

의 구간에서 사업 전보다 계획홍수위가 낮아져서 4대강 주변 홍수위험지역의 93.7% 위험도가 줄었고, 확보된 수자원활용방안의 필요성을 지적하였다. 그리고 수질은 전반적으로 개선되었으나 낙동강 상류는 BOD 악화, 영산강은 식물성플랑크톤(녹조) 증가 문제를 지적하였으며 무엇보다 지속적이고 체계적인 유지관리가 필요하다고 발표하였다.

7. 2. 2 4대강 조사·평가단(환경부, 2018년 8월~2022년 6월)

4대강사업 이후 녹조, 수질 및 수생태계 영향 등에 대한 논란으로, 정부에서는 객관적인 모니터링을 위해 녹조발생이 심하고 수자원이용에 영향이 적은 6개 보(강정고령, 달성, 합천창녕, 창녕함안, 공주, 죽산)를 우선개방하며 7개 분야(수질·수생태·어도·농업·용수·생공용수·지하수위·하천 관련) 모니터링 및 정 부합동상황반을 운영(2017년 6월 1일~)하였다.

이후 보 개방에 따른 강의 자연성회복가능성과 보 개방에 따른 효과를 조사하고 보 처리계획을 수립하기 위해 2018년 8월 4대강 조사평가단을 설치하였다. 기획위원회 및 전문위원회(4개 분과)를 구성

하고 모니터링분야를 7개에서 14개 분야로 확대(수질, 수생태, 육상생태, 수리수문, 지하수, 물이용, 경관, 퇴적물, 구조물, 어패류구조, 하천시설, 농어업피해, 지류하천영향, 보 활용)를 통해 보 평가체계 마련 및 처리방안 결정기준을 제시(2019년 2월 21일), 유역물관리위원회에서는 제시안을 토대로 지자체·전문가 검토 및 국민인식조사 등을 종합하여 금강·영산강 보 처리방안에 대한 의견문을 국가물관리위원회에 제출(2020년 9월 29일), 국가물관리위원회에서 추가전문가 검토 및 인식조사 등을 거쳐 금강·영산강 보 처리방안을 최종심의의결*(2021년 1월 18일)하였다.

* (금강) 세종보 해체, 공주보 부분해체, 백제보 상시개방, (영산강) 승촌보 상시개방, 죽산보 해체

2022년 6월 말 4대강 조사·평가단은 해체되고, 7월부터 환경부 물관리정책실 산하에 4대강조사평가 업무를 전담하는 TF(Task Force)가 2022년 말까지 설치되었으며, 이 TF는 보 모니터링 등 일부 기능만 이어받는 한시조직으로 알려졌다. 4대강 보를 관리하는 현장대응팀도 각 유역환경청 소속으로 전환 배치되며 전문위원회, 지역주민협의체도 해산할 전망이다.

우리나라 고대 수리시설의 축조기술



윤진섭

한국수자원공사 댐안전관리센터장

1. 서언

수리시설은 벼농사와 더불어 시작되었다. 우리나라의 고대 수리시설은 벼농사가 시작되었던 고대 삼한의 부족국가시대로 거슬러 올라간다. 그때 이미 수전(水田·논)의 관개방법이 발달되었을 것이다. 삼국시대에는 농사를 경제적 기초로 삼음에 따라 제언 축조를 통하여 농업생산성을 향상시켰을 것이다. 하천의 흐르는 물을 막아 눈에 물을 대는 것은 우리나라의 지리적 환경에 적합하여 가장 손쉬운 방법

으로, 보(淤)와 같은 수리시설이 일찍부터 많은 곳에 만들어졌을 것으로 추정된다.

김제의 벽골지, 함안의 가야리제방, 김해의 봉황동제방, 밀양의 구위양지, 울산의 약사동 제방, 상주의 공검지, 제천의 의림지와 같은 저수지는 그 시축연대가 부족국가시대 말기 또는 삼국시대 초기로 추정된다. 그간의 문헌은 고고학적인 측면에서 기술되어 한국대담회 창립 50년을 맞이하여 우리나라 고대 수리시설의 특징과 기술적인 측면인 축조기술을 살펴보고자 한다.

2. 우리나라 고대 수리시설의 축조기술

야리제방, 김해 봉황동제방과 최근 발굴된 울산 약사동제방의 특징을 살펴보았다.

2.1 김제 벽골제

제방의 축조기술은 고대에서부터 이어져온 전통 토목기술로 예나 지금이나 콘크리트를 제외하고는 대부분의 재료는 흙이다. 삼국시대의 다양한 축조기술 중에서도 흙을 주재료로 삼아 축조한 구조물에서 부업공법의 사용에 초점을 맞추어 김제 벽골제, 제천 의림지, 상주 공검지, 밀양 구위양지, 함안 가

김제 벽골제는 『삼국사기』에 서기 330년 축조되었다고 전하고 있어 우리나라에서 가장 오래된 기록이 남아 있는 제언이다. 제방 길이가 3km가 넘을 정도로 당진 합덕제, 연안 남대지(南大池)와 함께 조선 3대 제언의 하나로 꼽히는 거대한 제방이었다.

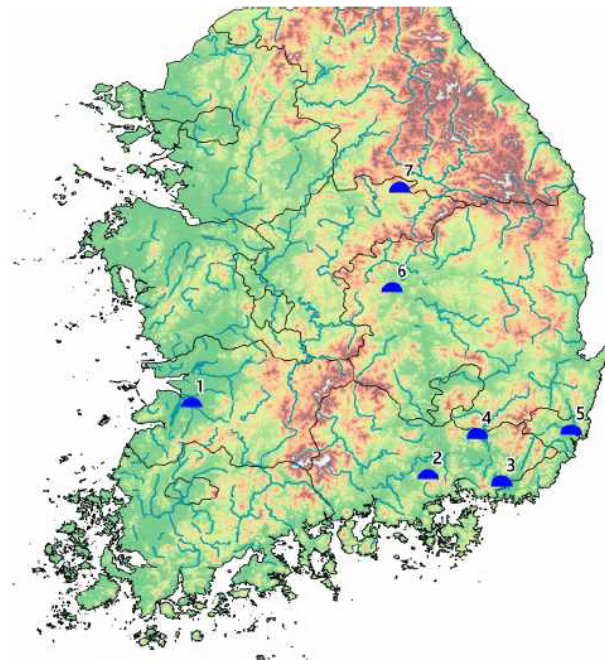


그림 1. 삼국시대 제방의 위치

1. 김제 벽골제
2. 함안 가야리제방
3. 김해 봉황동제방
4. 밀양 구위양지
5. 울산 약사동제방
6. 상주 공검지
7. 제천 의림지

『신승동국여지승람』에 의하면 1415년 대규모의 수축공사를 실시하여 북쪽부터 차례로 수여거(水餘渠)와 장생거(長生渠), 중심거(中心渠), 경장거(經藏渠), 유통거(流通渠) 등 5개 수문을 보수 또는 신설하였는데, 이들 5개 수문에 의한 물리 범위는 김제를 중심으로 북쪽의 만경현에서 서쪽의 부안현과 남쪽의 고부·인의현의 경계에 이르기까지 매우 광범위하여 관개면적이 약 9,500만㎡에 달할 정도였다고 한다.

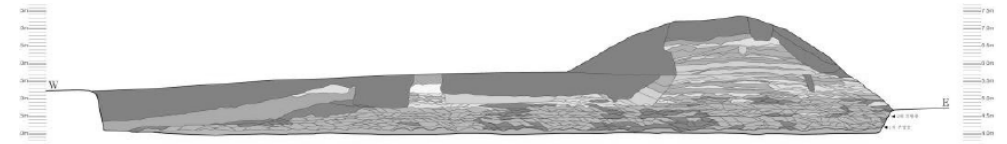
이처럼 긴 제방이 대단히 넓은 곡부평원의 한가운데 축조되어 있어, 처음 만들어질 당시의 목적이 과연 저수를 위한 것인지 혹은 해수로부터 경작지를 보호하기 위한 것인지 논란이 많았으며, 처음부터 저수용 제언으로서 하류를 관개하기 위해 축조되었다는 견해가 꾸준히 제기되고 있다.

벽골제의 기반층은 실트로 이루어진 습지이며, 지

속적으로 유수가 유입되는 입지이기 때문에 유수가 제체 내로 침투하는 것을 방지하기 위해 기반층 위에 전체적으로 초본류의 부엽층을 설치했다. 부엽층 설치의 목적은 기초지반의 유동성을 낮추고, 입지가 대부분 습지이기 때문에 부엽층을 설치함으로써 유입되는 물을 외부로 원활하게 배출하기 위한 것으로 추정된다. 제체의 성토는 실트와 사질점토를 교차로 성토한 교호성토 기법이 사용되었는데, 이는 성토층 간의 접착력을 높이기 위함이다.

2. 2 제천 의림지

제천시 모산동 일대에 위치하는 현존하는 고대 수리시설 중 하나로 2009년 퇴적물의 연대측정 결과 서기 100년 전후의 퇴적물임이 입증되면서 서기 536년 삼국시대에 축조된 것으로 추정된다. 대형 산곡형 저수지의 축조를 통해 대량의 물을 저장·관리하면서 그 하류의 총적지 전체를 개발하는 삼국



벽골제 토층도

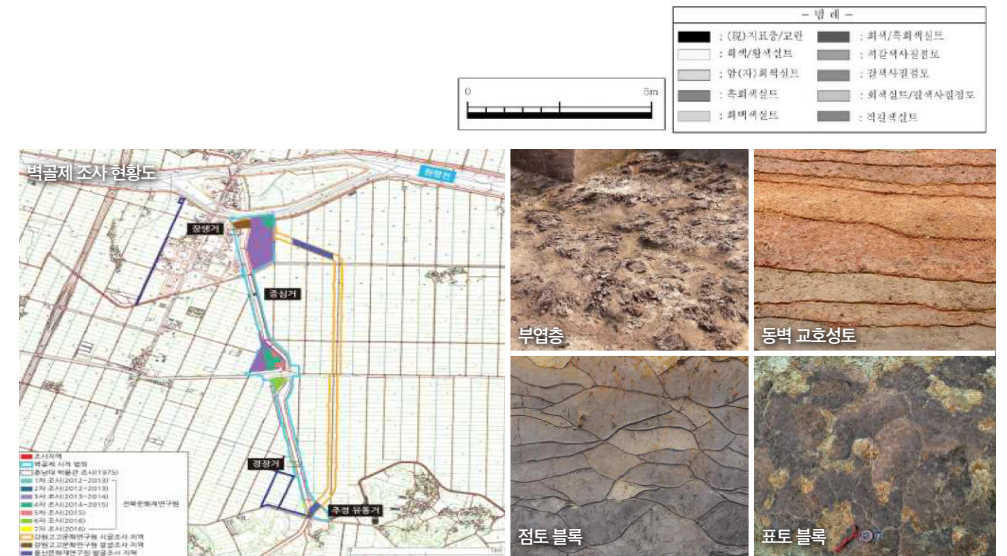


그림 2. 김제 벽골제 축조공법

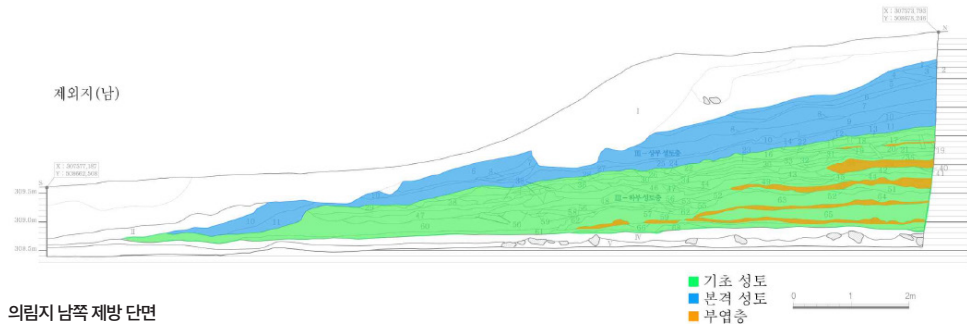
시대의 농경체계를 대표하는 저수지이다.

해발고도 309m 지점에 축조된 제방으로, 만수면적 약 160,000㎡, 최대저수량이 약 660만㎥에 달하는 인공저수지이며 용두산의 계곡 중 가장 폭이 좁은 곳에 제방이 축조되었다. 담수면적(0.13km²) 대비 최대 관개가능범위가 5.15km²로서, 저수면적의 39배 정도를 관개할 수 있는 관개제방으로 기능했던 것으로 추정된다. 제천이 집중다우지역이고 경지면적도 논보다 밭이 훨씬 많다는 점을 들어, 의림지가 홍수 시 수위조절을 위한 기능을 수행했다고 본다.

1972년 큰 홍수로 제방이 붕괴될 위험에 처하자 마을 주민들이 제방 일부를 파괴함으로써 제방의 내부가 드러났다. 제방 축조 모습을 보면 제방을 쌓기 전에 바닥을 깊이 파서 진흙을 넣고, 직경

30~50cm의 통나무들을 가로 세로로 묶어가면서 버팀목을 만들고, 바깥 벽면은 굵은 자갈들을 섞은 흙을 성토하였다. 물에 닿는 안쪽 면은 진흙과 모래, 소나무 낙엽을 층층이 번갈아 다진 후 다시 굵은 자갈이 섞인 모래흙으로 두껍게 덮었다. 이는 제방이 부엽공법에 의해 축조되었음을 보여준다. 의림지는 주변의 산수와 어울려 빼어난 경관을 자랑한다.

의림지 조사는 1972년과 2013년 2차례 이루어졌다. 조사결과가 다소 차이가 있으나, 기반층은 하상 퇴적층이고 굴곡진 모양으로 나타나며 이것은 특정 기능을 얻기 위한 인위적 가공이 이루어졌을 가능성이 높다. 기초부 성토는 점토블록과 부엽공법, 교호성토로 이루어졌으며 제체성토에서는 부엽공법 없이 교호성토 위주로 이루어졌다.



의림지 남쪽 제방 단면

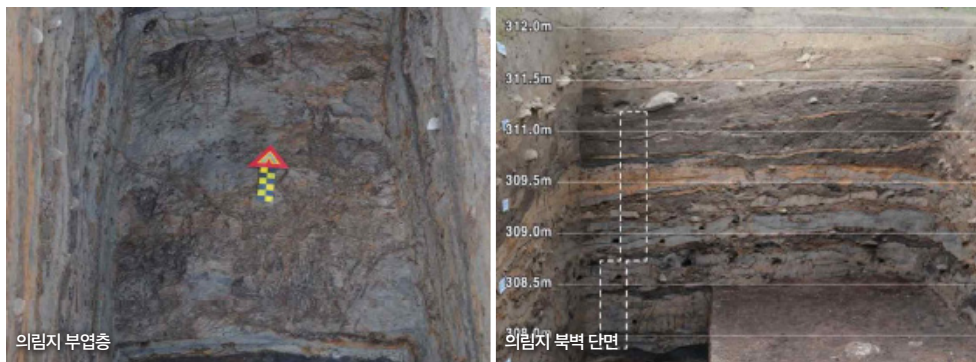


그림 3. 제천 의림지 제방축조공법

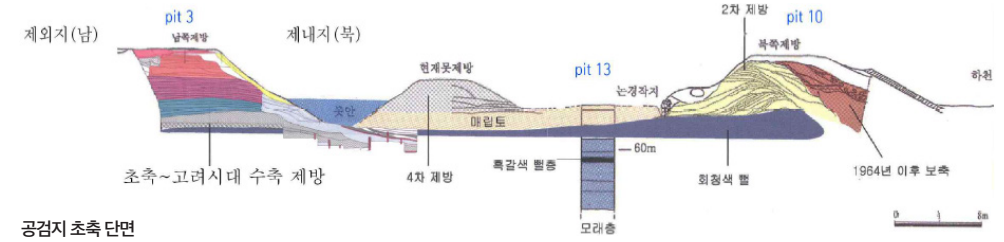
2.3 상주 공검지

삼한시대에 축조된 인공저수지로 국내외에서 유일하게 목재시설층을 부설한 고대 제방축조기술이 밝혀진 저수지이다. 삼국시대에는 구릉지대의 협착부 양안의 구릉 안쪽을 막아 축조한 것으로 생각되며, 고려시대에 개축할 때까지도 그 형태가 유지되었으나 일제강점기부터 현대까지 개축하면서 타원형, 제형, 역삼각형으로 변화하였다. 저수지 내부에서 발굴된 부목재(소나무, 밤나무, 졸참나무 등) 14점은 655~695년에 벌채되어 공검지의 수문 등 수리시설에 사용된 것으로 밝혀졌다.

공검지는 주변으로 산이 둘러싸여 분지를 이루고 있으며 제방길이 430m, 둘레는 13,000m 정도로 일제강점기 때 저수지 옆으로 철길이 놓이면서 둘레 1,630m로 축소되었다. 초축제방의 범위는 명확

히 알 수 없으나, 곡을 막는 규모를 바탕으로 보면 길이 180m, 너비 35~40m 정도로 추정된다.

제방의 방수시설은 확인되지 않으나 2009년 저수지 내에서 확인된 가공목재 중 방수시설인 저통으로 추정되는 목부재가 확인되었으며, 목부재가 저수지 내부에서 확인된 것으로 볼 때 원래는 목통을 사용하다가 후대 개축 시 방수시설의 변화가 있었던 것으로 추정된다. 제방 바깥쪽으로 10m 떨어진 남쪽제방의 끝단에서는 지름 25~30cm, 길이 90cm이상 되는 큰 통나무들을 제방의 방향과 교차하는 방향으로 깔고 2단으로 포개어 설치하되 윗단의 목재는 밑단보다 20cm 안팎으로 들어 끼는 목재시설이 확인되다. 또한 목재시설의 앞쪽으로는 말목을 박았으며 그 사이로 나뭇가지를 엮어 보강하였는데, 이는 협착부의 가장 낮은 곳에 하천이 흐르는 곳을 막기 위해 연약지반에 설치된 지반의 개



공검지 초축 단면

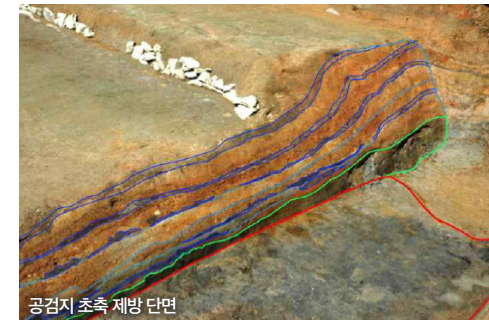


그림 4. 상주 공검지 제방축조공법

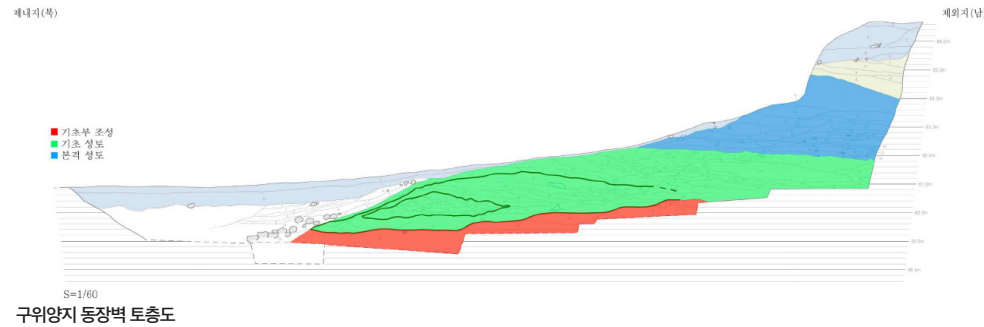
량 및 보강을 위한 시설로 판단된다. 목재시설 부설 범위의 규모는 길이 15m, 너비 6m 정도이다.

2.4 밀양 구위양지

통일신라시대에 축조되어 경상남도문화재자료 제 167호로 지정되었으며 현재까지 사용되고 있는 저수지로 2003년부터 2011년까지 3차례에 걸쳐 발굴조사가 실시된 유적이다.

밀양 구위양지는 곡부 양안의 구릉을 연결하여 조성되었으며, 조선시대와 일제강점기에 수축 및 개축된

제방이다. 초축제방은 6세기로 보고되었으며, 형태는 일자형으로 그 규모는 길이 약 300m, 폭은 3~40m, 높이는 약 6m이다. 제방의 축조공정은 기반층의 가공, 1차 성토(부엽층, 불투수성존), 2차 성토(투수성존), 밀봉 및 외형조성(피복, 호안석축) 순으로 확인된다. 현재의 구위양지 옆으로는 하천이 흐르고 있는데 『밀양지(密陽誌)』의 기록에 따르면 구위양지의 둘레는 4~5리에 이르렀으며, 조선조 후기에는 둘레 1,066척에 깊이 22척으로 축소되었고, 근대에는 길이 547척에 너비 68척으로 변경되었다고 한다. 이처럼 구위양지의 규모가 훨씬 컸다는 기록으로 본다면 초축제방은 하천을 완전히 막는 형태로 추정된다.



구위양지 동장벽 토층도



그림 5. 밀양 구위양지 제방축조공법

영남지역의 저수지제방은 구릉의 거리가 매우 가까운 협착부 등에 제방을 쌓아 흐르는 계곡물과 빗물을 저수하였다. 이러한 곳에 저수지가 입지하는 이유는 곡구만 막으면 저구릉의 사면을 타고 흐르는 물이 곡부 바깥쪽으로 흐르지 못하게 되므로 곡부 내부는 자연스럽게 저수지가 되고, 높은 곳에서 낮은 곳으로 흐르는 물의 성질을 이용하여 곡 아래쪽의 너른 경작지에 필요 시 물을 관개하기가 용이하기 때문이다.

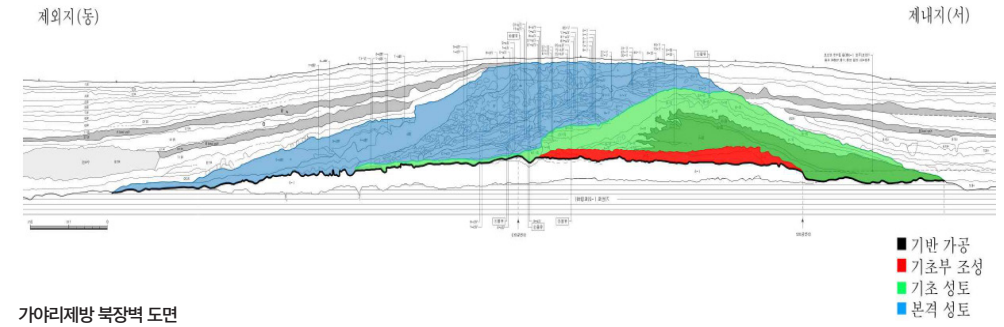
또한 제방의 한쪽 편에는 암반을 굴착하여 여수로를 조성하여 유량이 많을 때는 여수로를 통해 여수를 흘려보냈으며, 저수지 내에 용수를 저장하였다가 필요 시에 방수로를 통해 아래쪽의 넓은 경작지로 관개하였다. 저수지에 의해 물을 공급받는 경작지는 곡저평야의 경사면을 따라 단차가 있는 계단식 논으로, 자연적인 구배를 통해 물을 논으로 공급

하거나 구획된 수로를 막아 필요한 경작지에 물을 선택적으로 공급하는 관개체계를 갖추고 있었다.

2. 5 함안 가야리제방

가야 왕궁지로 추정되어 2008년 발굴조사가 진행되었으나, 조사 결과 남쪽의 산지에서 북쪽~서북쪽으로 뻗어내린 침식성 저구릉 사이 곡저평야 입구의 구릉과 구릉 사이를 연결하여 남강의 홍수로 인한 경작지의 수몰을 막기 위하여 조성된 하천제방으로 확인되었다.

2008년의 조사에서는 제방이 일직선으로 연결되는 것이 아니고 곡 중앙부의 제방 부분이 제외 쪽으로 돌출한 아치형으로 확인되었다. 이후 2010년의 2차 조사에서는 제방이 일자형이지만 제내 쪽으로 돌출한 아치형으로 확인되었다. 평야 입구에 조성



가야리제방 북장벽 도면



그림 6. 함안 가야리제방 축조 공법

된 1차와 2차의 제방을 연결하면 전체가 평면 완만한 S자 형태로, 홍수로 유입된 물이 자연적으로 만곡하여 흐르도록 하여 홍수 범람 시 가해지는 수압(횡압력)에 대응하도록 한 것으로 생각된다.

제방의 규모는 1차 제방의 길이가 285m, 기저부를 기준으로 한 폭은 평균 16.19m이며, 둑마루는 약 5m 정도이다. 잔존하는 제방고는 최고 2.6m이지만 홍수위를 감안하면 2.86~5.63m로 짐작된다. 2차 제방은 길이가 279m, 기저부를 기준으로 한 폭은 평균 14m이며, 둑마루의 폭은 6.1m 정도이다.

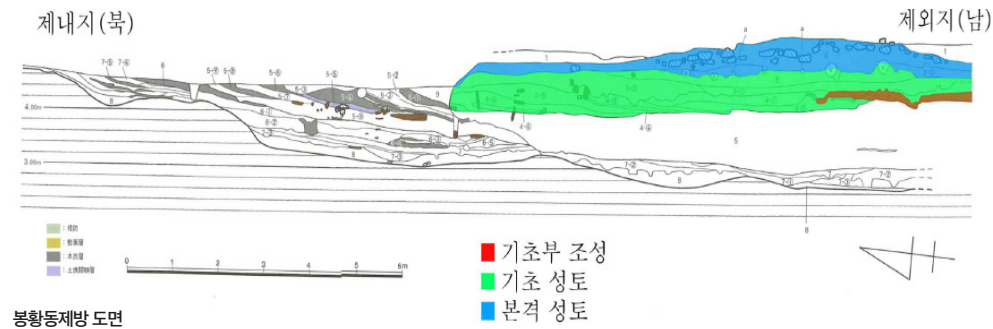
잔존하는 제방고는 1차와 유사할 것으로 생각된다. 1차와 2차 제방을 연결하면 전체길이는 555m이다. 제방의 축조공정은 기반토 층파기, 불투수성 재료를 사용한 지하수 차단 및 부동침하 방지, 심 또는 코어 형성, 제외지 덧대기 성토, 피복공정 등으로 구분할

수 있으며 축조공법상 횡압력의 대응, 누수차단, 부엽공법, 토낭 등의 다양한 토목기술이 확인된 제방이다.

2. 6 김해 봉황동제방

5세기 무렵 금관가야가 물을 다스리기 위해 쌓은 대규모 제방시설로 해발고도 4m 내외의 구릉밀단을 따라 형성된 관개제방이다. 김제 벽골제와 마찬가지로 바다를 접하고 있어, 해수의 침입을 방지하기 위한 방조제방일 가능성이 높다.

기초성토 단계에서 제방 하단부는 나뭇가지로 만든 목구조조물 시설 후 점성이 강한 흙과 패분을 섞어 채워 조성하였는데, 패분 내 탄산칼슘은 물과 반응하면 석회처럼 굳어 강도를 높이는 효과를 얻을 수 있다. 제방 상단부는 통나무로 만든 목구조조물



봉황동제방 도면



그림 7. 함안 가야리 제방축조공법

로 시설 후 석재를 주재료로 삼되, 사실실트를 채워 조성하였다. 아래쪽에는 중소형의 석재를 경사지고 불규칙하게 조성하였다.

봉황동제방의 특징은 토축 위에 석축이 나타나고, 목구조물이 사용되었다는 점이다. 석축은 삼국시대 제방의 주요 성토기법이 아니기 때문에, 고려시대에 축조된 울산 물금 황산언에서 석축기법이 확인되면서 석축부는 후대에 조성되었을 가능성 또한 배제할 수 없다.

2.7 울산 약사동제방

2.7.1 약사동제방의 수리시설 유형

울산 약사동 제방은 2009년 발굴조사를 통해서 확인된 저수지 제방으로 축조연대는 출토유물과 부업층의 AMS연대측정결과를 바탕으로 7세기로 추정

한다. 계곡의 가장 좁은 곳의 양쪽 구릉을 연결하여 일자형의 제방을 만들고, 측면에 암반을 굴착하여 여수로를 조성한 형태이다.

제방의 길이는 155m, 독마루의 잔존폭은 8~12m, 제방부지의 잔존폭은 25~37m, 잔존높이는 8m이며, 파괴된 중앙부의 바닥면을 기준으로 볼 때 제체의 가장 높은 곳까지의 높이는 11~12m 정도이다.

제방의 저수면적은, 측면의 여수로를 기준으로 본 만수위는 21.5m이고 저수면적은 약 23.639m²로 추정할 수 있으며, 저수위를 21m로 보았을 때 대략적인 저수량은 약 95,153m³로 계산된다. 근대지형도에서 저수지는 확인되지 않으나, 현 제방이 확인되는 위치 아래쪽으로 좁은 범위의 경작지가 확인된다. 또한 지반의 가공, 점성이 많은 실트를 이용한 지반성토, 저수지 측으로의 패각성토, 요철모양의



그림 8. 울산 약사동제방의 평면도

토심부, 부업공법 등 고대의 제방축조공정 및 다양한 토목기법의 확인되었다. 이를 통해 고대의 토목기술이 현대의 기술과도 크게 차이가 없음을 확인할 수 있는 대표유적이다. 그러나 제방과 추정 저수 범위 및 저수량 등이 영천 청제나 상주 공검지 등과 비교하여볼 때 전체적으로 규모가 작은 편에 속하며, 관개대상인 경작지의 범위가 협소한 편이다.

약사동제방은 독을 쌓아 가둔 물로 관개하는 축제 저수관개유형(산곡형저수지)으로 보가 하천의 유속과 유량을 조절하여 물을 나누는데 주된 기능이 있는데, 이는 '대규모의 제방(댐)을 축조하여 용수를 저장한 다음 이를 주변충적지 전체의 관개에 이용하는 것'을 말한다. 산곡형저수지와 같이 계곡을 흐르는 하천이 평원지역으로 넓어지려는 지점에 축조한 제방(堤)을 이용하여 대규모로 용수를 저장한 다음 하류의 충적지 전체를 경작지로 바꾸고 관개

하는 것이 이 유형의 가장 대표적인 형태라 할 수 있다. 이는 제방 규모나 축조기술·저수량·수로를 이용한 관개방식 등에서 청동기시대 저수시설과는 비교되기 어려우며, 우리나라에서는 주로 산지가 많은 동쪽지역에 축조되어 있다. 산간계곡에 축조된 저수는 저수량은 최대가 되면서도 제방을 축조하는 공력과 저수면적은 최소가 될 수 있는 지점을 택하여 건설되는데(성정용, 2015년), 안동 저전리 등과 같이 보를 이용한 청동기시대의 저류지들이 대개 중소하천을 막아 유로를 돌리거나 소규모로 담수한 물을 이용하는 것과는 차원이 다른 형태로 발달한 것이라 할 수 있다. 약사동제방 이외에도 대표적으로 제천 의림지, 경주 영지, 영천 청제 등이 있다.

영남지역에서 확인된 제방 중 단면조사를 통해 축조공정을 확인할 수 있는 유적은 울산 약사동제방과 함안 가야리제방 정도이며, 이외의 유적은 부분



그림 9. 울산 약사동제방의 발굴조사현황

적으로 공정을 유추해볼 수 있다. 울산 약사동제방을 중심으로 제방의 구조와 공정별로 축조기술을 살펴보고자 하며, 공정별로 대입할 수 있는 경우 다른 유적의 사례로 함께 정리해 보고자 한다.

2. 7. 2 제방의 축조기술

제방의 기본구조를 설명하기 전에, 제방에서 사용하는 용어는 제방의 기능을 고려하지 않은 채 하천제방을 기준으로 한 용어를 그대로 차용해왔다. 제방에서 사용하는 용어로 물이 있는 쪽을 제외지(堤外地)로 하천의 범람을 대비해 보호해야 할 주거 및 경작지가 있는 곳을 제내지(堤內地)로 각각 사용해 왔지만 이를 저수지제방에 그대로 대입하기는 어렵다.

이 제외지, 제내지는 각 제방 밖과 제방 안을 뜻하는 것인데 하천제방과 달리 저수지제방에서는 제방의 안쪽은 물이 있는 곳이고, 제방의 바깥쪽은 경작지가 있는 곳이므로 저수지제방과 하천제방의 제내지, 제외지는 서로 반대가 되어 혼란을 주기 때문이다. 그러므로 저수지제방의 경우 물이 있는 쪽을 제내지(池內地)로, 저수지의 관개로 이익을 얻는 곳인 경작지 쪽은 저수지 바깥쪽이므로 제외지(池外地)로 바꾸어 사용하고 있으며, 이에 저수지제방의 단면구조와 명칭은 아래 그림에 구분하였다.

저수지는 저수범위가 최고위가 되면 제방의 앞비탈을 따라 침투한 물이 제체 내에 머물면서 중력에 따라 점차 아래로 떨어져 배수되게 하는데, 이러한 침투수가 흐르는 방향선이 침윤선이다. 침윤선이 제방의 밖으로 향하게 되면 제방은 붕괴되기 때문에 침윤선을 낮추어 제방 내부에 머무르도록 하거나 물을 다른 방향으로 배출하는 것이 저수지제방과 하천제방 등 물에 대응하는 시설에서는 제일 중요한 기능이라 할 수 있다. 따라서 제방 기저부의 너비를 넓게 조성하거나, 붕괴위험이 없는 안전한 양을 저수할 수 있는 높이까지를 계획수위(만수위)로 설정하였다.

2. 7. 3 약사동제방 축조공정

울산 약사동제방은 약사천 양안의 구릉[谷口]을 막아 해발고도 12.8~4.2m에 축조되었다. 주요기능은 관개제방으로 추정되며 하천의 중상류역에 위치하여 하류 쪽의 경작지가 확보되는 점으로 볼 때 저수를 목적으로 조성된 저수지 방으로 판단된다.

제방의 평면형태는 일자형으로 추정되며 길이는 약 155m이다. 종단면 형태는 사다리꼴이고 잔존규모는 독마루 폭 8~12m, 제방부지 폭 25~37m, 제방의 높이는 4.5~8m(해발 13~22m), 비탈면의 각도

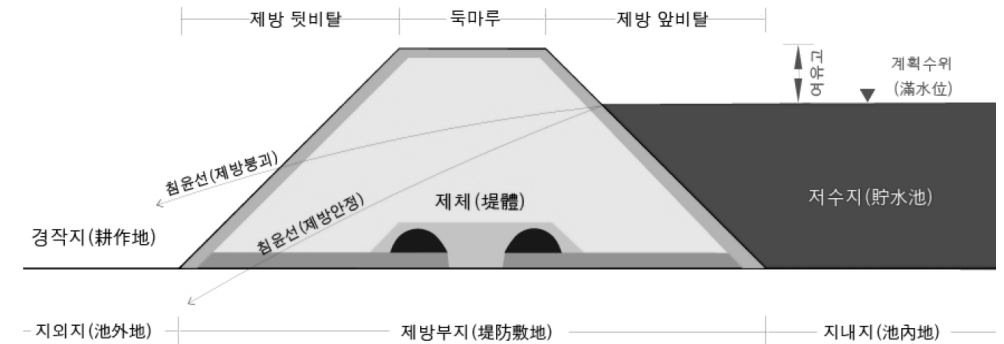


그림 10. 저수지제방의 단면구조와 명칭

는 약 35~40°이다. 제방의 저수면적은 약사천 좌안 한겨레문화재연구원의 조사구간에서 확인된 구가 여수로일 가능성을 추정해볼 때 만수위는 21.5m이며 저수면적은 약 23,639m²로 추정되고, 대략적으로 담수위를 21m로 추정하였을 때의 저수량은 약 95,153m³로 추정된다.

제방성토 시 습지 및 하천에서 채취한 암갈색~흑갈색의 실트와 역혼입실트, 산지에서 채취한 이암과 근거리 기반층 중 습지에서 채토한 흙이 주로 사용되었다. 조사자는 피복층을 제외한 축조공정을 부지의 가공-기초부조성-기초성토-본격성토로 나누어 설명하고 있는데, 여기서는 4단계의 축조공정을 기준으로 각각에 사용된 기술을 정리하기로 한다.

1) 기반가공
기반층은 역(礫)혼입실트질사층, 역이 다량 혼입된 사층으로 구성된 산사면 및 하상퇴적물로 구성되었다. 구지표층을 제거하고 기반을 계단식으로 삭토하여 기반의 역(礫)을 노출시켜 마찰력을 높이고 미끄러짐 현상을 방지하였다. 가야리제방에서는 암반돌출면이 기초부조성과 기초성토의 범위, 심이 성토될 범위의 확정과 관련되는데 반해, 울산 약사동제방에서는 암반돌출면의 위치와 범위를 확실히 알 수 없었다. 다만 돌출부가 일종의 토체 역할을 하여 하중분산의 기능을 수행하였을 가능성이 있다.

2) 기초부조성
암갈색~흑갈색 점질실트와 역혼입실트를 제방부지 전반에 걸쳐 수평토하였다. 이러한 점성이 강한 실

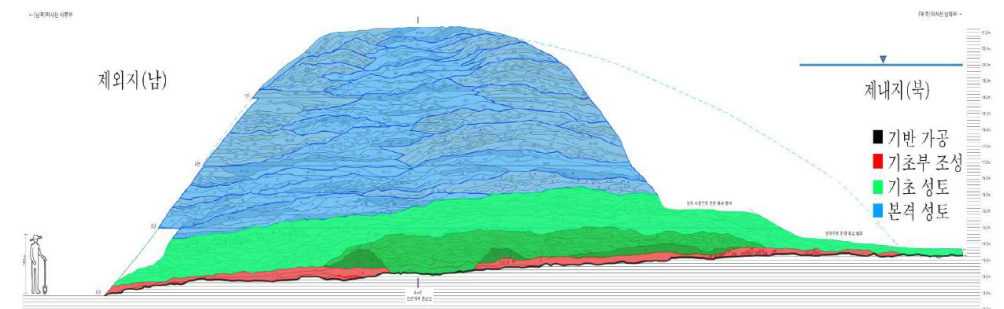


그림 11. 울산 약사동제방의 횡단면도



그림 12. 울산 약사동제방 기초부조성층과 기초성토층 내 패각층

트는 지반누수를 방지하고 상부성토층과의 접착력을 높인다. 또한 점질실트와 역혼입실트를 함께 사용하는 것은 층간의 접착력을 높이는 효과도 얻을 수 있다.

3) 기초성토

제체의 심을 만든 뒤 수평면을 조성하는 순서로 성토가 이루어졌는데, 패각성토, 요철상심 조성, 부엽공법, 교호성토기법이 사용되었다. 제내지 쪽에 패각류를 넓게 시설하였는데, 이는 공극이 많은 투수층을 형성함으로써 제체에 침투한 물의 배수를 원활하게 하기 위함이다. 이러한 배수과정에서 패각의 석회성분이 물과 반응하여 녹으면서 제체의 강도를 향상시켰던 것으로 보인다. 그리고 기초부조성 단계에서 확인되는 실트층 중앙의 일부를 재굴착하여 양옆에 호상(弧狀)의 토제를 조성하였다. 패각층을 포함하여 토제는 총 3개소에서 확인되었는데, 이는 상부성토층과의 접착력을 높여 층을 일체화하고 침투수를 심 사이로 모아 배출하는 기능을 수행했던 것으로 추정된다. 그리고 토제 사이와 그 위를 실트와 역혼입사토를 사용해 교호성토함으로써 또 하나의 심을 조성하고 있는데, 이 과정에서 부분적으로 초분류를 활용한 부엽공법이 확인되었다.

다음으로 앞 단계에서 조성된 심을 중심으로 하여

그것을 피복하는 방식으로 이후의 성토가 이루어졌는데, 이는 수평면을 형성하기 위함이다. 이 단계에서는 실트와 역혼입사질실트의 교호성토와 목분류를 활용한 부엽층이 확인된다. 이러한 부엽공법은 층간의 접착력을 높여 점성이 강한 실트의 유동성을 제어하고, 인장력을 높여 제체를 견고하게 만들기 위해서 사용되었다. 한편 기초부조성 단계와 기초성토 단계의 심조성공정에서는 초분류, 기초성토 단계의 수평면 형성과 본격성토공정에서는 목분류가 주로 사용되는 경향이 관찰된다. 그리고 부분적으로 점토블록의 사용도 확인되었다.

4) 본격성토

심 위에 역과 실트를 번갈아가며 쌓는 것을 기본으로, 일정단위의 층 역시 역층-실트층의 세트단위로 정점을 약간씩 달리하면서 성토하였다. 제외지 쪽에는 산지의 생토암반을 굴착한 투수성의 역을 주로 이용하였고, 제내지 쪽에는 역혼입의 실트를 덧붙이는 식으로 일정범위의 벽을 성토하는 과정을 반복하였다. 성토에 사용된 흙이 대부분 주변의 구릉부 및 곡부에서 확인되는 토성과 유사한 것으로 볼 때 주변부의 흙을 굴착하여 이용한 것으로 확인되었다.

약사동제방에서는 패각의 이용, 요철상심의 조성, 부엽 등 토목기술이 확인되는데 패각층은 실트층의

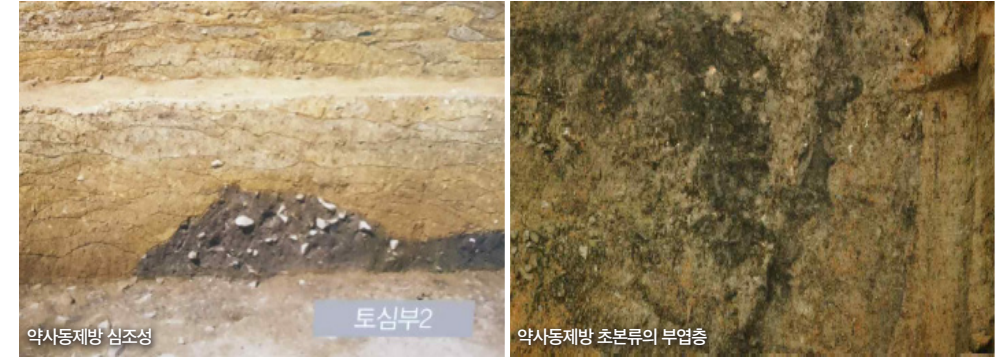


그림 13. 약사동제방의 심과 부엽층

상부에서도 담수와 관련된 제외지 쪽에서만 확인되었다. 실트층의 상부에는 역혼입실트를 단면상 요철 형태로 성토하였으며, 상부에 다시 실트를 채우면서 작은 요철상의 심을 덮어 크게 보아 하나의 심의 형태를 이룬다. 심의 제작은 고대의 토성에서도 확인되고 있지만 이러한 형태는 약사동제방에서만 확인되었다. 또한 부엽공법은 점성이 많은 실트층의 심을 이루는 부분뿐만 아니라 본격적으로 성토한 공정에서도 확인되고 있다. 물론 실트가 없는 것은 아니지만 주로 역층에서 사용된 점이 주목된다.

조성방법도 기반부의 점질실트층 성토 시에는 초분류를 주로 사용하였고 제체의 성토부 내에는 생가지를 그대로 이용하여 횡방향과 종방향으로 쌓았다. 이는 나뭇가지가 가지고 있는 수분을 수분이 적은 역층

에 배출하게 되어 층의 유동성을 잡아주는 기능을 하였을 것으로 판단되며, 더불어 과한 수분의 배출 길을 만들어주는 기능도 하였을 것으로 추정된다.

제방의 축조시점은 성토층 내부에서 확인된 유물이 5~6세기대의 경질토기편이 주를 이루는 것으로 볼 때 유물의 하한 이후인 6C로 추정되며, 성토층 내 나뭇가지의 AMS분석 결과 580~680년으로 측정되어 늦어도 7세기 말에는 축조되었을 것으로 판단된다.

약사동 제방의 축조공정은 ① 기반의 가공, ② 지반의 보강, ③ 기초부조성, ④ 제체조성, ⑤ 여방수시설 조성, ⑥ 피복 및 호안 등 크게 6개의 공정으로 구분할 수 있으며, 각 공정별 축조방법과 공정별로 반영된 수리토목기술에 대한 내용은 아래에 간단히 정리하였다.

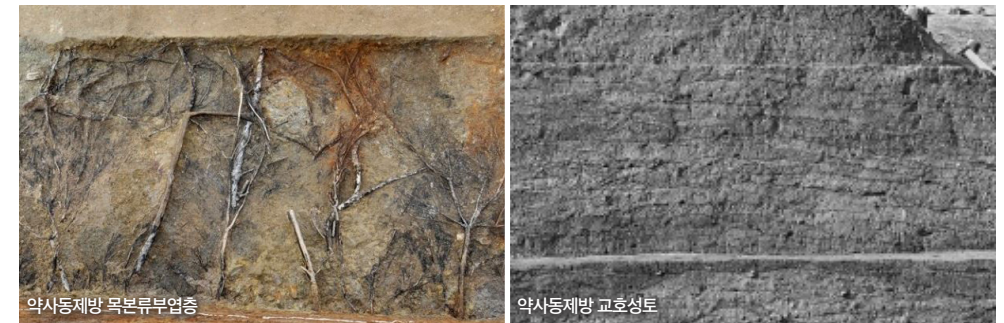


그림 14. 약사동제방의 부엽층 및 교호성토

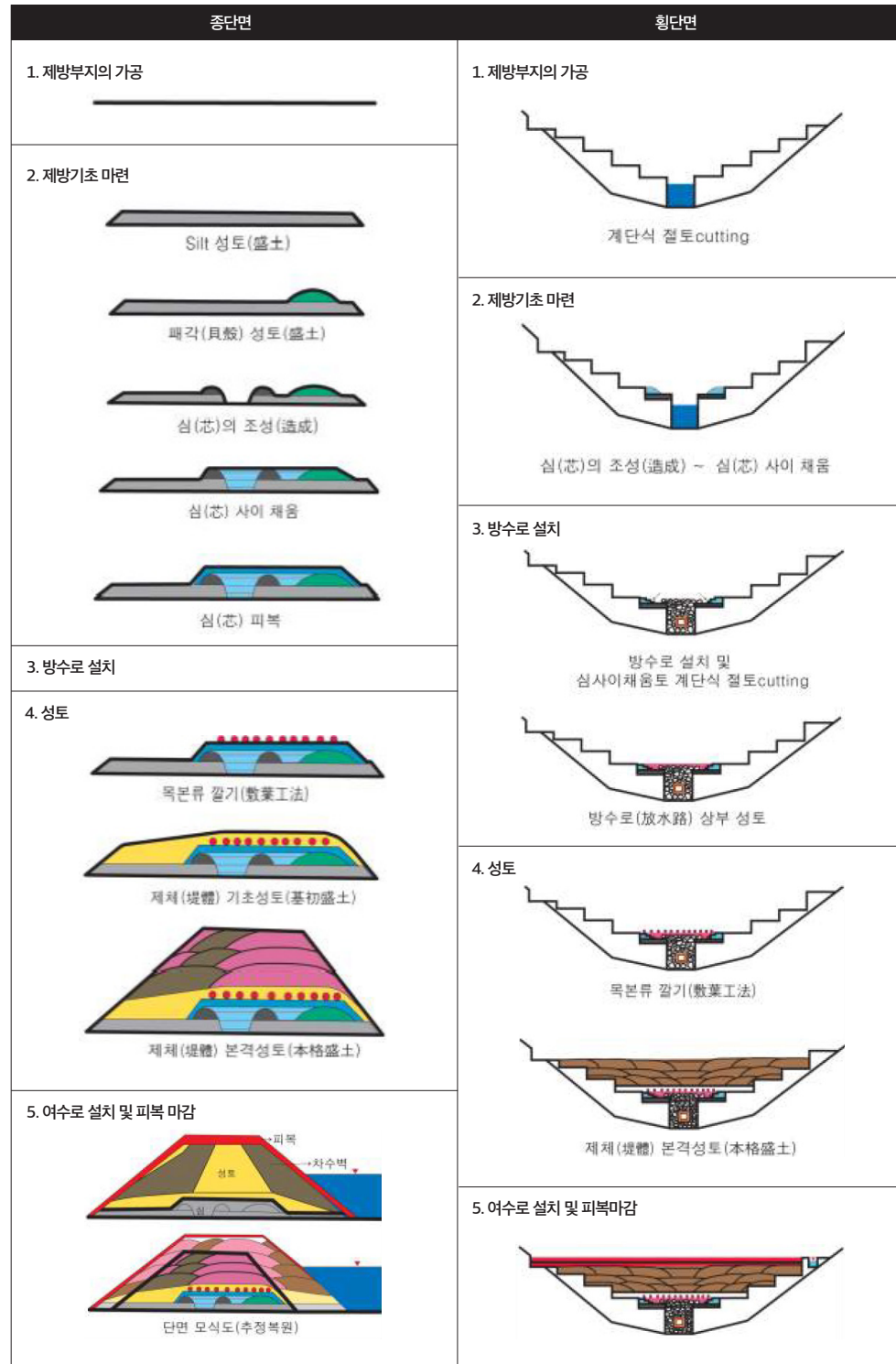


그림 15. 약사동제방의 축조공정 모식도

① 기반가공공정

제방이 축조될 부지에 대하여 구지표를 제거하거나 구릉의 암반을 계단상으로 잘라내는 공정으로 약사동제방에서는 구릉과 성토된 흙의 경계부에 계단식 절토선이 뚜렷하게 확인된다. 암반을 계단상으로 절토하게 되면 암반과 성토체 간의 접촉면적이 넓어지게 되고 암반과 접하는 부분의 마찰력도 높아져 흙이 흘러내리지 않게 되므로 제방이 안전하게 유지되도록 하는 것이다.

② 지반보강공정

제방부지에 물이 스며들기 힘든 성질의 점토 또는 실트를 기초지반 전체에 성토하는 공정이다. 볼투수성의 성토재료를 사용함으로써 저수지 물이 제방의 기초가 되는 지반에 스며드는 것을 최소화하여 성토재료 간의 결합이 약해져 무너지는 것을 방지할 수 있었다.

③ 기초부조성공정

저수지 쪽으로 가까운 곳에 패각을 깔 뒤 앞서 성토한 흙을 일정간격으로 다시 파내어 쌓아 토심을 만드는 공정으로 기본적인 뼈대를 조성하는 공정이다. 그리고 이 사이에는 갈대와 같은 초분류를 깔고 흙을 쌓는 과정을 반복하였으며 점성이 있는 흙을 피복하였다. 패각은 위치와 형태로 보아 토심의 기능을 하였을 것으로 보인다. 굴패각은 표면이 거칠어 이를 성토하게 되면 서로 결합하여 마찰력이 높아지며, 패각에서 녹아나온 산화칼슘은 패각과 흙을 경화시켜 제방의 유동성을 줄이는 효과를 가져왔을 것이다. 또한 반원형의 작은 둑을 일정간격으로 조성하여 요철면을 조성함으로써 상부에 쌓일 흙과의 결합력을 높이고 제방의 유동성을 줄여 기초를 견고하게 하였다. 한편 토심의 축조에 있어서는 성토한 흙을 다시 굴착하여 양 옆으로 쌓음으로써 토심의 높이를 높이지 않아도 요철이 깊어지는 효과가 있을 것으로 생각된다.

④ 제체조성공정

제방의 높이를 높이기 위한 제체성토공정으로 제방의 기본적인 형태를 다지는 기초성토단계와 제방의 높이를 높이는 본격성토단계로 나뉜다. 먼저 토심피복층 상부에 소나무 등의 생가지를 펼쳐놓은 뒤 그 위에 구릉을 파내어 가져온 흙을 덮고 다시 그 상부에 생가지의 방향을 교차하도록 놓아 암반편이 적게 혼입된 실트를 성토하였다. 이처럼 나뭇가지나 잎을 펼쳐 까는 것을 부엽공법이라고 하는데, 성토재료 간의 유동성을 낮추고 접착력을 높이는 기능을 하는 고대 동아시아의 대표적인 토목기술이라 할 수 있다. 그 위에 다시 암반편이 다량 포함된 실트를 제방부지의 폭만큼 넓게 성토하여 제방의 형태를 만드는 동시에 성토부의 기초를 다져 제체의 하중을 견딜 수 있게 하였다. 이렇게 조성된 제체 기초성토부 위에 규모가 작은 반구상의 성토단위를 지내지에서 지외지 쪽으로 덧붙여 성토하는데, 지내지 쪽에는 암반편이 적게 포함된 실트를 성토하고 지외지 쪽으로는 암반편이 많이 포함된 흙을 덧붙이는 식으로 다른 성질의 흙을 성토하는 과정을 반복하였다. 이 성토단위는 서로 겹쳐지면서 호상을 이룬다. 이처럼 서로 다른 성질의 흙을 호상으로 쌓는 이질토호상성토는 다른 성질의 성토단위와 맞물리면서 제체를 견고히 하는 동시에 높이를 높일 수 있는 성토공정으로 고분과 토성 등에서도 확인되고 있다.

⑤ 여·방수시설공정

기초공정 또는 성토공정 과정 중에 제체의 일부를 절개하여 방수시설을 설치하거나 구릉 측면에 여수로로 축조하는 공정이다. 단 약사동제방에서는 방수시설이 있을 위치에 제방이 파괴되어 확인할 수 없었다. 그리고 여수로에는 약사천 좌안 쪽인 동쪽 구릉의 사면에서 구거가 확인되는데, 성토부와 가까운 구릉 기반암을 굴착한 점과 그 위치 및 형태로 보아 여수로의 가능성이 높아 보인다.

⑥ 피복 및 호안공정

약사동제방은 둑마루와 제방 사면의 삭평이 심하여 피복 및 호안시설은 유실되어 확인되지 않았다. 다만 저수지의 파랑에 의하여 제방 사면이 깎여 나가거나 만수위를 넘은 물이 여수로로 배수될 때 유속에 의하여 침식되는 것을 막기 위한 호안시설이 있었을 것으로 추정할 뿐이다.

이처럼 울산 약사동제방의 축조공정과 토목기술에서 주목받는 부분은 성토재료 간의 접착력을 향상

시키는 동시에 제방의 유동성을 저하시키며 지반 및 제체 내에 침투수를 줄여 제방을 견고하게 한 것이다. 그리고 이러한 축조공정과 토목기술은 하천제방과 비교하여도 큰 차이가 없다. 즉 제방의 축조에 있어 반영된 다양한 토목공법과 기술은 저수지와 하천에 대한 수압과 침식에 대응하기 위한 것이며, 이는 현대의 제방에서도 재료와 관개시스템의 자동화 등에서 차이가 있을 뿐 기본적인 공법과 기술에 있어서는 차이가 없을 것이다.

3. 결언

지금까지 우리나라 고대 수리시설의 특징과 축조기술에 대하여 살펴보았다. 고대 수리시설은 다양한 정치·사회적 맥락에서 당대의 과학기술을 적용한 결과물로서 축조기술은 단순히 하나의 기술로만 이해할 것이 아니라, 그 사회 속에 내재된 지식의 결정체라 생각된다. 다양한 요소들의 상호작용과 의사결정의 일면으로 이해할 수 있었다. 각각의 수리시설마다 조금씩 축조기술이 다르긴 하였으나, 큰 맥락에서 기술의 보편성이 적용되어 건설되어진 것으로 보인다.

신라 혹은 통일신라기에 속하는 제방으로 그 특성상 끊임없는 보수가 필요하고, 붕괴되어 방치된 채 오랜 시간이 지나 다시 축조하는 경우도 있었다. 따라서 통일신라 이후 전 지역에 걸쳐 대대적인 제방 정비와 보수가 이루어짐에 따라 거의 모든 제방에서 신라의 흔적이 관찰되는 것일 수도 있다. 하지만 신라가 삼국시대 다른 나라보다 제방축조에 많은 공력을 들였을 가능성도 배제할 수는 없다. 한편

제방의 축조시기, 축조주체, 기능에 따른 뚜렷한 특징은 확인되지 않는 것처럼 보인다. 대부분의 제방이 큰 틀에서 유사한 축조공정과 한정된 축조기술을 가지고, 축조환경에 맞춰 건설되었는데, 특히 부업공법은 대부분의 제방에서 공통적으로 확인된다. 토성이나 고분과는 달리 제방의 성토재는 흙으로 한정되는 경우가 많고, 물을 저수하거나 막는다는 기능적 특성이 더욱 강하게 반영되기 때문에 토성 및 고분의 축조기술과는 다른 점이 존재할 수밖에 없었을 것이다.

토목기술자로서 고대 수리시설을 살펴보면 수리시설은 인류문명이 활발해지기 시작하면서 같이 발전해 왔으며 문명발전과 떼려야 뗄 수 없는 관계라는 것을 알 수 있었다. 지금도 인류는 물 없이 살 수 없으며 물로 인한 분쟁이 지속적으로 발생하고 있다. 현재에 살고 있는 우리도 옛 선인들이 수리시설을 만들어 물을 이용한 것처럼 지혜롭고 슬기롭게 살기를 희망해본다.

끝으로, 우리의 자랑스러운 역사 속의 댐과 제방의 건설 및 운영기술에 대하여 국제대담회(ICOLD)에

발표하여 국제사회에 알리는 것도 글로벌시대에 매회의 적극적인 참여를 기대해본다. 우리 의미 있는 일이라 생각하며, 이에 대한 한국대담



참고문헌

1. 우리나라의 수리시설과 울산 약사동 제방, 이보경, 2017
2. 고대 제방의 축조 기술 연구, 조미래, 2021
3. 울산 약사동 제방 유적 전시관, 약사동 제방 유적 전시관, 2017