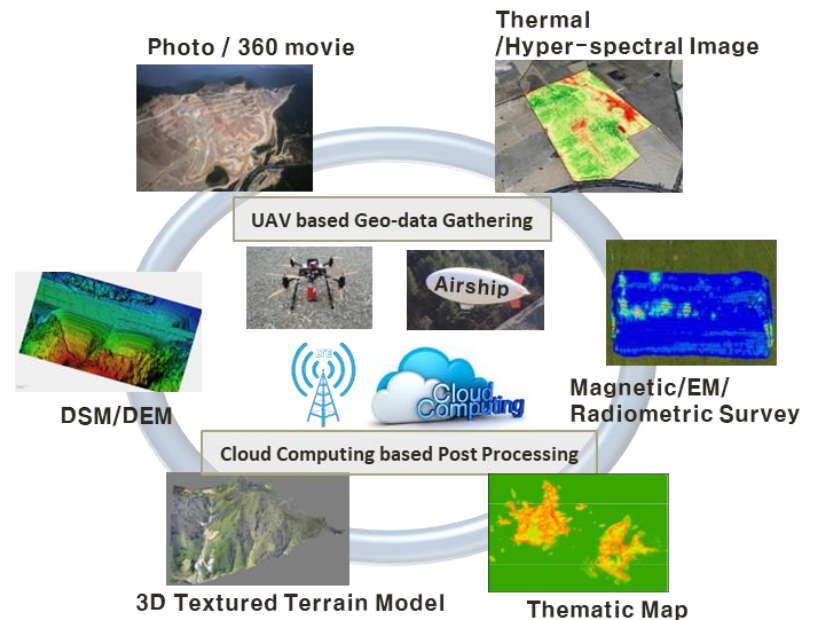
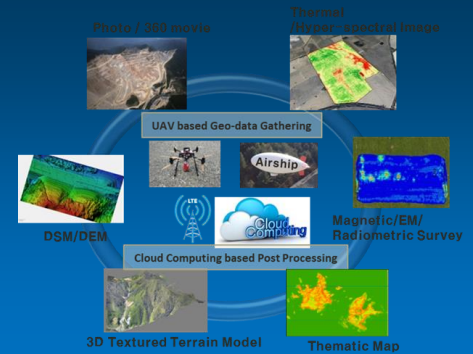


미래시대를 개척하는 육상 자원탐사기술

일 시 2024. 09. 25
발 표 자 한양대학교 변중무



Contents



01 새로운 시대의 도래

02 핵심광물의 등장

03 육상자원탐사

04 육상자원탐사 기술의 응용

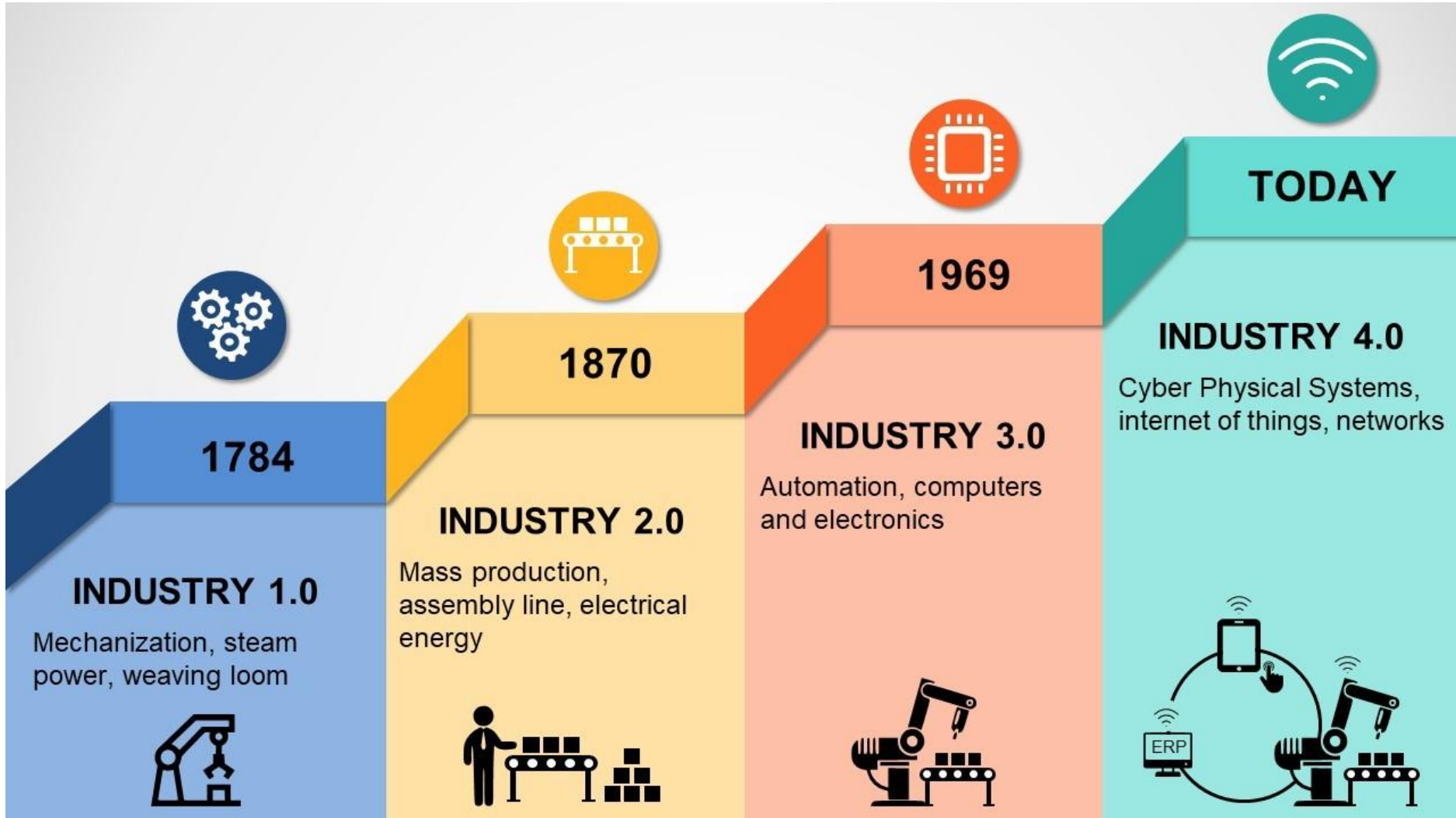
05 제언과 맺음말

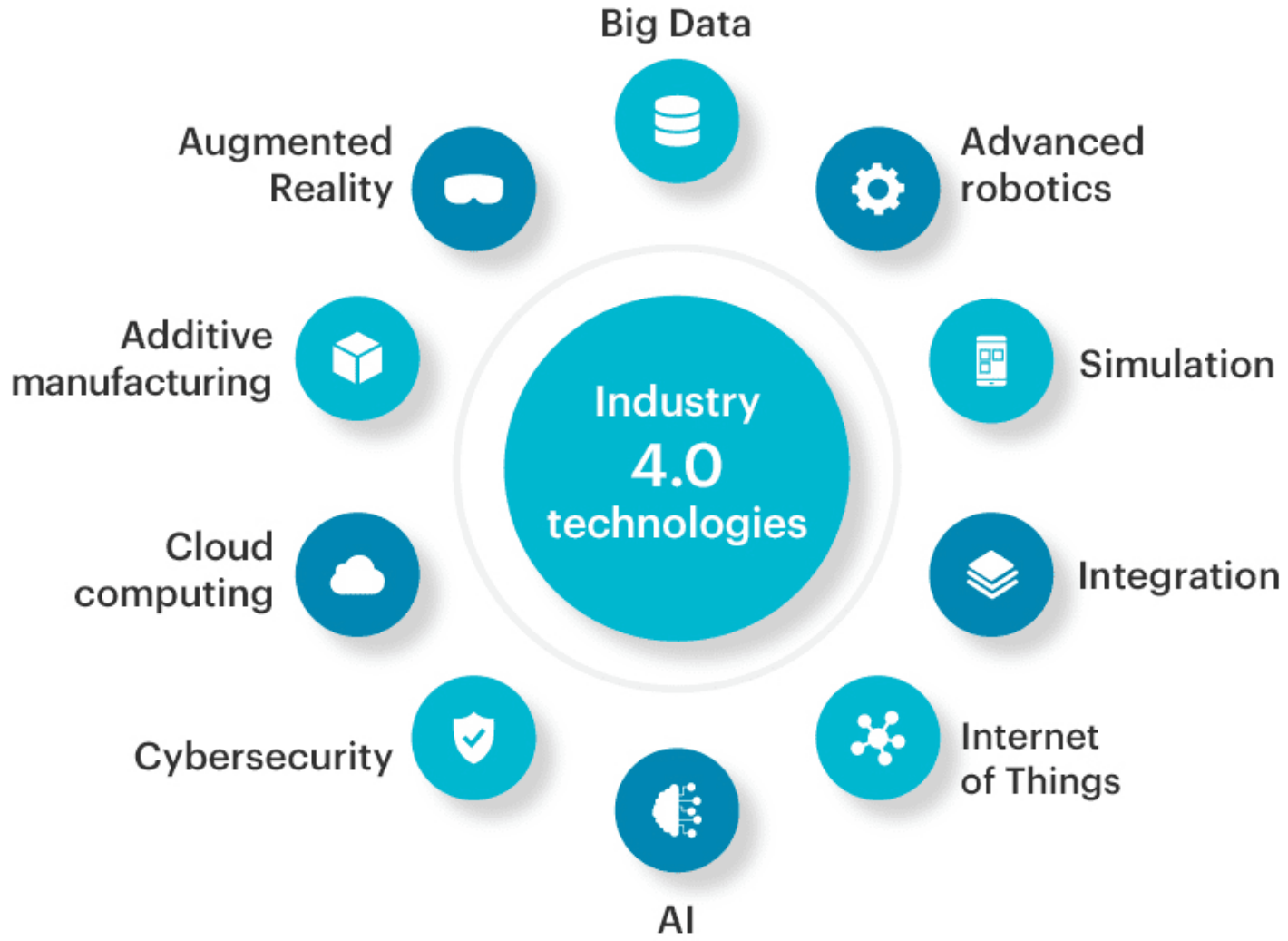
01

새로운 시대의 도래

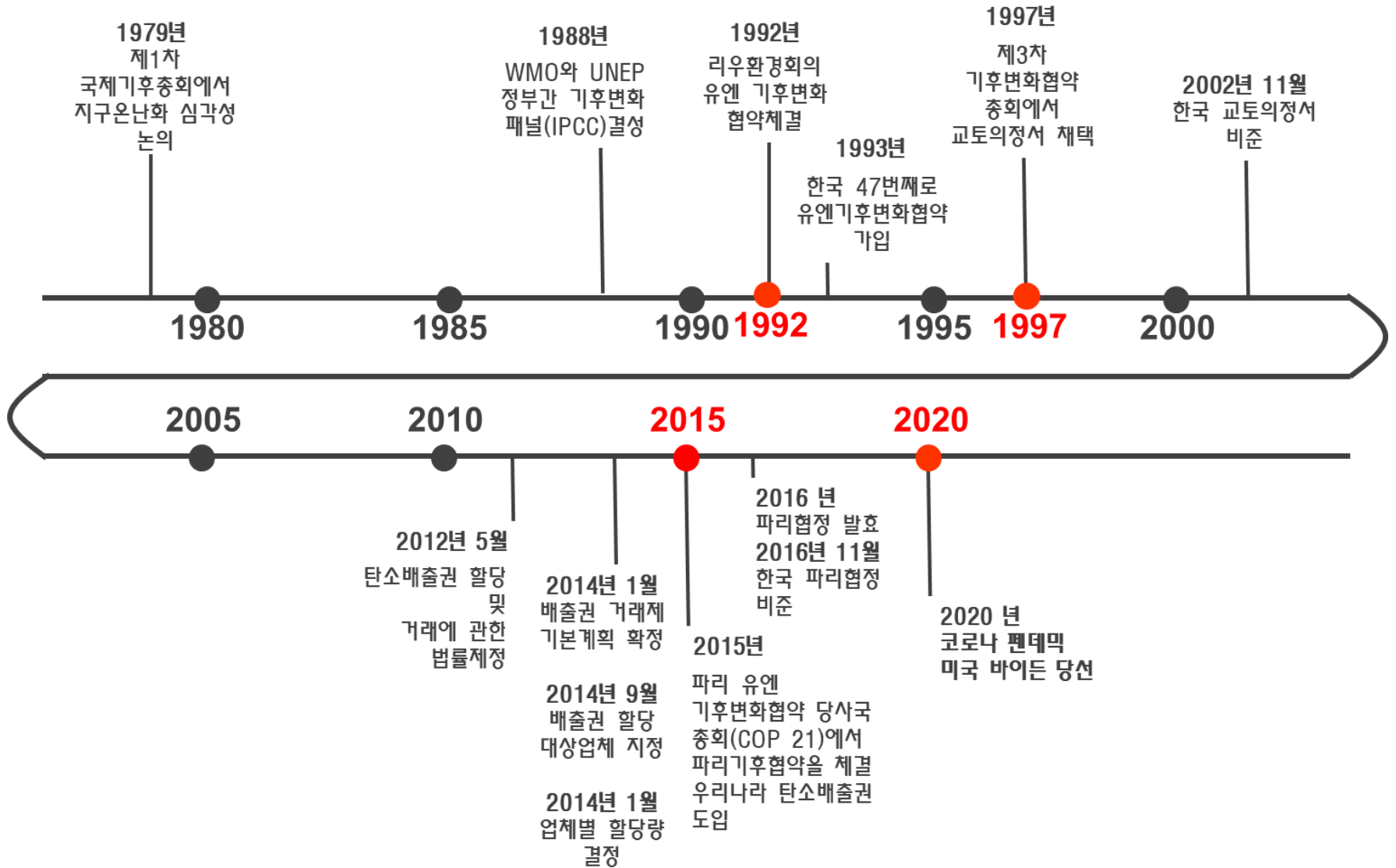


4차 산업혁명





UN 기후변화협약 진행과정

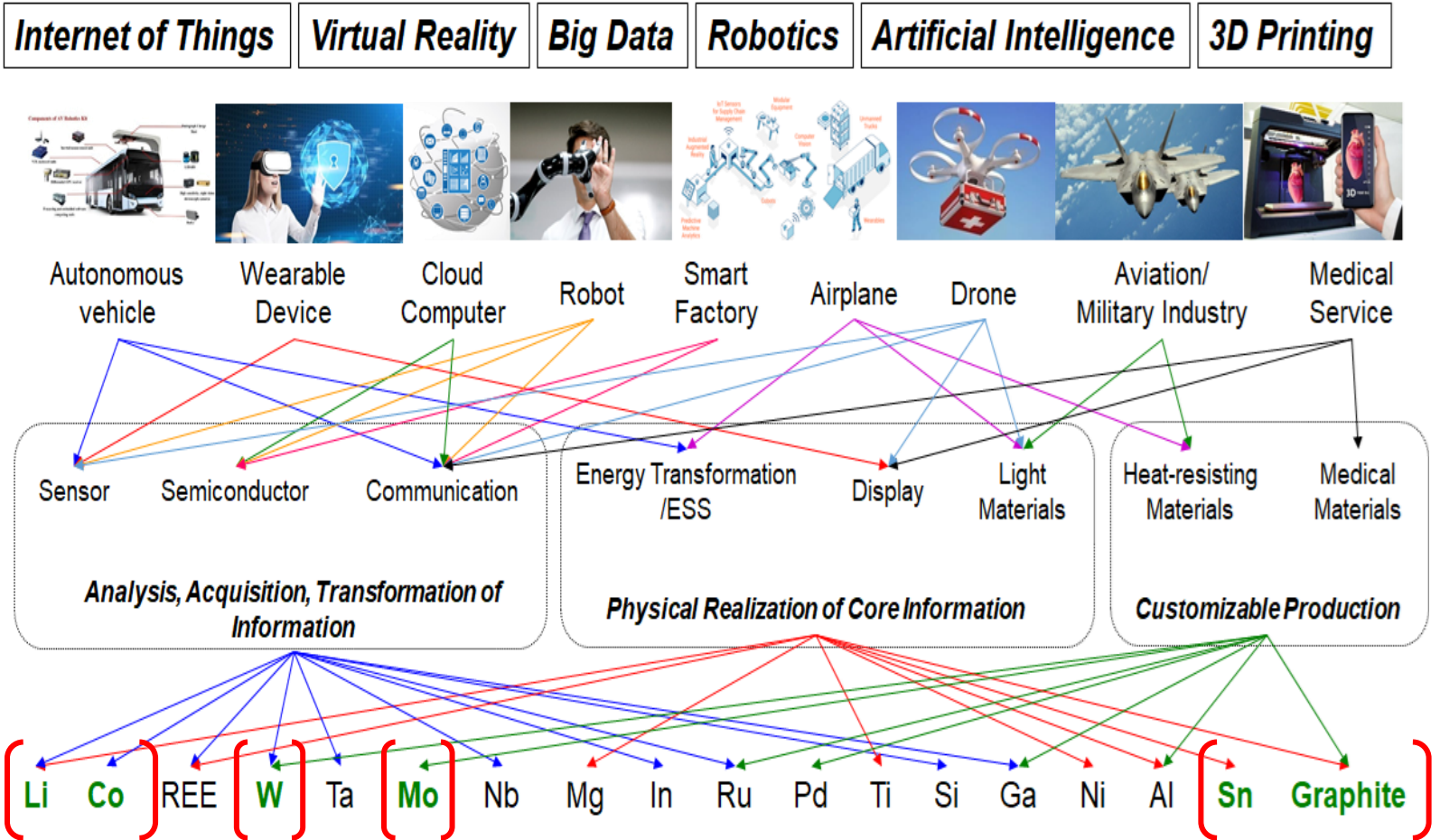


첨단산업 원료광물 매트릭스 분석

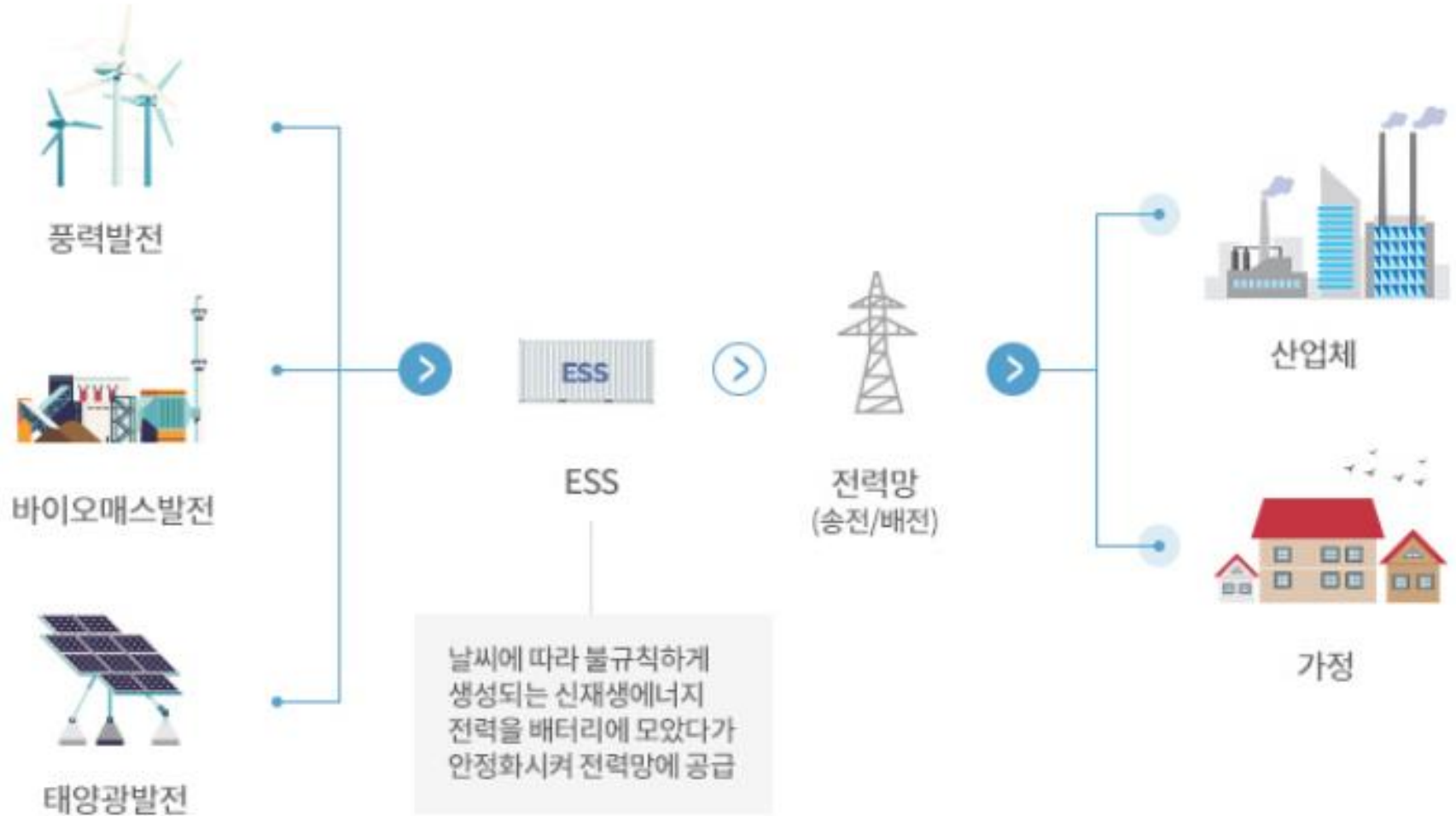
The Fourth Industry Revolution

Core Components

Elements



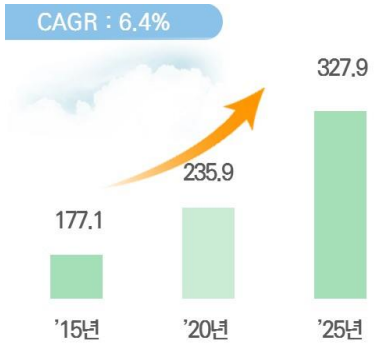
재생에너지와 ESS(Energy Storage System)



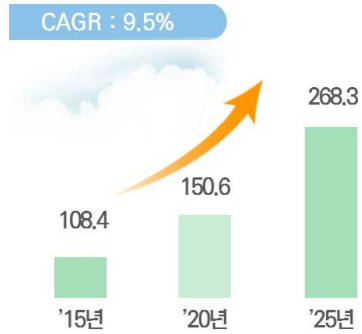
▶ 이차전지 원료광물

> 리튬, 코발트, 니켈, 흑연, 바나듐 등

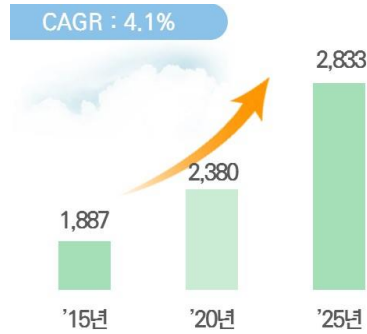
리튬 수요전망(천톤LCE)



코발트 수요전망(천톤)



니켈 수요전망(천톤)

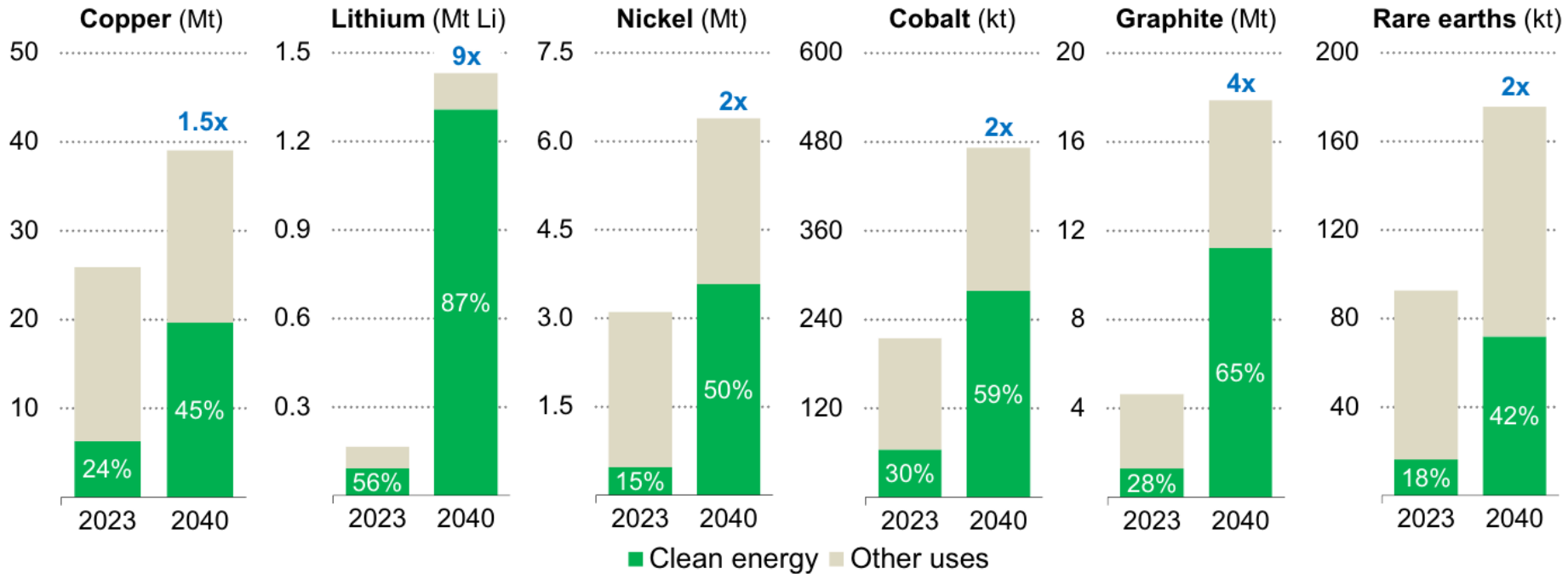


바나듐 수요전망(천톤)



2050 탄소중립(NZE) 시나리오 달성을 위한 핵심광물별 예상 수요 증가량

Growth in demand for key critical minerals in the Net Zero Emissions by 2050 (NZE) Scenario



02

핵심광물의 등장



▶ 핵심광물의 정의

- ▶ 미국 - 공급망이 취약하고, 미국 경제 또는 국가 안보에 필수적인 광물, 원소, 물질 또는 재료
- ▶ EU - CRMs, Critical Raw Materials, 유럽 경제에 경제적, 전략적으로 중요하면서 공급 위험이 높은 원자재
- ▶ 호주 - 현대적 기술과 경제 또는 국가 안보에 필수적이고, 공급망 교란 리스크 있는 금속 및 비금속
- ▶ 한국 - 가격·수급위기 가능성이 높고, 위기 시 국내 산업 및 경제에 파급효과가 커서 경제안보 차원에서 관리가 필요한 광물




▶ 핵심광물 33종 (산업통상자원부, 2023)

- ▶ 국가 첨단산업(반도체, 이차전지 등)에 필수적인 원료광물을 대상으로 공급 리스크, 경제적 파급력 등을 평가하여 33종 선정

핵심광물 33종

리튬, 니켈, 코발트, 망간, 흑연, 희토류(5종), 니오븀, 구리, 알루미늄, 규소, 마그네슘, 몰리브덴, 바나듐, 백금종(2종), 주석, 티타늄, 텅스텐, 안티모니, 비스무스, 크롬, 연, 아연, 갈륨, 인듐, 탄탈륨, 지르코늄, 스트론튬, 셀레늄 / 희토류(네오디뮴, 디스프로슘, 터븀, 세륨, 란탄), 백금족(백금, 팔라듐)

전기차 1대 당 들어가는 광물의 양

전기 자동차 한대 당 원재료 함량							[Kg/car]
	Li (LCE)	Ni	Co	Mn	Cu	Al	
Tesla Model S  75KWH	60	53.5	9.9	x	26.6	12.3	18650 Cylindrical (NCA)
BMW i3 Gen2  33KWH	33	14.6	12.0	10.7	15.8	6.9	Prismatic (NCM111)
GM BOLT  60KWH	71	26.3	26.4	43.9	39.7	24.5	Pouch (NCM622+LMO)
	✓ Cathode ✓ Electrolyte	✓ Cathode ✓ Lead Tab	✓ Cathode	✓ Cathode	✓ Anode Substrate ✓ Lead Tab	✓ Cathode Substrate ✓ Lead Tab ✓ Can/Cap Ass'y ✓ Pouch	

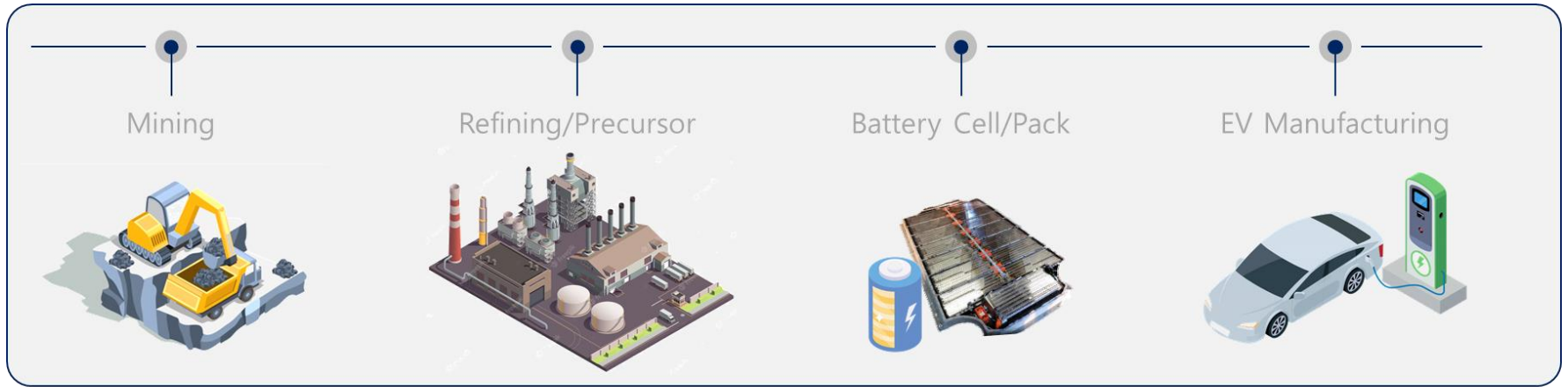
*Source : SNE Research

- > 자동차 세계연간생산량 - 97 million(2018), 92 million(2019), 78 million(2020), 80 million(2021), 85.4 million(2022), 94 million (2023)
- > 2020년 세계 전기차 판매량은 3백만대로서 시장점유율이 4% (IEA, 2021)
- > 탄소중립목표달성을 위해서는 2030년까지 시장점유율이 40%가 되어야함

▶▶ 연간 생산량

- ▶ 철: 3,190,110천톤(2017)
- ▶ 알루미늄: 322,974 천톤(2018)
- ▶ 망간: 61,163 천톤(2017)
- ▶ 구리: 20,252 천톤(2017)
- ▶ 니켈: 1,990 천톤(2017)
- ▶ 리튬: 209 천톤(2017), LCE 기준
- ▶ 코발트: 110 천톤(2017)
- ▶ 바나듐: 80 천톤(2017)

▶▶ 전기차 배터리 공급망



▶ 미국 Tesla

- ▶ 미국 네바다에 35GWh 생산 규모의 기가 팩토리 건설
- ▶ 연 25,000 ton LCE 리튬 연간 소비 전망
- ▶ 재료비 절감과 수산화리튬 형태의 공급을 위해 북미에서 개발되는 신규 프로젝트 위주로 리튬 공급
- ▶ 멕시코 소노라 프로젝트 장기공급계약, Silver peak 등 네바다 프로젝트 계약 중
- ▶ Tesla Secures Rights to Mine Its Own Lithium in Nevada: 2020. 9.30 Bloomberg

▶ 일본 Toyota 그룹

- ▶ Olaroz 염호를 개발하며 No.5 리튬 업체로 주목 받는 Orocobre 와 토요타 그룹의 부품 및 재료 수급을 담당하는 토요타 쓰우쇼(TTC)는 2012년부터 파트너십
- ▶ Orocobre의 Salar de Olaroz 지분 25%
- ▶ Ioneer(22.06) offtake agreement for 4 ktp of lithium carbonate for 5 years
- ▶ Recycling agreement with Brunp

▶ 중국 CATL

- ▶ 전기차 배터리 세계 1위 전지업체
- ▶ 정부 및 양극재 업체 PULEAD와 Qinghai CATL을 설립하고 칭하이 시닝을 이차전지 생산 거점화
- ▶ 글랜코어와 연간 20,000톤 규모 코발트 공급 계약체결(2017)(폭스바겐 대형 전기차 프로젝트 MEB 대응 원재료 확보)
- ▶ Pilbara Mineral 지분 6.33%, North American Nickel 지분(17.35%) 보유
- ▶ DRC Kisanfu copper-cobalt mine 지분 25% 확보(2021. 4. 12)

▶ 국내 기업

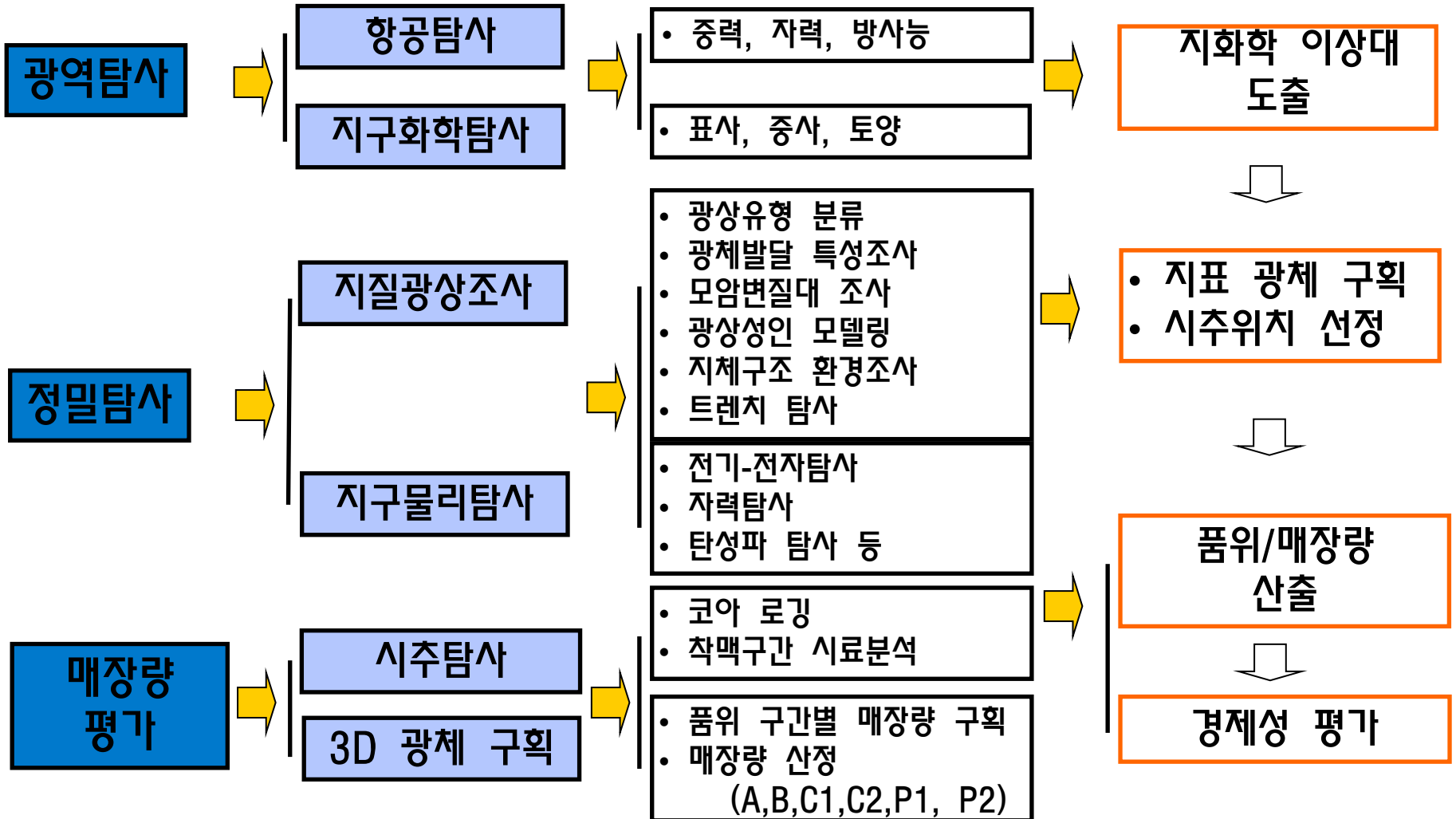
- ▶ 적극적인 Off-take 확보 노력
- ▶ 국내외 Upstream 산업 직접 투자
- ▶ 재활용 시장 진출
- ▶ 미활용 자원 개발을 위한 기술 투자

03

육상자원탐사



자원탐사 기술 흐름도



- > 광물자원 부존특성 조사
- > 유망 광화대 도출
- > 시추/트렌치 위치 선정

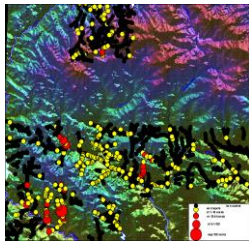
공간도면자료 종합 해석

- 지질도
- 광상분포도
- 지구화학도
- 물리탐사자료 해석
- 지질구조도
- 지체구조도
- 위성 영상자료

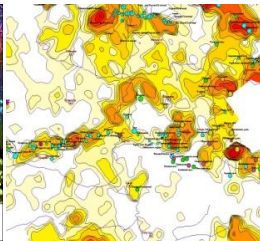
조사지역 선정

지질/광상 조사

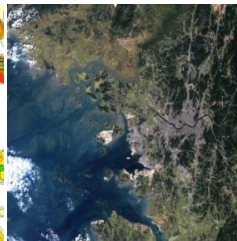
- 정밀 지표지질조사
- 정밀 광상부존조사
- 지표 지질/광상조사
- 모암 변질대 조사
- 광체발달 양상조사
- Pitting, 트렌치 탐사



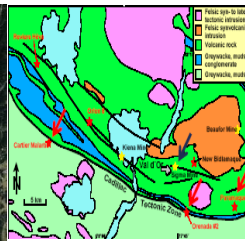
광물분포도



중력 이상도



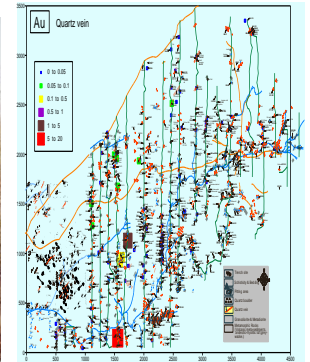
위성사진



지질도



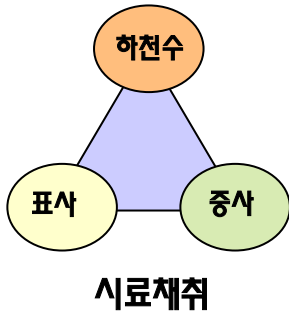
지표 지질/광상조사



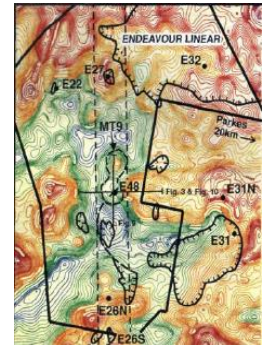
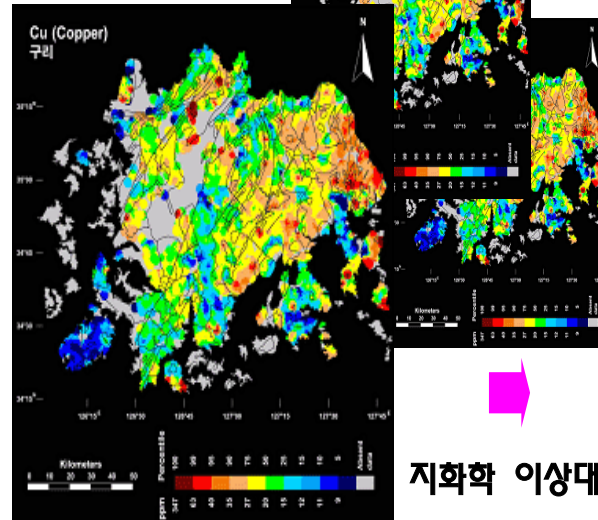
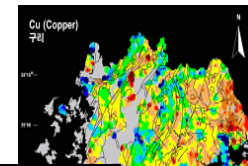
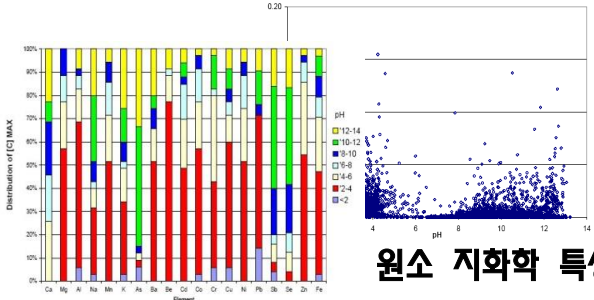
정밀지질광체도면 작성

지구화학 탐사

- ▶ 수계 하상 퇴적물 시료채취 (표사, 중사, 하천수, 토양)
- ▶ 지화학 자료 전산화 및 통계분석
- ▶ 원소별 지화학 이상도 작성
- ▶ 탐사 유망지역 선정



지화학분석



유망지역 선정

지화학 이상대 도출

탐사법	대응되는 물성	측정에 이용되는 현상	주요탐사대상
중력탐사	밀도	중력가속도의 변화	지질구조, 자원탐사
자력탐사	대자율	정적 자기장의 변화	자원탐사, 문화재
전기비저항탐사	전기전도도	겉보기 전기비저항의 변화	광물자원, 지하수, 지반조사
자연전위탐사	산화전위, 이온 농도 및 유동	전기 화학적, 전기역학적 전위 변화	지하수, 광물자원
유도분극탐사	암석구성입자의 전기화학적 특성	분극전위의 변화	환경오염, 광물자원
레이더탐사	유전율, 전기전도도	레이더파의 속도, 진폭	환경오염, 지반조사, 문화재
전자탐사	전기전도도, 투자율	분자기장의 강도 및 위상변화	광물자원, 환경오염
탄성파탐사	탄성계수, 밀도	탄성파속도(P 파 및 S 파), 진폭	석유/가스, 지반조사
방사능탐사	방사능 원소의 함량	방사선세기	우라늄광, 환경오염

매장량 평가

- ▶ 트렌치/시추탐사 자료해석 및 평가
- ▶ 광석의 품위/매장량 산출
- ▶ 광상개발 경제성 평가용 자료 확보

트렌치/시추조사
자료 해석/재평가



트렌치 정밀조사

시추코어 로깅



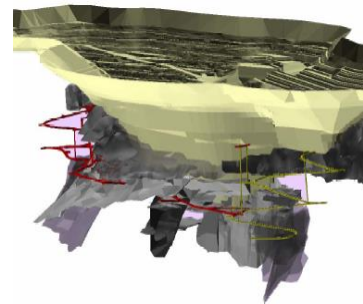
코어시료 로깅

시험분석

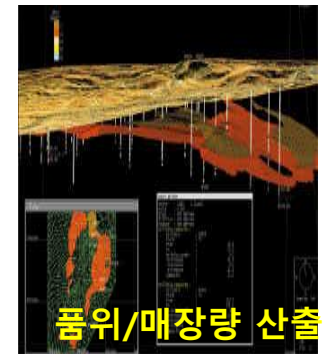


ICP 분석

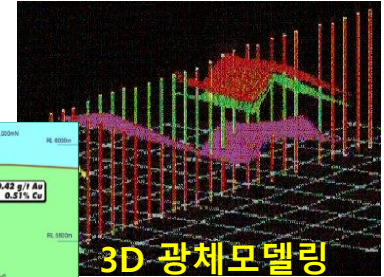
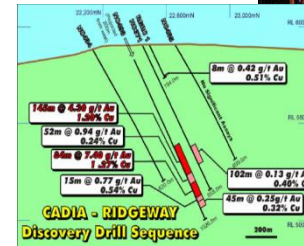
광체의 3D 모델링



매장량 평가



품위/매장량 산출



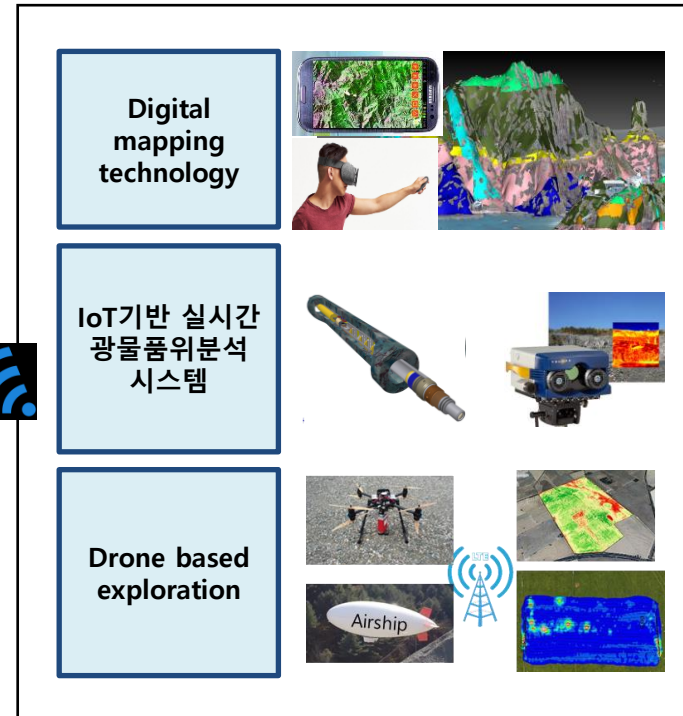
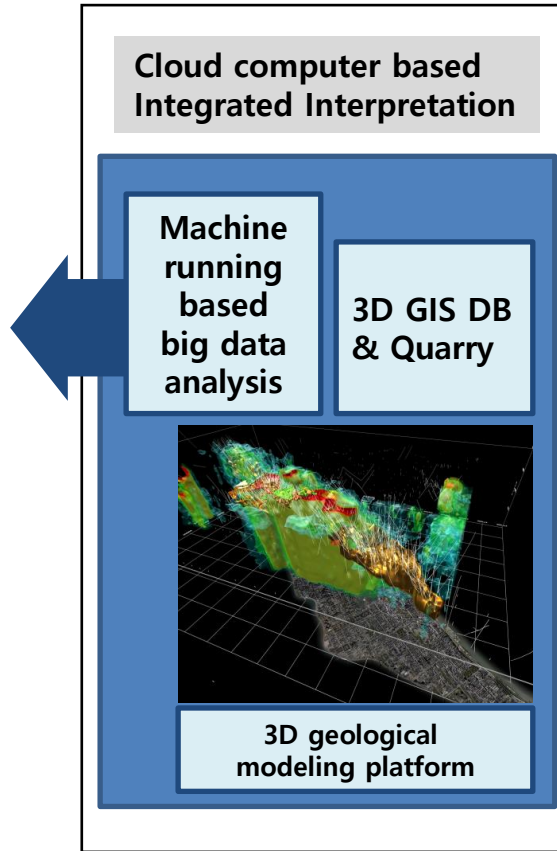
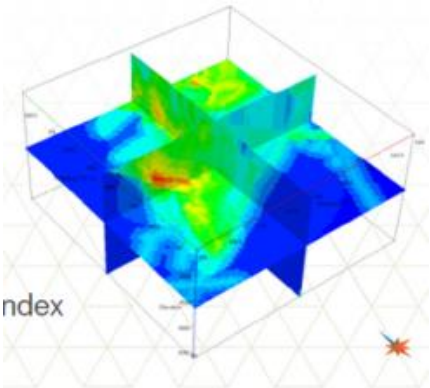
3D 광체모델링



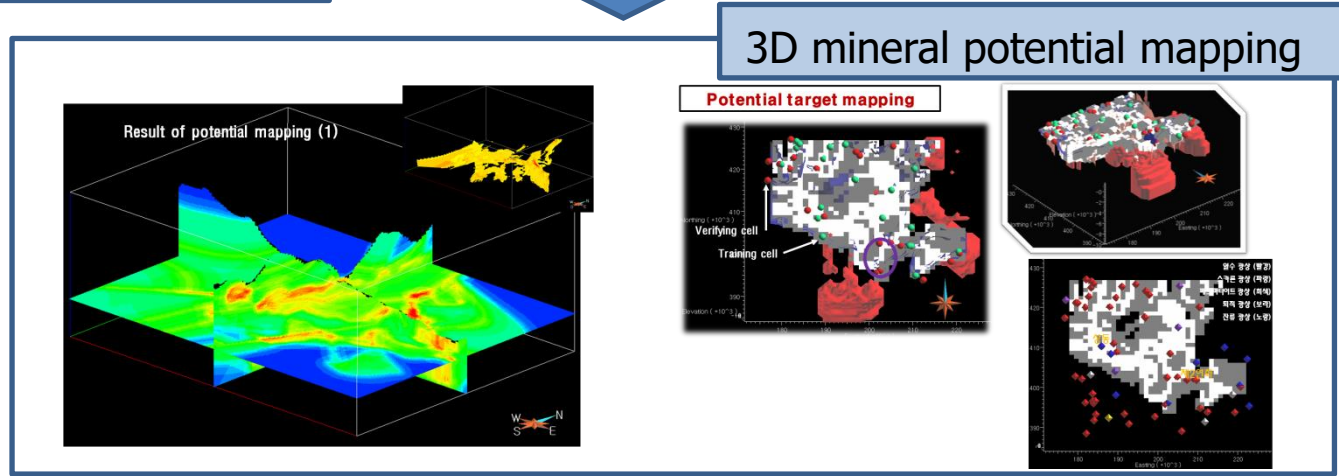
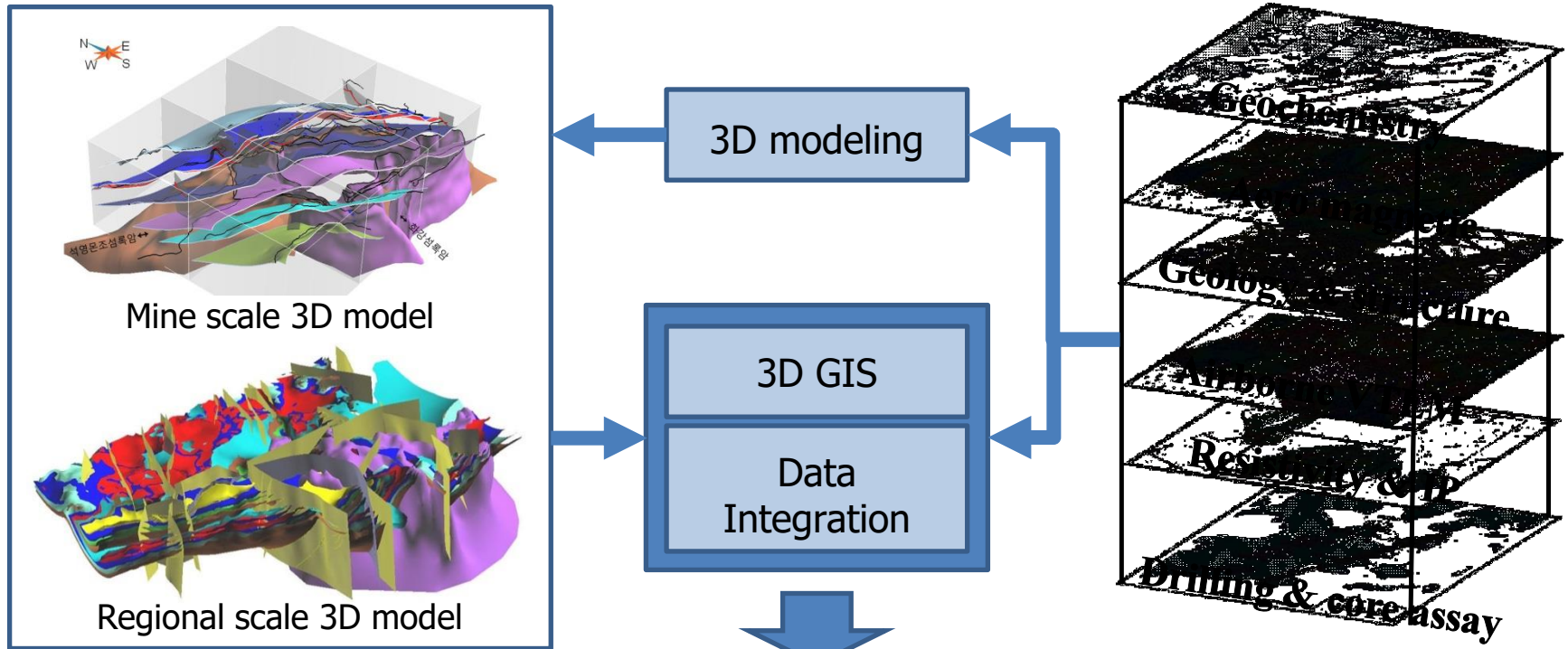
시추탐사

새로운 자원탐사 시대

4D geological disaster prediction or mineral potential map

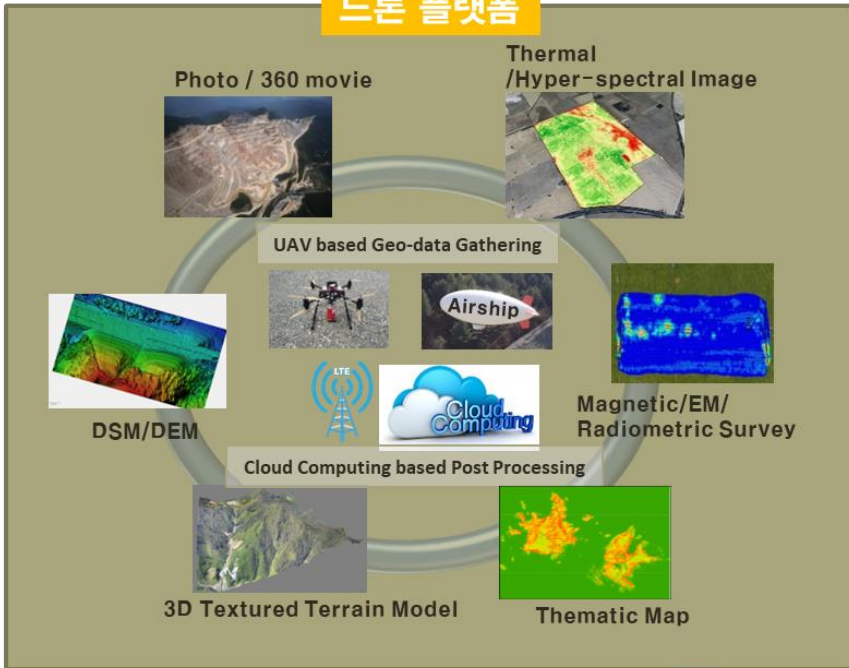


Mineral potential mapping Concept



무인비행선/드론 기반 물리탐사

드론 플랫폼

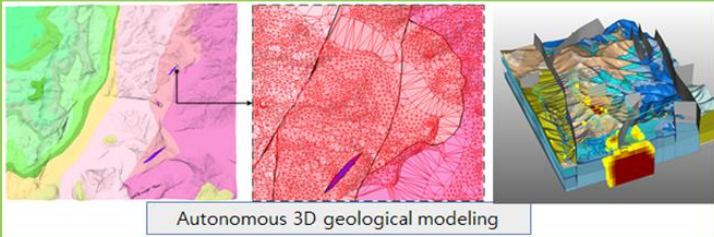


3D analysis



Autonomous 3D geological modeling

3D 지질모델링 플랫폼



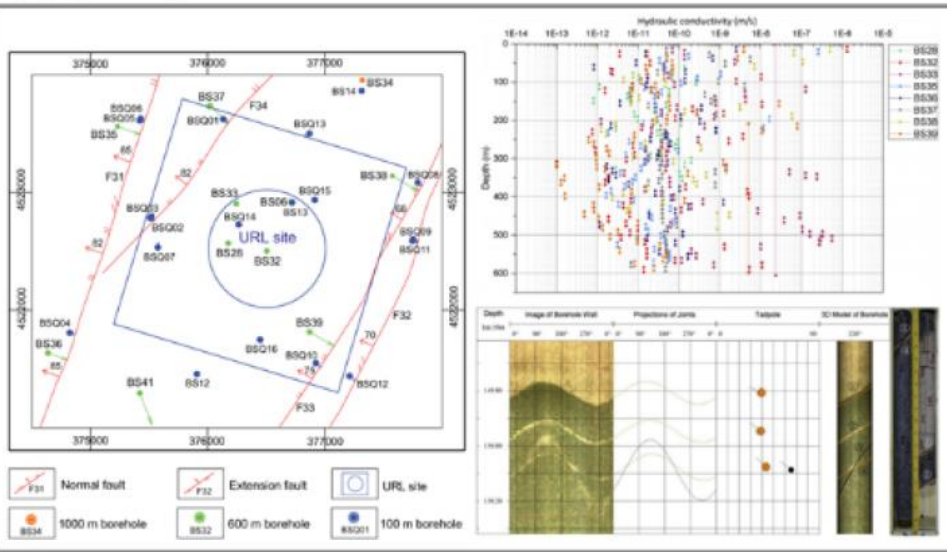
04

육상자원탐사 기술의 응용

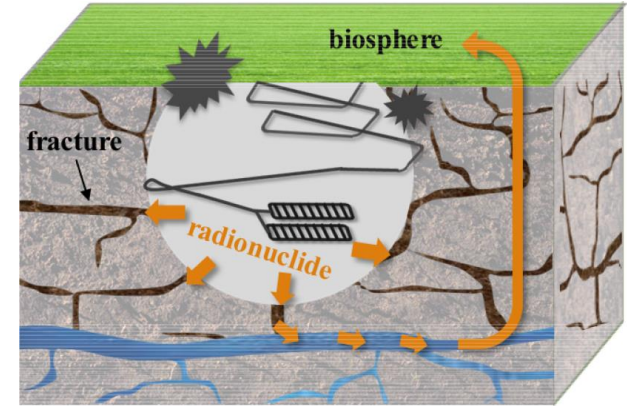
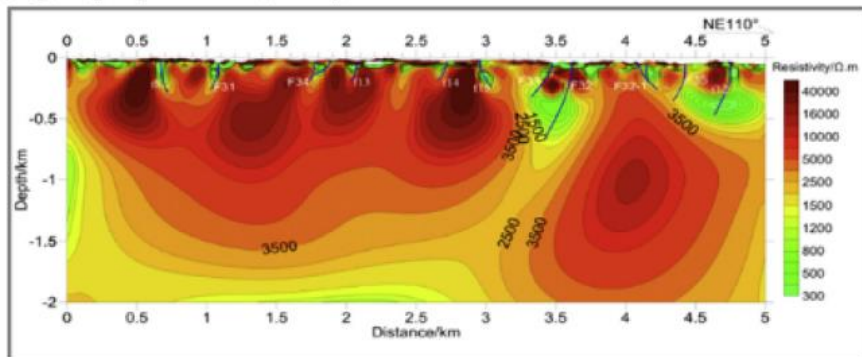


고준위 방사성 폐기물 지층 처분 부지 조사

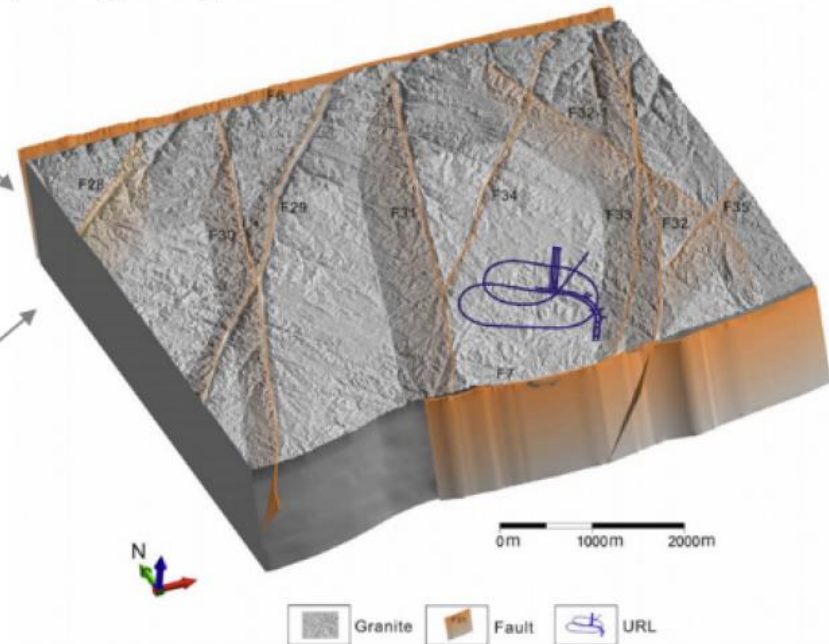
(a) geological data from borehole



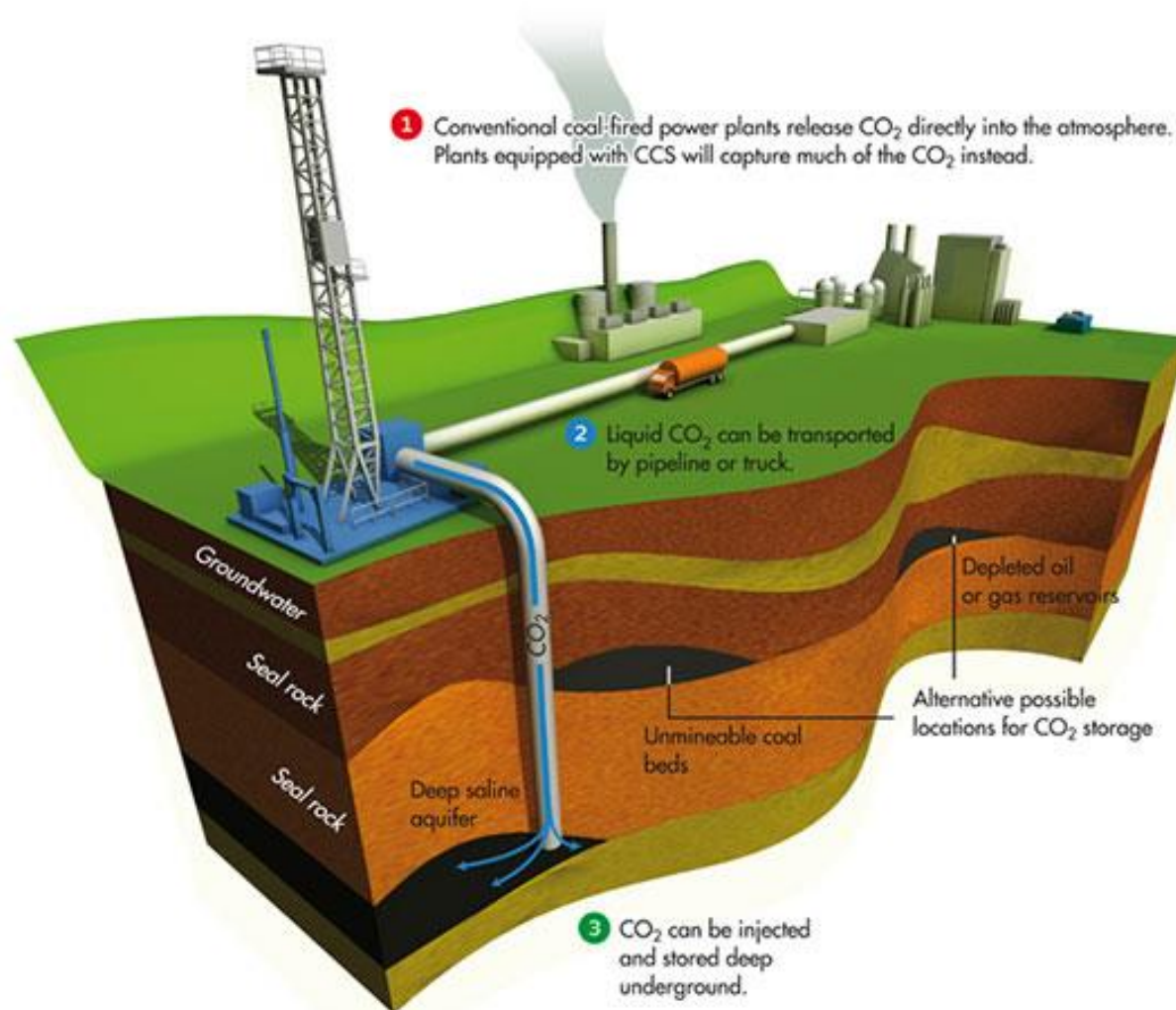
(b) geophysical (EM) data



(c) 3D geological model



이산화탄소 지중저장 부지 조사 및 모니터링



도로함몰 예방을 위한 조사



05

제언과 맺음말



▶ 자원 안보 차원에서 정부의 자원개발에 대한 적극적인 관심과 지원이 필요

- ▶ 4차산업혁명시대와 친환경 에너지전환시대를 개척해 나가기 위해서는 이를 위한 원료인 핵심광물의 안정적인 공급이 필수
- ▶ 전 세계적인 수요 폭발로 인하여 가격 상승과 일부 핵심광물의 경우 자원무기화 현상까지 일어나고 있음
- ▶ 일반적으로 자원을 탐사부터 개발을 시작하기까지는 약 5 ~ 10년 등 장기간이 소요되므로 정부의 꾸준한 관심과 지원만이 핵심광물의 안정적인 공급을 보장할 수 있음

▶ 자원탐사기술 R&D에 대한 지속적인 지원

- ▶ 자원탐사 기술을 소부장의 소재 확보 기술로 인식하고 이에 대한 관심과 지원이 필요
- ▶ 세계 핵심광물 시장의 규모는 나날이 증가하고 있으며 지속적인 기술개발을 통해 이 시장을 선도해 나갈 필요가 있음

▶ 체계적인 자원탐사 인력의 양성

- ▶ 자원이 빈약한 우리나라의 어려운 환경을 타개하기 위해서는 고도의 자원탐사 기술 개발 능력과 글로벌 네트워크를 겸비한 인력양성이 매우 중요하며 이를 위해 자원탐사 관련 대학원생에 대한 인력양성 프로그램이 필요

감사합니다.



한국과학기술기획평가원



한양대학교