

카르스트 지형

발표자: 박선엽 (부산대학교 지리교육과)

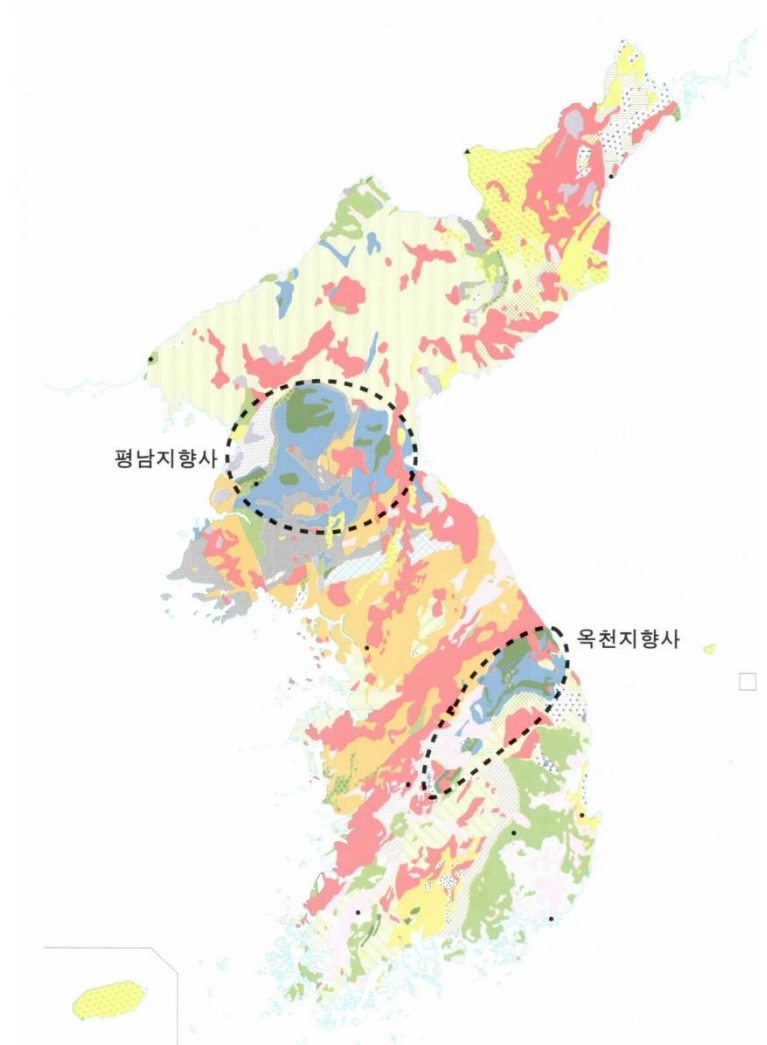
강의 내용

1. 국내 카르스트 연구
2. 석회암과 카르스트
3. 석회암의 용해, 침전
4. 지표 석회암지형
 - 테라로사, 라피에
 - 돌리네, 우발라
 - 폴리에
 - 석회암 잔구
5. 석회동굴지형
 - 석회동굴 특성
 - 스펠레오뎀(speleothem)
6. 고기후 지시자



카르스트 environments

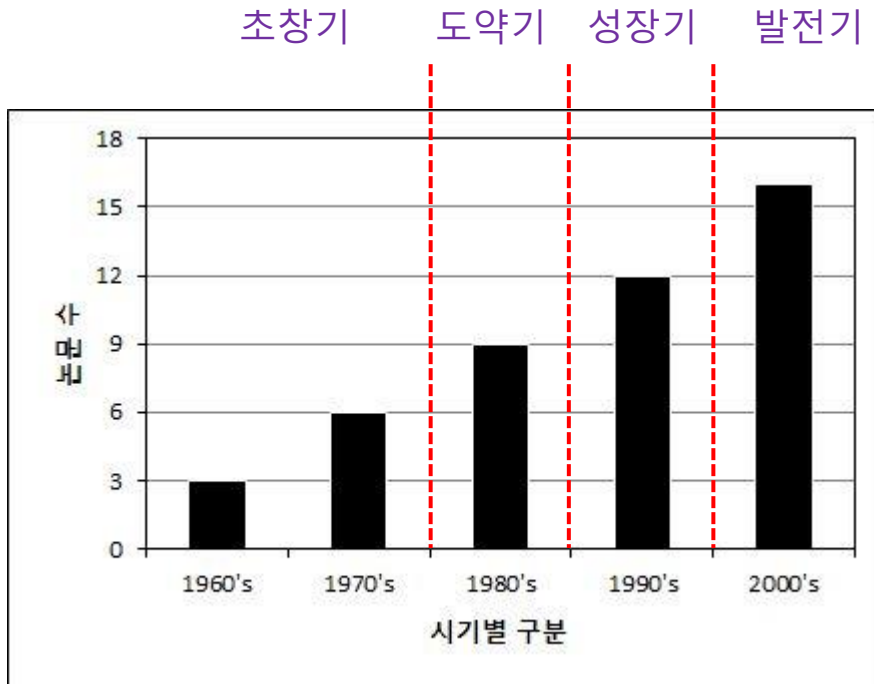
- 지표의 15%.
- 옥천지향사, 평남지향사.
- 테라로사 >> 밭이용
- 석회암동굴>>관광자원
- 석회암퇴적물>>기후변화연구
- 1960년대 카르스트 연구 시작.
- 카르스트 연구자 수 희박한 편.



카르스트 연구 성과 분석 대상

- 1960년대 이후 성과 정리.
- 대한지리학회지, 국토지리학회지(구 지리학연구), 한국지역지리학회지에 출간된 저작물.
- 한국동굴학회지, 한국지형학회지.
- 학위논문 및 초기 연구성과 수록한 논문집.

카르스트 연구논문 수 (10년 단위)



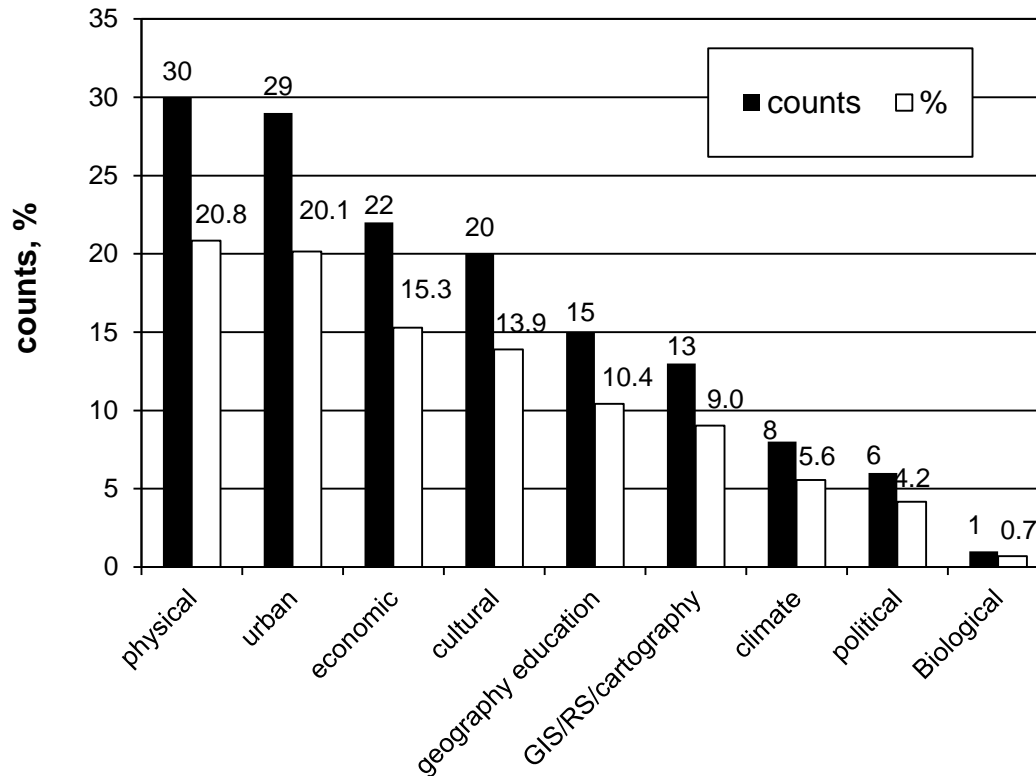
- 초기 저작물 편수 적음.
- 1980년대부터 평균치 (9.2편) 상회.
- 1990년대 이후 연평균 1편 이상의 카르스트 연구성과 발표됨.
- 초창기, 도약기, 성장기, 발전기로 구분·정리.



West Sea

East Sea

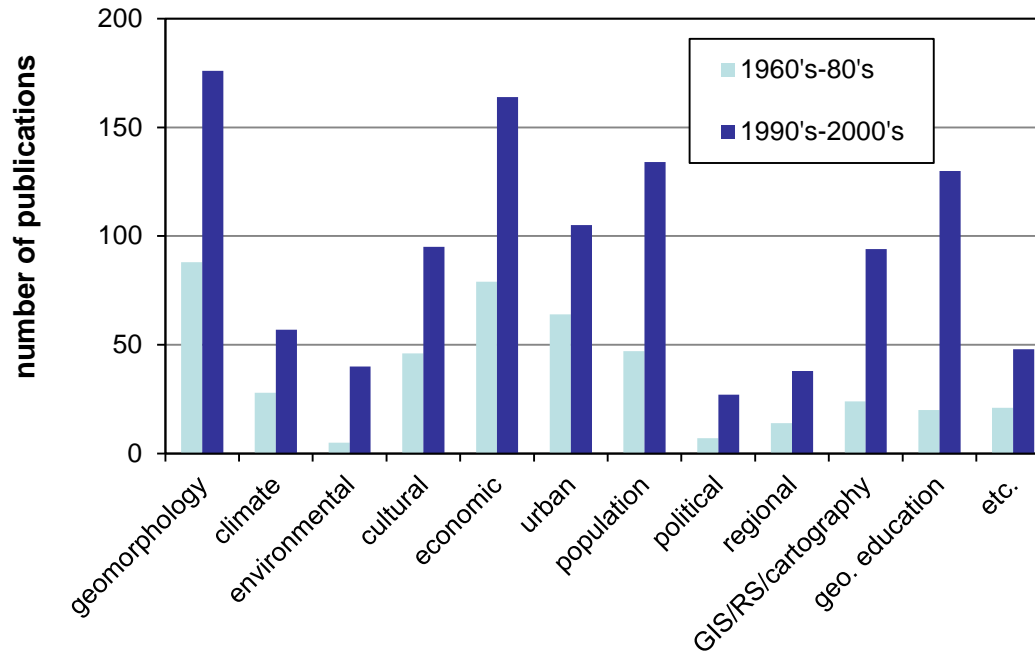
Professors in sub-fields



- ❖ 인문지리학자 대다수.
- ❖ Human: physical: techniques = about 6 : 3 : 1
- ❖ Climatologists, biological geographers, & political geographers are rare.
- ❖ Geomorphologists are common in the physical side.

(The Korean Geographical Society 2009)

Publications (3 major journals)

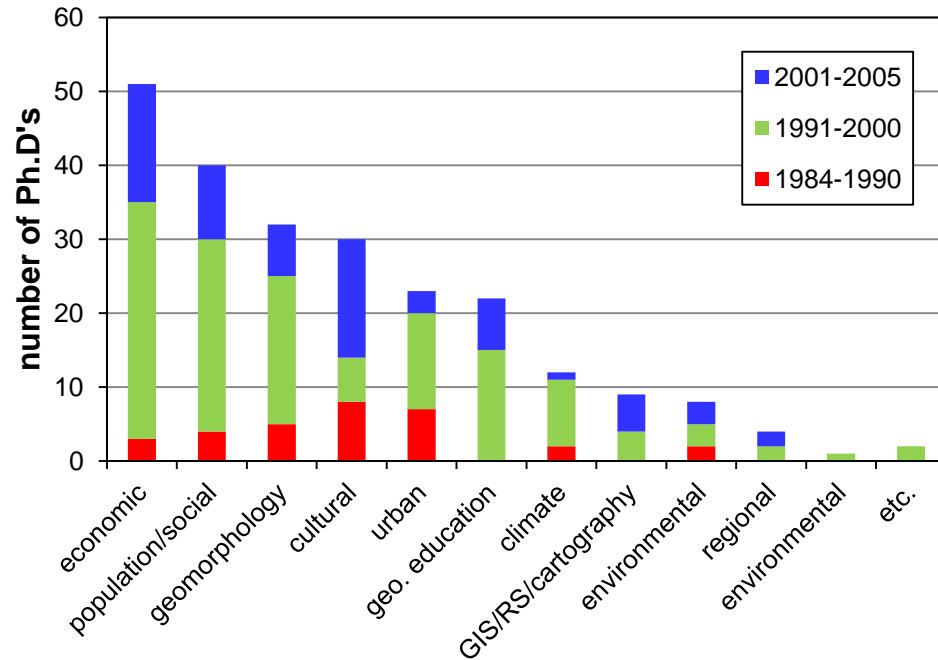


(Park 2005)

- ❖ 1960's-1980's: 3 major journals.
- ❖ 1990's: more than 10 journals.
- ❖ Significant increases in GIS, population, geography education, & environmental geography fields.

Doctoral thesis (1984*-2005)

(*First Ph.D in geography in Korea in 1984.)



- ❖ 234 Ph.D's since 1984.
- ❖ Economic, cultural, social geographies are big.
- ❖ Geomorphology is traditionally strong.

카르스트 관련 논문 분류

학회지명 주제	대한지리학회	국토지리학회지(구 지리학연구)	한국지형학회	한국동굴학회	학위논문	합계(%)
카르스트 일반			4	2	10	16(35.6)
돌리네				1	1	2(4.4)
토양생성작용		1	2		1	4(8.9)
석회동굴	1	2	1	6		10(22.2)
카르스트윤회				2		2(4.4)
지표피복		1			2	3(6.7)
기후변화				1		1(2.2)
지질구조				1		1(2.2)
용식작용					2	2(4.4)
석회암 풍화		1				1(2.2)
기타				2	1	3(6.7)
합계(%)	1(2.2)	5(11.1)	7(15.6)	15(33.3)	17(37.8)	45

시기별 성과

- 초창기(1960-70년대): 정장호(1962; 1966), 서무송(1969) 국내 카르스트 지형연구 관심 선도.
- 70년대, 카르스트 연구자+석사학위논문. 서무송(1977)pisolite, 박관섭(1976)coastal karst, 김대경(1978)태백산, 유재신(1979)sinkhole, 홍시환(1975)동굴연구
- 도약기(1980년대): 지표피복물(장은미1988; 최무웅,임종호1990), 토양생성과정(강영복1989), 카르스트 유회(김주욱1981; 유재신1982), 용식작용(이태형1989), 동굴광물동정(서무송1986).

시기별 성과

- 성장기(1990년대): 토양발달(강영복1992,1994,1998), 풍화인자분석(임종호1993).
- 구체적 사례중심 연구: 오종우(1994) 고씨동굴, 지표피복, 토양(강영복, 권성렬 1995;강영복,유영근2000), 산지지형 연구(이숙현1992;서원명1999;장진태1999;황희태1999).
- 국내 카르스트 지형 자료 집대성: 서무송("한국의 석회암 지형" 1996).
- 와지 지형의 분류, 카르스트 용식작용에 대한 지역적 사례, 우리나라 카르스트 지형의 지역별 특징, 카르스트 관련 용어 설명.

시기별 성과

- 발전기(2000년대 이후): 지질구조, 기후변화, 유수작용에 따른 카르스트 발달특성(오종우 2008a, 2008b, 2008c)
- 정보기술을 통한 카르스트 관광자원 보호 (오종우2009).
- 석사학위논문: 유영근 2000; 황경연 2001; 김은숙 2003; 최윤선 2003; 이성선 2005; 조정환 2008; 최영성 2009.
- 초보자, 일반인을 위한 카르스트 도서: 서무송(2010), "카르스트지형과 동굴 연구"

A Study on Karst Landform & Cavern

카르스트지형과 동굴 연구

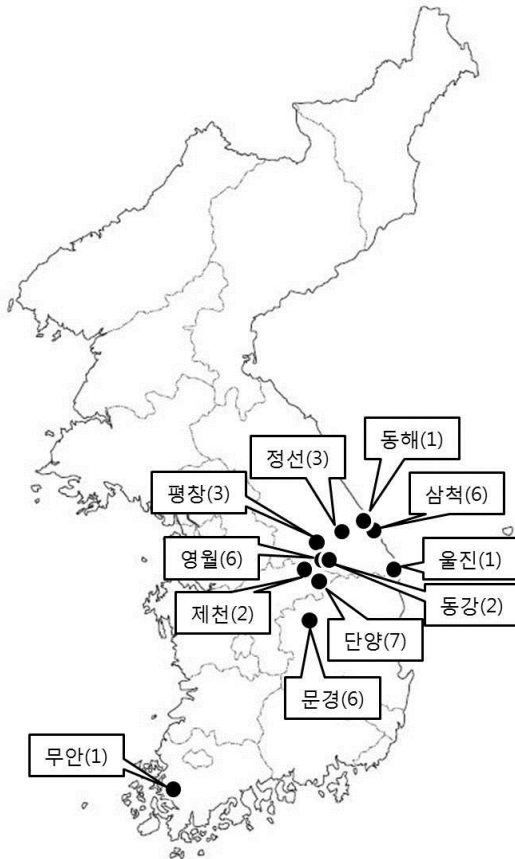
서무송 지음



연구논문의 지역별 분포

- 옥천지향사.
- 단양, 영월, 문경, 삼척
- 정선, 평창, 동해, 울진, 제천
- 전라남도 무안: 석회암 용식. 대규모 지반침하.
- 홍시환, 오종우(1994): 문헌조사를 통한 북한지역의 카르스트 분포.
- 면적상, 남한의 10배.
- 1:50,000 지형도 기준, 1,388개의 와지 보고됨.
- 카르스트 지형과 관련된 지명 다수 관찰됨 >> 지형관련 지명연구에 카르스트 연구가 중요한 역할.

카르스트 연구 대상 지역 분포



요약

- 잔류 물질 대상.
- 카르스트 지형 세부 항목에 대한 전문 연구 부족.
- 형태적인 기술과 관찰.
- 한국, 중국, 일본 동아시아 지역 연구 확대 필요성.
- 재해 현상(지반침하 등)으로서의 카르스트 연구 필요.
- 관광자원으로서의 카르스트 보전 노력, 전문가 육성 필요.

카르스트 개요

- '카르스트'란 말은 슬라브어에서 생겨났는데, 석회 바위가 널려있는 거친 땅을 뜻하는 말에서 유래.
- 강수량이 많고, 식생발달이 좋은 곳에서 흔히 나타나는 석회암 지형.
- 석회암으로 모암으로 발달한 토양을 '테라로사' 라 한다.
- 석회물질이 침전되어 생긴 다양한 집적지형 또는 물질을 통칭하여 **speleothem** ('스필레오뎀'으로 발음)이라 한다.
- 영월, 삼척, 정선, 정선 등 동해안 지역과 제천, 단양 등 충북지역에 많이 분포되어 있다.
- **돌리네, 우발라, 폴리에** 등 카르스트 관련 침하성 지형들이 육안으로 잘 관찰된다.
- 석회동굴 내부에서는, 종유석, 석순, 석주, 석회단구, 석회커튼, 석화 등 다양한 특이 지형이 관찰된다.

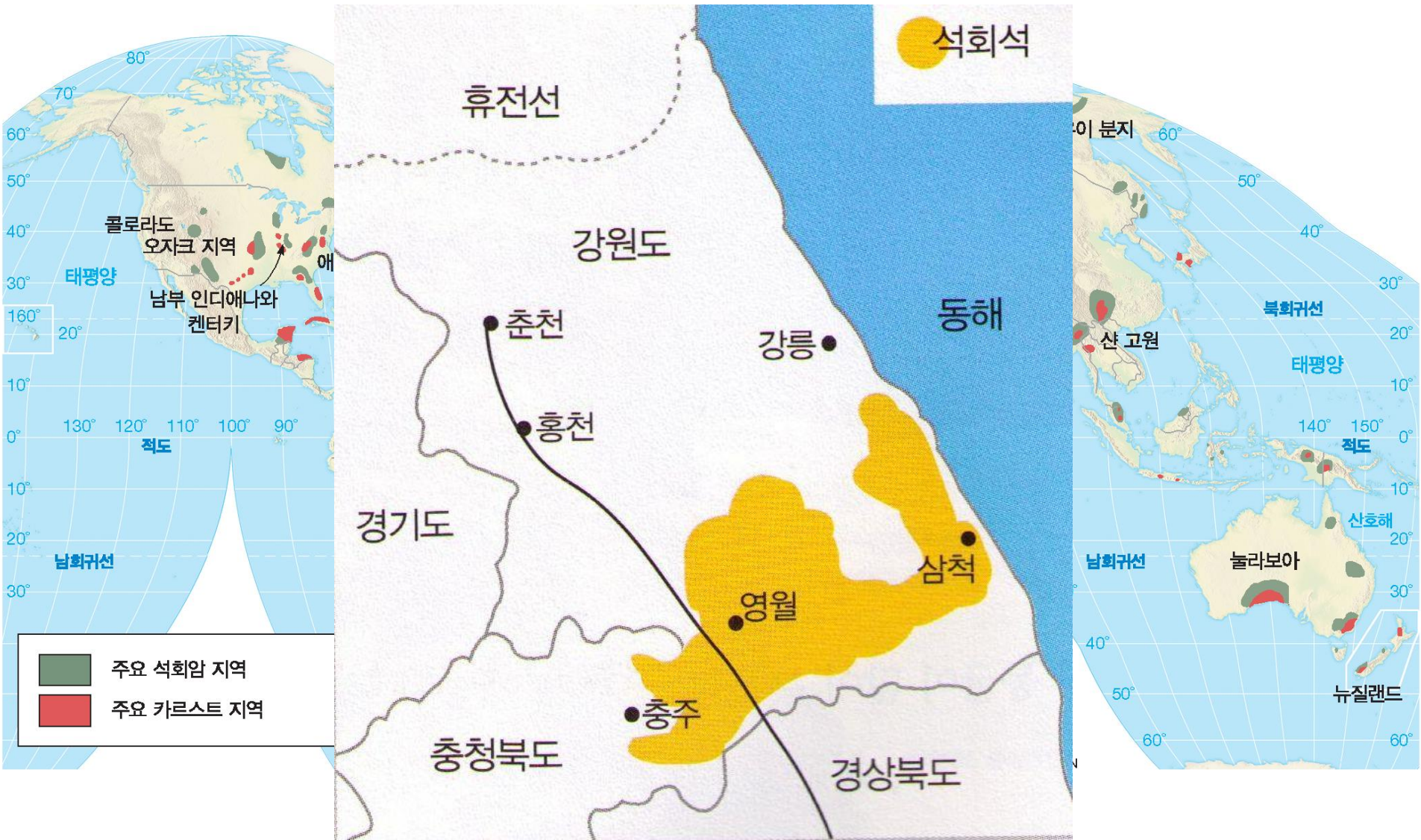
퇴적암의 구분

- **쇄설성 퇴적암**: 다른 암석이 풍화작용을 받아 부스러진 암석 알갱이들이 위치에너지가 낮은 곳에 쌓여서 생긴 암석
- 역암, 사암, 셰일 (이암)
- **생물학적 퇴적암**: 산호, 석회질 조류, 석회질 플랑크톤 등 생물 사체의 점적, 암석화.
- 방해석, 석회암, 대리석

석회암과 카르스트

- **석회암**: 탄산칼슘 (CaCO_3) 주성분으로 한 퇴적암.
- 산호초 등 해양생물의 활동으로 형성.
- **카르스트**: 탄산칼슘 함량이 높은 석회암의 용해로 지표 또는 지하에 발달하는 지형.
- 중생대 석회암층이 두텁게 발달한 **슬로베니아의 Kras** 지방의 독일어 명칭에서 유래.
- 영월, 정선, 평창, 삼척 (강원), 제천, 단양 (충북)

대표적 석회암 분포지역



Carbonation



+



= ?

석회암의 용해, 침전

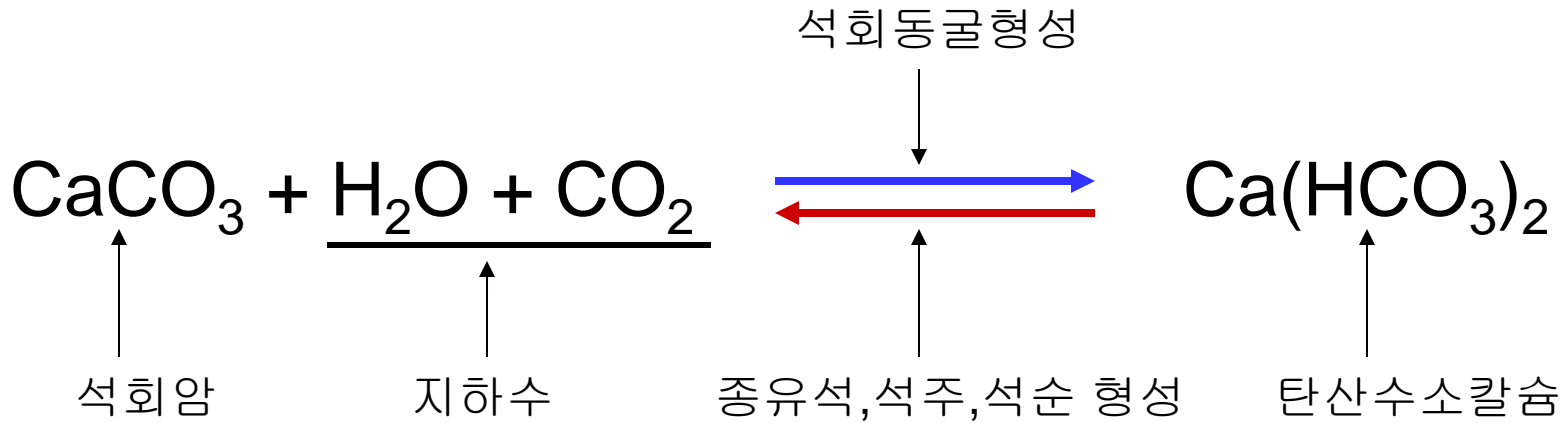
- 석회암은 탄산가스가 용해된 물에 쉽게 용식된다
- 토양내의 동식물 활동으로 탄산 농도 (1-3%) 높다.
- 토양층을 통과하는 물에 석회암질 쉽게 녹는다.
- 동굴 내에서 탄산이 방출되면서 침전물을 만든다.
- $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$



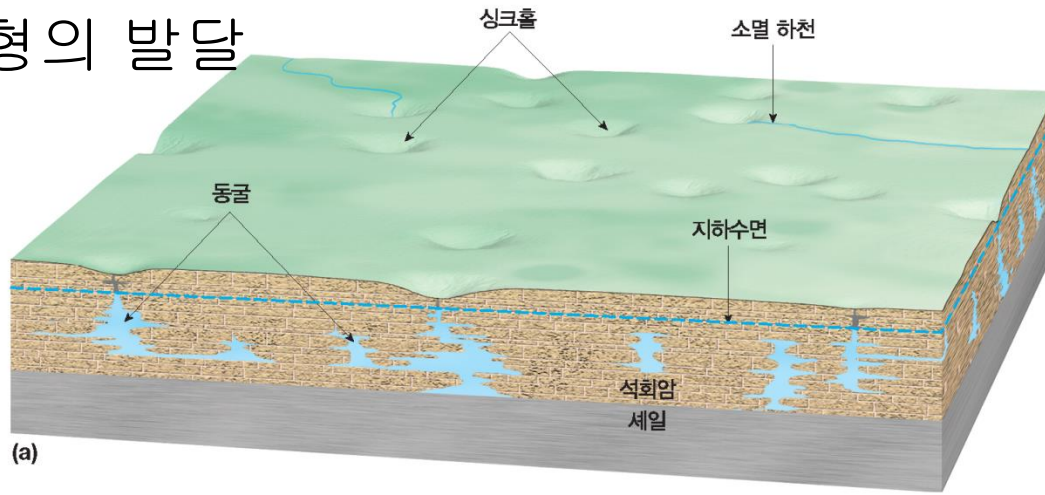
CO_2 (공기중 탄산가스)

- 탄산가스압이 낮은 동굴내 공기 만나면서 CO_2 방출하며 탄산칼슘 일부를 침전시킨다.

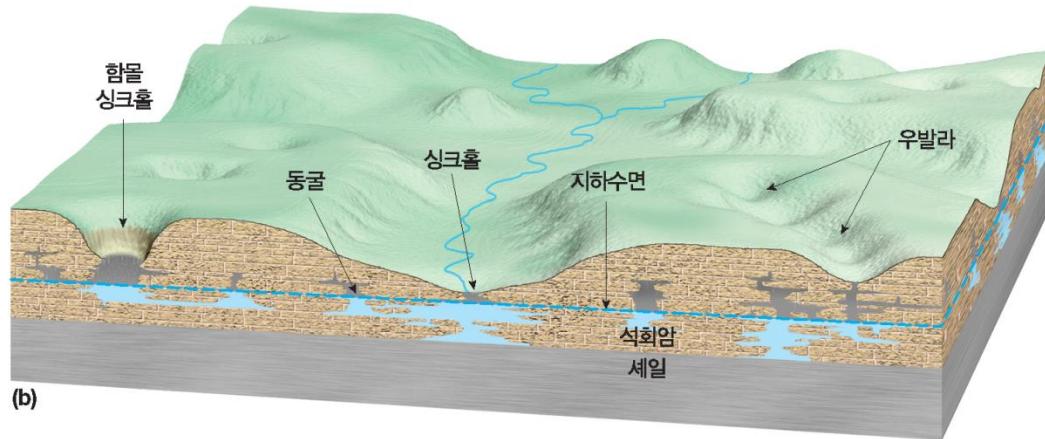
석회동굴 (물질)의 형성



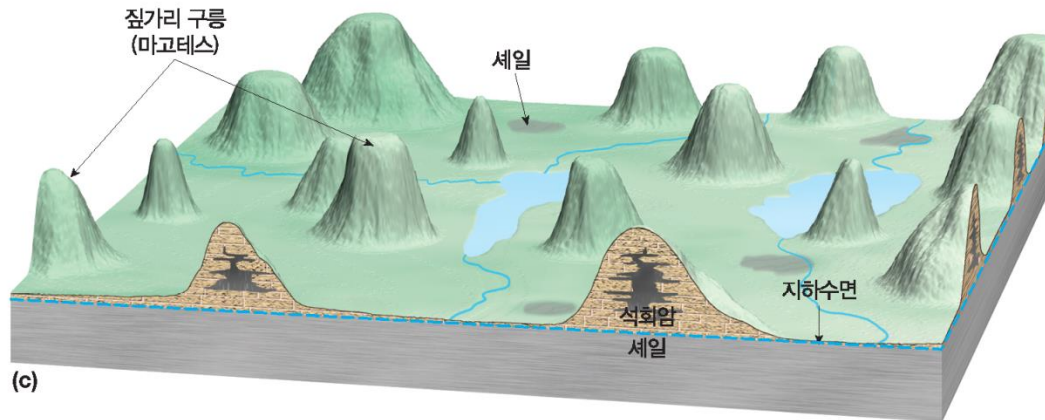
카르스트 지형의 발달



(a)

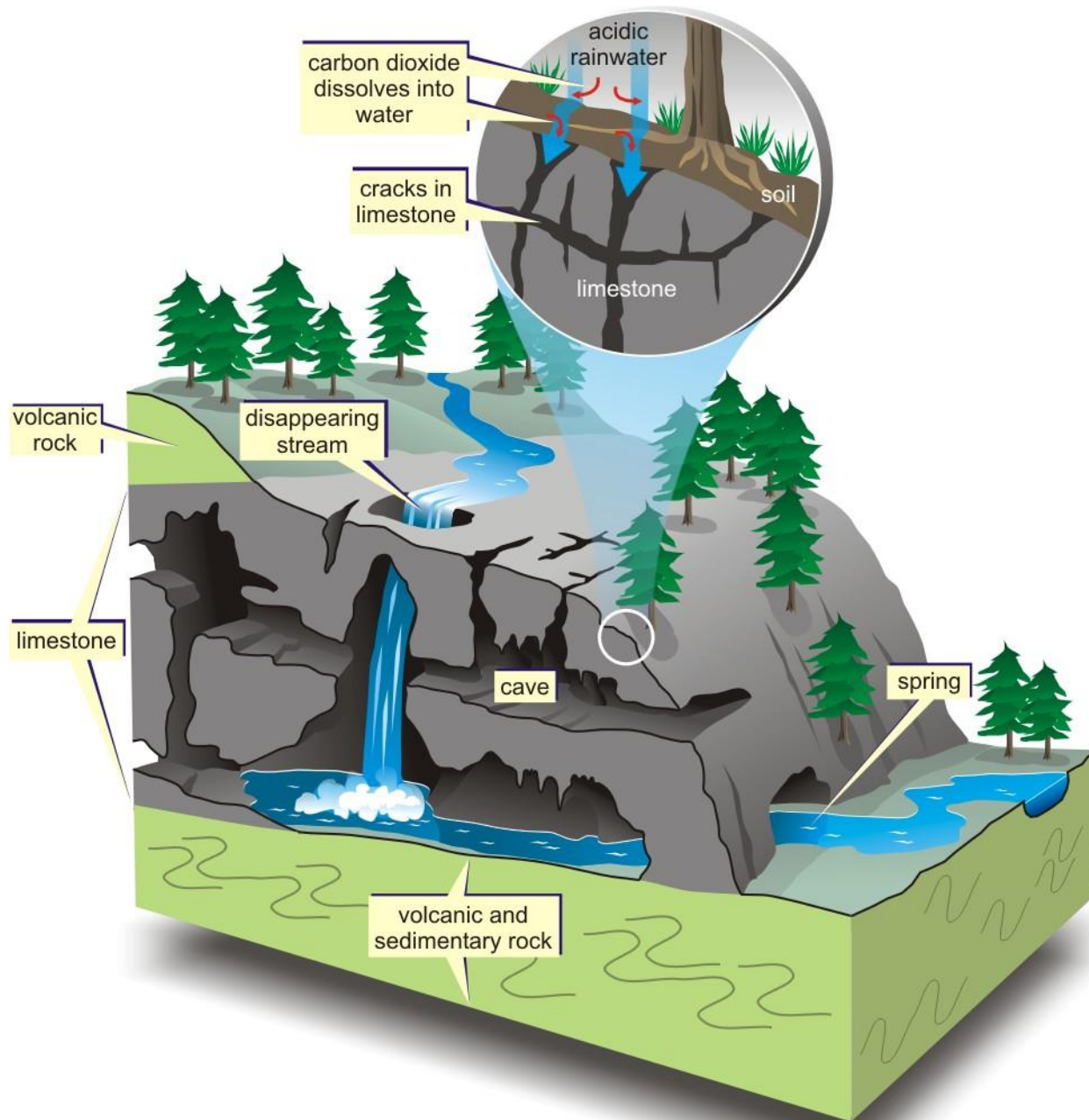


(b)



(c)

- 카르스트 지형의 발달.
- (a) 싱크홀과 소멸 하천이 지배적인 경관. 지하수 아래의 기반암의 용식은 동굴로 발달하는 공동을 남기기도 한다. (b) 지하 동굴이 붕괴되는 지역에서, 함몰 싱크홀(함몰 돌리네)이 형성된다. 하천은 얇은 와지를 통과하다가 싱크홀로 사라지기도 한다. 만약 지하수가 떨어져 동굴의 출구를 노출시킨다면, 스펠레옴이 점차 발달할 수 있다. (c) 탑 카르스트 지형은 석회암이 용식되고 남은 탑으로 이루어진다.



카르스트 지형의 형성

석회암 토양

- 테라로사 (Terra Rossa)
- 석회암이 풍화한 적색 점토 토양
- 지중해 기후지역에 흔히 나타나며, 높은 배수성으로 포도농사에 적합하다.



나출 카르스트

- 라피에(lapie, 석회암 암주)가 드러난 석회암 지형
- 식생파과나 토양 유실로 발달



충북 단양

라피에

- 독일어로 '카렌(karren)'으로 부르기도 한다.
- 절리를 따라 선택적 용식 일어나면, 침식이 깊어져 돌출된 암석이 석탑처럼 보이는 지형 형성
- 묘석지형 (혹은 석탑원)



도담삼봉





일본 기타큐슈 히라오다이





센부츠 증유동

돌리네, 우발라

- **돌리네(doline)**: 석회암의 용식으로 형성된 원형 또는 타원형 와지 지형 (용식돌리네, 함몰돌리네)
- 내부 배수혈(sinkhole)로 물이 잘 빠지는 특성
- 지역에 따라 '움밭', '못밭', '구단' 등으로 호칭
- 두 돌리네 합쳐져 **복합돌리네** 형성
- 대부분 밭으로 이용
- 단양, 제천, 평창, 영월, 삼척
- **우발라(uvala)**: 마을이 들어설 정도의 규모로 불규칙한 모양의 와지





돌리네 분포 (단양 여천리)



우발라



폴리에 (polje)

- 폐쇄적인 석회암분지, 수 km 이상의 규모
- 동유럽에서 편평한 “들판”을 의미
- ‘거대 용식분지’의 의미로 사용.
- 하천이 흐르고, 연안에 충적지 분포
- 분지 곳곳에 배수혈, 포노르(ponor) 형성
- 충북 단양 무두리

석회암 잔구

- **Cockpit karst**: 반구형 잔구
- 30미터 이상의 균일한 반구 지형
- **Cockpit**: 잔구들로 둘러싸인 폐쇄적인 분지
- **Tower karst**: 탑 모양의 잔구 (중국 桂林)
- 기저부 용식으로 생긴 100 미터 이상의 돌산 형태
- Cockpit karst, tower karst 모두 **cone karst (원추 카르스트)** 의 특수 형태

Cockpit karst (Jamaica)





Tower karst



Tower karst (Ha Long Bay, 베트남)

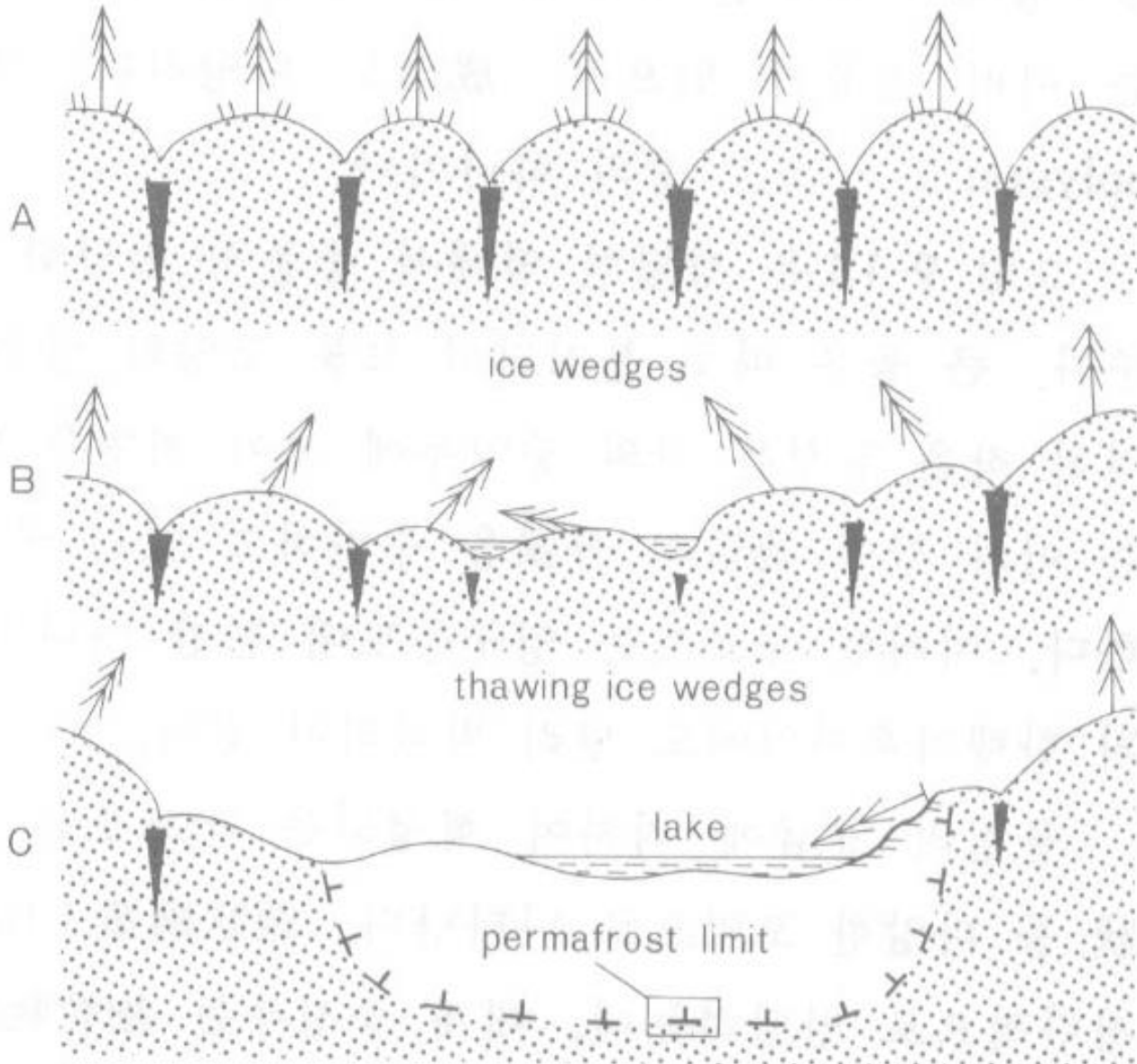
UNESCO World Heritage Site



열카르스트 (thermokarst)

- 극지의 동토층이 녹으면서 형성되는 와지 형태의 지형을 일컫는다.
- 카르스트와 유사한 경관으로 인해 “카르스트” 용어가 붙음.
- 동토층이 녹아 꺼지면서 얇은 호소 형성
- 융해호소 (thaw lake; thermokarst lake)
- 시베리아 등 툰드라 지역에서 최근 크게 늘어나고 있다.

용해호소의 발달



썰기 모양의 토빙

Drunken forest

열침식>>호소확대

Thermokarst (북부 Alaska)



석회동굴 특성

- 가장 흔한 카르스트 지형
- Limestone karst caves
- 석회동굴(limestone cave) ≠ 카르스트동굴 (karst cave)
- 수 미터 - 100km 이상까지 규모 다양
- 수평 또는 수직으로 발달
- 수평 동굴 >> 영월 고씨굴
- 수직 동굴 >> 단양 고수굴

석회동굴의 발달

- 초기단계 (phreatic phase): 원형에 가까운 단면. 절리 따라 통로 발달. 지하수 아래 물로 차 있음.
- 배수 단계 (vadose phase): 지하수 빠지면서, 지하수가 지표수보다 높은 상황.
- 발달단계 : 지하수가 동굴하천을 이루며 동굴 확장.
- 퇴화단계: 동굴하천이 유로를 바꾸는 등 지하수 공급이 끊기면, 건조해지며 성장을 멈춘다.

자연교 (natural bridge; 石門, 단양)



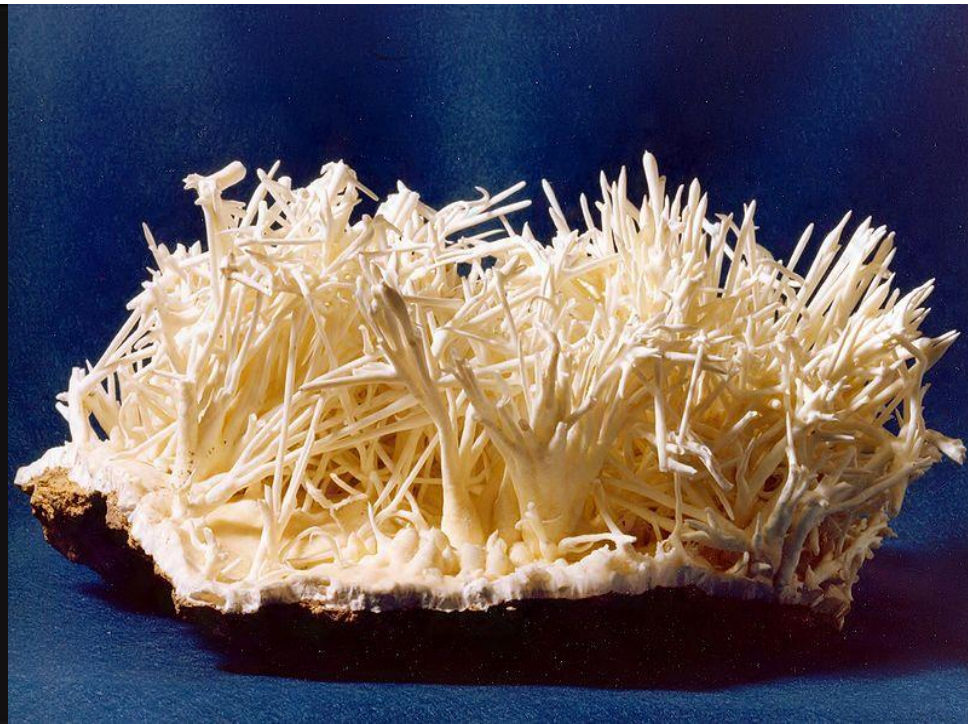
석회동굴 형성 후 입구 뒷부분이 소멸되면서 만들어진 것으로 추정

Speleology

- 동굴을 비롯한 카르스트 지형의 형성, 구조, 특성, 변화를 연구하는 분야
- 물리, 생물, 화학, 지질, 기상, 기후 등과 밀접한 학제적 연구분야
- **Speleothem**: “동굴퇴적물”을 뜻하는 Greek.
- 종유석 (stalagtite): 동굴 천정에 매달려 자라는 침전물
- 석순 (stalagmite): 동굴 바닥에서 자라는 침전물
- 석주 (column): 석순과 종유석이 맞닿아 생긴 기둥
- 유석 (flowstone): 동굴벽에 커튼 처럼 침전된 퇴적물

Speleothem

- 인자: CO₂ 농도, 온도, 습도, 통풍조건, 강수량, 식생밀도, 기후
- 주로 방해석 (CaCO₃)의 용식을 통해 생성
- 애라고나이트 (aragonite)의 결정 구조를 통해 石花 생성



Speleothem

STRAWS

관상종유석
종유관
짚종유석

STALACTITES

종유석

DRAPER

COLUMN

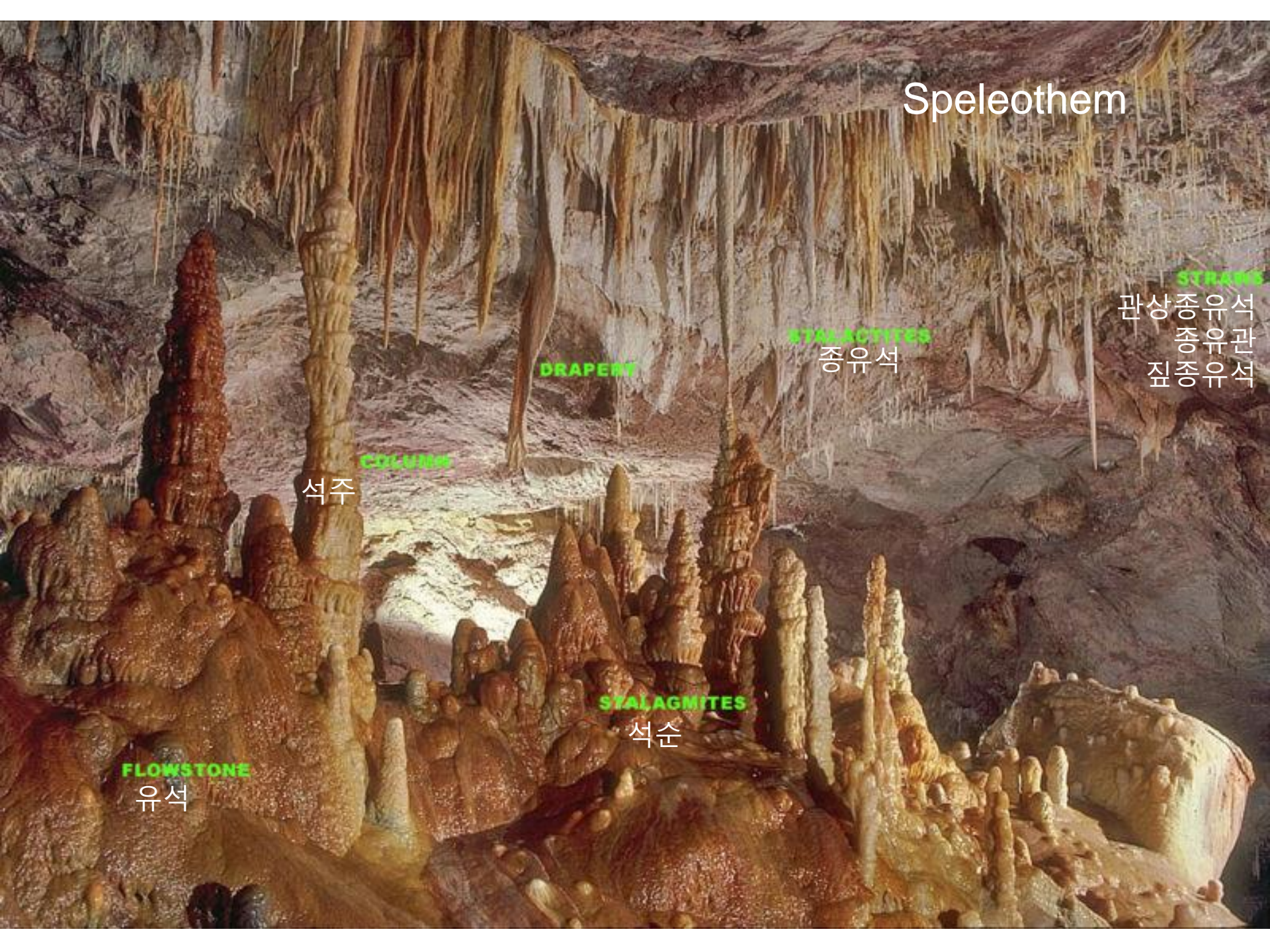
석주

STALAGMITES

석순

FLOWSTONE

유석



천곡동굴, 동해 (2014 춘계 답사)



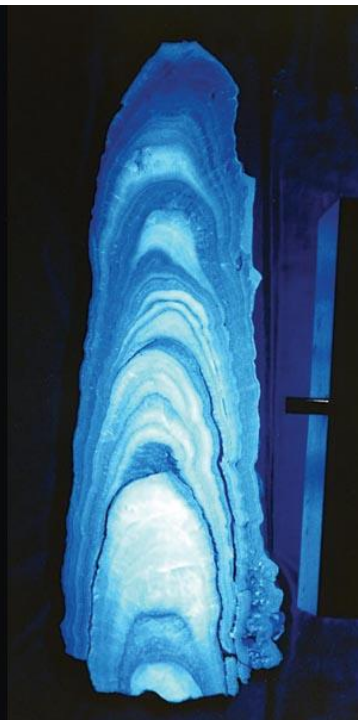


단양 고수동굴, 2015-8-6



고기후 지시자

- 나무 나이테처럼 성장기록 층서를 이룸
- 우라늄 시리즈 연대측정법 통해 고기후 복원
- 건조시, 생장이 거의 없고, 기후 조건 따라 ^{18}O , ^{13}C 등의 동위원소량 변화

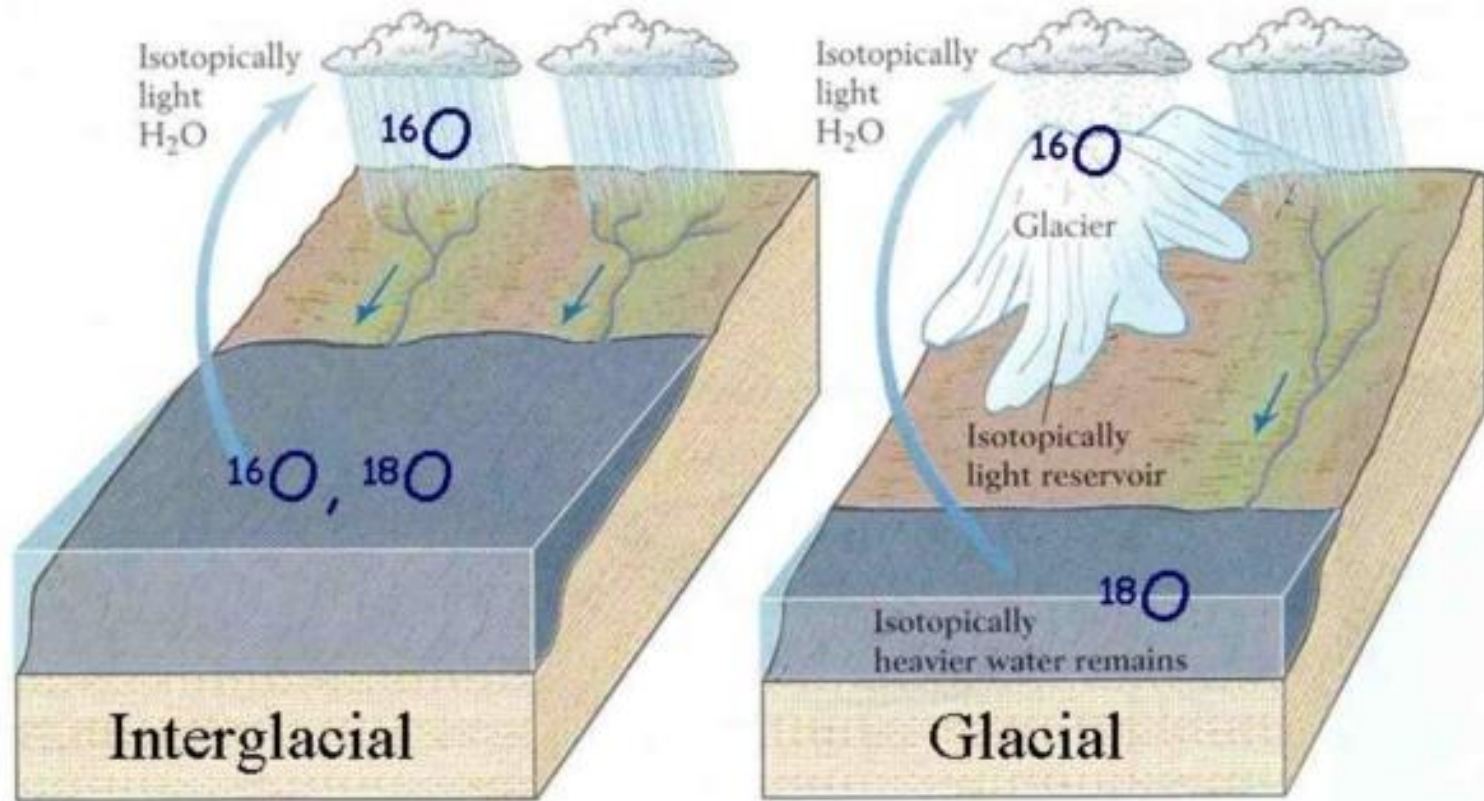


동위원소법

- ^{18}O - ^{16}O 비율 변화
- 증발량 많을수록 증발면 상부 공기의 ^{16}O 비중 증가
- 무거워진 지표수의 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 비율이 표준치보다 커짐
- 건조해질수록 델타 ^{18}O 값은 작아짐 (more negative)

$$\delta^{18}\text{O}(\text{‰}) = \left[\frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{sample}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{reference}}} - 1 \right] \times 1000$$

기후 변화와 동위원소 비율



석회화단구 (travertine terrace)



(Yellowstone National Park)

추암 촛대바위

(해안 카르스트, 2014 춘계 답사)



