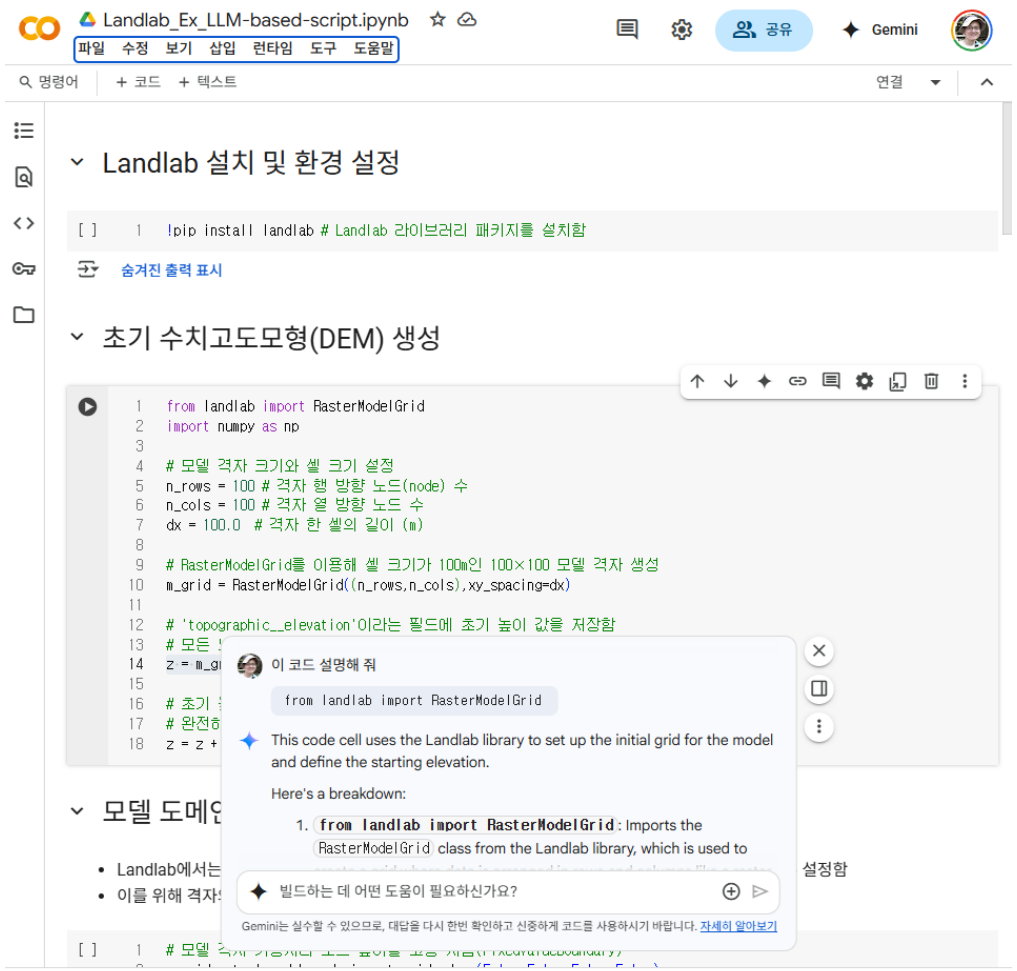
# AI 활용 수치 지형발달 모델링 실제

landlab

- Landlab 코드 구조
  - Landlab 설치
  - Landlab 및 python 컴포넌트 불러오기
  - 모델 격자(model grid) 도메인 만들기
  - 모델 격자 도메인 경계 조건(boundary condition) 설정
  - 컴포넌트 구성 및 세부 속성값 설정
    - 예. 모의 시간 / 지반 융기율 / 하천 침식 / 사면 확산
  - 반복문을 통한 지형경관 발달 모의
    - 예. 융기 적용 → 하천 침식 → 사면 확산 → 융기 적용 … 반복
  - 모의 결과에서 지형 속성을 추출하고 가시화

# AI를 활용한 수치 지형경관 발달 모델링 실제

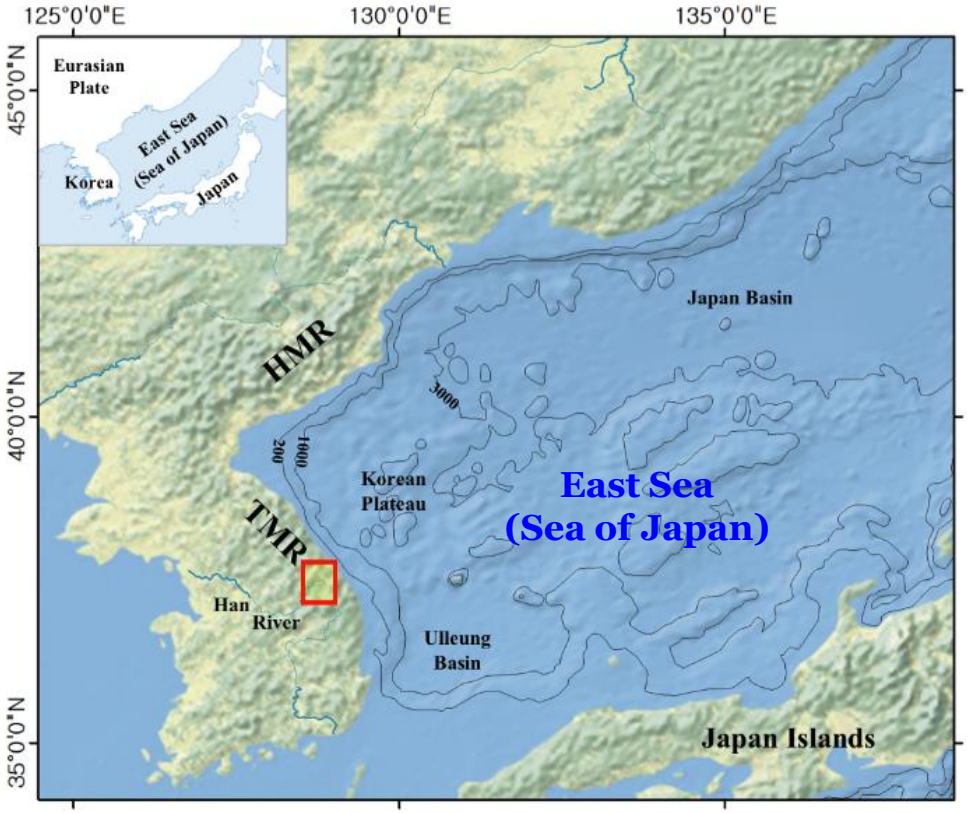
- ‘수치 지형경관 발달 모델링 구현 시 오류에 대한 원인 및 해결 방법 찾기(Code Assistant)’ 사례
  - Colab 사용 시 Gemini를 활용하여 ‘코드 설명’, ‘오류 원인 설명’, ‘추가 팁 및 최적화 제안’)

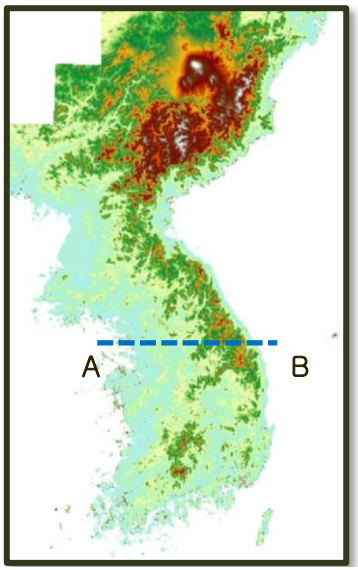



수치 지형경관 발달 모델링 Colab 코드 :
https://colab.research.google.com/drive/1gH7NE5mdTn5w7HzioxDNkcLXA4NU-6TK?usp=sharing

# 수치 지형분석 연구 사례 : 3. 태백산맥 형성 시기

## 태백산맥의 형성 시기와 과정은?



- **태백산맥의 형성 시기와 과정에 대한 논쟁 :**

  **간헐적 반복 융기** 對

  **집중적 융기**

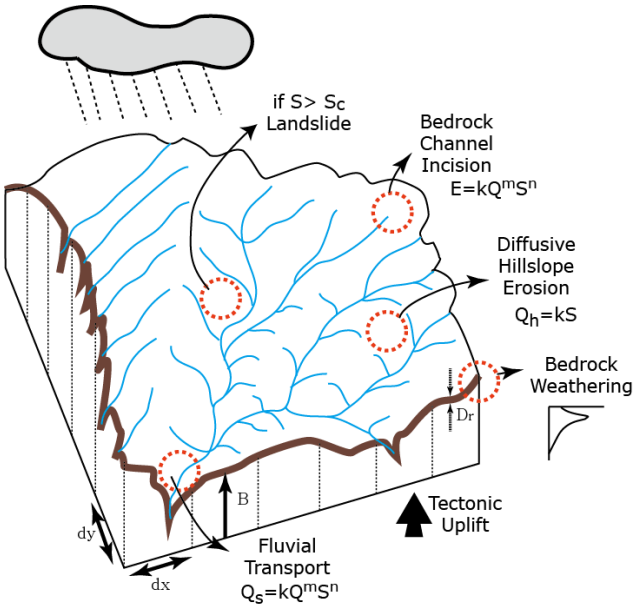

- Byun, J., and Paik, K., 2021, The development process of the Korean coastal mountain range: Examination from spatial distribution of knickzones: Progress in Physical Geography: Earth and Environment, v. 45, p. 541 - 563.

# 수치 지형경관 발달 모델링 기반 연구 사례

- 수치지형발달모형 GPSS
  - 프로그램명 : GPSS(Geomorphological Process System Simulator)
  - 목적 : 지질시간 규모의 지형발달을 모의하는 프로그램
  - 프로그램 언어 : MATLAB과 C (속도 향상을 위해 MEX 파일)
  - 사사 : Gregory E. Tucker의 GOLEM과 Steven L. Eddins의 Upslope Toolbox 등과 같이 인터넷에 공개된 프로그램의 소스 코드 없이는 본 프로그램이 나올 수 없었음. 참고한 알고리듬은 개별 함수 코드에서 명시하였음.

**GPSS**

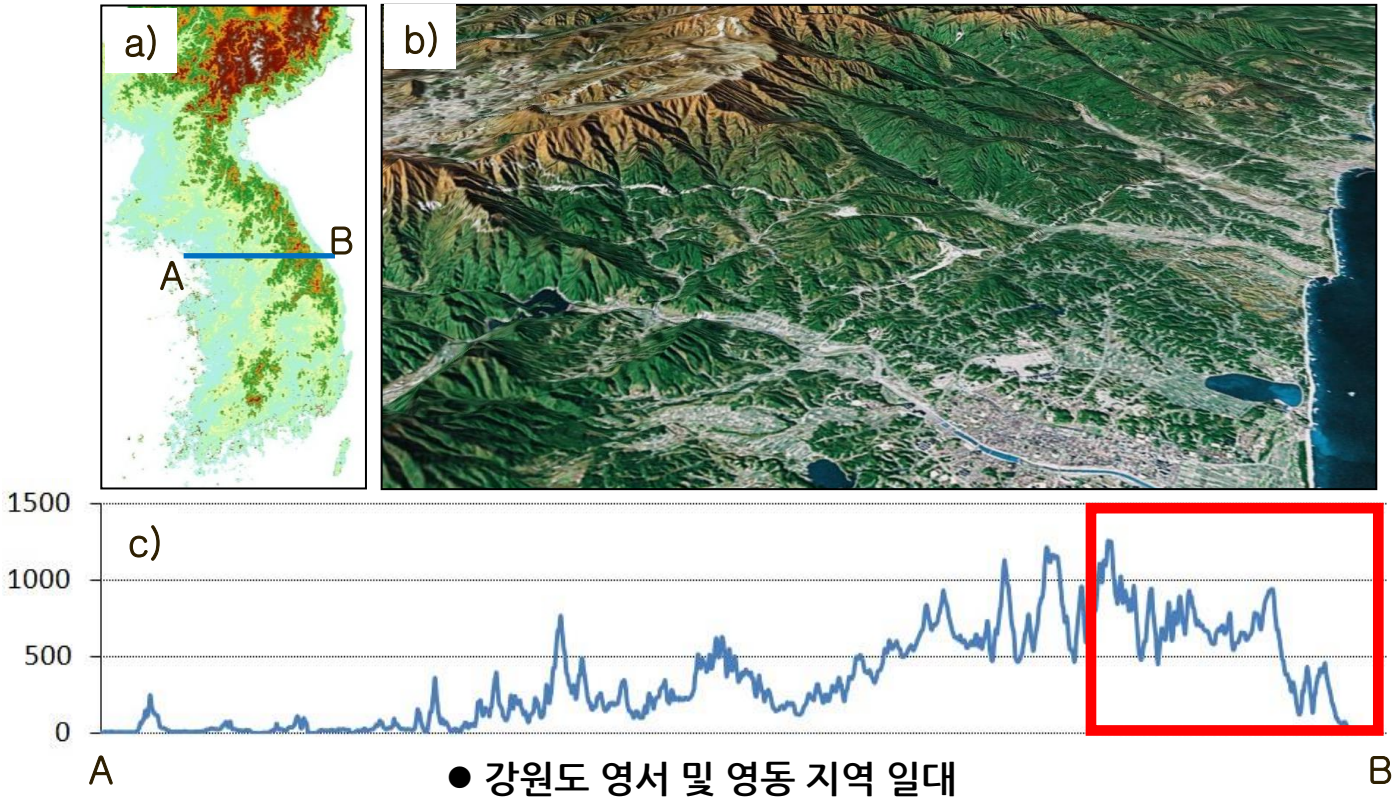
**G**eomorphological
**P**rocess
**S**ystem
**S**imulator




● GPSS 내 지형형성과정

# 수치 지형경관 발달 모델링 기반 연구 사례

- 모의 실험 대상 지역




❖ **암질이 비교적 동질적인 지역**

❖ **경동성 요곡 융기운동의 직접적인 영향을 받은 곳**

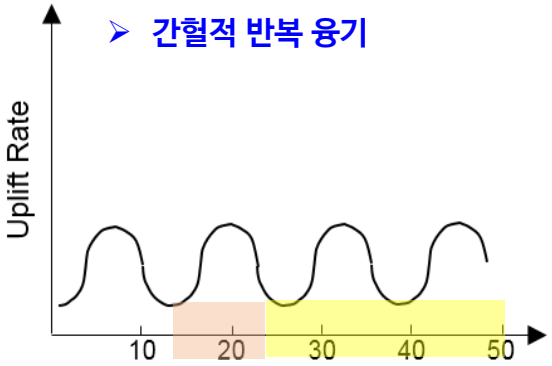
⇨ 지반융기운동의 영향이 가장 크게 나타나는 지역

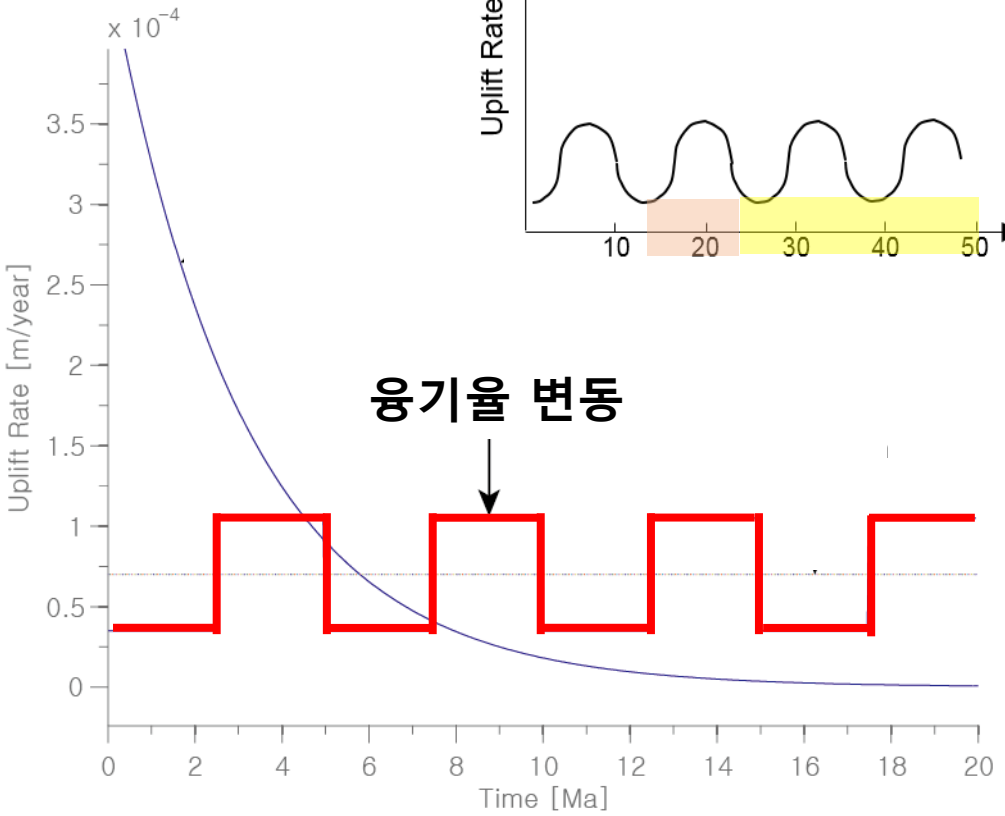
➢ *모의결과 지형과의 비교가 가장 의미가 있는 지역임*

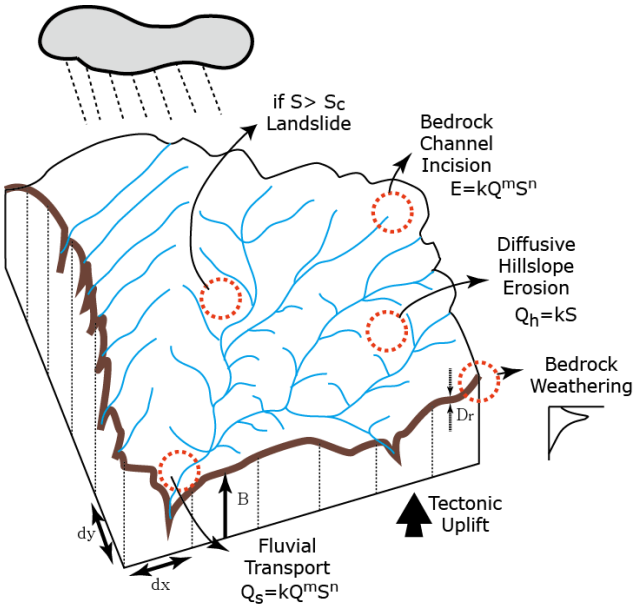
# 수치 지형경관 발달 모델링 기반 연구 사례

- 모의 실험 조건

➢ 간헐적 반복 융기



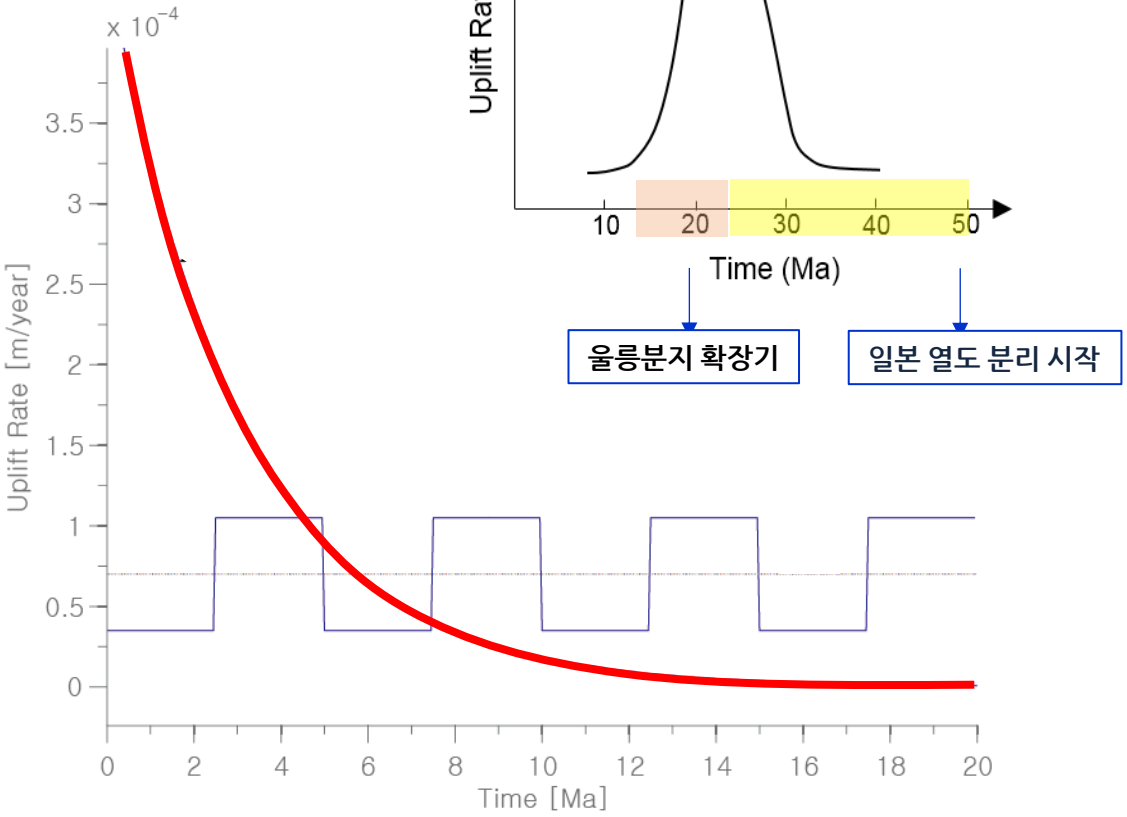



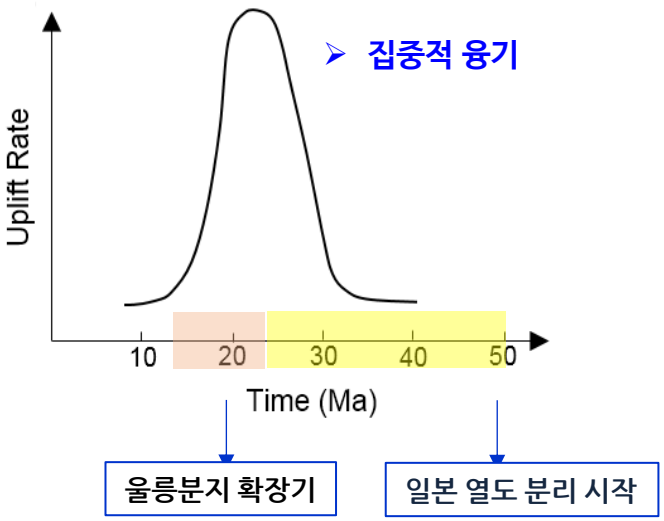

● GPSS 내 지형형성과정

변종민, 2011, 한반도 지반융기운동사 이해를 위한 수치지형발달모형의 개발과 적용 [박사]: 서울대학교.

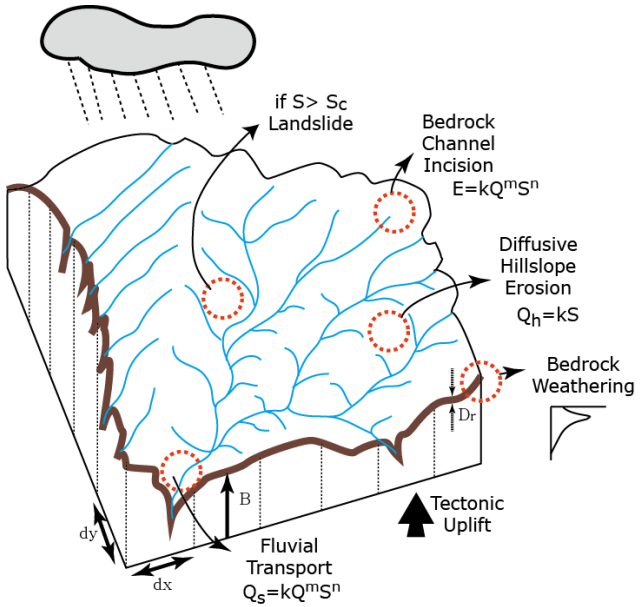
# 수치 지형경관 발달 모델링 기반 연구 사례

- 모의 실험 조건




융기율 돌출-감쇠

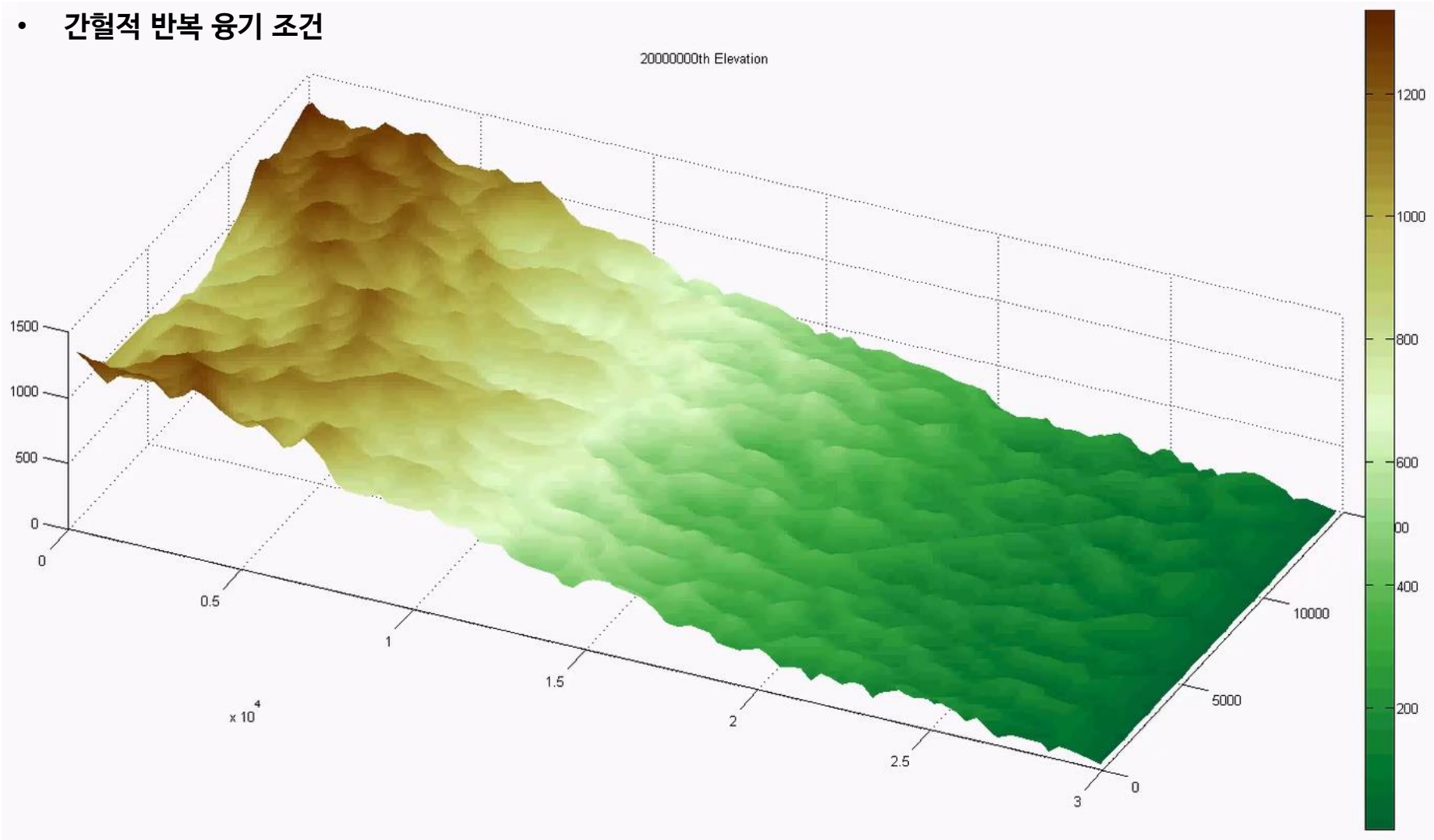



● GPSS 내 지형형성과정

변종민, 2011, 한반도 지반융기운동사 이해를 위한 수치지형발달모형의 개발과 적용 [박사]: 서울대학교.

# 수치 지형경관 발달 모델링 기반 연구 사례

- 간헐적 반복 융기 조건

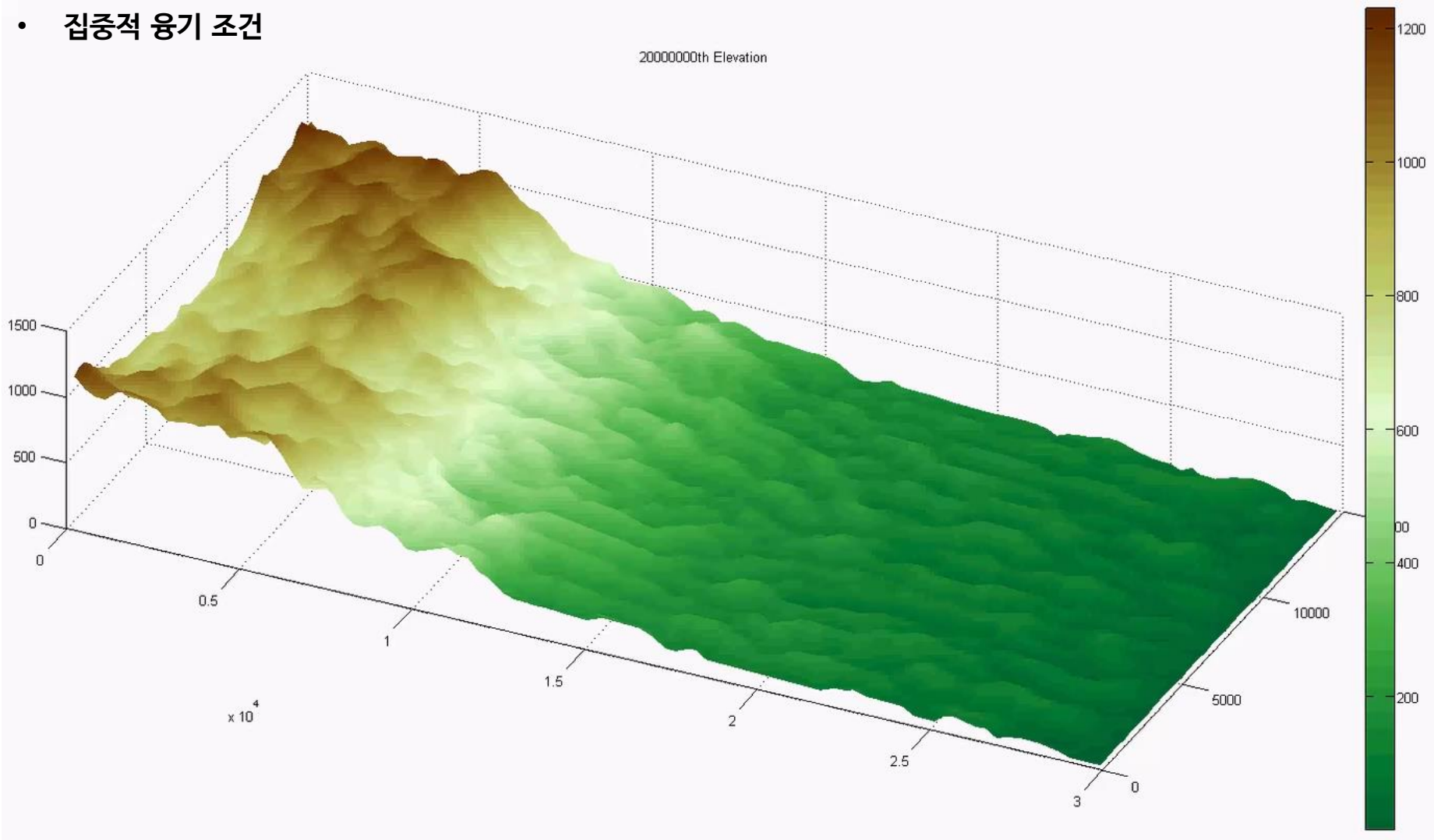



영서 영동

변종민, 2011, 한반도 지반융기운동사 이해를 위한 수치지형발달모형의 개발과 적용 [박사]: 서울대학교.

# 수치 지형경관 발달 모델링 기반 연구 사례

- 집중적 융기 조건

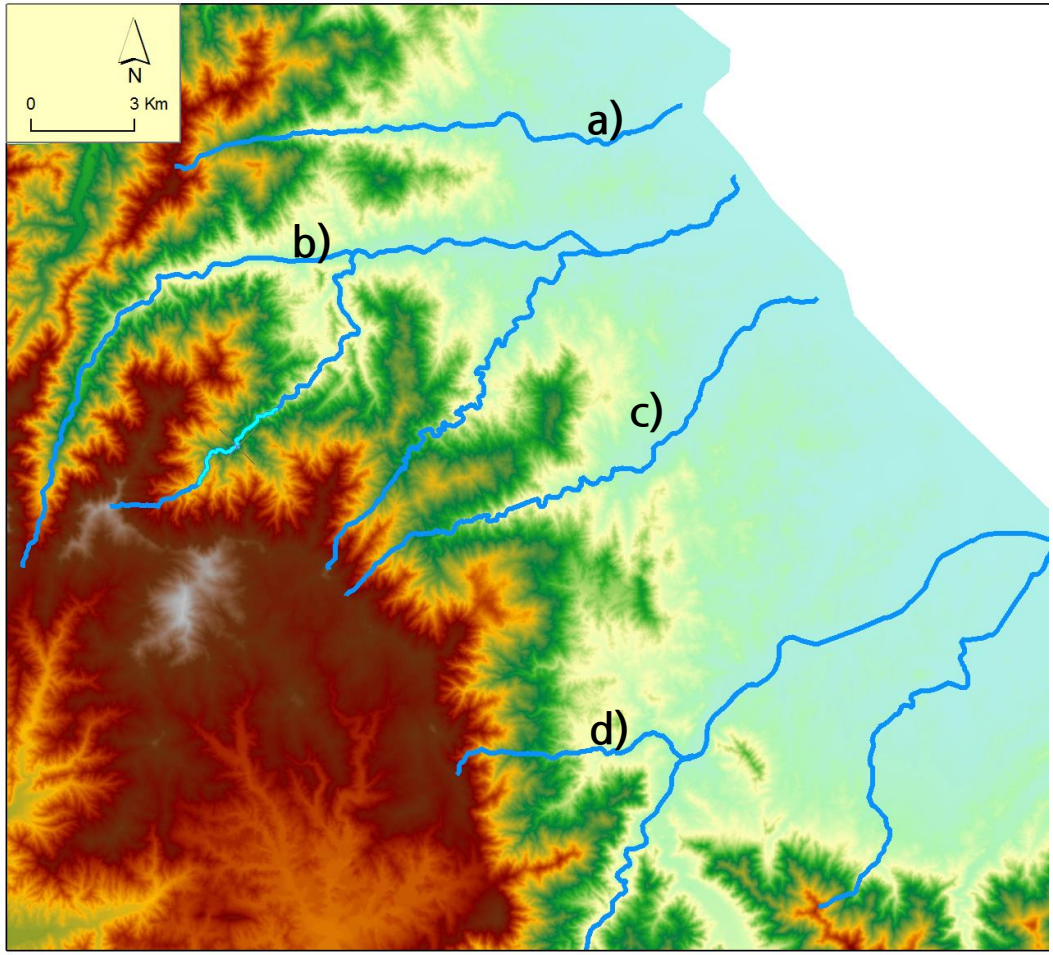



영서 영동

변종민, 2011, 한반도 지반융기운동사 이해를 위한 수치지형발달모형의 개발과 적용 [박사]: 서울대학교.

# 수치 지형경관 발달 모델링 기반 연구 사례

- 수치 지형경관 발달 모델링 결과 검증

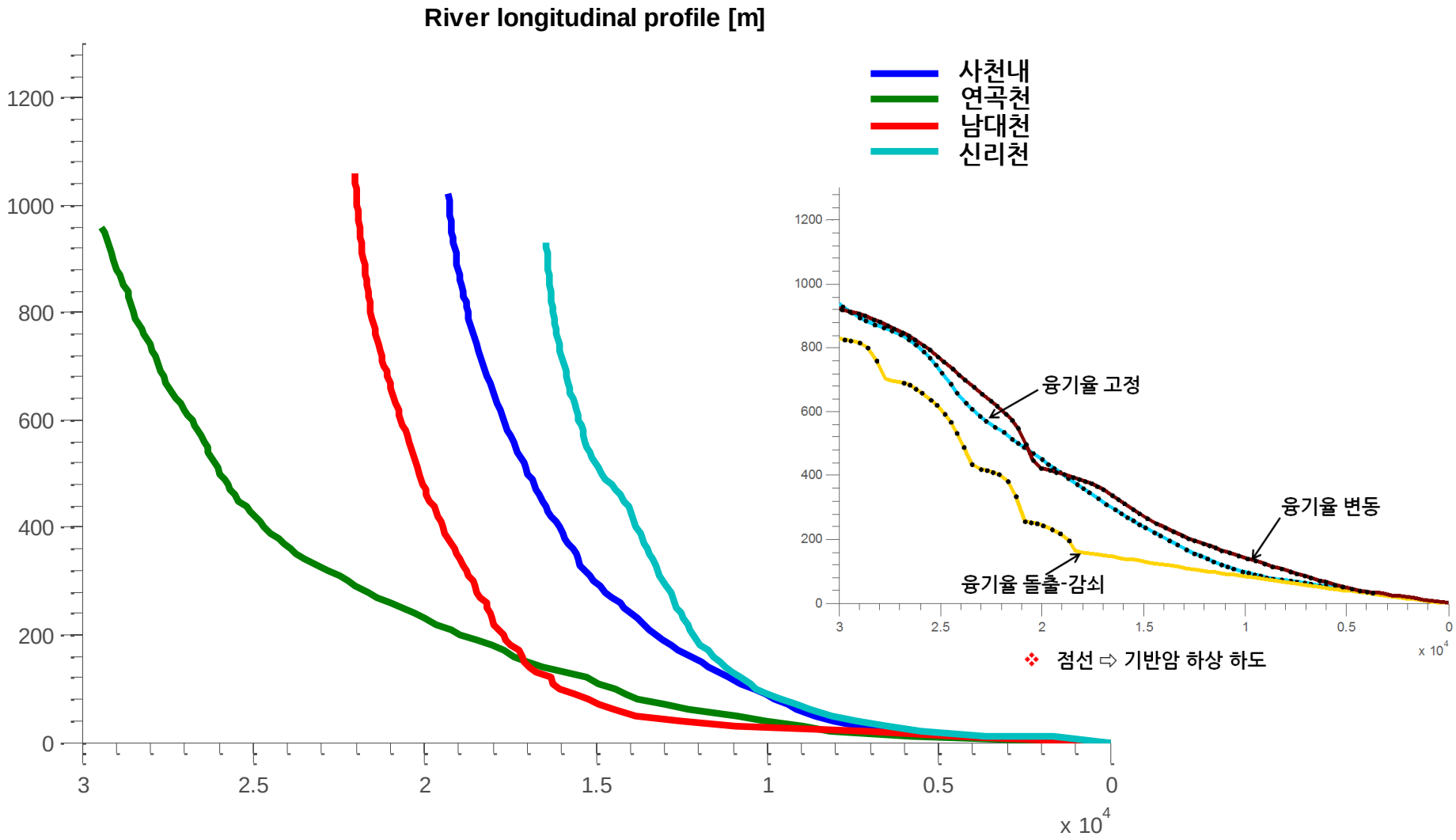



● 영동지역 주요 하천

a) 신리천 b) 연곡천 c) 사천내 d) 남대천

# 수치 지형경관 발달 모델링 기반 연구 사례

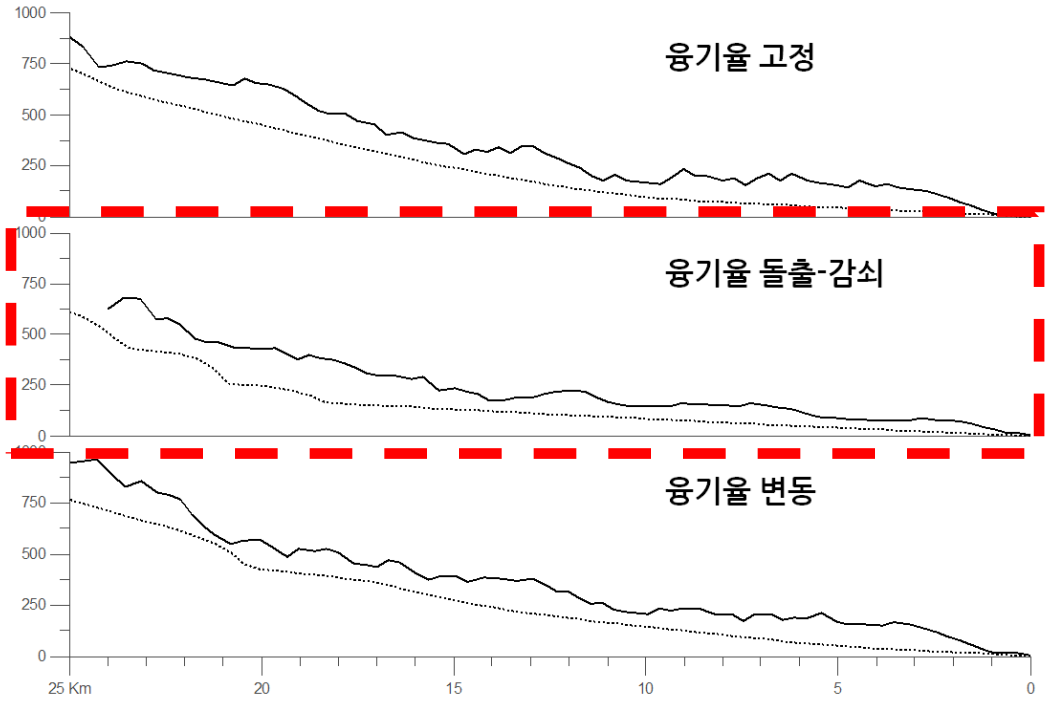
- 수치 지형경관 발달 모델링 결과 검증

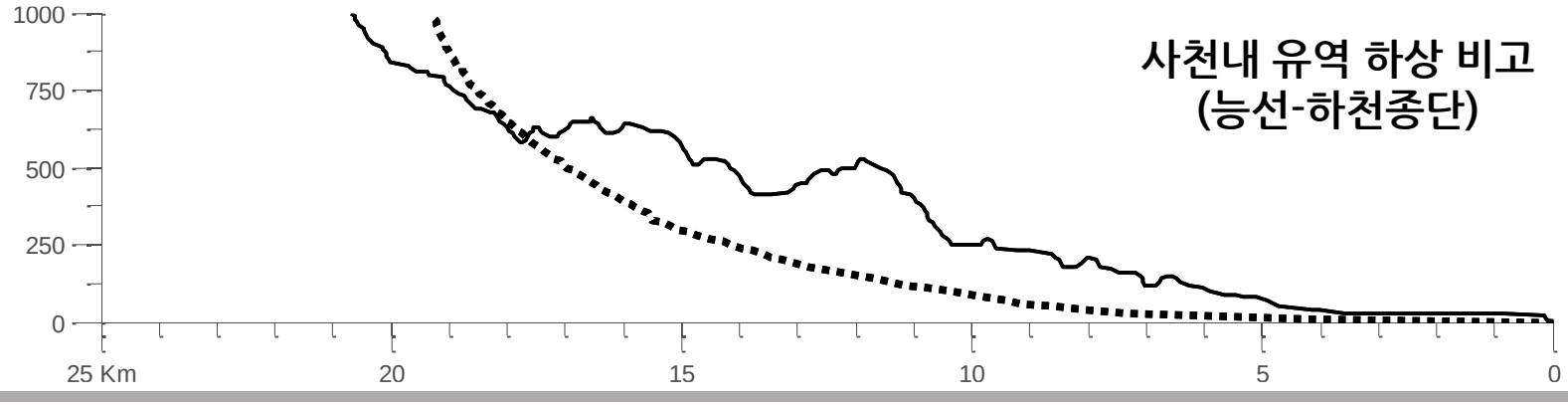



변종민, 2011, 한반도 지반융기운동사 이해를 위한 수치지형발달모형의 개발과 적용 [박사]: 서울대학교.

# 수치 지형경관 발달 모델링 기반 연구 사례

- 수치 지형경관 발달 모델링 결과 검증



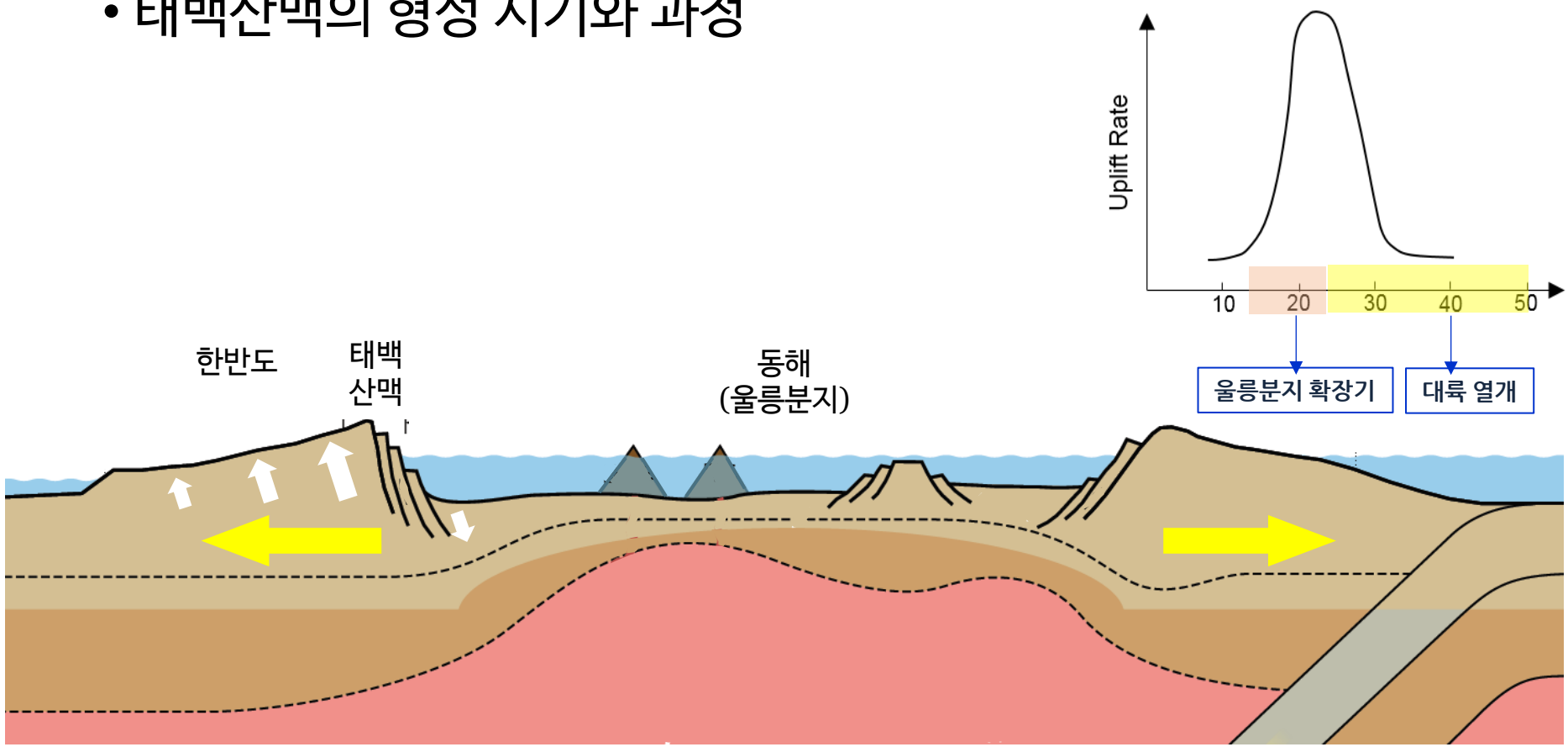




사천내 유역 하상 비고
(능선-하천종단)

변종민, 2011, 한반도 지반융기운동사 이해를 위한 수치지형발달모형의 개발과 적용 [박사]: 서울대학교.

# 수치 지형분석 연구 사례 : 3. 태백산맥 형성 시기

- 태백산맥의 형성 시기와 과정




**동해의 지질구조 개념도**
대한민국 국가지도집(2015) 그림 수정

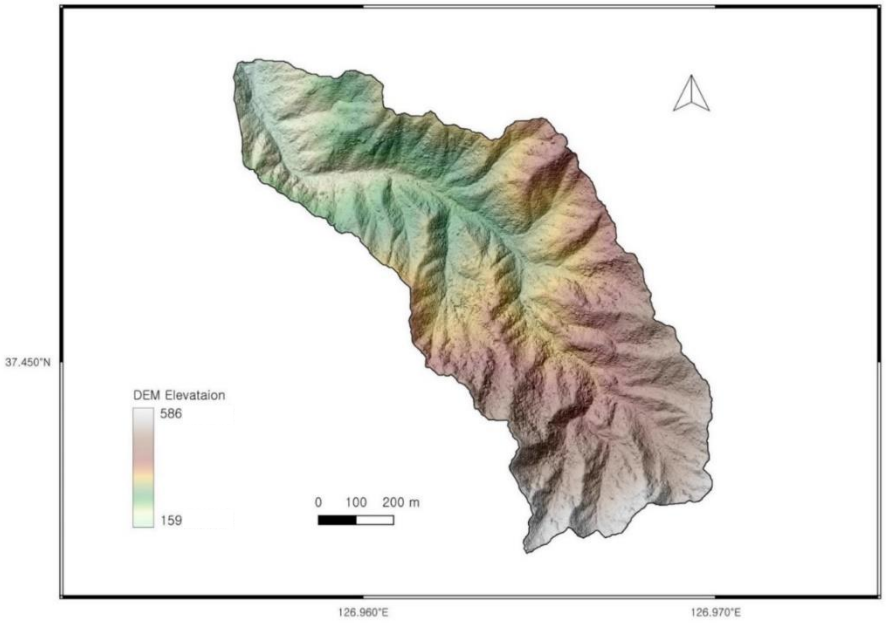

- Byun, J., and Paik, K., 2021, The development process of the Korean coastal mountain range: Examination from spatial distribution of knickzones: Progress in Physical Geography: Earth and Environment, v. 45, p. 541 - 563.

# 마무리

- 앞으로의 지형경관 분석과 이해는 어떤 방향으로 갈 것인가?

# 앞으로의 지형경관 분석과 이해

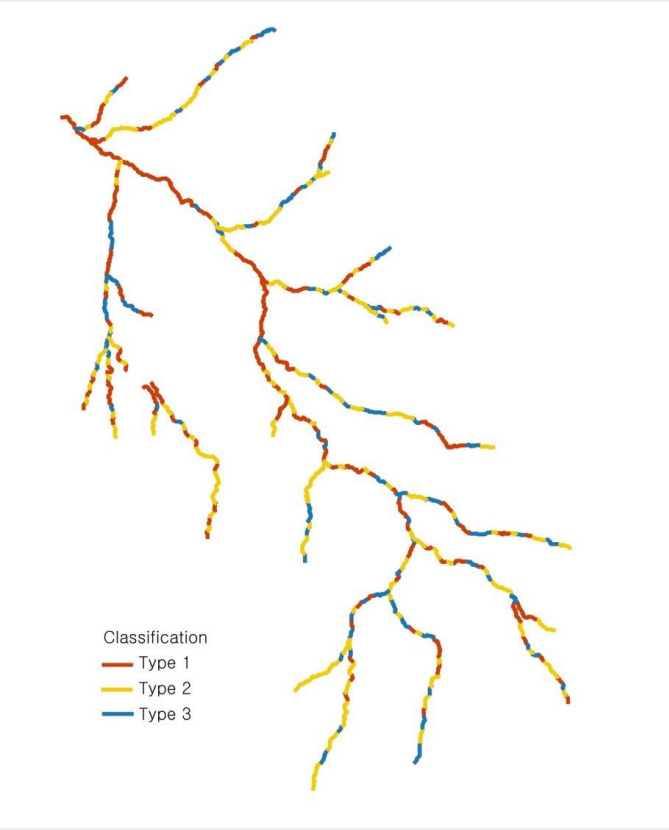
- AI를 활용한 수치지형 분석 기법의 다양화, 자동화
- AI를 활용한 지형발달모델링 기법의 다양화, 다른 분야와의 연계성 증대
- 위성영상 센서 종류 다양화, 해상도 정밀화
- 실제 지형 기복 표현 고도화
  - 예. LiDAR를 활용한 고해상도 지형 기복 자료



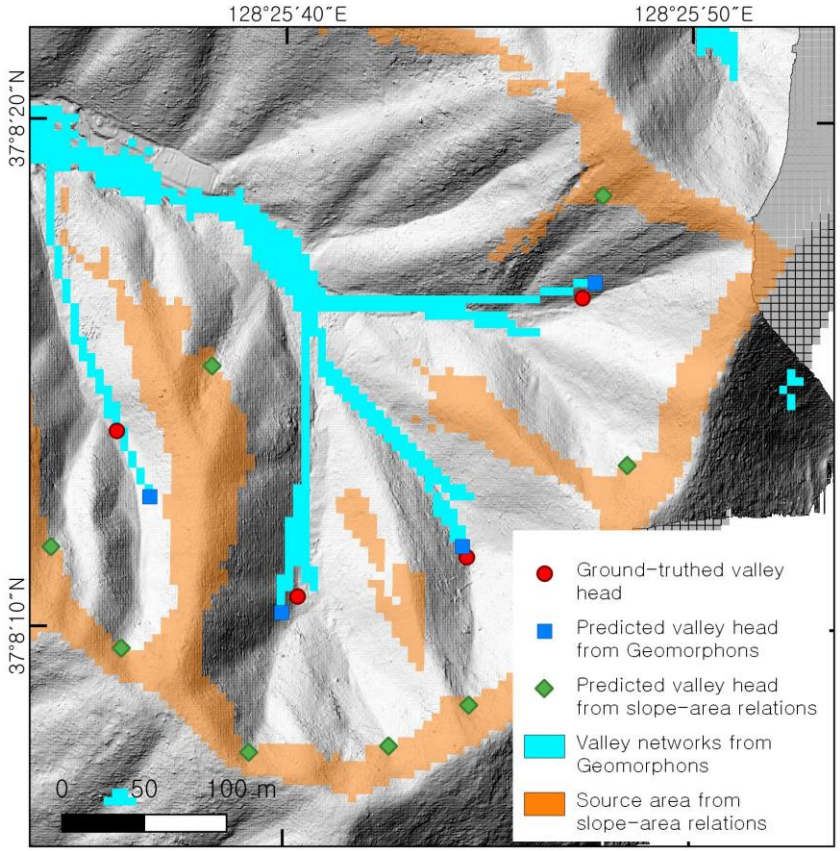

'서울대학교 사방댐' 유역 대상 1m 해상도 DEM

# 앞으로의 지형경관 분석과 이해

- 지형과 다른 지표 체계(수문, 토양, 식생 등)와의 관계성 이해 증대




1m LiDAR DEM 기반 붕적하도 유형 분류 결과



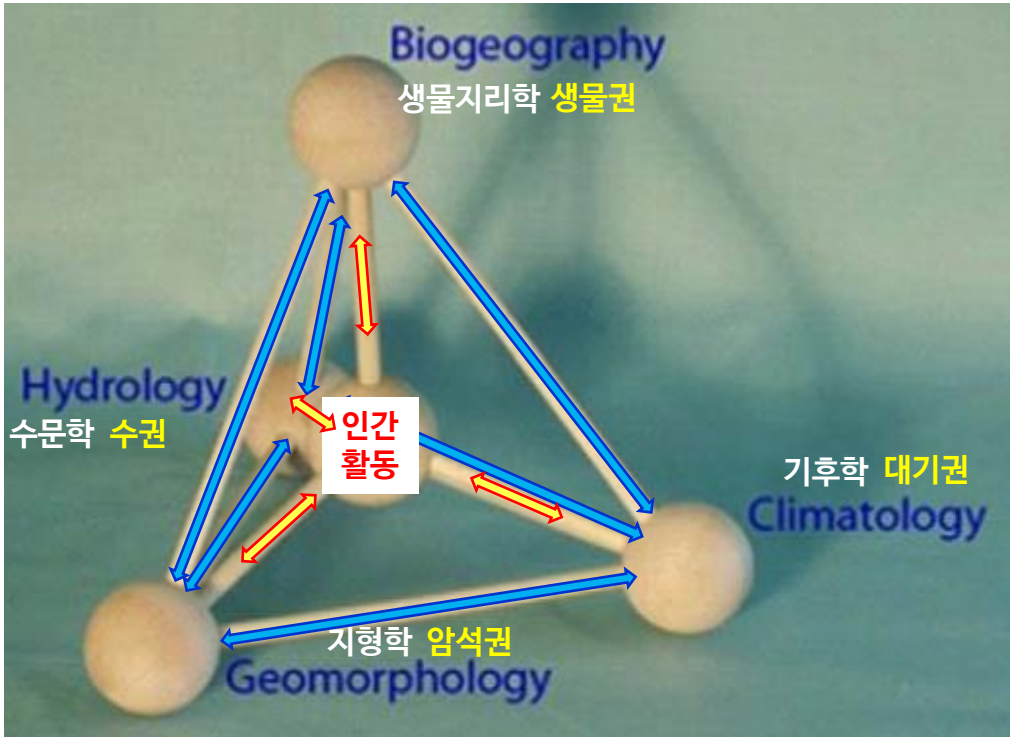

0.25m LiDAR DEM 기반 곡두(valley head) 추출 결과


- 이하은·변종민, 산지 하천의 붕적하도 구간 분류: 관악산 '서울대학교 사방댐' 유역을 대상으로, 한국지형학회, 2025.2.14, 대구가톨릭대학교.
- Chen, H., Byun, J., 2025, Effects of Relief on Headwater Catchment Landscapes, Manuscript submitted for publication.

# 앞으로의 지형경관 분석과 이해

- 지형과 다른 지표 체계(수문, 토양, 식생 등)와의 관계성 이해 증대

✓지질학적 지형학보다 지리학적 지형학으로의 학문 정체성 강화




- 자연지리학의 주요 영역과 세부 학문을 표현하는 3차원 4면체 (Malanson et al., 2014)

# 경청해주셔서 감사합니다!