도심지 대심도 암반굴착공사에서의 자동계측 활용에 의한 붕괴방지 사례

A Stability Case on the Deep Rock Excavation Site in Urban Area by Automatic Monitoring System

김태섭[1], Tae-Seob Kim, 조남신[2], Nam-Shin Jo, 정창원[3], Chang-Won Jung

[1] (주)엘메스코리아 부사장 , Vice President, ELMES Korea Corp.
[2] (주)엘메스코리아 대표이사, President, ELMES Korea Corp.
[3] (주)엘메스코리아 계측기술부 차장, General Manager, Technical Team, ELMES Korea Corp.

SYNOPSIS : The deep excavation work in Korean downtown is almost excuted near by existing structures and utility lines because of the diminution of available yard for construction. So, it was required more and more that the accurate control of displacement on the earth retaining system for minimizing the popular complaint and the damage from constructional accident. Automatic monitoring system is adopted in fracture zone for real time monitoring. In addition, Face mapping is carried out on the face of fracture zone according to excavation sequence. As the result of automatic monitoring system and face mapping, we was able to take the necessary reinforcement and changing excavation method within suitable time. This paper is informed about a stability case on the deep rock excavation site with fracture zone in urban area by automatic monitoring system.

Keywords : deep rock excavation, fracture zone, automatic monitoring system, face mapping

1. 서 론

최근 도심지 대심도 굴착공사에서는 굴착주위에 노후주택 및 지장물이 인접하여 있어 변위의 극력 억제가 요구 되고 있다. 이에 암반이 높게 분포하고 있는 구간이지만 파쇄대가 불리하게 발달하고 있는 구간에 대해서는 실시간(real time)계측이 가능한 자동계측 시스템을 적용하게 되었다. 아울러, 굴착단계에 따라 노출되는 암반상태에 대해서 Face mapping을 실시하였다. 이와같이, 자동계측 시스템의 적극적인 활용과 지반공학적인 접근으로 얻어진 결과에 의해 실제적인 암반파괴거동을 분석하여 피드백(feed back)함으로써 적기에 필요한 보강 및 공법변경 등을 통하여 안전시공을 유도하게 되었다. 또한 암반구간에서 관용적인 방법대로 공사가 진행 되었다면 자칫 붕괴사고로 이어질 수도 있었던 현장을 안전하게 굴착공사를 진행하게 되었던 사례를 소개함으로써, 도심지 대심도 암반굴착현장에서 일어 날 수 있는 붕괴사고를 미연에 방지하여 안전시공이 될 수 있도록 하는데 기여 하고자 한다.

2. 굴착공사 현황

2.1 개 요

본 사례 굴착현장은 도심지 언덕에 기존아파트와 노후된 가옥들이 인접하고 있는 곳에 위치하고 있으며, 부지내 고저차가 29m 정도로 경사가 매우 심한편이다. 이에 따라 굴착심도는 일정하지 않지만 고

지대에서는 굴착심도가 최대 26m(지하 5층)정도가 되는 암반층이 비교적 높게 나타나고 있는 대심도 굴착현장이다.

2.2 지반조건

본 현장부지의 지반상태는 지표로부터 매립토층, 풍화토층, 풍화암층 및 편마암을 기반암으로 하는 연암층과 경암층의 순서로 분포하고 있다. 일반적으로 암반이 높게 나타나고 있는데 굴착심도가 최대 26m 정도 되는 고지대 일부 구간에서는 암반파쇄대가 존재하고 있다.

2.3 계측기설치

본 굴착현장은 도심지에 위치하고 있으며, 굴착심도가 최대 26m인 대심도 굴착현장으로서 기존아파트나 노후주택이 인접하고 있어서 과다변위 발생시 집단민원이 우려 되는 곳으로 계측관리는 수동계측뿐만 아니라 자동계측을 병행하여 실시하였다. 특히, 암반이 높게 나타나지만 고지대 일부 구간에 암반파쇄대가 존재하고 있는 곳(고지대 암반 파쇄대구간)에서는 자동계측시스템으로 집중 배치하여 실시간 감시체계로 운영관리 하였다. 계측센서의 경우 고지대 암반 파쇄대구간에 자동경사계 2개소(2m간격), 수동경사계 2개소, 자동수위계 1개소, 하중계 14개소, 지표침하계 10개소, 건물경사계 10개소, 균열측정계 10개소를 기본계획으로 운영하였으며 과다변위 발생이후, 수동경사계 4개소, Nail축력계(자동) 2개소, 수동하중계 4개소, 용접형변형률계(자동) 9개소, 매설형변형률계(자동) 2개소를 설치하여 기존 자동계측시스템과 연관시켜 자동 및 수동계측을 실시하였다.

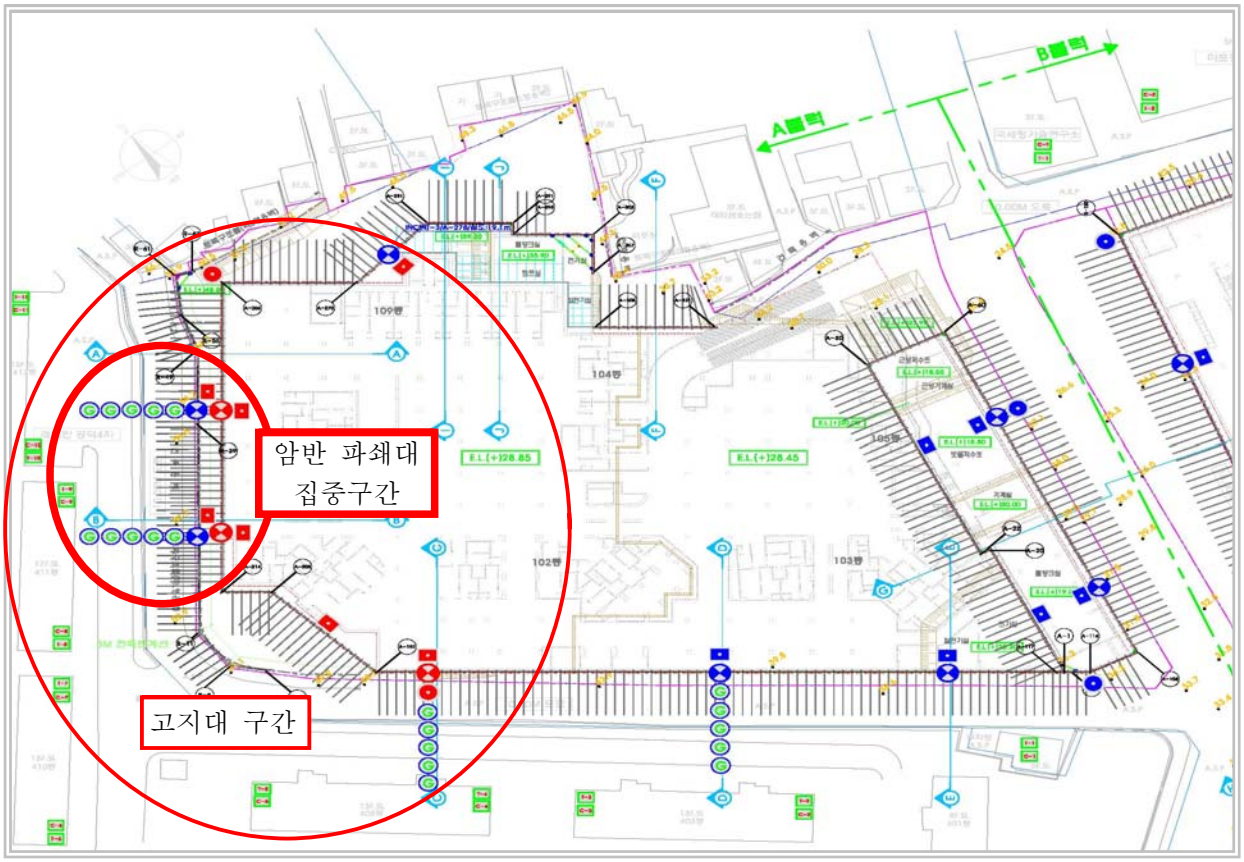

그림 계측기설치 전체평면도

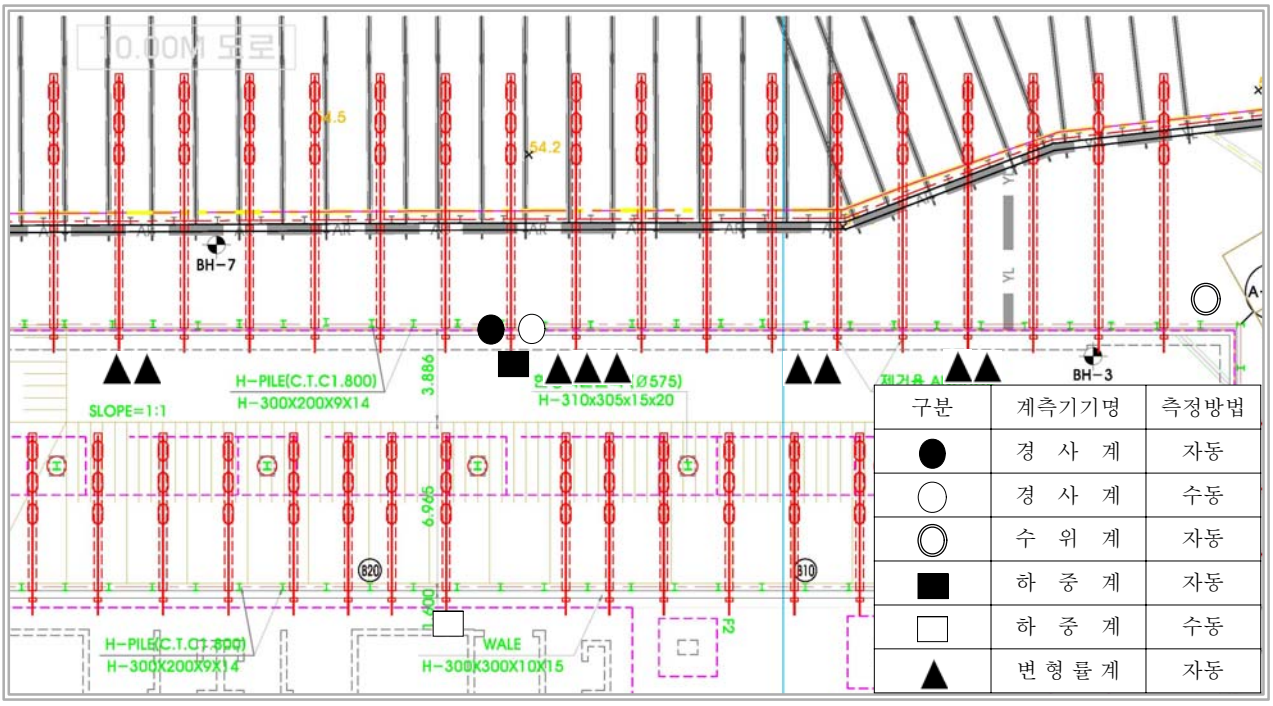

그림 계측기 배치단면도(고지대 암반파쇄대구간)

계측기기명	측정방법	설치개소
경 사 계	자동	2개소
경 사 계	수동	2개소
수 위 계	자동	1개소
하 중 계	자동	14개소
지표침하계	수동	10개소
건물경사계	수동	10개소
균열측정계	수동	10개소

기본계획 설치수량

계측기기명	측정방법	설치개소
경 사 계	자동	1개소
경 사 계	수동	1개소
수 위 계	자동	1개소
하 중 계	자동	8개소
하 중 계	수동	2개소
변 형 률 계	자동	9개소

과다변위 발생이후 설치수량

표. 계측기설치 수량(고지대 암반파쇄대구간)

3. 굴착계측 결과

3.1 굴착계측 결과분석

고지대 암반파쇄대구간의 굴착공사가 겨울철에 시작되어 두달쯤 지나 지표면하 11m쯤까지 이를 때까지 변위가 61.4mm로 지속되어 1차 지반앵커 보강을 실시하였다. 이와 함께 암반파쇄대구간의 상태를 정량적으로 분석하기 위하여 암반굴착 파쇄면에 대해서 Face mapping을 병행하였다. 지반앵커 보강 후에도 굴착이 진행됨에 따라 변위가 지속적으로 증가양상을 보여 지표면하 15m쯤에 이를 때 변위가 98.7mm로 과다하게 나타났으며, 동시에 굴착배면에도 굴착깊이와 비례하여 균열이 발달하여 균열범위가 기존 아파트단지 내까지 확대 되었다.

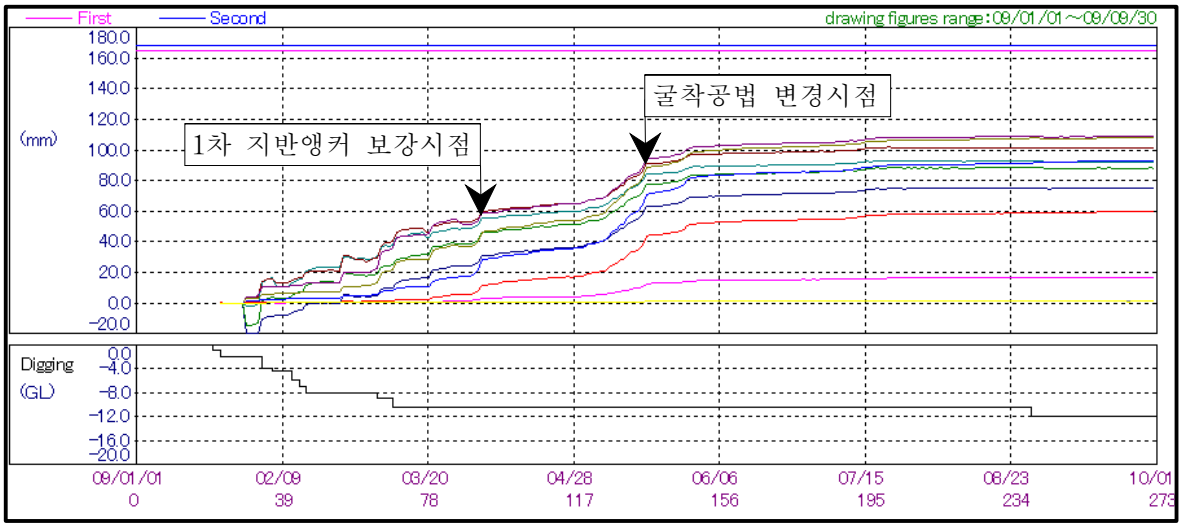

그림 자동계측에 의한 시간-변위도(고지대 암반파쇄대구간)

이와 함께, 고지대 암반파쇄구간에서 실시한 Face mapping에 근거한 평사투영법 및 한계평형 해석결과에 따르면 이 암반파쇄구간은 평면파괴각이 40도 내외로 굴착 면에 불리한 방향인 엽리성 단층의 불연속면 구조에 의해 평면파괴형태의 불안정 암반 블록으로 형성되어 있어, 당초대로 굴착공사가 진행이 된다면 안정성을 확보 할 수 없다고 판단이 되었다.

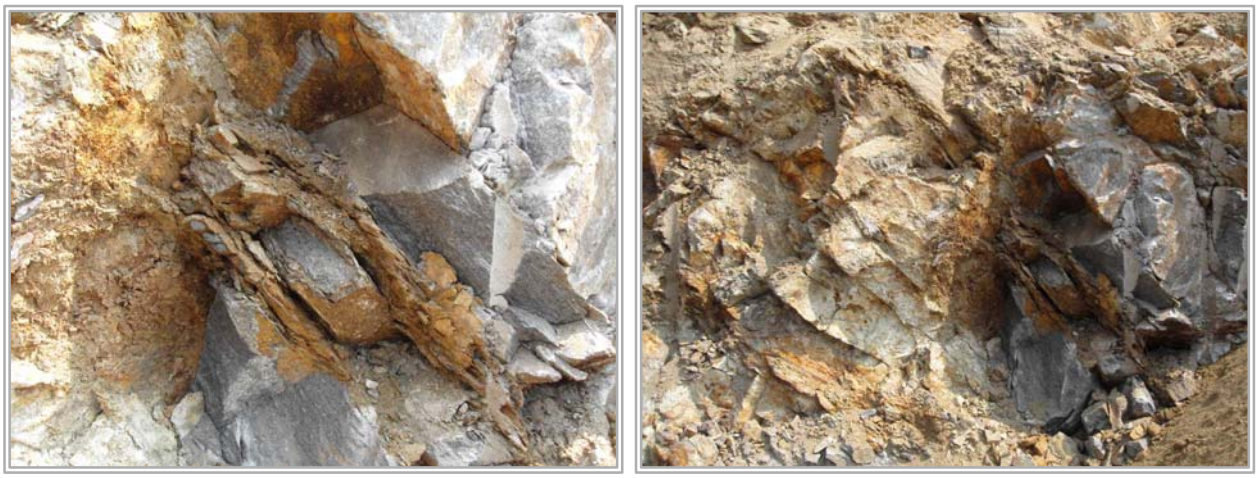

그림 고지대 암반파쇄구간의 암반상태

3.2 굴착공사 자동계측 Feed Back

고지대 암반파쇄구간에서의 자동계측결과와 병행하여 실시한 Face mapping에 근거한 평사투영법 및 한계평형 해석결과를 당초 설계에 Feed back하여 재검토를 실시하게 되었다. 이 재검토결과를 근거로 추가굴착에 따른 안정성 및 굴착배면의 변위를 극력 억제하기 위하여 당초 Down-up굴착공법인 지반앵커지지공법에서 지하층 골조를 분할시공을 하고 선 시공한 분할지하골조에 버팀대를 지지하면서 굴착해 내려가는 역타공법(Island공법)으로 변경하여 안전하게 굴착을 할 수 있었다.

4. 결 론

자동계측의 시스템을 적용한 도심지 대심도 암반굴착현장사례를 통하여 다음과 같은 사실을 알 수 있었다.

(1) 일반적으로 암반구간에서는 변위가 적게 발생한다는 선입관으로 인하여 계측관리를 소홀히 할 수 있는데 본 사례와 같이 암반파쇄대가 존재하고 불연속면이 굴착면과 불리하게 발달이 되어 있는 경우에는 예상치 못한 과대변위를 유발하고 불안정한 상태가 생길 수 있다는 것을 알 수 있었다.

(2) 본 사례와 같이 자동계측시스템의 활용은 실시간 계측으로 이상징후를 적기에 발견하여 신속하게 대응하는 것이 가능함으로 굴착인접 구조물의 피해와 민원을 방지하고, 안전한 시공을 이룰 수 있는 유용한 시스템이라는 것을 다시 한번 입증하였다.

(3) 그러므로, 도심지 굴착공사에서 구조물이 인접해 있거나, 지반조건 등 현장요건이 열악한 곳에서는 자동계측을 실시하여 안전하게 시공관리가 되도록 하는 것이 필요하다고 생각된다.

(4) 이와 함께, 암반굴착현장에서는 암반굴착면에서 나타나는 불연속구조들의 특성을 조사하는 Face mapping을 병행하여 자동계측결과와 함께 활용한다면 보다 안전한 시공관리 할 수 있다고 판단된다.

참고문헌

1. 김태섭, 김웅규, 정창원, 한철희(2008),“편토압이 심한 도심지 대심도 암반굴착공사에서의 계측사례”, 한국지반공학회 봄학술발표회 논문집
2. 김태섭, 정원홍, 김현모, 김웅규, 정창원(2008),“도심지 대규모 굴착공사에서 수행된 자동계측과 수동계측의 비교사례”, 한국지반공학회 봄학술발표회 논문집
3. 김태섭, 정원홍, 김현모, 김웅규, 정창원(2007),“도심지 대규모 굴착공사에서 자동계측 적용사례”, 한국지반공학회 가을학술발표회 논문집
4. 한국지반공학회(2001),“정보화시공”, 구미서관
5. 한국지반공학회(1995),“개착식 구조물의 시공관리를 위한 계측 및 품질관리 방법”