



2000년 준설매립과 환경매립 기술

김수삼^{*1}, 이 송^{*2}, 장찬수^{*3}, 유남재^{*4}, 장연수^{*5}, 정하익^{*6}

1. 서언

최근 국내의 급격한 경제성장에 따른 공업용지 및 주거용지 수요증대와 국제화와 병행하여 공항 및 항만 시설물에 대한 건설수요가 증가 추세에 따라 적극적인 해안개발이 진행되고 있다. 국내의 초기 매립공사는 주로 쇄석이나 산토 등 양질의 매립토를 사용하였지만 환경보존, 매립토의 부족, 경제성을 고려하여 지반공학적으로 불안정한 해성토를 사용한 지반매립을 피할 수 없는 상황에 이르게 되었다. 이에 따라 연약한 해성토의 사용하게 되고 그에 따른 다양한 지반공학적 문제점이 제기되고 있는 현실이다.

최근 인간활동으로 발생된 쓰레기의 안전한 처리와 지하수 및 토양보존을 할 수 있는 효율적인 매립 기술과 산업활동의 결과 발생된 오염된 지하수 및 토양을 복원시키는 문제는 환경보존을 위해 지반공학 관련 기술자들에게 당면한 중요과제로서 많은 관심을 기울여야 할 문제이다.

이러한 준설매립과 환경매립 기술문제와 관련하여 최근 시대적 문제점에 대한 인식이 확산되어 새로운 기술이 개발, 적용되고 장비 및 품질관리의 개선 등이 이루어져 전반적으로 많은 발전을 이루었다고 할 수 있으나 아직 관련 기술의 개발 여지가 많이 남아있음을 인지할 수 있다.

따라서, 새천년을 맞이하여 국내의 준설매립과 환

경매립 기술의 발전을 도모하기 위하여 그와 관련된 과거기록을 정리하여 어떠한 모습으로 발전하였는지를 알 수 있도록 그 변천사에 대하여 반추하여 보고, 현재 진행되고 있는 기술의 현황과 문제점을 고찰함으로써 현행 관련기술의 문제점에 관하여 재인식을 하고 향후 어떠한 방향으로 매립기술발전을 도모하여야 할 것인가에 대한 전망을 하여 보았다.

2. 기술변천사

2.1 준설매립

우리나라 준설매립 기술의 변천은 항만시설 공사와 그의 역사적 흐름을 같이하고 있다. 우리나라 항만의 역사는 삼한시대에 포구(浦口(港))를 이용하여 인접국가간에 물물교환이 이루어졌던 것에서 그 유래를 찾을 수 있다. 이후 이조시대의 경우 중국, 일본과의 교역을 주목적으로 삼포(남포, 부산포, 제물포)를 거점으로 교역이 성행하였다. 당시의 항구는 지금과 같은 인공적인 접안시설을 설치하지 않고 선박을 정박하기 원활한 자연적 조건을 지닌 지역을 택하여 사용하였다.

우리나라의 근대적 항구 건설은 일제 강점기에 접어들어서인데, 일제 강점기 동안의 항구 건설 경향은 3기로 나누어 볼 수 있다. 1기(1911~1918년)는 근대적 항만시설의 창 설기로서 구한말에 시작된 개항의 설비 보완을 위한 축항공사 시기이며, 제2기(1919~1937년)는 전국 항만시설의 확장개발기로 소위 교역증가에 적응하기 위하여 축항사업이 성행하였으며, 제3기(1938~1945년)는 제2차 세계대전의 수행과 전쟁말기의 패세의 만회를 위한

^{*1} 정희원, 중앙대학교 건설대학원장

^{*2} 정희원, 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 교수

^{*3} 정희원, 천일지오컨설팅 대표이사

^{*4} 정희원, 강원대학교 공과대학 토목공학과 교수

^{*5} 정희원, 동국대학교 공과대학 토목공학과 교수

^{*6} 정희원, 한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원

군수물자 하역능력을 증가시킨 전쟁기로 구분할 수 있다.

8.15 해방후로부터 약 1년간의 군정기간 동안은 군정 행정방침이 확립되지 못하였던 관계로 항만시설부문에 있어서의 시책수립과 사무집행이 응급적이고 방편적이였다. 이 기간의 항만수축 조성은 열악한 재정으로 수축비 확보가 어려워 거의 전무한 상태였다. 해방당시인 1945년에는 수축사업비가 일부 계상되어 부산, 인천을 위시한 중요항의 긴급한 유지보수공사에 착수하였다.

그 이후 6.25 사변으로 부산, 마산, 제주를 제외한 전항만은 전재(戰災)를 입게 되어 육상시설 90%, 접안 및 외부시설 45%, 공사용선박, 기타 85%의 막대한 피해를 입어 하역능력이 급격히 저하되었음은 물론 지방항역시 방임상태로 인하여 기시설물은 파괴일로에 있었으며, 장기간 준설을 실시하지 못하였으므로 매몰토량이 부산, 인천항을 위시한 중요 각 항과 일부 지방항에 누적되어 대형선박의 항내선행의 안전을 일실(逸失)하고 접안 불능으로 해상하역을 하게 되어 이중적인 하역비가 소요되어 국민경제에 미치는 영향이 막대하게 되었다.

제1차 경제개발 5개년 계획수립과 동시에 공업항 위주로 신규항만이 건설되고, 해운 수송부문과 제반산업부문이 발달하여 국민경제가 상승함으로써 항만건설도 박차를 가하게 되고 지금과 같이 과거 유지단계에서 건설단계로 도약하였다. 선형(船型)의 대형화, 항만시설의 근대화, 4대핵산업을 위한 공업항 규모의 확대와 변천, 기반산업의 조성 등으로 항만건설산업이 진행되었다.

1962년도를 제1차년도로 하는 제1차 경제개발 5개년 계획이 책정을 보기 전 항만사업 5개년계획의 추진을 위한 시안을 작성하여 연간 하역능력 1,400만 t을 목표로 투자하여 부산, 인천항을 위시한 각 중요항의 획기적인 시설확장개량과 특히 목포항에 10,000 t급 대형선박의 접안을 용이하게 하는 한편, 지방해운 및 수산업개발의 근거지인 지방항의 대폭적인 시설확장을 기함으로서 연간 하역능력을

1,400만 t으로 증가시켜 격증하는 수출입화물의 원활한 양하륙(揚下陸)과 후방수송의 원활을 도모하였다.

제1차 경제개발 5개년계획의 성공적인 수행과 더불어 항만사업도 이 기간에는 제1차 5개년 계획 기간중에 착수하였던 수개의 공업항 건설의 완성 및 인천선거 등의 공사가 적극화되었다. 이 기간 중에 항만건설에 있어서는 안벽 6,243m, 물양장 2,295m 방파제 6,014m의 건설과 준설 31,197,000m³를 실시함으로써 접안능력은 40,000 D/W 급 2척을 비롯하여 18척이 증가되었고 하역능력은 4,055,000 t이 증가되었다. 특히 항만기술면으로 보아 특기할 것은 포항방파제에 사용된 Caisson(대형콘크리트 블럭)이다. 이 Caisson은 은 1945년 이후 각 항만 방파제에 절실한 필요성을 느끼면서도 Caisson Yard의 설비결여로 제조의 실현을 보지 못한 것인데, 본 항에서는 모래질의 자연 조건을 이용하여 모래위에 Caisson을 축조하고, 그 저부를 준설선으로 교묘히 굴착하여 Caisson이 물위에 부상토록 한 특수공법이다. 방파제 건설은 인천선거축조와 같이 해방후 우리 나라 항만기술의 시험장이며 결산장이라고 볼 수 있을 것이다.

우리나라의 준설사업은 동해안 항구의 표사이동에 의한 항내 매몰, 서해안은 황해의 영향을 받은 탁류가 심한 간만의 차로 인하여 항내매몰이 가장 현저하여 군산항과 인천항 등은 매년 막대한 준설비를 투입치 않고는 소요수심을 유지하기 곤란한 실정이며, 남해안 역시 이 양해면의 특수성이 개재하여 계속되는 항내의 매몰을 피하지 못하고 있었다. 건국초기 국내 준설사업에 대한 자료조사 결과, 인천항을 위시한 각 중요항에서 1953년부터 1961년까지 사이에 1,496 만여m³를 준설하였음에도 불구하고 1,950 만m³가 누적되어 있는 실정이었다. 그 당시 준설장비수는 약 163척이었으나 대부분이 해방전부터 사용했던 노후선 내지 제 2차 세계대전 이후 극동에서 사용하던 연합군의 전쟁 잉여선박이였으며, 예산의 부족, 장비의 노후, 매몰량의 누가,

연료부족 등 이 시절의 준설정책의 수립 및 시행에 있어서 매우 어려운 상황이었다. 특히 당시의 국내 사정은 민간에 의하여 매립공업단지조성이나 전용 부지를 건설하는 예는 전무한 상태이고, 따라서 민간소유 준설선이 있을 리 없고, 준설사업은 전부가 정부직영으로 운영되었다.

5.16후 갑자기 계획실천된 울산공업센터의 건설로 항로준설과 매립지를 조성하기 위하여 대형 준설선 1척을 미국에서 도입하게 되었다. 이것이 우리나라에 대형준설선이 도입되는 제일 첫 번째 케이스였고, 준설에 대한 정부당국의 인식도 고조되었다고 볼 수 있다. 즉 이 시점이 기존의 유지준설로부터 공업지 조성으로 인한 대량준설로 전환하는 계기점이라고 상기할 수 있다. 이 당시에 항만기술의 신공법을 대담하게 도입하고 일본항만기술자(鶴田千里 博士)를 초빙하여 기술교류를 하는 등 항만기술발전에 공헌한 바가 컸다.

그후 공업용지를 확보하기 위하여 연안매립사업이 활발해지고, 선형의 대형화로 인하여 기존항만의 박지의 수심증대와 항로확장, 공업단지조성을 위한 신항만 건설 필요성 등으로 준설사업을 전담할 수 있는 대한준설공사가 탄생하였다. 공사발족 후 준설에 대한 연구와 발전을 보게 되었으며, 상당수의 대형준설선, 특히 암석굴착을 위한 쇄설선 등을 제조 또는 도입하여 암석굴착에 대한 새로운 분야의 기술을 연구, 개척하였다고 볼 수 있다. 목호항의 10,000 D/W급 시멘트전용부두전면의 경암굴착, 인천항선거입구 전면에 깔려있는 암반준설, 외항측 Dock Gate 입구쪽의 암반제거와 포항제철항에 있어서 50,000 D/W급 대형선을 위한 암제거 등은 준설기술의 커다란 발전이었다.

우리나라 최초의 근대화된 준설선은 1912년 4월 인천항 준설공사에 투입된 버킷준설선 동래호(629 톤급)이다. 비슷한 시기인 1913년 1월에 건조된 버킷준설선 용두호가 인천항에서, 1923년 진남 포항에서 1911년 독일에서 건조된 자항 호퍼 준설선인 강화호가 준설작업을 한 것 등이 초창기 준설이라

할 수 있다. 해방이후 준설선은 증가하였으나 해방 당시 정부가 보유하고 있던 준설선단의 총수는 대형 5개선단, 소형 8개 선단 등 총 13개의 선단에 불과하였으며, 연간 준설능력도 겨우 4,999,000m³에 불과한 빈약한 실정이었다. 이후 6·25동란을 겪으면서 일부가 파괴되어 겨우 명맥만 유지하는 시기가 있었다. 6·25동란이후 전후복구에 주력하기 시작하면서 복구사업의 일환으로 정부에서 1955년 이후 준설선단 복구에 착수하였으며, 우리나라 준설사업이 본격적으로 활기를 띠기 시작한 것은 경제개발사업이 착수된 1962년 이후이며 1967년 8월 10일 대한준설공사가 창립된 다음 높은 수준의 대규모 준설사업이 본격적으로 실시되게 되었다. 제1차 경제개발 5개년인 1962~1966년까지 인천항 외 총 29개항에 총 15,737,000m³의 준설실적을 올렸다. 경제개발사업이 진행되면서 준설사업은 준설장비, 준설능력 그리고 준설기술 등 준설의 질적인 면과 양적인 면을 크게 향상시켰으며, 1992년 준설면허가 개방되면서 7개 업체에서 15개 업체로 늘어남에 따라 국내 건설업체의 준설선 보유량이 급속도로 증가하게 되었다.

1912년 우리나라에서 본격적인 준설매립 작업이 착수된 후 1935년까지는 그의 기반개량에 관한 변천사에 대한 문헌자료의 확보에 어려움이 있으나, 추정컨데 특별한 조치없이 장기간 방치에 의한 침강 후 자연표면건조가 대부분이었을 것으로 사료된다.

근래에 접어들면서 대규모 연약지반 개량공법으로는 1969년 부산지방 극동셀 주유탱크 부지 기초지반 보강을 위하여 동다짐공법이 적용되었으며, 그후 포항 하수처리장 기초, 1986년 김해 야전병원 등에 같은 공법이 적용되었다. 1970년 마산 수출자유지역내 도로건설을 위하여 샌드 드레인 공법에 의한 연약지반 처리를 실시하였다. 그리고 1970년 부산시 분포종말처리장, 1970년 부산-마산간 고속도로 대저면 구간에 선행하중(Preloading)공법 적용한 사례 등이 있다.

1975년 5월부터 한국수자원공사에서 경남 창원

시 적현단지를 향로 준설에 의한 준설토를 투기한 상태에서 단지를 조성하였으며 삼부토건과 협화산업(현 코오롱건설)에 의하여 강제치환공법과 Paper Board Drain(PBD)공법에 의한 매립지반 개량을 실시하여 준설토 안정공법으로서 PBD공법 적용을 성공적으로 수행하였다. 또한 1983년 광양 제철소 부지조성은 해수면 아래의 펌프 준설선에 의하여 약 5,900만³m의 준설매립한 다음, 축조될 구조물의 특성에 맞추어 구간을 설정하여 9,019,000본의 샌드드레인과 샌드콤팩션 파일 63,000본을 타설하여 연약지반 개량을 실시함으로써 충분한 강도증가 효과를 보였다.

최근에 실시된 준설매립현장은 전남을촌 현장과 인천 국제공항 현장을 들 수 있는데, 을촌 제1지방산업단지 조성공사는 준설토인 해성점토를 이용하여 1996년 12월부터 1997년 3월까지 매립을 실시하였으며, 표층건조처리법(PTM, Progressive Trenching Method)을 적용하여 공사장비의 주행성을 조기확보하기 위하여 노력하고 있다. 또한 인천 국제공항에는 12,000마력의 펌프준설선을 사용하여 41,117,952m³의 준설토를 매립하였으며, 구역별 특성을 감안하여 Preloading, 샌드 드레인, Plastic Board Drain공법을 적용하여 매립지반을 개량하였으며, 필요에 따라 동다짐공법을 추가 실시하여 지반안정을 도모하였다.

이 밖에도 1993년부터 1997년에 건설된 여천 임해공단에서의 Paper Drain Board공법 적용, 1993년 10월 안산-구포간 고속도로에서의 팩드레인 공법 적용성 검증, 1989년 인천 남동공단에서의 프리로딩, 프리로딩+샌드드레인 공법 적용 등 여러 형태의 개량공법을 적용한 연약지반 개량사례가 있다.

2.2 환경매립

국내 매립의 최초 형식은 적석층의 형식이나 고분의 형식으로 시작되었다. 지식묘 주변에 돌이 적석되어 있어 적석지석묘에서 적석층으로 묘제가 변

화한 것으로 추측하게 한다. 기원은 청동기 시대로부터 초기 철기시대 전후에 존속했던 주민인 한(韓)을 포함한 예맥(濊貊)족으로 보인다.

B.C 3세기에서 기원전 후에 걸쳐 축조된 고구려 적석층은 무기단식 적석층이며, 이러한 적석층은 묘 주위에 돌을 쌓은 북방식 지식묘에서 변화 발전했다는 추측도 있다. 춘천의 말무덤 적석층은 높이가 약 3m, 둘레가 약 30m, 각각 2기이며 고고학계에서는 선사시대에서 역사시대로 들어올 무렵의 적석층이라고 말하고 있다. 또한, 방동리 장절공 묘 소정화 작업중 발굴된 고구려 석실 고분이 있으며, 상류 3km 신매리 지역에도 고구려 단실묘 양식의 고분이 발굴되었다. 그 외에 적석층으로 석촌동 백제초기 적석층은 고구려 무덤형식인 기단식 적석층이며, 울산광역시 울주군 웅촌면 은현리 적석층은 지름 20m, 높이 6~7m정도의 원형으로 구성되어 있다. 고분형태로는 무녕왕릉을 비롯하여 서울, 공주, 부여, 익산, 나루 등에서 백제 고분이 전지역에 고루 분포하고 있다.

근래에 들어 설치된 우리나라 최초의 위생매립장은 산업폐기물 수거 매립을 목적으로 1985년 10월부터 사용되기 시작한 화성매립장으로서 유해산업폐기물 용출시험 기준이하의 폐기물은 직접매립을 실시하고, 기준이상의 폐기물은 고�형화 처리 후 매립하였다. 매립장 처리시설로는 점토 차수재, 침출은 바닥과 벽면에 점토 1.5m를 포설하며, 증설 매립장에는 바닥과 벽면에 HDPE(고밀도 합성차수막)펌프설비, 침출수 집수관 및 집수정, 침출수 이송 펌프, 그리고 폐기물 매립장비로 구성되어 있다.

그 이후로 국내에서 설치된 가장 높은 매립장으로 난지도 매립장이 있다. 1978년 3월부터 15년간 서울지역에서 발생되는 약 91,972천 m³의 폐기물을 매립 완료하였다. 매립면적은 571,000평이며 매립고는 제1매립지가 EL92~94m, 제2매립지가 97~99m를 나타내고 있다.

수도권 매립지는 국내에서 가장 넓은 매립장으로 인천광역시 서구 검단, 검안동 및 경기도 김포군 양

촌면 해안간척지에 위치하고 있다. 부지 면적은 1,958만 m^2 (592만평)이고 매립용량은 28,081만 km^3 (25,273만톤)이며 매립방법은 저면 점토차수재, 고화처리층, 측면에 HDPE차수막과 유공관 및 자갈층을 이용한 침출수 집배수 시설과 가스포집시설을 갖추고 있다. 매립기간은 1992년부터 약 31년간인 2022년까지 사용예정이다.

국내에서 환경매립기술 변천은 폐기물관리법에 의해 규제를 받기 때문에 폐기물관리법의 변천사와 같은 흐름을 나타내고 있다. 1960년대에는 쓰레기 처리 및 분뇨처리가 주된 현안으로 대두되었던 시절로서 1961년에는 오물청소법을 제정하여 주로 도시지역 오물을 청소하는 개념이었고, 1963년에 공해방지법이 만들어지면서 사업장에서 발생하는 산업폐기물에 관한 관리가 시작되었으며, 당시에는 국가정책 우선 순위가 경제발전에 주어졌던 시대적 상황 등의 요인으로 이들 법률은 대부분 제대로 시행되지 못하였다.

1970~1980년 중반은 환경보존법 시대로 칭할 수 있다. 오물청소법의 '73년 개정법률부터는 "오물"의 개념에 "폐기물"을 포함시켜 사업활동으로 발생하는 오물은 사업자 스스로 처리토록 규정하였으며, '77년에는 공해방지법을 폐지하는 대신 환경행정을 종합적으로 다루는 환경보전법을 '78년 제정하여 환경문제의 대처방향은 종전의 소극적인 방어개념에서 본격적으로 대처하기 시작하였고, 또한 농촌 폐비닐이 사회적 문제로 대두되면서 『합성폐기물처리사업법』이 제정되었고, 이를 집행하기 위해 한국자원재생공사를 설립하였다. 생활폐기물은 여전히 오물청소법에 의해 관리되었으며, 산업폐기물은 새로 제정된 환경보전법에 의해 관리되었다. 그러나 아직은 폐기물을 "처리개념" 중심으로 다루게 되었다.

1980년 중반~1980년 말은 폐기물 관리에 관한 과도기적 시기로 1986년에는 종전의 오물청소법의 생활폐기물내용과 환경보전법상의 산업폐기물 분야를 일원화하여 폐기물관련규정을 통합한 독립된

"폐기물관리법"을 제정하였으며, 이때에 "재활용" 개념이 최초로 도입되었고, '91년 3월에는 폐기물관리법을 전면적으로 개정하게 되었는데, 오수, 분뇨, 축산폐기물의 관리를 따로 떼어내어 오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률을 제정하고, 폐기물관리법에서는 폐기물의 처리에 관한 사항은 전문적으로 다루면서 폐기물관리체계를 대폭 변환하였다. 폐기물의 분류체계를 생활폐기물과 산업폐기물에서 일반폐기물과 특정폐기물로 전환하여 폐기물을 그 성상기준으로 개편하였으며, 폐기물 재활용의 장을 따로 두어 폐기물의 재활용과 감량화에 관한 사항을 강조하였으며, 이외에도 폐기물회수처리비 예치금제와 폐기물 매립지 사후관리제도를 새로이 도입하였다.

1990년 이후는 폐기물 관리의 정착단계로 1992년 12월에 폐기물 발생억제 및 재활용에 관한 규정을 분리하여 새로운 제도와 시책을 추가시켜 별도의 자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률을 제정하였다. 1994년에는 바젤협약에 가입하면서 폐기물국가간 이동에 관한 법률을 제정하였고, 폐기물 분류체계를 유해성을 기준으로 재분류하고, 재활용을 대신하여 Nimby현상에 대처하기 위해 폐기물처리시설주변영향주민에 대한 지원규정을 두어 폐기물처리시설의 설치를 촉진시킬 수 있는 기반을 마련하였다.

한편, 쓰레기종량제가 실시되어 국민생활에 혁신적인 변화가 이루어지는 등 폐기물관리행정의 주변여건이 대폭적으로 전환됨에 따라 1995년 8월 5일 폐기물관리법을 개정하게 되었는데, 1995년 1월 5일 제정된 폐기물처리시설설치촉진 및 그 주변지역지원 등에 관한 법률(1995. 7. 1 시행)로 이관된 폐기물처리시설의 촉진과 주변지역주민지원에 관한 조항들을 삭제하고, 폐기물의 분류를 유해성기준에서 발생원 기준으로 바꾸어 폐기물의 발생지 처리원칙을 확립하는 등 폐기물관리의 효율을 기하도록 하였으며, 폐기물관리정책이 처리·재활용 감량쪽으로 전환되면서 생산·유통·소비 전 단계에

서 폐기물최소화 기틀을 마련하였다.

또한 사업장폐기물배출자에 대한 폐기물의 발생 억제에 위한 노력을 의무화하였으며 폐기물처리시설의 설치를 촉진하고 폐기물처리업의 경쟁력을 제고하기 위한 조치들을 개정 폐기물관리법에 반영하였다.

3. 현황 및 문제점

3.1 준설매립

최근 우리 나라는 국토의 효율적 이용을 목표로 서, 남해안을 2000년대를 향한 신 산업지대로 개발 육성하여 경제성장에 따른 공업용지 및 주거용지와 공항, 항만 등의 늘어나는 수요를 충족하고자 해안 매립을 통한 부지개발이 활발히 이루어지고 있다. 영종도 신공항, 새만금 간척사업, 울춘공단, 아산공업단지, 광양 컨테이너부두, 가덕도 신항 개발 등의 그 예라 할 수가 있다. 우리 나라와 같이 삼면에 해안선을 가지고 국토자원이 한정되어 있는 나라에서는 매립이 유용한 방법으로 선택될 수 있다.

매립의 이상적인 재료는 투수성이 좋고 압축성이 작은 골재이지만 이는 육지에서부터 운반해 확보하는데 비용이 많이 들고 또한 매립공사가 활발해짐에 따라 육지에서 이용할 수 있는 토사가 품귀해짐에 따라 국내 해안 어디서나 쉽게 구할 수 있는 경제적인 재료인 준설점토에 의한 준설매립방법이 많이 사용되고 있다. 그러나 이러한 준설점토는 고풍수비이고 점토를 많이 포함하고 있어서 압축성이 크고 장시간 압밀이 되므로 안정성이 떨어지며 또한 준설과정에서 미세한 점토입자가 대기중의 먼지처럼 수중에 퍼져나가 해역을 오염시킬 수 있다. 우리는 현재까지 많은 매립공사를 수행하면서 매립기술을 축적해왔지만 앞으로 공사여건이 더 나빠지고 환경오염 등의 여러 가지 기술적 문제에 부딪치게 된다는 것을 충분히 예상 할 수 있다. 따라서 이러한 문제점 개선을 위한 노력에 관심을 기울여야 할

것이다.

가. 국내 시공현황

한국은 인구 밀도가 높고 산지가 전 국토의 2/3을 차지하고 있어서 이용할 수 있는 토지가 크게 제한을 받고 있다. 국내에서는 지금의 농어촌 공사의 모체가 된 조선토지 개량협회가 1938년에 설립되면서 수심이 비교적 얇은 서해안을 따라서 본격적인 매립공사가 시작되었다. 그러나, 초기 매립공사는 주로 인력에 의존하였으며 주로 소규모 공사만이 이루어졌다. 1970년대에 들어서면서 정부의 공업화 정책으로 대규모 산업기지 조성이 적극적으로 검토되기 시작하였으며, 마산 수출자유지역에 인접한 적현 기계공업단지에서 비교적 대규모의 매립공사가 최초로 건설부에 의해 시행되었다. 이 공업단지 조성 시에는 매립지반에 대한 연약지반처리로서 페이퍼 드레인 공법이 최초로 도입되었다. 그 후 포항, 울산, 창원, 마산, 인천에 이르는 지역 대부분이 매립공사에 의해서 조성되었다. 또한, 산업발달에 따른 물동량의 증가로 인한 하역량을 처리하기 위해 부산과 인천지역의 항구는 준설과 매립에 의해 확장되고 개발되었다. 현재 시행되고 있는 매립공사는 간척사업, 공업단지 조성, 주거단지 조성뿐만 아니라 쓰레기 매립, 도시기반의 조성, 공항건설에 이르기까지 다양한 목적을 가지고 수행되고 있다.

국내의 경우 해안매립은 목적에 따라 여러 기관에서 수행하고 있으며, 가장 큰 규모의 매립사업은 한국토지공사에서 시행하고 있는 군장지구와 농어촌진흥공사에서 수행하고 있는 새만금개발사업이라 할 수 있다.

나. 매립기술현황

일반적인 준설 공법으로서는 직접준설방법, 중계펌프(Booster)방법, 2중 준설방법, Barge Overflowing방법, Cyclone방법, 토운선 운반방법, 자항식 호퍼 준설선 방법 등이 있으며, 직접준설방법 중 통제매립방법은 배송된 준설토로 매립할 때

격리된 지역에 통제를 실시하여 배출시킴으로써 입경이 작은 세립토를 별도 분리하여 유출 시킴으로써 매립토량의 개량을 기대할 수 있다. 중계펌프(Booster)방법의 경우, 배송거리가 장거리인 경우 이용되는 방법으로 국내에 이 방법이 도입된 적은 거의 없다. 또한 매립지에 준설토를 배출할 때 원심력을 이용하여 조립토와 세립토를 분리하여 조립토만 매립하고 세립토는 별도 지정된 곳에 투기가 가능한 Cyclone 공법이 낙동강 하구언 공사에서 사용한 경험이 있다. 국내 준설업체 보유 준설선의 호퍼 용량은 9,200m³에 달하며 호안까지의 접근성만 용이하게 확보된다면 자항식 호퍼 준설선 방법은 대규모 매립에도 적용이 가능한 공법이다.

매립의 경우, 인천항, 울촌 등의 국내 대부분의 현장에서는 준설토 투기완료 후 산토에 의한 매립이 실시되는 공법을 적용하여 사용하고 있다.

다. 준설매립 공사시 문제점

가) 준설매립에 의한 부지조성 관련 문제점

준설매립에 의하여 형성된 지반은 일반적으로 퇴적형성 연대가 짧기 때문에 지반이 덜 고결되어 강도가 약하고, 준설과정에서 입자가 분급되어 같은 크기의 입자끼리 한 곳에 모이려는 경향을 가지고 있다. 특히, 토출구로부터 거리가 멀어짐에 따라 세립토가 집적되어 부분적인 초연약지반이 형성되기도 한다. 이러한 지반에서 터파기를 실시하는 경우 지반 자체의 강도부족으로 터파기 사면의 유동 및 저면 지반의 팽창이 발생하게 된다.

또한 해저지반은 육상지반과는 달리 해수와 그 운동, 퇴적양식의 흡구조에의 영향, 급속퇴적지에서의 압밀진행중인 지반형성, 쇄굴, 파랑에 의한 영향, 전해질을 가진 간극수 등에 의해 많은 영향을 받게 된다. 이러한 해저지반의 특이한 공학적 특성 때문에 이들 지반과 관련된 건설공사에 있어서 많은 문제점을 안고 있다. 매립대상지역에 점성토를 준설 매립하는 경우, 조성된 지반은 극도로 연약하여 일반적으로 준설 전에 60~80%의 함수비를 가

지던 지반이 준설과정 중 혹은 준설매립 직후 300%정도의 함수비를 가지게 되고, 이러한 지반은 거의 지지력을 가지지 못하는 슬러리 상태가 된다. 매립공사 종료 후 수개월 방치하면 함수비는 점차로 감소하지만 건조수축이 진행되는 부분은 지표면 부근 20~60cm 정도에 제한되어 나타난다. 수위가 지표면 부근에 존재하는 경우에는 점토층의 함수비는 매립 후 상당시간 경과 후에도 100%를 훨씬 상회하는 값을 갖는다.

준설매립에 있어서 주축인 방조제 공사 중 최종 체절공사시, 체절구간이 축소될수록 조류속도는 증가하고, 이로 인하여 축조재료와 원지반이 유실되어 막대한 피해를 입으므로 최종 체절공사는 해안 공학적인 문제점을 포함하여 여러 가지 사항이 함께 고려되어야 한다. 최종 체절구간의 해상 저면이 암반이나 각종 수리변화에 유지될 수 있는 단단한 지반인 경우에는 아무런 문제가 없으나, 해상 저면이 사질토 또는 점성토인 경우에는 체절시의 조석류에 의한 유실, 세굴, 침하, 파이프 등이 발생할 수 있다.

또한 준설매립공사 설계단계에서의 준설물량을 산정하기 위한 해석시, 현장여건과는 다소 차이가 있는 경험식을 사용하고 있는 실정으로서 이에 대한 많은 연구가 필요하다.

나) 환경측면에 관한 문제점

준설매립공사시 준설 후 발생된 탁류와 매립지에서 배출된 여수의 부유사로 인하여 담수호에 오탁수가 발생되며 또한 갯벌 생물의 생산기능, 생태학적 기능의 가치에 대한 인식이 고조로 인하여 갯벌의 가치가 알려지고 많은 환경단체들이 갯벌 보존 운동에 참여함으로써 환경에 대한 문제를 많이 제기하고 있다.

최근 대규모의 매립사업중의 하나인 새만금 간척사업의 경우가 이러한 환경문제 측면에 대한 문제점제기로 인해 많은 관심을 모으고 있다. 새만금 간척사업의 경우 대단위의 매립사업으로서 우리나라

의 현실적인 측면에서의 국토의 효율적 이용과 갯벌지역 주민들의 삶인 환경측면에서 머뭇거리는 상황이라 할 수가 있다.

국내에서도 준설패립에 의한 많은 지반조성 공사가 진행되고 있으며, 연약지반에 대한 안정처리를 위해 많은 공법이 도입되어 적용되고 있다. 그러나, 이러한 공법의 대부분이 외국으로부터 도입되었으며 현재도 많은 기술인력이 일본이나 북유럽으로 기술도입을 위해 시찰을 하고 있는 실정이다. 이렇게 많은 기술을 배우고 도입하는 것도 중요하지만 그러한 기술이 국내의 여건에 적합한가를 충분히 검토한 후에 적용하는 것이 필요하리라 본다. 특히, 준설패립공법을 이용하여 부지를 조성하는 경우, 준설패립에서 투기 및 지반의 안정화 처리단계까지의 전과정에 있어서 아직도 외국의 기술을 그대로 답습하고 있는 형편이다. 따라서, 시공의 정확성과 경제성을 도모하기 위해서는 국내 실정에 맞는 공법 및 기술을 개발해야 한다. 또한, 최근 제기되는 환경문제로 인해 준설패립 공법 적용 시 이를 고려한 설계를 많이 고려하고 있지만 환경친화적인 국토의 효율적 이용을 극대화하기 위하여 더 많은 관심과 연구가 수행되어야 할 것이다.

3.2 환경매립

환경매립은 지반환경공학을 근간으로 하여 크게 폐기물매립 및 지반오염을 다루는 분야라고 할 수 있다. 환경매립분야는 주로 지반공학과 환경공학이 접목된 분야로서 기타 지질학, 광물학, 토양학, 수리학, 지하수학, 지구과학, 화학, 농학, 생물학 분야와도 많은 연관성을 가지고 있다.

환경매립분야에서 다루는 영역은 지반환경 조사 및 평가 분야, 폐기물매립 분야, 토양 및 지하수 오염 분야로 분류해 볼 수 있다. 지반환경 조사 및 평가 분야에서는 매립부지 조사, 오염지반 조사, 오염시료 채취, 폐기물 및 오염토의 실내 및 현장시험, 각종 모니터링, 오염도 분석 및 평가 등의 내용을 다룬다. 폐기물매립 분야에서는 매립지 부지선정,

기초지반 처리, 제방 및 옹벽의 안정, 매립사면 안정, 매립층의 공학적 특성, 매립지반의 침하 및 개량, 매립시설의 설계 및 시공, 차수재의 공학적 특성, 매립시설의 구조적 안정, 매립시설의 유지관리, 폐기물의 지반공학적 활용, 매립부지의 재활용 등의 내용을 다룬다. 그리고 토양 및 지하수 오염 분야에서는 흙과 오염물질의 상호작용, 오염물질의 흡착특성, 이동매개변수 산정, 오염물질이동 모델링, 불량매립지 복원, 오염토양 복원, 오염지하수 복원 등의 내용을 다룬다.

우리 나라는 1980년 중반기를 전후로 하여 폐기물매립지가 비위생매립지에서 위생매립지로 전환되었다. 따라서 최근에 건설되는 폐기물매립지는 위생매립지가 대부분을 차지하고 있다. 그러나 위생매립지 건설시에는 지형조건, 폐기물종류, 매립방식 등에 따라 다양한 기술이 적용되어야 하나 우리나라는 아직까지도 단편 일률적인 기술이 적용되고 있는 실정이다.

가. 폐기물 매립지

특히, 국내는 지형적인 특성으로 인하여 산지와 해안지역에 매립지를 건설하는 경우가 많아 일부 매립지에서 차수막파손, 침출수누출, 지반침하 등의 문제가 발생하고 있다. 산지매립지는 사면의 경사가 급하여 차수막의 마찰저항 및 앵카에 문제점이 발생하고 있다. 폐기물 매립성토체는 비균질성이 크고 장기간에 걸쳐 부패하는 현상이 일어나기 때문에, 일반 흙 성토체와는 응력상태, 구성성분, 물리적 특성, 역학적 특성, 그리고 압축특성 등에 있어서 다른 공학적 성질을 지니게 된다.

폐기물은 일반 흙보다 입자가 크고 불규칙하다는 특성을 가지고 있으나 국내 폐기물에 대한 지반공학적 특성이 제대로 규명되고 있지 않다. 그리고 과거에 건설된 매립지는 매립지 바닥에 차수막을 설치하지 않거나 매립지내에서 발생하는 침출수를 정화시키는 처리장을 설치하지 않은 비위생매립지가 대부분이다. 국내의 전 국토 산하에 수 백 개가 산

재하고 있으며 정확한 숫자조차도 파악되지 못하고 있는 실정이다. 이러한 비위생매립지는 침출수의 누출로 인하여 주변 토양, 지하수, 하천 및 생태계에 나쁜 영향을 미치고 민원의 대상이 되고 있다.

우리 나라는 위생적인 폐기물매립장의 건설경험이 10여년 이상이 되어 이제는 설계 및 시공기술의 수준이 많이 향상되었다. 그러나 매립지 설계 및 시공시에 지반환경분야에서 관심이 되는 항목인 사면 안정 해석, 차수재 설치, 제방안정성 검토에 있어서 중요한 파라미터로 사용되고 있는 폐기물단위중량, 차수재 마찰특성 등에 대한 값이 외국의 것을 그대로 사용되고 있다.

국내 매립장에 사용되고 있는 차수재로서 점토, 벤토나이트혼합재, 지오멤브레인, GCL(Geosynthetic Clay Liner) 등이 사용되고 있다. 그리고 매립장에 설치된 지수막의 누수를 탐사하기 위하여 개발된 DDS(Damage Detection System)시스템이 일부 매립장에 적용되고 있다.

전국적으로 산재하고 있는 비위생매립지는 환경부에서 국가적인 차원에서 재정적인 지원을 하여 연차적으로 복원사업이 진행되어가고 있다. 비위생매립지의 복원기법으로는 차단공법, 굴착이송공법, 선별공법 등이 적용되고 있다.

나. 폐기물 재활용

폐기물은 최종적으로 인간이 수용·처리해야만 한다. 따라서 매립처분으로서 수동적으로 폐기물을 수용하는 것이 아니라 지반재료로 폐기물을 적극적으로 유효하게 이용하는 것이 필요하다. 이러한 것은 지반환경공학에서 하나의 중요한 분야가 되고 있다. 그러나 우리 나라는 폐기물의 재활용율이 매우 낮은 상태에 있다.

지반재료로 재활용이 가능한 폐기물에는 건설잔토, 석탄회, 소각회, 폐타이어, 슬래그, 슬러지, 폐지 등이 있다. 지반분야에서 활용될 수 있는 분야로는 도로재, 성토재, 차수재, 벽돌, 보드, 포장재, 뒷채움재 등이 있다. 이러한 폐기물의 재활용에 대한

연구개발이 국가프로젝트를 통하여 활발하게 진행되고 있고, 일부 현장에서 실제 적용하고 있다.

다. 매립부지 재활용

폐기물 매립지반은 일반 토사지반과는 다른 성질을 갖고 있기 때문에 부지이용에 있어서 폐기물에 의한 공학적 및 환경적 문제에 대한 대책을 강구할 필요가 있다. 쓰레기 매립지 위에 축조된 구조물 중에는 구조물 축조 전에 쓰레기를 치환하거나 쓰레기를 완벽하게 안정처리 하여 큰 문제가 없는 경우도 있으나 특별히 안정처리나 보강처리를 하지 않은 경우에는 지반침하, 가스발생, 지하수오염, 기초 파일부식 등 많은 문제점이 노출되고 있다. 따라서 쓰레기 매립지 내에 구조물을 축조할 경우에는 쓰레기 지반의 특성파악, 예상 침하량 산정, 기초구조물 보강, 쓰레기 제거 또는 연약한 쓰레기 지반 안정화 등에 대한 대책이 강구되어야 한다.

일반토양의 경우에는 상부건물의 하중에 의하여 즉시침하와 압밀침하가 발생하나 쓰레기지반의 경우에는 상기의 2가지 침하 외에 쓰레기의 생화학적 분해에 의한 부패침하가 추가적으로 발생하게 되어 일반토양보다는 상대적으로 침하량이 커지게 된다. 또한 통상 매립된 쓰레기의 성상이 고르지 않기 때문에 발생하는 침하량이 국부적으로 상이하여 부등침하가 발생하게된다. 따라서 상부구조물에 전단과 괴를 일으키는 원인이 될 수 있다.

또한 쓰레기의 분해에 의한 침출수 및 가스의 생성 등도 매립물의 체적을 감소시켜 침하를 일으키는 직접적인 원인이 된다. 이러한 현상 즉, 쓰레기의 분해, 침출수 및 가스의 생성 등은 시간 의존적이기 때문에 건물축조 초창기에는 크게 문제가 되지 않으나 장기간 시간이 경과됨에 따라 구조물에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 일부 폐기물 매립지반 재활용 지역에서 지반환경공학적 문제점이 발생되었다.

국내에서 폐기물 매립지반의 재활용 사례로는 서울시 상계동, 구의동, 대전시 갑천변, 광주시 첨단

기지, 부산시 화명동, 경기도 안양평촌 매립지 등을 들 수 있다. 이들 매립지는 주택, 공장, 상가, 도로, 농수산물센터 등으로 재활용되었다. 현재에는 난지도 매립지를 골프장 및 생태공원으로 재활용하는 사업이 한창 진행 중에 있다.

라. 오염부지 조사 및 평가

건설공사를 대상으로 하는 재래지반공학에서는 주로 토립자, 지지력, 투수성 등 흙의 물리 역학적 특성과악에 대한 지반조사 및 토질조사가 실시되었다. 그러나 지반재해와 환경오염 등을 대상으로 하는 지반환경공학에서는 흙의 물리·역학적 특성보다는 간극수 및 가스의 조성과 화학적 특성, 오염특성, 그리고 미생물 등 흙의 화학생물학적 특성 파악에 대한 지반조사가 실시되어야 한다. 그러나 국내에서는 오염지반 조사 및 평가에 대한 인식 및 기술이 매우 부족한 실정이다.

국내에서는 일부 주유소 및 비위생매립지를 대상으로 오염지반조사가 수행되고 있다. 그러나 조사 장비 및 기구 등이 모두 외국에서 수입하여 사용되고 있는 실정이고, 조사 및 분석 항목도 매우 단순하다. 외국에서는 현재 오염전문조사용 Geoprobe, 환경콘 및 물리탐사기법이 개발되어 실용화되고 있으며, 조사 및 분석항목도 토양뿐만 아니라 지하수, 가스, 침출수 등 매우 다양하다. 그리고 물리탐사기법을 오염지반 탐사에 적용하여 광역적인 오염탐사에 활용되고 있다.

마. 오염지반 복원

인간의 건강에 중대한 영향을 끼치는 대표적인 물질로는 폐기물 카드뮴, 시안, 유기인, 납, 6가크롬, 비소, 수은, 동, PCB 등을 들 수 있다. 이들 이외의 물질 중에서도 흙 속에 과도하게 농축되어 있는 물질일 경우에는 인간에 나쁜 영향을 미칠 가능성이 있다. 최근에는 공업제품의 주재료 및 보조재료, 화공약품, 농약 등 많은 종류의 인공화학물질이 제조되어 우리 생활환경에 공급되고 있다. 이들 화

학물질은 모두 잠재적인 흙의 오염물질이라고 할 수 있다.

지반오염원으로는 정화조, 웅덩이 등과 같은 오염물질 방류조, 매립지, 야적장, 지하탱크 등과 같은 처리 및 처분장, 지반 그라우팅과 같은 지반내 화학제 주입공사, 지하수 채취용 폐공, 하수관, 송유관, 운송차량 등과 같은 운송 및 배관시설, 광산, 산업 및 가축폐수, 농약 및 비료살포 등과 같은 오염물질의 배출 및 살포, 인간활동에 의한 자연적인 오염 등이 있는데 이와 같은 오염원에 대한 방지대책이 부족한 실정이다.

지반공학적인 측면에서 오염물질이 지반에 유입되면 지반의 물리학적 및 공학적 특성이 변하게 된다. 특히 액성한계, 소성한계, 전단강도, 압축성, 투수성 등이 변하게 되는데 이에 대한 연구 및 대책이 미흡한 실정이다.

지하굴착 공사를 효과적으로 수행하기 위해서 지하수를 배제하거나 지하수위를 저하시키는 경우가 있다. 이를 위하여 통상 심정 등의 지하수위 저하공법이나 약액주입 등의 지수공법이 적용되곤 한다. 이의 적용결과 지하수위 저하, 지표수 및 해수의 유입, 중금속과 같은 토양내 이온물질의 용출에 의한 오염, 약액에 의한 오염 등이 발생되고 있다.

현재 국외에서는 지반환경 복원기술은 매우 다양한 형태로 개발이 되어 현장에 적용되고 있다. 이들 기술의 종류를 처리지역을 대상으로 지중처리(In-situ)기술과 지상처리(Ex-situ)기술로 구분된다. 현재 연구되고 있는 지반환경 복원기술의 종류에는 표면제어, 굴착제거, 격리 및 차폐, 공기 또는 증기에 의한 세척, 진공추출, 지중고결, 수압파쇄 등의 물리적 방법, 산화, 중화, 이온교환, 활성제 등의 화학적 방법, 양수후 처리, 활성제 세척 등의 물리 화학적 방법이 있다. 그리고 저온, 고온, 열분해 등을 이용한 열적 방법, 그리고 호기성, 미생물 이용 등의 생물학적 방법이 있으며 전기삼투, 전기이동 이론을 이용한 전기적 방법 등이 있다.

국내의 경우에는 몇 개 기관에서 초보적인 연구

가 진행되고 있고 현장에서 파일럿 규모로 적용되고 있는 실정이다. 지반오염도가 심한 일부 주유소 및 군주둔지에서 SVE(Soil Vapor Extraction) 공법, 미생물공법 등의 공법으로 복원작업이 진행되고 있으나 오염물질의 제거효율이 낮은 상태에 있다.

4. 향후전망

4.1 준설매립

준설매립 기술의 향후 발전전망 및 연구 필요 분야에 관하여 준설매립공법, 준설장비, 매립지반 처리기술, 준설토의 역학적 거동 등의 사항에 대하여 다음과 같이 예상할 수 있다.

가. 자연환경 친화적인 공법

준설시 부유하는 토사와 투기장에서의 월류수 중에 포함된 부유물로 인한 해수의 오탁방지를 위한 기술개발이 필요하며, 점토분이 많은 토사의 준설시 투기장에 투기하거나 매립지에 매립할 경우 침전과 자중압밀 및 표층의 안정에 상당한 기간과 비용이 소요되므로 외해에의 투기의 필요성이 증대되고 있으며, 외해 투기시의 환경에 미치는 영향평가 및 악영향을 저감시키는 연구가 필요하다.

또한 환경친화적 양질의 매립토를 확보하는 방안으로써 도류제의 설치등을 통하여 환경에 영향을 덜 미치는 곳에 양질의 토사의 퇴적을 유도하여 준설토로 사용하기 위한 기술개발이 전망된다.

준설매립에 의하지 않는 부상식 인공섬이 군사목적으로 개발되고 있으며, 준설매립으로 인한 자연환경의 영향을 줄일 수 있기 때문에 민간용으로 사용될 수도 있을 것이다. 특히 부상식 방파제는 방파제 하부로 해류의 흐름이 가능하므로 항내의 오염을 방지할 수 있으며, 하부 지반이 연약지반일 경우 종래의 방파제에서 발생할 수 있는 활동에 대한 위험이 없으며, 연약지반과 치환되는 과도한 사석재

로 인한 공사비증가에 비하여 경제적이 될 수 있으며, 항만의 확장이나 이동시에 재활용될 수 있으므로 군사용으로 개발된 이래 민간용으로도 사용이 확대되고 있다.

나. 수중작업의 Robot화 및 무인화

수중작업은 조류나 파랑 및 기상의 영향을 많이 받으며 작업능률이 떨어질 뿐 아니라, 장시간 작업시 압축공기중의 질소가 혈중에 액화하였다가 압력이 감소하였을 때 기화함으로써 발생하는 잠수병의 위험이 있다. 따라서 준설 전후의 지반상태의 조사와 수중에서의 사석면의 정리, 케이슨의 위치조정 등의 작업에는 비디오 카메라가 장착된 원격 조정 가능한 로봇이 개발되어 사용될 것이다. 작업자의 건강위해저감 및 장비의 첨단화에 따른 정밀 시공 측면에서 새로운 장비 개발에 많은 노력을 기울여야 할 것이다.

다. 장비의 개발

매립에 적합한 양질의 사질토가 연안에 가까운 곳에 없을 때, 또는 연안에 가까운 점성토를 사용할 경우 침강, 압밀에 긴 기간과 비용이 소요되므로 외해에 투기하고, 먼 곳의 사질토를 준설하여 사용하고자 할 때는 현재의 준설선에 비하여 대심도 준설이 가능하고 대용량인 준설선이 경제적이 될 수 있으며, 이러한 장비가 개발되고 있다. 종래의 준설장비는 최대 준설깊이가 30-40m 정도, 호퍼의 용량은 10,000m³ 정도이었으나 최근에는 준설가능깊이 100m이상 호퍼의 용량 80,000m³ 정도의 준설선이 제작되고 있다.

수심이 깊은 해저지반의 조사를 위하여 작업대가 해상으로부터 들어 올려지는 SEP(Self Elevating Platform)이나 Scaffold 식 작업대가 사용되어 지반 조사의 신뢰성을 높이고 다양한 원위치 지반시험이 시도되고 있다. 탄성파와 음파탐사에 의한 탐사법을 사용하여 개략의 지층구성상태를 빨리 알 수 있으며, 수심이 대단히 깊은 지역은 무인으로 원격 조정

되는 시추기나 관입시험기가 해저에 내려져서 지반 조사를 수행할 수 있을 것이다. XDP(Expandable Doppler Penetrometer)는 처음 군사용으로 개발되었지만, 해저지반의 심도별 내부마찰각과 점착력 등을 빠르게 알기 위하여 사용될 수 있을 것이다.

이와같이 정밀한 지반조사에 바탕을 둔 설계의 실시와 효율적인 준설매립 장비의 도입 및 사용으로 경제적인 공사의 진행은 향후 지반기술자가 지속적인 관심을 기울여야 할 부분이다.

라. 표층 및 심층 처리기술의 개발

준설토의 매립 후 장비의 진입을 위한 다양한 표층처리 기술이 개발될 것이다. 이러한 기술에는 고함수비 상태의 지반을 파괴시키지 않고 모래를 포설할 수 있는 Sand Spreader, 표면에 배수 Trench를 파서 배수와 건조를 촉진시키는 방법, 고화제와 혼합하는 방법, 수평 드레인 방법의 개선 등이 있을 것이다. 또한, 고함수비 매립토의 표층처리방법의 하나로써 침전촉진제나 고화제가 개발되어 있으나 높은 비용 때문에 많이 사용되지는 않고 있지만, 비용이 저렴하고 환경을 오염시키지 않으며 장기간 안정적인 신물질의 개발이 필요하다.

심층처리 기술로써 현재까지 드레인 공법, 모래다짐공법 등 많은 발전이 이루어져 왔으며, 환경오염을 방지하기 위한 천연섬유 드레인 재료에 대한 연구가 계속되고 있다. 압밀을 촉진시키기 위한 재하 방법도 단순한 토사성토에서 진공압밀공법, Sheet에 물을 담아 재하하는 법 등이 연구되고 있다.

마. 침강압밀 특성의 규명과 해석 모델의 연구

고함수비를 지닌 준설매립토의 특성으로 과도한 침강·압밀 침하량과 매우 낮은 전단강도의 특성을 지니고 있기 때문에 그에 대한 설계에서 기존의 압밀과 전단강도 이론으로는 그의 거동을 예측하기가 어려운 상황이다. 따라서, 고함수비의 매립토의 침강, 자중압밀 및 상부하중에 의한 압밀특성에 대한 시험과 수치해석 모델의 개발에 대한 연구가 필요

하며, 실물크기의 시험이나 원심 모형 시험 등을 거쳐 그 특성이 규명되고 현실과 잘 부합되는 모델의 개발이 필요하다. 우리나라 낙동강 하구의 퇴적토는 그 심도가 30-80m에 이르고 있으며, 그 상부에 매립하였을 때 실제 발생한 침하량이 예측 침하량의 150%이상 300%에 이른 경우도 있어 여러 가지 기술적, 경제적인 문제를 야기하고 있으므로, 이에 대한 압밀특성의 규명과 실제와 가까운 침하량 예측방법의 연구가 시급히 필요한 사항중 하나이다.

바. 측량 및 계측기술의 개발

준설선, 작업선의 위치측정이라든가 준설단면의 형상 측량 등에 위성을 이용한 GPS(Global Positioning System)이 사용되어 비용절감과 정밀 시공에 기여하고 있다. 매립지의 침하량, 간극수압 등도 무선모뎀이나 PCS전화를 이용하여 실시간으로 계측하여 필요시 신속하게 대응할 수 있는 체계를 갖추어 나가고 있다. 고함수비의 매립토의 침강 압밀과정을 측정하기 위하여 방사능을 이용한 RI meter가 응용될 수 있다.

4.2 환경매립

매립지반 조사, 차수재, 매립지의 안정성, 오염원 확산 모델링 기법, 지반정화 기술, 폐기물 및 매립지반의 재활용 기법 등의 환경매립 기술에 대한 향후 발전전망을 다음과 같이 예측하여 보았다.

가. 환경매립관련 지반조사

환경매립 관련 지반조사의 경우에는 일반 지반조사의 경우와 같이 지반의 지질층서와 종류, 지하수위 조건, 공학적인 특성을 규명하는 것 외에도 매립된 오염물의 성분과 분포정도를 파악할 목적으로 수행되어지게 된다. 이러한 오염물은 기체와 액체, 고체의 3가지 상태 모두로 존재 가능하고 이들의 성분은 공간적인 변화뿐만 아니라 시간과 해당지반의 수리 지질적인 특성에 따라 변화할 수 있으므로 정밀한 지반조사가 요구되어 한번 조사된 곳도 시간이

경과함에 따라 반복적인 조사가 필요하게 된다.

반복적인 상세한 지반조사의 필요성과 오염된 지반이나 쓰레기가 매립되어진 지반의 넓이가 클 경우에는 그 조사에 많은 경비와 인력, 시간이 소요되게 될 것인 바 이를 경제적이며 효율적인 방식으로 수행할 수 있는 지반조사 방법이 요구된다. 이에 대한 해결책으로 지구물리탐사기법이 많이 응용되고 있으며 콘관입시험장치(CPT)의 필요에 따라 다양한 센서를 부착하여 깊이에 따른 연속적인 다양한 지반특성을 찾는 기법의 개발, 지하수와 토양의 샘플링 방법에 대한 지속적인 개량이 이루어지게 될 것이다.

나. 합성섬유재의 매립시설재료의 이용

여러 문제점 중 차수재료에 대한 사항을 해결하기 위하여 나타나고 있는 시공법의 예를 지오멤브레인과 벤토나이트의 합성재료, 지오텍스타일과 벤토나이트의 합성재료인 GCL(Geoyntnetic Clay Liner)의 등장이다. 이러한 재료들은 현장에서의 합성차수재의 시공이나 흙차수재 확보 및 다짐에 소요되는 비용과 공기를 절감하면서 폐기물 관리법의 요건을 만족시키는 재료로서 제시되고 있고 이들에 대한 장단점이 지속적인 연구를 통하여 밝혀지며 개선되어 가고있는 추세이다.

최근에는 유기물이 섞인 스라임에 박테리아를 번식 축적함으로써 흙재료의 폐색을 유도하는 Biopolymer라는 재료를 보고하고 있으며 약 6개월 동안의 실내 삼축실험을 통하여 약 100배의 투수계수 감소, 약 50%의 전단강도 증가를 보고하고 있다. 향후에는 이와 같은 최신의 첨단재료 및 생화학적 지식을 동원한 시설재료, 설계, 시공기법의 발전이 예상된다.

다. 매립지 관련 재료의 동적 특성

도심지 인구 밀집화와 산업화가 진행됨에 따라 지진이 발생하였을 경우 많은 인적 물적 피해가 발생하고 있다. 폐기물 매립지의 경우도 지진발생으

로 인하여 성토제방이나 옹벽, 차수층, 집수층 등의 시설이 파괴되었을 경우 주변 환경의 심각한 파괴가 예상될 수 있으므로 지진 발생시의 매립지 동적 거동 특성을 파악하고 이를 고려한 응력변형 해석을 실시할 필요가 있다. 또한 플라이애쉬와 같은 소각재의 경우 느슨하게 매립된 상태에서 액상화가 발생할 가능성이 있으므로 앞으로 이에 대한 많은 연구가 진행될 것이다.

라. 오염물 이동 모델링

오염된 지반의 현장 상황과 오염물의 미래의 거동을 예측하기 위해서 오염물 이동을 정밀하게 모사할 수 있는 모델링 기법의 개발은 매우 필요하다. 지반 공학분야에 있어서 많이 사용되고 있는 결정론적 방법(Deterministic Approach)은 지반이 갖는 수리적 특성의 불명확성을 잘 나타낼 수 없어 오염물 이동성의 정확한 모사가 어려웠다. 이러한 점을 보완하기 위하여 최근에 확률론적 방법(Probabilistic Approach)이 제시되었으며 이들을 포함하여 지반의 불명확성을 정확히 예측할 수 있는 기법들이 연구되어질 것이다. 또한 현장조사의 비용소요가 많은 것을 고려하여 원심모형 모델링(Centrifuge Modelling) 기법이 많이 적용된 것인 바 이 기법은 실제 현장에서 장기간에 걸친 오염물 이동 현상을 단시간에 규명하는 연구 등에 적용되고 있다.

마. 지반정화

토양 및 지하수체의 오염확산을 막기 위해서 기존의 토양 및 지하수내에 존재하는 오염원을 제거해야 한다. 오염된 매립지나 오염원의 제거를 위하여 많이 적용되고 있는 방법으로 중금속이 많이 함유되어진 폐기물을 고형화·안정화(Solidation/Stabilization)하는 방법과 농도가 높은 유해한 유해성 폐기물을 소각하여 처리하는 기법 이외에도 토양진공 추출법, 열 탈착법, 생물학적 기법 등 새로운 기법들이 사용되고 있다. 현재까지는 이러한 여러기법들이 효과가 있는 오염원, 경제성, 이들 기

법을 사용함으로써 토양 및 지하수에 미치는 2차효과 등이 규명되어져 가는 단계에 있다. 미국내 많은 Superfund Site에서는 정화기법으로 각 기법의 효과를 확신할 수 없어 2~3가지 기법을 혼용하여 실험하고 있으며 향후에도 이러한 기법의 다양한 적용사례와 새로운 창의적인 기법들이 나타날 것으로 기대된다.

한편 오염지반 정화기법을 가장 많이 적용하여 본 미국의 경우 다음과 같은 세가지 사실에 직면하게 되었다. 첫째 오염부지 때문에 발생하는 자국민의 건강위해는 미정부가 생각하는 것보다 그다지 심각하지 않은 것으로 알려져 있다. 둘째 오염된 지하수와 토양의 영구적인 정화목표를 충족시킬 수 있는 정화방법은 몇 개 되지 않았으며 특히 오염대수층의 경우 음용수 수질기준에 부합되도록 복원하고자 한 시도는 예외없이 실패하였다. 셋째 고비용, 저효율의 인공정화를 유도하기 위하여 제정된 CERCLA법을 엄격히 적용할수록 소요되는 정화비용 중 최소 50%정도는 정화와는 관련없는 법률소송을 위한 변호사 경비로 지출되는 상황이 발생하였다.

이러한 사실과 아울러 오염된 토양내의 유독성 오염물질은 인공적이 정화를 가하지 않아도 자연저감(Natural Attenuation)이라 불리는 자연정화작용에 의하여 훨씬 빠르고 완벽하게 정화되고 있다는 사실이 알려지게 되었다. 따라서 향후에는 지반환경이 저감시킬 수 없는 오염물질만을 골라서 인공적인 정화법을 이용하여 정화하고 이외의 물질은 자연저감에 맡기는 방법이 적용될 것으로 보여진다. 이를 위하여 자연저감의 기초이론과 화학반응에 영향을 주는 물리, 화학, 생물학적인 제어기법, 자연저감에 의하여 오염된 지반이 정화된 사례 등에 대한 연구가 진행되어갈 것으로 보여진다.

바. 폐기물과 폐기물 매립지반의 재활용

인간의 활동과 산업시설로부터 발생하는 폐기물을 재활용하려는 시도가 끊임없이 시도될 것이다.

예를 들어 건설공사장에서부터 발생하는 잔토나 콘크리트 블록의 잔해 등은 이미 도로포장의 보조재료로 활용되고 있으며 향후 다양한 토목구조물의 흙과 암석의 보조재료로서 사용성을 넓혀 갈 것이다. 화력발전소나 도시폐기물 소각장으로부터 발생하는 소각재, 주물공장으로부터 발생하는 폐모래 등은 도로 노반재나 옹벽의 뒷채움재 매립지 차수재와 복토재 등으로의 활용가능성을 타진하게 될 것이다.

우리나라와 같이 국토가 협소한 나라들은 사용이 끝난 매립지 활용을 고려하는 경향이 많고 실제 활용사례도 있다. 현재 국내에는 사용이 종료된 폐기물 매립장이 서울의 난지도 매립장을 비롯하여 800여 곳에 달하며 김포 수도권 매립장과 같이 현재 대단위로 조성되어 매립이 수행되고 있는 곳도 향후 20년 정도이면 매립이 종료되고 그 활용여부를 고려하게 될 것이다. 투기형이 대부분인 이러한 사용종료 매립지를 방지하면 주변 지반환경이 오염되는 것을 방지하기 위하여 경제적이고 효율적인 토양오염 방지장치를 마련하여야 하며 이를 위해서는 매립지가 안정화되는 동안 매립지내에서 일어나는 침출수와 가스발생 메카니즘, 폐기물의 침하, 강도 등 지반공학적 특성에 관한 보다 많은 연구가 진행되게 될 것이다. 폐기물 매립지를 건설부지로 활용할 경우에는 폐기물의 공학적 특성에 대한 보다 많은 이해와 더불어 이러한 지반을 개량하는 공법들에 대한 연구도 병행되어야 할 것이다.

5. 결론

새천년을 맞이하여 국내 준설매립과 환경매립 기술의 발전을 도모하기 위하여 그의 역사적 기술 변화에 대하여 고찰하여 봄으로써 기술변천의 흐름을 알아보고 현행의 시공과 설계 현황과 문제점을 진단하여 개선점을 확인함으로써 같은 시행착오를 반복하여 겪지 않도록 지반기술자의 공감대 인식을

할 필요가 있다. 매립기술이 향후에 나아가야 할 방향과 중점적으로 관심을 두어야 할 사항들에 대하여 전망하고 그에 대한 대비를 하는 것은 향후 기술 발전의 토대를 마련할 수 있는 계기가 될 수 있을 것이다.

최근의 적극적인 해안개발의 필요성에 따른 해상 점토의 준설패립시 고품수비의 연약점토의 거동분석 및 예측이 매립공사의 설계에서 매우 중요한 사항이며 적정한 연약지반 처리공법의 제시와 그에 따른 지반의 안정에 관한 사항 등은 국내의 설계기술면에서 많은 발전이 있으나 아직 개선의 여지가 있다. 또한 준설패립 시공기술은 장비의 자동화 및 대형화에 따라서 많은 발전을 이루었으나 매립공사와 연계한 방조제 공사시의 안정성 확보 여부와 관련한 해안공학적 문제점에 대하여 주의를 기울여야 하며 대규모 매립공사시 국토의 효율적 이용과 환경보존의 측면을 고려한 자연환경 친화적 공법적용에 많은 관심을 가져야 할 것이다.

환경매립 기술은 최근의 지반환경문제에 대한 지반공학 관련 기술자 뿐 아니라 전국민의 관심의 초점인 바 그에 따라 설계 및 시공에서 많은 발전을

이룬 바 있다. 1980년 중반기를 전후한 폐기물 매립지의 위생매립지화에 따라 그의 현장여건에 따라 다양한 매립기술이 적용되어야 하나 일률적인 매립공법이 적용되고 있는 현행의 문제점을 필두로 하여, 폐기물 및 매립부지의 재활용, 오염부지 조사 및 평가, 오염지반 복원기법 등 환경매립기술과 관련하여 향후 개선의 필요가 있는 사항이다.

토양오염에 따른 국민 보건상 위해요소 뿐 아니라 오염된 토양을 회복 시키기에는 매우 긴 시간과 막대한 비용 지출에 따른 국가 경제 손실이 쉽게 예상되는 바 환경매립시설 설치 및 운영에 대한 정부의 보다 적극적인 재정지원, 연구기관의 끊임없는 매립시설 설치 기술 및 매립 재료 개발에 관한 연구, 시공사의 철저한 시공 및 품질관리가 요구된다. 깨끗한 자연 환경을 후손에게 물려주는 역할을 실무에서 맡은 지반기술자로서 책임과 긍지를 가지고 그의 기술 발전에 많은 노력을 경주하여야 할 것이다.

제 15차 국제 토질 및 지반공학회 학술회의 논문 제출 안내

제 15차 국제 토질 및 지반공학회(ISSMGE)의 학술대회가 2001년 8월 27일~31일까지 Turkey의 Istanbul에서 개최될 예정입니다. 국제 학회에서는 한국지반공학회에 9편(36쪽)의 논문을 배당하였습니다. 국제학회의 국제학술대회(ICSMGE)논문 제출은 각 해당학회가 주관하여 논문을 선정하고 선정된 논문만이 제출되도록 되어 있습니다. Istanbul의 국제 학술대회에 논문을 제출하고자 하는 회원께서는 4월 30일까지 학회 사무국으로 논문 요지를 제출하시기 바랍니다. 국제학회로부터 논문요지 작성에 대한 구체적인 요령이 언급되지 않았기 때문에 일반적인 관례를 준용하여 200자 정도로 영문요지를 작성하시기 바랍니다.