

유비쿼터스 동굴시스템에 관한 연구

오 종 우*

A Study on the Ubiquitous Cave Systems

Jong-Woo, Oh

Abstract : The purpose of this paper is to analyze the implementation of the karst infrastructure systems for the u-cave. IT based u-cave represents spatial information derived fields, such as geographical distribution of the cave boundaries, physical configuration of the cave locations and formation characteristics of the karst history. These three aspects relate to karst infrastructure systems, cave monitoring center and spatial database implementation. In terms of the IT based u-cave infrastructure implementation systems, the u-cave depends on IT contents and spatial features. uIT contents are strongly related to IT839 strategy due to the national agenda is "u-Korea". Cave should contribute to u-cave construction through the spatial analyses methods including USN, RFID, LiDAR, ELD, and GIS technologies. For these methods various cave functions will guide to u-cave's distribution, location, and characteristics of karst. The infrastructure consists of landforms and speleothem facilities, underground related facilities, environmental protection systems, and cave planning. These six units of the cave infrastructures have spatial databases that consist of spatial configuration, such as 4-D in order to draw the spatial distribution of the limestone and lava caves. IT based u-cave system infrastructure implementation should deal with IT convergence to generate fusion affects.

Key Words : ubiquitous, karst, caves, speleothem, GIS, USN, RFID, LiDAR, ELD, 3-D

국문초록 : 본 연구의 목적은 동굴환경의 황폐화에 대한 지속가능한 동굴의 연구, 관광 및 보존을 위하여 첨단정보화 기술인 유비쿼터스 정보기술을 활용한 새로운 차원의 동굴시스템을 제시하는데 있다. 이러한 환경문제를 극복할 수 있는 방안으로 첫째, 동굴에 대한 법제도나 조례 등으로 강력한 관리방안이 제시되거나 휴식년제 도입 등으로 행정적인 방안이 있으며, 둘째, 최첨단 정보기술을 적용하여 효율적이고 지속가능한 동굴의 관리로 지하동굴 자원의 청정환경을 도모하는 방법이 있다. 유비쿼터스 동굴의 구축에는 첨단 자동 정보시스템 인 감지시스템(USN), 모니터링시스템(RFID/UFID), 무선통신시스템(WiBro/WiFi), 공간정보시스템(GIS), 항공레이저시스템(LiDAR), 저열 조명시스템(ELD) 및 통합관리시스템 등이 적용되었다. 이러한 유비쿼터스 동굴 구현에 필요한 첨단화 정보기술분야의 산업적인 융합에 의한 차세대 동굴살리기 명품솔루션 구현을 통하여 공간정보기반의 유비쿼터스 동굴관리시스템의 모델을 제시하였다. 따라서 u-cave모델은 정책의 적용에 따라 동굴의 자연관리, 생태관리, 시설관리, 관광관리, 문화관리 및 소득창출 등의 시너지 효과를 달성할 수 있는 것으로서 동굴의 자연환경보존 기반의 수단으로서 기여 될 수 있다.

주요어 : 유비쿼터스, 카르스트, 동굴, 스펠레옴, 지리정보시스템, USN, RFID, LiDAR, ELD, 3-D

* 남서울대학교 지리정보시스템학과 교수, ohgis@nsu.ac.kr

I. 서론

1. 배경 및 필요성

인류사의 발달과정에서 거주공간으로서의 동굴의 역할은 매우 중요시되어왔다. 동굴에 대한 발달과정으로서 초기에는 안주공간으로서, 20C 이전까지는 탐험과 탐사로서, 20C에 들어서는 학술적인 규명으로, 그리고 현대의 정보화시대에서는 지속가능한 관리에 집중되는 과정에 이르고 있다. 따라서 정보화시대에서는 유비쿼터스 환경에 의한 최첨단정보기술을 활용한 동굴의 연구, 관광, 보전에 과학적인 효율성을 기반으로 전환되어야 할 시점에 있다.

이러한 동굴의 발달과정을 통하여 근세에 접어들면서 개방동굴에 대한 무분별한 개방과 개조, 오염과 오용, 훼손과 방치로 파멸의 대상으로 위기를 맞이하고 있다. 문명의 발달에는 이면적인 반대급부가 따르기 마련이다. 도시의 확장과 건조물의 점거 및 수몰 및 폐수와 폐기물의 이입 등으로 자연동굴에 대한 대기과 수질환경 변화에 따른 동굴의 생성환경에는 심각한 문제가 부각되고 있으므로 이에 대한 적절한 정책과 방안이 필수적으로 수반되어야 할 필요성이 있다.

2. 목적 및 방법

본 연구의 목적은 동굴환경의 황폐화에 대한 지속가능한 동굴의 연구, 관광 및 보존을 위하여 첨단정보화 기술인 유비쿼터스 정보기술을 활용한 새로운 차원의 동굴시스템을 제시하는데 있다.

본 연구의 연구대상으로서 동굴의 환경에

대한 자연자원으로서의 학술적인 발달과정인 구조지형에 의한 지구사연구, speleothem과 퇴적물의 편년에 의한 지역 환경변화에 대한 복원연구, 수문지질영역에 대한 동굴의 발달 및 2차생성물의 형성과정연구, 동식물의 생존공간으로서의 고고학적인 연구, 저장 및 군사적인 다기능 용도 위한 활용성연구, 및 학습 및 관광기능으로서의 수익증대방안 등으로 분류된다.

이러한 다양한 동굴에 대한 연구방법에는 기원과 속성을 규명하는 순수과학적인 접근, 지질적인 영역과 발달과정을 위한 물리화학적인 접근, 형상 및 식생환경분석을 위한 자연과학적인 접근, 동공 및 지형지물의 학습 및 관광자원 분석을 위한 자원적인 접근 등이 있으며, 이러한 제 분야에 대한 종합적인 시스템적인 접근방법으로 유비쿼터스 정보기술에 의한 접근이 본 연구에서 제기된다. 특히 분야별 솔루션을 구현하는 방법으로 공간정보기반의 유비쿼터스 동굴관리시스템의 구현과 정책 모델이 제시된다.

3. 기존의 동굴연구 및 관리체계

동굴시스템에 대한 기존의 연구는 주로 동굴의 기원과 발달과정에서 제기되는 원인과 형상에 대하여 포괄적인 접근 방법으로 1세기 동안 이어져 왔다. 특히 동굴을 배태하고 있는 모암이 산성물에 녹는다는 속성으로 인한 카르스트 동굴지형(그림 1) 과 발달과정(그림 2)과 관련된 대형의 지하수로 등의 수문학적인 연구(켄터키)가 제일 다양하게 접근되고 있으며, 지층의 단층작용에 의한 수 백m급 대규모의 함몰지와 구조지형(중국), 석회석의 대규모 차별침식에 의한 cockpit karst(필리핀)와 karst 침식대지(중국), 지층의 함몰에 의한 대형 sinkhole(캐나다, 플로리다), 산악카르스트(Alpine karst)(한국)와 화산

활동에 의한 대형의 용암터널과 터널 내 석회질 침전물인 Speleothem(제주) 등이 존재하고 있다.

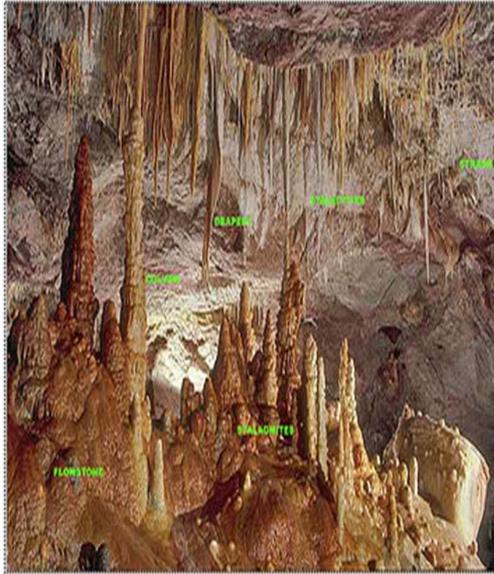


그림 1. 카르스트 동굴지형

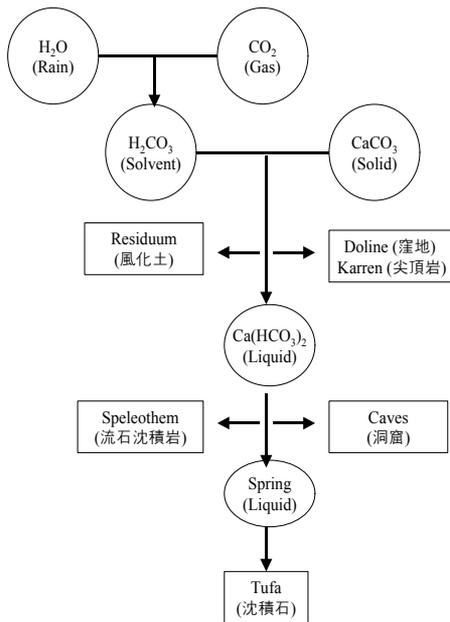


그림 2. Karst의 발달과정(Genetic Karst Process) (오종우, 1994)

이들 대형 karst 지형에는 석회암지형(그림 3), 화산지형(그림 4), 위상카르스트지형(그림 5) 및 고고학적 분야(그림 6) 등이 포함되고 있으며, 대부분 석회암 지형에 대한 연구가 주류를 이루고 있으며, 화산지형에 대한 표층의 패류 피복물에 의한 용암석회동굴(Lava speleothem cave) 지형은 부류로 형성되고 있지만 아직까지 그 연구는 초기에 속하여 향후 다양한 연구가 기대된다. 동굴에 대한 연구가 성인분석, 형상분석, 구조물 분석, 식생분석 및 관광분석 등으로 지구물리적인 방법과 물리화학적인 방법 및 형성과정적인 방법 등으로 접근되었지만 정보기술에 의한 분석과 접근은 중시되지 않고 있었다. 특히 관광적인 측면에서 일부 CCTV형의 관측형, 센스 등에 의한 일부지형지물에 대한 검출형 등을 연계한 종합통제형의 접근은 근래에 이르러 추진되었다.

동굴에 대한 연구가 성인분석, 형상분석, 구조물 분석, 식생분석 및 관광분석 등으로 지구물리적인 방법과 물리화학적인 방법 및 형성과정적인 방법 등으로 접근되었지만 정보기술에 의한 분석과 접근은 중시되지 않고 있었다. 특히 관광적인 측면에서 일부 cctv형의 관측형, 센스 등에 의한 일부지형지물에 대한 검출형 등을 연계한 종합통제형의 접근은 근래에 이르러 추진되었다. 그러나 자동감지 및 분석과 제어 등이 포함된 자동화된 관측시스템, 3-D동굴도화, ELD에 의한 저열조명, 단파 및 초단파의 무선통신 등의 첨단 기기에 의한 유비쿼터스 정보기술을 사용한 예는 없으므로 이에 대한 효율성과 과학성에 의한 신속, 정확하고 무공해 설비에 의한 자연동굴에 대한 환경보전과 관리기법에 대한 적절한 대안의 적용에 의한 친환경적인 동굴환경체계의 구현이 미래지향적인 방안이 될 것이다.

유비쿼터스 컴퓨팅(UC) 비전의 태동



- 제록스사의 유비쿼터스 컴퓨팅 프로젝트
 - 미국, 제록스사의 PARC (Palo Alto Research Center)
 - 1988년 'Ubiquitous Computing' 프로젝트
 - 연구책임자 Mark Weiser
 - 연구대상
 - Computer Science(Computer, Network)
 - Human
 - 목표 : 컴퓨터와 네트워크, 인간이 조화된 문화 창출(복지지향)

유비쿼터스 컴퓨팅의 특징

- ① 네트워크에 연결(connection)되지 않은 컴퓨터는 UC이 아니다.
- ② 인간화된 인터페이스(calm technology)로서 눈에 보이지 않아야(invisible) 한다.
- ③ 가상공간이 아닌 현실 세계의 어디서나 컴퓨터의 사용이 가능해야 한다(embodied virtuality).

그림 7. 유비쿼터스의 기원 및 특징(자료: www.ubiu.net)

행시킬 수 있는 스마트한 자동화 동굴 보전 및 관광시스템인 것이다(그림 7). 특히 USN(감지기; ubiquitous sensor networks), RFID(라디오파 인식기; Radio Frequency Identification), LiDAR(3차원 레이저기법; Light Detection And Ranging), GIS(지리정보체계; Geographic Information Systems) 및 무선통신기기(WiFi, Famtocell) 등을 활용하여 지능형 u-Cave의 구현과 비전을 제시하여 동굴에도 첨단정보기술이 부가됨으로서 비로소 진정한 첨단 동굴시스템으로서의 새로운 경향이 제기 된다.

II. 유비쿼터스 카르스트 및

동굴연구

1. u-Karst 연구

Karst 시스템에 대한 기존의 연구는 주로 Karst의 기원과 발달과정에서 제기되는 원인과 형상에 대하여 포괄적인 접근 방법으로 연구 되

어져 왔다. Karst에 대한 연구가 성인분석, 형상 분석, 구조물 분석, 식생분석 및 관광분석 등으로 지구물리적인 방법과 물리화학적인 방법 및 형성과정적인 방법 등으로 접근되었지만 정보기술에 의한 분석과 보다 고전적인 접근방법에 따라 정성적인 결과에 의존하여 일부 부정확하고 근시안적인 연구가 진행 되어온 것은 부인할 수 없는 것이다. 특히 지표지형의 형상적인 측면에서 일부 CCTV형의 관측형, 센스 등에 의한 일부 부지형지물에 대한 검출형 등을 연계한 종합통제형의 접근은 연구방법론으로 활용될 수 있다.

유비쿼터스 IT의 기술도입으로 USN에 의한 자동감지 및 분석과 제어 등이 포함된 자동화된 관측시스템, LiDAR에 의한 3-D지도화, WiFi 등에 의한 단파 및 초단파의 무선통신 등의 첨단 기기에 의한 새로운 접근으로 비정형으로 수반된 기존의 결과를 검증할 수 있는 방법이 될 것이다. 또한 유비쿼터스 정보기술을 사용으로 효율성과 과학성에 의한 신속 정확하고 무공해 설비에 의한 지표 Karst의 지형지물(표 1)에 대한 성인분석과 발달과정에 대한 연구에 보다 과학적이고 정량적인 연구결과를 도출할 수 있을 것

표 1. 카르스트 지형인자(자료: 오종우, 1996)

| Karst Landforms | Dissolutional and alluvial Productions | Others |
|---------------------------------------|--|--|
| Karst formations and related features | -cockpit -depressions -hum -karren fields -polje -springs -uvala -caves -natural bridges | -archaeological remnants -cave entrances -karst windows -residuum -steeper cavities -vertical shaft -insoluble residues -terraces near cavities |

표 2. Karren landforms (자료: 오종우, 1996)

| Karren types | Apparence (O=active; #=inactive; X=not shown) | Others |
|--|---|---------------------------------|
| A. Circular plan forms | # | Irregular curvature-like shapes |
| 1. Micropits and etched surfaces | # | |
| 2. Pits | # | |
| 3. Pans | # | |
| 4. Heelprints or trittkarren | # | |
| 5. Shafts or wells | O | |
| B. Linear form-fracture controlled forms | # | Vertical fluting-like runnels |
| 1. Microfissures | # | |
| 2. Splitkarren, joint, stylolite, or vein-guided solution fissures | # | |
| 3. Grikes or kluftkarren, | # | |
| C. Linear forms-hydrodynamically controlled forms | O | Vertical runnel-like flutings |
| 1. Rillenkarrren | X | |
| 2. Solution runnels | O | |
| 3. Decantation runnels | O | |
| 4. Decantation flutings | O | |
| 5. Fluted scallops or solution ripples | # | |
| D. Polygenetic forms | # | Mixture shapes by polygenetics |
| 1. Karrenfeld | # | |
| 2. Limestone pavement | X | |
| 3. Pinnacle karst | # | |

이다. 그리고 카르스트 지형의 환경보전과 관리 기법에 대한 적절한 대안의 적용에 의한 친환경적인 동굴환경체계의 구현에도 유비쿼터스 IT의 활용으로 GIS기반의 신속 정확한 데이터의 수집과 지능적인 분석기능에 의한 지속가능한 의사결정도구로서의 역할을 할 수 있는 미래지향적인 연구방법으로 최상의 결과를 제기할 수 있다.

2. u-Cave 연구

동굴시스템에 대한 기존의 연구는 주로 동

굴의 기원과 발달과정에서 제기되는 원인과 2차 생성물질에 대하여 포괄적인 접근 방법으로 연구되어져 왔다. 동굴에 대한 연구가 성인분석, 형상분석, 구조물 분석, 식생분석 및 관광분석 등으로 지구물리적인 방법과 물리화학적인 방법 및 형성과정적인 방법 등으로 접근되었지만 정보기술에 의한 분석과 접근은 지극히 미약하게 근래에 일부 접근되기 시작하였다.

특히 개방동굴의 관광적인 측면에서 일부 CCTV형의 관측형, 센스 등에 의한 일부지형지물에 대한 검출형 등을 연계한 종합통제형의 접

표 3. 동굴2차생성물(Speleothem)(자료: 오종우, 1996)

| Caves | Dissolutional and alluvial productions | Speleothem |
|---|--|-------------------------------------|
| Subsurface Formations and Surface Landforms | -anastomoses | -anthodites/gypsum flower |
| | -bell holes/pockets | -aragonite |
| | -chambers | -helicites: accentric |
| | -canopies | -bacon like sheet |
| | -cave sediments | -cave pearls |
| | -cave channels | -cave cotton |
| | -cavities | -cave raft |
| | -limpools | -cave rope |
| | -meander trench | -cave blisters |
| | -multilevel cavities | -cave corals |
| | -niches | -cave bubble |
| | -notches | -colume |
| | -phreatic tubes bore passages | -conulites |
| | -phreatic pendants | -draperies/curtain like stalactites |
| | -pools/ponds | -floating calcite |
| | -rock span | -flowstone |
| | -scallops | -limestone dams |
| | -solutional tubes | -mountain milk |
| | -sponge work | -muddy stalagmites |
| | -vadose pendants | -oolites |
| -vadose tubes | -pisolites | |
| -vertical shafts | -plates | |
| -vertical groovings | -shields | |
| -water table marks | -spherical stalactites | |
| | -splash cup | |
| | -stalactites | |
| | -stalagmites | |
| | -straw/tubular rock and sediments | |

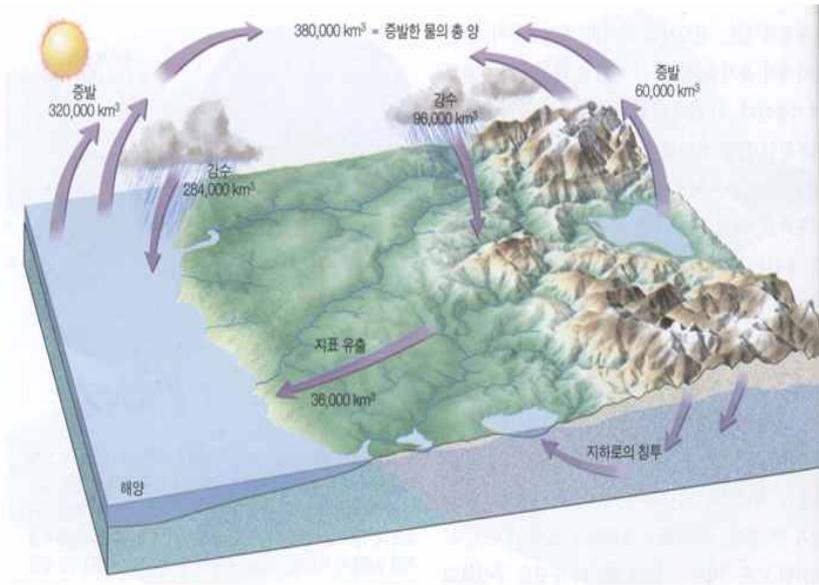


그림 8. 물의 순환과정과 동굴의 형성

근은 근래에 이르러 추진되었다. 그러나 동굴2차생성물(Speleothem) (표 3)에 대한 USN에 의한 자동감지 및 분석과 제어 등이 포함된 자동화된 관측시스템, LiDAR에 의한 3-D동굴도화, ELD에 의한 저열조명, WiFi 등에 의한 단파 및 초단파의 무선통신 등의 첨단 기기에 의한 유비쿼터스 정보기술을 사용한 예는 없으므로 이에 대한 효율성과 과학성에 의한 신속, 정확하고 자연동굴에 대한 환경보전과 관리기법에 대한 적절한 대안의 적용에 의한 친환경적인 동굴환경체계의 구현이 미래지향적인 연구방법이 될 것이다. 그러나 유비쿼터스IT의 접근에 의한 동굴연구의 문제점으로서 동굴내 형성된 고습도(100% 내외)이므로 이에 대한 대안이 필요하다.

3. 동굴환경 연구

동굴환경의 복원은 자연훼손 자체는 원형복원이 원칙적으로 불가능하다. 그러나 동굴보

전의 의지가 담긴 정책인 동굴의 휴식년제의 도입이나 유비쿼터스 동굴환경의 적용에 의한 지능적인 보존과 관리로 어느 정도 원형에 대한 회복은 가능하다. 따라서 동굴환경에 대한 지속가능한 정책과 시스템의 도입으로 효율적이고 자연자원의 보존적인 차원에서 신속한 추진이 필요한 시기이다.

유비쿼터스 IT에서 부각된 국토의 동굴에는 동굴 본시의 지형단위가 존재한다. 그 지형단위를 분석하고 파악하지 않은 상태에서 동굴정화 등의 사업은 그 정체성을 잃을 뿐만 아니라 적절한 분류에 의한 동굴의 살리기 사업이 될 수 없을 것이다. 왜냐하면 동굴지형의 단위는 지구의 구조적인 상태에서 강수인 물에 의하여 형성된 지형이 대부분이기 때문이다. 수권(hydrosphere)(그림 8)에 대한 자세한 지형단위의 분류는 다음과 같은 독립적인 지형 단위가 있으며 개별적인 지형에 대한 전문적인 보전과 개발의 기준은 하성지형의 본질에 의하여 고려 될

필요성이 있다.

4. GIS활용 연구

현실적으로 개방동굴 뿐만 아니라 비개방 동굴정보가 연계될 수 있는 통합형 동굴관리시스템을 통하여 구축된 정보의 공유를 위한 시스템 부재로 인하여 활용성이 크게 제약되고 있는 실정에 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 위성영상의 DEM산출과 지형도의 병합에 의한 복합기능도(그림 9)를 구현하고 이에 기반된 지상, 지표, 지하에 분포된 동굴정보시스템에 대한 공간정보데이터베이스를 구축(그림 10)하여 지능형 공간정보의 관리가 필요하다.

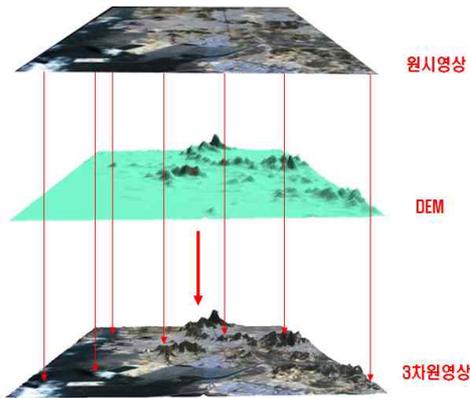


그림 9. 위성영상과 지형도의 복합기능도

유비쿼터스IT의 실현을 위해 지하공간에 대한 가장 기본적인 자료인 동굴정보를 체계적으로 구축하여 관리할 필요성이 있다. 이를 위해 개방동굴을 대상으로 실시되고 있는 동굴정비기본계획 성과물을 DB화하여 관리할 수 있는 동굴관리GIS시스템을 지능형 웹기반의 시스템으로 구축하여 업무의 효율성을 극대화하고, 동굴

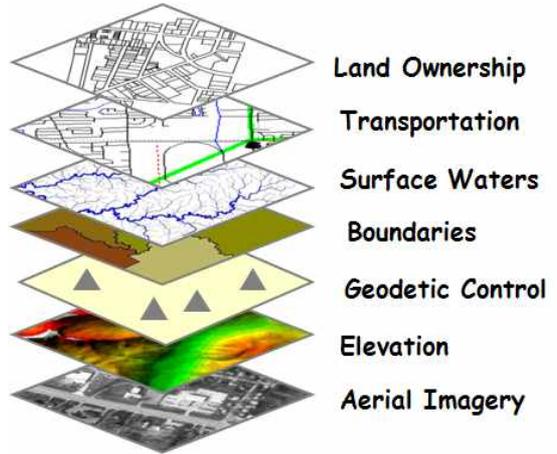


그림 10. 공간정보데이터베이스 시스템 구축

관련 정보의 공유를 활성화 할 필요가 있다(그림 11).

문화재청에 의하여 명시된 동굴관리지침에 기반된 동굴에 대한 종합적이고 체계적인 관리를 위해 현행 12개 개방동굴에 동굴관리GIS시스템을 지능형 공간DB구축(GIS DB), 외부 시스템 연계 도형운영관리(Map application), 및 의사지원결정체계 (Decision Making Supporting Sys.)의 형식으로 동굴의 공간정보기반에 의한 종합적인 u-cave ISP가 우선 추진되어야 한다.

특히 유비쿼터스IT에 대한 동굴정보의 종합적인 관리와 서비스 제공 기반 구축(그림 5)으로 지자체 등의 정보공유 체계가 구축되어 개방동굴 뿐만 아니라 지방동굴 등 수계 일관한 동굴정보의 활용이 가능 하도록 동굴관리지리정보시스템의 유지관리에 있어 보다 개선된 스마트 동굴관리 방법으로 구현되어야 할 것이다.

또한 동굴시스템은 물에 녹는 석회석의 함양에 따라 물이라는 증력과 관성에 따라 지하공동의 형상에 지배적인 영향을 미친다. 따라서 수문학적인 접근에 의한 지하수문정보시스템(그림 12) 구현에 3-D 차원의 모형을 활용하여 시각적인 정보의 제공으로 다변체정보시스템의 제공이

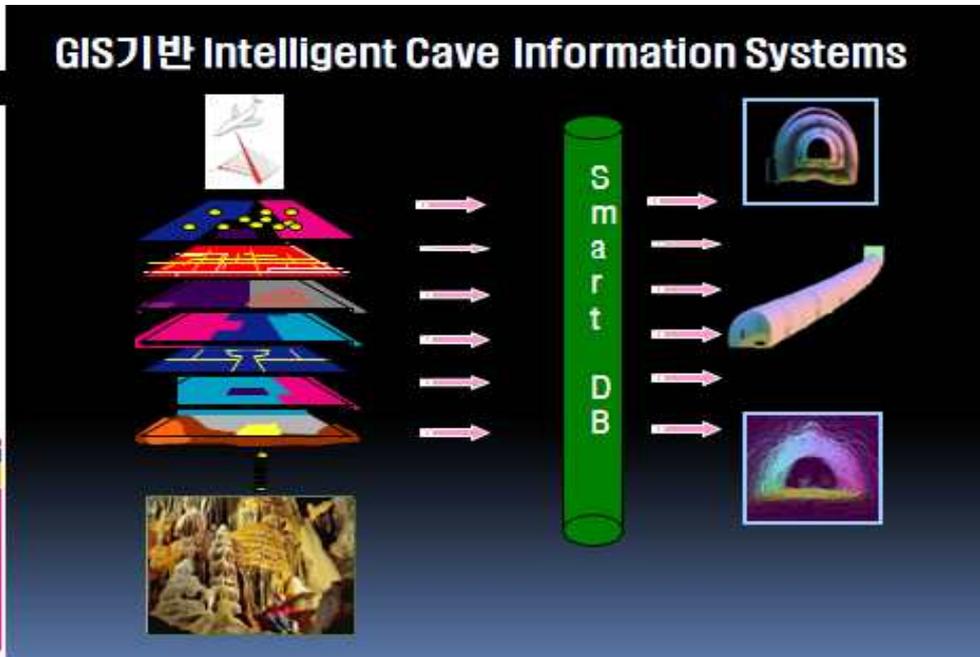


그림 11. 동굴시스템에 대한 다차원 공간정보의 구축에 의한 지능형 동굴정보시스템의 적용

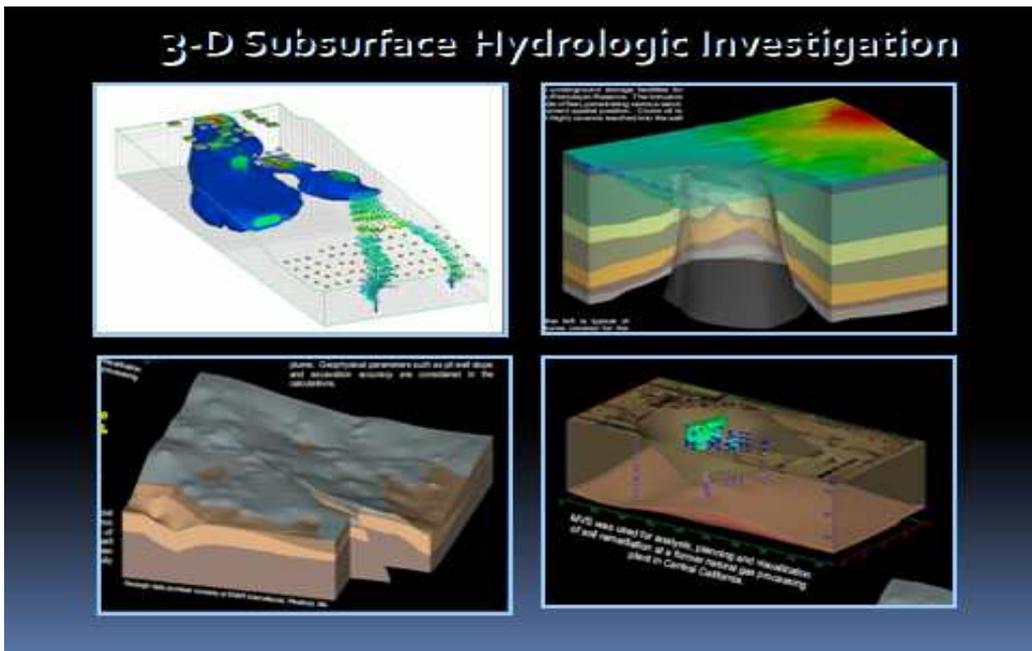


그림 12. 지하동굴수문정보시스템 구축기법에 의한 동굴모형도의 구현

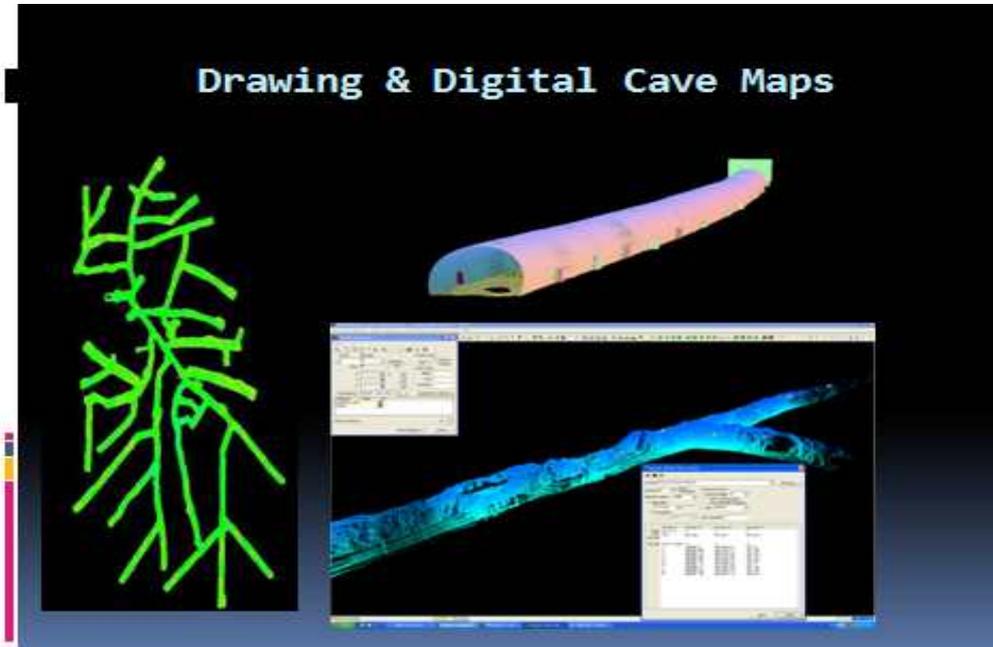


그림 13. 원시 동굴도(좌)와 LiDAR에 의한 3-D동굴도(우상)와 GIS에 의한 동굴관리모형(우하)

현실적으로 요청되고 있다.

5. 유비쿼터스 IT활용 연구

유비쿼터스 IT시스템의 다변화로 u-Cave 프로젝트에 유비쿼터스 기술 접목으로 수질, 지형, 식생환경관리의 효율화 및 비용 절감을 제공하는데 지대한 역할을 할 수 있다. 개방 동굴에 유비쿼터스 공용 통신관로구축 및 이와 연계한 Sensor 및 관광 Infra 구축을 통해 u-Cave 기반 구축 및 수로 중심 Network을 구축한다. u-Cave 주변의 Sensor망을 수온, 용존 산소 등 수질을 측정, 관리하고 이의 변화를 통해 환경 관리에 활용한다. 동굴내 교량, 난간, 통로, 보호막 등에 Sensor를 통한 시설물 관리 및 관광 정보 제공을 통한 GIS기반의 관광 활성화를 구현할 수 있다.

기존에는 시설물 구축 후 별도의 USN Infra 구축을 통해 구축 비용이 증대하는 문제가 있어, 단순 Data 위주로 서비스 하였으나 환경감시, 물

류, 관광 등을 위한 Ubiquitous 망 및 시설이 소관 부처나 개별 발주처 위주로 시행되어 중복 투자 및 중복 관리비용 문제가 발생 하지 않도록 민간사업자의 Infra 수요 파악을 통해 공동 구축함으로써 구축 비용 절감이 가능하다(그림 14).

그림 14. 유비쿼터스 기반의 자동감지 및 CCTV관측을 통한 동굴시설물 및 환경 감시 시스템의 구현으로 지능형 u-Cave 시스템 구현

항공관측을 통한 동굴의 접근로 및 교량, 수질, 홍수, 환경 감시 Sensor를 통한 관리 비용의 절감과 동굴 관광객에 대한 관광 정보 제공, 동굴주변 관광지에 무선인터넷 서비스 제공을 통한 관리비용을 절감하여, 동굴환경관리 및 관광객에 관광 정보 제공과 동굴주변 관광지에 무선인터넷 서비스의 제공이 가능하다.

수질 관리 및 홍수 피해 방지를 위한 RFID/USN 망 구축에 의한 기존 동굴을 구축하면서 수질, PH, 수온, BOD를 검출 하는 IP-USN

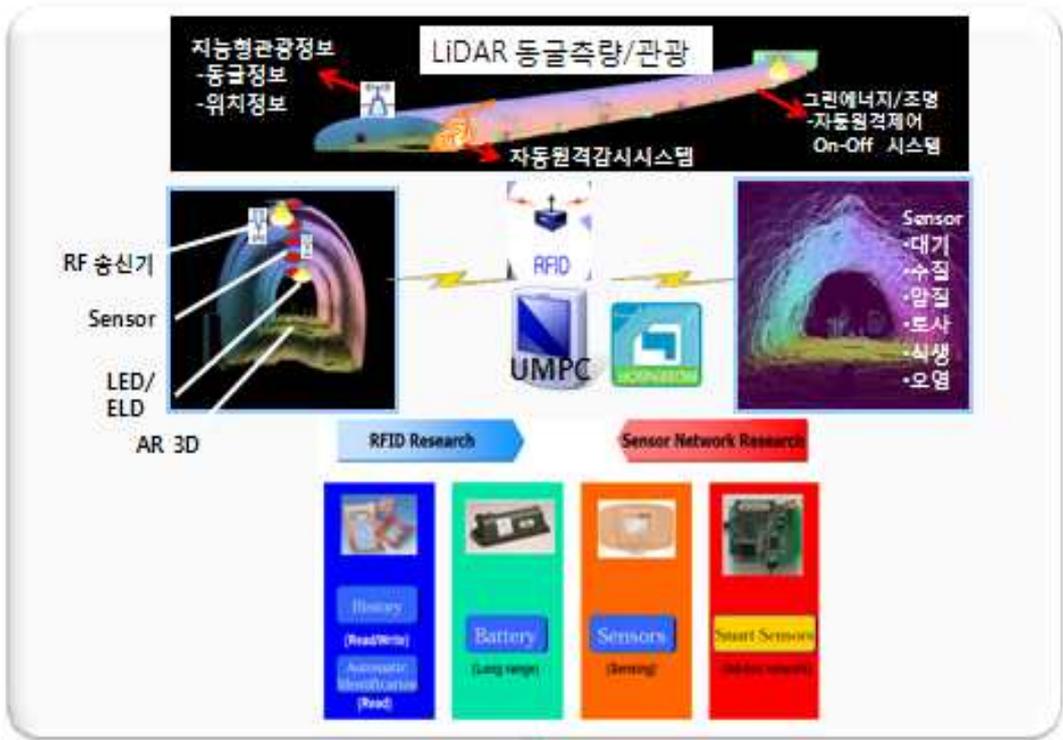


그림 15. RFID/USN 망 구축에 의한 Multimedia u-Cave시스템 사례

망 구축을 통해 수질 및 환경 감시와 청정 u-Cave 환경 관리에 활용할 수 있다. u-Cave의 IP-USN망을 통해 수량, 유속 등을 관리하고 이를 통해 수로의 개폐 및 치수에 활용하여 고질적으로 반복되는 유해 방지에 활용한다.

기존의 서비스는 지엽적으로 구축되어 전체적인 관리 및 연동에는 한계가 있었으나, u-Cave 시스템은 센스기반 대기과 수질 및 식생의 감지와 LiDAR기반으로 3-D 동굴지도를 무선 통신기반의 실시간 모니터링 정보의 전달 및 공간정보의 통합관리시스템으로 실시간 통제 및 관리가 가능하다(그림 15).

WiBro/RFID/UFID를 통한 관광 서비스 방안의 대상은 기존 동굴을 따라 분포된 12개 개방

동굴의 관광지에 위치에 따른 경로, 위치, 목적지까지 소요시간, 주변 관광지, 먹거리, 역사 등과 동영상을 WiBro를 통해 자동으로 제공하는 서비스이다. 부가적으로 민간 사업자의 참여에 따라 숙박예약, 연계 교통 안내, 선상 인터넷 서비스 및 주요 관광지에서 시스템을 통한 안내 및 발권 서비스 및 관광 RFID를 통해 실시간 SIS(Ship Information System) 및 물류 추적이 가능한 서비스이다. RFID/USN을 통한 실시간 Sensing 및 WiBro를 통한 양방향 대용량 데이터 서비스를 통해 외국인 관광객에 다국어 안내, 동시 통역, 관광 안내, 역사 안내 등이 가능하고, 실시간 위치 추적을 통해 긴급 의료 서비스 제공과 인근 12개 개방동굴 관광지와 시스템 호환

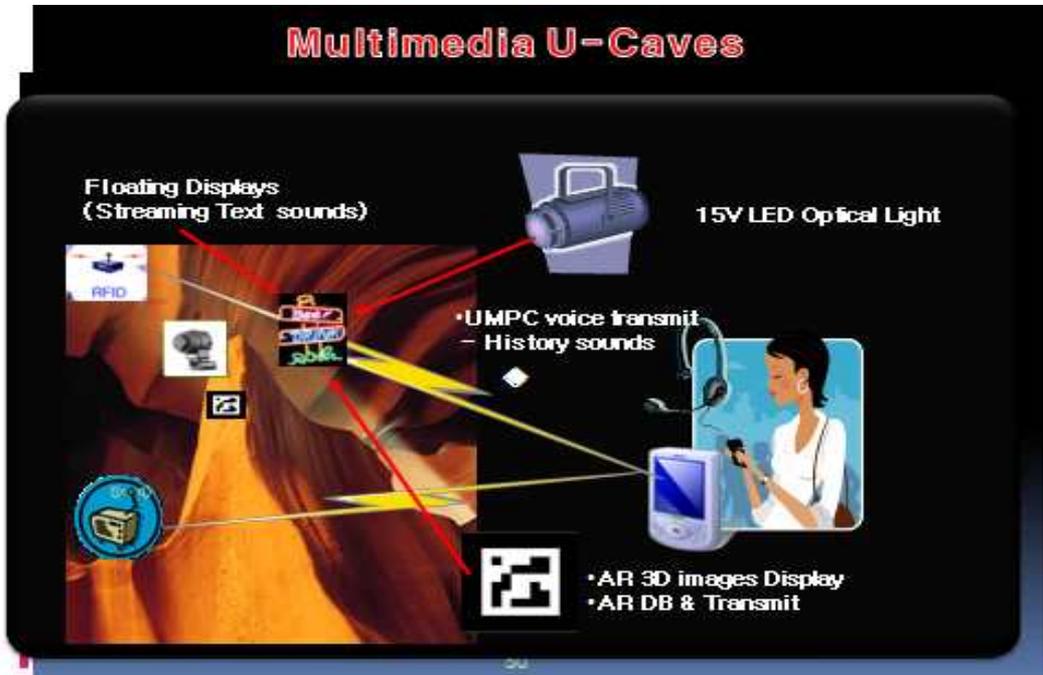


그림 16. WiBro/Rfid/UFID연계된 지자기 시스템으로 동굴좌표변환과 동굴도의 구현시 정확한 도형정보를 제공

을 통해 지하와 지상에서 동일한 단말로 Seamless한 서비스를 제공할 수 있다. 특히 WiBro/Rfid/USN을 활용한 개방동굴의 관광서비스는 관광 사업자의 관광객 정보 및 예약 서비스 참여, 지역 특산물 판매를 통한 Commerce 사업, 관광 관련 콘텐츠 제작 및 판매 사업 및 물류 및 물류 정보 서비스 사업이 가시화 될 수 있다.

동굴내부에는 경우에 따라서 무선통신과 좌표인식에 한계가 있을 경우 지자기 환경분석 시스템에 의한 신기법이 적용 될 수 있다. 이 경우 지자기 시스템은 USN과 Rfid 및 GIS시스템과 연계된 환경에서 상호 보완적인 연구분석과 개발 및 보전이 가능하다(그림 16).

WiBro/Rfid/UFID연계된 지자기 시스템으로 동굴좌표변환과 동굴도의 구현시 정확한

도형정보를 제공시스템은 기존 Ubiquitous 시스템을 보완할 수 있을 뿐만 아니라 신산업동력으로 고용의 창출도 가능한 효과를 달성할 수 있다(그림 15).

USN(유비쿼터스 센스통신), Rfid, GIS, LiDAR(레이저영상술),ELD 기술 활용한 지하시설물 관리시스템 이외에 감시 및 급파(Monitoring/Dispatch), 토목시설(Civil Facilities), 수질(Water quality), 쉼터(Resorts), 교육(Educations), 생태환경(Biotop), 문화(Culture), 퇴적물(Sediments), 수송(Transportations), 관광(Touring)정보 관리시스템의 구축으로 성장동력원의 창출과 균형발전의 소득원으로서의 효과를 구현할 수 있다(그림 17).



그림 17. USN(유비쿼터스 센스통신), RFID, GIS, LiDAR(레이저영상술), ELD 기술 활용한 동굴 관리시스템의 구현 모델

6. u-Cave 시스템 정책 연구

동굴시스템 연구에 있어서 유비쿼터스 정보기술(u-IT)의 활용은 카르스트 관련 지표지형과 동굴지형의 기원과 성인연구와 지질구조적인 환경 및 수문학적인 발달과정과에서 환경보전과 관광화 수익증대에 이르기까지 다양하게 적용될 수 있다. 이러한 미래지향적인 uIT의 적용은 연구개발정책과 환경보전 및 개발정책이 동시에 구현된 가운데 법규정 및 제도와 조례 등에 의한 제도적인 시스템에 대한 준비가 선행되어야 한다. 정책적으로 우선시되어야 할 요건은 유비쿼터스 관련 법과 환경관련법 및 공간정보법에 대한 적용을 우선 고려하여 제도적인 법리환

경에서 합리적인 연구 및 보전과 개발이 진행되어야 한다(표 4).

정책적인 환경의 구성요건에 따라 구현에 대한 수준은 환경분석과 시행수준에 포함되는 카르스트 동굴에 대한 ISP(정보화전략계획)가 우선시되어야 하며, 시범 연구 및 사업의 점검 후 본 사업에 들 수 있도록 한다. 이러한 제도적인 환경과 시범적인 접근에 따라 카르스트 및 동굴환경에 대한 지속가능한 보전과 연구 및 관광화로 형성되어야 할 것이며, 경우에 따라서는 동굴의 안식년제의 도입으로 원지형적인 복원과 재생이라는 차원으로 본 정책이 시도되어야 할 것이다.



표 4. 법 제도와 조례 등에 의한 제도적인 시스템의 구성

| | 관련법 유형 | 비고 |
|-------------|---|---|
| 동굴관련 법제도 | 자연환경보존법 문화재보호법 국가공간정보에관한법률 유비쿼터스도시의건설등에관한법률 기타 관련 지자체의 조례 등 | 지형지물에 대한 보존 자원차원에서 보호 지리적인 분포와 정보범위 uIT관련 적용범위 행정적인 운영 방안 |

III. 결론

본 연구에서 동굴에 대한 유비쿼터스 정보 기술(u-IT)기능에 의한 u-Cave구현을 제시하였다. 현존하는 개방동굴의 무분별한 훼손과 오염으로 인하여 귀중한 자연유산의 손실을 그대로 묵과할 수 없는 것으로 국가적으로 동굴의 보전과

관리에 강력한 제도적인 차원에서 대처하여야 할 시점에 있다. 이러한 환경문제를 극복할 수 있는 방안으로 첫째, 동굴에 대한 법제도나 조례 등으로 강력한 관리방안이 제시되거나 휴식년제 도입 등으로 행정적인 방안이 있으며, 둘째, 최첨단 정보기술을 적용하여 효율적이고 지속가능한 동굴의 관리로 지하동굴 자원의 청정환경을 도모하는 방법이 있다. 유비쿼터스 동굴의 구축

에는 첨단 자동정보시스템 인 감지시스템(USN), 모니터링시스템(RFID/UFID), 무선통신시스템(WiBro/WiFi), 공간정보시스템(GIS), 항공레이저시스템(LiDAR), 저열 조명시스템(ELD) 및 통합관리시스템 등이 적용되었다. 이러한 유비쿼터스 동굴 구현에 필요한 첨단화 정보기술분야의 산업적인 융합에 의한 차세대 동굴살리기 명품솔루션 구현을 통하여 공간정보기반의 유비쿼터스 동굴관리시스템의 모델을 제시하였다. 따라서 u-cave모델은 정책의 적용에 따라 동굴의 자연관리, 생태관리, 시설관리, 관광관리, 문화관리 및 소득창출 등의 시너지 효과를 달성할 수 있는 것으로서 동굴의 자연환경보존 기반의 수단으로서 기여 될 수 있다.

참고문헌

- 강승삼, 1977, 충북의 Karst지형 논문집 제10집
1978, 제주도 용암동굴에 관한 분석 한국동굴학회지 제3호
- 김대경, 1976, Karst지형에 관한 연구 전주교육대학 논문집 12집
- 김대경, 1978, Karst지형에 관한 연구-태백산맥을 중심으로-, 건국대
- 김련 우경식 외. 2009. 제주도 용천동굴의 지질학적 및 문화적 의미. 2009 추계지질과학연합학술발표회 초록집. 대한지질학회
- 김상호, 1963, 제주도의 자연지리 지리학 제1호
- 김점득, 1984, 문경지역 카르스트 지형연구, 경북대학교대학원
- 김주욱, 1981, 강원도 정선 임계면 지역의 카르스트지형연구 동굴 제6권 7호
- 박관섭, 1971, 한국의 Karst지형연구 건대지리학보 제2호
1976, 선유산 지괴의 Karst Cycle고찰 한국동굴학회지 제2호
- 1979, 일본 중유동굴 지형의 Karst Cycle 동굴제4호
- 박병수, 1980, 제주도 용암 동굴의 성인과 특성 동굴제7집
- 1981, 우리나라 동굴의 일반적 특성 동굴연구 No.1
- 신용영, 1982, 용암동굴의 구조와 형성과정에 관한 연구-만장굴을 중심으로-, 건국대
- 서무송, 1966, 한국의 Karst지형 지산 선생 회갑 기념논문집
- 서무송, 1970, 한국의 Karst지형, 경희대석사학위논문
- 1977, 한국의 석회암 동굴산 Pisolite 에 관한 연구 지리학 16호
- 1978, 한국의 동굴산 2차 생성물에 대한 몇가지 연구 응용지리 제4호
- 성효원, 1977, 석회암지대의 하계 특성. 녹우회보 제19호
- 안응산, 2009, 거문오름 용암동굴계의 범위. 2009 추계지질과학연합학술발표회 초록집. 대한지질학회
- 안응산, 황상구, 2009, 세계자연유산 만장굴의 규모와 내부구조가 갖는 의미. 2009 추계지질과학연합학술발표회 초록집. 대한지질학회
- 유재신, 1977, 영월,쌍룡리-연당리 일대의 Karst지형에 관한 연구 목포교대 논문집 제6집
1982, Karst지형의 연구(Sinkhole을 중심으로)동굴 제7권 8호
- 이숙현, 1992, 여삼리 지역 karst 지형형태와 피복물에 관한 연구, 세종대학교석사논문 이승호, 1981, 제주도 용암동굴의 관광자원적의의 동굴 제6권 7호
- 이진화, 1978, 정선군 임계면 과원리, 아수리 일대의 Karst지역에 관한 연구 녹우회보 제20호
- 이진형 외 2009 용암동굴-제주만장굴의 단면 형상. 2009 추계지질과학연합학술발표회 초록집. 대한지질학회

- 이태형, 1988, 문경 karst 지역의 용식에 관한 연구, 지리학논총 15, 157-163
- 임중호, 1989, 단양 석회암 잔덕토의 지화학적 분석, 장안지리 4(5), 32-48
- 임중호, 1990, 여천리 석회암지역 피복물의 상인과 특성에 관한 분석, 지리학연구16, 75-90
- 원종관, 1978, Sinkhole 지형의 분포와 karst 현상, 건국대학교 이학 논문집 4
- Oh, Jongwoo, M. Day, B. Gladfelter, G. Huppert, G. Fludland, and M. Kolb. 1991. Potential sources of the sinkhole sediments in the Wisconsin Driftless Area. 지리학총 19호. 31-58.
- Oh, Jongwoo. 1992. Sinkhole Sediments in the Wisconsin Driftless Area Karst. University of Wisconsin Ph.D Dissertation. 201p.
- Oh, Jongwoo, M. Day, and B. Gladfelter. 1993. Geomorphic Environmental Reconstruction of the Holocene Sinkhole Sediments in the Wisconsin Driftless Area. 1993 World Korean Scientists Symposium Proceeding -Geoscience Section-. Korean Federations of Science and Technology. 390-397.
- 오중우, 1993. Karstic Sinkhole Sediments of Dolostone in the Upper Midwest's Driftless Area, USA. 동굴 34호. 78-104.
- 오중우, 1993. 북한지역의 카르스트 지형. 북한의 지형. 한국과학기술. 107p.
- 오중우, 1993. 북한지역의 카르스트 분포와 동굴지형. 동굴 37호. 13-32.
- 오중우, 1994. 카르스트 지형과 동굴지형. 동굴 37호. 89-96.
- 오중우, 1994. Soils and landforms on the loess mantled karst uplands in southwestern Wisconsin. 동굴 36호. 103-113.
- 오중우, 1994. GIS를 이용한 동굴지형 연구. 동굴 39호.
- 오중우, 1994. 고씨동굴의 발달과 특성. 동굴 38호
- 오중우. 1995. 카르스트지형에 관한 기초공간 정보. 동굴 40호. 97-116
- 오중우. 1995. A Geoarchaeological Review of the Fan Sites in the Lower Illinois Valleys, USA. 환동해권의 시간과 공간의 교감-목지 오홍석박사 회갑기념논문집 I. 753-768.
- Oh J. 외 1인. 1991. Sediments of the Seneca Sinkhole in the southwestern Wisconsin. The Wisconsin Geographer 7. 25-39.
- 오중우 외 5인. 1991. Potential sources of the sinkhole sediments in the Wisconsin Driftless Area. 지리학총 19. 31-58.
- Oh JONGWOO. 1992. Sinkhole Sediments in the Wisconsin Driftless Area Karst. University of Wisconsin Ph.D Dissertation. 201p.
- J. Oh 외 2인, Geomorphic Environmental Reconstruction of the Holocene Sinkhole Sediments in the Wisconsin Driftless Area. 1993년도 세계한민족과학기술자 종합학술대회 논문집 -기초과학분과(지구과학)-. 한국과학기술단체 총연합회. 390-397.
- Ford/Williams, 1989: Karst Geomorphology and Hydrology
- 오중우. 1993, Karstic Sinkhole Sediments of Dolostone in the Upper Midwest's Driftless Area, USA. 동굴 34(35). 78-104.
- 오중우, 1993. Blacks' Economic Activities in Chicagoland Using Geographic Information System (GIS). 지역개발논문집 43-52.
- 오중우, 1993. 시카고 부분지역의 사회경제적 특성에 대한 지형공간정보체계(GSIS)의 이용. 지형공간정보 1(2). 223-235.
- 오중우 외 8인, 1993. 용연동굴 내부 개발기본구상 및 실시계획 (지형분야). 강원도 태백시. 254p.
- 오중우 외 12인, 1993. 만장굴 학술조사 보고서 (환

- 경분야). 북제주군. 236p.
- 오종우.1993. 지역개발에 수반되는 동굴지역의 지형조사. 동굴35(36) 32-36.
- 오종우외3인, 1993.북한지역의 지형연구. 한국과학기술단체총연합회. 107p.
- 오종우 외 1인, 1994. 북한의 카르스트지형과 동굴 분포와 상관성.
- 오종우 외 1인, 1994. 동굴 36(37). 13-32.
- 오종우, 1993. 지리정보체계를 이용한 시카고 권역 흑인의 생활환경 분석. 지역개발논문집 18: 43-52.
- 오종우,오승훈. 1994. 지구정보학 원론, 원탑출판사, 564p
- 오종우. 1994. 지리정보체계 (GIS)를 이용한 karst 연구의 가능성. 동굴 40: 13-29.
- 오종우, 1994. 북한의 화산지형 소고. 동굴 36(37). 33-37.
- 오종우외1인,1994.태백시 용연동굴 지대의 지리환경. 동굴 36(37). 81-102.
- 오종우, 1994. Soils and landforms on the loess mantled karst uplands in southwestern Wisconsin. 동굴 36(37). 103-113.
- 오종우외 1994. 고씨동굴의 환경보전및 안전진단 학술조사연구보고서. 영월군. 155p.
- 오종우.1994. 카르스트의 지표지형과 동굴지형. 동굴37(38 P.89-96.
- 오종우외.1994. 고수동굴의 환경보전및 안전진단 학술조사연구보고서. (주)유신. 169p.
- 오종우. 1995. 카르스트 지형에 관한 기초공간정보. 동굴 41: 97-10
- 오종우. 1996. 기본 S/W 기술개발 중과제의 현황. 한국정보과학회 DB연구회 춘계 발표집.
- 오종우. 1996. Internet GIS의 활성화. 한국지리정보. 한국지리정보협동 조합. 1 (4). pp. 56-60.
- 오종우. 1996. GIS로의 접근과 발전추세. 정보통신과 울산사람 학술대토론회. 울산대학교. pp. 285-299.
- 오종우. 1996. GIS의 소개. 통계와 GIS학술회의 논문집. 숭실대학교. pp. 1-6.
- 오종우. 1996. GIS구축전략. GIS관리자 과정. 한국시스템공학연구소 강론집.
- 오종우. 1996. 국가 GIS기술개발 사업: DBMS Independent 기본 소프트웨어 기술 중과제. 국가 GIS와 응용기술개발. 한국시스템통합연구조합 논문집.
- 오종우, 최병하. 1996. 낙동강 환경정보 System-수질예측 Modeling을 중심으로-'96 국가GIS 및 GIS실무 세미나 논문집 별쇄. 대구 경북 GIS연구회.
- 오종우. 1996. Internet GIS의 응용, 제1회 영남권 21세기 정보화를 대비한 첨단기술 연수대회 논문집, 한동대학교 GIS연구소
- 오종우. 1996. DBMS Independent GIS기본 소프트웨어, In: 지리정보시스템(GIS) 프로젝트 추진기법 특강, 한국시스템통합연구조합, pp. 89-102.
- 오종우. 1996. OGIS측면에서 본 MapObjects 와 Geopia 의 Internet GIS의 환경분석, The 6th '96 GISWorkshop, 캐드랜드, pp. 397-411
- 오종우. 1996. GIS용 API 개발, 국가지리정보 시스템 (NGIS) 제1차년도 연구결과발표회 발표자료모음집. 과기부 NGIS S/W 개발중과제 Consortium.
- 오종우. 1996. GIS기본S/W기술개발의 현황, 한국정보과학회DB연구회 춘계발표집
- 오종우 외. 1997. GIS구축기법에 관한 연구. 대한지리학회 추계학술 발표집
- 오종우. 1997. 대구시 교통지리정보시스템 (GIS-T)의 구축방안. 대구시 교통정보시스템 구축. 대구시청
- 오종우. 1997. GIS구축전략, GIS실무과정, 서울특별시전산소, pp. 263-344
- 오종우. 1997. GIS구축 및 관리전략, GIS관리자과정. 한국정보문화센터교육원
- 오종우. 1997. GIS구축 방법론. 한국지리정보. 2(11): 74-81
- 오종우. 1997. SCADA GIS의 통합개념과 사례분석. 한국지리정보 14: 66-77

- 오종우. 1997. NGIS의 개발전략기술 및 추진사업 논문집 -기본S/W 기술-. GIS개발전략과 사례별 응용방안, 전자신문사. pp. 289-307
- 오종우. 1997. API 과제: Gothic Base Class의 확장, 국가지리정보시스템(GIS) 기술개발 기본 SW 중과제 제2차년도 연구결과, 한국시스템통합연구조합. pp. 13-63
- 오종우. 1997. DBMS Independent GIS기본SW기술. NGIS 기술개발 연구과제. 한국건설기술연구원.
- 오종우/김정대. 1997. GIS구축 기법에 관한 연구. 대한지리학회추계학술발표집 pp. 101-113
- 오종우. 1997. 신기술 GIS와 토지. 한국지리정보 4(16): 6
- 오종우. 1998. CALS-GIS의 상호운용 환경. GISFORUM: 국산 지리정보시스템 SW개발과 해외시장진출 활성화 방안. 전자신문사 논문집
- 오종우외. 1998. Internet GIS의 데이터 공유 표준 연구. 정통부 연구개발. 한국전산원. 104p
- Oh, Jongwoo. 1998. CALS and caveInteroperability. Smallworld '98 Asia-Pacific Conference Proceedings.
- 오종우. 1998. GIS용 API개발. 과기부 NGIS연구과제 최종보고서.
- 오종우. 1998. 지리원 수치지도의 구축 및 관리. 대한지리학회 춘계발표집
- 오종우. 1998. 신기술 GIS와 토지. 한국지리정보 16: 6
- 오종우. 1998. 교통정보시스템의 구축 방안. 계장기술 58: 62-65
- 오종우외. 1998. 국가GIS소프트웨어 개발: DBMS Independent GIS기본SW기술. 정보과학회 16(3): 16-22.
- 오종우. 1998. GIS구축과정. GIS관리자과정. 한국정보통신대학원교육원.
- 오종우. 1998. 시스템통합. 토지정보시스템 구축실무. 한국정보통신대학원교육원.
- 오종우. 1999. Smallworld를 적용한 안양시 도로시설물관리시스템. 한국지리정보 32: 58-62.
- 오종우. 1999. 한국형 UIS의 방향. 한국지리정보 28: 28-29
- 오종우. 1999. CALS-GIS에 의한 EC효과. 전자신문-테마특강 (8월24).
- 오종우. 1999. 21C GIS의 흐름. 한국지리정보 30:
- 오종우. 2000. 국방 CALS-GIS의 운용. 육군 고급 정보화정책과정. 공주대학교. pp. 99-104.
- 오종우. 2000. 인터넷 GIS의 흐름. 토목학회 학술지 4월호.
- 오종우. 2000. e-UIS의 구축 및 방향. 전자정부를 위한 지식정보화 심포지움. 한국소프트웨어산업협회
- 오종우. 2000. Future of the GIS Market. 지식 정보화를 위한 GIS학술대회. 국토개발원
- 오종우. 2000. A New Vision of the CALS-GIS Interoperability. 17th EAROPH. abs.
- 오종우 외. 2000 카르스트지형. 자연환경과 인간. 한올아카데미. 585p.
- 오종우. 2001. SCADA & 4S(GIS, ITS, GPS, RS) Interoperability. KRIHS 6Th International GIS Conference.
- 오종우. 2001. 도시안전과 정보화. 도시안전과 시설물관리체계의 개선방향. 경실련 도시개혁센터 도시안전위원회 제2차 정책워크샵 자료
- 오종우. 2005. GIS기반 u-City. 2005년도 건교부 GIS 인력양성과정.
- 오종우. 2006. 공공IT 프로젝트 수발주 실태와 개선 방안. 공공IT 프로젝트 수발주 제도를 위한 세미나. 신산업정책포럼.
- 오종우 외 1인. 2006. GIS기반 u-City 도시 인프라 구축에 관한 연구. 한국디지털정책학회 추계학술대회발표논문집
- 오종우 외 4인. 2006. LiDAR를 이용한 GIS DB의 수정갱신방안 연구. 건설교통부.
- 오종우 외 2인. 2006. 공공 IT 프로젝트 수발주 제도의 개선방안 연구.

- 디지털정책연구. 제4권4호. 119-131.
- 오종우, 구양모, 오승훈. 2006. 3차원 u-City 포탈시스템의 구현방안 연구. 한국디지털정책학회 추계학술대회발표논문집
- 오종우, 오승훈. 2006. GIS기반 u-City 도시 인프라 구축에 관한 연구. 한국디지털정책학회 추계학술대회발표논문집
- 오종우 외 4인. 2006. LiDAR를 이용한 NGIS DB의 수정경신방안 연구. 건설교통부.
- 디지털정책연구. 제4권4호. 119-131.
- 오종우. 2006. WiBro GIS를 통한 신산업 동력의 핵심 구현. GIS Review. 28: 6-7
- 오종우. 2006. 가좌 Smart-Clean Town 전략수립(건설팅부문). 서대문구 가좌뉴타운 최종보고서. 코오롱이넷.
- 오종우. 2006. u-City 기반 도시설계 모델 -판교 신도시 Apartment TK 블록을 중심으로-. 2006 김포시 u-City 구축을 위한 학술 포럼. 김포시.
- 오종우, 오승훈. 2007. 공간정보 모니터링시스템 구현방안 연구. 한국디지털정책학회 춘계학술대회발표논문집
- 오종우, 오승훈. 2007. U-Echo City 構築의 高度化 政策方案 研究. 한국모바일학회 춘계발표논문집.
- 오종우. 2007. 건교부 U-Echo City의 현황. Ubiu.net 창립5주년 기념세미나.
- 오종우. 2007. U-Eco City의 구현. U경제포럼. 전주대학교
- 오종우. 2007. 국가 GIS정책현황. 한국여성지리학회. 13권1호. pp. 24-38
- 오종우, 오승훈. 2007. 유에코시티의 현황과 발전방안 연구. 한국유비쿼터스학회 2007년도 추계학술발표논문집
- 오종우, 오승훈. 환경 생태도시(U-Eco City) 구현방안 연구. 한국모바일학회 2007년도 추계학술발표논문집. pp.73-9
- 오종우. 2007. U창원 생태도시 구축 방안. 2007년도 창원시 ‘세계축지계 도입에 따른 도시정보 시스템 수치지도 갱신 용역’ 3차감리보고서, 한국정보시스템공인감리단
- 오종우. 2007. 친환경 유비쿼터스 도시의 구성요건. 창원시 ‘세계축지계 도입에 따른 도시정보 시스템 수치지도 갱신 용역’ 최종감리보고서, 한국정보시스템공인감리단.
- 오종우. 2007. 유비쿼터스 생태도시 구축의 미래비전. 한국정보통신설비학회 추계세미나. pp.99-152
- 오종우, 오승훈. 2007. 친환경 생태도시(u-eco city) 구현방안연구. 한국모바일학회 추계학술대회 .pp 73-82
- 오종우. 2007. 운하와 U시티를 통한 한반도의 지역 균형 발전방안. 차기정부의 IT정책과 비전. 장원포럼, IT컨버전스포럼 워킹자료.
- 오종우. 2007. 수경운하와 u-City 연계에 의한 지역 균형 연구. 한국과학기술개발원 한국동굴학회 2007후기 공동학술대회. pp.112-130
- 오종우, 오승훈. 2007. 유에코시티의 현황과 발전방안 연구. 한국유비쿼터스 학회 추계학술논문집
- 오종우. 2007. 유에코시티의 미래비전, 대한전자공학회 추계학술대회.
- 오종우. 2007. 유비쿼터스 생태도시(u-Eco City)의 정책과 비전. 정보보안학회 학술지. pp.103-110
- 오종우. 2008. GIS와 u-City. 지자체GISII. 건설교통부 국토정보기획팀. 남서울대 GIS교육센터.
- 오종우. 2008. 유비쿼터스 시대의 디지털 콘텐츠 사례, 유비쿼터스 역량강화 및 보안교육. 대한건설팅.
- 오종우. 2008. u-City Sciece. 국토균형발전연구회. 231p
- 오종우. 2008. u-에코시티 테스트베드 구축사업 및 도시설계모델. 친환경, 지능형건설을 위한 유비쿼터스기반 IT융합기술 세미나. 한국미래기술교육연구원.
- 오종우. 2008. 유비쿼터스와 산림 cave정책 과학화.

- 산림cave기본계획 고도화 워크숍. 국립산림과학원
- 오종우. 2008. u시티와 지역균형발전 전략. 한국유비쿼터스학회 추계학술발표회 발표문
- 오종우. 2008. uIT 기반의 국토균형발전방안, 제2회 유비쿼터스 연합 조찬간담회 특강.유비쿼터스 IT코리아포럼/한국u-City협회.
- 오종우. 2009. Ubiquitous Cave Implecation and aspects in Korea. 국제동굴컨퍼런스. 한국동굴학회 주제강연 논문집
- Oh, Jongwoo. 2009. Karst Geomorphic Characteristics and Sediment Environments in Southwestern Wisconsin. 한국동굴학회지
- 오종우/오승훈. 2009. 첨단 기법에 의한 u-Cave 구축. 한국동굴학회 워크샵
- 오종우. 2009. 임진강 참사 대응 동굴정보 구축방안. '4대강살리기' 정책세미나. 차세대정책포럼
- 오종우/오승훈/김원진. 2009. 수요자 중심의 U-서비스 환경조사 연구. 한국과학기술개발원
- 오종우/오승훈. 2009. 유비쿼터스 하천관리시스템 연구. 한국디지털정책학회 추계발표논문집
- 우경식, 원종관, 1988. 삼척군 대이리 동굴군의 관음굴과 화선굴내에 발달한 동굴생성물의 초기 광물성분과 탄산염 속성작용에 관한 연구, 지질학회지, 25(1), p. 90-97.
- 우경식, 대이리 동굴군 학술조사보고서, 원종관 외 9명, 1987년 12월, 삼척군, 151p
- 우경식, 1989, 강원도 평창군 백룡굴 종합학술조사, 문화공보부, 평창군, 연구원
- 우경식, 1987~1987, 강원도 삼척군 대이리 동굴군 종합학술조사, 문화공보부, 삼척군
- 우경식, 1987~1989, 강원도 조선누층군 탄산염암에서 발견되는 화석 및 비화석 구성요수의 초기광물 성분과 탄산염 속성작용, 과학재단, 연구책임자
- 우경식, 1999, 강릉 옥계지역 동굴 개발타당성 조사, 강릉시, 연구책임자
- 우경식, 1998~1999, 환선굴 내부 학술조사, 삼척시, 우경식, 1998~1999, 영월댐 수몰지 동굴세부조사 용역, 수자원공사,
- 우경식, 1997, 미탄면 일원 동굴탐사 실시용역, 평창군, 연구책임자
- 우경식, 1996, 춘천 감정리 동굴개발 자료조사, 춘천시, 연구책임자
- 우경식, 1995, 평창군 미탄면 돈너미 일대의 석회암동굴 예정지조사 보고서, 평창군
- 우경식, 1999, 석회동굴의 지질학적 의미와 연구방향, 99 Samchok International Cave Symposium & Festival, Samchok, Korea.
- 최돈운 외. 2009 천연기념물 개방동굴의 현황 및 노동동굴의 실태. 2009 추계지질과학연합 학술발표회 초록집. 대한지질학회
- 장은미 1988 석회암과 고회암지역의 지표피복물에 관한 연구, 서운대학교 석사논문
- 전용목 1979 여삼 karst 의 특성 과 발달, 건국대학교 논문집 10
- 전용문 외 2009. 거문오를 용암동굴계에서 발견된 신규동굴의 특징과 의미. 2009 추계지질과학연합학술발표회 초록집. 대한지질학회
- 정석재 김대순 문준 업기태 (1989) 석회암 토양의 지형적 특성과 생성분류 1. 지형에 따른 석회암토양의 이화학적 특성, 한국토양비료학회지 22(4),265-270
- 정석재 1990 석회암 토양의 지형적 특성과 생성분류 2. 강원도 영월지역 석회 암 토 양의 광물특상과 생성 및 분류, 한국토양비료학회지 23(1),1-7
- 정미숙 1980 삼척지역의 karst terrain 에 관한 연구, 간국대학교 석사논문
- 정장호 1962 남한의 karst 지형에 관한 연구(大和, 梅浦), 서울대학교 석사논문
- 정장호 1966 한국의 karst 지형, 지산선생 회갑기념 논문집
- 정장호 1971 Karst 지형, 원색과학대백과사전, 2 지구
- 정장호 1975 Karst지형, 지리학회보 13

- 조대현 1992 단양지역 karst현상의 토양지형학적 특성, 충북대 석사논문 106p
- 지효선 외 2009 제주도 용천동굴의 석순에 기록된 지난 300년동안에 일어난 제주도의 기후 변화. 2009 추계지질과학연합학술발표회 초록집. 대한지질학회
- 채효석, 황의호, 고덕구. 2005. 효율적인 동굴 유지 관리 방안(A Strategy for Efficient Management and Maintenance of River). 국토환경연구소.
- 최돈원 외 2009. 천연기념물 제466호 용천동굴에 발달하는 동굴생성물의 성인과 특징에 대한 연구. 2009 추계지질과학연합학술발표회 초록집. 대한지질학회
- 최무웅 임종호 1990 여천리 석회암지역 피복물의 성인과 특성에 관한 분석, 지 리 학 연 구 16, 75-90
- 최무웅 임종호 1991 석회암의 풍화과정과 특성, 건국대학교 이학 논문집 16
- 홍시환 1978 동굴의 이용에 관한 연구, 동굴 3
- 홍시환,외 1978 우리나라 자연동굴의 현황과 이용에 관한연구, 건대학술지 22
- 홍시환, 1978, 동굴의 이용에 관한 연구 동굴 제3호
- 홍시환 박관섭, 1979, 한국동굴의 특성과 환경오염에 관한연구 건대 학술지 제22집
- 홍시환 1981 제주도 만장동굴계 학술조사보고, 동굴 6,7
- 홍시환 1985 우리나라 자연동굴의 지리적 분포와 그 특성에 관한 연구, 매헌 홍시환 박사 회갑기념 논문집
- Ueno, S., S.K. Pae & F. Nagao (1966) Results of the Spelological Survey in south Korea 1966. I. General account, with brief descriptions of the caves visited, Bull. Nat. Sce. Mus. Tokyo, 9(4), 1966
- Day, Michael 2009. Protected karst landscapes: lessons from Central America and the Caribbean. International Cave Conference in Korea: U-CAVES.
- Reeder, Philip 2009. Cave and karst georchaecology: new avenues for inquiry. International Cave Conference in Korea: U-CAVES.