

폐광지역 지반공사시 지반침하 관리를 위한 기준

양인재*, 이승아, 백동호

Standards for Ground Settlement Management when Reinforcing
Ground in the Abandoned Mine

In Jae Yang*, Seung Ah Lee, Dong Ho Baik

Abstract In this study, a new quantitative instrumentation and measurement standards applicable to the field of mining has been proposed to improve the problems of the current measurement practices that apply the measuring standards of the civil engineering field (road, railway, etc.). With the data coordination of the mine reclamation corporation, we collected data on ground subsidence in the abandoned mine area, and studied various techniques for establishing a new management reference value based on the manual measurement data measured in the field. As a result, new instrumentation and measurement standards is set up and proposed by using statistics like the average value, the third quartile, the 95% confidence, and the maximum value.

Key words Abandoned mine, Ground settlement, Measurement, Measuring control standard

초 록 본 연구에서는 폐광지역 지반침하 관리시 토목분야(도로, 철도 등)의 계측관리기준을 그대로 준용하고 있는 현행 계측수행 상의 문제점을 개선하기 위해 광산분야에서 적용할 수 있는 새로운 정량적 계측관리기준을 제시하였다. 광해관리공단의 협조를 얻어 폐광지역에서 수행된 지반침하 관련 자료들을 수집하였고, 이 중 현장에서 실측된 수동계측자료들을 토대로 새로운 계측관리기준치 설정에 대한 여러 기법들에 대해 연구하였다. 그 결과, 계측치들의 평균값, 3사분위수, 95% 신뢰도, 최대값 등의 통계량을 통해 계측항목별 계측관리기준치를 설정, 제안하였다.

핵심어 폐광, 지반침하, 계측, 계측관리기준

1. 서 론

본 연구에서는 폐광지역 지반침하 관리시 토목분야(도로, 철도 등)의 계측관리기준을 그대로 준용하고 있는 현행 계측수행 상의 문제점을 개선하기 위해 광산분야에서 적용할 수 있는 새로운 정량적 계측관리기준을 제시하였다.

광해관리공단의 협조를 얻어 폐광지역에서 수행된 지

반침하 관련 자료(보고서)들을 수집하였고, 수집된 자료들을 토대로 현재 폐광지역에서 수행되고 있는 계측 방법에 대해 분석하였다. 폐광지역에서 수행되고 있는 계측항목(지표침하, 지중침하, 건물(구조물)경사, 건물(구조물)균열 등)과 계측수량에 대해 현장별로 집계하여 검토 결과를 근거로 폐광지역의 특수성을 고려한 새로운 계측관리기준의 필요성을 제기하였다. 그 결과, 계측치들의 평균값, 3사분위수, 95% 신뢰도, 최대값 등을 도출하는 통계분석을 통해 계측항목별(지표침하, 지중침하, 건물(구조물)경사, 건물(구조물)균열) 계측관리기준치(안)을 제안하였다.

2. 계측자료 수집 및 분석

통상 계측관리기준치는 1차, 2차, 3차로 나누어 관리

Received: Sep. 28, 2017

Revised: Oct. 24, 2017

Accepted: Oct. 25, 2017

***Corresponding Author:** In Jae Yang

Tel) +82339026731, Fax) +82339026739

E-Mail) ygloria@mireco.or.kr

Institute of Mine Reclamation Technology Mine Reclamation
Technology Center

Table 1. Measurement survey list of abandoned mines used for statistical analysis

| Site | Ground Settlement | Subsurface Settlement | Structure Inclination | Structure Crack |
|-------------------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|
| Geumgok(한국광해관리공단, 2013.10) | 26 | 5 | 3 | - |
| Mulgeom(한국광해관리공단, 2011.06) | 9 | 5 | - | - |
| Chungyang(한국광해관리공단, 2011.02) | 12 | - | 2 | 2 |
| Mungyoung-Gaeun(한국광해관리공단, 2010.12) | 8 | 4 | 2 | - |
| Samchuk-Jumli(1)(한국광해관리공단, 2008.05) | 12 | 8 | 7 | 7 |
| Samchuk-Jumli(2)(한국광해관리공단, 2005.12) | 10 | 8 | 6 | 6 |
| Gosari(3)(한국광해관리공단, 2001.10) | 3 | 3 | 6 | 7 |
| Hwajun-Chulam(한국광해관리공단, 2001.10) | 71 | 11 | - | 23 |
| Sodo-Dogye(한국광해관리공단, 2003.05) | 9 | 7 | - | - |
| Simpozi(한국광해관리공단, 2003.05) | 12 | 11 | 8 | 2 |
| Taeback-Jukgak(한국광해관리공단, 2006.09) | 6 | 4 | - | - |

Table 2. Measurement standards for each measurement item

| Item | Measuring Standards |
|------------------------------|--|
| Ground/Subsurface Settlement | <ul style="list-style-type: none"> • 지하구조물 안전계측 이론과 실무(한국구조물 진단학회) • 한국도로공사 고속도로 설계실무지침서 • 한국도로공사 도로설계요령 • 궤도의 비틀림 정비기준(철도청, 노선정비규칙) |
| Structure Inclination | <ul style="list-style-type: none"> • 교량유지관리지침서(건설교통부) |
| Structure Crack | <ul style="list-style-type: none"> • 한국지방공학회(2001) • 교량유지관리지침서(건설교통부) |

한다. 이에 대한 정성적 의미는 관심, 주의, 경고 정도로 이해할 수 있다. 그러나, 본 연구에서 수집한 11개 현장의 계측조사보고서(Table 1)에는 대부분 1차 계측관리 기준치만을 설정해 놓고 있다. 통계분석에 사용된 11개 소 현장에 대해, 설정된 1차 계측관리기준치들의 값들을 비교해 본 결과 상당히 큰 편차를 보이고 있음을 알 수 있었다. 지표침하 및 지중침하의 경우에는 25~100 mm, 건물(구조물)경사에서는 1/500~1/150 정도의 값을 정하고 있는데 1차 관리기준치임에도 불구하고 현장마다 수치상 차이가 큼을 알 수 있다. 이는 후술하는 계측관리기준치 설정 근거에 기인하는 결과이기도 하다.

Table 2는 통계분석에 사용된 11개 현장의 계측조사 보고서(Table 1)에 기재되어 있는 계측관리기준치를 정리한 것이다. 표에서 보는 바와 같이 계측관리기준치는 객관적 근거자료에 의해 설정된다. 예를 들어, 물금광산의 경우 계측관리기준치(1차)는 100 mm이며, 이는 한국도로공사 도로설계실무편람에 근거하고 있다. 여기서 주목해야 할 점은 현장마다 계측관리기준이 다르다는 것이다. 이에 대해, 본 연구에서는 수집한 계측조사보고

서들의 관리기준치 설정에 대한 근거를 찾아보았다. 그 결과, 계측관리기준 설정에 있어 기존에 수행되었던 타 보고서들을 인용한 사례가 다수 있음이 발견되었다. 물론 유사한 계측용역을 수행하면서 타 자료를 참고할 수 있으며 계측관리기준 선정에 근거자료로 삼을 수도 있다. 그러나 이에 대한 명확한 객관적 타당성이나 현장 여건을 감안한 설정 근거는 없는 것으로 판단된다. 일부 현장에서는 계측관리기준치가 없는 사례도 있었다.

3. 계측자료 통계분석

연구에서는 계측관리기준치 설정을 위해 수동계측 결과(지표침하, 지중침하, 건물경사, 건물균열)에 대한 통계분석을 산술평균, 3사분위수, 95% 신뢰구간 등 3가지 통계량을 이용하여 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

3.1 지표침하/지중침하

Fig. 1은 지표침하에 대한 통계분석 결과를 나타낸 것

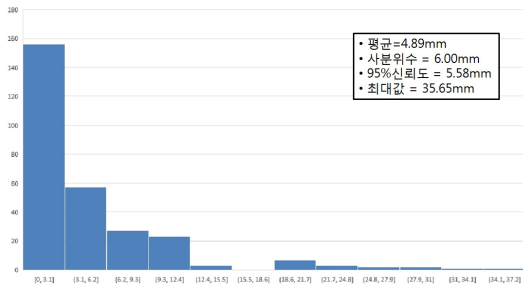


Fig. 1. Statistical analysis results for ground settlement

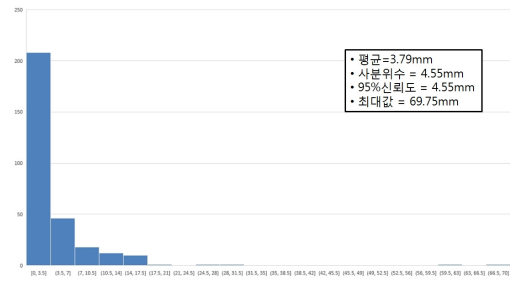


Fig. 2. Statistical analysis results for subsurface settlement

이다. 지표침하 계측에 대한 통계분석에서는 11개 현장에서 측정한 282개의 계측 데이터를 사용하였다. 그 결과, 계측평균값은 4.89 mm, 사분위수는 6.0 mm, 신뢰도 95%(표준편차 5.89)에서는 5.58 mm를 얻었고 282개 계측 데이터 중 최소값은 0 mm, 최대값은 35.65 mm이었다. 이 때 현장에서 적용된 계측관리기준치(1차)의 범위는 25~100 mm이다.

따라서, 11개 현장 자료에 대한 3가지 통계량으로부터 지표침하량은 5~6 mm 정도의 범위를 가짐을 확인할 수 있었다. 이는 1차 계측관리기준치와 비교해 볼 때 상당히 차이가 나는 결과이다. 물론 이러한 결과를 정밀시공에 의해 지반의 변위가 크지 않다고 볼 수도 있겠으나, 반면 1차 계측관리기준치가 실제로 발생하는 지반의 변위와는 다소 동떨어진 기준이 아니겠는가는 의문도 갖게 한다.

둘째, 이들 결과치들이 가지는 공학적 의미이다. 즉, 수동계측을 수행한 11개의 폐광지역 지반침하 보강공사에서 지표침하량의 범위는 3가지 통계분석에서 한 대푯값들을 제시하고 있다. 이는 실제 현장에서 발생한 변위(계측 데이터)에 대한 분석결과이고 이것이 곧 1차 계측관리기준치에 준하는 의미를 가진다. 예를 들어, 다른 폐광지역의 지반보강 공사를 수행할 때, 이전의 사례를 보면 5~6 mm 정도의 지표침하가 있었으므로 당해 공사에서도 그 정도의 변위가 발생한다면 이는 통상적이며 이 값을 넘어갈 경우에는 관심을 가져야 한다는 의미로 받아들일 수 있을 것이다. 따라서, 본 연구에서는 이와 같은 논리적 관점에서 각각의 통계분석 결과(지표침하, 지중침하, 건물경사, 건물균열 등)를 토대로 계측관리기준 설정(안)을 제시할 것이다.

셋째, 지표침하량에 대한 계측치 282개 중 최소값은 0 mm, 최대값은 35.65 mm이다. 특히 계측 최대치인 35.65 mm는 앞서 기술한 통계분석 결과인 4.89~6 mm의 값과는 다른 의미를 가진다. 즉, 11개 현장에 대한

지표침하 측정에서 35.65 mm까지의 침하량이 발생한 적이 있다는 의미이다. 이는 계측관리기준 측면에서 볼 때 3차 계측관리기준치 설정에 대한 판단 기준이 될 수 있을 것이다.

Fig. 2는 지중침하에 대한 통계분석 결과를 나타낸 것이다. 지중침하 계측에 대한 통계분석에서는 10개 현장에서 측정한 299개의 계측 데이터를 사용하였다. 그 결과, 계측평균값은 3.79 mm, 사분위수는 4.55 mm, 신뢰도 95%(표준편차 6.71)에서는 4.55 mm를 얻었고 299개 계측 데이터 중 최소값은 0 mm, 최대값은 69.75 mm이었다. 이 때 현장에서 적용된 계측관리기준치(1차)의 범위는 25~100 mm이다.

지중침하는 10개 모든 현장에서 지표침하와 함께 선정되는 계측항목이며 계측수량도 많은 편이다. 변위의 거동이 지표침하와 비슷하기 때문에 계측관리기준 또한 지표침하 선정시와 동일하게 적용되고 있다. 이러한 결과값을 정리하면, 지중침하량은 3.79~4.55 mm의 범위를 가지며 최대 69.75 mm까지 발생한 적이 있다. 이와 같은 지중침하 계측치에 대한 통계분석 결과의 기술적 의견(3가지 통계분석 결과와 1차 계측관리기준치와의 연계성, 최대 계측치의 의미와 3차 계측관리기준치와의 연계성, 현장에서 적용된 1차 계측관리기준치와 통계분석 결과값과의 차이 등)은 앞서 기술한 지표침하에 대한 내용과 대동소이하다.

지중침하 계측치의 최대값은 69.75 mm인데 이는 한국도로공사 도로설계실무편람의 계측관리기준(1차 100 mm)을 적용하면 1차 관리기준치 내에 들어오는 결과이지만, 타 현장에서 적용한 바 있는 또 다른 관리기준인 지하구조물 안전계측 이론과 실무(한국구조물 진단학회)의 계측관리기준(1차 30 mm, 2차 30~50 mm, 3차 50 mm 이상)을 적용하면 1차 관리기준 내에 들어오지 못한다. 오히려 2차 관리기준을 넘어 3차 관리기준 이상의 값을 보이는 계측결과이기도 하다. 이는 앞서

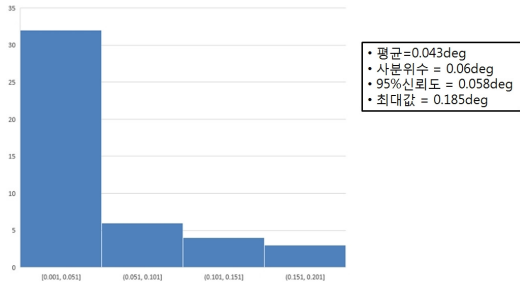


Fig. 3. Statistical analysis results for structure inclination

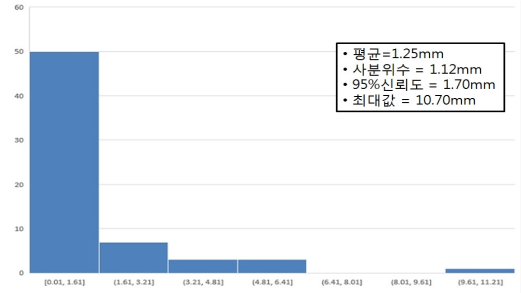


Fig. 4. Statistical analysis results for structure crack

언급한 바 있는, 현장마다 다르게 적용되고 있는 계측 관리기준 설정과 이에 대한 객관적 지표가 없는 실정에 기인한다고 판단해 볼 수 있다. 계측관리기준은 실제 현장에서 발생하는 변위의 의미와 상태, 그리고 대책까지도 연결 지을 수 있는 매우 중요한 관리지표이다. 69.75 mm라는 계측치는 한국도로공사 도로설계실무편람에 의하면 통상 관리하는 범위 내에 들어오는 일반적인 수치라고 생각되지만, 지하구조물 안전계측 이론과 실무(한국구조물 진단학회)에 의하면 공사를 중지해야 하는 경고 단계의 계측치이기도 한 것이다.

3.2 건물(구조물) 경사/건물(구조물) 균열

Fig. 3은 건물(구조물) 경사에 대한 통계분석 결과를 나타낸 것이다. 건물경사계는 구조물경사계와 동일하게 지칭되며 폐광지역에 가옥이나 주택이 있을 경우에는 건물경사계로, 교량과 같은 시설물이 있을 때에는 구조물경사계로 표현하고 있다. 계측치 표현(단위)에 대해서는 각변위(ex. 1/500)로 표기하는 현장도 있고, 각도(ex. 0.115°)로 표기하는 현장도 있어 본 연구에서는 계측 데이터의 통계분석 용이성을 위해 각도로 통일하여 분석하였다.

건물(구조물)경사 계측에 대한 통계분석에서는 7개 현장에서 측정한 45개의 계측 데이터를 사용하였다. 그 결과, 계측평균값은 0.043°, 사분위수는 0.06°, 신뢰도 95%(표준편차 0.05)에서는 0.058°를 얻었고 45개 계측 데이터 중 최소값은 0.001°, 최대값은 0.185°이었다. 이 때 현장에서 적용된 계측관리기준치(1차)의 범위는 0.115~0.382°이다. 건물(구조물)경사계는 침하관련 계측항목(지표침하, 지중침하)에 비해 수량이 많지 않은 편이다. 이는 폐광지역에 있는 주변 건물 또는 시설물의 유무와 이에 대한 계측의 필요성, 중요도 등에 따라 현장마다 다르게 결정되고 있기 때문이다.

이러한 결과값을 정리하면, 건물(구조물)경사는 0.043

~0.06°의 범위를 가지며 최대 0.185°까지 발생한 적이 있다. 이와 같은 건물(구조물)경사 계측치에 대한 통계분석 결과의 기술적 의견(3가지 통계분석 결과와 1차 계측관리기준치와의 연계성, 최대 계측치의 의미와 3차 계측관리기준치와의 연계성, 현장에서 적용된 1차 계측관리기준치와 통계분석 결과값과의 차이 등) 또한 앞서 기술한 내용과 대동소이하다.

계측 데이터에서 최대치는 변위의 경중을 떠나 현장 관리에 있어 큰 의미를 준다. 과거에 이 정도까지 변위가 발생한 적이 있다는 선례가 됨과 동시에 현재 현장에서 발생하는 변위의 상대적 지표로도 사용할 수 있다. 반면, 계측 최대치는 우리에게 위험을 알리는 인자가 될 수도 있다. 지금까지 발생되었던 변위를 넘어서는 큰 값을 보이기 때문이다. 결국 계측관리기준의 중요성이 또 다시 대두될 필요가 있다는 것이다.

건물(구조물)경사 계측치의 최대값은 0.185°인데 이는 교량유지관리지침서(건설교통부))의 계측관리기준(1차 0.229~0.286°)을 적용하면 1차 관리기준치 내에 들어오는 결과이지만, 타 현장에서 적용한 바 있는 또 다른 관리기준인 Bjerrum(1963)의 계측관리기준(1차 0.115°, 2차 0.191°)을 적용하면 1차 관리기준 내에 들어오지 못하고 2차 관리기준치 내에 있음을 알 수 있다. 이는 앞서 기술한 지중침하계의 계측 최대치(3차 관리기준을 넘어서는) 정도까지는 아니지만 어떤 계측관리기준을 설정하느냐에 따라 발생한 변위값이 가지는 의미가 달라진다는 것을 말한다.

Fig. 4는 건물(구조물) 균열에 대한 통계분석 결과를 나타낸 것이다. 건물(구조물)균열 계측에 대한 통계분석에서는 6개 현장에서 측정한 64개의 계측 데이터를 사용하였다. 그 결과, 계측평균값은 1.25 mm, 사분위수는 1.12 mm, 신뢰도 95%(표준편차 1.80)에서는 1.70 mm를 얻었고 64개 계측 데이터 중 최소값은 0.01 mm, 최대값은 10.7 mm이었다. 이 때 현장에서 적용된 계측

관리기준치(1차)는 15 mm이다. 건물(구조물)균열계도 건물(구조물)경사계와 마찬가지로 침하관련 계측항목(지표침하, 지중침하)에 비해 수량이 많지 않은 편이다. 계측관리기준은 6개 현장에서 한국지반공학회(2001), 교량유지관리지침서(건설교통부) 등 2개 기관의 관리기준이 적용되었다.

이러한 결과값을 정리하면, 건물(구조물)균열은 1.12 ~ 1.70 mm의 범위를 가지며 최대 10.7 mm까지 발생한 적이 있다. 이와 같은 건물(구조물)균열 계측치에 대한 통계분석 결과의 기술적 의견(3가지 통계분석 결과와 1차 계측관리기준치와의 연계성, 최대 계측치의 의미와 3차 계측관리기준치와의 연계성, 현장에서 적용된 1차 계측관리기준치와 통계분석 결과값과의 차이 등) 또한 앞서 기술한 내용과 대동소이하다. 건물(구조물)균열 계측치의 최대값은 10.7 mm인데 이는 현장에서 적용한 1차 계측관리기준을 만족하는 수치이다.

4. 계측관리기준치(안)

4.1 현행 계측관리의 문제점

본 연구에서는 폐광지역을 대상으로 수행되었던 많은 계측자료들을 수집하고 이들 중 통계분석에 사용할 수 있는 자료군들을 분류하여 데이터베이스화하고 엑셀 내장함수를 사용하여 4가지의 통계분석 결과를 도출하였다. 이와 같은 연구과정에서 현재 폐광지역에서 수행되고 있는 계측관리 상의 문제점들을 찾아볼 수 있었다. 이는 상기한 통계분석 결과 정리에서도 이미 간략히 언급한 바 있다. 하지만 본 연구결과를 토대로 제시하고자 하는 계측관리기준치 설정(안)에 앞서 이러한 계측관리의 문제점들을 좀 더 구체적으로 기술하고자 한다.

우선, 계측형태(방법)를 들 수 있다. 즉, 수동계측과 자동계측에 대한 방법적 선택의 문제를 말한다. 수동계측과 자동계측을 동일선 상에 놓고 우열을 가리는 것은 의미가 없을 것이다. 각각의 방법이 가지는 장단점이 있기 때문이다. 본 연구에서 수집한 계측보고서 중 상당수는 자동화계측에 대한 것이다. 자동화계측은 수동계측 아닌 자동으로 변위값을 읽어주는 장치이면 당연히 본 연구자료에 포함시키나 여기서 자동화란 진동, 온도 등의 센서로 읽어드리는 이벤트를 기록하기 때문에 수동계측처럼 정량화된 수치로 표현하기는 힘들다. “폐광지역에서의 지반침하 관리”라는 용어를 곰곰이 생각해보면 정량적인 계측치를 통한 관리, 즉 이벤트 횟수보다는 몇 mm라는 계측치가 지반침하 관리에 있어 좀 더 유용할 것으로 판단이 된다.

본 연구를 수행하면서 폐광지역에서의 수동계측자료

를 찾으려고 많은 노력을 하였다. 결과적으로 11개 현장에 대한 데이터들을 토대로 통계분석은 무리 없이 진행되었지만 좀 더 많은 자료들이 있었다면(좀 더 많은 현장들을 분석에 반영했다면) 더욱 양질의 결과값들을 얻을 수 있었을 것이다. 따라서 향후 광산분야의 계측관리에 있어 너무 기계에 의존하지 말고 계측빈도가 다소 크더라도 수동계측을 통해 기술자들이 직접 확인하고 기록하며 분석하는 계측문화가 되기를 바란다.

현행 계측관리의 가장 큰 문제점은 현장마다 제각각인 계측관리기준 설정에 있다. 계측관리기준 설정을 잘못하면 지반의 변위가 위험한 양상으로 가고 있음에도 불구하고 계측관리기준치 내에 든다고 착각하며 방치할 수 있다. 따라서 계측관리기준 설정에 있어 신중히 임하고 주변 현장 내지 유사 사례를 통해 답습하는 성향을 지양해야 할 것이다. 11개 현장에서 설정한 계측관리기준을 살펴보면 대다수 토목현장에서 사용하고 있는 지침들이다. 이는 광산분야에서 사용되는 계측관리기준이 없다는 것을 반증하는 결과이기도 하며 광산분야만의 계측관리기준 마련에 대한 필요성을 제기하고 있는 것이라고도 말할 수 있다.

폐광지역의 지반침하 양상은 토목현장의 공용 중인 도로와 철도 주변 지반의 거동과는 다르다. 물론 본 연구의 제약사항에서도 언급한 바와 같이 수집된 현장들은 폐광지역 지반침하로 인해 보강공사를 수행하면서 이루어진 계측이기 때문에 토목분야의 지반보강공사와 유사하다고 볼 수도 있다. 그러나, 폐광지역의 지반침하는 토목 구조물의 지반침하와 비교해 볼 때 그 원인이 다르다. 폐광지역은 지표 아래 많은 채굴적을 가지고 있고 이는 상당히 불규칙하며 분포양상 또한 특정할 수 없기 때문이다. 후술하는 계측관리기준치(안)은 이와 같은 광산분야만의 계측관리기준 마련을 위한 시발점이다. 여기서 사용된 데이터들은 모두 폐광지역에서 지반보강 공사를 진행하면서 실제로 발생하고 계측된 값들이다.

4.2 계측관리기준치(안) 설정

본 연구에서는 폐광지역의 계측조사보고서를 토대로 Table 3과 Table 4와 같은 광산분야의 계측관리기준치(안)을 설정하였다. 이는 폐광지역에서 발생한 지반침하에 대해 보강공사를 수행하면서 실측된 실제 계측 데이터에 근거하고 있다. 본 연구에서는 앞서 현행 계측관리의 문제점에서도 언급한 바와 같이 광산분야만의 계측관리기준을 마련하기 위한 기초연구 결과로 2가지의 계측관리기준치(안)을 제안한다.

Table 3은 계측관리기준치 설정에 대한 1안으로 A,

Table 3. Measuring control standard (1st suggestion)

| Ground Settlement | | | | Subsurface Settlement | | | |
|--|-------|-------|-------------|---|-----|------|--------|
| A | B | C | D | A | B | C | D |
| 5.6 | 6.0 | 35.7 | 25~100 | 4.6 | 4.6 | 69.8 | 25~100 |
| unit : mm A : 95% confidence B : the third quartile C : maximum measurement value D : 1st range of current measuring management | | | | unit : mm A : 95% confidence B : the third quartile C : maximum measurement value D : 1st range of current measuring management | | | |
| Structure Inclination | | | | Structure Crack | | | |
| A | B | C | D | A | B | C | D |
| 0.058 | 0.060 | 0.185 | 0.115~0.382 | 1.1 | 1.7 | 10.7 | 15 |
| unit : deg A : 95% confidence B : the third quartile C : maximum measurement value D : 1st range of current measuring management | | | | unit : mm A : the third quartile B : 95% confidence C : maximum measurement value D : 1st range of current measuring management | | | |

B, C, D로 구분하여 계측항목별 관리기준치를 표기하였다. A, B는 2가지의 통계분석 결과(신뢰도 95% 경우 계측 최대치, 제3사분위수 계측치)를 나타내고 있고 C는 입력된 계측 데이터 중 최대치를 의미한다. D는 총 11개 현장에서 적용했던 1차 계측관리기준치를 통틀어 최소값부터 최대값까지의 범위를 나타낸다. A, B, C, D로 표현한 각각의 관리기준치는 다음과 같은 크기 순을 가진다. “A<B<C<D” 이는 일반적인 계측관리기준에서 설정하는 1차, 2차, 3차 관리기준 정도의 의미로 이해하면 되겠다. 즉, 통계분석 결과에 기인하는 A, B를 1차 관리기준치로, C는 2차 관리기준치, D는 3차 관리기준치로 받아들여도 무방하다. A, B로 표현되는 계측관리기준치에서는 신뢰도 95% 경우 계측 최대치와 제3사분위수 계측치를 비교하여 작은 값을 A로, 큰 값을 B로 선정하였다. 건물(구조물)연결체를 제외하고는 모두 신뢰도 95% 경우 계측 최대치가 제3사분위수 계측치보다 작은 값을 보이고 있다.

본 연구에서는 3가지의 통계분석을 적용하여 계측 데이터들을 분석하였지만 A, B의 관리기준치를 선정함에 있어서는 산술평균값을 제외하였다. 이는 앞서 언급한 산술평균값의 도입 취지와도 연계되는 내용이다. 산술평균값은 일반적으로 이해하기 쉬운 평균적 의미의 계산값이다. 본 연구에서는 통계분석의 의미를 대푯값 선정에 있다고 했기 때문에 산술평균값은 이러한 통계분석 결과를 좀 더 이해하기 쉬운 잣대의 역할로 사용했다고 보면 될 것이다. 결국 계측치들의 데이터베이스에서 수많은 데이터를 대표할 수 있는 신뢰도 95% 경우

계측 최대치와 제3사분위수 계측치가 계측관리기준치 설정에서 의미있는 값들이다.

상기 결과분석에서도 기술한 바와 같이 11개 현장에서 적용했던 1차 계측관리기준치들은 실제 발생한 계측 데이터들보다 상당히 큰 값들이다. 이 값들은 실제 계측치의 최대값보다도 크다. 따라서, 본 연구에서는 현장에서 적용했던 1차 계측관리기준치들을 정리하여 최소값부터 최대값까지 범위를 정하고 가장 큰 관리기준치 D로 표현하였다.

Table 4는 계측관리기준치 설정에 대한 2안으로, 통상의 계측관리기준에서 사용하는 1차, 2차, 3차의 표기로 구분하여 제시하였다. 앞서 제시한 계측관리기준치 1안에서는 산술평균값을 범위에서 제외하였지만 2안에서는 이를 함께 고려하였다. 1차 관리기준치는 본 연구에서 수행한 3가지 통계분석(평균값, 사분위수, 신뢰도 95%) 결과를 토대로 최소값부터 최대값까지의 범위로 결정하였다. 2차 관리기준치는 계측관리기준치 1안의 “C”와 마찬가지로 계측 최대치를 말한다. 3차 관리기준치는 계측관리기준치 1안의 “D”와 유사한 개념이지만 동일하게 설정하지는 않았다. 즉, 11개 현장에서 적용되었던 1차 계측관리기준치들 중 가장 큰 값을 3차 관리기준치로 결정하였다.

결론적으로 이상과 같은 본 연구의 결과(계측관리기준치 1안, 2안)는 광산분야의 계측수행에 있어 시사하는 바가 크다고 하겠다. 첫째, 폐광지역의 계측조사에서 실측된 자료들을 바탕으로 작성했다는 점, 둘째, 여러 가지 통계분석을 통해 객관적인 대푯값을 도출했다는

Table 4. Measuring control standard (2nd suggestion)

| Ground Settlement | | | Subsurface Settlement | | |
|-------------------|------|-----|-----------------------|------|-----|
| 1st | 2nd | 3rd | 1st | 2nd | 3rd |
| 4.9~6.0 | 35.7 | 100 | 3.8~4.6 | 69.8 | 100 |

unit : mm
 1st : range of the statistical analysis results (average, the third quartile, 95% confidence)
 2nd : maximum measurement value
 3rd : maximum value of current 1st measuring management

| Structure Inclination | | | Structure Crack | | |
|-----------------------|-------|-------|-----------------|------|-----|
| 1st | 2nd | 3rd | 1st | 2nd | 3rd |
| 0.043~0.060 | 0.185 | 0.382 | 1.1~1.7 | 10.7 | 15 |

unit : inclination-degree (°), crack-mm
 1st : range of the statistical analysis results (average, the third quartile, 95% confidence)
 2nd : maximum measurement value
 3rd : maximum value of current 1st measuring management

점, 셋째, 현장마다 제각각이고 구체적 근거가 미약했던 계측관리기준 설정에서 광산분야만의 관리기준 설정에 정량적 의미를 부여한다는 점 등이 이를 뒷받침한다.

5. 결론

1. 본 연구에서는 폐광지역에서 수행된 계측자료들을 수집하여 분석하였고 계측동향을 파악하였다. 주목할 점은 계측수행에 있어 적용되는 계측관리기준이 현장마다 다르고 계측관리기준 설정에 대한 객관적 근거가 미약하며 주로 유사현장의 사례를 준용하는 경향을 보이고 있다는 점이다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 실제 계측데이터(수동계측)를 근거로 통계분석을 수행하고 이를 토대로 폐광지역에서의 계측관리기준치(안)을 정량적으로 제시하였다.
2. 광해관리공단의 협조를 얻어 총 130건의 관련자료를 입수하였고, 이 중 계측자료는 20건이었으며, 중복되는 건수, 계측치를 가지고 있지 않은 자료, 자동화계측보고서 등을 제외하고 11개 현장의 계측조사보고서(수동계측)가 본 연구의 통계분석에 사용되었다. 수집된 계측조사보고서에서 정량적 데이터에 해당하는 수동계측자료들을 데이터베이스화하고 이를 토대로 산술평균, 3사분위수, 신뢰도 95%, 계측최대치 등의 통계분석을 수행하였다.
3. 상기의 통계분석 결과를 토대로, 본 연구에서는 폐광지역에서의 계측관리기준을 마련하기 위한 기초 연구 결과로 2가지의 계측관리기준치(안)을 제안하

였다. 1안은 계측항목별 관리기준치를 A, B, C, D로 구분하여 표기하였다. A, B는 2가지의 통계분석 결과(신뢰도 95% 경우 계측 최대치, 제3사분위수 계측치)를, C는 입력된 계측 데이터 중 최대치를 의미한다. D는 총 11개 현장에서 적용했던 1차 계측관리기준치를 통틀어 최소값부터 최대값까지의 범위를 나타낸다.

4. 계측관리기준치 설정에 대한 2안은 통상의 계측관리기준에서 사용하는 1차, 2차, 3차의 표기로 구분하여 제시하였다. 1차 관리기준치는 3가지 통계분석(평균값, 사분위수, 신뢰도 95%) 결과를 토대로 최소값부터 최대값까지의 범위로 결정하였다. 2차 관리기준치는 계측 최대치를 의미한다. 3차 관리기준치는 11개 현장에서 적용되었던 1차 계측관리기준치들 중 가장 큰 값으로 결정하였다.
5. 결론적으로 본 연구에서는 폐광지역의 계측자료들을 토대로 현행 계측수행 상의 문제점을 분석하고 광산분야에서 지반침하 관리를 위한 효과적인 계측계획 수립에 있어 정량적인 지표(계측관리기준치 1안, 2안)를 제시하였다.

사 사

이 연구는 한국광해관리공단 광해방지기술사업의 지반침하방지 및 복구사업중 “폐광지역 지반침하 위험도 평가를 위한 체계적 기준정립 및 적용연구”의 일환으로 수행되었음.

References

1. 서울특별시 지하철건설본부, 2002 서울 지하철 9호선 시공 계측관리 표준시방서(안), 37-59.
2. 서울특별시 지하철건설본부, 2003, 서울 지하철 9호선 시공계측 관리기준(안), 32-43.
3. 한국광해관리공단, 2013. 10, 금곡광산 계측조사 보고서.
4. 한국광해관리공단, 2011. 6, 물금광산 계측조사 보고서.
5. 한국광해관리공단, 2011. 2, 청양광산 지반보강공사 실시설계 및 계측조사보고서.
6. 한국광해관리공단, 2010. 12, 문경가은 도로함몰지역 계측조사보고서.
7. 한국광해관리공단, 2008. 5, 삼척 점리지역 2차 계측조사 보고서.
8. 한국광해관리공단, 2005. 12, 삼척 점리지역 2차 계측조사 보고서.
9. 한국광해관리공단, 2001. 10, 고사리지역 3차 정밀계측조사보고서.
10. 한국광해관리공단, 2001. 10, 화전 및 철암지역 계측조사 보고서.
11. 한국광해관리공단, 2003. 5, 소도 도계지역 계측조사보고서.
12. 한국광해관리공단, 2003. 5, 심포지지역 계측조사보고서.
13. 한국광해관리공단, 2006. 9, 적각지역 계측조사보고서.
14. 지하구조물 안전계측 이론과 실무(한국구조물 진단학회).
15. 한국도로공사, 2008. 12, 고속도로 설계실무지침서.
16. 한국도로공사, 1992.12, 도로설계요령 제4권 터널편.

양 인 재



1991년 서울대학교 지질학과 공학사
1993년 서울대학교 지질학과 공학석사

Tel: 033-902-6731
E-mail: ygloria@mireco.or.kr
현재 한국광해관리공단 광해기술원 기술
연구센터 지반안정기술팀 팀장

이 승 아



1995년 호서대학교 재료공학과 공학사

Tel: 033-902-9733
E-mail: salee@mireco.or.kr
현재 한국광해관리공단 광해기술원 기술
연구센터 지반안정기술팀 과장

백 동 호



1986년 강원대학교 자원공학과 공학사
1990년 서울대학교 자원공학과 공학석사

Tel: 031-776-2835
E-mail: godbaik@hanmail.net
현재 산하토건(주) 토목사업부 상무