총설

지하공동 3차원 수치화 및 형상화 기술의 지하안전 산업분야 활용

김수로^{1*} · 박관안² · 백승한³

¹한국광해관리공단 기술연구소 팀장, ²한국광해관리공단 기술연구소 실장, ³한국광해관리공단 기술연구소 소장

Application of Underground Cavity 3D Digitization and Figuration Technology to Underground Safety Industry

Soo-lo Kim^{1*}, Gwan-in Bak² and Seung-han Baek³

¹Team Leader, Department of Research and Development Geotechnics Team, Korea Mine Reclamation Corp., Seoul, Korea

²Director, Department of Research and Development, Korea Mine Reclamation Corp., Seoul, Korea

³Director General, Institute of Mine Reclamation Technology, Korea Mine Reclamation Corp., Seoul, Korea

***Corresponding Author.** Soo-lo Kim, kimsoolo@mireco.or.kr, Department of Research and Development Geotechnics Team, Korea Mine Reclamation Corp., Seoul, Korea

Received

10 August 2021

Final version Received

25 August 2021

Accepted

26 August 2021

Abstract

The objectives of this study were to discuss the technical status of “Underground Cavity 3D Digitization and Figuration Technology (MIRECO EYE),” which was developed as a result of mine reclamation technology development, its industrial application, and future directions. This technology includes an equipment and a general operation technique that measures the three-dimensional figuration of underground cavity and space. Currently, this technology is being used not only in the mining industry but also in a variety of industrial fields, for example, in urban and road sinkhole risk surveys, underground construction and safety surveys, and marine structure safety surveys, and for military (security) purposes. As the future direction of this technology, this study briefly introduces a user-friendly environment for digital transformation.

Key words : Underground Cavity, 3D Digitization and Figuration Technology, Sinkhole, Underground space

요약

본 연구는 광해방지 기술개발사업의 성과인 “지하공동 3차원 수치화 및 형상화 기술(MIRECO EYE)”의 현황과 산업 응용 그리고 미래 방향성을 논하였다. 이 기술은 지하공동의 3차원 형태를 실측하는 장비 기술 및 총괄 운용 기술이다. 현재 이 기술은 광업분야뿐만 아니라, 도심지 및 도로 싱크홀 위험 조사, 지하시설 시공과 안전 조사, 해양구조물 안전 조사, 군(안보) 목적 조사까지 다양한 분야에 활용되고 있다. 이 기술의 미래 추진 방향성으로서 사용자가 편한 환경 ‘디지털 트랜스포메이션’을 간략하게 소개하였다.

주요어 : 지하공동, 3차원 수치화 및 형상화 기술, 싱크홀, 지하 공간

서 론

광산 활동과 인간의 삶(환경)은 밀접하게 관련되어 있다. 광해방지사업은 광산 개발로 국민 생활과 건강에 미치는

요인에 대하여 분석, 예방 및 관리를 통해 녹색 생활권 보장 및 친환경적 광산개발을 목표로 한다. 대한민국은 5천여 개 미복구 광산이 전국에 산재되어 있다(MIRECO, 2014). 또한 일제 강점기 및 국내 광산 황황기(1960~1970년대)에 개

발된 광산은 갱내 도면이 없거나 자료가 불분명하여 지반침하방지사업의 저해요인이 되고 있다(Kim *et al.*, 2015). 국내 광업은 채산성 위주로 진행되어 폐광에서 발생되는 지반침하에 대한 대책 수립이 미흡했기 때문에 가행 중 혹은 폐광 이후 지반침하로 인한 안전사고 발생 우려가 높다(Kwon *et al.*, 2007). 따라서, 과거 광물자원 채굴 목적으로 개발한 지하공동은 인간이 정주하는 지역에서 지반사고의 위험요소가 될 수 있는 것이다.

최근 도심지에서 빈번한 싱크홀 발생으로 인적·물적 피해가 발생되고, 국민 불안 요인이 되고 있다. 지하에 자연적 또는 인공적 공동이 존재하지 않는다면 지표에서 침하는 발생되지 않을 것이므로 지하에 공동의 존재는 침하의 가장 큰 원인이라 할 수 있다(CIPB, 1997). 그러나 도심지 지하공동의 정량 실측기술은 미흡한 상태이다. Fig. 1은 한국의 광산지역 및 도심지에서 발생된 대규모 싱크홀 사례이다.

한편, 최근 ESG(Environment, Social, Governance) 경영은 공공부문의 핵심 화두가 되고 있으며, 각국 정부와 세계적 기업들도 경영의 핵심 키워드로 관심이 높다. 대한민국은 정보통신기술(ICT)을 기반으로 경제 전반의 디지털 혁신과 역동성을 촉진하고, 디지털 뉴딜을 사회 다방면에서 추진하고 있다(MOEF, 2020).

한국의 광해방지사업은 광산지역의 쾌적한 생활환경 조성을 목표로 수행되었으며, 실용화 기술 확보를 통해 국민 안전과 광산지역 경제진흥을 선도하는 전문영역으로 발전해왔다. 지하공동 3차원 수치화 및 형상화 기술은 광산 지반침하방지 및 복원 분야 기술개발사업의 성과로서 기술지원을 통한 다양한 지하안전분야 활용 사례와 개선 방향을 개략적으로 살펴보고자 한다.

Fig. 1. Cases of sinkholes in Korea (MoEF PIPB, 2020).

본 론

지하공동 3차원 수치화 및 형상화 기술의 개요

“지하공동 3차원 수치화 및 형상화 기술(MIRECO EYE)”은 레이저, 소나 및 영상 센싱 기술이 융복합되어 광해방지사업(지반침하방지 등) 및 광산 지하공동 조사를 목적으로 개발된 기술이며, 광산개발로 인하여 발생된 지하공동에 대하여 시추공에 삽입하여 지하공동 형상을 실측하는 기술이다(MIRECO, 2020). 현재, 이 기술의 범위는 각종 지하공동에 대한 정밀 수치 및 영상정보를 생산하는 장비 기술로서 운용 방법까지를 포함한다.

해당 장비 외형은 Fig. 2와 같으며, 해당 기술은 현장 특성에 따른 특화 모델로 개발되었다. 대표적으로 MIRECO EYE (A) 모델은 광산 지하 환경 여건에 적합하도록 개발되어 2축 구동이 가능한 다기능 모델이다. NX 규격의 시추공 투입 조사에 적합한 직경과 수심 100 m 수준의 방수 성능이 있으며, 빈 공동과 수층 공동 모두에 적용가능하도록 레이저와 소나 센싱을 선택적으로 적용가능하다. MIRECO EYE (L) 모델은 도심지 조사에 적합하도록 개량된 모델이다. 빠른 천부조사가 가능하도록 장비 직경을 감소시켰으며, 신속한 이동 및 설치에 적합하도록 일체화된 구성이 특징이다. 다. 이외에 현장 여건에 따라 개선된 5가지 모델별 주요 센싱요소, 성능 및 활용처를 요약하면 Table 1과 같다.

Fig. 2. Underground Cavity 3D digitization and figuration technology model equipment (Kim *et al.*, 2016).

Table 1. MIRECO EYE key performance specifications and recommended areas (Kim *et al.*, 2021)

Brand name	Models	Key performance, specifications	Recommended areas
MIRECO EYE	V4.0 (A)	Multifunction(laser, sonar, video), 2-axis drive, $\varnothing=57\text{mm}$	Mine, disaster, military
	V4.0 (S)	Underwater function(sonar, video), biaxial drive, $\varnothing=57\text{mm}$	watered cavity
	V4.0 (Q)	High speed function(Lidar), uniaxial drive, $\varnothing=70\text{mm}$	Operating mines, tunnels
	V4.0 (L)	Road specialization(laser, video), uniaxial drive, $\varnothing=42\text{mm}$	Urban, Low depth
	V4.0 (R)	Backpack type light weight(laser, video), uniaxial drive $\varnothing=42\text{mm}$	Mountain, hard-to-move area

기술개발 이력

해당 기술은 2008년 센싱기술 연구와 더불어 광산환경 분석, 국내 광산 채굴적 규모 검토 및 요소 기술의 성능분석을 통해 2009년 V1.0 시작품을 제작 완료한 바 있다. 시작품 모델을 바탕으로 모형 연구, 현장 실험 등을 통해 단계적으로 성능 보완, 형상화 소프트웨어 환경을 개선해왔다. 2016년 10월 V3.0 모델 시제품을 개발하였으며, 개발된 시스템은 단계별 성능평가 및 검증을 수행하여, 현장 기술지원과 함께 적용성 연구를 수행하였다. 2016년 국가 신기술(NET) 인증을 획득하였으며, 2019년부터는 신기술 기반 기술지원 및 협력 추진계획을 수립하여 산업 간 동반 협력을 강화하였다(MIRECO, 2016). 이를 위하여 도심지 및 도로 조사용 특화 모델 MIRECO EYE (L)을 상용화하였다. 2020년 해당 기술의 고도화 혁신 방향을 재설정하였으며, “사용자 중심 고도화”와 “선택적 기능 특화”가 고도화 핵심 전략이다. 이 기술의 개발 이력을 요약하면 Table 2와 같다.

기술 고도화 전략

“사용자 중심 고도화”는 4차 산업혁명 요소 기술 융복합을 통한 고도화가 기본 방향이다. VR(virtual reality, 仮想現實) 기술은 컴퓨터로 만들어 놓은 가상의 세계에서 사람이 실제와 같은 체험을 할 수 있도록 하는 첨단 인식 기술이다. 이러한 가상현실 기술을 응용하여 광업분야에서도 지하공동 3차원 수치화 및 형상화 기술의 성과물을 활용하여 사용자 편의성(몰입성)을 개선코자 하였다(MIRECO, 2020).

“선택적 기능 특화”는 사용자의 업무 특성에 적절한 맞춤형 성능 구현을 의미한다. 광업 이외의 타 산업 활용이 증가하면서 업무별 특성에 따라 특수한 성능 구비가 필요하였다. 그러나, 모든 업무 특성에 적합한 장비의 개발은 한계가

있으므로, 각 업무에 특화된 모델 개발로 추진방향이 재설정하였다. “선택적 기능 특화”로 사용자는 업무별 특성을 고려하여 선택적으로 모델을 선정하여 조사하게 되고, 조사과정 개선은 조사성과 및 업무 효율을 증대시켰다(MIRECO, 2020).

기술 성능 개선 및 성과

“지하공동 3차원 수치화 및 형상화 기술”은 더 빠르고, 데이터 손실 및 오차 감소를 위하여 지속적으로 센서 교체와 구조 변경을 추진해왔다. 센싱 및 구조 최적화를 통해 모델(A)는 한 형상의 단면 당 26초로 측정속도가 개선되었다. 또한 신소재(탄소섬유)를 활용하여 장비의 내구성을 증강시키는 한편, 센싱 창(窓) 재료와 구조 변경을 병행하여 가공성과 센싱 성능향상에도 기여하였다. 지하공동 3차원 수치화 및 형상화 기술(MIRECO EYE)은 기본적으로 시추공을 활용한 지하공동 측정기술이지만 수평 및 통상의 마찰각 이외의(약 30도 이상) 시추공 경사나, 상향 시추공(0~90도) 경사 범위까지 추진력의 부여, 자세 변경 등 근본적 경사 한계를 보완하였다. 시추공 각도 적용 범위 확대로 광

(a) MIRECO EYE pushing structure in Boreholes (b) MIRECO EYE V4.0 (R): Revolution models

Fig. 3. Development of functional aids and ultralight (R) models to overcome usage limitations (MIRECO, 2020).

Table 2. MIRECO EYE development history and strategy (MIRECO, 2020)

Time	History and Strategy
2008.02	Start of development (Current status of mining, sensing technology, concept of mining reverse design)
2009.12	MIRECO EYE V1.0 Prototype Completed, Mine Reclamation Project Service Start
2010.01	Establishing three basic strategies (lightening, precision, automation), first patent acquisition
2012.12	MIRECO EYE V2.0 (Laser Sensing Convergence) Prototype Completed, Improves Waterproof Performance
2013.12	MIRECO EYE V3.0 (Commercial Model) development completed, internal and external technical service started
2016.12	MIRECO EYE V3.1 (design&mold manufacturing, IPX8) Completed, certified by National New Technology(NET)
2019.02	NET MIRECO EYE Establishing internal and external technical support and cooperation plans
2019.12	MIRECO EYE V4.0 (3D printing and VR fusion) completed, drilling pushing structure completed
2019.12	MIRECO EYE V4.0 (L) Partial Model Technology Transfer (Promote Commercialization and Create Shared Value)
2020.01	MIRECO EYE Innovative Technology Strategy Established (Improved for Users, Specialized Models)
2020.11	MIRECO EYE V4.0 (R): Revolution Design with Android + New Battery Technology, Ultra-Light weight backpack type
2021.02	NIA(National Intellegency Agency) cooperation, Pilot Test of Korean(K) underground safety information sharing platform

해방지 및 타 산업으로 현장 적용성을 높였다(Fig. 3(a)).

사용자 중심 고도화 전략에 따라 광산, 산악지 등 특정 위치로부터의 한계 극복을 위해 노력하였다. 핵심 정량적 목표로 초경량화를 추진하여 현재 2차전지 기술, 휴대폰(Android), 백팩 형태 설계로 MIRECO EYE (R) 모델이 개발되었으며, 현장 적용성을 검토하고 있다. Fig. 3(b)은 사용자 위치 한계 극복을 위한 백팩형 초경량 모델(R:Revolution)이다.

기술 적용 및 거버넌스 협력

새로운 데이터(정보)로 불확실성을 해소하는 새로운 가치를 창출하는 업무는 ‘누구를 위해 어떻게 할 것인지’는 현실적 문제를 수반하고 있다. 지하공동 3차원 수치화 및 형상화 기술의 고도화 성능 및 기능을 기반으로 광업을 넘어 도로 위험공동 조사, 해양구조물 진단, 지하시설물 확인 조사, 軍(안보) 목적까지 해당 기술의 활용 범위가 확대되었다(Kim *et al.*, 2021). 이 기술의 활용 분야, 기술적 수요와 성과를 유형별로 정리하면 Table 3과 같다.

이 기술의 지하안전분야 기술협력 및 성과를 개략적으로 살펴보았다. Fig. 4(a)는 광산 개발 정보가 없는 폐광산 지역에서 해당 기술로 산출된 정량적인 정보에 근거하여 지하 분기 경도의 방향성을 수치적으로 분석한 광해방지사업 조사 사례이다. 분기경도의 정보를 바탕으로 추가 시추 등 상세 조사가 가능하였다. Fig. 4(b)는 라이다 융복합 모델(MIRECO EYE Q 모델)을 활용하여 안전상 문제로 접근이 불가능한 가행광산 수갱(190 m) 내부에서 26만개 점, 720개 단면 형상을 실측하였다. 수준별 단면적 정보를 활용하여 수갱 붕락 등 형상 변화를 장기 모니터링하였으며,

광산개발 계획수립에 활용된 사례이다. Fig. 4(c)는 이 기술의 시추공 편차 측정기능을 활용하여 60 m 심도 시추공의 경로 정보를 산출한 사례이다. 지하 건설공사 중 지반 보강공의 심부에서의 오차, 중첩 등 시공 품질개선에 기여한 사례이다. Fig. 4(d)는 주민 정주시설 하부에 과거 광산 개발 활동으로 발생된 지하공동이 추정되었다. 해당 기술로 형상과 규모를 실측하여 지반 안전성 검토, 보강공사 설계에 활용 사례이다. Fig. 4(e)는 깊은 수심의 수갱 시설 내부의 현황조사 활용 사례이다. 해당 기술의 방수 성능과 영상 촬영 기능을 활용하여 깊은 심도에 위치한 수중 시설 내부의 영상을 촬영하여 특이 변상과 근접 지장물의 판별에 활용되었다. Fig. 4(f)는 도심지 분야 싱크홀 예방 활용 지점을 표시한 것이다. 도심지는 싱크홀 위험 예방을 위하여 G,P,R. 조사 등 천부조사가 활발하게 이루어지고 있다. 해당 기술은 천부조사로 발견된 지하공동의 형상과 규모를 현장에서 정량적 파악할 수 있도록 하여, 응급복구 판단에 주요 정보가 되고 있다. Fig. 4(g)는 해양분야 기술 협력을 통해 해양 시설물 진단 활용사례이다. 해양 시설물도 수십년 간 파고에 의하여 내부 침식 및 변형이 유발되고 있으며, 시설물 하부 지반에서 발견되는 공동은 시설의 성능, 상태 및 안전성에 영향이 있다. 해당 기술을 활용하여 시설 하부 수중에 위치한 공동의 형상과 규모를 정량적으로 산정하여 시설물 안전진단 및 보강설계의 근거 자료로 활용되었다. Fig. 4(h)는 수해가 발생되어 조사자 안전 문제로 내부 접근이 불가능한 지하 시설물의 내부 형상을 실측한 사례이다. 산출된 3차원 CAD 형상 및 영상 정보를 활용하여 대상 시설물의 수해 피해 양상을 확인하였으며, 대안 수립에 활용되었다.

Table 3. Classification of MIRECO EYE utilization (Kim *et al.*, 2021)

Classification		Detailed Classification	Detailed Application
Mine reclamation (mining)	Abandoned mine (Mine reclamation)	Prevention of ground subsidence	Basic and Precision Measurements
		Water quality improvement	Reinforcement, changing design
	Operating mine (Mining survey)	Huge ground disaster	Internal survey, quality control
		Survey of operating mines	Mine Inter Space Measurement
	International cooperation	Technology exchange, cooperation	Mine shaft Collapse Measurement
Other industries (safety & security)	Construction(ENG)	Road, ground survey	Technical training, collaboration
		Underground construction & management	Road survey
		Underground facilities management	Checking the quality of groundwork
	Military (security) purpose	Underground special facilities survey	Underground facility inspection
		Military International Exchange, Cooperation	Observation of special facilities
	Ocean (underwater)	Structural Safety Diagnosis	Technical training, collaboration
	Natural cavity	Environmental Survey	Checking of facility changes
			Checking and measuring cavity

(a) Analysis of abandoned mine tunnels

(b) Measurement and monitoring of mine shafts

(c) Borehole Deflection and Path Measurement

(d) Modeling of underground cavity for ground reinforcement

(e) Survey of underwater structure imaging

(f) Survey of underground cavity under downtown and roads

(g) Survey of cavity and space under marine structures

(h) Survey and modeling inside underground facilities

(i) Military(security) purpose survey and CAD modeling

(j) Natural cavity(lime) survey and CAD modeling

Fig. 4. Key outputs of MIRECO EYE in various industrial fields (MIRECO, 2020).

Fig. 5. Technical user environment of Korean (K) underground safety information sharing model (MIRECO, 2020).

Fig. 4(i)는 군사목적의 터널에 시범 적용사례이다. 해당 시범적용을 통해 군사 목적용 터널과 광산용 터널의 형태적 유사성이 확인하였고, 해당 기술의 군사적 목적에 활용성을 확인하였다. Fig. 4(j)는 석회암 지역의 지하 심부에서 발견된 자연 공동에 대한 실측 조사 사례이다. 시추조사와 연계하여 지하 60 m 심도에 위치한 자연 석회 공동의 실제 규모와 연장 특성을 확인하였다.

지하공동 3차원 수치화 및 형상화 기술은 광업분야 및 타 산업으로 다양한 기술협력에 활용되어 유효한 성과를 도출하였다. 산출된 정량적 정보는 지하공동과 관련된 다양한 분야 현안문제에 대하여 판단과 대응에 중요한 정보로 활용되었다.

기술 고도화 방향

지하공동 3차원 수치화 및 형상화 기술은 광해방지사업(광업)과 타 산업으로 활용 범위 확대와 함께 산지, 해상 및 도심 등 특정 위치 기원의 제한성 극복과 생산 정보의 신속한 공유를 위한 통합적 환경이 필요하였다. 공통의 위험요소(지하공동)에 대응하기 위한 국산 사용자 플랫폼 구축은 산업 간 협업 및 만·관·공 협력의 물리적 기반이 되어 국민 지하안전 강화에 기여할 것으로 판단된다. 디지털 신기술 기반을 통한 새로운 지하안전 조사 방식 및 서비스는 민간 엔지니어링분야 혁신과 시장 성장도 가속화시킬 것으로 기대된다.

이 기술은 기술은 NIA(한국지능정보사회진흥원)와 협력을 통해 국산 클라우드(PaaS-TA) 융복합이 추진되고 있다. 이 통합된 시스템 환경은 지하안전분야 민·관·공 정보소통 및 대응을 위한 물리적 공유 공간 확보를 의미하며, 다양한 사용자 접근이 가능한 산업 간의 연결고리가 될 수 있을 것이다. 이 서비스 환경은 “한국형(K) 지하안전(안보) 정보공유 모델”이라는 명칭으로 개발되고 있으며, 총괄 사용자 환경을 요약하면 다음 Fig. 5와 같다.

결론

지하공동 3차원 수치화 및 형상화 기술(MIRECO EYE)은 정보 공유의 물리적 기반 조성과 사용자 중심 고도화의 방향성으로서 디지털 트랜스포메이션(DX)을 추진하고 있다. 이는 국민 지하안전이라는 공통의 가치를 지향하는 것이며, ESG, 한국판(디지털) 뉴딜 등 정부의 혁신 정책에도 부합하고 있다. 국산 지하안전 공공 기반 확보 수단으로서, 이 기술은 초경량 MIRECO EYE (R) 모델과 안드로이드 기반 디지털 공유서비스 상용화를 추진하고 있다.

지하공동 3차원 수치화 및 형상화 기술을 활용한 지하공동의 정량적인 수치확보 및 대응조치는 광해방지(광업) 사업을 넘어 도로 싱크홀, 해양구조물, 지하매설물 안전진단, 軍(안보) 목적에 이르기까지 확대되고 있다. 산업별 정보 공유에 적합한 성능의 구비 및 국산 서비스 기반을 확보하여 국민 지하안전이라는 산업별 공통의 목표에 접근하고 있다.

References

- Coal Industry Promotion Board (CIPB), 1997. *A Study on the Ground Subsidence Mechanism and the Method for Preventing Subsidence in Mine area*, Technical Book 97-06, Seoul, Korea, 14p.
- Kim, S.L. and Park, J.H., 2015. Research and development trends for mine subsidence prevention technology in Korea, tunnel & underground space, *Journal of Korean Society for Rock Mechanics*, 25(5), p.408-416.
- Kim, S.L., BAK, G.I., and Baek, S.H., 2021. Application of Underground Cavity 3D Digitization and Figuration Technology (MIRECO EYE) to Prevent mine damage and other Industries, *Korean Society for Rock Mechanics and Rock Engineering Spring Conference*, Jungsun, Korea,

p.45-46.

Kim, S.L., Park, S.B., Choi, B.h., Yun, J.M., and Jeong, G.C., 2016. A study on the basic geometry analysis of abandoned underground mine tunnels in Korea and advanced measuring-analysis technology for underground mine cavities, *Tunnel & Underground Space, Journal of Korean Society for Rock Mechanics*, 26(6), p.455-465.

Korea Mine Reclamation Corp. (MIRECO), 2014. *White Paper on Mine Damage Management*, Korea Mine Reclamation Corp. The office of planning and Coordination, Seoul, Korea, p.30-77.

Korea Mine Reclamation Corp. (MIRECO), 2020. *Development of Sensing base Ground Measurement Technology and Investigation Technology for Ground Subsidence Hazardous*

Area, Korea Mine Reclamation Corp. Institute of Mine Reclamation technology, Technical Book (Research) 2020-51, Wonju, Korea, p.4-208.

Kwon, H.H. and Nam, G.S., 2007. *Mine Reclamation Engineering*, DongHwa Technology Publishing Co., Seoul, Korea, p.92-203. (in Korean)

Ministry of Economy and Finance (MOEF)-Korea Institute of Public Finance (KIPF), 2020. *2019 Best Practices for Public Institution Innovation, Collaboration, and Citizen Participation*, Sejong, Korea, p.122-131. (in Korean)

Ministry of Economy and Finance (MOEF), 2020. *Strengthening the role of public institutions to support the Korean version of the New Deal*, Sejong, Korea. (in Korean)

김 수 로

2001년 조선대학교 공과대학 자원공학과
공학사
2003년 조선대학교 대학원 자원공학과
공학석사
2007년 기술사(지질 및 지반)

현재 한국광해관리공단 기술연구소 지반안정기술팀 팀장
(E-mail; kimsoolo@mireco.or.kr)

박 관 인

2004년 인하대학교 공과대학 자원공학과
공학사
2006년 서울대학교 대학원 자원공학과
공학석사

현재 한국광해관리공단 기술연구소 연구개발실 실장
(E-mail; kipark@mireco.or.kr)

백 승 한

1996년 한양대학교 공과대학 자원공학과
공학사
1998년 한양대학교 대학원 자원공학과
공학석사
2004년 한양대학교 대학원 지구환경시스
템공학과 공학박사

현재 한국광해관리공단 기술연구소 소장
(E-mail; shbaek@mireco.or.kr)