

보령댐 좌안사면 안정대책 수립 및 구조지질학적 고찰

(Stabilization of Leftside Slope of Poryong Dam and its Structure Geological Consideration)

박 철숙¹⁾, Chal-Sook, Park

요약(Abstract)

보령댐 좌안사면은 1992년 8월 굴착을 시작한 후 사면의 불안정성으로 인하여 3차례에 걸친 재굴착을 시행하였다. 3차 굴착이 진행되던 1996년 10월 2일 EL. 184m에서 균열이 발생하였다. 사면안정대책을 수립하고자 보령댐 인근의 광역지질구조 해석을 바탕으로 하여 사면 지표지질조사, 시추조사, 경사계설치 등이 시행되었다. 조사에서 얻어진 자료를 활용하여 EL. 154m 상부사면에 폭 35m의 적치공간을 확보하고 EL. 79-109m 구간 중 여수로 수문 인근부위는 암반을 일체화시키는 Ground Nailing이 수립, 시공완료 되었다.

Poryong Dam Leftside Slope has been re-excavated 3 times due to its instability since its excavation began at August, 1992. During the 3rd excavation, lots of cracks were developed at EL. 184m in October, 2, 1996. To stabilize the concerned rock slope, surface geological investigation and core drilling were performed, and inclinometers installed. And based on the regional geological structure analysis for the vicinity of Poryong Dam, as a stabiliztion method for the unstable rock slope, a catchment berm of 35m wide at EL. was constructed, and Ground Nailings were installed also at EL. 79-94m nearby spillway gate.

주요어 (Key Words)

시추조사(Core drilling), 사면안정대책(Stabilization of rockslope), 경사계설치(Installation of inclinometer)

1. 서론

본 연구는 1996년 10월 초순 발생한 보령댐 좌안사면 안정대책 수립을 위한 구조지질학적 고찰을 통한 조사 내용이다.

보령댐 좌안사면 지표면은 사암, 역암 및 셰일이 반복 협재하는 퇴적암으로 이루어져 있으나 지각심부의 연성전단 운동에 기인한 연성전단대가 분포하고 상부로 갈수록 전이대를 거쳐 퇴적암으로 변화하면서 사면이 구성되어 있을 것으로 보령댐 주변의 광역지질구조해석 결과 추론되었다.

사면에 대한 시추조사를 수행하여 확인하였으며 사면 하부에서의 거동 가능성 및 거동부위를

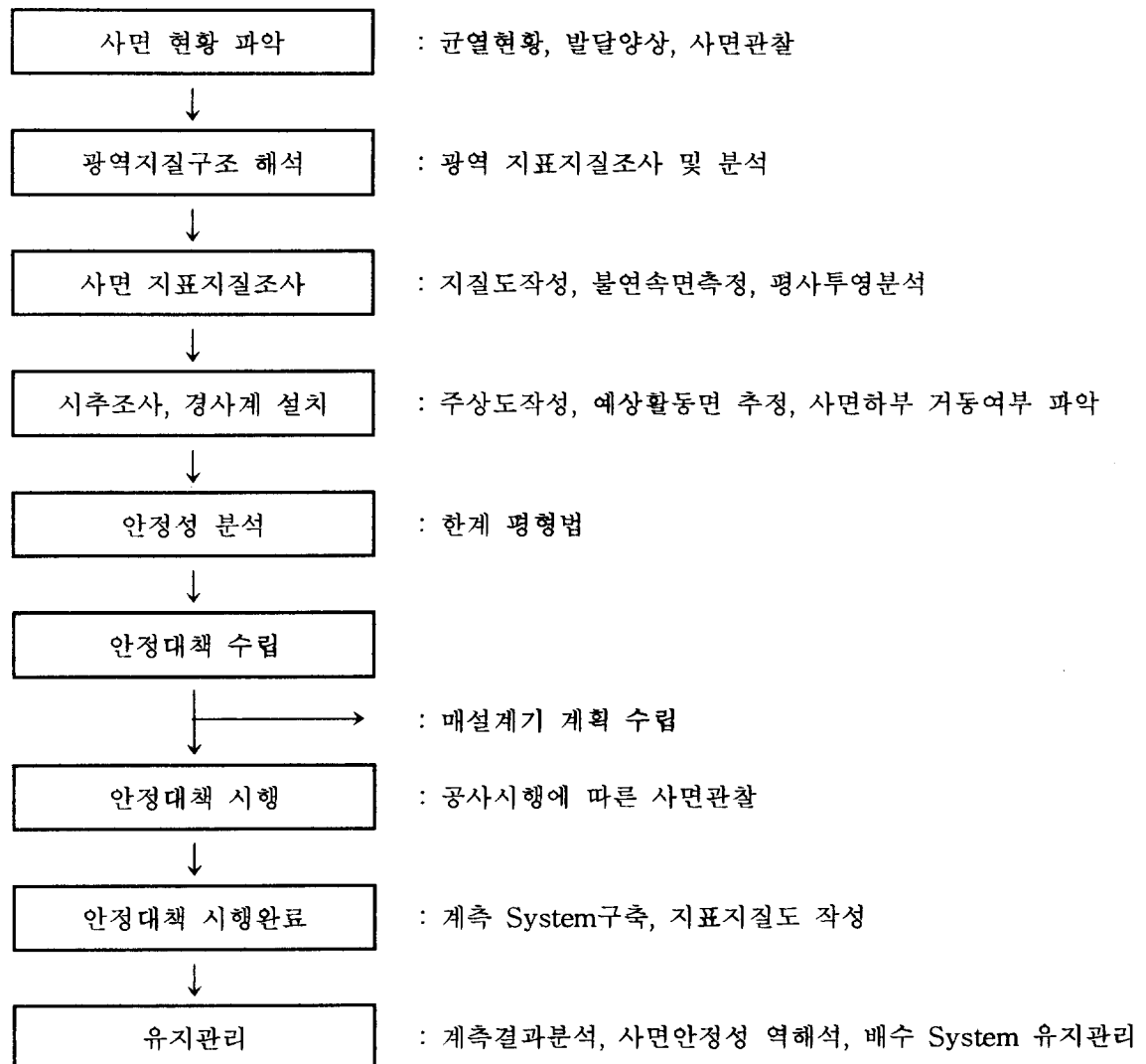
1) 한국수자원공사 보령댐수도건설사업단 공사부 대리
Action Sub-Sec. Chief, Construction Sec., Poryong Dam & Water Supply Construction Office, KOWACO)

파악하고자 경사계를 설치, 계측, 분석하였다. 조사결과 및 사면에 발생한 균열은 사면형성 당시 응력장 변화에 기인한 구조절리(Tensional Fracture)로 사면의 심부까지 연장되지 않는 점 등을 종합한 결과 사면에서의 균열발생 원인은 상재하중의 제거로 인한 응력이완으로 판단되었다.

안정대책은 방안은 EL. 154m 상부사면에 35m 폭의 적치공간을 두며, EL. 124m 에서는 상, 하류 암반을 연결시켜주는 압성토를 시행하였다. 특히 여수로 수문부위의 보강을 위해 D29mm 철근을 천공경 내로 삽입하는 Ground Nailing을 EL. 79 ~ 94m 구간에서 수행하였다. 안정대책 완료 후 사면을 관찰한 결과 현 사면에서의 문제점은 없다.

2. 조사내용 및 분석작업

보령댐 좌안사면 안정대책 수립을 위한 조사 및 분석의 작업순서를 도시하면 다음과 같다.



2.1. 균열현황파악

균열 발생 직후 조사된 균열현황은 그림 1과 표 1에 나타냈다

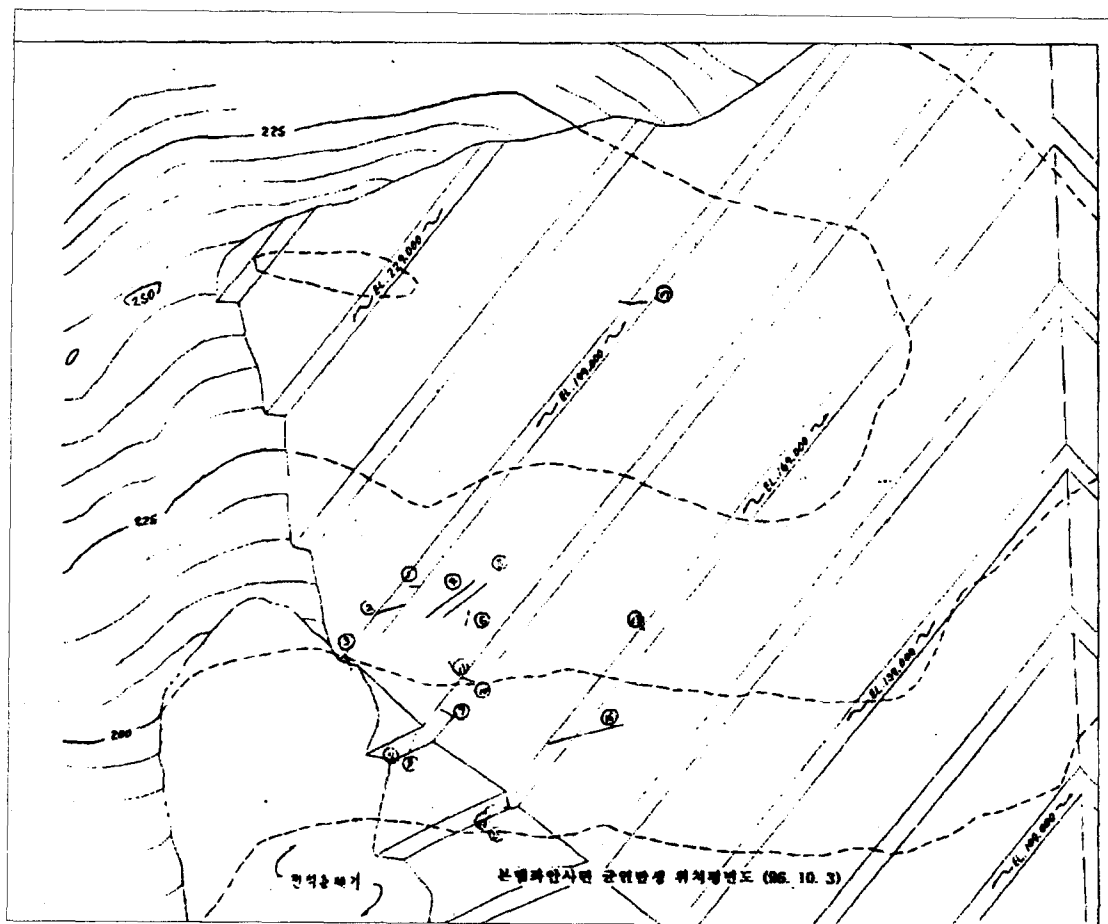


그림 1. 본댐 좌안사면 균열발생 위치도 (1996. 10. 3).

표 1. 본댐좌안사면 균열발생현황(1996. 10. 03).

균열번호	위 치 (m)		연 장 (m)	폭 (cm)	비 고
1	199 소단상		5	1.5	-
2	199 소단 ~ 184 사면	상 부	11	15	깊이 2.1 m
		중 앙		8	깊이 1.1 m
		하 부		12	깊이 1.0 m
3	199 소단상		5	5	-
4	199 ~ 184 사면	상 부	19	14	깊이 2.5 m
		중 앙		11.5	-
		하 부		17	깊이 3.1 m
5	199 ~ 184 사면		20	4	-
6	199 ~ 184 사면		13	4	-
7	184 소단 및 하부사면		8	2	단차 3.5 cm
8	184 소단상		5	18.5	단차 18 cm
9	184 소단상		7	1.3	-
10	184 소단상		5	1	-
11	184 소단상		12	1.5	-
12	184 소단상		3	2	-
13	184 소단 및 하부사면	상 부	19	8	-
		하 부		5	깊이 1.4m
14	169 소단상		10	26	단차 21 cm
15	169 소단상		5	10	-
16	169 소단 및 하부사면		30	40	단차 43 cm

2.2. 광역지질구조 해석

2.2.1. 충남분지에 대한 광역지질구조 이론

조사지역인 충남 보령시 일원은 한반도 지체구조상 중생대 (Mesozoic) Late Triassic ~ Early Jurassic 시대의 대동누층군이 분포하는 충남 퇴적 분지에 해당한다. 충남분지에 분포하는 암석은 퇴적암류 및 퇴적기원의 변성암류가 광범위하게 분포하고 소량의 화강암류가 분지의 외곽에서 관입하여 분포하고 있다.

충남분지에 대한 광역지질구조의 연구는 미약한 편이나 현재까지 연구된 바에 의하면 크게 2대분 할수있지만, 구조해석은 매우 상이하고 아직까지도 체계적인 연구와 해석이 부족한 실정이다.

첫번째 연구팀은 충남분지에 분포하는 변성암류를 경기 편마암 복합체와 동일한 Pre-Cambrian 시대의 basement rock으로 보았으며, 그 상위에 대동누층군의 퇴적암이 부정합적 관계로 퇴적된것으로 해석하였다. 이 연구팀의 구조해석에서 모순점은 충남분지에 분포하는 변성암류가 Pre-Cambrian 시대의 변성암으로 보기에 변성정도가 현저하게 낮으며 또한 본 분지에서의 국부적인 분포양상 및 퇴적암 조직이 일부 잔류하고 있는 변형정도를 고려하였을때 변성암류의 시기 설정에 의문이 남는다. 대동누층군이 하위의 변성암류와 부정합적 관계

로 퇴적되었다고 생각하는데 층군사이에 반복되어 협재된 단층대가 생성될 수 있는 퇴적환경에 대한 설명이 되지않는 점 또한 모순이다. 변성암류와 퇴적암류 형성사이에 엄청난 시간의 차이가 있음에도 불구하고 명확한 부정합면이 존재하지 않고 점이적인 양상을 보여주는 점을 국부적인 구조운동의 결과로 보기에는 의문이 생긴다.

두번째 연구팀은 대동누층군이 호소성 환경에서 퇴적된 이후 분지의외곽에서 화성암류가 관입함으로 인하여 충남분지의 대동누층군은 습곡작용을 수반하는 광역변성작용을 받았다고 해석하여 대동누층군의 일부가 퇴적기원의 Paragneiss화 되었다고 보았다. 이들의 구조해석에 의하면 점이적인 암상의 변화가 설명이 가능하다.

그러나, 대동누층군을 구성하는 퇴적층중 아미산층과 백운사층에서 동일한 시대의 Esteria 화석이 층위를 달리하면서 산출된다는 점을 설명하지 못한다. 만일 습곡에 의한 반복이라면 상하관계를 규명하여야 함에도 미비하고 또한 광역변성작용을 야기시킨 화성암류의 관입작용을 시사하는 화강암체가 충남분지의 주변에는 매우 소규모로써 습곡작용을 일으킨 변성기구의 설명으로는 미흡하다.

다음에서 제기하고자 하는 광역지질구조의 해석은 충남분지에 분포하는 대동누층군의 아미산층과 백운사층에서 동일한 시대의 Esteria 화석이 발견되는 점을 구조운동 관점에서 해석하고자 한다. 충남분지에 분포하는 변성암류의 일부는 Pre-Cambrian시대의 basement rock이며, 이들 상부에 호소성 퇴적물이 쌓여 대동누층군을 형성한후 호남 전단대(Honam-Shear zone)의 우수주향 이동성 단층운동(Dextral Strike-Slip Faulting)과 관련된 북동 내지는 북북동-남서 방향의 주향이동성 단층운동(Strike-Slip Faulting)이 작용함과 동시에 대동누층군의 일부가 연성 전단작용(Ductile shearing)으로 압쇄암대(Mylonite zone)을 발달시켰다.

그리고 전단운동과 거의 동시기에 지형적 영향등으로 인하여 부분적으로 정단층, 역단층이 발생하였다. 이러한 구조운동의 결과로 대동누층군 각 층군사이에 Thrust Faulting에 의해 이동된 고구마 형상의 피탄이 반복 협재함을 설명할 수 있고 또한 동시에 암상의 점이적인 변화가 설명되어 진다. 구조운동에 기인한 Tension Fracture를 따라서, Silicate material이 충전한 Tension gash가 발달되고 이들 Tension gash는 후기의 구조운동에 의해 minor folding를 보여주는데 이는 새로운 Stress(N-S Compression)환경하에서 형성되었음을 시사하는 바이다.

일부 국내학자들은 한반도 지체구조론을 설명하면서 충남분지가 서측의 남중국 지괴(South-China Block)의 일부였으나, 인도대륙과 유라시아 대륙지괴의 충돌에 의한 Strike-slip movement에 의해 이동되어 Sino-korea Block에 부가된 지괴로 해석하는 학자도 있다.

현시점에서 보다 많은 연구가 진행되어야 하지만, 주향이동성 단층운동에 의한 구조해석이 가장 타당한 것으로 판단된다.

2.2.2. 보령댐 주변 지표지질조사 및 분석

여수로 구조물 상류측의 구 도로변을 따라서 노출된 암반의 구조지질학적 조사를 시행하였다. 댐축 남서측 약 200m 지점~본댐 좌안사면 상류측 부분까지 조사를 실시하고 대안의 이설도로인 면리1호선을 따라서, 노출된 노두를 관찰한 결과를 지질도상에 표시하였다.(그림 2)

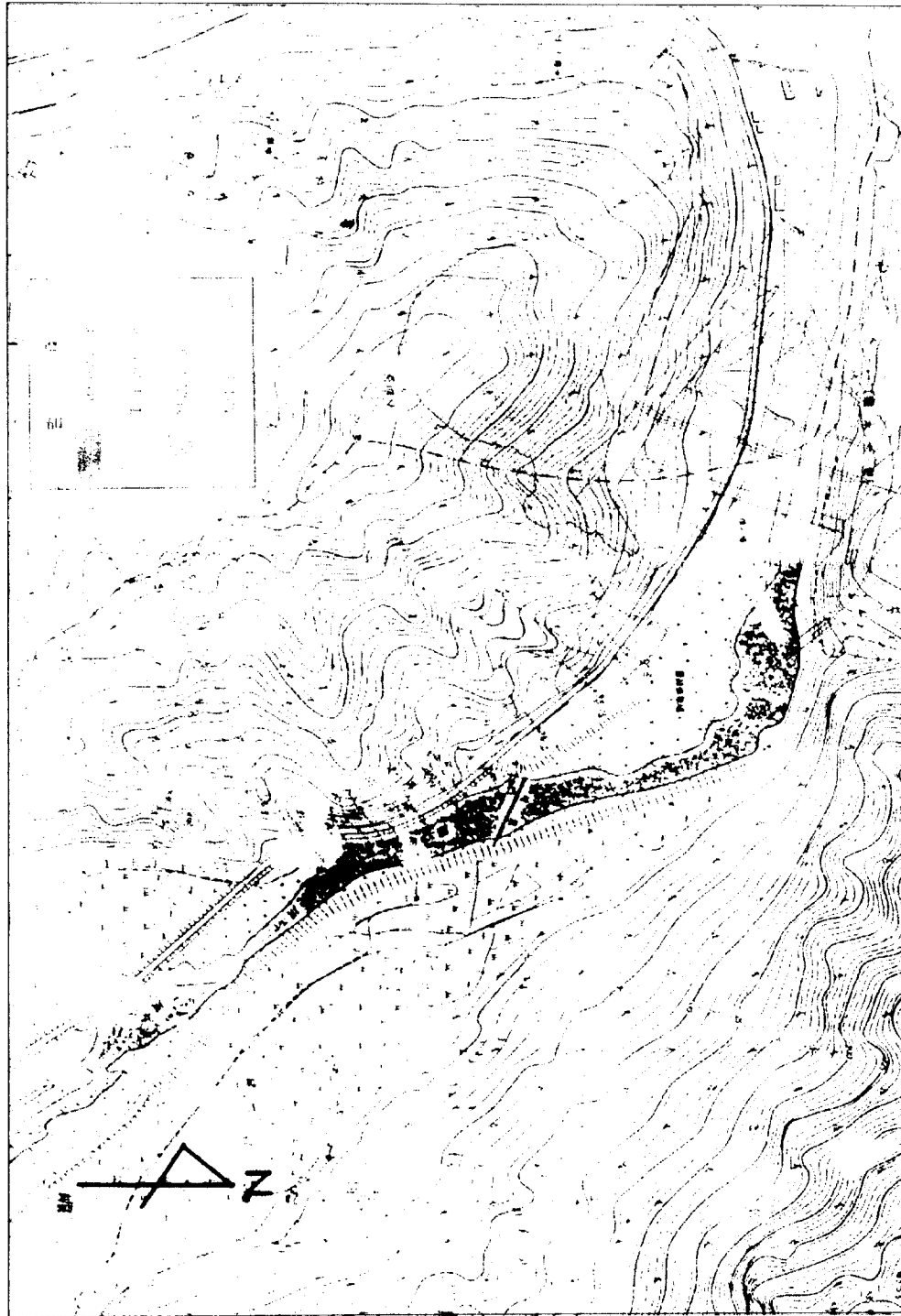


그림 2. 보령댐 주변의 지질도.

가장 남측부위인 DS-1 Site에는 석영질 변성역암(Quartzose metamorphic conglomerate)이 분포하는데 총리면의 인지가 곤란한 massive한 형태이며 Matrix는 mica-rich하며 clast size는 4cm정도로 원마도는 Subangular ~ Subrounded, Poor Sorting하나 역암이 압쇄대의 영향을 받은 연변상 부분으로 사료된다. DS-2 site에서 DS-15 site까지는 전형적인 압쇄암대를 보여준다. DS-2 site를 구성하는 암석은 지하심부에서 연성전단운동(Ductile-shear

movement)을 받아서 형성된 압쇄암(Mylonite)으로 244/83의 Foliation을 보여준다. 특히 Pressure Shadow와 Z-type folding이 현저하게 인지되어 Shear sense indicator로서 방향을 살펴본 결과 sinistral Strike-slip Faulting이 있었음을 알 수 있다. 남동에서 북서방향으로 갈수록 압쇄암에 형성된 Foliation의 경사가 완만해지는 경향을 보이는데 이는 전형적인 Strike-Slip Faulting에 수반되는 Flower structure임을 의미한다.

압쇄암대 중앙부에서는 30/66 방향을 가진 중성 ~ 염기성 암맥이 약 10m의 폭을 가지면서 관입하고 있다. 압쇄암대를 지나서 본댐 좌안사면 쪽으로 오면 전이대 내지는 연변상의 암석 이 발달하고 Foliation이 미약하게 인지된다. DS-17 site에는 96-102/69-81 방향의 Quartz swarm (=Tension gash)이 6매 발달하며 댐 방향으로 가면 거의 변성작용을 받지않은 퇴적암으로 전이된다.

대안의 먼리1호선에서도 애추(Talus)가 발달되어 있지만 압쇄암을 전석에서 확인하였다.

압쇄암대 내부에는 80~100 /63~81 방향의 Tension gash가 발달한다.

이상의 결과를 종합하여 보면 상류측에 발달한 Strike-slip faulting에 의한 Mylonitization을 받은 Shear zone이 본댐 좌안사면 정상부인 중매산(E.L.250m) 하부를 북동동-남서방향을 가지면서 횡단할 것으로 사료된다. 압쇄암대는 좌수향 주향이동 단층운동(Sinistral Strike-slip Faulting)을 보여 주지만 사면 및 압쇄암대내에 발달한 Tension fracture을 충진한 Tension gash의 strain ellipsoid을 작도하면 우수향 주향이동 단층운동(Dextral Strike-Slip Faulting)을 나타낸다. 이런 상반된 운동은 운동시기의 차이에 의한 것으로 판단된다.

즉, 압쇄암대를 형성한 연성전단운동은 지하심부의 고온, 고압 환경하에 형성되었으며 그 후기에 새로운 변형작용이 비교적 천부에서 Brittle한 운동을 한것으로 추정된다. 만일 동시에 형성된다면 Tension gash가 Sigmoidal한 Pattern을 보여줘야 한다. 그러나, 관찰된 Tension gash는 Sharp한 Boundary을 보여주는데 이는 후기의 응력장하에서 형성된것임에 틀림없다. 후기의 변형작용은 Thrust faulting과 관련이 있을 것으로 추정되나 좁은 지역의 조사 만으로는 판정할 수 없다.

2.3. 좌안사면 지표지질조사 및 분석

2.3.1. 사면의 불연속면 조사 및 평사투영법에 의한 조사

절취사면에서 지질도작성 및 불연속면의 방향성을 측정하고 이를 활용하여 평사투영법으로 분석하였다.

좌측사면은 층리면과 거의 일치되는 절취면으로 지질도의 작성은 별 의미가 없지만 석영이 충진된 Tension Fracture을 정확하게 기록하는데 주력하였으며 중앙사면은 지질주상도 작성을 하여 지질도로 표현하였다. (그림 3)

불연속면의 조사는 EL.154m 상부에서 시행되었다. EL. 154m 하부는 상부굴착시 pushing된 암피가 노두를 피복하고 있으며, 일부 노출된 부위로의 접근이 용이하지 않았고, 실제로 EL. 154m 하부에서 균열이 발생된 부위가 없는점으로 보아서 비교적 안정을 이루었다고 판단하여, 현재 균열이 발생하였으며, 진행중인 EL. 154m 상부 굴착사면에 대한 조사만을 시행하였다.

조사시 작업의 편리함을 도모하고자 각 소단 및 STA. NO.를 평면도상에 도시하여 각 사면에서 절취방향을 함께 고려해서 소규모 블록으로 분류하여 불연속면의 빈도수가 일정한 비율이 되도록 측정하였다.

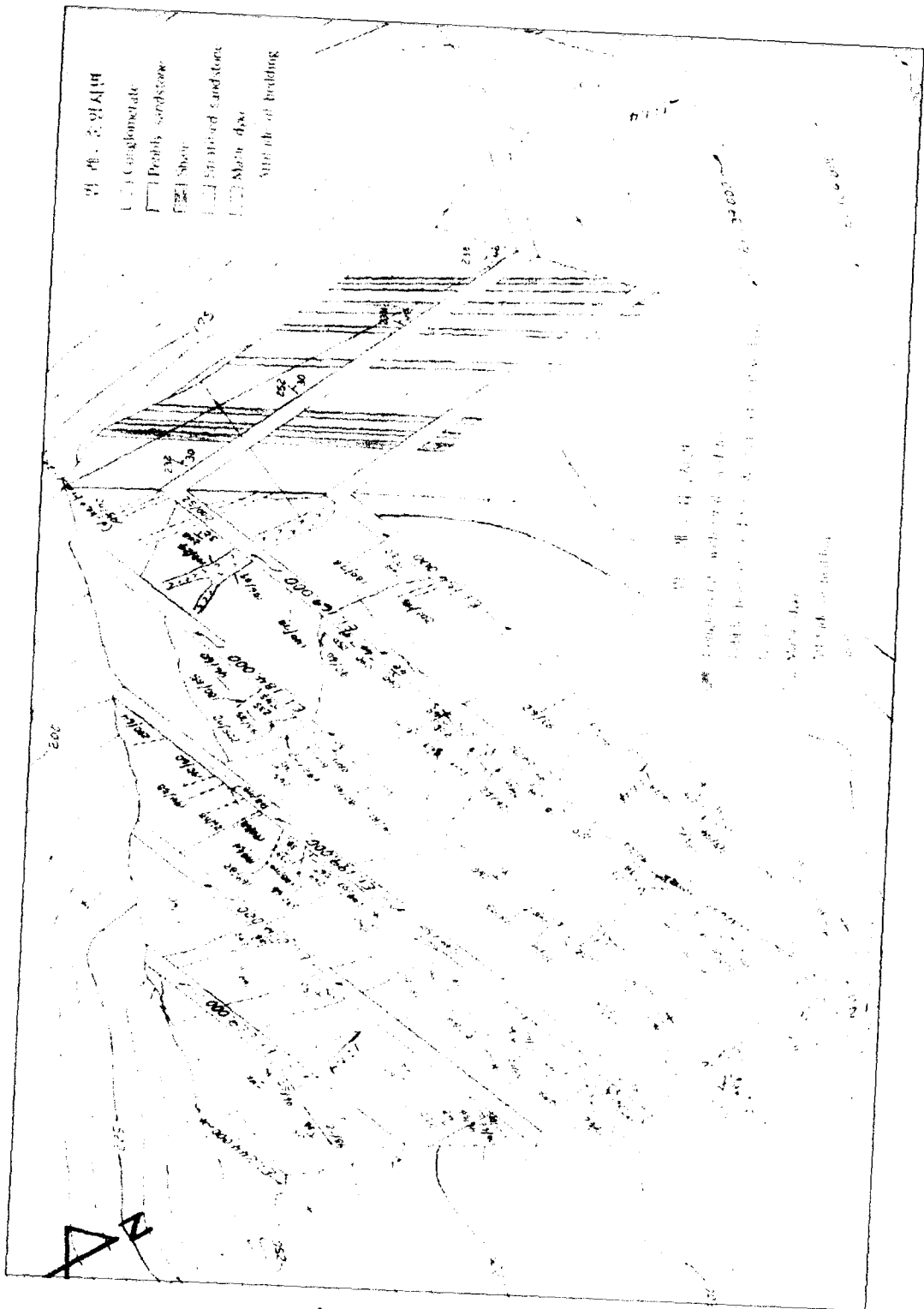


그림 3. 좌안사면 지표지질도.

측정결과 각 소단에서의 불연속면의 발달양상은 거의 동일하지만 층리면이 1:1.2~1:1.4로 변화되는 Convex 부분에서 하류측으로 갈수록 약간 회전함을 알 수 있었다. 이를 바탕으로 Q.P Program을 통한 π -diagram 및 contour digram을 도시하였고, 파괴양상의 추정을 위해서 Dips program으로 분석을 시행하였다.

이하에서 표시하는 방향성은 Dip direction / Dip 으로 나타내기로 한다.

1) 좌측사면

a. 제 1사면 (EL.244 ~ 229m)

사면의 절취방향(345/35.5)과 거의 일치하는 1군, 사면의 경사와 반대 방향의 경사를 가지며 주향과 30° 내외로 사교하는 Tension gash을 포함하는 2군(170~190/60~80), 고각도로 사면과 거의 수직으로 사교하는 3군(비슷한 경사각을 가지나 경사방향이 양방향으로 나타내는 2 개의 그룹으로 나타남)으로 구별할 수 있다.

1, 3군은 opening이 거의 없는 Slip 현상이 활발하나, 2군에서는 opening 현상이 뚜렷하다.

b. 제 2사면 (EL. 229 ~ 214m)

제 1사면에 비하여 1, 2군은 사면에 보다 평행하며, 3군은 주향이 사면과 수직이며, 경사 역시 수직에 가깝다.

c. 제 3사면 (EL. 214 ~ 199m)

제 1, 2사면과 거의 일치하나 3군의 분포범위가 다소 넓다.

d. 제 4사면 (EL. 199 ~ 184m)

제 3사면과 일치하나, 3군이 다소 불확실하며 제 1군의 분포가 넓고 밀집도가 높다.

e. 제 5사면 (EL. 184 ~ 169m)

발달된 fracture들이 사면의 pole을 축으로 하여 fold형태(부채꼴 형태)로 산재한다.

f. 제 6사면 (EL. 169 ~ 154m)

제 5사면과 동일하게 fold형태를 보여준다.

g. 전체사면의 분석

총 450개의 불연속면을 측정하여 Q.P program을 통한 π -diagram 및 Contour diagram으로 도시한 결과 최대 밀집구역은 330/30으로 사면의 자세(345/35.5)와 거의 일치한다.

앞의 각 사면에서 나타난 3개군집 즉 사면과 거의 일치하는 1군(충리면과 평행), 사면의 경사와 반대방향의 경사를 가지며 주향이 30도 내외로 사교하는 2군(160~200/60~80), 경사방향을 달리하며 고각도로 사면과 거의 수직으로 사교하는 3군이 잘 관찰된다. 또한 사면의 Pole점을 중심축으로 한 fold형태(부채꼴 형태)의 fracture 역시 잘 나타난다.

사면에 발달한 fracture(이하 불연속면을 fracture라 칭하기로 한다)의 특징은 다음과 같다.

첫째 많은 fracture가 사면의 자세와 일치한다는 점이다.

둘째 사면과 수직하는 선구조 (pole)를 중심으로 방사상으로 퍼져 있는 점이다. 이들 방사상의 fracture들이 2군과 3군에 밀집되는 것도 특징적이다. 사면전체에 발달한 open crack을 별도로 측정하여 도시한 결과 고각도의 fracture들은 전반적으로 opening이 진행되는 것으로 판단되나 그 분포양상을 살펴보면, 2, 3군에서 보다 밀집됨이 특징이다.

1군인 충리면이 거의 도시되지 않은점은 야외에서도 관찰된 바와 같이 slip만이 발생하는 fracture로 opening이 발생하지 않는 것으로 판단된다. 즉 2군의 opening에 의한 slip만이 발달하는 것으로 현 사면에서 사면거동의 1차적 요인은 아닌 것 같다.

사면의 운동방향을 추론하기 위하여 구조지질학에서 dyke가 관입할때 관입되는 방향을 조사하는 방법을 활용하여 open crack에서 dilation 방향을 살펴본 결과 거의 남북 방향으로 open crack의 우세 방향과 거의 수직으로 잘 일치하고 있다. 이러한 결과 현재 진행중인 암괴의 slip방향은 거의 정북(NS방향)으로 향하고 있음을 의미하고 있다.

이상에서 살펴본 좌측사면에서의 운동양상은 다음과 같다.

3군의 경사방향이 서로 상이한 2개의 그룹에 의한 썬기파괴, 2군의 opening, 그리고 사면과 수직하는 선구조(pole)를 중심으로 방사상의 fracture가 발달하여 있음을 종합적으로 고찰하면 현재 사면은 평면파괴가 아닌 circular fracture을 일으키고 있는 것으로 판단된다.

굴착전에는 기하학적으로 동일한 상태로 비교적 안정된 상태였으나, 굴착이 진행되면서 응력의 불균형이 초래되어 즉, stress release현상이 발생하여 기존의 약대인 인장 절리를 충전한 Ten-sion gash 부분이 먼저 opening된 이후에 이들 절리를 교차하면서 발달된 3군 fracture, 방사상 fracture에 의해서 표면부에서만 변형이 진행되는 circular failure가 발생하는 것으로 판단된다.

측정된 모든 fracture을 Dips program을 활용하여 파괴형태를 살펴본 결과에서는 층리면이 해당하는 1군의 평면파괴가 현저한 것으로 나타나지만 불연속면의 충전물, 조도, 틈, 간격등의 공학적 요소가 고려되지 않고 오직 기하학적 자세만을 반영한 것으로 평면파괴가 반드시 발생한다고는 볼수없다. 현재의 굴착사면 부위에서 굴착경사가 1:1.2~1:1.4로 전이되는 convex 부분에서 집중적으로 발생하는 것은 기하학적 형상이 응력이 집중되는 부분으로 점진적인 거동이 진행중이지만, 심각한 대규모의 붕괴는 없을 것으로 판단되므로, 사면안정대책 수립시 사면의 기하학적 형상을 변화시켜 응력이 집중되는 점을 피한다면 장기적인 관점에서 안정될 것으로 판단된다.

지질학적, 구조지질학적 관점에서 고려한 결과를 종합적으로 분석한 바에 의하면 평면파괴보다는 Circular failure가 현저한 것으로 결론지을 수 있다,

2) 중앙사면

중앙사면은 80/35.5의 자세로 층리면의 주향과 사교하고 있어 퇴적층의 단면 관찰이 용이하다. 주상도 작성을 통한 지질도는 도면에 도시하였다.

야외 관찰결과 층리가 발달한 사암대가 우세하며 부분적으로 역질사암, 역암, 탄질 shale이 협재되어 있다. 층후 약2.2m의 안산암질 암맥 1매가 층리면과 평행하게 관입되어 있고 층리면의 자세는 좌측사면과 동일하다.

총 73개의 fracture을 도시한 결과 330/33(1군, 층리면)에 최대밀집 구역을 보이며, 좌측 사면과 동일한 2,3군의 fracture가 관찰된다. 그러나 본 사면은 80/35.5의 자세를 가지고 있으며, 현재 open crack이 전혀 발견되지 않는다. 이는 주 slip fracture인 1군이 사면과 거의 수직으로 사교하고있어 fracture가 발생하지 않는 것으로 판단된다.

Dips program 상에서도 별 문제가 없는 것으로 판단되었다.

3) 우측사면

우측사면은 285/33.5의 자세를 가지고 있다.

사면의 EL. 154m 하부는 조사당시 소규모 암편 및 토사로 사면이 피복되어 있으며 하류측은 소규모 계곡이 발달하여 전석층이 분포한다. fracture을 살펴본 결과 좌측 및 중앙사면에서 관찰되는 1군은 잘 나타나나 2, 3군은 잘 관찰 되지 않는다. 대신에 북서주향의 고각도 fracture와 북동방향의 주향에 60도내외의 남동방향 경사를 가진 fracture가 특징적이다. 중앙사면과 마찬가지로 open crack이 발견되지 않으며, 사면의 방향과 주 fracture 방향이 사교함으로 인하여 failure가 발생하지 않는 것으로 판단되고 Dips program에서도 안정된 형태를 보여준다.

2.4. 시추조사 결과 및 경사계 측정

2.4.1. 시추조사 결과

댐 주변 지표지질조사 결과를 바탕으로 하여 사면의 하부에 분포할 것으로 추정되는 변성암의 심도를 확인하고자 사면의 4개소에서 시추조사를 실시하였다.(그림 4)

시추조사의 목적은 변성암의 심도 확인외에 하부암반의 fracture 발달정도 확인, 파괴면(활동면)의 추정을 통하여 지하 지질 단면도를 작성하여 이를 한계평형법으로 안전율 계산에 활용하고자 함이다.

시추조사 위치는 그림 4에 도시하였다.

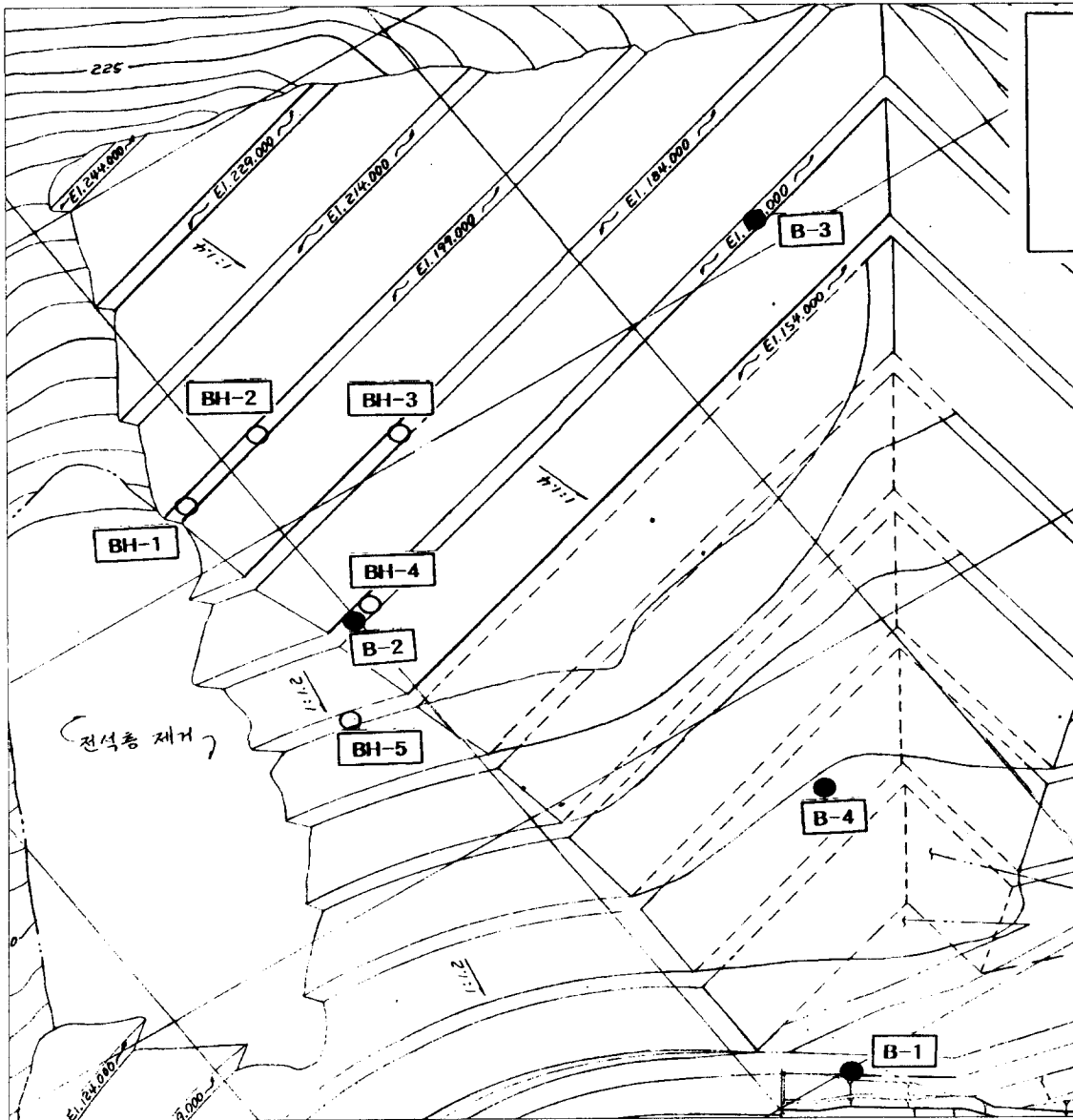


그림 4. 시추조사 위치평면도.

시추조사 결과는 표 2와 같다.

표 2. 시추조사 성과표.

공 변	좌 표 값		표고(M)	암질별 심도(M)		
	N	E		퇴적암	전이대	변성암
B -1	305, 302.195	168, 078.489	78.63	0.0~39.7	39.7~42.6	42.6~46.5
B -2	305, 130.490	168, 091.828	169.1	0.0~37.7	37.7~49.0	49.0~53.3
B -3	305, 092.9408	167, 955.757	168.65	0.0~38.1	38.1~46.0	46.0~52.0
B -4	305, 256.831	168, 051.882	98.69	0.0~50.1	-	50.1~56.5

각 암질별 각론은 다음과 같다.

1) 퇴적암

B-1, 2, 3번공은 약 39m의 심도까지 분포하나 B-4번공은 50.1m까지 분포하여 약간 상이하다. 이는 하부의 변성암과의 관계가 댐주변 지표지질 조사시 확인된 단층접촉 관계에 기인한다. 즉, 단층면 자체가 linear한 것이 아니라 Undulating하고 curved하여 국부적으로 심도가 깊은 것으로 추정된다.

퇴적암은 주로 역암, 사암 및 탄질 Shale로 구성되어 있다. 역암은 silt ~ fine sand size의 matrix에 1~7cm의 Gravel로 구성되어 있다. Gravel은 Subangular ~ Subrounded하고 Poor Sorting하다. Gravel은 Quartzite, 퇴적암 암편 및 변성암 암편이며 변성암의 암편은 foliation을 가진 종류가 있으므로 보아서 충남분지 기반암인 변성암으로 생각된다.

역암은 충후가 비교적 두텁지만 부분적으로 사암 및 shale이 층 사이에 협재하고 upward fining sequence을 보여준다.

일부구간에서는 절리면 사이에 Silicate material(Quartz)이 약 2cm정도의 두께로 충전되어 있다. 사암은 역암층 사이에 협재하는 경우도 있으나 비교적 massive한 상태이며, 조립~중립질이다. Shale로 전이되는 부분에서 물질의 Competent의 차이에 기인한 Fracture가 형성되어 있다. Shale은 흑색을 띄우고 탄질성분을 다량 함유하고 있다. 사암 또는 역암 사이에 협재되어 있으며, 충후가 얇고 절리의 발달이 현저하다. 또한, 부분적으로 심한 파쇄대를 이루기도 하여 현 사면에서 활동면으로 작용할 가능성이 가장 높은 부분이다.

파쇄대는 풍화가 상당히 진행된 상태를 보이기도 한다.

B-2번공 9.3 ~ 9.5m 구간에 완전 풍화된 Andesitic dyke가 분포함을 확인하였다. 이는 E.L 154m 상류측 1:1.2 굴착사면 하부에 발달한 Andesitic dyke와 연결되며 과거 썰기면 하부의 단층면으로 추정된다. 이들 Andesitic dyke가 향후 부분적인 Slip면으로 작용할 가능성이 있으므로, 사면 안정대책 수립시 반영되어야 한다.

2) 전이대

퇴적암의 하부에 분포하며 변성암으로 전이되는 부분으로 암질은 역암이 변형작용을 받아 치밀 견고한 형태를 보이고 있으며, 절리의 발달이 미약한 (F-2, F-3등급)암반이다.

퇴적암의 층리나 변성암의 foliation이 쉽게 인지되지 않으며, 상부의 퇴적암과 단층접촉 관계이나 단층운동 자체가 지하심부에서 발생한 연성 전단운동에 기인하므로 단층점도 또는 단층 각력암이 존재하지 않으며, 전이되어 점차로 퇴적암의 층리가 인지된다. 만일, 보강공법의 일환

으로 PC강선 Anchoring을 선택할 경우 정착장 심도로 결정할 수 있는 암반이다.

3) 변성암

본댐 좌안사면 하부에 분포하는 기반암으로 매우 치밀건고하고 절리의 발달이 거의 없는 massive한 상태이다. pressure shadow도 인지되며 댐주변 지표지질조사에서 추정된 방향과 일치함을 알 수 있다.

2.4.2. 경사계 측정 및 분석

시추공 인근에 경사계를 설치하여 사면의 거동을 계측하였다. (그림 4.)

계측의 목적은 B-1번공의 경우 표고 79m 하부암반의 거동여부 확인, B-2, 3,4번공은 현재 균열이 발생한 부위에서 어느 심도까지 변형이 진행되고 있는지를 알아보고자 함이다.

표 3. 경사계 설치심도.

공 변	표 고 (M)	경사계 설치심도 (M)
B - 1	78.63	44.5
B - 2	169.1	53.5
B - 3	168.65	52.0
B - 4	98.69	56.5

B-1번공은 시추조사시 46.5m를 천공하였으나, 착공한 다음 경사계를 설치한 결과 44.5m로 이는 Slime이 완전히 제거되지 않은 상태이나 경사계 설치시 Grouting을 실시하였으므로 큰 문제는 없다. 경사계 설치후 Grouting이 고결되어 암반과 경사계 pipe가 일체화되는 시간(3일)이 경과한 이후 1일 1회 계측을 실시 하였으며, 심한 변위가 발생하였을때는 1일 2회 계측을 시행하였다.

'97년 1월 22일 초기값을 측정후 지속적으로 관찰한결과 B-2번공의 경우 2월 28일 G.L. -2m에서 암과의 거동으로 인한 경사계 파이프의 변형으로 측정이 불가능하게 되었다.

B-1번공은 E.L. 79m 여수로 구조물 인근으로 현재까지 최대 변위량이 8mm 미만이나 B-2, 3, 4번공은 변위량의 크기가 비교적 크게 나타나는 것으로 관찰되었으며, 특히 B-4번공은 최대 42mm의 변위량을 기록하였다. 사면에서 균열이 발생한 EL. 154m 상부에 설치된 B-2, 3번공의 변위는 예상한것이였으나 EL. 100m에 설치된 B-4번공에서 변위가 계측됨은 현상적으로 이해하기 어려운 점이다. B-4번공이 실질적인 암반의 거동을 의미한다면 EL. 154m 하부에서 균열이 발생되지 않는점과 여수로 구조물과 인접하며 동시에 전면에 Open Space가 형성되어 있는 B-1번공이 비교적 안정된 상태를 나타내는 모순점에 대한 분석을 위해 외부 전문가의 도움을 받아서 계측결과치 및 계측기기상의 문제점을 검토한 결과 계측기기와 측정, Computer Program상의 운용에는 문제가 없음을 확인하였다.

계측과 Program 운용상의 문제점이 없음을 확인한후 초기 측정치일('97. 01. 22)로부터 분석시점(97. 03. 11)까지의 Raw data을 활용하여 아래의 작업을 수행하였다.

1) 경사계 설치단면 검토

분석을 시행하기전에는 경사계가 수직도를 유지하고 있을것으로 생각하였으나, 초기 측정값의 각 심도별 누적변위량을 이용하여 경사계 설치단면도를 작성한 결과 경사계의 설치형태가 당초 예상한대로 연직으로 설치되지않고 B-2, 3, 4번공의 경우 사면방향으로 최대 13m의 편차를 가지며 B-4번공의 경우 최하단부에서는 수직과 약 26도의 경사를 가지면서 설치되어 있음을 확인하였다. 이는 장비의 진입이 곤란하였던 B-1번공은 시추기로 기존의 시추공을 확공하였기에 매우 양호한 수직도를 유지하고있는 반면에 B-2, 3, 4번공은 경사계 설치를 위한 천공작업시 크로라드릴에 의한 충격식 천공으로 작업이 진행되어 암반의 약대를 따라서 천공이 진행되는 공극현상에 기인하는 것으로 판단된다.

초기값과 분석 최종치의 비교시 사면의 거동으로 인하여 폐쇄된 B-2번공 2m 지점을 제외하고는 큰 차이를 보여주지 않는다.

2) 일자별 절대변위량 검토

만일 암반이 실제로 거동하였다면 특정한 방향으로 변위가 지속적으로 발생 될 것으로 판단되어 검토하였으나, B-2번공의 2m 지점을 제외하고는 최대 2mm 이내의 변위량을 보이고 이들 변위량은 매우 불규칙한 형태를 보여준다. 이는 사면의 거동이 지속적으로 진행될 가능성이 낮은 것으로 사료된다.

3) 절대변위량의 심도별, 일자별 검토

만일 암반이 특정심도에서 거동한다면 변위는 전술한바와 같이 일정한 방향으로 변위량이 증가하게 될것이며 그 심도를 확인하여 시추주상도와 일치하는지의 여부를 확인하였다.

검토결과 B-2번공의 파괴된 부위를 제외하고는 변위가 지속적으로 진행되는 부분을 발견하지 못했다.

4) 경사계 설치단면의 Angle 검토

경사계 설치단면도상에는 전체적인 형상을 나타냈으며 50cm의 간격으로 경사계의 설치단면 각도가 어떻게 변하는지와 초기치와 분석 최종일(97.03.11)의 Angle 변화를 세부적으로 비교하였다. 경사계는 B-1번공은 수직도가 매우 양호하나, B-2, 3, 4번공은 매우 심한 공극현상이 발생하였음을 확인하였고 또한 Angle의 변화 역시 최대 0.14° 를 나타냈지만 0.14° 의 차이에 의한 변위량은 약 1.2mm로 미약하다.

대부분의 구간에서 0.05° 내의 각도변화가 계산되었으며 이는 변위량이 매우 작으므로 사면의 직접적인 거동이 지속되는 것으로 판단하기는 곤란하다.

5) 경사계 측정 Raw Data 검토

경사계 측정결과를 다각도로 검토하였으나 경사계 설치선형이 수직도를 상실한 점 외에는 변위가 크게 진행되는 징후를 발견할 수 없었다. 경사계 기록치는 하단부에서부터 상단부까지 연속적인 누적변위량을 나타내는 것으로 A방향의 변위량을 계산하기 위해서는 A₀ (+)방향의 측정값과 A₁₈₀ (-) 방향의 측정치 오차가 0.1mm이내 일 때 신뢰상이있는 것으로 볼 수 있다.

현재 측정된 값을 보면 초기치의 측정시 상부에서는 비교적 양호한 편차를 보이나, 하부에서는 편차가 증가한다. 초기치와의 비교시점인 분석 최종일(97. 03. 11)의 경우에는 상,하부 모두 큰 편차를 기록하고 있다.

각 공변별 초기값과 분석 최종일의 A, B축의 누적편차는 아래와 같다.

표 4. 경사계 기록치의 편차비교 및 최대변이량.

단위: mm

구 분	B - 1		B - 2		B - 3		B - 4	
	A 방향	B 방향	A 방향	B 방향	A 방향	B 방향	A 방향	B 방향
초 기 값	21.86	17.97	29.29	19.80	32.62	38.35	26.09	23.83
최 종 값	76.68	44.75	86.96	26.65	77.29	106.93	74.02	71.79
(초기값 - 최종값)/2	27.41	13.39	28.82	3.43	22.34	34.29	23.97	23.98
최 대 변 위 량	-8.07	-5.55	-25.36	-14.82	-31.34	-22.56	-42.05	-31.38
변 위 폭	-0.79	+4.08	+18.72	+32.19	+1.88	+18.21	+1.65	+16.46
최 종 일 변 위 량	7.28	9.63	44.08	47.01	33.22	40.77	43.70	47.84
최 종 일 변 위 량	-4.36	+3.18	+18.72	-13.75	-27.67	-13.58	-17.59	-31.68
비 고			2.27일이 최종치임					

표 4에서 계산된 초기값-최종값의 누적편차량은 1/2을 적용함이 타당하다. 이는 A₀ 방향과 A₁₈₀ 방향으로 2회 측정된 것이기 때문이다. 측정 초기치에서부터 분석일까지의 변위폭을 살펴보면 B-1번공은 누적편차량 보다 적은 수치인 반면에 B-2, 3, 4번공은 변위폭이 누적 편차량을 약간 상회하는 것으로 나타났다.

초기값과 특정한 일자의 누적편차량만 비교하여본 결과 변위폭은 장시간에 걸친 측정 결과를 이용한 결과로 명백하게 실제 암반의 변위가 진행됨을 의미하지 않는다.

상기와 같은 다양한 분석을 실시한 결과 현 사면에서 설치된 경사계로부터 얻어진 변위량으로 나타나는 수치는 경사계 선형이 수직도를 상실함에 기인하는 측정오차가 상당부분 포함된 것으로 생각된다. 그리고 암반사면의 실거동과 계측시 발생오차의 정량적인 구분은 현실적으로 매우 어려운 상황이나 결론적으로 현 사면은 심각한 변위가 진행되지 않는다고 본다. 그러나 여수로 구조물 직상부에 위치한 본댐 좌안사면은 댐체체의 안정성을 고려할 때 영구사면이므로 최악의 조건을 가정하여 사면안정 대책을 수립시 반영함이 타당할 것이다.

2.5. 안정성 분석

대상사면인 여수로 좌안사면은 시추조사 및 댐주변 지질조사 결과 퇴적암, 전이대, 변성암의 순서로 분포하고 있음을 확인하였다.

경사계의 계측결과 전이대 및 변성암의 거동 가능성이 없음이 역시 확인되었다. 따라서, 사면의 활동가능성은 전이대 상부에 분포하는 퇴적암이다. 전체 퇴적암이 거동할 것으로 예상하면 막대한 중량에 의한 것으로 안정대책수립 자체가 곤란하나 EL. 79m에 설치된 B-1 번공 경사계 측정치에서 보았듯이 상부 퇴적암의 거동이 없는 상태이며, 현재 사면에 발생한 인장절리의 Opening은 깊은 심도를 가지지 않는 구조절리인점, Stress release에 기인한 응력불균형으로 형성된점을 고려할때 점차 안정을 찾아가는 과정에 있다고 생각한다.

사면의 안정성에 절대적 영향을 미치는 부분은 EL. 59m 상부(여수로 접근수로상부)로 예상된다.

EL. 59.0m 하부 퇴적암이 거동을 할 가능성이 전혀 없는바는 아니지만 연속성을 가지고 있으며, 댐 체체의 자중에 의한 저항력이 함께 작용하여 안정성에 문제가 없다고 판단된다.

EL. 59.0m ~ 79.0m 부위는 여수로 구조물 부분으로 Open space을 형성하고있기 때문에 만일 사면의 거동이 예상되면 이 부위가 가장 취약할 것으로 판단된다. 사면에서 실시된 시추조사 성과를 바탕으로 하여 B-1 번공의 EL. 59.0m 부근에 발달되어 있는 파쇄대를 추정 Slip 면으로 설정하고 나머지 시추공에서 B-1번공의 파쇄대와 연장성이 있을 것으로 추정되는 심도를 Slip 면으로 결정하였다.

시추조사 성과를 바탕으로하여 작성한 지하지질 단면도는 그림 5에 도시하였다.

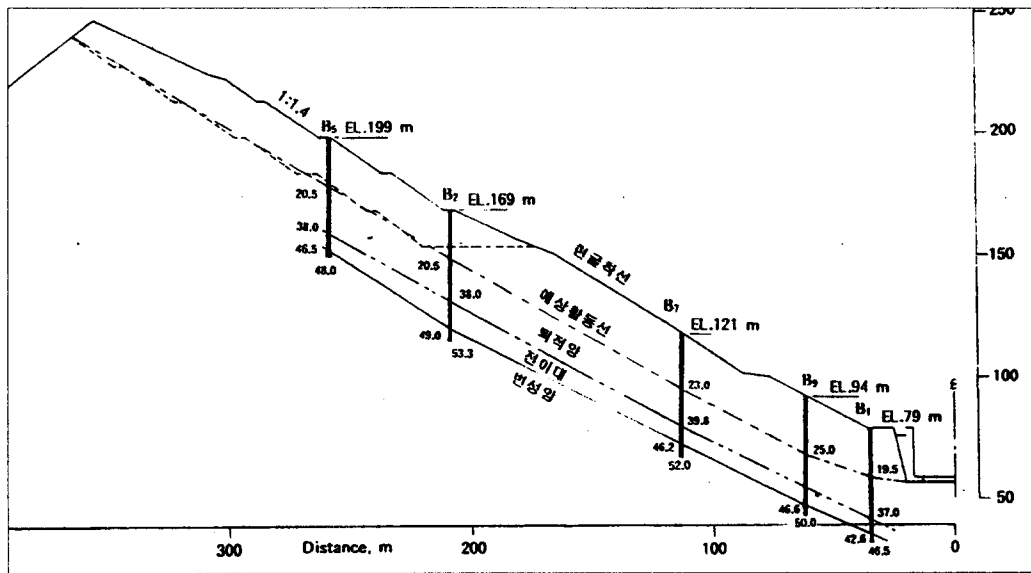


그림 5. 본댐 좌안사면 지하지질 단면도.

2.5.1. 안정해석 검토조건

1) 활동은 장기적으로 보아 변성암과 퇴적암의 경계부위에서 발생할 것으로 간주할 수 있으나, 퇴적암의 연속성이 양호하고 댐 체체 자체가 저항력으로 작용하므로 취약부위는 EL. 59.0m에서 EL.79.0m까지 여수로 구조물이 Open space로 노출되어 있기때문에 EL. 59.0m 상단부의 가상 파괴면을 따라 발달하는 평면파괴로 가정한다.

2) 활동이 시작되면 절개사면 상부 EL. 154.0m에 인장균열이 수직으로 발생한다고 가정한다.

3) 인장균열 내에는 우수에 의해 지하수가 충전되고 가상 파괴면을 따라 흐르면서 상단부에 양압력 (Uplift water pressure)이 작용하며 수직균열내에서는 횡압(V)이 작용한다.

4) 사면의 지하수위선은 -7.0m로 가정하여 하부는 지하수로 채워져 있다고 가정한다.

5) 저수지의 홍수위선을 기준으로 EL. 79.0m까지 모세관 현상에 의한 간극수가 채워져 있는 것으로 가정하여 수위 급강하시 간극수압이 발생하는 것으로 가정한다.

6) 사면 안전을 계산에서의 내부마찰각 (ϕ)과 점착력(C)의 값은 같은 암석에 대해 시행된 외국의 자료 및 국내의 자료를 참고했으며, 현장의 구조적인 조건에 맞는 내부마찰각 $\phi = 30^\circ$, 점착력 $C = 15.0 \text{ t/m}^2$ 값을 채택하여 안정해석을 시행하였다

점착력 $C=15.0 \text{ t/m}^2$ 보다는 높을것으로 추정되나 예상 파괴면이 사면하부에 존재하여 원위 치 전단시험이 불가능하고, 또한 본댐 좌안사면은 영구사면이므로, 안전을 최대한 고려하기 위해서 조금 낮은 수치로 가정하여 안전율에 대한 계산을 시행하였다.

2.5.2. 사면 안전율계산

상기 가정에 의한 사면안전율은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \blacksquare \text{ 안전율}(F) &= \text{미끄러짐을 유발시키는 전체 힘} / \text{미끄러짐에 저항하는 힘의 총합} \\ &= \text{전단저항} / \text{전단응력} \\ &= \frac{cA + (W \cos \phi_p - U - V \sin \phi_p) \tan \phi}{W \sin \phi_p + V \cos \phi_p} \end{aligned}$$

여기서 $A = (H-Z) \operatorname{cosec} \phi_p$

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w Z_w (H-Z) \operatorname{cosec} \phi_p$$

$$V = \frac{1}{2} \gamma_w Z_w^2$$

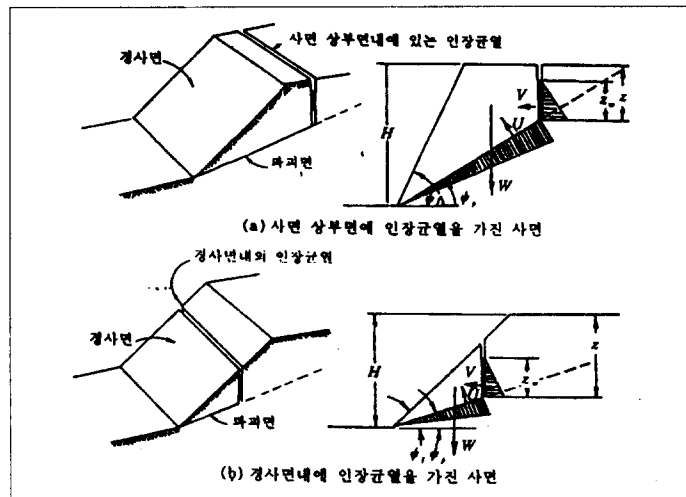


그림 6. 인장균열을 가진 사면의 기하학적 조건.

① 사면상부에 인장균열이 있는 경우

$$W = \frac{1}{2} \gamma H^2 \left[\left(1 - \left(\frac{Z}{H}\right)^2\right) \cot \phi_p - \cot \phi_f \right]$$

② 경사면내에 인장균열이 있는 경우

$$W = \frac{1}{2} \gamma H^2 \left[\left(1 - \left(\frac{Z}{H}\right)^2\right) \cot \phi_p (\cot \phi_p \tan \phi_f - 1) \right]$$

위 해석 방법에 의거하여 사면안전율을 구하면 표 5와 같다.

표 5. 사면안전율.

구 분	소요 안전률	목표 안전률	비 고
1. 전체 구간			
- 지하수위 무시 (정상시)	1.83	1.5	
- 지하수위 무시 (지진시)	1.63	1.2	
- 지하수위 고려 (정상시)	1.30	1.5	
- 지하수위 고려 (지진시)	1.16	1.2	
2. EL. 154.0m 하부구간			
- 지하수위 무시 (정상시)	1.89	1.5	
- 지하수위 무시 (지진시)	1.69	1.2	
- 지하수위 고려 (정상시)	1.82	1.5	
- 지하수위 고려 (지진시)	1.63	1.2	
- 간극수압 고려 (수위급강하시)	1.69	1.4	
- 간극수압 고려 (지진시)	1.51	1.2	
3. 썰기 잔존구간			
- 평 상 시	1.36	1.5	
- 지 진 시	1.21	1.2	
<p>여기서, 일 반 암 : 내부마찰각 = 30° 점 착 력 = 15 t/m² 썰 기 : 내부마찰각 = 22° 점 착 력 = 2 t/m² 지진계수 : K = 0.12 g 고려</p>			

위 표 5에서 보는바와 같이 현 굴착사면 전체의 안전율은 지하수위를 고려한 정상시는 1.30으로 목표 안전율 1.5에 못 미치는 것으로 판단되었다. 그러나 전술한 바와 같이 대규모 평면 파괴가 발생하지 않기 때문에 만일 거동이 존재한다면 여수로 구조물 부근의 Open Space 부근에서 발달될 것으로 추정하는 가상 파괴선을 기준으로하여 현재 균열이 진행된 EL. 154m 상부를 제거하는 방안을 수립한후 안전율을 계산한 결과 목표 안전율을 상회하므로 안정성에 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

3. 사면 안정대책

3.1. 위험 암괴의 완전제거 방안(사면의 경사를 내부마찰각 이하로 낮추는 방안)

현 굴착사면의 방향을 유지하면서 내부마찰각 이하로 완화하게 되면 현재 1:1.4인 사면의 경사가 1:2.0으로 되는 방안으로 굴착량이 약 150만 m³로 막대하고 현재의 1:1.4로 형성된 중앙사면과 연결될때 중앙사면은 곰재방향으로 더욱 물러나게 되며, 전석층 상부의 안정된 자연사면까지 굴착을 해야 하므로, 새로운 파괴가 발생할 가능성도 잠재되어 적절한 안정대책이라 판단되지 않는다.

3.2. 평사투영법에 의한 안정대책(사면의 경사를 N60 방향으로 전환하는 방안)

평사투영법 분석에서 문제가 되는 Daylight envelope zone을 벗어나기 위해서는 최소한 사면의 경사방향이 N 60도 이상으로 전환해야 한다. 그러나 굴착을 시행할 경우 댐 상류측 1.3Km 부근인 곰재까지 굴착되어야 하는 것으로 이 방안은 이론적인 안정대책은 될 수 있지만 현실적으로 불가능한 대안으로써 평사투영에 의한 이론상의 안정성 확보방안이라 판단된다.

3.3. 조사결과에 의한 안정대책 방안(EL. 154m 상부에 Berm을 확보하는 방안)

현재 굴착사면에서 문제가 되는 부위는 EL. 154m 상부에 해당한다.

사면의 불연속면에 대한 조사와 분석, 인장정리는 비교적 천부에 위치하는 구조절리라는 점, 사면하부 암반은 표면과 상이한 변성암이라는 점등을 종합적으로 고려할 때 대규모 평면파괴가 발생하지 않을것이란 분석결과를 바탕으로하여 EL. 154m에 Berm을 확보하는 방안을 수립하였다. 시추조사 결과를 바탕으로 EL. 59.0m 상부가 Open space을 이루고 있어 활동이 발생한다면 이 부위가 될것으로 가정하여 추정되는 Slip면을 단면도상에 도시하였다.

EL. 154m 에서 균열이 상부로 발달하여 있으므로 추정 Slip면 상부의 암괴를 제거하고 사면의 안전율을 계산한 결과 어떤 조건에서도 목표 안전율 1.5을 상회하나, 추정 Slip면의 경사는 30도로 사면의 경사가 35.5도를 이루고 있어 상부에 부분적으로 잔존하게 되므로 이의 완전한 제거 및 부분적으로 발생할 것으로 추정되는 Wedge failure에 의한 소규모 암괴가 직접 하부에 영향을 미치지 않도록, EL. 154m에서 Berm의 폭은 35m로하고, 가장 균열이 심하게 발달한 EL. 184m에서는 소단의 폭을 8m로 하였다.

굴착과 동시에 EL. 124m 까지는 중앙사면과 연결하여 압성토를 실시하면 공사비 절감과 사면안정성 확보 측면에서 양호하다. 압성토 시행으로 EL. 154m 하부의 현재 잔존하고 있는 켜기면 상부 암괴가 켜기면을 따라서 붕괴될 가능성을 억제하게 될 것이다.

굴착시 154m 지점에 Berm을 확보하는 방법으로는

- ① 좌측사면을 수평이동 시키는 방안
- ② 좌측사면 Convex 부위에 곡률 반경을 주어 중앙사면과 연결하는 방안
- ③ 좌측사면 Convex 부위에서 중앙사면과 직선으로 연결하는 방안이 있다.

②③번 방안은 굴착량이 적으나 미관이 떨어지며, 특히 사면에 분포하는 퇴적암의 층리면과 사교하면서 굴착이 되므로 사면에 발달한 절리의 교차에 의한 켜기파괴 가능성이 높으며 소규모로 진행되는 켜기파괴에 의해 이탈되는 암괴가 하부에 영향을 미치는 것을 방지 하고자 확보하는 소단의 폭이 좁아지게 된다. 그러므로 현 사면을 수평으로 35m의 Berm을 확보하면서 이동시키는 것이 현장의 여건 및 안정성 확보차원에서 최적의 방안이라 판단된다.

표 6. EL. 154m 굴착방법 비교표.

방 안	단 점	장 점	비 고
①	굴착량이 많음	사면상부하중 감소로 안정성이 높아짐	
②③	<ul style="list-style-type: none"> · 층리면과 사교하여 썩기 파괴가 지속적으로 발생할 가능성이 존재함. · 미관상 좋지않음 · 중앙사면 부근은 Beam의 폭이 좁아져 불안해보임 · 가상 파괴면을 고려할시 일부에만 국한되어 공간 확보가 불리함. 	굴착량이 적음	

3.4. Ground Nailing

여수로 구조물 인근에 설치된 B-1번공 경사계의 계측결과 비록 누적오차가 포함되어 있다 하더라도 여수로 구조물은 댐의 가장 중요한 시설물이며 댐체체에 미치는 영향력이 크기 때문에 시추조사시 확인된 EL. 59m 상부에 발달된 약선대에 대한 보강대책의 일환으로 유압식 시추기를 이용한 천공후 천공경내에 철근을 삽입하고 철근을 주변암반과 일체화 시키기 위하여 59m 이하는 암반에 새로운 포락이 발생되지 않는 한계압력이하로 저압압밀 그라우팅을 실시하고 상부는 단순 밀크채움을 실시하는 Ground Nailing 공법을 적용하였다.

Ground Nailing는 강우시 암반에 포화된 침투수가 배제되도록 하였으며 기 계획된 Curtain Grouting의 효과를 증대시키기 위하여 상하류 10m 구간(A Block)에 대해서는 EL. 79m 이하는 압밀로, 79m 상단은 단순채움을 실시함으로써 Grouting을 수반한 공법으로 변위에 대한 보강과 약선대에 대한 보강대책으로 수립되었다.

4. 결론

보령댐이 위치하는 충남 보령시 일원은 지질계층상 중생대 대동누층군이 분포하는 충남분지로 광역지질구조 해석결과 연성전단대를 가지는 주향이동성 단층운동으로 인하여 본댐 좌안사면은 상부의 퇴적암에서 하부로 갈수록 퇴적 변성암류로 전이됨을 알 수 있었다.

사면의 균열발생 원인은 상재하중의 감소로 인한 응력이완 현상에 기인하여 구조적 약대인 석명이 충전된 인장절리면이 열개된 후 층리면을 교차하면서 서로 사교하는 2방향의 절리면과 연결되는 썩기파괴 양상을 거쳐서, 최종적으로는 층리면을 통하여 Slip이 일어나는 것으로 밝혀졌다.

보령댐 좌안사면 안정대책 수립을 위해 광역지질구조, 사면에 발달된 인장절리의 구조적 성인고찰, 시록조사, 경사계분석, 균열에 대한 지속적인 관찰과계측등 종합적인 조사를 실시하여 균열발생부위 상부에 적치공간을 확보하고 중요 구조물인 여수로 구조물 인근을 Ground Nailing 공법으로 시행한 경과 공사완료 후 6개월이 경과된 현재 사면은 안정을 이루고 있다.

사면안정 대책을 수립하고자 할 경우에 철저한 현장조사와 분석이 요구되는 것을 강조한다.

5. 감사의 글

본 연구를 수행하는데 많은 도움을 주신 한국수자원공사 김 필수 처장님, 이 영세 단장님 이하 직원과 쌍용건설 송 길성 소장님, 본댐 좌안사면 안정대책의 수립에 적극 협조하여 주신 감리단의 권 기옥 부사장님과 최 강덕 단장님, 자문위원이신 한서엔지니어링 윤 운영 부사장님, 우대기술단 양 현승 사장님, 경북대학교 김 교원 교수님, 홍익대학교 황 정규 교수님, 충북대학교 신 방웅 교수님과 항상 많은 격려와 토론을 하여주신 유신설계공단 김 남종 이사님(전 수자원공사 지질지하수부장), 부경대 최 정찬 교수님, 수자원연구소 신 동훈 박사님께 감사드립니다.

특히, 구조지질학과 암석역학의 토대를 지도하여 주신 부산대학교 김 인수 교수님께 진심으로 감사드리며, 야외지질조사를 함께 수행하고 분석 및 토론을 하여준 고려지질 주식회사 김 병완 대표이사, 신 중주 대리(부산대학교 박사과정), 정 혜윤 기사(부산대학교 석사과정), 교정과 컴퓨터 작업을 도와준 보령댐 수도건설사업단 김 종옥씨에게도 고마움을 드립니다.

참고문헌

1. (주) 삼안건설 기술공사, 1997, 보령댐 좌안사면 안정대책 검토보고서, 129p.
2. (주) 동아응용지질 컨설팅, 1974, 충남탄전 지질도 및 정밀지질조사 보고서, 50p.
3. 박철숙, 1998, 구조·에너지 지질학 분과위 14차 심포지움 및 학술답사, 대한지질학회, p23-245.
4. 서해길, 김동숙, 이창범, 배두중, 조민조, 1982, 충남탄전(II) : 웅천, 미산지역 석탄자원조사 보고서 제4호, 한국동력자원연구소, 34p.
5. Adolphe Nicolas, 1987, Principle of Rock Deformation, D. Reidel Publishing Company.
6. G. S. lister & A. W. Snoke, 1984, S-C Mylonite, Journal of Structural Geology, Vol. 6, No. 6, p617-638.
7. J. G. Ramsay, 1967, Folding and Fracturing of Rocks, McGraw-Hill, New York, 568p.
8. N. J. Price & Cosgrave, J. W., 1990, Analysis of geological structures, Cambridge University Press, Combridge, England, 502p.
9. R. H. Sibson, 1977, Fault rock and fault mechanism, Jl. geol. Soc. Lond. Vol. 133, p191-213