

P.C. Anchoring 공법을 활용한 사면안정대책

The Slope Stability Establishment with P.C. Anchoring Method

박 철 속
손 재 호
인 영 길
장 두 희

한국수자원공사 대곡댐 건설단
(주) 명성엔지니어링
(주) 삼부토건 대곡댐현장
(주)한진중공업 대곡댐현장

요약/ABSTRACT

울산광역시 울주군 두동면 천전리 306번지 일대에 건설되는 대곡댐은 높이 52m, 길이 190m의 표면차수벽형 석괴댐이다.

대곡댐 건설사업과 관련하여 여수로 좌안사면 굴착공사를 시행 중 2000. 7. 23 13:00~ 7. 24. 04:00 67.0mm의 강우가 있는 후 Sta. No. 1~2, EL. 137~134m 지점에 균열이 발생하였다.

안정대책을 수립하고자 지표지질조사 및 평사투영법에 의한 안정성을 검토하고 굴착 후 예상되는 불안정 요소를 고려하여 사면의 부분적인 추가절취 및 Pre-stress가 가능한 SSL PC Anchoring에 의한 억지공법을 수립, 시공하였다.

주요어 : 지표지질조사, 평사투영법, SSL. P.C. Anchoring

Daegok dam is Concrete Face Rockfill Dam(C.F.R.D) of which 52m height, 190m length, that construction in beneath 306, Chanjeon-Ri, Dudong-Myeon, Ulju-Gun, Ulsan Metrocity.

Left slope excavation of spillway have related to Daegok dam construction are developing crack in Sta. No. 1~2, EL. 134~137m after 67.0mm rainfall from 2000. 7. 23. 13:00 to 7. 24. 04:00.

Surface geological survey and slope stability investigation with stereographic projection method in order of slope stability establishment.

Partial supplement excavation and SSL. P. C. Anchoring method is able to pre-stressing are think about unstable element after excavation.

This slope stability establishment is very successfully completion.

Key Word : Surface geological survey, stereographic projection method,
SSL. P. C. Anchoring method

I. 서 론

대곡댐 건설사업과 관련하여 여수로 좌안사면 굴착공사를 시행 중 2000. 7. 23 13:00~7. 24. 04:00 67.0mm의 강우가 있는 후 Sta. No. 1~2, EL. 137~134m 지점에 균열이 발생하였다.

안정대책을 수립하고자 지표지질조사 및 평사투영법에 의한 안정성을 검토하고 굴착 후 예상되는 불안정 요소를 고려하여 사면의 부분적인 추가절취 및 Pre-stress가 가능한 SSL PC Anchoring에 의한 억지공법을 수립하였다.

II. 안정대책 수립을 위한 지질조사

1. 균열발생 현황

여수로 좌안사면은 2000. 4. 27.에 굴착을 시작하여 작업을 시행하는 도중에 2000. 7. 23 13:00~ 7. 24. 04:00 67.0mm의 강우가 있는 후 Sta. No. 1~2, EL. 137~134m 지점에 단층면을 따라서 균열이 발생하였다.

균열은 최대 70.3cm의 폭과 깊이 5m가 확인되었다.

2. 균열발생의 원인

균열의 발생원인은 사면 배후의 CR-7 도로와 경계를 형성하는 부분에 발달된 전단단층대에 협재하는 단층점토가 굴착으로 인한 응력의 이완과 강우에 의해 전단강도가 저하되어 발생한 것으로 추정된다.(Fig. 1.)

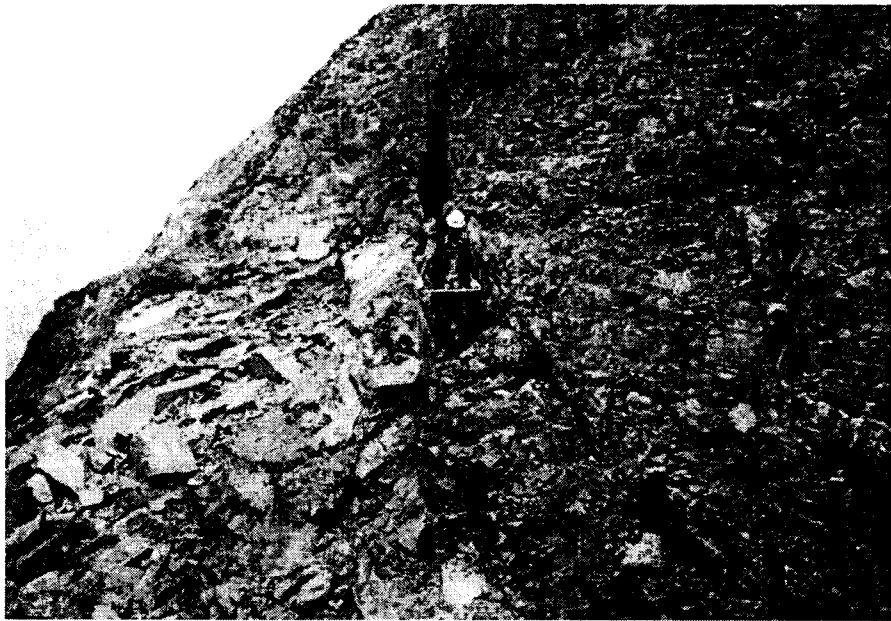


Fig. 1. The scope of crack developing part

3. 지표지질조사

가. 목적

안정대책의 수립 및 사면을 구성하고 있는 지층에 대한 구조지질학적 고찰을 위하여 균열 발생부와 주변의 CR-7 도로부에 대한 지표지질조사를 실시하였다.

나. 조사결과

1) 굴착현황

현 굴착사면은 195/63의 기하학적 자세와 약 20m의 사면고을 가지고 있다.

2) 구성암석 및 지질구조

사면은 우리나라 지질계통상 중생대 백악기 경상누층군의 신라통 대구층에 대비되는 사암

및 셰일로 구성되어 있고, 사면의 정상부에서 Sta. No. 2 방향으로는 232/87의 방향으로 안산암질 암맥이 약 3m의 층후로 관입하여 있으나, 관입한 안산암질 암맥이 연속되는 CR-7 도로측에서 인지되지 않는 점은 구조운동에 의해 발달이 규제됨을 의미한다.

CR-7 도로 시점부는 적색의 사암과 협재하는 적색 셰일이 224/11의 층리면을 보이나, 여수로 좌안사면부에서는 134~140/13~19의 층리면을 보인다.

이는 주향이동성 단층에 의해 층리면이 부분적으로 회전한 것으로 단층대는 CR-7 도로사면과 여수로 사면의 경계부에서 11~19/77~84의 자세로 인지된다.

단층대는 CR-7 도로측은 적색사암이, 여수로사면 측에는 녹색사암이 좌수향 주향 이동성 단층운동(Sinistral Strike-Slip Faulting)을 받았음이 균열이 발생한 단층면에서 인지되었다.

그리고, CR-7 도로사면부에는 인장절리를 충진한 석영으로 구성된 Tension gash 가 3~10/83~90의 방향으로 발달하나, CR-7 도로의 종점부로 갈수록 감소함이 인지되는 것 역시 주향이동 단층운동이 있었음을 지시한다.

즉, 단층대가 좌수향 주향이동성 단층 운동을 받아서 여수로측 사면부를 구성하는 단층면에 인접한 지층의 회전을 유발하여 그 결과로 CR-7 도로사면은 적색사암, 여수로측 사면은 녹색사암이 분포하게 되었다.

단층대는 여수로 굴착사면에서 CR-7 도로사면 방향으로 거의 수직을 이루고 있으므로 현 굴착사면 하부로 굴착할 경우에 노출될 가능성이 낮은 것으로 판단된다.

균열은 단층대 중 녹색사암부에서 발달한 것으로 단층면은 하부로부터 상부로 갈수록 38/76→47/73으로 전이하고, 약 20~30cm의 단층 점토(Fault clay), 단층 각력암(Fault gouge)이 협재하며, 이와 사교하는 층리면에도 단층면이 발달하여 약 3cm 정도의 황갈색 점토가 협재하여 있음을 확인하였다.

단층면에서는 부분적으로 지하수의 용출이 인지되고, 단층면 전면 지층의 하부는 녹색사암, 상부는 적색사암이 약 3m의 층후를 보이고, 209~218/17~19의 자세로 CR-7 도로의 지층과 유사한 자세를 보인다.

이것 역시 단층면에 인접한 지층의 자세가 회전하였음을 반영하는 것이다.

4. 불연속면 조사

암반사면 안정성에 영향을 미치는 요소인 불연속면의 발달 상태를 조사하기 위하여 구성암석, 지질구조, 사면의 절취방향을 고려하여 3부분으로 구분하였다.

가. Sta. No. 1+10~2+20.5(EL. 135m 이하)

EL. 135m 이하 사면부로 굴착작업이 하향으로 진행중인 지역으로 현 사면고는 7m 이내로 주로 사암과 셰일로 구성되며, 끝부분에서 안산암질 암맥이 관입하여 있음을 인지하였다.

가장 우세한 불연속면(J₁)은 134~140/13~19 자세의 층리면으로 사암부는 30cm 이상, 셰일부는 5cm 이하의 Spacing(간격)을 보인다.

국부적으로 층리면 단층이 발달하였으며, 최대 3cm의 단층점토가 협재하여 있고, 지하수가 소량 유출하고 있음을 확인하였다.

J₂는 252~258/58~62의 자세로 20cm의 Spacing, J₃는 166~175/79~89의 자세와 30cm의 Spacing을 보인다.

F1은 균열이 발생한 단층면으로 30~47/73~84이며, 20~30cm의 단층점토, 단층각력암이 협재하고, F2는 230~240/75~84의 자세이며 1m의 비교적 넓은 Spacing을 보인다.

사면의 파괴부에 대한 Failure mechanism을 살펴본 결과 F1의 응력이완에 의한

Opening이 발생→ J_1 과 F2의 교차에 의한 썩기파괴의 발생→ J_2 방향의 평면파괴→F1의 전도 파괴의 순으로 추정되었다.

나. Sta. No. 1+10~2+16.5(EL. 151~135m)

Sta 2+2.5~12.8m 구간은 세일이 우세한 지역으로 절리면이 다소 풍화된 상태이며, 12.8m 이후 구간은 안산암질 암맥이 280/52의 방향으로 관입하여 있다.

층리면에 해당하는 J_1 은 155~165/10~13, J_2 는 316~338/72~88, J_3 는 246/81, 54/79, J_4 는 48~52/74~78, Random은 280/52의 방향성을 보여주며, 단층의 발달이 미약한 점을 제외하고는 Sta. No. 1+10~2+20.5(EL. 135m 이하)지역과 동일하다.

다. Sta. 0~1+10(EL. 145m 이하)

균열이 발생한 단층면을 기준으로 굴착부 전면에 해당하는 지역으로 구성암석은 상부는 약 3m 층후의 적색사암, 하부는 녹색사암이 괴상으로 분포한다.

층리면과 일치하는 J_1 은 209~218/17~19의 자세로 CR-7 도로사면과 일치하며, J_2 는 204~215/76~89, J_3 는 142/88, 290~321/83으로 다소 점이적 변화를 보인다.

J_4 는 적색 사암부에만 발달하여 290/50~62의 자세를 보인다.

Failure mechanism은 J_4 와 J_3 의 교차에 의한 썩기파괴→ J_2 에 의한 평면파괴의 순으로 예상되나, 균열이 발생한 지점의 전면에 위치하여 안정대책 시행시 제거되는 부분이나, 향후 하부사면의 굴착시 파괴 가능성에 대한 검토를 위해서 분석이 요구된다.

III. 안정대책 수립을 위한 분석작업

1. Stereographic Projection

야외조사시 측정된 불연속면의 사면안정성에 대한 검토를 위해서 실내에서 사면의 절취 방향과 불연속면의 기하학적인 관계만을 이용하여 사면의 안정성 여부를 평가하는 Stereographic Projection(평사투영법)에 의한 분석시 마찰각은 괴상의 사암과 세일이 혼재하는 암반사면이나, 단층면의 발달과 단층점토, 단층각력암의 협재를 고려하여 30도로 가정하고 실시하였다.

Stereographic Projection은 평면파괴와 전도파괴 및 썩기파괴를 Hoek & Bray (Rock Slope Engineering 3nd, 1981) 방법에 따라 수행하였다.

가. Sta. No. 1+10~2+20.5(EL. 135m 이하)

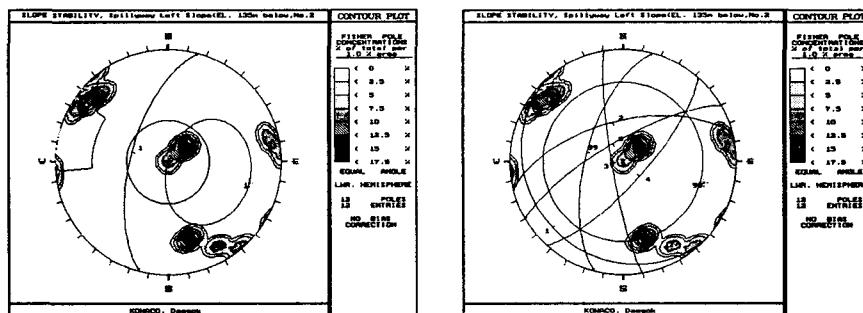


Fig. 2. Slope Stability Analysis : Sta. No. 1+10~2+20.5(EL. 135m Below)

분석결과 평면파괴는 인지되지 않고 전도파괴 가능성이 있는 불연속면은 F1 단층면으로 인지 않으며, 썩기파괴에 대한 분석결과 썩기파괴 영역에 투영되는 교선은 없으나, J_1 과 F1, J_1 과 F2, J_1 과 J_2 의 상호 교차에 의한 썩기면이 125~175/75~80의 교선방향으로 투영됨을 보여준다.

이는 불연속면의 상호교차에 의한 직접적인 썩기파괴의 가능성보다는 야의 조사시 추정된 파괴양상과 유사한 J_1 과 사교하는 방향으로 1차적인 파괴는 아니나, 2차적인 파괴의 가능성을 의미한다.

나. Sta. No. 1+10~2+16.5(EL. 151~135m)

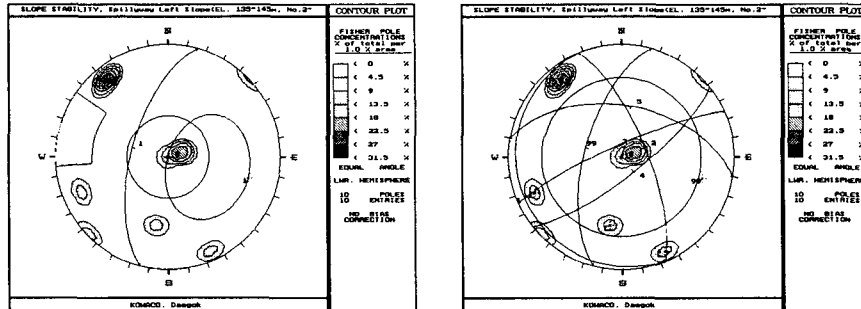


Fig. 3. Slope Stability Analysis : Sta. No. 1+10~2+16.5(EL. 151~135m)

분석결과 평면파괴, 전도파괴의 가능성은 없다.

썩기파괴에 대한 분석결과 Sta. No. 1+10~2+20.5(EL. 135m Below)와 마찬가지로 불연속면의 교선이 직접적으로 불안정 영역에 투영되지 않고 105~155/85의 방향으로 발달한다.

다. Sta. 0~1+10(EL. 145m 이하)

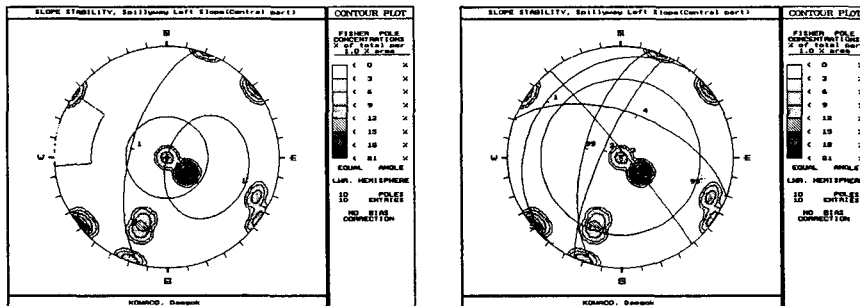


Fig. 4. Slope Stability Analysis : Sta. 0~1+10(EL. 145m Below)

분석결과 평면파괴의 가능성은 없으나 J_2 불연속면의 전도파괴가 약간 내포한다.

라. 전체사면 검토

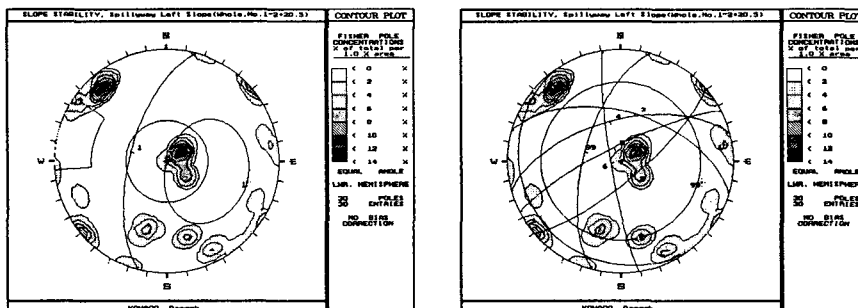


Fig. 5. Slope Stability Analysis : Sta. No. 0~2+20.5(EL. 151~128m)

분석결과 평면파괴의 가능성은 없고, 전도파괴는 균열이 발생한 단층면의 가능성이 일부 인지되며, 썩기파괴의 불안정 영역에 직접적으로 투영되는 교선은 인지되지 않으나, 불연속면의 교선이 135~170/80의 방향을 보여 2차적인 파괴양상의 가능성이 있음을 시사한다.

마. 분석의 종합결론

여수로 좌안사면의 Failure mechanism은 야외조사시 추정된 F1의 응력이완에 의한 Opening이 발생→J₁과 F2의 교차에 의한 썩기파괴의 발생→J₂ 방향의 평면파괴→F1의 전도파괴의 순으로 진행하고 있음을 확인하였다.

IV. 사면안정 대책 방안

1. 사면 굴착방향을 변경하는 방안 (제1안)

여수로 좌안사면에 발달한 단층에 의해 균열이 형성되므로 이의 영향범위를 벗어나는 방향으로 사면 굴착방향을 변경하는 방안을 고려할 수 있다.

Stereographic상에서 굴착방향을 260/50으로 변경하면 전도파괴의 위험성이 사라진다.

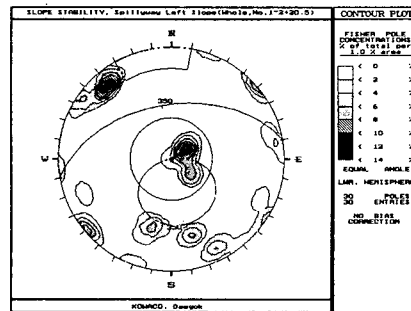


Fig. 6. The Stereographic of cutting of 260/50 Trend

그러나, 이 방향으로의 굴착은 인접한 CR-7 도로사면중 가배수터널 입구부 상부사면을 넘어서는 범위까지 굴착되어야 하므로 경제성, 시공성을 고려할 때 시공이 불가능하다.

또한 공기의 연장이 불가피하므로 최적의 사면안정 방안이라 할 수 없다.

2. 사면의 경사를 완화하고 Pre-Stress Anchor 보강공법을 병행하는 방안 (제2안)

현 굴착사면에서 안정성의 저해요인은 CR-7 도로사면 경계부에 발달한 단층대를 따른 Opening과 연속으로 진행되는 썩기파괴이므로 이완된 암괴부위의 제거 및 추가적인 보강공법이 고려될 수 있다.

이완부위의 제거는 돌출된 암반부위의 응력이완에 기인하므로 사면의 선형을 가능한 Rounded하게 하면 안정성에 유리하므로 지표지질조사에 의해 획득된 단층대의 분포양상을 고려하여 사면의 굴착방향을 10도 회전시킴과 동시에 EL. 125m 소단부를 현 계획보다 1m 배후로 수평이동한 후 상부로 갈수록 사면 경사를 완화시켜 195/63→205/45로 재굴착함이 타당하다.

계획된 재굴착 사면의 방향성에 대한 Sterographic Projection 결과는 현 굴착 사면에 비하여 썩기파괴 발생 가능성이 있는 교선의 방향이 굴착사면과 거의 직각을 이루게되어 안정성이 매우 향상될 것으로 사려된다.

또한, 굴착사면의 방향변경과 사면경사 완화시 인접한 CR-7 도로사면의 추가굴착이 없으므로 굴착량이 260/50 방향으로의 굴착안에 비하여 매우 감소하고, 시공은 사면 배후에 형성된 임시도로를 통한 장비의 진입이 가능하다.

상기 계획대로 사면굴착이 시행되면 단층대 전면의 이완부위는 대부분 제거되나, CR-7 도로사면을 지지하는 암괴의 제거로 CR-7 도로사면의 안정성에 대한 보강이 요구된다.

인접한 CR-7 도로사면은 201~205/11~15의 층리면을 가지고 있고, 석영이 인장절리를 촉진한 Tension gash가 4~7/83~87의 방향으로 현저하게 발달함이 지표지질조사시 인지되었다.

여수로 좌안사면이 굴착되고 나면 Tension gash의 Opening이 우려되며 동시에 현

재 지하수의 유출이 발생하고 있는 층리면을 통한 암반의 거동 가능성이 잠재되어 영구적인 안정성 확보가 우려된다.

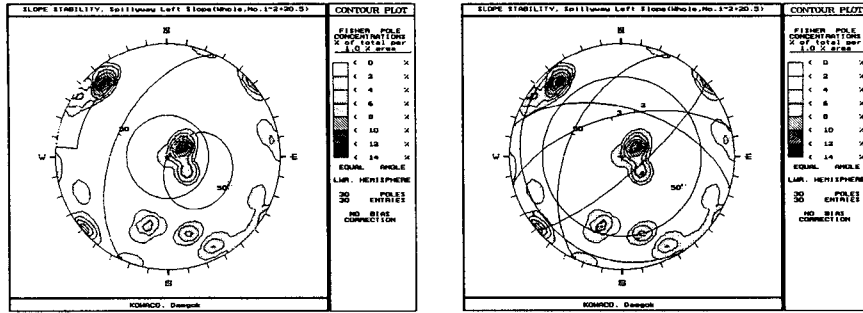


Fig. 7. Slope Stability Analysis : cutting of 205/50 Trend

가. 보강공법에 대한 검토

Table. 1. The comparative table of PC Anchoring method

구분	V S L 공 법	S S C 공 법	S S L 공 법
개 요	<ul style="list-style-type: none"> - GROUT 부착력에 의하여 인장력에 대응하는 공법 - 국내에 최초로 도입, 설계, 시공된 공법 - 자재비가 저렴하여 가설 ANCHOR로 최적의 공법 	<ul style="list-style-type: none"> - GROUT 압축력에 의하여 인장력에 대응하는 선단 압축형 공법 - VSL공법의 단점인 GROUT 응력집중에 의한 진행성 파괴를 개선하기 위해 GROUT에 압축력을 받도록 고안한 공법 	<ul style="list-style-type: none"> - ANCHOR체가 암반 지압되는 힘에 의해 인장력에 대응하는 공법 - 방식, 방청에 강한 자재를 사용하고 정착체장이 타공법에 비하여 짧아 천공 심도가 타공법에 비하여 짧다. - GROUT의 진행성 파괴가 발생하지 않는다.
정 착 체 정 착 방 법	정착장내에서 GROUT에 의하여 구근을 형성 인장재와 GROUT, GROUT와 암반의 부착력으로 소요 인장력에 대응	선단에 별도의 압축관부를 설치하고, 피복된 강연선을 사용하여 GROUT에 압축력을 전달하므로, GROUT와 암반과의 주변 마찰저항으로 소요 인장력에 대응	전장이 방청 피복된 UN-BOND P.C STRAND에 별도의 정착체를 설치하여 GROUT의 구속력을 받지 않고, 정착체에 힘을 전달. WEDGE 형태로 암반에 밀착 암반의 지압강도에 의하여 소요 인장력에 대응
사 용 자 재 내 구 성	GROUT에 의해 인장력을 확보하는 공법으로 정착장부는 SHEATH, GROUT 피복만이 이루어지며 자유장부는 그리이스와 PE HOSE로 피복. 인장시 GROUT 인장 균열에 의한 누수의 우려가 있다.	전장이 방청 피복된 UN-BOND P.C STRAND를 사용하며, 압축관부는 방수 코팅하여 내구성을 향상. 인장시에도 GROUT에 압축력이 가능해지므로 GROUT의 인장 균열이 없어 누수의 염려는 없다.	전장이 방청 피복된 UN-BOND P.C STRAND를 사용하며 정착체는 부식에 강한 구상 흑연 주철을 사용 GROUT 주입재 자체는 HOLE을 밀폐하는 기능을 가지므로 누수 및 내구성이 가장 뛰어나다.
시 공 성	시공 방법이 일반화되어 보편적으로 시공되는 공법 자재의 공장조립이 원칙이며, 현장조립시 품질 관리 및 방식 방청에 문제가 발생.	공장 조립된 제품을 시공자가 구매하므로 별도의 공정이 필요치 않아 시공이 간편.	완전 방청된 제품과 내구성이 우수한 자재를 사용함으로 방식, 방청 효과가 확실. 현장 조립을 원칙으로 현장 상황에 즉시 대응할 수 있고, 동일 조건의 현장에서 천공 심도 및 천공 구경이 줄어 공기가 단축.

Table. 1. Continued

구분	V S L 공 법	S S C 공 법	S S L 공 법
경 제 성	기본 자재비가 저렴하나, 천공심도가 길고, 별도의 방청 처리 비용 및 인장력 감소에 따른 유지관리비가 발생.	ANCHOR체만을 생산하여 판매함으로 재료비가 SSL-ANCHOR보다 고가.	별도의 정착체를 사용하므로 자재비가 고가이나, 천공심도가 짧아 SAVE 효과가 있고, 전체 공사비는 VSL ANCHOR와 경쟁력이 있음.
장 점	<ul style="list-style-type: none"> - 설계, 시공이 일반화 되어 있다. - 시공 현장의 예가 많다. - 자재비가 저렴하여 가설 ANCHOR로서 적합. 	<ul style="list-style-type: none"> - 시공이 간단. - 공장 조립 완제품 사용으로 시공이 간편. - GROUT 응력 집중에 의한 장기 진행성 파괴가 없다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 인발(引拔)이 되지 않는 구조를 가지고 있어 인장력 감소가 없다. - 별도의 ANCHOR체에 의하여 지압 정착되므로 천공심도가 타공법에 비하여 짧다. - 공기 단축의 효과가 있다. - 방식, 방청이 우수한 자재를 사용.
단 점	<ul style="list-style-type: none"> - GROUT에 응력이 집중되어 장기 진행성 파괴가 발생 - 인장력 감소가 발생. - 방식, 방청 효과가 타 공법에 비하여 부실. 	<ul style="list-style-type: none"> - 시공 사례가 적다. - 자재비가 고가. - 생산, 시공이 별도로 분리되어 하자 발생시 책임의 한계가 불분명. 	<ul style="list-style-type: none"> - 전문가에 의한 시공이 필요
채 택			○

CR-7번 도로사면의 잠재된 거동 요소인 층리면과 Tension gash의 두 불연속면에 대한 보강을 위해 90~120/45 방향으로 Pre-Stress가 가능한 SSL 지압형 Anchor를 굴착과 병행 시행하여 CR-7번 도로사면의 거동을 유발하는 Key Block의 억지를 도모하면 사면 안정성이 확보될 수 있다.

이상의 안정대책 방안은 사면의 안정성, 시공성, 경제성을 고려할 때 최적의 방안으로 판단된다.

여수로 좌안사면 단면도

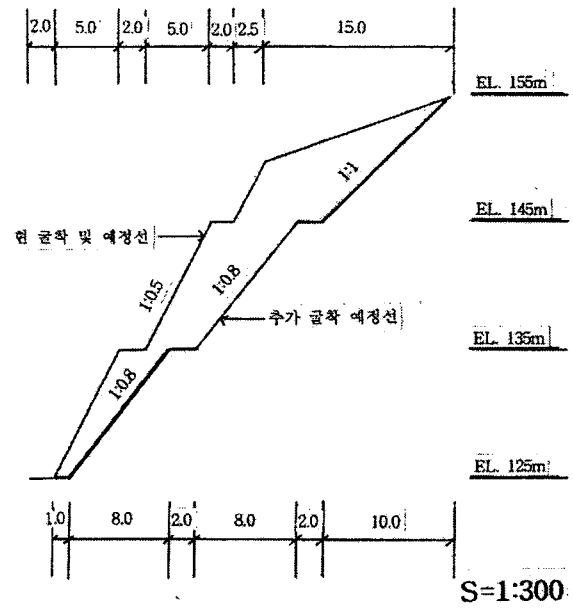


Fig. 8. The cross section of Daegok dam spillway left slope stability

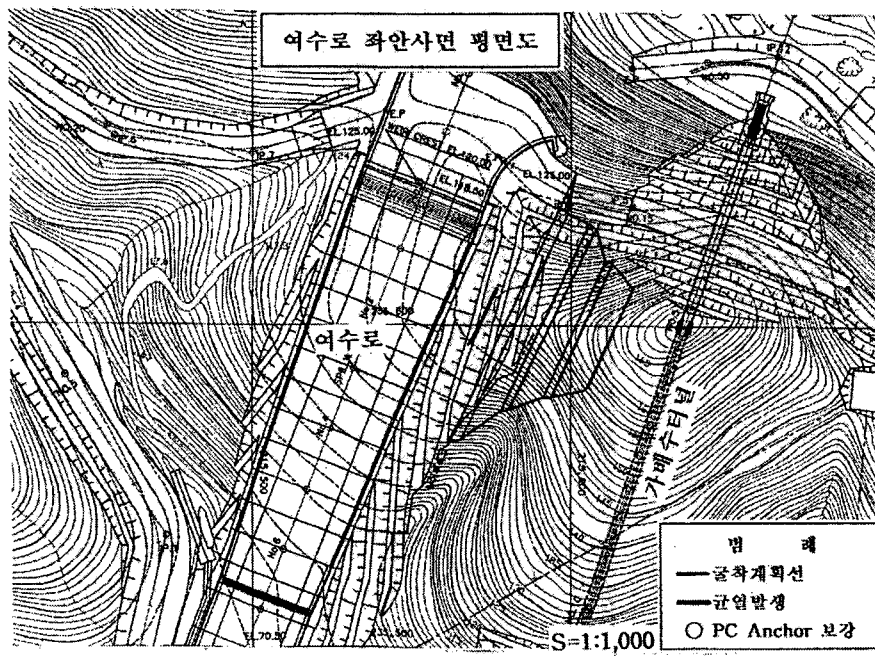


Fig. 9. The general plan of Daegok dam spillway left slope stability

V. PC Anchoring 설계를 위한 과정

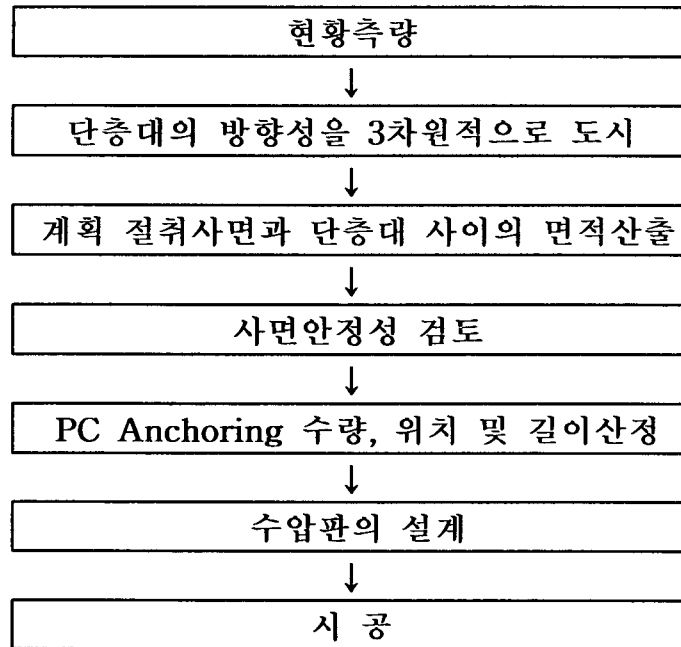


Fig. 10. The flow chart for design of PC Anchoring

VI. PC Anchoring 세부설계

1. 현황측량

여수로 좌안사면의 현황측량을 하여 평면도를 작성하였다.

2. CR-7 도로사면에 발달한 단층대의 방향성 도시

측량에 의해 작성된 평면도를 활용하여 단층대 및 절취사면의 방향성을 3차원적으로 도시하였다.(Fig. 11)

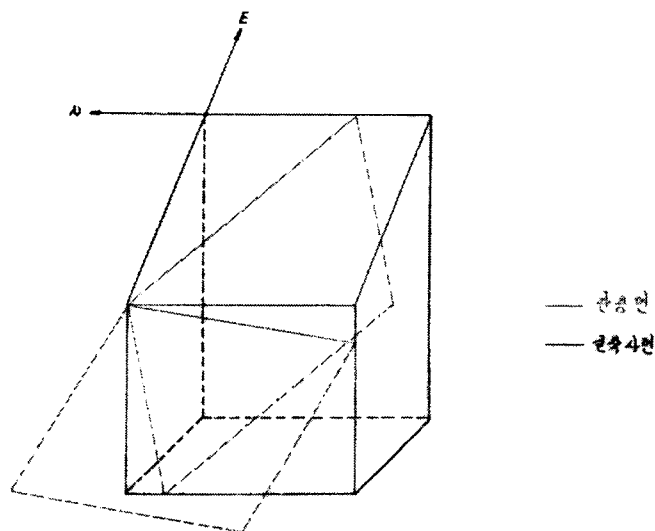


Fig. 11. 3-Dimensional figure for establish Daegok dam spillway left slope stability

3. 계획 절취사면과 단층대 사이의 면적산출

계획 절취사면과 단층대 사이의 면적은 사면의 불안정 영역에 해당되므로 기하학적인 3차원상에서 산출되어야 한다.

이를 위해서 우선 평면도상에서 불안정 영역의 설정이 요구된다.

지형도를 보면 Sta. No. 1+5 지점을 경계로하여 CR-7 도로사면과 여수로 좌안사면의 배후 지형이 지형분계선을 이루고 있으며, 현 사면의 불안정 요소는 단층대의 이완인 Opening 이므로 불안정 영역은 절취사면의 Sta. No. 0+4~1+5지점으로 결정하고, 단층대의 주향이 130~140/85방향을 가지고 있으므로 Opening은 주향에 대하여 직각방향으로 발생하기 때문에 불안정영역은 절취사면에서 주향이 50도인 방향으로 설정하였다.

면적산출을 위해 우선 단층대의 지표상 노출된 2지점을 측량으로 좌표값을 구한 다음 CAD를 활용하여 85도 각도로 경사진 면을 도시한 후 소단이 형성되는 EL. 155, 145, 135, 125m 지점의 좌표값을 산출하고 절취사면상의 동일 표고에서 구한 좌표값 및 주향이 50도인 방향과 이루는 면적을 산출하였다.

도면을 활용하여 계산된 불안정 영역의 토적은 Table. 2와 같다.

Table. 2. Mass-calculation of assumed unstable area in Daegok dam spillway left slope

측점(EL. m)	누적연장(m)	수량	
		면적(m ²)	체적(m ³)
155	0	3.24	-
145	10	17.06	101.50
135	20	51.04	340.50
125	30	138.18	946.10
합계			1,388.1

토적물량을 여수로 좌안사면에 분포하는 사암의 단위중량인 2.65kg/cm³(실시설계 보고서 여수로지역 암석의 비중을 참조)을 곱하여주면 1,388.10×2.65 = 3,678.46 Ton이 된다.

4. 사면안정성 검토

불안정 영역의 총 활동하중이 3,678.46 Ton이므로 4,500 Ton의 억지력을 확보되면 F (안전율) = 억지력/활동력이므로 F = 4,500/3,678.45 = 1.223이 된다.

즉, 4,500 Ton의 억지력을 가하면 일반적인 사면의 목표 안전율인 1.2을 상회하므로 영구적인 사면의 안정성은 확보된다.

현 사면에서의 불안정 요소가 활동성 Sliding이 아닌 단층대의 이완 및 Tensional Fracture의 Opening에 의한 사면 거동 가능성이므로 지하수의 영향 및 지진시 지반가속도의 고려는 의미없다.

5. PC Anchoring 수량, 위치 및 길이산정

사면안정대책 방안으로 수립된 PC Anchor 시공의 최적방향을 산출하기 위해서 사면에 발달된 210~220/14 방향의 층리면, 130~140/85 방향의 단층대, 6~10/77~84 방향의 Tension gash를 3차원적으로 도시하면 Fig. 12와 같다.

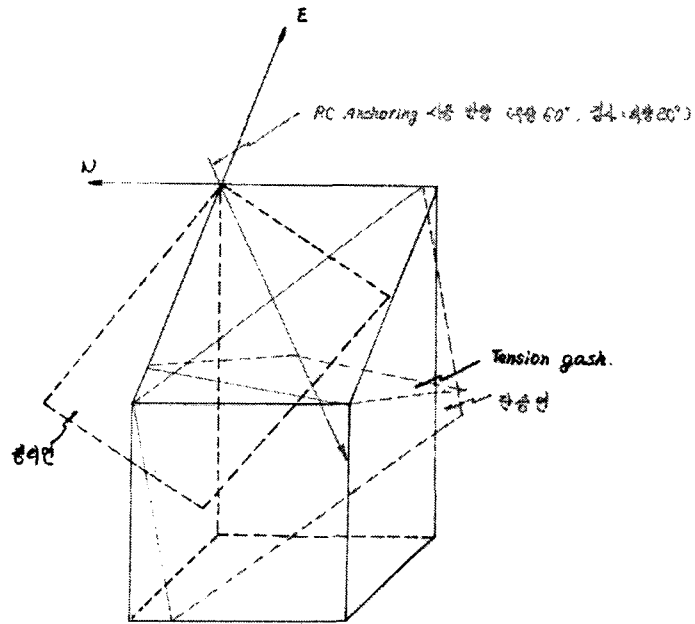


Fig. 12. 3-Dimensional figure of discontinuity plane in developed Daegok dam spillway left slope & PC Anchoring execution of work trend

상기 도면을 활용한 PC Anchoring의 평면상 위치는 2m×2m로 하여 평면도상에 도시하였다

불연속면의 발달현황을 고려한 최적의 PC Anchor의 시공방향은 주향 60도 경사 하향 20도로 결정되었다.

6. 시공

가. 시공순서

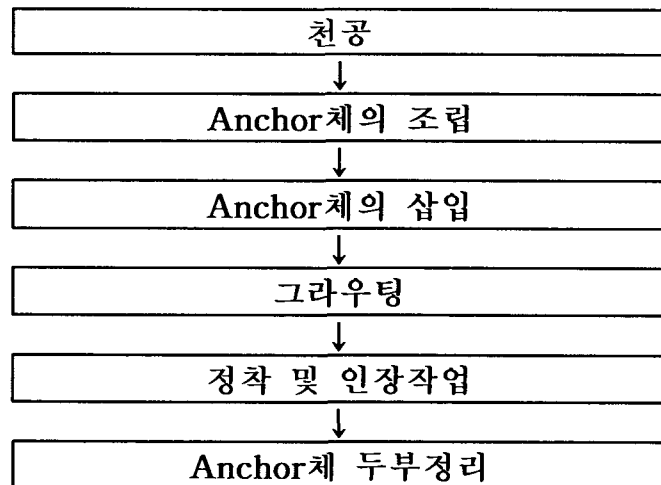


Fig. 13. The flow chart of PC Anchoring execution of work

VII. 결론

1. 균열이 발생한 여수로 좌안사면에 대한 지표지질조사를 실시한 결과 균열발생의 원인은 상재하중 제거에 의한 응력이완 및 강우에 의한 전단강도의 약화로 기 형성된 단층 대를 따라서 발생한 것으로 판단된다.

2. Failure mechanism은 야외조사시 추정된 F1의 응력이완에 의한 Opening이 발생→J₁과 F2의 교차에 의한 썩기파괴의 발생→J₂방향의 평면파괴→F1의 전도파괴의 순으로 진행하고 있음을 확인하였다.

3. 지표지질조사시 측정된 불연속면에 대한 Stereonet Projection Method(평사투영법)를 활용한 분석결과 사면의 경사방향을 65도 회전시켜 265도 방향으로 재 굴착하면 영구적이 안정성이 확보되나 현장 여건상 경제성, 시공성이 불합리한 방안으로 판단된다.

4. 조사 및 분석결과를 바탕으로 한 최적의 사면안정 대책방안은 현 굴착사면의 방향을 10도 회전시켜 경사방향이 205도 방향이 되도록 하고, 균열부의 완전한 제거를 위해 EL. 125m 소단을 1m 수평이동시킨 후 상부사면을 1:0.8~1:1로 재 굴착함이 타당 하다.

5. 사면의 추가굴착이 시행되면 인접한 CR-7 도로사면에 대한 지지력이 감소하여 층리면과 석영이 충전된 Tensional fracture(Tension gash)의 Opening이 예상되어 전체 사면의 안정성을 저해할 가능성이 잠재된다.

6. 이를 방지하고자 재 굴착되는 사면에서 Pre-stress가 가능한 SSL 지압형 PC Anchoring 공법을 병행하여 시행한다면 안정성이 확보될 것으로 판단된다.

7. 사면안정 대책방안으로 45공의 PC Anchoring을 시행하면 사면의 목표 안전율 1.2를 상회하는 것으로 산정되었다.

VIII. 참고문헌

이 정인, 1995, 암반사면공학, 엔지니어즈, p459

A. G. Sylvester., 1988, Strike-slip faults, Geol. Soc. of Am. Bull. v. 100, p1666-1703

Bucher, W.H., 1994, The stereographic projection, a handy tool for the practical geologist. Journal of Geology. 52, 191-212

E. Hoek & J. Bray, 1981. Rock Slope Engineering 3rd, The institution of Mining and Metallurgy, London, 358p

Markshak, S. & Mitra, G., 1988, Basic Methods of Structural Geology. Prentice hall. 446p