

DNA analysis identifies roots infiltrating the lava tubes in Jeju World Natural Heritage of Korea

세계자연유산 제주 용천동굴에 침투하는 식물뿌리의 DNA 분석연구

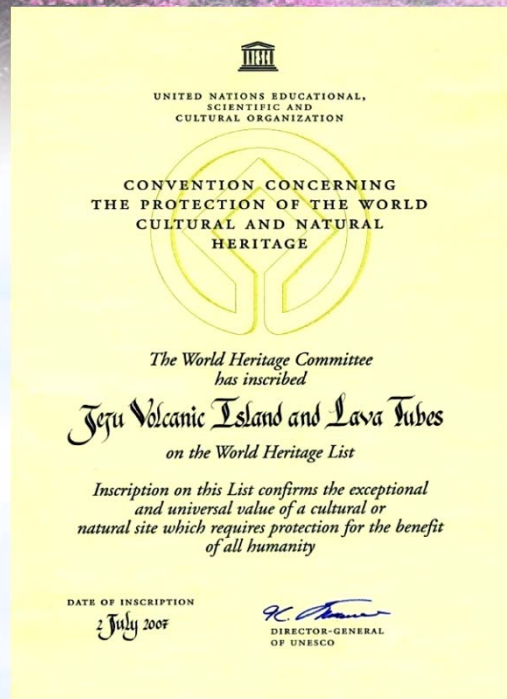
Sangtae Kim, Sungshin Univ.
Jeungeun Lim, Sungshin Univ.
Weonki Paik, Daejin Univ.
Kwon Heo, Kangwon Nat. Univ.
Youngmun Jeon, Jeju Special Self-Governing Prov. office
Youngbae Suh, Seoul Nat. Univ.



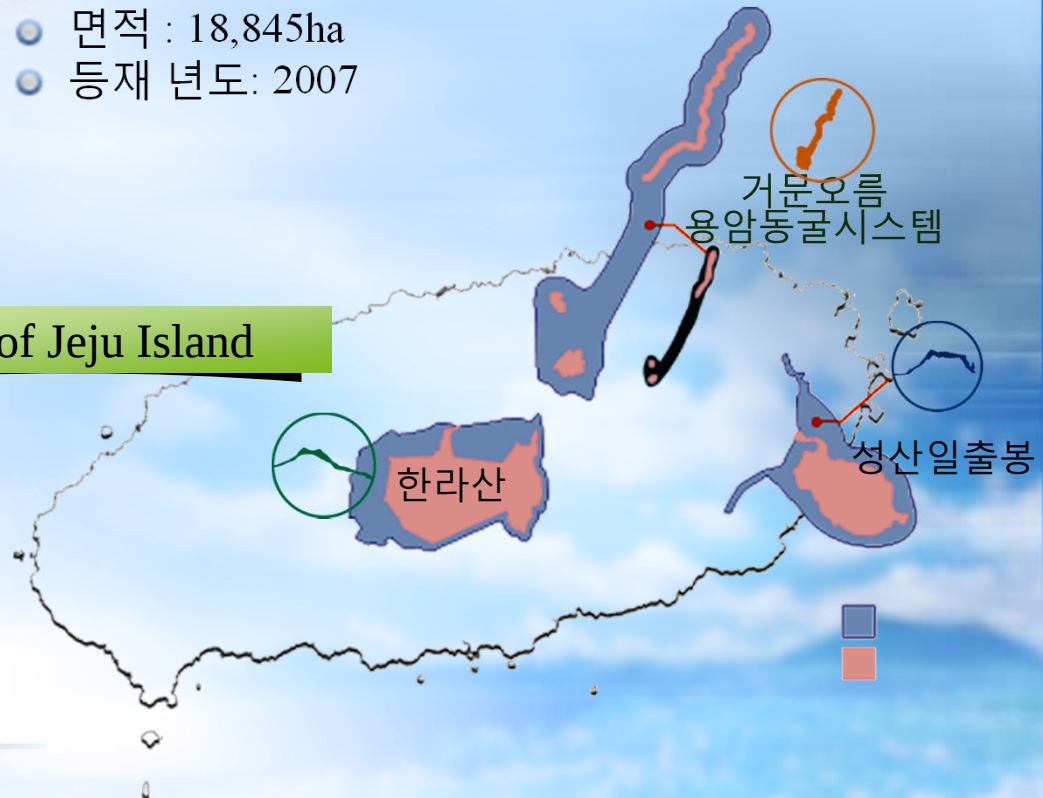
- 2013년까지 세계자연유산 174 건, 세계 문화유산 679 건, 세계 복합유산 25 건이 선정.
- 자연유산 선정은 매우 어려운 일로 꽤거임!

제주도는 세계자연유산에 등재됨!

- 등재 제목: 제주 화산섬과 용암동굴
- 장소 : 한라산 자연보존지역
성산일출봉
거문오름 용암동굴 시스템
- 등재 범주: 뛰어난 경관과 지리학적 가치
- 면적 : 18,845ha
- 등재 년도: 2007



Map of Jeju Island





World Natural Heritage

한라산



Baeknokdam, the summit of Mt. Hallasan



World Natural Heritage

한라산



Spring on Mt. Hallasan



World Natural Heritage

한라산



Spring on Mt. Hallasan



World Natural Heritage

한라산



Summer on Mt. Hallasan



World Natural Heritage

한라산



Autumn on Mt. Hallasan



World Natural Heritage

한라산



Winter on Mt. Hallasan



World Natural Heritage

성산일출봉



Seongsan Ilchulbong Tuff Cone



World Natural Heritage

성산일출봉



Seongsan Ilchulbong Tuff Cone



World Natural Heritage

성산일출봉



- 한라산과 성산일출봉은 빼어난 경관을 자랑하지만 세계자연유산 선정을 위해서는 객관적으로 아주 뛰어나지는 않음.
- 세계자연유산의 선정은 **비슷한 자연상태에서는 가장 뛰어난 하나만을 선정하는 것을 원칙으로 함.**
- 화산섬으로는 세계적으로 유명한 곳이 너무 많아 경쟁력이 떨어짐.

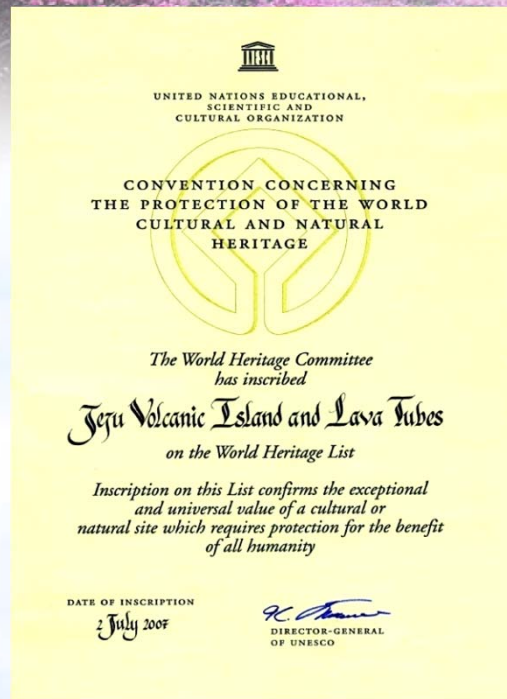


한라산과 성산일출봉
으로 세계자연유산으
로 등재하고자
UNESCO에 지원서를
제출하고 심사를 기다
리던 중 도로공사에 의
해 우연하게 용천동굴
을 발견하게 됨.

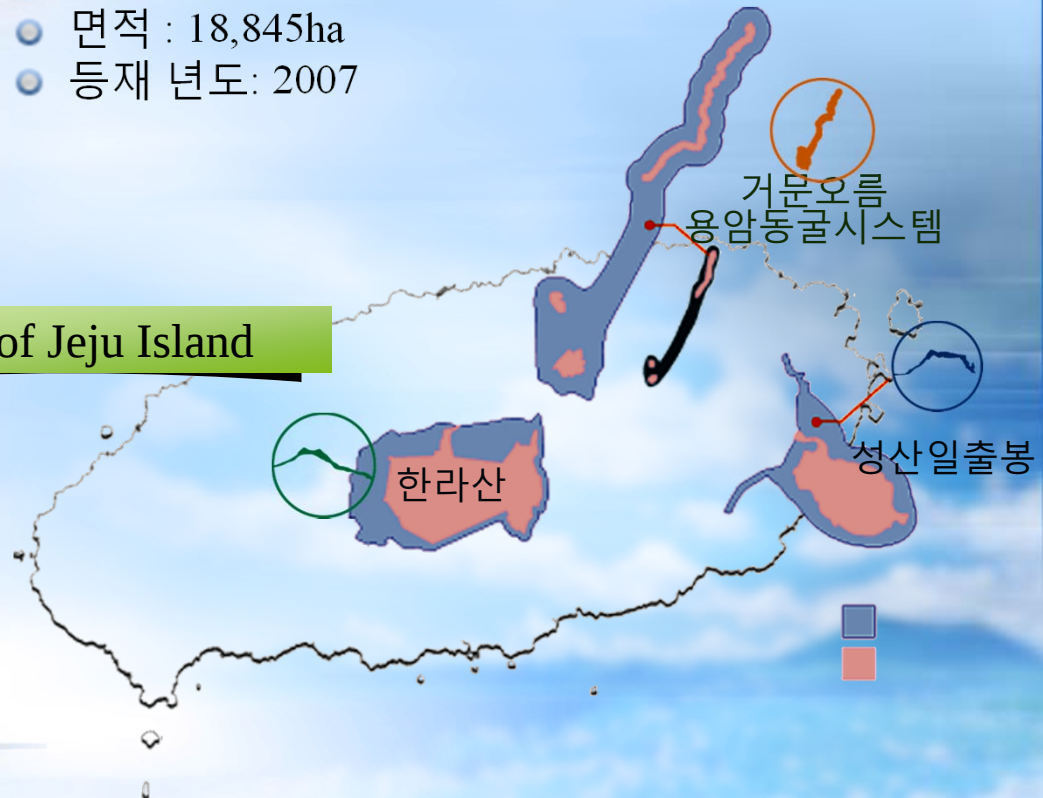
- 2013년까지 세계자연유산 174 건, 세계 문화유산 679 건, 세계 복합유산 25 건이 선정.
- 자연유산 선정은 매우 어려운 일로 꽤거임!

제주도는 세계자연유산에 등재됨!

- 등재 제목: 제주 화산섬과 용암동굴
- 장소 : 한라산 자연보존지역
성산일출봉
거문오름 용암동굴 시스템
- 등재 범주: 뛰어난 경관과 지리학적 가치
- 면적 : 18,845ha
- 등재 년도: 2007



Map of Jeju Island





- 이후 용천동굴과 이어지는 당처물동굴, 남지미동굴을 차례로 발견하여 거문오름으로부터 시작되는 용암동굴 시스템을 이루게 됨.



World Natural Heritage

거문오름.
화산이 폭발하여 용암이 분출한 말발굽형 오름이다.



Geomunoreum and Mt. Hallasan



World Natural Heritage

거문오름.





World Natural Heritage

만장굴



약 1 km에 달하는 용암동굴로 이미
관광지로 개발되어 있다. 만장굴의
끝은 용천동굴과 닿아 있는 것이 밝
혀졌다.



Entrance



World Natural Heritage

만장굴









※ 동굴의 종류

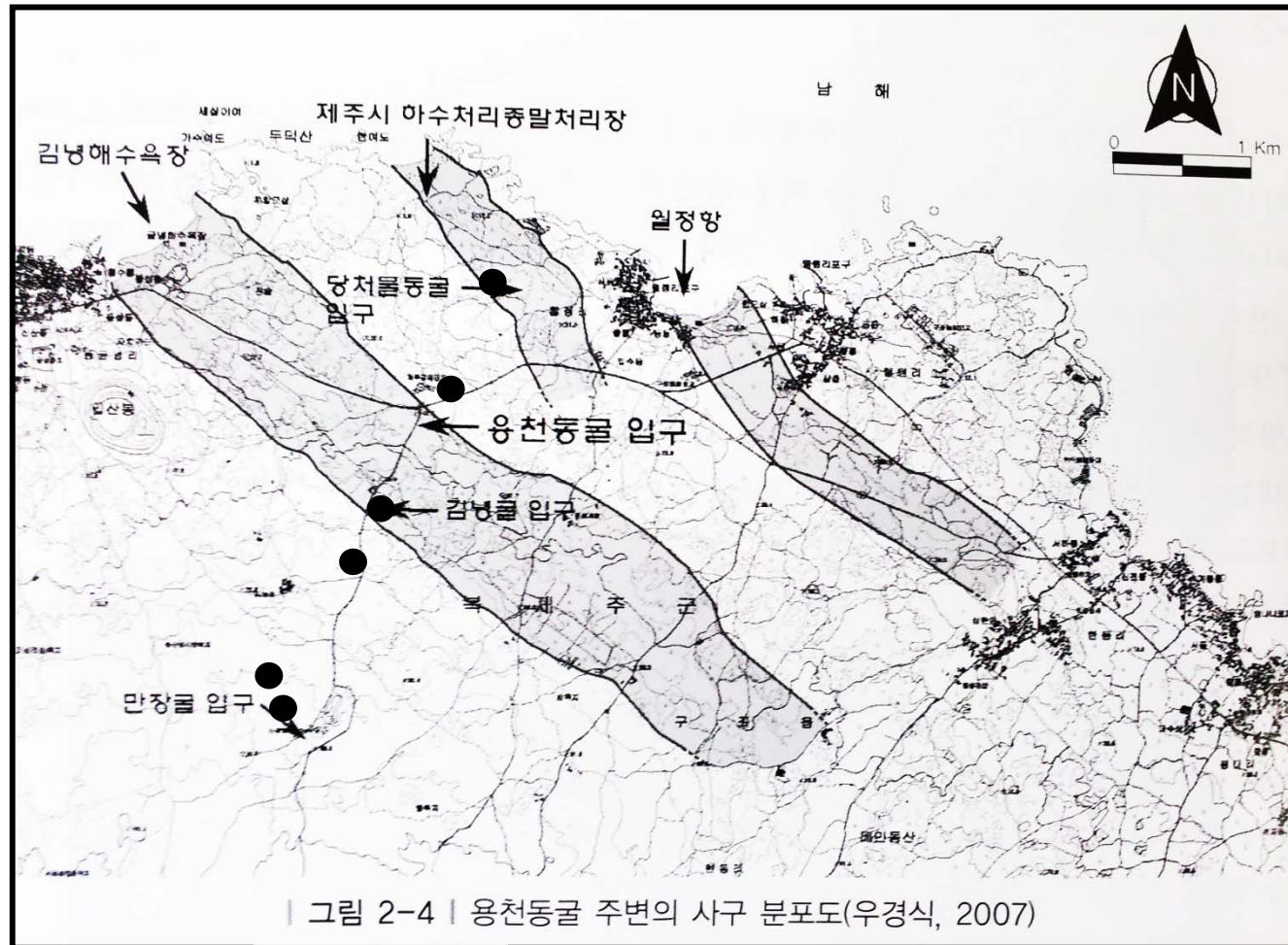
- 1) **석회동굴(limestone cave)**: 석회석이 물에 침식되어 나타남. 물에 녹은 칼슘이 재침적되어 **석순, 석주, 종유석**을 만들어내어 아기자기하고 수려한 경관을 만들어 낸다.
- 2) **화산동굴(lava tube)**: 화산이 폭발하여 점성이 낮은 용암이 흘러간 뒤 용암의 표면이 굳고, 내부는 아직 고온의 액체상태로 흘러가서 튜브의 형태가 된 것이다. 일반적으로 긴 튜브의 형태로 웅장하지만, **석순, 석주, 종유석이 형성되지 않아** 아기자기하지는 못하다.

그런데...

용천동굴은 화산동굴이 석회동굴의 특성을 함께 갖는 세계 유일의 희귀한 경관을 만들어내고 있다. 이러한 특성이 세계자연유산으로 선정에 가장 큰 역할을 하였다.

이러한 특성을 갖는 이유는...

거문오름 용암동굴 시스템을 덮고 있는 사구(모래언덕) 때문임.



사구를 이루는 모래는 일반모래가 아니라 칼슘으로 이루어진 조개 껍질의 부스러기이다. 김녕해수욕장으로부터 계절풍을타고 남동으로 형성된 모래지형이 용천동굴의 위로 지나가서 비가오면 **탄산칼슘**이 용천동굴로 녹아내려 석회동굴에서 볼 수 있는 석순, 석주, 종유석이 형성됨.



World Natural Heritage Lava Tubes Closed to the Public



하얀색 호피무늬는 칼슘의 침적에 의하며, 긴 줄은 종유석임!!!



World Natural Heritage Lava Tubes Closed to the Public



Yongcheondonggul lava tube(Total Length : 2,960m)

- 용천동굴속의 종유석들은 용암동굴 형성 후 지상에서 녹아 내린 석회질에 의해 이차적으로 형성된 것임.



World Natural Heritage Lava Tubes Closed to the Public



Dangcheomuldonggul lava tube(Total Length : 110m)

- 용암동굴에 석회동굴의 특성이 더해져서 희귀한 지질학적 상태가 되었고, 이에 따른 드라마틱한 경관을 보임





- 지질학자도 아닌데 웬 동굴에 관심?
- 용천동굴은 식물공부하는 사람이랑 어떤 상관이 있을까?
- 용천동굴의 드라마틱한 경관의 형성에 가장 큰 기여를 하는 것은 동굴에 침투한 식물 뿌리들이다.
- 동굴의 깊이는 지면에서 3~5m 정도로 많은 나무뿌리들이 침투해 있고, 이들 나무뿌리에 칼슘이 침적되어 점점 석화되어 가고 있다.





- 석화되어가고 있는 나무뿌리





용천동굴의 끝에는 호수가 있다. 이곳에서 동굴에서만 사는 눈이 퇴화된 미기록 어류가 발견되기도 했다.

동굴팝콘



동굴진주

동굴의 바닥에는 무수한 결정체들이 형성되어 밟고 지나갈 수 없을 정도임.



용천동굴 침투 뿌리의 DNA 바코드 작성에 대한 연구

- 세계 자연유산인 제주 용암동굴시스템의 학술적 연구는 비생물학적(지질학적) 연구와 함께 **집중적인 생물학적 연구**가 함께 이루어져야 **동굴 구조물의 생성 이해와 보존에 대한 종합적 계획 및 대책 수립**이 가능.
- 특히 동굴 내부에 침투한 식물 뿌리들이 발견되는 용천동굴, 당처물동굴, 남지미동굴에 대해서는 동굴 상부 및 동굴내부의 **생물학적 요소들과 비생물학적 요소들의 상호작용에 대한 종합적 이해가 절실함.**

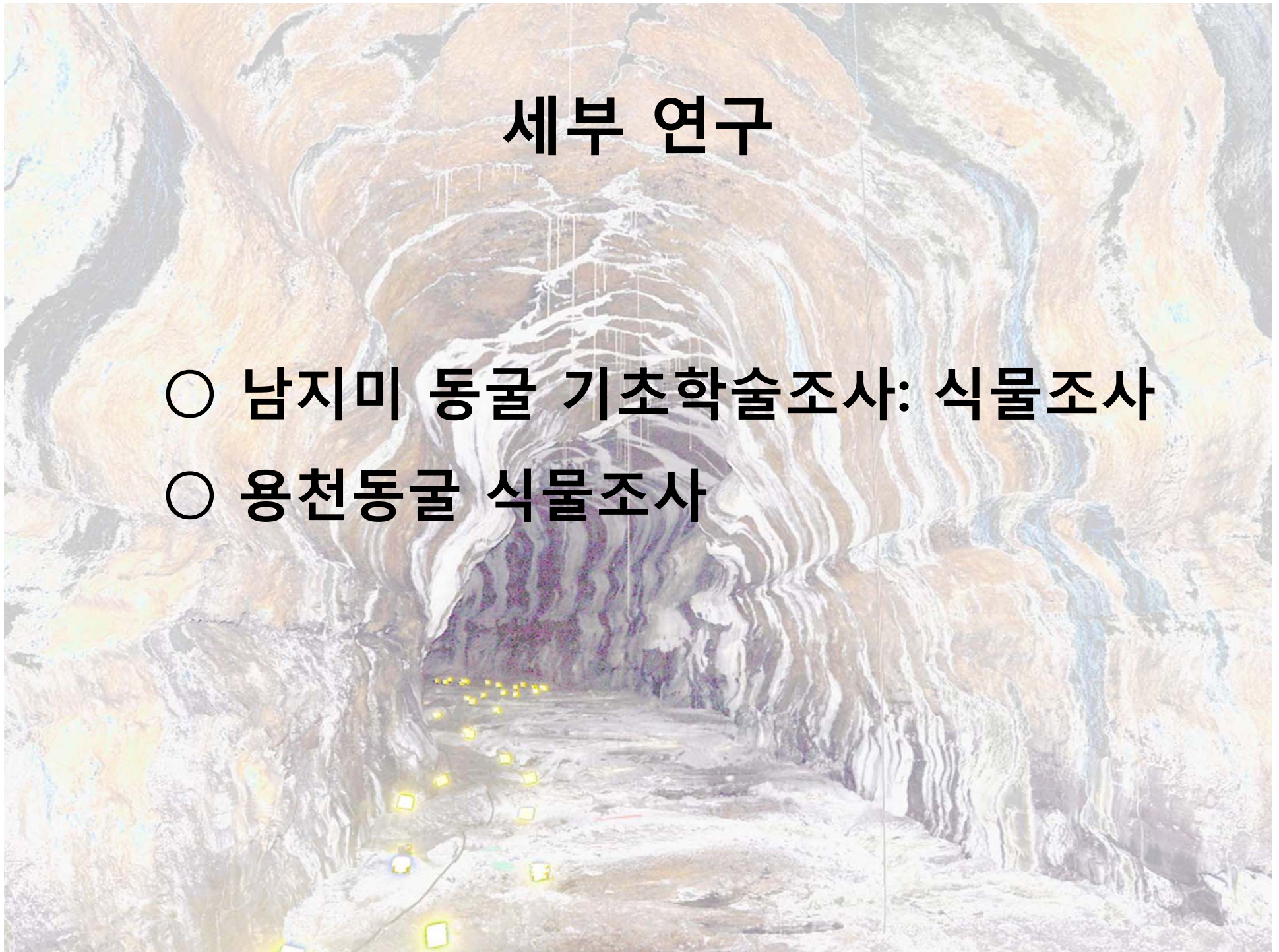
연구 필요성

○ 동굴 내부에 침투한 **식물뿌리**는 제주 용암동굴시스템 내의 특수한 경관을 이루는 동굴 **석회구조물의 형성과정에 관여**함과 동시에 **잠재적 동굴 훼손 가능성**으로 세계 자연유산으로서의 **동굴의 보존과 직접적으로 연관**되어 있음.

○ 따라서 동굴 상부 및 관련 주변지역의 **식생 연구**와 이에 연관된 과거 및 현재 **동굴 내에 침투한 식물뿌리**에 대해 **첨단 기법을 이용한 분석 및 중장기 모니터링**을 통해 동굴의 학술적 이해 및 **보존 전략 수립의 기초를 제공**하고자 함.

세부 연구

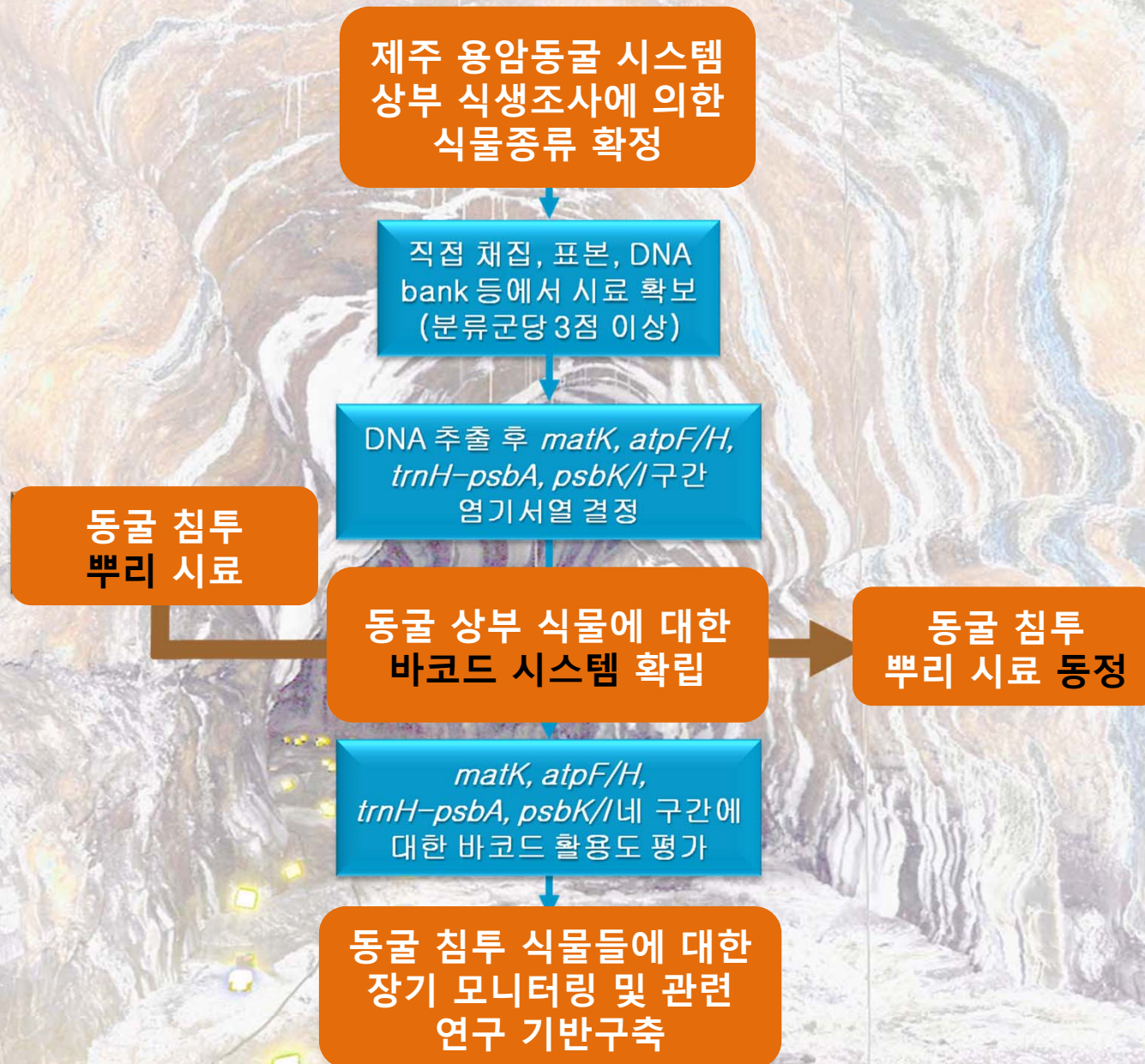
- 남지미 동굴 기초학술조사: 식물조사
- 용천동굴 식물조사



방법: DNA 바코딩 기법을 이용한 식물 동정

- **DNA 바코드 시스템:** 표준화된 DNA 염기서열을 비교하여 빠르고 정확하게 대상 분류군을 분자적으로 동정하는 기법
- 기초 생물학 전반 및 의학, 약학 등 기타 응용분야에 **무한한 활용성**을 갖고 있음(Hebert, 2003)

DNA 바코드 기법에 의한 제주 용암동굴 시스템 침투 뿌리에 대한 연구



1. 정밀 식생조사

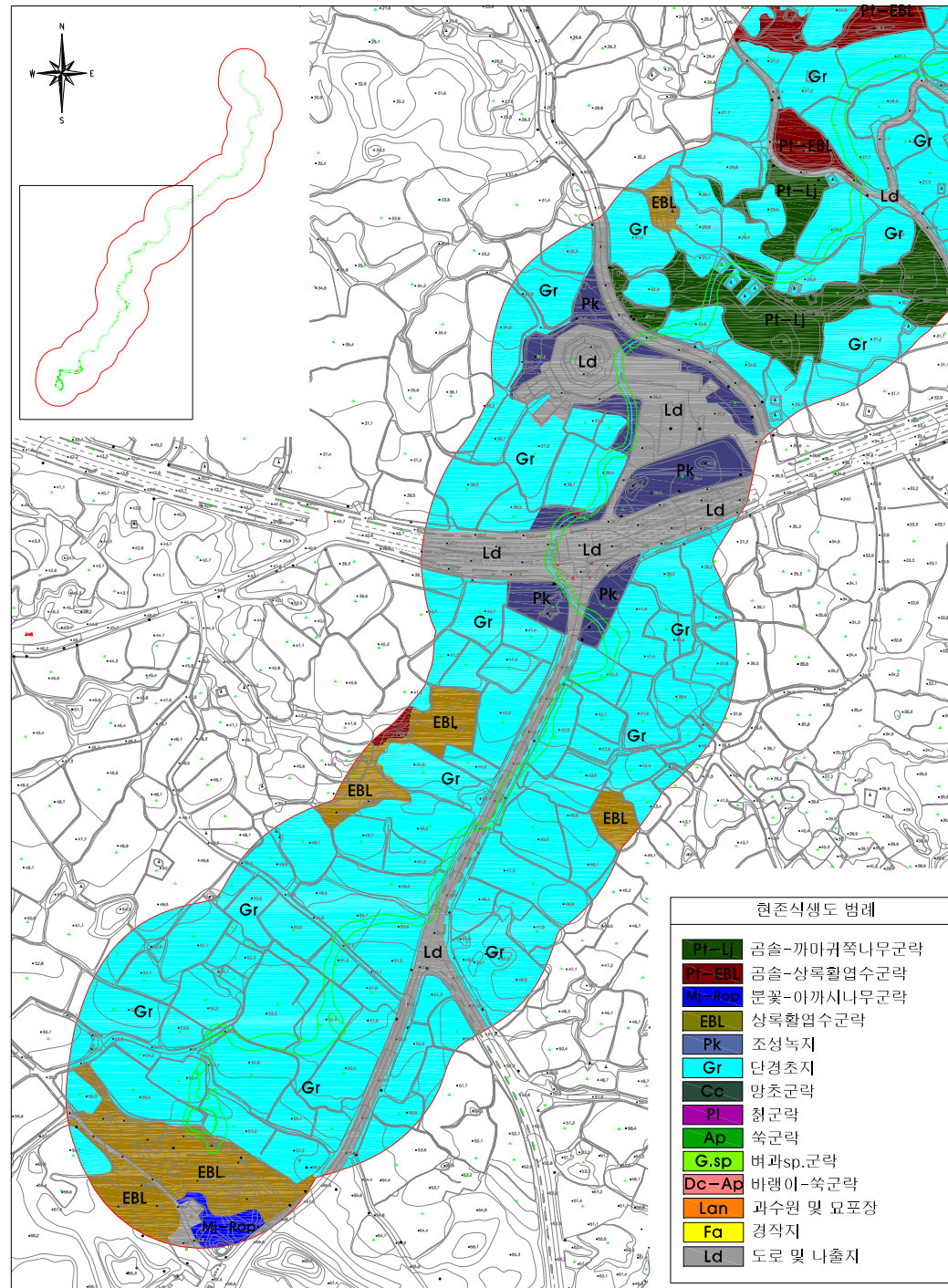
- 용천동굴 지상부 반경 100m지역 조사
- 총 4차에 걸친 조사
- 1차 : 2008년 10월 18일 ~ 19일
(2009 용천동굴 학술조사)
- 2차 : 2009년 3월 7일 ~ 8일
- 3차 : 2010년 6월 7일 ~ 9일
- 4차 : 2010년 8월 30일 ~ 31일
- 관속식물 77과 137속 149종 1아종 19변종 2품종
171분류군이 조사됨.

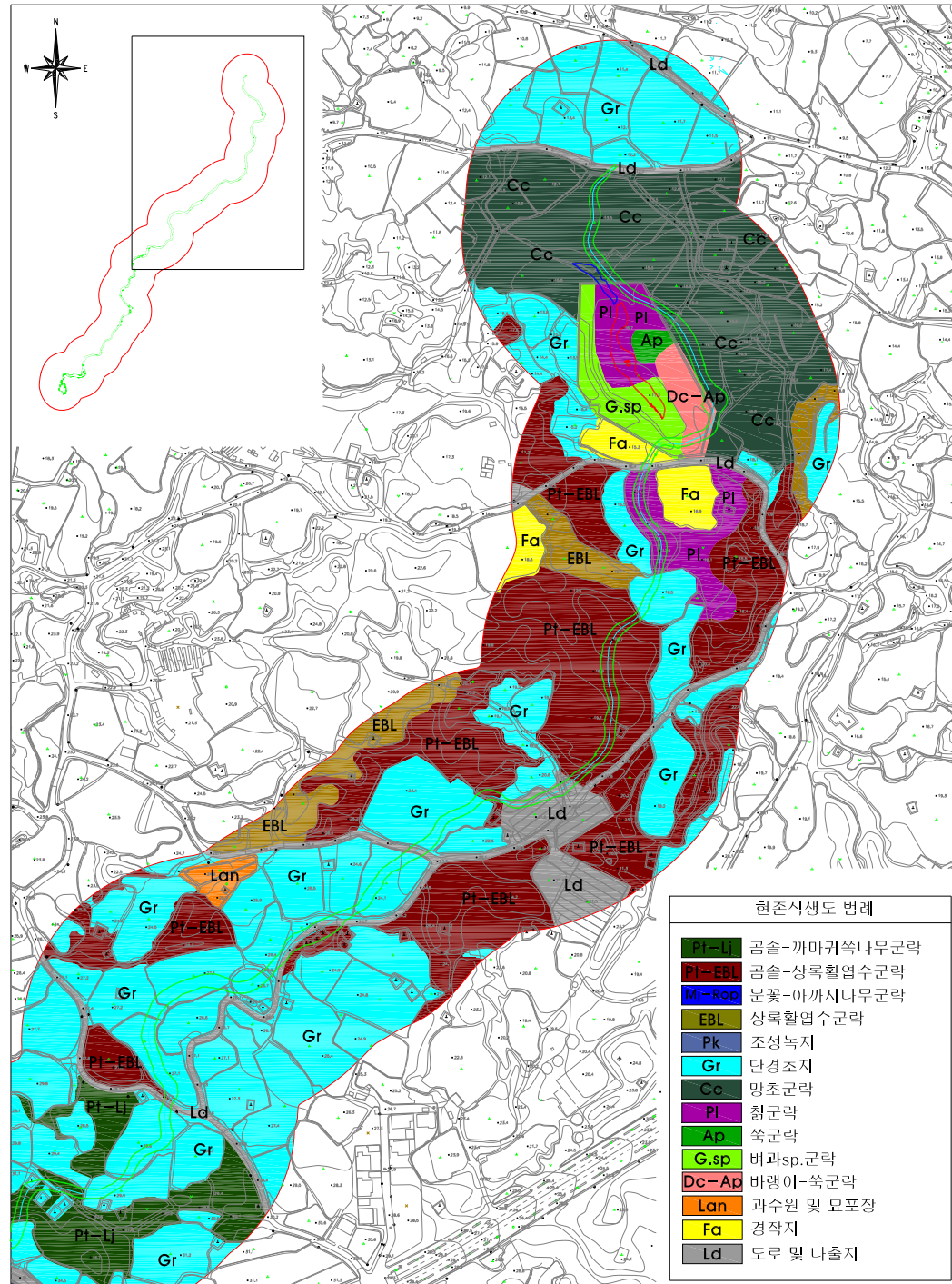
Family name	Scientific Name	국 명	비고
Equisetaceae	<i>Equisetum ramosissimum</i> Desf.*	개속새	III,G
Schizaeaceae	<i>Lygodium japonicum</i> (Thunb.) Sw.	실고사리	I ,H
Dennstaedtiaceae	<i>Dennstaedtia hirsuta</i> (Sw.) Mett. ex Miq.	잔고사리	H
Pteridaceae	<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn var. <i>latiusculum</i> (Desv.) Underw. ex Hell.	고사리	G
Pteridaceae	<i>Pteris cretica</i> L.	큰봉의꼬리	I ,H
Davalliaceae	<i>Nephrolepis cordifolia</i> Presl	줄고사리	E
Aspidiaceae	<i>Cyrtomium falcatum</i> (L.f.) C.Presl	도깨비쇠고비	H
Aspidiaceae	<i>Cyrtomium fortunei</i> J.Sm.	쇠고비	I ,H
Aspidiaceae	<i>Dryopteris chinensis</i> (Baker) Koidz.	가는잎족제비고사리	H
Aspidiaceae	<i>Dryopteris varia</i> (L.) Kuntze	족제비고사리	Ch
Polypodiaceae	<i>Lemmaphyllum microphyllum</i> C.Presl	콩짜개덩굴	I ,E
Arecaceae	<i>Trachycarpus excelsa</i> *	왜종려	
Arecaceae	<i>Trachycarpus fortunei</i> H. Wendle*	당종려	
Arecaceae	<i>Washingtonia filifera</i> (L.Linden) H.Wendl.*	워싱턴야자	
Cycadaceae	<i>Cycas revoluta</i> Thunb. *	소철	N
Pinaceae	<i>Pinus densiflora</i> Siebold & Zucc.	소나무	M
Pinaceae	<i>Pinus thunbergii</i> Parl.	곰솔	M
Taxodiaceae	<i>Cryptomeria japonica</i> (L.f.) D.Don	삼나무	M
Cupressaceae	<i>Juniperus chinensis</i> L.*	향나무	III,M
Taxaceae	<i>Torreya nucifera</i> (L.) Siebold & Zucc.*	비자나무	I ,M
Fagaceae	<i>Castanopsis sieboldii</i> (Makino) Hatus.*	구실잣밤나무	I ,M
Fagaceae	<i>Quercus glauca</i> Thunb. ex Murray	종가시나무	I ,M
Ulmaceae	<i>Celtis sinensis</i> Pers.	팽나무	M
Moraceae	<i>Broussonetia kazinoki</i> Siebold *	닥나무	M
Moraceae	<i>Cudrania tricuspidata</i> (Carr.) Bureau ex Lavallée*	꾸지뽕나무	M
Moraceae	<i>Ficus erecta</i> Thunb.	천선과나무	I ,N
Moraceae	<i>Ficus japonica</i> Blume var. <i>sieboldii</i> (Miq.) King	좁은잎천선과	I ,M
Moraceae	<i>Morus alba</i> L. *	뽕나무	MM
Moraceae	<i>Morus bombycis</i> Koidz. for. <i>dissecta</i> Nakai*	좁은잎뽕	M
Cannabaceae	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc.	한삼덩굴	Th

조사지역 관속식물상

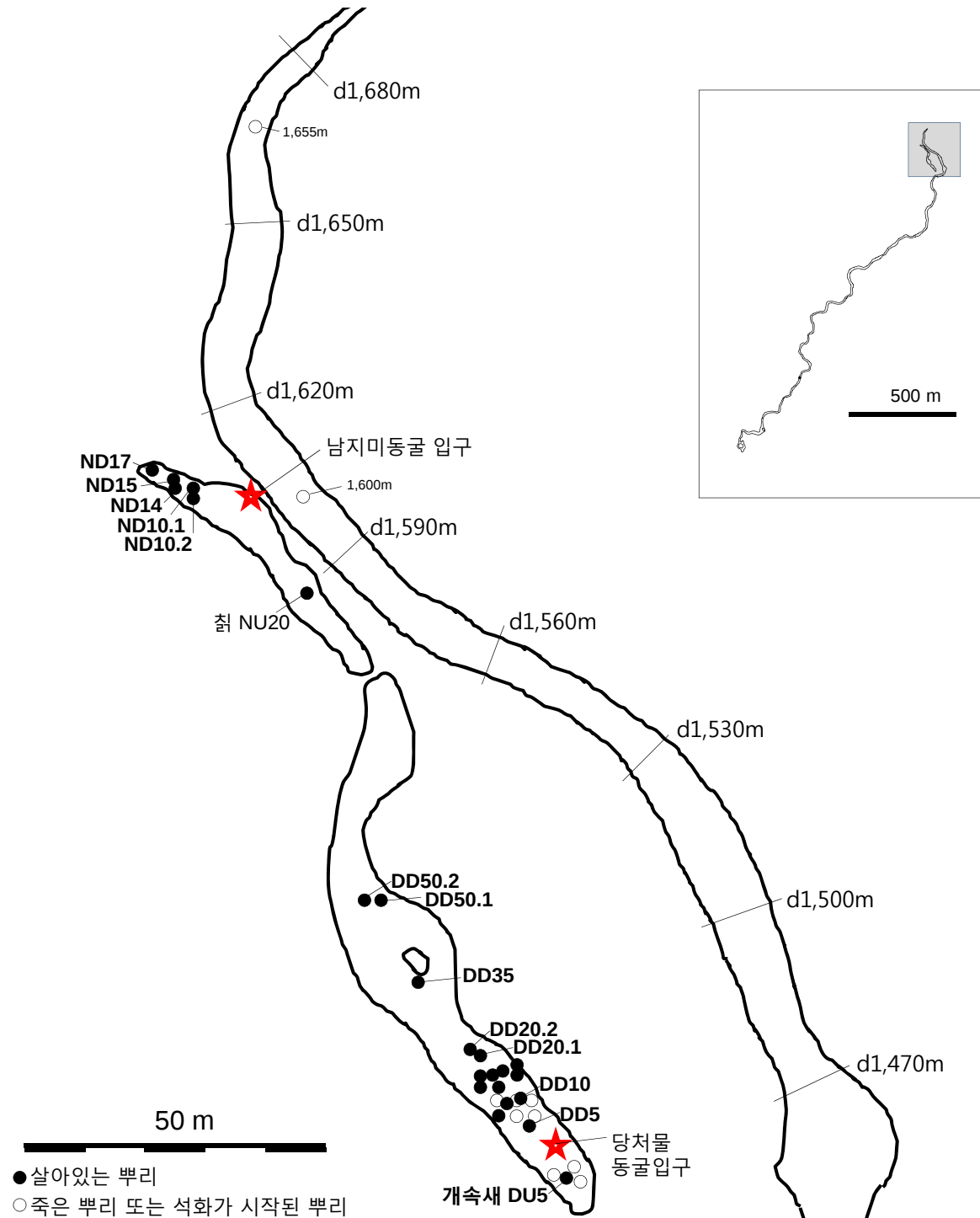
분류군 / 계통	과	속	종	아종	변종	품종	합계
양치식물	7	9	10	—	1	—	11
나자식물	5	6	8	—	—	—	8
피자식물	65	122	131	1	18	2	152
쌍자엽식물	58	105	112	1	17	2	132
단자엽식물	7	17	19	—	1	—	20
합계	77	137	149	1	19	2	171

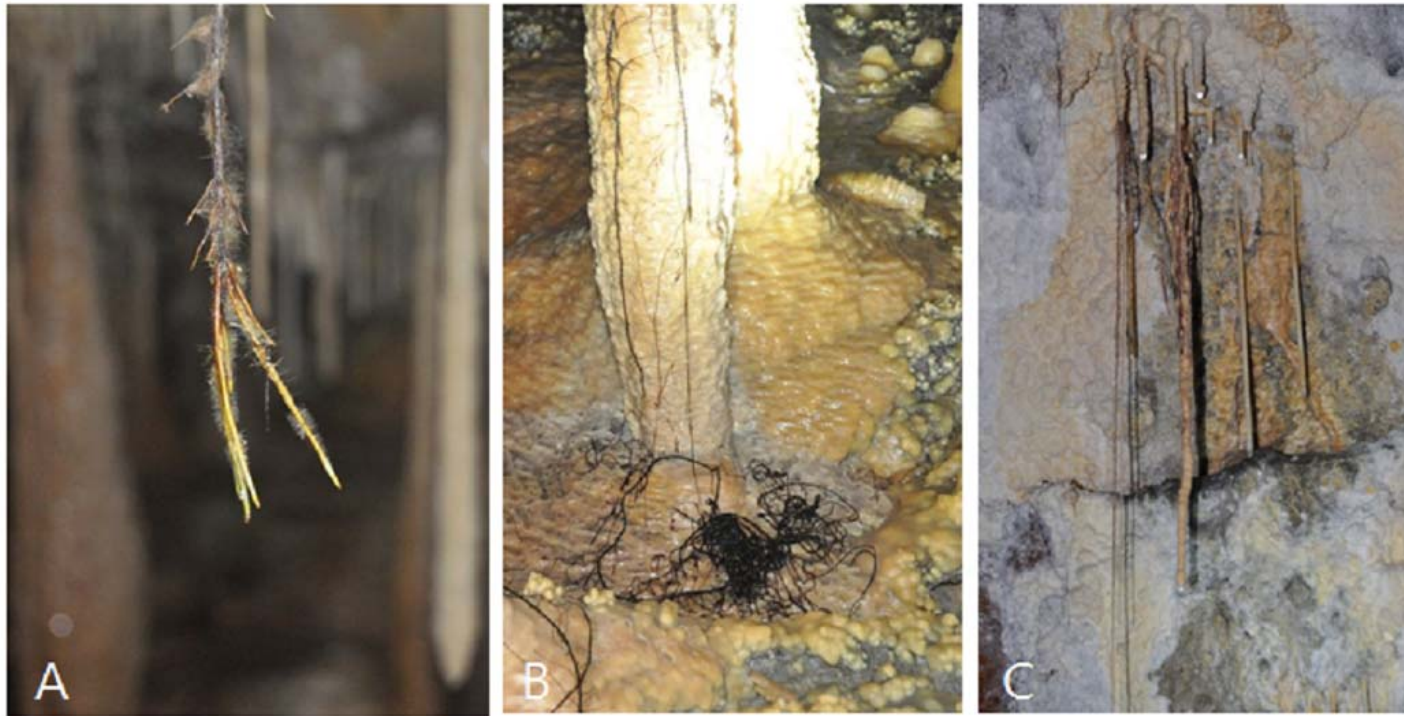
- 우리나라 전체 4,071종류(이, 1996b)의 4.2%에 해당



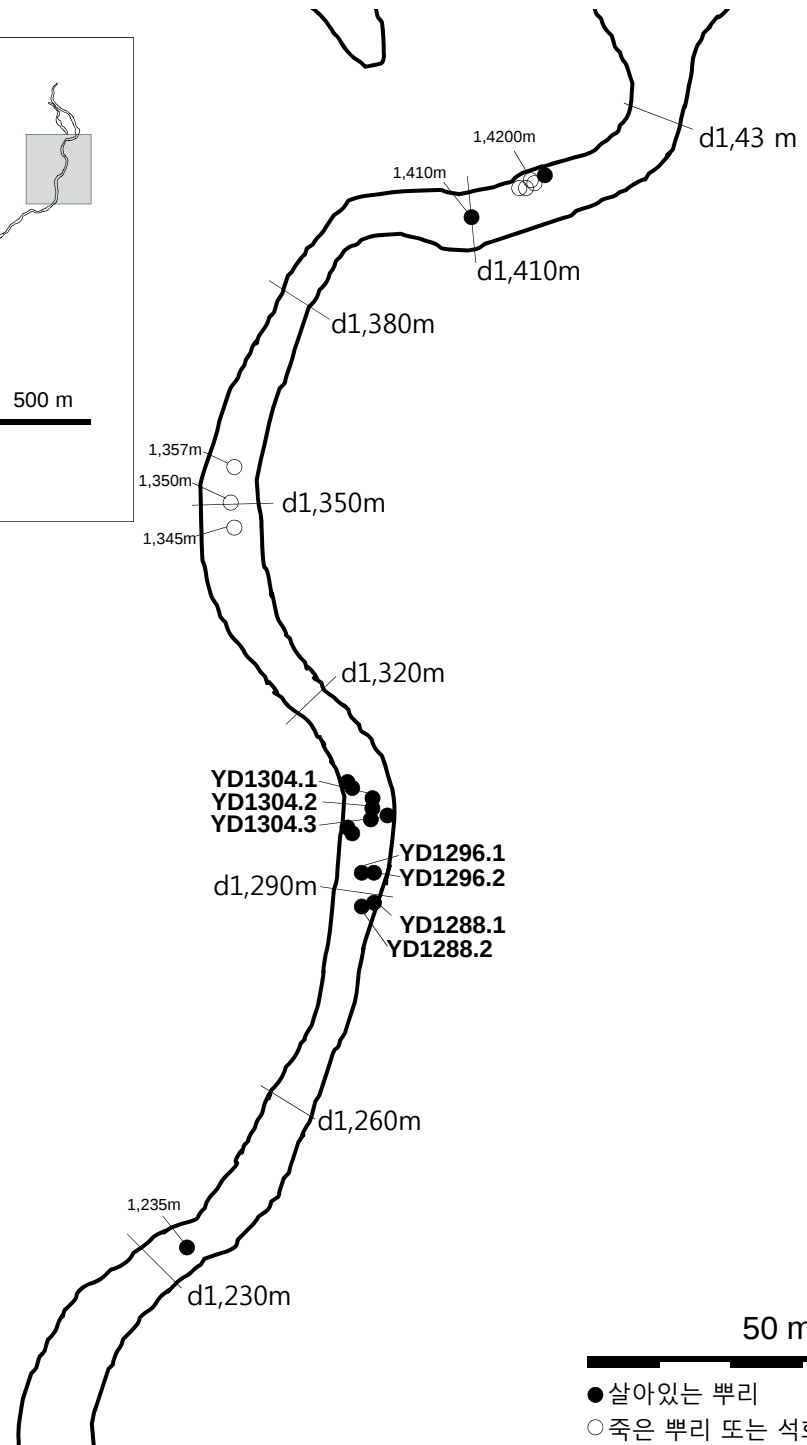
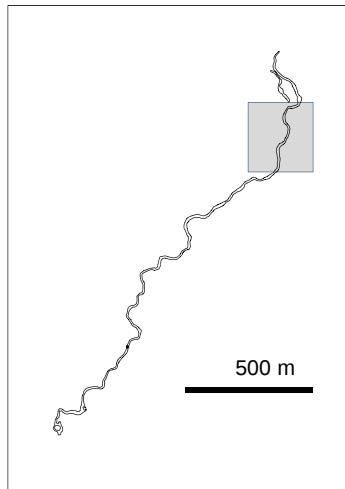


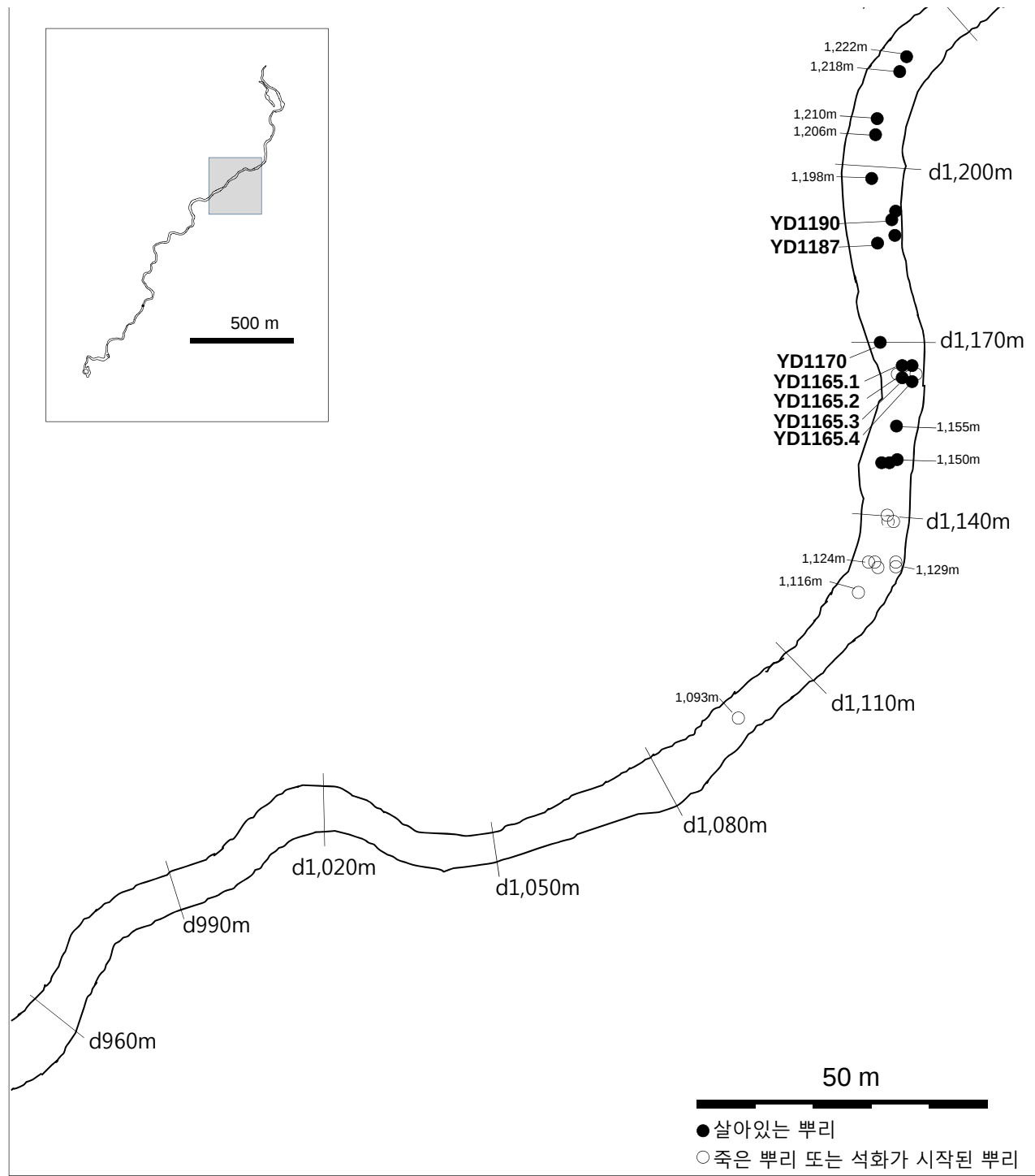
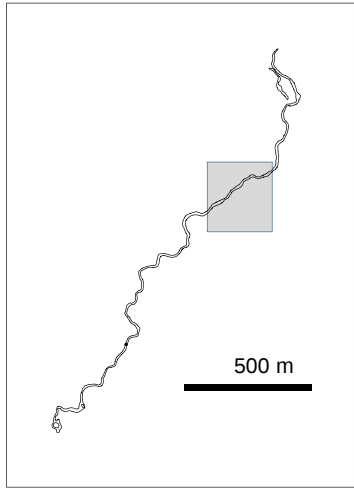
2. 동굴 침투 뿌리 위치파악

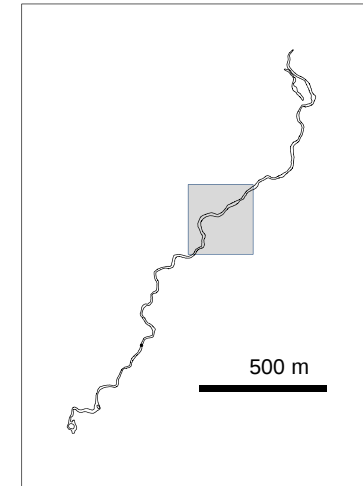
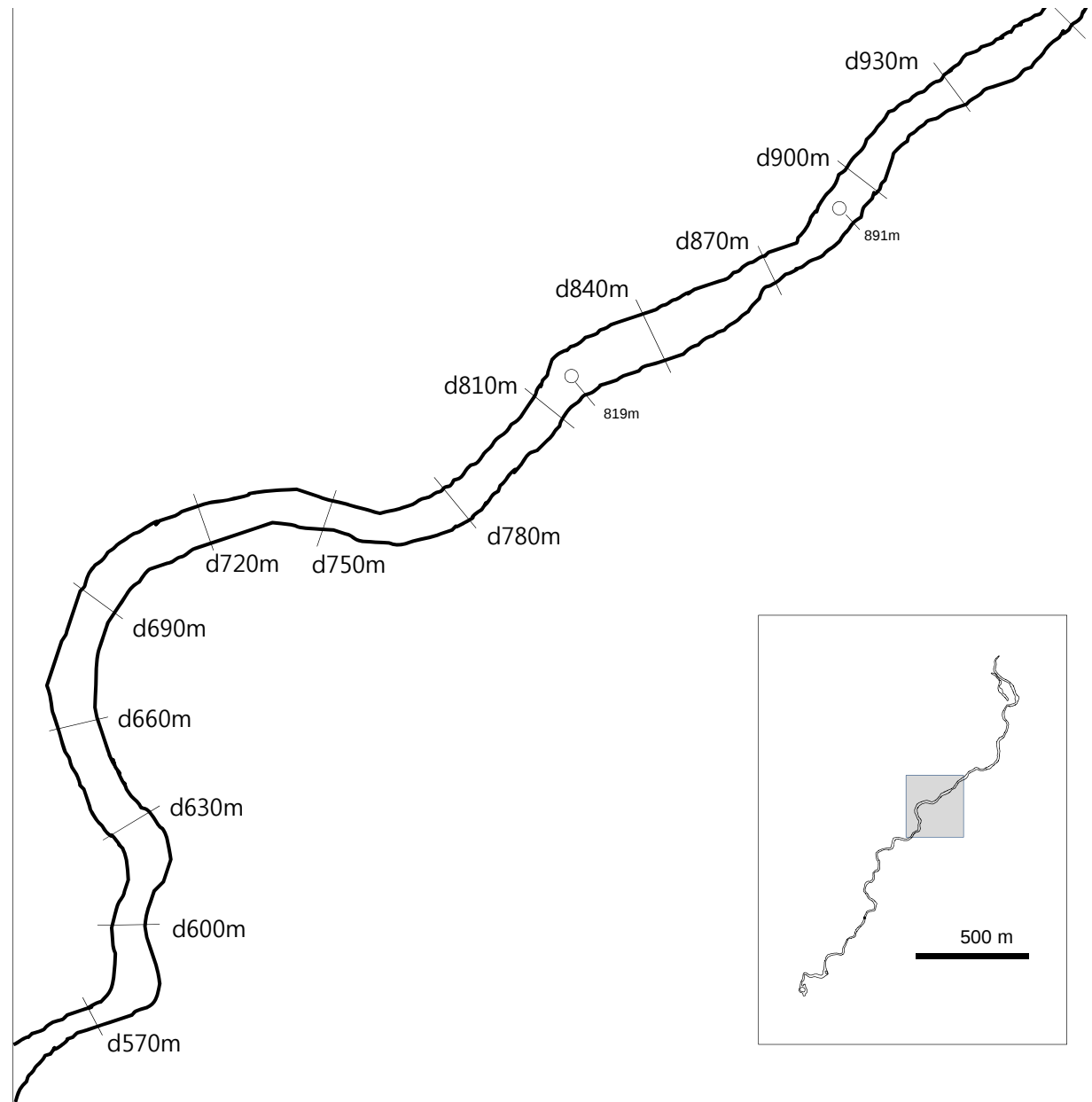




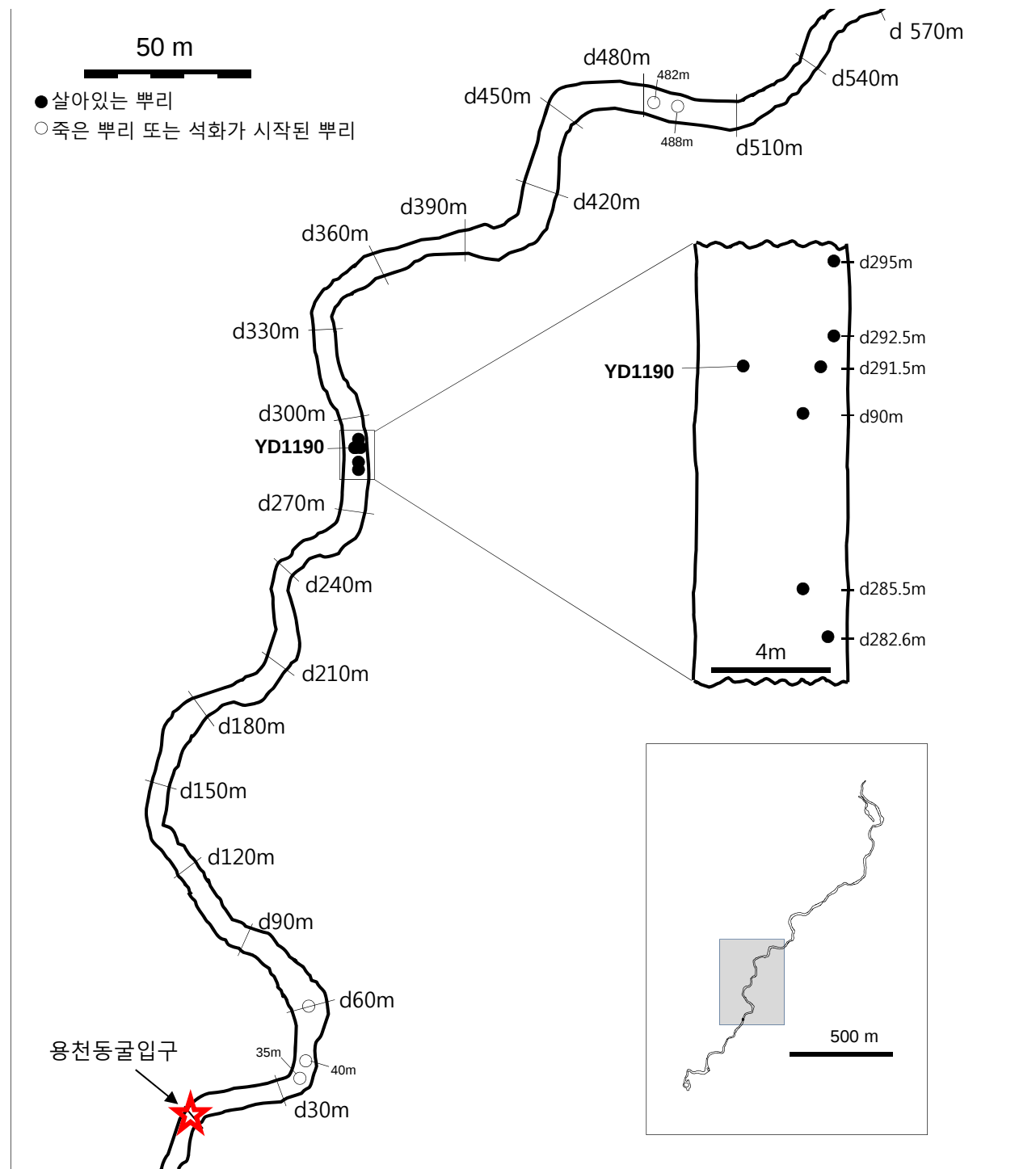
세가지 형태의 동굴 침투 뿌리들. A. 뿌리털이 보이는 살아있는 뿌리. B. 오래전에 죽어서 부패가 진행되는 뿌리, C. 탄산염이 피복되어 석화가 진행중인 뿌리.

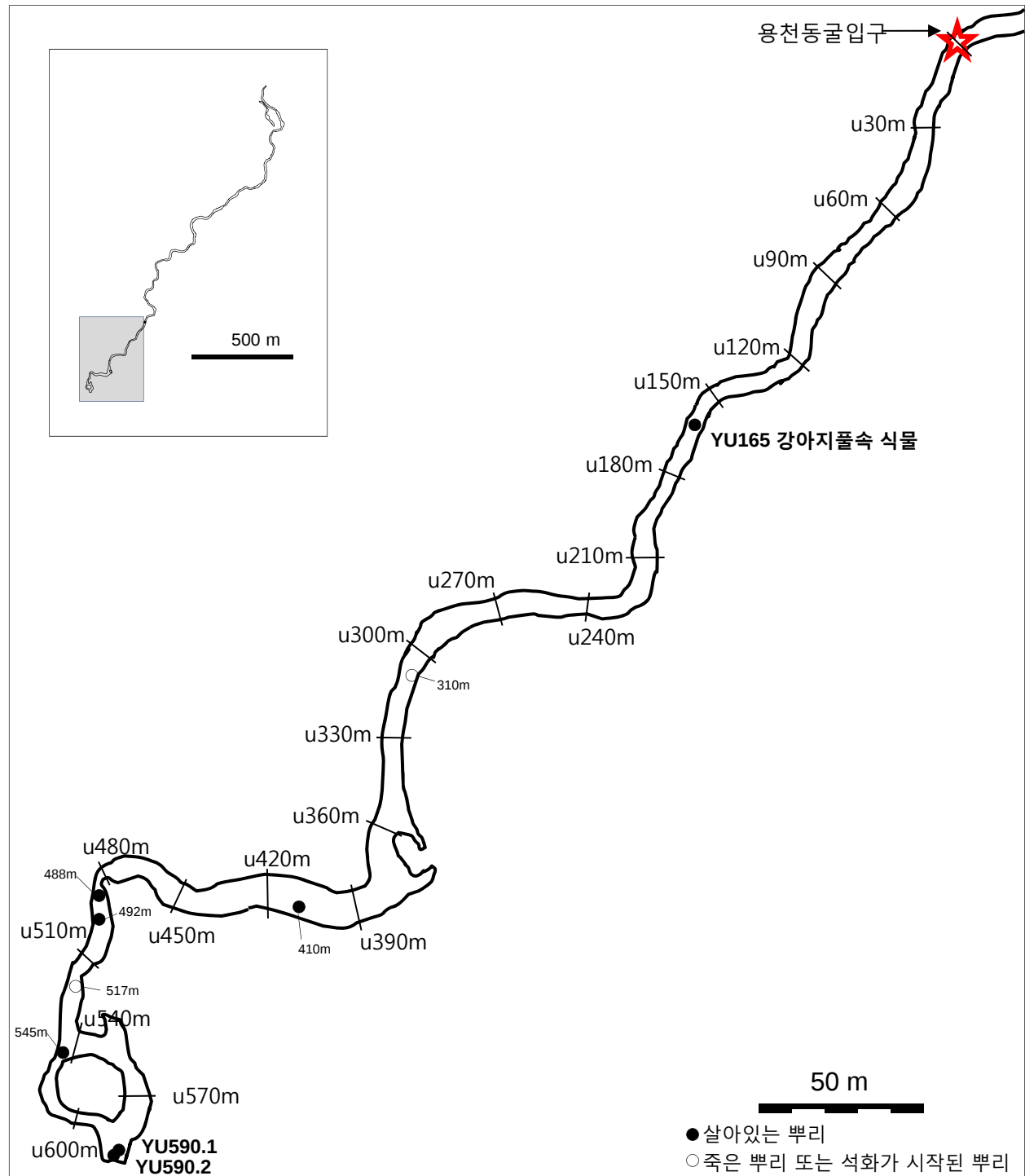


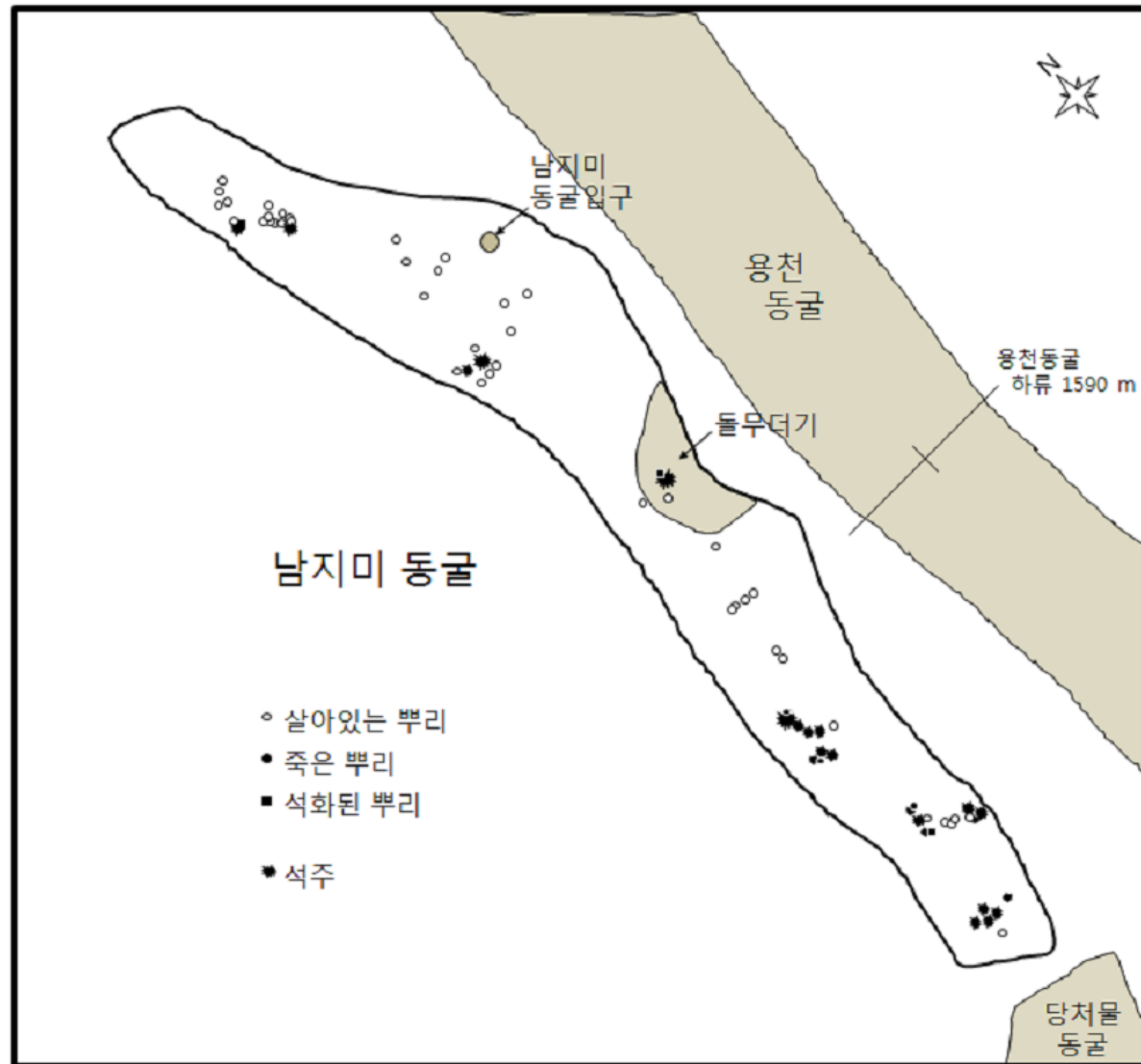




- 50 m
- 살아있는 뿌리
 - 죽은 뿌리 또는 석화가 시작된 뿌리



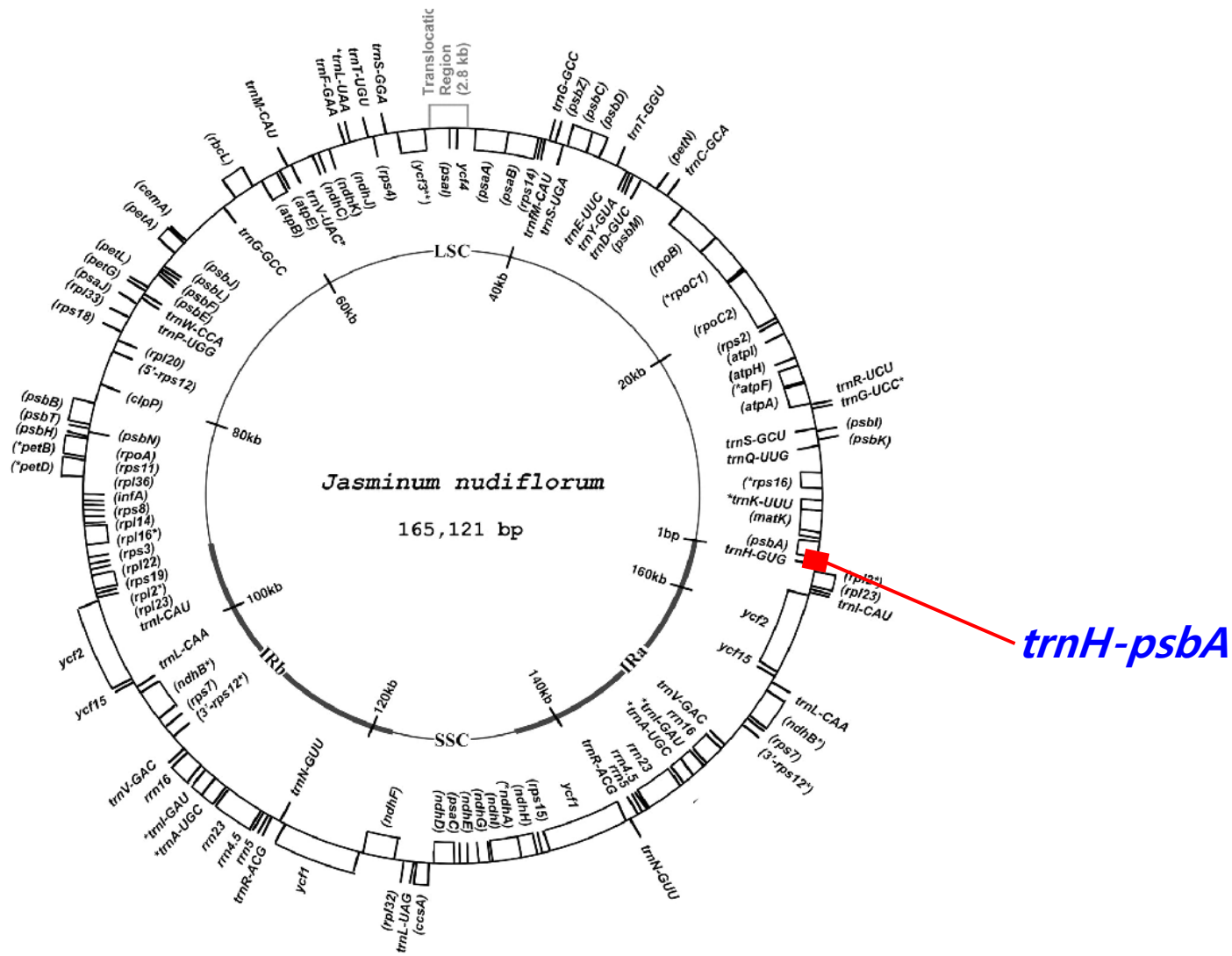




3. DNA 바코드 시스템 확립

- DNA 바코딩 기법은 Hebert (2003)에 의해 최초로 개념이 정립된 이래, “**The Consortium of DNA Barcode of Life (CBOL)**”가 조직되어 DNA 바코딩 프로젝트를 주도하고 있음
- **동물분야:** 미토콘드리아 유전자인 **Cytochrome Oxidase I (*COI*) DNA가 표준으로 채택**되어 있음
- 식물분야: 여러 학자들에 의해 여러 유전자 조합들이 표준화를 위해 제시된 바 있고, 현재 이들의 **표준채택의 타당성에 대한 테스트가** **진행**되고 있는데(Pennisi, 2007),
- Kim et al.의 *matK*, *atpF/H*, *trnH-psbA* 또는 Kim et al.의 *matK*, *atpF/H*, *psbK/I* 조합 중 하나가 제시됨

용천동굴 상부식물들의 DNA 바코드 시스템 확립을 위해
사용된 DNA 구간: 엽록체 trnH~psbA



채취 시료 리스트.

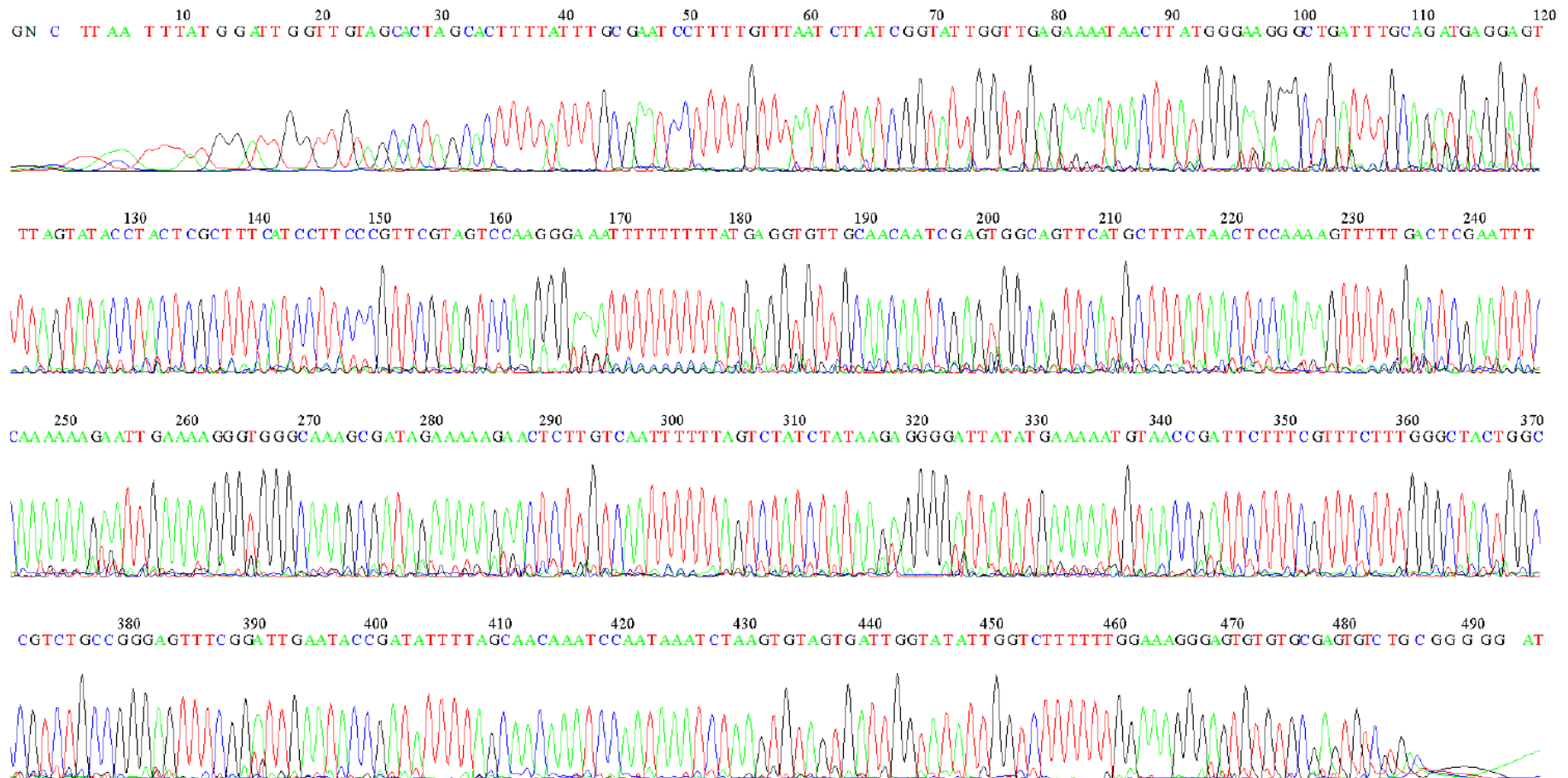
과명	동정	학명	식별기호	확증표본 정보
감나무과 (Ebenaceae)	감나무	<i>Diospyros kaki</i> Thunb.	Dio.kak	<i>S. Kim 2010184, SWU</i>
국화과 (Compositae)	제비쑥	<i>Artemisia japonica</i> Thunb.	Art.jap	<i>S. Kim 2010173, SWU</i>
국화과 (Compositae)	쑥	<i>Artemisia princeps</i> Pamp.	Art.pri	<i>S. Kim 2010174, SWU</i>
국화과 (Compositae)	영경취	<i>Cirsium japonicum</i> var. <i>maackii</i> (Maxim.) Matsum.	Cir.jap.m	<i>S. Kim 2010181, SWU</i>
국화과 (Compositae)	망초	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	Con.can	<i>S. Kim 2010182, SWU</i>
국화과 (Compositae)	산국	<i>Dendranthema boreale</i> (Makino) Ling ex Kitam.	Den.bor	<i>S. Kim 2010183, SWU</i>
꼭두서니과 (Rubiaceae)	계요등	<i>Paederia scandens</i> (Lour.) Merr.	Pae.sca	<i>S. Kim 2010211, SWU</i>
꼭두서니과 (Rubiaceae)	갈퀴꼭두서니	<i>Rubia cordifolia</i> var. <i>pratensis</i> Maxim.	Rub.cor.p	<i>S. Kim 2010222, SWU</i>
너도밤나무과 (Fagaceae)	구실잣밤나무	<i>Castanopsis sieboldii</i> (Makino) Hatus.	Cas.sie	<i>S. Kim 2010176, SWU</i>
노박덩굴과 (Celastraceae)	사철나무	<i>Euonymus japonicus</i> Thunb.	Euo.jap	<i>S. Kim 2010187, SWU</i>
녹나무과 (Lauraceae)	까마귀쭈나무	<i>Litsea japonica</i> (Thunb.) Juss.	Lit.jap	<i>S. Kim 2010202, SWU</i>
녹나무과 (Lauraceae)			ap*	<i>S. Kim 2010203, SWU</i>
느릅나무과 (Ulmaceae)			sin	<i>S. Kim 2010178, SWU</i>
느릅나무과 (Ulmaceae)			sin*	<i>S. Kim 2010179, SWU</i>
돈나무과 (Pittosporaceae)			ob	<i>S. Kim 2010215, SWU</i>
두릅나무과 (Araliaceae)			jap	<i>S. Kim 2010189, SWU</i>
두릅나무과 (Araliaceae)			rho	<i>S. Kim 2010193, SWU</i>
두릅나무과 (Araliaceae)			d.rho*	<i>S. Kim 2010194, SWU</i>
마디풀과 (Polygonaceae)	참소리쟁이	<i>Rumex crispus</i> L.	Rum.cri	<i>S. Kim 2010226, SWU</i>
메꽃과 (Convolvulaceae)	갯메꽃	<i>Calystegia soldanella</i> (L.) Roem. & Schultb.	Cal.sol	<i>S. Kim 2010175, SWU</i>
명아주과 (Chenopodiaceae)	명아주	<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i> Makino	Che.alb.c	<i>S. Kim 2010180, SWU</i>
무환자나무과 (Sapindaceae)	모감주나무	<i>Koelreuteria panidculata</i> Laxm.	Koe.pan*	<i>S. Kim 2010196, SWU</i>
물푸레나무과 (Oleaceae)	쥐똥나무	<i>Ligustrum obtusifolium</i> Siebold & Zucc.	Lig.obt.1	<i>S. Kim 2010198, SWU</i>
물푸레나무과 (Oleaceae)	쥐똥나무	<i>Ligustrum obtusifolium</i> Siebold & Zucc.	Lig.obt.2	<i>S. Kim 2010199, SWU</i>
물푸레나무과 (Oleaceae)	쥐똥나무	<i>Ligustrum obtusifolium</i> Siebold & Zucc.	Lig.obt.3	<i>S. Kim 2010200, SWU</i>
물푸레나무과 (Oleaceae)	쥐똥나무	<i>Ligustrum obtusifolium</i> Siebold & Zucc.	Lig.obt.4	<i>S. Kim 2010201, SWU</i>
벼과 (Poaceae)	억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> (Andersson) Rendle	Mis.sin.p.1	<i>S. Kim 2010205, SWU</i>
벼과 (Poaceae)	억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> (Andersson) Rendle	Mis.sin.p.2	<i>S. Kim 2010206, SWU</i>
벼과 (Poaceae)	억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> (Andersson) Rendle	Mis.sin.p.3	<i>S. Kim 2010207, SWU</i>
벼과 (Poaceae)	벼과	Poaceae species 1	Poaceae.1	<i>S. Kim 2010216, SWU</i>

정밀 식생조사에 기반한
총 275 샘플 시료 확보

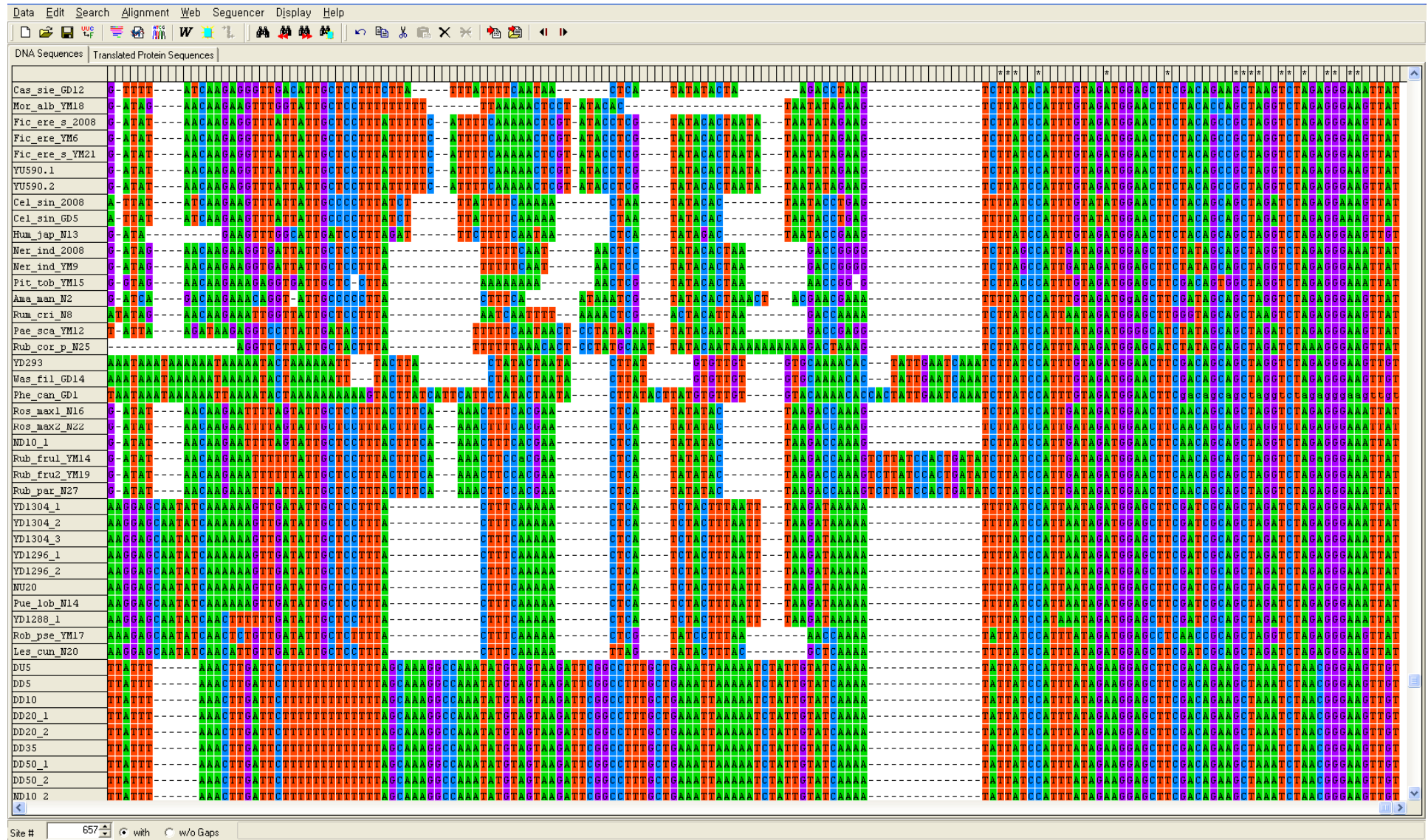
An example of DNA sequencing for a cave root sample

File: 411-atpFH-M13R-pUC.ab1 Run Ended: 2011/1/14 2:40:31 Signal G:7100 A:8674 C:6302 T:8865
Sample: 411-atpFH_M13R-pUC Lane: 37 Base spacing: 14.575738 943 bases in 11535 scans Page 1 of 2

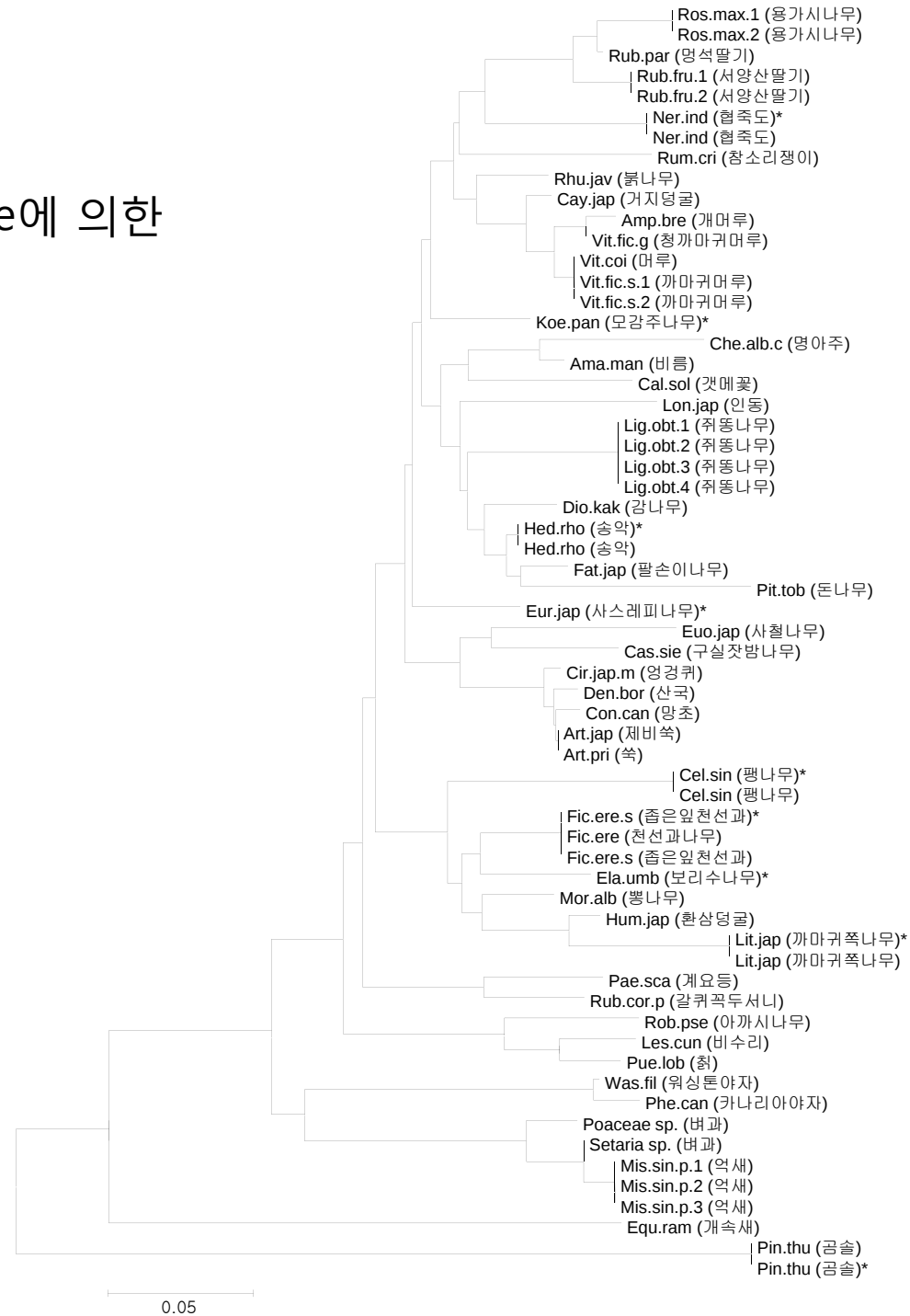
Advancing through Genomics



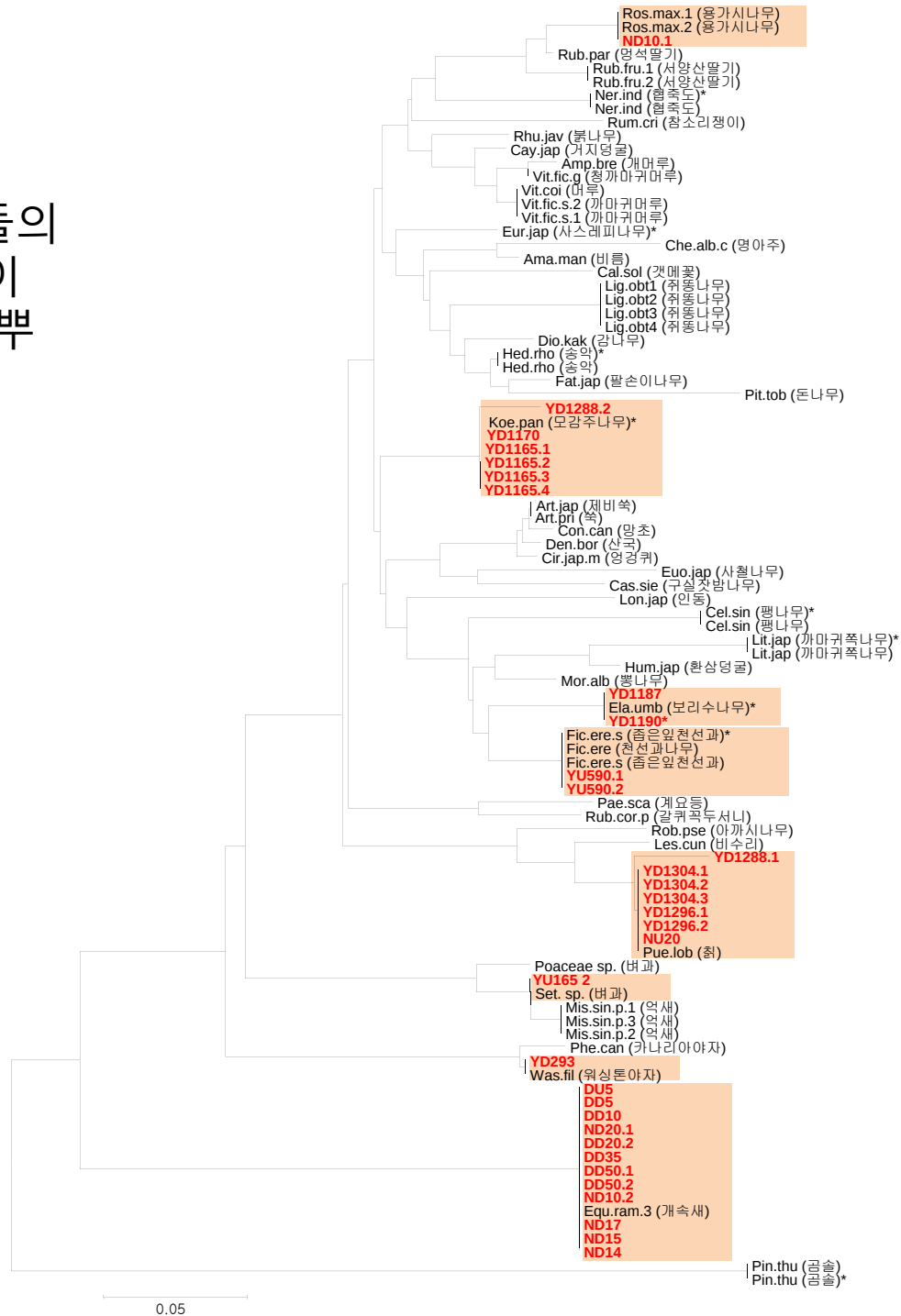
An example of sequence alignment



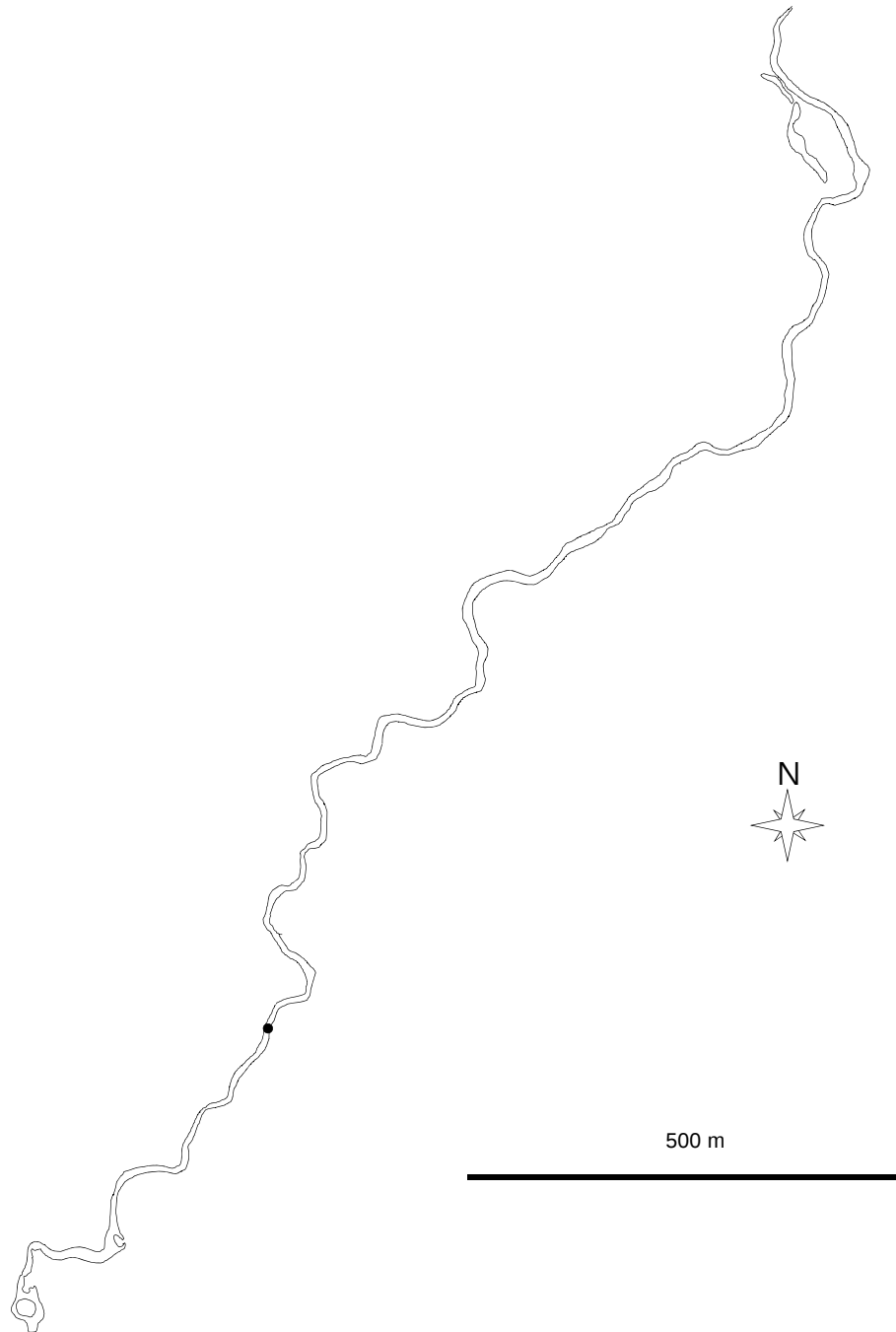
Neighbor-Joining tree에 의한 동굴 상부 식물들의 염기서열 구분



완성된 동굴 상부 식물들의
DNA 바코드 시스템을 이
용하여 31개 동굴침투 뿌
리에 대한 동정 완료.



레이저에 의한 동굴의 정밀측량이 이루어져 있어 뿌리가 있는 부위의 지상부에 대한 GPS 좌표를 정확히 알 수 있다.

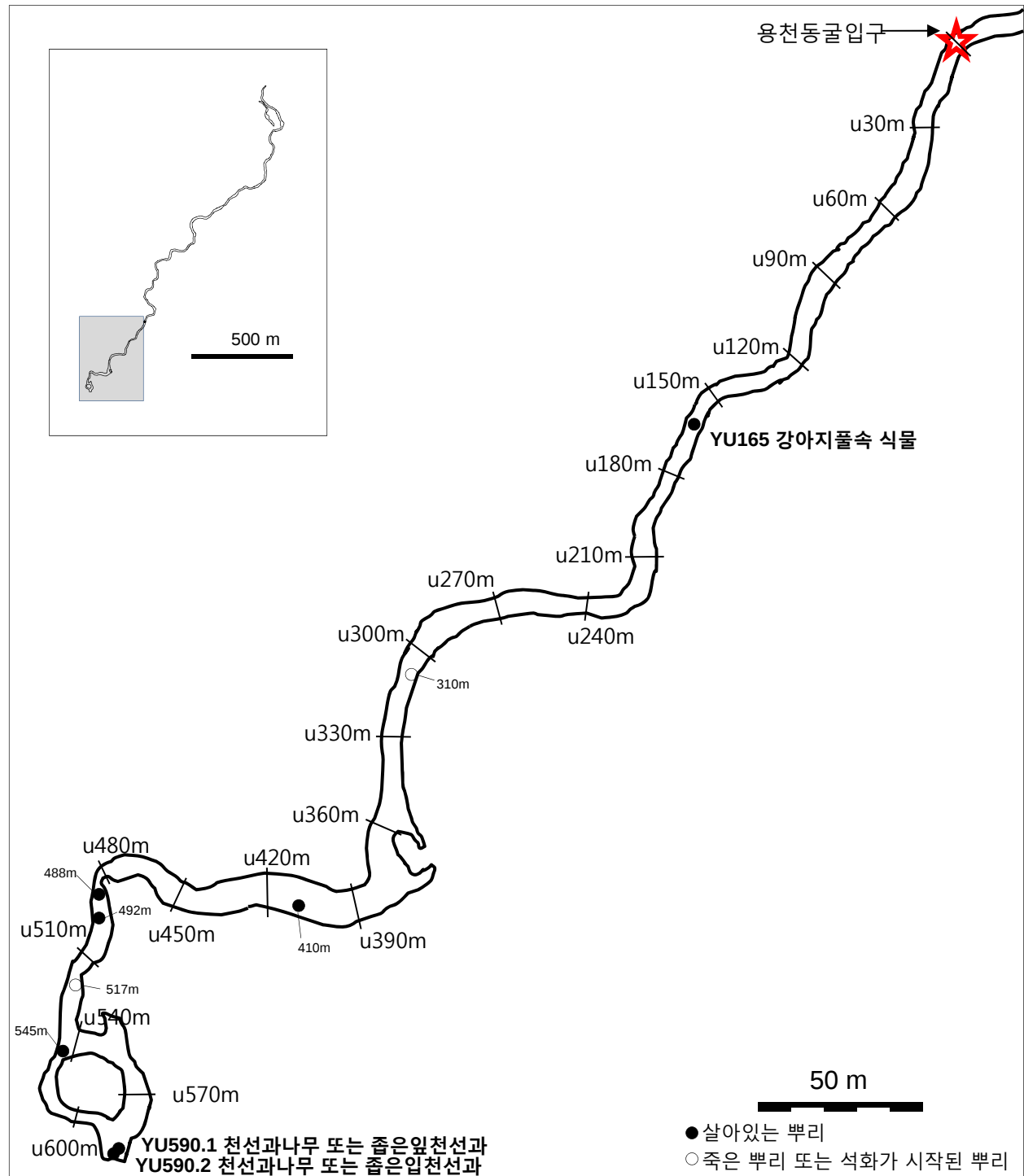


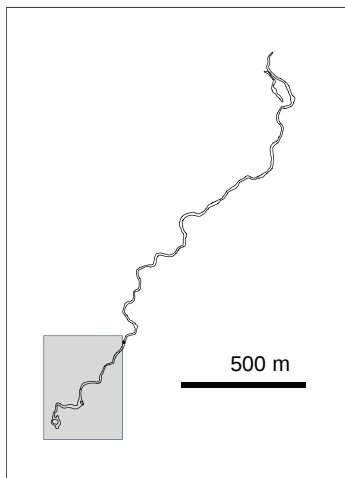
❌ **GPS**
(Global Positioning System): 지구 궤도를 도는 다수의 인공위성이 발사하는 신호를 잡아 정확한 위치를 도출해 내는 장치

레이저에 의한 동굴의 정밀측량이 이루어져 있어 뿌리가 있는 부위의 지상부에 대한 GPS 좌표를 정확히 알 수 있다.



❌ GPS
(Global Positioning System): 지구 궤도를 도는 다수의 인공위성이 발사하는 신호를 잡아 정확한 위치를 도출해 내는 장치



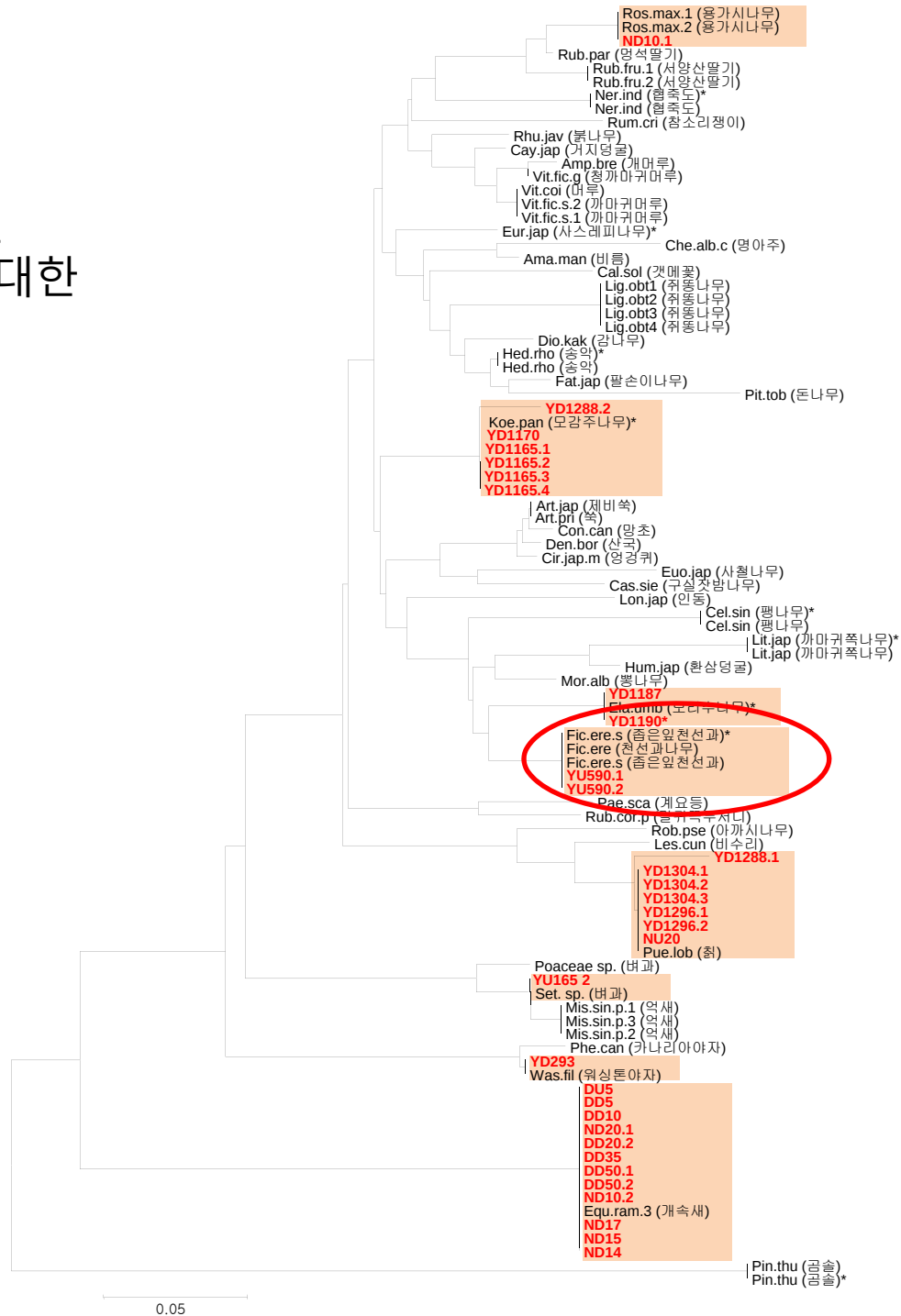








DNA 염기서열이 확보된 31개 동굴침투 뿌리에 대한 동정

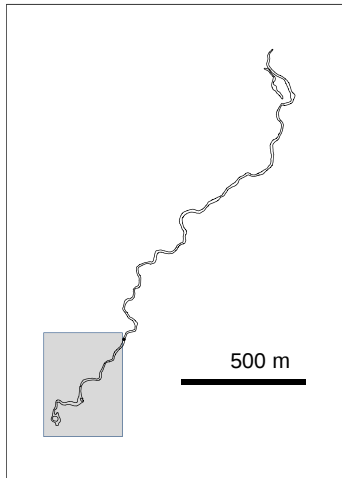


천선과나무



좁은잎천선과



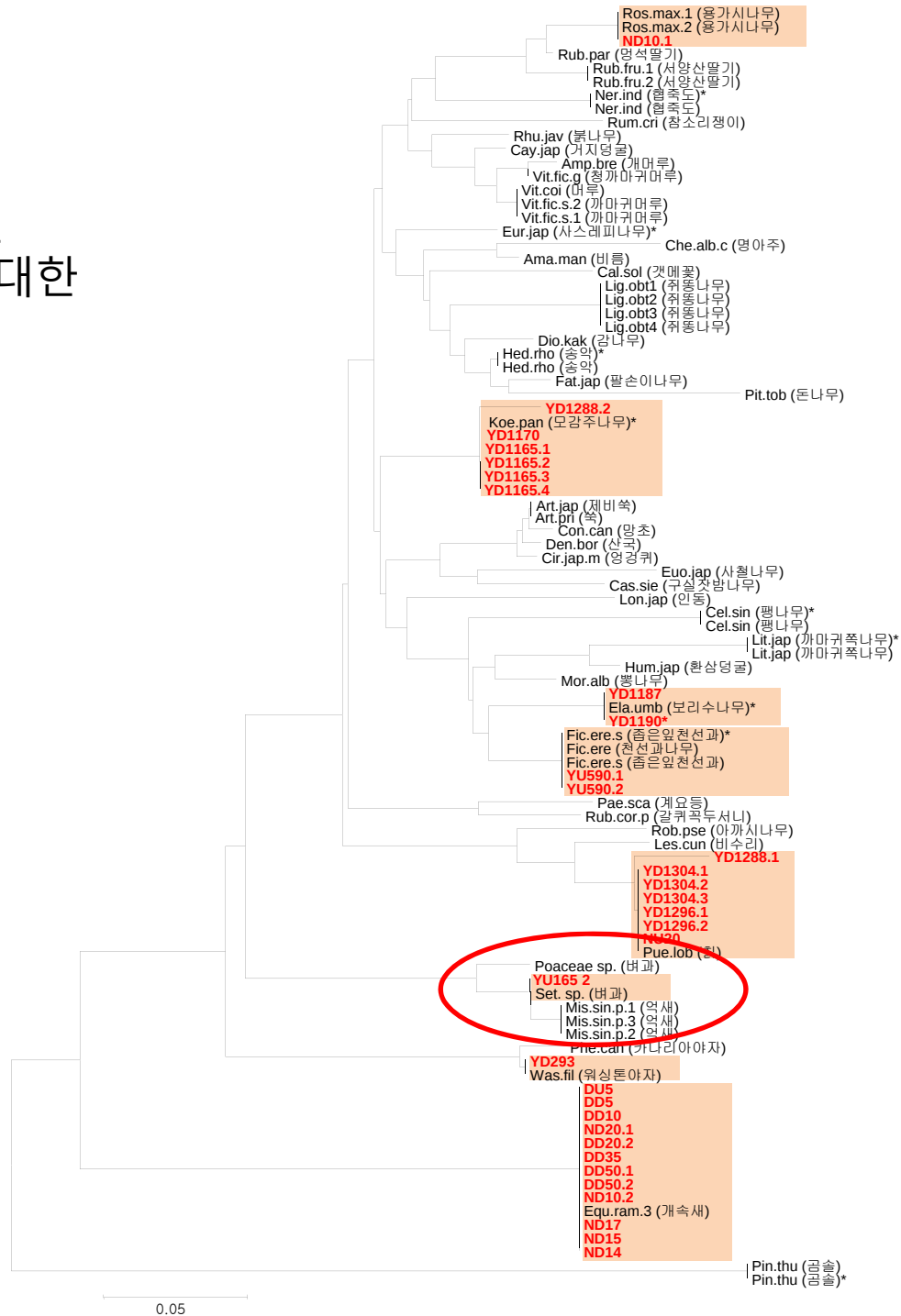


길가의 가로수 밑이
라 가로수로 심어져
있는 협죽도 뿌리일
것일 확신하였는데...





DNA 염기서열이 확보된 31개 동굴침투 뿌리에 대한 동정

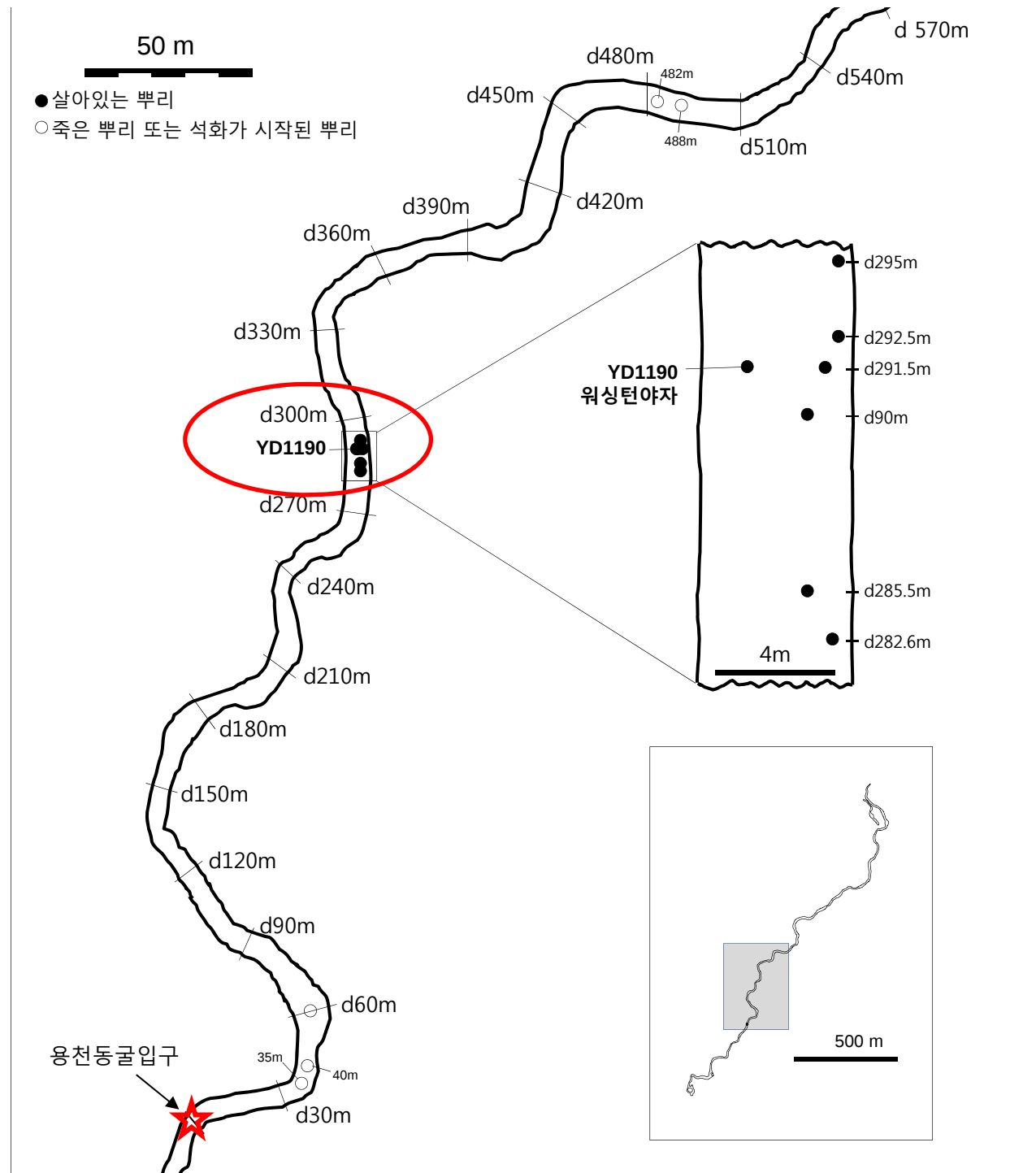


Setaria sp. 강아지풀속 식물

결과는 초본성 식물인 강
아지풀 종류의 뿌리였음.



입구로부터 하류
280m 지점에서 매우
굵은 뿌리가 동굴로
침투함을 확인함.

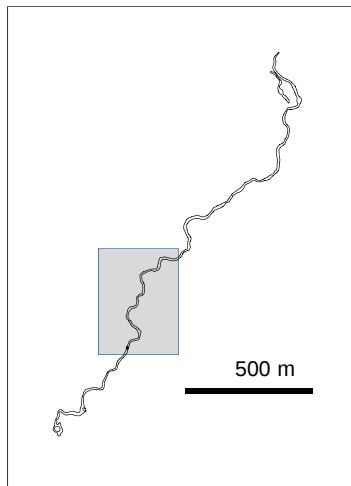
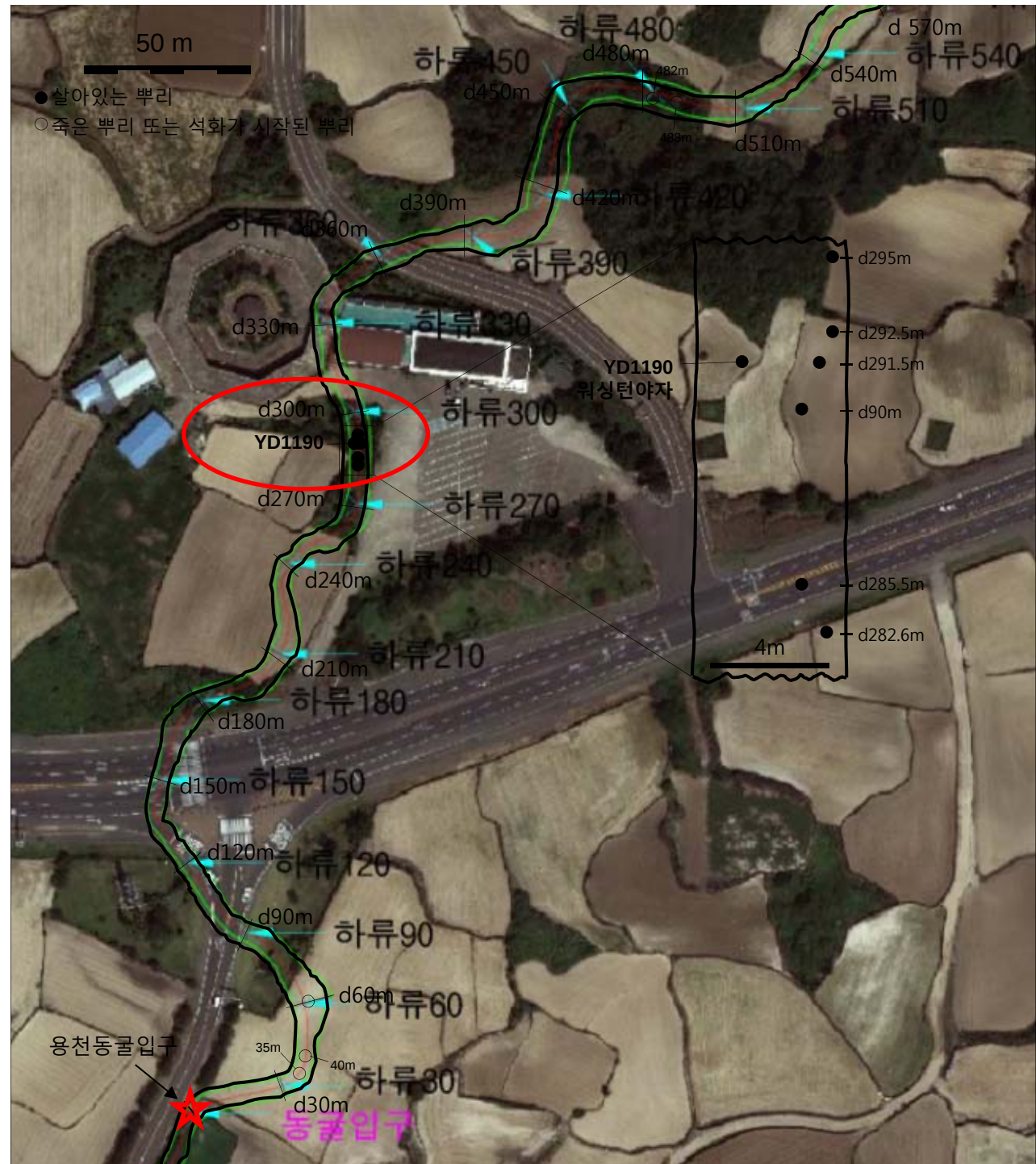






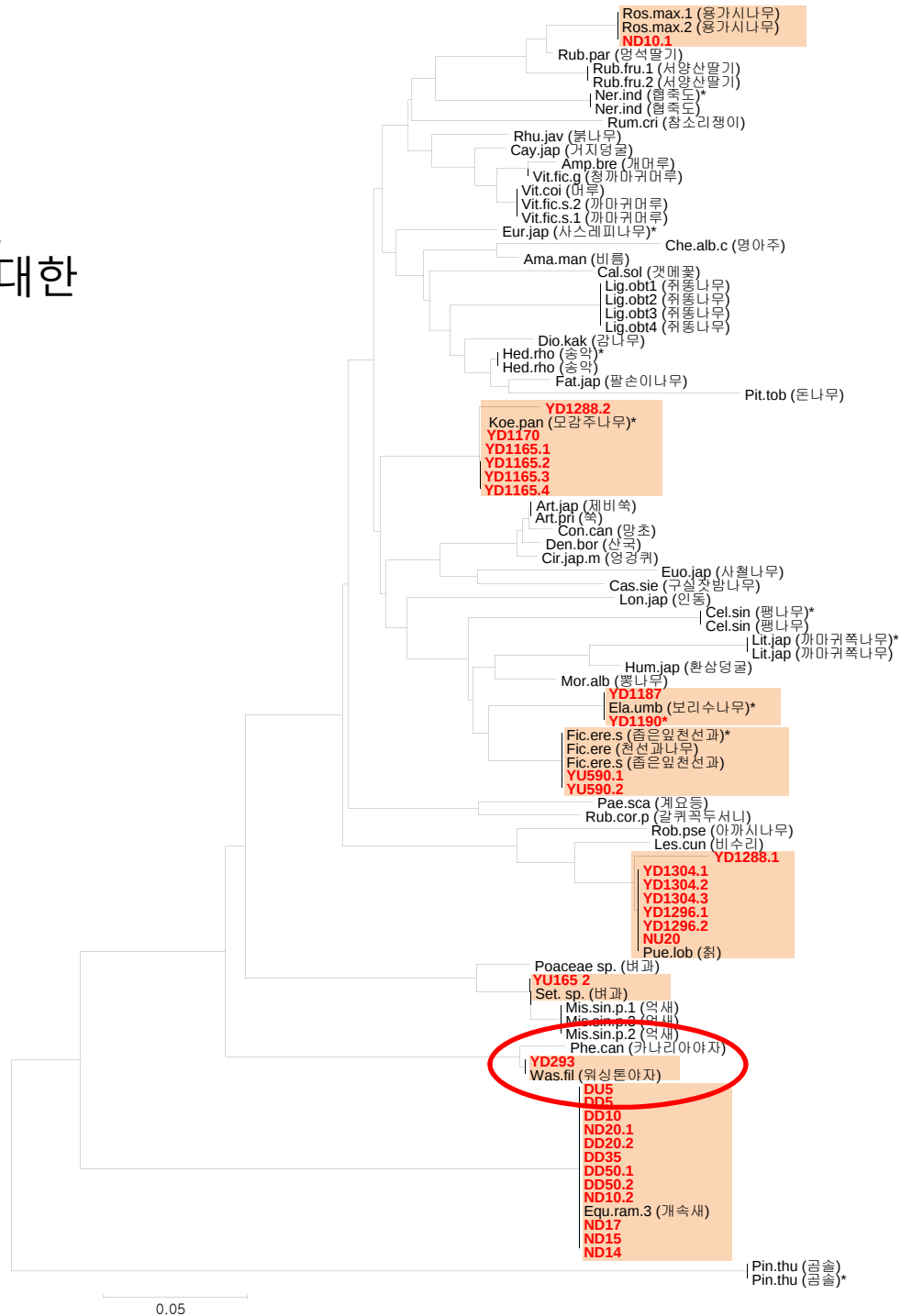








DNA 염기서열이 확보된 31개 동굴침투 뿌리에 대한 동정



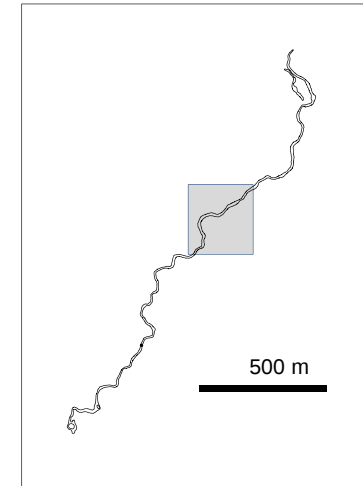
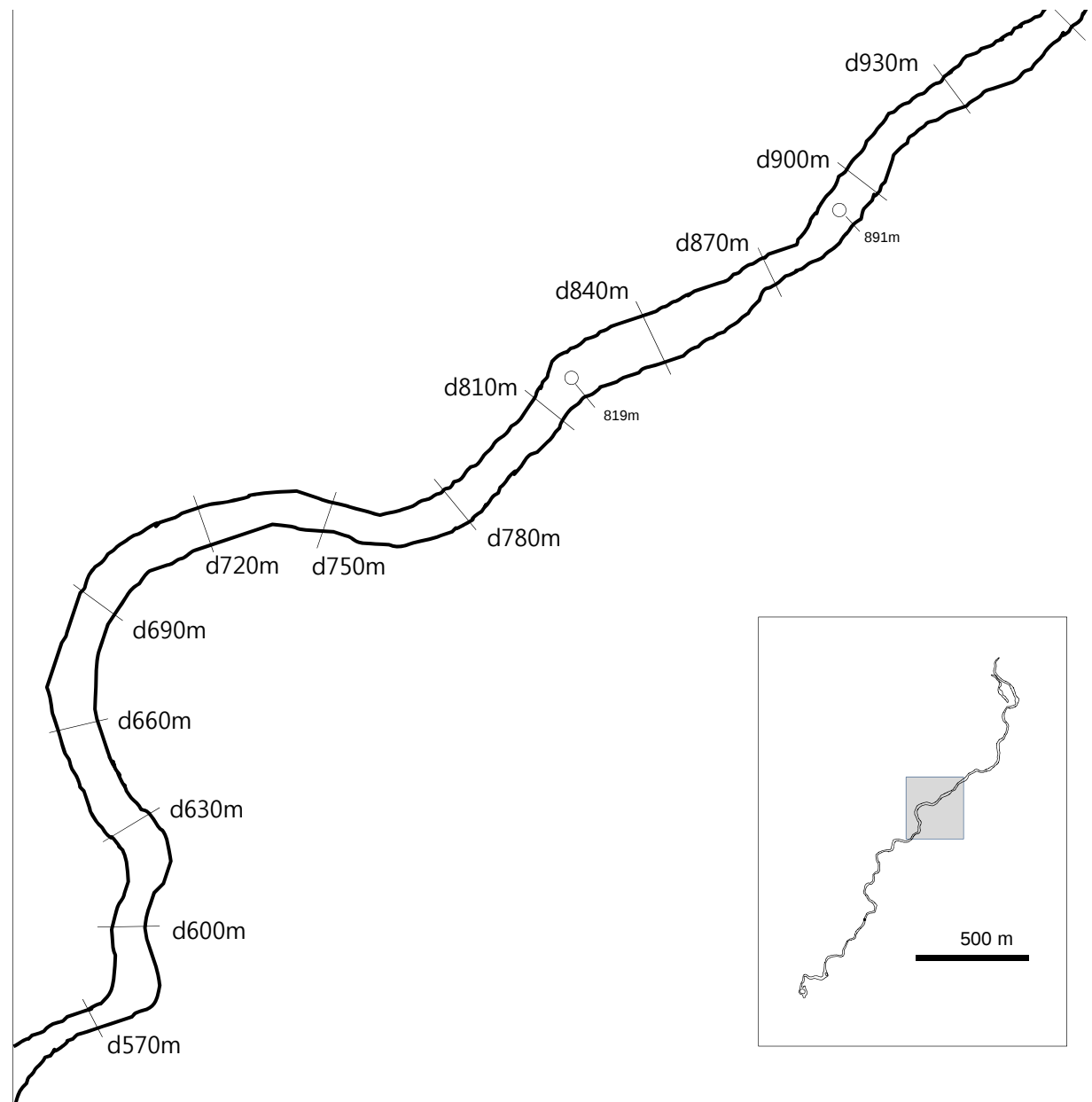
워싱턴 야자



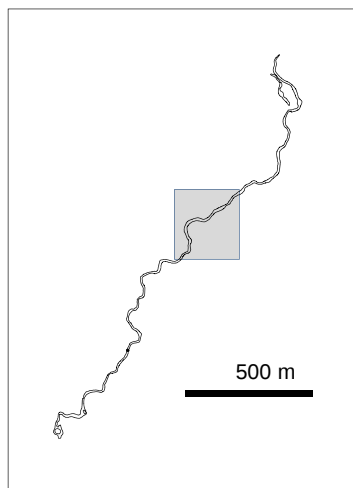
카나리아야자

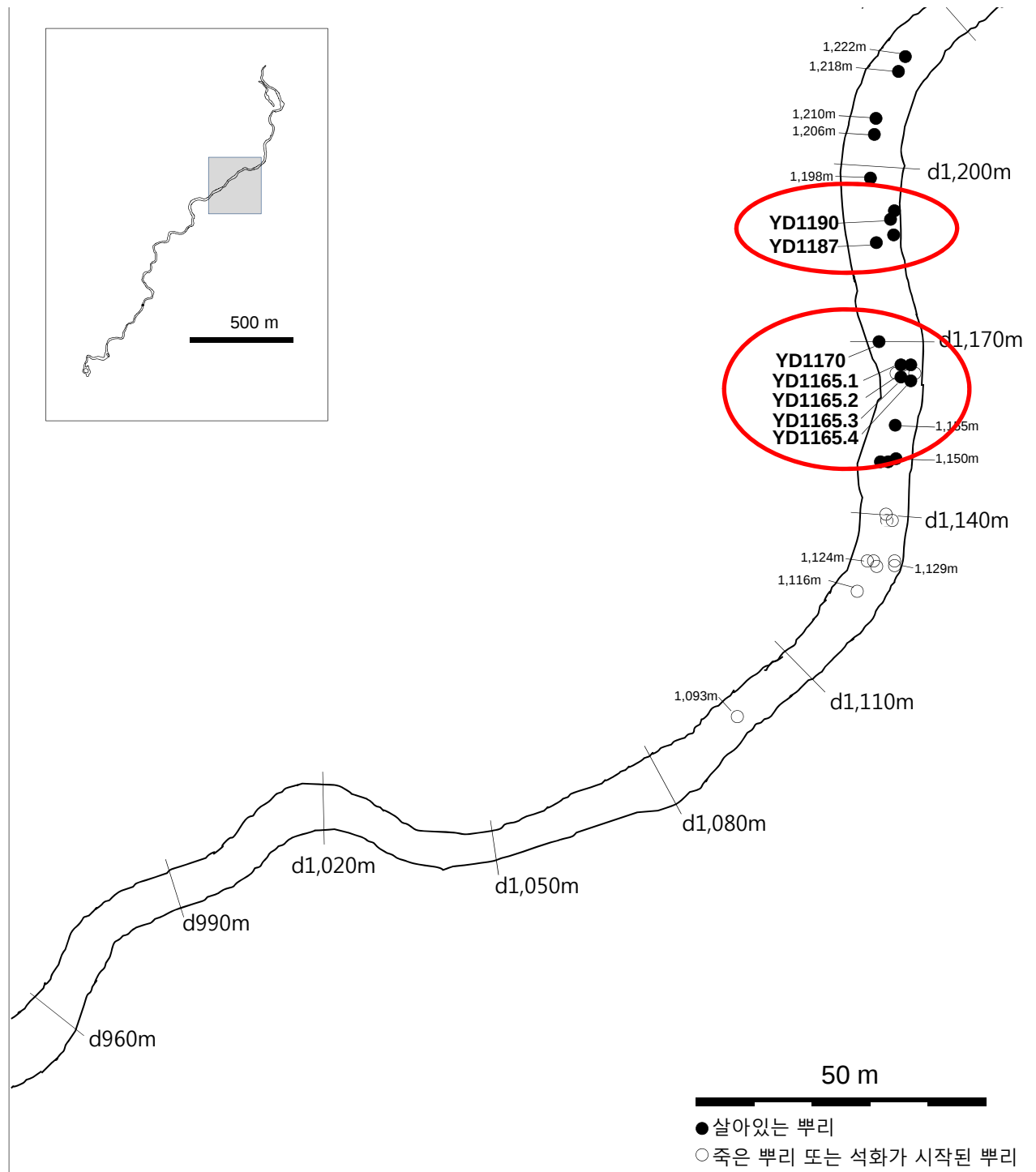
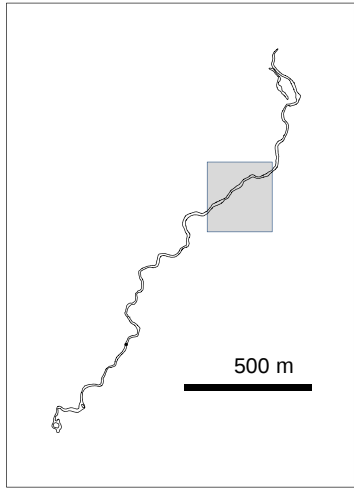
소철

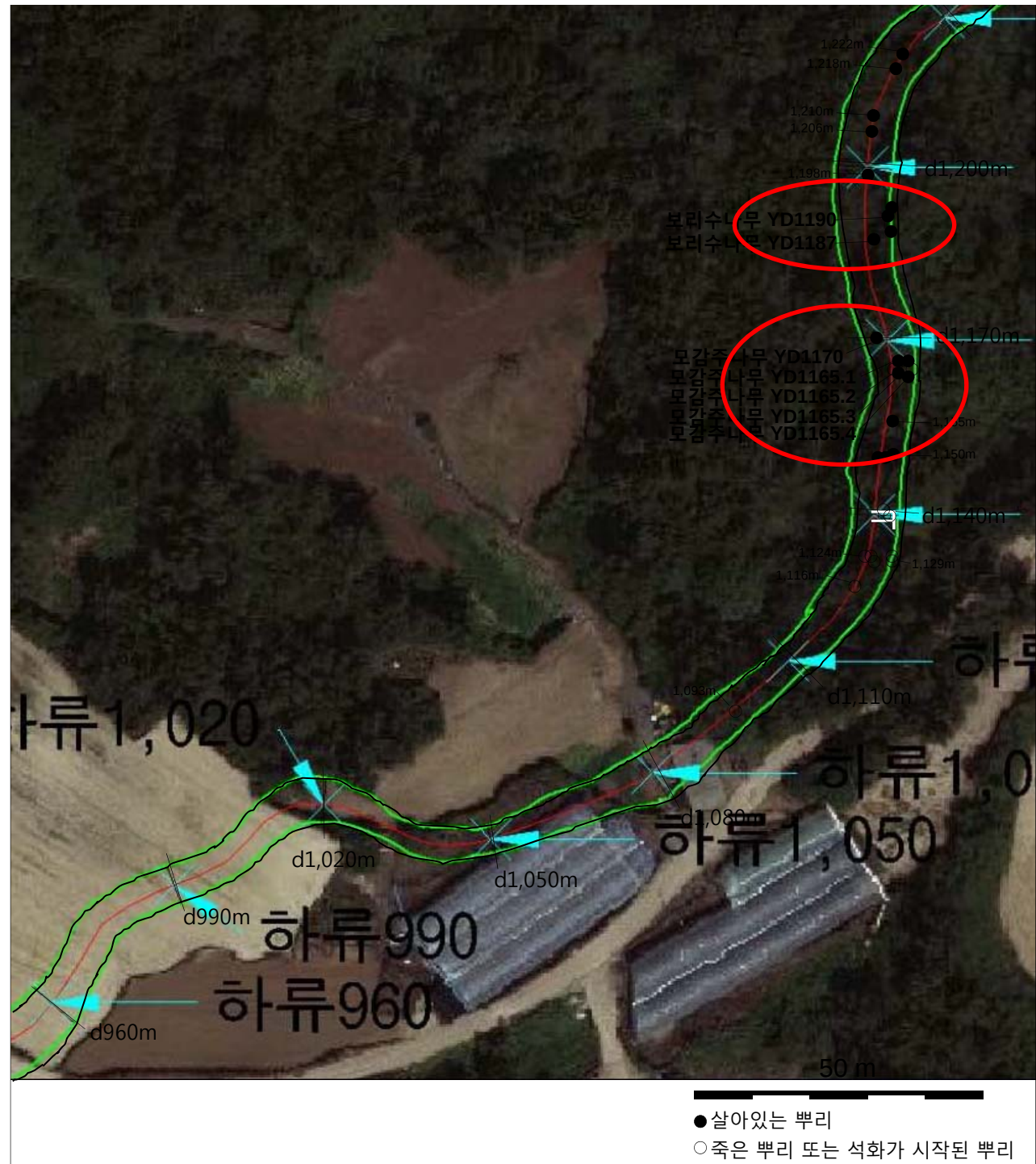
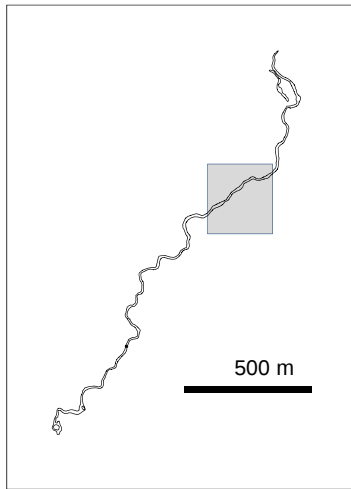
침투한 굵은 뿌리는 기념품센터 정원에 식재한 워싱턴 야자로 확인됨.



- 50 m
- 살아있는 뿌리
 - 죽은 뿌리 또는 석화가 시작된 뿌리

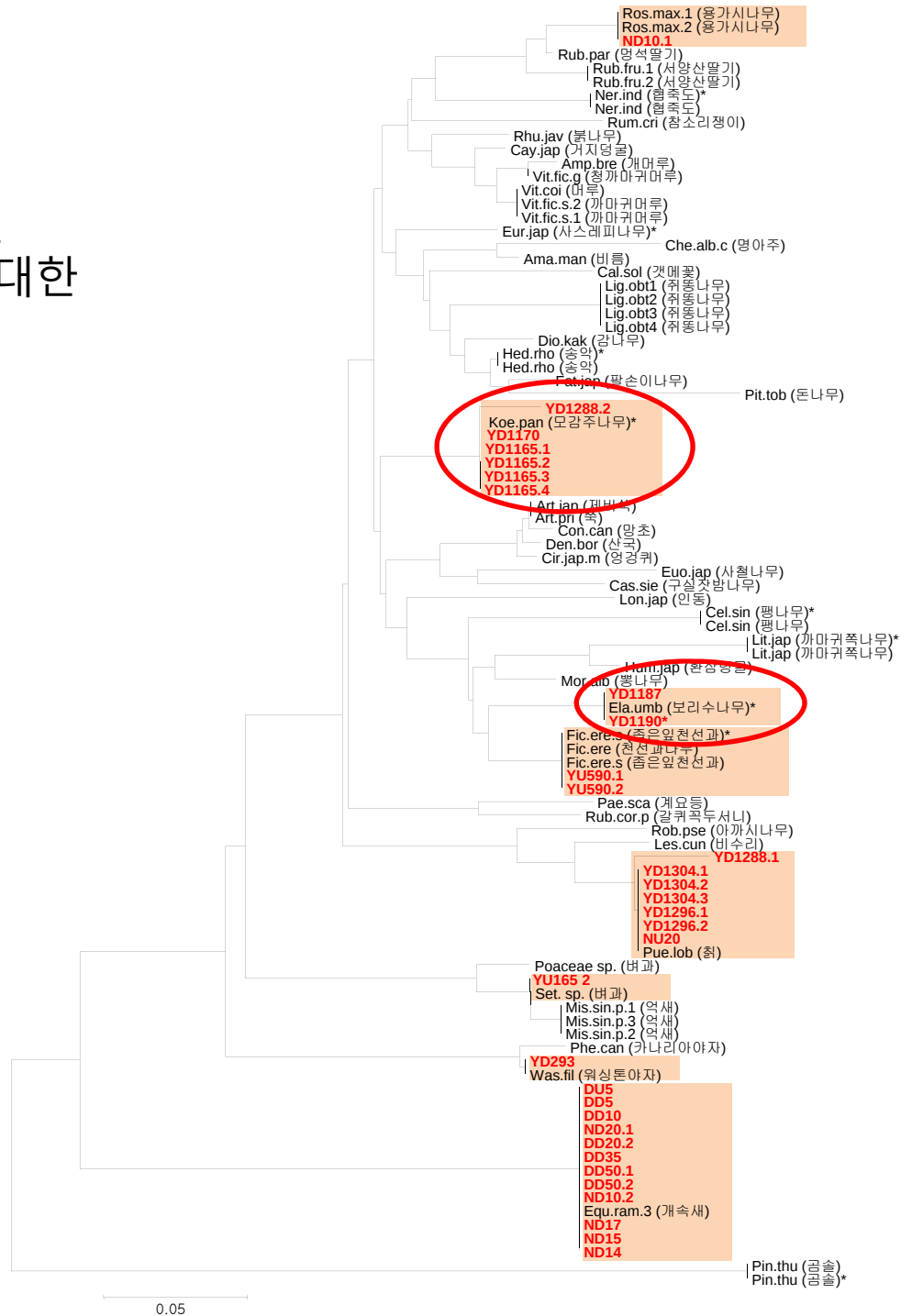








DNA 염기서열이 확보된 31개 동굴침투 뿌리에 대한 동정

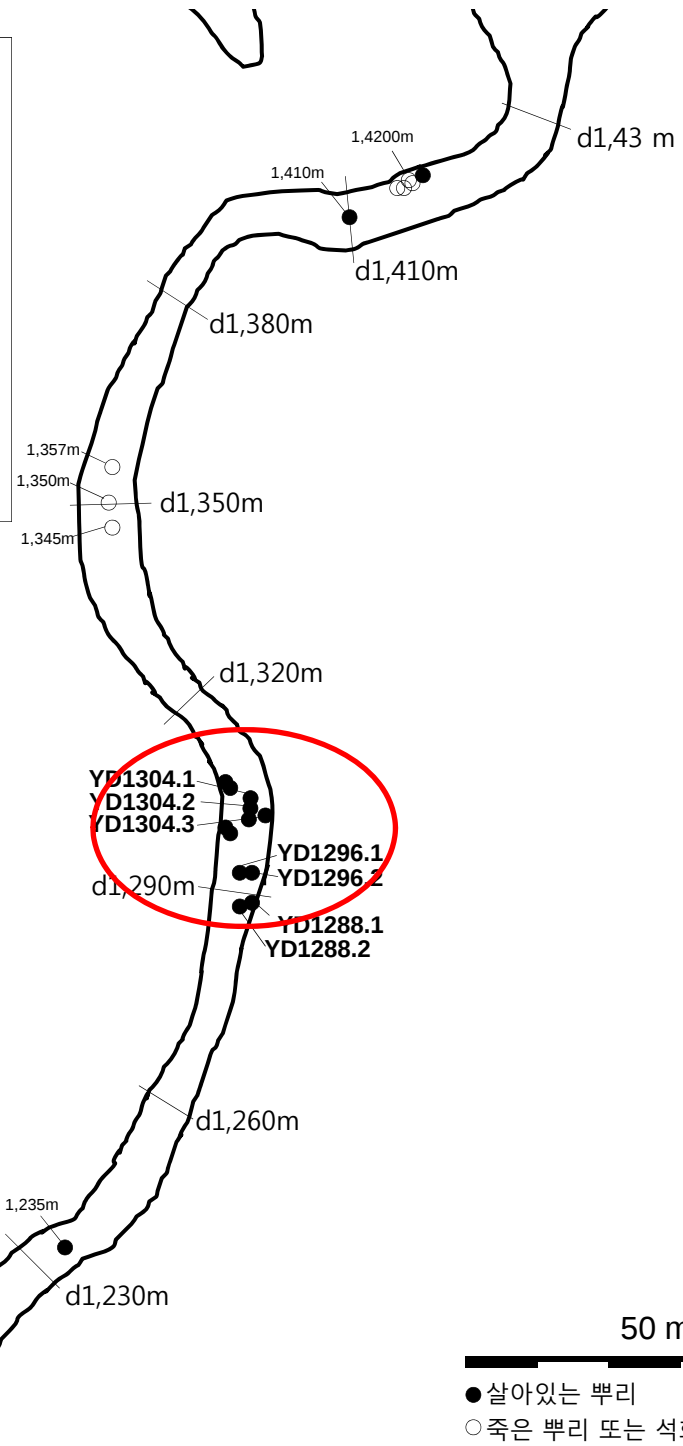
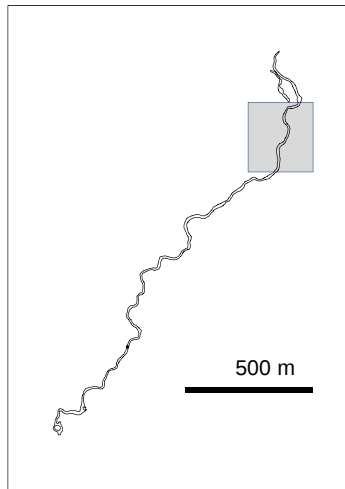


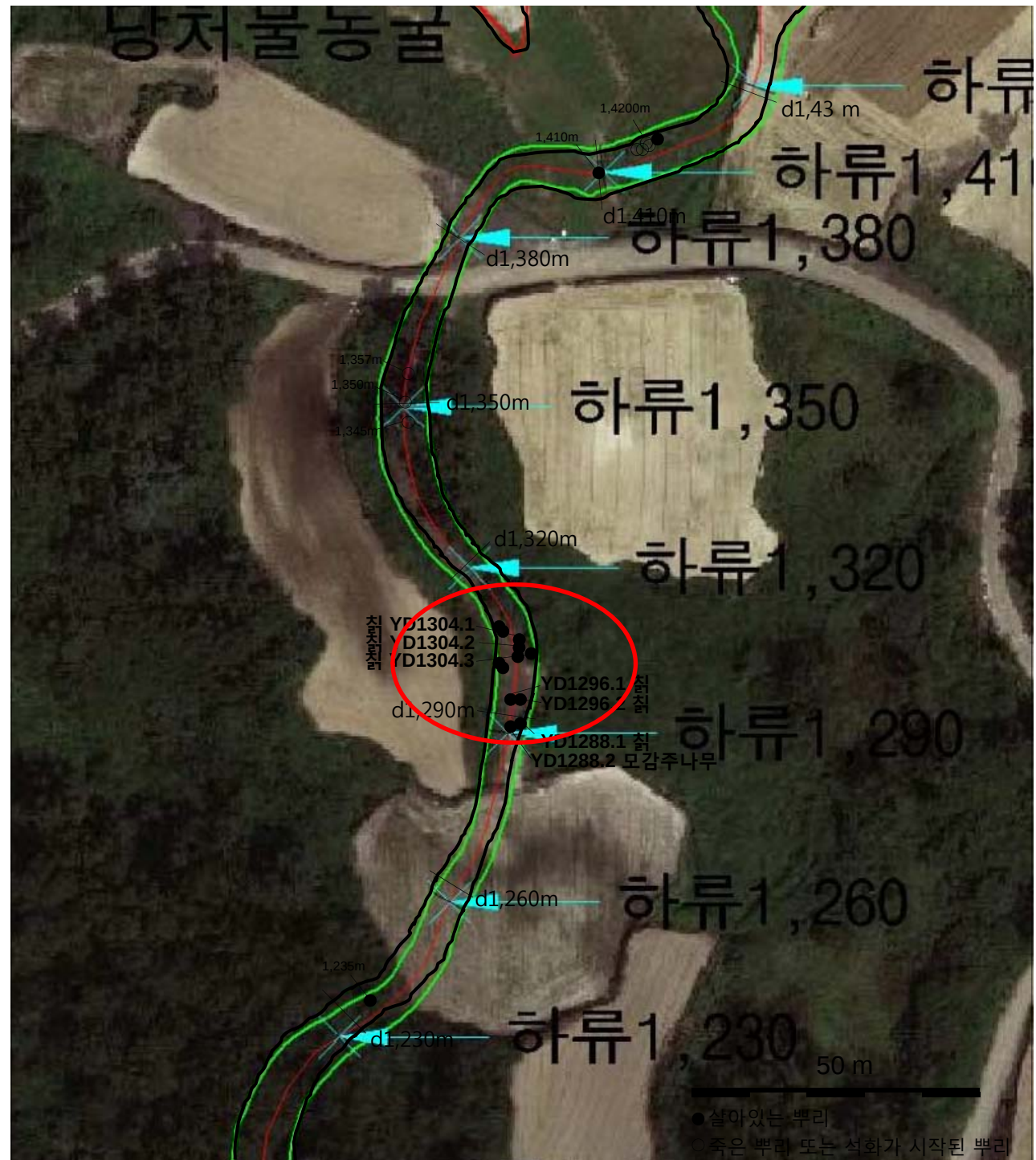
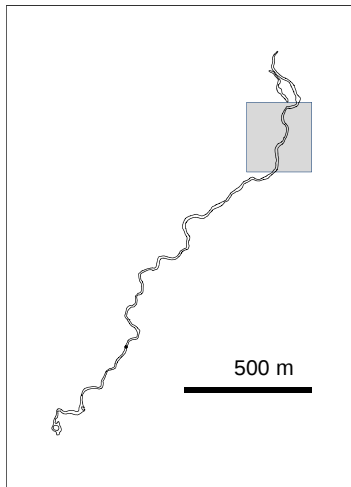
보리수나무



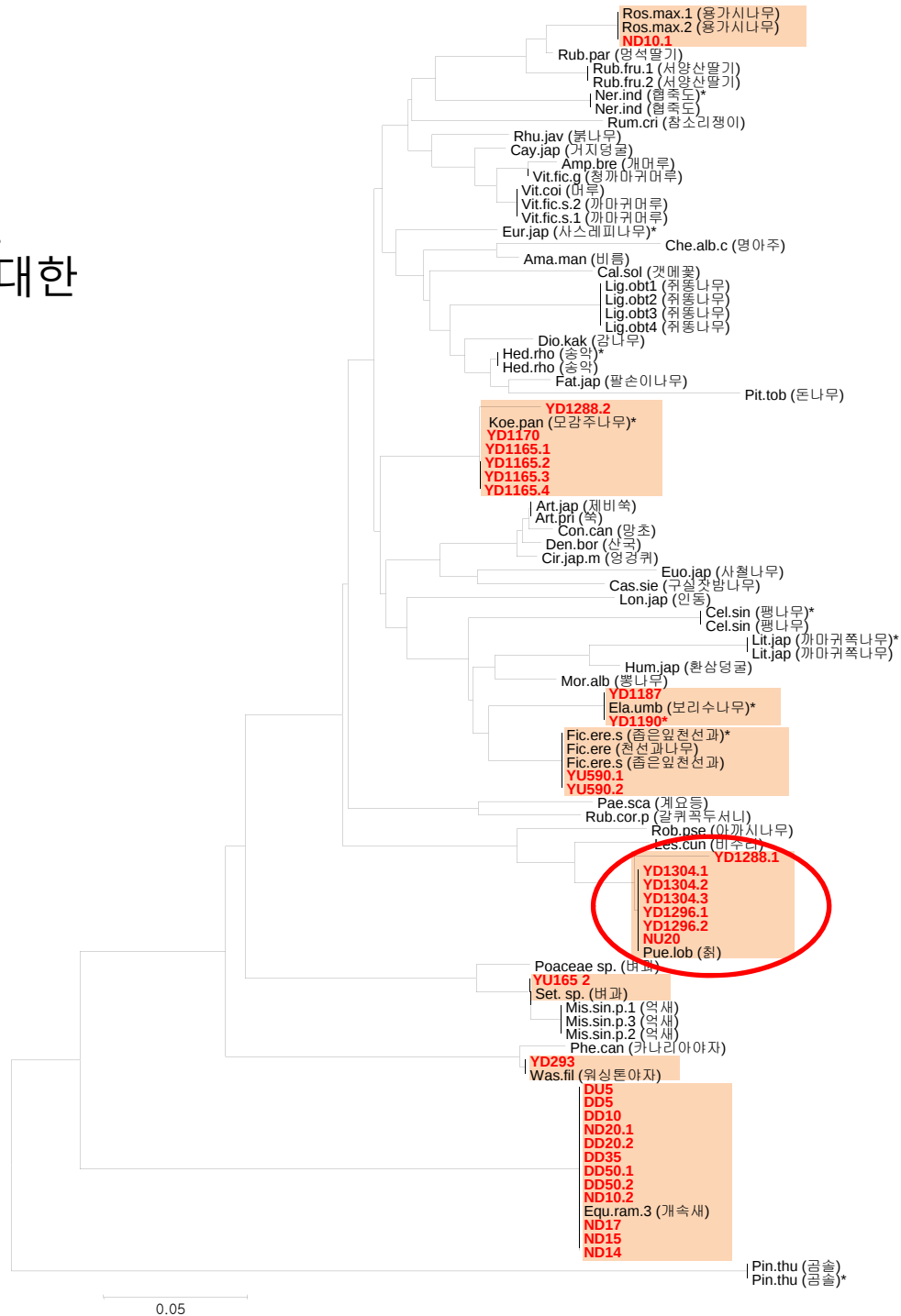
모감주나무



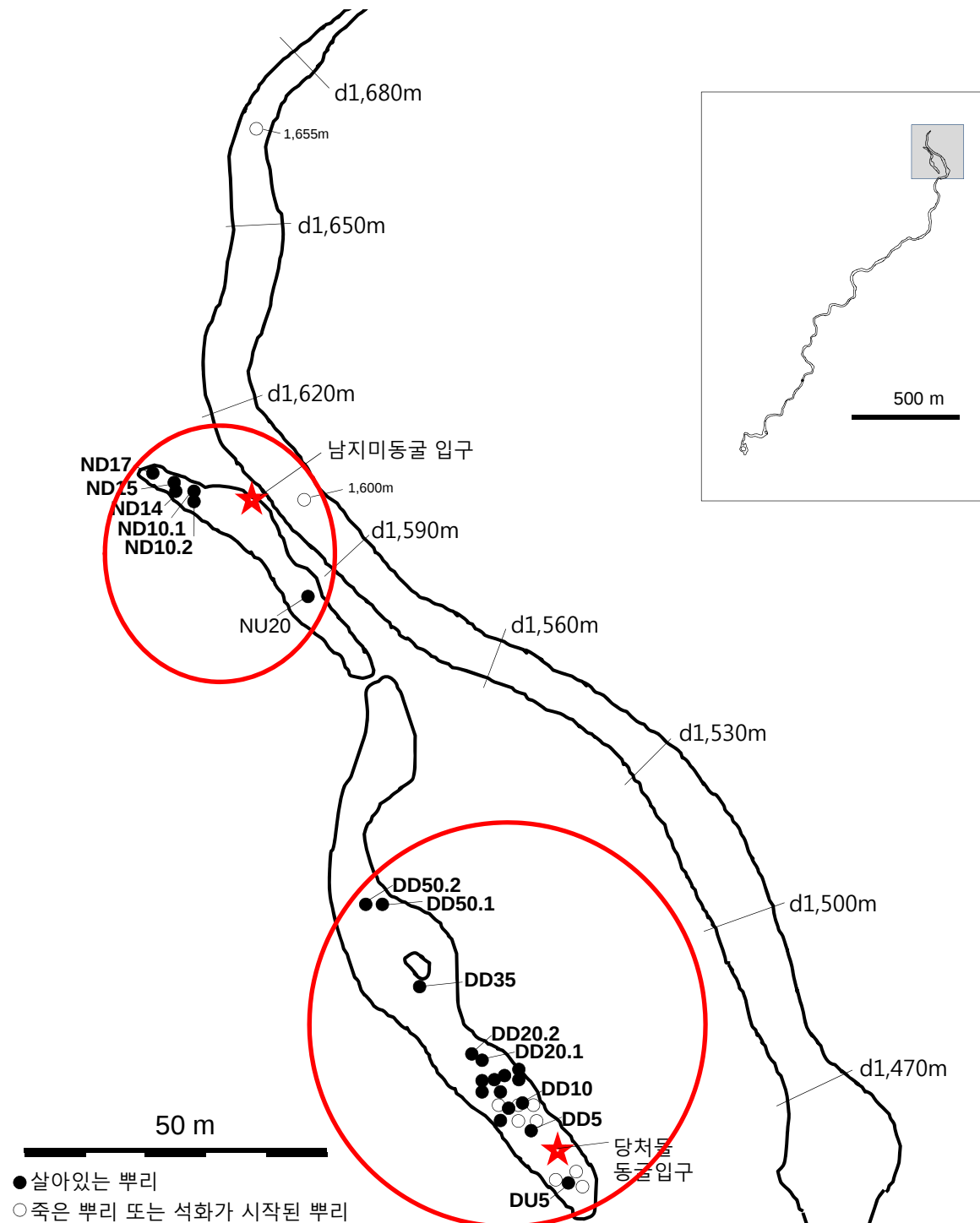


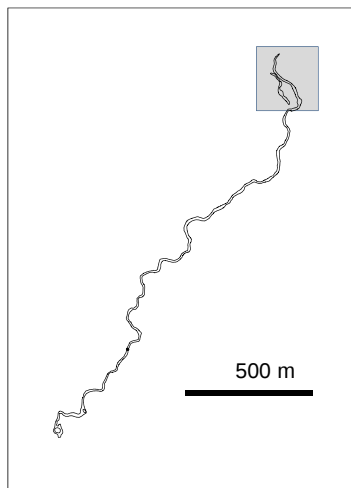


DNA 염기서열이 확보된 31개 동굴침투 뿌리에 대한 동정









전체 동굴에서 가장
많은 뿌리가 내려와
있는 종은...





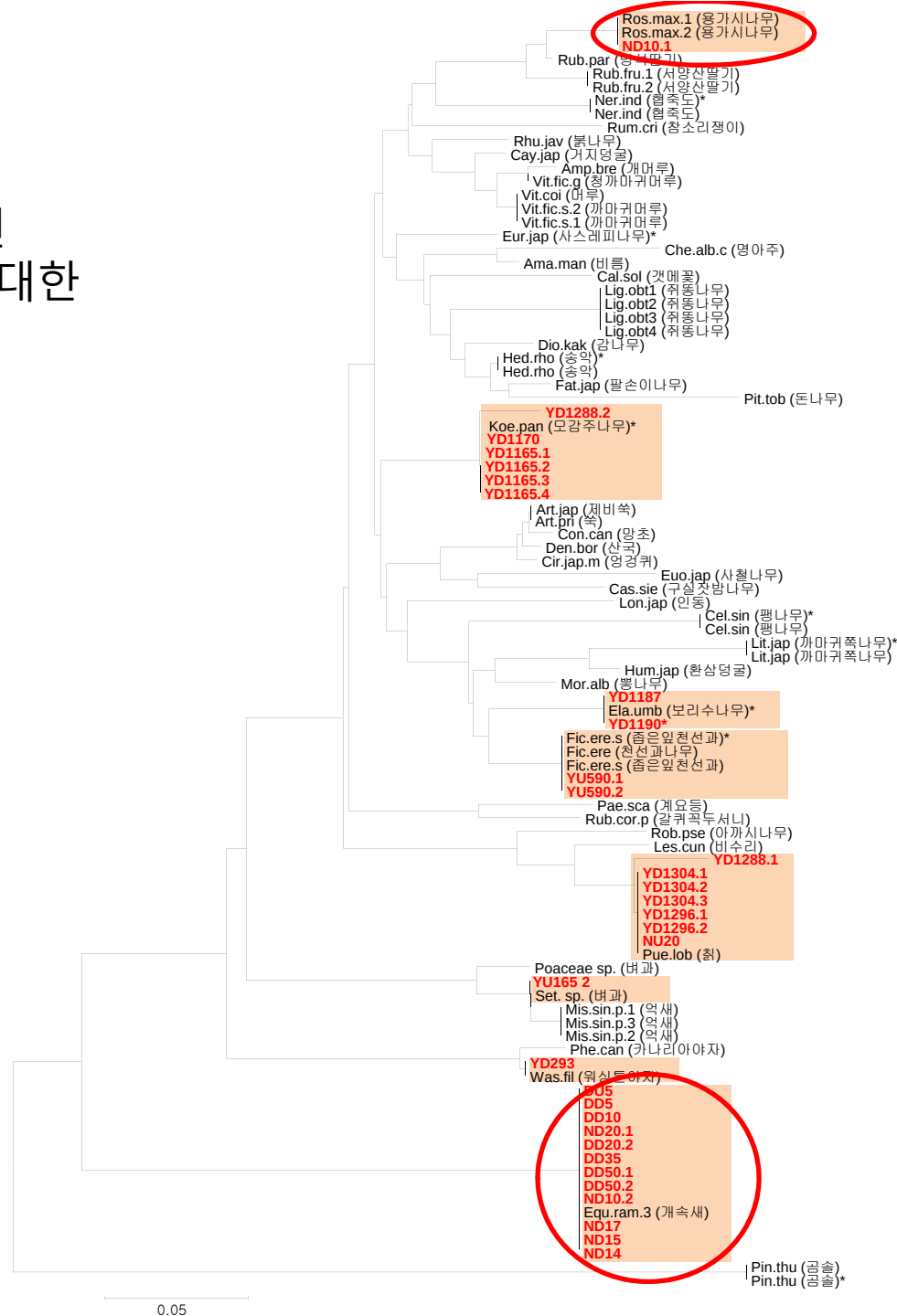




DNA 염기서열이 확보된
31개 동굴침투 뿌리에 대한
동정

전체 동굴에서 가장
많은 뿌리가 내려와
있는 종은...

초본성 식물인
개속새로 판명됨



개속새



개속새



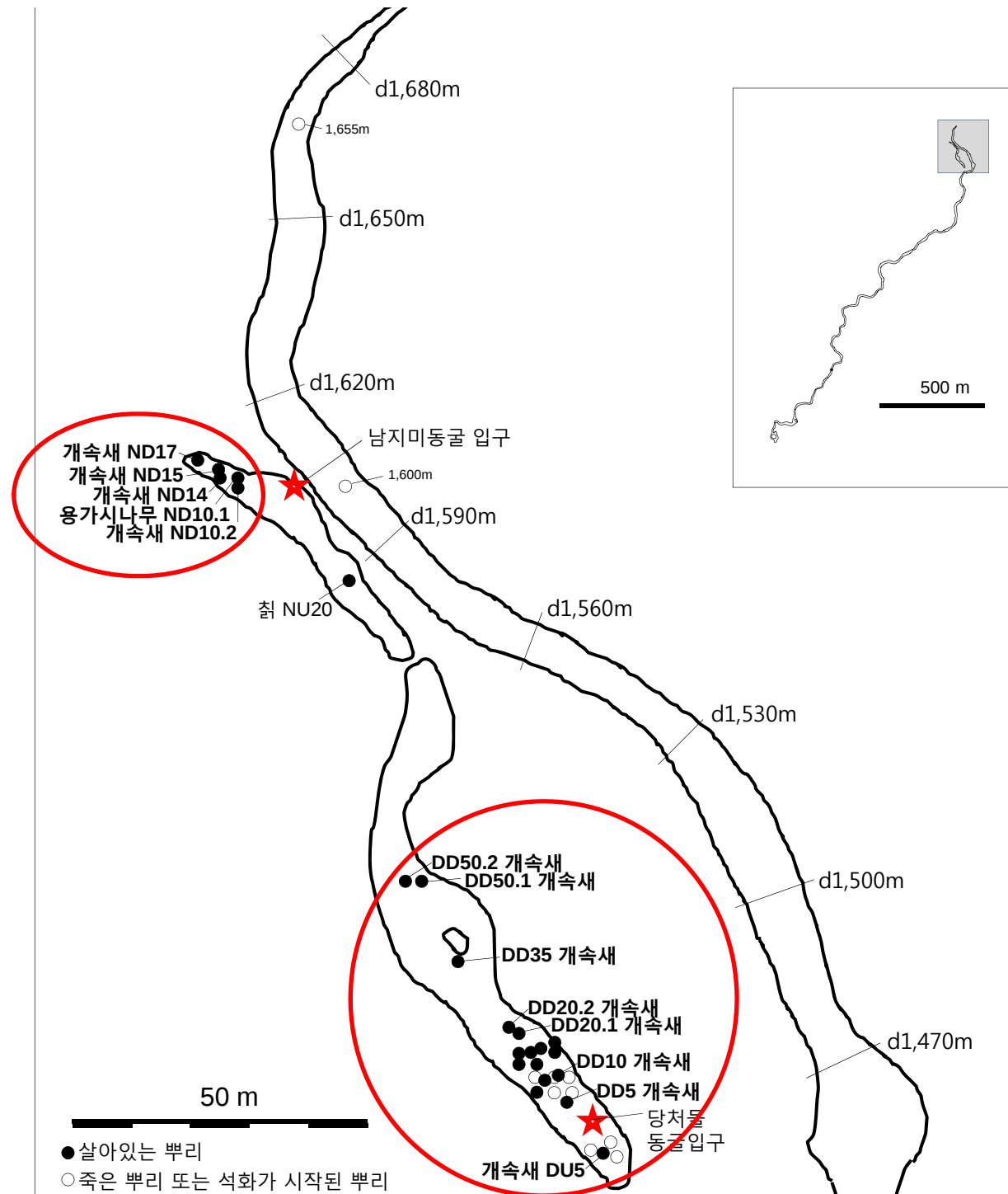
개속새





개속새

The KING of the Underworld



전체 연구 결과 요약

- 제주 용암동굴 시스템 용천동굴, 당처물동굴, 남지미동굴의 지상부에 대한 전반적인 식생조사가 이루어 졌고, 특히 주요 10 곳에 대한 정밀식생조사가 이루어짐.
- 이를 기반으로 상부식생의 미지의 종 동정을 위한 DNA 바코드 시스템이 구축됨
- 구축된 DNA 바코드 시스템에 의하여 동굴 내부 침투 뿌리 31개체에 대한 정확한 종 동정이 이루어 짐.

전체 연구 결과 요약

- 확인된 동굴 침투 종들은 교목성 나무들이 아닌 관목인 **보리수나무, 모감주나무, 천선과나무**(또는 **좁은잎천선과**), 덩굴식물인 **취, 용가시덩굴**, 초본성 식물인 **개속새**와 **강아지풀속(벼과)** 식물이었음.
- 특히 **개속새**와 **벼과 식물**의 뿌리가 **3~5m 깊이**의 **동굴에 까지 이르는 심근성 생태**는 지금까지 알려지지 않은 것으로 학계에 보고될 주요 성과임.

향후 연구

- 보다 많은 샘플확보를 통한 추가 침투 종의 확인(특히 당처물 동굴을 중심으로)
- *ndhF~psbA* 구간에 의해 종 확인이 불가능하였던 종들(천선과 나무/좁은잎천선과 등)에 대하여 추가 유전자 구간의 연구를 통한 바코드 시스템 분해능 개선
- 동굴침투 뿌리에 해당하는 지상부 식물의 개체 확인
(염료를 통한 개체확인 연구)
- 이들 종들에 대한 장기 모니터링을 통한 동굴보존 및 생태연구

향후 연구의 예: 염료를 이용한 동굴침투 뿌리의 개체 확인

Absorption of purple dye in *Equisetum palustre* L. (10g/liter)



Start



2 hours
later

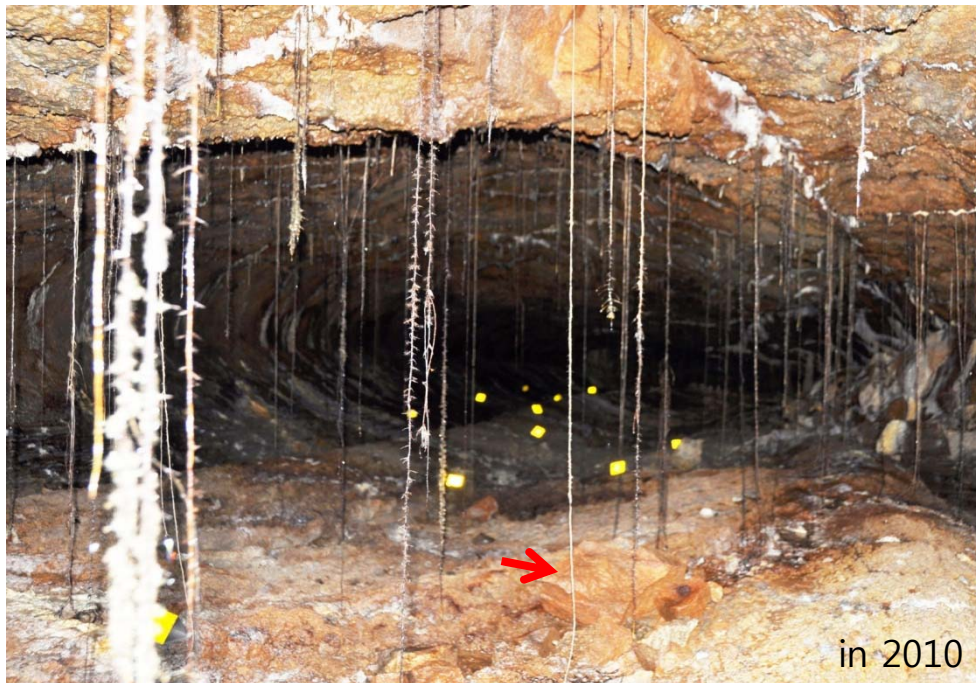


12 hours
later

침투뿌리 관련 동굴보존을 위한 제언

- 경작을 하지 않고 방치된 밭에서 급격히 자라고 있는 남지미동굴 및 당처물동굴 주요 침투 종인 개속새와 철에 대한 조치
- 공예단지 정원에 식재된 야자, 소철등의 외래종에 대한 조치

→ 상부 식물 및 침투뿌리의 제거 등의 조치는 **전문가들 그룹에 의한 충분한 검토 후** 신속히 진행되어야 될 사항임.



**A problem for the conservation of caves:
Rapid infiltration of *Equisetum* roots in Dangchermuldonggul.**

- The cultivation in the field above the caves has been prohibited at least one year after the Lava Tubes were inscribed in World Natural Heritage sites in the summer of 2007.
- In the past, periodic plow to cultivate crops above ground must have prevented plants from developing roots to penetrate into the caves.

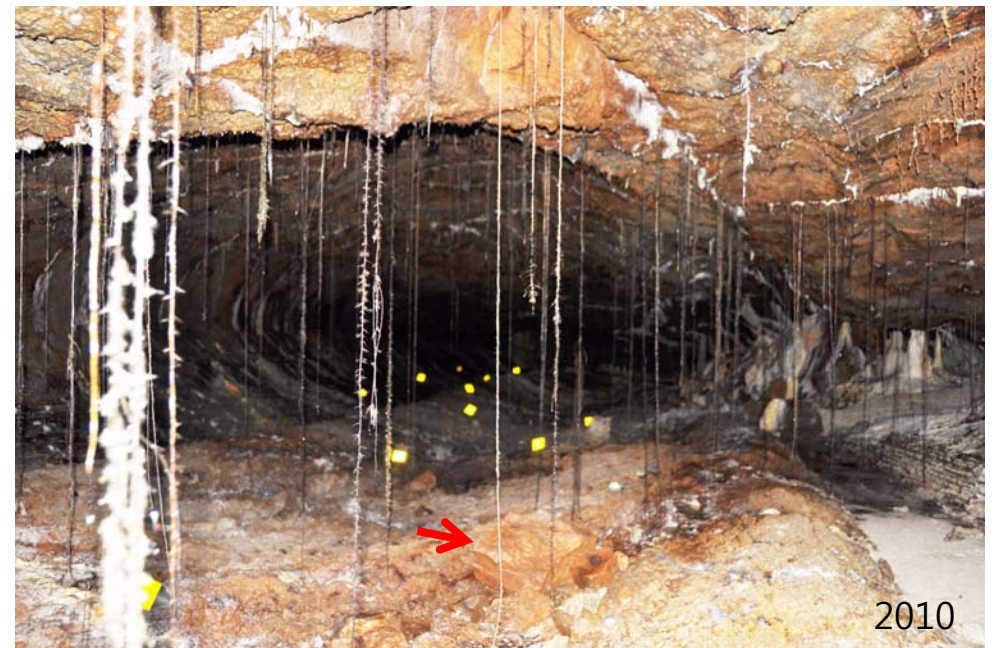
Arrows indicate same rock.

당처물동굴 입구: 2007



당처물동굴 입구: 2010. 7. 15





KBS 1 HD

--- 감사의 뜻을 전합니다 ---

연구를 지원해 주신
제주세계자연유산본부
오정훈 부장님
전용문 박사님
고은산 선생님

성신여자대학교 학생들
마윤주
정규림
임정은

제주 KBS
오준석 PD님
정인수 카메라 감독님

김상태 교수 성신여대 생물학과(식물분자계통학)

정말 경이로운 것 같아요. 오랜 세월동안
뿌리가 내려오고 뿌리가 죽은 다음에



Thank you very much!