

2000 지반굴착 기술의 과제

주재건*1, 정상삼*2, 김정열*3, 이윤택*4, 이동현*5, 김윤태*6, 조성한*7.

1. 서언

원시인류의 수렵생활이 땅을 굴착하는 농경생활 (agriculture)로 변천하면서 인류의 문화(culture)가 시작되었다는 것을 영문의 어원에서 알 수 있듯이 지반굴착은 인류에게는 뜻깊은 의미를 가지고 있는데 현대의 문명 역시 고층빌딩과 지하공간의 개발에 힘입은 바가 크다고 하겠다.

우리나라는 근대화가 시작된 이후 1970년대에 접어들자마자 서울지하철 공사를 필두로 하여 대형 굴착 공사가 시작되었다. 그러나 초기의 모든 토목 공사가 그렇듯이 자생기술이 아니고 기술도입단계에서 충분한 맹아기를 거칠틈도 없이 선진국 수준 이상의 대형공사가 바로 착수되면서 많은 혼돈이 있었다. 그러다 보니 자연 발생적으로 사고가 잦고 경험의 축적이 이루어지지 않아 기술발전에 애로가 많았다. 특히 도심지 지하굴착공사의 경우 건축의 부대공사가 되다보니 사전조사의 미비, 졸속한 인허가 처리에 따른 부실설계, 무리한 급속시공 등으로 기술개발보다는 기술복사와 입찰비리가 더 성행하였고, 1990년대에 접어들면서 사전심의 제도의 강화로 인해 도전과 시험의식이 앞서야 발전할 수 있는 기술자들의 장인정신이 수그러들여 버린 대신에 허가중심의 규격화되고 논리성만 강조되는 기술만 살아남게 되었다. 결국에는 과다설계와 서로 책

임전가하는 무책임한 기술자가 늘어나게 된 것이었다.

1990년 후반의 IMF 한파가 건축경기의 쇠퇴를 가져옴에 따라 지반굴착분야는 대량감원 및 기업퇴출 사태를 겪어야 했고 미래가 불확실한 기술분야가 되고 말았다. 그러나 각종 규제가 철폐되고 심의가 완화되었으며, 신속한 행정처리 보다는 경제적이고 안전한 것이 우선되는 설계의 요구 등 새로운 사회적 여건에 힘입어 보다 나은 기술자들의 노후가 존중받는 분위기로 바뀌고 있다. 새천년이 시작되는 이때에 그동안 지반굴착분야에서 미처 살펴 보지 못하고 간과했던 현상들과 경험이 이론에 밀려 소홀히 다뤄지던 사항들, 관습으로 처리되던 여러 가지 문제점을 살펴보는 과정에서 새로운 과제들을 도출하고, 지반굴착분야가 고급기술로 거듭날 수 있기 위해 관계된 모든 기술자들의 의식이 달라지기를 기대하는 마음으로 지반굴착위원회의 여러 의견들을 있는 그대로 여기에 모아 보았다.

2. 지반굴착의 발전과정과 주요공법의 정착

근대의 굴착장비의 발달이 있기 전에는 인력에 의한 굴착방법 외에는 달리 지반을 굴착할 수 없었으며 이에 따라 굴착시공에는 한계가 있었다. 국내의 경우 서구나 일본에 비해 늦은 1960년대에 들어서야 국토개발사업이 시행되었고 이때 대규모 토목 시설인 댐, 고속도로, 항만들이 건설되기 시작하였다. 특히 1970년대 지하철 건설이 시작되면서 부터는 도심지 굴착이 중요한 문제로 대두되었고 지하

*1 정회원, (주)다산이엔지 대표이사

*2 정회원, 연세대학교 토목공학과 교수

*3 정회원, (주)삼우기초기술 대표이사

*4 정회원, (주)다산이엔지 지반사업부 이사

*5 정회원, (주)첨아엔지니어링 이사

*6 정회원, 미화산업(주) 부장

*7 정회원, LG건설 토질및기초팀 차장

철 1호선의 성공적인 수행을 통하여 지반굴착에 있어서도 비약적인 발전을 가져왔다. 이후 지하철 2, 3, 4, 5호선 건설과 부산, 대구, 광주 등 지방도시에도 지하철이 건설되기 시작하면서 인접굴착에 따른 각종 문제점들이 나타나게 되었고 주변침하 등의 해결을 위하여 굴착공법이 계속하여 발전되어 왔다. 현재까지 서울을 비롯하여 고층건물들이 계속하여 시공됨에 따라 고도의 기술과 정밀성을 요구하는 대심도 굴착공사가 빈번하게 수행되었다.

한편, 지반굴착에 사용되는 공법들은 그 수를 헤아리기 어려울 만큼 많은데 이 장에서는 우리나라의 지층조건에 잘 일치되는 어스앵커 공법과 앞으로 기술개발소지 많은 top-down 공법 등에 대해 간략하게 소개하기로 한다. 우리나라의 지층은 하부로 깊어질수록 단단한 층이 나타나는 구조이고 기반층이 대부분 암반이므로 어스앵커 공법은 사용량과 기술이 나날이 발전되어 가고 있다. 그러나 이러한 지층조건은 top-down 공법과 같은 역타공법에는 오히려 불리한 여건이 되므로 도심지에서 가장 효율적이고 안전한 공법을 우리나라에 정착시키기 위해서는 지반공학 기술자들의 더 많은 연구가 필요할 것이다.

2.1 우리나라 지반굴착의 역사

(1) 고대

고대의 토목공사는 주로 외적의 침입에 대비한 성벽의 건축이나 치수를 목적으로 하는 수로공사라 할 수 있다. 성벽을 쌓기 위해서는 먼저 지반 조성을 위하여 얇은 깊이의 인력굴착이 필요하였다. 고대의 지반 굴착은 주로 수로의 확장 등 개수공사에서 이루어졌음을 짐작할 수 있다.

(2) 조선시대

조선시대에는 초기 태조 이성계의 한양(현재 서울특별시) 천도 후에 성벽건축 및 하천정비 등이 조선시대 이전에 비하여 체계적이고 대규모로 수행되었다.

여기에는 지반의 조성 및 굴착공사가 수반되었을 것이다. 이조실록에 의하면 태조 4년에 정도전에 의해 성벽 기초조사를 실시하였고 태조 5년에 북으로는 북악산, 동으로는 낙산, 남으로는 남산, 서로는 인왕산을 범위로 하여 석성과 토성을 쌓았으며 총 길이가 약 17km에 달하였다. 태조 5년에는 4대문과 4소문을 축성하였으며 세종 4년에는 일부 석성, 토성을 완전한 석성으로 구축하는 공사를 실시하였다. 이후에도 도성의 축성은 숙종 30년의 8년간 공사를 비롯하여 여러차례가 있었다. 성벽건축과 함께 조선의 위정자들이 관심을 가져왔던 것은 한강 북쪽에 있는 청계천의 치수에 관한 것으로 청계천은 큰 비가 있을 때마다 홍수가 발생하여 많은 인적, 물적 피해를 가져왔기 때문이었다.

태종 11년 말에 궁궐에서부터 나오는 하수의 처리와 홍수시 주변민가의 침수를 방지하기 위해 대규모 개수공사를 계획하였고 주로 준설공사를 실시하였다. 330년 후인 영조 36년에 다시 준설공사를 실시하였고, 영조 49년에는 석축공사를 실시하였는데 이때는 유로변경공사도 아울러 실시하였다. 그것은 영조의 석축공사 실시 이전에 제작된 것으로 인정되는 도성지도에서 청계천은 자연지체에 따라 다소의 굴곡이 있는 하천으로 나타나 있지만 이 석축공사 후의 각종 도면에는 직류로 표시되어 있는 점으로 보아 양안 석축공사와 더불어 지반을 굴착하여 유로를 변경시켰음을 알 수 있다.

(3) 근대

구한말인 1899년 외국 토목기술자에 의한 경인 철도건설과 1908년 서울시 상수도건설사업이 시작되면서부터 근대화된 서구의 토목기술이 도입되기 시작하였다. 지반굴착에 관해서는 구한말인 1907년에 현 충무로 2가에 암거를 설치하는 공사가 기록되어 있다. 당시 5척쯤 되는 암거를 도로 아래 설치하기 위하여 8척가량의 지반을 굴착한 사례가 있으며 이 공사는 우리나라 서울 시가에서 도로하부에 설치한 최초의 암거 용역공사였다. 지반을 굴착

하여 암거를 설치하는 공사는 이후에도 계속하였으며 1925년에 연장 1,389m의 암거를 청계천에 설치하였고, 해방후 1955년에는 폭 14m, 연장 135.75m의 암거공사를 실시한 사례가 있다. 사진 2.1에는 당시 암거공사 현장이 나타나 있다.

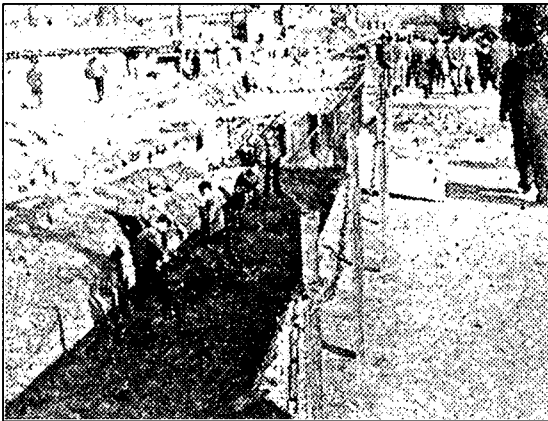


사진 2.1. 1955년 청계천 암거공사 현장

일제시대에는 주로 철도건설과 농업수리 및 하천 개수사업에 치중하였고 특히 1926년부터는 북한에 전력을 생산하기 위해 수력발전을 위한 댐들이 건설되기 시작하였으며 이때 지반굴착이 요구되었을 것이다.

해방부터 6·25동란까지는 국내에 국토개발 사업이 거의 없었던 공백기라 볼수 있다. 동란 후 국토의 대부분이 초토화되어 1957년까지 UNKRA 및 ICA의 보조에 힘입어 전쟁구제사업과 전후회복 사업을 활발히 진행하였고 특히 1954년에서 1960년까지는 하천의 치수사업을 활발히 수행하였다. 주로 홍수를 대비하여 한강, 낙동강, 금강, 영산강, 동진강등에 방수제를 설치하였고 또한 서해안에 투입되는 삽교천, 안성천에 간조영향을 없애기 위하여 방조제를 건설하였으며 만곡된 유로를 수정하기 위하여 굴착 및 축조공사를 수행하였다. 이때 개수한 하천의 연장이 465.5km 이었고 보수연장이 165.8km, 복구연장이 116.9km 이었다.

우리나라의 근대적인 굴착공사는 1958년 착공된

청계천 암거공사를 통하여 시작되었다고 볼 수 있다. 해방 후 인구의 급격한 증가로 인한 교통량 증가와 미관상의 이유로 하여 대규모 암거공법의 필요성이 고조됨에 따라 정부는 O.E.C.의 보조를 얻어 우리나라 최대규모의 암거공사를 착공하였다. 총 연장은 2,360m이고 폭은 30m이었으며 총 80,000m²에 달하는 대규모의 암거가 설치됨에 따라 굴착공사도 대규모로 이루어졌다.

(4) 현대

1961년 제 1,2차 경제개발 5개년계획이 연속적으로 추진됨에 따라 국내에 댐, 고속도로, 항만 등의 대규모 토목시설들이 계속하여 건설되기 시작하였다.

국토개발계획 중 제 1기 지역정책으로 6개 특정 지역개발과 함께 다목적 댐의 건설이 그 핵심을 이루었고 이를 통하여 대규모 댐들이 건설되었다. 이때 건설된 주요 댐 중 다목적댐으로 1961년에 춘천댐, 의암댐, 1962년에 남강댐, 1967년에 소양강댐이 착공되었고 단일목적댐으로 1961년에 의암댐, 1966년에 팔당댐들이 착공되었다. 남강댐 건설시 홍수를 대비하기 위하여 인근의 사천만까지 11km(개수로 4.6km, 자연유로 6.4km)에 폭 50~150m의 인공방수로를 굴착하는 굴착공사를 수행하였다. 팔당댐은 항시수심이 8m가 되어 가물막이는 특수공법인 강널말뚝을 사용한 원형 Gabion형을 채택함으로써 기술적인 면에서 의의가 크다고 할 수 있다. 가물막이 및 기초굴착은 4단계로 나누어 시행하였는데 사진 2.2에 보는 바와 같이 1966년말에 착공한 제 1차 가물막이 공사시 1967년 3월에 25번째 셀의 붕괴사고가 발생하였으나 1968년 3월까지의 완료시킬 수 있었다.

1차 가물막이에 사용된 널말뚝은 5,400ton 이었으며 27개의 셀에 충전된 토사만도 176,000m³에 달하였다. 소양강댐은 1967년에 착공하여 1972년에 완공된 높이 123m에 달하는 Rock fill식 댐이다. 1969년에 가물막이공사가 완료되었으며 1970

년에 사진 2.3에서 보는 바와 같이 대규모의 여수로 수문 굴착공사를 실시하였다. 여수로굴착의 용적은 205,000m³에 달하였고 이 외에도 수압터널 455m, 취수탑 38m, 조압수조 27m 를 굴착하였고 발전소 하부축조와 방수로 일부를 위한 굴착공사를 실시하였다.

1968년 경부고속도로가 착공됨에 따라 많은 절토와 터널시공이 요구되었고 굴착장비의 발달로 인하여 기계화 시공이 본격적으로 이루어지기 시작하

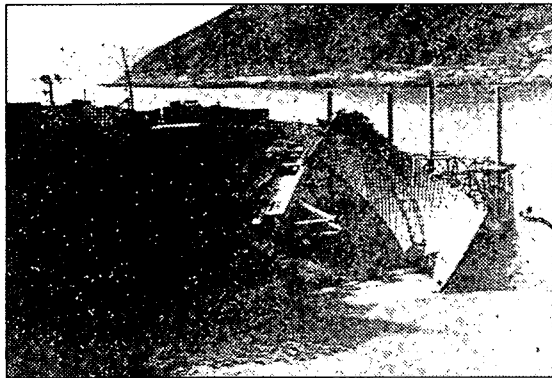


사진 2.2. 25번 Cell의 사고전경

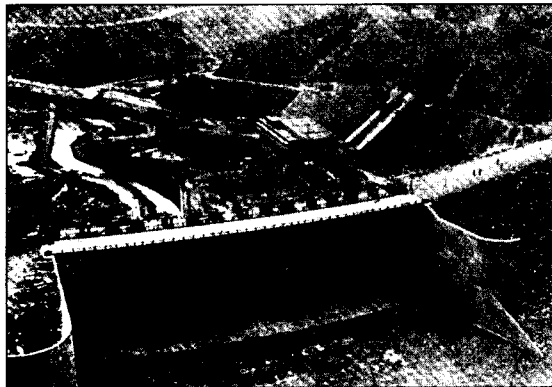


사진 2.3. 소양강다목적댐 여수로수문 굴착공사

였다.

10년의 구상단계를 거쳐 1971년에 서울 지하철 1호선 공사가 착공되었고 이때부터 인접건물에 근접한 굴토공사가 시작되었다. 당시 개착식공법을 사용하였는데 도심에서 지하 15m깊이까지 굴착한

경험도 전혀 없었던 상태라 많은 어려움이 있었다. 특히 굴착에 따른 인접지반의 보전과 복잡한 교통처리방법 및 지하매설물의 매어달기등의 처리와 용수등에 대비한 경험이 없던 상태였다. 이런 상황에서 지하철 1호선 공사가 시작되었고 많은 어려움을 극복하는 과정에서 굴착기술을 발전시켜 나갔다. 당시 사용하였던 굴착공법은 주로 널말뚝, 널판, 띠장 및 버팀대로 구성되는 지보공의 흠막이 공법이였으며 초보적인 단계였다. 사진 2.4는 서울시

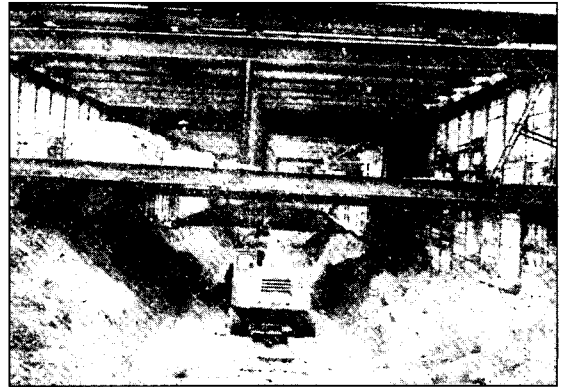


사진 2.4. 서울시 지하철 제 1호선 굴착광경

지하철 제 1호선 굴착광경을 나타낸 것이다.

1978년 지하철 2호선이 굴착공사가 시작됨에 따라 굴착공법의 급격한 발전을 가져왔으며 이때부터 우리나라의 현대적인 굴착공사가 시작되었다고 볼 수 있다. 1977년 수출 100억불 시대를 맞이한 우리나라에 대중교통난 해결 수단으로 지하철건설이 본격적으로 이루어지기 시작하였다. 이미 착공 운영되고 있는 연장 11km 의 지하철 1호선 이후 교통문제의 해결 뿐 아니라 국가안보시설로의 활용, 수도권 인구분산 등의 목적하에 총연장 140km 의 지하철 계획 중 1차로 48.8km 에 달하는 지하철 2호선 건설이 1978년에 착공되었다. 지하철 2호선은 총연장 48.8km 중 지하에 31.3km, 지상에 17.5km 가 설치되었고 정거장은 총 42개소 중 지하에 31개소, 지상 11개소가 설치되었다. 지하철 2호선의 특이사항은 순환선으로 강남 미개발지 이외

에는 대부분 기존시가지지를 통과해야 하므로 기존도로 중심을 따라 노선 구성이 불가피하였다.

기존도로의 심한 종단변화로 인하여 개착식 방법 외에 산악식 터널공법에 처음으로 적용되었고 재래식 터널공법인 ASSTM공법에 의해 설계, 시공되었다. 이 외에도 강널말뚝에 의한 물막이(coffer dam)공법등 여러 형태의 공법이 포함되었다. 당시 한강변 아파트 지대를 통과하는 지하본선과 정거장을 설치하는 현장에서 지표하 6m에서 지하수가 유출되어 펌프로 양수를 하였으나 토류관 배면의 토사 유출(quick sand)과 분사(boiling)현상으로 토립자 유출이 심하여 배면의 공동현상 등 문제가 심각히 발생한 적이 있었다. 이때 대책공법에 관한 토의 후 well point공법을 적용하여 지하수위를 저하시켜 건조된 상태에서 굴착을 하여 공사를 마무리한 사례가 있었다.

지하철 2호선은 심도가 깊어지고 인접건물의 피해로 인한 민원이 증가됨에 따라 흙막이 공법 중 기존의 버팀대에 의한 지지는 불충분하였고 앵커공법이 많이 이용되었다. 사진 2.5는 지하철 2호선 굴착공사 현장이다. 지하철 3호선에는 터널굴착공법 중 NATM 적용공법을 도입하여 공사를 성공적으로 수행하였고 굴착공법에 있어 한층 더 발전을 가져왔다.

1983년에는 부산지하철이 착공되었고 이때 지중에 연속된 벽체를 만들고 굴토를 진행하면서 앵커

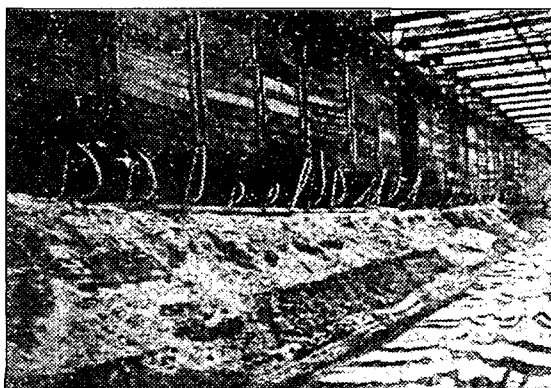


사진 2.5 지하철 2호선 굴착공사 현장

로 벽체를 지지하는 공법인 지하연속법 공법이 이용되었다.

1980년대 중반 이후부터 현재까지는 도시의 거대화가 이루어지면서 기존의 지하철공사 외에 도심지의 공간 및 비좁은 국토를 최대한 활용할 수 있는 지하공간 개발이 활발히 진행중이다. 이에 산업폐기물, 유류, 농수산물등의 지하저장, 상·하수도 처리시설, 고속철도 및 도로용 산악터널, 도심지역의 지하주차시설, 위락시설, 상업시설 및 주거시설용 대심도 대단면 굴착이 수행되고 있다. 따라서 지반굴착과 관련된 계획-해석-설계-시공 과정에서 국내여건을 고려한 최적의 공법선정과 핵심기술의 효과적인 개발을 위하여 산·학·연의 합동연구가 활발히 추진되고 있다.

2.2 어스앵커의 국내도입과 역사

어스앵커의 국내 사용실적은 1970년대부터 찾아볼 수 있다. 외국에서는 국내보다 앞서서 개발되고 상당히 발전되어 왔으나, 국내는 일본에서 정착된 후에야 사용되기 시작했다. 어스앵커는 ground anchor 라는 것이 정확한 표현인데 우리 나라는 일본의 영향으로 어스앵커로 계속 불리워지고 있다.

(1) 1970년대

지하철 1호선이 1971년에 착공되었는데 어스앵커의 도입도 이 시점에서 이루어졌다. 당시에 지반굴착 전문회사인 '박콘' (토목학회장이셨던 박상조 서울대 교수께서 설립)에서 일본의 "Earth Anchor 공법"이라는 책을 번역하여 국내에 소개하였는데, 이때의 인장용 강재는 1980년대 초까지 사용한 P.C Wire 7~8mm의 강선을 주로 사용하였다.

당시에는 국내의 제강회사의 품질이나 생산제품의 제약으로 강선이 사용되었는데 40~50 ton 정도의 인장력을 확보하기 위하여 12가닥을 사용해야 하므로 시공은 다소 불편하였다.

1978년에 시작된 서울지하철 2호선을 시작으로

3, 4호선 공사에서 도심지 지하굴착시 어스앵커를 이용한 특수공법이 처음 사용되었는데, 지하상가 및 지하철 1호선 하부를 통과하기 위해 통과공사중 축벽보강공법으로 pipe saw, packer grouting(현재의 nailing공법과 유사)을 이때부터 적용하였고 현재 많이 사용되는 무진동파쇄공법(rock-jack)도 이 당시 많이 적용되었던 공법이다.

1983년도 지하철 4호선 404공구 쌍문교하부 굴착 시공시에는 교량하부를 통과하는 공법으로 under-pinning 공법을 적용하여 시공한 바 있다. 이 당시에는 확실한 교량하부통과 공법이 계획되지 않아 교량을 철거하고 우회도로(가교설치)를 설치하여 시공할 계획이었으나 어스앵커를 이용한 under-pinning 공법이 제시되어 성공리에 시공이 이루어졌다. 그러나 당시에는 앵커공법에 대한 연구나 설계, 시공, 시험 등의 체계적인 발전보다는 적용성에만 초점이 맞추어진 아쉬운 점이 있었다.

(2) 1980년대

한편 1970년대에 외국에서는 철근콘크리트에 Post-Tension을 도입하여 상당한 길이의 장대교를 시공하고 있었는데 이로 인하여 정착 system이나 구조적인 설계기법, 강연선의 개발, 인장재의 방수 및 방식 방법 등이 개발되었다. 국내에는 유럽의 스위스 업체인 V.S.L이 국내 회사와 협력(1982년)을 맺어 진출하게 되었는데 교량의 Post-Tension 공법을 앵커공법과 접목하여 기본적인 시방서 및 인장방법 등이 국내에 보급되었다.

이 때 anchor공법은 영구앵커(Rock Anchor)라는 새로운 개념의 앵커공법을 선보이게 되었고, 이에 필요한 인장재 생산을 위한 고려제강의 설비 투자로 1983년 처음으로 Low Relaxation P.C Strand를 생산하게 되었다. 이 때 강연선 자체의 하중감소를 최소화(3% 미만)시키는 기술은 콘크리트 교량 및 어스앵커에는 상당한 혁신을 이루었다. 현재 국내에서 생산되는 모든 강연선은 Low Relaxation P.C Strand이다.

(3) 1990년대

앵커공법의 개념은 1990년대 초까지만 해도 국내에서는 거의 95%이상이 마찰식 인장형(가설 및 영구)앵커공법을 적용하여 사용하였는데 특수앵커로는 1990년대 초 일본의 국토방제주식회사의 부회장으로 계셨던 신윤식 박사가 개발한 SSL Anchor가 소개되었다.

SSL Anchor는 인장재와 정착체의 조합으로 하중을 전달하고, 정착체는 공내에서 확장이 되면 공벽에 마찰력과 지압력을 작용하게 하는 방식이다.

이러한 방식은 외국에서도 많이 개발되어 사용되고 있었으나, 국내에는 처음으로 소개되었으며 이로 인해 국내에서도 일반적인 마찰식 인장형 앵커가 아닌 방식이 현장에 적용되기 시작하였다.

1990년대 초 국내에 기간산업의 확충에 따른 경부 고속철도 건설 발표와 서해안 고속도로 건설계획이 발표됨으로 국내에서도 건설 경기가 호조를 보이기 시작하였다. 이때 서해안고속도로 건설계획 중 서해대교는 P.C strand 생산업체에 상당한 영향을 주었다. 서해대교의 교량 형식은 사장교로서, 교량의 Stay Cable에 사용되는 unbonded strand는 국내 생산이 전혀 되지 않는 제품이었다.

1989년 가설한 올림픽대교와 그후 신설된 신행주대교의 케이블은 모두 수입재인 unbonded strand를 사용하였다. 따라서, 서해대교의 케이블 또한 수입재를 사용할 수밖에 없는 실정이었다. 그러한 시기에 고려제강에서 1993년 국내최초로 unbonded strand 생산 설비를 갖추게 되었으며, Stay Cable을 국산화 할 수 있는데 성공하였다. 그러나 서해대교는 1997년 시공예정이었으므로 정작 국내에 적용될 수 있는 기회가 없는 듯 하였다.

한편, 일본에서는 지반굴착시 사용되는 앵커의 강연선이 향후 굴착이나 민원에 상당한 문제가 있었고, 이에 Strand를 제거할 수 있는 새로운 공법이 적용되고 있었다. 제거식 앵커의 사용은 강연선을 효과적으로 제거하여 앵커가 형성된 인접 대지의 굴착시 문제가 없도록 하였다. 국내에서는 (주)

박콘과 (주)삼우기초기술에서 개발, 보급한 U-turn anchor가 국내 최초의 제거앵커가 되었다.

국내 어스앵커의 발전은 unbonded strand의 개발, 제거앵커의 보급등으로 인장형앵커와 압축형앵커, 확장형 등의 여러 개념을 갖는 공법이 발전되었고 이에 대한 연구와 개발이 본격적으로 시작되었는데 1996년 압축형앵커인 SSC 영구앵커(부산대, 임종철)에 대한 연구와 논문을 발표하였으며 1998년 웨지합몰식 제거앵커(이창훈)의 개발, Tie-Cable을 이용한 영구앵커(코리아 SEC) 생산, 1999년 Multi-Wedge를 이용한 RMC 제거앵커, PMC 영구앵커(삼우기초기술)와 PMC영구앵커를 개발하였다.

1990년대는 외국의 새로운 앵커공법을 도입하여 발전시켰으며, 국내 기술로 개발하여 보급시키는 등 국내 어스앵커공법의 도약단계라고 할 수 있다.

2.3 Top-down 공법

1950년에 이탈리아에서 개발되어 유럽지역의 각사에서 자체장비 개발로 전세계에 보급된 지하연속벽 공법은 최근 토지이용율의 극대화과 도심지공사에서 건설공해를 대처하고 근접시공에 용이한 공법으로 국내에서는 1983년 여의도 럭키빌딩 및 부산지하철 공사에 적용함으로써 본격화 되었다.

이 공법은 개발초기에는 단순차수벽(cut-off wall)과 가설 흙막이벽으로 사용되었으나 기술진보, 시공방법 및 장비개발 등으로 현재는 영구벽체로 많이 사용되고 있다. 지하연속벽 공법이 영구벽체로 범용화되고 도심지의 대형공사 증대, 잦은 붕괴사고, 굴착지층의 불확실 등으로 인해 깊은 지하구조물의 구체에 대한 최소한의 거동과 터파기의 안정성 및 지보방법 등을 신뢰할 수 있는 설계 및 시공이 요구되어 이에 대처하기 위한 공법으로 지하연속벽에 의해 지하층 벽체와 기둥을 세우고 영구 슬라브로 버팀 system 으로 이용하여 지하층을 위에서 아래로 완성시키면서 상부 구조물도 동시에 축조해 나가는 top-down 공법이 활용되기

시작하였다.

Top-down 공법은 영국의 Arup에 의해 1938년 독일의 폭격에 대피할 수 있는 방공호 설계로 원형 구조물이 제안된 것이 시초인데 그 후 프랑스, 이탈리아 등 유럽을 거쳐 일본, 홍콩등 전세계로 확산 도입되었으며 국내에서는 서울시 중구 다동의 LG 그룹사옥(1984~1985)에 처음 적용하였으며 그 후 부산 신동아 해물센터(1985), 한국투신 부산 중앙지점(1986), 한일은행 부산 부전동지점(1986), 부산 고려산업 사옥(1987), 여의도 풍림 오피스텔(1991~1992), 천호동 동아 오피스텔(1995~1996), 여의도 리버타워 오피스텔(1996~1997), 삼성동의 그라스타워 등 상당히 많이 적용되었다.

우리 나라에서의 top-down 공법은 하부 암반층에서의 지하연속벽 설치와 암반굴착작업의 어려움이 가장 큰 장애가 되고 있다. 그러므로 근래는 무지보 역타공법이라는 기발한 공법도 사용되고 있는데 이것은 지하연속벽 대신에 엄지말뚝으로 벽체를, 버팀보의 중간말뚝을 기둥으로 임하고 콘크리트 슬라브로 배면토압을 지지하면서 버팀보를 철거하는 방법을 사용하고 있다. 이외에도 pipe roof 공법과 유사한 T.R.M 공법이 기존빌딩이나 구조물의 하부를 굴착할 때 침하가 전혀없이 지반굴착이 가능하도록 하고 있는데, 이 공법은 직경 1.5~2.0m의 강관을 수평으로 설치한 후 강관내부를 인력으로 굴착한 후 강관측면을 절단하고 철근게이지를 전체강관을 연결하는 일체식으로 조립, 설치하고 강관내부에 콘크리트를 주입하므로써 기존 구조물의 처짐이 전혀 발생되지 않고도 지하구조물을 축조할 수 있는 매우 효과적인 공법이다.

이 공법은 많은 인력의 동시투입이 가능하여 공기단축과 공사비 절감효과가 뛰어난 장점을 갖고 있다. 이외에도 역타공법에 의한 지반굴착방법은 여러 가지로 변형, 개발되고 있는데 앞으로 기술발전이 가장 기대되고 있는 분야이기도 하다.

3. 지반굴착분야의 기술업무

지반굴착은 지반조사, 계획, 해석, 설계, 시공, 감리, 계측의 7가지 주요 기술업무분야로 나누어 진다. 각 분야는 나름대로의 전문성과 독창성을 필요로 하고 있는데 지반굴착에 사용되는 구조물은 일반적으로 가시설인 경우가 많으므로 다른 분야에 비해 경제성이 비교적 큰 비중을 보이는 경우가 많고 업무를 빠른 시일내에 효과적으로 수행하기 위해서 상당한 경험과 know-how를 필요로 하고 있다. 또한 흙막이 구조물의 종류와 특성이 워낙 다양하고 설계나 해석보다도 시공의 질(quality)이 중요한 인자로 작용하는 분야이므로 이론적으로 규명할 수 없는 현상도 많이 나타나고 있다. 현장의 공학적인 거동을 분석하는 데는 정해(classic solution)가 없는 것이 당연할 수도 있겠지만 우리나라에서는 까다로운 심의과정에서 해석결과에 대한 반증을 제출해야 할 뿐 아니라, 신속하게 처리해야 하는 반복적인 작업이 많아 대부분의 해석과정이 컴퓨터 프로그램화되어 버림으로써 의견이 상반되는 여러 가지 모순들이 공공연히 정론으로 자리잡고 있는 예도 많이 볼 수 있다. 반면에 지반굴착은 주로 단기간에 작업이 끝나고 계측결과가 수치적으로 명백히 드러나는 분야이므로 여러 가지 해석오류에도 불구하고 워낙 많은 시공실적으로 인해 경험적인 기술축적이 잘되어 있고 현장관리 전문가도 타 분야에 비해 월등히 많다. 이 장에서는 각 업무단계별로 우리나라의 현재 수준과 문제점 등을 살펴보기로 한다.

3.1 지반조사

굴착지반에 대한 지반조사는 주로 시추조사와 지하수위 조사, 표준관입시험(S.P.T)과 같은 동적 사운딩에 의해 지반의 강도특성을 간접적으로 살펴보는 것이 일반적이다. 근래에 들어서는 탐사기술이 일반화되고 BIPS와 같은 내공관찰기법도 도입되고 있으나 아직은 효율성이 떨어져 사용이 많지 않

은 편이다.

시추조사는 10m 이내의 얇은 굴착이거나 암반층까지 굴착하지 않는 경우에는 BX 규격으로 조사하고 있고 깊은 굴착이거나 암반층이 주굴착 지층인 경우에는 NX 규격으로 조사하고 있으며 D-3 core barrel 이나 tripple core barrel 과 같은 삼중관을 사용하여 지층을 보다 면밀하게 살펴보는 작업을 하고 있다.

암반층의 시추조사 자료에 의해 굴착시 흙막이벽에 작용하는 배면지반의 토압산정시 암반층의 절리면 경사를 가장 불리한 경우에 대해 적용하여 안정측으로 단면을 검토하고 있는데, 깊은 굴착에서는 암반층이 대부분인 경우가 많은데도 토사층과 암반층의 토압을 따로 구분하지 않고 일반적인 다층토 지반으로 가정하여 토압해석을 시행하는 경우가 많다. 그러므로 이런 해석에서는 암반층 절리면의 경사나 거칠기 등이 제대로 반영되지 못하고 있고, 반대로 암반층이 매우 신선하거나 절리면이 굴착면에 유리한 상태로 안정된 상태를 유지하고 있더라도 부득이 어스앵커나 버팀보와 같은 지지구조물을 설치하게 되는 경우도 많이 있다.

지하철의 경우에는 본선 box구조물 설계시 시추조사 성과를 거의 적용하지 않고 배면지층은 $= 30^\circ$ 의 일반토사로 간주하여 설계하는 일이 허다하다. 약 100~200 m 간격으로 시행되는 조사결과를 반영하기 보다는 그 동안의 관행이 우선되는 것이다. 시추조사에서 채취된 시료는 실내시험을 통해 흙의 특성을 파악하는데 사용되기는 하였으나 실내시험이 흙을 분류하는 정도의 토성시험이 고작이므로 현장에서의 N치 측정결과를 비교검토하는 자료로만 이용될 뿐이다.

지반조사의 자료가 굴착공사에 효과적인 자료가 될 수 있도록 하기 위해 조사의 정확성과 실용성을 높일 수 있는 각종 제안이 제기된 것은 고작 1990 년대에 들어선 이후에야 시작된 일이다. 아직 짧은 기간동안 이 방법, 저 방법이 모색되고 이제 체계를 갖추기 시작한 분야이므로 이에 대해서는 앞으로도

개선될 과제가 많이 남아있다. 지금까지는 조사자료가 해석시 사용되는 강도특성치의 추정에만 이용되는데 불과하였으나 굴착시공사료로 활용되고 발파작업의 계획자료로도 이용되어야 하며 필요시에는 골재로의 재활용에 대해서도 검토가 되어야 할 것이다. 또한 시추조사 자료에 의해 굴착지반의 지층형성상태를 보다 구체적으로 도식화시킬 수 있는 기법이 개발되어야 하고, 특히 도심지에서는 인근부지들의 조사자료들이 DB로 구축되어 굴착작업시 주변지반의 거동을 보다 광범위하게 살펴 볼 수 있어야 한다. 특히, 지하수위의 변동에 대한 시간적, 지리적 자료를 보다 충분히 검토할 수 있도록 활용할 수 있어야 할 것이다.

3.2 계획

굴착규모나 굴착형상, 공법선정 등에 대한 계획에서 지반공학 전문가가 참여하는 단계는 공법선정 단계부터 참여하는 것이 고작이다. 그러므로 굴착지층의 상태나 지형특성, 인접구조물에 대한 위해여부, 지지방법의 선정 등을 고려하지 않은 굴착계획이 다반사로 진행되고 있다. 이러한 모순에 의해 대부분의 사고 현장에서는 다음과 같은 유형에서 사고가 비롯되는 경우가 많다.

- 가. 인접구조물이나 대지의 어스앵커 설치동의를 받지 못해 무리하게 짧은 어스앵커를 설치하거나 raker 등에 의해 불확실하게 지지하는 경우
- 나. 평면계획이 일직선이 아닌 직각부위를 불규칙하게 만들고 있어 코너버팀보가 2중, 3중으로 연속설치된 경우
- 다. 부지 양측의 경사가 심한 경우에도 버팀보를 무리하게 설치하여 지지하는 경우
- 라. 좁은 공간에서 장비이동이나 차량통행을 확보하기 위해 버팀구조물을 복공구조물로 병행 사용하거나 중간말뚝을 무단철거한 경우
- 마. 무리한 공기단축으로 어스앵커나 버팀보를 제대로 설치하지 못한채 선행굴착을 과다하

게 하는 경우

- 바. 주변현황을 제대로 조사하지 않아 인접구조물의 하중영향을 무시한 경우

위와 같은 무리한 계획들은 지반공학 기술자의 판단없이 단순히 건축계획의 일부로 지반굴착계획을 수립하고 무리하게 시공하는 경우에 사고가 발생하는 예를 살펴본 것이다. 이러한 것들이 전문기술의 적용보다도 훨씬 중요한 계획 필수요소인 것이다.

3.3 해석

흙막이 벽체에 작용하는 토압과 벽체의 거동을 해석하는 방법은 수없이 많은 이론들이 도전하고 있으나 명확한 해석법은 아직까지는 한가지도 없다. 과거에는 Peck의 실측이론이 바탕이 된 관용해석법이 많이 사용되었으나 수치해석의 발달로 인해 탄성보법, 탄소성보법, 탄소성 유한요소법 등이 현재에는 많이 사용되고 있다. 그러나 벽체의 강성이나 형상이 매우 다양하고 지지구조체도 어스앵커, nailing, rock bolt, 버팀보, raker 등 지지특성이나 원리가 상이한 여러 가지 공법들이 사용되고 있는데 반해서 수치해석방법은 매우 간단하고 이상화된 모델을 사용하므로써 실제 현상을 해석하는 것은 여전히 어려운 과제로 남아있다. 예를 들면, 어스앵커가 강봉(steel bar)인 경우와 강선(PC cable)이나 연선(strand)인 경우에 spring 계수의 특성은 서로 개념조차 다르다. 그러나 해석에서는 spring 특성을 유사하게 취급하고 있는데 선행하중이 작용하는 경우에 이들의 늘임량은 단순한 spring 거동을 하지 않는다. 또한 앵커의 정착부는 흙과의 접촉면에서 항상 미끄러짐이 발생할 수 있는 특수요소(element)로 처리되어야 하는데 해석에서는 이를 고정점으로 처리하므로써 마찰특성이 해석에는 반영되지 못하고 있는 것이다.

유한요소 해석에서도 배면지반의 토사층과 암반층 사이의 경사층을 정확히 입력하지 않는 경우 지반거동이 단순한 탄소성 거동만 하게 되므로 실제

로는 전체거동의 형상 조차도 맞지 않는 해석결과가 나타나고 강성이 약한 엄지말뚝과 토류판으로 구성된 벽체는 배면지반과의 접촉요소를 적절히 고려하지 못하고, 배면지반의 전단저항에 의해 엄지말뚝의 응력이 터널의 지보공처럼 과소평가 되는 예를 많이 볼 수 있다.

그러나 배면지반의 거동을 분석하는 데는 아직도 유한요소법이 가장 많이 사용되고 있는데, 이 해석법에 의해 전체적인 거동형상을 추정할 수는 있겠지만 인접지반의 실제 침하는 이론적인 거동보다 흙막이 벽체의 거동, 토류판 뒷채움 상태, 지하수의 탈수, 배면도로나 포장체 또는 구조물의 강성에 따라 매우 다양한 형태를 나타내게 되므로 해석으로는 이러한 요인을 다 분석할 수가 없다. 즉, 같은 지반에 같은 규모의 굴착을 시행하더라도 벽면 마찰각이 큰 slurry wall 이나 C.I.P 벽체를 설치하는 경우와 벽면 마찰각이 작은 H-pile을 설치하는 경우에는 완전히 다른 형태의 침하형상을 보이는 것이 그런 이유에서 비롯된다. 또한 동일한 깊이에 같은 종류의 벽체를 설치하였더라도 3단으로 지지하는 경우와 4단으로 지지하는 경우의 거동과 응력 분포는 완전히 상이한 것처럼 단순히 굴착심도와 배면지반의 특성으로는 지반굴착시 발생하는 토압과 제 응력을 해석할 수 없는 것이다.

지난 1990년대에는 국내에서 개발된 탄소성해석 프로그램인 EXCAD와 SUNEX가 설계용으로 많이 이용되었다. 그러나 이들 프로그램은 엄밀한 의미에서 해석용으로는 볼 수 없고 지반굴착시 흙막이 구조물의 적정설계를 위한 자료를 제공하는 설계용 프로그램으로 간주해야 한다. 몇몇 논문들이 이들 프로그램과 현장의 계측결과를 비교하는 작업들을 하였는데 아쉽게도 이러한 시도들은 대부분 모순에 가까운 결과를 나타나고 있다. 실제로 계측 결과는 같은 현장에서 불과 1~2m 떨어진 인접한 지점의 측정치와도 서로 상이하고, 동일한 심도에서의 측정치도 굴착속도나 방법에 따라 큰 차이를 나타내고 있는데 설계프로그램의 해석결과를 계측

치와 억지로 껴 맞추는 작업은 지반굴착의 다양성을 이해하지 못하는 접근방법이라 하겠다. 또한 해석방법들 끼리의 차이를 분석하는 시도도 자주 볼 수 있는데 이런 종류의 시도는 이론의 대비에 불과할 뿐 현장경험의 축적을 연구해야 할 지반굴착의 기술탐구와는 전혀 방향이 맞지 않는 것이다. 굳이 지반굴착의 해석연구를 설명하자면, 테르자기의 정신으로 돌아가 수치해석이 아닌 현장기술의 발전적인 이해를 구해보는 것이 정석이라고 하겠다.

3.4 설계

지반굴착분야의 설계는 대부분 지하철 설계기준을 따르고 있다. 그러나 현재 지하굴착 설계는 설계기준이 제시되어 있는 관급공사 외에 민간공사가 더 활발하고 기술발전속도가 빠른 편인데, 민간공사의 경우 설계기준 보다는 심의위원의 개인소견이 일반기준에 우선되어 적용되고 있는 실정이다. 그러므로 설계자는 건축사들과 마찬가지로 허가관청의 심의사례를 살펴서 거기에 맞는 설계를 하느라 원칙 없는 기술을 사용하게 된다. 예를 들면, 지하철 설계에서는 암반층의 토압을 무시하면서 도심지 민간 건축의 굴토설계에서는 암반층에서 오히려 토압을 증대시켜 고려하기도 하고, 개수식 흙막이벽인 토류판 공법을 사용하면서도 수압을 작용시키는 모순적인 설계를 공공연히 행하고 있다. 지하철의 경우 암반층에서는 rock bolt로 엄지말뚝을 보강하는데 이것을 어스앵커와 마찬가지로 고정지점으로 해석하고 있다. 그러나 민간공사에서의 rock bolt는 아예 해석에서 제외하고 보강재로만 사용하고 있다. 또한 L.W grouting이나 S.G.R과 같이 차수성이 불확실한 공법들이 차수벽으로 설치되는 경우에는 지하수위는 굴착심도에 따라 금방 내려가는데도 불구하고 설계에서는 지하수위가 굴착정도에 관계없이 일정하게 작용하는 것처럼 해석하기도 하고, 어스앵커가 설치되는 slurrywall의 경우에도 굴착진행에 따라 지하수위는 급격히 낮아짐에도 불구하고 정수면상태의 수압을 작용시켜 어스앵커의 초기 인

장력을 매우 과다하게 설계하고 있다. 특히, 흙막이 벽체의 근입장 검토는 주동, 수동토압을 동시에 작용시키는 모멘트 검토를 시행하여 사면활동해석처럼 안전율을 검토하고 있는데 엄지말뚝은 말뚝기초와 유사한 거동을 하는 것이므로 근입부의 활동검토가 아닌 지내력을 검토하는 방법을 적용해야 하는데 많은 설계는 기존의 모순된 방법을 그대로 답습하고 있다.

설계에서 더욱 중대한 모순은 어스앵커의 설계시 마찰저항치에 의해 앵커의 정착길이를 선정하는 것인데 이것은 1970년대 초에 국내에서 어스앵커 기술을 처음 도입한 '박콘건설'이 일본의 시공자료를 그대로 옮긴데서 비롯된 것이다. 이 설계법은 토피층이 얇은 상부에 정착되는 어스앵커에서는 실제보다 매우 과다평가된 마찰저항치를 적용하게 되므로 어스앵커 설치시 인접구조물에 균열을 발생시키는 주원인이 되는 예가 많았다.

버팀보도 마찬가지로 스퀴류잭으로 긴장되는 경우 적절한 선행하중이 가해지지 않음으로 인해 거치상태가 불안정한 상태에서 다음 굴착단계로 이어지고 있고, 버팀보의 비지지장을 선정하는 기준도 지하철 설계기준 작성시 애매한 것이 많아 50 ~ 60 m 길이의 버팀보를 설치하는 경우나 10 m 이내의 짧은 길이의 버팀보를 설치하는 것을 동일조건으로 오판하는 설계를 많이 볼 수 있다. 장변의 버팀보를 설치하는 경우에 대한 해석방법과 시공방법은 별도로 구체적인 검토와 시방이 작성되어야 하고 매우 주의를 요하는 기술이다.

또 하나, 설계에서 모순이 많이 일어나는 요소는 토류관의 두께 결정이다. Lagging의 역할만 담당하는 토류관은 일반적으로 70~80 mm 정도의 두께를 갖는 육송이면 충분하다. 그러나 설계에서는 이를 지지재로 간주하여 두께 110~130 mm의 미송으로 규정하므로써 여러모로 낭비요인을 만들고 있다.

엄지말뚝의 선정은 더욱 천차만별로 이루어지고 있다. 엄지말뚝의 사용규격은 굴착심도, 토압의 정

도, 인접지역의 진동피해, 발생여부, 장비진입 등 여러 가지를 고려하여 선정해야 하는데 그렇지 않은 경우가 많이 있다. 특히 고재의 재사용이 설계지침으로 제시되는 경우에는 현장여건에 관계없이 자재가 선정되기도 한다. 가시설이므로 이런저런 모순도 다 수용되어야 하고 민간공사이므로 허가관청의 심의조건에 무조건적으로 맞추어야 하는 설계논리가 일반화되어 버리면서 기술자의 장인 정신을 송두리째 뺏어버리고 연구개발 되어야 할 여러 과제들을 묻어버리고 마는 것이다.

3.5 시공

지반굴착은 1990년대 초까지만 해도 장비의 대형화가 시공의 주요 쟁점이 되었다. 엄지말뚝의 천공설치 작업을 하는 장비는 유압식 보링기에서 공기압축식 T-4로 바뀌고 이것은 다시 유압겸용인 바버드릴로 발전되어 나갔다. Slurrywall의 경우에도 초기의 버켓식에서 유압스큐류식으로 변했으며 차수벽체도 초기의 유압식 보링기가 S.C.W 장비나 J.S.P 장비로 바뀌더니 근래에는 jet grouting 장비로 변모해 나갔다. 어스앵커 천공기도 초기에는 유압식 보링기를 사용하였으나 공기압축식인 크롤러 드릴로 바뀌고 1980년대에는 유압식 장비인 hong drill, C-6 장비로 변모하고 termite와 같은 유압식과 공기압축식을 혼용한 장비로 발전되어 나갔다. 그러나 굴착장비의 대형화는 가속이 볼지 못했는데, 이것은 지반굴착 현장의 규모가 점점 작아지고 좁은 공간에서 이루어지는 작업이 많은 탓이었다. 발파작업 역시 점점 소규모의 미진동 발파작업이 주류를 이루게 되었다.

장비의 발달은 지반굴착 작업에는 유리한 면이 있었으나 이것은 전문시공업체의 경비 부담을 가중시키고 시공단가의 하락을 부채질한 요인이 되었다. 과다한 장비경쟁이 공멸의 원인이 되어버린 것이다. 이것은 1990년대에 접어들어 지하굴착공사의 특수를 거쳤음에도 불구하고 IMF 기간동안에 지반굴착 전문회사는 대부분 부도의 위협에서 헤어

나지 못했던 주요 원인이 된 것이다. 무모한 장비구입이 리스자금조차 조달하기 힘든 경제여건에서는 맥없이 바로 무너진 것이다.

현재도 IMF 이전에 비해서 턱없이 낮은 시공단가로 적자공사를 수행하는 현상이 대부분이라 지반굴착의 시공기술 발전은 이제는 거의 기대하기 어려운 실정이 되고 말았다. 특히 민간공사는 원가에도 미치지 못하는 실행금액이 책정되므로써 부실시공이 현저하게 늘어나고 있고 무리한 설계변경이나 부적절한 공법선택이 예사로 이루어지고 있다. 그러나 이와는 반대로 경제성을 살리는 새로운 시공방법의 도입이 눈에 띄고 있는데 일반적인 slurry wall에 의한 top-down 공법에 비해 우리나라의 암반지층에서 쉽게 사용할 수 있는 무지보 역타공법이나 장비보다는 인력굴착으로 무소음, 무진동으로 안전한 굴착을 진행할 수 있는 T.R.M 굴착공법들의 진출이 눈에 띄게 나타나고 있다. 또한 무리한 장면의 버팀보 설치대신에 인접대지의 민원을 해결하기 용이한 회수용 어스앵커의 사용도 점점 늘어나고 있으며 앵커의 종류도 매우 다양해지고 있다. 또한 soil nailing의 시공도 차츰 늘어나고 있으며 천공장비들도 점점 소형화, 저소음, 저진동 형태로 변모해 가고 있다.

지반굴착 시공에서의 당면 과제를 몇가지 살펴보면, 하도급 체계의 제도적 보완을 통해 전문시공회사가 지반굴착공정만을 직접 수행하여 일반관리비와 수주경비를 절감하는 방안의 수립이 절실하며, 시공가격의 산정시 현실에 맞지 않는 품셈방식을 지양하고 시공법이나 신장비들이 적절히 현장에 투입될 수 있도록 적산방식을 현실화시키는 것이 매우 중요하다. 일반적으로 지반굴착공사는 무분별한 하도급이 성행하여 비리의 온상으로 인식되어 있으며 실제로도 관급공사의 경우 발주금액의 50%에도 미치지 못하는 금액으로 하청이 주어지고 있을 뿐만 아니라 새로 개발된 신장비의 사용이 유리한 조건에서도 품셈에 반영되어 있지 않다는 이유로 현장적용이 억제되고 있는 실정이다. 또한 시공사

의 기술력을 평가하지 않고 실적과 외형만으로 도급한도액을 정하고 있어 신기술을 개발한 업체라도 실제로 수주하기는 너무나 어려운 것이 우리나라의 현실이다. 지반굴착의 기술발전을 위해서 제도개선이 가장 필요한 분야가 바로 시공분야인 것이다.

3.6 감리

삼풍백화점 참사와 성수대교 붕괴사고는 우리나라의 감리제도를 개선하는 주요한 전기가 되었다. 그런데 지반굴착분야에서는 관련공무원들의 오판으로 인해 오히려 쇠퇴기가 시작되는 반대 급부현상이 일어났다. 이런 모순된 행정착오는 1990년대 후반부터 불어닥친 규제철폐 바람에 밀려 지금은 지반굴착감리의 부재 현상으로까지 몰고와 버렸다. 원래 지반굴착의 감리에 관련된 규정은 82.12.1에 서울시의 지침에 의해 지하 5m이상 굴토공사에서는 설계도서를 작성한 기술사(토질 및 기초 또는 토목구조)가 현장에 상주하도록 한 것이다. 그러나 이 지침은 현실성이 없어 기술사들의 서류날인으로 가능하고 감리는 제대로 이루어지지 않았다.

그러나 88년에 들어서 한강로 빌딩의 붕괴사고, 역삼동 유니온 오피스텔의 붕괴사고를 비롯한 수많은 굴착사고가 연속적으로 발생됨에 따라 굴토공사 감리제도가 강제 의무화되고 이를 준수하지 않는 기술사들은 현장 미상주를 이유로 고발조치되는 예가 잦았다. 이에 따라 도심지 지하굴토 현장은 사고를 미연에 방지하기 위해 계측관리와 감리업무가 급속도로 발전하게 되었다. 이러한 분위기를 타고 건축법 시행규칙도 88.12.2 개정에 의해 굴토공사의 감리를 의무화하도록 하였다.

그러나 이러한 제도정비의 발전이 삼풍백화점 참사가 일어난 1995년 이후에 오히려 백지화되고 말았다. 당시 건설교통부 측에서 사고의 원인을 조사한 결과, 건축사들의 설계권 독점이 대형참사의 원인이 되었음을 인지하고 건축관련 전문분야의 설계는 관련기술사들이 필히 맡도록 건축법을 개정(95.12.30) 하게 되는데 이때 건축구조, 건축기계

설비, 공조냉동기계 분야는 기술사의 협력을 받도록 의무화하면서 지반굴착분야는 다음과 같이 불합리한 조항을 삽입하였다.(제91조의 3항)

“③ 깊이가 10미터 이상의 토지굴착공사 또는 높이가 5미터 이상의 옹벽등의 공사를 수반하는 건축물의 설계자 및 공사감리자는 토지굴착 등에 관하여 건설교통부령이 정하는 바에 의하여 국가기술자격법에 의한 토목분야 기술자격취득자의 협력을 받아야 한다.”

이 조항이 신설된 이후 건축사들은 기존의 기술사 감리지침을 토목분야 기술자격취득자로 변경하도록 서울시에 관련지침의 개정을 요구하게 되고, 결국 서울시는 97.3.11에 “안전관리강화” 지침을 발표하면서 ‘토지굴착공사 안전관리대책’을 다음과 같이 발표하게 되었다.

내 용	종전지침(89.10.27)	변경지침(97.3.11)
토공사 설계도서 작성자	기술용역육성법에 의해 과학기술처에 등록된 전문업체에서 작성한 지질조사 보고서에 따라 토목분야 기술사(토질및 기초, 토목구조)가 설계도서 작성	엔지니어링 기술진흥법, 기술사법, 건설기술관리법, 건설산업기본법 등 관련법에 의하여 등록(신고, 면허취득등)된 용역 또는 시공업체에 소속된 토질및기초기술사 또는 토목구조기술사. * 설계도서 내용중 지질조사 보고서는 상기 관련법에 의하여 등록(신고, 면허취득등)된 용역 또는 시공업체에 소속된 응용지질 기술사로 가능
토공사 감리자	토공사 설계도서를 작성한 토목기술사 현장상주 감리	엔지니어링기술진흥법, 기술사법, 건설기술관리법 등 관련법에 의해 등록(신규등)된 용역업체에 소속된 기술자격 취득자, 건축사법에 의한 토목분야 건축사보
굴토공사 감리 및 공정보고	매월 2회	매월 1회
참고사항	-	종전지침 폐지

위 표에서 보듯이 지하굴토공사의 감리자는 건축사보가 할 수 있도록 지침을 완화해 버렸는데, 일반적으로 건축사사무소의 토목분야 건축사보는 지반공학과는 거의 관련이 없는 기술자가 전부라 해도 과언이 아닐 것이다. 이런 지침 개정은 지반굴착 분야를 매우 경시하는 건축사들이 건축법의 애매한 표현과 서울시의 담당공무원의 무지를 악용한 사례로 볼 수 있겠다. 감리업무를 돈벌이로만 이해하고 있는 몇몇 사람들에 의해 서울시 도심지의 대형 굴착공사 현장에서 전문가들은 하루아침에 다 축출되고, 이에 따라 계측관리용역마저도 형식적인 기록으로 전락하게 되어버린 것이다.

지반굴착 현장에서 감리업무는 매우 중요한 것이다. 설계도서는 대부분 굴착진행과정의 검토를 생략하고 현장여건에 적절한 시공방법과 장비의 선정, 공사의 흐름등을 파악하는 업무를 감리자에게 위임하고 있다. 또한 굴착현장관리의 주요업무인 계측관리에 대해 계획, 측정관리, 결과분석 및 보강대책 수립 업무들이 전부 감리에게 맡겨져 있는데 현재 굴토현장의 감리책임은 맡고 있는 기술자들의 현장경험이 일천하다 보니 현장관리는 커녕 사고가 발생되어도 사고발생의 원인분석이나 긴급대책 수립에 대한 아무런 지식이 없는 경우가 대부분이다. 또한 현장의 공정이나 품질관리가 되지 않다 보니 파다설계로의 변경, 불량자재사용, 민원발생등이 많아지고 이러한 것들이 시공관리에 큰 부담으로 작용하고 있는 현실이다.

3.7 계측

지반굴착현장에서의 계측관리는 1980년대 후반 부터 도입되었는데 초기에는 시험단계의 작업만 이루어졌다.

그러나 1988년의 잇단 붕괴사고와 더불어, 서울시가 도심지 굴착공사에서 10m 이상 굴착시 의무적으로 계측관리를 수행하여 월 2회씩 허가구청에 보고서를 제출하도록 함으로써 순식간에 용역업무가 팽창하게 되었다.

그러나 앞서 언급한 바와 같이 서울시의 관련지침이 폐지된 이후에는 하마터면 굴착현장에서 계측기기를 구경조차 하기 힘들어질 뻔 하였는데, 서울시의 무지한 지침변경에도 불구하고 노동부의 “굴착공사 표준안전지침”(94.1.25 고시)이 남아 있었기 때문에 현재에도 그런대로 형식적인 작업으로나마 행해지고 있다. 이 지침의 제5절 깊은굴착작업 제15조 6항에 의하면 아래와 같다.

「깊이 10.5m 이상의 굴착의 경우 아래 각 목의 계측기기의 설치에 의하여 흙막이 구조의 안전을 예측하여야 하며, 설치가 불가능할 경우 트랜시 및 레벨측정기에 의해 수직, 수평변위 측정을 실시하여야 한다.

- 가. 수위계
- 나. 경사계
- 다. 하중 및 침하계
- 라. 응력계」

서울시 지침과는 달리 노동부의 지침은 법적 구속력이 있으므로 지반굴착현장에서는 의무적으로 계측관리를 시행하고 있는데, 위의 계측기기 이외에도 인접건물에 부착하는 건물경사계와 침하핀, 균열측정기 등이 많이 쓰이고 있다. 이들 중에서 경사계는 지반굴착시 흙막이 벽체의 거동을 측정하는 가장 중요한 계측으로 관리하고 있는데 실제로는 오차발생 가능성이 가장 많은 계측기이다. 이 경사계는 판의 설치시 비틀림, 충전불량, 계측장비의 offset error 이외에도 측정시 수반되는 여러 가지 실수와 50cm 간격으로 이어지는 경사계관의 상부 점과 하부점의 간격 불일치에 의해 실제로는 거동하지 않은 위치에서 마치 벽체가 밀리는 듯한 모습을 나타내게 된다. 이런 모순된 거동에도 불구하고 경사계가 벽체거동을 감지하는데 주로 쓰이는 이유는, 거동이 좌표화 될 수 있다는 점과 연직간격 50cm 마다 측정된 상대변위의 difference 가 수렴되는 경우 공학적인 거동이므로 안정상태를 유지하고 있고, 반대로 difference 가 확산되는 경우에는 암반절리면의 미끄러짐과 같은 불규칙 거동이 발생

되는 것임을 감지하기가 쉬우므로 과다변위 발생유무 등을 사전에 살펴볼 수가 있어서 굴착공정의 관리에는 가장 효과적으로 사용될 수 있기 때문이다. 한편, 지반굴착에 사용되는 계측기기중 하중계(load cell)는 당초에는 유압식 하중계를 사용하여 어스앵커의 축력을 측정하는 좋은 장비가 되었으나 제품이 고가품인 관계로 근래에는 진동현식 변형률계를 조합시킨 형태로의 값싼 하중계가 널리 보급되어 있는데, 이것은 편심하중을 받는 경우 매우 불규칙한 수치를 나타내거나 오차가 크게 발생된다.

그러므로 현장에서는 토압의 추정이 잘못되어 안정된 흙막이 벽체를 불안정한 상태로 오판하는 예가 많고, 심지어는 쓸데없는 보강공사와 공기지연까지 초래하는 경우를 일으키게 된다. 또한 변형률계(strain gage)는 버팀보의 양측에 설치하여 버팀보 양측에서의 힘의 균형을 잘 살펴야 하는데 한쪽에만 형식적으로 설치하여 무용지물 같은 자료를 얻는 예가 많다. 뿐만 아니라 선행하중도 모르는 상태에서 온도변화에 민감한 gage를 잘못 해석하거나, 특히 자동계측시 연결선의 저항등 여러 가지 요인에 의해 오차가 발생하는 경우가 많아 지반굴착에서는 계측기기의 오차가 중대한 문제를 일으키는 사태가 빈번하다. 그러므로 지반굴착에 대한 연구작업에서는 토압해석에 대한 수치해법의 개발보다는 정확한 계측기기의 개발과 측정법, 해석결과의 신뢰성 검토에 대한 연구가 더욱 중요하고 시급한 실정이다.

이외에도 계측관리의 모순을 일으키는 주요요인 한가지는 계측관리용역의 발주형태인데 지하철현장의 경우를 예로 들면, 계측관리를 시공품질관리업무의 일부로 이해하는 발주청의 몰이해로 인해 계측기기의 설치 자재비만 주어지고 측정 및 분석은 예산에 포함시키지 않는 경우를 들 수 있다. 그러니 현장마다 계측관리작업은 홀대를 받고 있고 계측기기는 설치만 되어 있을 뿐 측정하지 않거나 측정하더라도 보고서 작성용으로 형식적으로만 하는 경우가 허다하다. 기술발전과 제도정립은 상호

보완적인 요소이므로 이런 현실여건에서는 지반굴착의 계측관리는 절대로 제대로 될 수 없는 것이다.

3.8 기타

지반굴착에 관련된 업무는 앞서 언급한 7가지 업무이외에도 진단과 설계심의 과정이 주요업무에 해당된다. 진단업무는 노동부의 '굴착공사 표준안전지침'에 의거하여 점검과 진단업무를 수행해야 하며 특히 굴착현장에 인접된 구조물과 매설물의 보호에 대해서는 각별한 주의와 관리를 의무적으로 시행하도록 하고 있다. 그러나 서울시 도심지만 하더라도 지하매설물 현황을 제대로 파악하기란 매우 힘든 일이며 관련부처의 협조체계도 원활하지 않은 실정이다. 그러므로 지반굴착 관련업무에 종사하는 기술자들은 각종 행정처벌조치에 무방비 상태라 할 수 있다. 그렇지만 이러한 불안감과 책임의 가중으로 인해 굴착공사는 착공전의 안전진단과 년1회씩의 의무적인 안전진단이 비교적 잘 이루어지고 있는 것이다. 물론 안전진단 담당자도 책임분담의 위험을 감수해야 하기는 마찬가지이다.

한편, 설계심의 업무는 심의위원의 자질에 따라 천차만별인 실정이다. 굴토공사는 각 지자체별로 심의위원을 내정하여 설계인허가 작업에서만 자문을 하는 형식을 취하고 있는데 서울시의 경우에는 토목구조 전공교수나 기술사, 심지어 건축구조 전공교수나 기술사도 상당수가 위원으로 일하고 있다.

지방의 대도시에서는 자격이 의심되는 위원들도 상당수 있는데 일부 심의위원은 특수공법을 현장여건과 무관하게 강제로 채택하도록 중용하는 경우도 있어 심의과정에서의 부조리는 상당히 만연되었다는 설계담당 기술사들의 의견이다.

현행 국가기술자격제도에서 지반굴착 분야는 토질 및 기초 기술사들의 고유업무에 해당되는데도 이렇게 심의위원의 선정과 심의과정에서 무지한 심의위원들에 의해 제도와 기술이 오염되는 현상은 지반굴착기술의 발전을 어렵게 하는 주요장애가 되

고 있다. 실제로 사고가 발생하여도 아무런 문책이나 책임을 묻지 않는 심의제도는 형식자체가 모순이므로 권위주의가 팽배한 우리 나라에서만 잔존하는 후진국 관리형태의 하나로 항상 지목되고 있는 것이다.

4. 결 언

지반굴착분야는 이론적인 배경과 오랜 시공경험이 잘 접목된 현장자료가 가장 많이 나오는 지반공학의 핵심분야 중의 하나이다. 짧은 기간동안에 다양한 공법과 많은 경험을 쌓을 수 있는 특성을 갖춘 탓으로 최근까지 많은 기술자들의 관심과 연구가 집중되었던 것이다. 그러나 IMF 한파이후 지반굴착현장은 급격히 위축되었고 전문기술자들의 대부분은 이 분야를 떠나버린 실정이다. 특히 현재의 모순된 감리제도는 지반굴착의 기술관리가 더 이상 지반공학 기술자들의 업무가 될 수 없도록 만들었다.

새 천년을 시작하면서 지반굴착분야를 되돌아보는 글을 쓰는 지반굴착위원회의 운영위원들은 착잡한 심경을 서로 나누고 이제부터라도 뭔가 기술적으로나 제도적으로 개선시켜 나갈 것을 찾는 마음으로 이 특집 원고를 정리하고 싶었다. 그러나 위원들의 업무특성이 각기 다르고 특히 글로써 현실을 나타내기에는 어려움이 많은 분야인 탓으로 충분한 내용을 담지 못해 학회 회원들의 애정어린 이해를 구하며 이 글을 마친다.