



흙공사의 신기술

류 기 송

(농어촌진흥공사 농어촌연구원 연구위원)

1. 서 언

건설사업 추진에 있어서는 자연경관을 고려한 내구성이 있는 구조물의 건설, 유지관리가 필요 없는 기술도입 및 시공현장의 노동생산성 향상을 위한 노동력절감화 등의 추진이 요구되고 있으며, 연약지반상에 대규모 구조물 축조, 깊은 굴착공사 등도 증대되고 있으므로 안전하고 또한 확실한 시공과 경제적인 구조물의 건설을 가능케 하는 첨단기술의 활용에 관한 기대가 높아지고 있다.

이러한 사회적 요청에 따라 토공분야의 엘렉트로닉스 및 메가트로닉스 등의 첨단기술을 비롯하여 신재료·신공법의 도입은 토공의 효율화, 노동력절약화, 토공구조물의 안전성 향상 및 품질관리의 정밀도 향상 등에 크게 기대되고 있다.

먼저 엘렉트로닉스 분야에서는 컴퓨터를 이용한 정보화시공과 함께 지반조사 및 토공관리에 관한 기술개발이 이루어지고있으며, 특히 지반조사에서는 항공기나 인공위성을 이용한 원격탐사나 탄성파탐사, 초음파, 전자파, 비저항, 열적외선, γ 선 및 중력 등을 이용한 각종의 지반조사법이 개발되고있다.

토공관리에서는 토량분배, 토공작업계획 등을 컴퓨터에 입력하고 이들을 피드백하여 토공의 효율화, 노동력절약화 및 시공의 확실성을 꾀하는 공정관리시스템이 실용화 되고 있다. 또한 고도의 전문적인 판단을 전산화하여

현지의 모든 조건에 대응할 수 있는 최적의 공법을 컴퓨터에 의하여 선정하는 엑스퍼트 시스템이 주목을 받고 있다.

또한 품질관리에서는 저레벨 연산장치가 있는 동위원소(RI)계기에 의한 현장밀도관리가 실용화되고 가속도계와 역계가 부착된 임퍼턴스 헤드의 낙하에 의한 다짐을 측정시스템, 전자파를 이용한 다짐관리시스템이 새로운 기술로 개발되고있다.

한편 메가트로닉스에있서는 토공용 시공장비의 자동화, 로봇화를 들 수 있다. 시공장비의 자동화는 불도저, 그레이더 등의 삽날제어 자동화, 무선조작의 유압쇼벨, 대형토공에서는 덤프트럭의 운행관리시스템 등이 개발되고 있고 더욱이 건설공사의 숙련공 부족에 따른 작업효율의 저하, 또는 열악한 작업이나 위험이 있는 장소에서는 사고방지 등의 문제에 대처하기 위하여 토공의 로봇화에 관한 기술개발이 진행되고 있다.

토공에 이용되는 신소재로는 지오신세틱스(geosynthetics)와 스티로폴이 가장 주목을 받고 있는데 지오신세틱스의 일종인 지오멤브레인은 체체 표면에 부설하여 체체 내의 침투수 유입방지에 이용되며, 스티로폴은 초경량 재료로서 연약지반의 침하대책, 교대의 토압경감대책 등에 사용되고 있다. 따라서 본고에서는 이러한 토공의 첨단기술에 대하여 간단히 기술하고자 한다.

2. 경량성토공법

이 공법은 초경량제 스티로폴을 성토재 또는 뒤틀채움재로 이용하는 공법으로서 대형 블록형태로 성형한 것은 연약지반상의 도로성토나 교대의 뒤틀채움재로 사용되고 있으며, 또한 식품의 수송상자, 완충포장재, 단열건축재 등으로 널리 사용되고 있다. 이 스티로폴은 단위중량이 0.02~0.04gf/cm³로서 보통 토사 1.4~2.0tf/cm³에 비하면 매우 초경량제품이므로 인력으로 스티로폴을 운반할 수 있고 이음부는 꺾쇠로 고정하여 쉽게 신속히 시공할 수 있다.

이 제품의 압축강도는 1.0~3.5kgf/cm²인데 일반적으로 포장노면하에 발생하는 응력 0.5kgf/cm²를 고려하면 도로 노체나 노상에 충분히 활용할 수 있으며, 또한 스티로폴은 충격에 약하고, 내약품성도 다소 적고, 내후성도 좋지 않은 것 등을 들 수 있으나 성토 등의 토중에서는 스티로폴의 강도적 열화는 적은 것으로 알려져 있다. 이러한 우수한 스티로폴의 특성을 살려 이미 1972년 놀웨이에서는 연약지반상 성토 등에 이용하여 양호한 효과를 얻은바 있으며, 토공에 대한 스티로폴의 이용기술은 그림. 1과 같은 방법이 있다.

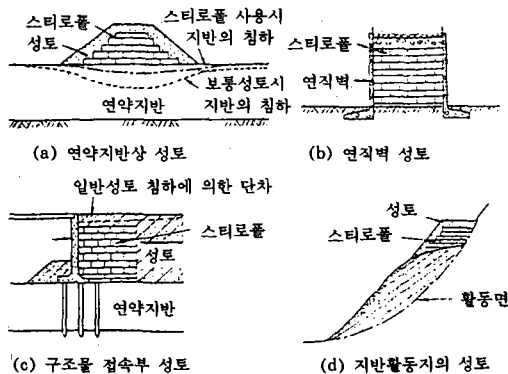


그림. 1. 경량성토공법의 적용예

3. 제방보강공법

하천제방은 일반적으로 물의 흐름에 의한 세굴에 약하고 또한 과도한 침투수가 체체 내로 침투하면 사면이 붕괴를 일으키므로 홍수나 장기 강우에도 견딜 수 있는 안전성이 높은 체체가 요구되고 있어 안전성을 향상코자 시설제방보강에 지수성의 지오멤브레인이 최근 많이 이용되고 있다.

이 공법의 특징은 그림. 2와 같이 시설제방 사면에 불투수성의 지오멤브레인을 부설하고 그 위에 쇄석과 세굴방지를 위한 콘크리트블록이나 현장치기 콘크리트 격자틀을 시공하기 때문에 굴착토량이 적고 또한 침투방지효과도 기대할 수 있으며, 제방을 멤브레인으로 보강할 경우는 다음과 같은 방법으로 하면 좋다.

① 멤브레인은 하천수의 침투와 체체 내의 침윤선 상승을 방지하기 위하여 부직포를 뒤틀면에 붙인 방수성 지오멤브레인을 사용하며, 지오멤브레인의 이음부는 10cm정도 중첩시켜 부설하고 체체내의 잔류수압을 배제할 수 있는 구조로 한다.

② 홍수시 세굴작용을 방지하여 멤브레인의 안전성과 체체를 보호코자 하천 유속에 따라 개당 40~180kgf의 블록을 지오멤브레인 위에 설치한다.

③ 체체내 잔류수압에 대한 토피압을 확보하고 또한 환경보전을 고려하여 블록 상면에

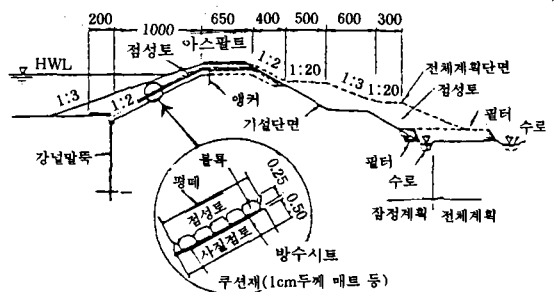


그림. 2. 지오멤브레인에 의한 제방보강예

1:3의 사면구배로 흙을 덮고 평떼를 입힌다.

④ 침투수에 의한 제체 뒷면의 제체도 유출 및 침투선 상승에 따른 사면활동을 방지하기 위하여 사면비탈 끝에 쇠석드레인을 설치하고 동시에 제체 기초지반이 투수층이면 제체 내로의 침투수를 경감하기 위하여 그림. 2와 같이 기초지반에 지수용 널말뚝을 타설한다.

4. 흙공사의 자동화

최근 현저하게 발전해온 엘레트로닉스 및 메가트로닉스 분야의 기술을 활용하여 흙공사의 안전성 향상, 작업환경개선, 노동력절약, 정밀도 향상을 위한 토공장비의 자동화가 진행되고 있으며, 이들 일부는 이미 실용화단계에 들어간 것도 있다. 이들 흙공사 장비의 자동화는 작업의 간략화로 숙련기능공 부족을 보충하고 가혹한 작업환경 또는 위험성이 있는 장소에서 작업종사자의 안전성확보, 노동력절약, 효율화에 필요하다.

가. 삽날제어

블도저나 모터그레이더 등에 의한 지반굴착시에 삽날을 적절한 위치로 제어하여 작업을 하는 것이 중요한데 그 조작에는 고도의 조작기술이 요구되므로 이를 극복하기 위하여 개발된 것이 삽날제어의 자동화이다.

그 원리는 그림. 3과 같이 지상에 설치된 레이저투광기(소요 높이의 레이저기준면을 만

든다)에서 나오는 레이저광선을 토공장비의 삽날에 설치된 수광기로 수신하여 그 신호에 의하여 유압회로를 매체로 삽날실린더를 제어하여 평면의 높이를 기준면과 평행하게 유지하는 것인데 삽날에 경사계를 설치하면 삽날의 경사도 자동적으로 조정할 수 있다.

나. 무선조종 유압소벨

낙석 및 붕괴 위험성이 있는 절토사면 등에서 작업을 하는 운전기사의 안전과 심적 부담을 경감하고자 개발된 것이 유압소벨인데 장비의 후진, 방향전환, 붐 및 버킷조작 등은 무선조종으로 실행할 수 있는 시스템으로 되어 있으며, 운전기사측 및 차체측 모두 마이크로 컴퓨터가 설치되어 있다.

다. 다짐장비 주행의 자동화

폭이 넓은 도로나 공항과 같은 시공면적이 넓은 현장에서는 일반적으로 균일한 다짐을 하기 곤란하므로 전압작업을 관리하는 새로운 자동시스템이 개발되고 있다. 이 시스템은 검출기와 자동제어장치에 의하여 전압장비의 주행과 방향을 제어하고 동시에 전압 및 전압회수도 자동적으로 제어할 수 있게 되어 있다. 즉, 전압장비에 후진거리, 도로폭, 전압회수 등을 지시함은 물론 전진거리 및 전압분할수를 계산하여 발진정지, 차선변경시의 스티어링조작 등을 자동적으로 한다.

5. 흙공사의 엑스퍼트 시스템

인공지능(AI: Artificial Intelligence)은 인간의 지적인 행동을 대행할 수 있는 컴퓨터시스템으로서 그 대표적인 응용분야가 엑스퍼트 시스템(ES: Expert System)이다. 이것은 컴퓨터에 전문가의 지식이나 경험을 기억시켜 필요시에 전문가의 판단을 대행하는 것인데 각각의 문제에 대한 처방을 컴퓨터에 내장하여

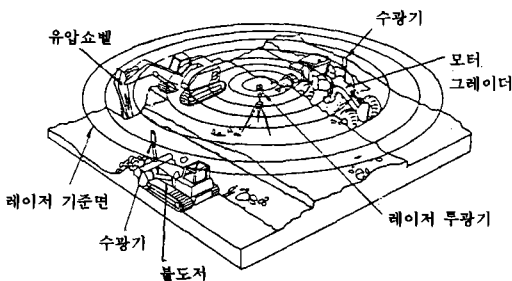


그림. 3. 삽날제어의 자동화원리

공사시에 곤란이 예측될 경우 및 공사 중에 사고가 생길 경우에 조언 또는 적절한 해결방법을 제시하는 시스템이다.

이것은 새로운 지식의 창조가 아닌 컴퓨터에 내장된 경험사실 등의 정보를 이용하여 결론을 도출하는 것으로서 종래 흙공사에서는 지반조건, 주변환경, 재료 등 수많은 외부정보를 참고로 하여 경험과 기술자의 판단 등으로부터 종합평가를 하여 적절한 공법을 선정하는데 이렇게 전문기술자가 도출하는 결론과 같은 결론을 컴퓨터를 매체로 효과적으로 도출할 수 있는 시스템이다. 흙공사에서 엑스퍼트 시스템을 적용할 수 있는 범위를 분류하면 표-1과 같다.

표-1. 엑스퍼트 시스템의 적용범위

건설과정	내 용	적 용 예
조사	지반, 지질조사 결과를 토대로 진단, 판정을 한다.	연약지반판정시스템 액상화판정시스템 침하예측시스템
계획 설계	시공조건, 환경조건 및 지식, 과거의 실적을 토대로 규격에 맞는 합리적인 계획을 한다.	토지조성개발지원시스템 가설계획지원시스템 기초공법선정시스템
시공	공법의 선정, 시공법 등을 지시한다.	지반개량선정시스템 사면안정공법선정시스템 시공장비선정시스템
관리	각종 자료로부터 필요한 정보를 해석, 추론한다.	사면붕괴예측시스템 침하관리시스템 시공, 품질관리시스템

흙공사에서 엑스퍼트 시스템의 흐름도는 그림. 4와 같으며, 이 시스템에 의하여 조사, 설계, 시공 및 관리에서 모든 조건에 대응할 수 있는 최적의 방법을 선정할 수 있다. 그 예로서 표-1에 나타난 액상화 판정시스템, 토지조성개발 지원시스템, 기초공법선정시스템 및 사면안정공법선정시스템 등이 실용화 되고 있다.

이들의 엑스퍼트 시스템은 “전문기술자의 판단 및 평가→지식의 정리(확장과 개량)→실무에 적용”에서 시행착오를 반복하여 적용

영역을 확대하고 있다.

6. 광역지반탐사

광역지반탐사는 예비조사단계에서 사업계획을 크게 좌우하는 지반조건의 도출과 전반적인 지반조건의 파악을 목적으로 한다. 종래 그 조사방법은 항공사진판독, 물리탐사 등이 잘 이용되어왔으나 1972년에 미항공우주국(NASA)이 후에 LANDSAT으로 개칭한 자원탐사위성(ERTS:Earth Resources Technology Satellite)을 쏘아 올려 인공위성으로부터의 영상을 이용할 수 있게 되어 일시에 탐사범위가 확대되어 원격탐사(리모트센싱)라는 말이 빈번히 사용되고 있다.

원격탐사는 그림. 5와 같이 인공위성에 탑재된 장치로 대상물에서 반사 또는 방사되는 전자파를 수집한 자료를 이용하여 대상물이나 현상에 관한 정보를 얻는 기술로서 최근에는 실용적인 영상자료의 이용이 추진되고 있다.

원격탐사에 사용할 수 있는 인공위성영상은 LANDSAT영상이 잘 알려져 있는데 이 영상은 입체화상을 얻을 수 없고 지상분해기능(30~82m)이 조잡하기 때문에 지반탐사의 실용화는 별로 진행되지 않았다. 그러나 1986년 불란서에서 쏘아 올린 SPOT(Satellite pour l'Observation de la Terre)위성은 고도 832 km로서 26일 주기로 동일지점을 동일시간에 관측하여 2대의 감지기로 하여금 약 60 km의 폭을 관측, 기록할 수 있어 실용화가 급진전 되고 있다.

SPOT자료를 LANDSAT자료와 비교하면 위성 직하의 관찰은 물론 경사방향에서 관찰을 할 수 있고 입체화상이 얻어지며, 고해상도(지상분해기능 10m 및 20m)의 자료를 얻을 수 있는 등의 특징이 있다.

입체화상은 항공사진과 같이 입체시각에 의하여 지형의 요철을 판독, 계측할 수 있으므로 광역지반탐사나 화상측량에 이용이 기대된다.

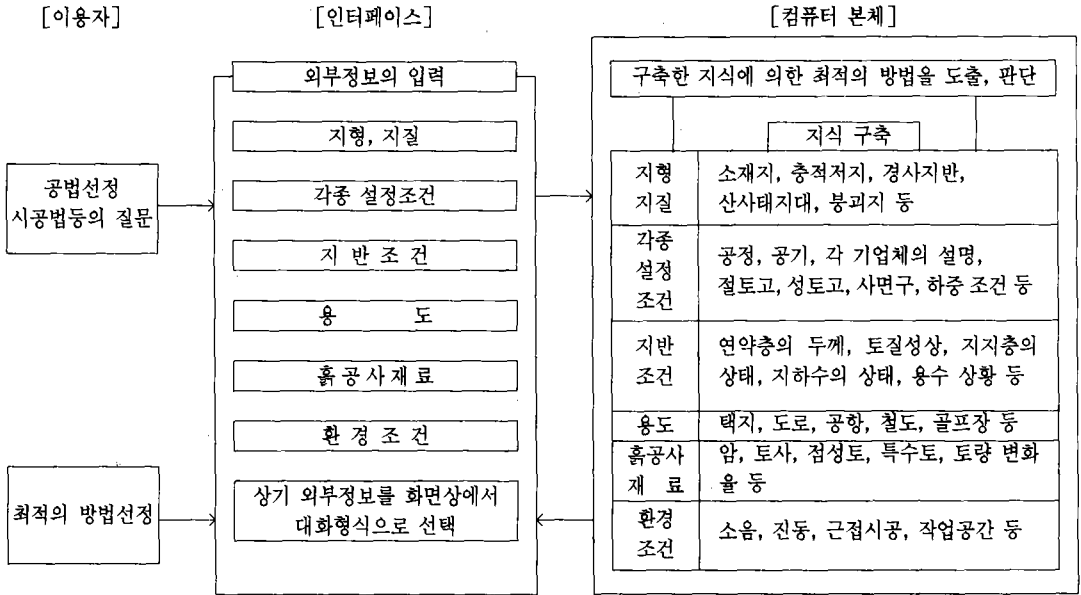


그림. 4. 엑스퍼트 시스템의 흐름도

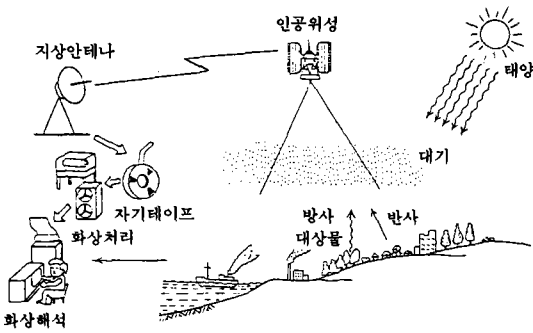


그림. 5. 인공위성에 의한 원격탐사

에 따라 조사장비의 고성능화, 경량화의 진행과 동시에 고도의 처리기술 및 화상해석기술의 이용이 가능하게 되어 물리탐사의 새로운 진전이 시도되고 있다. 특히 최근 구조물의 대형화, 건설대상 지반의 불량화 등 때문에 토목분야에서 지질구조조사의 필요성이 높아져 천층반사법, 지하레이더법, 전기탐사법의 Dipole-Dipole법, 중력탐사 및 해석·화상처리 기술의 지오모드그래피 등의 각종 물리탐사에 의한 지하탐사가 시도되고 있다.

입체적인 화상자료에 의하여 고속도로, 학교, 댐, 공원 등 약간 규모가 큰 지표의 물체, 단구·선상지·대규모 붕괴지 등의 작은 지형 등의 지질정보판독이 가능하며, 이 자료를 사용하여 1/100,000정도의 지형도를 만들 수 있다.

공학적인 지질조사에서는 지질구성, 분포, 구조 조사는 물론 지형발달사적인 시점에서 조사가 필요하지만 1번 60km의 넓은 지역을 동일조건으로 입체화할 수 있는 이점이 있어 노선조사 등에 이용이 고려되고 있다.

최근 엘렉트로닉스 및 메가트로닉스의 발달

참 고 자 료

1. 土質工學會 編(1990)：“第14章 土工における先端技術”，土工入門，土質工學會，pp.283~302.
2. 今村遼平(1988)：“新しい現地調査法-6, リモートセンシング”，土と基礎，36-8, pp.69~76.
3. 雙原啓三(1987)：“地盤調査の最近の動向”，土木技術，42-4, pp.37~42.