

자동제어장치가 장착된 최첨단 심층혼합고결처리공법에 관한 연구 New deep mixing method installed automatic control equipments

한우선¹⁾ Woo-Sun Han, 조기호²⁾ Ki-Ho Cho, 임우성³⁾ Woo-Sung Leem

¹⁾ 해공환경산업(주) 회장, President, Haekong Environment Co., Ltd

²⁾ 토경테크(주) 사장, President, Tokyung Tech Co., Ltd

³⁾ 해공환경산업(주) 과장, Manager, Haekong Environment Co., Ltd

SYNOPSIS : The purpose of this paper is to develop the new deep mixing method installed automatic control equipments for the better construction in deep mixing and grouting. Civil, geotechnical, electronic, and communication experts have worked together for a long time for the development of automatic measuring devices using wire and wireless transmitting-receiving set. A series of laboratory and field experiments were carried out to check the reliability and field applicability of this system. New total automatic control system including automatic devices for checking angle, depth and quantity of injected grout was invented from the result of this research.

Keywords: Automatic control, Angle, Depth, Wireless, Boring, Grouting, Deep mixing

1. 서론

토목공사 및 환경공사 현장에서는 수압 및 토압에 대한 보강역할 그리고 지하수 및 오염수의 차단역할을 위하여 심층혼합고결공법이 적용되고 있다. 국내에서 사용되고 있는 기존의 심층혼합고결장치는 모든 공정을 수동으로 하거나 일부 공정만을 자동으로 하고 있다. 따라서 시공상에 오차 및 편차가 발생하거나 품질관리가 어려워 일률적인 고결체가 형성되지 않는 경우가 있다. 따라서 신뢰성 있는 지중고결체를 얻기 위해서는 심층혼합고결장치에 대한 수직도, 심도, 약액주입 등에 대한 자동제어가 요망된다.

본 연구에서는 기존의 심층혼합고결장치를 개량하여 다축 정역회전 교반장치, 지중확대 교반장치, 유선 송수신을 이용한 심도 자동측정장치, 무선 송수신을 이용한 각도 자동측정장치, 관입속도 대응형 약액 주입량 자동제어장치 등을 고안하여 새로운 심층혼합고결장치를 개발하였다. 개발된 심층혼합고결장치에 대한 성능평가를 위하여 전남광주의 OO부지 및 충남의 OO부지에서 시험시공을 실시하였다. 시험시공에서는 심층혼합고결장치가 지중을 천공하면서 이루어지는 모든 공정을 자동으로 제어하는 능력을 관찰하였다. 자동제어능력은 지중을 천공하면서 측정되는 관측치 및 이에 대응하는 장비의 거동성능을 관찰하여 파악하였다. 본 연구를 통하여 자동제어장치가 장착된 최첨단형 심층혼합고결처리공법을 실용화할 수 있는 기틀을 마련하였고 보다 더 신뢰성 있는 지중고결체를 얻을 수 있는 계기를 마련하였다.

본 연구를 통하여 특히, 각도 자동제어장치, 심도 자동제어장치, 약액 주입량 자동제어장치 등을 일체로 조합하여 현장대응형 자동제어 토탈시스템이 개발되었다. 본 자동제어 토탈시스템을 보링그라우팅공사, 심층혼합고결처리공사 등에 적용하게 되면 정밀한 수직도, 심도 및 약액 주입에 따라 밀실하고 연속적인 지중고결체의 획득이 가능하여 정밀한 시공 및 엄격한 품질관리를 달성할 수 있는 것으로 나타났다.

2. 자동제어장치 개요

2.1 수직도 자동제어장치

보링공사, 지중고결공사, 차수공사, 심정공사, 기초항타공사 등과 같이 지중내에 구조물을 수직으로 설치하는 공사 또는 타워크레인, 철탑, 기둥 등과 같이 지상에 구조물을 설치하는 공사에서는 정밀한 시공을 위하여 구조물의 수직도가 중요하다. 이와같은 토목·건축공사와 같이 수직도를 항상 점검해야 할 경우에는 각도측정기를 밀폐된 곳이나 높은 굴착기, 탑, 시설물 등의 정상(頂上)에 부착하여야 하므로 측정자가 직접 각도측정기가 설치된 곳까지 접근하여 작업의 수직여부를 확인하기 어려운 실정이었다. 따라서 수직을 요하는 작업에 있어서 작업자가 접근하기 어려운 곳에 설치된 각도측정기까지 가지 않고도 편리하게 측정결과를 작업자가 위치하고 있는 곳에서 확인할 수 있는 장치의 개발이 필요하다.

이러한 목적을 달성하기 위하여 본 연구에서는 작업자가 직접 육안으로 측정하는 방식을 탈피하여 자동으로 측정하는 장치를 개발하였다. 본 장치는 토목공사, 건축공사 등의 수직도를 점검해야 하는 공사에 있어서 각도자동측정기를 설치하여 측정된 각도측정 데이터를 송신하면 작업자가 위치하고 있는 작업실, 조정실, 운전석 등에서 또는 작업자가 휴대하면서 볼 수 있도록 송신된 각도 측정 데이터 신호를 수신기로 받아 연산처리하여 데이터 표시부에서 센로 측정된 각도를 표시하는 것이다.

각도측정기는 각도센서부, 센서 신호처리부, 데이터 무선송신부로 구성되어 있는데 작업자가 접근할 수 없는 각도측정시설물에 설치된 각도측정기의 각도센서부에서는 센서의 기울기에 따라 출력전압레벨(Analog)을 다르게 출력하고, 센서 신호처리부에서는 에이디 컨버터(Analog-Digital Converter)에 의하여 아날로그(Analog) 신호를 증폭하고 디지털(Digital) 신호로 변환하며, 데이터 무선송신부에서는 이 디지털 신호를 작업자가 위치하는 곳에 있는 본체 각도표시기의 수신기로 송신한다. 각도표시기는 데이터 무선수신부, 데이터 연산처리부, 데이터 표시부(Liquid-Crystal Display)로 구성되어 있는데, 작업자가 위치하는 곳에 있는 각도표시기의 데이터 무선수신부에서는 각도측정기의 데이터 무선송신부에서 보내진 데이터를 수신하여 데이터 연산처리부에 보내고 데이터 연산처리부에서는 수신된 데이터를 데이터 표시부(LCD)에 보내면 이 데이터를 작업자가 확인할 수 있도록 화면에 데이터 값을 표시한다. 데이터 표시부(LCD)에서는 장치내부적으로 셀프테스트를 수행하며 각도 측정기에서 데이터 송신이 되지 않아 수신된 데이터가 없으면 부저음과 함께 신호가 없다는 안내메시지를 화면에서 표시한다. 한편, 셀프테스트에서 이상이 없으면 정상램프를 점등하고 각도측정기에서 송신된 데이터가 설정된 최대값을 넘지 않도록 화면에 데이터로 표시한다. 수신된 데이터가 설정된 값을 넘으면 부저음과 함께 안내메시지를 화면에 표시한다.

2.2 심도 자동제어장치

일반적으로 보링 그라우팅 작업시 원하는 깊이로 구멍을 천공 또는 원 지반토와 교반 혼합하고자 할 경우, 작업자들이 지중의 깊이를 실제로 관측할 수가 없어 종래에는 보링그라우팅 장비의 로드가 지중으로 관입되는 것을 장비 운용자 이외의 다른 작업자가 육안으로 파악하여 대략적인 깊이를 맞추거나 또는 수직으로 세워진 리더에 수치를 표시하여 지중으로 관입되는 로드와의 위치차이로 대략적인 깊이를 파악하도록 되어 있어 원하는 정확한 깊이로 지중에 구멍을 천공하거나 원 지반토와 교반 혼합할 수 있었고, 이로 인하여 지중에 천공된 구멍이나 교반 혼합된 부분의 깊이가 계획된 깊이보다 더욱 많거나 적게되는 등 오차가 발생하여 공사의 정확도가 떨어져 부실 시공되는 문제점이 발생하였다.

본 연구는 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 것으로 작업자가 작업시의 심도를 보링 그라우팅장비 외부에서 편리하게 실시간으로 파악함과 동시에 작업자가 원하는 정확한 깊이로 지중에 구멍을 천공하거나 원 지반토와 교반 혼합할 수 있으며, 제 3자가 이를 확인할 수 있어 공사의 정확도를 높여 완벽한 시공이 될 수 있도록 하였다.

이러한 목적을 달성하기 위하여 보링 그라우팅장비의 헤드부 선단에는 심도자동측정기를 설치하고,

상기 심도측정부를 통해 측정된 데이터신호는 유선 또는 무선으로 보링 그라우팅 장비의 외부에 있는 심도 표시부의 중앙처리부로 송신되어 중앙처리부에서 정확한 심도를 계산하여 출력부에 표시하도록 하는 장치를 개발하였다. 본 장치는 지중을 천공하는 보링 작업시 지중의 심도를 실시간 측정하여 송신하면 보링 그라우팅장비의 외부에서 심도표시부를 통하여 천공상태를 파악함으로써 정확한 깊이의 구멍을 천공하기 위한 측정장비이며, 심도측정부와 심도표시부로 되어 있다.

심도측정부는 보링 그라우팅장비의 리더 상단부의 헤드부 선단에 고정 부착되며, 지중에 천공되는 구멍의 깊이를 측정하여 일정한 데이터신호를 심도표시부로 송신하는 부분으로서, 하우징과 체인기어부와 엔코더로 구성되어 있다. 심도표시부는 심도측정부의 엔코더로부터 송신된 데이터(펄스)신호를 수신하여 엔코더 고유의 분해능과 데이터신호를 통해 천공된 구멍의 깊이를 실시간으로 계산하여 표시하는 부분으로서, 수신부와 중앙처리부와 출력부로 되어 있다.

2.3 약액 주입량 자동제어장치

보링 그라우팅 공법 및 심층혼합고결장치는 보링장치와 그라우팅 주입장치를 이용하여 소정의 깊이로 구멍을 천공하면서 그라우팅 주입장치로 약액을 주입하거나 원 지반토와 약액을 교반 혼합한 후 응고시켜 완벽한 차수나 지반을 보강하는 것으로, 이러한 보링 그라우팅 공정의 시스템은 그라우트 믹서와 그라우팅 펌프를 통해 고화재나 시멘트와 다량의 물 등이 혼합된 약액이 초기 설정된 주입량만큼 약액이 이송관을 통해 보링 그라우팅 장비로 지속적으로 공급되어 보링 및 그라우팅 공정시 로드와 약액주입공을 통해 로드 선단부에 구비된 교반날개 등의 약액분출공으로 분출되도록 되어 있다.

종래의 보링 그라우팅 시스템을 이용하여 지중을 천공하면서 약액을 주입하는 공정시에는 천공되는 지반의 특성과 구조에 따라 보링되는 속도가 달라지게 되는데, 지반상태가 단단한 경우에는 보링 장비의 굴진속도가 느려지게 되나 그라우팅 장비를 통해 분출되는 약액주입량은 항상 일정하므로 보링(굴착)된 깊이에 비하여 상대적으로 과다 주입되며, 이와 반대로 지반상태가 무른 경우에는 보링 장비의 굴진속도가 빨라지게 되나 그라우팅 장비를 통해 분출되는 약액 주입량은 보링된 깊이에 비하여 상대적으로 과소 주입되도록 되어 있으므로 보링 그라우팅시 투입된 약액의 주입량이 지반의 특성과 구조에 따라 달라짐으로써 굴착된 토지와 주입되는 약액의 혼합이 불균일하게 되어 견고하고 균일한 시공이 되지 못하는 문제점이 있었다.

본 연구에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위한 것으로 실시간으로 측정되는 보링 그라우팅 장비의 굴진속도에 따라 약액의 주입량을 자동적으로 제어함으로써 지반의 특성과 구조에 따라 굴착되는 토지와 약액이 균일하게 혼합되도록 주입하여 견고하고 균일한 시공이 이루어지도록 하였다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 약액 주입량 자동제어장치를 개발하였다. 본 장치는 보링 그라우팅장비의 헤드 선단부에 고정 부착되어 있고 굴착되는 땅속의 깊이와 굴진속도를 실시간으로 파악하여 지중의 굴진속도에 따라 설정된 전압신호를 밸브조절 컨트롤부로 전송하는 심도 측정장치와, 이 심도측정장치로부터 전송된 전압신호에 따라 유량조절밸브를 조절함으로써 약액 주입량을 자동적으로 조절함과 동시에 현재 투입되고 있는 유량을 유량측정장치로부터 전류신호로 실시간 입력받아 조절된 양만큼의 약액이 투입되는지의 정보에 의하여 유량조절밸브를 정확히 조절하는 밸브조절 컨트롤부와, 상기 밸브조절 컨트롤부에 의해 밸브의 개폐가 조절되는 유량조절밸브와, 그라우트펌프와 스위벨 사이를 연결하는 약액이송관에 장착되고 공급되는 약액의 유량을 유량특정센서를 이용하여 측정하며 측정된 유량의 정보를 전류신호로 변환하여 밸브조절 컨트롤부로 송신하는 유량측정장치로 구성되었다. 본 시스템은 여러 가지 장치들의 조합으로 이루어져 있으며 각각의 장치들은 모두 유량을 자동제어 하는데 필수적인 것들이다. 전체 시스템 구성은 다음과 같으며 이는 보링 그라우팅장비의 지중 굴진속도에 따른 실시간 약액 주입량을 자동적으로 조절하여 공급하도록 되어 있다.

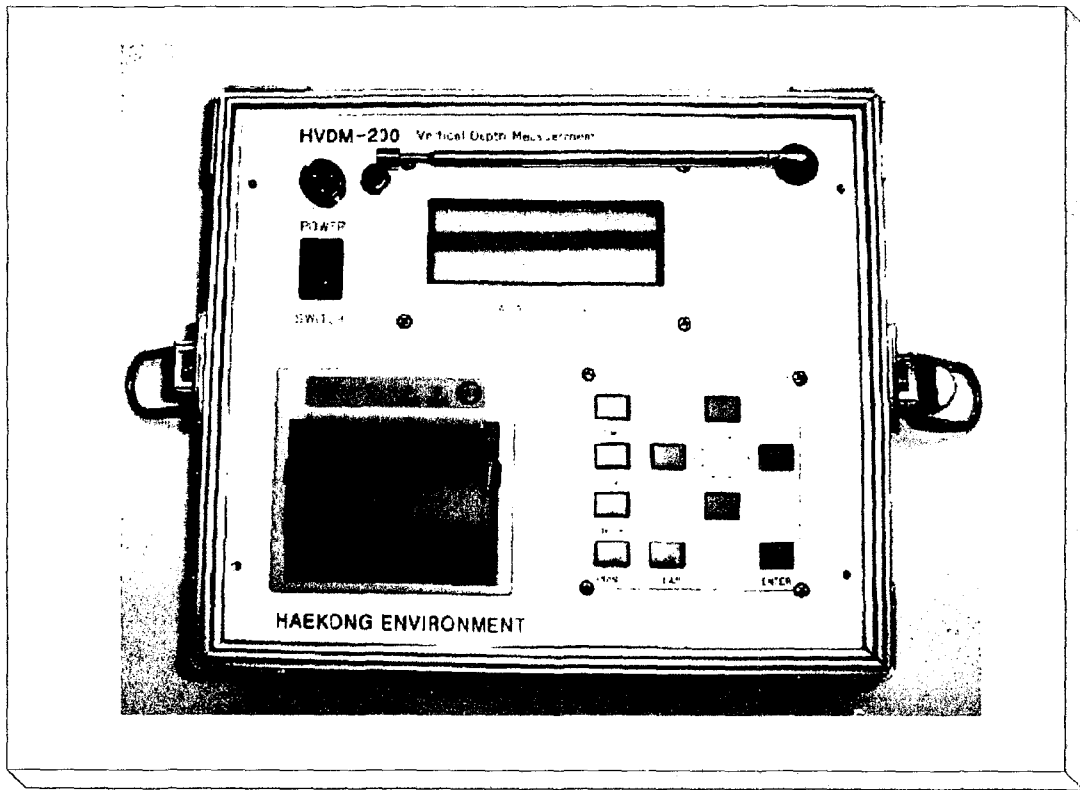
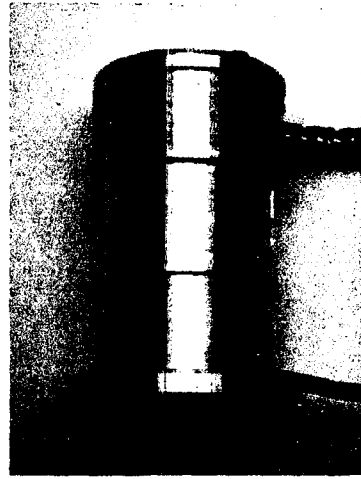
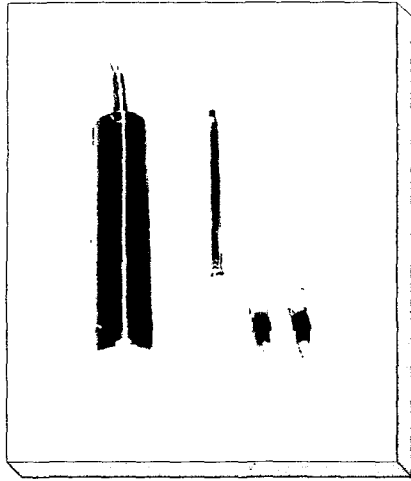


그림 1, 각도 및 심도 자동측정장치 구성

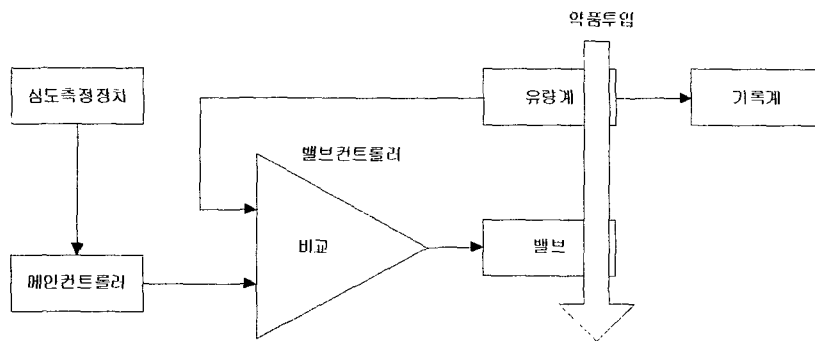


그림 2. 약액 주입량 자동제어장치 개념도

2.4 자동제어 토탈시스템

본 연구에서는 상기에서 언급한 각도 자동제어장치, 심도 자동제어장치, 약액 주입량 자동제어장치 등을 일체로 조합하여 현장대응형 자동제어 토탈시스템을 개발하였다. 본 자동제어 토탈시스템을 보령그라우팅공사, 심층혼합고결처리공사 등에 적용하게 되면 정밀한 수직도, 심도 및 약액 주입에 따라 밀실하고 연속적인 지중고결체의 획득이 가능하여 정밀한 시공 및 엄격한 품질관리를 달성할 수 있다.

3. 현장 시험시공 실시

본 연구에서는 기존의 심층혼합고결장치를 개량한 자동제어 심층혼합고결장치를 개발하였다. 개발된 장치의 현장적용성 및 성능평가를 분석하기 위하여 현장시험시공을 실시하였다. 현장시험시공은 전남광주의 OO부지 및 충남의 OO부지에서 실시하였다. 자동제어장치의 장착 및 연결장면을 그림 4에 제시하였고 시험시공장면을 그림 5에 제시하였다.

시험시공에서는 심층혼합고결장치가 지중을 천공하면서 이루어지는 모든 공정을 자동으로 제어하는 능력을 관찰하였다. 자동제어능력은 지중을 천공하면서 측정되는 관측치 및 이에 대응하는 장비의 거동 성능을 관찰하여 파악하였다. 본 현장시험시공을 통하여 자동제어장치가 장착된 최첨단형 심층혼합고결처리공법을 실용화할 수 있는 기틀을 마련하였고 보다 더 신뢰성 있는 지중고결체를 얻을 수 있는 계기를 마련하였다.



그림 3. 자동제어 토탈시스템

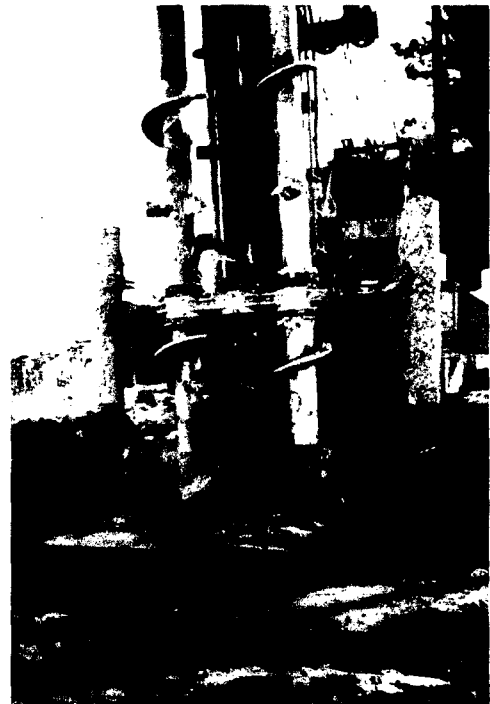


그림 4. 교반축에 장착된 자동제어장치



그림 5. 현장시험시공 전경

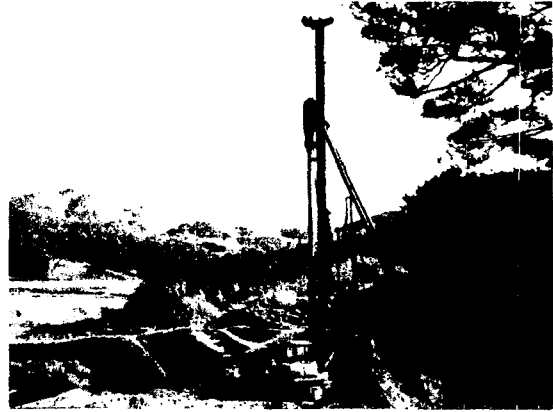


그림 6. 현장시험시공 전경

4. 결론

본 논문에서는 토탈자동제어장치가 장착된 보링그라우팅장비 및 심층혼합처리장비를 개발하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 보링그라우팅공사 및 심층혼합처리공사 수행시 각도, 심도, 약액 주입량 등을 자동으로 제어할 수 있는 자동제어시스템을 개발하였다.
- 2) 보링그라우팅공사 및 심층혼합처리공사 수행시 정확한 수직도와 심도를 가진 지중고결체를 얻을 수 있고 정밀한 시공 및 엄격한 품질관리가 가능하게 되었다.
- 3) 실시간으로 보링그라우팅장비 및 심층혼합처리장비를 자동적으로 제어함으로써 지반의 특성과 구조에 따라 적절하게 대응할 수 있게 되었다.
- 4) 본 자동시스템은 다양한 현장조건 대응형 자동시스템으로 보링그라우팅 및 심층혼합처리 공사의 비용증가와 품질저하문제를 동시에 해결이 가능하게 되었다.

참고문헌

- 1 유찬, 한우선, 김승렬, 정덕교, 한만복(2002), 지하환경오염원 확산방지공법의 적용사례, 2002 지반환경 및 준설매립에 관한 학술세미나 논문집.
2. 한우선, 유찬, 한만복(2002), 유무선송수신을 이용한 심층혼합처리공법 수직도 및 심도 자동측정에 관한 연구, 한국지반공학회, 2002 가을학술발표회 논문집.
3. 한우선(2002), 개량형 심층혼합고결공법을 이용한 비위생매립지 침출수 차단, 한국폐기물학회, 2002 추계학술발표회 논문집.
4. Shuhua Wang, Yang Cao, Ruo Yu Yang and Heng Li(2002), A knowledge-based system for automatic measurement of steel reinforcement, Automation in Construction, V. 11, Issue 5, pp. 607-616.