

● ● ●

수치해석을 반영한 콘크리트 댐의 기초처리 및 지반보강설계사례

송 평 현¹⁾, 황 현 만²⁾

¹⁾ 세일 엔지니어링 이사
²⁾ 태화강재산업(주) 차장

제1장 서론

강원랜드 스키장의 제설용수를 안정적으로 확보하기 위하여 과업부지 내에 콘크리트 댐인 무릉댐을 계획하였다. 콘크리트 댐이 건설되는 부지는 복잡한 지질구조를 지니고 있으며, 노두에 탄질 세일층이 분포하고 있으며, 퇴적암의 고유한 특성인 층리가 매우 발달되어 있다. 따라서 상세 지질조사 및 시추조사를 실시하여 지층구조를 파악하고 댐 제체의 종방향 및 횡단방향 수치해석해석을 실시하여 댐의 기초처리 및 지반보강 설계를 실시하였다. 본 논문에서는 이에 대한 설계사례를 기술하고자 한다.

● 무릉 댐의 주요제원

- 수 계 : 남한강 지장천(작은)물한천
- 유역면적 : 2.49km²,
- 연평균 유입량 : 125만m³(0.04m³/sec)
- 댐의 주요 제원

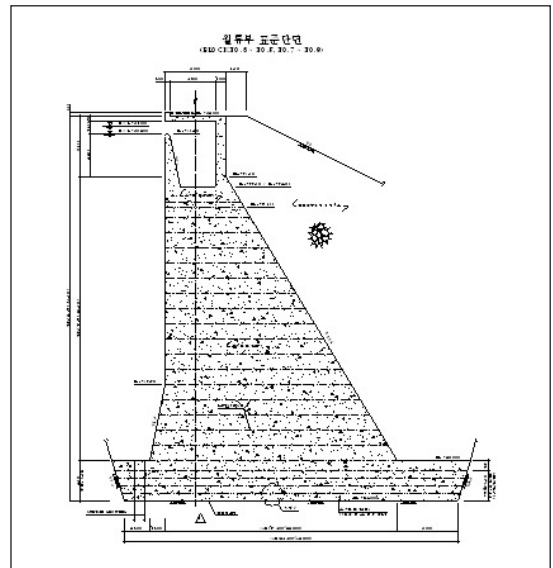


그림 1.3-1. 제체 표준단면도(월류부)

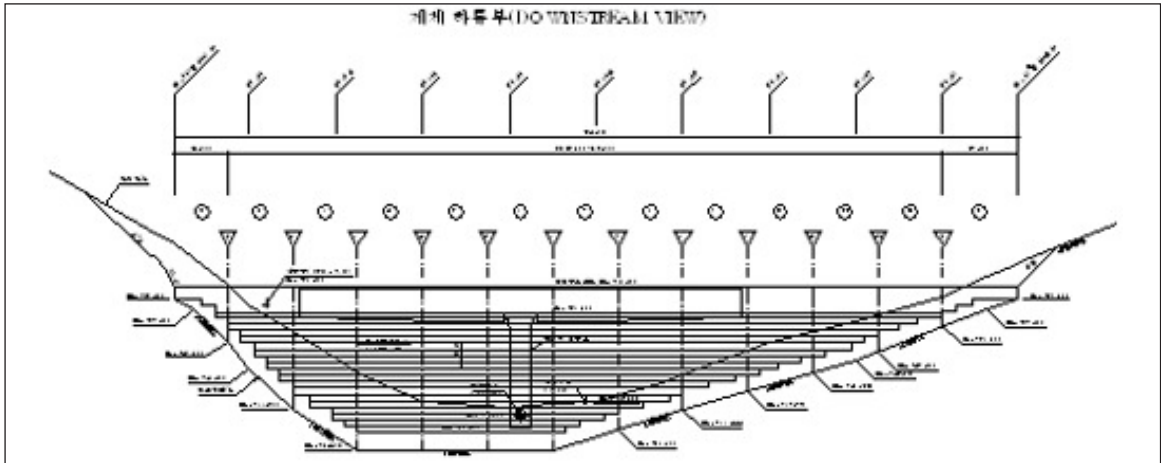


그림 1.3-2. 제체하류면(downstream view)

- 만수위 : EL.760.2m, 저수면적 : 14,500m²
- 저수용량 : 195,000m³
- 댐 형식 : 중력식 콘크리트 댐
- 최대높이 : 38.0m, 마루고 : EL. 762.0 ,
- 댐 마루폭 : 6.0m
- 콘크리트 댐의 배면 경사 : 1 : 0.5,
- 댐 배면의 성토 경사 : 1 : 2.0

류, 불연속면의 방향 및 특성, 그리고 기반암의 물리적 특성 등을 파악하고, 특히 공학적 특성이 취약한 탄질세일의 분포 형상, 규모 등을 파악하고자 실시하였다.

지표지질조사는 크게 두 단계로 무릉제체 지점과 Base 1지점을 포함하는 광역적인 지표지질 조사와 무릉제체 지점에 대한 격자망을 이용한 정밀 지표지질조사로 나누어 시행하였다. 격자망은 A1~F2까지 총 15개의 격자망(20m×20m)을 현장에서 구성하여 각 단위 셀(Cell)을 만든 후 각각의 Cell에 대해 정확한 좌표와 방위, 크기를 고려하여 조사하였다.

제2장 지반조사

2.1 개요

무릉 제설 연못의 제체 기초처리를 위하여 실시한 지표지질 조사, 시추조사, 현장원위치시험 및 지오 토모그래피 결과를 비교·분석하여 정리하였다.

2.2 지표지질조사

(1) 개요

무릉댐 인근 지역에 분포한 암반에 대하여 기반암의 중

(3) 지표지질조사결과

① 암상 분포 개요

- 광역조사 결과 무릉제체과 Base-1은 대부분 고한층으로 구성되어 있으며, Slope일부에 도사곡층이 분포하는 것으로 나타났다.
- 고한층은 사암과 셰일이 교호하고 있으며 탄질세일이 협재되어 있다.
- 고한층의 사암은 조립~극조립이며, 석영의 함량이

기술기사



그림 2.2-1. 전경사진

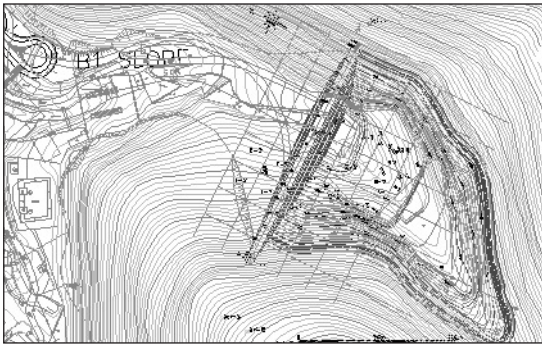


그림 2.2-2. 정밀 지표지질 조사 Grid 및 조사 위치

90%이상인 Quartz Arenite에 속한다. 일부 사층리가 관찰되어 지층의 상하 판단이 가능하다. 사암은 풍화도가 SW(약간풍화)~MW(보통풍화)로 풍화도가 낮아, 공학적 특성이 양호하지만 일부 구간은 풍화가 상당히 진전되어 파쇄대로 나타나기도 한다.

- 흑색 셰일은 Fissility가 발달되어 있으며, 일부는 Silt Stone으로 분류할 수 있으나, 산출 상태와 공학적 특성이 흑색셰일과 유사하여 별도로 분류하지 않았다. 흑색 셰일은 강한 방향성을 가지며, 파쇄대가 발달되어 있다. 흑색 셰일의 공학적 특성은 탄질 셰일보다 양호하며 일부 매우 강한 강도특성을 나타내

기도 한다.

- 탄질셰일은 지표에서 0.5m내외의 두께를 가지며, 횡적인 연속성이 불량하여 두께의 변화가 심하다. 대체로 토사화되어 있으며, 무릉제체 지점 좌안부와 Base-1 일부에 그 분포가 인지된다.

② 무릉제체 댐 정밀 조사 결과

- 본댐 구간은 고한층이 광범위하게 분포하며, 육안으로 탄질셰일층이 3매 정도가 관찰되었으나, 시추조사 결과 다수의 탄질셰일이 분포하는 것으로 확인되었다.
- 층리의 방향과 경사도 좌안부에서는 비교적 규칙적으로 N65E/36NW방향으로 발달하고 있으나, 제체 계곡부 중앙에서는 방향 및 경사의 변화가 심하게 나타난다.
- 제체 좌안부근에서 다수의 소규모 단층이 발달하고, 단층 조선이 발달하고 있으나, 셰일층에 일부 연장되어 있어 제체 지점 부근까지 발달할 가능성은 적을 것으로 판단되었다.
- 층리의 변화는 계곡부를 따라 단층대가 발달하거나,

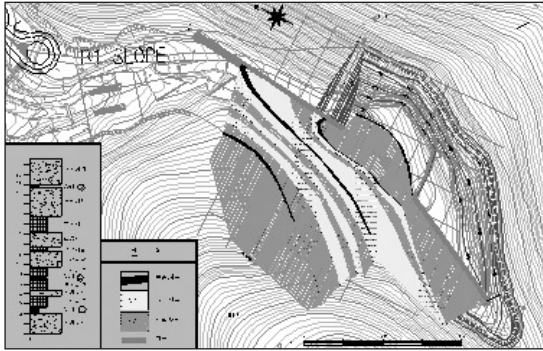


그림 2.2-3. 제체축 지점 정밀 지질도

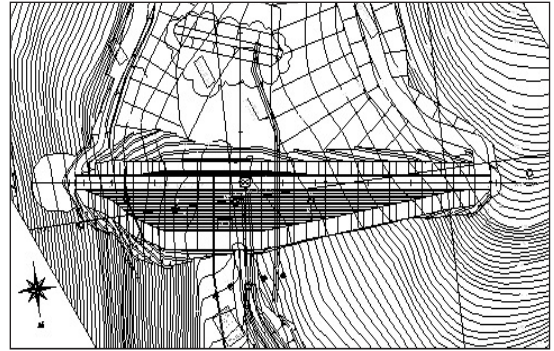


그림 2.3-1. 조사위치도

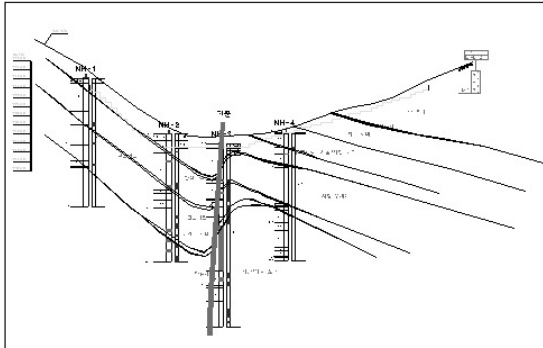


그림 2.2-4. 제체축 지질 종단도

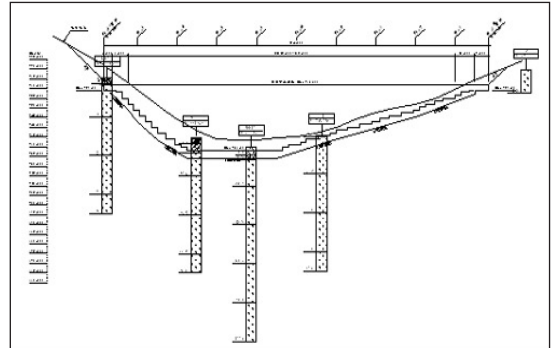


그림 2.3-2. 종단에 따른 시추주상도

습곡이 발달할 경우 생길수 있는 것으로 판단된다. 그러나 단층대의 발달 가능성은 인근의 탄전 지질도 및 토모그래피 탐사 결과 가능성이 희박한 것으로 판단된다. 따라서 제체 지점 부근의 지질변화는 비대칭적인 습곡에 기인한 것으로 판단하였다.

- 층리에 대한 평사투영 결과도 대체적인 층리의 방향은 N65E/36NW가 가장 우세하여 단사구조를 나타내고 있으나, 일부 수직절리와 연관되어 전체 층리의 평사투영도는 039°/23°(Trend/Plunge)의 습곡축을 지시하고 있다.
- 비대칭적 습곡축의 발달 방향은 지표지질 조사시 수직적인 층리들은 대부분 계곡부에 인접하여 분포하므로, 계곡부를 중심으로 발달하고 있는 것으로 판단

되며, 습곡축은 제체 하류부로 Plunge하는 것으로 판단된다.

- 이상의 결과를 바탕으로 무릉제체지점의 정밀 지질도는 다음과 같으며, 각각 사암, 흑색셰일, 탄질셰일로 구분하였다.
- 정밀 지표지질 조사 결과와 시추조사 결과를 종합분석하여 작성된 제체축 지점의 지질종단도는 다음과 같다.

2.3 시추조사

무릉제체 지점의 지층상태를 파악하기 위하여 제체 축 종단에 5공(NH-1, 2, 3(10), 4, 5)을 시추하고, 횡적인 연속성을 파악하기 위해 2공(NH-8, NH-9)을 시추하였다.

기술기사

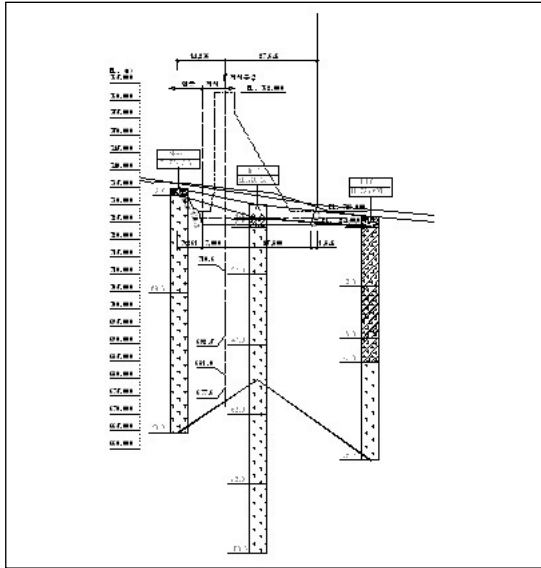


그림 2.3-3. 횡단에 따른 시추주상도(제체 중심선)



그림 2.3-4. 시추코어와 지지층 깊이

시추조사 결과 제체측 중심선 NH-3(NH-10), NH-8, NH-9 공에서 다수의 파쇄대 및 탄질세일의 분포가 조사

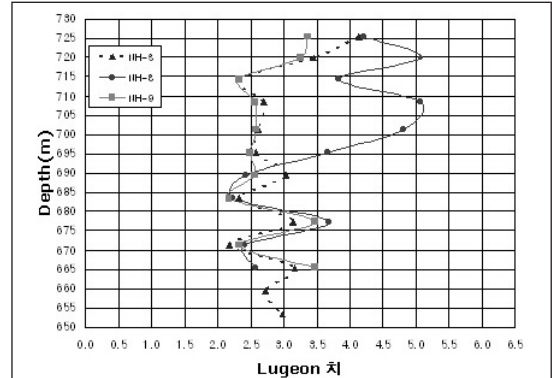


그림 2.4-1. 제체 중앙부의 깊이에 따른 Lugeon치

되었다.

2.4 원위치시험결과

(1) Lugeon Test

표 2.4-1. 공내재하시험 결과

공 번	심도(m)	암 종	변형계수 (kgf/cm ²)	탄성계수 (kgf/cm ²)
NH-1	29.0	경암	1.34 E+5	1.45 E+5
NH-2	8.3	연암	9.13 E+3	2.23 E+4
NH-3	9.7	연암	3.40 E+3	7.81 E+3
NH-3	40.0	연암	5.14 E+4	8.83 E+4
NH-4	6.0	연암	9.79 E+4	3.25 E+5
NH-7	12.5	경암	9.65 E+5	8.14 E+5
NH-8	44.5	경암	1.11 E+5	4.01 E+4
NH-9	43.0	경암	9.41 E+4	1.17 E+5

(2) 공내재하시험

기초암반중 변형계수가 낮고 연약한 암반이 NH-2, 3, 7구간에 분포하는 것으로 나타났다.

(3) 지오투모그래피

① 목적

댐 계획구간에 전체적인 지질구조 및 암반의 역학적 특성을 규명하는 것이 필수적인 과제이다. 시추조사의 경우

표 24-2 탐사위치 및 수량

단면	조사위치	공간거리(m)	구분	공번	EL(m)	굴진심도(m)
NH4-NH10	댐 중심과 서쪽	36.9	송신공	NH10	729.851	100
			수신공	NH4	735.976	70
NH4-NH9	댐 서쪽과 북쪽	45.15	송신공	NH4	735.976	70
			수신공	NH9	727.8	70
NH9-NH2	댐 북쪽과 동쪽	43.78	송신공	NH9	727.8	70
			수신공	NH2	734.873	70

한 지점에서의 지표하부에 대한 1차원적인 지질정보만을 획득하게 되므로 시추공 사이의 연속적인 지반변화는 예측이 불가능하다.

따라서 지오토포그래피를 실시하여 시추조사상의 일정 심도에서 단편적으로 분포하는 석탄층 및 탄층 셰일과 같은 약층의 2차원적인 분포형상을 추가 확인하였다.

② 탐사위치 및 수량

조사구간의 제체 축상 가장 불리한 단면의 시추공 위치를 택하여 실시하였다.

③ 탐사 결과 및 해석결과

탄성과 토모그래피용 전용 뇌관을 송신원으로 하고 48채널 하이드로폰을 수신기로 사용하여 두 시추공 사이의 탄성과 전파 자료를 획득하였고, 이 획득 자료를 일련의 자료처리 과정을 거쳐 시추공간의 탄성과 속도분포(토모그램)를 구하였다.

토모그램상 탄층의 발달을 해석할 때 단면 양단의 시추주상도와 주변의 시추 결과를 연관시켰으며 토모그램상의 미세한 속도 변화를 따라 탄층이나 연약층(저속도층)의 발달상을 해석하였다.

- 탐사 결과 3단면을 계곡 상부에서 하부로 바라보며 입체적으로 구성하였다.
- NH4-NH10 단면상 하부에 존재하는 너비 30m, 폭

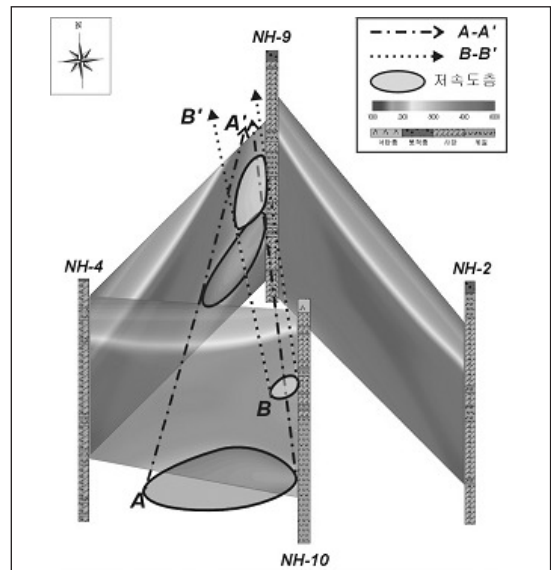


그림 2.4-2. 토모그래피 분석결과

15m(EL. 670~685)의 저속도대 A는 계곡 하부로 갈수록 즉, NH4-NH9 단면에서 5m 정도 상승(EL. 675~690)하고 너비는 20m로 줄어 A'의 형태를 갖는다.

- NH4-NH10 단면상 탄층 심도에 존재하는 너비 5m, 폭 15m(EL. 695~710) 정도의 저속도대 B는 계곡 하부의 NH4-NH9 단면상에서 너비가 10m로 확장되며 폭도 약간 확장(EL. 690~710)되는 저속도대 B'의 형상을 갖는다.
- 2개의 저속도대가 합쳐지는 양상을 보이며 계곡 하부

기술기사

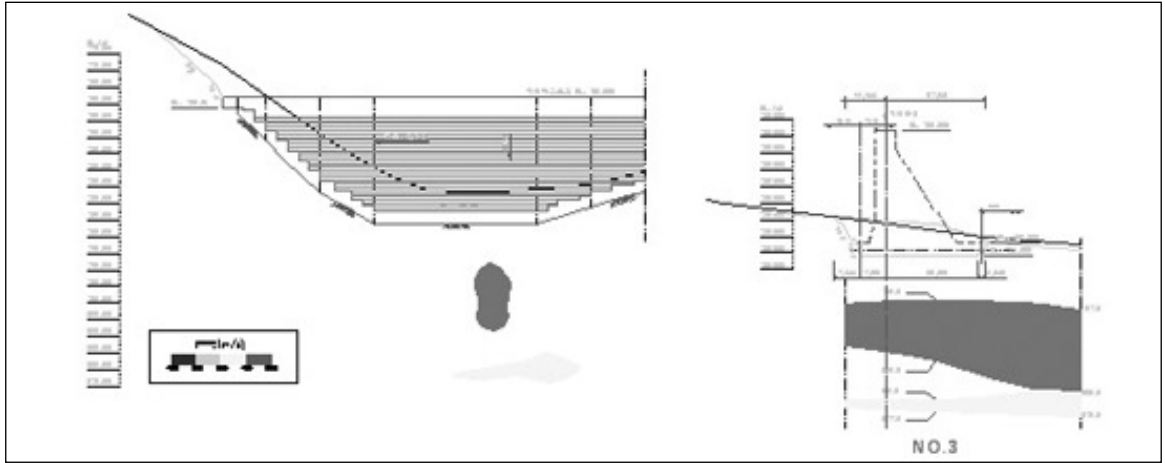


그림 2.4-3. 지오토모그래피 결과(중, 횡단면도)



그림 2.4-4. 지오토모그래피 결과(평면도)

로 갈수록 합쳐진 1개의 큰 저속도대가 지표 상부로 확장 발달되었으며, 이 저속도대는 탄층이나 탄층 세일과 관련이 있는 것으로 판단된다.

- 분석결과를 도시하면 아래의 그림과 같으며 제체 중앙부에 저속도대가 위치하는 것으로 조사되었다.

좌우측과 제체 하류부의 조사 결과를 바탕으로 상류측으로 확대 연장한 결과는 다음과 같다.

④ 결론

- 시추조사를 수행한 결과 제체 중심에 위치한 NH3공에서는 지표 하부와 시추중에 석탄층이 발견된 것에 반해 부근 동서남북 방향으로 수행한 4공의 시추 자료상에는 탄층이 발견되지 않았다. 이에 중심공에서 발견된 탄층 및 연약층(저속도대)의 발달 경향과 분포 상황을 파악하기 위하여 본 탄성과 지오토모그래피 탐사를 수행하였다.
- 제체 중심에 위치한 NH-10과 이보다 북쪽 즉, 계곡 하부에 위치한 NH-9의 주변부에서는 저속도대가 발견되었다.
- 이 저속도대는 제체상에서 이루어진 NH4-NH10 단면을 보면, 저속도대가 EL. 670~685m 사이에 30m의 너비를 갖는 포켓 형상(A)으로 발달되어 있으며 또한 수직으로 10m 상부에 너비가 10m 내외로 좁게 저속도대(B)가 수직으로 발달되어 있다.
- NH4-NH9 단면상에는 전술한 저속도대가 관찰되나 발달 너비가 감소하여 20 m 내외의 폭을 가지고 EL. 675~690m 사이에 존재해 5m 정도 상승한 양상(A')

을 보인다. 그리고 상부에 존재하는 수직으로 발달된 저속도대(B')는 너비가 약간 확장되며 하강한 양상을 보여 두 저속도대가 접촉하게 된다.

- NH9-NH2 단면상에는 NH-9쪽에는 심도 연장으로 너비가 좁은 저속도대가 관찰되나 전 단면상에서 특이점은 발견되지 않는다. 즉, 이 방향으로 저속도대의 확장은 이루어지지 않은 것으로 판단된다.
- 계곡 상부에서는 떨어져 있는 2개의 저속도대(A, B)가 합쳐져 상승하며 계곡 하부의 지표로 발달(A', B')되었다고 판단된다.

표 25-1. 점하중재하시험

공 번	심도(m)	암 종	환산 일축압축강도(kgf/cm ²)
NH-1	24.6	경암(세일)	151
NH-2	40.0	경암(세일)	772
NH-3	10.0	경암(사암)	406
NH-3	15.0	경암(사암)	812~851
NH-3	20.0	경암(사암)	680~746
NH-4	19.0	경암(세일)	459
NH-8	21.0	경암(세일)	270

2.5 실내시험결과

① 점하중재하시험

표 25-2. 일축압축시험 결과

공 번	심도(m)	암 종	일축압축강도(kgf/cm ²)
NH-1	29.0	경암(사암)	372
NH-2	31.0	경암(세일)	190
NH-3	32.0	경암(사암)	676
NH-4	64.0	경암(세일)	247
NH-5	6.0	경암(사암)	672
NH-8	37.0	경암(세일)	126
NH-9	38.0	연암(사암)	351

② 일축압축시험 결과

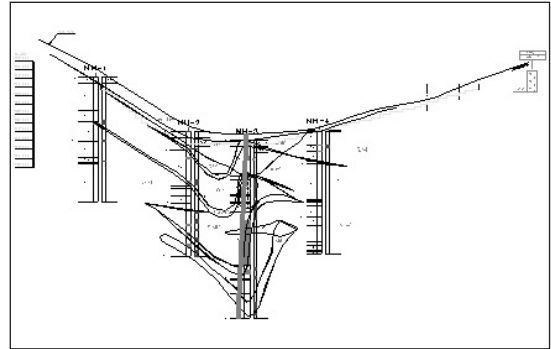


그림 2.6-1. 지층 종단면도

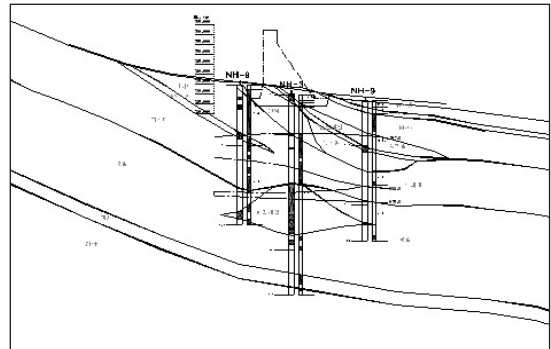


그림 2.6-2. 지층 횡단면도

2.6 지반조사결과 분석

상기의 조사결과를 종합한 결과 아래와 같은 지층 단면을 얻었다.

- 시추코아 강도에 따른 연,경암의 구분과 파쇄정도에 따른 파쇄대 구분, 암질(사암, 탄질세일 등)에 따른 구분을 종합적으로 분석하여 제체축에 대한 지층 단면도를 작성
- 대체적으로 암석이 경암의 경도를 가지나 탄질세일이 협재해 있고, 상당한 층후를가지는 파쇄대가 존재
- 댐 제체 기초와의 접촉부에 전면으로부터 연암, 탄질세일, 풍화암, 파쇄대의 4가지 암종이 접해 있고, 하류방향의 배면 성토부에 하부에 지층은 복잡한 양상을 보이고 있다.

기술기사

표 3.1-1. 해석을 위한 설계정수

구분	단위중량 (tonf/m ³)	점착력 (tonf/m ²)	내부마찰각 (deg)	변형계수 (kgf/cm ²)	프와송비	초기 지압계수	투수계수 (cm/s)
붕적층	1.9	2.6	28.6	400	0.35	-	5.5E-5
풍화암	2.0	3.0	32	2,000	0.33	-	4.1E-5
연암	2.25	37.6	27.35	8,800	0.285	1.5	(4.1~4.6)E-5
경암	2.54	113.3	37.45	46,000	0.265	2.0	(1.0~3.1)E-5
탄진세일	1.9	20.0	25	3,000	0.30	1.0	(4.1~4.5)E-5
파쇄대	2.0	7.5	35	2,500	0.30	1.0	(4.5~4.8)E-5

주) 투수계수는 Curtain Grouting 설계시 사용한 Lugeon 시험결과값을 적용함

또한 상기의 단면에 대하여 변형해석을 실시하여 지반 보강 영역을 결정하고자 한다.

제3장 댐 제체 안정성해석 검토

3.1 해석 개요

댐 제체의 기초지반은 일반적인 지반과 달리 기반암(연암, 경암)의 파쇄가 심하며 부분적으로 탄진세일이 협재되어 있다. 따라서, 전체적으로 불량한 하부지반으로 인해 제체기초에 과도한 변형이 유발될 수 있으며, 심할 경우 국부적인 지반파괴까지 초래될 수 있다.

제체기초 하부지반에 대한 시추조사, 탐사를 통하여 복잡한 지반구조를 분석하고 이를 통하여 보다 정밀한 지반조건을 구현한 수치해석을 통해 제체 기초지반의 안정성을 살펴보고자 한다.

(1) 해석 프로그램

제체기초의 하중과 정수압에 의한 지중의 응력상태 변화를 고려하기 위하여 단계별 수치해석이 가능한 지반-구조 범용 유한요소 프로그램인 PENTAGON-2D를 이용하였고, 8절점 평면변형요소를 적용하였다. 구성모델은 콘크리트는 탄성모델을 적용하였으며, 지반 및 암반은 탄소성요소인 Mohr-Coulomb 모델을 적용하였다

(2) 설계지반정수

3.2 댐 제체의 종방향 변형해석

(1) 해석 단면

- 제체 종단을 따라 실시한 시추조사 NH-1, 2, 10, 4, 5와 제체 중앙단면에서 종·횡방향으로 실시한 토모지오그래프 결과를 종합적으로 분석하여 제체 종단 지층을 구성하였다.
- 제체기초 시공을 위한 원지반 계획 터파기 선을 고려하여 제체 종단방향의 2차원 해석 단면을 결정하였다.

(2) 해석 조건 및 모델

댐 제체를 일정한 높이(4m정도)마다 시공하여 제체의 자중이 지반에 점진적으로 작용하는 경우(단계 시공)에 대하여 해석을 실시하였다.

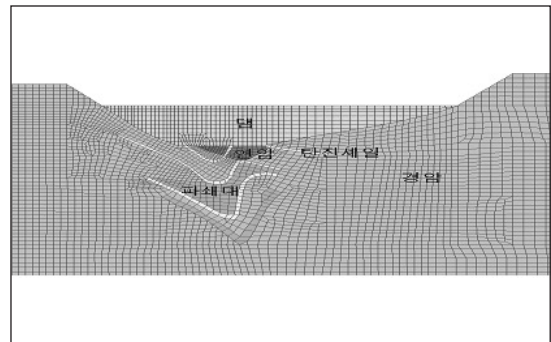


그림 3.2-1. 해석단면도(토모지오그래피 결과이용)

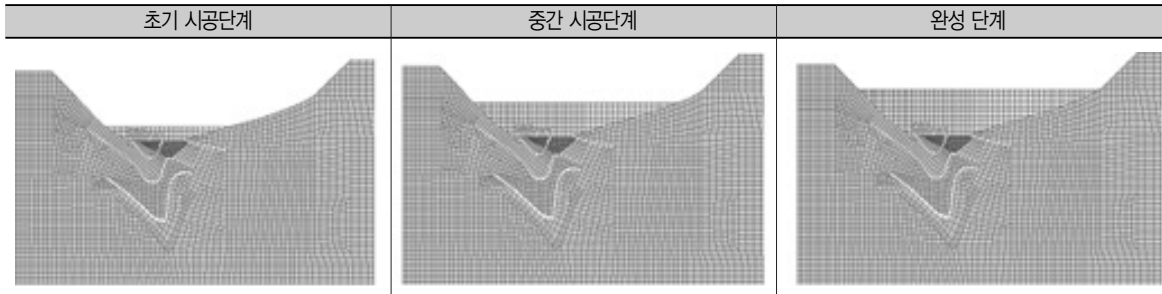


그림 3.2-2. 시공단계별 해석

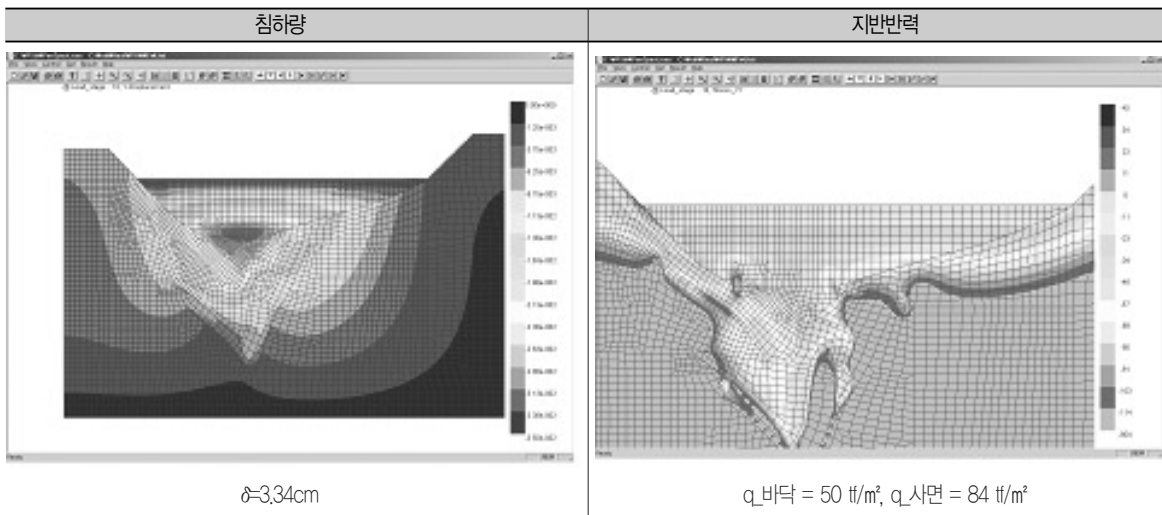


그림 3.2-2. 종방향 해석결과(변위도 및 지반반력도)

(3) 해석 결과

- 제체의 실제 시공조건에 부합되도록 단계별 해석을 실시한 결과 제체 중앙부에서 집중적인 연직침하량이 유발되었으나, 최종 침하량이 3.34cm로 구조물의 안정성에 위험측은 아닌 것으로 판단된다.
- 제체 전체 중단에 대해서 중앙부에 국부적인 약층이 존재하므로 제체응력은 상대적으로 암반이 양호한 제체 사면부로 집중된다.
- 그러나, 응력집중 현상이 발생하여도 최대 지반반력은 84 tf/m^2 으로 허용 지반반력 이내로 지지력에 대한

문제는 발생되지 않으며, 제체기초 터파기 바닥면에서도 균일한 응력이 발생하므로 제체기초의 종방향의 전체적인 안정성에는 문제가 없는 것으로 판단된다.

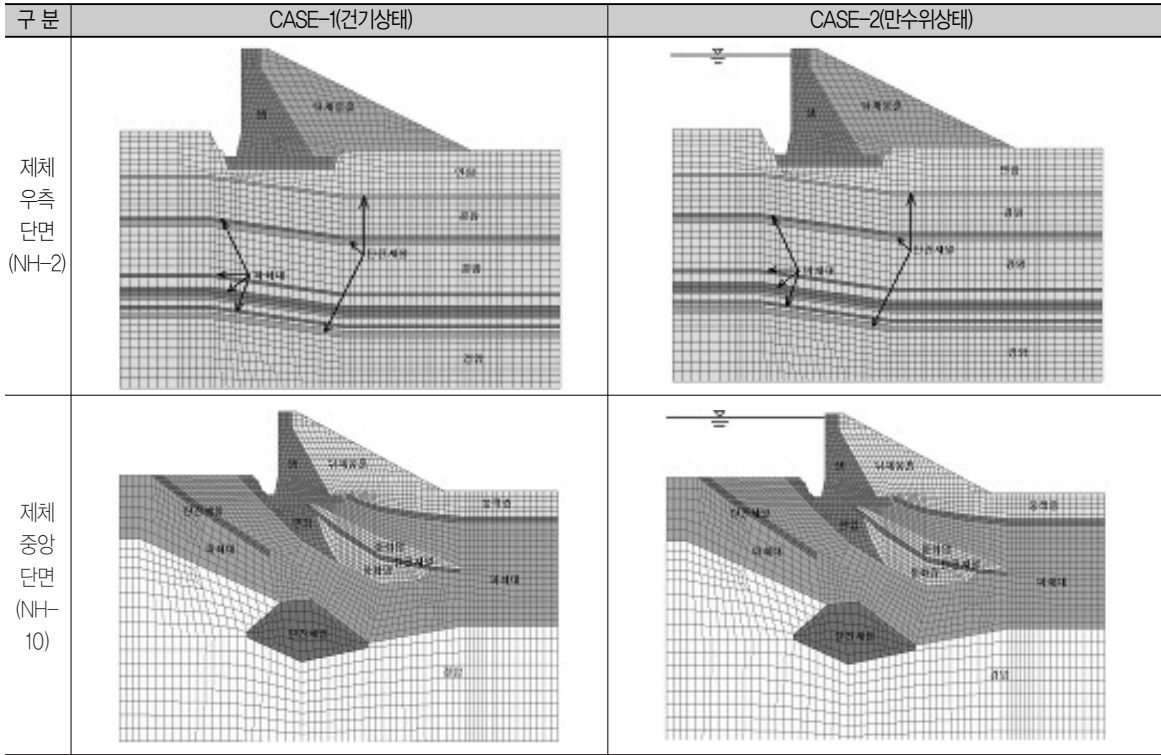
- 물의 하중 및 제체 뒤택움흙에 대한 영향과 제체 횡단 방향의 복잡한 하부지반의 영향을 고려하기 위해서는 별도의 제체 횡단에 대해 안정성 검토가 필요하다.

3.3 댐 제체의 단면 방향 변형해석

해석개요, 해석프로그램 및 설계지반정수는 『3.2 제체기초의 중단 변형해석』에서 언급된 내용과 동일하게 적용하였다.

기술기사

표 3.3-1. 해석단면도



(1) 해석 단면

제체기초 하부지반이 가장 불리하고 제체자체의 높이 가 가장 큰 제체 중앙단면(No.D2, 참고주상도 : NH-10) 과 제체 우측단면(No.D1+5, 참고주상도 : NH-2)을 검토 대상으로 선정하였다.

(2) 해석 조건 및 모델

제체기초가 시공되어 있을 때(제체자체와 뒤택음흙이 시공되었을 때, CASE-1)와 제체의 만수위 조건에서 하부 지반으로 침투가 발생하였을 때(CASE-2)로 구분하여 각 각에 대해 지반의 안정성을 검토하였다.

(3) 해석 결과

① 전체 변형도

- 건조상태에서는 제체체와 뒤택음흙에 의해 연직방향의 변형양상이 지배적이지만, 만수위상태에서는 물의 침투압이 상류측 하부지반의 유효응력 증가로 작용하고, 제체체에 직각인 방향으로 정수압이 작용하여 제체체와 뒤택음흙의 수평방향 변형양상이 지배적인 거동으로 나타난다.
- 특히, 위와 같은 양상은 하부지반 조건이 더 불리한 제체 중앙단면(참고 주상도: NH-10)에서 현격하게 나타난다.

표 3.3-2. 변형해석결과

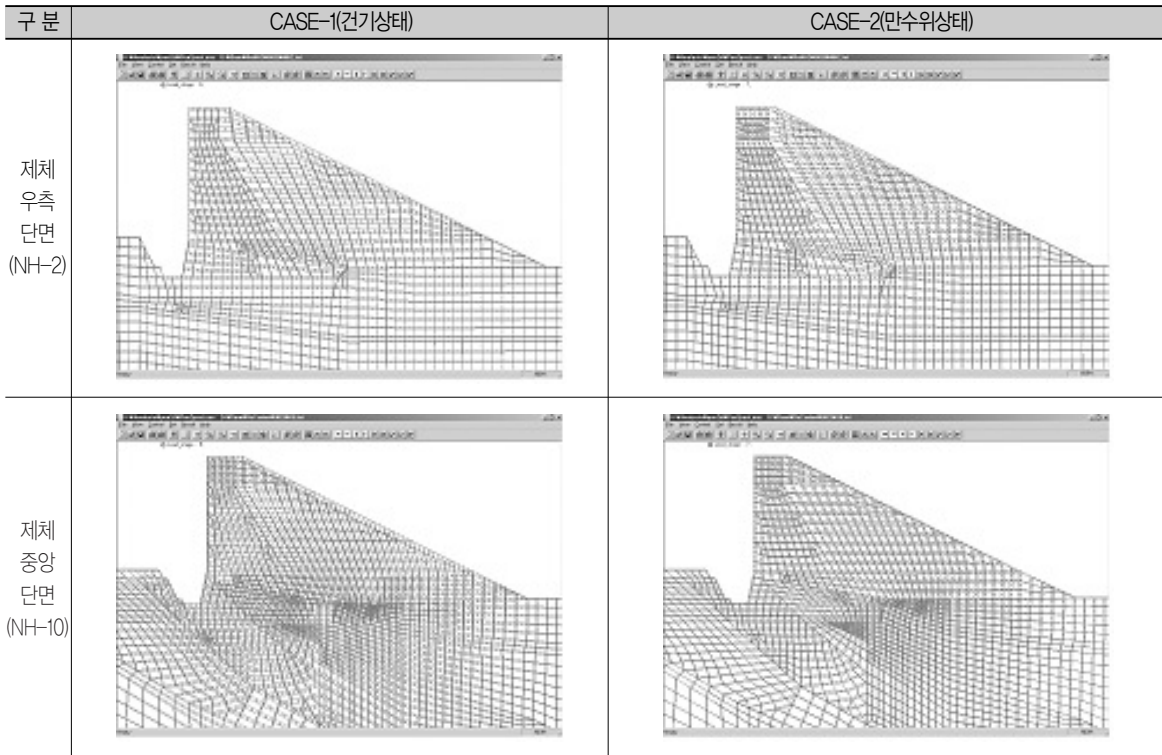


표 3.3-3. 제체정상부에서의 변위도

구 분	검토항목	CASE-1 (건기상태)	CASE-2 (만수위상태)	비고
제체 우측단면 (NH-2)	연직변위(cm)	1.62	1.18	
	수평변위(cm)	0.18	1.99	
제체 중앙단면 (NH-10)	연직변위(cm)	4.92	4.12	
	수평변위(cm)	2.93	11.4	

② 기초지반 응력도

- 제체기초 지반이 상류에서 하류로 갈수록 불량하고, 제체 뒤채움흙이 비교적 높게 존재하므로, 제체기초 상류측에서 최소 지반반력이 발생하고 하류측에서 최대 지반반력이 작용한다.
- 만수위시에는 침투압으로 인해 제체에 수평방향의 힘이 탁월하게 증가하므로 최소 지반반력과 최대 지반반력의 차이가 더욱 커지며, 최대 지반반력 또한

증가한다.

③ 파괴율

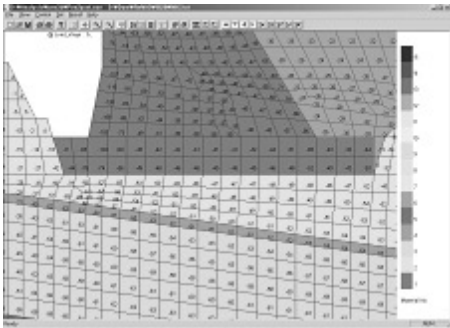
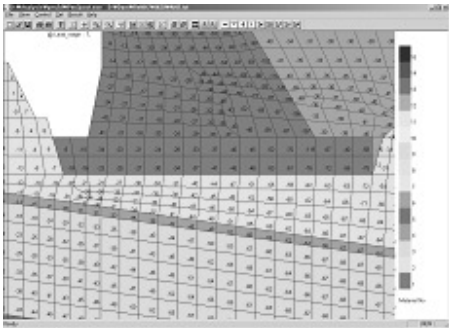
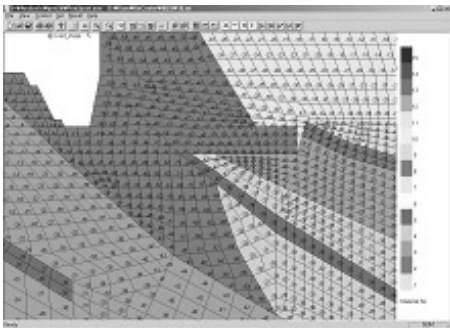
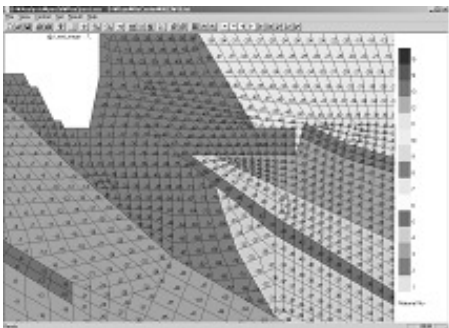
- 파괴율은 지반의 자체 저항강도에 대한 발생 지반응력의 비로서 정의된다.

$$\text{파괴율(Failure Rate)} = r/d \text{ or } R/D$$

- 제체 뒤채움흙의 경우 일반성토재의 강도정수($c=1.5$, $\phi=25$)를 입력한 상황에서 일시에 성토하는 것으로 가정하였기 때문에 파괴율이 1.0에 도달하는 비현실적 결과를 초래하였다. 이 문제는 뒤채움 시공시 단계별 성토를 시방기준에 적합하도록 한다면 해결될 수

기술기사

표 3.3-4. 기초지반 반력도

구분	CASE-1(건기상태)	CASE-2(만수위상태)
제체 우측 단면 (NH-2)	 <p>$q = 47 \sim 70 \text{ tf/m}^2$</p>	 <p>$q = 21 \sim 72 \text{ tf/m}^2$</p>
제체 중앙 단면 (NH-10)	 <p>$q = 41 \sim 79 \text{ tf/m}^2$</p>	 <p>$q = 13 \sim 81 \text{ tf/m}^2$</p>

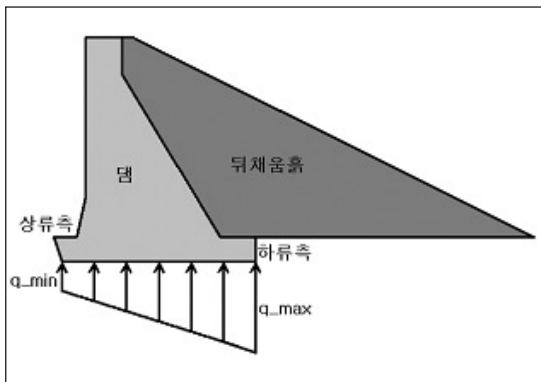


그림 3.3-1. 지반반력 분포도

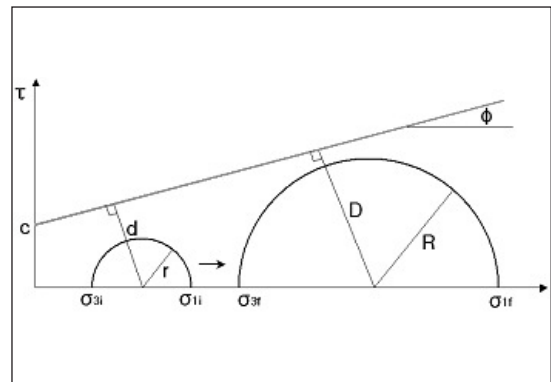


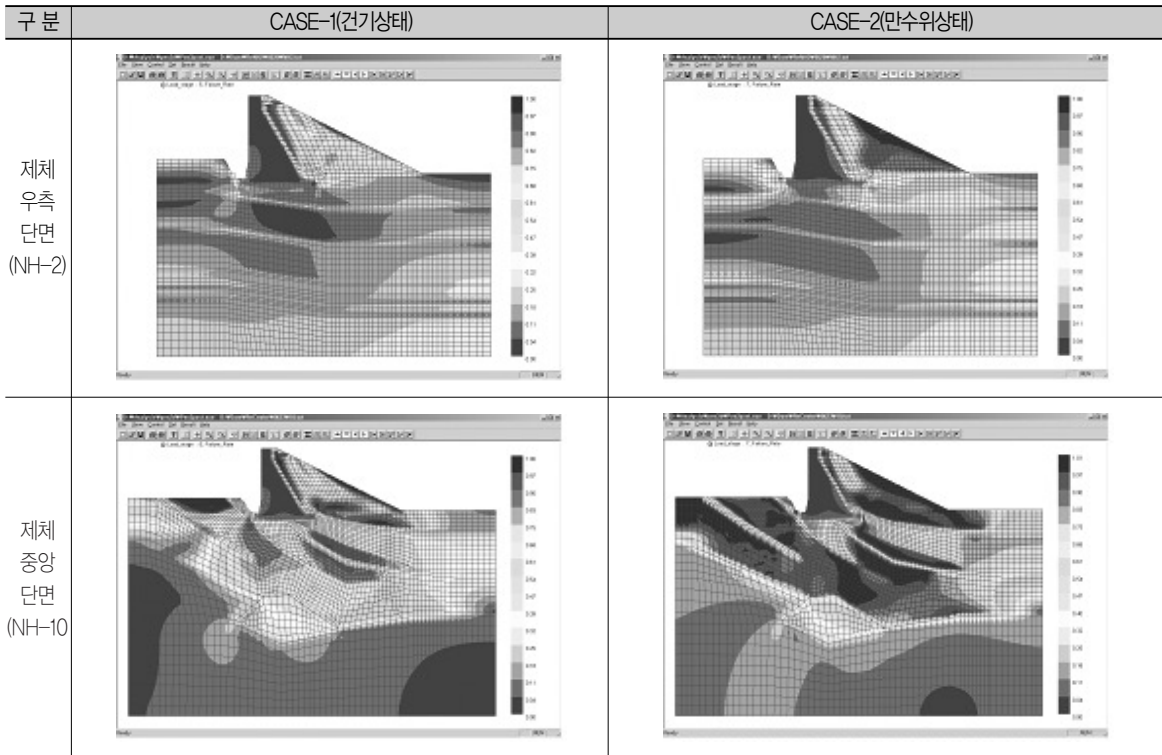
그림 3.3-2. 모어원

있으므로, 해석결과에 의미를 부여할 필요는 없다.

- 제체 중앙단면에서는 침투압으로 인해 상류측 하부 지반에 소성영역에 도달(FR=1.0)하는 범위가 증대하

는 것으로 나타났다. 이는 지표면에 노출된 연약대가 초기부터 비교적 위험한 상태에 있다가 추가적인 외부힘에 의해 불안정한 상태가 되는 것으로 판단된다.

표 3.3-5. 기초지반파괴율



따라서, 제체 시공시 지표면에 노출된 상류측 연약대를 제거하는 것이 제체의 안정성을 확보하리라 사료된다.

④ 침하량

- 독립기초의 부등침하 각변위량의 기준은 구조물기초 설계 기준(2003)에 의해 제체기초에 균열이 발생하지 않고 침하에 대해 충분히 안전하도록 하는 한계인 1/750로 규정하였다.
- 제체 우측단면은 건기상태와 만수위상태에 대해서 모두 부등침하에 대해서 안전하지만, 제체 중앙단면은 침투압 작용시 추가적인 전도에 의해 부등침하 문제가 발생된다. 이에 적절한 지반보강법이 요구된다

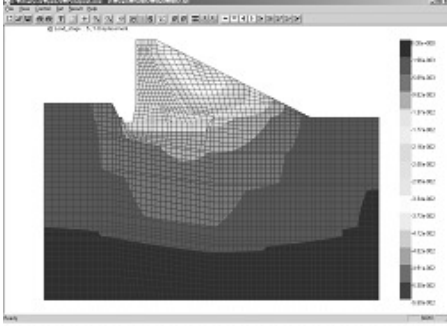
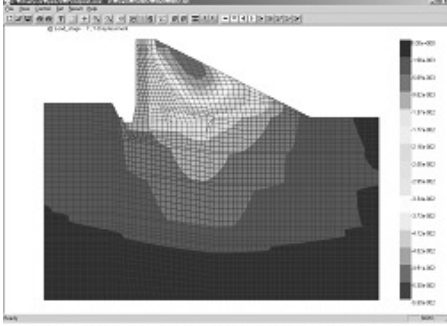
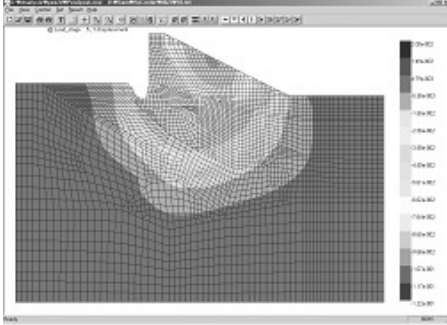
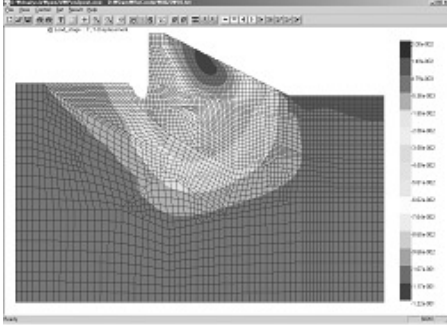
고 판단된다.

3.4 해석결과 분석

- 건조상태에서는 제체와 뒤택음흙에 의해 연직방향의 변형양상이 지배적이지만, 만수위상태에서는 물의 침투압이 상류측 하부지반의 유효응력 증가로 작용하고, 제체에 직각인 방향으로 정수압이 작용하여 제체와 뒤택음흙의 수평방향 변형양상이 지배적인 거동으로 나타난다. 특히, 위와 같은 양상은 하부지반 조건이 더 불리한 제체 중앙단면에서 현격하게 나타난다.
- 제체기초 지반이 상류에서 하류로 갈수록 불량하고, 제체 뒤택음흙이 비교적 높게 존재하므로, 제체기초

기술기사

표 3.3-6. 기초지반 침하량 및 회전각

구분	CASE-1(건기상태)	CASE-2(만수위상태)
제체 우측 단면 (NH-2)	 <p> $\delta = 1.06 \sim 1.31 \text{ cm}$ $\delta / B = (1.31 - 1.06) / 3,280$ $= 1/13,000 < 1/750 \rightarrow \text{OK}$ </p>	 <p> $\delta = 0.69 \sim 1.53 \text{ cm}$ $\delta / B = (1.53 - 0.69) / 3,280$ $= 1/3,900 < 1/750 \rightarrow \text{OK}$ </p>
제체 중앙 단면 (NH-10)	 <p> $\delta = 4.23 \sim 6.42 \text{ cm}$ $\delta / B = (6.42 - 4.23) / 3,280$ $= 1/1,500 < 1/750 \rightarrow \text{OK}$ </p>	 <p> $\delta = 3.29 \sim 8.20 \text{ cm}$ $\delta / B = (8.20 - 3.29) / 3,280$ $= 1/670 > 1/750 \rightarrow \text{NG}$ </p>

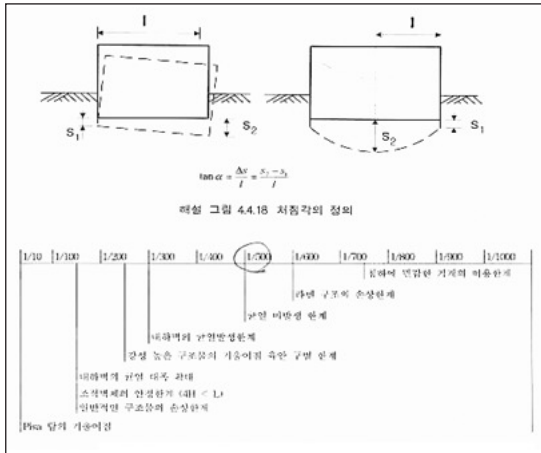


그림 3.3-3. 부등침하 기준

상류측에서 최소 지반반력이 발생하고 하류측에서 최대 지반반력이 작용한다.

- 만수위시에는 침투압으로 인해 제체에 수평방향의 힘이 탁월하게 증가하므로 최소 지반반력과 최대 지반반력의 차이가 더욱 커지며, 최대 지반반력 또한 증가한다.
- 제체 중앙단면에서는 침투압으로 인해 상류측 하부 지반에 소성영역에 도달(FR=1.0)하는 범위가 증대하는 것으로 나타났다. 이는 지표면에 노출된 연약대가 초기부터 비교적 위험한 상태에 있다가 추가적인 외

표 4.1-1. 지반보강 공법 비교선정

구분	H Pile을 이용한 보강말뚝	Micro Pile
개요	<p>H Pile을 이용한 SIP 단면도 450mm H - Pile H-300x300x10x15 시멘트 모르타르</p>	<p>Micro Pile 단면도 200mm 이상 공관 외경 162.5mm, t=11mm 부강철근 (φ32mm) 철근 Centralizer 시멘트 그라우팅 모르타르</p>
공법개요	천공후 내부에 H말뚝 및 철근을 건입후 모르타르 혹은 콘크리트를 타설	천공후 소규모 강관과 철근다발을 건입후 가압 Grouting을 실시하여 Milk 충전
특징	<ul style="list-style-type: none"> - 제원 배치간격 : 3 x 3m - 직경 : 450 mm - 본수 : 154 본 - 천공경이 크므로 주변임반교란이 예상 - 공벽유지를 위해 필요시 케이싱소요 - 본당 지지력이 커 배치 간격이 넓은 - 본수가 적어 공기가 짧고, 경제적임 - 공정이 단순하고 작업이 용이함 	<ul style="list-style-type: none"> - 제원 배치간격 : 2 x 2m - 직경 : 200 mm - 본수 : 270 본 - 소구경 말뚝으로 지반의 교란최소화 - 가압 Grouting에 의한 암반내 불연속면 보강이 가능⇒ 변형특성향상 기대 - 지반과 일체로 거동, 지반개량효과 우수 - 소형장비를 사용, 협소한 공간에서 시공
공비	5,200,000 X 154 = 800,000,000원	3,000,000 X 270 = 810,000,000원
선정	◎	

부침에 의해 불안정한 상태가 되는 것으로 판단된다. 따라서, 제체 시공시 지표면에 노출된 상류측 연약대를 제거하는 것이 제체의 안정성을 확보하리라 사료된다.

- 제체 우측단면은 건기상태와 만수위상태에 대해서 모두 부등침하에 대해서 안전하지만, 제체 중앙단면은 침투압 작용시 추가적인 전도에 의해 부등침하 문제가 발생된다. 이에 적절한 지반보강방법이 요구된다고 판단된다.

제4장 댐 제체의 기초지반 보강설계

하부의 불량지반으로 인해 과도한 변형이 예상되는 제체 중앙단면 횡단방향(NH-12&13)에 지반의 균질성확보와 비교적 약한 지반의 응력을 말뚝의 시공을 통하여 하부 및 강성이 큰 지반으로 전이시켜 변형발생 및 응력의 집중을 분산시키는데 보강설계의 목적이 있다.

4.1 지반보강 공법선정

기초암반내 분포한 연약대를 인접 암반과 동등한 강성

기술기사

표 4.2-1. 적용물성치

구분	단위중량 (tonf/m ³)	점착력 (tonf/m ²)	내부마찰각 (deg)	변형계수 (kgf/cm ²)	프와송비	초기지압계수
변질대1	2.00	3.0	32	1,660	0.33	1.0
변질대2	2.00	3.0	32	2,640	0.33	1.0
연암1	2.33	57.8	30.1	18,700	0.28	2.0
연암2	2.38	71.7	31.9	25,600	0.276	2.0
연암3	2.20	25.0	27.0	5,850	0.295	2.0
경암	2.54	113.3	37.45	46,000	0.265	2.0
뒤채움흙	1.90	1.5	25	1,120	0.35	0.5

(변형계수)을 확보하기 위한 공법으로 마이크로 파일을 이용한 지반보강공법과 H-Pile을 이용한 지반보강말뚝을 아래와 같이 비교 분석하였다.

비교결과 공사비는 유사하나 현장에서의 공기 및 시공성을 고려하여 H-형강을 이용한 보강말뚝공법이 선정되었다.

4.2 지반보강 공법을 고려한 변형해석

(1) 설계 지반정수

제체 중앙단면 횡단방향(NH-12&13)에 대한 공내재하 시험 결과와 기존의 설계지반정수를 종합하여 변질대와 연·경암의 설계정수를 결정하였다.

- 강재의 단면제원
 - 강재 : H300×300×10×15
 - 천공경 = ø 450mm
 - 채움 콘크리트 강도 : fck=300 kgf/cm²

(2) 해석 Model

지반보강 방법으로 가장 확실한 천공 후 구조용 강재 삽입 방법을 적용하였다. 천공경 450mm에 대해 각각의 공에 H-Pile을 삽입하는 방법으로 지반보강 설계를 실시하였다.

- 보강심도 : 제체 바닥면 아래 20m

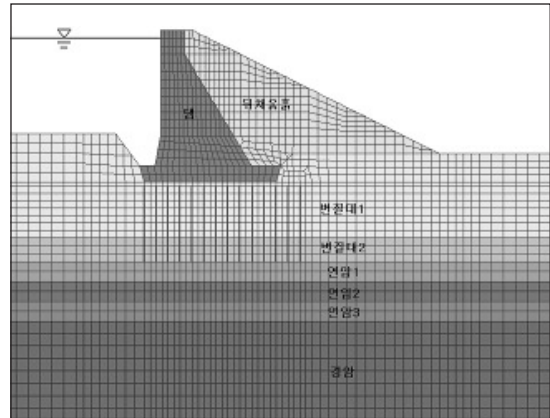


그림 4.2-1. 지반보강 영역 및 해석 단면

- 보강 폭 : 제체 바닥면 전체(폭30m)와 뒤측을 기준으로 후면 6m

(3) 해석 결과

① 침하량

- 부등침하에 대한 기준은 만족하지만 절대침하량이 인접블록의 경우 2-3cm 보다 과도하게 발생하여 보강이 필요함.
- 향후에 발생할 수 있는 위험적인 요소를 미리 고려하여 제체자체 및 뒤채움흙에 의한 상부하중을 양질의 암반지반에 직접 전달시키는 지반 보강공법을 적용함.

표 4.2-2. 침하량 비교

지반보강 전	지반보강 후
$\delta = 3.21 \sim 5.17 \text{ cm}$ $\delta / B = (5.17 \sim 3.21) / 3,280$ $= 1/1,600 < 1/750 \rightarrow \text{OK}$	$\delta = 1.57 \sim 2.93 \text{ cm}$ $\delta / B = (2.93 \sim 1.57) / 3,280$ $= 1/2,400 < 1/750 \rightarrow \text{OK}$
균열 발생 가능성 없음	균열 발생 가능성 없음

표 4.2-3. 지반반력비교

지반보강 전	지반보강 후
$q = 46 \sim 89 \text{ tf/m}^2$	$q = 25 \sim 68 \text{ tf/m}^2$

② 지반반력

- 보강재로 상부하중이 전달되면서 제체기초 바닥면에서의 지반반력은 감소한다.

③ 콘크리트 인장응력

- 콘크리트 설계강도 240kgf/cm²에 대한 콘크리트의 허용인장응력은 65tf/m²이다.

$$(f_a = 0.42 \sqrt{f_{ck}} = 0.42 \times \sqrt{240} = 6.5 \text{ kgf/cm}^2)$$

- 지반보강으로 인해 제체기초 바닥면의 작용하는 콘

기술기사

표 4.2-4. 기초 콘크리트 인장응력

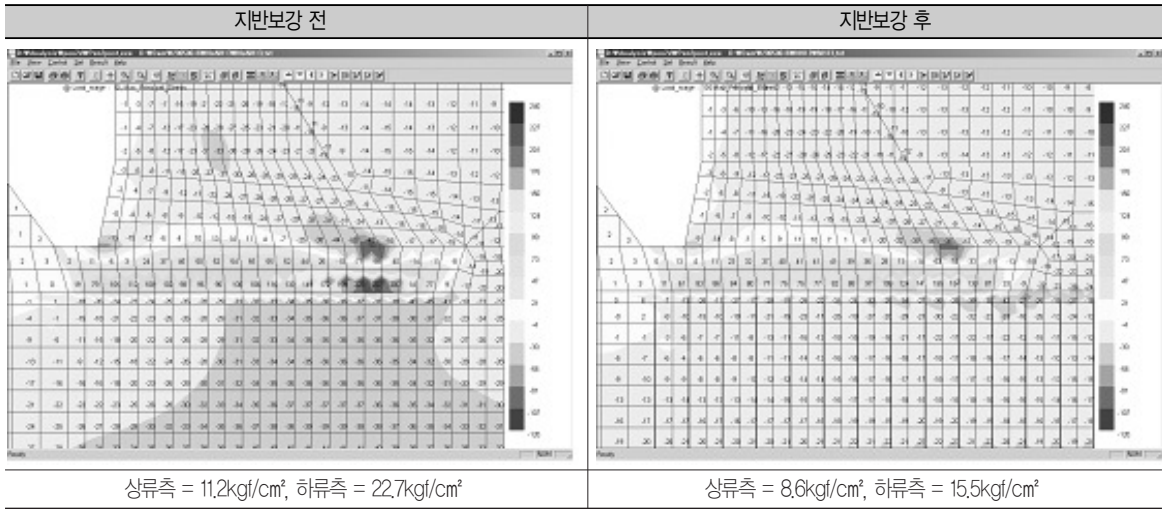
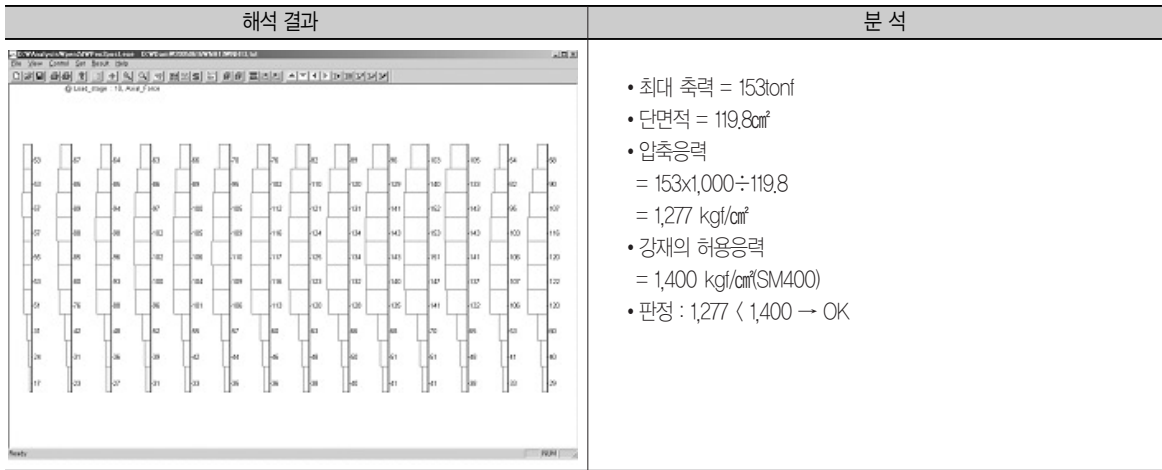


표 4.2.5. 보강재에 작용하는 축력



크리트의 인장응력은 감소하지만, 이는 허용응력 값보다 크므로 이에 대해 철근 배근이 필요하다.

④ 보강재에 작용하는 축력

4.3 지반 보강 영역설정 및 보강 패턴

시추 조사 결과를 검토한 결과 NH-11, NH-14의 시추 Core는 부분적으로 불량한 지층이 협재하여 있으나 비교

적 양호하고 NH-12, 13번 시추 Core는 암반의 강도가 약하고 절리와 파쇄가 심한 것으로 판단되어 당초 보강영역인 6, 7, 8번 Block 까지의 보강영역을 조정하였다.

또한 FEM 해석 결과를 지반보강후 제체하부 기초부의 반력이 약 30 t/m²정도 감소하는 등의 결과를 분석하여 불매 기초의 종단방향 보강영역은 6, 7번 Block과 7번 Block의 우측으로 6m 구간이며, 횡단방향은 제체의 기초 전면에 실시하고 하류측으로 약 3열정도 추가로 보강하는

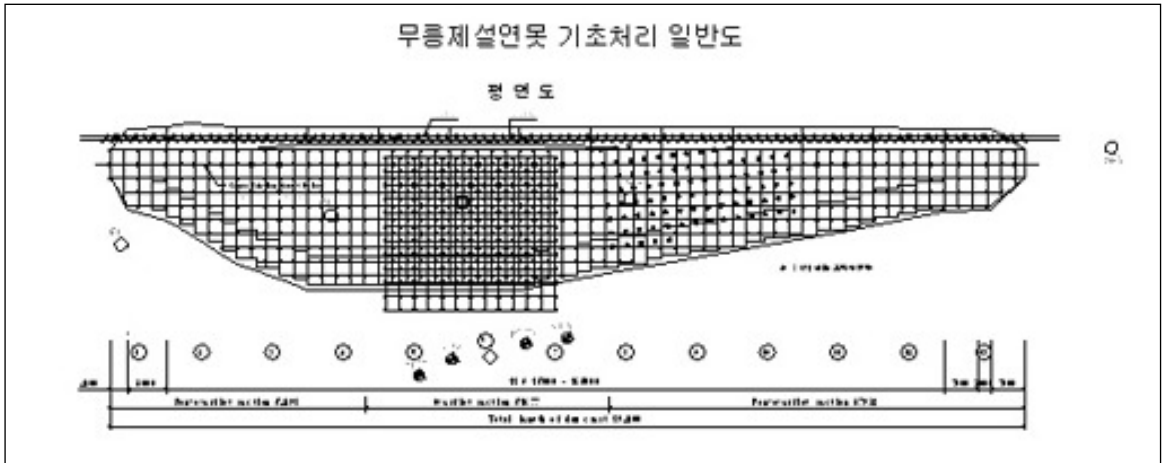


그림 4.3-1. 기초처리 일반도

표 4.3-1. 보강말뚝 설계결과

설계 항목	설계 사항
보강말뚝 설계간격	3 X 3 m
보강 심도	20m
보강 범위	6, 7 Block과 7 Block우측으로 6m(30 X 36 m)
수량	154본(총길이=3,080m)

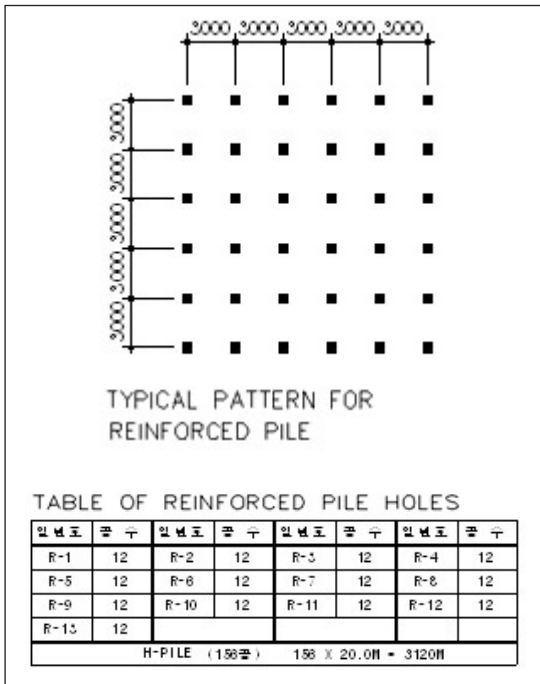
것으로 계획하였다.

또한 그 보강심도는 시추 Core와 변형계수를 고려하여 20m 정도로 하였다.

설계결과를 정리하면 다음과 같다.

보강영역 평면도는 아래의 그림과 같다.

또한 상세한 배치계획 및 수량은 다음과 같다.



4.4 기초처리(Consolidation Grouting)

콘크리트 댐에서는 기초의 전 영역에 걸쳐 실시하나 비교적 낮은 댐에서는 단층, Seam등의 연약부에 집중적으로 실시하고 다른 곳은 생략하는 경우도 있다.

그러나, 본 제체의 설계에서는 상기의 해석을 통한 지반의 응력분포 및 기초의 암반상태 분석 결과 등을 고려하여 기초의 전 영역에 실시하는 것으로 계획하였다. 또한, 균열이 많거나 Seam이 집중된 개소에 대해서는 별도의 보강방법 적용여부를 검토할 계획이다.

암반의 상태, 기초에 작용하는 응력의 크기, 댐의 형식 등에 따라 배치간격을 정하며, 전역에 걸친 일정한 Grouting에 대해서는 5~10m 정도로 취하며 중간점으로 순서를 정하여 시공하고 최종적으로 2.5~5m가 될 때까지

기술기사

표 4.4.-1. 콘크리트 중력식 댐의 Consolidation Grouting 시공 및 설계 사례

구분	위치	열수	간격		깊이	비고
			축방향	직각방향		
원안		2	4	2	15	
대청댐		-	4	4	5	
충주댐	기초전체	-	4	4	5	기초면에서 실시
합천댐	기초전체	-	3	3	5	기초면에서 실시
한탄강댐	기초전체	-	3	3	10	설계(2003)
성덕댐	기초전체	-	3	3	5	설계(2003)

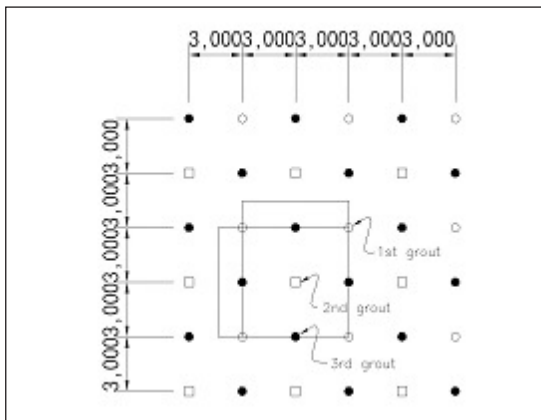


그림 4.4.1. Consolidation Grouting 배치도

지 시행하는 것이 일반적이다.

원안설계와 국내의 주요 콘크리트 중력식 댐의 Consolidation Grouting 시공 및 설계 사례는 아래의 표와 같다.

- 본 제체에서는 대댐에 속하는 제체의 규모와 제체 배면에 토사를 채움으로 인하여 기초에 작용하는 응력이 갈수기와 홍수기에 따라 교변응력을 받게되는 등의 조건을 고려하여 공간격을 3m의 정방형으로 배치하였다.
- 공의 심도는 제체의 규모에 의해서 정해지나 대개 5~10m정도의 실적이 가장 많다.

제체 설계기준(2003)의 경우는 “하중상태에 따라 다르지만 일반적으로 10~15m를 표준으로 한다”(323p)라는 내용이 있다.

· 본 제체의 경우는 과거의 시공 실적과 지반의 응력분포, 제체 설계기준 등을 고려하여 Grout공 심도를 5m로 결정하였다.

제5장 댐 제체 지반의 침투 해석

5.1 해석 개요 및 해석 조건

암반 중의 공극을 충전하는 것으로 암반의 본질적인 강도증가나 지반의 균열의 충전으로 전단강도의 증진을 기대하는 것은 의문이 있다. 그러나 기초 암반으로서 Mass를 생각할 경우 공극을 Grout로 충전함에 따라 전체로서 일체화되어 응력이 균등하게 분포하는 효과가 있다.

작용 하중에 대하여 FEM Software를 이용하여 지반의 응력분포를 산정하고 각각의 응력분포에 상응하는 지반보강계획을 수립하도록 한다.

(1) 해석방법 및 모델링

본 해석에 이용한 유한요소법 SEEP/W는 Darcy의 법칙을 따르는 포화-비포화 흐름에 근거하여 1차원의 단순한 정상포화 흐름으로부터 임의적으로 변하는 2차원의 이방성 지반의 포화 및 비포화 흐름을 해석할 수 있는 프로그램으로 국내에서 침투류 해석에 많이 활용되고 있다.

침투류 해석을 위하여 2개의 대표 단면에 대한 검토를

표 5.1-1. 해석 단면도

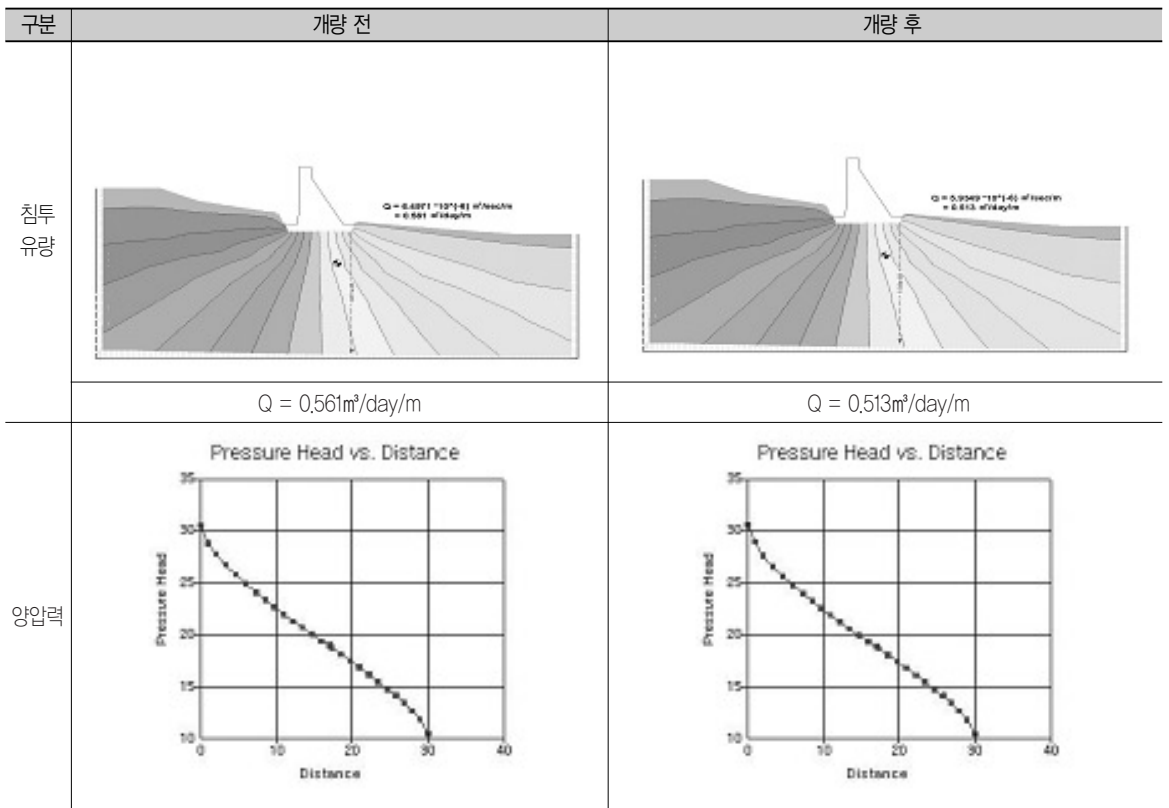
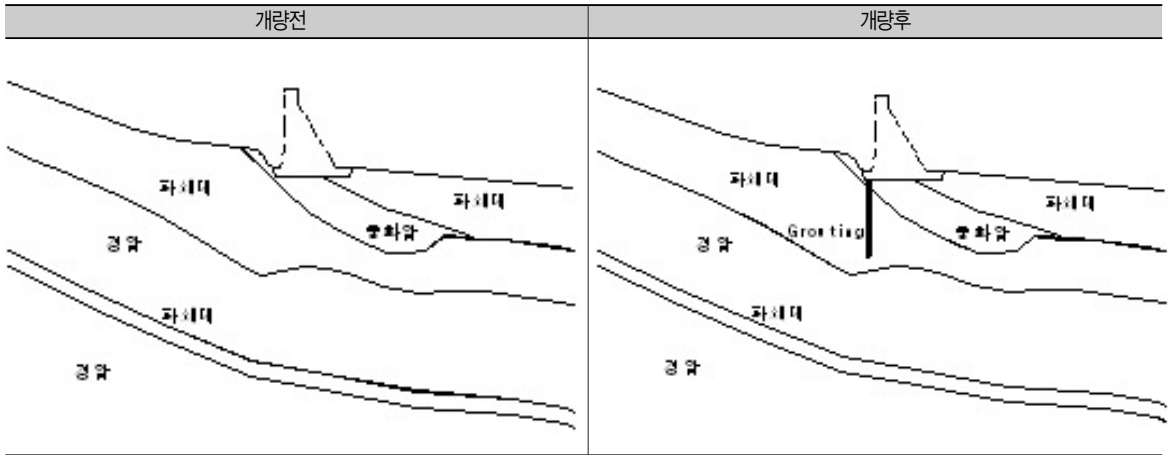


그림 5.2-1. NH-2 단면의 침투유량 및 양압력

수행하였으며 Lugeon 시험 결과를 반영하여 지층을 세분하여 원지반을 Modeling하였으며, 유한요소해석을 위

한 요소는 NH-2단면의 경우 9,127개의 절점과 8,154개의 요소, NH-10단면의 경우 8,528개의 절점과 7,698개

기술기사

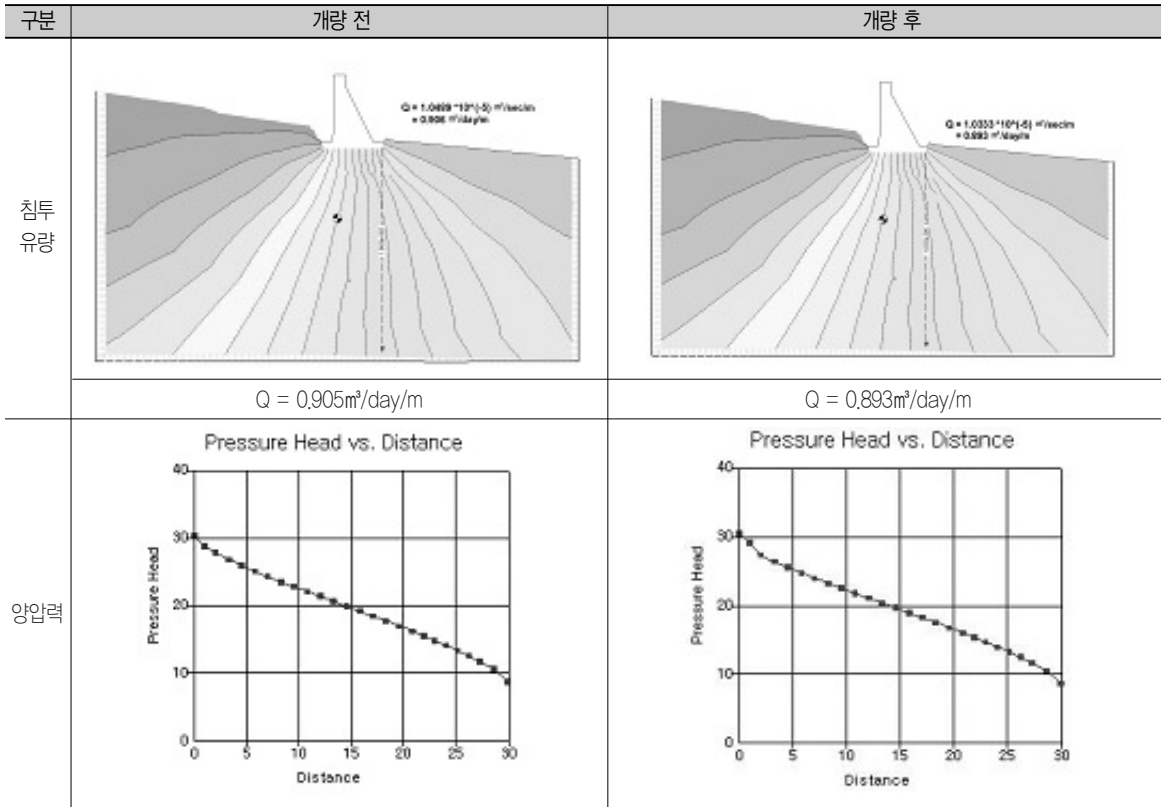


그림 5.2-2. NH-10 단면의 침투유량 및 양압력

의 요소로 구성하였다.

(2) 입력자료 결정

해석을 위한 투수계수는 현장시험 결과 및 참고문헌 등을 비교 분석하여 산정 적용하였다.

콘크리트 댐은 Fill댐과 비교할 경우, 댐을 통한 漏水는 없으며, 기초암반의 절리, Crack 등을 통하여 누수가 발생된다. 기초지반의 투수계수의 산정은 Lugeon Test 값을 투수계수로 변경하여 적용하였으며, 1Lugeon은 $1.30 \times 10^{-5} \text{ cm}/\text{sec}$ 를 기준으로 하였다. 기초 그라우팅 완료 후 치환된 부분의 투수계수는 그라우팅 목표치인 2Lu으로 계산하였다. 침투류 해석시 적용된 재료별 투수계수

및 투수계수비는 아래의 표와 같다. 참고문헌으로는 1997년에 개정한 구조물 기초설계 기준을 참조하였다.

(3) 해석조건

본 콘크리트 제체에 대하여 최대홍수위 EL. 761m시 정상 침투상태에서의 침투류 해석을 실시하였다.

- CASE I : 개량전 침투수량 평가
- CASE II : 기초저면 하부 30m 위치까지 Grouting 개량후 침투수량 평가

5.2 해석결과

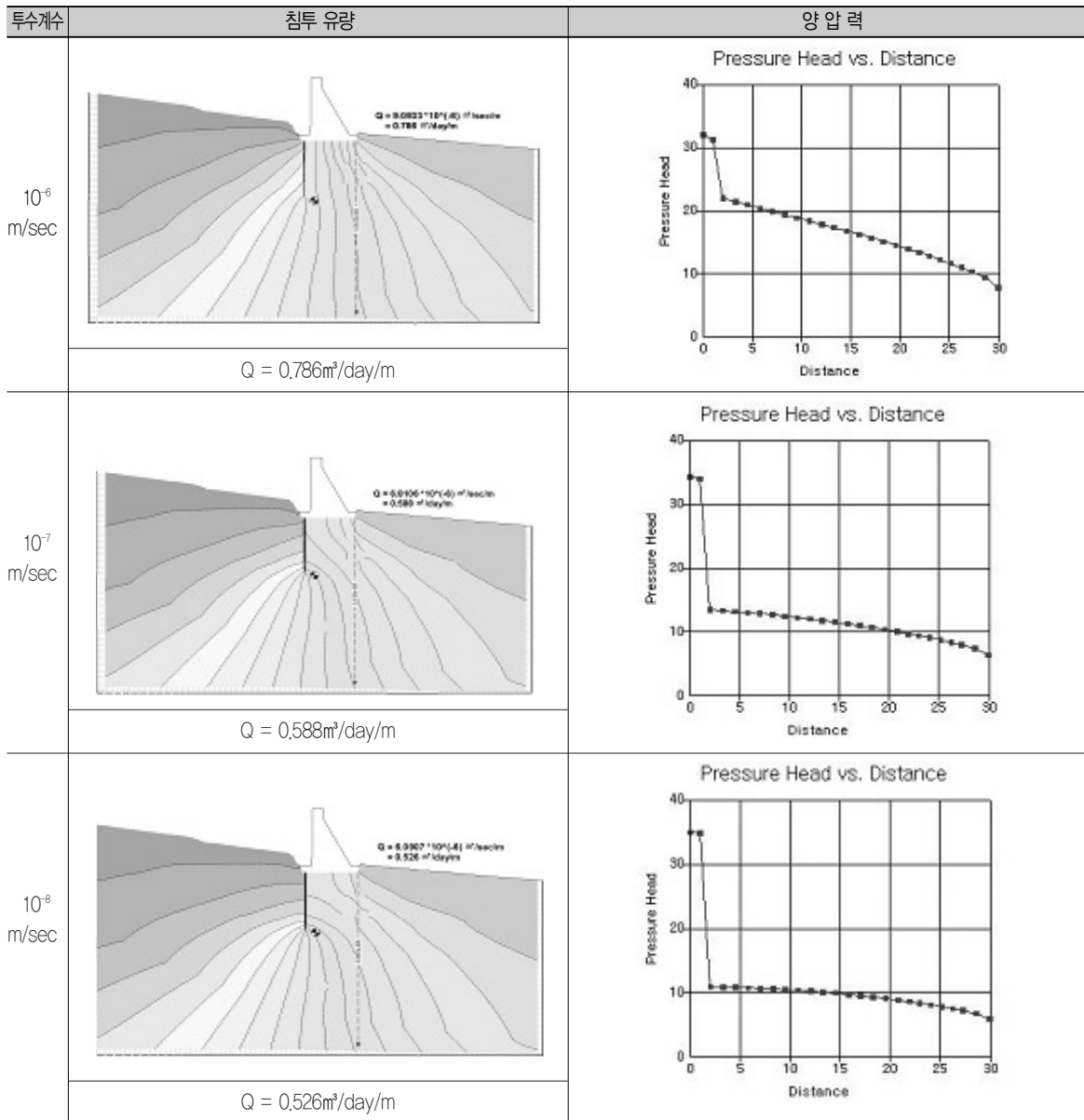


그림 5.2-3. Curtain Grouting 투수계수에 따른 침투해석결과(NH-10 단면)

개량 전후에 대하여 상기와 같이 침투해석을 실시한 결과는 다음 그림과 같다.

- Lugeon 시험 결과와 목표 Lugeon치를 그라우팅 영역에 적용하여 침투류 해석을 실시한 결과 NH-2단

면의 경우 양압력의 감소와 유량의 감소가 미미하고, NH-10단면의 경우는 양압력의 감소는 적으나 침투수량은 감소함을 보여주고 있다.

- 두 단면 모두 침투수량의 감소가 적은 것은 지반의

기술기사

표 6.3-1. Curtain Grouting의 과거 시공 및 설계사례

구분	위치	열 수	간격(m)		깊이(m)	비고
			공간격	열간격		
원안	제체전면	4	2	1	30	
대청댐	제체전면	2	1.5	1	20-40	
충주댐	제체전면	2	2	1	30-40	2Lu 미만(실적: 0.44Lu)
합천댐	제체전면	2	1	1.5	20-45	2Lu 미만(실적: 1.80Lu)
한탄강댐	제체전면	2	2	1.5	30-60	
성덕댐	제체전면	2	2.5	1	20-40	

Lugeon치가 일부 지역을 제외하고는 목표 Lugeon 치와 유사하여 상기와 같은 결과가 발생한 것으로 판단된다.

- 따라서, 개량 후 Curtain Grout의 투수계수를 감소시키면서 해석을 실시한 결과 다음 쪽의 그림과 같이 Curtain Grouting에 의한 차수벽의 투수계수가 $2.5 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 이내가 되어야 그 침투량 및 양압력이 감소하는 결과를 보여준다.

5.3 Curtain Grouting 공의 배치 및 심도

- Curtain Grouting의 목표 개량치는 콘크리트 중력식 제체에서 1~2 Lu으로 설정한다.
- 본 제체에서는 제체의 규모와 지반조건을 고려할 때 2Lu 을 목표로 하는 것이 타당할 것으로 판단된다.
- Curtain Grouting의 과거 시공사례와 설계사례는 아래의 표와 같다.
- Curtain Grouting의 시공위치는 제체전면에 기초의 Toe부분 전면에서 하류방향으로 2m(굴착저면에서 1m) 떨어진 곳에 시공하는 것을 기준으로 하여 제체의 직각방향으로 실시하는 것을 기준으로 하였다.
- 또한, 제체의 높이가 가변적이므로 기초의 폭이 양안 측으로 갈수록 좁아져 평면상에서 Toe부분이 기울기를 갖게 됨에 따라 Grout공이 Toe 폭(전면에서 2~5m)내에 위치하도록 조정하였다.

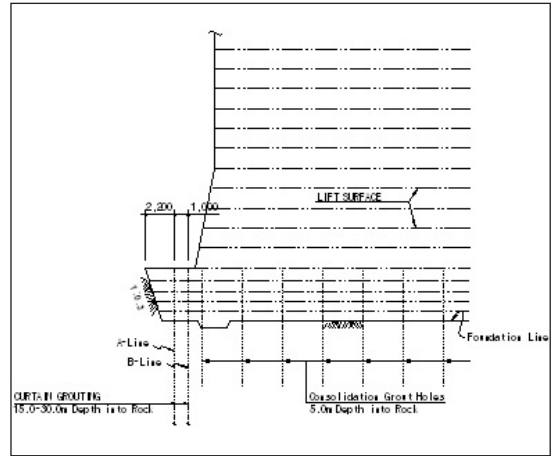


그림 5.3-1. Grouting 배치 단면도

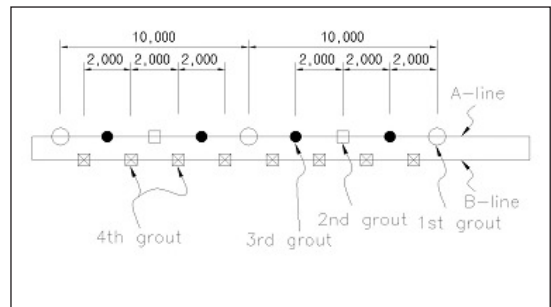


그림 5.3-2. Curtain grouting 배치도

- Grout 공의 배치는 일반적인 콘크리트 중력제체의 경우와 같이 2열을 지그재그로 배열하였으며, 공간격 2m, 열간격 1m를 적용하였다.
- Grouting 심도를 여러 가지 경험식을 기준으로 구하면 다음과 같다.

- 제체 기초처리(Hmax = 36 m)
 $d = (0.5 \sim 1.0) H_{max} = 18 \sim 36 \text{ m}$
- 댐 설계기준에 대한 비교검토(공위치의 제체높이 H = 36m 인 경우)
 $d = H/3 + C(8 \sim 25\text{m}) = 20 \sim 37 \text{ m}$
- 댐 설계기준(최대수심 H = 35 m)
 $d = 2/3 H = 24 \text{ m}$
- 제체의 위치는 일반적으로 지반이 양호한 지층에 놓이나 당 제체의 경우 과업대상지역에 위치해야하는 제안조건을 반영하여 Dam의 위치를 정한 바 상기의 기준에 있어서 보수적인 기준을 적용하여 중앙부 30m, 양안측 15m를 적용하였다.

제6장 결론

가. 지표지질조사, 시추조사 및 현장시험결과를 분석하고 기존설계자료와 비교하여 상세해석을 위한 지층단면 및 설계지반 물성치를 결정하였다.

나. 수압시험 결과 지반의 투수계수가 낮은 값을 나타냈으며, 이를 고려한 침투해석결과 침투유량이 적게 산정되었다. 또한 Curtain Grout에 의한 기초저면의 양압력 감소효과는 미미한 것으로 검토되었다. 이는 원지반의 투수성이 양호하여 개량 목표치와 큰 차이를 보이지 않기 때문으로 판단된다. 따라서 Curtain Grouting은 국부적인 침투의 발생 가능성을 배제할 수 없으며 조사 결과가 제체 전지역을 대표한다고 보기 어려움으로 제체

높이에 따른 수두치를 고려하여 Grouting의 깊이를 결정하고, 그 배치는 Concrete Dam에서 일반적으로 적용하는 2열 지그재그 형상의 패턴그라우트로 계획하였다.

다. 지층단면 및 설계지반정수를 반영하여 제체축의 종단방향과 횡단방향에 대하여 지반의 변형해석을 수행한 결과 종단면 해석결과 제체중심 NH-10 시추공 지역이 지반이 불량함에 기인하여 응력이 양안측으로 분산되는 양상을 보이고, 주요부분에 대한 횡단면 2개소의 횡단면 해석결과 NH-10 단면의 경우 제체 배면 기초하부에 응력집중이 발생하였다.

따라서, 이에 대한 제체 중앙부와 그 배면측의 지반 보강이 필요할 것으로 판단하였으며 제체 Site는 전체적으로 암반의 강도가 양호하나 그 균질성의 여부는 불확실함으로 Consolidation Grouting은 제체 기초의 균질성과 표면차수성의 확보를 위하여 제체 전역에 걸쳐서 실시하고 그 심도는 Concrete Dam에서 시공실적이 가장 많은 5m를 적용하였다.

라. 제체 중앙부의 지반이 취약함에 의하여 발생한 제체 양안측과 배면의 응력집중 현상을 완화시키기 위한 지반보강 공법으로 Micro Pile과 H-Pile을 이용한 보강말뚝 공법을 비교 검토하였다.

전자의 경우 Grouting에 의한 암반 보강효과가 기대되나 이에 대한 정량적 평가가 어렵고, 본당 지지력 또한 작아 다수의 말뚝이 필요한 반면, 후자의 경우는 Micro Pile에 비해 지지력이 크므로 말뚝의 배치 간격을 넓게 하여 말뚝본수를 감소시킬 수 있고 이에 따른 공기가 단축되며 공사비도 다소 저렴하다. 따라서 보강공법으로 H Pile을 이용한 보강말뚝공법으로 결정하였다.

기술기사

마. NH-11, 12, 13, 14의 4공에 대하여 추가 시추조사와 공내재하시험 결과를 비교 분석하고 FEM 해석을 실시하여 지반의 변형특성 향상을 통해 지반 균질화를 위한 지반보강 영역 및 심도를 결정하고 보강말뚝 단면을 설계하였다.


보강영역을 제체 종단방향으로 6,7번 Block과 7번 Block 우측으로 약 6m 실시하고 횡단 방향에 대하여 제체 기초전면과 하류측으로 약 9m정도를 보강하였으며, 제체 하부에서 발생하는 지반반력을 기준으로 면적에 대


한 환산탄성계수를 이용하여 말뚝의 지지력과 지반으로의 하중전이를 고려하여 계산한 결과 길이 20m, 말뚝간격 3m 로 배치할 경우 타당한 것으로 계산되었다.

바. 개량 후 제체 저판부에 123tf/m²의 평균 인장응력이 작용하여 제체 저판 높이의 1/2정도까지 작용한다고 가정하여 이 부분에 대하여 D29철근을 15cm 간격으로 배근하였다.




엔지니어링 활동주체신고 제 10-314호
 간성교통부지정 안전진단 전문기관(교량 및 터널) 제 29호
 기업부설 기술연구소 제19961262호
 병역특례지정업체 제 96-113호
 벤처기업 제021635021-2-5074호




설 계

- 설계
- 조사
- 시험
- 감리

**보링
그라우팅**

- 사면/지반 터널 보강
- 암벽식 보일내굴림
- MSB
- 자전공 Anchor System
- AT-Casing System

계 측

- 지반
- 교량
- 터널
- 안전진단

(주)이제이텍  **(주)은진공영**

토공사

- 블록식 보강토 옹벽

**첨단
기술개발**

- 점검로봇
- DGPS
- 광섬유센서
- 자기장센서

본사: 경기도 성남시 분당구 구미동 204-5
 (주)이제이텍: 전화 031-711-4880 팩스: 031-711-6311
 (주)은진공영: 전화 031-712-6650 팩스: 031-712-6690

부산지사: 부산광역시 금정구 장전1동 363-13번지 3층
 전화: 051-518-0984 팩스 051-518-0978
 홈페이지: <http://www.ejtech.net> 이메일: ejtech@ejtech.net