Journal of Industrial Technology, Kangwon Natl. Univ., Korea, No. 41:1 (2021) 21~24
ISSN 1229-9588
eISSN 1598-1371
https://doi.org/10.22805/JIT.2021.41.1.021

호주 Olympic Dam 사례를 바탕으로 한 MT 기반 심부 지하 광물자원 탐사의 국내 적용성

Domestic applicability of MT-based deep underground resource exploration based on the Australia Olympic Dam case

정동호[a], 류경호[a], 오석훈[b*]
DongHo Jeong[a], KyeongHo Ryu[a], SeokHoon Oh[b*]

[a] Department of Energy Resource Engineering, Kangwon National University, Student, 1, Kangwondaehak-gil, Chuncheon-si, Gangwon-do, 24341, Republic of Korea
[b] Department of Energy Resource Engineering, Kangwon National University, Professor, 1, Kangwondaehak-gil, Chuncheon-si, Gangwon-do, 24341, Republic of Korea

Received 8 September 2021; Revised 22 October 2021; Accepted 22 October 2021

Abstract

In this study, the development and production of electric vehicles and hydrogen vehicles are presented as a method for realizing carbon-neutral. Accordingly, the demand and need for development of underground metal mineral resources such as copper and nickel has increased. The research was carried out using MT survey, which is very useful for deep exploration such as mineral resources and oil exploration because of it's low cost and explorable depth. In Korea, there are very few cases of MT exploration in terms of mineral development, so the study was conducted based on the MT exploration conducted previously in AusLAMP, Australia. Through comparative analysis of the MT exploration data conducted to identify the ore body in the deep area of the Olympic Dam in Australia, with the data directly calculated in 2D inversion, it was confirmed that it can have a positive effect on the possibility of resource development and carbon neutrality using MT exploration in Korea.

Keywords: MT survey, carbon neutral, 2D inversion, Global warming, underground resources

1. 서 론

1.1 지구온난화

현재 지구온난화가 가속화되고 있으며 전 지구적으로 지표면의 평균 기온이 상승하고 있다. Fig. 1, 2는 1850년 대비 평균 지표면 온도가 1℃ 이상 상승했으며, 이는 인위적 온실 기체가 증가함에 따라 지표면 온도가 같이 증가했다는 것을 알 수 있다. 전 세계적으로 지구온난화의 가속화를 막기 위해 이산화탄소를 배출한 만큼 이산화탄소를 흡수하는 대책을 세워 실질적인 이산화탄소 배출량을 '0' 으로 만드는 탄소중립이 진행되고 있다. 이에 따라 경유, 휘발유 등 이산화탄소를 배출하는 화석연료를 줄이는 방법으로는 전기차, 수소차의 개발 및 생산이 제시되고 있다.

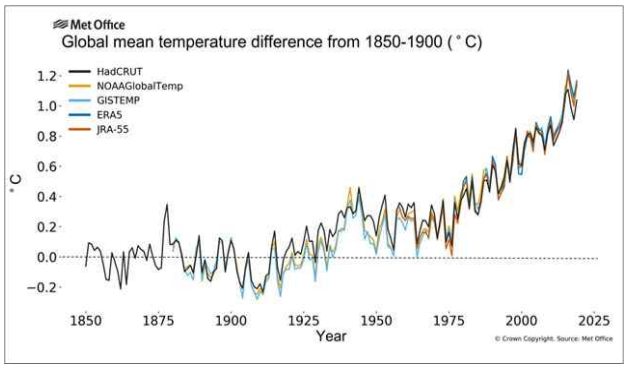

Fig. 1 Global temperature change graph. (United states of America., 2020)

* Corresponding author. Tel.: +82-033-250-6254
fax: +82-033-254-6255
*E-mail address: gimul@*kangwon.ac.kr (Seok Hoon Oh).

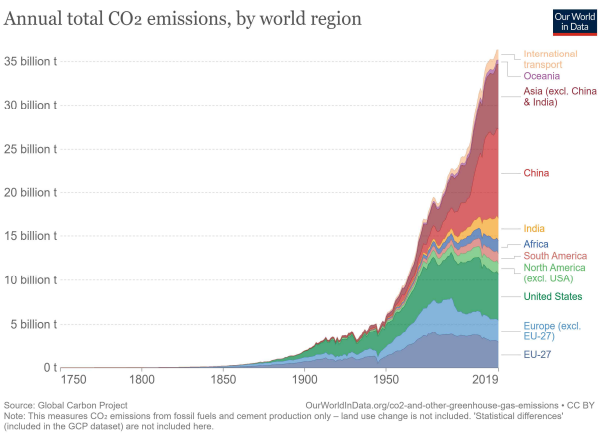

Fig. 2 Annual total CO_2 emissions, by world region. (Our World in data, n.d)

1.2 지하자원

Fig. 3과 Fig. 4는 전기차, 수소차를 생산하기 위해서는 일반 자동차보다 더 많은 양의 지하자원을 필요로 함을 보이고, 그 수요와 개발의 필요성이 증가하고 있다.

지하자원의 채굴 방법으로 노천채굴과 갱내채굴이 있는데, 국내에서는 산지관리법, 백두대간 보호에 관한 법률 제정으로 환경 관련 규제가 강화되어 대부분의 채굴이 갱내채굴로 이루어지고 있다, 하지만 갱내채굴은 지하 심부의 탐사가 어렵고 노천채굴보다 2~3배 이상의 생산비용이 소요되기 때문에 경제적인 심부 지하자원 개발을 위해 지하 심부의 정확한 지질구조 예측이 필요하다.

호주 Olympic Dam은 대표적인 IOCG (Iron oxide copper gold) 광산으로 산화철, 구리, 금 등이 매장되어있다. 하지만 천부의 상당 부분이 지표 지질 조사, 항공 탐사로 개발이 완료되었기 때문에 광역적인 심부 지역의 광체를 파악하기 위해 MT (Magnetotelluric) 탐사가 진행됐다.

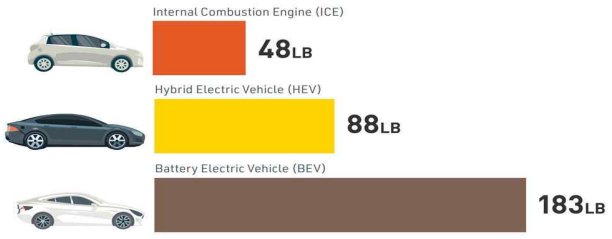

Fig. 3 Amount of copper for automobile production. (Zimtu, 2021)

Fig. 4 Mineral requirements for clean energy transitions. (Fatih, B., 2021)

2. 본 론

2.1 MT탐사

호주 AusLAMP에서 지하 심부 광체 파악을 위해 MT 탐사를 진행하였다. MT탐사는 지자기전류법 또는 자기지전류법이라고 불리며, 전자기장을 측정하는 전자 탐사법 중의 하나이다. MT 탐사는 다른 물리탐사법과는 달리 자연적으로 발생한 전자기장을 이용하는 수동적인 방법이다. 전자기장은 일반적으로 태양풍, 지구 대기권의 뇌우 등에 의한 전리층 교란에 의해 발생하는 것으로 알려져 있고, 주파수 범위도 매우 광대역임이 알려져 있다. MT 탐사는 지각 구조 규명, 지열, 광물자원 및 석유 탐사 등의 심부 탐사에 매우 유용한 탐사법으로 알려져 있으며, 반사법 탄성파탐사보다 비용이 훨씬 적게 들지만 가탐심도 면에서는 우수한 탐사법으로 알려져 광역적인 심부 지역의 광체 탐사를 하는데 적절한 탐사법이다.

국내 MT 탐사 사례로는 의성 이산화탄소 지중 저장소 부지 조사와 양양 철광석 매장량 평가, 경주 지진 원 지질구조 규명 조사 등 다양한 분야에서 MT탐사가 활용되고 있다. 하지만 광물 개발 면에서 사례가 현저히 적기 때문에 호주 MT 탐사 사례를 기반으로 자료 해석을 진행했다. Olympic Dam은 호주 남부에 있으며 MT 탐사를 진행한 측선은 Fig. 5이다. 노란색 별은 주요 광산 및 광물 발생 지역임을 표시한다. 파란색 삼각형은 광대역 MT 탐사 측점을 나타낸다. 검은색 원은 장기간 측정되는 MT측점이며 흰색 사각형은 자력계 전용 측점이다. MT 탐사를 진행한 후 2차원 역산(2d

.inversion)을 진행한 결과 Fig. 6에서 Olympic Dam 광산 지하 15 km 깊이에서 천부와 유사한 저비저항 이상대(C3과 C1)가 탐지됐다.R1과 R2는 매우 높은 비저항이 특징이며, C2는 좁은 저비저항 경로로 주요 IOCG 광물 퇴적물과 하부지각을 연결한다.

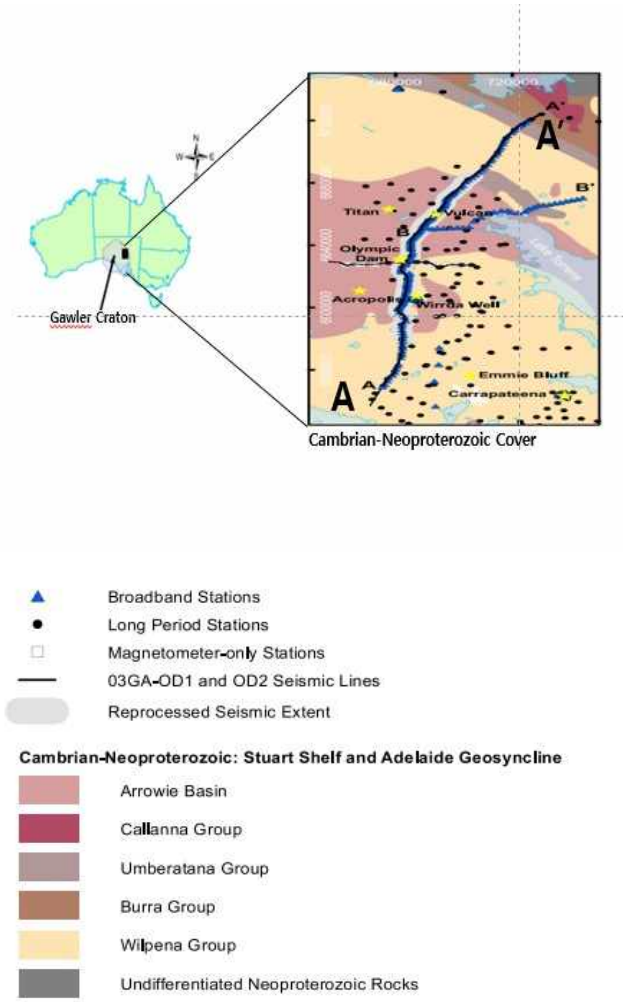

Fig. 5 Measuring line of MT survey in Australia Olympic Dam. (Graham *et al*., 2018.)

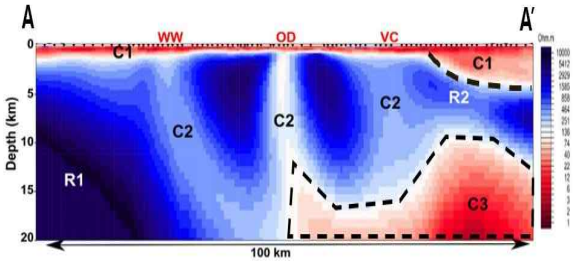

Fig. 6 2D resistivity model of profile A-A' to a depth of 60 km. The Archean Gawler Craton on the left side, and Proterozoic mobile belt on the right side are characterized by very high resistivity (blue color, R1 and R2) to a depth of more than 60 km. 2D Seismic depth converted image showing zones of reduced reflectivty (C2 and C3) under all major mineral deposits. (Graham *et al*., 2018)

2.2 자료 처리

Olympic Dam의 MT 탐사 자료는 호주 정부 사이트에 EDI 파일 형식으로 오픈 소스로 공개되어 있어 자료를 받아 활용하였다. 또한 국내 기술과 호주에서 분석한 자료를 비교 분석하기 위해 AusLAMP에서 진행한 2차원 역산과 측선을 맞추기 위해 필요 없는 측점들을 제외하고 측선 설정을 Fig. 7처럼 완료하였다.

다음으로, 자료의 품질을 확인해보기 위하여 상용프로그램인 Geotools를 이용하여 각측점들의 겉보기 비저항과 위상을 확인하였다. 일반적으로 연속성을 보이는 측점들과 달리 3번 측점, 7번 측점, 27번 측점에서는 겉보기 비저항과 위상이 급격하게 변하는 양상을 보이는 것을 확인하였고, 편집과정을 거쳐 자료의 품질을 높였다. 편집과정을 거친 자료를 활용하여 역산에 사용하였으며, 역산은 Matlab 코드(Lee *et al*., 2009)를 이용하였다. 이 과정에서 iteration 과정을 통해 RMS 오차가 낮아지고 자료의 정확성이 높아지도록 설정했다.

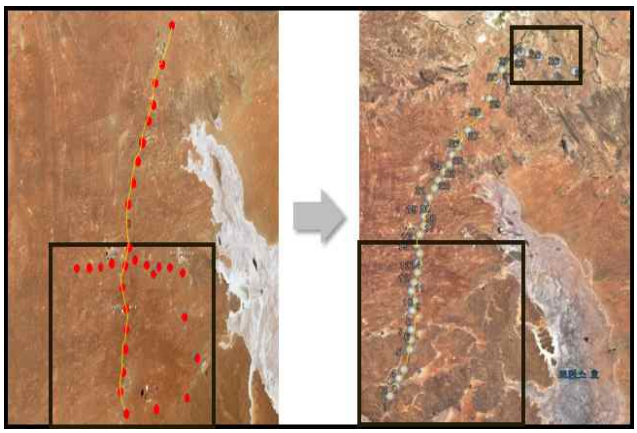

Fig. 7 Matching the measuring line for 2D inversion.

3. 자료 처리 결과

3.1 역산 결과

Fig. 8은 AusLAMP와 직접 수행한 역산 결과에 대한 비교 그림이다. 역산 수행 결과, 호주에서 수행한 결과와 국내에서 수행한 결과의 차이가 나타나는 것으로 확인되고, 차이가 보이는 구간은 0~10 km 부근에서 결과 차이가 나타난 것을 볼 수 있다. 이러한 차이가

나타나는 원인으로는 고주파수 대역의 겉보기 비저항과 위상 자료의 부재로 인해 저주파수 대역의 영향을 많이 받아 천부 쪽에서 원 결과와 다른 양상을 나타내고 있는 것으로 추측되고 또한, AusLAMP에서 진행한 MT 탐사의 측점 개수는 85개인데 반해 오픈 소스 자료는 37개로 비공개된 측점으로 인한 오차인 것으로 판단된다. 반면, 10 km 보다 깊은 부분에서의 역산 결과는 저비저항대의 위치가 Fig. 8 – C3부분이 일치하는 경향을 보인다. 일반적인 금속 광물들은 전기비저항값이 주변의 기반암보다 낮게 나오는 것이 일반적이다. 따라서 이 저비저항 이상대에서 은, 구리, 금 등 금속 광물 부존 가능성이 높은 것으로 예상할 수 있다.

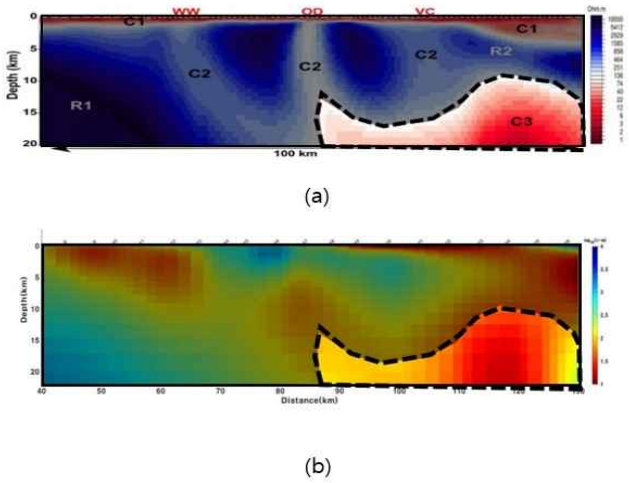

Fig. 8 2D inversion of MT survey data that AusLAMP's (a) (Graham *et al*., 2018) and directly performed open source data (b).

4. 결 론

기존의 국내외 연구들은 더욱 깊은 심도의 영역을 물리적으로 확인하기 위해 MT 탐사를 제시하고 있는데, 이는 갱내채굴을 위한 경제적인 심부 지하자원 개발과 잘 부합된다. AusLAMP와 직접 처리한 Olympic Dam의 2차원 역산 단면을 비교한 결과, 고주파수대역과 자료 개수의 제약으로 10 km 이내의 천부 지질 구조는 정확한 판단이 어려웠으나, 심부의 저비저항 이상대는 비슷한 양상을 나타냈다. 향후 같은 주파수 대역과 충분한 자료 개수로 수행한다면 더욱 신뢰성 높은 결과가 도출될 것으로 판단된다.

MT 탐사의 2차원 역산을 수행하면 실제 지반의 비저항 이상대를 알 수 있으므로 시추조사가 어려운 경우나 광역지역의 조사가 필요할 경우 MT 탐사를 이용하는 것이 적절하다고 판단되며, 향후 같은 주파수 대역과 충분한 자료 개수로 수행한다면 더욱 신뢰성 높은 결과가 도출될 것으로 판단된다.

MT 탐사의 2차원 역산을 수행하면 실제 지반의 비저항 이상대를 알 수 있으므로 시추조사가 어려운 경우나 광역지역의 조사가 필요할 경우 MT 탐사를 이용하는 것이 적절하다고 판단되며, 향후 추가 탐사를 통해 국내에서의 MT 탐사 입지를 넓히고 국내에서의 활용성을 넓힐 수 있다. 이를 통해 국내에서도 현재 MT 탐사를 활용하는 국가들에 뒤처지지 않는 기술력을 갖고 있고, 다양한 분야에서 MT 탐사를 수행한 경험을 바탕으로 지하자원 개발 조사에 적용할 수 있을 것으로 예상된다. 추가로 국내에서 미래에너지 창출에 필요한 심부 지하자원 개발을 실천한다면 온실가스 배출량을 줄이고 탄소중립적 성장도 이룰 수 있을 것으로 보인다.

References

[1] Graham, H., Yohannes, D., 2018, The crustal geophysical signature of a world-class magmatic mineral system, Scientific Reports, Australia.

[2] Yoon, Y. C., Kim, J. S., 2009, A study on the effective policies preventing Global Warming – focused on the reduction of carbon dioxide emission in Korea, Institute of Social Sciences Chungnam National University.

[3] Lee, S. K., Lee, T, J., 2008, Analysis of data acquired in Victoria, Australia, 지구물리와 물리탐사, 대한민국.

[4] IEA, 2021, Mineral requirements for clean energy transitions, <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions/mineral-requirements-for-clean-energy-transitions>.

[5] Lee, S. K., Kim, H. J., Song, Y. H., Lee. C. K., 2009, MT2DInvMatlab-A program in MATLAB and FORTRAN for two-dimensional magnetotelluric inversion, *Computers & Geosciences.*

[6] United states of America, 2020, WMO confirms 2019 second hottest year record, <https://public.wmo.int/en/media/press-release/wmo-confirms-2019-second-hottest-year-record>.

[7] Our World in data, n.d., Annual total CO2 emissions, by world region, <https://ourworldindata.org/grapher/annual-co-emissions-by-region>.

[8] zimtu, 2021, Amount of copper for automobile production, <https://www.zimtu.com/how-much-copper-is-in-an-electric-vehicle/>.