도심지 대규모 굴착공사에서 수행된 자동계측과 수동계측의 비교 사례
Comparison of Field Monitoring System in case of Automatic and Manual Type Executed in Urban Deep Excavation Site

김태섭[1], Tae-Seob Kim, 정원홍[2], Won-Hong Chung, 김현모[3], Hyun-Mo Kim,
김웅규[4], Woong-Kyu Kim, 정창원[5], Chang-Won Jung

[1] 삼성물산 건설부문 T.A.팀 전문위원, Geotechnical Expert, T.A. Team, Samsung Corp.
[2] 삼성물산 건설부문 주택사업팀 부장, General Manager, Housing Project Team, Samsung Corp.
[3] 삼성물산 건설부문 정릉9구역 재개발아파트현장 공사팀장, Site Civil Manager, Samsung Corp.
[4] 삼성물산 건설부문 주택사업팀 과장, Manager, Housing Project Team, Samsung Corp.
[5] (주)엘메스코리아 계측기술부 과장, Manager, Technical Team, ELMES Korea Corp.

SYNOPSIS : Displacement control of earth retaining wall is recognized as the most important item for insuring the stability of ground in urban deep excavation site near by major structure such as subway etc. 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 three 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 task was researched in restricted case site, it is expected more precise analysis from security of more data monitored and progressive study.

Key words : 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 3개소 대규모 굴착현장 사례에 대한 각각의 계측기기 특성 및 계측결과 비교를 통하여 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 비교하였다.

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 직선 변위를 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. 계측현장 현황

3.1 현장 A

계측현장 A는 도심지 언덕에 빌딩과 노후된 가옥들이 인접하고 있는 곳에 위치하고 있으며, 부지고저차가 12m로 경사가 심하여 굴착심도 또한 22m에서 37m(지하6층)로 변하는 대심도 굴착현장이다. 지반상태는 지표로부터 매립토층, 풍화토층, 풍화암층 및 기반암인 편마암의 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 0.6~11.5m로 불규칙한 분포를 보이고 있다. 당현장의 흙막이벽체는 H-Pile+토류판으로서 지지구조는 고저차로 편토압이 발생하는 구간은 지반앵커(제거식, Ø12.7mm×4EA or 6EA)로, 그 하부는 건축슬래브 역타공법(Top Down)을 적용 하였다. 이와같은 어려운 현장여건을 감안하여 계측관리는 수동계측 뿐만 아니라 자동계측을 병행하여 실시하게 되었다(그림 3.1). 지중경사계의 경우 흙막이벽체로 근입되는 H-Pile 안에 자동계측기와 수동계측기를 1.0m간격으로 동일면에 설치하였다(그림 3.2).

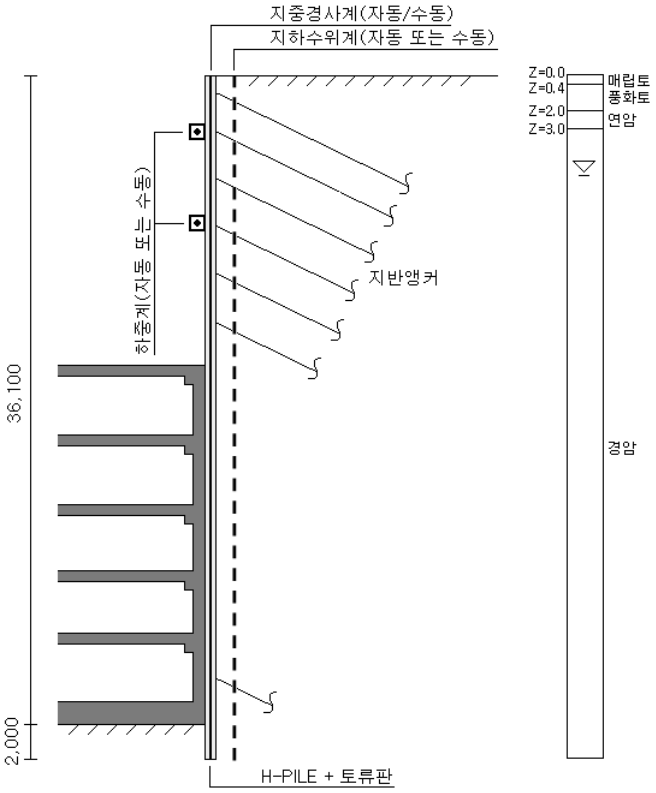

그림 3.1 계측기 설치 단면도(현장 A)

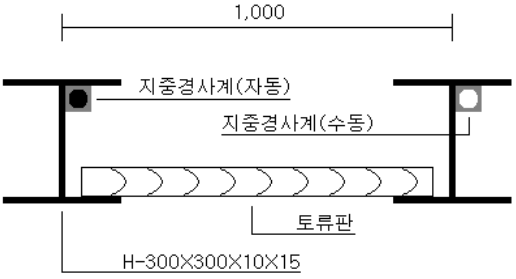

그림 3.2 지중경사계 설치 위치(현장 A)

3.2 현장 B

계측현장 B는 도심지에 지하철과 지하차도가 인접하여 있고 아파트와 건물들이 주위에 위치하고 있으며, 굴착심도가 최대 30m(지하5층)인 대심도 굴착현장으로서, 지반상태는 지표로부터 매립토층, 퇴적토층(실트, 점토, 모래, 자갈), 풍화토층, 풍화암층 및 기반암인 연암층과 경암층의 순서로 분포하고 있다. 분포토층 중 퇴적토층은 현장에서 700m정도 떨어진 안양천으로 유하되는 과정에서 생성된 것으로 보이며, 퇴적토층 중 당 현장 굴착지층의 약 30% 이상을 차지하고 있는 자갈층의 직경은 10cm 내외인 것으로 나타났다. 당 현장의 기반암은 편마암으로 구성되어 있다. 지하수위는 대체로 지표하 13m~16m 정도로서 대부분 퇴적층에 고르게 분포하고 있다. 이에 흙막이공법은 Diaphragm wall(Thickness=1.0m)과 지반앵커(제거식, Ø12.7mm ×4EA or 6EA)을 적용하였고, 계측관리도 수동계측뿐만 아니라 자동계측을 병행하여 실시하였다(그림 3.3). 지중경사계의 경우 자동계측기는 Diaphragm wall 내부에 매설하였고 수동계측기는 자동계측기 설치위치 후면의 1.0m 떨어진 이격거리에 지반을 천공하여 설치하였다(그림 3.4).

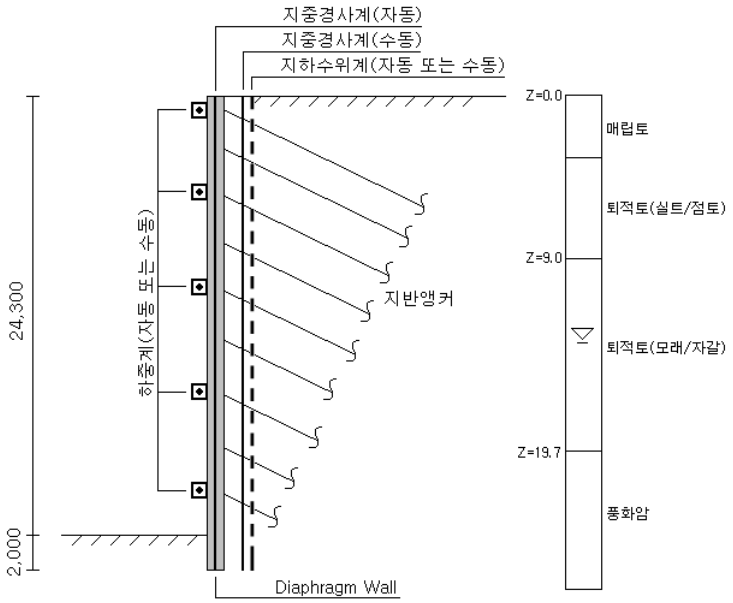

그림 3.3 계측기 설치 단면도(현장 B)

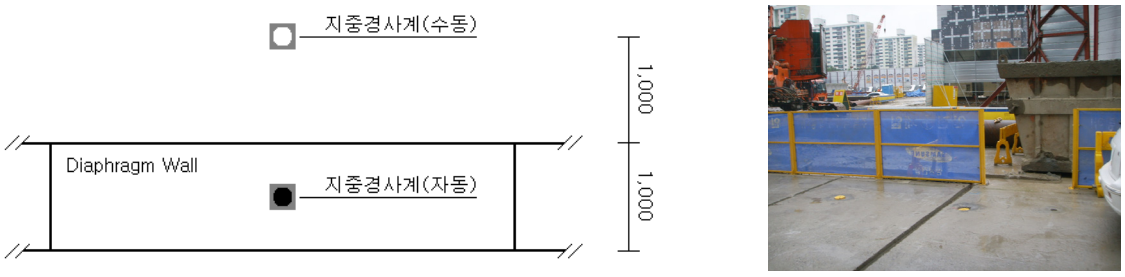

그림 3.4 지중경사계 설치 위치(현장 B)

3.3 현장 C

계측현장 C 또한 도심지에 지하철과 노후된 아파트, 가옥들이 인접하고 있는 곳에 위치하고 있으며, 굴착심도는 20m정도(지하4층)의 대심도 굴착현장이다. 지반상태는 지표로부터 매립토층, 풍화토층, 풍화암층 및 기반암인 연암층과 경암층의 순서로 분포하고 있다. 당 현장의 기반암은 흑운모 편마암으로 구성되어 있는

데 지표면하 4~6m 이하부터 나타나고 있어, 대부분지층이 발파공사를 수반하여야만 하며, 지하수위는 굴착면 이하에 위치하는 것으로 조사되었다. 이러한 현장여건을 반영하여 흙막이벽체는 H-Pile+토류판과 Shotcrete로 설계되었으며, 지지구조는 Soil Nailing(제거식,HD25 L=4~5m C.T.C.2.0×1.5m)과 Corner Strut를 적용하였고, 계측관리도 수동계측과 병행하여 자동계측을 실시하였다(그림 3.5). 지중경사계의 경우 자동계측기와 수동계측기 모두 H-Pile 후면에 1.0m 이격된 지점에 설치하였으며, 각 계측기의 수평거리는 2.0m 이다(그림 3.6).

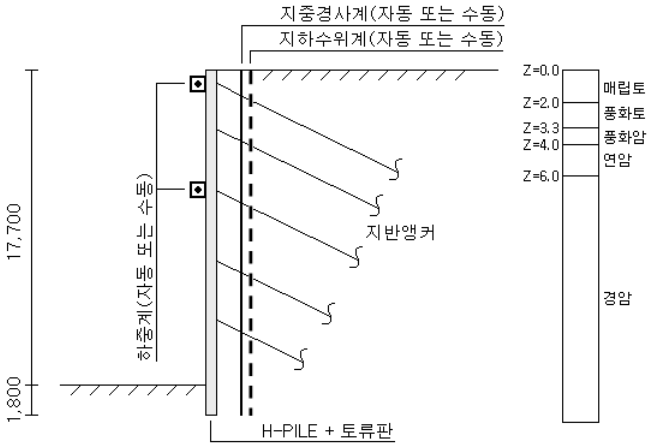

그림 3.5 계측기 설치 단면도(현장 C)

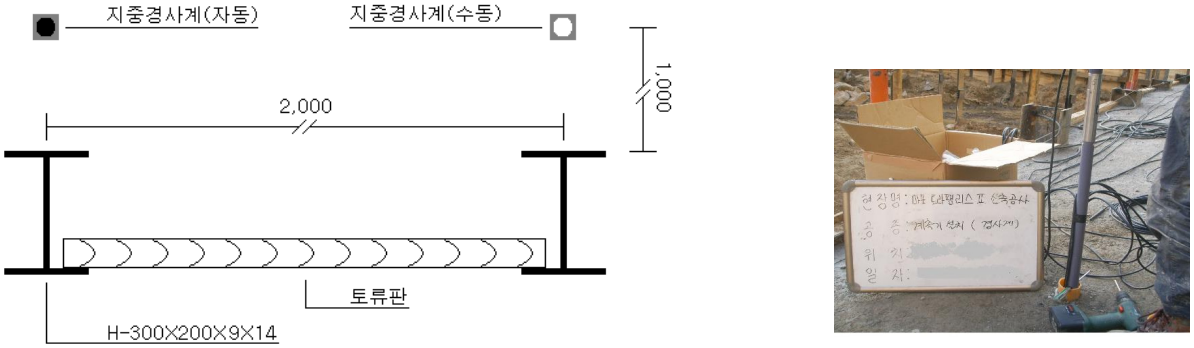

그림 3.6 지중경사계 설치 위치(현장 C)

4. 자동계측과 수동계측 결과의 비교

4.1 지중경사계 계측결과 비교

사례현장에서 측정된 지중경사계 계측결과를 비교하면 수동계측에 의한 결과치가 자동계측에 의한 결과치보다 약간 큰 값을 나타낸 사례도 있었지만 전반적으로는 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, 사례현장 모두 자동경사계는 심도별 2.0m 간격으로, 수동경사계는 심도별 1.0m 간격으로 계측을 실시하였으며, 이에 따른 경사계 변위의 해석상 곡률이 다소 차이를 나타낸 것으로 판단된다.

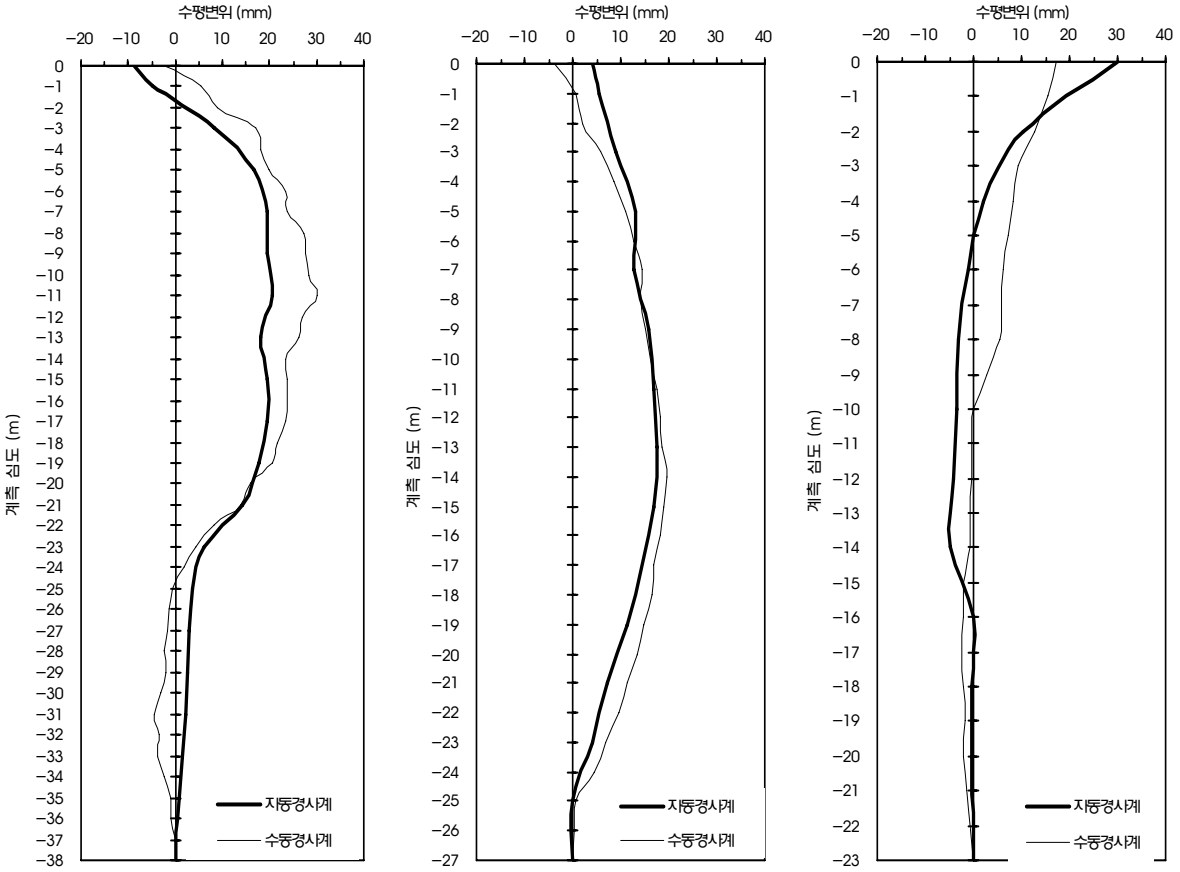

그림 4.1 심도별 지중경사계 계측결과 비교 (좌:현장A, 중:현장B, 우:현장C)

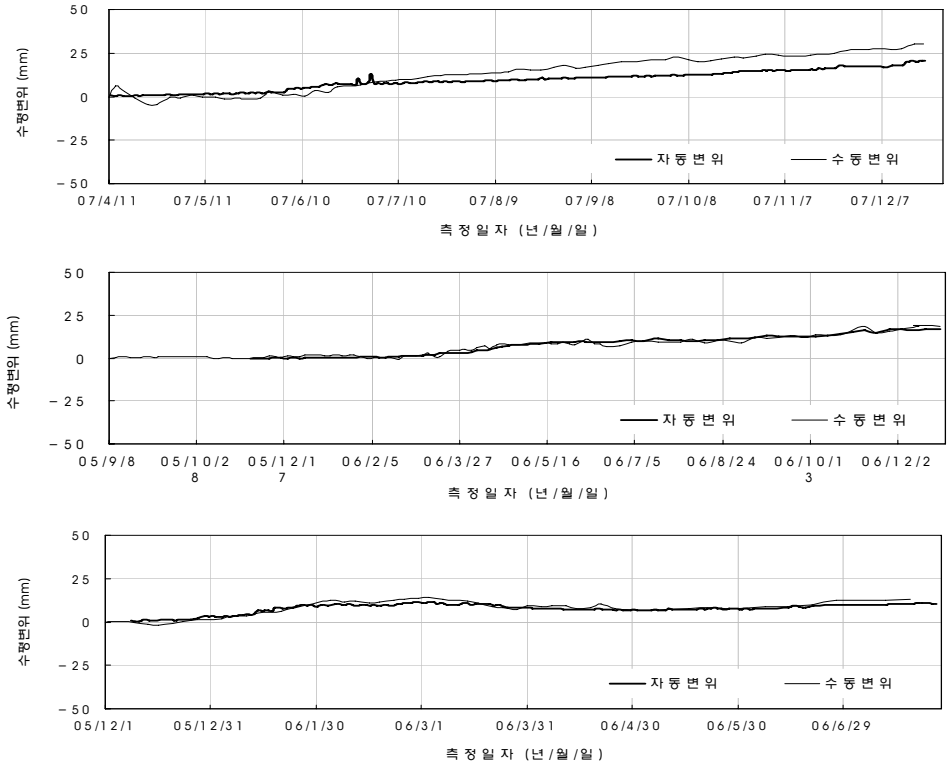

그림 4.2 시간경과에 따른 지중경사계 계측결과 비교 (상:현장A, 중:현장B, 하:현장C)

4.2 지하수위계 계측결과 비교

각 사례현장에서 지중경사계와는 달리 지하수위계의 경우에는 중요단면을 위주로 자동계측기를 설치하였고, 기타 단면에 대해서는 수동계측기를 설치하였다. 따라서, 지하수위계의 설치위치별 지층조건과 지표면고는 차이가 있으므로 모든 사례현장의 계측결과를 비교하는 것은 무의미할 것으로 판단되며, 비교적 유사한 지층조건에 설치된 현장 A에 대해서만 분석을 실시하였다.

현장 A의 자동 및 수동 수위계 계측결과는 설치위치에 따른 조건의 차이에 의해 측정값은 다소 차이가 나타났으나 자동계측기와 수동계측기에 의해 측정된 지하수위의 전반적인 경향은 유사한 것으로 판단된다.

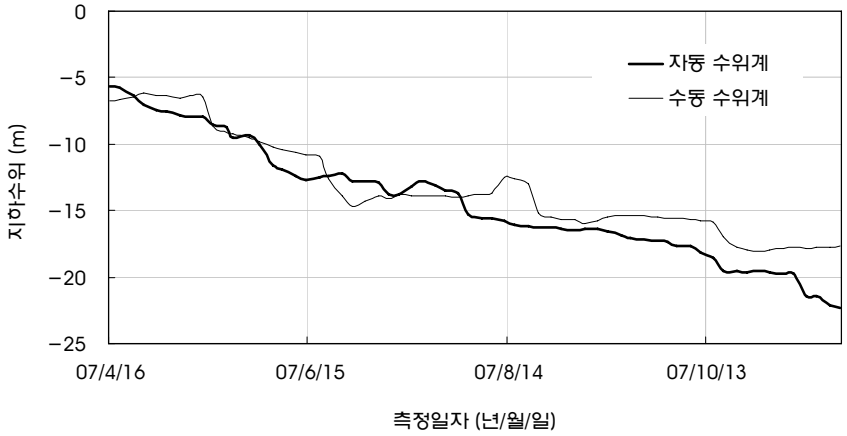

그림 4.3 시간경과에 따른 지하수위계 계측결과 비교(현장 A)

4.3 하중계 계측결과 비교

각 사례현장에서 하중계의 경우에도 중요단면을 위주로 자동계측기를 설치하였고, 기타 단면에 대해서는 수동계측기를 설치하였다. 따라서, 하중계의 설치위치별 지층조건과 설계인장력은 차이가 있으므로 모든 사례현장의 계측결과를 비교하는 것은 역시 무의미할 것으로 판단되며, 비교적 동일한 지층조건에서 동일 레벨의 지반앵커에 설치된 현장 A에 대해서만 분석을 실시하였다.

현장 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 있다.

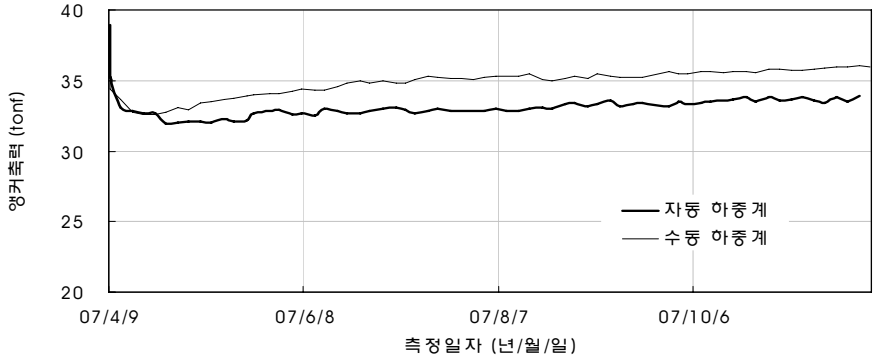

그림 4.4 시간경과에 따른 하중계 계측결과 비교(현장 A)

5. 결 론

자동계측과 수동계측이 동시에 적용된 도심지의 3개소 현장사례에 대하여 각각의 계측기기 특성 및 계측결과 비교를 통하여 자동계측 방식의 신뢰성에 대한 검토 비교분석을 통하여 다음과 같은 사실을 알 수 있었다.

(1) 자동계측과 수동계측의 검토결과 수동계측에 의한 결과치는 자동계측 방식보다 약간 큰 값을 나타내는 경우도 있지만 전체적으로는 거의 일치하고 있으며, 계측결과의 경향(trend)은 각 방식이 매우 유사한 것으로 나타나 공학적인 측면에서 자동계측의 결과는 신뢰할 수 있는 정도의 계측치를 얻을 수 있다고 판단된다.

(2) 한편, 자동계측이 좋은 감도를 갖는 기기를 사용하고 있을 뿐 아니라, 계측시스템에서도 일정한 위치에 고정되어 자동계측시스템에 의하여 실시간(real time)으로 일정한 주기로 컴퓨터에 자동으로 계측치가 입력되므로, 현장계측담당자가 수동으로 입력하는 수동계측과 비교하면은 자동계측방식이 계측오차 특히, 개인의 계측미숙으로 인한 관측오차를 최소화 할 수 있어 정밀도을 높힐수 있는 계측이라고 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, 금번의 연구는 3개소의 한정된 현장에 대한 것이므로 향 후 비교 데이터의 추가확보를 통한 연구가 더욱 진행되어 자동계측 방식의 신뢰성을 한층 더 향상 시켜 안전한 흙막이공사가 이루어 질 수 있도록 하였으면 한다.

참고문헌

1. 김태섭, 정원홍, 김현모, 김웅규, 정창원(2007), “도심지 대규모 굴착공사에서 자동계측 적용사례”, 한국지반공학회 가을학술발표회 논문집, pp. 757.
2. 한국지반공학회(2001), “정보화시공”, 구미서관
3. 한국지반공학회(1995), “개착식 구조물의 시공관리를 위한 계측 및 품질관리 방법”