편토압이 심한 도심지 대심도 암반굴착공사에서의 계측사례
A Case Study on the Field Monitoring of the Deep Rock Excavation Site in Urban Area on Severe Unbalanced Pressure Condition

김태섭[1], Tae-Seob Kim, 김웅규[2], Woong-Kyu Kim,
정창원[3], Chang-Won Jung, 한철희[4], Chul-Hee Han

[1]삼성물산 건설부문 T.A.팀 전문위원, Geotechnical Expert, T.A. Team, Samsung Corp.
[2]삼성물산 건설부문 주택사업팀 과장, Manager, Housing Project Team, Samsung Corp.
[3](주)엘메스코리아 계측기술부 차장, Deputy General Manager, Technical Team, ELMES Korea Corp.
[4]삼성물산 건설부문 남산트라팰리스현장 대리, Assistant Manager, Samsung Corp.

SYNOPSIS : One of the most important item for insuring the stability of ground in urban deep excavation site near by major structure such as subway is displacement control of earth retaining wall. The field monitoring system is classified by two types as manual system and automatic system. The application case of latter type of field monitoring is increased because real time measurement is possible in automatic system and that is correspondent with the recent constructional trend. Though the automatic monitoring system is more useful and advanced than manual monitoring system, accuracy of the system is not verified sufficiently.

It was examined that the reliance of automatic monitoring system in this paper through the comparison of monitoring result obtained one of deep urban excavation site in which the each type of monitoring system was executed concurrently. Result of the examination is that the two types of monitoring system is generally alike in view of monitoring result, so the engineering reliance of automatic system was confirmed in case site.

This study was researched in restricted one case site, so it is expected more precise analysis from security of more data monitored and progressive study.

Key words : urban deep excavation, manual monitoring, automatic monitoring, real time measurement

1. 서 론

도심지의 대심도 굴착공사에서는 일반적으로 지하철이나 주요구조물이 인접하여 있으므로 굴착 안정성을 확보하기 위해 현장계측을 통한 흙막이벽체의 변위제어가 가장 중요한 공사관리 항목으로 대두된다. 현장계측 방식은 수동계측과 자동계측으로 구분되는데 공사규모 및 난이도가 증가하고 있는 최근의 경향에 따라 굴착작업 중 문제가 발생하였을 경우에 대한 실시간(real time) 계측이 가능한 자동계측 시스템의 적용이 점차 증가하는 추세에 있다. 자동계측은 수동계측 방식에 비해 보다 진보되고, 유용한 시스템인 것은 사실이지만 과거 수십년에 거쳐 검증되었던 수동계측 방식과 비교하여 계측 결과에 대한 신뢰성이 확실히 검증 되었다고 확신할 수는 없다(김태섭 등, 2007). 이에, 본 논문에서는 자동계측과 수동계측이 동시에 적용된 도심지의 대규모 굴착현장 사례에 대하여 각각의 계측기기 특성 및 계측결과 비교를 수행하고 자동계측 방식의 신뢰성에 대해서 알아보고자 한다.

2. 자동계측과 수동계측기기 특성비교

기술적인 측면에서 볼 때, 굴착현장의 모든 계측항목에 대하여 자동계측 방식과 수동계측 방식의 선택적인 적용이 가능하다. 그러나 본 논문에서는 실무적인 측면에서 대표적인 계측기기로 인지되는 지중경사계, 지하수위계, 하중계에 한해 각 계측기기의 자동 및 수동방식의 특성을 다음과 같이 비교하여 보았다.

표 2.1 대표적인 계측기기에 대한 자동방식과 수동방식의 비교

구 분	수 동 방 식	자 동 방 식
지중경사계 (Inclinometer)	 · 원 리(서보가속도계방식) 자기장에 놓인 한 질점의 위치변화에 의해 발생되는 전류의 변화를 감지하여 계측 수행 · 특 징 - Sensor(Probe)의 반영구적인 재활용 가능 - 측정자에 의한 위치 오차 발생 - Probe 삽입방향에 따라 X-Y축 계측 가능	 · 원 리(차동트랜스방식) 전자기유도의 원리를 이용하여 직선변위를 전압으로 변환하는 검전기를 통한 계측 수행 · 특 징 - Sensor의 재활용 불가 - 고정형이므로 위치 오차 미발생 - Sensor 제작방식에 따라 X-Y축 계측 가능
지하수위계 (Water Level Meter)	 · 원 리(촉점식) 수면에 Sensor(검출부)가 접촉하며 울리는 부저음으로 지하수위 심도를 측정 · 특 징 - 주변의 습도가 높을 경우 계측오차 발생 가능성 있음 - Sensor는 반영구적인 재활용 가능	 · 원 리(압력식) 관측공 저면에 설치된 Sensor에 작용하는 정수압을 기준으로 수두를 환산 · 특 징 - 주변 습도에 따른 계측오차 발생 가능성 없음 - Sensor는 재활용이 가능하지만 내구성은 약함
하중계 (Load Cell)	 · 원 리 원형 Cell 내부에 설치된 3개 이상의 압력 Sensor에 측정되는 전기저항치 또는 진동수를 하중으로 환산 · 특 징 - 주로 전기저항식 또는 진동현식 계측기기를 사용 - Anchor 또는 Strut의 축하중을 계측	자동방식과 수동방식은 계측관리 기법의 차이만 있으며, 사용 Sesor는 동일함

3. 사례현장

3.1 현장개요

본 사례연구 대상 현장은 도심지 언덕에 빌딩과 노후된 가옥들이 인접하고 있는 곳에 위치하고 있으며, 부지내 고저차가 12m 정도로 경사가 매우 심하여 굴착심도 또한 22m에서 37m(지하5~6층)로 변하는 대심도 굴착현장이다. 지반상태는 지표로부터 매립토층, 풍화토층, 풍화암층 및 편마암을 기반암으로 하는 연암층과 경암층의 순서로 분포하고 있다. 그러나, 토사층 및 풍화대층의 층후는 매우 얇아 지표면 하부에서 바로 암반층이 나타나는 경향을 나타내고 있으며 일부 구간에서는 암반의 파쇄대가 발달되어 있는 지층구조를 가지고 있다. 지하수위는 지표면하 0.6~11.5m로서 현장 고저차에 따른 불규칙한 분포를 보이고 있다. 당 현장의 흙막이벽체는 H-Pile+ 토류판으로서 지지구조는 지반레벨에 따라 편토압이 발생하는 구간은 지반앵커(제거식, Ø12.7mm×4EA or 6EA) 및 Soil Nail 또는 일부 Strut로 지지하며, 그 하부는 건축슬래브 역타공법(Top Down)을 적용하였다.

그림 3.1 사례현장 전경 (2008. 5.)

3.2 계측개요

고저차가 심한 지형적인 조건 및 대심도 굴착 등 기술적으로 어려운 현장여건을 감안하여 사례현장의 계측관리는 수동계측 뿐만 아니라 자동계측을 병행하여 실시하게 되었다. 지중경사계의 경우 자동 및 수동 모두 흙막이벽체로 근입되는 H-Pile안에 Casing을 고정하여 설치하였으며, 각 방식의 경사계 Casing은 1.0m간격의 엄지말뚝 동일면에 설치하여 지층 및 설치위치에 따른 계측오차를 최소화하고 각 방식의 계측결과를 비교・검토하였다(그림 3.4).

실제 현장에 설치된 계측기는 주변구조물에 대한 건물경사계, 주변지반 및 도로에 대한 지표침하계, 건축골조용 Beam에 대한 변형율계가 포함되지만 모두 수동방식으로 수행되었으며, 본 사례연구와는 관련성이 적어 별도로 언급하지는 않았다.

계측기 설치현황 및 결과분석이 수행된 주요단면은 다음 그림과 같다.

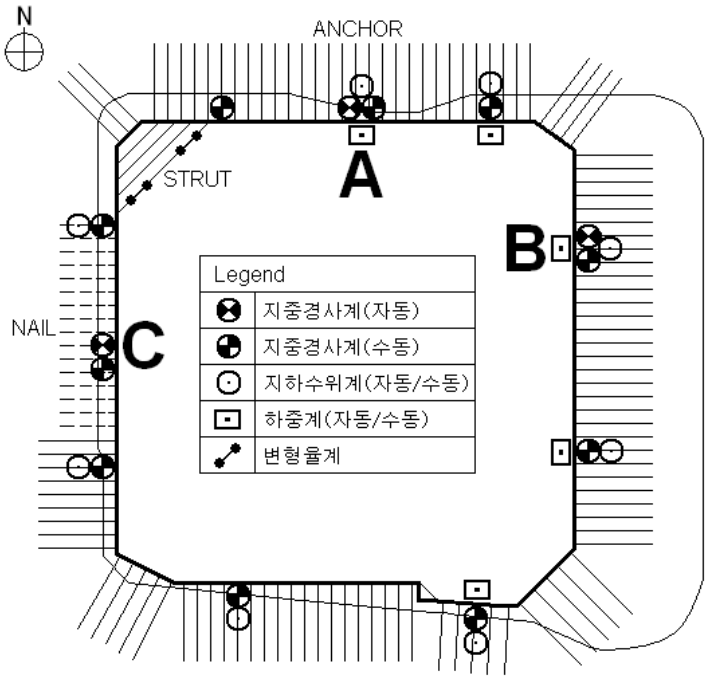
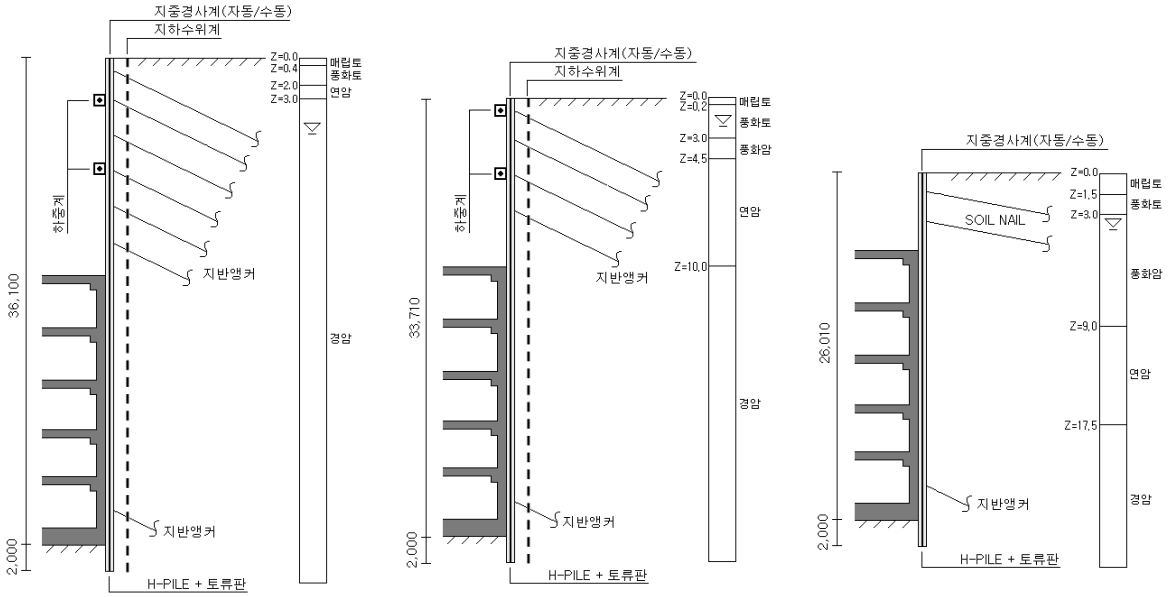


그림 3.2 계측기 설치 평면도



(a) Section A (b) Section B (c) Section C

그림 3.3 계측기 설치 단면도

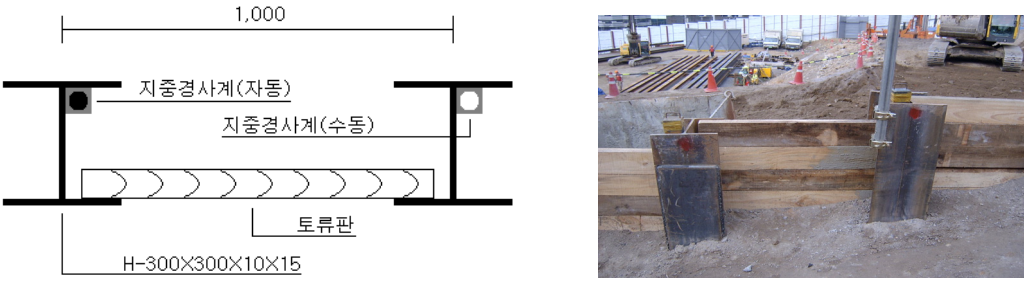
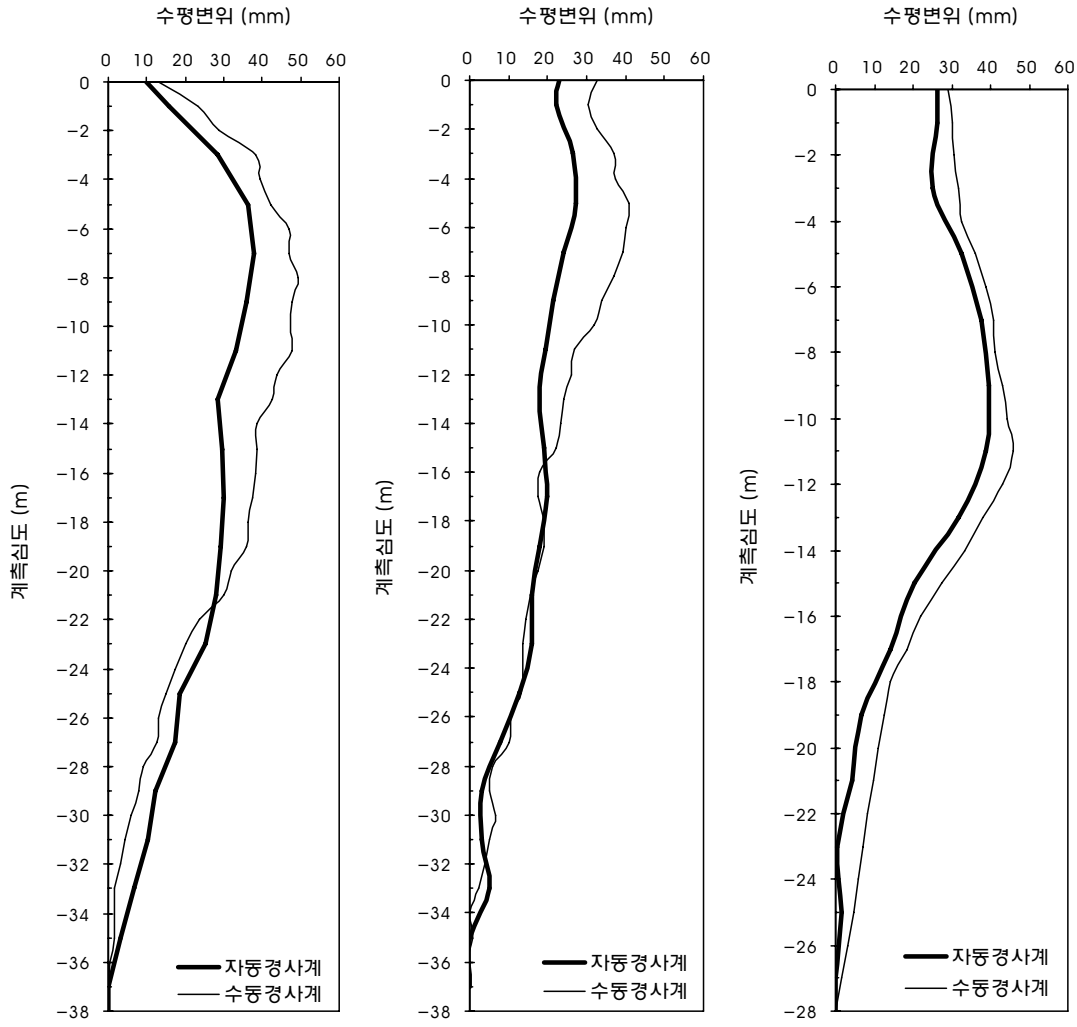


그림 3.4 지중경사계 설치 위치

4. 계측결과 분석

4.1 지중경사계

사례현장에서 측정된 지중경사계 계측결과를 비교하면 수동계측에 의한 결과치가 자동계측에 의한 결과치보다 전반적으로 약간 큰 값을 나타내는 경향을 보인다. 하지만 전체적으로는 두 계측방식에 의한 결과가 유사한 것으로 판단되며, 특히 발생변위의 경향(Trend)은 거의 일치하는 모양을 나타내었다. 최대발생변위를 기준으로 수동계측과 자동계측 결과가 다소 차이를 나타낸 이유는 심도별 측정 간격의 차이에 기인하는 것으로 분석된다. 즉, 사례현장의 자동경사계는 심도별 2.0m 간격으로, 수동경사계는 심도별 1.0m 간격으로 계측을 실시하였으며, 이에 따른 경사계 변위의 해석상 곡률이 다소 차이를 나타낸 것으로 판단된다.



(a) Section A (b) Section B (c) Section C

그림 4.1 지중경사계 계측결과 비교

분석이 수행된 A, B, C 단면의 경우 지반레벨 차이 및 이에 따른 지층의 차이에 의해 지중경사계 수평변위를 동일 지점별로 비교하는 것은 사실상 불합리하다. 따라서 상부레벨 기준이 아닌 하부레벨 기준으로 각 지하층 건축공정별 발생된 최대수평변위를 그림 4.2에 비교하여 보았다. 그림 4.2에서 지하1층의 하부 지층은 각 단면 모두 기반암(연암 이상)으로 구성되고 있는 상태이므로 본 심도 이하부터는 각 단면별 지층에 따른 오차는 소거될 수 있다. 최종 계측결과를 기준으로 각 단면별 변위발생 양상을 비교하면 Section C의 변

위가 가장 크게 발생하였던 사실을 알 수 있는데 이는 주로 흙막이벽체를 지지하는 지지체(Support)의 차이에 기인하는 현상인 것으로 판단된다. 즉, Section A 및 Section B의 경우 지지체가 지반앵커로 시공되었음에 반해 Section C의 경우는 지지체가 Soil Nail로 시공되어 주동지지체인 앵커보다는 수동지지체인 Nail의 변위가 상대적으로 더 크게 발생하는 일반적인 현상을 나타내고 있다. 한편, 동일한 지지체인 앵커로 시공된 두 단면(Section A 및 Section B)의 경우 굴착고가 더 큰 Section A의 변위가 편토압의 영향으로 상대적으로 더 크게 나타났다. 최종변위 이전의 중간단계에서 변위의 대소관계가 최종결과와 차이를 나타내는 이유는 동일한 건축 지하층 내에서도 굴착스텝에 따른 굴착고의 차이가 발생하며, 기반암의 암질 또한 다소의 차이를 나타내기 때문이다.

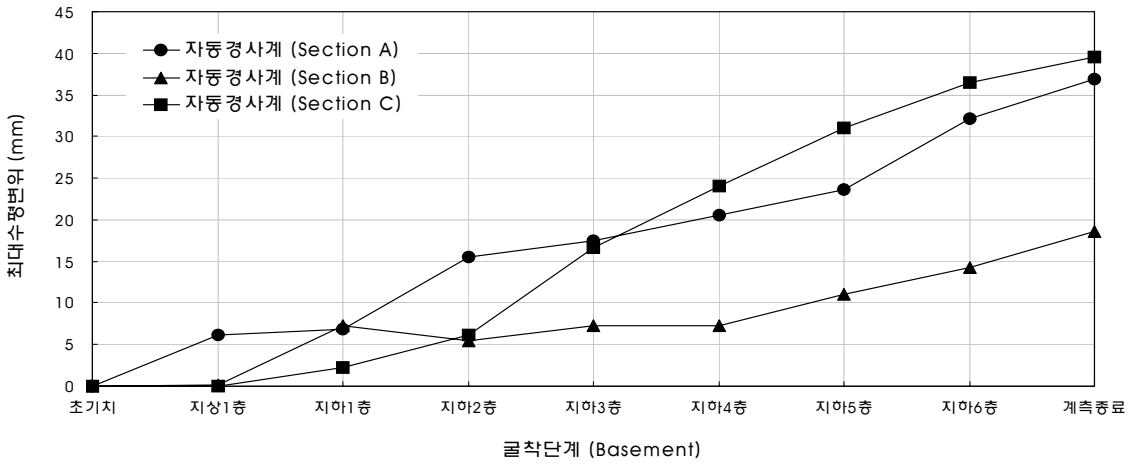


그림 4.2 시간경과에 따른 최대수평변위 변화

자동계측기의 경우 주로 전기식 Sensor를 사용하게 되므로 외부전류의 영향 및 기타 진동, 충격에 따른 이상변위가 발생하는 경우가 있으며, 이를 Noise라 칭한다. 본 현장의 지중경사계 계측사례에서도 이러한 Noise 현상이 일부 발생하였다(그림 4.4). 계측 수행도중 Noise로 의심되는 데이터가 발견될 경우에는 즉시 현장에서 전항테스트와 접지테스트를 실시하였으며, Noise로 판명될 경우에는 당초의 접지봉을 제거하고 1m 길이의 신규 접지봉으로 교체한 후 3개소(Field Logger~지면, Logger Box~지면)에 다중 접지를 실시하여 Noise 현상을 소거하였다(그림 4.3). 이 외에도 Noise를 제거하기 위해 통신케이블의 교체, 철재의 Field Logger Box를 ABS재로 교체하는 등의 노력이 수행되었다.

그림 4.3 Noise 소거를 위한 Field Logger 접지방식 개선

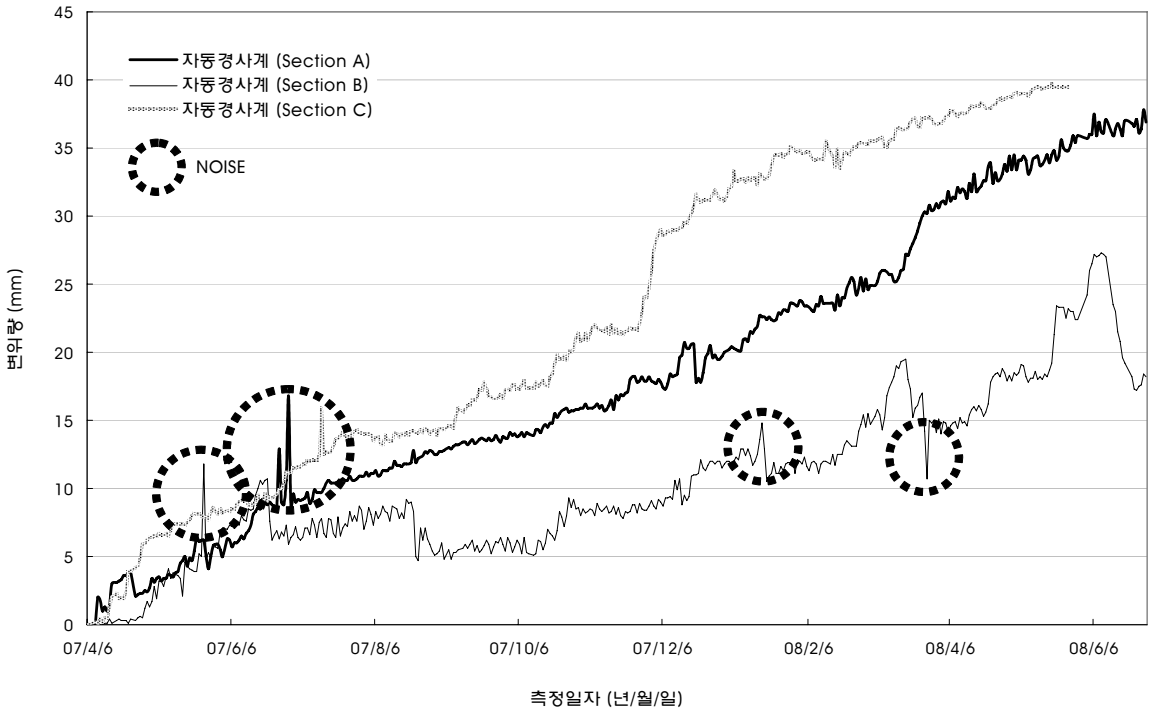


그림 4.4 자동경사계 Noise 발생 현황

4.2 지하수위계

각 분석단면에서 지하수위계의 경우에는 지중경사계와는 달리 중요단면을 위주로 자동계측기 1개소만을 설치하였고, 기타 단면에 대해서는 수동계측기 1개소씩을 설치하였다. 따라서, 지하수위계의 설치위치별 지층조건과 지표면고는 차이가 있으므로 모든 분석단면에 대해 현장의 계측결과를 비교하는 것은 무의미할 것으로 판단되며, 비교적 유사한 지층조건에 설치된 현장 Section A에 대해서만 분석을 실시하였다.

Section A의 자동 및 수동 수위계 계측결과는 설치위치에 따른 조건의 차이에 의해 측정값은 다소 차이가 나타났으나 자동계측기와 수동계측기에 의해 측정된 지하수위의 전반적인 경향은 유사한 것으로 판단되어 고전적인 수동계측기와 대비한 자동계측기의 적용성을 확인 할 수 있었다.

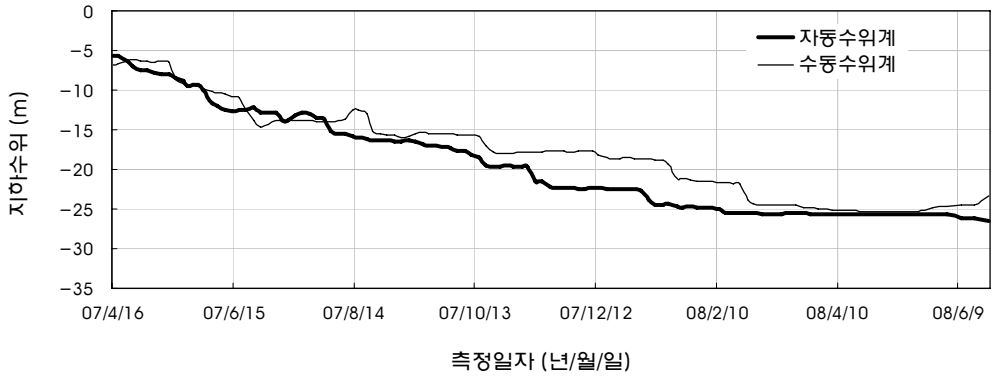


그림 4.5 시간경과에 따른 지하수위계 계측결과 비교(Section A)

4.3 하중계 계측결과 비교

각 분석단면에서 하중계의 경우에도 중요단면을 위주로 자동계측기 1개소를 설치하였고, 기타 단면에 대해서는 수동계측기 1개소만을 설치하였다. 따라서, 하중계의 설치위치별 지층조건과 설계인장력은 차이가 있으므로 모든 검토단면의 계측결과를 비교하는 것은 역시 무의미할 것으로 판단되며, 비교적 동일한 지층조건에서 동일 레벨의 지반앵커에 설치된 Section A에 대해서만 분석을 실시하였다.

Section A의 자동 및 수동 하중계 계측결과의 차이는 약 2.0 tonf로서 이는 계측기가 설치된 앵커의 설계축력인 35.0 tonf와 비교할 때 무시할 수 있을 정도의 미소한 오차로 보여진다. 따라서 현장 A의 사례에서 하중계에 관한 자동과 수동 계측기는 비교적 유사한 결과를 나타낸 것으로 분석 할 수 있으며, 수동계측기와 대비한 자동계측기의 적용성을 역시 확인 할 수 있었다.

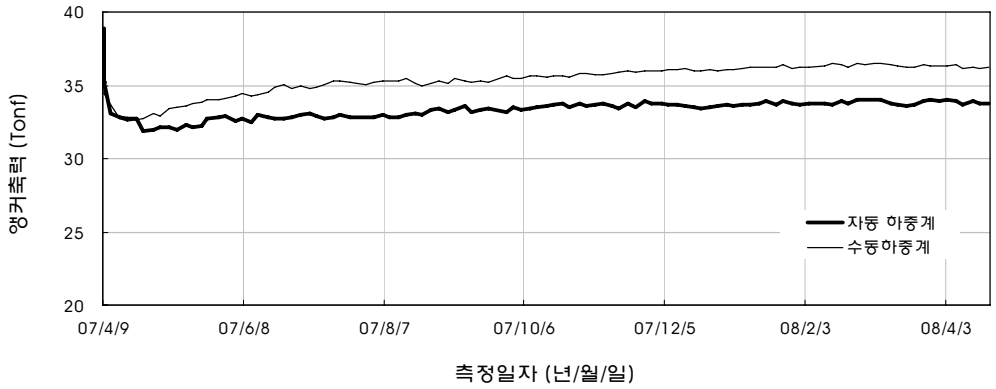


그림 4.6 시간경과에 따른 하중계 계측결과 비교(Section A)

5. 결 론

자동계측과 수동계측이 동시에 적용된 도심지의 대심도 굴착현장 사례에 대하여 각각의 계측기기 특성 및 계측결과 비교를 통한 자동계측 방식의 신뢰성 검토를 통하여 다음과 같은 사실을 알 수 있었다.

(1) 지중경사계의 경우 수동계측에 의한 결과치는 자동계측 방식보다 약간 큰 값을 나타내는 경우도 있지만 전체적으로는 거의 일치하고 있으며, 특히 계측결과의 경향(trend)은 각 방식이 매우 유사한 것으로 나타났다. 지하수위계와 하중계의 경우에는 자동계측기와 수동계측기의 계측결과가 거의 유사한 것으로 나타났다. 따라서 본 사례현장의 경우 공학적인 측면에서의 자동계측 결과는 신뢰할 수 있는 정도인 것으로 판단된다.

(2) 한편, 자동계측의 경우 일반적으로 수동계측에 비해 우수한 감도를 갖는 기기를 사용하고 있을 뿐 아니라, 계측시스템도 일정한 위치에 고정되어 실시간(real time)의 일정한 주기로 컴퓨터에 계측치가 자동입력되므로, 계측 담당자가 직접 데이터를 입력하는 수동계측과 비교하면 자동계측 방식이 계측오차 특히, 개인의 계측미숙으로 인한 관측오차를 최소화 할 수 있어 정밀도을 높힐 수 있는 방법이라고 할 수 있다.

(3) 따라서, 도심지 굴착공사에서 중요구조물이 인접해 있거나, 지반조건 등 현장여건이 열악한 곳에서는 자동계측의 유용성을 적극적으로 활용하여 안전하게 시공관리가 되도록 하는 것이 바람직하다고 생각된다.

(4) 단, 금번 연구는 1개소의 현장에 한정된 것이므로 향 후 비교 데이터의 추가확보를 통한 연구가 더욱 진행되고, 자동계측 방식의 신뢰성이 한층 더 향상된다면 보다 안전한 흙막이공사가 이루어 질 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

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