

발 간 등 록 번 호

11-1541000-001610-01

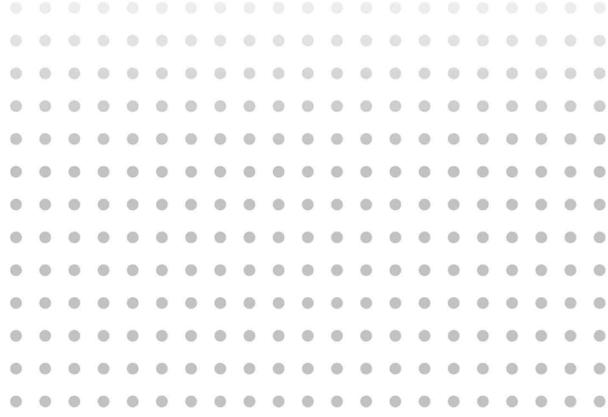
<http://rri.ekr.or.kr>

농업용 저수지 구조물의 내구성 및 내하력 평가시스템 개발(부록)

Development of Durability and Load-Bearing
Capacity Evaluation System for Structures at Reservoir

2012. 12





부록 A



내진설계기준 검토

부록 A. 내진설계기준 검토

신규로 건설되는 농업생산기반시설은 「농업생산기반정비사업계획설계기준」에 규정된 내진설계를 적용하여 충분한 내진 안전성을 확보하도록 하고 있다. 특히, 저수지 구조물의 내진설계는 「농업생산기반정비사업계획설계기준 - 필댐편」(농림부, 2002)에 규정하고 있다.

내진설계가 적용되지 않은 기존 기반시설에 설계지진 수준의 지진이 발생하는 경우에는 피해가 우려되므로 이에 대한 대책을 마련할 필요가 있다. 이에 한국농어촌공사에서는 내진보강대책을 마련하여 단계적으로 내진보강을 수행하고 있으나, 대상시설물이 저수지 제체와 취수탑에 국한되며, 대부분의 부속시설에 대해서는 아직 보강대책이 마련되어 있지 않은 실정이다.

또한 기존 저수지 시설물의 부속시설에 대한 내진 안전성 검토시 필요한 기준 및 절차, 적용방법 등을 명확히 규정한 기준이나 지침이 아직 마련되어 있지 않아 기존 부속시설의 내진 안전성 검토시 「내진설계기준연구(Ⅱ)」(건설교통부, 1997), 「농업생산기반정비사업계획설계기준」(농림부), 「댐 설계기준」(국토해양부, 2011), 「콘크리트구조설계기준」(건설교통부, 2007), 「상수도시설기준」(환경부, 2010), 「기존 댐의 내진성능평가 및 향상요령」 및 「기존 상수도의 내진성능평가 및 향상요령」(한국시설안전공단, 2004) 등을 준용하여 평가를 수행하고 있어 내진성능평가를 수행하는 엔지니어에 따라 평가방법이 서로 상이한 실정이다.

기존 저수지 구조물의 내진안전성 평가에 적용되는 기준 및 평가방법의 타당성을 검증하기 위해서 우선적으로 구조물별 준용되고 있는 내진설계기준에 대한 검토를 수행하였다.

A.1 농업생산기반정비사업계획설계기준 - 필댐편(2002)

A.1.1 내진설계 방법

지진시에는 댐 및 기초의 직접 파괴 이외에 저수지 주변 또는 물넘이 사면의 활동이나 저수의 진동에 의한 간접 피해도 발생할 수 있기 때문에 이에 충분히 검토해야 한다.

가. 기본 개념

댐에 상당한 변형과 부분적 손상이 발생하는 것은 허용할 수 있으나 지진시 또는 지진 경과 후에도 댐의 저수기능은 유지되어야 하며 통제 불가능한 저수량의 유출상태는 있어서는 안된다. 어느 경우에도 댐이 붕괴되지 않도록 댐체의 활동이나 전도를 방지하기 위한 충분한 안전율을 확보하여야 하며, 댐의 정상수명기간 내에 설계 지진력이 발생할 가능성은 희박한 것으로 본다.

나. 설계 방법

내진설계방법은 지진력을 지진계수에 의한 하중의 관성력과 동수압으로 대체하고 정역학적인 방법으로 해석하는 진도법과 지진파에 의한 응답을 구하여 동적인 파동으로 해석하는 동역학적 안정해석 방법이 있다.

댐 내진설계 방법은 정역학적 방법으로 해석하는 진도법을 기본으로 하고 있는데, 이미 경험적으로 안정적인 방법임이 입증되고 있다. 이 방법은 간편하고 안정적인 해석결과를 얻을 수 있는 장점이 있으나 댐의 동적 특성을 고려하지 않고 지반과 구조물의 상호작용 관계인 설계진도와 최대 응답 가속도의 관계가 명백하지 않다.

선진국에서는 지진파에 의한 응답을 구하여 동적인 파동으로 해석하는 동역학적 안정해석 방법이 많이 개발되어 설계에 적용하고 있다. 이 방법도 댐 설계에 적용할 때는 다음의 문제점이 있어 적용에 신중해야 한다.

- ① 설계 지진파형의 설정
- ② 댐 축조재료의 동적인 응력 왜곡 특성
- ③ 해석방법으로서의 3차원적 응답이나 지하 소산 규정

④ 파괴규준 및 파괴현상의 모의 등

특히, 우리 나라의 경우 빈약한 지진 해석자료 및 연구 미흡으로 여러 가지 불명확한 사항에 대한 가정이 불가피하여 설계기준으로 동적 해석방법을 댐의 내진설계기준에 규정하기에는 무리가 따른다.

A.1.2 설계 지반운동 및 설계진도

가. 설계지반운동

설계지반운동은 지표면에서의 자유장 운동으로 정의한다. 설계지반운동은 수평 2축 방향성분으로 정의되며 세기와 특성은 동일한 것으로 가정하고, 지진에 의한 수직방향의 영향이 댐 안정에 영향을 주게 되는 경우는 이 방향의 지진력을 고려하여야 하며 크기는 수평방향 지반운동의 1/2로 본다. 또한, 댐의 내진설계 시에는 댐 상류의 저수지 수위 및 수위의 변화 상태에 따라 댐 안전에 가장 불리한 방향으로 가진되는 경우를 산정하고 안정해석을 해야 한다.

나. 설계진도

우리나라의 지진구역을 <표 A.1.1>과 같이 설정한다. 각 지진구역에서의 평균 재현주기 500년의 지진 지반운동에 해당하는 지진구역계수는 구역 I에서는 0.11, 구역 II에서는 0.07이다. 평균 재현주기별 최대 유효지반가속도의 중력가속도에 대한 비를 의미하는 위험도 계수는 평균 재현주기 500년일 때 1.0이며, 1,000년일 때는 1.4이다.

필댐 설계시 적용되는 설계진도는 지진 구역계수에 내진 등급별 설계지진의 평균 재현주기에 따른 위험도 계수, 지반계수 및 댐 형식별 할증계수를 곱한 값에 중력가속도를 곱하여 구한다. 단, 지반계수와 댐 형식별 할증계수는 정역학적 설계방법인 진도법에 의한 경우에만 적용한다. 그러나 위의 방법으로 산출된 설계진도가 0.2 g 이상이어서 우리 나라보다 지진규모나 발생빈도가 훨씬 높은 나라에서 적용하는 진도보다 과다하다고 판단되는 경우 설계자는 적용 설계진도를 0.2 g 이하로 조정할 수 있다.

<표 A.1.1> 지진구역 구분

지진구역	행정구역	
I	시	서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시
	도	경기도, 강원도남부 ⁽¹⁾ , 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부 ⁽²⁾
II	도	강원도 북부 ⁽³⁾ , 전라남도 남서부 ⁽⁴⁾ , 제주도

주 : (1) 강원도 남부 : 영월, 정선, 삼척시, 강릉시, 동해시, 원주시, 태백시
 (2) 전남 북동부 : 장성, 담양, 곡성, 구례, 장흥, 보성, 여천, 화순, 광양시, 나주시, 여천시, 여수시, 순천시
 (3) 강원도 북부 : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천시, 속초시
 (4) 전남 남서부 : 무안, 신안, 완도, 영광, 진도, 해남, 영암, 강진, 고흥, 함평, 목포시

다. 내진등급과 설계지진 수준

댐 내진등급은 <표 A.1.2>와 같이 댐의 중요도에 따라 내진 I 등급 및 내진특등급의 두가지 등급으로 분류한다.

<표 A.1.2> 댐의 내진등급과 설계지진

내진등급	내용	설계지진의 평균 재현주기
내진특등급 댐	<ul style="list-style-type: none"> · 사회, 안보, 경제적인 측면에서 특별한 댐으로 발주처가 지정하는 댐 · 법에 의하여 다목적 댐으로 분류한 댐 · 총저수량 2000만 m³ 이상인 댐 	1,000년
내진 I 등급 댐	높이 15m 이상이고 총저수량 50만 m ³ 이상인 댐	500년

라. 지진하중

지진시 댐에 발생하는 응력과 변형을 평가할 때에는 댐에 작용하는 사하중에 설계진도를 곱한 지진 관성력을 고려하여야 하며, 이 관성력의 작용방향은 댐의 안정성에 불리한 방향으로 작용하는 것으로 해석하여야 한다. 이는 유체의 동압력의 영향뿐만 아니라 수면과의 영향이 고려되어야 한다.

A.1.3 필댐의 내진설계

필댐의 내진설계상 주의사항 및 설계거동 한계를 정의하고 있으나, 부속시설에 대한 사항은 규정되어 있지 않다.

A.1.4 정역학적 설계기준

설계에 적용하는 지진력은 작용 정하중에 대한 지진 관성력만 고려하고 동수압은 영향이 미미하므로 제외한다. 지진에 의한 과랑고는 필요한 경우에만 따로 고려한다.

가. 지진력

진도법에 의한 정역학적 설계에서 필댐에 작용하는 지진력은 활동면 상의 체체 무게에 설계진도를 곱한 지진 관성력이며, 이 힘의 작용점은 활동면의 중심이며 작용방향은 수평방향으로 하되 안정에 불리한 쪽으로 정한다.

활동면에 연직으로 작용하는 동수압은 아주 작으므로 무시하며, 활동면에 연직으로 작용하는 지진 관성력은 수평지진 관성력의 1/2로 계산할 수 있으나 수평지진 관성력을 적용하는 경우가 가장 불리하므로 실제로는 적용하지 않는다.

A.1.5 동적 설계

최근에 건설되는 필댐은 해석법의 발전과 시공장비의 발달 등에 따라 점차 대형화되고 있는 추세이다. 과거 경험적인 방법인 진도법은 보수적으로 채택되어 왔으나, 적정지진 규모와 경제적인 조건이 충분히 고려되지 못했기 때문에 보다 과학적이고 이론적인 동적해석 기법의 적용이 필요하다.

이러한 동적인 방법은 축재 재료의 비선형 거동특성을 고려한 비선형 모델링 방법을 사용하거나 타당성이 입증된 단순화된 방법으로 해석해야 한다.

부속 구조물의 응답은 비선형 거동특성을 고려할 수 있는 해석법에 의해서 해석하고 일반 구조물의 지진응답 해석법을 준용한다.

동적해석에서 일반적으로 선형적 방법을 응력해석에 이용하고 있으나 면밀한 검토를 위하여 단계적 해석이 사용되어야 하며, 흙의 소성적 성질과 동적 간극수압을 고려하며, 주로 유한차분법이나 유한요소법을 사용하여 해석한다.

A.1.6 소 결

설계기준 - 필댐편(2002)의 4.9.5절에서는 높이 15m 및 총저수량 50만 m³ 이상 규모로 신설되는 필댐 및 부속시설에 대하여 내진성능을 확보하는데 필요한 최소 요구조건을 만족하도록 내진설계를 수행하라고 기술되어 있으나, 본문에는 필댐 규모에 따라 내진설계 방법 및 설계진도 등을 산정하는 기준은 제시되어 있지만 부속시설(즉, 취수탑, 취수터널, 여·방수로 옹벽, 연락교량 등)에 대한 명확한 기준은 제시되어 있지 않은 실정이다. 본문 중 4.11절 취수시설의 구조설계 기준에서는 취수탑의 수리 및 구조설계시 지진에 대한 안전도를 검토하도록 기술하고 있으나 상세 기준은 제시되어 있지 않다.

댐 내진설계 방법은 정역학적 방법으로 해석하는 진도법을 기본으로 하고 있으나, 이 방법은 간편하고 안정적인 해석결과를 얻을 수 있는 장점이 있으나 댐의 동적 특성을 고려하지 않고 지반과 구조물의 상호작용 관계인 설계진도와 최대 응답 가속도의 관계가 명백하지 않다. 이에 선진국에서는 지진파에 의한 응답을 구하여 동적인 파동으로 해석하는 동역학적 안정해석 방법이 많이 개발되어 설계에 적용하고 있으나, 우리나라의 경우 빈약한 지진 해석자료 및 연구 미흡으로 여러 가지 불명확한 사항에 대한 가정이 불가피하여 설계기준으로 동적 해석방법을 댐의 내진설계기준에 규정하기에는 무리가 따른다.

하지만 최근 10년간 내진설계 관련기술의 급속한 발달로 동적 해석방법도 크게 발달하여, 교량 등의 설계기준에서는 이미 동적 해석법을 채택하고 있다.

A.2 댐 설계기준(2011)

국토해양부에서 2011년에 개정된 「댐 설계기준」에서는 ‘제12장 내진설계’편에 댐에 관한 내진설계기준이 상세하게 기술되어 있다.

본 절에서는 내진설계 공통사항 및 댐 부속시설물에 대한 기준에 대해서만 발췌하였다.

A.2.1 내진설계 적용시설

- 1) 이 기준은 댐체, 여수로 및 부대시설물의 내진성능을 확보하기 위하여 필요한 기준을 규정하는 것으로서 신설되는 높이 15m 이상인 댐의 내진설계에 적용한다. 또한 높이 15m 미만인 소규모댐의 내진설계에도 준용할 수 있다.
- 2) 댐의 부대시설물은 취수탑, 발전소, 댐 관리동, 수로터널 등을 말하며 이들 시설에 설치된 수문, 권양기, 현장조작반, 관리교, 전기 및 계측 제어설비 등을 포함한다.

A.2.2 내진설계기준의 기본개념

- 1) 이 기준은 국토해양부의 연구과제 내진설계기준 연구(1997.12)에서 제시된 내진설계 성능기준 및 기타 연구결과를 참고하고 기존의 설계 체계를 정리하여 제정한 것이다.
- 2) 내진설계기준 연구(1997.12)에서 제시된 내진설계 개념의 특징은 지진의 발생 빈도와 지반운동의 세기, 시설의 중요도에 따라 요구되는 내진성능을 기능수행 수준과 붕괴방지 수준으로 구분하여 만족시키도록 규정하고 있다. 따라서 이 기준에서 제시된 방법으로 내진설계를 할 경우에는 기능수행 수준과 붕괴방지 수준을 만족하는 것으로 본다.
- 3) 이 내진설계기준은 다음과 같은 기본개념에 기초를 두고 있다.
 - ① 댐에 미소한 변형과 부분적 손상이 발생하는 것은 허용할 수 있으나, 지진이 발생되더라도 통제 불가능한 저수의 유출이 없어야 하며, 댐의 저수기능이 유지되어 용수공급에 지장이 없어야 한다.

- ② 어떤 경우에도 댐이 붕괴되지 않도록 댐체의 활동이나 전도의 방지를 위해 충분한 안전율이 확보되어야 한다.
- ③ 이 기준을 따르지 않더라도 창의력을 발휘하여 보다 발전된 설계를 할 경우에는 이를 인정한다.

A.2.3 내진설계 일반

가. 내진설계 기법

- 1) 현재 우리나라에서 댐에 대한 내진설계 방법은 지진력을 지진계수에 의한 하중의 관성력과 동수압으로 대치하고 정역학적 방법으로 해석하는 **진도법**을 기본으로 하고 있다. 이 방법은 이미 경험적으로 안정적인 방법임이 입증되고 있다.
- 2) 정역학적 방법은 간편하고 안정적인 해석결과를 얻을 수 있는 장점이 있으나, 댐의 동적 특성을 고려하지 않고 지반과 구조물의 상호작용 관계인 설계진도와 최대응답 가속도의 관계가 명백하지 않다.
- 3) 최근 미국 등 일부 국가에서는 지진파에 의한 댐의 응답을 구하여 동적인 파동으로 해석하는 동역학적 안정해석 방법을 설계에 적용하고 있다.
- 4) 동역학적 안정해석 방법도 댐 설계에 적용할 때 다음과 같은 사항의 명확한 규명에 문제점이 있어 그 적용에 신중해야 한다.
 - ① 설계 지진파형의 설정
 - ② 댐 축조재료의 동적인 응력 왜곡 특성
 - ③ 해석 방법으로서의 3차원적 응답이나 지하 소산 규정
 - ④ 파괴 기준 및 파괴 현상의 모의
- 5) 우리나라의 경우에는 빈약한 지진 해석자료 및 연구 미흡으로 여러 가지 불명확한 사항에 대한 가정이 불가피하여 설계기준으로 동적 해석 방법을 댐의 내진설계기준에 규정하기에는 무리가 따른다.
- 6) 따라서 종래의 정역학적 설계 방법인 진도법을 내진설계의 기본으로 한다. 그러나 진도법으로 설계된 댐체 단면에 대한 상세검토가 필요한 경우(댐 높이가 매우 높은 경우 등)에는 동역학적 해석 방법에 의한 검토를 수행한다.

나. 설계지반운동

1) 일반사항

- ① 설계지반운동은 지표면에서의 자유장 운동으로 정의한다.
- ② 설계지반운동은 수평 2축 방향 성분으로 정의되며 그 세기와 특성은 동일한 것으로 가정한다.
- ③ 지진에 의한 수직방향의 영향이 댐 안정에 영향을 주게 되는 경우에는 이 방향의 지진력을 고려하며 그 크기는 수평방향의 지반운동의 1/2로 본다.
- ④ 댐의 내진설계를 할 때 댐 상류의 저수지 수위 및 수위의 변화상태에 따라 댐 안전에 가장 불리한 방향으로 가진(加震)되는 경우를 상정하고 안정해석을 한다. 이때 해당 저수지 수위의 발생빈도가 특히 낮은 경우에는 그때의 적용 지진력을 조정할 수 있다.

2) 설계진도(震度)

- ① 지진재해도 해석결과에 따라 우리나라의 지진구역을 <표 A.1.1>과 같이 설정한다. 평균재현주기 500년의 지진지반운동에 해당하는 각 지진구역별 지진구역계수는 <표 A.2.1>과 같이 구역 I 은 0.11, 구역 II는 0.07이다.

<표 A.2.1> 지진구역계수(재현주기 500년에 해당)

지진구역	I	II
구역계수	0.11	0.07

- ② 평균재현주기별 최대 유효 지반가속도의 중력가속도에 대한 비를 의미하는 위험도계수는 <표 A.2.2>와 같다. 이 표에서 기준은 평균재현주기 500년 지진이다.

<표 A.2.2> 위험도계수

재현주기	500년	1,000년	2,400년
위험도계수	1.0	1.4	2.0

- ③ 댐이 위치할 지점의 설계진도는 해당지역의 지진구역계수에 ‘다. 내진등급별 설계지진 수준’에서 규정하는 내진등급별 설계지진의 평균재현주기에 따른 위험도계수, ‘라. 기초지반의 영향’의 지반계수 및 ‘마. 댐 형식의 영향’의 댐 형식별 할증계수와 중력가속도를 곱한 값으로 한다. 단, 지진구역 II에 위치한 다목적댐 및 동역학적 검토가 필요한 100m 이상의 높이를 가진 댐은 지진구역 I의 구역계수를 채택한다.
- ④ 그러나 위의 방법으로 산출된 설계진도가 0.1g 이하이면 0.1g을 취한다.

다. 내진등급별 설계지진 수준

- 1) 댐의 내진등급은 <표 A.2.3>과 같이 댐의 중요도에 따라 내진 I 등급 및 내진특등급의 두 가지 등급으로 분류한다.
- 2) 댐은 <표 A.2.3>에서 내진 등급별로 규정된 평균재현주기를 갖는 설계지진에 대하여 설계된다.

<표 A.2.3> 댐의 내진등급별 설계지진

내진등급	구 분	설계지진의 평균재현주기
내진특등급 댐	<ul style="list-style-type: none"> · 사회, 안보, 경제적인 측면에서 특별한 댐으로 발주처가 지정하는 댐 · 법에 의하여 다목적 댐으로 분류한 댐 · 높이 45m 이상이고 총저수용량 50백만^m 이상인 댐 	1,000년
내진 I 등급 댐	<ul style="list-style-type: none"> · 내진특등급 댐 이외의 모든 댐 	500년

라. 기초지반의 영향

지반의 영향은 댐의 지진하중을 결정하는데 고려된다. <표 A.2.4>는 기초지반의 구분과 이에 상응하는 지반계수를 나타내고 있다. 이 표는 보통 암의 기초를 기준으로 작성된 것이다.

<표 A.2.4> 기초지반 분류에 따른 지반계수

지반의 종류	지표면 아래 30m 토층에 대한 평균값			지반계수	
	전단파속도 (m/s)	표준관입시험 (N치)	비배수 전단강도 (kPa)	I 구역	II 구역
경암지반(S _A)	1,500 이상	-	-	0.8	
보통암지반(S _B)	760~1,500	-	-	1.0	0.7
연암지반 및 매우 조밀한 토사지반(S _C)	360~760	> 50	> 100	1.2	1.1
단단한 토사지반(S _D)	180~360	15~50	50~100	1.5	1.6

마. 지반조사

- 1) 댐의 내진 안정성 평가에 필요한 지반물성을 파악하기 위하여 지반 조사를 실시한다. 지반조사는 지층구성, 지하수위, 각지층의 역학적 특성과약 및 실내시험을 위한 시료의 채취 등을 위한 현장시험과 채취된 시료를 이용한 실내에서의 역학적 시험을 포함한다.
- 2) 필요한 경우 전단파속도 주상도 등을 얻을 수 있는 동적 현장시험을 실시하며, 지진에 취약한 지반은 액상화 특성과 다양한 변형률 크기에 대한 변형계수와 감쇠비 특성을 얻을 수 있는 시험을 실시한다.

바. 지진하중

- 1) 지진시 댐에 발생하는 응력과 변형을 평가할 때 댐에 작용하는 고정 하중에 설계진도를 곱한 지진 관성력을 고려한다.
- 2) 지진 관성력은 댐 안정에 불리한 방향으로 작용하는 것으로 해석한다. 즉, 댐 본체는 상 하류 방향의 수평지진력만을 고려하여 설계하며, 여수로 및 부대시설물은 구조물의 특성에 따라 상 하류 방향 또는 댐축 방향의 지진력을 선별적으로 고려하여 설계한다.
- 3) 지진시에는 유체의 동압력 뿐만 아니라 파랑고의 영향도 고려할 수 있다.

A.2.4 콘크리트 중력댐의 내진설계

가. 설계거동한계

콘크리트 중력댐은 다음과 같은 조건이 충족되어 지진이 발생해도 붕괴되지 않아야 한다.

- 1) 콘크리트댐은 지진이 발생되더라도 저수기능이 유지되어야 하며 보수 및 용수 공급이 가능해야 한다. 이를 위해 여수로 및 부대시설물에 대해서도 내진설계가 이루어져야 한다. 이때, 권양기 및 현장조작반은 강제 거동하는 것으로 가정하여 기초앵커의 응력을 검토하며, 관리교는 낙교의 가능성에 대해 검토한다.
- 2) 콘크리트에 발생한 변형은 탄성한계를 현저히 초과하지 않아야 한다.
- 3) 이음부의 열림 또는 국부적 파괴로 인해 통제 불가능한 유출이 발생하지 않아야 한다.
- 4) 지진시 발생하는 파랑고에 의해 댐체가 월류되거나 여수로 및 부대시설물의 기능이 장시간 정지되어서는 안 된다.
- 5) 여수로 및 취수탑의 재료는 탄성거동 한계 내에 있도록 설계하며, 강재구조물의 발생 응력은 허용응력 이내여야 하고 콘크리트 구조물의 발생 외력은 내하력보다 작아야 한다.

나. 정역학적 설계기준

- 1) 지진력
 - ① 설계에 적용하는 지진력은 작용 정하중에 대한 지진 관성력과 동수압이며 지진에 의한 저수지의 파랑고를 따로 고려할 수 있다.
 - ② 수평지진 관성력
 - a. 체체의 수평지진 관성력은 체체의 자중에 설계진도를 곱한 값으로 한다.
 - b. 관성력 작용점은 단면형상에 관계없이 질량의 중심이며 작용방향은 수평방향으로 하되, 댐 안정에 불리한 방향으로 작용하는 것으로 한다.
 - c. 만수시의 안정해석에서는 지진 관성력이 상류측에서 하류측으로, 댐축에 직각방향으로 수평으로 작용하는 것으로 한다.
 - d. 저수지가 비어있을 경우에는 반대로 하류측에서 상류측으로

작용하는 것으로 하되, 설계진도는 소정 설계진도의 1/2을 적용해도 무방하다.

- e. 댐축 방향으로 지진 관성력을 작용할 때도 설계진도는 댐축 직각방향과 같다.
- f. 수평지진에 의한 수압 증가량은 Westergaard의 공식에 의하여 구할 수 있다.

③ 수직지진 관성력

- a. 콘크리트 중량에 설계진도의 1/2로 가정한 수직설계진도를 곱한 값인 수직 관성력을 고려할 수 있다.
- b. 관성력은 상하 방향 중 불리한 쪽으로 작용하는 것으로 한다.

④ 지진에 의한 동수압

- a. 지진력이 작용할 경우에 발생하는 수평방향 동수압은 댐을 강체로 가정한 Westergaard의 공식에 의하여 계산하며, 동수압은 댐의 연직면에 관성력 방향으로 수평으로 작용하는 것으로 한다.
- b. 수문 등 강재구조물에서도 댐체와 같이 동수압이 작용하는 것으로 한다.
- c. 수직방향 동수압은 댐체에 작용하는 물 무게에 수직 설계진도를 곱한 값으로 하여 물 무게 중심에서 관성력 방향으로 작용하는 것으로 한다.
- d. 댐축 방향의 지진력이 작용할 때 월류부 교각(pier)의 상류측은 교각 좌·우 측면에 동수압을 모두 관성력 방향으로 작용하는 것으로 한다.
- e. 동수압 계산시 적용하는 수심은 상시만수위에서 퇴사부의 저면의 기초지반의 지반고까지로 하여 퇴사부위에서도 지진에 의한 동수압이 작용하는 것으로 하되, 퇴사압에 대한 지진의 영향은 고려하지 않는다.

다. 동역학적 검토

1) 동적 검토법의 필요성

- ① 댐의 정적 설계 방법은 주로 경험을 토대로 하여 타당성이 입증되고 있으나, 본질적으로 지진시 댐의 거동을 정확히 해석할 수 없으며 지반운동과 댐체와의 거동특성이 분명하지 않다.

- ② 반면, 동적 응답 해석법은 높은 댐의 안정성이나 기초암반의 거동 특성을 가장 과학적으로 해석할 수 있는 방법이라 할 수 있다.
- ③ 동적 해석법은 아직 연구 중인 기법으로 댐의 내진성능을 충분히 정량적으로 판단하기는 어렵지만 100m 이상의 높은 댐과 특수한 구조의 댐에서 현행 설계법의 보조적 수단으로 사용될 수 있다.

2) 지진해석 방법과 절차의 일반

- ① 댐 저면에 발생하는 최대압축응력을 분석하여 지지력에 대한 안전성을 평가할 수 있다. 또한 지반의 허용지지력의 1.3배 또는 콘크리트 동적 압축강도와 비교하여 댐체에 발생하는 압축응력에 대한 안전성을 평가할 수 있다.
- ② 콘크리트의 동적 탄성계수는 정적 탄성계수에 15%를 할증하여 적용하며, 동적 포아슨비는 정적 포아슨비의 0.7배와 같다. 또한, 콘크리트의 동적 전단탄성계수는 동적 포아슨비와 동적 탄성계수와의 관계식으로 구하며, 감쇠비는 5%를 적용한다. 댐의 지반은 보통암 이상이므로 지진시 변형이 극히 작아 정적인 상태와 동적인 상태에서의 물성치 차이가 거의 없다.
- ③ 콘크리트 동적 전단강도는 정적 전단강도의 1.0배를 적용한다. 정적 인장강도는 정적 쪼갬 인장강도를 채택하며, 동적 인장강도는 정적 인장강도의 1.5배를 적용한다. 동적 압축강도는 정적 압축강도의 1.15배를 적용한다.
- ④ 지반을 통한 지진파의 방사조건을 반영하며, 지반매질의 변형도 의존 특성을 고려한다.
- ⑤ 여수로 및 부대시설물의 응답은 선형 및 비선형 거동특성을 고려할 수 있는 해석법을 사용하여 해석하고, 입력지반운동에는 댐의 지진응답 영향을 고려한다.

A.2.5 소 결

댐 설계기준(2011)의 제12장 내진설계편에는 댐 부속시설에 대한 정의와 내진성능을 확보하기 위해서 필요한 기준을 규정하고 있다.

설계진도 산정시 지진구역 II에 위치한 다목적 댐 및 동역학적 검토가 필요한 100m 이상의 높이를 가진 댐은 지진구역 I의 구역계수를 채택하도록 하였으며, 최소 0.1g 이상을 취하도록 규정하고 있다. 또한 기초지반 분류에 따른 지반계수의 정의가 포함되어 있다.

여수로 및 부대시설물에 대해서는 내진설계가 이루어져야 하며, 권양기 및 현장조작반은 강체 거동하는 것으로 가정하여 기초앵커의 응력을 검토하고, 관리교는 낙교의 가능성에 대해 검토하도록 규정하고 있다.

댐 내진설계 방법은 정역학적 방법으로 해석하는 진도법을 기본으로 하고 있다. 이 방법은 간편하고 안정적인 해석결과를 얻을 수 있는 장점이 있으나 댐의 동적 특성을 고려하지 않고 지반과 구조물의 상호작용 관계인 설계진도와 최대 응답 가속도의 관계가 명백하지 않다. 이에 선진국에서는 지진파에 의한 응답을 구하여 동적인 과동으로 해석하는 동역학적 안정해석 방법이 많이 개발되어 설계에 적용하고 있으나, 우리나라의 경우 빈약한 지진 해석자료 및 연구 미흡으로 여러 가지 불명확한 사항에 대한 가정이 불가피하여 설계기준으로 동적 해석방법을 댐의 내진설계기준에 규정하기에는 무리가 따른다.

따라서 종래의 정역학적 설계 방법인 진도법을 내진설계의 기본으로 규정하고, 추가로 진도법으로 설계된 댐체 단면에 대한 상세검토가 필요한 경우(댐 높이가 매우 높은 경우 등)에는 동역학적 해석 방법에 의한 검토를 수행하도록 하였다.

A.3 상수도시설기준(2010)

환경부에서 2010년에 개정한 「상수도시설기준」에서는 ‘제10장 내진설계’편을 신설하여 상수도시설의 내진성능을 확보에 필요한 최소 설계요건을 규정하여 지진발생 시에도 상수도시설의 급수기능을 최대한 확보하고, 시설의 지진피해가 중대한 2차 재해를 발생시킬 가능성을 최소화 할 수 있도록 도모하였다.

본 절에서는 내진설계 공통사항 및 취수시설 중 저수지 부속시설물과 관련된 내용에 대해서만 발췌하였다.

A.3.1 적용범위

- 1) 이 기준은 상수도시설기준에 의해 상수도시설을 신설하는 경우의 내진설계에 적용된다. 상수도시설물 중 주요 구조물로서 지진에 따른 시설물 손괴 시 응급복구가 불가능하여 장기간 급수 중단을 초래할 수 있는 시설에 대해 우선 적용한다.
- 2) 기존시설의 정비와 내진성능 개선은 이 시설기준의 개념 및 원칙을 준수하는 범위 내에서 적절한 보안을 거쳐 별도의 시설기준을 작성하여 설계에 적용할 수 있다.
- 3) 이 시설기준에 규정되어 있지 않은 사항에 대해서는 환경부 및 국토해양부에서 제정한 관련 설계기준과 설계지침 등에 따른다.
이때, 관련 설계기준과 지침 예는 다음과 같다.

- ① 콘크리트구조설계기준(건설교통부)
- ② 도로교설계기준(한국도로교통협회)
- ③ 수도시설내진공법 지침·해설(일본수도협회)
- ④ 공동구 설계지침(일본도로협회)
- ⑤ 댐설계기준(한국수자원학회)
- ⑥ 터널설계기준(한국터널공학회)
- ⑦ 구조물기초설계기준(한국지반공학회)

A.3.2 내진설계 일반

가. 내진설계의 기본방침

- 1) 본 기준의 목적은 상수도시설의 내진성능 기준의 목적을 달성하기 위한 최소 요건을 규정하는데 있으며, 본 기준을 따르지 않더라도 상수도시설의 내진성능기준을 충족시킬 수 있는 창의력이 발휘된 보다 발전된 설계를 할 경우에는 이를 인정한다.
- 2) 지진시 시설물이 보유해야 할 성능수준은 기능수행수준과 붕괴방지수준으로 구분할 수 있으나, 이 시설기준에서는 **붕괴방지수준**에 대한 설계만을 고려한다.
- 3) 상수도시스템을 구성하는 개개 시설의 중요도, 지진에 의한 시설의 손상으로 초래 될 수 있는 영향 범위를 고려하여 내진등급을 분류한다.
- 4) 시설물의 중요도와 성능목표를 고려하여 설계지진의 수준을 정하여야 하며, 설계지반운동은 지진운동의 불확실성과 부지고유특성이 잘 반영될 수 있어야 한다.
- 5) 지진에 의한 영향을 관련 시설기준에 근거하여 설계에 반영하여야 한다.
- 6) 지진시 토압은 지상구조물, 송·배수관로, 암거, 공동구 등의 횡단면 설계와 안정계산, 배수탑, 저수탑 및 옹벽 등 부속구조물의 안정계산에 적용한다.
- 7) 물에 접하는 구조물은 지진시 동수압과 수면동요의 영향을 필요에 따라 고려해야 한다.

나. 시설물의 분류와 내진등급

- 1) 상수도시설은 취수시설(취수댐, 취수탑, 취수문, 취수관거, 집수관거, 침사지 등), 도수 및 송·배수시설(관로, 가압장, 배수지, 배수탑, 조 절지, 수관교, 수로터널, 수로터널 입·출구부 등), 정수 및 배출수처리 시설(착수정, 응집지, 침전지, 여과지, 정수지, 고도정수처리 시설(오존, 입상활성탄 여과지), 설비를 수용하고 있는 건물 등), 기계 및 전기설비, 기타 취수시설 내지 정수/배출수처리 시설의 기능상 필요한 부속구조물로 분류된다.

2) 상수도시설물의 내진등급은 내진 I등급과 내진 II등급으로 분류한다.

- ① 개개의 시설을 그 기능의 중요도와 지진에 의한 손상으로 초래될 수 있는 영향범위를 고려하여 내진 I 등급과 내진 II 등급으로 분류한다. 내진등급별 시설의 분류는 <표 A.3.1>과 같다.

<표 A.3.1> 내진등급별 시설분류

내진등급	상수도시설	비 고
내진 I 등급	대체시설이 없는 송·배수 간선시설, 중요시설과 연결된 급수공급관로, 복구 난이도가 높은 환경에 놓이는 시설, 지진재해시 긴급대처 거점시설, 중대한 2차 재해를 유발시킬 가능성이 있는 시설 등	
내진 II 등급	내진 I 등급 이외의 시설	

- ② 상수도시설 중 상류에 위치하는 시설, 도수관로, 송·배수 간선시설로서 대체시설이 없는 경우, 중요시설과 연결된 급수관로, 복구 난이도가 높은 환경에 놓이는 시설, 지진재해시 긴급 대책 수립 거점시설, 중대한 2차 재해를 유발시킬 가능성이 있는 시설 등의 중요도가 높은 시설은 내진 I 등급으로 분류하고 그 외는 내진 II 등급으로 하는 것을 원칙으로 한다.
- ③ 세부 내진등급 분류는 「상수도시설 내진설계기준 마련을 위한 연구」(1999, 환경부)의 별첨1을 참고로 하되 수도사업자가 시설 및 기능의 중요도를 감안하여 조정할 수 있다.

다. 설계거동한계 및 등급별 내진설계 목표

- 1) 설계거동한계는 설계지진시 구조부재의 과도한 소성변형, 지반의 액상화, 지반 및 기초의 파괴 등의 원인으로 부분적인 급수기능 유지가 불가능하게 되지 않아야 하고, 쉽게 조기 복구가 가능하여야 한다.
- 2) 상수도시설물의 내진성능 목표에 따른 설계지진강도는 붕괴방지수준

에서 시설물의 내진등급이 I 등급인 경우에는 재현주기 1000년, II 등급인 경우에는 500년에 해당되는 지진지반운동으로 한다.

라. 설계지반운동 수준 및 표현 방법

- 1) 설계지반운동은 지상구조물의 경우, 지표면에서의 자유장운동으로, 지중구조물의 경우는 기반암에서의 자유장 운동으로 정의된다.
 - ① 설계지반운동은 지상구조물의 경우, 부지정지작업이 완료된 지표면에서의 자유장운동으로, 지중구조물의 경우는 기반암에서의 자유장운동으로 정의된다.
 - ② 국지적인 토질조건, 지질조건과 지표 및 지하지형이 지반운동에 미치는 영향이 고려되어야 한다.
 - ③ 기본적인 지진재해도는 암반지반을 기준으로 평가한다.
 - ④ 설계지반운동은 흔들림의 세기, 주파수 성분 및 지속시간의 세가지 측면에서 그 특성이 잘 정의되어야 한다.
 - ⑤ 설계지반운동은 수평 2축 방향과 수직방향 성분으로 정의된다.
 - ⑥ 설계지반운동의 수직방향 성분의 세기는 수평방향 성분의 1/2로 가정할 수 있고, 주파수 성분과 지속시간은 수평방향 성분과 동일하다고 가정할 수 있다.
- 2) 설계지반운동수준은 지진재해도 해석결과에 근거한 구역계수, 평균재현주기별 최대유효지반가속도비를 나타내는 위험도계수, 기초지반의 영향을 고려한 지반분류에 의한 지반계수를 산정하고, 이로부터 설계지반운동수준을 결정한다.
 - ① 설계지반운동 수준
 - a. 설계지반운동 수준은 다음과 같이 분류한다.
 - 평균재현주기 500년 지진 지반운동(50년내 초과확률 10%)
 - 평균재현주기 1,000년 지진 지반운동(100년내 초과확률 10%)
 - b. 지진재해도 해석결과에 근거하여 <표 A.1.1>에 기술된 바와 같이 남한을 두 개의 지진구역으로 설정한다. 각 지진구역에서의 평균재현주기 500년 지진 지반운동에 해당하는 구역계수는 <표 A.2.1>에 수록된 바와 같이 지진구역 I에서는 0.11, 지진구역 II에서는 0.07이다.
 - c. 평균재현주기별 최대유효지반가속도의 비를 의미하는 위험도계수(I)는 <표 A.3.2>와 같다.

- d. 상수도시설의 각 구조물 및 관로가 위치할 부지에 대한 지표면 지진 지반운동의 가속도계수(A)는 내진등급별 설계지진의 평균재현주기에 해당되는 위험도계수를 지진구역에 따른 지진계수(C_a)에 곱하여 계산한다.
- e. 기반암 위치에서 지진 지반운동의 가속도계수는 평균재현주기에 해당되는 위험도계수에 지진구역 I에서는 0.09, 지진구역 II에서는 0.05를 곱하여 구한다.
- f. 기반암의 정의는 전단파속도가 760m/s~1,500m/s를 초과하는 지반을 말한다. 기반암의 위치를 판단하기가 어려운 경우는 전문가의 자문을 받아 결정해야 한다.

<표 A.3.2> 위험도계수

재현주기(년)	500년	1,000년
위험도계수	1.0	1.4

② 지반의 분류

- a. 국지적인 토질조건 및 지질조건과 지표 및 지하 지형이 지반운동에 미치는 영향을 고려하기 위하여 지반을 <표 A.3.3>에 서와 같이 $S_A, S_B, S_C, S_D, S_E, S_F$ 의 6종으로 분류한다.
- b. 지반종류 S_F 는 부지고유의 특성 평가가 요구되는 다음 경우에 속하는 지반을 일컫는다.
 - 액상화가 일어날 수 있는 흙, 키클레이와 매우 민감한 점토, 붕괴될 정도로 결합력이 약한 흙과 같이 지진하중 작용시 잠재적인 파괴나 붕괴에 취약한 지반
 - 이탄 또는 유기성이 매우 높은 점토지반
 - 매우 높은 소성을 갖는 점토지반
 - 층이 매우 두꺼우며, 연약하거나 중간 정도로 단단한 점토

<표 A.3.3> 지반의 분류

지반 분류	지반종류의 호칭	지표면 아래 30m 토층에 대한 평균값 ¹⁾		
		전단파속도 ²⁾ (m/s)	표준관입시험 ²⁾ N	비배수 전단강도 $\overline{S_u}$ (kPa)
S _A	경암지반	1,500 이상	-	-
S _B	보통암지반	760에서 1,500	-	
S _C	매우 조밀한 토사지반 또는 연암지반	360에서 760	> 50	> 100
S _D	단단한 토사지반	180에서 360	15~50	50~100
S _E	연약한 토사지반	180 미만		
S _F	부지 고유의 특성평가가 요구되는 지반			

주 : 1) 상부 30m 이내에 기반암층이 있는 경우는 30m 이내의 기반암을 포함한 평균지반특성을 고려한다.

2) 전단파속도 또는 표준관입시험치는 현장시험 결과치를 이용하는 것을 원칙으로 한다. 또한 전단파속도와 표준관입시험치를 모두 측정할 경우는 전단파속도에 의해 분류한다.

3) 설계지반운동의 특성은 표준설계응답스펙트럼으로 표현한다.

- ① 설계지반운동의 특성은 <그림 A.3.1>과 같은 표준설계응답스펙트럼으로 표현하며 지상구조물의 설계기준으로 가속도응답스펙트럼(<그림 A.3.1>의 (a))을 지중구조물은 속도응답스펙트럼(<그림 A.3.1>의 (b))을 적용한다.
- ② 5% 감쇠비에 대한 표준설계응답스펙트럼이 <그림 A.3.1>에 정의되어 있다. 5% 이외의 감쇠비에 대해서는 <표 A.3.4>의 감쇠보정계수를 곱하여 사용한다.
- ③ <그림 A.3.1>에서 표준설계응답스펙트럼의 결정을 위해 요구되는 지진계수 C_a 와 C_v 의 값은 지반종류의 S_A, S_B, S_C, S_D, S_E, S_F에 대하여 지진구역별로 <표 A.3.5>와 <표 A.3.6>에 각각 주어져 있다. 지반종류 S_F로 분류되는 경우에는 부지고유의 지반특성 평가가 요구되는 지반이므로 이 경우에는 지진재해도 평가 경험이 있는 지반, 지질 및 지진 전문가에 의해 C_a , C_v 를 구하는 절차를 따라야 한다.
- ④ 지반운동의 공간적 변화 특성 고려 방법
 - a. 구조물의 모든 위치에서 똑같은 지반운동으로 가진되는 것이

불합리하다고 판단되는 구조물에 대해서는 지반운동의 공간적 변화를 고려할 수 있는 모델을 사용해야 한다.

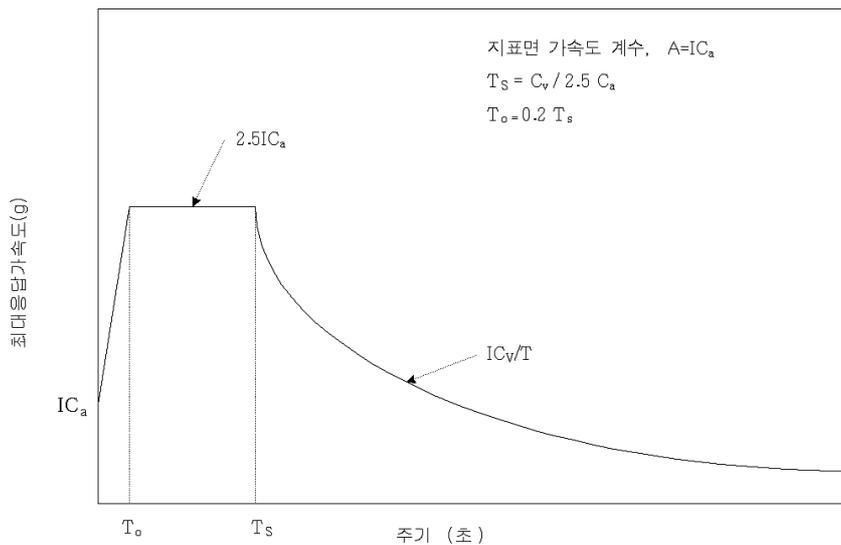
- b. 지반운동의 공간적 변화에 관한 구체적인 내용은 필요한 경우에는 관련기술기준에 따른다.

⑤ 가속도 시간이력

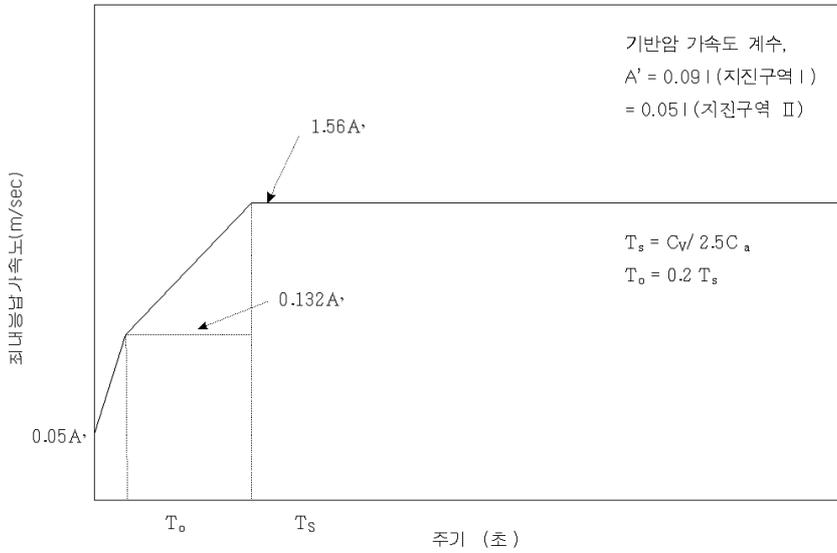
- a. 지반가속도의 시간이력으로 지반운동이 표현될 수 있다.
- b. 공간적인 모델이 필요할 때 지반운동은 동시에 작용하는 3개의 가속도 성분으로 구성되어야 한다.
- c. 가속도 시간이력으로 후술되는 ⑥항에서 기술하는 인공가속도 시간이력이 사용될 수 있다.

⑥ 인공지진 가속도 시간이력

- a. 인공가속도 시간이력은 설계응답스펙트럼과 잘 부합되도록 생성되어야 한다.
- b. 지반운동의 장주기 성분이 구조물의 거동에 미치는 영향이 중요하다고 판단될 경우에는 지진원의 발진기구 특성과 국지적인 영향을 고려하여 시간이력을 생성하여야 한다.
- c. 인공가속도 시간이력의 지속시간은 지진의 규모와 발진기구 특성, 전파경로 및 부지의 국지적인 조건이 미치는 영향을 고려하여 합리적으로 결정되어야 한다.



(a) 지표면 설계가속도 응답스펙트럼



(b) 기반암 설계속도 응답스펙트럼

<그림 A.3.1> 표준설계 응답스펙트럼(5% 감쇠비)

<표 A.3.4> 감쇠보정계수

감쇠비(%)	0.5	1	2	3	5	7	10	20
감쇠보정계수	1.88	1.62	1.35	1.20	1.00	0.87	0.73	0.46

주 : 1) 위에 표시되지 않은 감쇠비에 대한 감쇠보정계수는 선형 보간하여 사용한다.
 2) 주기 T_0 이후의 구간에 대하여 적용하고, $T=0$ 에서 T_0 구간은 선형 보간한다.

<표 A.3.5> 지진계수 C_a

지반종류	지진구역	
	I	II
S_A	0.09	0.05
S_B	0.11	0.07
S_C	0.13	0.08
S_D	0.16	0.11
S_E	0.22	0.17

<표 A.3.6> 지진계수 C_v

지반종류	지진구역	
	I	II
S_A	0.09	0.05
S_B	0.11	0.07
S_C	0.18	0.11
S_D	0.23	0.16
S_E	0.37	0.23

A.3.3 지진해석 및 내진설계 방법

가. 하중

내진설계에서는 상시상태에서 고려되는 하중 외에 지진으로 인한 하중이 추가적으로 고려되어야 한다.

- 1) 지진시의 지반 변위 또는 변형
- 2) 구조물의 자중과 적재하중 등으로 유발된 관성력
- 3) 지진시 토압
- 4) 지진시 동수압
- 5) 수면동요
- 6) 지진시 지반의 액상화
- 7) 지질이나 지형이 급변하는 지반의 지진시 이완 또는 붕괴

나. 기본적인 지진해석 및 설계 방법

상수도시설물의 지진해석 및 내진설계는 다음의 각 호에 해당되는 시설 및 설비에 대해 시행하되, 시설물별로 합리적인 지진해석 및 설계방법이 적용되어야 한다.

- 1) 각호에 해당되는 시설 및 설비
 - ① 기초
 - ② 흙구조물 및 옹벽
 - ③ 상수도 전용댐

- ④ 매설관로 및 수로터널
- ⑤ 암거, 공동구 및 수직갱
- ⑥ 상수도 관로 전용 교량
- ⑦ 대용량 저수조
- ⑧ 취수탑 및 지상수조
- ⑨ 펌프장
- ⑩ 건축물
- ⑪ 기계 및 전기설비

2) 지진해석 및 설계방법은 기본적으로 다음에 따라야 한다.

- ① 지반을 통한 파의 방사조건이 적절히 반영된 수평 2축 방향 성분과 수직방향 성분이 고려되어야 한다.
- ② 지진해석에 필요한 지반정수는 동적 하중조건에 적합한 값들이 선정되어야 하며, 특히 지반의 변형계수와 감쇠비는 발생 변형율 크기에 알맞게 선택되어야 한다.
- ③ 유체-구조물-지반의 상호작용 해석시 구조물의 유연성과 지반의 변형성을 고려해야 한다. 단, 유체-구조물 상호작용이 경미할 경우에는 구조물을 강체로 가정하여 유도한 단순 유체모델을 사용할 수 있다.
- ④ 대상으로 하는 구조물 또는 배관의 구조적 특성과 지반조건에 따라 등가정적해석법, 응답변위법, 응답스펙트럼법, 동적해석법(시간영역해석, 주파수영역해석) 중 시설물별 관련기준에 적합한 방법을 사용한다.
 - a. 매설관로와 공동구 구조물과 같이 지중구조물로 그 내공부를 포함한 단위체적중량이 주변지반의 단위체적중량과 비교하여 가벼운 경우에는 주변지반에 발생하는 변위 변형 등에 구조물의 지진시 거동이 좌우되므로 응답변위법을 적용하는 것이 적절하다.
 - b. 지상구조물, 반지중구조물 중 상부가 개방된 구조물과 지중구조물이라 할지라도 구조물의 단위체적중량이 주변지반에 비해 매우 크고 횡방향 변위가 전혀 허락되지 않는 구조물의 경우에는 등가정적해석법을 적용하는 것이 적절하다.
 - c. 동적해석법은 상세한 검토를 필요로 하는 경우나 구조조건, 지반조건이 복잡한 경우, 지반과 구조물의 상호작용을 고려하는

경우에 적용하는 것이 적절하다.

- d. 매설관로, 수로터널, 지하공동구와 같이 종방향으로 길게 설치되는 선상구조물의 경우, 내진해석은 2차원 횡단면 해석을 원칙으로 하나, 지반상태가 급격히 변화하는 구간 통과 등의 경우에는 종방향에 대한 내진해석을 추가로 수행해야 한다.
 - ⑤ 붕괴방지수준을 고려하기 때문에 지진응답은 비선형 거동특성을 고려할 수 있는 해석법에 의해서 해석하는 것을 기본으로한다. 이 경우 보수성이 입증된 단순해석법 및 설계법이 사용될 수 있다.
 - ⑥ 액상화 가능성 판단은 설계지진 가속도에 의해 지반에 발생하는 반복 전단응력과 액상화에 대한 지반의 강도를 기준으로 이루어져야 한다.
- 3) 상수도시설물 중 국내 관련 설계기준 및 지침에 반영되어 있지 않는 시설물에 대한 해석과 설계는 「상수도시설 내진 설계기준 마련을 위한 연구」(환경부, 1999)에 기술된 해석 및 설계방법의 적용도 가능하다.

A.3.4 소 결

상수도시설기준(2010)의 제10장 내진설계편에는 상수도시설의 내진성능을 확보하기 위해서 필요한 최소 기준을 규정하고 있다.

이 시설기준은 「상수도시설 내진 설계기준 마련을 위한 연구」(환경부, 1999) 보고서를 따르고 있으며, 성능수준은 붕괴방지수준에 대해서만 만족하도록 규정하고 있다. 또한 내진등급을 내진 I 등급(재현주기 1,000년)과 내진 II 등급(재현주기 500년)으로 분류하고 있다.

설계지반운동의 특성은 표준설계응답스펙트럼(지상구조물은 가속도응답스펙트럼, 지중구조물은 속도응답스펙트럼)으로 감쇠비를 고려하여 표현하며, 지반종류에 따라 지진계수 C_a , C_v 를 제시하였으며, 인공지진 가속도 시간이력 생성시 주요사항을 제시하였다.

지진해석 및 설계방법에 대한 기본적인 사항을 기술하였다. 이때, 대상으로 하는 구조물 또는 배관의 구조적 특성과 지반조건에 따라 등가정적해석법, 응답변위법, 응답스펙트럼법, 동적해석법 중 시설물별 관련기준에 적합한 방법을 따르도록 기술하고 있다.

A.4 상수도시설 내진 설계기준(2000)

한국수자원공사에서 2000년에 시행한 「상수도시설 내진 설계기준」은 상수도시설의 내진설계에 관한 기준을 제시하고 있다.

A.4.1 적용기준

가. 적용범위

수자원공사에서 시행하는 광역상수도 시설 중 주요 수구조물로서 지진에 따른 시설물 손괴시 응급복구가 불가능하여 장기간 급수중단을 초래할 수 있는 시설에 대해 적용하며 그 대상은 다음과 같다.

- 1) 취수시설
취수댐, 취수탑, 취수문, 취수관거, 집수관거, 침사지
- 2) 도수 및 송·배수시설
관로, 가압장, 배수지, 배수탑, 조절지, 수관교, 수로터널 입·출구부
- 3) 정수 및 배출수처리
착수정, 응집지, 침전지, 여과지, 정수지, 고도정수처리시설(오존, 입상활성탄 여과지), 설비를 수용하고 있는 건물 등
- 4) 기타 상기 1)항 내지 3)항 구조물의 기능상 필요한 부속구조물

나. 적용방법

- 1) 건축물
건축물은 건축법 제38조 제2항, 건축법 시행령 제32조, 건축물의 구조기준 등에 관한 규칙 제14조를 적용 또는 준용한다.
- 2) 지중구조물
지중구조물은 도로교 표준시방서(설계편, 1996, 건설교통부)의 제V 내진설계편의 Mononobe - Okabe 공식을 적용한다.
① Mononobe-Okabe식에 적용될 수평지진계수는 다음과 같다.

$$K_h = 2.5 C_a \cdot I$$

㉞ 지진계수(C_a)의 결정은 '라'항에 따른다.

㉟ 위험도계수(I)의 결정은 '마'항에 따른다.

② 수직지진계수(K_v)는 특별한 경우를 제외하고는 무시하는 것을 원칙으로 한다.

3) 관 로

관로공사 설계기준 제4항 「관두께 결정」 항에 따른다.

다. 동수압

물에 접하는 구조물은 지진시 동수압을 고려해야 하며, 동수압 크기의 계산은 다음에 의한다.

1) 내부동수압

① 취수탑

a. 원통형

$$P(z_1) = A_h \cdot r_o \cdot \pi a_1^2 \cdot I \left(\frac{z_1}{h_1} \right)$$

여기서, $P(z_1)$: z_1 높이에 작용하는 취수탑 내부동수압력(tf/m)

A_h : 설계 수평가속도계수($A_h = C_a \cdot D$)

r_o : 물의 단위체적중량(tf/m³)

a_1 : 취수탑 내부반경(m)

h_1 : 취수탑 내부수심(m)

z_1 : 취수탑 내부저면으로부터 임의 상부지점까지 높이(m)

I : 제1종 변형 Bessel 함수

$$I \cdot \left(\frac{z_1}{h_1} \right) = \sum_{i=0}^5 \frac{(-1)^i}{\lambda_i} \cdot I^{(i)} \left(\frac{a}{h} \right) \cdot \cos \left(\lambda_i \frac{z}{h} \right)$$

※ $I \left(\frac{z_1}{h_1} \right)$ 는 A.4.2절의 제1종 변형 Bessel 함수표를 적용하며 표시되지 않는 경우는 선형보간하여 사용한다.

b. 직사각형

πa_1^2 대신에 직사각형 내부단면적으로 치환하여 적용한다.

② 수 조

a. 원통형

동수압 계산은 취수탑의 경우에 따른다.

b. 직사각형

$$P(z) = \beta \cdot \frac{7}{8} \cdot r_0 \cdot A_h \cdot \sqrt{h \cdot z}$$

여기서, z : 수면을 원점으로 한 깊이방향의 좌표(m)

h : 수조의 수심(m)

β : 지진가속도 방향의 수로폭(B)과 수심(h)의 비에 따른 보정계수. 단, B/h가 표시되지 않는 경우는 선형보간하여 사용한다.

B/h	β
0.5	0.397
1.0	0.670
1.5	0.835
2.0	0.921
3.0	0.983
4.0	0.996
∞	1.000

2) 외부동수압

① 취수탑

a. 원통형

$$P(z_2) = A_h \cdot r_o \cdot \pi a_2^2 \cdot K \left(\frac{z_2}{h_2} \right)$$

여기서, $P(z_2)$: z_2 높이에 작용하는 취수탑 내부동수압력(tf/m)

a_2 : 취수탑 외부반경(m)

h_2 : 취수탑 외부수심(m)

z_2 : 취수탑 외부저면으로부터 임의 상부지점까지 높이(m)

K : 제2종 변형 Bessel 함수

$$K \cdot \left(\frac{z_2}{h_2} \right) = \sum_{i=0}^5 \frac{(-1)^i}{\lambda_i} \cdot K^{(i)} \left(\frac{a}{h} \right) \cdot \cos \left(\lambda_i \frac{z}{h} \right)$$

※ $K \left(\frac{z_2}{h_2} \right)$ 는 A.4.2절의 제2종 변형 Bessel 함수표를 적용하며

표시되지 않는 경우는 선형보간하여 사용한다.

b. 직사각형

πa_2^2 대신에 직사각형 외부단면적으로 치환하여 적용한다.

라. 지진계수 C_a 결정방법

- 1) 지진재해도 해석결과에 근거하여 <표 A.1.1>에 기술된 바와 같이 남한을 두 개의 지진구역으로 구분하였다.
- 2) 국지적인 토질조건 및 지질조건과 지표 및 지하 지형이 지반운동에 미치는 영향을 고려하기 위하여 지반을 <표 A.3.3>에서와 같이 $S_A, S_B, S_C, S_D, S_E, S_F$ 의 6종으로 분류한다.
- 3) 지진계수 C_a 값은 지반종류의 $S_A, S_B, S_C, S_D, S_E, S_F$ 에 대하여 지진구역별로 <표 A.3.5>에 주어져 있다. 지반종류 S_F 로 분류되는 경우에는 부지고유의 지반특성 평가가 요구되는 지반이므로 이 경우에는 지진재해도 평가 경험이 있는 지반, 지질 및 지진 전문가에 의해 C_a 를 구하는 절차를 따라야 한다.

마. 위험도계수 I 결정방법

- 1) 개개의 시설을 그 기능의 중요도와 지진에 의한 손상으로 초래될 수 있는 영향범위를 고려하여 <표 A.3.1>과 같이 내진 I 등급과 내진 II 등급으로 분류한다.
- 2) 목표성능수준은 성능수준별 내진등급에 따라 <표 A.4.1>과 같이 결정한다.
- 3) 평균재현주기에 따른 위험도계수(I)는 <표 A.4.2>와 같다.

<표 A.4.1> 성능수준별 내진등급에 따른 평균재현주기

성능수준 평균재현주기	기능수행	파괴방지
50년	II 등급	-
100년	I 등급	-
500년	-	II 등급
1,000년	-	I 등급

<표 A.4.2> 위험도계수

재현주기(년)	50	100	500	1,000
위험도계수	0.4	0.57	1.0	1.4

A.4.2 Bessel 함수표

가. 제1종 변형 Bessel 함수표

$$I \cdot \left(\frac{z_1}{h_1} \right) = \sum_{i=0}^5 \frac{(-1)^i}{\lambda_i} \cdot I^{(i)} \left(\frac{a}{h} \right) \cdot \cos \left(\lambda_i \frac{z}{h} \right)$$

$a/h \backslash z/h$	0.00	0.10	0.30	0.50	0.70	0.90
0.01	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9999
0.25	0.9989	0.9986	0.9951	0.9789	0.9080	0.5896
0.50	0.9579	0.9550	0.9295	0.8636	0.7182	0.3882
0.75	0.8572	0.8529	0.8163	0.7335	0.5797	0.2921
1.00	0.7403	0.7358	0.6986	0.6178	0.4770	0.2327
1.25	0.6334	0.6292	0.5951	0.5222	0.3987	0.1916
1.50	0.5440	0.5403	0.5100	0.4459	0.3386	0.1616
1.75	0.4717	0.4684	0.4418	0.3856	0.2921	0.1389
2.00	0.4137	0.4108	0.3873	0.3377	0.2556	0.1215
2.25	0.3669	0.3644	0.3434	0.2994	0.2265	0.1076
2.50	0.3289	0.3266	0.3078	0.2683	0.2030	0.0965
2.75	0.2975	0.2954	0.2784	0.2428	0.1837	0.0874
3.00	0.2714	0.2694	0.2540	0.2215	0.1676	0.0798
3.25	0.2493	0.2475	0.2333	0.2035	0.1541	0.0734
3.50	0.2304	0.2288	0.2157	0.1881	0.1425	0.0680
3.75	0.2141	0.2126	0.2004	0.1749	0.1325	0.0633
4.00	0.1999	0.1985	0.1872	0.1633	0.1238	0.0591
4.25	0.1875	0.1862	0.1756	0.1532	0.1162	0.0555
4.50	0.1765	0.1753	0.1653	0.1443	0.1094	0.0523
4.75	0.1667	0.1655	0.1561	0.1363	0.1034	0.0495
5.00	0.1579	0.1568	0.1479	0.1291	0.0980	0.0469

$$I^{(i)} \left(\frac{a}{h} \right)$$

$a/h \backslash i$	0	1	2	3	4	5
0.01	1.999876	1.998889	1.996920	1.993975	1.990064	1.985200
0.25	1.926210	1.505450	1.087722	0.805948	0.626343	0.507868
0.50	1.738532	0.930976	0.561358	0.393458	0.301611	0.244236
0.75	1.505450	0.626343	0.365722	0.256449	0.197198	0.160122
1.00	1.280545	0.463265	0.269936	0.189875	0.146351	0.119035
1.25	1.087722	0.365722	0.213670	0.150671	0.116320	0.094712
1.50	0.930976	0.301611	0.176743	0.124863	0.096505	0.078637
1.75	0.805948	0.256449	0.150671	0.106594	0.082454	0.067225
2.00	0.706331	0.222977	0.131290	0.092984	0.071973	0.058705
2.25	0.626343	0.197198	0.116320	0.082454	0.063855	0.052101
2.50	0.561358	0.176743	0.104411	0.074066	0.057382	0.046832
2.75	0.507868	0.160122	0.094712	0.067225	0.052101	0.042531
3.00	0.463265	0.146351	0.086660	0.061541	0.047709	0.038953
3.25	0.425610	0.134757	0.079870	0.056743	0.044000	0.035931
3.50	0.393458	0.124863	0.074066	0.052639	0.040826	0.033343
3.75	0.365722	0.116320	0.069047	0.049089	0.038080	0.031104
4.00	0.341572	0.108870	0.064666	0.045986	0.035679	0.029146
4.25	0.320368	0.102315	0.060807	0.043253	0.033563	0.027420
4.50	0.301611	0.096505	0.057382	0.040826	0.031684	0.025887
4.75	0.284905	0.091318	0.054323	0.038658	0.030004	0.024516
5.00	0.269936	0.086660	0.051573	0.036707	0.028494	0.023283

나. 제2종 변형 Bessel 함수표

$$K \cdot \left(\frac{z_2}{h_2} \right) = \sum_{i=0}^5 \frac{(-1)^i}{\lambda_i} \cdot K^{(i)} \left(\frac{a}{h} \right) \cdot \cos \left(\lambda_i \frac{z}{h} \right)$$

$a/h \backslash z/h$	0.00	0.10	0.30	0.50	0.70	0.90
0.01	0.9998	0.9998	0.9997	0.9996	0.9988	0.9896
0.25	0.8983	0.8962	0.8779	0.8321	0.7296	0.4577
0.50	0.7367	0.7337	0.7083	0.6500	0.5375	0.3010
0.75	0.6081	0.6051	0.5802	0.5247	0.4229	0.2260
1.00	0.5129	0.5101	0.4873	0.4371	0.3475	0.1812
1.25	0.4416	0.4391	0.4184	0.3735	0.2944	0.1512
1.50	0.3868	0.3846	0.3659	0.3255	0.2552	0.1297
1.75	0.3437	0.3416	0.3247	0.2882	0.2250	0.1135
2.00	0.3090	0.3071	0.2916	0.2584	0.2011	0.1009
2.25	0.2805	0.2788	0.2646	0.2341	0.1818	0.0908
2.50	0.2567	0.2551	0.2420	0.2139	0.1658	0.0826
2.75	0.2366	0.2351	0.2230	0.1969	0.1524	0.0757
3.00	0.2194	0.2180	0.2066	0.1824	0.1410	0.0699
3.25	0.2045	0.2032	0.1925	0.1698	0.1311	0.0649
3.50	0.1914	0.1902	0.1802	0.1589	0.1226	0.0605
3.75	0.1800	0.1788	0.1694	0.1492	0.1150	0.0567
4.00	0.1698	0.1687	0.1597	0.1407	0.1084	0.0534
4.25	0.1606	0.1596	0.1511	0.1331	0.1025	0.0504
4.50	0.1525	0.1515	0.1434	0.1262	0.0971	0.0478
4.75	0.1451	0.1441	0.1364	0.1200	0.0923	0.0454
5.00	0.1383	0.1374	0.1301	0.1144	0.0880	0.0432

$$K^{(i)} \left(\frac{a}{h} \right)$$

$a/h \backslash i$	0	1	2	3	4	5
0.01	1.997893	1.985947	1.967330	1.944190	1.917860	1.889279
0.25	1.668310	1.075528	0.771075	0.596870	0.485663	0.408926
0.50	1.322459	0.673280	0.444054	0.330258	0.262630	0.217903
0.75	1.075528	0.485663	0.310307	0.227599	0.179610	0.148302
1.00	0.899948	0.378889	0.238195	0.173507	0.136407	0.112364
1.25	0.771075	0.310307	0.193195	0.140155	0.109941	0.090436
1.50	0.673280	0.262630	0.162466	0.117450	0.092070	0.075666
1.75	0.596870	0.227599	0.140155	0.101210	0.079193	0.065041
2.00	0.535683	0.200786	0.123225	0.088859	0.069475	0.057032
2.25	0.485663	0.179610	0.109941	0.079193	0.061881	0.050779
2.50	0.444054	0.162465	0.099240	0.714230	0.055783	0.045761
2.75	0.408926	0.148302	0.090436	0.065041	0.050779	0.041646
3.00	0.378889	0.136407	0.083066	0.059705	0.046598	0.038209
3.25	0.352922	0.126276	0.076806	0.055179	0.043054	0.035297
3.50	0.330258	0.117545	0.071423	0.052190	0.040010	0.032797
3.75	0.310307	0.109941	0.066745	0.047913	0.037368	0.030627
4.00	0.292614	0.103261	0.062642	0.044953	0.035054	0.028727
4.25	0.276818	0.097345	0.059014	0.042338	0.033009	0.027049
4.50	0.262630	0.092070	0.055783	0.040010	0.031190	0.025556
4.75	0.249819	0.087337	0.052887	0.037925	0.029561	0.024219
5.00	0.238195	0.083066	0.050278	0.036046	0.028093	0.023015

A.5 콘크리트구조설계기준(2007)

건설교통부에서 2007년에 개정된 「콘크리트구조설계기준」에서는 ‘제21장 내진설계 특별 고려사항’ 및 ‘부록Ⅱ 내진설계를 위한 대체 고려사항’편에 철근콘크리트 부재의 설계 및 상세 규정에 대한 특별 사항을 규정하고 있으며, 지진운동에 의해 발생된 힘에 저항하는 일체식 철근콘크리트 골조에만 적용하여야 한다고 제한하고 있다. 또한 ‘제21장 내진설계 특별 고려사항’편에서는 보, 기둥, 보가 없는 2방향 슬래브와 같은 골조에 대한 요구조건을 규정하고 있으며, ‘부록Ⅱ 내진설계를 위한 대체 고려사항’편에서는 특수모멘트골조의 휨부재, 휨과 축력을 받는 특수모멘트골조의 부재, 특수모멘트골조의 접합부, 특수철근콘크리트 구조벽체와 연결보, 구조격막과 트러스 및 기초에 대한 요구조건을 규정하고 있다.

철근콘크리트 구조물의 내진성능평가에 필요한 사항 중 철근콘크리트 관련 규정은 제21장 및 부록Ⅱ 뿐만 아니라 설계기준 본문을 전체적으로 참고할 수 있다.

A.6 기존 시설물의 내진성능평가 및 향상요령

한국시설안전공단에서 내진설계가 수행되지 않았거나, 관련기준의 강화로 인하여 내진성능평가가 필요하다고 판단되는 기존시설물(건축물, 교량, 댐, 터널, 상수도, 기초 및 지반, 제방)에 대해 내진성능을 평가하여 지진에 의해 발생할 수 있는 큰 피해를 사전에 막을 수 있도록 2004년에 「기존 시설물의 내진성능평가 및 향상요령」을 발간하여, 이를 토대로 기존 시설물의 내진성능평가 및 내진보강 업무를 수행해 왔다. 또한, 설계기준의 개정, 관련 기술의 발달 및 최근 개발된 다양한 보강기법 등의 내용을 반영하여 2011년에 건축물, 교량, 터널 3개 시설물에 대해 개정을 마쳤으며, 현재 나머지 시설물의 개정이 진행 중에 있다.

기존 저수지 구조물의 내진성능평가를 수행하는데 참고할 수 있는 요령은 「기존 댐의 내진성능 평가요령」과 「기존 상수도의 내진성능 평가요령」 및 「기존 시설물(교량) 내진성능 평가요령」이다.

「기존 댐의 내진성능 평가요령」은 「댐 설계기준」에 기초하여 적용범위, 내진등급 및 평가기준 지진 등을 규정하였으며, 댐체 위주로 평가절차 및 방법, 예제 등을 제시하였다. 추가로 동적해석(상세내진성능평가)을 위한 가속도 시간이력을 결정하는 방법과 사용목표수명을 고려한 지진위험도 산정방법을 제시하였다. 여기서 기존 저수지 구조물의 내진성능평가에 참고할 수 있는 내용은 여수로에 대한 간편해석과 동해석 부분으로 A.6.1절에 간추려 정리하였다.

「기존 상수도의 내진성능 평가요령」은 「상수도시설 내진 설계기준 마련을 위한 연구」(환경부, 1999)와 「도시철도 내진설계기준」 등에 기초하여 상수도 시설물 중 지중에 건설된 도수 및 송수터널을 제외한 관로 시설물과 지하맨홀 구조물에 대해서만 적용하고 있다. 기존 저수지 구조물의 내진성능평가에 참고할 수 있는 내용은 지하맨홀의 내진안정성 해석 정도이나, 중첩되는 부분이 극히 일부이므로 참고만 하였다.

「댐 설계기준」(국토해양부, 2011)의 12.5.1 (나)항(본문 A.2.4 가. 2)항)에서는 관리교의 내진안정성에 대해 낙교의 가능성에 대해 검토하도록 규정하고 있다. 이에 「기존 시설물(교량) 내진성능 평가요령」(2011)의 낙교와 관련된 내용을 간추려 정리하였다.

A.6.1 기존 댐의 내진성능 평가요령(2004)

「기존 댐의 내진성능 평가요령」(한국시설안전공단, 2004)에서 기존 저수지 구조물의 내진성능평가에 활용할 수 있는 내용은 ‘4.2.8 여수로에 대한 간편해석’과 ‘4.3.11 여수로에 대한 동해석’ 항목이다.

가. 여수로에 대한 간편해석

여수는 댐의 수리관리시설물 중 가장 중요한 기능을 수행하는 부속구조물로서 여수로의 내진손상은 댐의 운영에 영향을 미친다. 여수로의 내진 간편해석은 콘크리트댐 제체의 간편해석과 마찬가지로 등가정적해석을 적용하여 수행한다. 여수는 필댐의 경우 일반적으로 양안부의 암반기초 위에 설치되므로 여수로-암반기초의 상호작용을 고려하여야 하며, 콘크리트댐의 경우 댐체에 설치되는 것이 일반적이므로 댐 본체에 포함시켜 해석을 수행한다.

- 1) 여수로의 내진해석을 위한 지진하중은 양안부의 특성을 고려하여 본 요령 2장의 절차에 따라 산정한다.
- 2) 여수로와 기초암반면 사이의 전단력에 대한 안전율은 식 (A.6.1)을 이용하여 산정하며, 허용안전율 이상이어야 한다.

$$F_s = \frac{f \cdot \sum V + r \cdot S \cdot A}{\sum H} > 4.0$$

(A.6.1)

- 여기서, f : 내부 마찰계수
 r : 이음매에서의 전단저항강도에 대한 평균응력과의 비
 S : 전단강도(kPa)
 $\sum V$: 전수직력(N)
 $\sum H$: 전수평력(N)
 A : 전단저항을 고려한 면적(m²)

- 3) 등가정적해석에 의한 여수로의 해석 결과, 압축응력과 인장응력은 각

각 콘크리트의 허용압축응력 및 허용인장응력 이하이어야 한다. 허용응력의 기준은 <표 A.6.1>를 따른다.

<표 A.6.1> 콘크리트 허용응력 기준

구 분	허용압축응력	허용인장응력	비 고
상 시	$f_{ca} = 0.25f_{ck}$	$f_{ta} = 0.42\sqrt{f_{ck}}$	
지진시	상시의 허용값에 30% 할증된 값 적용		

나. 여수로에 대한 동해석

구조물의 동적특성과 암반-구조물 상호작용을 고려할 수 있는 프로그램을 사용하여 지진하중 작용시와 지진 후 여수로의 동적거동을 분석하도록 한다.

- 1) 동해석은 응답스펙트럼 해석법 혹은 시간이력 해석법을 적용하여 수행한다.
- 2) 지진응답은 비선형해석법에 의하거나 비선형거동특성을 보수적으로 고려할 수 있는 방법으로 평가한다.
- 3) 여수로와 기초암반면 사이의 전단력에 대한 안전율은 허용안전율 이상이어야 한다.
- 4) 동해석에 의한 여수로의 해석 결과, 압축응력과 인장응력은 각각 콘크리트의 허용압축응력 및 허용인장응력 이하이어야 한다. 허용응력의 기준은 <표 A.6.1>을 따른다.

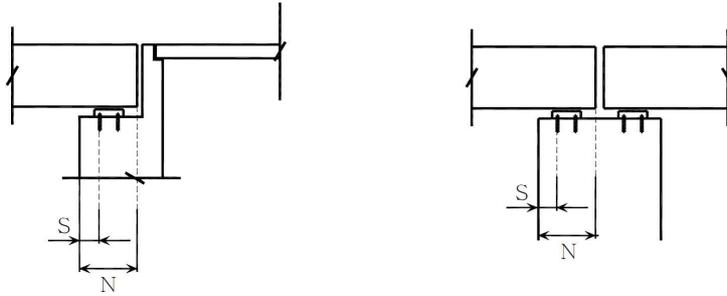
A.6.2 기존 시설물(교량) 내진성능 평가요령(2011)

「기존 시설물(교량) 내진성능 평가요령」(한국시설안전공단, 2011)에서 기존 저수지 구조물의 내진성능평가에 활용할 수 있는 내용은 관리교의 낙교에 대한 내용으로 '4.3.3 받침지지길이(낙교)' 항목이다.

「기존 시설물(교량) 내진성능 평가요령」에서는 교각 또는 교대의 소요역량이 공급역량(받침지지길이)을 초과하는지의 여부로 낙교 유무를 판단하고 있다.

가. 공급역량(받침지지길이)

받침지지길이는 <그림 A.6.1>과 같이 교각 및 교대의 거더 단부끝단까지의 거리를 말하며, 현장조사나 설계도면을 통해 조사한다.



<그림 A.6.1> 교량의 받침지지길이(N 또는 N_C)

나. 소요역량

소요역량은 「도로교 설계기준 - 내진설계편」에 규정되어 있는 최소받침지지길이(N_{\min})와 응답변위 중 큰 값으로 한다.

$$N_D = \max [\text{응답변위}, N_{\min}] \quad (\text{A.6.2})$$

$$N_{\min} = (200 + 1.67L + 6.66H)(1 + 0.000125\theta^2)$$

여기서, L : 인접 신축이음부 또는 교량단부까지 거리(m)

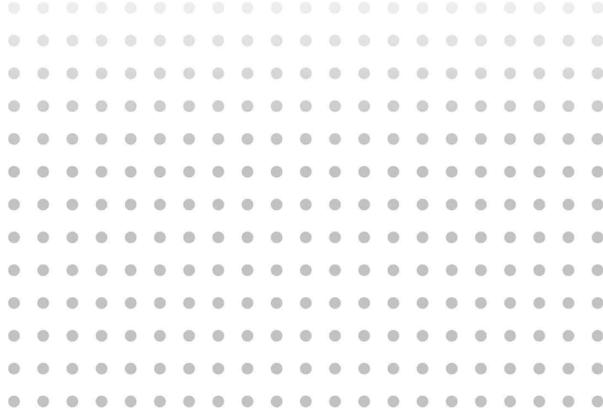
H : 교각의 평균높이(m)

θ : 교량의 받침선이 교축직각방향과 이루는 사잇각($^\circ$)

다. 내진성능평가

받침지지길이에 대한 내진성능평가는 공급역량(N_C)과 소요역량(N_D)을 비교하여 평가한다.

$$\begin{aligned} N_C / N_D \geq 1.0 & \quad \text{만 족} \\ N_C / N_D < 1.0 & \quad \text{불만족} \end{aligned} \quad (\text{A.6.3})$$



부록 B

지준 저수지 부속시설의 내진성능평가 현황 조사



부록 B. 기존 저수지 부속시설의 내진성능평가 현황 조사

신규로 건설되는 농업생산기반시설은 「농업생산기반정비사업계획설계기준」에 규정된 내진설계 기준을 적용하여 내진성능을 확보하도록 하고 있으나, 내진설계가 적용되지 않은 기존 기반시설에 대해서는 한국농어촌공사에서 내진보강대책을 마련하여 단계적으로 내진보강을 수행하고 있으나, 대상시설물이 저수지 제체와 취수탑에 국한되며, 대부분의 부속시설에 대해서는 아직 보강대책이 마련되어 있지 않은 실정이다.

또한, 기존 저수지 시설물의 부속시설에 대한 내진 안전성 검토시 필요한 기준 및 절차, 적용방법 등을 명확히 규정한 기준이나 지침이 아직 마련되어 있지 않아 기존 부속시설의 내진 안전성 검토시 「내진설계기준연구(Ⅱ)」, 「농업생산기반정비사업계획설계기준」, 「댐 설계기준」, 「콘크리트구조설계기준」, 「상수도시설 내진 설계기준」, 「기존 댐의 내진성능평가 및 향상요령」, 「기존 상수도의 내진성능평가 및 향상요령」 등을 준용하여 평가가 이루어지고 있어 내진성능평가를 수행하는 엔지니어에 따라 평가방법이 서로 상이한 실정이다.

본 장에서는 내진설계가 수행되지 않은 기존 저수지 시설물의 부속시설에 대해 내진 안전성 평가가 수행된 시설물을 검토하여 부속시설의 내진 안전성 평가에 적용된 기준 및 방법의 현황 조사를 실시하였다. 다만, 현황 조사는 내진성능 평가방법이 합리적이라고 판단되는 저수지 시설물의 부속시설에 대해 실시하였다.

또한, 저수지 구조물과 유사한 구조물의 내진안전성 평가 기준 및 방법의 비교를 위해 기존 댐 구조물의 내진안전성 평가에 대한 현황 조사도 추가로 실시하였다.

③ 수위조건 : 상시만수위 - EL.30.40m, 사수위 - EL.28.30m

④ 동수압 : 부가질량으로 근사화

3) 내진해석 조건

① 내진등급 : 내진 I 등급(붕괴방지수준)

② 구역계수 : 0.11(I 구역, 충남 논산)

③ 위험도계수 : 1.0(재현주기 500년)

④ 지진계수 : $C_a=0.11$, $C_v=0.11$ (I 구역, S_B , 보통암 지반)

⑤ 해석방법 : 등가정적해석법

4) 지진해석결과

해석결과, 최대압축응력과 전단응력, 인장응력은 취수탑의 하부 콘크리트에서 발생하고 있으며, 모두 허용기준치를 만족하는 상태로 취수탑 구조물에 대한 내진성능 평가 결과 큰 문제는 없는 것으로 판단

B.1.2 경천저수지(한국시설안전기술공단, 2004)

경천저수지는 제체의 높이가 22.72m이고 총 저수용량이 25,600천 m^3 으로 내진특등급으로 분류되며, 취수탑은 원형 준공단면을 갖는 높이가 20.0m이고 직경이 4.0m이며, 부속시설은 권양시설과 연결교량, 취수터널이 있는 구조이다.

□ 취수탑의 내진안전성 평가

1) 해석 모델링

① 해석프로그램 : MIDAS

② 요소 종류 : SOLID 요소

③ 해석 방법 : 3차원 해석

④ 해석상 가정 : 콘크리트는 탄성범위 내에서 거동, 기초하부 고정

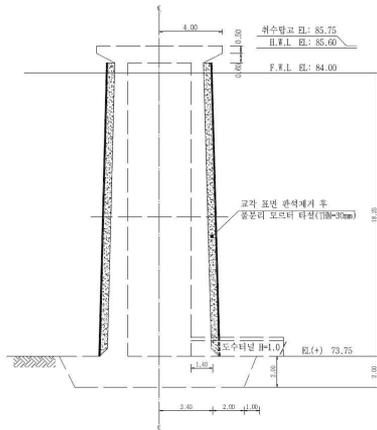
2) 작용하중

① 취수탑 자중

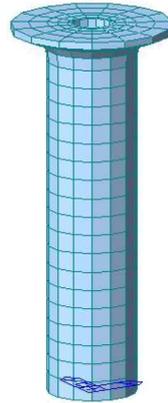
② 연락교량 및 권양시설물 : 117.72kN 및 522.48kN (도면, 문헌 등)

③ 수위조건 : 상시만수위 - EL.84.20m, 사수위 - EL.73.00m

④ 동수압 : 부가질량으로 근사화



(a) 개략 단면도



(b) 유한요소 해석모델

<그림 B.1.2> 경천저수지 취수탑의 제원 및 해석모델

3) 내진해석 조건

- ① 내진등급 : 내진 I 등급(붕괴방지수준)
- ② 구역계수 : 0.11(I 구역, 전북 완주)
- ③ 위험도계수 : 1.0(재현주기 500년)
- ④ 지진계수 : $C_a=0.11$, $C_v=0.11$ (I 구역, S_B , 보통암 지반)
- ⑤ 해석방법 : 응답스펙트럼 해석법(다중모드 스펙트럼 해석법)
- ⑥ 하중조합 : Case-1 : $1.0X+0.3Y+0.3Z$
Case-2 : $0.3X+1.0Y+0.3Z$
Case-3 : $0.3X+0.3Y+1.0Z$

4) 지진하중에 의한 응력검토

- ① 만수위시 : 전단응력과 압축응력은 모두 허용값 내에 있으나, 외부 블록부에서 발생한 인장응력이 균열응력을 초과하는 것으로 나타났으나, 실제 지진발생시 외부블록이 손상되더라도 주요 구조체인 신·구 콘크리트(균열응력 이내)가 저항하므로 붕괴되는 현상은 발생되지 않을 것으로 판단
- ② 사수위시 : 전단응력과 압축응력은 모두 허용값 내에 있으나, 외부 블록부에서 발생한 인장응력이 균열응력을 초과하는 것으로 나타났으나, 실제 지진발생시 외부블록이 손상되더라도 주요 구조체인 신·구 콘크리트(균열응력 이내)가 저항하므로 붕괴되는 현

상은 발생되지 않을 것으로 판단(<표 B.1.9> 참조)

5) 지진하중에 의한 안전성검토

- ① 지진하중에 의한 단면력 산정 : 등가정적해석을 통해 단면력을 산정한다. 이때 Case-1과 Case-2에 대한 하중조합만을 고려
- ② 휨강도 평가 : 단면력이 공칭강도보다 작아 안전함

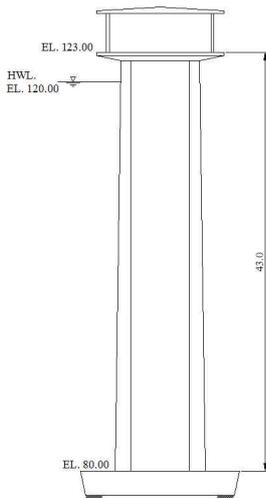
B.1.3 대아저수지(한국시설안전기술공단, 2006)

대아저수지는 제체의 높이가 55.0m이고 총 저수용량이 55,277천 m^3 으로 내진특등급으로 분류되며, 취수탑은 원형 준공단면을 갖는 높이가 43.0m이고 직경이 6.0m이며, 부속시설은 권양시설과 연결교량, 취수터널이 있는 구조이다.

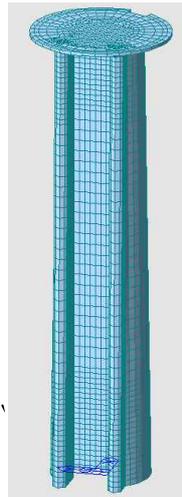
□ 취수탑의 내진안전성 평가

1) 해석 모델링

- ① 해석프로그램 : MIDAS
- ② 요소 종류 : SOLID 요소
- ③ 해석 방법 : 3차원 해석
- ④ 해석상 가정 : 콘크리트는 탄성범위 내에서 거동, 기초하부 고정



(a) 개략 단면도



(b) 유한요소 해석모델

<그림 B.1.3> 대아저수지 취수탑의 제원 및 해석모델

2) 작용하중

- ① 취수탑 자중
- ② 연락교량 및 권양시설물 : 27tf 및 200tf (도면, 문헌 등)
- ③ 수위조건 : 상시만수위 - EL.120m, 사수위 - EL.80m
- ④ 동수압 : 부가질량으로 근사화

3) 내진해석 조건

- ① 내진등급 : 내진 I 등급(붕괴방지수준)
- ② 구역계수 : 0.11(I 구역, 전북 완주)
- ③ 위험도계수 : 1.0(재현주기 500년)
- ④ 지진계수 : $C_a=0.11$, $C_v=0.11$ (I 구역, S_B , 보통암 지반)
- ⑤ 해석방법 : 응답스펙트럼 해석법(다중모드 스펙트럼 해석법)
- ⑥ 하중조합 : Case I - $1.0X+0.3Y+0.3Z$
Case II - $0.3X+1.0Y+0.3Z$
Case III - $0.3X+0.3Y+1.0Z$

4) 지진해석결과

- ① 만수위시 : 모든 인장응력이 허용값 및 균열응력을 초과
- ② 사수위시 : 모든 인장응력이 허용값을 초과 및 수평방향 지진의 인장응력은 균열응력을 초과
- ③ 인장응력 재검토 : 콘크리트 최대 인장응력은 만수위시 취수구 방향 지진에 대해 취수구 입구 부분에서 106.7kgf/cm^2 만큼 발생하는 것으로 나타났으며, 이를 철근의 인장응력으로 변환하면 767.04kgf/cm^2 으로 철근의 허용응력($1,300\text{kgf/cm}^2$) 보다 작아 안전

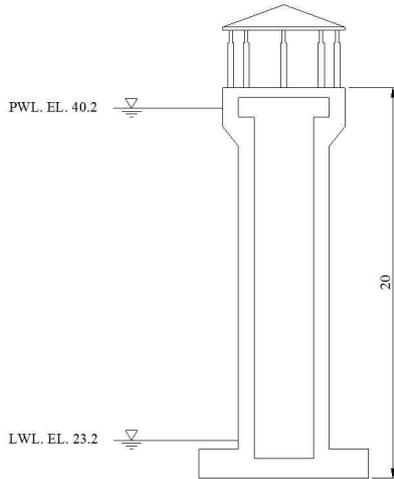
B.1.4 청천저수지(한국시설안전기술공단, 2006)

청천저수지는 제체의 높이가 23.0m이고 총 저수용량이 20,800천 m^3 으로 내진특등급으로 분류되며, 취수탑은 원형 준공단면을 갖는 높이가 20.0m이고 직경이 3.0m이며, 부속시설은 권양시설과 연결교량, 취수터널이 있는 구조이다.

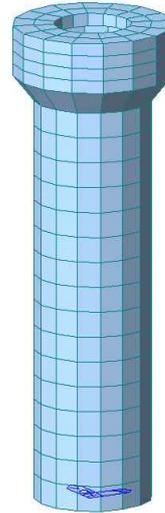
□ 취수탑의 내진안전성 평가

1) 해석 모델링

- ① 해석프로그램 : MIDAS
- ② 요소 종류 : SOLID 요소
- ③ 해석 방법 : 3차원 해석
- ④ 해석상 가정 : 콘크리트는 탄성범위 내에서 거동, 기초하부 고정



(a) 개략 단면도



(b) 유한요소 해석모델

<그림 B.1.4> 청천저수지 취수탑의 제원 및 해석모델

2) 작용하중

- ① 취수탑 자중
- ② 연락교량 및 권양시설물 : 12.4tf 및 60.38tf (도면, 문헌 등)
- ③ 수위조건 : 홍수위 - EL.40.20m, 사수위 - EL.23.20m
- ④ 동수압 : 부가질량으로 근사화

3) 내진해석 조건

- ① 내진등급 : 내진 I 등급(붕괴방지수준)
- ② 구역계수 : 0.11(I 구역, 충남 보령)
- ③ 위험도계수 : 1.0(재현주기 500년)
- ④ 지진계수 : $C_a=0.11$, $C_v=0.11$ (I 구역, S_B , 보통암 지반)
- ⑤ 해석방법 : 응답스펙트럼 해석법(다중모드 스펙트럼 해석법)

- ⑥ 하중조합 : Case I - $1.0X+0.3Y+0.3Z$
 Case II - $0.3X+1.0Y+0.3Z$
 Case III - $0.3X+0.3Y+1.0Z$

4) 지진해석결과

- ① 홍수위시 : 수평방향 지진시 인장응력은 허용값을 약간 초과하나 균열응력 보다는 작아, 지진시 하단부 외벽 콘크리트에 부분적으로 손상이 발생할 수 있으나, 붕괴는 발생되지 않을 것으로 판단
- ② 사수위시 : 수평방향 지진시 인장응력은 허용값을 약간 초과하나 균열응력 보다는 상당히 작아, 지진시 하단부 외벽 콘크리트 부위는 부분적으로 손상이 발생할 수 있으나, 붕괴는 발생되지 않을 것으로 판단

B.1.5 백곡저수지(한국시설안전기술공단, 2007)

백곡저수지는 제체의 높이가 27.2m이고 총 저수용량이 21,750천 m^3 으로 내진특등급으로 분류되며, 취수탑은 원형 준공단면을 갖는 높이가 26.9m이고 직경이 5.0m이며, 부속시설은 권양시설과 연결교량, 취수터널이 있는 구조이다.

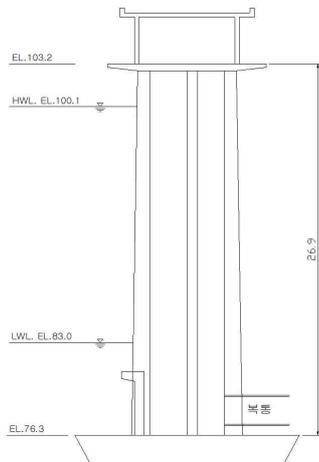
□ 취수탑의 내진안전성 평가

1) 해석 모델링

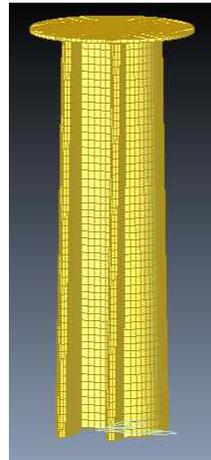
- ① 해석프로그램 : MIDAS
- ② 요소 종류 : SOLID 요소
- ③ 해석 방법 : 3차원 해석
- ④ 해석상 가정 : 콘크리트는 탄성범위 내에서 거동, 기초하부 고정

2) 작용하중

- ① 취수탑 자중
- ② 연락교량 및 권양시설물 : 10.8tf 및 53.7tf (도면, 문헌 등)
- ③ 수위조건 : 상시만수위 - EL.100.10m, 사수위 - EL.83.00m
- ④ 동수압 : 부가질량으로 근사화



(a) 개략 단면도



(b) 유한요소 해석모델

<그림 B.1.5> 백곡저수지 취수탑의 제원 및 해석모델

3) 내진해석 조건

- ① 내진등급 : 내진 I 등급(붕괴방지구준)
- ② 구역계수 : 0.11(I 구역, 충북 진천)
- ③ 위험도계수 : 1.0(재현주기 500년)
- ④ 지진계수 : $C_a=0.11$, $C_v=0.11$ (I 구역, S_B , 보통암 지반)
- ⑤ 해석방법 : 응답스펙트럼 해석법(다중모드 스펙트럼 해석법)
- ⑥ 하중조합 : Case I - $1.0X+0.3Y+0.3Z$
 Case II - $0.3X+1.0Y+0.3Z$
 Case III - $0.3X+0.3Y+1.0Z$

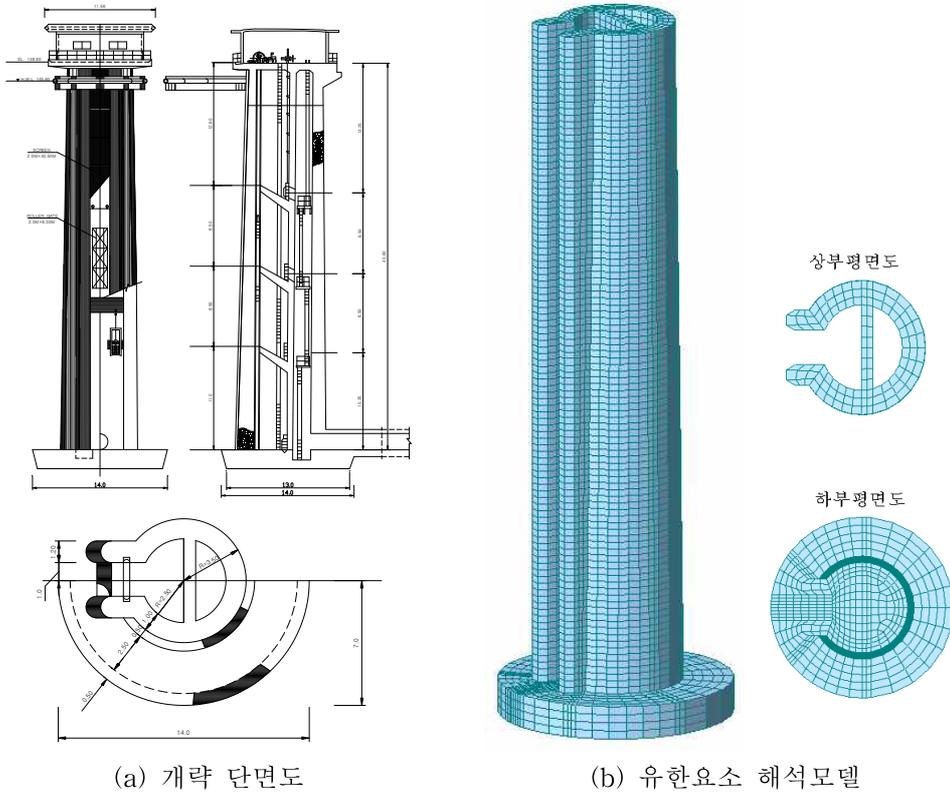
4) 지진해석결과

- ① 만수위시 : 압축응력은 모두 허용응력 범위 이내에 있으나, 인장응력은 모두 허용응력을 초과하였으며, 취수구(CASE II) 하단부에서의 인장응력은 균열응력을 초과하여 지진시 균열 발생 가능
- ② 사수위시 : 압축응력은 모두 허용응력 범위 이내에 있으며, 수평방향 지진시 인장응력은 허용응력을 초과하였으나, 균열응력 이내로 지진시 균열은 발생하지 않을 것으로 판단
- ③ 단면검토 : 콘크리트 최대 인장응력은 만수위시 취수구 방향 지진에 대해 취수구 입구 부분에서 2.87MPa 만큼 발생하여 균열응력

(2.66MPa)을 초과하는 것으로 나타났으며, 이에 대한 P-M상관 분석을 실시(MIDAS/Set 이용)하여 단면검토를 수행하였다. P-M 상관분석결과, Case I 지진시(X방향) 단면력비는 0.653, Case II 지진시(Y방향) 단면력비는 0.701로 1.0이하로 나타나 안전한 것으로 평가

B.1.6 하동저수지(한국시설안전공단, 2009)

하동저수지는 제체의 높이가 58.6m이고 총 저수용량이 31,200천 m^3 으로 내진특등급으로 분류되며, 취수탑은 원형 준공단면(2중 격벽이 있는 테이퍼 형식)을 갖는 높이가 40.6m이고 내부직경이 5.0m이며, 부속시설은 권양시설과 연결교량, 취수터널이 있는 구조이다.



<그림 B.1.6> 하동저수지 취수탑의 제원 및 해석모델

□ 취수탑의 내진안전성 평가

1) 해석 모델링

- ① 해석프로그램 : MIDAS
- ② 요소 종류 : SOLID 요소
- ③ 해석 방법 : 3차원 해석
- ④ 해석상 가정 : 콘크리트는 탄성범위 내에서 거동, 기초하부 고정

2) 작용하중

- ① 취수탑 자중(지붕슬래브 : 1,805.04kN)
- ② 연락교량 및 권양시설물 : 194.43kN 및 725.94kN (도면, 문헌 등)
- ③ 수위조건 : 만수위(EL.140.10m)만 적용
- ④ 동수압 : 부가질량으로 근사화(Westergaard 공식 적용)

3) 내진해석 조건

- ① 내진등급 : 내진특등급(붕괴방지수준)
- ② 구역계수 : 0.11(I 구역, 경남 하동)
- ③ 위험도계수 : 1.4(재현주기 1,000년)
- ④ 지진계수 : $C_a=0.11$, $C_v=0.11$ (I 구역, S_B , 보통암 지반)
- ⑤ 해석방법 : 응답스펙트럼 해석법(다중모드 스펙트럼 해석법)
- ⑥ 하중조합 : COMB 2 - 1.0X+0.3Y
COMB 3 - 0.3X+1.0Y

4) 지진해석결과

- ① 응력 검토 : 지진하중시 최대 주응력은 취수구 입구 하단부에서 5.775 MPa의 인장응력이, 최소 주응력은 취수탑 내부의 격벽에서 1.835 MPa의 압축응력이 발생, 압축응력은 허용치(10.920 MPa) 이내 이며, 인장응력은 균열응력(2.887 MPa)을 초과하는 것으로 검토되어, 인장응력이 발생하는 콘크리트에는 균열이 발생할 것으로 판단되며, 인장응력이 발생하는 콘크리트는 배근된 철근이 인장응력을 부담하게 되므로, 이에 대한 검토가 수행되어야 한다.
- ② 안전성 검토 : 검토 부재의 단면력은 SOLID 요소의 절점 내력을 이용하여 산정하며, P-M 상관분석을 통해 구한 단면강도(보유강도)와 비교를 통해 안전성을 평가하였다. 평가결과, 본 취수탑은

지진하중에 대해 안전성을 확보하고 있다.

<표 B.1.1> 하동저수지의 지진하중에 대한 단면력 검토결과

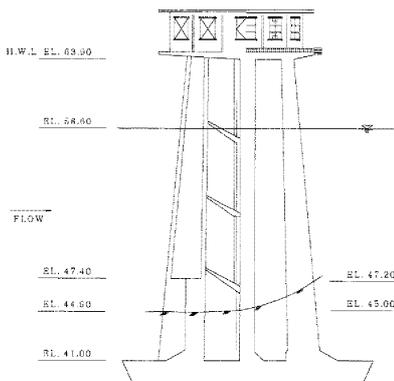
하중조합	P_u (kN)	M_{uy} (kN·m)	M_{uz} (kN·m)	θ	M_u (kN·m)	ϕM_n (kN·m)	안전성
COMB 2	33,006	187,810	51,738	-11.96	194,806	324,571	O.K.
COMB 3	32,993	59,893	172,290	-71.71	182,403	317,914	O.K.

B.2 기존 댐의 내진안전성 평가 현황

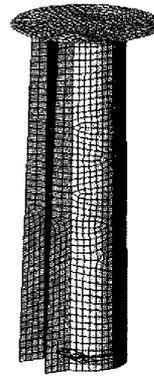
B.2.1 나주댐(한국시설안전기술공단, 2006)

나주댐은 댐체의 높이가 31.0m이고 총 저수용량이 91,200천 m^3 으로 내진 특등급으로 분류되며, 취수탑은 원관형(2중 방식 취수장치) 단면을 갖는 높이가 26.0m이고 내부직경이 5.0m이며, 부속시설은 권양시설과 연결교량, 취수터널이 있는 구조이다.

□ 취수탑의 내진안전성 평가



(a) 개략 단면도



(b) 유한요소 해석모델

<그림 B.2.1> 나주댐 취수탑의 제원 및 해석모델

1) 해석 모델링

- ① 해석프로그램 : MIDAS
- ② 요소 종류 : PLATE 요소
- ③ 해석 방법 : 3차원 해석
- ④ 해석상 가정 : 콘크리트는 탄성범위 내에서 거동, 기초하부 고정

2) 작용하중

- ① 취수탑 자중
- ② 연락교량 및 권양시설물 : 17.47tf 및 75.08tf (도면, 문헌 등)
- ③ 수위조건 : 상시만수위 및 사수위
- ④ 동수압 : 부가질량으로 근사화

3) 내진해석 조건

- ① 내진등급 : 내진 I 등급(붕괴방지수준)
- ② 구역계수 : 0.11(I 구역, 전남 나주)
- ③ 위험도계수 : 1.0(재현주기 500년)
- ④ 지진계수 : $C_a=0.11$, $C_v=0.11$ (I 구역, S_B , 보통암 지반)
- ⑤ 해석방법 : 응답스펙트럼해석법(다중모드 스펙트럼해석법)

4) 지진해석결과

해석결과, 내하율이 모두 1.0 이상으로 나타나 안전한 것으로 평가되었다. 사수위시는 주로 취수탑체 벽체와 경사 floor의 접합부(응력집중부)에서 모멘트가 최대이며, 수압을 고려한 만수위시는 수압최대부인 격벽 하단부에서 최대 모멘트 및 전단력이 발생하였다. 전단력 검토는 축압축력을 받는 부재에 대한 전단력을 산정하여 검토하였다. 만수위시 격벽 하단부는 외측으로만 수압을 받고 있기 때문에 격벽 최하단부에 응력이 집중되어 취수탑에서 제일 취약한 부분으로 판단된다.

B.2.2 안동다목적댐(한국시설안전기술공단, 2006)

안동다목적댐은 댐체의 높이가 83m이고 총 저수용량이 1,248백만 m^3 으로 내진특등급으로 분류되며, 취수탑은 RC 라멘 구조(7각 원통)를 갖는 높이가 60.5m이며 부속시설은 권양시설, 연결교량, 취수터널이 있는 구조이다.

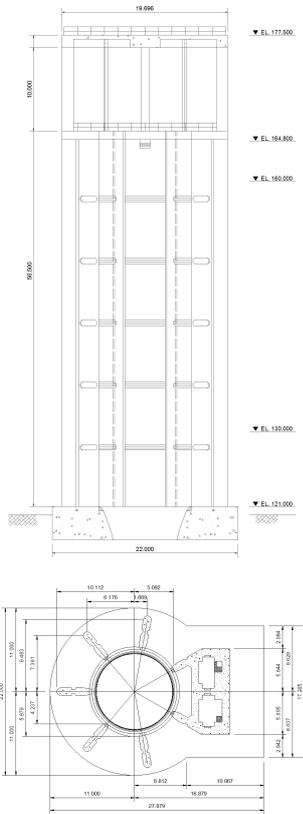
□ 취수탑의 내진안전성 평가

1) 해석 모델링

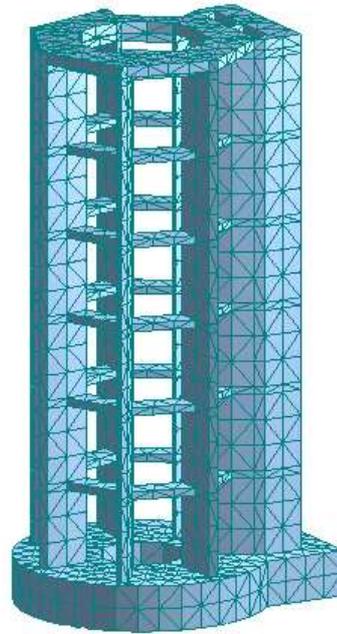
- ① 해석프로그램 : MIDAS
- ② 요소 종류 : SLOID 요소
- ③ 해석 방법 : 3차원 해석
- ④ 해석상 가정 : 콘크리트는 탄성범위 내에서 거동, 기초하부 고정

2) 작용하중

- ① 취수탑 자중(지붕슬래브 : 438tf)
- ② 연락교량 및 권양시설물 : 113tf 및 839tf (도면, 문헌 등)
- ③ 수위조건 : 상시만수위 - EL.160.0m, 최저수위 - EL.121.0m



(a) 개략 단면도



(b) 유한요소 해석모델

<그림 B.2.2> 안동다목적댐 취수탑의 제원 및 해석모델

3) 내진해석 조건

- ① 내진등급 : 내진 I 등급(붕괴방지수준)
- ② 구역계수 : 0.11(I 구역, 경북 안동)
- ③ 위험도계수 : 1.0(재현주기 500년)
- ④ 지진계수 : $C_a=0.11$, $C_v=0.11$ (I 구역, S_B , 보통암 지반)
- ⑤ 해석방법 : 등가정적해석법(진도법)

4) 지진해석결과

해석결과, 지진시 최대 인장응력 및 압축응력은 모두 허용기준치 이내로 상시만수위와 최저수위 모두 문제가 없을 것으로 판단된다. 여기서 상시만수위와 최저수위의 값이 동일한 것은 라멘구조 특성상 수압에 대한 영향이 거의 없기 때문인 것으로 판단된다.

B.3 기존 취수탑의 내진안전성 평가 현황 분석

내진설계가 수행되지 않은 기존 저수지 시설물의 정밀안전진단 자료를 검토하여 부속시설에 대하여 내진 안전성 평가를 수행한 시설물을 조사하였다. 부속시설 중 취수탑만 내진 안전성 평가가 이루어 졌으며, 6개 취수탑에 대해 부록 B.1절에 요약/정리하였다. 또한, 저수지와 개념이 같은 댐 구조물의 정밀안전진단 자료를 검토하여 부속시설에 대하여 내진 안전성 평가를 수행한 시설물을 조사하였다. 댐 구조물 또한 취수탑만이 내진 안전성 평가가 이루어 졌으며, 대표적인 2개 취수탑에 대해 부록 B.2절에 요약/정리하였다.

조사된 8개의 취수탑에 적용된 기준 및 평가방법을 분석하여 4장 타당성 검토의 기본자료로 활용하고자 한다.

조사된 저수지(댐) 시설물의 내진등급은 모두 내진특등급으로 산정되며, 부속시설인 취수탑은 대부분이 한단계 낮은 내진 I 등급으로 산정하여 내진안전성 평가를 수행하였다(<표 B.3.1>). 또한 저수지 부속시설은 지진시 작동을 중지하므로 붕괴방지수준에 대해서만 검토하였다.

<표 B.3.1> 기존 저수지(댐) 및 취수탑의 내진등급 분석(붕괴방지수준)

시설물명	저수지(댐) 시설물			취수탑				
	총저수량 (만m ³)	높이 (h, m)	내진 등급	높이 (H, m)	내경 (D, m)	H/D	내진 등급	재현 주기
탑정저수지	3,161	17.80	특등급	14.5	5.0	2.90	I 등급	500년
경천저수지	2,560	22.72	특등급	20.0	4.0	5.00	I 등급	500년
대아저수지	5,528	55.00	특등급	43.0	6.0	7.17	I 등급	500년
청천저수지	2,080	23.00	특등급	18.0	3.0	6.00	I 등급	500년
백곡저수지	2,175	27.2	특등급	26.9	5.0	5.38	I 등급	500년
하동저수지	3,120	58.6	특등급	40.6	5.0	8.12	특등급	1,000년
나주댐	9,120	31.0	특등급	26.0	5.0	5.20	I 등급	500년
안동다목적댐	124,800	83.0	특등급	56.5	4.5	12.56	I 등급	500년

※ 저수지는 「농업생산기반정비사업계획설계기준-필댐편」을, 댐은 「댐설계기준」을 적용하여 제체에 대한 내진등급을 산정

<표 B.3.2> 기존 취수탑의 지진해석 방법 및 조건

시설물명	지진해석 방법			지진해석 조건					
	ESM	RSM	THM	위치	지진 구역	지역 계수	I	S	Ca/Cv
탑정저수지	○			충남/논산	I 구역	0.11	1.0	S _B	0.11/0.11
경천저수지	○	○		전북/완주	I 구역	0.11	1.0	S _B	0.11/0.11
대아저수지		○		전북/완주	I 구역	0.11	1.0	S _B	0.11/0.11
청천저수지		○		충남/보령	I 구역	0.11	1.0	S _B	0.11/0.11
백곡저수지		○		충북/진천	I 구역	0.11	1.0	S _B	0.11/0.11
하동저수지		○		경남/하동	I 구역	0.11	1.4	S _B	0.11/0.11
나주댐		○		전남/나주	I 구역	0.11	1.0	S _B	0.11/0.11
안동다목적댐	○			경북/안동	I 구역	0.11	1.0	S _B	0.11/0.11

※ ESM : 등가정적해석법, RSM : 응답스펙트럼해석법, THM : 시간이력해석법
 I : 위험도계수, S : 지반종류, Ca/Cv : 지진계수

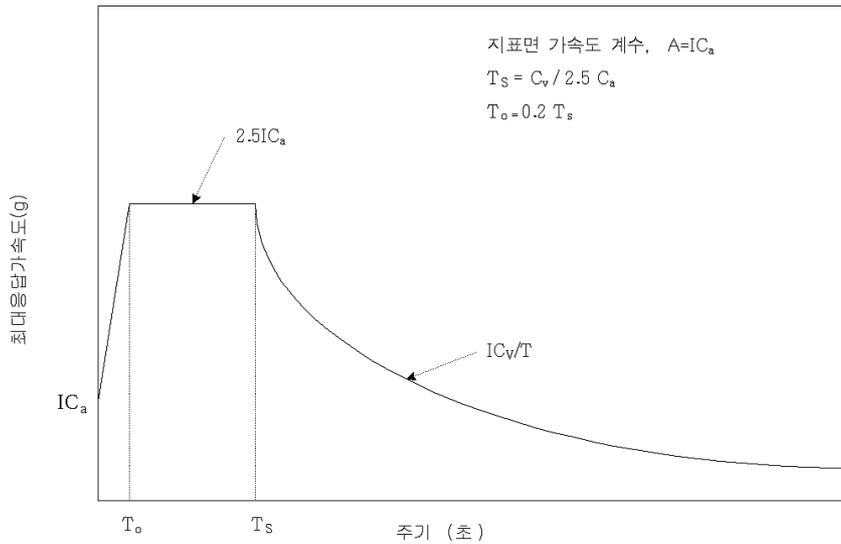
<표 B.3.3> 기존 취수탑의 해석모델 및 지진안전성 평가방법

시설물명	유한요소해석프로그램					수위조건		평가방법	
	해석 방법	요소 종류	지진작용방향			상시 만수위	사수위	응력	단면력
			X	Y	Z				
탑정저수지	3D	PLATE	○	○		○	○	○	
경천저수지	3D	SOLID	○	○	○	○	○	○	○
대아저수지	3D	SOLID	○	○	○	○	○	○	
청천저수지	3D	SOLID	○	○	○	○	○	○	
백곡저수지	3D	SOLID	○	○	○	○	○	○	○
하동저수지	3D	SOLID	○	○		○		○	○
나주댐	3D	PLATE	○	○	○	○	○		○
안동다목적댐	3D	SOLID	○	○		○	○	○	

※ X : 취수구 방향, Y : 취수구 직각 방향, Z : 연직방향

지진해석 방법은 등가정적해석법과 응답스펙트럼해석법(동적해석법)을 적용하였으며, 기초지반은 모두 보통암으로 판단(S_B 지반)하여 경계조건을 고정단으로 가정하였으며, 설계진도는 하동저수지만 0.154g이고, 나머지는 0.11g이다.

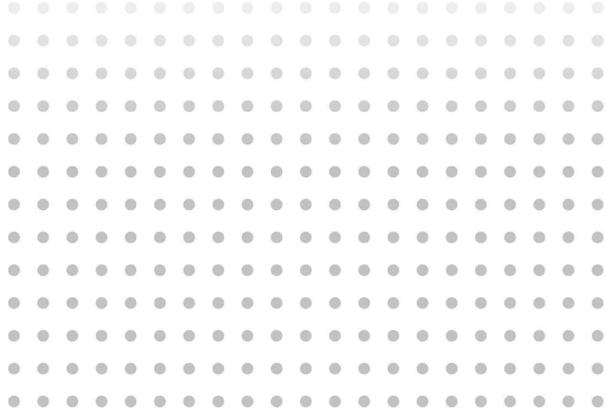
응답스펙트럼은 <그림 B.3.1>과 같이 5% 감쇠비를 고려한 지표면에서의 표준가속도응답스펙트럼을 적용하였다.



<그림 B.3.1> 표준가속도설계응답스펙트럼(5% 감쇠비)

기존 취수탑의 내진 안전성 평가를 위해서 참고한 설계기준 및 지침은 다음과 같다.

- 1) 내진설계기준연구 (Ⅱ)(건설교통부, 1997)
- 2) 상수도시설 내진설계기준마련을 위한 연구(환경부, 1999)
- 3) 댐 설계기준(건설교통부)
- 4) 콘크리트구조설계기준(건설교통부)
- 5) 기존 댐의 내진성능평가 및 향상요령(한국시설안전공단, 2004)
- 6) 기존 상수도의 내진성능평가 및 향상요령(한국시설안전공단, 2004)



부록 C



내진성능 평가방법 타당성 검토 예제

부록 C. 내진성능 평가방법 타당성 검토 예제

「농업생산기반정비사업계획설계기준 - 필댐편(2002)」 및 「댐 설계 기준(2011)」 등에서는 부속시설의 내진성 확보를 위하여 필요한 최소 요구조건을 만족시키는 내진설계를 하도록 규정할 뿐 성능수준 및 평가방법에 대한 규정은 명확히 제시되지 않아 부속시설의 내진설계 및 내진성능 평가시 성능수준 및 평가방법을 선정하는데 어려움이 따른다.

이에 '6장 농업용 저수지 구조물의 내진성능 평가'에서는 기존 저수지의 부속시설 중 철근콘크리트 구조물, 즉 취수탑, 취수터널, 여수토·방수로 및 연락교량에 대한 내진성능 평가방법에 대한 타당성 검토를 수행하였다. 타당성 검토는 저수지 부속시설 관련 내진설계기준과 기존 취수탑의 내진 안전성 평가 현황 조사 자료에 기초하여 구조물별 특성을 고려하여 내진성능평가에 적용할 기준 및 평가방법을 선정하고 예제 해석을 통해 수행하였다.

본 절에서는 내진성능 평가방법 타당성 검토를 수행한 예제 해석을 수록하였다.

C.1 취수탑의 내진성능 평가방법 타당성 검토

C.1.1 적용 기준

「상수도시설기준(환경부, 2010)」과 「상수도시설 내진 설계기준(한국수자원공사, 2000)」에서는 부속시설에 대한 지진해석 및 내진설계방법이 비교적 상세하게 규정되어 있으므로, 이 기준들을 취수탑의 내진성능평가에 적용하여 타당성을 검토하였다. 이 기준들은 「상수도시설 내진 설계기준 마련을 위한 연구(환경부, 1999)」 보고서를 근간으로 작성되었으므로, 기준에 규정되지 않은 사항은 보고서에 기술된 내용을 적용하였다.

C.1.2 내진성능 평가방법

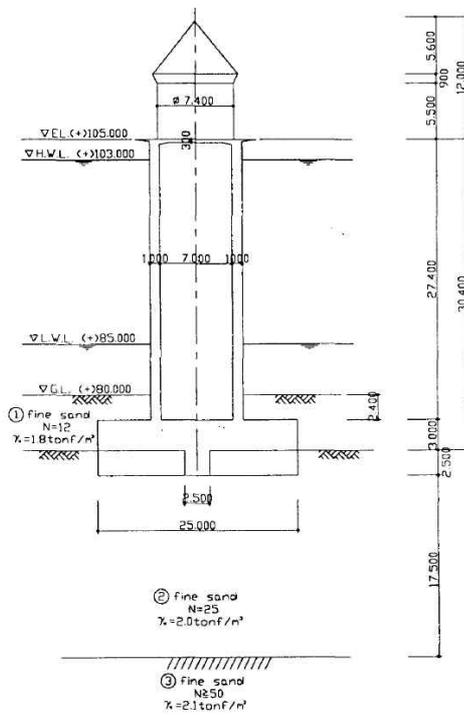
취수탑의 내진성능 평가방법은 대상 구조물의 구조특성, 중요도, 손상형태, 주변지반의 특성 등을 고려하여 적합한 지진해석모델과 지진응답해석방법에 의해 결정된 지진력에 대하여 충분한 내력을 갖도록 하여야 한다.

취수탑의 내진성능 평가방법은 다음과 같다.

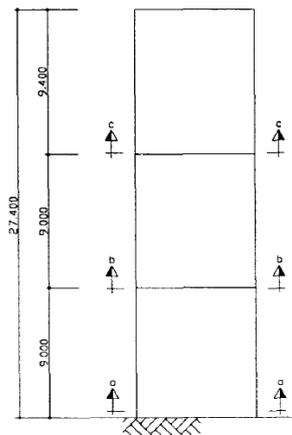
- ① 내진성능목표 : 체체의 내진성능목표를 따른다.
- ② 내진성능수준 : 기존 시설물의 내진성능평가임을 감안하여 붕괴방지 수준만을 적용한다.
- ③ 수평지반운동 : 수평지반운동은 지표면에서의 자유장 운동으로, 세기와 특성이 동일한 수평 2축 방향성분으로 정의한다. 대상 구조물이 대칭인 경우에는 1축 방향성분만 고려하여 해석해도 무방하다.
- ④ 수직지반운동 : 수직방향 성분의 지반운동은 무시하여도 무방하다. 다만, 수직방향 성분의 지반운동에 의한 영향이 예상되는 경우에는 수평방향 성분의 1/2 세기로 가정하여 적용할 수 있다.
- ⑤ 구성재료의 거동 : 탄성거동 한계 내에 있도록 ‘댐설계기준(2011)’에 규정하고 있으므로 원칙적으로 선형해석방법을 적용하며, 필요한 경우 비선형거동의 영향을 고려할 수 있다.
- ⑥ 수위 조건 : 취수탑의 내진성능평가는 만수위시, 공수위시 및 중간정도 찬 경우에 대하여 검토하여야 한다.

- ⑦ 지진해석방법 : 부재의 평가지진력 산정을 위한 지진해석방법은 등가정적해석법을 적용한다. 다만 진보된 평가를 원할 경우, 응답스펙트럼해석법과 동적해석법을 적용할 수 있다.
- ⑧ 해석모델 : 해석모델은 3차원 보요소를 기본으로 하며, 구조특성을 고려하여 평면요소 및 고체요소를 적용할 수 있다. 또한 기초면의 경계조건은 고정으로 가정하여 해석을 수행하나, 보다 정밀한 해석을 원할 경우에는 기초의 등가강성을 산정하여 적용할 수 있다.
- ⑨ 하중계수 및 하중조합 : 하중은 구조물의 특성에 맞게 고정하중 및 지진하중(지진시 동수압 및 토압 포함)을 고려하여 ‘콘크리트구조설계기준(2007)’에 제시된 하중계수 및 하중조합을 적용한다.
- ⑩ 내진성능 평가방법 : 극한하중인 붕괴방지수준의 지진하중을 적용하였으므로 강도설계법에 따라 부재의 단면력을 검토하며, 기초 및 기초 지반도 부재와 동일한 방법을 적용한다.

C.1.3 내진성능 평가예제



<그림 C.1.1> 취수탑 구조형상 및 지반도



<그림 C.1.2> 취수탑 벽체의 평가 블록 구분

취수탑의 내진성능 평가예제는 **지진구역 I**에 건설된 내진특등급 저수지의 부속시설로서, <그림 C.1.1>에 보인 바와 같이 3개의 층으로 구성된 지반상에 건설된 철근콘크리트 원통형 축대칭 구조물이다. 취수탑의 내진등급은 저수지 체체의 내진등급을 따르는 것이 합당하다고 판단되어 「상수도시설기준」의 **내진 I 등급**(1,000년 재현주기, 저수지 체체의 내진특등급과 동일한 재현주기 임)으로 분류하였으며, 성능수준도 「상수도시설기준」을 적용하여 **붕괴방지수준**만을 고려하였다.

가. 재료 물성 및 지반 조건

1) 콘크리트

- ① 설계강도 : $f_{ck} = 24 MPa$
- ② 탄성계수 : $E_c = 2.32 \times 10^6 MPa$
- ③ 포와송비 : $\mu = 0.17$
- ④ 단위중량 : $\gamma_c = 25 kN/m^3$

2) 철근

- ① 종류 : SD400 이형철근
- ② 항복강도 : $f_y = 400 MPa$
- ③ 탄성계수 : $E_s = 2.04 \times 10^7 MPa$

3) 지반조건 : 기초 밑의 지반 조건은 <표 C.1.1>과 같다.

<표 C.1.1> 취수탑의 지반 조건

지층 구분	지층명	깊이 (m)	단위중량 (kN/m ³)	표준관입시험값 N	비 고
①	가는 모래	3.0	18.0	12	
②	가는 모래	20.0	20.0	25	
③	가는 모래	∞	21.0	50 이상	

4) 작용하중 : 작용점 z_i 는 기초 상단으로부터의 높이

- ① 지붕하중(가정) : $W_1 = 1,700 kN, z_1 = 31.40m$
- ② 난간하중(가정) : $W_2 = 5.5 kN, z_2 = 28.40m$
- ③ 상판하중(가정) : $W_3 = 782.2 kN, z_3 = 27.15m$

④ Gate하중(가정) : $W_4 = 160 \text{ kN}$, $z_4 = 13.7 \text{ m}$

⑤ 벽체 자중

i) 단위 높이당 중량 : $w = \frac{\pi}{4} \times (9.0^2 - 7.0^2) \times 25 = 628.3 \text{ kN/m}$

ii) a-a 블록 : $W_5 = w \times 9.0 = 5,654.7 \text{ kN}$, $z_5 = 9.0/2 = 4.5 \text{ m}$

iii) b-b 블록 : $W_6 = w \times 9.0 = 5,654.7 \text{ kN}$,
 $z_6 = 9.0 + 9.0/2 = 13.5 \text{ m}$

iv) c-c 블록 : $W_7 = w \times 9.4 = 5,906.0 \text{ kN}$,
 $z_7 = 18.0 + 9.4/2 = 22.7 \text{ m}$

⑥ 취수탑 총 중량 : $W = \sum_{i=1}^7 W_i = 19,863.1 \text{ kN}$

나. 지진하중 (등가정적하중법)

1) 지반분류 : <표 A.3.3> 참조

① 평균 표준관입시험값, \bar{N}

$$\bar{N} = \frac{\sum d_i}{\sum \frac{d_i}{N_i}} = \frac{30}{\frac{3}{12} + \frac{20}{25} + \frac{7}{50}} \approx 25$$

② 지반분류 : $\bar{N} = 25$ 이므로 지반종류는 S_D 로 분류

2) 지진계수 : 지진구역 I, 지반종류 S_D

$Ca = 0.16$, $Cv = 0.23$ (<표 A.3.5> 및 <표 A.3.6> 참조)

3) 지표면 수평가속도계수, A_h

① 위험도 계수, $I = 1.4$ (재현주기 1,000년, <표 A.3.2> 참조)

② 지표면 수평가속도계수, $A_h = I \cdot Ca = 1.4 \times 0.16 = 0.224g$

③ 주기

i) $T_s = \frac{C_v}{2.5 C_a} = \frac{0.23}{2.5 \times 0.16} = 0.575 \text{ sec}$

ii) $T_0 = 0.2 T_s = 0.2 \times 0.575 = 0.115 \text{ sec}$

4) 구조물의 고유주기, T

① 지붕부 중량을 고려한 취수탑의 등가 콘크리트 원통형 높이, l

$$l = 27.4 + \frac{1,700}{\frac{\pi(9^2 - 7^2)}{4} \times 25} = 30.2 \text{ m}$$

② 공수위시(L.W.L)

$$T = \frac{\pi l^2}{a} \sqrt{\frac{2 \gamma_c}{3 g E} \left\{ 1 + 12 \left(\frac{a}{l} \right)^2 \right\}}$$

$$= \frac{\pi 30.2^2}{4.5} \sqrt{\frac{2 \times 25}{3 \times 9.8 \times 2.32 \times 10^7} \left\{ 1 + 12 \left(\frac{4.5}{30.2} \right)^2 \right\}} = 0.19 \text{ sec}$$

여기서, a : 수조의 외측반경(m)

γ_c : 벽체 콘크리트의 단위중량(kN/m³)

E_c : 벽체 콘크리트의 탄성계수(kN/m²)

g : 중력가속도(9.8m/sec²)

③ 만수위시(H.W.L)

$$T = \frac{\pi l^2}{a} \sqrt{\frac{2 q'}{3 g E} \left\{ 1 + 12 \left(\frac{a}{l} \right)^2 \right\}}$$

$$= \frac{\pi 30.2^2}{4.5} \sqrt{\frac{2 \times 47}{3 \times 9.8 \times 2.32 \times 10^7} \left\{ 1 + 12 \left(\frac{4.5}{30.2} \right)^2 \right\}} = 0.26 \text{ sec}$$

여기서, $q' = \gamma_c + \frac{\gamma_w a}{2 t} \cdot \frac{\tanh\left(\frac{\sqrt{3} a}{l}\right)}{\frac{\sqrt{3} a}{l}}$

$$= 25 + \frac{10 \times 4.5}{2 \times 1.0} \times \frac{\tanh\left(\frac{\sqrt{3} \times 4.5}{30.2}\right)}{\frac{\sqrt{3} \times 4.5}{30.2}} = 47.0 \text{ kN/m}^3$$

t : 수조의 측벽두께(1.0m)

γ_w : 물의 단위중량(10kN/m³)

5) 설계지진력

① 관성력에 의한 수평지진력

i) 밑면 전단력, V

$$V = \frac{C_v \cdot I}{T} \cdot W \leq 2.5 \cdot C_a \cdot I \cdot W$$

$$\frac{C_v \cdot I}{T} \cdot W = \frac{0.23 \times 1.4}{0.26} \times 19,863.1 = 24,599.7 \text{ kN}$$

$$2.5 \cdot C_a \cdot I \cdot W = 2.5 \times 0.16 \times 1.4 \times 19,863.1 = 11,123.3 \text{ kN}$$

$$\therefore V = 11,123.3 \text{ kN}$$

ii) 최상층에 작용시킬 수평지진력, F_t

$$F_t = 0.07 T V \text{ (단, } T \leq 0.7 \text{ sec인 경우, } F_t = 0)$$

$$F_t = 0 \text{ (}\because T < 0.7 \text{ sec)}$$

iii) 구조물 높이에 따라 분배시킬 수평지진력, F_x

$$F_x = \frac{(V - F_t) W_x h_x}{\sum W_x h_x} \quad (W_x, h_x : \text{각층의 중량과 높이})$$

<표 C.1.2> 구조물 높이에 따라 분배된 수평지진력, F_x

층 중량	W_x (kN)	h_x (m)	$W_x h_x$ (kN · m)	F_x (kN)	
지붕하중	1,700.0	31.40	53,380.00	189.81	
난간하중	5.5	28.40	156.20	0.56	
상관하중	782.2	27.15	21,236.73	75.51	
Gate하중	160.0	13.70	2,192.00	7.79	
벽체자중	a-a 블럭	5,654.7	4.50	25,446.15	90.48
	b-b 블럭	5,654.7	13.50	76,338.45	271.45
	c-c 블럭	5,906.0	22.70	134,066.20	476.72
Σ	19,863.1	-	312,815.73	1112.33	

② 수심별 지진시 동수압 (만수위시 고려, Bessel 함수표 이용)

i) 내부동수압 ($h_1 = 25.4m$, $a_1 = 3.5m$)

$$\frac{a_1}{h_1} = \frac{3.5}{25.4} = 0.1378$$

$$P_1(z_1) = A_h \cdot \gamma_w \cdot \pi \cdot a_1^2 \cdot I\left(\frac{z_1}{h_1}\right)$$

$$= 0.224 \times 10 \times \pi \times 3.5^2 \times I\left(\frac{z_1}{25.4}\right) = 86.205 \times I\left(\frac{z_1}{25.4}\right)$$

ii) 외부동수압 ($h_2 = 23.0m$, $a_2 = 4.5m$)

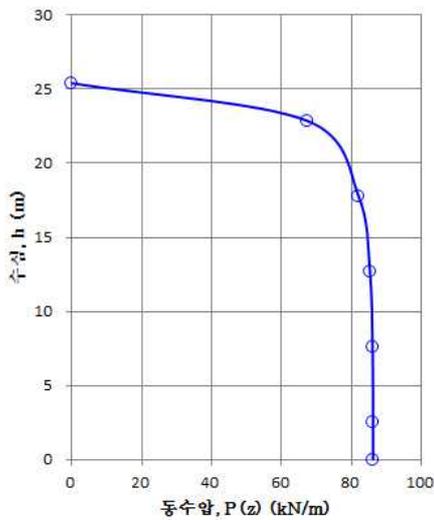
$$\frac{a_2}{h_2} = \frac{4.5}{23.0} = 0.1957$$

$$P_2(z_2) = A_h \cdot \gamma_w \cdot \pi \cdot a_2^2 \cdot K \left(\frac{z_2}{h_2} \right)$$

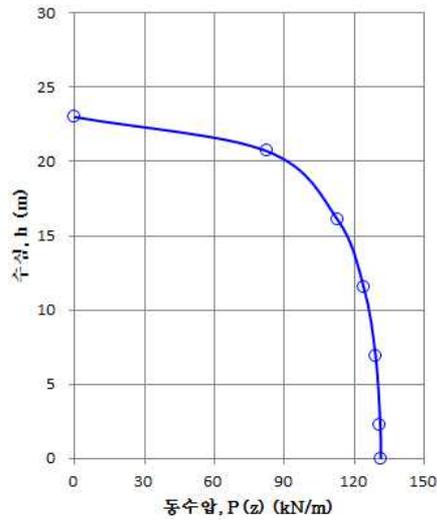
$$= 0.224 \times 10 \times \pi \times 4.5^2 \times K \left(\frac{z_2}{23.0} \right) = 142.503 \times K \left(\frac{z_2}{23.0} \right)$$

<표 C.1.3> 수심방향 동수압 분포

z/h	취수탑 내부 ($h_1 = 25.4m$)			취수탑 외부 ($h_2 = 23.0m$)		
	z_1 (m)	$I \left(\frac{z_1}{h_1} \right)$	$P_1(z_1)$ (kN/m)	z_2 (m)	$K \left(\frac{z_2}{h_2} \right)$	$P_2(z_2)$ (kN/m)
0.0	0.00	0.9994	86.153	0.00	0.9213	131.288
0.1	2.54	0.9993	86.145	2.30	0.9196	131.046
0.3	7.62	0.9974	85.981	6.90	0.9055	129.036
0.5	12.70	0.9888	85.240	11.50	0.8700	123.978
0.7	17.78	0.9510	81.981	16.10	0.7907	112.677
0.9	22.86	0.7814	67.361	20.70	0.5780	82.367
1.0	25.40	-	0.000	23.00	-	0.000



(a) 취수탑 내부



(b) 취수탑 외부

<그림 C.1.3> 수심방향 동수압 분포

다. 구조해석

1) 일반사항

- ① 취수탑의 벽체는 기초상단에서 고정지지되는 캔틸레버 보로 해석
 - ② 지진시 관성력과 동수압에 의한 횡력에 의한 정적해석 수행
 - ③ 제시된 3개 단면에서 단면력 산정(<그림 C.1.2> 참조)
 - ④ 구조해석용 프로그램의 보요소를 이용하여 선형탄성해석 수행
- 2) 구조해석 결과 : 지진하중별 단면력 산정

<표 C.1.4> 지진하중별 해석결과

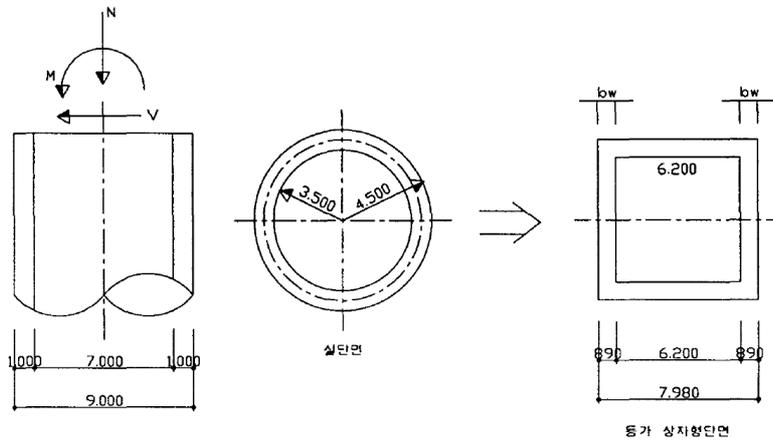
단면 번호	수평관성력 작용시		내부 동수압 작용시		외부 동수압 작용시	
	전단력 (kN)	모멘트 (kN · m)	전단력 (kN)	모멘트 (kN · m)	전단력 (kN)	모멘트 (kN · m)
a-a	11,122.73	230,251.45	1,980.67	23,087.38	2,568.44	26,154.48
b-b	10,217.94	134,218.41	1,206.07	8,749.13	1,400.41	8,323.51
c-c	7,425.72	54,806.38	446.92	1,338.86	340.97	649.88

- 3) 평가단면력 : 지진시 관성력과 동수압에 의한 단면력 조합

<표 C.1.5> 평가단면력

단면번호	전단력 (kN)	모멘트 (kN · m)
a-a	15,671.84	279,493.31
b-b	12,824.42	151,291.05
c-c	8,213.61	56,795.12

라. 단면 검토



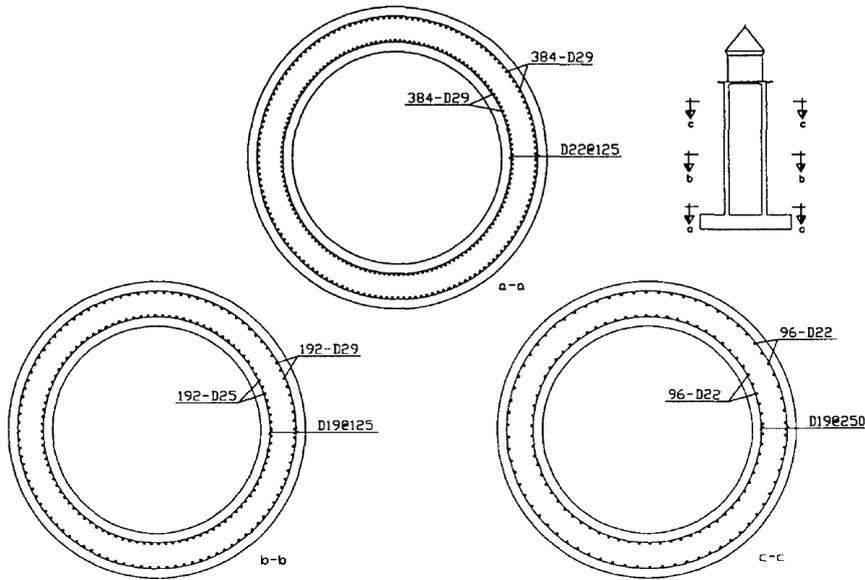
<그림 C.1.4> 원통형 단면의 등가 상자형 단면으로 변환

1) 일반사항

- ① 원통형 단면은 등가 상자형 단면으로 가정(<그림 C.1.4> 참조)
- ② 콘크리트의 등가압축응력 분포는 바닥면에 존재하는 것으로 가정
- ③ 유효높이 d 는 등가 상자형 단면의 압축단에서 인장측 철근의 도심까지의 거리로 가정
- ④ 축방향 인장철근 단면적 A_s 는 인장측 1/4 부분의 철근량 적용
- ⑤ 단면 검토는 휨강도와 전단강도를 검토

2) 단면강도 산정

- ① 취수탑 벽체 철근배근 : <그림 C.1.5> 및 <표 C.1.6> 정리



<그림 C.1.5> 취수탑 벽체 철근배근도

<표 C.1.6> 취수탑 벽체 철근배근

구분	a-a 블럭		b-b 블럭		c-c 블럭	
	외측	내측	외측	내측	외측	내측
연직철근	D29-384	D29-384	D29-192	D25-192	D22-96	D22-96
수평철근	D22@125	D22@125	D19@125	D19@125	D19@250	D19@250

② 휨강도, ϕM_n

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right), \quad \phi = 1.0 (\text{평가시}), \quad a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_{ck} b}$$

i) a-a 단면

$$A_s = D29 - 192 = 642.4 \times 192 = 123,341 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{123,341 \times 400}{0.85 \times 24 \times 7,980} = 303.06 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = 1.0 \times 123,341 \times 400 \times \left(7,535 - \frac{303.06}{2} \right)$$

$$= 3.6427383 \times 10^{11} \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$= 364,273.83 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

ii) b-b 단면

$$A_s = D29 - 48 + D25 - 48 = 642.4 \times 48 + 506.7 \times 48 = 55,157 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{55,157 \times 400}{0.85 \times 24 \times 7,980} = 135.53 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 1.0 \times 55,157 \times 400 \times \left(7,535 - \frac{135.53}{2} \right) \\ &= 1.6474811 \times 10^{11} \text{ N} \cdot \text{mm} \\ &= 164,748.11 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

iii) c-c 단면

$$A_s = D22 - 48 = 387.1 \times 48 = 18,581 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{18,581 \times 400}{0.85 \times 24 \times 7,980} = 45.66 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 1.0 \times 18,581 \times 400 \times \left(7,535 - \frac{45.66}{2} \right) \\ &= 5.583345 \times 10^{10} \text{ N} \cdot \text{mm} \\ &= 55,833.45 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

③ 전단강도, ϕV_n

$$\phi V_n = \phi (V_c + V_s), \quad \phi = 1.0, \quad V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_{ck}} b d, \quad V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$$

i) 콘크리트 단면이 부담하는 전단강도, V_c

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f_{ck}} b d = \frac{1}{6} \times \sqrt{24} \times 2 \times 890 \times 7,535 = 10,951,097 \text{ N} \\ &= 10,951.097 \text{ kN} \end{aligned}$$

ii) 전단철근이 부담하는 전단강도, V_s

㉠ a-a 단면

$$A_v = 4 - D22 @ 125 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v f_y d}{s} = \frac{4 \times 387.1 \times 400 \times 7,535}{125} = 37,335,021 \text{ N} \\ &= 37,335.021 \text{ kN} \end{aligned}$$

㉡ b-b 단면

$$A_v = 4 - D19 @ 125 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v f_y d}{s} = \frac{4 \times 286.5 \times 400 \times 7,535}{125} = 27,632,352 \text{ N} \\ &= 27,632.352 \text{ kN} \end{aligned}$$

㉔ c-c 단면

$$A_v = 4 - D19@250mm$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} = \frac{4 \times 286.5 \times 400 \times 7,535}{250} = 13,816,176 N$$

$$= 13,816.176 kN$$

3) 단면 검토결과 : <표 C.1.7> 참조

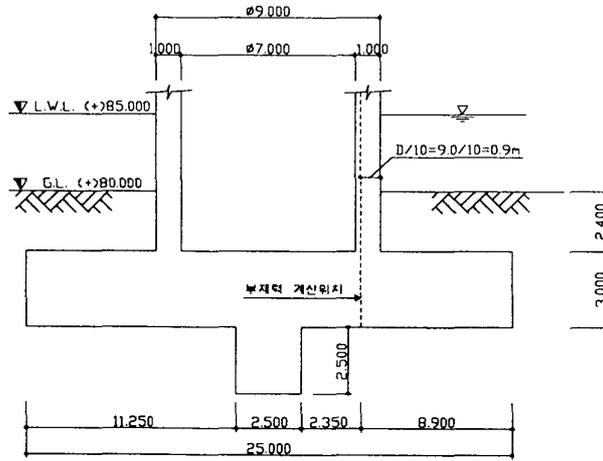
<표 C.1.7> 단면 검토결과

단면 번호	휨모멘트(kN · m)			전단력(kN)		
	ϕM_n	M_u	판정	ϕV_n	V_u	판정
a-a	364,273.83	279,493.31	O.K	48,286.19	15,671.84	O.K
b-b	164,748.11	151,291.05	O.K	38,583.45	12,824.42	O.K
c-c	55,833.45	56,795.12	N.G	24,767.27	8,213.61	O.K

마. 기초 평가

1) 기초제원

- ① 형상 : 정사각형 기초
- ② 폭 : B = 25.00m
- ③ 두께 : T = 3.00m
- ④ 단위중량 : $\gamma_c = 25kN/m^3$
- ⑤ 수위조건 : 만수위시(H.W.L.)



<그림 C.1.5> 기초 단면도

2) 기초 저면에 작용하는 하중

① 수직력(P)

i) 상부구조의 중량, P_{W1}

$$P_{W1} = \sum W_x = 19,863.10 \text{ kN}$$

ii) 상부구조의 양압력, P_{B1}

$$P_{B1} = V_{cs} \cdot \gamma_w = \pi \times 4.5^2 \times 25.4 \times 10 = 16,158.78 \text{ kN}$$

여기서, V_{cs} : 물에 잠긴 수조의 체적, γ_w : 물의 단위중량

iii) 기초의 중량, P_{W2}

$$P_{W2} = V_f \cdot \gamma_c = 25.0^2 \times 3.0 \times 25 = 46,875.00 \text{ kN}$$

여기서, V_f : 기초의 체적

iv) 취수탑 내부 물의 중량, P_{W3}

$$P_{W3} = \pi \times 3.5^2 \times 25.4 \times 10 = 9,775.07 \text{ kN}$$

v) 기초 상단 흙의 중량, P_{W4}

$$P_{W4} = \left(A_f - \frac{\pi \cdot d_o^2}{4} \right) h_s \cdot \gamma_s' = \left(25.0^2 - \frac{\pi \times 9.0^2}{4} \right) \times 2.4 \times 8.0$$

$$= 10,778.55 \text{ kN}$$

여기서, A_f : 기초의 저면적, h_s : 기초 상단 토층의 높이,

d_o : 취수탑의 외경, γ_s' : 흙의 수중단위중량(= $\gamma_s - \gamma_w$)

vi) 기초의 양압력, P_{B2}

$$P_6 = 25.0^2 \times 3.0 \times 10 = 18,750.00 \text{ kN}$$

vii) 총 수직력, P

$$\begin{aligned} P &= \sum_{i=1}^4 P_{Wi} - \sum_{i=1}^2 P_{Bi} \\ &= 19,863 + 46,875 + 9,775 + 10,779 - (16,159 + 18,750) \\ &= 87,292 - 34,909 = 52,383 \text{ kN} \end{aligned}$$

② 지진에 의한 수평력(F)

i) 지진하중에 의한 상부구조 하면의 전단력, V_u

$$V_u = 15,671.84 \text{ kN}$$

ii) 기초의 관성력, F_2

$$F_1 = A_h \cdot P_{W2} = 0.224 \times 46,875 = 10,500 \text{ kN}$$

iii) 기초 상단 흙의 관성력, F_3

$$F_2 = A_h \cdot P_{W4} = 0.224 \times 10,779 = 2,414 \text{ kN}$$

iv) 총 수평력, F

$$\begin{aligned} F &= V_u + \sum_{i=1}^2 F_i = 15,672 + 10,500 + 2,414 \\ &= 28,586 \text{ kN} \end{aligned}$$

③ 지진에 의한 모멘트(M)

$$\begin{aligned} M &= V_u \cdot z_u + \sum_{i=1}^2 F_i \cdot z_i + M_u \\ &= 15,671.84 \times 3.0 + 10,500 \times 1.5 + 2,414 \times 4.2 + 279,493.31 \\ &= 352,397.63 \text{ kN} \end{aligned}$$

3) 기초 지반 반력 산정

① 기초저면에 작용하는 하중

$$P = 52,383 \text{ kN}$$

$$F = 28,586 \text{ kN}$$

$$M = 352,398 \text{ kN} \cdot m$$

② 기초 지반 반력

$$q_u = \frac{P}{B^2} \pm \frac{6M}{B^3} = \frac{52,383}{25^2} \pm \frac{6 \times 352,398}{25^3}$$

$$= 219.13, -51.51 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{\max} = 219.13 \text{ kN/m}^2 = 0.219 \text{ MPa}$$

$$q_{\min} = -51.51 \text{ kN/m}^2 = -0.052 \text{ MPa}$$

4) 단면 검토

휨강도는 원형단면의 외면으로부터 탑 외측지름의 1/10만큼 내측으로 들어온 위치의 부재력으로 검토

① 부재력

$$M_u = 4,983.63 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_u = 754.11 \text{ kN}$$

② 휨강도 검토

i) 휨철근량, A_s

$$A_s = 10 - D29 = 10 \times 642.4 = 6,424 \text{ mm}^2$$

ii) 휨강도, ϕM_n

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 1.0 \times 6,424 \times 400 \times \left(2,900 - \frac{125.96}{2} \right)$$

$$= 7,290.01 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

여기서, $\phi = 1.0$ (지진시),

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_{ck} b} = \frac{6,424 \times 400}{0.85 \times 24 \times 1,000} = 125.96 \text{ mm}$$

iii) 휨단면 검토

$$\phi M_n = 7,290.01 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_u = 4,983.63 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$\therefore \phi M_n \geq M_u$ 이므로 **O.K**

③ 전단강도 검토

i) 콘크리트 전단강도, ϕV_c

$$\begin{aligned}\phi V_c &= \phi(\phi 0.53 \sqrt{f_{ck}} bd) \\ &= 1.0 \times (0.80 \times 0.53 \times \sqrt{24} \times 1,000 \times 2,900) \\ &= 1,904.89 \text{ kN}\end{aligned}$$

ii) 전단 검토

$$\phi V_c = 1,904.89 \text{ kN}$$

$$V_u = 754.11 \text{ kN}$$

$\therefore \phi V_c \geq V_u$ 이므로 **O.K**

5) 안전성 검토

① 활동에 대한 안정

i) 활동하려는 힘 $H = 28,586 \text{ kN}$

ii) 저항하려는 힘 $H_r = 32,862 \text{ kN}$

iii) S.F = $\frac{32,862}{28,586} = 1.15 < 1.20$ 이므로 **N.G**

② 전도에 대한 안정

i) 전도 모멘트 $M_o = 352,398 \text{ kN} \cdot \text{m}$

ii) 저항 모멘트 $M_r = P \times \frac{B}{2} = 52,383 \times 12.5 = 654,787 \text{ kN} \cdot \text{m}$

iii) S.F = $\frac{654,787}{352,398} = 1.86 > 1.50$ 이므로 **O.K**

③ 침하에 대한 안정

i) 극한 지지력 $q_u = 0.219 \text{ MPa}$

ii) 허용 지지력 $q_a = 0.450 \text{ MPa}$

iii) S.F = $\frac{0.450}{0.219} = 2.05 > 1.00$ 이므로 **O.K**

C.2 취수터널의 내진성능 평가방법 타당성 검토

C.2.1 적용 기준

「도시철도내진설계기준(국토해양부, 2009)」, 「도로교설계기준(한국도로교통협회, 2010)」 및 「콘크리트구조설계기준(건설교통부, 2007)」를 참고하여 취수터널의 내진성능 평가방법의 타당성을 검토하였다.

C.2.2 내진성능 평가방법

토목구조물 중 지중에 매설된 관로나 지하에 건설된 구조물은 종방향으로 동일한 패턴이 반복·지속되는 구조물로 평면 해석이 가능하며, 구조물의 단위체중량이 주변지반과 비교해서 상대적으로 작기 때문에 지진시 구조물의 거동은 독자적으로 진동하기 보다는 주변지반의 거동에 지배된다. 따라서 이와 같은 지중구조물의 지진해석방법은 설계기준에서 규정한 바와 같이 응답변위법에 의한 내진해석을 수행하는 것이 바람직할 것이다. 응답변위법은 구조물과 지반의 접촉면이 완전부착상태라는 가정에 기초하여 기반면으로부터 발생된 지반운동으로 인하여 지중구조물에 발생된 가상의 변위와 주면전단력을 이용하여 내진해석을 수행하는 방법이다.

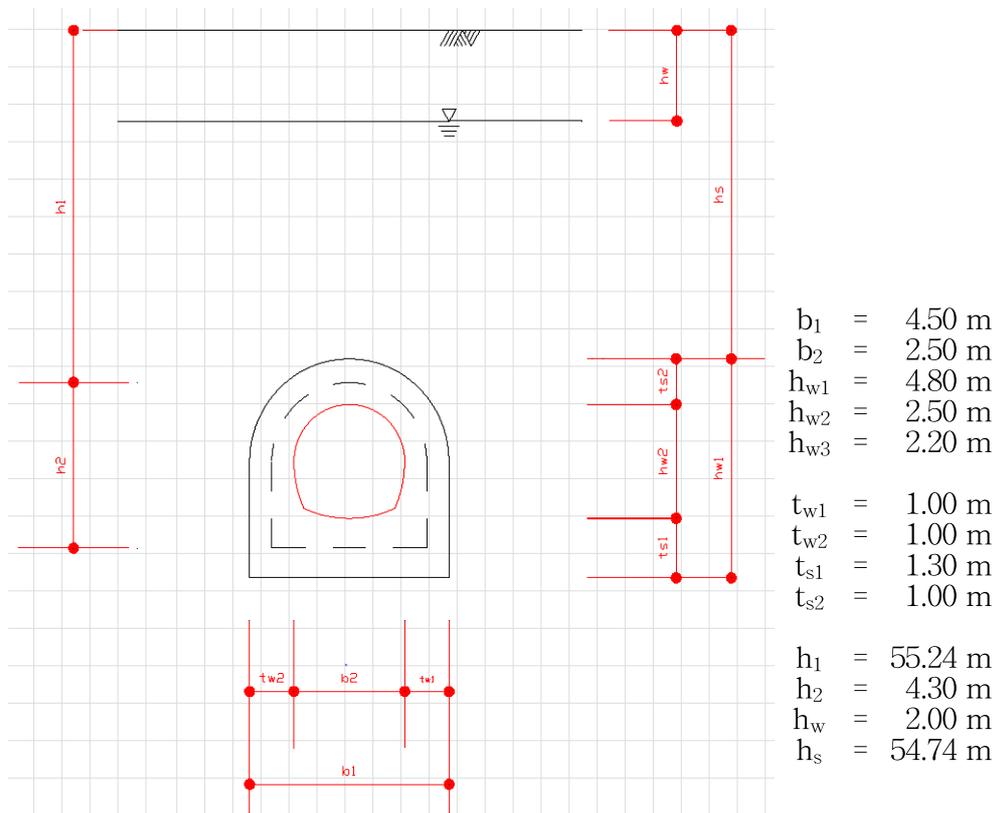
취수터널의 내진성능 평가방법은 다음과 같다.

- ① 내진성능목표 : 체체의 내진성능목표를 따른다.
- ② 내진성능수준 : 기존 시설물의 내진성능평가임을 감안하여 붕괴방지 수준만을 적용한다.
- ③ 수평지반운동 : 수평지반운동은 구조물 밑면에 작용하는 운동으로 정의하며, 기반암과 구조물 사이에 토사가 존재하는 경우 지반증폭 효과를 고려한 지반운동을 적용할 수 있다.
- ④ 수직지반운동 : 수직방향 성분의 지반운동은 무시하여도 무방하다. 다만, 수직방향 성분의 지반운동에 의한 영향이 예상되는 경우에는 수평방향 성분의 1/2 세기로 가정하여 적용할 수 있다.
- ⑤ 구성재료의 거동 : 탄성거동 한계 내에 있도록 ‘댐설계기준(2011)’에 규정하고 있으므로 원칙적으로 선형해석방법을 적용하며, 필요한 경

우 비선형거동의 영향을 고려할 수 있다.

- ⑥ 지진해석방법 : 부재의 평가지진력 산정을 위한 지진해석방법은 응답면위법을 적용한다. 다만 진보된 평가를 원할 경우, 응답스펙트럼 해석법과 동적해석법을 적용할 수 있다.
- ⑦ 해석모델 : 해석모델은 2차원 보요소를 기본으로 하며, 구조특성을 고려하여 평면요소를 적용할 수 있다. 또한 구조물과 지반의 접촉면이 완전부착상태라 가정하여 지반반력계수를 적용한다.
- ⑧ 하중계수 및 하중조합 : 하중은 구조물의 특성에 맞게 고정하중 및 지진하중(지진시 토압 포함)을 고려하여 ‘콘크리트구조설계기준(2007)’에 제시된 하중계수 및 하중조합을 적용한다.
- ⑨ 내진성능 평가방법 : 극한하중인 붕괴방지수준의 지진하중을 적용하였으므로 강도설계법에 따라 부재의 단면력을 검토한다.

C.2.3 내진성능 평가예제



<그림 C.2.1> 취수터널 구조형상

취수터널(복통)의 내진성능평가 예제는 **지진구역 I**에 건설된 내진 I 등급 저수지의 부속시설로서, <그림 C.2.1>에 보인 바와 같이 연암 상부 (S_C)에 건설된 마제형 콘크리트 수로암거($2R=2.5m$) 구조물이다. 취수터널의 내진등급은 저수지 제체의 내진등급을 따르는 것이 합당하다고 판단되어 「도로교설계기준」의 **내진Ⅱ등급**(500년 재현주기, 저수지 제체의 내진 I 등급과 동일한 재현주기 임)으로 분류하였으며, 성능수준도 「도로교설계기준」을 적용하여 **붕괴방지수준**만을 고려하였다.

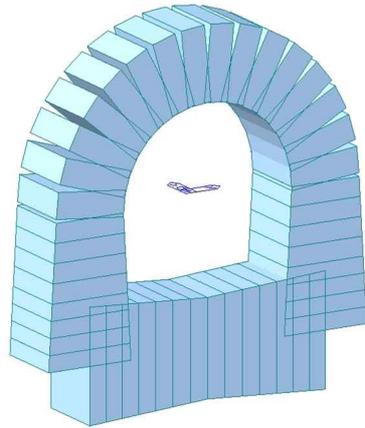
가. 구조형식

- 1) 형식 : 마제형 콘크리트 수로암거
- 2) 규격 : $2R=2.5m$

나. 재료 물성 및 지반 조건

- 1) 콘크리트
 - ① 설계강도 : $f_{ck} = 27MPa$
 - ② 탄성계수 : $E_c = 25,500MPa$
 - ③ 포와송비 : $\mu = 0.17$
 - ④ 단위중량 : $\gamma_c = 25kN/m^3$ (철근콘크리트)
 $\gamma_{c_0} = 23kN/m^3$ (무근콘크리트)
- 2) 철근
 - ① 종류 : SD400 이형철근
 - ② 항복강도 : $f_y = 400MPa$
 - ③ 탄성계수 : $E_s = 2.04 \times 10^5 MPa$
- 3) 지반조건
 - ① 흙의 내부마찰각 : $\phi = 30^\circ$
 - ② 정지토압계수 : $K_o = 1 - \sin\phi = 0.5$
 - ③ 채움 토사 단위중량 : $\gamma_t = 20kN/m^3$
 - ④ 채움 토사 수중단위중량 : $\gamma_{sub} = 10kN/m^3$
 - ⑤ 지지 지반 표준관입시험값 : $N=50$

다. 해석모델



<그림 C.2.2> 취수터널 해석모델

- 1) 폭 : $B = 1.00\text{m}$ (단위폭 적용)
- 2) 두께 t
 - ① 하부슬래브(단부) : $t_{s1} = 1.5214\text{m}$
 - ② 하부슬래브(중앙부) : $t_{s2} = 1.30\text{m}$
 - ③ 측벽(하단부) : $t_{w1} = 1.30\text{m}$
 - ④ 측벽(중앙부) : $t_{w2} = 1.00\text{m}$
 - ⑤ 상부슬래브(천정부) : $t_{s3} = 1.00\text{m}$

라. 지반반력계수

- 1) 지반탄성계수

- ① 초기 전단파속도 $v_0 = 80 N^{\frac{1}{3}}$
 - i) 상부슬래브, 측벽 : $v_0 = 80 \times 20^{\frac{1}{3}} = 217.2\text{m/sec}$
 - ii) 하부슬래브 : $v_0 = 80 \times 50^{\frac{1}{3}} = 294.7\text{m/sec}$
- ② 지진시 전단파속도 $v_s = \frac{1}{2} v_0$
 - i) 상부슬래브, 측벽 : $v_s = \frac{1}{2} \times 217.2 = 108.6\text{m/sec}$
 - ii) 하부슬래브 : $v_s = \frac{1}{2} \times 294.7 = 147.4\text{m/sec}$

③ 전단탄성계수 $G_d = \frac{\gamma_t}{g} \times v_s^2$

i) 상부슬래브, 축벽 : $G_d = \frac{20}{9.8} \times 108.6^2 = 24,069 \text{ kN/m}^2$

ii) 하부슬래브 : $G_d = \frac{20}{9.8} \times 147.4^2 = 44,340 \text{ kN/m}^2$

④ 탄성계수 $E_d = 2(1+\nu)G_d$

i) 상부슬래브, 축벽 : $E_d = 2 \times (1+0.3) \times 24,069 = 62,579 \text{ kN/m}^2$

ii) 하부슬래브 : $E_d = 2 \times (1+0.3) \times 44,340 = 115,284 \text{ kN/m}^2$

2) 지반반력계수

① 상부슬래브

i) 수평방향 지반반력계수

$$B_V = \sqrt{B \times B} = \sqrt{4.5 \times 4.5} = 4.5 \text{ m}$$

$$K_{T0} = \frac{1}{0.3} \alpha E_d = \frac{1}{0.3} \times 2 \times 62,579 = 417,193 \text{ kN/m}^2$$

$$K_T = K_{T0} \times \left(\frac{B_V}{0.3}\right)^{-\frac{3}{4}} = 417,193 \times \left(\frac{4.5}{0.3}\right)^{-\frac{3}{4}} = 54,735 \text{ kN/m}^3$$

ii) 전단 지반반력계수

$$K_{ST} = \lambda \cdot K_T = \frac{1}{3} \times 54,735 = 18,245 \text{ kN/m}^2$$

② 축벽

i) 수평방향 지반반력계수

$$B_H = \sqrt{B \times B} = \sqrt{4.8 \times 4.8} = 4.8 \text{ m}$$

$$K_{H0} = \frac{1}{0.3} \alpha E_d = \frac{1}{0.3} \times 2 \times 62,579 = 417,193 \text{ kN/m}^2$$

$$K_H = K_{H0} \times \left(\frac{B_H}{0.3}\right)^{-\frac{3}{4}} = 417,193 \times \left(\frac{4.8}{0.3}\right)^{-\frac{3}{4}} = 52,149 \text{ kN/m}^3$$

ii) 전단 지반반력계수

$$K_{SS} = \lambda \cdot K_H = \frac{1}{3} \times 52,149 = 17,383 \text{ kN/m}^2$$

③ 하부슬래브

i) 수평방향 지반반력계수

$$B_V = \sqrt{B \times B} = \sqrt{4.5 \times 4.5} = 4.5 \text{ m}$$

$$K_{V0} = \frac{1}{0.3} \alpha E_d = \frac{1}{0.3} \times 2 \times 115,284 = 768,560 \text{ kN/m}^2$$

$$K_V = K_{V0} \times \left(\frac{B_V}{0.3}\right)^{-\frac{3}{4}} = 768,560 \times \left(\frac{4.5}{0.3}\right)^{-\frac{3}{4}} = 100,835 \text{ kN/m}^3$$

ii) 전단 지반반력계수

$$K_{SB} = \lambda \cdot K_V = \frac{1}{3} \times 100,835 = 33,612 \text{ kN/m}^2$$

마. 지진계수

1) 지반분류 : <표 A.3.3> 참조

연암(N=50) 상부에 위치하므로 지반종류는 S_C로 분류

2) 지진계수 : 지진구역 I, 지반종류 S_C

① C_a = 0.13 (<표 A.3.5> 참조)

② C_v = 0.18 (<표 A.3.6> 참조)

3) 지표면 수평가속도계수, A_h

① 위험도 계수, I = 1.0 (재현주기 500년, <표 A.3.2> 참조)

② 지표면 수평가속도계수, A_h = I · C_a = 1.4 × 0.16 = 0.224g

바. 지진하중

1) 표층지반의 고유주기 산정

$$T_G' = \sum_{i=1}^N \frac{4 H_i}{V_{si}}, \quad V_{si} = 80 N^{\frac{1}{3}}$$

지반종류	두께, H _i (m)	N	V _{si} (m/sec)	T _G '
매립층	10.19	20	217.2	0.188
연암층	5.60	50	294.7	0.076
Σ	15.79			0.264

2) 고유주기 T_G

$$T_G = 1.25 T_G' = 1.25 \times 0.264 = 0.330 \text{ sec}$$

3) 통제주기 T_S, T₀

$$T_S = \frac{C_v}{2.5 C_a} = \frac{0.18}{2.5 \times 0.13} = 0.554 \text{ sec}$$

$$T_0 = 0.2 T_S = 0.2 \times 0.554 = 0.111 \text{ sec}$$

4) 감쇠율에 대한 보정계수 C_d

$$C_d = \frac{1.5}{40h + 1} + 0.5 = \frac{1.5}{40 \times 0.2 + 1} + 0.5 = 0.667$$

여기서, 붕괴방지수준에서 $h=0.2$ 이다.

5) 가속도 응답스펙트럼 S_a

$$- 0 \leq T_G < T_0 \text{ 일 때, } S_a = \left(C_a + \frac{2.5 C_a - C_a}{T_0} T_G \right) \cdot g \cdot I \cdot C_d$$

$$- T_0 \leq T_G < T_S \text{ 일 때, } S_a = 2.5 C_a \cdot g \cdot I \cdot C_d$$

$$- T_S \leq T_G \text{ 일 때, } S_a = C_a \cdot g \cdot I \cdot C_d$$

$\therefore T_0 (=0.111\text{sec}) \leq T_G (=0.330\text{sec}) < T_S (=0.554\text{sec})$ 이므로

$$S_a = 2.5 C_a \cdot g \cdot I \cdot C_d = 2.5 \times 0.13 \times 9.8 \times 1.0 \times 0.667 = 2.123$$

6) 속도 응답스펙트럼 S_v

$$S_v = \frac{T_G}{2\pi} S_a = \frac{0.330}{2\pi} \times 2.123 = 0.112$$

7) 측벽에 작용하는 지반변위하중

$$- \text{지반변위 : } U_h(z_i) = \frac{2}{\pi^2} S_v \cdot T_G \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot z_i}{2H}\right)$$

$$- \text{수평토압 : } P(z_i) = K_H \times [U_h(z_i) - U_h(H)]$$

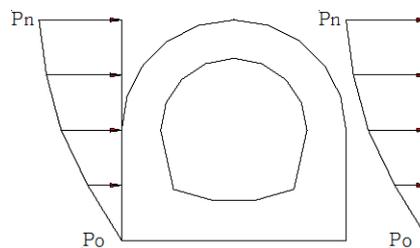
- 기반암 심도 $H = 55.240\text{m}$

구 분	z_i (m)	$U_h(z_i)$ (m)	$U_h(z_i) - U_h(H)$ (m)	$P(z_i)$ (kN/m ²)
상부슬래브	50.440	0.0010	0.0010	55.570
하부슬래브	55.240	0.0000	0.0000	0.000

- 하중재하도

$$P_n = 55.570 \text{ kN/m}^2$$

$$P_0 = 0.000 \text{ kN/m}^2$$



8) 주면전단력

$$\begin{aligned}
 -\tau_u &= \frac{G_d}{\pi H} S_v \cdot T_G \cdot \sin\left(\pi \cdot \frac{z_u}{2H}\right) \\
 &= \frac{24,069}{\pi \times 55.240} \times 0.112 \times 0.330 \times \sin\left(\pi \times \frac{50.440}{2 \times 55.240}\right) = 5.059 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 -\tau_b &= \frac{G_d}{\pi H} S_v \cdot T_G \cdot \sin\left(\pi \cdot \frac{z_b}{2H}\right) \\
 &= \frac{44,340}{\pi \times 55.240} \times 0.112 \times 0.330 \times \sin\left(\pi \times \frac{55.240}{2 \times 55.240}\right) = 9.408 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

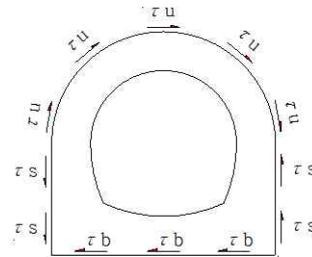
$$-\tau_s = \frac{\tau_u + \tau_b}{2} = \frac{5.059 + 9.408}{2} = 7.233 \text{ kN/m}^2$$

- 하중재하도

$$\tau_u = 5.059 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_b = 9.408 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_s = 7.233 \text{ kN/m}^2$$



9) 관성력

$$f_i = A_i \cdot \gamma_t \cdot K_h$$

① 상부슬래브 $f_u = 1.000 \times 25 \times 0.13 = 3.250 \text{ kN/m}^2$

② 하부슬래브 $f_b = 1.300 \times 25 \times 0.13 = 4.225 \text{ kN/m}^2$

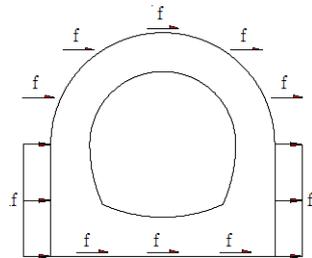
③ 측벽 $f_s = 1.000 \times 25 \times 0.13 = 3.250 \text{ kN/m}^2$

④ 하중재하도

상부슬래브 $f_u = 3.250 \text{ kN/m}^2$

하부슬래브 $f_b = 4.225 \text{ kN/m}^2$

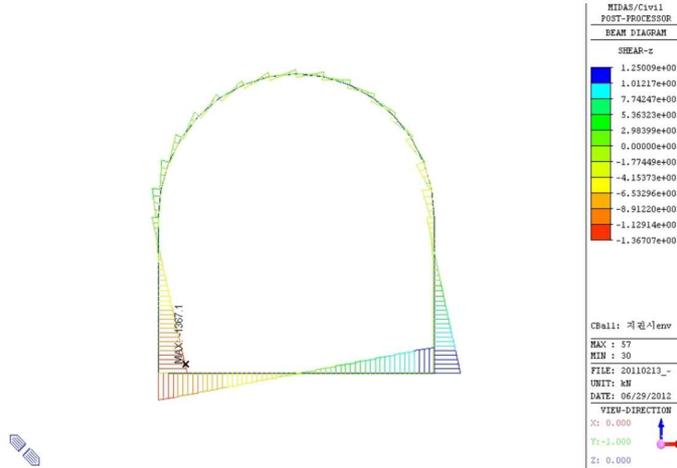
측벽 $f_s = 3.250 \text{ kN/m}^2$



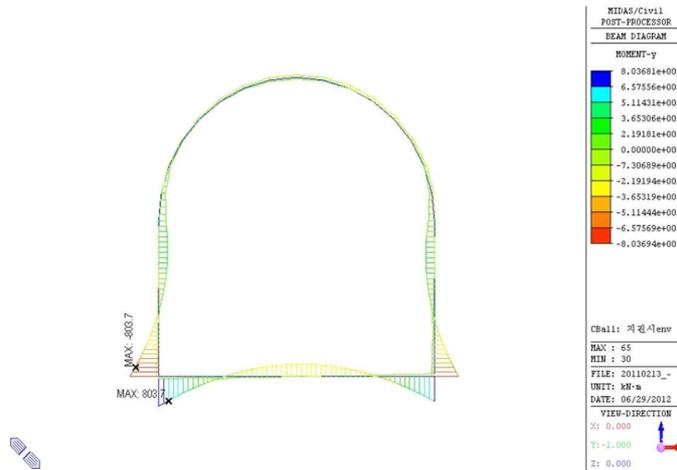
사. 지진 해석결과

<표 C.2.1> 취수터널의 부재력 집계

부재위치		전단력, V_u (kN)	모멘트, M_u (kN · m)	비 고
상부슬래브(천정부)		201.00	81.00	
측벽	상부	361.00	250.80	
	하부	690.00	803.70	
하부 슬래브	단부	1,230.40	803.70	
	중양	194.20	326.00	



(a) 전단력도



(b) 모멘트도

<그림 C.2.3> 취수터널 부재력도

아. 단면검토

1) 설계강도 및 강도감소계수

① 설계강도

$$f_{ck} = 27 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

② 강도감소계수

$$\phi_f = \phi_v = 1.00 \text{ (기존 구조물의 평가시 강도감소는 고려하지 않음)}$$

2) 하부슬래브 - 단부

① 단면제원 및 부재력

$$B = 1,000 \text{ mm}, H = 1,500 \text{ mm}, \text{피복두께} = 100 \text{ mm}, d = 1,400 \text{ mm}$$

$$\text{휨철근 } A_s = 4,118 \text{ mm}^2 \text{ (1단 : H29-4EA, H22-4EA)}$$

$$\text{전단철근 } A_v = 1,146 \text{ mm}^2 \text{ (H19-4EA/m, s=250mm)}$$

$$M_u = 803.70 \text{ kN-m}$$

$$V_u = 1,230.40 \text{ kN}$$

② 휨에 대한 검토

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_{ck} b} = \frac{4,118 \times 400}{0.85 \times 27 \times 1,000} = 71.773 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \phi_f M_n &= \phi_f A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 1.00 \times 4,118 \times 400 \times \left(1,400 - \frac{71.773}{2} \right) \\ &= 2,246.97 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$\frac{\phi_f M_n}{M_u} = \frac{2,246.97}{803.70} = 2.796 \geq 1.000 \quad \therefore \text{O.K}$$

③ 전단에 대한 검토(d=1,225mm, 마제형 단면 형태 고려)

$$\phi_v V_c = \phi_v \frac{1}{6} \sqrt{f_{ck}} b d = 1.00 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{27} \times 1,000 \times 1,225 = 1,060.88 \text{ kN}$$

$$\phi_v V_s = \phi_v A_v f_y \frac{d}{s b} = 1.00 \times 1,146 \times 400 \times \frac{1,225}{250 \times 1,000} = 2,246.16 \text{ kN}$$

$$\phi_v V_n = \phi_v V_c + \phi_v V_s = 1,060.88 + 2,246.16 = 3,307.04 \text{ kN}$$

$$\frac{\phi_v V_n}{V_u} = \frac{3,307.04}{1,230.40} = 2.688 \geq 1.000 \quad \therefore \text{O.K}$$

3) 하부슬래브 - 중앙

① 단면제원 및 부재력

$$B = 1,000 \text{ mm}, H = 1,300 \text{ mm}, \text{피복두께} = 100 \text{ mm}, d = 1,200 \text{ mm}$$

$$\text{휨철근 } A_s = 3,575 \text{ mm}^2 (\text{1단 : H25-4EA, H22-4EA})$$

$$M_u = 326.00 \text{ kN-m}$$

$$V_u = 194.20 \text{ kN}$$

② 휨에 대한 검토

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_{ck} b} = \frac{3,575 \times 400}{0.85 \times 27 \times 1,000} = 62.313 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \phi_f M_n &= \phi_f A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 1.00 \times 3,575 \times 400 \times \left(1,200 - \frac{62.313}{2} \right) \\ &= 1,671.45 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$\frac{\phi_f M_n}{M_u} = \frac{1,671.45}{326.00} = 5.127 \geq 1.000 \quad \therefore \text{O.K}$$

③ 전단에 대한 검토

$$\phi_v V_c = \phi_v \frac{1}{6} \sqrt{f_{ck}} b d = 1.00 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{27} \times 1,000 \times 1,200 = 1,039.23 \text{ kN}$$

$$\phi_v V_n = \phi_v V_c = 1,039.23 \text{ kN} (\text{전단철근 검토 불필요})$$

$$\frac{\phi_v V_n}{V_u} = \frac{1,039.23}{194.20} = 5.351 \geq 1.000 \quad \therefore \text{O.K}$$

4) 상부슬래브(천정부)

① 단면제원 및 부재력

$$B = 1,000 \text{ mm}, H = 1,000 \text{ mm}, \text{피복두께} = 100 \text{ mm}, d = 900 \text{ mm}$$

$$\text{휨인장철근 } A_s = 1,146 \text{ mm}^2 (\text{1단 : H19-4EA, 인장중심} = 100 \text{ mm})$$

$$\text{휨압축철근 } A_s = 794.4 \text{ mm}^2 (\text{1단 : H16-4EA, 압축중심} = 100 \text{ mm})$$

$$P_u = 2,859.53 \text{ kN}$$

$$M_u = 81.00 \text{ kN-m}$$

$$V_u = 201.00 \text{ kN}$$

② 축방향력 및 휨에 대한 검토

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{81.00}{2,859.53} = 0.0283 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
\max P_n &= 0.8 [0.85 f_{ck} (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \\
&= 0.8 \times [0.85 \times 27 \times (1,000,000 - 1,146) + 400 \times 1,146] \\
&= 18,705.68 \text{ kN} \\
\phi_f P_n &= \phi_f \max P_n = 1.00 \times 18,705.68 = 18,705.68 \text{ kN} \\
\phi_f M_n &= \phi_f P_n \times e = 1.00 \times 18,705.68 \times 0.0283 = 529.37 \text{ kN} - \text{m} \\
\frac{\phi_f M_n}{M_u} &= \frac{529.37}{81.00} = 6.535 \geq 1.000 \quad \therefore \text{O.K}
\end{aligned}$$

③ 전단에 대한 검토

$$\begin{aligned}
\phi_v V_c &= \phi_v \frac{1}{6} \left(1 + \frac{1}{14} \frac{P_u}{A_g} \right) \sqrt{f_{ck}} b d \\
&= 1.00 \times \frac{1}{6} \times \left(1 + \frac{1}{14} \frac{2,859.53}{1,000,000} \right) \times \sqrt{27} \times 1,000 \times 900 \\
&= 779.58 \text{ kN} \\
\phi_v V_n &= \phi_v V_c = 779.58 \text{ kN (전단철근 검토 불필요)} \\
\frac{\phi_v V_n}{V_u} &= \frac{779.58}{201.00} = 3.879 \geq 1.000 \quad \therefore \text{O.K}
\end{aligned}$$

5) 축벽 - 상부

① 단면제원 및 부재력

$$\begin{aligned}
B &= 1,000 \text{ mm}, H = 1,100 \text{ mm}, \text{피복두께} = 100 \text{ mm}, d = 1,000 \text{ mm} \\
\text{휨인장철근 } A_s &= 1,146 \text{ mm}^2 \text{ (1단 : H19-4EA, 인장중심} = 100 \text{ mm)} \\
\text{휨압축철근 } A_s &= 1,146 \text{ mm}^2 \text{ (1단 : H19-4EA, 압축중심} = 100 \text{ mm)} \\
P_u &= 2,795.22 \text{ kN} \\
M_u &= 250.80 \text{ kN} - \text{m} \\
V_u &= 361.00 \text{ kN}
\end{aligned}$$

② 축방향력 및 휨에 대한 검토

$$\begin{aligned}
e &= \frac{M_u}{P_u} = \frac{250.80}{2,795.22} = 0.0897 \text{ m} \\
\max P_n &= 0.8 [0.85 f_{ck} (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \\
&= 0.8 \times [0.85 \times 27 \times (1,100,000 - 1,146) + 400 \times 1,146] \\
&= 20,541.68 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\phi_f P_n = \phi_f \max P_n = 1.00 \times 20,541.68 = 20,541.68 \text{ kN}$$

$$\phi_f M_n = \phi_f P_n \times e = 1.00 \times 20,541.68 \times 0.0897 = 1,842.59 \text{ kN-m}$$

$$\frac{\phi_f M_n}{M_u} = \frac{1,842.59}{250.80} = 7.347 \geq 1.000 \quad \therefore \text{O.K}$$

③ 전단에 대한 검토

$$\begin{aligned} \phi_v V_c &= \phi_v \frac{1}{6} \left(1 + \frac{1}{14} \frac{P_u}{A_g} \right) \sqrt{f_{ck}} b d \\ &= 1.00 \times \frac{1}{6} \times \left(1 + \frac{1}{14} \frac{2,795.22}{1,100,000} \right) \times \sqrt{27} \times 1,000 \times 1,000 \\ &= 866.18 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi_v V_n = \phi_v V_c = 866.18 \text{ kN (전단철근 검토 불필요)}$$

$$\frac{\phi_v V_n}{V_u} = \frac{866.18}{361.00} = 2.399 \geq 1.000 \quad \therefore \text{O.K}$$

6) 축벽 - 하부

① 단면제원 및 부재력

$$B = 1,000 \text{ mm}, H = 1,200 \text{ mm}, \text{피복두께} = 100 \text{ mm}, d = 1,100 \text{ mm}$$

$$\text{휨인장철근 } A_s = 1,146 \text{ mm}^2 \text{ (1단 : H19-4EA, 인장중심} = 100 \text{ mm)}$$

$$\text{휨압축철근 } A_s = 1,146 \text{ mm}^2 \text{ (1단 : H19-4EA, 압축중심} = 100 \text{ mm)}$$

$$P_u = 2,825.24 \text{ kN}$$

$$M_u = 803.70 \text{ kN-m}$$

$$V_u = 690.00 \text{ kN}$$

② 축방향력 및 휨에 대한 검토

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{803.70}{2,825.24} = 0.2845 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \max P_n &= 0.8 [0.85 f_{ck} (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \\ &= 0.8 \times [0.85 \times 27 \times (1,200,000 - 1,146) + 400 \times 1,146] \\ &= 22,377.68 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi_f P_n = \phi_f \max P_n = 1.00 \times 22,377.68 = 22,377.68 \text{ kN}$$

$$\phi_f M_n = \phi_f P_n \times e = 1.00 \times 22,377.68 \times 0.2845 = 6,366.45 \text{ kN-m}$$

$$\frac{\phi_f M_n}{M_u} = \frac{6,366.45}{803.70} = 7.921 \geq 1.000 \quad \therefore \text{O.K}$$

③ 전단에 대한 검토

$$\begin{aligned}\phi_v V_c &= \phi_v \frac{1}{6} \left(1 + \frac{1}{14} \frac{P_u}{A_g} \right) \sqrt{f_{ck}} b d \\ &= 1.00 \times \frac{1}{6} \times \left(1 + \frac{1}{14} \frac{2,825.24}{1,200,000} \right) \times \sqrt{27} \times 1,000 \times 1,100 \\ &= 908.48 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\phi_v V_n = \phi_v V_c = 908.48 \text{ kN (전단철근 검토 불필요)}$$

$$\frac{\phi_v V_n}{V_u} = \frac{908.48}{690.00} = 1.317 \geq 1.000 \quad \therefore \text{O.K}$$

자. 기초 지지력 검토(상시하중으로 검토)

1) 최대 지반 반력(지하수위 미고려)

$$\textcircled{1} \text{ 구체자중 : } 356.098 / 4.50 = 79.13 \text{ kN/m}^2$$

$$\textcircled{2} \text{ 연직하중 : } 2,553.300 / 4.50 = 567.40 \text{ kN/m}^2$$

$$\textcircled{3} \text{ 최대 지반 반력 : 구체자중 + 연직하중 = } 646.53 \text{ kN/m}^2$$

2) 허용지지력

$$Q_a = 1,000.00 \text{ kN/m}^2 \text{ (토질조사보고서 적용)}$$

3) 지지력 검토

$$\frac{Q_a}{Q_{\max}} = \frac{1,000.00}{646.53} = 1.547 \geq 1.000 \quad \therefore \text{O.K}$$

C.3 여수토·방수로의 내진성능 평가방법 타당성 검토

C.3.1 적용 기준

「도로교설계기준(한국도로교통협회, 2010)」과 「콘크리트구조설계기준(건설교통부, 2007)」를 참고하여 여수토·방수로의 내진성능 평가방법의 타당성을 검토하였다.

C.3.2 내진성능 평가방법

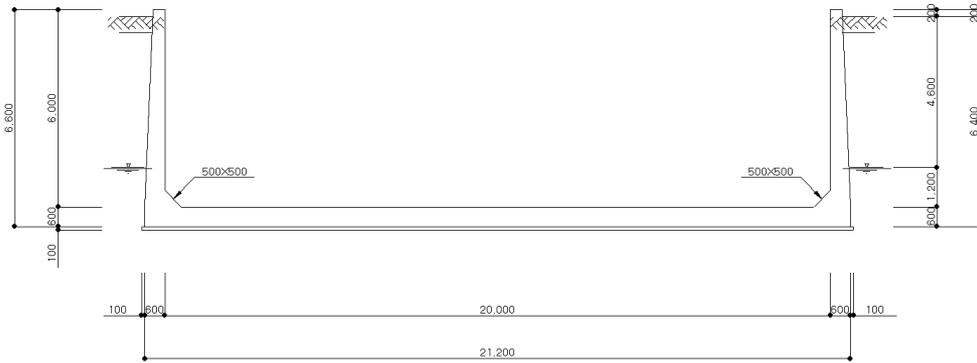
여수토·방수로 구조물의 대부분은 구조물의 밑면이 지반선보다 아래에 있으며, 종방향으로 유사한 패턴이 반복·지속되는 구조물은 2차원 평면 해석이 가능하다.

여수토·방수로의 내진성능 평가방법은 다음과 같다.

- ① 내진성능목표 : 체체의 내진성능목표를 따른다.
- ② 내진성능수준 : 기존 시설물의 내진성능평가임을 감안하여 붕괴방지 수준만을 적용한다.
- ③ 수평지반운동 : 수평지반운동은 지표면에서의 자유장 운동으로 정의한다.
- ④ 수직지반운동 : 수직방향 성분의 지반운동은 무시하여도 무방하다. 다만, 수직방향 성분의 지반운동에 의한 영향이 예상되는 경우에는 수평방향 성분의 1/2 세기로 가정하여 적용할 수 있다.
- ⑤ 구성재료의 거동 : 탄성거동 한계 내에 있도록 ‘댐설계기준(2011)’에 규정하고 있으므로 원칙적으로 선형해석방법을 적용하며, 필요한 경우 비선형거동의 영향을 고려할 수 있다.
- ⑥ 지진해석방법 : 부재의 평가지진력 산정을 위한 지진해석방법은 등가정적해석법을 적용한다. 다만 진보된 평가를 원할 경우, 응답스펙트럼해석법과 동적해석법을 적용할 수 있다.
- ⑦ 해석모델 : 해석모델은 2차원 보요소를 기본으로 하며, 구조특성을 고려하여 평면요소를 적용할 수 있다. 또한 구조물과 지반의 접촉면이 완전부착상태라 가정하여 지반반력계수를 적용한다.

- ⑧ 하중계수 및 하중조합 : 하중은 구조물의 특성에 맞게 고정하중 및 지진하중(지진시 토압 포함)을 고려하여 ‘콘크리트구조설계기준(2007)’에 제시된 하중계수 및 하중조합을 적용한다.
- ⑨ 내진성능 평가방법 : 극한하중인 붕괴방지수준의 지진하중을 적용하였으므로 강도설계법에 따라 부재의 단면력을 검토한다.

C.3.3 내진성능 평가예제 : U형 콘크리트 수로암거



<그림 C.3.1> U형 콘크리트 수로암거 구조형상

대상 구조물은 **지진구역 I**에 건설된 내진 I 등급 저수지의 부속시설로서, <그림 C.3.1>에 보인 바와 같이 연암 상부(S_B)에 건설된 U형 콘크리트 수로암거 구조물이다. 내진등급은 저수지 체체의 내진등급과 동일한 **내진 I 등급**(1,000년 재현주기, 저수지 체체의 내진특등급과 동일한 재현주기 임)으로 분류하였으며, 성능수준은 **붕괴방지수준**만을 고려하였다.

가. 구조형식

- 1) 형식 : U형 콘크리트 수로암거
- 2) 규격 : B20m×H6.0m(내공)

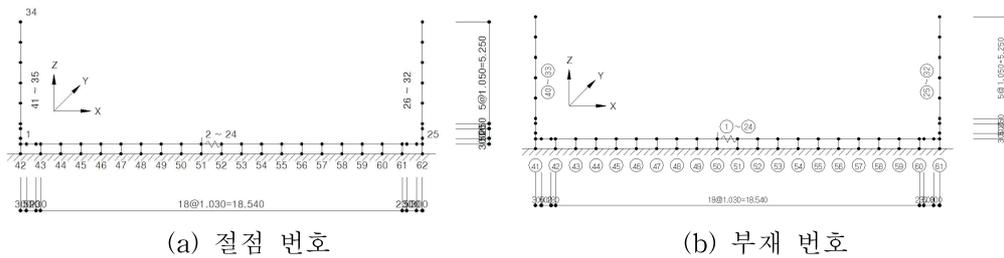
나. 재료 물성 및 지반 조건

- 1) 콘크리트
 - ① 설계강도 : $f_{ck} = 27\text{MPa}$

- ② 탄성계수 : $E_c = 28,693\text{MPa}$
 - ③ 포와송비 : $\mu = 0.17$
 - ④ 단위중량 : RC- $\gamma_c = 24.5\text{kN/m}^3$, 무근- $\gamma_c = 23\text{kN/m}^3$
- 2) 철근(SD400 이형철근)
- ① 항복강도 : $f_y = 400\text{MPa}$
 - ② 탄성계수 : $E_s = 2.00 \times 10^5\text{MPa}$
- 3) 지반조건
- ① 흙의 내부마찰각 : $\phi = 30^\circ$
 - ② 정지토압계수 : $K_o = 1 - \sin\phi = 0.5$
 - ③ 채움 토사 단위중량 : $\gamma_t = 19\text{kN/m}^3$
 - ④ 채움 토사 수중단위중량 : $\gamma_{sub} = 10\text{kN/m}^3$
 - ⑤ 지지 지반 표준관입시험값 : $N=50$

다. 해석모델

- 1) 2차원 보요소(Beam Element) 사용
- 2) 하부슬래브-지반 경계면은 NL Link요소 적용(GAP 요소)



<그림 C.3.2> U형 콘크리트 수로암거 해석모델

라. 지반반력계수

- 1) 연직방향 지반반력계수
 - $\alpha = 2$ (E_0 산정방법에 대한 보정계수 : 지진시)
 - $E_0 = 2,800 N = 2,800 \times 20 = 56,000\text{kN/m}^2$
 - $B_V = \sqrt{BL} = \sqrt{21.20 \times 20.00} = 20.59\text{m}$ ($L < B$)
 - $K_{V0} = \frac{1}{0.3} \alpha E_0 = \frac{1}{0.3} \times 2 \times 56,000 = 373,330\text{kN/m}^3$

$$K_V = K_{V0} \left(\frac{B_V}{0.3} \right)^{-\frac{3}{4}} = 373,330 \times \left(\frac{20.59}{0.3} \right)^{-\frac{3}{4}} = 15,655.67 \text{ kN/m}^3$$

2) 수평방향 지반반력계수

$$K_H = 1 \times 10^{10} \text{ kN/m}^3 \text{ (무한강성)}$$

3) 지반반력계수

<표 C.3.1> 지반반력계수

지반반력계수	계 산 식	해당 절점
K_{V1}	$K_V \times \left(\frac{0.600}{2} + \frac{1.030}{2} \right) = 12,759 \text{ kN/m}$	1, 25
K_{V1}	$K_V \times \left(\frac{1.030}{2} + \frac{1.030}{2} \right) = 16,125 \text{ kN/m}$	4~22
K_H	$1 \times 10^{10} \text{ kN/m}$	13

마. 수평지진계수

- 1) 구역계수(Z) : 0.11 (지진구역 I)
- 2) 위험도계수(I) : 1.4 (재현주기 1,000년)
- 3) 지반계수(S) : 1.0 (S_B 지반)
- 4) 수평지진계수 : $K_h = I \cdot Z \cdot S = 1.4 \times 0.11 \times 1.00 = 0.154g$

바. 지진하중

- 1) 지진시 토압계수(Mononobe Okabe 토압)
 - 뒷채움 흙의 내부마찰각 : $\phi = 30^\circ$
 - 뒷채움 흙의 경사각 : $\alpha = 0^\circ$
 - 벽 배면과 연직면이 이루는 각 : $\beta = 2.386^\circ$
 - 벽면 마찰각 : $\delta = 0^\circ$
 - 수평가속도계수 : $k_h = 0.154g$
 - $\theta = \tan^{-1} \left(\frac{k_h}{1 - K_V} \right) K_V = 7.520^\circ$
 - $\theta' = \tan^{-1} \left(\frac{k_h}{1 - K_V} \frac{\gamma_{sub}}{\gamma_t} \right) K_V = 3.974^\circ$

$$K_{EA} = \frac{\cos^2(\phi - \theta - \beta)}{\cos \theta \cos^2 \beta \cos(\delta + \beta + \theta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \alpha - \theta)}{\cos(\alpha - \beta) \cdot \cos(\delta + \beta + \theta)}} \right]^2}$$

$$= 0.436$$

$$K_{EA}' = \frac{\cos^2(\phi - \theta' - \beta)}{\cos \theta' \cos^2 \beta \cos(\delta + \beta + \theta') \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \alpha - \theta')}{\cos(\alpha - \beta) \cdot \cos(\delta + \beta + \theta')}} \right]^2}$$

$$= 0.392$$

2) 토압

<지하수위가 없는 경우>

<지하수위가 있는 경우>

$W_{h1} = 0.500 \times 23 \times 0.436 = 5.014 \text{ kN/m}^2$	$W_{h1} = 0.500 \times 23 \times 0.436 = 5.014 \text{ kN/m}^2$
$W_{h2} = 5.014 + 0.350 \times 19 \times 0.436 = 7.913 \text{ kN/m}^2$	$W_{h2} = 5.014 + 0.350 \times 19 \times 0.436 = 7.913 \text{ kN/m}^2$
$W_{h3} = 7.913 + 1.050 \times 19 \times 0.436 = 16.612 \text{ kN/m}^2$	$W_{h3} = 7.913 + 1.050 \times 19 \times 0.436 = 16.612 \text{ kN/m}^2$
$W_{h4} = 16.612 + 1.050 \times 19 \times 0.436 = 25.310 \text{ kN/m}^2$	$W_{h4} = 16.612 + 1.050 \times 19 \times 0.436 = 25.310 \text{ kN/m}^2$
$W_{h5} = 25.310 + 1.050 \times 19 \times 0.436 = 34.008 \text{ kN/m}^2$	$W_{h5} = 25.310 + 1.050 \times 19 \times 0.436 = 34.008 \text{ kN/m}^2$
$W_{h6} = 34.008 + 1.050 \times 19 \times 0.436 = 42.706 \text{ kN/m}^2$	$W_{h6} = 34.008 + 0.600 \times 19 \times 0.436 = 38.978 \text{ kN/m}^2$
$W_{h7} = 42.706 + 0.250 \times 19 \times 0.436 = 44.777 \text{ kN/m}^2$	$W_{h7} = 38.978 + 0.450 \times 10 \times 0.392 = 40.742 \text{ kN/m}^2$
$W_{h8} = 44.777 + 0.500 \times 19 \times 0.436 = 48.919 \text{ kN/m}^2$	$W_{h8} = 40.742 + 0.250 \times 10 \times 0.392 = 41.722 \text{ kN/m}^2$
$W_{h9} = 48.919 + 0.300 \times 19 \times 0.436 = 51.404 \text{ kN/m}^2$	$W_{h9} = 41.722 + 0.500 \times 10 \times 0.392 = 43.682 \text{ kN/m}^2$
	$W_{h10} = 43.682 + 0.300 \times 10 \times 0.392 = 44.858 \text{ kN/m}^2$

3) 구체 관성력

$$f_i = A_i \times \gamma_c \times k_h$$

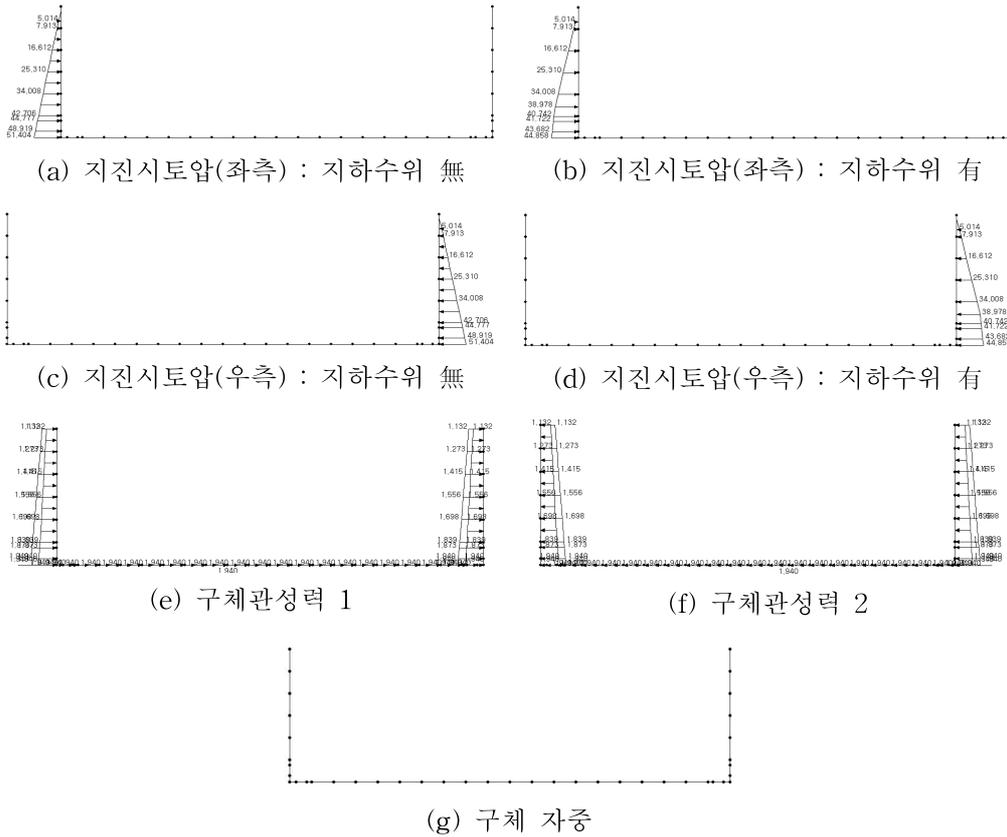
① 하부슬래브

$$f_b = 0.600 \times 24.500 \times 0.154 = 2.2638 \text{ kN/m}^2$$

② 축벽

$f_1 = 0.350 \times 24.500 \times 0.154$	$= 1.3206 \text{ kN/m}^2$
$f_2 = 0.394 \times 24.500 \times 0.154$	$= 1.4866 \text{ kN/m}^2$
$f_3 = 0.438 \times 24.500 \times 0.154$	$= 1.6526 \text{ kN/m}^2$
$f_4 = 0.481 \times 24.500 \times 0.154$	$= 1.8148 \text{ kN/m}^2$
$f_5 = 0.525 \times 24.500 \times 0.154$	$= 1.9808 \text{ kN/m}^2$
$f_6 = 0.569 \times 24.500 \times 0.154$	$= 2.1468 \text{ kN/m}^2$
$f_7 = 0.579 \times 24.500 \times 0.154$	$= 2.1846 \text{ kN/m}^2$
$f_8 = 0.600 \times 24.500 \times 0.154$	$= 2.2638 \text{ kN/m}^2$
$f_9 = 0.600 \times 24.500 \times 0.154$	$= 2.2638 \text{ kN/m}^2$

4) 하중재하도



<그림 C.3.3> 하중재하도

사. 하중조합

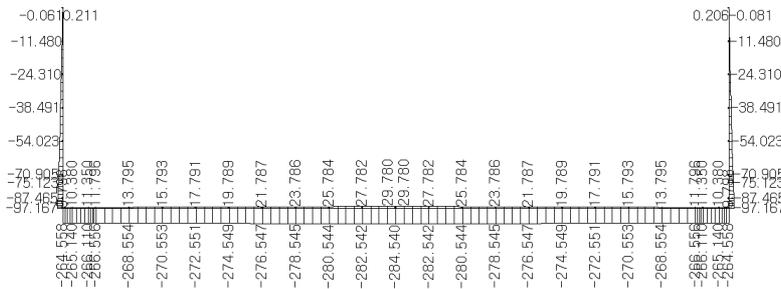
<표 C.3.2> 하중계수 및 하중조합

하중조합	D	H _V	H _H	E	지하수위 고려유무
LC1	0.900	1.600	1.600	1.000	×
LC2	0.900	1.600	1.000	1.000	○

아. 지진해석결과

<표 C.3.3> U형 콘크리트 수로암거의 부재력 집계

부재위치		축방향력 P_u (kN)	전단력 V_u (kN)	모멘트 M_u (kN·m)	B (mm)	H (mm)
측벽	중앙부	62.30	148.51	232.44	1,000	546.88
	하부	87.47	201.47	477.74	1,000	766.67
하부 슬래브	단부	265.14	90.79	530.76	1,000	766.67
	중앙	284.54	11.96	24.27	1,000	600.00



자. 단면검토

1) 설계강도 및 강도감소계수

① 설계강도

$$f_{ck} = 27 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

② 강도감소계수

$$\phi_f = \phi_v = 1.00 \text{ (기존 구조물의 평가시 강도감소는 고려하지 않음)}$$

1) 하부슬래브 - 단부

① 단면제원 및 부재력

$$B = 1,000 \text{ mm}, H = 766.7 \text{ mm}, \text{피복두께} = 100 \text{ mm}, d = 666.67 \text{ mm}$$

$$\text{휨철근 } A_s = 3,096.8 \text{ mm}^2 \text{ (1단 : H22-8EA, 철근도심 : 100mm)}$$

$$M_u = 530.76 \text{ kN-m}$$

$$V_u = 90.79 \text{ kN}$$

② 휨에 대한 검토

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_{ck} b} = \frac{3,096.8 \times 400}{0.85 \times 27 \times 1,000} = 53.975 \text{ mm}$$

$$\phi_f M_n = \phi_f A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 1.00 \times 3,096.8 \times 400 \times \left(666.67 - \frac{53.975}{2} \right)$$

$$= 792.39 \text{ kN-m}$$

$$\frac{\phi_f M_n}{M_u} = \frac{792.39}{530.76} = 1.493 \geq 1.000 \quad \therefore \text{O.K}$$

③ 전단에 대한 검토(d=666.67mm)

$$\phi_v V_c = \phi_v \frac{1}{4} \sqrt{f_{ck}} b d = 1.00 \times \frac{1}{4} \times \sqrt{27} \times 1,000 \times 666.67 = 866.03 \text{ kN}$$

$$\phi_v V_n = \phi_v V_c = 866.03 \text{ kN}$$

$$\frac{\phi_v V_n}{V_u} = \frac{866.03}{90.79} = 9.539 \geq 1.000 \quad \therefore \text{O.K}$$

2) 하부슬래브 - 중앙부

① 단면제원 및 부재력

$$B = 1,000 \text{ mm}, H = 600 \text{ mm}, \text{피복두께} = 100 \text{ mm}, d = 500 \text{ mm}$$

$$\text{휨철근 } A_s = 2,292.0 \text{ mm}^2 \text{ (1단 : H19-8EA, 철근도심 : 100mm)}$$

$$M_u = 24.27 \text{ kN-m}$$

$$V_u = 11.96 \text{ kN}$$

② 휨에 대한 검토

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_{ck} b} = \frac{2,292.0 \times 400}{0.85 \times 27 \times 1,000} = 39.948 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \phi_f M_n &= \phi_f A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 1.00 \times 2,292.0 \times 400 \times \left(500 - \frac{39.948}{2} \right) \\ &= 440.09 \text{ kN} - \text{m} \end{aligned}$$

$$\frac{\phi_f M_n}{M_u} = \frac{440.09}{24.27} = 18.133 \geq 1.000 \quad \therefore \text{O.K}$$

③ 전단에 대한 검토(d=500mm)

$$\phi_v V_c = \phi_v \frac{1}{4} \sqrt{f_{ck}} b d = 1.00 \times \frac{1}{4} \times \sqrt{27} \times 1,000 \times 500 = 649.52 \text{ kN}$$

$$\phi_v V_n = \phi_v V_c = 649.52 \text{ kN}$$

$$\frac{\phi_v V_n}{V_u} = \frac{649.52}{11.96} = 54.308 \geq 1.000 \quad \therefore \text{O.K}$$

3) 측벽 - 중앙부

① 단면제원 및 부재력

$$B = 1,000 \text{ mm}, H = 546.9 \text{ mm}, \text{피복두께} = 100 \text{ mm}, d = 446.9 \text{ mm}$$

$$A_s = 2,694.4 \text{ mm}^2 (\text{1단 : H19-4EA, H22-4EA})$$

$$M_u = 232.44 \text{ kN} - \text{m}$$

$$V_u = 148.51 \text{ kN}$$

② 휨에 대한 검토

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_{ck} b} = \frac{2,694.4 \times 400}{0.85 \times 27 \times 1,000} = 46.961 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \phi_f M_n &= \phi_f A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 1.00 \times 2,694.4 \times 400 \times \left(446.9 - \frac{46.961}{2} \right) \\ &= 456.34 \text{ kN} - \text{m} \end{aligned}$$

$$\frac{\phi_f M_n}{M_u} = \frac{456.34}{232.44} = 1.963 \geq 1.000 \quad \therefore \text{O.K}$$

③ 전단에 대한 검토

$$\phi_v V_c = \phi_v \frac{1}{6} \sqrt{f_{ck}} b d = 1.00 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{27} \times 1,000 \times 446.9 = 387.03 \text{ kN}$$

$$\phi_v V_n = \phi_v V_c = 387.03 \text{ kN}$$

$$\frac{\phi_v V_n}{V_u} = \frac{387.03}{148.51} = 2.606 \geq 1.000 \quad \therefore \text{O.K}$$

4) 측벽 - 하부

① 단면제원 및 부재력

$$B = 1,000 \text{ mm}, H = 766.7 \text{ mm}, \text{ 피복두께} = 100 \text{ mm}, d = 666.7 \text{ mm}$$

$$A_s = 3,096.8 \text{ mm}^2 (\text{1단 : H22-8EA, 철근도심 : 100mm})$$

$$M_u = 477.74 \text{ kN-m}$$

$$V_u = 201.47 \text{ kN}$$

② 휨에 대한 검토

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_{ck} b} = \frac{3,096.8 \times 400}{0.85 \times 27 \times 1,000} = 53.975 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \phi_f M_n &= \phi_f A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 1.00 \times 3,096.8 \times 400 \times \left(666.67 - \frac{53.975}{2} \right) \\ &= 792.39 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$\frac{\phi_f M_n}{M_u} = \frac{792.39}{477.74} = 1.659 \geq 1.000 \quad \therefore \text{O.K}$$

③ 전단에 대한 검토(d=666.67mm)

$$\phi_v V_c = \phi_v \frac{1}{6} \sqrt{f_{ck}} b d = 1.00 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{27} \times 1,000 \times 666.67 = 577.35 \text{ kN}$$

$$\phi_v V_n = \phi_v V_c = 577.35 \text{ kN}$$

$$\frac{\phi_v V_n}{V_u} = \frac{577.35}{201.47} = 2.866 \geq 1.000 \quad \therefore \text{O.K}$$

차. 기초 지지력 검토(상시하중으로 검토)

1) 최대 지반 반력(지하수위 미고려)

① 구체자중 : $457.415 / 21.20 = 21.58 \text{ kN/m}^2$

② 최대 지반 반력 $Q_{\max} = 21.58 \text{ kN/m}^2$

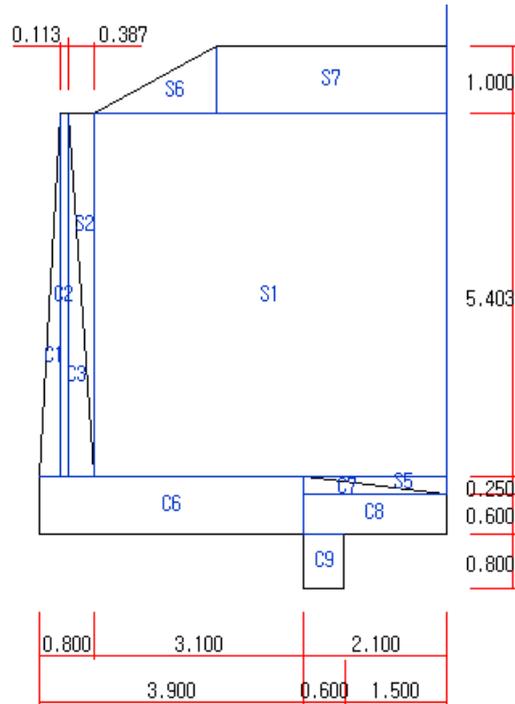
2) 허용지지력

$$Q_a = 1,000.00 \text{ kN/m}^2 \text{ (토질조사보고서 적용)}$$

3) 지지력 검토

$$\frac{Q_a}{Q_{\max}} = \frac{1,000.00}{21.58} = 46.339 \geq 1.000 \quad \therefore \text{O.K}$$

C.3.4 내진성능 평가예제 : L형 옹벽



<그림 C.3.5> L형 옹벽(H6.253m×B6.000m) 해석단면

대상구조물은 **지진구역 I**에 건설된 내진 I 등급 저수지의 부속시설로서, <그림 C.3.5>에 보인 바와 같이 연암 상부(S_B)에 건설된 L형 옹벽 구조물이다. 내진등급은 저수지 체체의 내진등급과 동일한 **내진 I 등급** (1,000년 재현주기, 저수지 체체의 내진특등급과 동일한 재현주기 임)으로 분류하였으며, 성능수준은 **붕괴방지수준**만을 고려하였다.

가. 재료 물성 및 지반 조건

1) 콘크리트

- ① 설계강도 : $f_{ck} = 27 \text{ MPa}$
- ② 탄성계수 : $E_c = 28,693 \text{ MPa}$
- ③ 포와송비 : $\mu = 0.17$
- ④ 단위중량 : $\gamma_c = 24.5 \text{ kN/m}^3$

2) 철근

- ① 철근종류 : SD400 이형철근
- ② 항복강도 : $f_y = 400 \text{ MPa}$
- ③ 탄성계수 : $E_s = 2.00 \times 10^5 \text{ MPa}$

3) 지반조건

- ① 뒷채움흙 내부마찰각/경사각 : $\phi_1 = 30^\circ / \beta = 29^\circ$
- ② 뒷채움흙 단위중량/성토높이 : $\gamma_t = 19 \text{ kN/m}^3 / 1.000 \text{ m}$
- ③ 지지지반 내부마찰각/점착력 : $\phi_2 = 30^\circ / c = 0 \text{ kN/m}^2$
- ④ 옹벽전면의 토피고 : $D_f = 1.000 \text{ m}$

4) 지진계수 산정

- ① 지진구역계수 : 0.11 (지진1구역)
- ② 위험도계수 : 1.4(1,000년 재현주기)
- ③ 가속도계수 A : 0.154g (0.11×1.4)
- ④ 수평지진계수 k_h : 0.077 (0.5A)

5) 지진시 토압 산정방법 : 시행 흩째기법(안정 및 단면 검토시)

6) 과재하중, $q = 10.00 \text{ kN/m}^2$

나. 안정 검토

1) 안정검토용 하중 산정

- ① 자중 및 상재토 하중 산정

<표 C.3.4> 자중 및 상재토 하중 계산

구분	A	γ	W	k_h	H	x	y	Mr	Mo
C1	0.810	24.5	19.86	0.077	1.53	0.200	2.651	3.97	4.05
C2	0.611		14.96		1.15	0.357	3.552	5.33	4.09
C3	1.045		25.61		1.97	0.542	2.651	13.88	5.23
C4	0.000		0.00		0.00	0.550	0.850	0.00	0.00
C5	0.000		0.00		0.00	1.833	0.850	0.00	0.00
C6	3.315		81.22		6.25	1.950	0.425	158.37	2.66
C7	0.263		6.43		0.50	4.600	0.683	29.58	0.34
C8	1.260		30.87		2.38	4.950	0.300	152.81	0.71
C9	0.480		11.76		0.91	4.200	-0.400	49.39	-0.36
소계	7.784		190.71		14.68			413.34	16.72
S1	28.096	19.0	533.82	0.077	41.10	3.400	3.552	1,814.98	145.98
S2	1.045		19.86		1.53	0.671	4.452	13.33	6.81
S3	0.000		0.00		0.00	2.867	0.850	0.00	0.00
S4	0.000		0.00		0.00	4.950	0.850	0.00	0.00
S5	0.263		4.99		0.38	5.300	0.767	26.43	0.29
S6	0.902		17.14		1.32	2.003	6.586	34.32	8.69
S7	3.396		64.52		4.97	4.302	6.753	277.58	33.55
소계	33.702		640.33		49.31			2,166.64	195.33
총계	41.486		831.04		63.99			2,579.98	212.05

② 지진시 주동토압계수 산정(시행 흠뻐기법)

i) 뒤채움흙의 벽면마찰각 : $\delta = \beta + \Theta = 4.403^\circ$

(여기서, $\Theta = \tan^{-1}\left(\frac{k_h}{1 - K_V}\right) = 4.403^\circ$)

ii) 췌기의 각도에 따른 주동토압계수

$\alpha = 55.50^\circ$ 일 때, $K_{ac} = 0.3683$ 최대값

$\therefore K_{ac} = 0.368$ (췌기중량 $W_e = W/\cos(\Theta) = 344.490$ kN)

$K_{aeh} = 0.368 \times \cos 4.403^\circ = 0.367$

$K_{aev} = 0.368 \times \sin 4.403^\circ = 0.028$

iii) $P_{aeh} = \frac{1}{2} K_{aeh} \gamma_t H^2 = \frac{1}{2} \times 0.367 \times 19.0 \times 7.253^2 = 183.535$ kN/m

iv) $P_{aev} = \frac{1}{2} K_{aev} \gamma_t H^2 = \frac{1}{2} \times 0.028 \times 19.0 \times 7.253^2 = 14.132$ kN/m

v) $y = \frac{H}{2} = \frac{7.253}{2} = 3.627$ m

vi) $x = 6.000$ m

vii) $M_o = P_{aeh} \times y = 183.535 \times 3.627 = 665.591$ kN - m

viii) $M_r = P_{aev} \times x = 14.132 \times 6.000 = 84.793$ kN - m

③ 과재하중 : 가상배면외의 과재하중은 흠뻐기 중량에 고려하며, 가상배면내에 작용하는 과재하중은 연직력을 계산한다.

$q = 10.00$ kN/m²

$P_V = 33.960$ kN/m

$x = 4.302$ m

$M_r = P_V \times x = 146.095$ kN - m

2) 하중 집계

<표 C.3.5> 안정검토용 하중집계

구 분	V(kN)	H(kN)	Mr(kN · m)	Mo(kN · m)
콘크리트 자중	190.707	14.684	413.343	16.719
상재토 자중	640.330	49.305	2,166.641	195.327
토 압	14.132	183.535	84.793	665.591
Σ	845.169	247.525	2,664.777	877.637

3) 전도에 대한 안정검토

$$\Sigma V = 845.169 \text{ kN}$$

$$\Sigma Mr = 2,664.777 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\Sigma Mo = 877.637 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\Sigma Mr - \Sigma Mo}{\Sigma V} = \frac{6.000}{2} - \frac{2,664.777 - 877.637}{845.169}$$

$$= 0.885 \text{ m} \leq \frac{B}{6} = \frac{6.000}{6} = 1.000 \text{ m} \quad \therefore \text{사다리꼴 반력분포}$$

$$\triangleright \text{편심 검토} : e = 0.885 \text{ m} \leq \frac{B}{3} = \frac{6.000}{3} = 2.000 \text{ m} \quad \therefore \text{O.K}$$

$$\triangleright \text{안전율 검토} : S.F = \frac{\Sigma Mr}{\Sigma Mo} = \frac{2,664.777}{877.637} = 3.036 \geq 1.500 \quad \therefore \text{O.K}$$

4) 지지력에 대한 안정검토

① 지지지의 허용지지력 : $Q_a = 1,000.000 \text{ kN/m}^2$

② 지반반력 : 사다리꼴 분포

$$Q_{\max} = \frac{\Sigma V}{BL} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) = \frac{845.169}{6.253 \times 1.000} \left(1 + \frac{6 \times 0.885}{6.253} \right) = 265.589 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{\min} = \frac{\Sigma V}{BL} \left(1 - \frac{6e}{B} \right) = \frac{845.169}{6.253 \times 1.000} \left(1 - \frac{6 \times 0.885}{6.253} \right) = 16.134 \text{ kN/m}^2$$

③ 지지력 검토 : $\frac{Q_a}{Q_{\max}} = \frac{1,000.000}{265.589} = 3.765 \geq 1.000 \quad \therefore \text{O.K}$

5) 활동에 대한 안정검토

① 검토조건

기초저면지반의 마찰계수 $\mu = \tan \phi_B = 0.6$

기초저면과 지반과의 부착력 $C_b = 0$

기초저면의 유효재하면적 $A' = B' \times L = 4.483 \times 1.000 = 4.483 \text{ m}^2$

(여기서, $B' = B - 2e = 6.253 - 2 \times 0.885 = 4.483 \text{ m}$)

② 수평저항력 H_C

$$H_C = C_b A' + \Sigma V \tan \phi_B = 0 \times 4.483 + 845.169 \times 0.6 = 507.10 \text{ kN}$$

③ 수평력 H_D

$$H_D = \Sigma H = 247.525 \text{ kN}$$

④ 활동 검토 : $\frac{H_C}{H_D} = \frac{507.101}{247.525} = 2.049 \geq 1.200 \quad \therefore \text{O.K}$

다. 단면 검토

1) 지반반력 계산(기초단면검토용)

$$\Sigma V = 845.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\Sigma M_r = 2,664.777 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\Sigma M_o = 877.637 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\Sigma M_r - \Sigma M_o}{\Sigma V} = \frac{6.000}{2} - \frac{2,664.777 - 877.637}{845.169}$$

$$= 0.885 \text{ m} \leq \frac{B}{6} = \frac{6.000}{6} = 1.000 \text{ m} \quad \therefore \text{사다리꼴 반력분포}$$

$$Q_{\max} = \frac{\Sigma V}{BL} \left(1 + \frac{6e}{B}\right) = \frac{845.169}{6.253 \times 1.000} \left(1 + \frac{6 \times 0.885}{6.253}\right) = 265.589 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{\min} = \frac{\Sigma V}{BL} \left(1 - \frac{6e}{B}\right) = \frac{845.169}{6.253 \times 1.000} \left(1 - \frac{6 \times 0.885}{6.253}\right) = 16.134 \text{ kN/m}^2$$

2) 단면검토용 하중 계산

① 뒷굽관 단면력(단위 : kN, m)

구 분	뒷굽자중	상재토자중	과재하중	지반반력	연직토압	총 계
전단력	102.257	558.419	0.000	-525.678	22.612	157.610
모멘트	263.338	1,491.246	0.000	-665.287	117.580	1,206.877

② 벽체 단면력

i) 지진시 주동토압계수 산정(시행 흙췘기법)

- 뒷채움흙의 내부마찰각 : $\phi = 30^\circ$
- 뒷채움흙의 경사각 : $\beta = 29^\circ$
- 흙과 콘크리트의 마찰각 : $\delta = 10^\circ$
- 옹벽배면의 연직경사각 : $\theta = 4.097^\circ$

- 쉐기의 각도에 따른 주동토압계수

$$\alpha = 55.50^\circ \text{ 일 때, } K_{ae} = 0.5110 \text{ 최대값}$$

$$\therefore K_{ae} = 0.511 \text{ (쉐기중량 } We = W/\cos(\Theta) = 264.663 \text{ kN)}$$

$$K_{aeh} = 0.511 \times \cos 4.097^\circ = 0.510$$

$$K_{aev} = 0.511 \times \sin 4.097^\circ = 0.037$$

ii) 지진시 벽체(하부, C-C) 단면력

$$P_{ach} = \frac{1}{2} K_{aeh} \gamma_t H^2 = \frac{1}{2} \times 0.510 \times 19.0 \times 5.403^2 = 141.355 \text{ kN/m}$$

$$y = \frac{H}{2} = \frac{5.403}{2} = 2.702 \text{ m}$$

$$M_o = P_{ach} \times y = 141.355 \times 2.702 = 381.870 \text{ kN-m}$$

iii) 지진시 벽체의 관성력에 의한 단면력 계산

<표 C.3.6> 지진시 벽체의 관성력에 의한 단면력 계산(단위 : kN, m)

구분	A	γ	W	k_h	H	y	Mo
C1	0.810	24.5	19.856	0.077	1.529	1.801	2.754
C2	0.611		14.958		1.152	2.702	3.112
C3	1.045		25.614		1.972	1.801	3.552
합 계 (벽체 하부)			60.429		4.653		9.417

iv) 지진시 벽체 하단 단면력 계산

<표 C.3.7> 지진시 벽체 하단 단면력 계산(단위 : kN, m)

구분	수평토압	과재하중	관성력	총계
전단력	226.168	0.000	4.653	230.821
모멘트	610.992	0.000	9.417	620.410

③ 활동방지벽의 단면력 : 활동방지벽(전단키, Shear Key)에 작용하는 단면력은 수평토압에 의한 활동저항력과 활동방지벽 저면의 마찰력의 합으로 구한다. 합력의 작용위치는 활동방지벽의 중앙점으로 한다.

$$K_{pe} = 2.863, \mu = 0.577$$

<표 C.3.8> 활동방지벽의 단면력 계산(단위 : kN, m)

구 분	활동저항력	마찰력	총 계
전단력	232.159	10.024	242.182
모멘트	92.863	4.009	96.873

④ 단면검토용 하중집계

(단, 저판에 작용하는 휨모멘트의 크기는 전면벽과 뒷굽판과의 접속점의 모멘트 평형조건에 의하여 전면벽에 작용하는 휨모멘트를 초과하지 않는다.)

<표 C.3.9> 단면검토용 하중집계(단위 : kN, m)

구 분	뒷굽판(B-B)	벽체하부(C-C)	활동방지벽(E-E)
전단력, V_u	157.610	230.821	242.182
모멘트, M_u	1,206.877	620.410	96.873

3) 단면 검토 : 뒷굽판

① 설계강도

$$f_{ck} = 27 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

② 강도감소계수

$$\phi_f = \phi_v = 1.00 \text{ (기존 구조물의 평가시 강도감소는 고려하지 않음)}$$

③ 단면제원 및 부재력

$$B = 1,000 \text{ mm}, H = 850 \text{ mm}, \text{피복두께} = 100 \text{ mm}, d = 750 \text{ mm}$$

$$A_s = 3,096.8 \text{ mm}^2 \text{ (1단 : H22-8EA, 철근도심 : 125mm)}$$

$$M_u = 1,206.877 \text{ kN-m}$$

$$V_u = 157.610 \text{ kN}$$

④ 휨에 대한 검토

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_{ck} b} = \frac{3,096.8 \times 400}{0.85 \times 27 \times 1,000} = 53.975 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\phi_f M_n &= \phi_f A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 1.00 \times 3,096.8 \times 400 \times \left(750 - \frac{53.975}{2} \right) \\ &= 895.61 \text{ kN} - \text{m} \\ \frac{\phi_f M_n}{M_u} &= \frac{895.610}{1,206.877} = 0.742 < 1.000 \quad \therefore \text{N.G}\end{aligned}$$

⑤ 전단에 대한 검토(d=750mm)

$$\begin{aligned}\phi_v V_c &= \phi_v \frac{1}{6} \sqrt{f_{ck}} b d = 1.00 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{27} \times 1,000 \times 750 = 649.519 \text{ kN} \\ \phi_v V_n &= \phi_v V_c = 649.519 \text{ kN} \\ \frac{\phi_v V_n}{V_u} &= \frac{649.519}{157.610} = 4.121 \geq 1.000 \quad \therefore \text{O.K}\end{aligned}$$

4) 단면 검토 - 벽체 하부

① 설계강도

$$\begin{aligned}f_{ck} &= 27 \text{ MPa} \\ f_y &= 400 \text{ MPa}\end{aligned}$$

② 강도감소계수

$$\phi_f = \phi_v = 1.00 \text{ (기존 구조물의 평가시 강도감소는 고려하지 않음)}$$

③ 단면제원 및 부재력

$$\begin{aligned}B &= 1,000 \text{ mm}, H = 800 \text{ mm}, \text{피복두께} = 100 \text{ mm}, d = 700 \text{ mm} \\ A_s &= 3,096.8 \text{ mm}^2 \text{ (1단 : H22-8EA, 철근도심 : 125mm)} \\ M_u &= 620.410 \text{ kN} - \text{m} \\ V_u &= 230.821 \text{ kN}\end{aligned}$$

④ 휨에 대한 검토

$$\begin{aligned}a &= \frac{A_s f_y}{0.85 f_{ck} b} = \frac{3,096.8 \times 400}{0.85 \times 27 \times 1,000} = 53.975 \text{ mm} \\ \phi_f M_n &= \phi_f A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 1.00 \times 3,096.8 \times 400 \times \left(700 - \frac{53.975}{2} \right) \\ &= 833.674 \text{ kN} - \text{m} \\ \frac{\phi_f M_n}{M_u} &= \frac{833.674}{620.410} = 1.344 \geq 1.000 \quad \therefore \text{O.K}\end{aligned}$$

⑤ 전단에 대한 검토(d=700mm)

$$\phi_v V_c = \phi_v \frac{1}{6} \sqrt{f_{ck}} b d = 1.00 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{27} \times 1,000 \times 700 = 606.218 \text{ kN}$$

$$\phi_v V_n = \phi_v V_c = 606.218 \text{ kN}$$

$$\frac{\phi_v V_n}{V_u} = \frac{606.218}{230.821} = 2.626 \geq 1.000 \quad \therefore \text{O.K}$$

3) 단면 검토 - 활동방지벽

① 설계강도

$$f_{ck} = 27 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

② 강도감소계수

$$\phi_f = \phi_v = 1.00 \text{ (기존 구조물의 평가시 강도감소는 고려하지 않음)}$$

③ 단면제원 및 부재력

$$B = 1,000 \text{ mm}, H = 600 \text{ mm}, \text{피복두께} = 100 \text{ mm}, d = 500 \text{ mm}$$

$$A_s = 2,292 \text{ mm}^2 \text{ (1단 : H19-8EA, 철근도심 : 125mm)}$$

$$M_u = 96.873 \text{ kN-m}$$

$$V_u = 242.182 \text{ kN}$$

④ 휨에 대한 검토

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_{ck} b} = \frac{2,292 \times 400}{0.85 \times 27 \times 1,000} = 39.948 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \phi_f M_n &= \phi_f A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 1.00 \times 2,292 \times 400 \times \left(500 - \frac{39.948}{2} \right) \\ &= 440.088 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$\frac{\phi_f M_n}{M_u} = \frac{440.088}{96.873} = 4.543 \geq 1.000 \quad \therefore \text{O.K}$$

⑤ 전단에 대한 검토(d=500mm)

$$\phi_v V_c = \phi_v \frac{1}{6} \sqrt{f_{ck}} b d = 1.00 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{27} \times 1,000 \times 500 = 433.013 \text{ kN}$$

$$\phi_v V_n = \phi_v V_c = 433.013 \text{ kN}$$

$$\frac{\phi_v V_n}{V_u} = \frac{433.013}{242.182} = 1.788 \geq 1.000 \quad \therefore \text{O.K}$$

C.4 연락교량의 내진성능 평가방법 타당성 검토

C.4.1 적용 기준

「댐 설계기준(국토해양부, 2011)」, 「도로교설계기준(2010)」 및 「기존 시설물(교량) 내진성능 평가 및 향상요령(한국시설안전공단, 2011)」를 준용하여 연락교량의 내진성능 평가방법의 타당성을 검토하였다.

C.4.2 내진성능 평가방법

「댐 설계기준(2011)」에서는 지진시 연락교량(관리교)에 대해 낙교의 가능성을 검토하도록 규정하고 있다. 이에 연락교량의 내진 안전성 검토를 위해 「기존 시설물(교량) 내진성능 평가 및 향상요령(한국시설안전공단, 2011)」의 '4.3.3 받침지지길이(낙교)' 항목을 적용하여 낙교 유무를 검토하였다.

교각 또는 교대에서 낙교 유무의 판별은 소요역량(받침부 발생변위와 「도로교설계기준(한국도로교통협회, 2010)」에 제시된 최소받침지지길이 중 큰값)이 공급역량(받침지지길이)을 초과하는지의 여부로 결정한다.

연락교량(관리교)의 내진성능 평가방법은 다음과 같다.

- ① 내진성능목표 : 제체의 내진성능목표를 따르는 것을 기본으로 하나, 필요시 한단계 낮은 내진성능목표를 적용하여도 무방하다.
- ② 내진성능수준 : 기존 시설물의 내진성능평가임을 감안하여 붕괴방지 수준만을 적용한다.
- ③ 수평지반운동 : 수평지반운동은 지표면에서의 자유장 운동으로 정의한다.
- ④ 구성재료의 거동 : 탄성거동 한계 내에 있도록 '댐설계기준(2011)'에 규정하고 있으므로 원칙적으로 선형해석방법을 적용하며, 필요한 경우 비선형거동의 영향을 고려할 수 있다.
- ⑤ 지진해석방법 : 부재의 평가지진력 산정을 위한 지진해석방법은 등가정적해석법을 적용한다. 다만 진보된 평가를 원할 경우, 응답스펙트럼해석법과 동적해석법을 적용할 수 있다.

- ⑥ 해석모델 : 해석모델은 3차원 보요소를 기본으로 하며, 기초부는 고정단으로 가정한다.
- ⑦ 하중계수 및 하중조합 : 하중은 구조물의 특성에 맞게 고정하중 및 지진하중(지진시 토압 포함)을 고려하여 '콘크리트구조설계기준(2007)'에 제시된 하중계수 및 하중조합을 적용한다.
- ⑧ 내진성능 평가방법 : 낙교의 가능성을 검토하며, 필요시 기존 시설물(교량) 내진성능 평가 및 향상요령(2011)에 따라 교각 등을 평가할 수 있다.

C.4.3 내진성능 평가예제

가. 공급역량 N_C

▷ 교각의 받침지지길이 $N_C = 600\text{mm}$ (현장 실측값)

나. 소요역량 N_D

1) 발생변위 Δ_{dem} (교축방향으로 지진하중 작용시 응답변위)

$$\Delta_{\text{dem}} = 20.06 \text{ mm}$$

2) 최소받침지지길이 N_{min} (「도로교설계기준(2010)」에 제시된 공식)

$$\begin{aligned} N_{\text{min}} &= (200 + 1.67L + 6.66H) \times (1 + 0.000125\theta^2) \\ &= (200 + 1.67 \times 30 + 6.66 \times 8.454) \times (1 + 0.000125 \times 0^2) \\ &= 306.40 \text{ mm} \end{aligned}$$

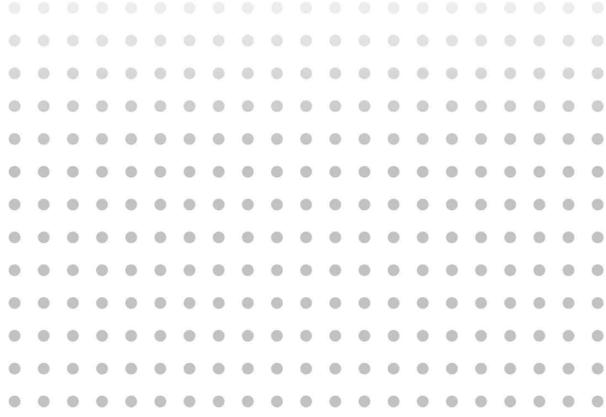
여기서, L은 연속경간장($L = 30\text{m}$)이고, H는 교각 높이($H = 8.454\text{m}$)이며, θ 는 교량의 사각($\theta = 0^\circ$, 직교)이다.

3) 소요역량 N_D

$$N_D = \text{MAX} [\text{발생변위}, N_{\text{min}}] = \text{MAX} [20.06, 306.40] = 306.40 \text{ mm}$$

다. 내진성능평가

$$F.S = \frac{N_C}{N_D} = \frac{600.00}{306.40} = 1.958 \geq 1.000 \quad \therefore \text{O.K}$$



부록 D



내구성평가 예

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	상태평가 - 복합시설물	평가자 :	홍길동

오봉저수지

개별시설명	평가등급	평가지수	조정계수	중요도	계산값	계산값
제체	C	3.07	3.00	74.00	222.00	681.74
여수로	D	2.13	6.00	17.00	102.00	217.21
취수시설	D	2.18	6.00	4.00	24.00	52.37
기전설비	A	5.00	1.00	5.00	5.00	25.00
합계				100.00	353.00	976.32
1. 복합시설물의 상대평가지수(E5) =						2.77
2. 복합시설물의 종합평가등급 =						C

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	상태평가 - 개별시설물	평가자 :	홍길동

제체

복합부재명	평가등급	평가지수	규모	계산값
블록-1	B	4.20	20.00	84.00
블록-2	B	4.20	20.00	84.00
블록-3	B	4.07	20.00	81.33
블록-4	C	2.77	20.00	55.44
블록-5	B	3.92	20.00	78.45
블록-6	B	3.92	20.00	78.45
블록-7	B	4.17	20.00	83.40
블록-8	B	3.62	20.00	72.43
블록-9	B	4.17	20.00	83.40
블록-10	C	2.78	20.00	55.53
블록-11	C	2.75	20.00	55.06
블록-12	C	2.87	20.00	57.40
블록-13	B	4.00	28.00	112.13
합계			47.45	981.03
1. 상태평가지수(E3) 최대값 =				4.20
2. 상태평가지수(E3) 최소값 =				2.75
3. V1 =				0.43
4. V2 =				4.14
5. 개별시설의 상태평가지수(Ec) =				3.07
6. 개별시설의 상태평가등급 =				C

여수로

복합부재명	평가등급	평가지수	규모	계산값
접근수로	D	2.00	1177.50	2355.00
측벽 및 문주	D	2.00	1520.10	3040.20
방수로 좌벽체	D	2.11	921.90	1947.66
방수로 우벽체	D	2.00	921.90	1843.80
방수로바닥	D	2.00	6144.00	12288.00
감세공	C	3.01	1430.50	4311.75
합계			60.58	25786.41
1. 상태평가지수(E3) 최대값 =				3.01
2. 상태평가지수(E3) 최소값 =				2.00
3. V1 =				0.30
4. V2 =				85.14
5. 개별시설의 상태평가지수(Ec) =				2.13
6. 개별시설의 상태평가등급 =				D

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	상태평가 - 개별시설물	평가자 :	홍길동

취수시설

복합부재명	평가등급	평가지수	규모	계산값
취수시설	D	2.18	100.00	218.20
합계			2.18	218.20
1. 상태평가지수(E3) 최대값 =				2.18
2. 상태평가지수(E3) 최소값 =				2.18
3. V1 =				0.00
4. V2 =				20.00
5. 개별시설의 상태평가지수(Ec) =				2.18
6. 개별시설의 상태평가등급 =				D

기전설비

복합부재명	평가등급	평가지수	규모	계산값
기계설비		0.00	50.00	0.00
전기설비		0.00	50.00	0.00
합계			2.18	0.00
1. 상태평가지수(E3) 최대값 =				0.00
2. 상태평가지수(E3) 최소값 =				0.00
3. V1 =				0.00
4. V2 =				0.00
5. 개별시설의 상태평가지수(Ec) =				5.00
6. 개별시설의 상태평가등급 =				A

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	상태평가 - 복합부재	평가자 :	홍길동

제체->블록-1

개별부재	평가등급	평가지수	조정계수	중요도	계산값	계산값
DC01	B	3.90	2.00	40.00	80.00	312.00
US01	B	4.40	2.00	30.00	60.00	264.00
DS01	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
DS14	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
DS27	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
DS40	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
DS50	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
합계				100.00	200.00	840.00
1. 복합부재의 상태평가지수(E3) =						4.20
2. 복합부재의 상태평가등급 =						B

제체->블록-2

개별부재	평가등급	평가지수	조정계수	중요도	계산값	계산값
DC02	B	3.90	2.00	40.00	80.00	312.00
US02	B	4.40	2.00	30.00	60.00	264.00
DS02	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
DS15	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
DS28	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
DS41	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
DS51	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
합계				100.00	200.00	840.00
1. 복합부재의 상태평가지수(E3) =						4.20
2. 복합부재의 상태평가등급 =						B

제체->블록-3

개별부재	평가등급	평가지수	조정계수	중요도	계산값	계산값
DC03	B	3.90	2.00	40.00	80.00	312.00
US03	B	4.40	2.00	30.00	60.00	264.00
DS03	C	3.40	3.00	10.00	30.00	102.00
DS16	B	4.40	2.00	10.00	20.00	88.00
DS29	B	4.40	2.00	10.00	20.00	88.00
합계				100.00	210.00	854.00
1. 복합부재의 상태평가지수(E3) =						4.07
2. 복합부재의 상태평가등급 =						B

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	상태평가 - 복합부재	평가자 :	홍길동

제체->블록-4

개별부재	평가등급	평가지수	조정계수	중요도	계산값	계산값
DC04	D	2.00	6.00	40.00	240.00	480.00
US04	B	4.40	2.00	30.00	60.00	264.00
DS04	B	3.90	2.00	10.00	20.00	78.00
DS17	B	4.40	2.00	10.00	20.00	88.00
DS30	B	4.40	2.00	10.00	20.00	88.00
합계				100.00	360.00	998.00
1. 복합부재의 상태평가지수(E3) =						2.77
2. 복합부재의 상태평가등급 =						C

제체->블록-5

개별부재	평가등급	평가지수	조정계수	중요도	계산값	계산값
DC05	B	3.90	2.00	40.00	80.00	312.00
US05	B	3.60	2.00	30.00	60.00	216.00
DS05	B	3.90	2.00	7.50	15.00	58.50
DS18	B	4.40	2.00	7.50	15.00	66.00
DS31	B	4.40	2.00	7.50	15.00	66.00
DS42	B	4.40	2.00	7.50	15.00	66.00
합계				100.00	200.00	784.50
1. 복합부재의 상태평가지수(E3) =						3.92
2. 복합부재의 상태평가등급 =						B

제체->블록-6

개별부재	평가등급	평가지수	조정계수	중요도	계산값	계산값
DC06	B	3.90	2.00	40.00	80.00	312.00
US06	B	3.60	2.00	30.00	60.00	216.00
DS06	B	3.90	2.00	7.50	15.00	58.50
DS19	B	4.40	2.00	7.50	15.00	66.00
DS32	B	4.40	2.00	7.50	15.00	66.00
DS43	B	4.40	2.00	7.50	15.00	66.00
합계				100.00	200.00	784.50
1. 복합부재의 상태평가지수(E3) =						3.92
2. 복합부재의 상태평가등급 =						B

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	상태평가 - 복합부재	평가자 :	홍길동

제체->블록-7

개별부재	평가등급	평가지수	조정계수	중요도	계산값	계산값
DC07	B	3.90	2.00	40.00	80.00	312.00
US07	B	4.40	2.00	30.00	60.00	264.00
DS07	B	3.90	2.00	6.00	12.00	46.80
DS20	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
DS33	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
DS44	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
DS52	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
합계				100.00	200.00	834.00
1. 복합부재의 상태평가지수(E3) =						4.17
2. 복합부재의 상태평가등급 =						B

제체->블록-8

개별부재	평가등급	평가지수	조정계수	중요도	계산값	계산값
DC08	B	3.90	2.00	40.00	80.00	312.00
US08	B	3.60	2.00	30.00	60.00	216.00
DS08	D	2.00	6.00	6.00	36.00	72.00
DS21	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
DS34	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
DS45	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
DS53	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
합계				100.00	224.00	811.20
1. 복합부재의 상태평가지수(E3) =						3.62
2. 복합부재의 상태평가등급 =						B

제체->블록-9

개별부재	평가등급	평가지수	조정계수	중요도	계산값	계산값
DC09	B	3.90	2.00	40.00	80.00	312.00
US09	B	4.40	2.00	30.00	60.00	264.00
DS09	B	3.90	2.00	6.00	12.00	46.80
DS22	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
DS35	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
DS46	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
DS54	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
합계				100.00	200.00	834.00
1. 복합부재의 상태평가지수(E3) =						4.17
2. 복합부재의 상태평가등급 =						B

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	상태평가 - 복합부재	평가자 :	홍길동

제체->블록-10

개별부재	평가등급	평가지수	조정계수	중요도	계산값	계산값
DC10	B	3.90	2.00	40.00	80.00	312.00
US10	D	2.00	6.00	30.00	180.00	360.00
DS10	D	2.00	6.00	6.00	36.00	72.00
DS23	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
DS36	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
DS47	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
DS55	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
합계				100.00	344.00	955.20
1. 복합부재의 상태평가지수(E3) =						2.78
2. 복합부재의 상태평가등급 =						C

제체->블록-11

개별부재	평가등급	평가지수	조정계수	중요도	계산값	계산값
DC11	B	3.90	2.00	40.00	80.00	312.00
US11	D	2.00	6.00	30.00	180.00	360.00
DS11	D	2.00	6.00	6.00	36.00	72.00
DS24	C	3.40	3.00	6.00	18.00	61.20
DS37	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
DS48	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
DS56	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
합계				100.00	350.00	963.60
1. 복합부재의 상태평가지수(E3) =						2.75
2. 복합부재의 상태평가등급 =						C

제체->블록-12

개별부재	평가등급	평가지수	조정계수	중요도	계산값	계산값
DC12	B	3.90	2.00	40.00	80.00	312.00
US12	D	2.00	6.00	30.00	180.00	360.00
DS12	C	3.40	3.00	6.00	18.00	61.20
DS25	C	3.40	3.00	6.00	18.00	61.20
DS38	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
DS49	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
DS57	B	4.40	2.00	6.00	12.00	52.80
합계				100.00	332.00	952.80
1. 복합부재의 상태평가지수(E3) =						2.87
2. 복합부재의 상태평가등급 =						C

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	상태평가 - 복합부재	평가자 :	홍길동

제체->블록-13

개별부재	평가등급	평가지수	조정계수	중요도	계산값	계산값
DC13	B	3.90	2.00	40.00	80.00	312.00
US13	B	4.40	2.00	30.00	60.00	264.00
DS13	C	3.40	3.00	7.50	22.50	76.50
DS26	C	3.40	3.00	7.50	22.50	76.50
DS39	B	4.40	2.00	7.50	15.00	66.00
DS58	B	4.40	2.00	7.50	15.00	66.00
합계				100.00	215.00	861.00
1. 복합부재의 상태평가지수(E3) =						4.00
2. 복합부재의 상태평가등급 =						B

여수로->접근수로

개별부재	평가등급	평가지수	조정계수	중요도	계산값	계산값
접근수로 좌벽체	D	2.00	6.00	495.00	2970.00	5940.00
접근수로 우벽체	D	2.00	6.00	682.50	4095.00	8190.00
합계				1177.50	7065.00	14130.00
1. 복합부재의 상태평가지수(E3) =						2.00
2. 복합부재의 상태평가등급 =						D

여수로->측벽 및 문주

개별부재	평가등급	평가지수	조정계수	중요도	계산값	계산값
측벽 및 문주 1호 문비	D	2.00	6.00	506.70	3040.20	6080.40
측벽 및 문주 2호 문비	D	2.00	6.00	506.70	3040.20	6080.40
측벽 및 문주 3호 문비	D	2.00	6.00	506.70	3040.20	6080.40
합계				1520.10	9120.60	18241.20
1. 복합부재의 상태평가지수(E3) =						2.00
2. 복합부재의 상태평가등급 =						D

여수로->방수로 좌벽체

개별부재	평가등급	평가지수	조정계수	중요도	계산값	계산값
SL01	D	2.00	6.00	257.80	1546.80	3093.60
SL02	D	2.00	6.00	180.40	1082.40	2164.80
SL03	D	2.00	6.00	172.50	1035.00	2070.00
SL04	B	3.60	2.00	170.70	341.40	1229.04
SL05	D	2.00	6.00	140.50	843.00	1686.00
합계				921.90	4848.60	10243.44
1. 복합부재의 상태평가지수(E3) =						2.11
2. 복합부재의 상태평가등급 =						D

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	상태평가 - 복합부재	평가자 :	홍길동

여수로->방수로 우벽체

개별부재	평가등급	평가지수	조정계수	중요도	계산값	계산값
SR01	D	2.00	6.00	257.80	1546.80	3093.60
SR02	D	2.00	6.00	180.40	1082.40	2164.80
SR03	D	2.00	6.00	172.50	1035.00	2070.00
SR04	D	2.00	6.00	170.70	1024.20	2048.40
SR05	D	2.00	6.00	140.50	843.00	1686.00
합계				921.90	5531.40	11062.80
1. 복합부재의 상태평가지수(E3) =						2.00
2. 복합부재의 상태평가등급 =						D

여수로->방수로바닥

개별부재	평가등급	평가지수	조정계수	중요도	계산값	계산값
SB01	D	2.00	6.00	1184.00	7104.00	14208.00
SB02	D	2.00	6.00	1280.00	7680.00	15360.00
SB03	D	2.00	6.00	1280.00	7680.00	15360.00
SB04	D	2.00	6.00	1280.00	7680.00	15360.00
SB05	D	2.00	6.00	1120.00	6720.00	13440.00
합계				6144.00	36864.00	73728.00
1. 복합부재의 상태평가지수(E3) =						2.00
2. 복합부재의 상태평가등급 =						D

취수시설->취수시설

개별부재	평가등급	평가지수	조정계수	중요도	계산값	계산값
복통1	D	2.00	6.00	714.00	4284.00	8568.00
복통2	D	2.00	6.00	714.00	4284.00	8568.00
복통3	D	2.00	6.00	714.00	4284.00	8568.00
복통4	D	2.00	6.00	404.60	2427.60	4855.20
취수탑	C	2.80	3.00	1500.00	4500.00	12600.00
합계				4046.60	19779.60	43159.20
1. 복합부재의 상태평가지수(E3) =						2.18
2. 복합부재의 상태평가등급 =						D

여수로->감세공

개별부재	평가등급	평가지수	조정계수	중요도	계산값	계산값
벽체 및 바닥 / 감세공	C	2.80	3.00	417.30	1251.90	3505.32
좌측벽체 / 감세공	C	2.80	3.00	506.60	1519.80	4255.44
우측벽체 / 감세공	B	3.60	2.00	506.60	1013.20	3647.52
합계				1430.50	3784.90	11408.28
1. 복합부재의 상태평가지수(E3) =						3.01
2. 복합부재의 상태평가등급 =						C

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	상태평가 - 복합부재	평가자 :	홍길동

기전설비->기계설비

개별부재	평가등급	평가지수	조정계수	중요도	계산값	계산값
합계				0.00	0.00	0.00
1. 복합부재의 상태평가지수(E3) =						0.00
2. 복합부재의 상태평가등급 =						

기전설비->전기설비

개별부재	평가등급	평가지수	조정계수	중요도	계산값	계산값
합계				0.00	0.00	0.00
1. 복합부재의 상태평가지수(E3) =						0.00
2. 복합부재의 상태평가등급 =						

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	상태평가 - 개별부재	평가자 :	홍길동

제체->블록-1->DC01

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
식생	일반손상	3	C	1.30	3.90
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					3.90
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-1->US01

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
손상없음	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-1->DS01

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
손상없음	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-1->DS14

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
손상없음	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-1->DS27

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
손상없음	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-1->DS40

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
손상없음	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-1->DS50

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
손상없음	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	상태평가 - 개별부재	평가자 :	홍길동

제체->블록-2->DC02

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
식생	일반손상	3	C	1.30	3.90
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					3.90
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-2->US02

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
손상없음	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-2->DS02

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
손상없음	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-2->DS15

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
손상없음	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-2->DS28

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
손상없음	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-2->DS41

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
손상없음	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-2->DS51

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
손상없음	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	상태평가 - 개별부재	평가자 :	홍길동

제체->블록-3->DC03

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
식생	일반손상	3	C	1.30	3.90
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					3.90
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-3->US03

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
손상없음	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-3->DS03

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
식생	일반손상	2	D	1.70	3.40
사면 침식	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					3.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					C

제체->블록-3->DS16

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
손상없음	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-3->DS29

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
손상없음	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-4->DC04

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
중형방향 균열	중요결함	2	D	1.00	2.00
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.00
2. 개별부재의 상태평가등급 =					D

제체->블록-4->US04

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
손상없음	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	상태평가 - 개별부재	평가자 :	홍길동

제체->블록-4->DS04

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
사면 침식	일반손상	3	C	1.30	3.90
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					3.90
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-4->DS17

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
손상없음	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-4->DS30

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
손상없음	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-5->DC05

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
식생	일반손상	3	C	1.30	3.90
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					3.90
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-5->US05

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
사면 침식	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					3.60
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-5->DS05

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
사면 침식	일반손상	3	C	1.30	3.90
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					3.90
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-5->DS18

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
손상없음	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	상태평가 - 개별부재	평가자 :	홍길동

제체->블록-5->DS31

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
토사퇴적	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-5->DS42

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
토사퇴적	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-6->DC06

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
식생	일반손상	3	C	1.30	3.90
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					3.90
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-6->US06

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
사면 침식	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					3.60
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-6->DS06

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
사면 침식	일반손상	3	C	1.30	3.90
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					3.90
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-6->DS19

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
토사퇴적	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-6->DS32

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
토사퇴적	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	상태평가 - 개별부재	평가자 :	홍길동

제체->블록-6->DS43

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
토사퇴적	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-7->DC07

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
식생	일반손상	3	C	1.30	3.90
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					3.90
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-7->US07

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
손상없음	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-7->DS07

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
사면 침식	일반손상	3	C	1.30	3.90
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					3.90
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-7->DS20

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
토사퇴적	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-7->DS33

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
토사퇴적	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-7->DS44

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
토사퇴적	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	상태평가 - 개별부재	평가자 :	홍길동

제체->블록-7->DS52

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
토사퇴적	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-8->DC08

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
식생	일반손상	3	C	1.30	3.90
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					3.90
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-8->US08

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
손상없음	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					3.60
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-8->DS08

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
침하 및 변형	중요결함	2	D	1.00	2.00
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.00
2. 개별부재의 상태평가등급 =					D

제체->블록-8->DS21

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
토사퇴적	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-8->DS34

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
토사퇴적	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-8->DS45

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
토사퇴적	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	상태평가 - 개별부재	평가자 :	홍길동

제체->블록-8->DS53

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
토사퇴적	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-9->DC09

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
식생	일반손상	3	C	1.30	3.90
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					3.90
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-9->US09

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
손상없음	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-9->DS09

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
사면 침식	일반손상	3	C	1.30	3.90
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					3.90
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-9->DS22

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
토사퇴적	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-9->DS35

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
토사퇴적	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-9->DS46

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
토사퇴적	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	상태평가 - 개별부재	평가자 :	홍길동

제체->블록-9->DS54

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
토사퇴적	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-10->DC10

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
식생	일반손상	3	C	1.30	3.90
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					3.90
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-10->US10

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
손상없음	중요결함	2	D	1.00	2.00
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.00
2. 개별부재의 상태평가등급 =					D

제체->블록-10->DS10

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
사면 침식	국부결함	3	C	1.20	3.60
침하 및 변형	중요결함	2	D	1.00	2.00
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.00
2. 개별부재의 상태평가등급 =					D

제체->블록-10->DS23

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
토사퇴적	국부결함	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-10->DS36

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
토사퇴적	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-10->DS47

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
토사퇴적	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	상태평가 - 개별부재	평가자 :	홍길동

제체->블록-10->DS55

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
토사퇴적	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-11->DC11

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
식생	일반손상	3	C	1.30	3.90
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					3.90
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-11->US11

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
침하 및 변형	중요결함	2	D	1.00	2.00
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.00
2. 개별부재의 상태평가등급 =					D

제체->블록-11->DS11

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
침하 및 변형	중요결함	2	D	1.00	2.00
식생	일반손상	3	C	1.30	3.90
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.00
2. 개별부재의 상태평가등급 =					D

제체->블록-11->DS24

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
토사퇴적	일반손상	4	B	1.10	4.40
식생	일반손상	2	D	1.70	3.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					3.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					C

제체->블록-11->DS37

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
토사퇴적	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	상태평가 - 개별부재	평가자 :	홍길동

제체->블록-11->DS48

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
토사퇴적	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-11->DS56

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
토사퇴적	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-12->DC12

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
식생	일반손상	3	C	1.30	3.90
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					3.90
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-12->US12

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
침하 및 변형	중요결함	2	D	1.00	2.00
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.00
2. 개별부재의 상태평가등급 =					D

제체->블록-12->DS12

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
식생	일반손상	2	D	1.70	3.40
사면 침식	일반손상	3	C	1.30	3.90
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					3.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					C

제체->블록-12->DS25

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
토사퇴적	일반손상	4	B	1.10	4.40
식생	일반손상	2	D	1.70	3.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					3.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					C

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	상태평가 - 개별부재	평가자 :	홍길동

제체->블록-12->DS38

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
토사퇴적	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-12->DS49

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
토사퇴적	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-12->DS57

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
토사퇴적	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-13->DC13

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
식생	일반손상	3	C	1.30	3.90
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					3.90
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-13->US13

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
손상없음	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-13->DS13

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
식생	일반손상	2	D	1.70	3.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					3.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					C

제체->블록-13->DS26

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
식생	일반손상	2	D	1.70	3.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					3.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					C

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	상태평가 - 개별부재	평가자 :	홍길동

제체->블록-13->DS39

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
토사퇴적	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

제체->블록-13->DS58

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
토사퇴적	일반손상	4	B	1.10	4.40
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					4.40
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

여수로->접근수로->접근수로 좌벽체

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
콘크리트의 박락 및 층분리	국부결함	1	E	2.00	2.00
콘크리트의 백태	일반손상	3	C	1.30	3.90
콘크리트의 누수	국부결함	2	D	1.40	2.80
재료분리	일반손상	3	C	1.30	3.90
동결융해	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.00
2. 개별부재의 상태평가등급 =					D

여수로->접근수로->접근수로 우벽체

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
콘크리트의 박락 및 층분리	국부결함	1	E	2.00	2.00
콘크리트의 백태	일반손상	3	C	1.30	3.90
콘크리트의 누수	국부결함	2	D	1.40	2.80
이격및단차	일반손상	2	D	1.70	3.40
동결융해	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.00
2. 개별부재의 상태평가등급 =					D

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	상태평가 - 개별부재	평가자 :	홍길동

여수로->측벽 및 문주->측벽 및 문주 1호 문비

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
콘크리트의 백태	일반손상	2	D	1.70	3.40
콘크리트의 철근노출	국부결함	2	D	1.40	2.80
콘크리트의 박락 및 층분리	국부결함	1	E	2.00	2.00
공동	국부결함	2	D	1.40	2.80
콘크리트의 파손 및 손상	일반손상	3	C	1.30	3.90
콘크리트의 압축강도	국부결함	4	B	1.10	4.40
콘크리트의 중성화	국부결함	3	C	1.20	3.60
동결응해	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.00
2. 개별부재의 상태평가등급 =					D

여수로->측벽 및 문주->측벽 및 문주 2호 문비

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
콘크리트의 백태	일반손상	3	C	1.30	3.90
콘크리트의 박락 및 층분리	국부결함	1	E	2.00	2.00
재료분리	국부결함	1	E	2.00	2.00
세굴	국부결함	3	C	1.20	3.60
콘크리트의 압축강도	국부결함	4	B	1.10	4.40
콘크리트의 중성화	국부결함	3	C	1.20	3.60
동결응해	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.00
2. 개별부재의 상태평가등급 =					D

여수로->측벽 및 문주->측벽 및 문주 3호 문비

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
콘크리트의 백태	일반손상	3	C	1.30	3.90
콘크리트의 박락 및 층분리	국부결함	1	E	2.00	2.00
재료분리	국부결함	3	C	1.20	3.60
콘크리트의 누수	국부결함	2	D	1.40	2.80
콘크리트의 균열	국부결함	3	C	1.20	3.60
세굴	국부결함	3	C	1.20	3.60
콘크리트의 압축강도	국부결함	3	C	1.20	3.60
콘크리트의 중성화	국부결함	3	C	1.20	3.60
동결응해	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.00
2. 개별부재의 상태평가등급 =					D

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	상태평가 - 개별부재	평가자 :	홍길동

여수로->방수로 좌벽체->SL01

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
콘크리트의 박락 및 층분리	국부결함	1	E	2.00	2.00
콘크리트의 백태	일반손상	3	C	1.30	3.90
콘크리트의 철근노출	국부결함	2	D	1.40	2.80
콘크리트의 균열	국부결함	3	C	1.20	3.60
망상의 균열	국부결함	3	C	1.20	3.60
콘크리트의 압축강도	국부결함	4	B	1.10	4.40
콘크리트의 중성화	국부결함	3	C	1.20	3.60
동결융해	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.00
2. 개별부재의 상태평가등급 =					D

여수로->방수로 좌벽체->SL02

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
콘크리트의 박락 및 층분리	국부결함	1	E	2.00	2.00
콘크리트의 파손 및 손상	일반손상	3	C	1.30	3.90
콘크리트의 철근노출	국부결함	2	D	1.40	2.80
콘크리트의 박락 및 층분리	국부결함	3	C	1.20	3.60
콘크리트의 백태	일반손상	3	C	1.30	3.90
콘크리트의 압축강도	국부결함	3	C	1.20	3.60
콘크리트의 중성화	국부결함	3	C	1.20	3.60
동결융해	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.00
2. 개별부재의 상태평가등급 =					D

여수로->방수로 좌벽체->SL03

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
콘크리트의 박락 및 층분리	국부결함	1	E	2.00	2.00
콘크리트의 백태	일반손상	3	C	1.30	3.90
콘크리트의 압축강도	국부결함	4	B	1.10	4.40
콘크리트의 중성화	국부결함	3	C	1.20	3.60
동결융해	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.00
2. 개별부재의 상태평가등급 =					D

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	상태평가 - 개별부재	평가자 :	홍길동

여수로->방수로 좌벽체->SL04

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
접속부이격	일반손상	3	C	1.30	3.90
콘크리트의 압축강도	국부결함	4	B	1.10	4.40
콘크리트의 중성화	국부결함	3	C	1.20	3.60
동결융해	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					3.60
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

여수로->방수로 좌벽체->SL05

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
콘크리트의 박락 및 층분리	국부결함	1	E	2.00	2.00
콘크리트의 파손 및 손상	일반손상	2	D	1.70	3.40
콘크리트의 압축강도	국부결함	4	B	1.10	4.40
콘크리트의 중성화	국부결함	3	C	1.20	3.60
동결융해	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.00
2. 개별부재의 상태평가등급 =					D

여수로->방수로 우벽체->SR01

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
콘크리트의 철근노출	국부결함	2	D	1.40	2.80
콘크리트의 백태	일반손상	3	C	1.30	3.90
콘크리트의 박락 및 층분리	국부결함	1	E	2.00	2.00
콘크리트의 박락 및 층분리	국부결함	3	C	1.20	3.60
콘크리트의 균열	국부결함	3	C	1.20	3.60
콘크리트의 균열	국부결함	3	C	1.20	3.60
콘크리트의 압축강도	국부결함	4	B	1.10	4.40
콘크리트의 중성화	국부결함	3	C	1.20	3.60
동결융해	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.00
2. 개별부재의 상태평가등급 =					D

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	상태평가 - 개별부재	평가자 :	홍길동

여수로->방수로 우벽체->SR02

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
콘크리트의 박락 및 층분리	국부결함	1	E	2.00	2.00
콘크리트의 철근노출	국부결함	2	D	1.40	2.80
콘크리트의 박락 및 층분리	국부결함	3	C	1.20	3.60
세굴	국부결함	3	C	1.20	3.60
콘크리트의 균열	국부결함	3	C	1.20	3.60
콘크리트의 압축강도	국부결함	4	B	1.10	4.40
콘크리트의 중성화	국부결함	3	C	1.20	3.60
동결융해	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.00
2. 개별부재의 상태평가등급 =					D

여수로->방수로 우벽체->SR03

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
콘크리트의 박락 및 층분리	국부결함	1	E	2.00	2.00
콘크리트의 압축강도	국부결함	4	B	1.10	4.40
콘크리트의 중성화	국부결함	3	C	1.20	3.60
동결융해	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.00
2. 개별부재의 상태평가등급 =					D

여수로->방수로 우벽체->SR04

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
콘크리트의 박락 및 층분리	국부결함	1	E	2.00	2.00
콘크리트의 압축강도	국부결함	4	B	1.10	4.40
콘크리트의 중성화	국부결함	3	C	1.20	3.60
동결융해	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.00
2. 개별부재의 상태평가등급 =					D

여수로->방수로 우벽체->SR05

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
콘크리트의 박락 및 층분리	국부결함	1	E	2.00	2.00
콘크리트의 백태	일반손상	3	C	1.30	3.90
콘크리트의 압축강도	국부결함	4	B	1.10	4.40
콘크리트의 중성화	국부결함	3	C	1.20	3.60
동결융해	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.00
2. 개별부재의 상태평가등급 =					D

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	상태평가 - 개별부재	평가자 :	홍길동

여수로->방수로바닥->SB01

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
콘크리트의 박락 및 층분리	국부결함	1	E	2.00	2.00
세굴	국부결함	1	E	2.00	2.00
콘크리트의 균열	국부결함	2	D	1.40	2.80
동결응해	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.00
2. 개별부재의 상태평가등급 =					D

여수로->방수로바닥->SB02

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
세굴	국부결함	1	E	2.00	2.00
콘크리트의 박락 및 층분리	국부결함	1	E	2.00	2.00
콘크리트의 균열	국부결함	2	D	1.40	2.80
동결응해	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.00
2. 개별부재의 상태평가등급 =					D

여수로->방수로바닥->SB03

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
세굴	국부결함	1	E	2.00	2.00
콘크리트의 박락 및 층분리	국부결함	1	E	2.00	2.00
동결응해	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.00
2. 개별부재의 상태평가등급 =					D

여수로->방수로바닥->SB04

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
세굴	국부결함	1	E	2.00	2.00
콘크리트의 박락 및 층분리	국부결함	1	E	2.00	2.00
동결응해	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.00
2. 개별부재의 상태평가등급 =					D

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	상태평가 - 개별부재	평가자 :	홍길동

여수로->방수로바닥->SB05

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
세굴	국부결함	1	E	2.00	2.00
콘크리트의 박락 및 층분리	국부결함	1	E	2.00	2.00
콘크리트의 철근노출	국부결함	2	D	1.40	2.80
콘크리트의 균열	국부결함	3	C	1.20	3.60
동결응해	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.00
2. 개별부재의 상태평가등급 =					D

취수시설->취수시설->복통1

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
콘크리트의 누수	국부결함	1	E	2.00	2.00
콘크리트의 박락 및 층분리	국부결함	3	C	1.20	3.60
콘크리트의 철근노출	국부결함	2	D	1.40	2.80
콘크리트의 박락 및 층분리	국부결함	1	E	2.00	2.00
콘크리트의 균열	국부결함	2	D	1.40	2.80
콘크리트의 백태	일반손상	1	E	3.00	3.00
콘크리트의 압축강도	국부결함	3	C	1.20	3.60
콘크리트의 중성화	국부결함	3	C	1.20	3.60
동결응해	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.00
2. 개별부재의 상태평가등급 =					D

취수시설->취수시설->복통2

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
콘크리트의 누수	국부결함	1	E	2.00	2.00
콘크리트의 박락 및 층분리	국부결함	1	E	2.00	2.00
콘크리트의 균열	국부결함	2	D	1.40	2.80
단차	국부결함	2	D	1.40	2.80
콘크리트의 백태	일반손상	1	E	3.00	3.00
콘크리트의 압축강도	국부결함	2	D	1.40	2.80
콘크리트의 중성화	국부결함	3	C	1.20	3.60
동결응해	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.00
2. 개별부재의 상태평가등급 =					D

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	상태평가 - 개별부재	평가자 :	홍길동

취수시설->취수시설->복통3

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
콘크리트의 누수	국부결함	1	E	2.00	2.00
콘크리트의 박락 및 층분리	국부결함	3	C	1.20	3.60
콘크리트의 철근노출	국부결함	2	D	1.40	2.80
콘크리트의 백태	일반손상	1	E	3.00	3.00
동결응해	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.00
2. 개별부재의 상태평가등급 =					D

취수시설->취수시설->복통4

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
콘크리트의 누수	국부결함	1	E	2.00	2.00
콘크리트의 백태	일반손상	1	E	3.00	3.00
콘크리트의 압축강도	국부결함	4	B	1.10	4.40
콘크리트의 중성화	국부결함	3	C	1.20	3.60
동결응해	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.00
2. 개별부재의 상태평가등급 =					D

취수시설->취수시설->취수탑

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
콘크리트의 철근노출	국부결함	2	D	1.40	2.80
콘크리트의 균열	국부결함	3	C	1.20	3.60
콘크리트의 박락 및 층분리	국부결함	3	C	1.20	3.60
콘크리트의 균열	국부결함	3	C	1.20	3.60
표면부식	일반손상	3	C	1.30	3.90
콘크리트의 압축강도	국부결함	3	C	1.20	3.60
콘크리트의 중성화	국부결함	3	C	1.20	3.60
동결응해	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.80
2. 개별부재의 상태평가등급 =					C

여수로->감세공->벽체 및 바닥 / 감세공

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
콘크리트의 백태	일반손상	3	C	1.30	3.90
콘크리트의 박리	국부결함	2	D	1.40	2.80
콘크리트의 누수	국부결함	3	C	1.20	3.60
동결응해	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.80
2. 개별부재의 상태평가등급 =					C

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	상태평가 - 개별부재	평가자 :	홍길동

여수로->감세공->좌측벽체 / 감세공

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
콘크리트의 철근노출	국부결함	2	D	1.40	2.80
토공유실	일반손상	3	C	1.30	3.90
동결응해	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					2.80
2. 개별부재의 상태평가등급 =					C

여수로->감세공->우측벽체 / 감세공

조사항목	평가유형	평가점수	평가등급	영향계수	평가지수
콘크리트의 균열	국부결함	3	C	1.20	3.60
날개벽탈락	국부결함	3	C	1.20	3.60
토공유실	일반손상	3	C	1.30	3.90
동결응해	국부결함	3	C	1.20	3.60
1. 개별부재의 상태평가지수(E2) =					3.60
2. 개별부재의 상태평가등급 =					B

저수지명 :	오봉저수지	평가날짜 :	2011-12-13
평가단계 :	중성화에 의한 강도추론	평가자 :	홍길동

1. 조사자료

1.1 탄산칼슘함량 측정량

	측정 깊이(mm)	탄산칼슘 함량(%)
(a)	2.50	27.00
(b)	7.50	14.00
(c)	12.50	10.00
(d)	17.50	5.00
(e)	22.50	2.50
(f)	27.50	1.00

1.2 조사년도 = 2011 년
 1.3 콘크리트 피복 두께 = 20.00 mm

2. 임계값 계산

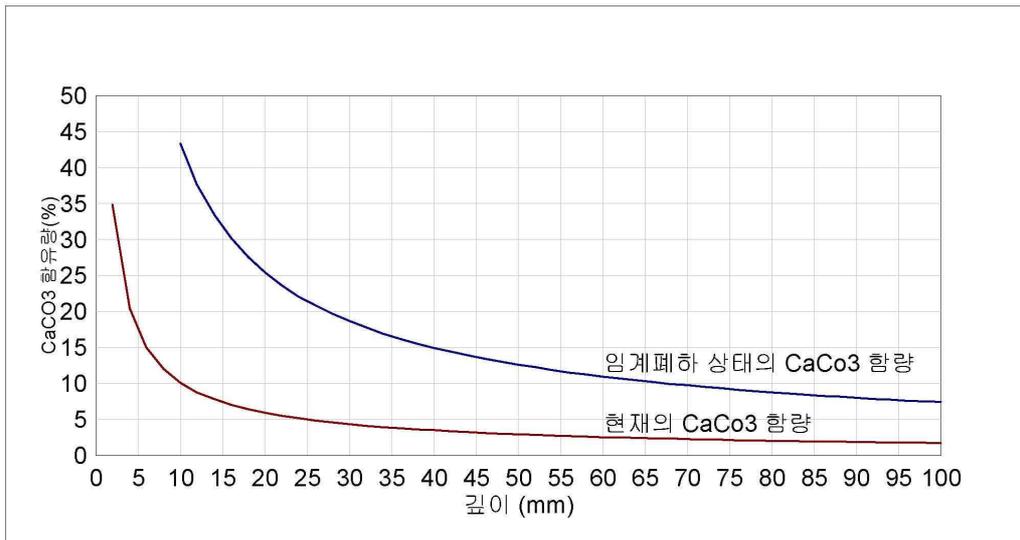
2.1 부식임계 pH = 10.40 pH
 2.2 임계수명 = 30 년

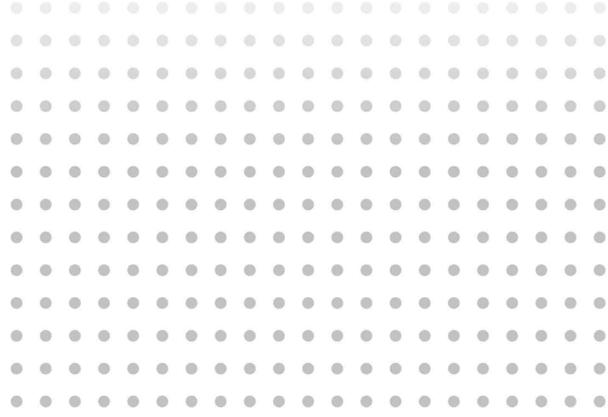
3. 중성화 진행 상황 산정

3.1 철근위치의 탄산칼슘 함량 산정 = 5.96 %
 3.2 사용기간 추정 = 14 년

4 잔존수명 = 16 년

5 추정강도 = 10.23 MPa





부록 E

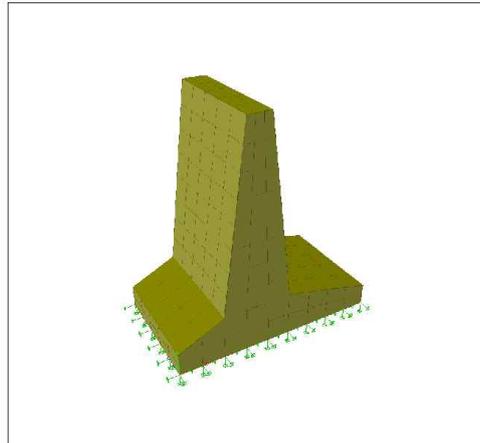


내하력평가 예

E1. 역T형 옹벽

PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Input Data	CALCU. By	

1. 검토단면



H1	: 1000.00 mm
H2	: 2000.00 mm
H3	: 10000.00 mm
H4	: 2000.00 mm
H5	: 1000.00 mm
B1	: 2000.00 mm
B2	: 1000.00 mm
B3	: 1000.00 mm
B4	: 1000.00 mm
B5	: 4000.00 mm

2. 재료성질

콘크리트 강도

설계기준강도	: 27.00 MPa
슈미트해머	: 27.00 MPa
초음파시험	: 27.00 MPa
중성화시험	: 27.00 MPa
강도적용방법	: 최소값
탄성계수	: 24421.00 MPa
단위중량	: 24.50 kN/m ³

3. 하중조합 및 허용응력

PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Input Data	CALCU. By	

1) 하중조합

하중조합	고정하중	토압	지진하중	응력증가계수
LCB1	1.00	1.00	0.00	1.00
LCB2	1.00	0.00	1.00	1.33

2) 허용응력 (MPa)

구 분	하중조합	압축응력	인장응력	전단응력
상시	LCB1	6.75	0.68	0.42
지진시	LCB2	8.98	0.90	0.55

3) 작용응력 (MPa)

구 분	하중조합	압축응력	인장응력	전단응력
상시	LCB1	2.07	0.41	0.25
지진시	LCB2	1.28	0.60	0.47

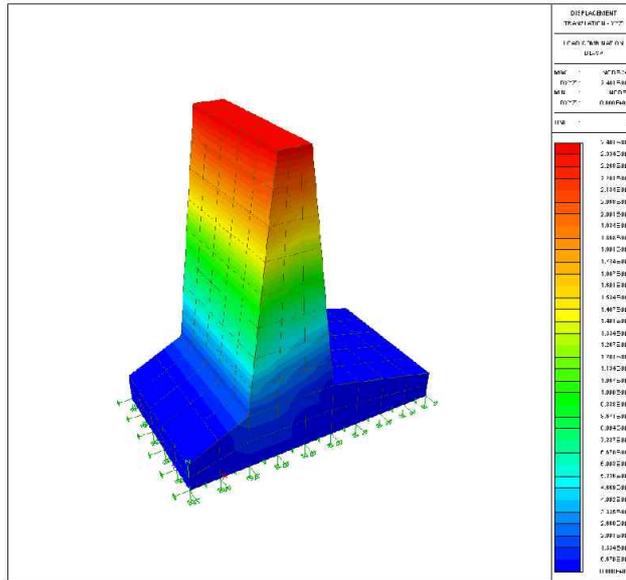
4) 응력비

구 분	하중조합	압축응력	인장응력	전단응력	검토
상시	LCB1	0.31	0.60	0.60	OK
지진시	LCB2	0.14	0.67	0.85	OK

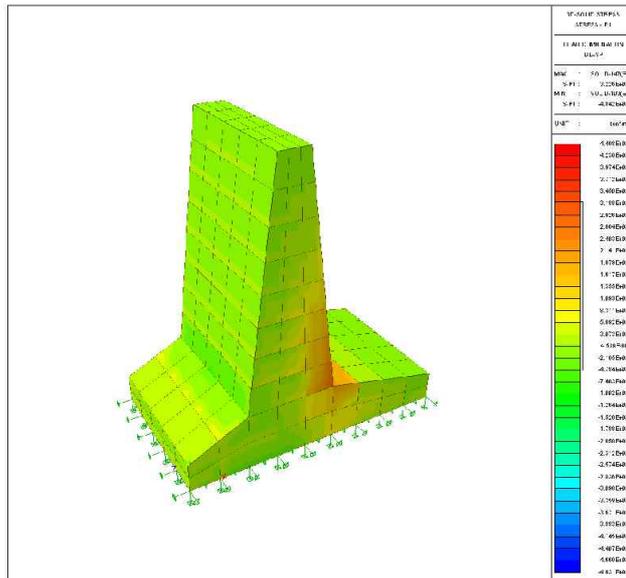
PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Stress Check	CALCU. By	

1. 상시

1) 변형도



2) 주인장응력



PROJECT		DATE	2013-1-18
SUBJECT	Member Check	CALCU. By	

1. 하중집계 및 조합

1) 작용하중 집계표

No	구분	수직력 (kN)	수평력 (kN)	작용거리-X (m)	작용거리-Y (m)	Mr (kN.m)	Mo (kN.m)
1	옹벽구체(정상시)	497.60	-	3.03	-	1508.66	-
2	옹벽구체(지진시)	497.60	38.31	3.03	3.06	1508.66	117.45
3	뒷채움재(정상시)	1006.80	-	5.22	-	5262.43	-
4	뒷채움재(지진시)	1006.80	77.52	5.22	6.24	5262.43	484.27
5	상재활하중	60.37	-	4.98	-	300.74	-
6	상재활하중	-	36.247	-	5.44	-	197.27
7	배면토압(정상시)	-	374.822	-	3.62	-	1359.97
8	배면토압(지진시)	-	428.850	-	5.44	-	2334.01

2) 하중조합

구분	구성	V(kN)	H(kN)	Mr(kN.m)
Combo1	고정하중(1.0)+토압(1.0)	1504.40	411.06	6771.09
Combo2	고정하중(1.0)+활하중(1.0)+토압(1.0)	1564.77	411.06	7071.84
Combo3	고정하중(0.9)+토압(1.0)	1353.96	411.06	6093.98
Combo4	고정하중(0.9) + 토압(1.6) + 지진하중(1.0)	1353.96	533.10	6093.98

2. 안전을 계산

1) 전도에 대한 안정

구분	Mr (kN.m)	Mo (kN.m)	S.F	검토
Combo1	6771.098	1557.253	4.348	OK
Combo2	7071.845	1557.253	4.541	OK
Combo3	6093.988	1557.253	3.913	OK
Combo4	6093.988	2875.570	2.119	OK

2) 활동에 대한 안정

구분	Hu (kN)	H (kN)	S.F	검토
Combo1	902.641	411.069	2.196	OK
Combo2	938.867	411.069	2.284	OK
Combo3	812.377	411.069	1.976	OK
Combo4	812.377	533.105	1.524	OK

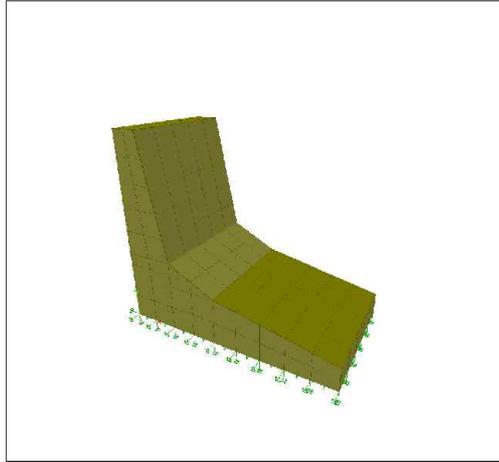
3) 지지력에 대한 안정

구분	Qmax (kN)	Qmin (kN)	Qa (kN)	S.F	검토
Combo1	263.403	112.698	1967.500	7.5	OK
Combo2	265.396	125.799	1967.500	7.4	OK
Combo3	251.662	86.829	1967.500	7.8	OK
Combo4	379.733	0.000	2951.300	7.8	OK

E2. L형 옹벽

PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Input Data	CALCU. By	

1. 검토단면



H1	: 5000.00 mm
H2	: 1000.00 mm
H3	: 1000.00 mm
H4	: 1000.00 mm
H5	: 0.00 mm
B1	: 1000.00 mm
B2	: 1000.00 mm
B3	: 2000.00 mm
B4	: 5000.00 mm

2. 재료성질

콘크리트 강도	
설계기준강도	: 27.00 MPa
슈미트해머	: 27.00 MPa
초음파시험	: 27.00 MPa
중성화시험	: 27.00 MPa
강도적용방법	: 최소값
탄성계수	: 24421.00 MPa
단위중량	: 24.50 kN/m ³

3. 하중조합 및 허용응력

PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Input Data	CALCU. By	

1) 하중조합

하중조합	고정하중	토압	지진하중	응력증가계수
LCB1	1.00	1.00	0.00	1.00
LCB2	1.00	0.00	1.00	1.33

2) 허용응력 (MPa)

구 분	하중조합	압축응력	인장응력	전단응력
상시	LCB1	6.75	0.68	0.42
지진시	LCB2	8.98	0.90	0.55

3) 작용응력 (MPa)

구 분	하중조합	압축응력	인장응력	전단응력
상시	LCB1	2.07	0.41	0.25
지진시	LCB2	1.28	0.60	0.47

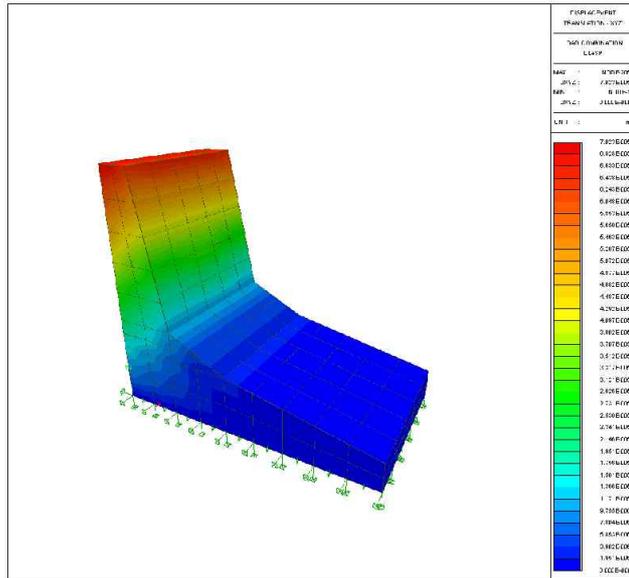
4) 응력비

구 분	하중조합	압축응력	인장응력	전단응력	검토
상시	LCB1	0.31	0.60	0.60	OK
지진시	LCB2	0.14	0.67	0.85	OK

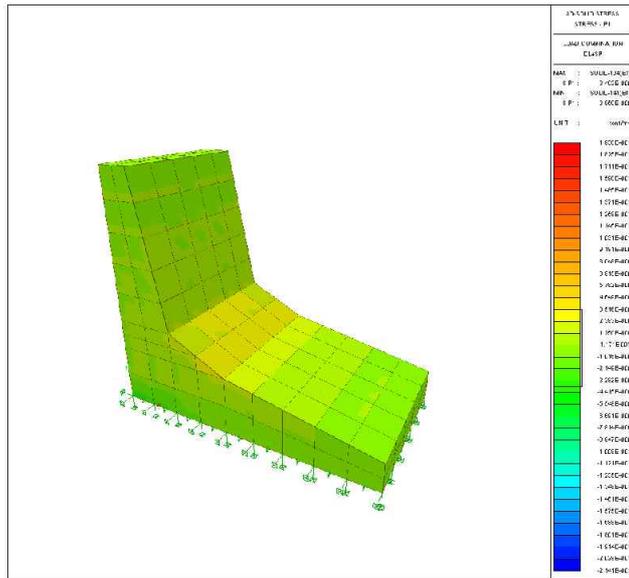
PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Stress Check	CALCU. By	

1. 상시

1) 변형도



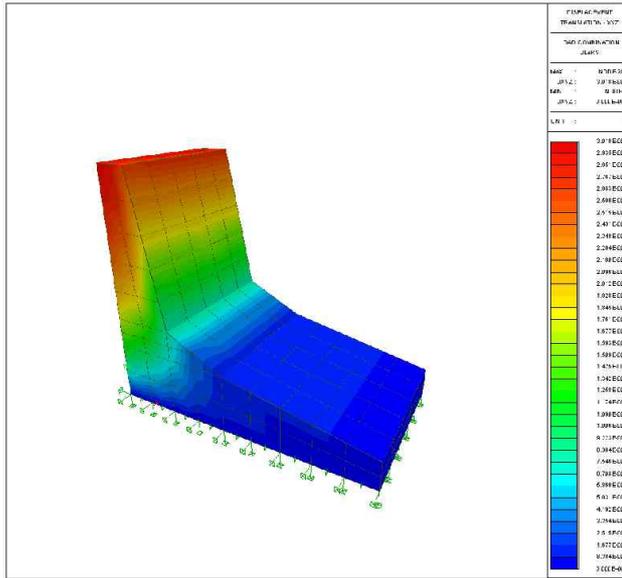
2) 주인장응력



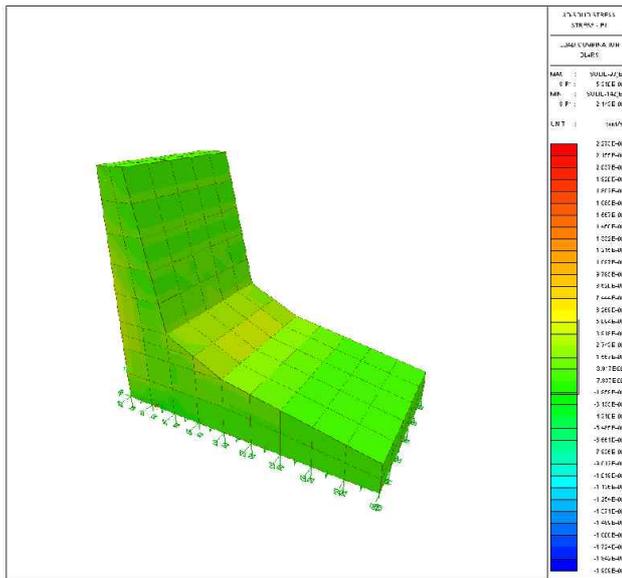
PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Stress Check	CALCU. By	

2. 지진시

1) 변형도



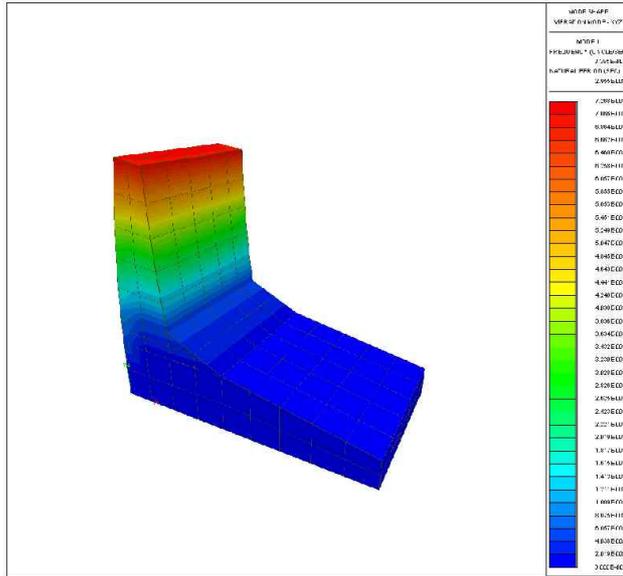
2) 주인장응력



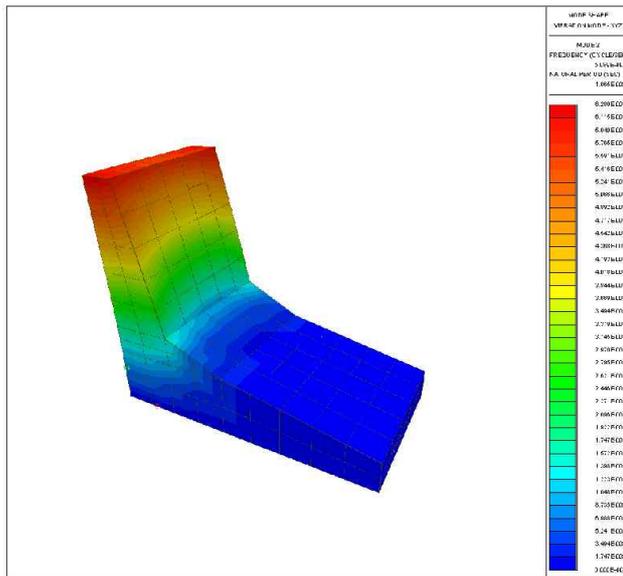
PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Stress Check	CALCU. By	

3. 모드형상

1) 1차 모드



2) 2차모드



PROJECT		DATE	2013-1-18
SUBJECT	Member Check	CALCU. By	

1. 하중집계 및 조합

1) 작용하중 집계표

No	구분	수직력 (kN)	수평력 (kN)	작용거리-X (m)	작용거리-Y (m)	Mr (kN.m)	Mo (kN.m)
1	옹벽구체(정상시)	497.60	-	3.03	-	1508.66	-
2	옹벽구체(지진시)	497.60	38.31	3.03	3.06	1508.66	117.45
3	뒷채움재(정상시)	1006.80	-	5.22	-	5262.43	-
4	뒷채움재(지진시)	1006.80	77.52	5.22	6.24	5262.43	484.27
5	상재활하중	60.37	-	4.98	-	300.74	-
6	상재활하중	-	36.247	-	5.44	-	197.27
7	배면토압(정상시)	-	374.822	-	3.62	-	1359.97
8	배면토압(지진시)	-	428.850	-	5.44	-	2334.01

2) 하중조합

구분	구성	V(kN)	H(kN)	Mr(kN.m)
Combo1	고정하중(1.0)+토압(1.0)	1504.40	411.06	6771.09
Combo2	고정하중(1.0)+활하중(1.0)+토압(1.0)	1564.77	411.06	7071.84
Combo3	고정하중(0.9)+토압(1.0)	1353.96	411.06	6093.98
Combo4	고정하중(0.9) + 토압(1.6) + 지진하중(1.0)	1353.96	533.10	6093.98

2. 안전을 계산

1) 전도에 대한 안정

구분	Mr (kN.m)	Mo (kN.m)	S.F	검토
Combo1	6771.098	1557.253	4.348	OK
Combo2	7071.845	1557.253	4.541	OK
Combo3	6093.988	1557.253	3.913	OK
Combo4	6093.988	2875.570	2.119	OK

2) 활동에 대한 안정

구분	Hu (kN)	H (kN)	S.F	검토
Combo1	902.641	411.069	2.196	OK
Combo2	938.867	411.069	2.284	OK
Combo3	812.377	411.069	1.976	OK
Combo4	812.377	533.105	1.524	OK

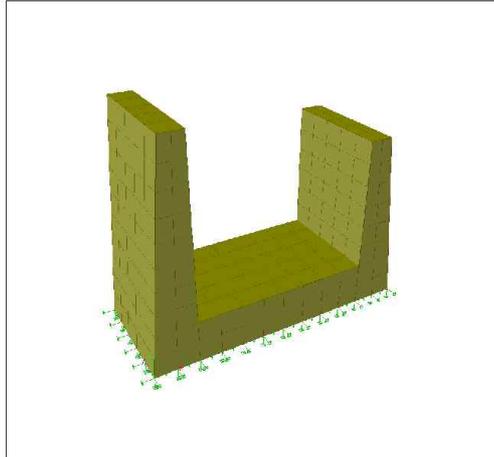
3) 지지력에 대한 안정

구분	Qmax (kN)	Qmin (kN)	Qa (kN)	S.F	검토
Combo1	263.403	112.698	1967.500	7.5	OK
Combo2	265.396	125.799	1967.500	7.4	OK
Combo3	251.662	86.829	1967.500	7.8	OK
Combo4	379.733	0.000	2951.300	7.8	OK

E3. U형 옹벽

PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Input Data	CALCU. By	

1. 검토단면



H1	: 10000.00 mm
H2	: 8000.00 mm
H3	: 2000.00 mm
B1	: 1000.00 mm
B2	: 1000.00 mm
B3	: 8000.00 mm
B4	: 1000.00 mm

2. 재료성질

콘크리트 강도	
설계기준강도	: 27.00 MPa
슈미트해머	: 27.00 MPa
초음파시험	: 27.00 MPa
중성화시험	: 27.00 MPa
강도적용방법	: 최소값
탄성계수	: 24421.00 MPa
단위중량	: 24.50 kN/m ³

3. 하중조합 및 허용응력

1) 하중조합

하중조합	고정하중	도압	지진하중	응력증가계수
------	------	----	------	--------

PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Input Data	CALCU. By	

LCB1	1.00	1.00	0.00	1.00
LCB2	1.00	0.00	1.00	1.33

2) 허용응력 (MPa)

구 분	하중조합	압축응력	인장응력	전단응력
상시	LCB1	6.75	0.68	0.42
지진시	LCB2	8.98	0.90	0.55

3) 작용응력 (MPa)

구 분	하중조합	압축응력	인장응력	전단응력
상시	LCB1	2.07	0.41	0.25
지진시	LCB2	1.28	0.60	0.47

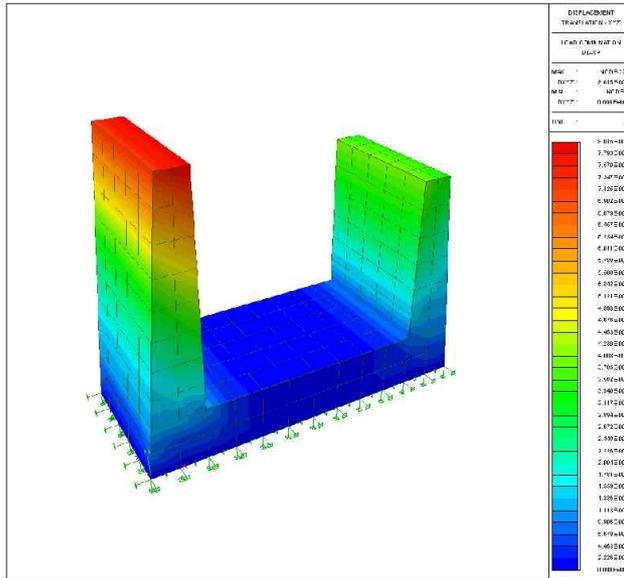
4) 응력비

구 분	하중조합	압축응력	인장응력	전단응력	검토
상시	LCB1	0.31	0.60	0.60	OK
지진시	LCB2	0.14	0.67	0.85	OK

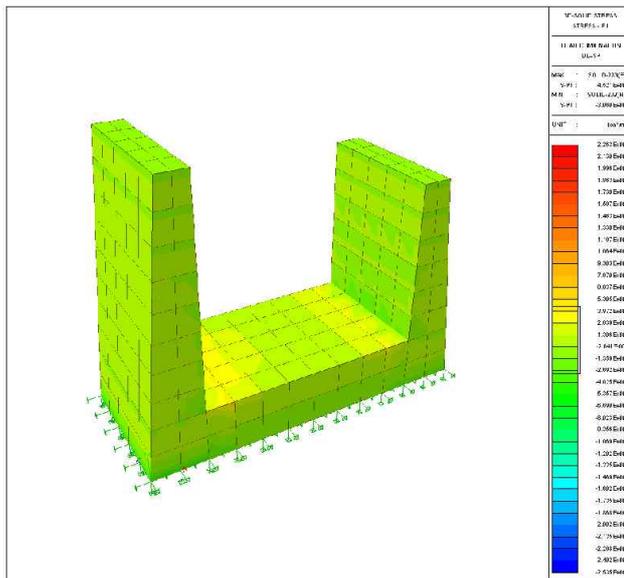
PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Stress Check	CALCU. By	

1. 상시

1) 변형도



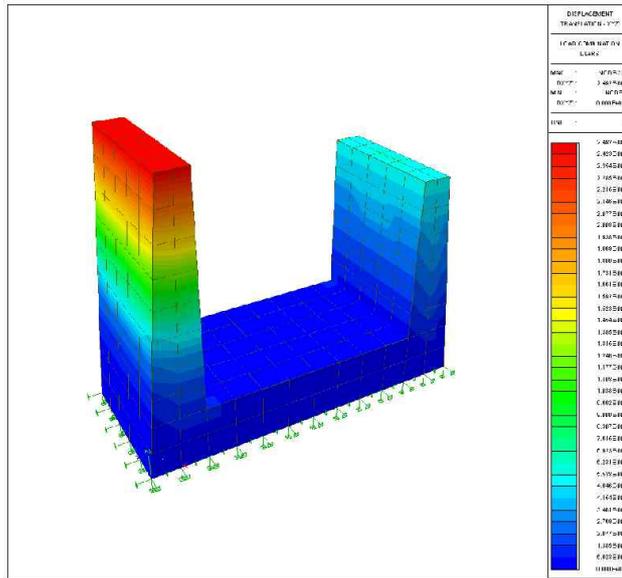
2) 주인장응력



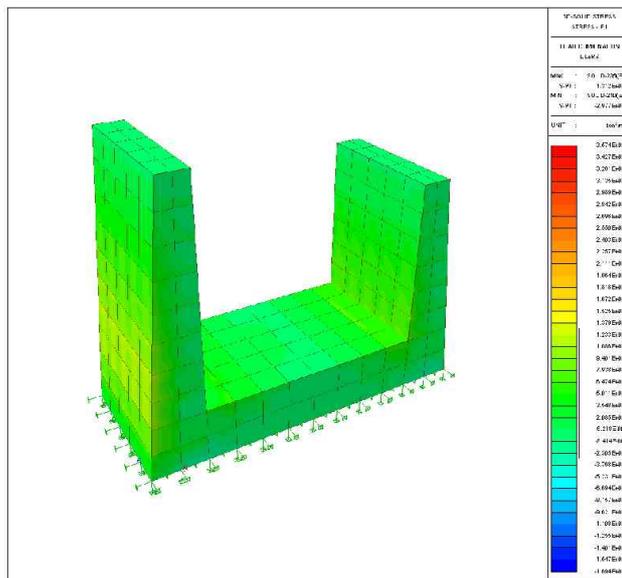
PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Stress Check	CALCU. By	

2. 지진시

1) 변형도



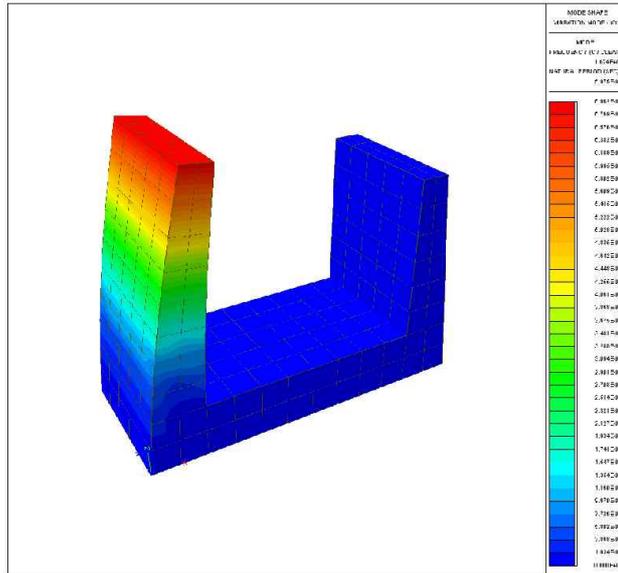
2) 주인장응력



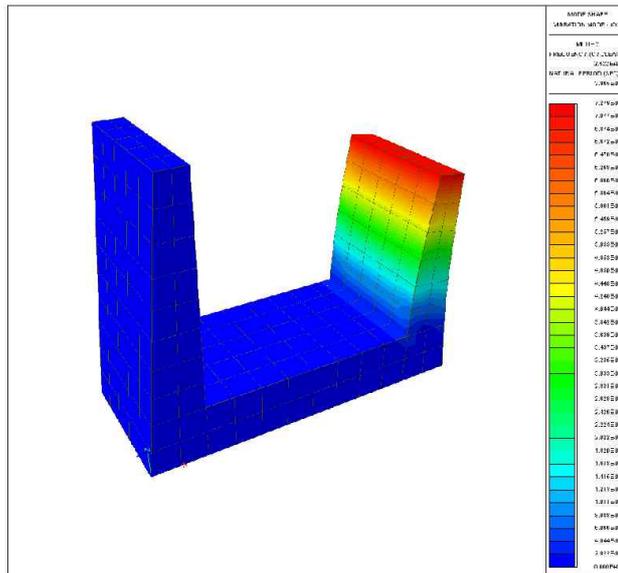
PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Stress Check	CALCU. By	

3. 모드형상

1) 1차 모드



2) 2차 모드



PROJECT		DATE	2013-1-18
SUBJECT	Member Check	CALCU. By	

1. 하중집계 및 조합

1) 작용하중 집계표

No	구분	수직력 (kN)	수평력 (kN)	작용거리-X (m)	작용거리-Y (m)	Mr (kN.m)	Mo (kN.m)
1	옹벽구체(정상시)	497.60	-	3.03	-	1508.66	-
2	옹벽구체(지진시)	497.60	38.31	3.03	3.06	1508.66	117.45
3	뒷채움재(정상시)	1006.80	-	5.22	-	5262.43	-
4	뒷채움재(지진시)	1006.80	77.52	5.22	6.24	5262.43	484.27
5	상재활하중	60.37	-	4.98	-	300.74	-
6	상재활하중	-	36.247	-	5.44	-	197.27
7	배면토압(정상시)	-	374.822	-	3.62	-	1359.97
8	배면토압(지진시)	-	428.850	-	5.44	-	2334.01

2) 하중조합

구분	구성	V(kN)	H(kN)	Mr(kN.m)
Combo1	고정하중(1.0)+토압(1.0)	1504.40	411.06	6771.09
Combo2	고정하중(1.0)+활하중(1.0)+토압(1.0)	1564.77	411.06	7071.84
Combo3	고정하중(0.9)+토압(1.0)	1353.96	411.06	6093.98
Combo4	고정하중(0.9) + 토압(1.6) + 지진하중(1.0)	1353.96	533.10	6093.98

2. 안전을 계산

1) 전도에 대한 안정

구분	Mr (kN.m)	Mo (kN.m)	S.F	검토
Combo1	6771.098	1557.253	4.348	OK
Combo2	7071.845	1557.253	4.541	OK
Combo3	6093.988	1557.253	3.913	OK
Combo4	6093.988	2875.570	2.119	OK

2) 활동에 대한 안정

구분	Hu (kN)	H (kN)	S.F	검토
Combo1	902.641	411.069	2.196	OK
Combo2	938.867	411.069	2.284	OK
Combo3	812.377	411.069	1.976	OK
Combo4	812.377	533.105	1.524	OK

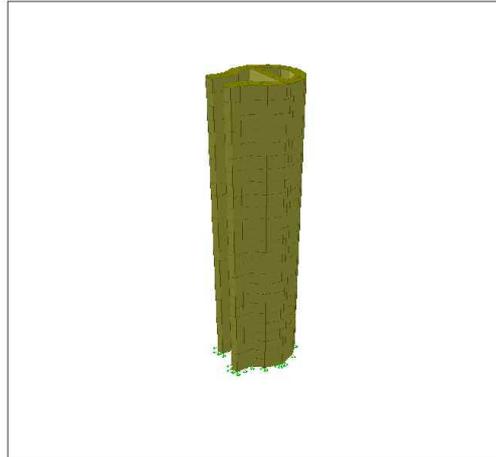
3) 지지력에 대한 안정

구분	Qmax (kN)	Qmin (kN)	Qa (kN)	S.F	검토
Combo1	263.403	112.698	1967.500	7.5	OK
Combo2	265.396	125.799	1967.500	7.4	OK
Combo3	251.662	86.829	1967.500	7.8	OK
Combo4	379.733	0.000	2951.300	7.8	OK

E4. 원형(복식)단면 취수탑

PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Input Data	CALCU. By	

1. 검토단면



Intake Tower

Height : 30000.00 mm
 Lower Outer Radius : 3500.00 mm
 Lower Inner Radius : 2500.00 mm
 Upper Outer Radius : 3500.00 mm
 Upper Inner Radius : 2500.00 mm

Inner Wall

Upper Thickness : 700.00 mm
 Lower Thickness : 700.00 mm
 Offset : 300.00 mm

Extended Wall

Extended Length : 1200.00 mm
 Opening Length : 2000.00 mm
 Wall Thickness : 1200.00 mm

2. 재료성질

콘크리트 강도

설계기준강도 : 27.00 MPa
 슈미트해머 : 27.00 MPa
 초음파시험 : 27.00 MPa
 중성화시험 : 27.00 MPa
 강도적용방법 : 최소값

PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Input Data	CALCU. By	

탄성계수 : 24421.00 MPa

단위중량 : 24.50 kN/m³

3. 하중조합 및 허용응력

1) 하중조합

하중조합	고정하중	수압	지진하중	응력증가계수
LCB1	1.00	1.00	0.00	1.00
LCB2	1.00	0.00	1.00	1.33

2) 허용응력 (MPa)

구 분	하중조합	압축응력	인장응력	전단응력
상시	LCB1	6.75	0.68	0.42
지진시	LCB2	8.98	0.90	0.55

3) 작용응력 (MPa)

구 분	하중조합	압축응력	인장응력	전단응력
상시	LCB1	2.07	0.41	0.25
지진시	LCB2	1.28	0.60	0.47

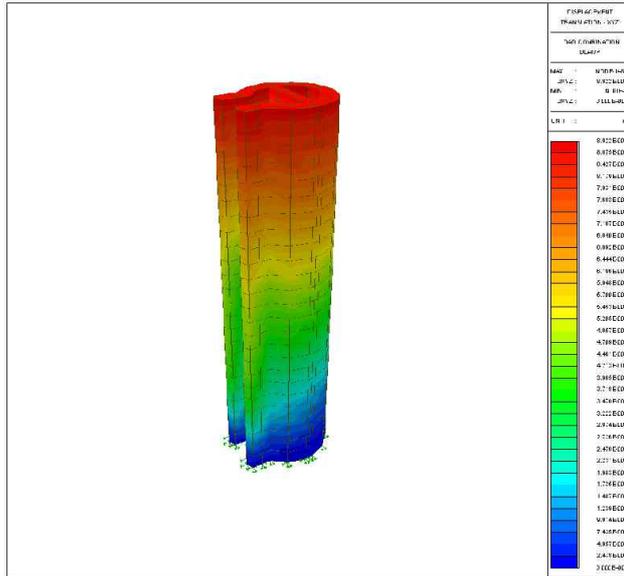
4) 응력비

구 분	하중조합	압축응력	인장응력	전단응력	
상시	LCB1	0.31	0.60	0.60	OK
지진시	LCB2	0.14	0.67	0.85	OK

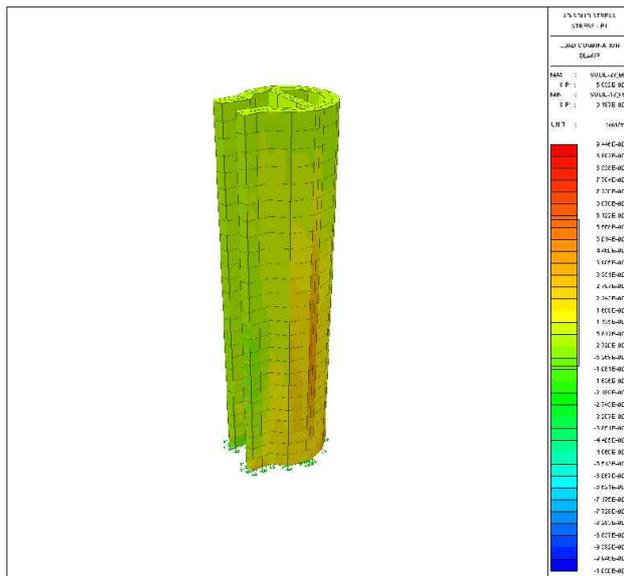
PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Stress Check	CALCU. By	

1. 상시

1) 변형도



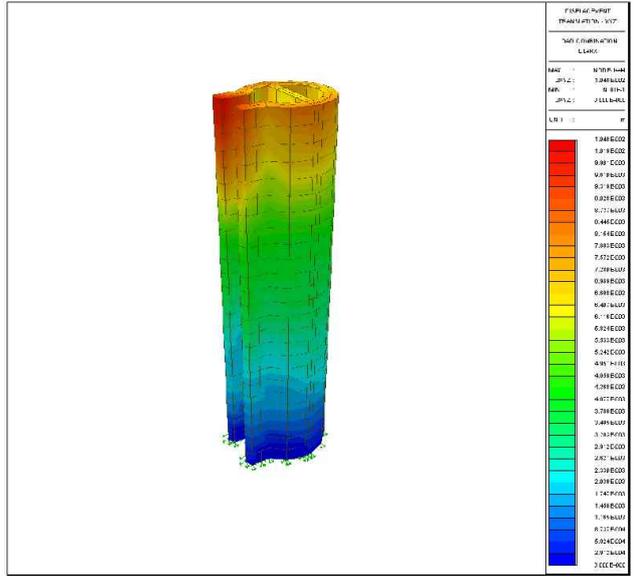
2) 주인장응력



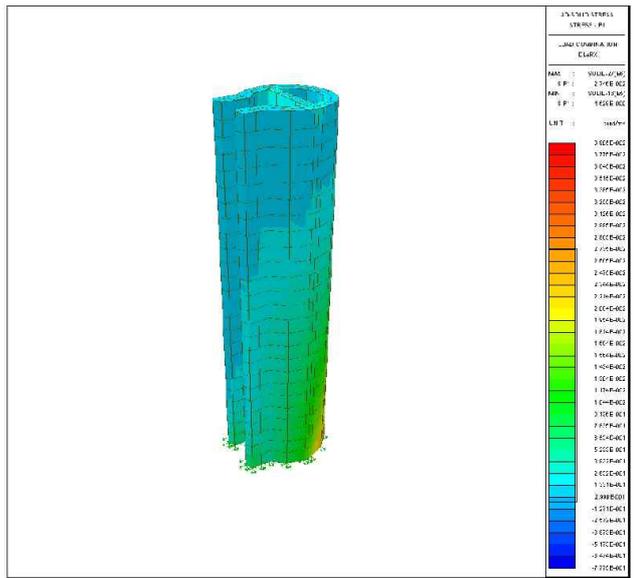
PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Stress Check	CALCU. By	

2. 지진시

1) 변형도



2) 주인장응력



PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Member Check	CALCU. By	

1. 상시

1) 공칭강도 검토

계수축하중 : $P_u = 33,006 \text{ kN}$
 계수모멘트 : $M_y = 187,810 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 계수모멘트 : $M_z = 51,738 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 합성모멘트 : $M_u = 194,806 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 최소편심 : $E_{min} = 0.726 \text{ m}$
 평형편심 : $E_b = 2.130 \text{ m}$
 작용편심 : $E_{app} = 5.902 \text{ m}$
 \therefore 영역 2 \rightarrow 인장지배구간
 사용철근비 : $\rho = 0.0079 \%$
 평형축하중 : $\psi P_b = 214,277 \text{ kN}$
 평형모멘트 : $\psi M_b = 456,422 \text{ kN}$
 공칭축하중 : $\phi P_n = 54,992 \text{ kN}$
 공칭모멘트 : $\phi M_n = 324,571 \text{ kN}$

2) 휨강도 평가 결과

P_u	M_u	θ	M_n	ϕM_n	검토
33,006	194,806	-11.96	194,806	324,571	OK

2. 지진시

1) 공칭강도 검토

계수축하중 : $P_u = 32,993 \text{ kN}$
 계수모멘트 : $M_y = 59,893 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 계수모멘트 : $M_z = 172,290 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 합성모멘트 : $M_u = 182,403 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 최소편심 : $E_{min} = 0.726 \text{ m}$
 평형편심 : $E_b = 1.569 \text{ m}$
 작용편심 : $E_{app} = 5.529 \text{ m}$
 \therefore 영역 2 \rightarrow 인장지배구간
 사용철근비 : $\rho = 0.0079 \%$
 평형축하중 : $\psi P_b = 246,623 \text{ kN}$
 평형모멘트 : $\psi M_b = 386,850 \text{ kN}$
 공칭축하중 : $\phi P_n = 57,504 \text{ kN}$
 공칭모멘트 : $\phi M_n = 317,914 \text{ kN}$

2) 휨강도 평가 결과

P_u	M_u	θ	M_n	ϕM_n	검토
32,993	182,403	-71.00	182,403	317,914	OK

E5. 원형(단식)단면 취수탑

PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Input Data	CALCU. By	

1. 검토단면



Intake Tower

Height : 30000.00 mm
 Lower Outer Radius : 3300.00 mm
 Lower Inner Radius : 2500.00 mm
 Upper Outer Radius : 3300.00 mm
 Upper Inner Radius : 2500.00 mm

Upper Slab

Thickness : 700.00 mm
 Radius : 6100.00 mm
 Haunch Height : 400.00 mm

Lower Foot-Base

Thickness : 2500.00 mm
 Radius : 5800.00 mm
 Haunch Height : 2500.00 mm
 Haunch Width : 600.00 mm

2. 재료성질

콘크리트 강도

설계기준강도 : 27.00 MPa
 슈미트해머 : 27.00 MPa
 초음파시험 : 27.00 MPa
 중성화시험 : 27.00 MPa

PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Input Data	CALCU. By	

강도적용방법 : 최소값
탄성계수 : 24421.00 MPa
단위중량 : 24.50 kN/m³

3. 하중조합 및 허용응력

1) 하중조합

하중조합	고정하중	수압	지진하중	응력증가계수
LCB1	1.00	1.00	0.00	1.00
LCB2	1.00	0.00	1.00	1.33

2) 허용응력 (MPa)

구분	하중조합	압축응력	인장응력	전단응력
상시	LCB1	6.75	0.68	0.42
지진시	LCB2	8.98	0.90	0.55

3) 작용응력 (MPa)

구분	하중조합	압축응력	인장응력	전단응력
상시	LCB1	2.07	0.41	0.25
지진시	LCB2	1.28	0.60	0.47

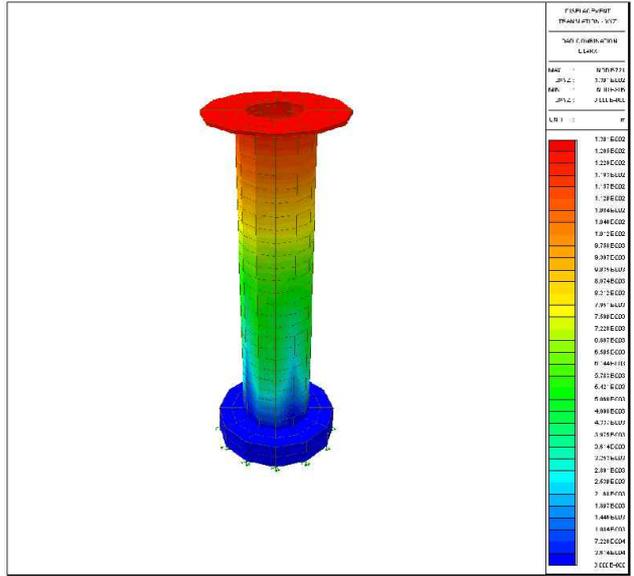
4) 응력비

구분	하중조합	압축응력	인장응력	전단응력	
상시	LCB1	0.31	0.60	0.60	OK
지진시	LCB2	0.14	0.67	0.85	OK

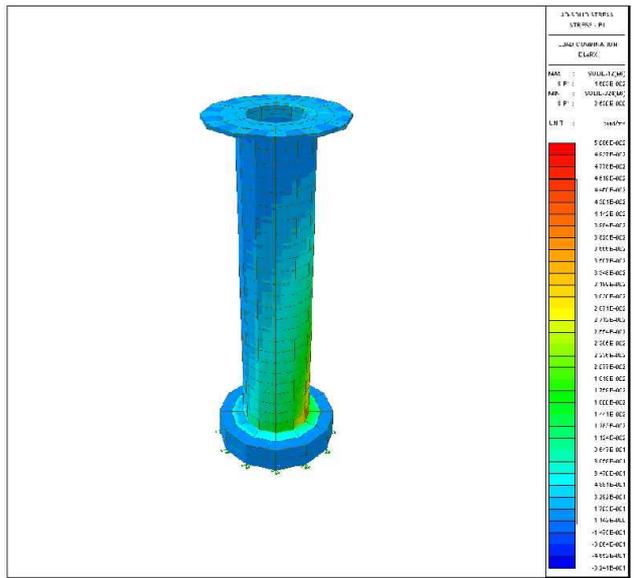
PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Stress Check	CALCU. By	

2. 지진시

1) 변형도



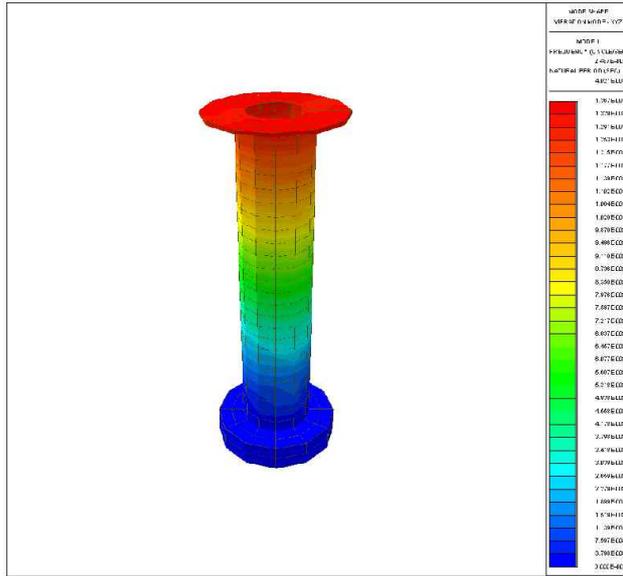
2) 주인장응력



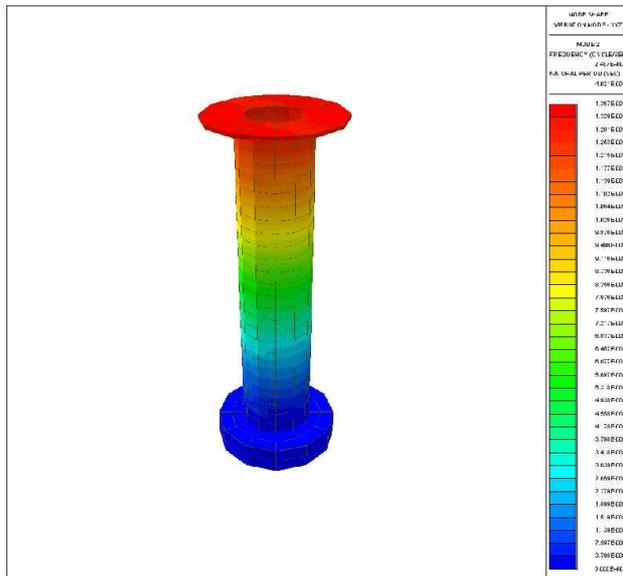
PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Stress Check	CALCU. By	

3. 모드형상

1) 1차 모드



2) 2차모드



PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Member Check	CALCU. By	

1. 상시

1) 공칭강도 검토

계수축하중 : $P_u = 33,006 \text{ kN}$
 계수모멘트 : $M_y = 187,810 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 계수모멘트 : $M_z = 51,738 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 합성모멘트 : $M_u = 194,806 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 최소편심 : $E_{min} = 0.726 \text{ m}$
 평형편심 : $E_b = 2.130 \text{ m}$
 작용편심 : $E_{app} = 5.902 \text{ m}$
 \therefore 영역 2 \rightarrow 인장지배구간
 사용철근비 : $\rho = 0.0079 \%$
 평형축하중 : $\psi P_b = 214,277 \text{ kN}$
 평형모멘트 : $\psi M_b = 456,422 \text{ kN}$
 공칭축하중 : $\phi P_n = 54,992 \text{ kN}$
 공칭모멘트 : $\phi M_n = 324,571 \text{ kN}$

2) 휨강도 평가 결과

P_u	M_u	θ	M_n	ϕM_n	검토
33,006	194,806	-11.96	194,806	324,571	OK

2. 지진시

1) 공칭강도 검토

계수축하중 : $P_u = 32,993 \text{ kN}$
 계수모멘트 : $M_y = 59,893 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 계수모멘트 : $M_z = 172,290 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 합성모멘트 : $M_u = 182,403 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 최소편심 : $E_{min} = 0.726 \text{ m}$
 평형편심 : $E_b = 1.569 \text{ m}$
 작용편심 : $E_{app} = 5.529 \text{ m}$
 \therefore 영역 2 \rightarrow 인장지배구간
 사용철근비 : $\rho = 0.0079 \%$
 평형축하중 : $\psi P_b = 246,623 \text{ kN}$
 평형모멘트 : $\psi M_b = 386,850 \text{ kN}$
 공칭축하중 : $\phi P_n = 57,504 \text{ kN}$
 공칭모멘트 : $\phi M_n = 317,914 \text{ kN}$

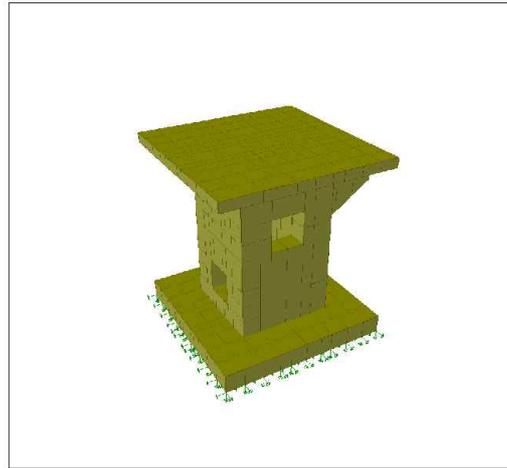
2) 휨강도 평가 결과

P_u	M_u	θ	M_n	ϕM_n	검토
32,993	182,403	-71.00	182,403	317,914	OK

E6. 사각단면 취수탑

PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Input Data	CALCU. By	

1. 검토단면



Intake Tower	
Height	: 8500.00 mm
Thickness	: 1000.00 mm
X-Length	: 5000.00 mm
Y-Length	: 5000.00 mm
Upper Slab	
Thickness	: 500.00 mm
X-Length	: 9000.00 mm
Y-Length	: 9000.00 mm
Lower Foot-Base	
Thickness	: 1000.00 mm
X-Length	: 9000.00 mm
Y-Length	: 9000.00 mm

2. 재료성질

콘크리트 강도	
설계기준강도	: 27.00 MPa
슈미트해머	: 27.00 MPa
초음파시험	: 27.00 MPa
중성화시험	: 27.00 MPa
강도적용방법	: 최소값
탄성계수	: 24421.00 MPa

PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Input Data	CALCU. By	

단위중량 : 24.50 kN/m³

3. 하중조합 및 허용응력

1) 하중조합

하중조합	고정하중	수압	지진하중	응력증가계수
LCB1	1.00	1.00	0.00	1.00
LCB2	1.00	0.00	1.00	1.33

2) 허용응력 (MPa)

구분	하중조합	압축응력	인장응력	전단응력
상시	LCB1	6.75	0.68	0.42
지진시	LCB2	8.98	0.90	0.55

3) 작용응력 (MPa)

구분	하중조합	압축응력	인장응력	전단응력
상시	LCB1	2.07	0.41	0.25
지진시	LCB2	1.28	0.60	0.47

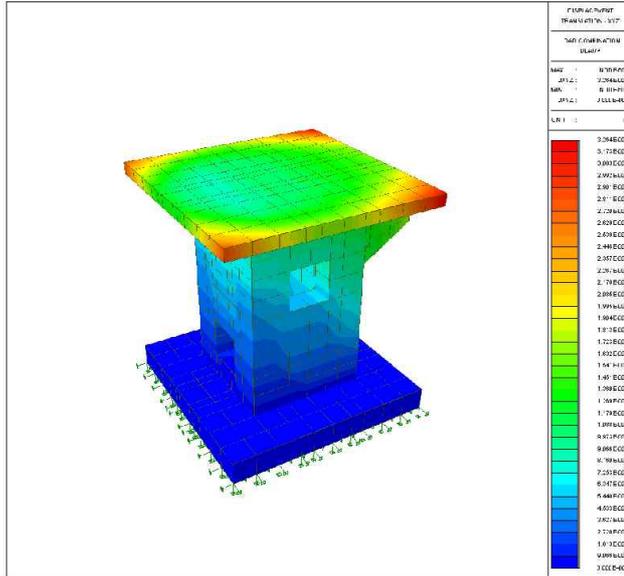
4) 응력비

구분	하중조합	압축응력	인장응력	전단응력	
상시	LCB1	0.31	0.60	0.60	OK
지진시	LCB2	0.14	0.67	0.85	OK

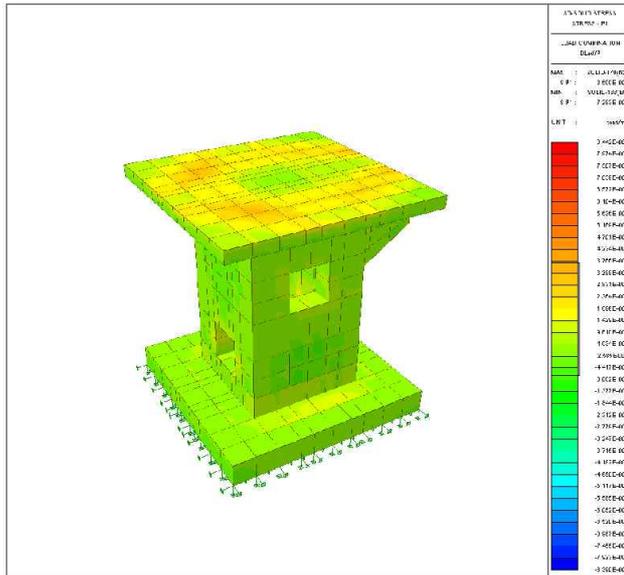
PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Stress Check	CALCU. By	

1. 상시

1) 변형도



2) 주인장응력



PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Member Check	CALCU. By	

1. 상시

1) 공칭강도 검토

계수축하중 : $P_u = 33,006 \text{ kN}$
 계수모멘트 : $M_y = 187,810 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 계수모멘트 : $M_z = 51,738 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 합성모멘트 : $M_u = 194,806 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 최소편심 : $E_{min} = 0.726 \text{ m}$
 평형편심 : $E_b = 2.130 \text{ m}$
 작용편심 : $E_{app} = 5.902 \text{ m}$
 \therefore 영역 2 \rightarrow 인장지배구간
 사용철근비 : $\rho = 0.0079 \%$
 평형축하중 : $\psi P_b = 214,277 \text{ kN}$
 평형모멘트 : $\psi M_b = 456,422 \text{ kN}$
 공칭축하중 : $\phi P_n = 54,992 \text{ kN}$
 공칭모멘트 : $\phi M_n = 324,571 \text{ kN}$

2) 휨강도 평가 결과

P_u	M_u	θ	M_n	ϕM_n	검토
33,006	194,806	-11.96	194,806	324,571	OK

2. 지진시

1) 공칭강도 검토

계수축하중 : $P_u = 32,993 \text{ kN}$
 계수모멘트 : $M_y = 59,893 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 계수모멘트 : $M_z = 172,290 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 합성모멘트 : $M_u = 182,403 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 최소편심 : $E_{min} = 0.726 \text{ m}$
 평형편심 : $E_b = 1.569 \text{ m}$
 작용편심 : $E_{app} = 5.529 \text{ m}$
 \therefore 영역 2 \rightarrow 인장지배구간
 사용철근비 : $\rho = 0.0079 \%$
 평형축하중 : $\psi P_b = 246,623 \text{ kN}$
 평형모멘트 : $\psi M_b = 386,850 \text{ kN}$
 공칭축하중 : $\phi P_n = 57,504 \text{ kN}$
 공칭모멘트 : $\phi M_n = 317,914 \text{ kN}$

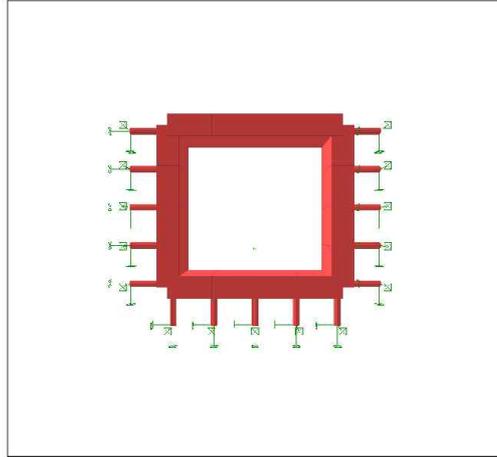
2) 휨강도 평가 결과

P_u	M_u	θ	M_n	ϕM_n	검토
32,993	182,403	-71.00	182,403	317,914	OK

E7. 사각단면 취수터널

PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Input Data	CALCU. By	

1. 검토단면



Height : 4400.00 mm
 Breadth : 4400.00 mm

2. 재료성질

콘크리트 강도

설계기준강도 : 27.00 MPa
 슈미트해머 : 27.00 MPa
 초음파시험 : 27.00 MPa
 중성화시험 : 27.00 MPa
 강도적용방법 : 최소값
 탄성계수 : 24421.00 MPa
 단위중량 : 24.50 kN/m³

3. 하중조합 및 허용응력

1) 하중조합

하중조합	고정하중	도압	지진하중	응력증가계수
LCB1	1.00	1.00	0.00	1.00
LCB2	1.00	0.00	1.00	1.33

2) 허용응력 (MPa)

구분	하중조합	압축응력	인장응력	전단응력

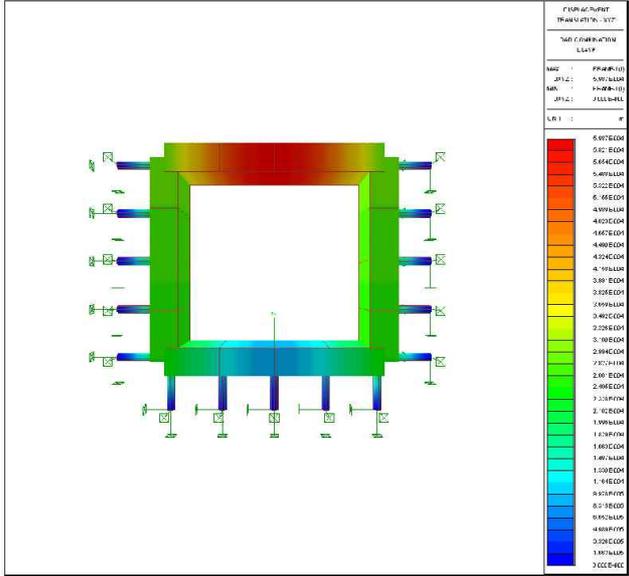
PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Input Data	CALCU. By	

상시	LCB1	6.75	0.68	0.42
지진시	LCB2	8.98	0.90	0.55

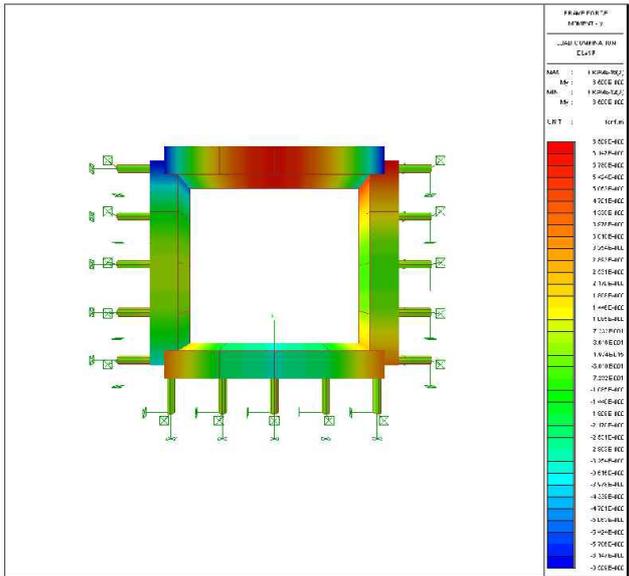
PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Stress Check	CALCU. By	

1. 상시

1) 변형도



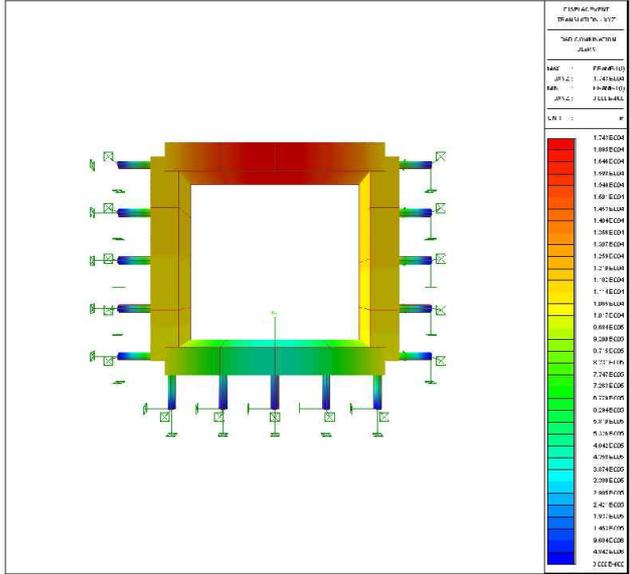
2) 부재력



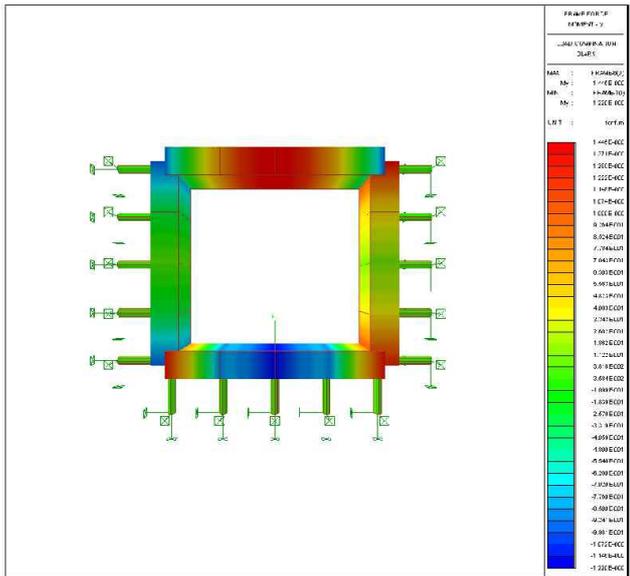
PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Stress Check	CALCU. By	

2. 사진시

1) 변형도



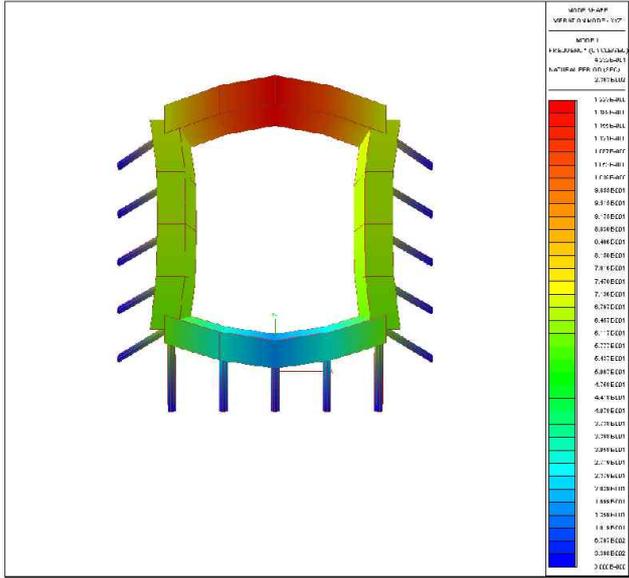
2) 부재력



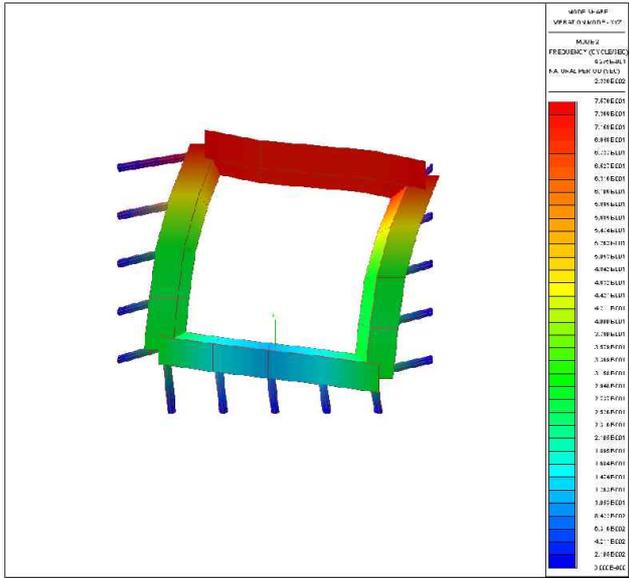
PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Stress Check	CALCU. By	

3. 모드형상

1) 1차 모드



2) 2차 모드



PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Member Check	CALCU. By	

1. 상시

1) 공칭 강도 계산

구분	상부슬래브	하부슬래브	좌측벽체	우측벽체
fy (Mpa)	400.00	400.00	400.00	400.00
fck (Mpa)	24.00	24.00	24.00	24.00
외부 사용철근량	D25*8	D25*8	D25*8	D25*8
내부 사용철근량	D25*8	D25*8	D25*8	D25*8
Breadth (mm)	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
Height (mm)	500.00	500.00	500.00	500.00
피복두께 (mm)	40.00	40.00	40.00	40.00
강도저감계수	0.850	0.850	0.850	0.850
균형파괴축 (mm)	263.00	263.00	263.00	263.00
중립축 (mm)	108.00	108.00	108.00	108.00
공칭강도 (Mpa)	638.4	638.4	638.4	638.4

2) 안전율 계산

구분	위치	ΦM_n	M_u	S.F
상부슬래브	단지점부(좌측)	640.43	275.91	2.32
상부슬래브	중앙부	502.60	387.43	1.30
상부슬래브	단지점부(우측)	640.43	352.66	1.82
하부슬래브	단지점부(좌측)	795.41	509.18	1.56
하부슬래브	중앙부	620.68	430.43	1.44
하부슬래브	단지점부(우측)	620.68	300.02	2.07
좌측벽체	단지점부(좌측)	795.41	298.93	2.66
좌측벽체	중앙부	640.43	-377.59	-1.70
좌측벽체	단지점부(우측)	502.60	525.59	0.96
우측벽체	단지점부(좌측)	795.41	471.3	1.69
우측벽체	중앙부	640.43	-407.30	-1.57
우측벽체	단지점부(우측)	502.60	289.88	1.73

2. 지진시

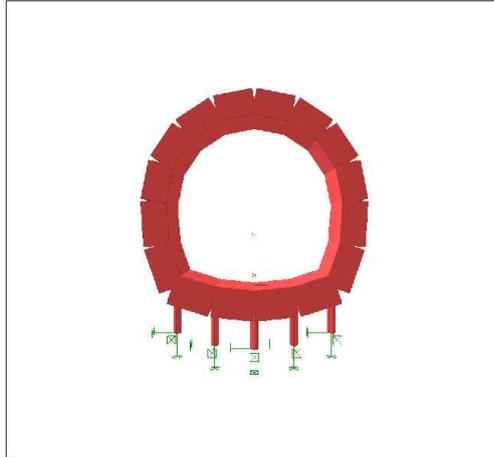
1) 공칭 강도 계산

구분	상부슬래브	하부슬래브	좌측벽체	우측벽체
fy (Mpa)	400.00	400.00	400.00	400.00
fck (Mpa)	24.00	24.00	24.00	24.00
외부 사용철근량	D25*8	D25*8	D25*8	D25*8
내부 사용철근량	D25*8	D25*8	D25*8	D25*8
Breadth (mm)	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
Height (mm)	500.00	500.00	500.00	500.00
피복두께 (mm)	40.00	40.00	40.00	40.00
강도저감계수	0.850	0.850	0.850	0.850

E8. 마제형 취수터널

PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Input Data	CALCU. By	

1. 검토단면



Diameter : 4400.00 mm
 Breadth : 3700.00 mm

2. 재료성질

콘크리트 강도
 설계기준강도 : 27.00 MPa
 슈미트해머 : 27.00 MPa
 초음파시험 : 27.00 MPa
 중성화시험 : 27.00 MPa
 강도적용방법 : 최소값
 탄성계수 : 24421.00 MPa
 단위중량 : 24.50 kN/m³

3. 하중조합 및 허용응력

1) 하중조합

하중조합	고정하중	도압	지진하중	응력증가계수
LCB1	1.00	1.00	0.00	1.00
LCB2	1.00	0.00	1.00	1.33

2) 허용응력 (MPa)

구분	하중조합	압축응력	인장응력	전단응력

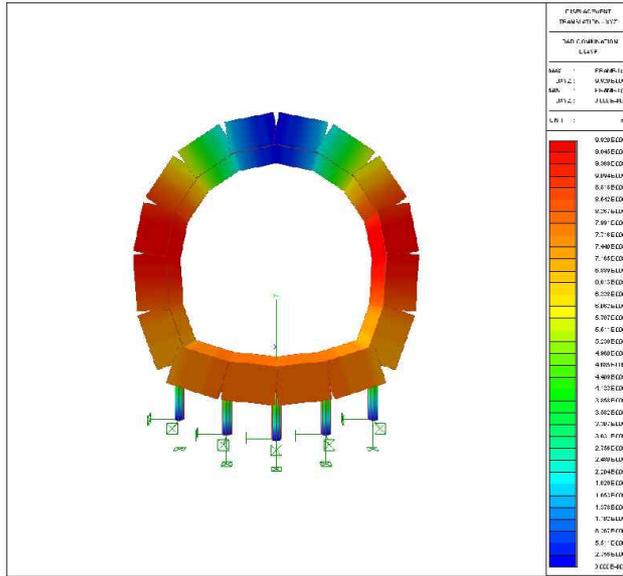
PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Input Data	CALCU. By	

상시	LCB1	6.75	0.68	0.42
지진시	LCB2	8.98	0.90	0.55

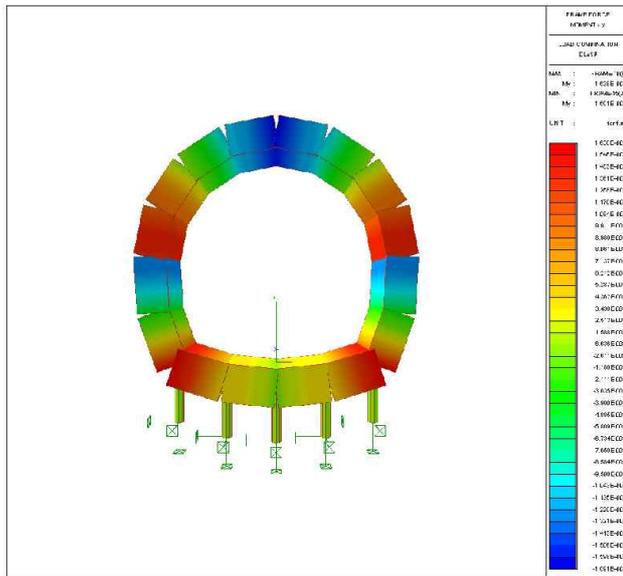
PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Stress Check	CALCU. By	

1. 상시

1) 변형도



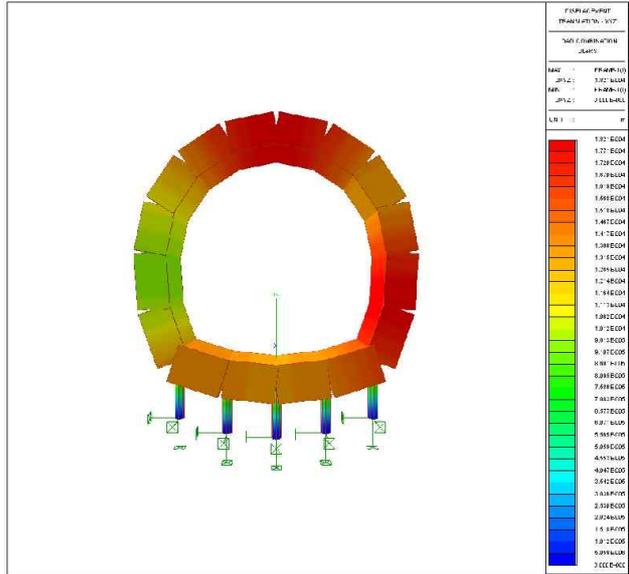
2) 부재력



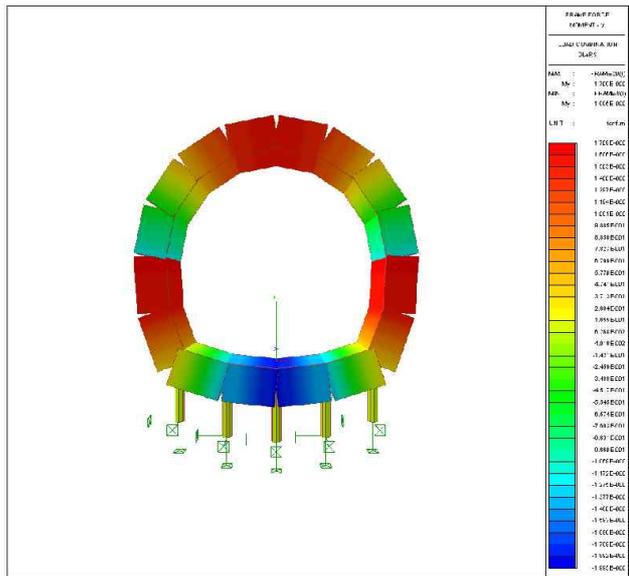
PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Stress Check	CALCU. By	

2. 지진시

1) 변형도



2) 부재력



PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Member Check	CALCU. By	

1. 상시

1) 공칭 강도 계산

구분	상부슬래브	하부슬래브	좌측벽체	우측벽체
fy (Mpa)	400.00	400.00	400.00	400.00
fck (Mpa)	24.00	24.00	24.00	24.00
외부 사용철근량	D25*8	D25*8	D25*8	D25*8
내부 사용철근량	D25*8	D25*8	D25*8	D25*8
Breadth (mm)	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
Height (mm)	500.00	500.00	500.00	500.00
피복두께 (mm)	40.00	40.00	40.00	40.00
강도저감계수	0.850	0.850	0.850	0.850
균형파괴축 (mm)	263.00	263.00	263.00	263.00
중립축 (mm)	108.00	108.00	108.00	108.00
공칭강도 (Mpa)	638.4	638.4	638.4	638.4

2) 안전율 계산

구분	위치	ΦM_n	M_u	S.F
상부슬래브	단지점부(좌측)	640.43	275.91	2.32
상부슬래브	중앙부	502.60	387.43	1.30
상부슬래브	단지점부(우측)	640.43	352.66	1.82
하부슬래브	단지점부(좌측)	795.41	509.18	1.56
하부슬래브	중앙부	620.68	430.43	1.44
하부슬래브	단지점부(우측)	620.68	300.02	2.07
좌측벽체	단지점부(좌측)	795.41	298.93	2.66
좌측벽체	중앙부	640.43	-377.59	-1.70
좌측벽체	단지점부(우측)	502.60	525.59	0.96
우측벽체	단지점부(좌측)	795.41	471.3	1.69
우측벽체	중앙부	640.43	-407.30	-1.57
우측벽체	단지점부(우측)	502.60	289.88	1.73

2. 지진시

1) 공칭 강도 계산

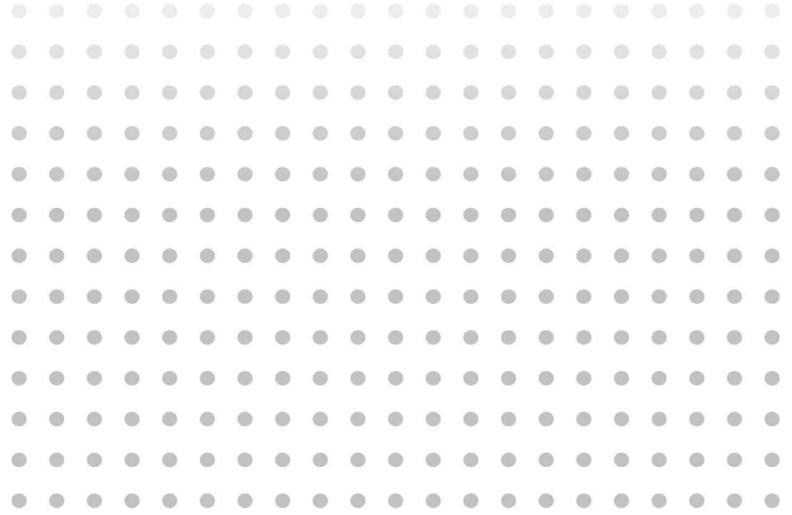
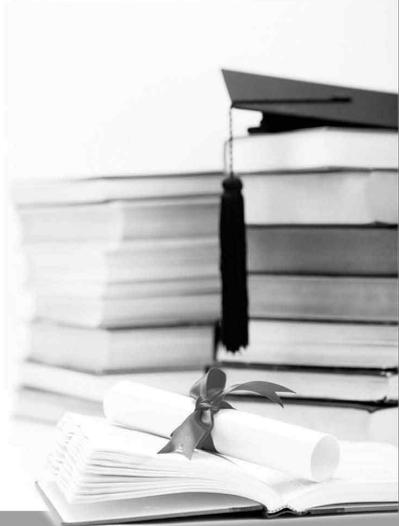
구분	상부슬래브	하부슬래브	좌측벽체	우측벽체
fy (Mpa)	400.00	400.00	400.00	400.00
fck (Mpa)	24.00	24.00	24.00	24.00
외부 사용철근량	D25*8	D25*8	D25*8	D25*8
내부 사용철근량	D25*8	D25*8	D25*8	D25*8
Breadth (mm)	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
Height (mm)	500.00	500.00	500.00	500.00
피복두께 (mm)	40.00	40.00	40.00	40.00
강도저감계수	0.850	0.850	0.850	0.850

PROJECT		DATE	2013-1-17
SUBJECT	Member Check	CALCU. By	

균형파괴축 (mm)	263.00	263.00	263.00	263.00
중립축 (mm)	108.00	108.00	108.00	108.00
공칭강도 (Mpa)	638.4	638.4	638.4	638.4

2) 안전율 계산

구분	위치	ΦM_n	M_u	S.F
상부슬래브	단지점부(좌측)	640.43	275.91	2.32
상부슬래브	중앙부	502.60	387.43	1.30
상부슬래브	단지점부(우측)	640.43	352.66	1.82
하부슬래브	단지점부(좌측)	795.41	509.18	1.56
하부슬래브	중앙부	620.68	430.43	1.44
하부슬래브	단지점부(우측)	620.68	300.02	2.07
좌측벽체	단지점부(좌측)	795.41	298.93	2.66
좌측벽체	중앙부	640.43	-377.59	-1.70
좌측벽체	단지점부(우측)	502.60	525.59	0.96
우측벽체	단지점부(좌측)	795.41	471.3	1.69
우측벽체	중앙부	640.43	-407.30	-1.57
우측벽체	단지점부(우측)	502.60	289.88	1.73



부록 F



내구성평가 시스템 사용자 설명서

INDEX

1. 개요	1
(1) 프로그램 설명	1
(2) 프로그램 UI 구성	1
(3) 평가 수행 과정 설명	2
2. 상태평가 모델 만들기	3
(1) 템플릿을 사용한 상태평가 항목 구성	3
(2) 저수지 기본정보 입력하기	3
(3) 상태평가 모델 편집하기	6
(4) 상태평가 점수 입력하기	7
3. 중성화 상세 상태평가	8
(1) 중성화 상태평가 방법	8
(2) 중성화 깊이에 의한 평가	9
(3) 탄산칼슘 함량에 의한 평가	9
4. 동결융해 상세 상태평가	10
(1) 동결융해 상태평가 방법	10
(2) 콘크리트 정보 입력하기	11
(3) 동결융해 기상 정보 입력하기	11
5. 중성화에 의한 잔존수명 및 강도 추론	12
(1) 중성화에 의한 잔존수명 및 강도 추론 방법	12
(2) 중성화 정보 입력하기	13
6. 염해에 의한 잔존수명 추론	14
(1) 염해에 의한 잔존 수명 추론 방법	14
(2) 염해 정보 입력하기	15
7. 보고서 출력	16
(1) 보고서 만들기	16
(1) 출력할 보고서 선택하기	17
(2) 보고서 편집하기	17
8. 데이터베이스 기능	18
(1) 저수지 기본 정보 데이터베이스	18
(2) 보고서를 이미지 파일로 내보내기	18

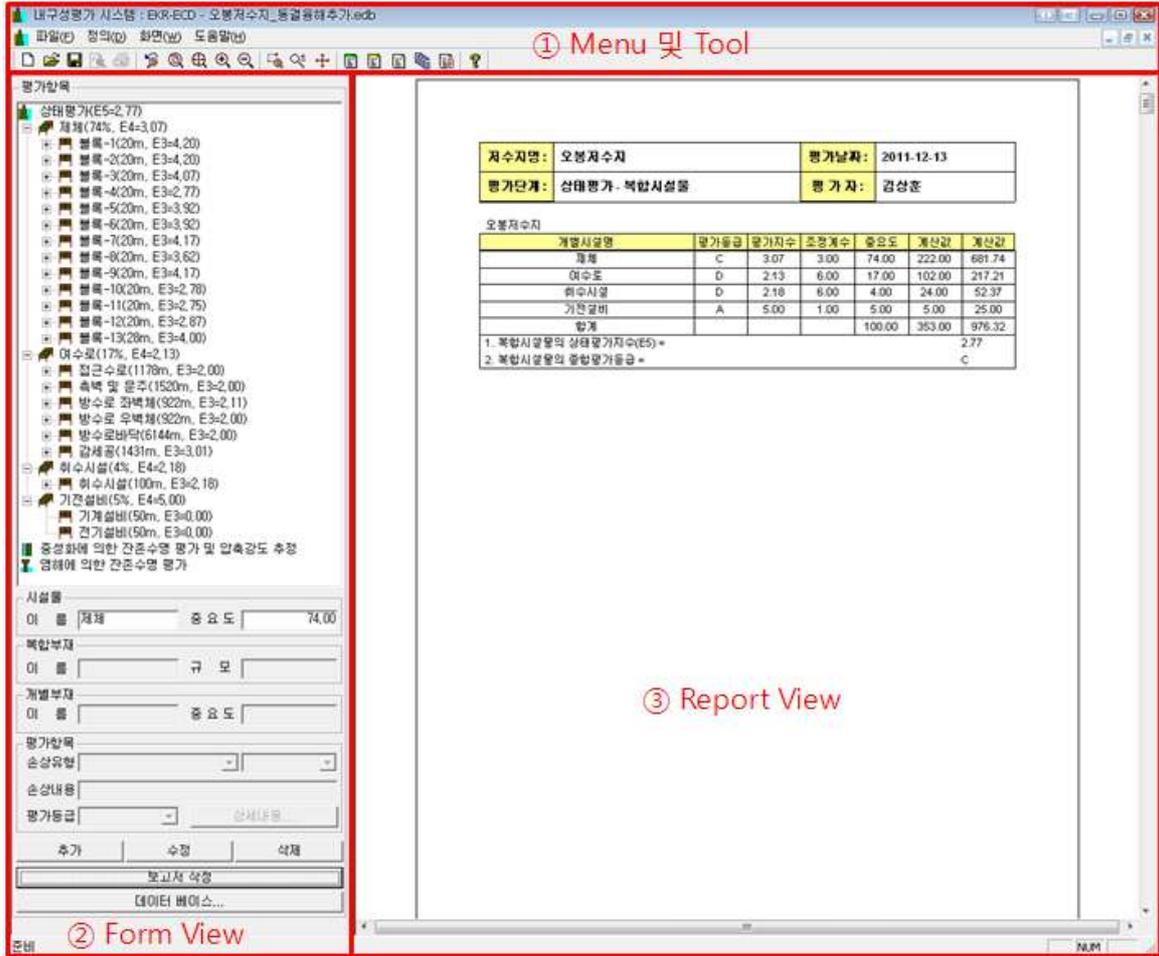
1. 개요

(1) 프로그램 설명

- "농업용 저수지의 내구성 평가 시스템" 은 구조물의 상태평가, 잔존수명 평가, 콘크리트 강도 추론을 통해 농업용 저수지의 내구성을 보다 합리적인 방법으로 평가하고자 개발된 프로그램이다.

(2) 프로그램 UI 설명

- 전체적인 화면 구성은 다음과 같다.

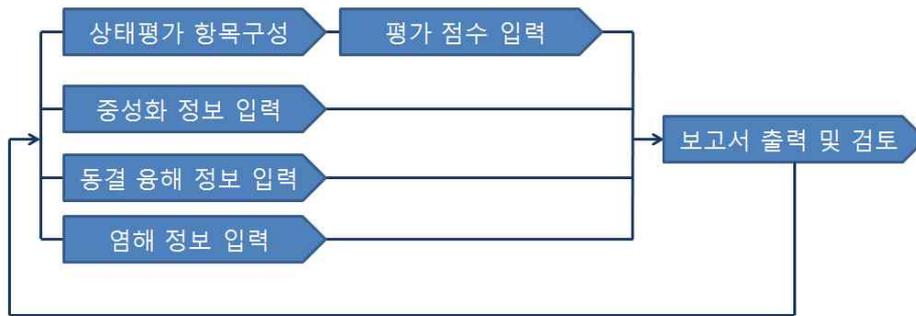


<그림1. 프로그램 구성도>

- ① Menu 및 Tool : 메뉴와 메인 툴바
- ② Form View : Tree 메뉴와 작업창
- ③ Report View : 보고서 출력창

(3) 평가 수행 과정 설명

- "농업용 저수지의 내구성 평가 시스템"을 통해 내구성을 평가하기 위해선 상태평가 항목 구성, 점수 입력, 중성화 정보입력, 염해 정보입력, 보고서 출력의 5단계의 작업이 필요하다.
- 일반적인 해석 수행과정은 <그림1>과 같다.



<그림1. 평가 수행 과정>

2. 상태평가 모델 만들기

(1) 템플릿을 이용한 상태평가 항목 구성

The '템플릿' dialog box is used to configure evaluation items. It includes the following sections:

- 기본정보**: 저수지명 (Reservoir Name) and 저수지종류 (Reservoir Type).
- 개별 시설별 복합부재 정보**: Includes '제체' (Structure) with a count of 5, and '여수로' (Surge Tank) with checkboxes for '연체' (Body), '좌측벽' (Left Wall), and '우측벽' (Right Wall), and counts for '도수로' (Slope), '감세공에' (Slope), and '공도교에' (Slope Bridge).
- 취수시설**: Includes '취수탑에' (Intake Tower) and '복통에' (Siphon) with checkboxes for '내부' (Internal), '외부' (External), '통관' (Through), '토구' (Outlet), and '취수문접속부' (Intake Gate Connection).
- 기전설비**: Includes '수문에' (Gate), '취수탑 취수구에' (Intake Tower Intake), '취수탑 수문에' (Intake Tower Gate), and '사통에' (Siphon) with checkboxes for '권양기' (Crane) and '전기설비' (Electrical Equipment).

<그림2. 템플릿>

- 상태평가 항목을 쉽게 구성하기 위한 방법으로, 각 개별 시설에 포함되는 복합부재의 옵션을 지정하면 자동으로 평가항목을 생성하는 기능.

- 개별부재에 포함되는 평가항목은 한국시설안전공단 "안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(담)"의 기준에 맞추어 자동으로 생성됨.

(2) 저수지 기본정보 입력하기

The '저수지 정보' dialog box is used to enter basic information for the reservoir. It includes the following fields:

- 저수지명 (Reservoir Name): 오봉저수지
- 평가자 (Evaluator): 김상훈
- 평가일자 (Evaluation Date): 2011-12-13
- 동결응해 정보**: 연평균 동결응해 반복회수 (121), 10년간 동결기 일 최저기온 평균 (-3.50), and a 'DB에서 선택...' button.
- 콘크리트 정보**: 설계 강도 (Mpa) (13.00), 물시멘트비 (0.61), and a 'DB에서 선택...' button.

<그림3. 저수지 정보>

- 저수지의 기본정보를 입력하는 기능

- ① 저수지명 : 저수지 이름을 수정
- ② 평가자 : 평가자 이름을 수정
- ③ 평가날짜 : 평가날짜 수정
- ④ 동결융해 정보

- 연평균 동결융해 반복회수 : 한해동안 동결융해의 반복회수 지정
- 10년간 동절기 일 최저기온 평균 : 최근 10년간의 일 최저기온 평균 입력
- DB에서 선택 : DB에서 동결융해 정보를 가져오는 기능

<그림4>와 같은 대화상자가 호출되며 저수지의 위치에 해당하는 지역을 선택하면 자동으로 동결융해회수와 평균최저기온을 가져올 수 있음.

	지역	동결융해회수	평균최저기온 ^
11	홍주	117	-4.20
12	청주	97	-1.90
13	추풍령	110	-2.80
14	보은	122	-4.40
15	서산	111	-2.90
16	천안	113	-3.60
17	부여	114	-3.00
18	금산	123	-4.10
19	군산	81	-0.40
20	전주	87	-0.70
21	부안	92	-0.90
22	정읍	92	-0.90
23	남원	121	-3.50
24	장수	126	-4.70
25	광주	73	0.50
26	진도	69	0.10
27	순천	111	-2.00
28	해남	100	-0.80

<그림4. 동결융해 데이터 베이스>

⑤ 콘크리트 정보

- 설계강도 : 콘크리트의 설계 강도 수정
- 물시멘트비 : 콘크리트의 물시멘트비를 입력(입력하지 않을 경우 설계강도를 기준으로 계산)
- DB에서 선택 : DB에서 콘크리트 정보를 가져오는 기능

<그림5>와 같은 대화상자가 호출되며 저수지 이름을 선택하면 자동으로 설계강도와 물시멘트비를 가져올 수 있음.

콘크리트 데이터베이스

	저수지	설계강도	물시멘트비
9	경북-구미-오봉	13.00	0.62
10	충남-논산-탑정	13.00	0.58
11	경기-화.수-백운	13.00	0.58
12	경기-화.수-청계	13.00	0.58
13	강원-홍.춘-원창	13.00	0.61
14	충북-옥.영-장연	13.00	0.63
15	충남-서.태-중앙	13.00	0.63
16	충북-충제단-선고	13.00	0.63
17	전북-남원-동화	13.00	0.61
18	경남-의령-천락	13.00	0.64
19	경북-청.영-화매	13.00	0.64
20	경남-하.남-하동	16.00	0.57
21	경남-하.남-하동	18.00	0.52
22	경남-하.남-하동	18.00	0.52
23	전북-부안-석포	18.00	0.52
24	전북-부안-석포	18.00	0.52
25	경북-성주-성주	18.00	0.50
26	경북-성주-성주	18.00	0.51

확인 취소

<그림5. 콘크리트 데이터베이스>

(3) 상태평가 모델 편집하기

- 상태평가 모델을 입력, 수정, 삭제 하는 기능으로 form view에서 실행



① 상태평가 트리메뉴

- 현재 구성되어 있는 항목을 보여줌.
- 각 항목을 선택 후 아래의 버튼을 사용하여 편집이 가능함.

② 추가

- 각 항목의 구성요소를 추가하는 기능
- ex) 개별시설 선택 -> 복합부재 입력 -> 추가
- 복합부재 선택 -> 개별부재 입력 -> 추가
- 개별부재 선택 -> 평가항목 입력 -> 추가

③ 수정

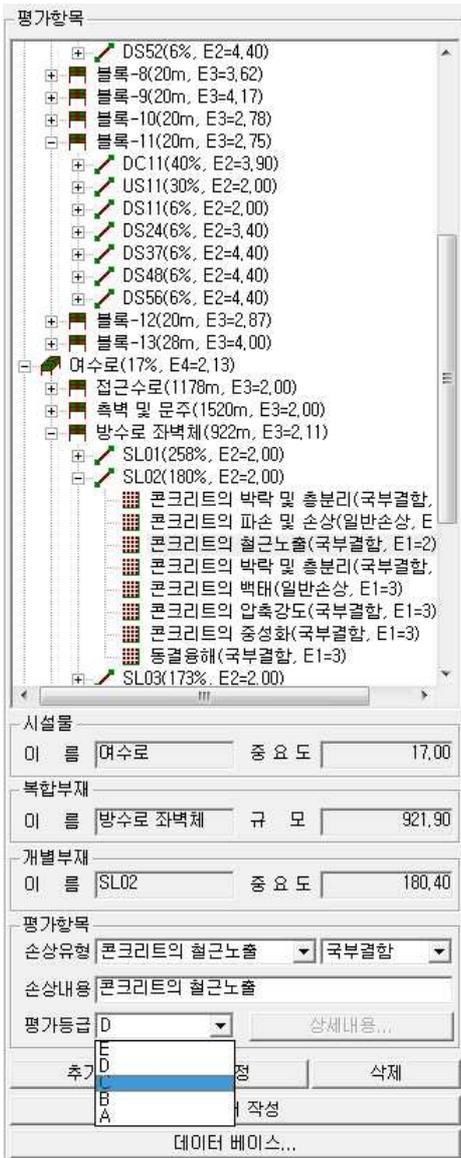
- 각 항목을 수정하는 기능
- ex) 개별시설 선택 -> 개별시설 수정 -> 수정
- 복합부재 선택 -> 복합부재 수정 -> 수정
- 개별부재 선택 -> 개별부재 수정 -> 수정
- 평가항목 선택 -> 평가항목 수정 -> 수정

③ 삭제

- 각 항목을 삭제하는 기능
- ex) 개별시설 선택 -> 삭제
- 복합부재 선택 -> 삭제
- 개별부재 선택 -> 삭제
- 평가항목 선택 -> 삭제

(4) 상태평가 점수 수정하기

- 개별부재의 평가항목의 점수를 입력하는 기능



<입력방법>

- ① 평가항목 트리메뉴에서 수정을 원하는 상태평가 항목 선택
- ② 평가항목에서 평가등급 선택
- ③ 수정버튼 클릭

* 상태평가는 개별부재의 상태평가 항목별 상태등급을 입력하면, 상위부재의 상태등급이 자동으로 계산됩니다.

3. 중성화 상세 상태평가

(1) 중성화 상태평가 방법

- 중성화에 의한 상태평가는 “중성화 깊이의 의한 평가”와 “탄산칼슘 함량에 의한 평가”의 방법으로 상세 상태 평가가 가능
- 상세 상태 평가를 위해서 Form View의 Tree메뉴에서 콘크리트 중성화 평가항목을 더블클릭하거나 상세내용 버튼을 클릭하여 대화상자를 호출

The image shows a software interface for concrete neutralization evaluation. On the left is a '평가항목' (Evaluation Items) tree view. A red box labeled '더블클릭' (Double-click) highlights the item '콘크리트의 중성화(국부결함, E1=3)'. A blue arrow points from this item to a '중성화 평가' (Neutralization Evaluation) dialog box on the right.

The dialog box contains the following information:

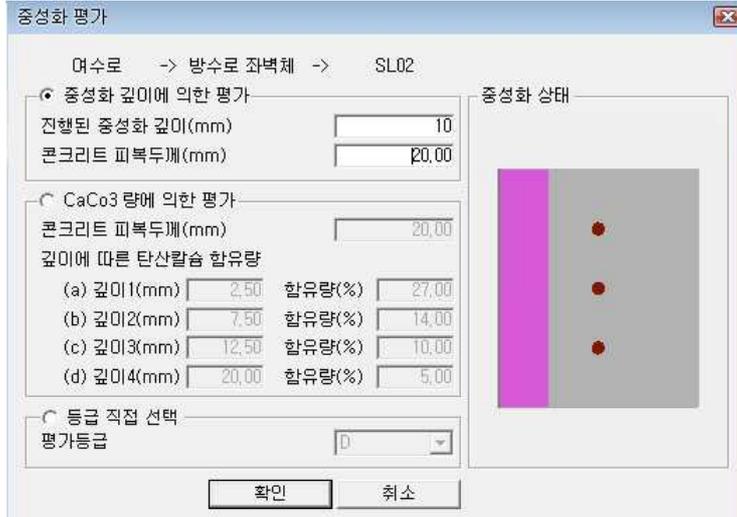
- Target: 여수로 → 방수로 좌벽체 → SL02
- Radio buttons:
 - 중성화 깊이에 의한 평가 (Selected)
 - CaCo3 함에 의한 평가
- Fields:
 - 진행된 중성화 깊이(mm): 0.00
 - 콘크리트 피복두께(mm): 20.00
 - 콘크리트 피복두께(mm): 20.00
 - 깊이에 따른 탄산칼슘 함유량:

(a) 깊이1(mm)	2.50	함유량(%)	27.00
(b) 깊이2(mm)	7.50	함유량(%)	14.00
(c) 깊이3(mm)	12.50	함유량(%)	10.00
(d) 깊이4(mm)	20.00	함유량(%)	5.00
 - 등급 직접 선택: 평가등급 C
- Visual: A '중성화 상태' (Neutralization State) diagram showing a vertical cross-section with a color gradient from purple to grey and three red dots representing evaluation points.
- Buttons: '확인' (OK) and '취소' (Cancel).

Below the dialog box, a red box labeled '상세내용 버튼 클릭' (Click detailed content button) points to the '상세내용...' button in the main software window.

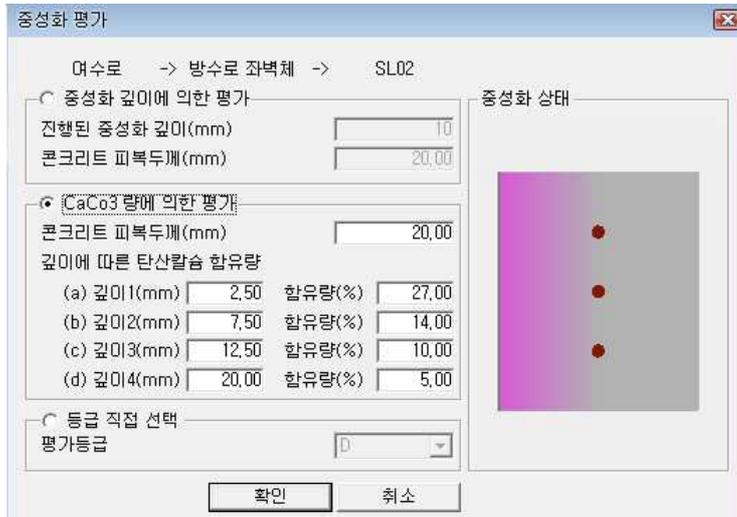
(2) 중성화 깊이에 의한 평가

- 중성화 깊이에 의한 평가는 진행된 중성화 깊이와 콘크리트 피복 두께의 관계에 의해 평가등급이 결정되는 방법



(3) 탄산칼슘 함량에 의한 평가

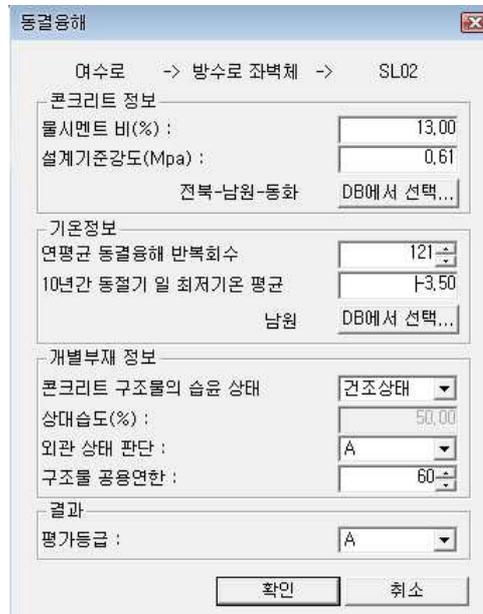
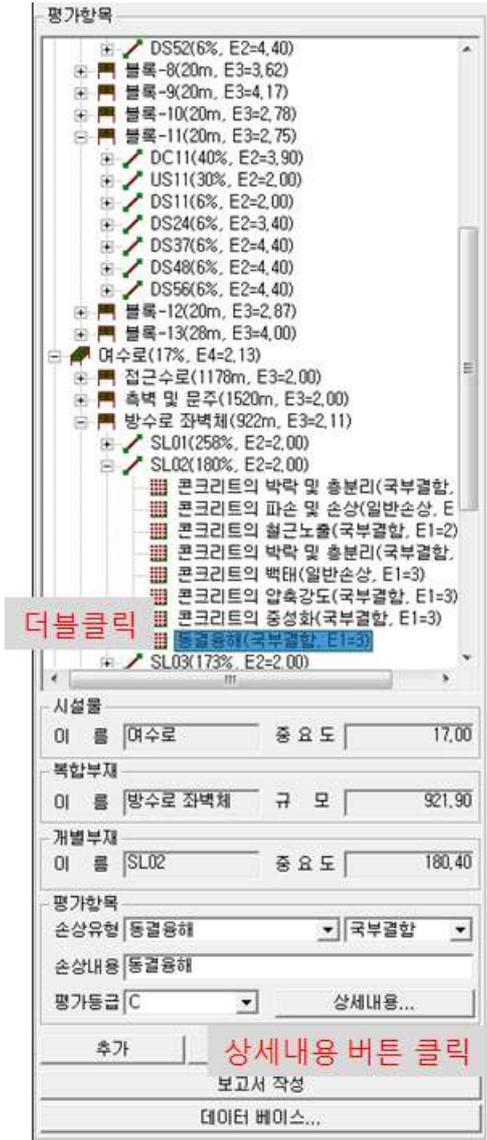
- 중성화 깊이에 의한 평가는 깊이별 탄산칼슘 함량을 토대로 평가등급이 결정되는 방법



4. 동결융해 상세 상태평가

(1) 동결융해 상태평가 방법

- 동결융해에 의한 상태평가는 동결융해 기상 정보와 콘크리트 정보를 토대로 평가등급이 결정되는 방식
- 상세 상태 평가를 위해서 Form View의 Tree메뉴에서 동결융해 평가항목을 더블클릭하거나 상세내용 버튼을 클릭하여 대화상자를 호출



(2) 콘크리트 정보 입력하기

- 콘크리트 정보는 물시멘트비를 직접 입력하거나, 설계기준강도를 토대로 계산하는 방법 또는 DB에서 선택하는 방법을 사용할 수 있음

동결응해

여수로 -> 방수로 좌벽체 -> SL02

콘크리트 정보

물시멘트 비(%) : 13.00

설계기준강도(Mpa) : 0.61

전북-남원-동화 DB에서 선택...

기온정보

연평균 동결응해 반복회수 : 121

10년간 동결기 일 최저기온 평균 : -3.50

남원 DB에서 선택...

개별부재 정보

콘크리트 구조물의 습윤 상태 : 건조상태

상대습도(%) : 50.00

외관 상태 판단 : A

구조물 공용연한 : 60

결과

평가등급 : A

확인 취소

콘크리트 데이터베이스

	저수지	설계강도	물시멘트비
3	전북-부안-석포	13.00	0.64
4	경북-성주-성주	13.00	0.63
5	경북-문경-경천	13.00	0.62
6	전북-무진장-지소	13.00	0.61
7	충북-괴산-소암	13.00	0.58
8	경남-고통거-척정	13.00	0.62
9	경북-구미-오봉	13.00	0.62
10	충남-논산-탑정	13.00	0.58
11	경기-화.수.백운	13.00	0.58
12	경기-화.수.청계	13.00	0.58
13	강원-홍.춘.원창	13.00	0.61
14	충북-옥.영.장연	13.00	0.63
15	충남-서.태.중앙	13.00	0.63
16	충북-충제단-선고	13.00	0.63
17	전북-남원-동화	13.00	0.61
18	경남-의령-천락	13.00	0.64
19	경북-청.영.화매	13.00	0.64
20	경남-하.남-하동	16.00	0.57

확인 취소

(3) 동결응해 기상 정보 입력하기

- 동결응해 정보는 직접 입력하거나, DB에서 선택하는 방법을 사용할 수 있음

동결응해

여수로 -> 방수로 좌벽체 -> SL02

콘크리트 정보

물시멘트 비(%) : 13.00

설계기준강도(Mpa) : 0.61

전북-남원-동화 DB에서 선택...

기온정보

연평균 동결응해 반복회수 : 121

10년간 동결기 일 최저기온 평균 : -3.50

남원 DB에서 선택...

개별부재 정보

콘크리트 구조물의 습윤 상태 : 건조상태

상대습도(%) : 50.00

외관 상태 판단 : A

구조물 공용연한 : 60

결과

평가등급 : A

확인 취소

동결응해 데이터베이스

	지역	동결응해회수	평균최저기온
1	서울	76	-1.10
2	문산	107	-5.50
3	수원	98	-2.40
4	양평	112	-3.90
5	미천	119	-4.40
6	철원	119	-6.60
7	춘천	116	-4.70
8	원주	110	-3.80
9	강릉	64	0.80
10	대관령	109	-7.60
11	홍주	117	-4.20
12	청주	97	-1.90
13	추풍령	110	-2.80
14	보은	122	-4.40
15	서산	111	-2.90
16	천안	113	-3.60
17	부여	114	-3.00
18	금산	123	-4.10

확인 취소

5. 중성화에 의한 잔존 수명 평가 및 강도 추론

(1) 중성화에 의한 잔존 수명 및 강도 추론 방법

- 중성화에 의한 잔존 수명은 깊이에 의한 탄산칼슘 함량과 부식임계 pH에 의한 임계탄산 칼슘 함량 계산으로 평가하는 방식
- 중성화 추정강도는 깊이에 따른 슬로프를 토대로 계산하는 방식
- 중성화에 의한 잔존 수명 및 강도 추론을 위해서 Form View의 Tree메뉴에서 “중성화에 의한 잔존수명 평가 및 압축강도 추정”을 더블클릭하거나, 상세내용 버튼을 클릭하여 대화상자를 호출

중성화에 의한 잔존수명

입력값

조사년도(년)

콘크리트 피복두께(mm)

깊이에 따른 탄산칼슘 함유량

(a) 깊이1(mm)	<input type="text" value="2,50"/>	함유량(%)	<input type="text" value="27,00"/>
(b) 깊이2(mm)	<input type="text" value="7,50"/>	함유량(%)	<input type="text" value="14,00"/>
(c) 깊이3(mm)	<input type="text" value="12,50"/>	함유량(%)	<input type="text" value="10,00"/>
(d) 깊이4(mm)	<input type="text" value="17,50"/>	함유량(%)	<input type="text" value="5,00"/>
(e) 깊이5(mm)	<input type="text" value="22,50"/>	함유량(%)	<input type="text" value="2,50"/>
(f) 깊이6(mm)	<input type="text" value="27,50"/>	함유량(%)	<input type="text" value="1,00"/>

부식임계 pH

결과값

평균위치의 탄산칼슘 함유량(%)	<input type="text" value="5,96"/>
진행량(년)	<input type="text" value="14,24"/>
임계탄산 칼슘 함유량(%)	<input type="text" value="25,46"/>
임계수명	<input type="text" value="30,20"/>
잔존수명(년)	<input type="text" value="15,96"/>
중성화 추정강도(MPa)	<input type="text" value="10,23"/>

(2) 중성화 정보 입력하기

- 대화상자 상단에 중성화 정보를 입력하면, 결과값이 자동으로 계산됨.

입력값			
조사년도(년)	2011		
콘크리트 피복두께(mm)	20.00		
깊이에 따른 탄산칼슘 함유량			
(a) 깊이1(mm)	2.50	함유량(%)	27.00
(b) 깊이2(mm)	7.50	함유량(%)	14.00
(c) 깊이3(mm)	12.50	함유량(%)	10.00
(d) 깊이4(mm)	17.50	함유량(%)	5.00
(e) 깊이5(mm)	22.50	함유량(%)	2.50
(f) 깊이6(mm)	27.50	함유량(%)	1.00
부식임계 pH	10.40		

결과값	
평균위치의 탄산칼슘 함유량(%)	5.96
진행량(년)	14.24
임계탄산 칼슘 함유량(%)	25.46
임계수명	30.20
잔존수명(년)	15.96
중성화 추정강도(MPa)	10.23

- 조사년도 : 탄산칼슘 함량을 조사한 년도 입력
- 깊이에 따른 탄산칼슘 함유량 : 깊이에 따른 탄산칼슘 함량 입력
- 부식임계 pH : 부식이 시작되는 pH값 지정
- 자세한 계산 과정은 보고서에 출력됨

6. 염해에 의한 잔존 수명 평가 및 강도 추론

(1) 염해에 의한 잔존 수명 추론 방법

- 염해에 의한 잔존 수명은 깊이에 따른 염화물량과 부식임계 염화물량값을 토대로 계산하는 방식
- 염해에 의한 잔존 수명 추론을 위해서 Form View의 Tree메뉴에서 “염해에 의한 잔존수명 평가”을 더블 클릭하거나, 상세내용 버튼을 클릭하여 대화상자를 호출

The image shows a software interface for structural evaluation. On the left, a tree view lists various components and their properties. A red arrow points from the '염해에 의한 잔존수명 평가' (Corrosion-induced Residual Life Evaluation) item in the tree to a dialog box on the right. A red callout box with the text '더블클릭' (Double-click) points to the '염해에 의한 잔존수명 평가' item. Another red callout box with the text '상세내용 버튼 클릭' (Click detailed content button) points to the '상세내용...' button at the bottom of the tree view.

평가항목

- 블록-13(28m, E3=4.00)
- 여수로(17%, E4=2.13)
- 접근수로(1178m, E3=2.00)
- 축벽 및 문주(1520m, E3=2.00)
- 방수로 좌벽체(922m, E3=2.11)
 - SL01(258%, E2=2.00)
 - SL02(180%, E2=2.00)
 - 콘크리트의 박락 및 층분리(국부결합, E1=3)
 - 콘크리트의 파손 및 손상(일반손상, E1=3)
 - 콘크리트의 철근노출(국부결합, E1=2)
 - 콘크리트의 박락 및 층분리(국부결합, E1=3)
 - 콘크리트의 백태(일반손상, E1=3)
 - 콘크리트의 압축강도(국부결합, E1=3)
 - 콘크리트의 중성화(국부결합, E1=3)
 - 동결융해(국부결합, E1=3)
 - SL03(173%, E2=2.00)
 - SL04(171%, E2=3.60)
 - SL05(141%, E2=2.00)
- 방수로 우벽체(922m, E3=2.00)
- 방수로바닥(6144m, E3=2.00)
- 감세공(1431m, E3=3.01)
- 취수시설(4%, E4=2.18)
 - 취수시설(100m, E3=2.18)
- 기계설비(5%, E4=5.00)
 - 기계설비(50m, E3=0.00)
 - 전기설비(50m, E3=0.00)
- 중성화에 의한 잔존수명 평가 및 압축강도 추정

염해에 의한 잔존수명

입력값

준공년도: 1993
 조사년도: 2011
 콘크리트 피복두께(mm): 80

깊이에 따른 염화물량

깊이(mm)	함유량(%)
(a) 깊이1(mm)	0.26
(b) 깊이2(mm)	0.32
(c) 깊이3(mm)	0.36
(d) 깊이4(mm)	0.29
(e) 깊이5(mm)	0.22
(f) 깊이6(mm)	0.17

부식임계 염화물량(%): 0.0210

결과값

참조년: 2011
 참조년 확산계수: 0.71
 추정년: 2021
 추정년 확산계수: 1.10
 추정년 염화물량(%): 0.0226
 잔존수명(년): 10

확인 취소

(2) 염해 정보 입력하기

- 대화상자 상단에 염해 정보를 입력하면, 결과값이 자동으로 계산됨.

입력값		
준공년도		1993
조사년도		2011
콘크리트 피복두께(mm)		80
깊이에 따른 염화물량		
(a) 깊이1(mm)	5.00	함유량(%) 0.26
(b) 깊이2(mm)	10.00	함유량(%) 0.32
(c) 깊이3(mm)	15.00	함유량(%) 0.36
(d) 깊이4(mm)	20.00	함유량(%) 0.29
(e) 깊이5(mm)	25.00	함유량(%) 0.22
(f) 깊이6(mm)	35.00	함유량(%) 0.17
부식임계 염화물량(%)		0.0210
결과값		
참조년		2011
참조년 확산계수		0.71
추정년		2021
추정년 확산계수		1.10
추정년 염화물량(%)		0.0226
잔존수명(년)		10

- 준공년도 : 구조물의 준공년도 입력
- 조사년도 : 염화물량 조사년도 입력
- 깊이에 따른 염화물량 : 깊이에 따른 염화물 함량 입력
- 부식임계 염화물량 : 부식이 시작되는 염화 물량 입력
- 자세한 계산 과정은 보고서에 출력됨

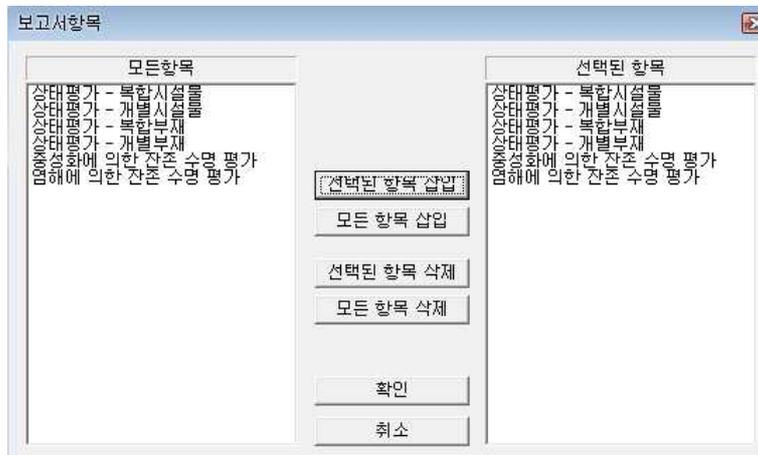
6. 보고서 출력

(1) 보고서 만들기

- 프로그램은 상태평가 보고서, 중성화에 의한 잔존수명 평가 보고서, 염해에 의한 잔존수명 평가 보고서를 출력할 수 있음.
- Form View에서 보고서 작성 버튼을 클릭

(2) 출력할 보고서 선택하기(정의 -> 보고서항목)

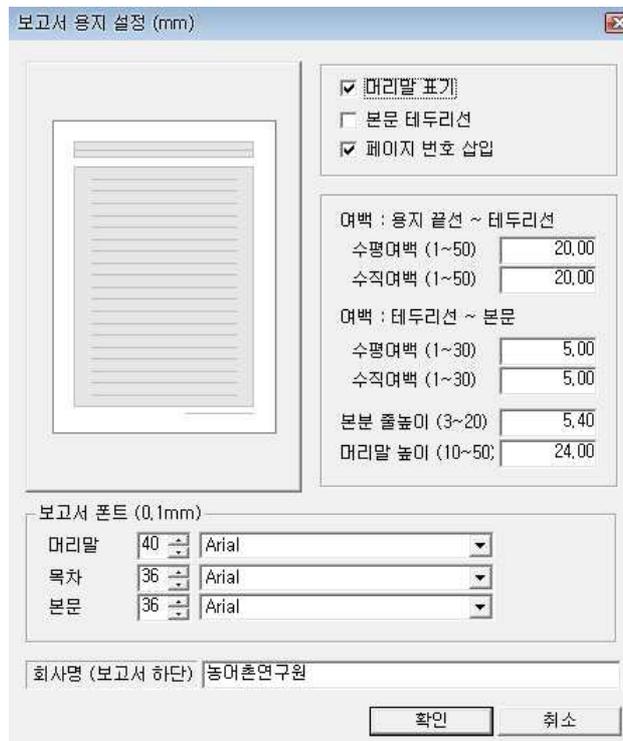
- 보고서항목 대화상자를 호출하면 다음과 같은 대화상자가 실행됨



- 우측의 "선택된 항목"에 있는 보고서 항목이 보고서로 출력됨
- 기본값은 모든 항목

(3) 보고서 편집하기(정의 -> 보고서 용지 설정)

- 보고서 용지 설정 대화상자를 호출하면 다음과 같은 대화상자가 실행됨



- 머리말 표기 : 체크시 머리말 표시, 해제시 미 표시
- 본문 테두리선 : 본문을 사각형 테두리로 표시
- 페이지 번호 삽입 : 페이지 번호의 표시 여부 설정
- 여백 : 수평여백과 수직여백을 각각 설정 가능
- 본문 줄높이 : 본문의 줄높이 간격 설정
- 머리말 높이 : 머리말의 높이를 설정
- 보고서 폰트 : 각 내용별 폰트 설정
- 회사명 : 보고서 하단에 표시되는 회사명 설정

6. 기타기능

(1) 저수지 기본정보 데이터베이스

- 국내 저수지 기본정보를 지역별, 저수지별로 통합한 데이터베이스

통합 DB

지역: 경기 저수지: 금사 DB 파일 교체...

Data

저수지명: _____ 지사명: _____ 통계코드: _____
 위치: _____ 준공년도: _____ 조사년도: _____

구조	Part	코아 (MPa)	f _{ck} (MPa)	중성화 (mm)	철근피복		철근간격		피복기준		간격기준		염화물 (%)	배합설계		
					중 (mm)	횡 (mm)		C (kg)	S (kg)	G (kg)						
A-1	머수토	0.00	0.00	7.00	131.00	151.00	220.00	210.00	50.00	50.00	250.00	250.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	방수로	21.00	21.00	11.00	66.00	85.00	210.00	200.00	50.00	50.00	250.00	250.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	복통	0.00	0.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	취수탑	12.30	21.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	사통	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	수로터널	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
A-2	머수토	0.00	0.00	9.00	134.00	157.00	250.00	280.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	방수로	22.90	21.00	13.00	91.00	124.00	250.00	270.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	복통	0.00	0.00	22.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	취수탑	15.30	21.00	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	사통	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	수로터널	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
A-3	머수토	0.00	0.00	18.00	141.00	178.00	265.00	330.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	방수로	0.00	0.00	15.00	123.00	154.00	270.00	290.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	복통	0.00	0.00	24.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	취수탑	0.00	0.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	사통	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	수로터널	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B-1	머수토	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	방수로	0.00	0.00	7.00	62.00	94.00	150.00	230.00	50.00	50.00	210.00	250.00	0.00	0.00	0.00	0.00

확인 취소

(2) 보고서를 이미지 파일로 내보내기

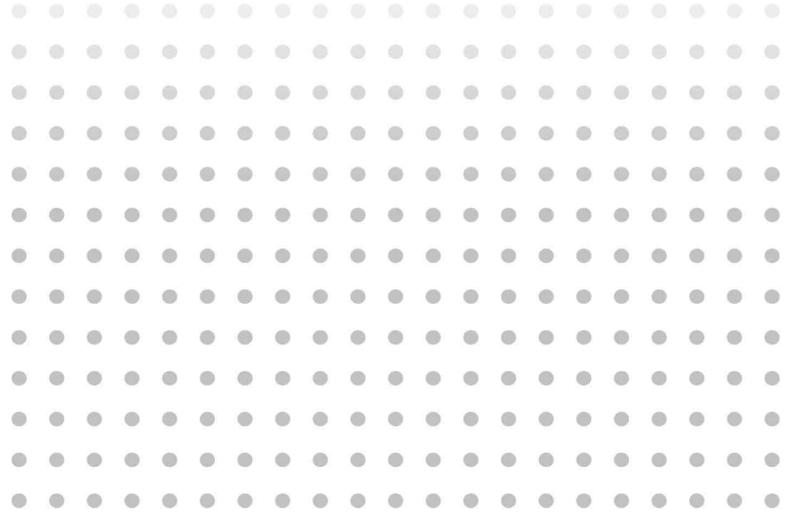
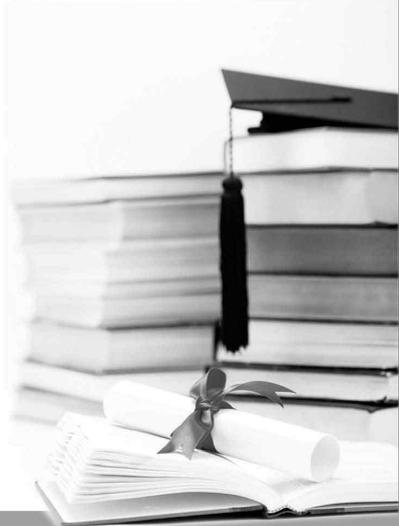
- 작성한 보고서를 이미지 파일로 저장하는 기능

그림파일 저장

파일경로: E:\SVN_LOCAL\Project_EKR\WDatafile\₩오봉저수지_통결용

페이지 번호: 1 ~ 33 (Total Page = 33)

확인 취소



부록 G



내하력평가 시스템 사용자 설명서

I N D E X

1. 개요	3
(1) RSAP 소개	3
(2) 내하력 평가 절차	4
(3) 내하력 평가 대상 및 방법	4
2. 템플릿을 통한 모델링 기능	6
(1) 취수게이트 형 취수탑	6
(2) 원형단면 취수탑	10
(3) 사각단면 취수탑	14
(4) 역T형 옹벽	18
(5) L형 옹벽	22
(6) U형 옹벽	26
(7) 사각단면 취수터널	30
(8) 마제형 취수터널	34
3. 해석 수행하기	38
(1) 해석옵션지정하기	38
(2) 해석수행하기	39
(3) 고유치 해석을 위한 선택사항	39
4. 해석 결과 확인하기	41
(1) 반력	41
(2) 변형도	45
(3) 부재력도	46
(4) 응력도	47
(5) 모드 형상	48
5. 보고서 출력하기	49
(1) 보고서 포맷 지정하기	49
(2) 보고서 확인하기	50
(3) 보고서 출력하기	51
6. FEM 모델링 기능	52
(1) Define	52
(2) DRAW	56
(3) ASSIGN	59
(4) Edit	65
(5) Load	73
(6) Analysis	76
7. View Tool 기능	77
8. Select Tool 기능	78

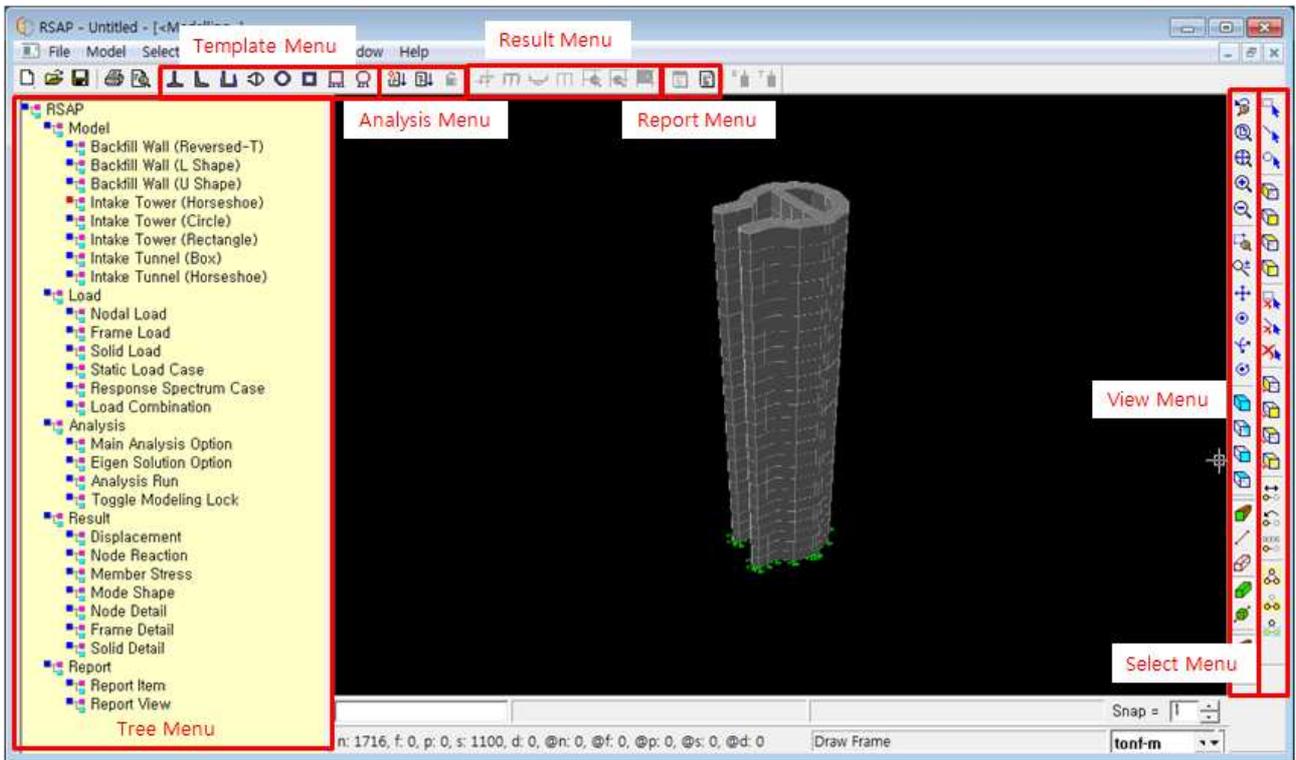
1. 개요

(1) 내하력평가 시스템 소개

① 내하력평가 시스템(RSAP) 이란?

내하력평가 시스템은 농업용 저수지 구조물의 내하력 평가 프로그램으로 정밀안전진단에서 안전성 평가 부분에 해당하는 평가를 수행한다.

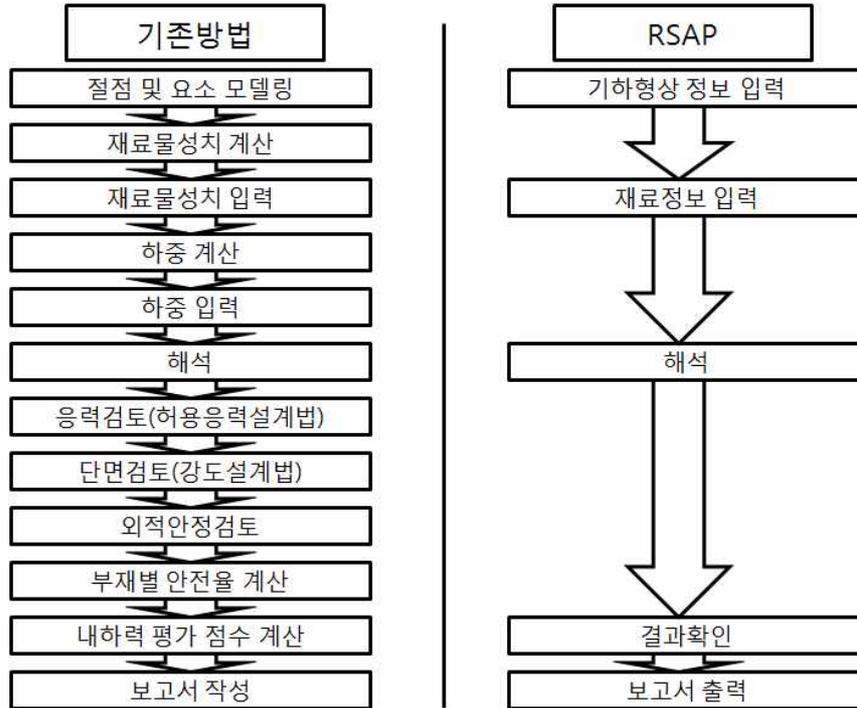
② 주요 메뉴 소개



- Tree Menu : 평가에 사용되는 주요 기능을 트리메뉴 형식으로 구현
- Template Menu : 모델링에 사용되는 템플릿
- Analysis Menu : 해석에 관련된 메뉴
- Result Menu : 후처리에 관련된 메뉴
- Report Menu : 보고서에 관련된 메뉴
- View Menu : 3D 뷰를 컨트롤 하기 위한 메뉴
- Select Menu : 요소의 선택에 관한 메뉴

(2) 내하력 평가 절차

기존의 내하력 평가 프로세스를 분석한 결과 모델링 방법이 불편하고 하중등의 계산에 많은 수고가 필요한 문제가 있었다. 이에 프로그램에서는 평가 프로세스를 기하형상 정보 입력, 재료정보 입력, 해석, 결과 확인, 보고서출력의 다섯 단계로 축소하여 소요되는 인력 및 시간을 줄일 수 있도록 하였다.



(3) 내하력 평가 대상 및 방법

① 구조물 별 내하력 평가 방법

구조물	형식	내하력 평가방법
취수탑	취수구형 원형단면	허용응력설계법, 극한강도설계법
	취수구형 원형변단면	
	게이트식 원형단면	
	게이트식 원형변단면	
	취수구형 사각단면	
옹벽	역 T형 옹벽	허용응력설계법, 외적안정검토
	L형 옹벽	
	U형 옹벽	
취수터널	사각단면	허용응력설계법, 극한강도설계법
	마재형단면	

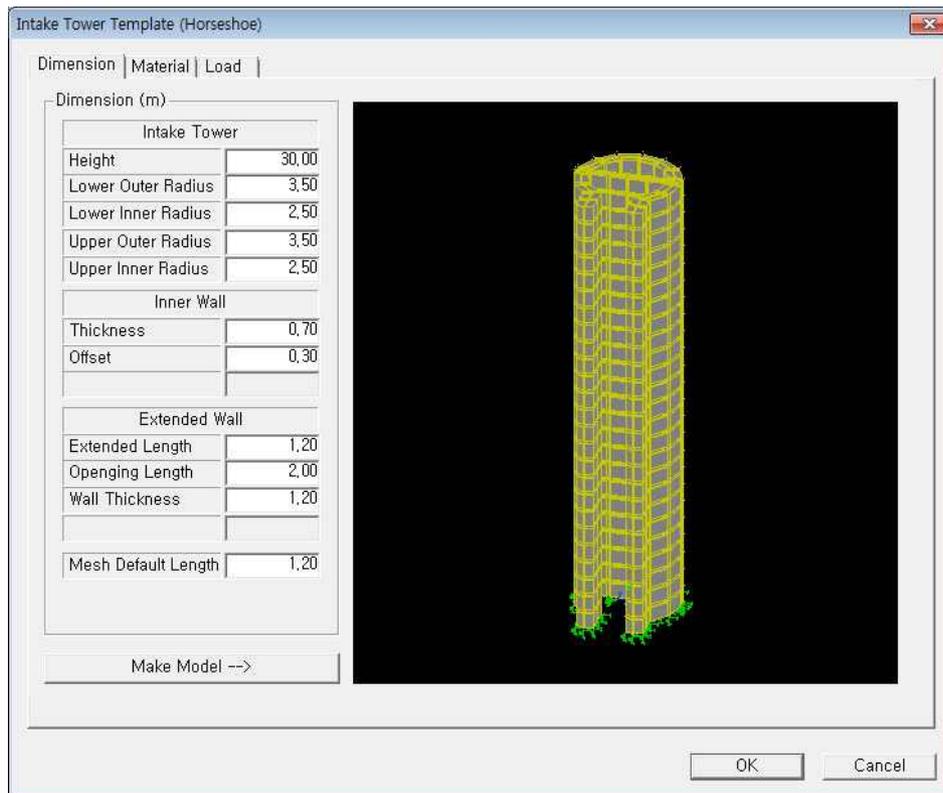
② 구조물 별 구조해석 모델

구조물	형식	사용요소	지점조건	하중
취수탑	취수구형 원형단면	솔리드	고정단	수압, 자중, 연락교량, 지진하중
	취수구형 원형변단면	솔리드	고정단	수압, 자중, 연락교량, 지진하중
	게이트식 원형단면	솔리드	고정단	수압, 자중, 연락교량, 지진하중
	게이트식 원형변단면	솔리드	고정단	수압, 자중, 연락교량, 지진하중
	취수구형 사각단면	솔리드	고정단	수압, 자중, 연락교량, 지진하중
옹벽	역 T형 옹벽	솔리드	고정단	수압, 토압, 자중, 상재하중
	L형 옹벽	솔리드	고정단	수압, 토압, 자중, 상재하중
	U형 옹벽	솔리드	고정단	수압, 토압, 자중, 상재하중
취수 터널	사각단면	프레임	스프링	토압, 자중, 상재하중
	마재형단면	프레임	스프링	토압, 자중, 상재하중

2. 템플릿을 통한 모델링 기능

(1) 취수게이트 형 취수탑

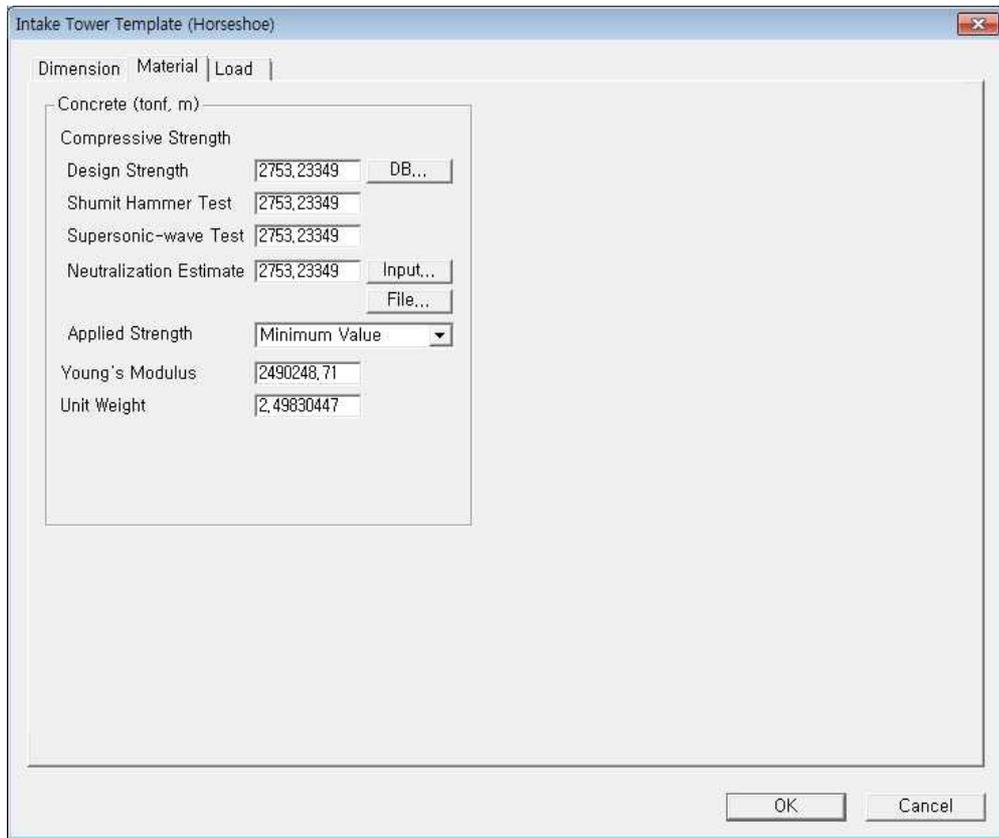
① Dimension



취수게이트 형 취수탑의 기하정보를 입력하는 대화상자로, 이곳에서 입력된 정보를 바탕으로 자동으로 메쉬를 생성하게 된다. 입력값들은 다음과 같다.

- Intake Tower
 - Height : 취수탑의 총 높이
 - Lower Outer Radius : 하단부 외측 반지름
 - Lower Inner Radius : 하단부 내측 반지름
 - Upper Outer Radius : 상단부 외측 반지름
 - Upper Inner Radius : 상단부 내측 반지름
- Inner Wall
 - Thickness : 두께
 - Offset : 떨어진 거리
- Extended Wall
 - Extended Length : 취수게이트 부 벽 길이
 - Opening Length : 취수게이트 부 벽간 거리
 - Wall Thickness : 취수게이트 부 벽 두께
- Mesh Default Length : 솔리드요소의 기본 크기
- Make Model : 치수 정보를 사용하여 해석 모델을 만듦

② Material



사용재료의 정보를 입력하는 대화 상자로 콘크리트의 압축강도와 탄성계수, 단위중량을 입력할 수 있다.

- Compressive Strength : 콘크리트 압축강도
 - Design Strength : 설계기준 강도

콘크리트 측정자료

지역: 경기 | 저수지: 금사 | 저수지 통합 DB... | DB 파일 교체...

Data

저수지명: 금사 | 지사명: 여미 | 통계코드: 1995000279

위치: 경기 여주군 금사면 장골리 | 준공년도: 1989 | 조사년도: 2008

구조	Part	코마 (MPa)	f _{ck} (MPa)	중성화 (mm)	철근피복		철근간격		피복기준		간격기준		연화율 (%)	배합설계		
					중 (mm)	철 (mm)		C (kg)	S (kg)	G (kg)						
A-1	여수로	0.00	0.00	7.00	.31.00	.51.00	.20.00	.10.00	50.00	50.00	!50.00	!50.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	방수로	21.00	21.00	11.00	66.00	85.00	!10.00	!00.00	50.00	50.00	!50.00	!50.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	복통	0.00	0.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	취수탑	12.30	21.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	사통	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
A-2	여수로	0.00	0.00	9.00	.34.00	.57.00	.50.00	.80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	방수로	22.90	21.00	13.00	91.00	.24.00	.50.00	.70.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	복통	0.00	0.00	22.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	취수탑	15.30	21.00	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	사통	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
A-3	여수로	0.00	0.00	18.00	.41.00	.78.00	.65.00	.30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	방수로	0.00	0.00	15.00	.23.00	.54.00	.70.00	.90.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	복통	0.00	0.00	24.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	취수탑	0.00	0.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	사통	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

확인 | 취소

* DB버튼을 클릭하면 프로그램에 탑재된 DB에서 값을 가져올 수 있다.

- Shumit Hammer Test : 슈미트 해머 시험법에 의한 압축강도
- Supersonic Wave Test : 초음파법에 의한 압축강도
- Neutralization Estimate : 열분석에 의한 압축강도 추정법

조사년도 : 열분석을 실시한 년도 입력
 콘크리트 피복두께 : 콘크리트 피복 두께 입력
 깊이에 따른 탄산 칼슘 함유량 : 열분석 결과 입력

- Apply Strength : 해석모델에 사용할 압축강도 지정

Design Strength : 설계기준 강도 사용
 Shumit Hammer : 슈미트 해머법에 의한 압축강도 사용
 Supersonic Wave : 초음파법에 의한 압축강도 사용
 Neutralization : 열분석에 의한 압축강도 사용
 Minimum Value : 위의 값 중에서 가장 작은 값 사용
 Maximum Value : 위의 값 중에서 가장 큰 값 사용

- Young`s Modulus : 콘크리트 탄성계수
- Unit Weight : 콘크리트의 단위 중량

③ Load

Intake Tower Template (Horseshoe)

Dimension | Material | Load

Static Load Case

Dead Load

Bridge Weight (tonf) | 10,1971611

Water Pressure

Water Level (m) | 32

Response Spectrum Case

Spectrum Function

Area Factor (A) | 0,12

Importance Factor (I) | 1

Soil Profile Factor (S) | 1,2

Modification Factor (R) | 4,5

Period Increment | 0,2

Last Period | 2,5

Spectrum Function

Used Mode Count | 10

Load Direction | X

No	Period	Acceleration
1	0	
2	0,2	0,58475569
3	0,4	0,41348471
4	0,6	0,33760685
5	0,8	0,29237784
6	1	0,26151069
7	1,2	0,23872551
8	1,4	0,22101688
9	1,6	0,20674236
10	1,8	0,19491856
11	2	0,18491598
12	2,2	0,17631047
13	2,4	0,16880443
14	2,5	0,16539388

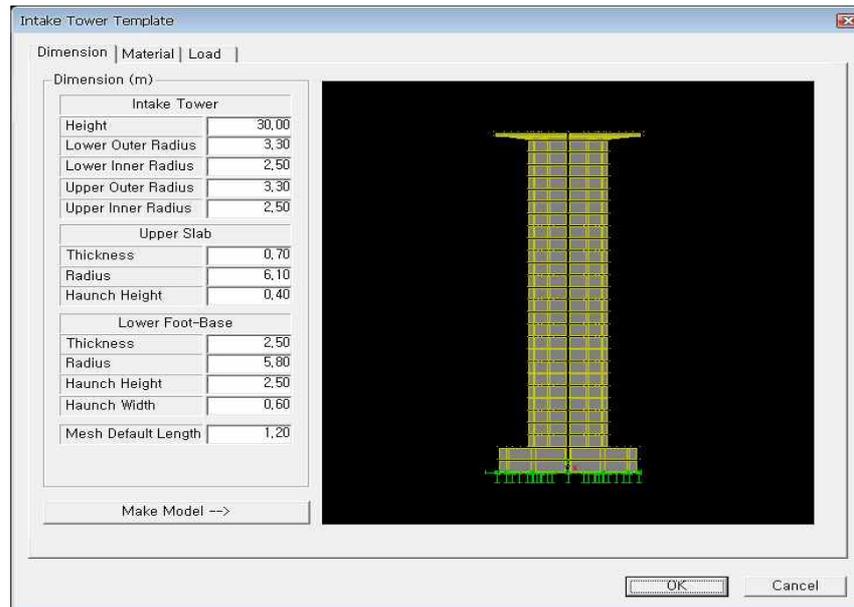
Generate Data

OK Cancel

- Dead Load
 - Bridge Weight : 연락교량 하중
- Water Pressure
 - Water Level : 수압을 적용할 높이
- Spectrum Function
 - Area Factor : 지역계수
 - Importance Factor : 중요도
 - Soil Profile Factor : 지반계수
 - Modification Factor : 반응수정 계수
 - Period Increment : 계산할 주기 간격
 - Last Period : 계산할 주기의 최대값
 - Generate Data : 위의 입력값을 바탕으로 Period-Spectra 값을 계산함.
- Spectrum Load
 - Used Mode Count : 해석에 사용할 모드 개수 지정
 - Load Direction : 하중 방향 설정

(2) 원형단면 취수탑

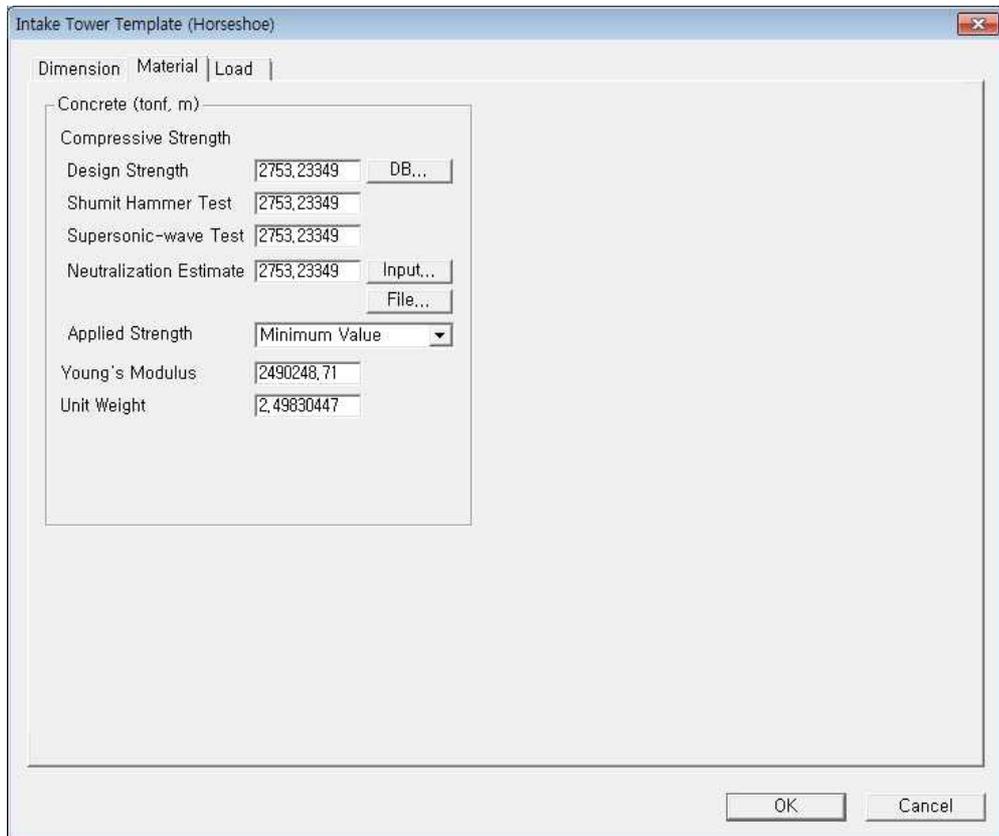
① Dimension



<그림 2.64> 원형단면 취수탑 템플릿

- Intake Tower
 - Height : 취수탑 높이
 - Lower Outer Radius : 취수탑 하단 외벽 반지름
 - Lower Inner Radius : 취수탑 하단 내벽 반지름
 - Upper Outer Radius : 취수탑 상단 외벽 반지름
 - Upper Inner Radius : 취수탑 상단 내벽 반지름
- Upper Slab
 - Thickness : 상단 슬라브 두께
 - Radius : 상단슬라브 반지름
 - Haunch Height : 현치부 높이
- Lower Foot-Base
 - Thickness : 하단 기초부 두께
 - Radius : 하단 기초부 반지름
 - Haunch Height : 하단 기초부 현치 높이
 - Haunch Width : 하단 기초부 현치 폭
- Mesh Default Length : 기본 메쉬 크기

② Material



사용재료의 정보를 입력하는 대화 상자로 콘크리트의 압축강도와 탄성계수, 단위중량을 입력할 수 있다.

- Compressive Strength : 콘크리트 압축강도
 - Design Strength : 설계기준 강도

콘크리트 측정자료

지역: 경기 | 저수지: 금사 | 저수지 통합 DB... | DB 파일 교체...

Data

저수지명: 금사 | 지사명: 여미 | 통계코드: 1995000279

위치: 경기 여주군 금사면 장골리 | 준공년도: 1989 | 조사년도: 2008

구조	Part	코마 (MPa)	f _{ck} (MPa)	중성화 (mm)	철근피복		철근간격		피복기준		간격기준		연화률 (%)	배합설계		
					중 (mm)	횡 (mm)		C (kg)	S (kg)	G (kg)						
A-1	여수로	0.00	0.00	7.00	.31.00	.51.00	.20.00	.10.00	50.00	50.00	!50.00	!50.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	방수로	21.00	21.00	11.00	66.00	85.00	!10.00	!00.00	50.00	50.00	!50.00	!50.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	복통	0.00	0.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	취수탑	12.30	21.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	사통	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
A-2	여수로	0.00	0.00	9.00	.34.00	.57.00	.50.00	.80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	방수로	22.90	21.00	13.00	91.00	24.00	!50.00	!70.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	복통	0.00	0.00	22.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	취수탑	15.30	21.00	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	사통	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
A-3	여수로	0.00	0.00	18.00	.41.00	.78.00	.65.00	.30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	방수로	0.00	0.00	15.00	.23.00	.54.00	.70.00	.90.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	복통	0.00	0.00	24.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	취수탑	0.00	0.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	사통	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

확인 | 취소

* DB버튼을 클릭하면 프로그램에 탑재된 DB에서 값을 가져올 수 있다.

- Shumit Hammer Test : 슈미트 해머 시험법에 의한 압축강도
- Supersonic Wave Test : 초음파법에 의한 압축강도
- Neutralization Estimate : 열분석에 의한 압축강도 추정법

조사년도 : 열분석을 실시한 년도 입력
 콘크리트 피복두께 : 콘크리트 피복 두께 입력
 깊이에 따른 탄산 칼슘 함유량 : 열분석 결과 입력

- Apply Strength : 해석모델에 사용할 압축강도 지정

Design Strength : 설계기준 강도 사용
 Shumit Hammer : 슈미트 해머법에 의한 압축강도 사용
 Supersonic Wave : 초음파법에 의한 압축강도 사용
 Neutralization : 열분석에 의한 압축강도 사용
 Minimum Value : 위의 값 중에서 가장 작은 값 사용
 Maximum Value : 위의 값 중에서 가장 큰 값 사용

- Young`s Modulus : 콘크리트 탄성계수
- Unit Weight : 콘크리트의 단위 중량

③ Load

Intake Tower Template (Horseshoe)

Dimension | Material | Load

Static Load Case

Dead Load

Bridge Weight (tonf) | 10,1971611

Water Pressure

Water Level (m) | 32

Response Spectrum Case

Spectrum Function

Area Factor (A) | 0,12

Importance Factor (I) | 1

Soil Profile Factor (S) | 1,2

Modification Factor (R) | 4,5

Period Increment | 0,2

Last Period | 2,5

Spectrum Function

Used Mode Count | 10

Load Direction | X

No	Period	Acceleration
1	0	
2	0,2	0,58475569
3	0,4	0,41348471
4	0,6	0,33760685
5	0,8	0,29237784
6	1	0,26151069
7	1,2	0,23872551
8	1,4	0,22101688
9	1,6	0,20674236
10	1,8	0,19491856
11	2	0,18491598
12	2,2	0,17631047
13	2,4	0,16880443
14	2,5	0,16539388

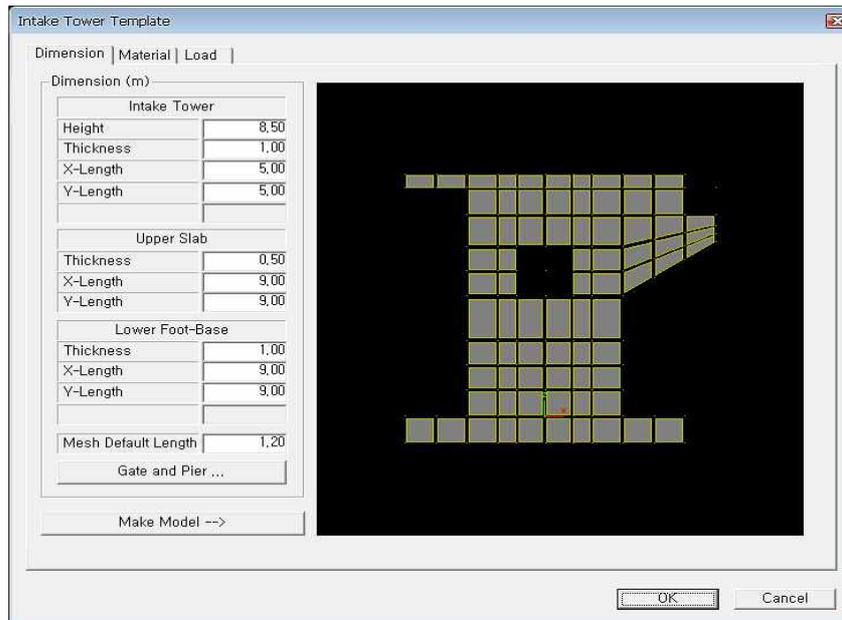
Generate Data

OK Cancel

- Dead Load
 - Bridge Weight : 연락교량 하중
- Water Pressure
 - Water Level : 수압을 적용할 높이
- Spectrum Function
 - Area Factor : 지역계수
 - Importance Factor : 중요도
 - Soil Profile Factor : 지반계수
 - Modification Factor : 반응수정 계수
 - Period Increment : 계산할 주기 간격
 - Last Period : 계산할 주기의 최대값
 - Generate Data : 위의 입력값을 바탕으로 Period-Spectra 값을 계산함.
- Spectrum Load
 - Used Mode Count : 해석에 사용할 모드 개수 지정
 - Load Direction : 하중 방향 설정

(3) 사각단면 취수탑

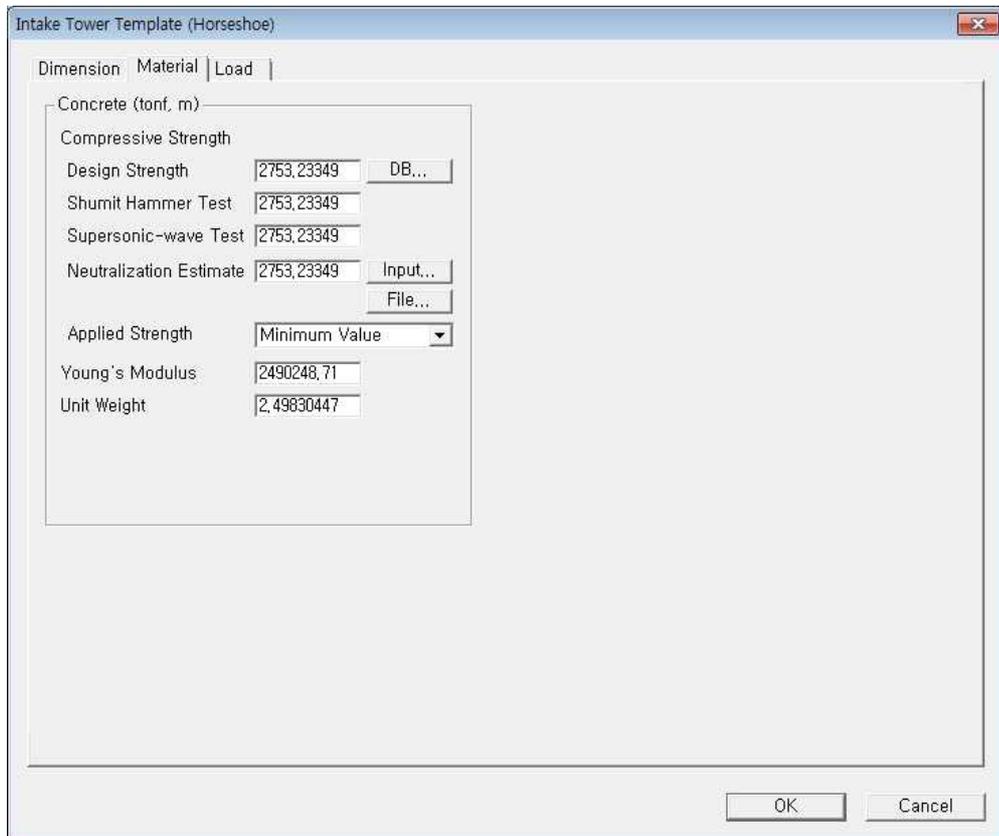
① Dimension



<그림 2.65> 사각단면 취수탑 템플릿

- Intake Tower
 - Height : 취수탑 높이
 - Lower Outer Radius : 취수탑 하단 외벽 반지름
 - Lower Inner Radius : 취수탑 하단 내벽 반지름
 - Upper Outer Radius : 취수탑 상단 외벽 반지름
 - Upper Inner Radius : 취수탑 상단 내벽 반지름
- Upper Slab
 - Thickness : 상단 슬라브 두께
 - Radius : 상단슬라브 반지름
 - Haunch Height : 현치부 높이
- Lower Foot-Base
 - Thickness : 하단 기초부 두께
 - Radius : 하단 기초부 반지름
 - Haunch Height : 하단 기초부 현치 높이
 - Haunch Width : 하단 기초부 현치 폭
- Mesh Default Length : 기본 메쉬 크기

② Material



사용재료의 정보를 입력하는 대화 상자로 콘크리트의 압축강도와 탄성계수, 단위중량을 입력할 수 있다.

- Compressive Strength : 콘크리트 압축강도
- Design Strength : 설계기준 강도

콘크리트 측정자료

지역: 경기 | 저수지: 금사 | 저수지 통합 DB... | DB 파일 교체...

Data

저수지명: 금사 | 지사명: 여미 | 통계코드: 1995000279

위치: 경기 여주군 금사면 장골리 | 준공년도: 1989 | 조사년도: 2008

구조	Part	코마 (MPa)	f _{ck} (MPa)	중성화 (mm)	철근피복		철근간격		피복기준		간격기준		염화물 (%)	배합설계		
					중 (mm)	횡 (mm)		C (kg)	S (kg)	G (kg)						
A-1	여수로	0.00	0.00	7.00	.31.00	.51.00	.20.00	.10.00	50.00	50.00	!50.00	!50.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	방수로	21.00	21.00	11.00	66.00	85.00	!10.00	!00.00	50.00	50.00	!50.00	!50.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	복통	0.00	0.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	취수탑	12.30	21.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	사통	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
수로터널	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
A-2	여수로	0.00	0.00	9.00	.34.00	.57.00	.50.00	.80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	방수로	22.90	21.00	13.00	91.00	24.00	!50.00	!70.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	복통	0.00	0.00	22.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	취수탑	15.30	21.00	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	사통	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
수로터널	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
A-3	여수로	0.00	0.00	18.00	.41.00	.78.00	.65.00	.30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	방수로	0.00	0.00	15.00	.23.00	.54.00	.70.00	.90.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	복통	0.00	0.00	24.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	취수탑	0.00	0.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	사통	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

확인 | 취소

* DB버튼을 클릭하면 프로그램에 탑재된 DB에서 값을 가져올 수 있다.

- Shumit Hammer Test : 슈미트 해머 시험법에 의한 압축강도
- Supersonic Wave Test : 초음파법에 의한 압축강도
- Neutralization Estimate : 열분석에 의한 압축강도 추정법

조사년도 : 열분석을 실시한 년도 입력
 콘크리트 피복두께 : 콘크리트 피복 두께 입력
 깊이에 따른 탄산 칼슘 함유량 : 열분석 결과 입력

- Apply Strength : 해석모델에 사용할 압축강도 지정

Design Strength : 설계기준 강도 사용
 Shumit Hammer : 슈미트 해머법에 의한 압축강도 사용
 Supersonic Wave : 초음파법에 의한 압축강도 사용
 Neutralization : 열분석에 의한 압축강도 사용
 Minimum Value : 위의 값 중에서 가장 작은 값 사용
 Maximum Value : 위의 값 중에서 가장 큰 값 사용

- Young`s Modulus : 콘크리트 탄성계수
- Unit Weight : 콘크리트의 단위 중량

③ Load

Intake Tower Template (Horseshoe)

Dimension | Material | Load |

Static Load Case

Dead Load

Bridge Weight (tonf) | 10,1971611

Water Pressure

Water Level (m) | 32

Response Spectrum Case

Spectrum Function

Area Factor (A) | 0,12

Importance Factor (I) | 1

Soil Profile Factor (S) | 1,2

Modification Factor (R) | 4,5

Period Increment | 0,2

Last Period | 2,5

Spectrum Function

Used Mode Count | 10

Load Direction | X

No	Period	Acceleration
1	0	
2	0,2	0,58475569
3	0,4	0,41348471
4	0,6	0,33760885
5	0,8	0,29237784
6	1	0,26151069
7	1,2	0,23872551
8	1,4	0,22101688
9	1,6	0,20674236
10	1,8	0,19491856
11	2	0,18491598
12	2,2	0,17631047
13	2,4	0,16880443
14	2,5	0,16539388

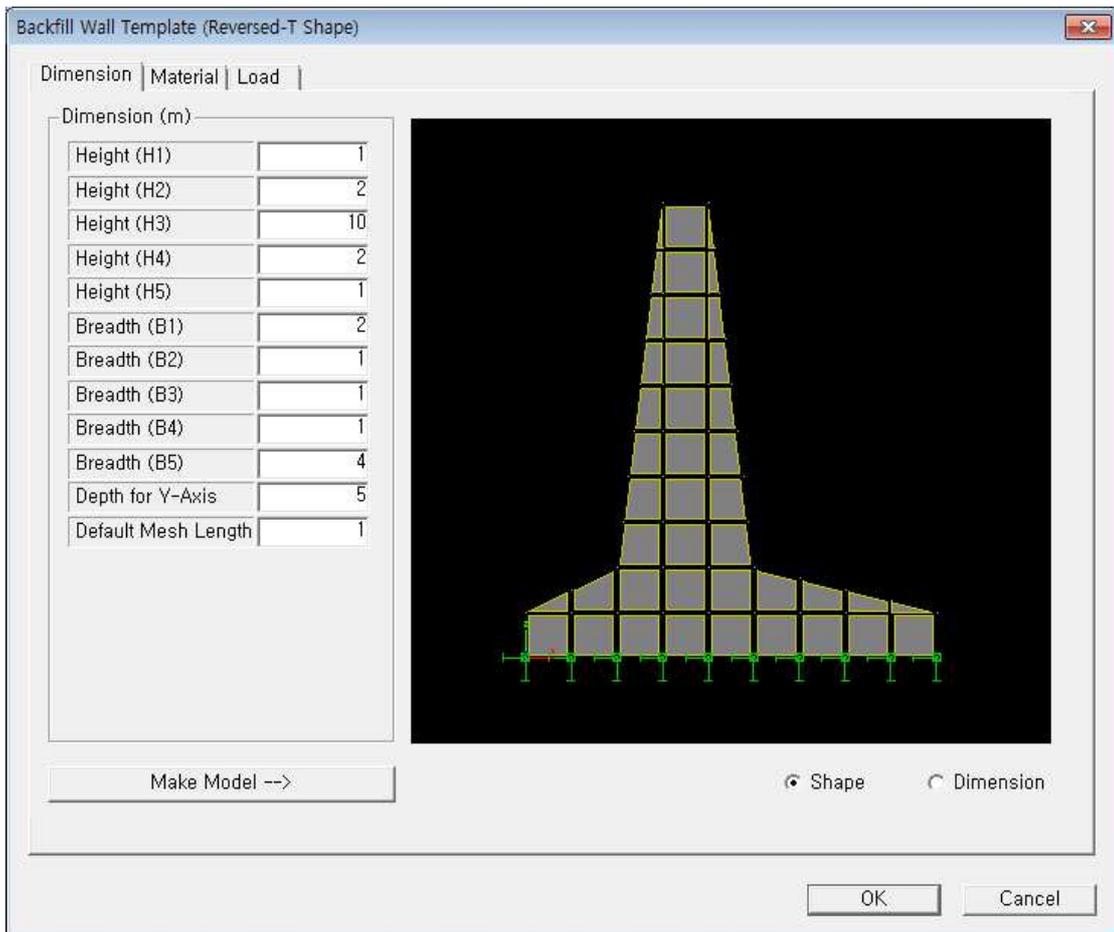
Generate Data

OK Cancel

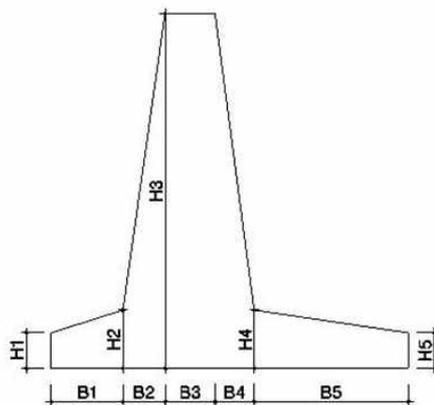
- Dead Load
 - Bridge Weight : 연락교량 하중
- Water Pressure
 - Water Level : 수압을 적용할 높이
- Spectrum Function
 - Area Factor : 지역계수
 - Importance Factor : 중요도
 - Soil Profile Factor : 지반계수
 - Modification Factor : 반응수정 계수
 - Period Increment : 계산할 주기 간격
 - Last Period : 계산할 주기의 최대값
 - Generate Data : 위의 입력값을 바탕으로 Period-Spectra 값을 계산함.
- Spectrum Load
 - Used Mode Count : 해석에 사용할 모드 개수 지정
 - Load Direction : 하중 방향 설정

(4) 역T형 옹벽

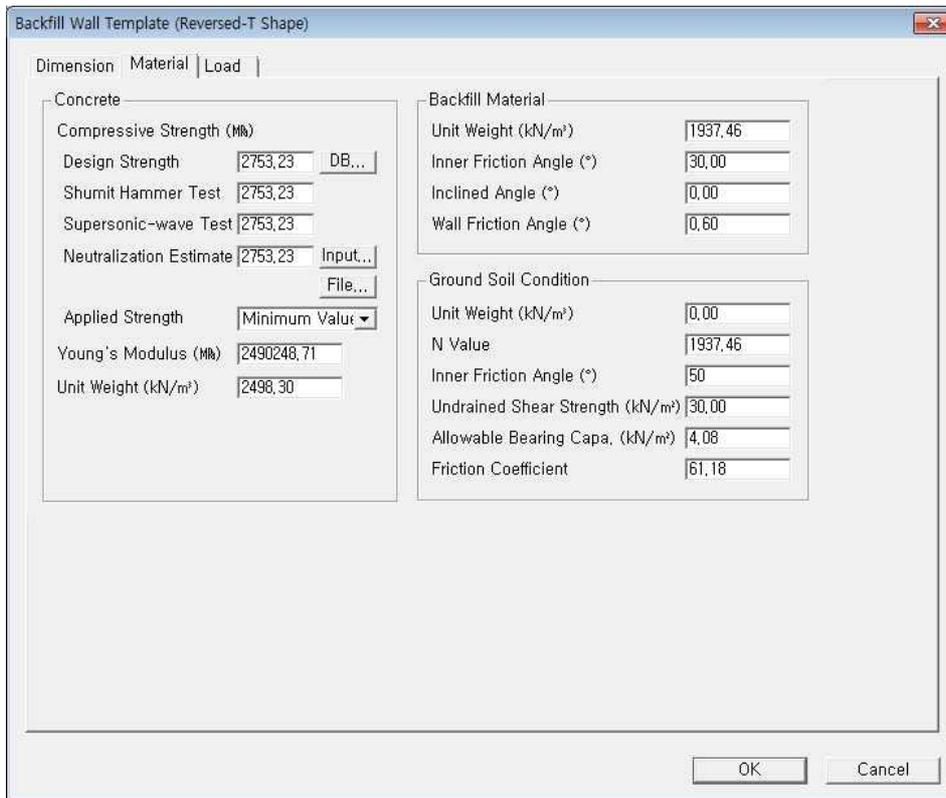
① Dimension



역T형 옹벽의 기하정보를 입력하는 대화상자로, 이곳에서 입력된 정보를 바탕으로 자동으로 메쉬를 생성하게 된다. 입력값 들은 다음 그림을 참조한다.



② Material



사용재료의 정보를 입력하는 대화 상자로 콘크리트의 압축강도와 탄성계수, 단위중량을 입력할 수 있다. 또한 토압 정보와 지반정보를 입력할 수 있다.

- Compressive Strength : 콘크리트 압축강도
- Design Strength : 설계기준 강도

콘크리트 측정자료

지역 경기 | 저수지 금사 | 저수지 통합 DB... | DB 파일 교체...

Data

저수지명 금사 | 지사명 : 여미 | 통계코드 1995000279

위치 : 경기 여주군 금사면 장흥리 | 준공년도 1989 | 조사년도 2008

구조	Part	코아 (MPa)	f _{ck} (MPa)	중성화 (mm)	철근피복		철근간격		피복기준		간격기준		염화물 (%)	배합설계		
					중 (mm)	철 (mm)		C (kg)	S (kg)	G (kg)						
A-1	여수토	0.00	0.00	7.00	31.00	51.00	20.00	10.00	50.00	50.00	50.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	방수로	21.00	21.00	11.00	66.00	85.00	10.00	00.00	50.00	50.00	50.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	복토	0.00	0.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	취수탑	12.30	21.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	사통	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
수로터널	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
A-2	여수토	0.00	0.00	9.00	34.00	57.00	50.00	80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	방수로	22.90	21.00	13.00	91.00	24.00	50.00	70.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	복토	0.00	0.00	22.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	취수탑	15.30	21.00	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	사통	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
수로터널	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
A-3	여수토	0.00	0.00	18.00	41.00	78.00	65.00	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	방수로	0.00	0.00	15.00	23.00	54.00	70.00	90.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	복토	0.00	0.00	24.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	취수탑	0.00	0.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	사통	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

확인 취소

* DB버튼을 클릭하면 프로그램에 탑재된 DB에서 값을 가져올 수 있다.

- Shumit Hammer Test : 슈미트 해머 시험법에 의한 압축강도
- Supersonic Wave Test : 초음파법에 의한 압축강도
- Neutralization Estimate : 열분석에 의한 압축강도 추정법

조사년도 : 열분석을 실시한 년도 입력
 콘크리트 피복두께 : 콘크리트 피복 두께 입력
 깊이에 따른 탄산 칼슘 함유량 : 열분석 결과 입력

- Apply Strength : 해석모델에 사용할 압축강도 지정

Design Strength : 설계기준 강도 사용
 Shumit Hammer : 슈미트 해머법에 의한 압축강도 사용
 Supersonic Wave : 초음파법에 의한 압축강도 사용
 Neutralization : 열분석에 의한 압축강도 사용
 Minimum Value : 위의 값 중에서 가장 작은 값 사용
 Maximum Value : 위의 값 중에서 가장 큰 값 사용

- Young`s Modulus : 콘크리트 탄성계수
- Unit Weight : 콘크리트의 단위 중량

- Backfill Material : 백필재 재료 정보

- Unit Weight : 단위중량
- Inner Friction Angle : 내부 마찰각
- Inclined Angle : 경사각
- 벽면 마찰각 : 콘크리트의 단위 중량

- Ground Soil Condition : 진반 정보

- Unit Weight : 단위중량
- N Value : 표준시험 치의 N값
- Inner Friction Angle : 내부마찰각
- Undrained Shear Strength : 비배수 전단강도
- Allowable Bearing Capa : 허용지지력
- Friction Coefficient : 마찰계수

③ Load

Backfill Wall Template (Reversed-T Shape)

Dimension | Material | Load

Response Spectrum

Code

Area Factor (A)

Importance Factor (I)

Soil Profile Factor (S)

Response Modification Factor (R)

Period Increment

Last Period

No	Period	Acceleration
1	0	1
2	0.2	0.58471687
3	0.4	0.41345726
4	0.6	0.33758644
5	0.8	0.29235843
6	1	0.26149333
7	1.2	0.23870966
8	1.4	0.2210322
9	1.6	0.20672863
10	1.8	0.19490562
11	2	0.18490371
12	2.2	0.17629877
13	2.4	0.16879322
14	2.5	0.16538291

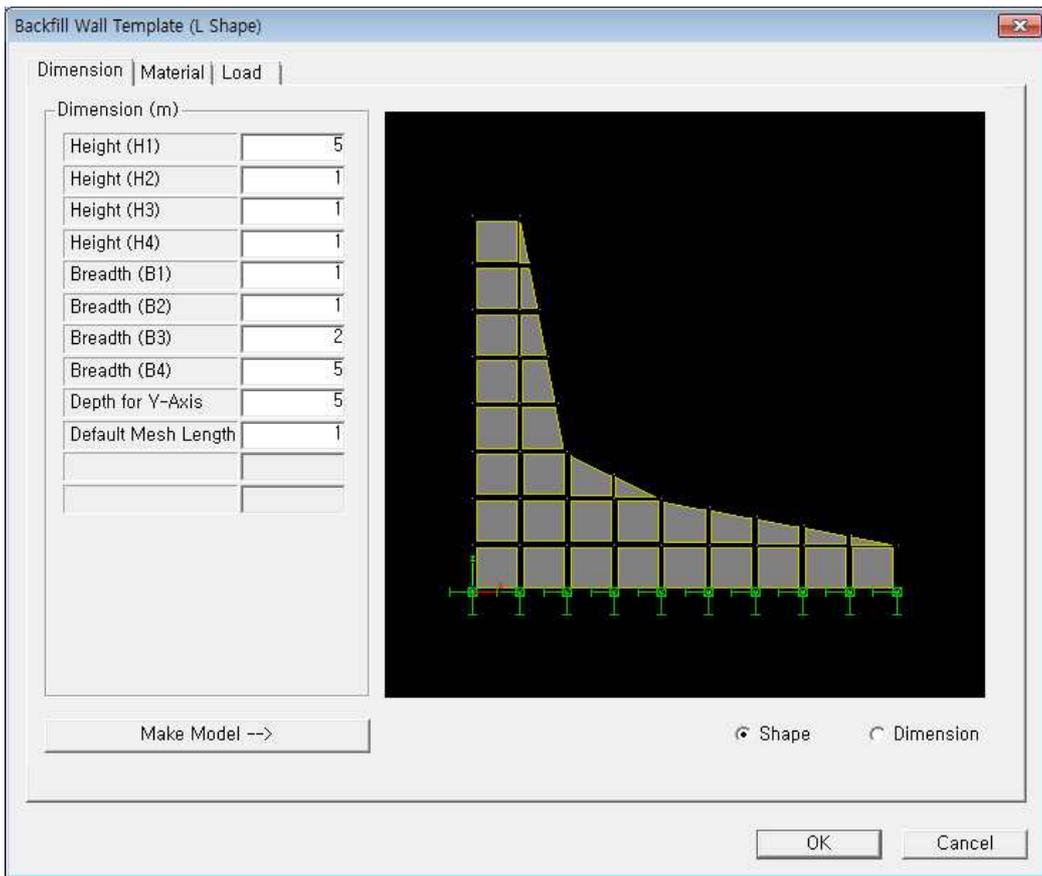
OK Cancel

- Spectrum Function
 - Area Factor : 지역계수
 - Importance Factor : 중요도
 - Soil Profile Factor : 지반계수
 - Modification Factor : 반응수정 계수
 - Period Increment : 계산할 주기 간격
 - Last Period : 계산할 주기의 최대값
 - Generate Data : 위의 입력값을 바탕으로 Period-Spectra 값을 계산함.

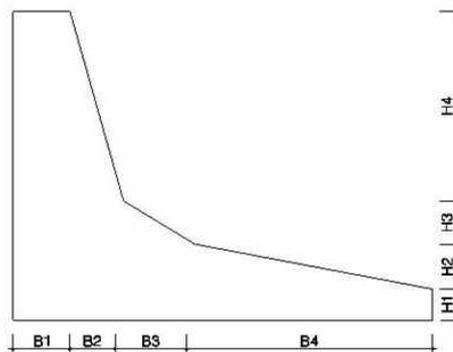
- Spectrum Load
 - Used Mode Count : 해석에 사용할 모드 개수 지정
 - Load Direction : 하중 방향 설정

(5) L형 옹벽

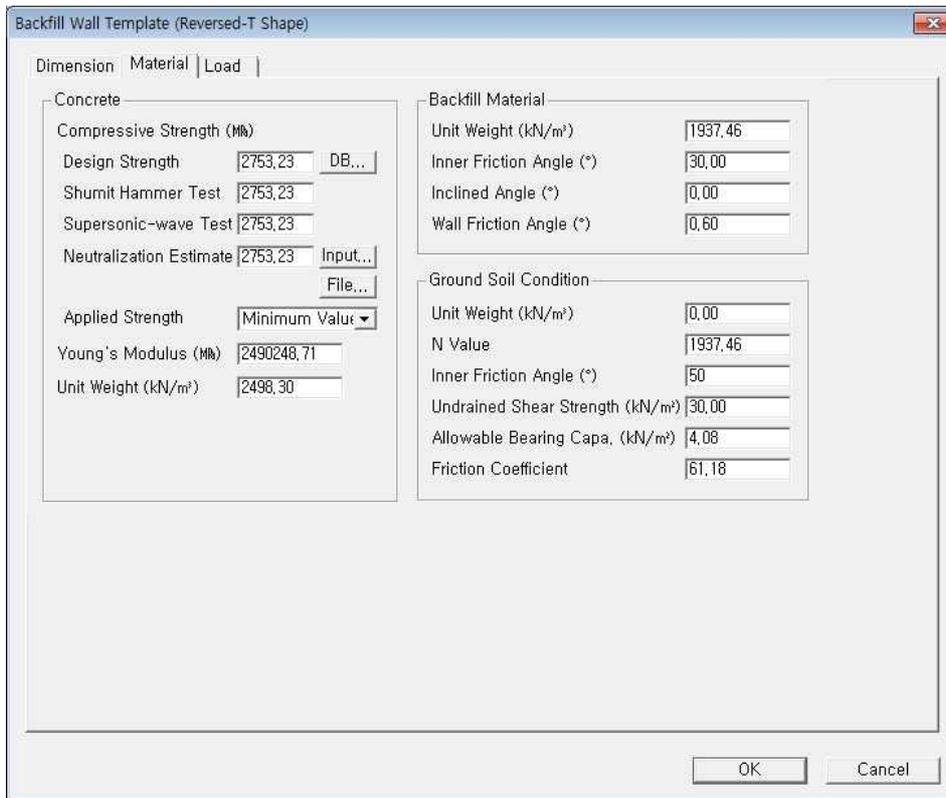
① Dimension



L형 옹벽의 기하정보를 입력하는 대화상자로, 이곳에서 입력된 정보를 바탕으로 자동으로 메쉬를 생성하게 된다. 입력값 들은 다음 그림을 참조한다.



② Material



사용재료의 정보를 입력하는 대화 상자로 콘크리트의 압축강도와 탄성계수, 단위중량을 입력할 수 있다. 또한 토압 정보와 지반정보를 입력할 수 있다.

- Compressive Strength : 콘크리트 압축강도
- Design Strength : 설계기준 강도

콘크리트 측정자료

지역 경기 | 저수지 금사 | 저수지 통합 DB... | DB 파일 교체...

Data

저수지명 금사 | 지사명 : 여미 | 통계코드 1995000279

위치 : 경기 여주군 금사면 장흥리 | 준공년도 1989 | 조사년도 2008

구조	Part	코아 (MPa)	f _{ck} (MPa)	중성화 (mm)	철근피복		철근간격		피복기준		간격기준		염화물 (%)	배합설계		
					중 (mm)	철 (mm)		C (kg)	S (kg)	G (kg)						
A-1	여수토	0.00	0.00	7.00	31.00	51.00	20.00	10.00	50.00	50.00	50.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	방수로	21.00	21.00	11.00	66.00	85.00	10.00	00.00	50.00	50.00	50.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	복토	0.00	0.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	취수탑	12.30	21.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	사통	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
수로터널	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
A-2	여수토	0.00	0.00	9.00	34.00	57.00	50.00	80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	방수로	22.90	21.00	13.00	91.00	24.00	50.00	70.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	복토	0.00	0.00	22.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	취수탑	15.30	21.00	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	사통	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
수로터널	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
A-3	여수토	0.00	0.00	18.00	41.00	78.00	65.00	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	방수로	0.00	0.00	15.00	23.00	54.00	70.00	90.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	복토	0.00	0.00	24.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	취수탑	0.00	0.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	사통	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

확인 취소

* DB버튼을 클릭하면 프로그램에 탑재된 DB에서 값을 가져올 수 있다.

- Shumit Hammer Test : 슈미트 해머 시험법에 의한 압축강도
- Supersonic Wave Test : 초음파법에 의한 압축강도
- Neutralization Estimate : 열분석에 의한 압축강도 추정법

중성화에 의한 강도추론			
입력값			
조사년도(년)			2016
콘크리트 피복두께(mm)			20.00
깊이에 따른 탄산칼슘 함유량			
(a) 깊이1(mm)	2.50	함유량(%)	27.00
(b) 깊이2(mm)	7.50	함유량(%)	14.00
(c) 깊이3(mm)	12.50	함유량(%)	10.00
(d) 깊이4(mm)	17.50	함유량(%)	5.00
(e) 깊이5(mm)	22.50	함유량(%)	2.50
(f) 깊이6(mm)	27.50	함유량(%)	1.00
부식임계 pH			10.40
결과값			
평균위치의 탄산칼슘 함유량(%)			5.96
진행률(년)			14.24
임계탄산 칼슘 함유량(%)			25.46
임계수명			30.20
중성화 추정강도(MPa)			10.23
확인		취소	

조사년도 : 열분석을 실시한 년도 입력
 콘크리트 피복두께 : 콘크리트 피복 두께 입력
 깊이에 따른 탄산 칼슘 함유량 : 열분석 결과 입력

- Apply Strength : 해석모델에 사용할 압축강도 지정

Design Strength : 설계기준 강도 사용
 Shumit Hammer : 슈미트 해머법에 의한 압축강도 사용
 Supersonic Wave : 초음파법에 의한 압축강도 사용
 Neutralization : 열분석에 의한 압축강도 사용
 Minimum Value : 위의 값 중에서 가장 작은 값 사용
 Maximum Value : 위의 값 중에서 가장 큰 값 사용

- Young`s Modulus : 콘크리트 탄성계수
- Unit Weight : 콘크리트의 단위 중량

- Backfill Material : 백필재 재료 정보
 - Unit Weight : 단위중량
 - Inner Friction Angle : 내부 마찰각
 - Inclined Angle : 경사각
 - 벽면 마찰각 : 콘크리트의 단위 중량

- Ground Soil Condition : 진반 정보
 - Unit Weight : 단위중량
 - N Value : 표준시험 치의 N값
 - Inner Friction Angle : 내부마찰각
 - Undrained Shear Strength : 비배수 전단강도
 - Allowable Bearing Capa : 허용지지력
 - Friction Coefficient : 마찰계수

③ Load

Backfill Wall Template (Reversed-T Shape)

Dimension | Material | Load

Response Spectrum

Code

Area Factor (A)

Importance Factor (I)

Soil Profile Factor (S)

Response Modification Factor (R)

Period Increment

Last Period

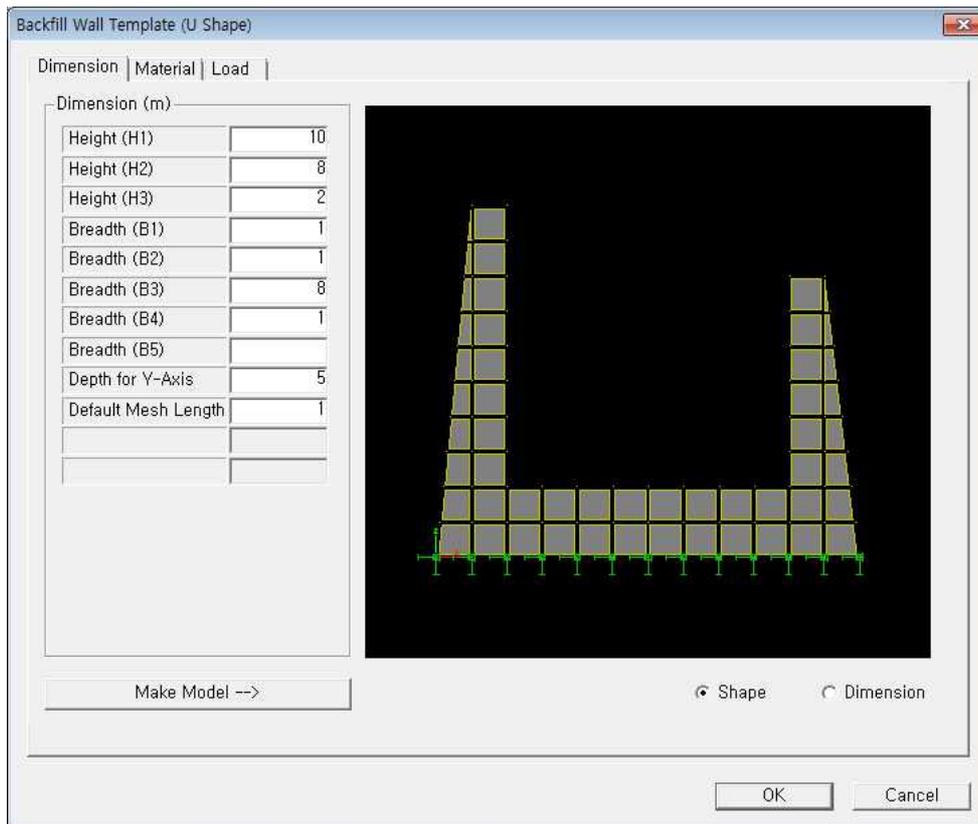
No	Period	Acceleration
1	0	1
2	0.2	0.58471687
3	0.4	0.41345726
4	0.6	0.33758644
5	0.8	0.29235843
6	1	0.26149333
7	1.2	0.23870966
8	1.4	0.2210322
9	1.6	0.20672863
10	1.8	0.19490562
11	2	0.18490371
12	2.2	0.17629877
13	2.4	0.16879322
14	2.5	0.16538291

OK Cancel

- Spectrum Function
 - Area Factor : 지역계수
 - Importance Factor : 중요도
 - Soil Profile Factor : 지반계수
 - Modification Factor : 반응수정 계수
 - Period Increment : 계산할 주기 간격
 - Last Period : 계산할 주기의 최대값
 - Generate Data : 위의 입력값을 바탕으로 Period-Spectra 값을 계산함.
- Spectrum Load
 - Used Mode Count : 해석에 사용할 모드 개수 지정
 - Load Direction : 하중 방향 설정

(6) U형 옹벽

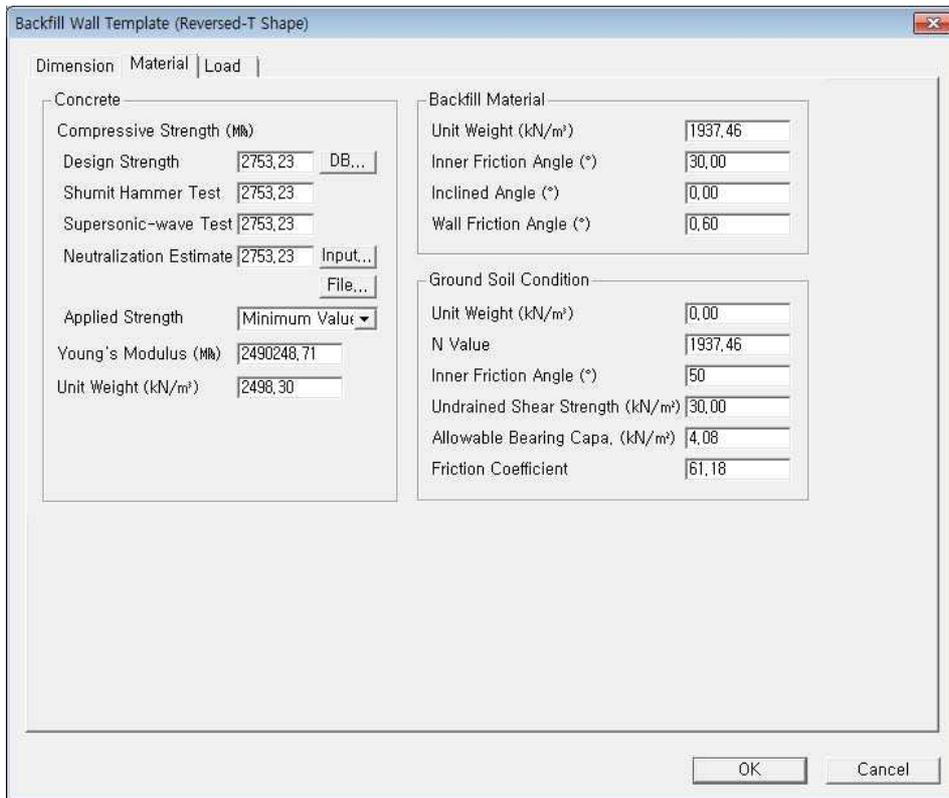
① Dimension



U형 옹벽의 기하정보를 입력하는 대화상자로, 이곳에서 입력된 정보를 바탕으로 자동으로 메쉬를 생성하게 된다. 입력값 들은 다음 그림을 참조한다.



② Material



사용재료의 정보를 입력하는 대화 상자로 콘크리트의 압축강도와 탄성계수, 단위중량을 입력할 수 있다. 또한 토압 정보와 지반정보를 입력할 수 있다.

- Compressive Strength : 콘크리트 압축강도
- Design Strength : 설계기준 강도

콘크리트 측정자료

지역 경기 | 저수지 금사 | 저수지 통합 DB... | DB 파일 교체...

Data

저수지명 금사 | 지사명 : 여미 | 통계코드 1995000279

위치 : 경기 여주군 금사면 장흥리 | 준공년도 1989 | 조사년도 2008

구조	Part	코아 (MPa)	f _{ck} (MPa)	중성화 (mm)	철근피복		철근간격		피복기준		간격기준		염화물 (%)	배합설계		
					중 (mm)	철 (mm)		C (kg)	S (kg)	G (kg)						
A-1	여수토	0.00	0.00	7.00	31.00	51.00	20.00	10.00	50.00	50.00	50.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	방수로	21.00	21.00	11.00	66.00	85.00	10.00	00.00	50.00	50.00	50.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	복토	0.00	0.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	취수탑	12.30	21.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	사통	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
수로터널	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
A-2	여수토	0.00	0.00	9.00	34.00	57.00	50.00	80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	방수로	22.90	21.00	13.00	91.00	24.00	50.00	70.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	복토	0.00	0.00	22.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	취수탑	15.30	21.00	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	사통	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
수로터널	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
A-3	여수토	0.00	0.00	18.00	41.00	78.00	65.00	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	방수로	0.00	0.00	15.00	23.00	54.00	70.00	90.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	복토	0.00	0.00	24.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	취수탑	0.00	0.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	사통	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

확인 | 취소

* DB버튼을 클릭하면 프로그램에 탑재된 DB에서 값을 가져올 수 있다.

- Shumit Hammer Test : 슈미트 해머 시험법에 의한 압축강도
- Supersonic Wave Test : 초음파법에 의한 압축강도
- Neutralization Estimate : 열분석에 의한 압축강도 추정법

조사년도 : 열분석을 실시한 년도 입력
 콘크리트 피복두께 : 콘크리트 피복 두께 입력
 깊이에 따른 탄산 칼슘 함유량 : 열분석 결과 입력

- Apply Strength : 해석모델에 사용할 압축강도 지정

Design Strength : 설계기준 강도 사용
 Shumit Hammer : 슈미트 해머법에 의한 압축강도 사용
 Supersonic Wave : 초음파법에 의한 압축강도 사용
 Neutralization : 열분석에 의한 압축강도 사용
 Minimum Value : 위의 값 중에서 가장 작은 값 사용
 Maximum Value : 위의 값 중에서 가장 큰 값 사용

- Young`s Modulus : 콘크리트 탄성계수
- Unit Weight : 콘크리트의 단위 중량

- Backfill Material : 백필재 재료 정보
 - Unit Weight : 단위중량
 - Inner Friction Angle : 내부 마찰각
 - Inclined Angle : 경사각
 - 벽면 마찰각 : 콘크리트의 단위 중량
- Ground Soil Condition : 진반 정보
 - Unit Weight : 단위중량
 - N Value : 표준시험 치의 N값
 - Inner Friction Angle : 내부마찰각
 - Undrained Shear Strength : 비배수 전단강도
 - Allowable Bearing Capa : 허용지지력
 - Friction Coefficient : 마찰계수

③ Load

Backfill Wall Template (Reversed-T Shape)

Dimension | Material | Load |

Response Spectrum

Code

Area Factor (A)

Importance Factor (I)

Soil Profile Factor (S)

Response Modification Factor (R)

Period Increment

Last Period

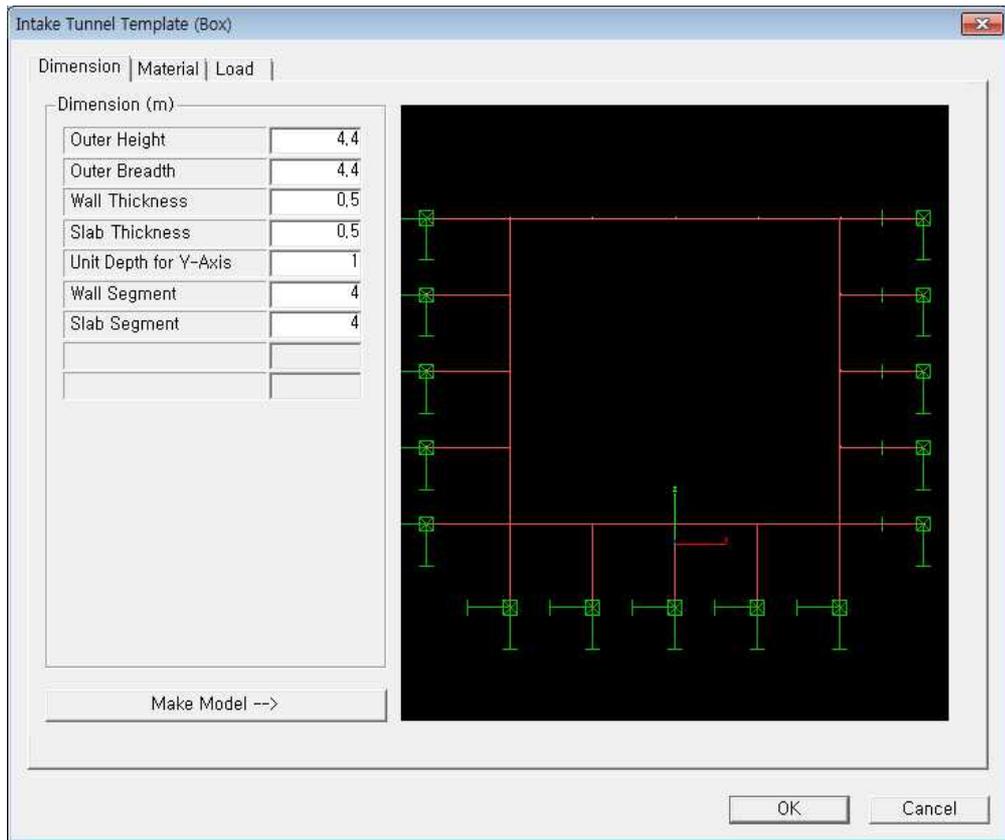
No	Period	Acceleration
1	0	1
2	0.2	0.58471687
3	0.4	0.41345726
4	0.6	0.33758644
5	0.8	0.29235843
6	1	0.26149333
7	1.2	0.23670966
8	1.4	0.2210322
9	1.6	0.20672863
10	1.8	0.19490562
11	2	0.18490371
12	2.2	0.17629877
13	2.4	0.16879322
14	2.5	0.16538291

OK Cancel

- Spectrum Function
 - Area Factor : 지역계수
 - Importanc Factor : 중요도
 - Soil Profile Factor : 지반계수
 - Modification Factor : 반응수정 계수
 - Period Increment : 계산할 주기 간격
 - Last Period : 계산할 주기의 최대값
 - Generate Data : 위의 입력값을 바탕으로 Period-Spectra 값을 계산함.
- Spectrum Load
 - Used Mode Count : 해석에 사용할 모드 개수 지정
 - Load Direction : 하중 방향 설정

(7) 사각단면 취수터널

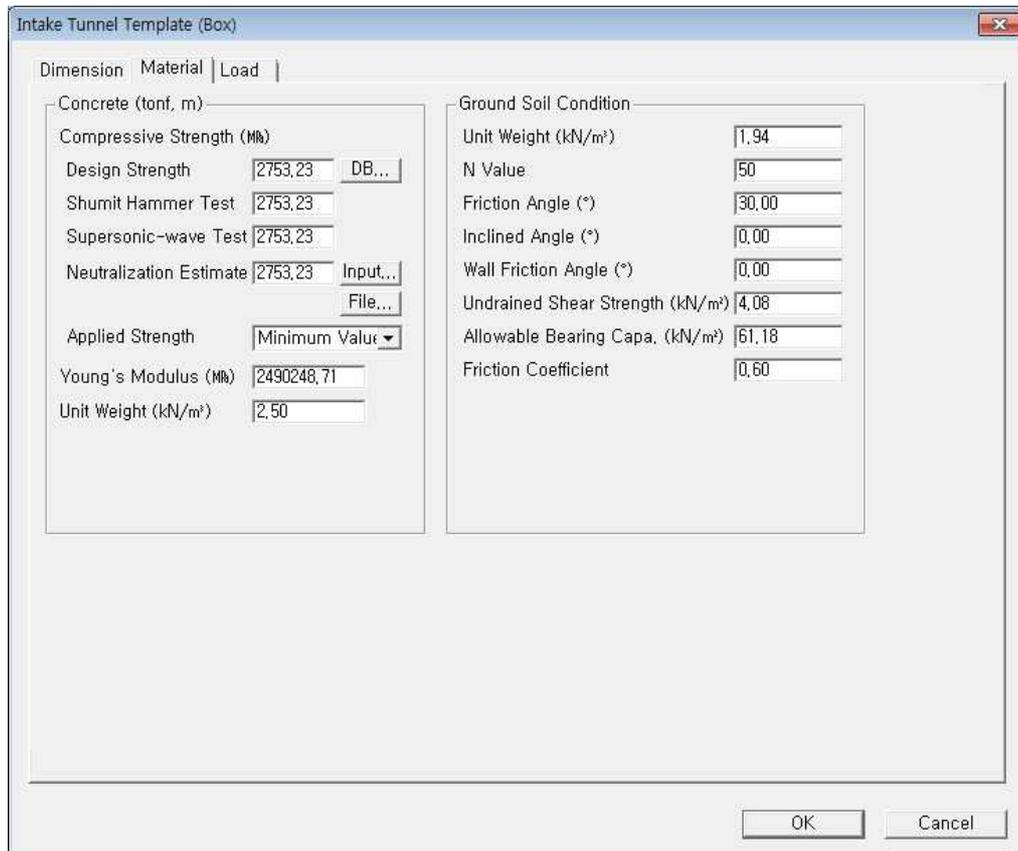
① Dimension



사각단면 취수터널의 기하정보를 입력하는 대화상자로, 이곳에서 입력된 정보를 바탕으로 자동으로 메쉬를 생성하게 된다. 입력값 들은 다음과 같다.

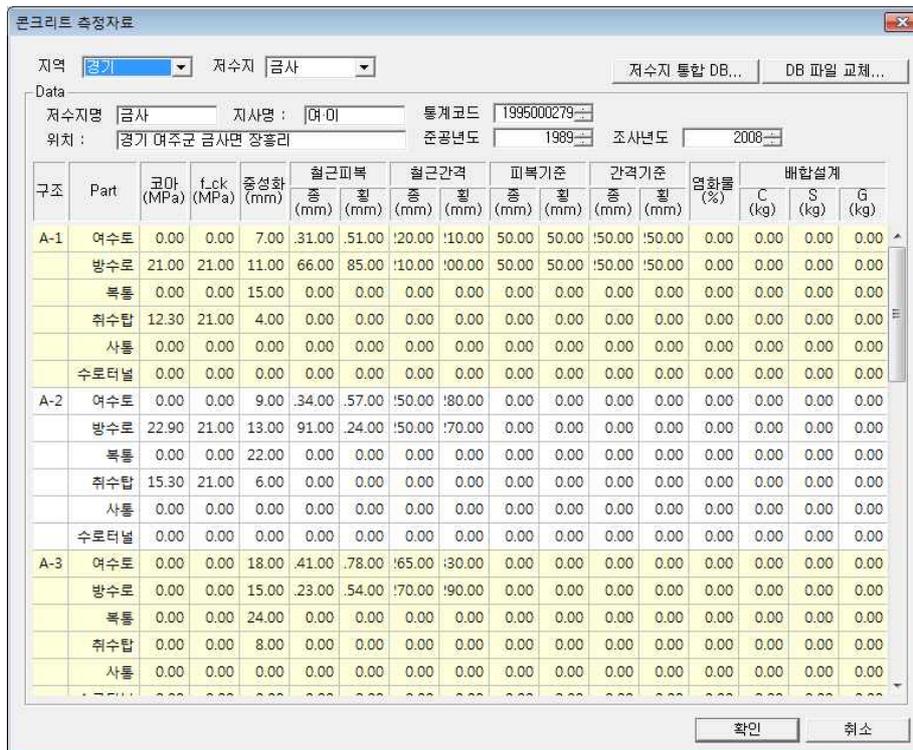
- Demension
 - Outer Height : 총 높이 (외측기준)
 - Outer Breadth : 총 폭 (외측기준)
 - Wall Thickness : 벽 두께
 - Salb Thickness : 바닥 두께
 - Unit Depth for Y-Axis : Y방향 기준 길이
 - Wall Segment : 벽을 나눈 개수(해석 요소의 개수)
 - Slab Segment : 바닥을 나눈 개수(해석 요소의 개수)

② Material



사용재료의 정보를 입력하는 대화 상자로 콘크리트의 압축강도와 탄성계수, 단위중량을 입력할 수 있다. 또한 토압 정보와 지반정보를 입력할 수 있다.

- Compressive Strength : 콘크리트 압축강도
- Design Strength : 설계기준 강도



* DB버튼을 클릭하면 프로그램에 탑재된 DB에서 값을 가져올 수 있다.

- Shumit Hammer Test : 슈미트 해머 시험법에 의한 압축강도
- Supersonic Wave Test : 초음파법에 의한 압축강도
- Neutralization Estimate : 열분석에 의한 압축강도 추정법

조사년도 : 열분석을 실시한 년도 입력
 콘크리트 피복두께 : 콘크리트 피복 두께 입력
 깊이에 따른 탄산 칼슘 함유량 : 열분석 결과 입력

- Apply Strength : 해석모델에 사용할 압축강도 지정

Design Strength : 설계기준 강도 사용
 Shumit Hammer : 슈미트 해머법에 의한 압축강도 사용
 Supersonic Wave : 초음파법에 의한 압축강도 사용
 Neutralization : 열분석에 의한 압축강도 사용
 Minimum Value : 위의 값 중에서 가장 작은 값 사용
 Maximum Value : 위의 값 중에서 가장 큰 값 사용

- Young`s Modulus : 콘크리트 탄성계수
- Unit Weight : 콘크리트의 단위 중량

- Ground Soil Condition : 진반 정보
 - Unit Weight : 단위중량
 - N Value : 표준시험 치의 N값
 - Inner Friction Angle : 내부마찰각
 - Undrained Shear Strength : 비배수 전단강도
 - Allowable Bearing Capa : 허용지지력
 - Friction Coefficient : 마찰계수

③ Load

Backfill Wall Template (Reversed-T Shape)

Dimension | Material | Load |

Response Spectrum

Code

Area Factor (A)

Importance Factor (I)

Soil Profile Factor (S)

Response Modification Factor (R)

Period Increment

Last Period

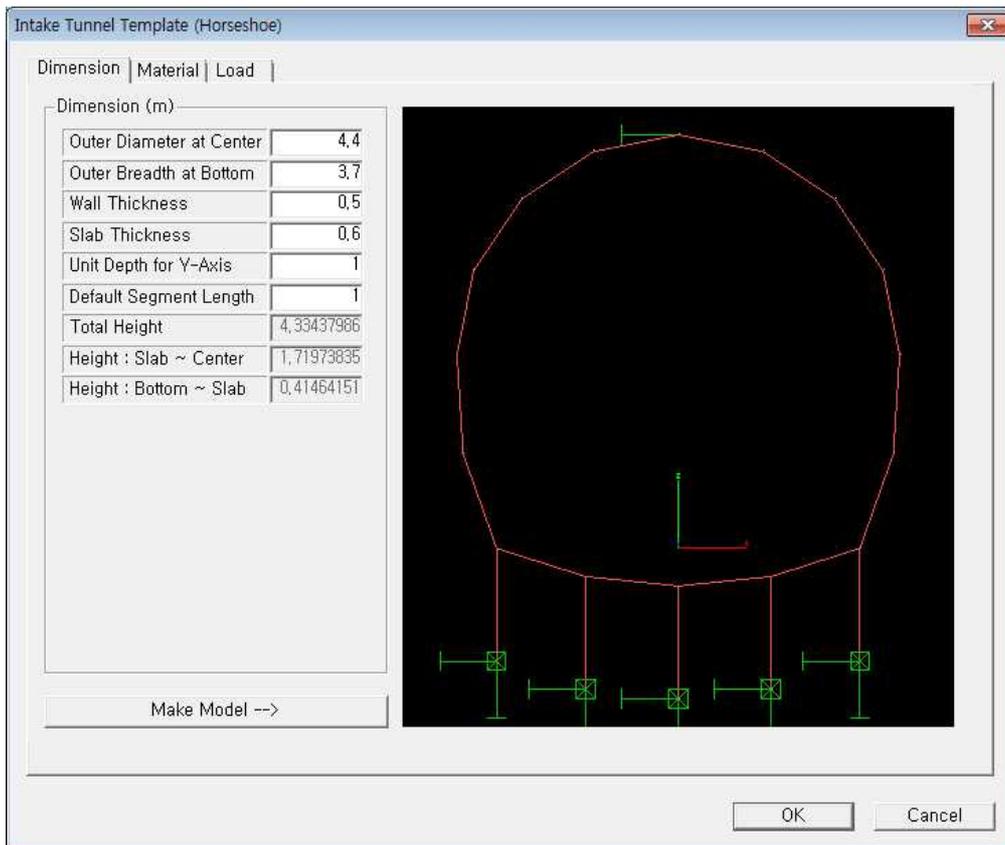
No	Period	Acceleration
1	0	1
2	0.2	0.58471687
3	0.4	0.41345726
4	0.6	0.33758644
5	0.8	0.29235843
6	1	0.26149333
7	1.2	0.23870966
8	1.4	0.2210322
9	1.6	0.20672863
10	1.8	0.19490562
11	2	0.18490371
12	2.2	0.17629877
13	2.4	0.16879322
14	2.5	0.16538291

- Spectrum Function
 - Area Factor : 지역계수
 - Importance Factor : 중요도
 - Soil Profile Factor : 지반계수
 - Modification Factor : 반응수정 계수
 - Period Increment : 계산할 주기 간격
 - Last Period : 계산할 주기의 최대값
 - Generate Data : 위의 입력값을 바탕으로 Period-Spectra 값을 계산함.

- Spectrum Load
 - Used Mode Count : 해석에 사용할 모드 개수 지정
 - Load Direction : 하중 방향 설정

(8) 마제형 취수터널

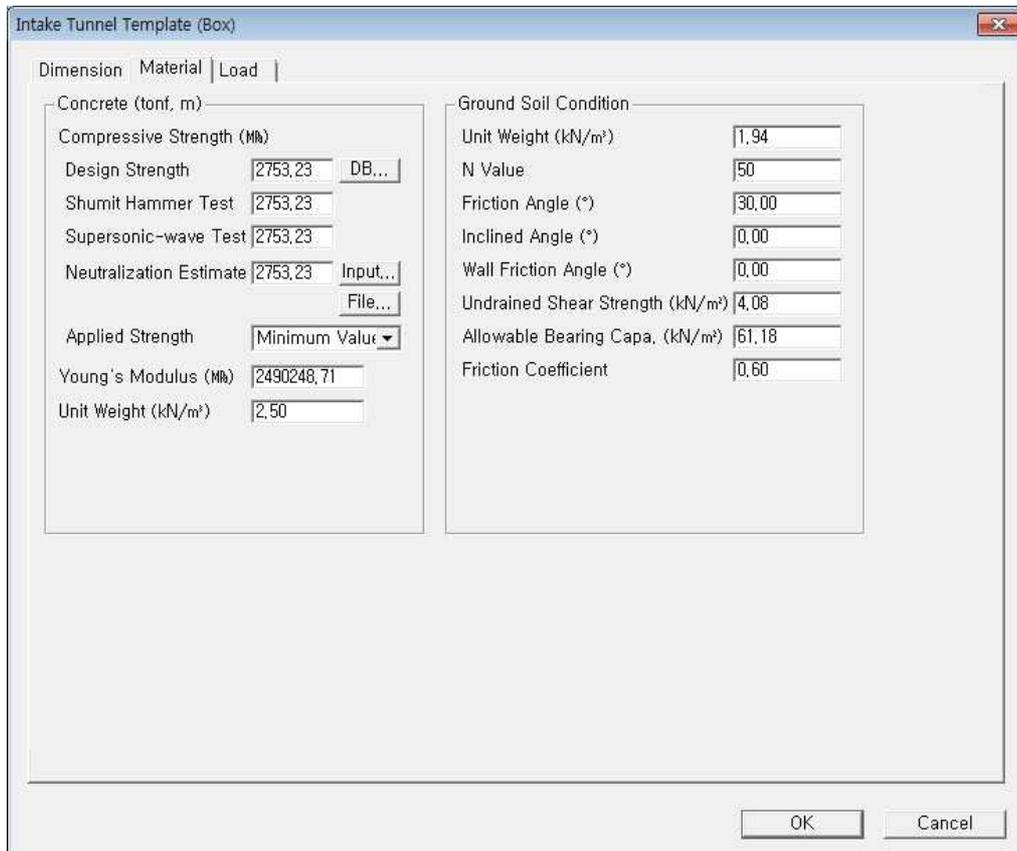
① Dimension



마제형 취수터널의 기하정보를 입력하는 대화상자로, 이곳에서 입력된 정보를 바탕으로 자동으로 메쉬를 생성하게 된다. 입력값 들은 다음과 같다.

- Demension
 - Outer Diameter at Center : 외측 반지름
 - Outer Breadth at Bottom : 바닥폭 폭
 - Wall Thickness : 벽 두께
 - Slab Thickness : 바닥 두께
 - Unit Depth for Y-Axis : Y방향 기준 길이
 - Default Segment Length : 벽 요소의 기준 개수

② Material



사용재료의 정보를 입력하는 대화 상자로 콘크리트의 압축강도와 탄성계수, 단위중량을 입력할 수 있다. 또한 토압 정보와 지반정보를 입력할 수 있다.

- Compressive Strength : 콘크리트 압축강도
- Design Strength : 설계기준 강도

콘크리트 측정자료

지역 [경기] 저수지 [금사] 저수지 통합 DB... DB 파일 교체...

Data
 저수지명 [금사] 지사명 : [대미] 통계코드 [1995000279]
 위치 : [경기 여주군 금사면 장흥리] 준공년도 [1989] 조사년도 [2008]

구조	Part	코마 (MPa)	f _{ck} (MPa)	중성화 (mm)	철근피복		철근간격		피복기준		간격기준		염화물 (%)	배합설계		
					중 (mm)	횡 (mm)		C (kg)	S (kg)	G (kg)						
A-1	여수토	0.00	0.00	7.00	31.00	51.00	20.00	10.00	50.00	50.00	50.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	방수로	21.00	21.00	11.00	66.00	85.00	10.00	10.00	50.00	50.00	50.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	복토	0.00	0.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	취수탑	12.30	21.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	사통	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
수로터널	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
A-2	여수토	0.00	0.00	9.00	34.00	57.00	50.00	80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	방수로	22.90	21.00	13.00	91.00	24.00	50.00	70.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	복토	0.00	0.00	22.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	취수탑	15.30	21.00	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	사통	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
수로터널	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
A-3	여수토	0.00	0.00	18.00	41.00	78.00	65.00	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	방수로	0.00	0.00	15.00	23.00	54.00	70.00	90.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	복토	0.00	0.00	24.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	취수탑	0.00	0.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	사통	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

확인 취소

* DB버튼을 클릭하면 프로그램에 탑재된 DB에서 값을 가져올 수 있다.

- Shumit Hammer Test : 슈미트 해머 시험법에 의한 압축강도
- Supersonic Wave Test : 초음파법에 의한 압축강도
- Neutralization Estimate : 열분석에 의한 압축강도 추정법

조사년도 : 열분석을 실시한 년도 입력
 콘크리트 피복두께 : 콘크리트 피복 두께 입력
 깊이에 따른 탄산 칼슘 함유량 : 열분석 결과 입력

- Apply Strength : 해석모델에 사용할 압축강도 지정

Design Strength : 설계기준 강도 사용
 Shumit Hammer : 슈미트 해머법에 의한 압축강도 사용
 Supersonic Wave : 초음파법에 의한 압축강도 사용
 Neutralization : 열분석에 의한 압축강도 사용
 Minimum Value : 위의 값 중에서 가장 작은 값 사용
 Maximum Value : 위의 값 중에서 가장 큰 값 사용

- Young`s Modulus : 콘크리트 탄성계수
- Unit Weight : 콘크리트의 단위 중량
- Ground Soil Condition : 진반 정보
 - Unit Weight : 단위중량
 - N Value : 표준시험 치의 N값
 - Inner Friction Angle : 내부마찰각
 - Undrained Shear Strength : 비배수 전단강도
 - Allowable Bearing Capa : 허용지지력
 - Friction Coefficient : 마찰계수

③ Load

Backfill Wall Template (Reversed-T Shape)

Dimension | Material | Load

Response Spectrum

Code

Area Factor (A)

Importance Factor (I)

Soil Profile Factor (S)

Response Modification Factor (R)

Period Increment

Last Period

No	Period	Acceleration
1	0	1
2	0.2	0.58471687
3	0.4	0.41345726
4	0.6	0.33758644
5	0.8	0.29235843
6	1	0.26149333
7	1.2	0.23870966
8	1.4	0.2210322
9	1.6	0.20672863
10	1.8	0.19490562
11	2	0.18490371
12	2.2	0.17629877
13	2.4	0.16879322
14	2.5	0.16538291

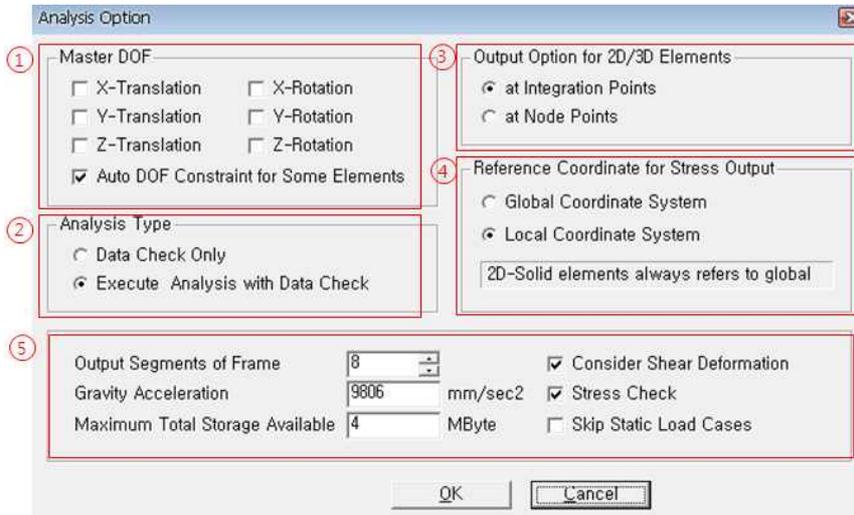
OK Cancel

- Spectrum Function
 - Area Factor : 지역계수
 - Importance Factor : 중요도
 - Soil Profile Factor : 지반계수
 - Modification Factor : 반응수정 계수
 - Period Increment : 계산할 주기 간격
 - Last Period : 계산할 주기의 최대값
 - Generate Data : 위의 입력값을 바탕으로 Period-Spectra 값을 계산함.

- Spectrum Load
 - Used Mode Count : 해석에 사용할 모드 개수 지정
 - Load Direction : 하중 방향 설정

3. 해석 수행하기

(1) 해석옵션지정하기



① Master DOF

- 시스템 자유도를 지정함.
- Auto DOF Constraint for Some Elements :
해석시 자유도가 맞지 않는 부재의 경우 자동으로 구속조건을 지정함

② Analysis Type

- Data Check Only : 입력데이터의 오류검토만 수행
- Execute Analysis with Data Check : 입력데이터의 오류검토 및 해석 수행

③ Output Option for 2D/3D Elements

- : 요소의 결과 출력 위치에 따른 옵션
- at Integration Points : 가우스 적분점에서의 결과를 표시함.
- at Nodal Points : 절점의 결과를 표시함.

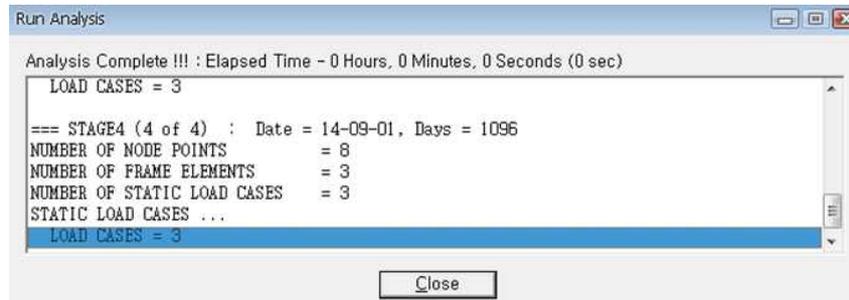
④ Reference Coordinate System for Stress Output

- 셸(Shell) 요소의 경우 해석 결과를 전체좌표계에 대하여 출력할 것인지 아니면 요소좌표계에서 출력하는 것인지를 결정
- 2D Solid 요소인 경우에는 해석결과가 항상 전체좌표계로 출력됨.

⑤ Option

- Output Segments of Frame : Frame 요소의 결과 위치 개수 지정
- Gravity Acceleration : 중력가속도
- Maximum Total Storage Available : 구조해석시 사용할 동적 메모리 설정
 - 모델이 크고, Stage가 많을수록 많은 메모리가 필요함.
- Stress Check : 해석 시 응력 검토 및 부재 설계를 할 것인지를 결정
- Consider Shear Deformation : 보요소의 전단변형을 고려할 것인지를 결정
- Skip Static Load Cases : 해석시간의 단축을 위해 정적하중조건에 대한 해석을 수행할 것인지 하지 않을 것인지를 결정

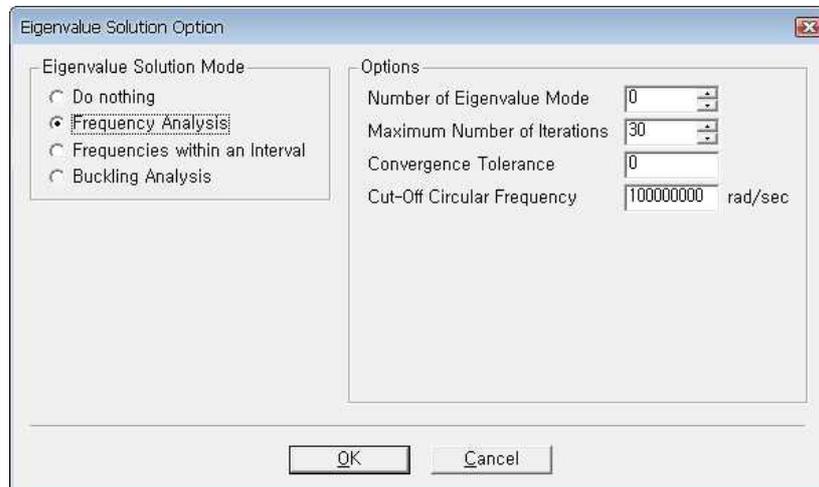
(2) 해석수행하기



해석을 실행하면 위와 같은 창이 실행되고 Result Data가 만들어짐.

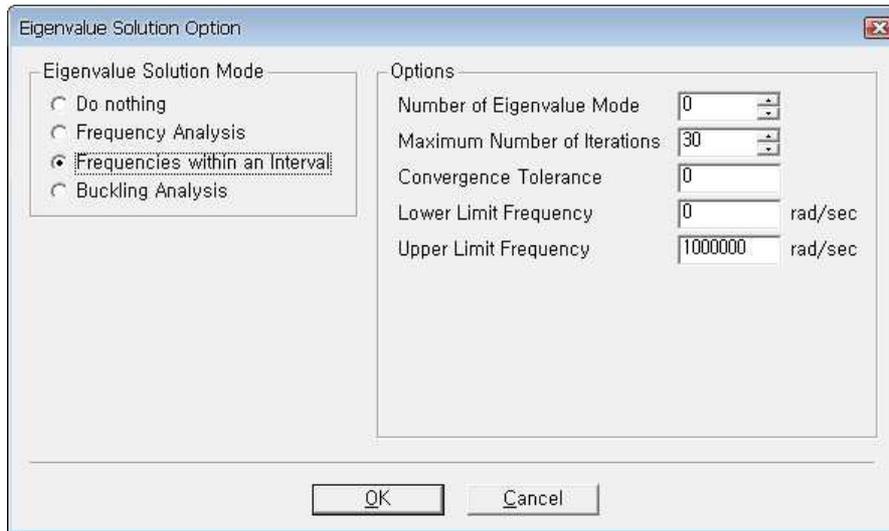
(3) 고유치 해석을 위한 선택사항

고유치 해석을 위한 선택사항 지정 (Model -> Analysis -> Main Option)



- Eigenvalue Solution Mode : 고유치해석모드 선택
- Number of Eigenvalue Mode : 구하고자 하는 고유진동수 및 모드형상의 개수 입력
- Maximum Number of Iteration : Subspace Iteration시 최대 반복계산 횟수 입력
- Cut-off Circular Frequency : 구조물에서 계산하고자 하는 진동수를 정해진 범위내에서 계산하도록 하는 가능하며, 각 속도의 형태로 입력되고, 해석한 진동수가 최대 진동수를 넘으면 해석이 종료된다.
- Convergence Tolerance : 해석 시 수렴오차의 한계값

Eigenvalue solution option

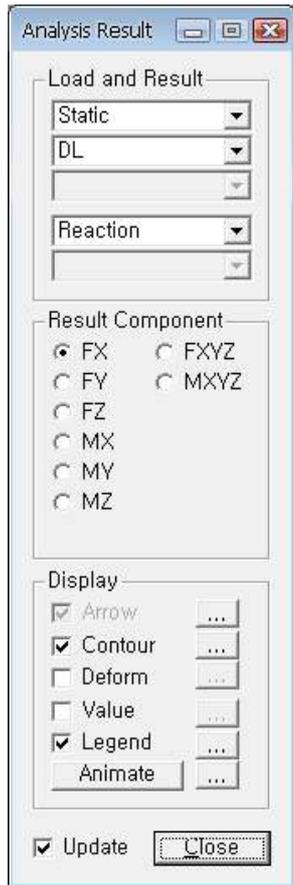


- Number of Eigenvalue Mode : 구하고자 하는 고유진동수 및 모드형상의 개수 입력
- Maximum Number of Iteration : Subspace Iteration시 최대 반복계산 횟수 입력
- Convergence Tolerance : 해석시 수렴오차의 한계값 입력
- : 선형 좌굴 해석을 위한 Initial Imperfection을 설정

4. 해석 결과 확인하기

(1) 반력

◦ 하중조건 또는 하중조합에 따른 반력 검색 기능 (Result>Node Reaction)



◦ Load : 검색하려는 반력을 포함한 하중조건 또는 하중조합 선택

◦ Component : 검색하고자 하는 반력의 성분

·FX, FY, FZ, MX, MY, MZ : 전체 좌표계 방향에 따른 반력

·FXYZ, MXYZ :

◦ Display : 화면표시 내용 설정

·Arrow : 반력값을 표시하는 화살표 설정

·Contour : 반력 Contour를 나타낼 것인지의 여부 결정 및 설정

·Deform : 변형도를 나타낼 것인지의 여부 결정 및 설정

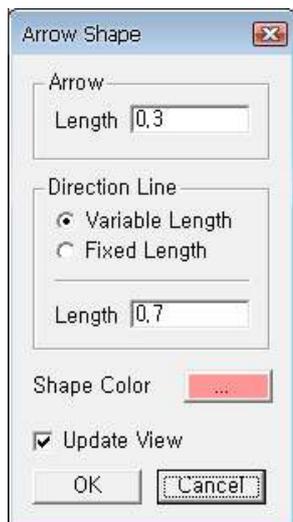
·Value : 반력값을 나타낼 것인지의 여부 결정 및 설정

·Legend : 화면에 “현재 하중조건” 또는 “현재 하중조합”에 대한 반력값을 표시여부 및 설정

◦ Animate : 동영상으로 표시여부 및 설정

◦ Update : 체크되면 “현재 하중조건” 또는 “현재 하중조합”을 바꾸는 즉시 현재의 값을 반영하여 화면에 그려준다.

① Arrow Shape



◦ Arrow Length : 화살표 크기값 설정

◦ Direction Line : 화살길이 표시 방법 선택사항

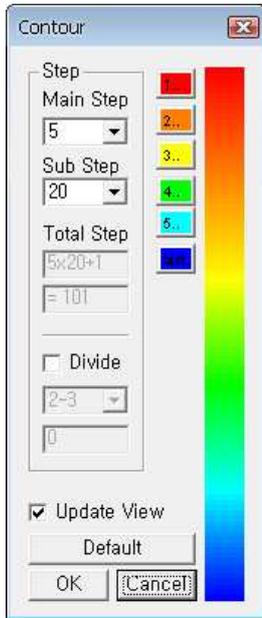
·Variable Length : 반력값의 크기에 따라 변화

·Fixed Length : 반력값에 상관없이 길이 고정

·Length : 화살길이 크기값 설정

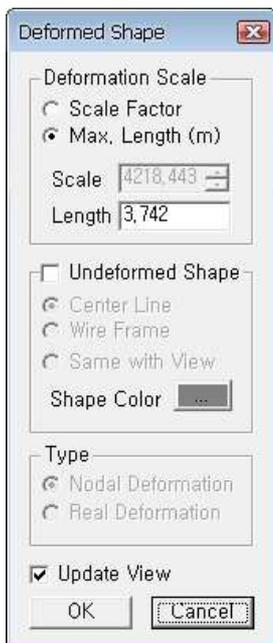
◦ Shape Color : 화살표의 색 설정

② Contour



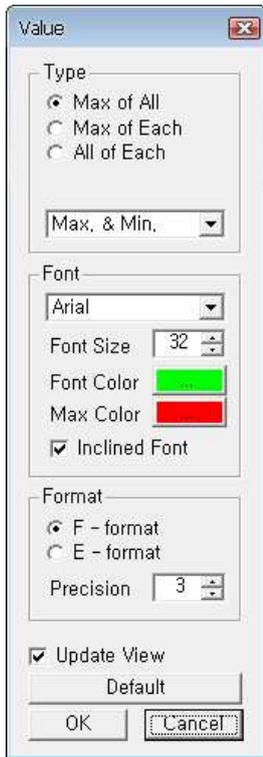
- Step : 단계에 따른 설정
 - Main Step : Contour의 구분 단계수 설정
 - Sub Step : Main Step을 몇 단계로 나누어서 표현하는지를 설정
 - Divide : 특정 Main Step 및 특정값을 분리하여 표현하는 것에 대한 설정
- : 초기값으로 설정

③ Deformation Shape



- Deformation Scale : 변형도의 크기 설정
 - Scale Factor : 크기비율
 - Max. Length : 최대길이 설정
- Undeformed Shape : 변형되기 전의 모양을 나타내는 방법과 색 설정
 - Center Line : 중심선으로 표시
 - Wire Frame : Wire 프레임으로 표시
 - Same with View : 변형도의 설정을 따름
 - Shape Color : 색 설정
- Type : 변형도의 표시방법 선택
 - Nodal Deformation : 절점변위에 따라 표시
 - Real Deformation : 실제 변형상태처럼 표시

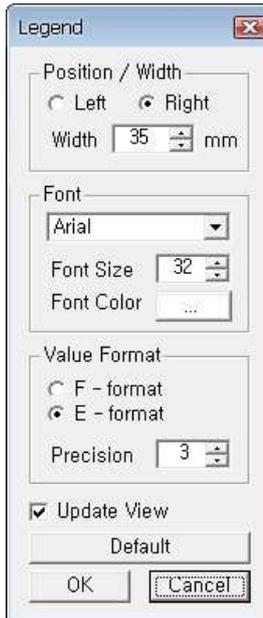
④ Value



- Type : 반력값 표시 방법 선택사항
 - Max of All : 전체 반력중 최대값 표시
 - Max of Each : 개개요소의 최대 반력값 표시
 - Max. : 최대값 표시
 - Min. : 최소값 표시
 - Max. & Min : 최대 및 최소값 표시
 - Absolute Max. : 절대 최대값 표시
 - All of Each : 개개 요소의 모든 반력값 표시
 - 요소의 종류에 따라 표시방법 선택가능
 - Node : all
 - Frame : I, J, center, I-J, I-center-J, all 중에서 선택
 - Plane & Solid : node, edge, center, all 중에서 선택
- Font : 글꼴과 크기, 색 설정
 - Font Size : 글씨 크기 설정
 - Font Color : 글씨 색깔 설정
 - Max Color : 최대값을 나타내는 글씨 색깔 설정
 - inclined Font : 반력의 방향에 따라 값을 표시할 것인지 여부
- Format : 수치형식 설정

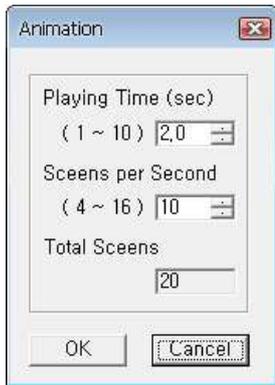
- F-format : 실수형식
- E-format : 지수형식
- Precision : 소수점아래 자리수

⑤ Legend



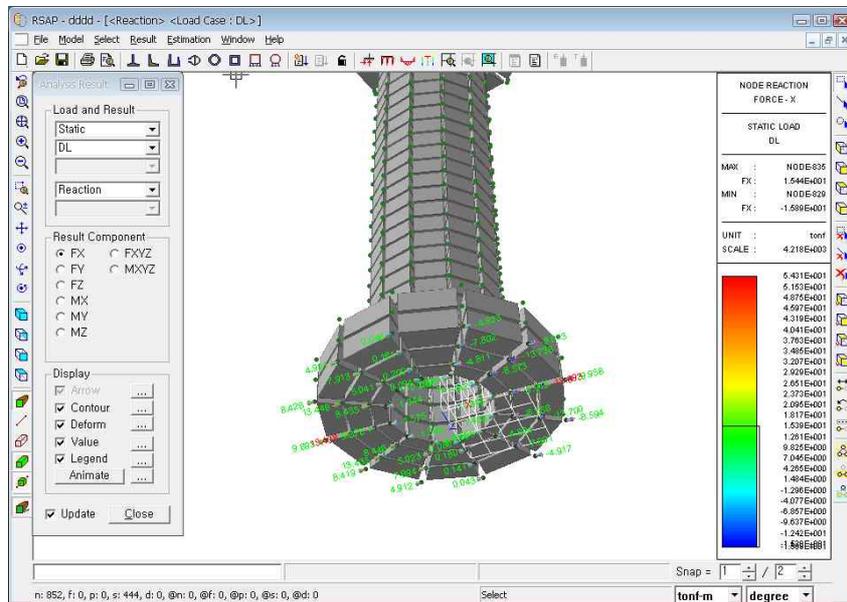
- Position/Width : 범례의 표시위치 설정
 - Left : 화면의 왼쪽에 표시
 - Right : 화면의 오른쪽에 표시
- Font : 글꼴과 크기, 색을 설정
 - Font Size : 글씨 크기 설정
 - Font Color : 글씨 색깔 설정
- Value Format : 수치형식 설정
 - F-format : 실수형식
 - E-format : 지수형식
 - Precision : 소수점아래 자리수

⑥ Animation



- Playing Time : 동영상을 보여주는 시간설정
- Screens per Second : 초당 보여주는 화면의 수 설정
- Total Screens : 전체 화면수

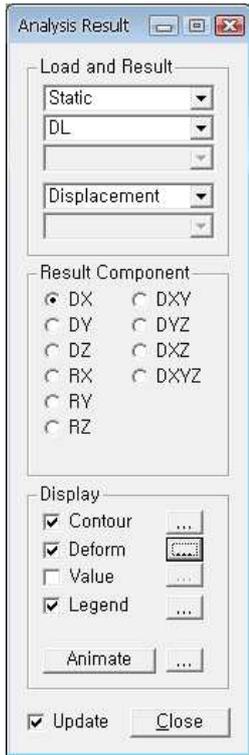
* 반력 표시 예



(2) 변형도

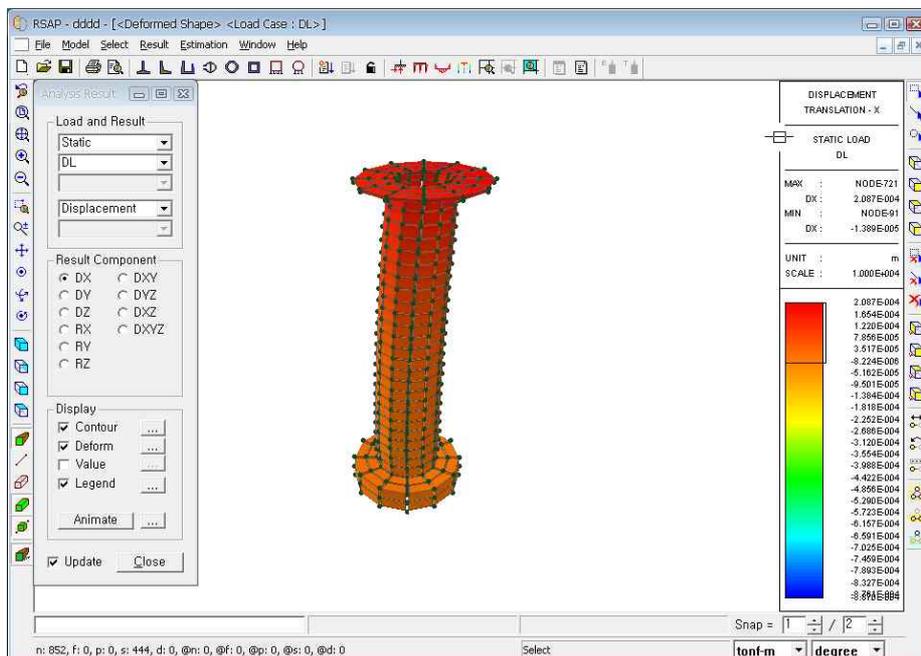
◦ 변형도 검색 기능 (Result>Deformed Shape)

Deformed Shape



본 절의 내용은 “반력 [Node Reaction]” 과 거의 유사하므로 이를 참조

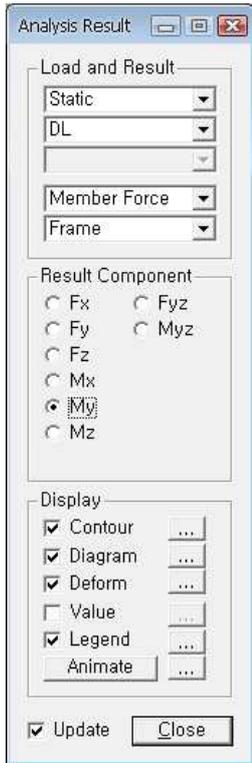
* 변형도 표시 예



(3) 부재력도

- 후처리 도구줄 메뉴의 
- 하중조건 또는 하중조합에 따른 부재력 검색 기능(Result>Member Force)

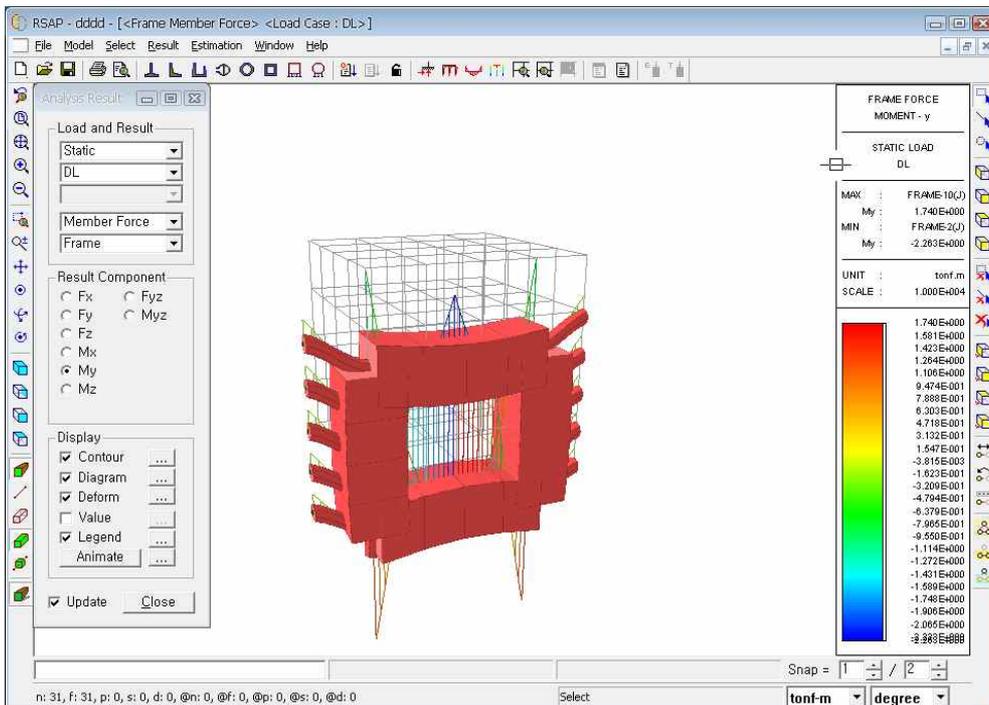
Member Force



◦ Diagram : 부재력도를 나타낼 것인지를 결정

◦ 본 절의 다른 내용은 “반력 [Node Reaction]” 과 거의 유사하므로 이를 참조

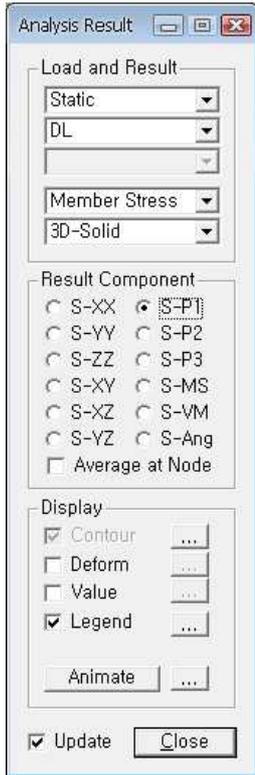
* 부재력 표시 예



(4) 응력도 [Member Stress]

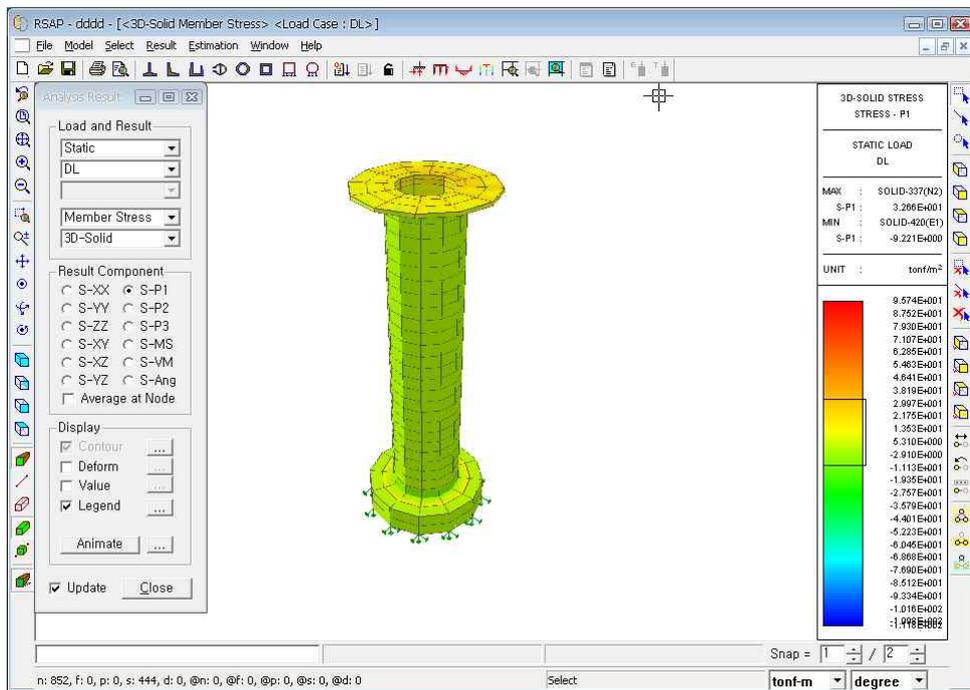
◦하중조건 또는 하중조합에 따른 부재 응력도 검색 기능(Result>Member Stress)

Member Stress



본 절의 내용은 “반력 [Node Reaction]” 과 거의 유사하므로 이를 참조

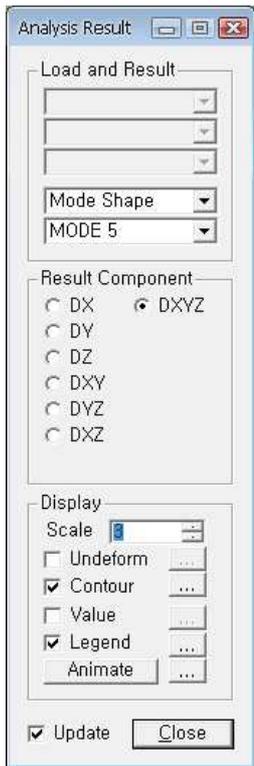
* 응력도 표시 예



(5) 모드 형상 [Mode Shapes]

◦ 모드형상을 검색하는 기능 (Result>Mode Shapes)

Mode Shape



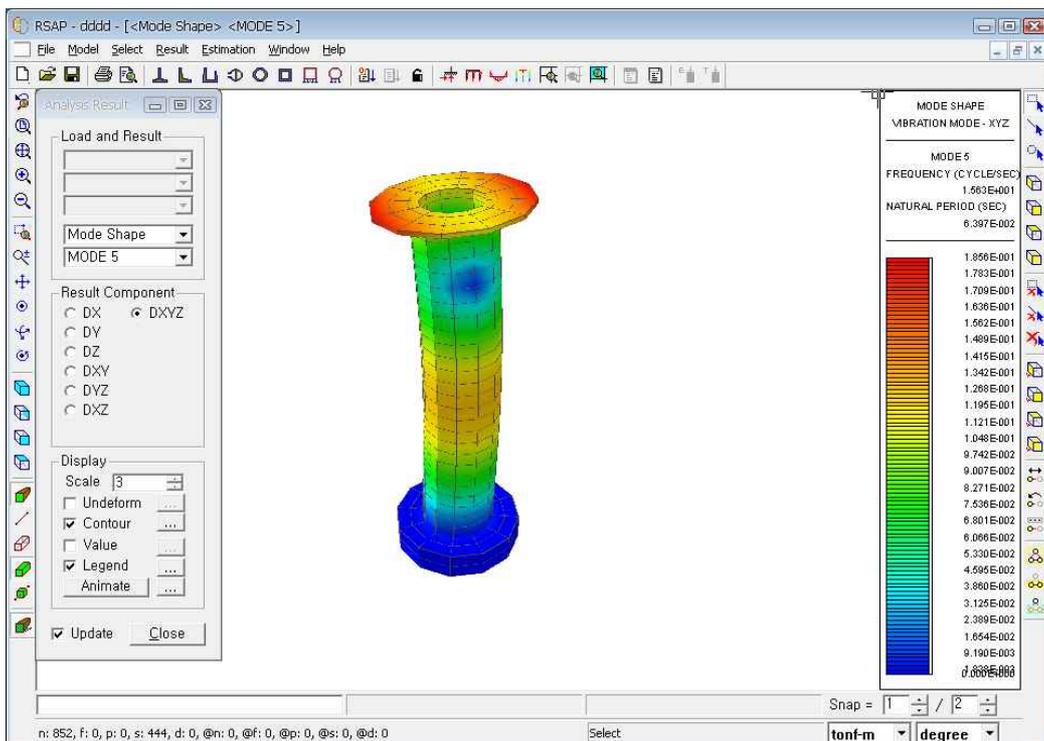
◦ Display : 화면표시 내용 설정

· Scale : 모드형상의 표시크기 비율

· Undeform : 변형되기전의 형상을 나타낼 것인지를 결정

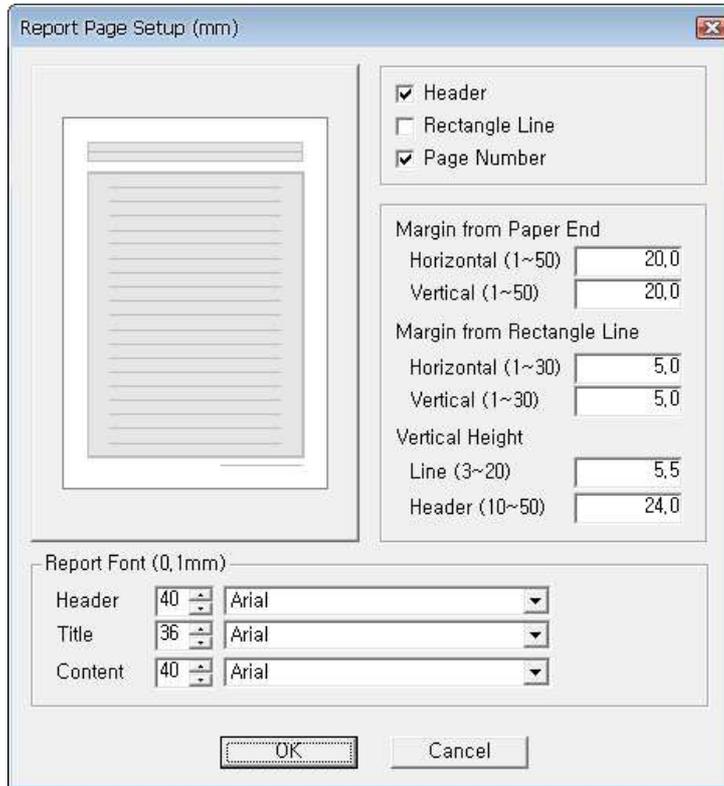
◦ 본 절의 다른 내용은 “반력 [Node Reaction]” 과 거의 유사하므로 이를 참조

* 모드형상 표시 예



5. 보고서 출력하기

(1) 보고서 포맷 지정하기



- 보고서 표시 내용 설정
 - Header : 제목 표시 여부 설정
 - Rectangle Line : 보고서 외각선 그리기 여부 설정
 - Page Number : 각 페이지의 번호 출력 여부 설정

- Margin from Paper End : 용지 여백 설정
 - Horizontal : 가로 여백
 - Vertical : 세로 여백

- Margin from Rectangle Line : 출력 영역 내의 여백 설정
 - Horizontal : 가로 여백
 - Vertical : 세로 여백

- Vertical Height : 각 줄의 높이 설정
 - Line : 본문의 각 줄의 높이
 - Header : 제목 표시 줄의 높이

- Report Font : 폰트 설정
 - Header : 머릿말
 - Title : 제목
 - Content : 본문

(2) 보고서 확인하기

RSAP - dddd - [<Report>]

File Model Select Result Estimation Window Help

PROJECT		DATE	2012-12-17
SUBJECT	단면검토	CALCU. By	

1. 하중집계 및 조합

1) 작용하중 집계표

No	구분	수직력 (kN)	수평력 (kN)	작용거리-X (m)	작용거리-Y (m)	Mr (kN.m)	Mo (kN.m)
0	옹벽구체(평상시)	497.60	-	3.03	-	1508.66	-
1	옹벽구체(지진시)	497.60	38.31	3.03	3.06	1508.66	117.45
2	뒤채움재(평상시)	1006.80	-	5.22	-	5262.43	-
3	뒤채움재(지진시)	1006.80	77.52	5.22	6.24	5262.43	484.27
4	상재활하중	60.37	-	4.98	-	300.74	-
5	상재활하중	-	36.247	-	5.44	-	197.27
6	배면토압(평상시)	-	374.822	-	3.62	-	1359.97
7	배면토압(지진시)	-	428.850	-	5.44	-	2334.01

2) 하중조합

구분	구성	V(kN)	H(kN)	Mr(kN.m)
Combo1	고정하중(1.0)+토압(1.0)	1504.40	411.06	6771.09
Combo2	고정하중(1.0)+활하중(1.0)+토압(1.0)	1564.77	411.06	7071.84
Combo3	고정하중(0.9)+토압(1.0)	1353.96	411.06	6093.98
Combo4	고정하중(0.9) + 토압(1.6) + 지진하중(1.0)	1353.96	533.10	6093.98

2. 안전율 계산

1) 전도에 대한 안전

구분	Mr (kN.m)	Mo (kN.m)	S.F
Combo1	6771.098	1557.253	4.348
Combo2	7071.845	1557.253	4.541
Combo3	6093.988	1557.253	3.913
Combo4	6093.988	2875.570	2.119

2) 활동에 대한 안전

구분	Hu (kN)	H (kN)	S.F
Combo1	902.641	411.069	2.196

n: 348, f: 0, p: 0, s: 210, d: 0, @n: 0, @f: 0, @p: 0, @s: 0, @d: 0

Draw Frame

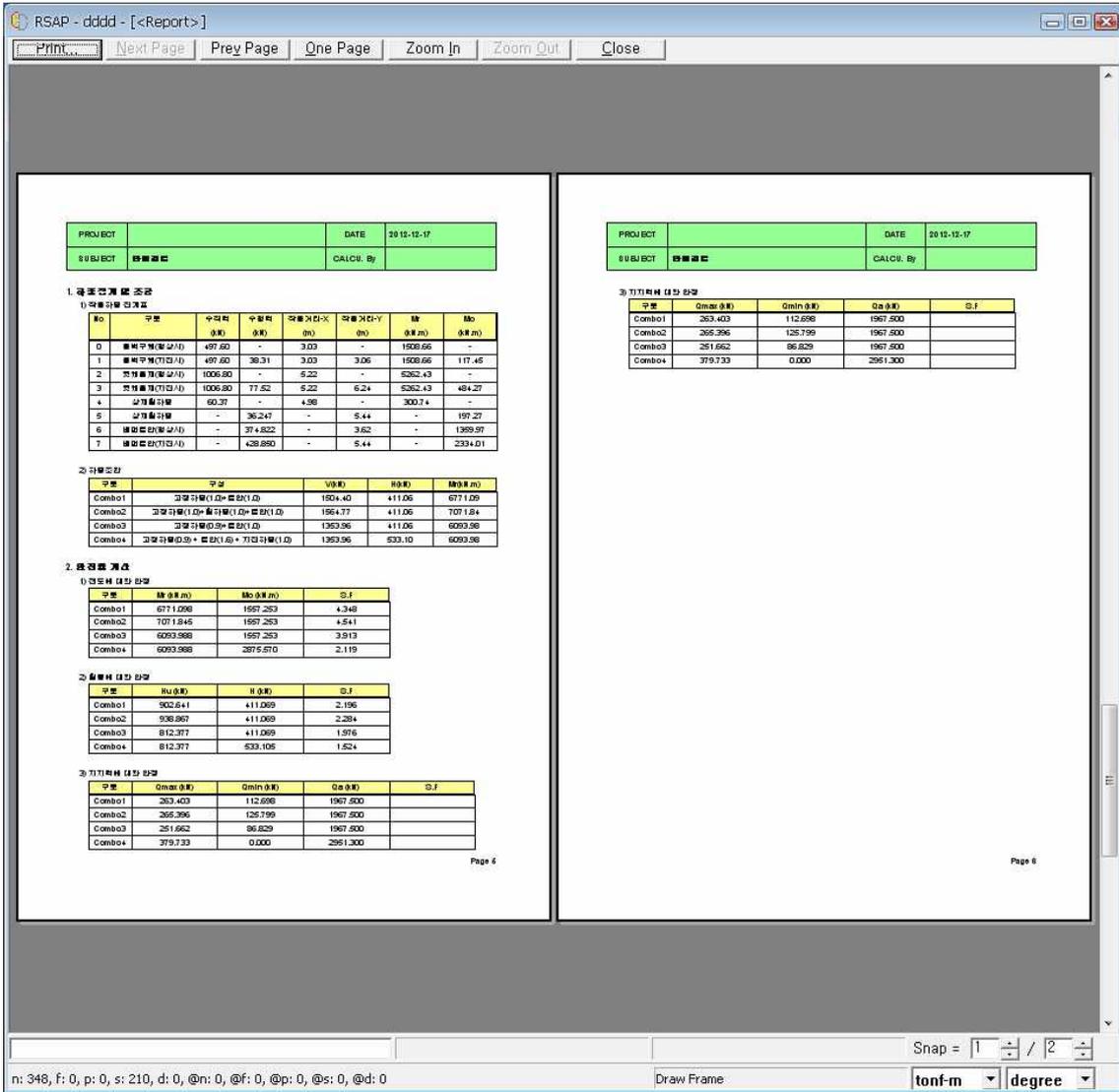
Snap = 1 / 2

tonf-m degree

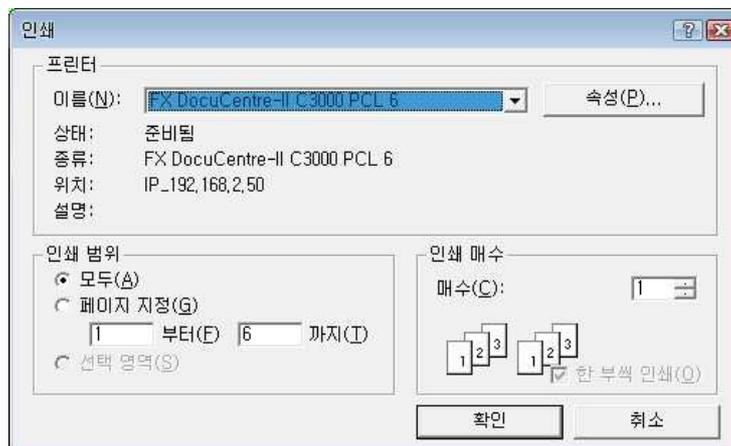
	이전의 화면 상태를 보여 준다.
	현재의 화면 상태를 약 20% 확대한다.
	현재의 화면 상태를 약 20% 축소한다.
	사용자가 마우스로 선택한 영역을 확대 보여준다.
	마우스를 위로 움직이면 확대하고 아래로 하면 축소한다.
	마우스를 따라 수평, 수직으로 움직인다.

(3) 보고서 출력하기

① 인쇄 미리보기



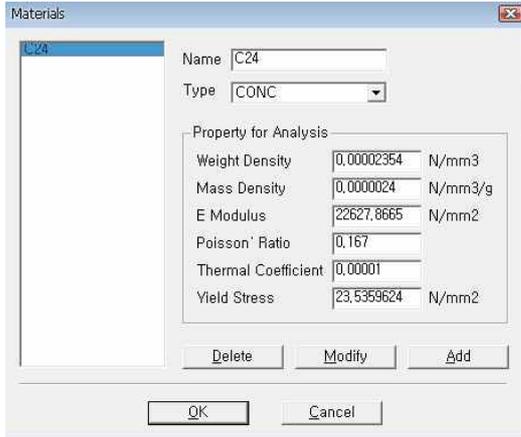
② 인쇄하기



6. RSAP의 FEM 모델링 기능

(1) Define

① Material



재료의 기본 물성치를 정의 하는 기능

Name : 재료의 이름 정의

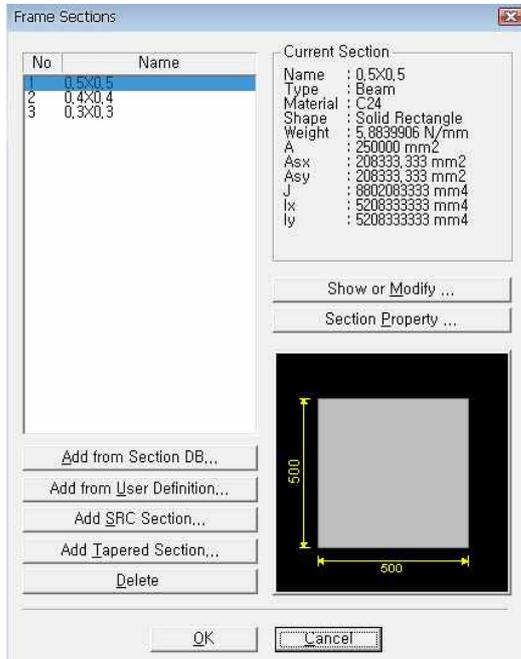
Type : 재료의 종류

Delete : 현재 선택된 재료를 삭제

Modify : 현재 선택된 재료를 수정

Add : 새로운 재료를 추가

② Frame Section



부재의 단면과 요소의 종류를 정의하는 기능

Show or Modify : 현재 단면의 특성값을 보거나 수정

Section Property : 현재 단면의 성능을 보거나 수정

Add from Section DB : Section DB에서 단면 추가

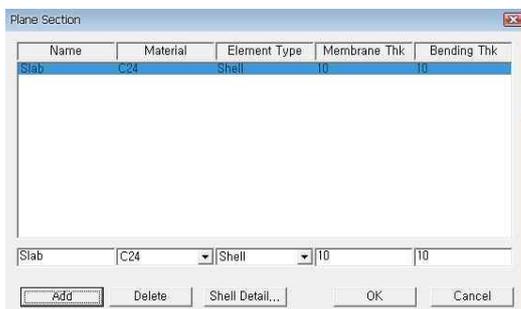
Add from User Definition : 사용자가 직접 정의하고 추가

Add SRC Section : 합성 단면 추가

Add Tapered Section : 변단면 추가

Delete : 선택된 단면 삭제

③ Plane Section



평면 요소의 단면 특성을 정의하는 기능

Name : 평면요소 단면의 이름

Material : 평면요소의 재료

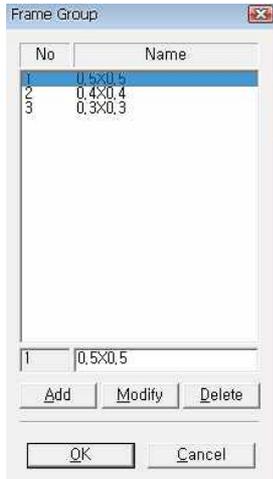
Element Type : 평면요소의 종류

(셀요소, 판요소, 벽체요소, 삼차원 평면응력 요소, 이차원 평면응력 요소, 평면 변형도 요소, 축대칭요소)

Shell Detail : 변단면 셀요소의 두께 정의

④ Group 지정

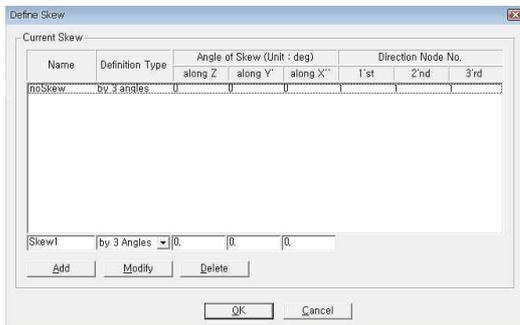
- 선택 및 할당의 편의성을 위한 요소의 그룹화 기능
- ASAP 은 Node, Frame, Plane, Solid, Spring 의 그룹화 기능을 제공



Frame 요소의 그룹화 기능

- Add : 부재 그룹 추가
- Modify : 선택된 부재 그룹 수정
- Delete : 선택된 부재그룹 삭제

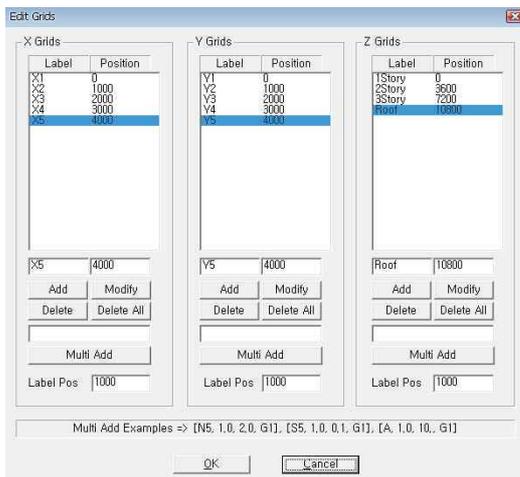
⑤ Skew 지정



경사지지조건을 정의하는 기능

- Name : 경사지지조건의 이름
- Definition Type : 경사지지조건을 정의하는 방법
 - by 3 Angles : 3개의 회전각으로 정의하는 방법
 - by 3 Nodes : 3개의 절점으로 정의하는 방법

⑤ 그리드 지정(Story 정보 지정)

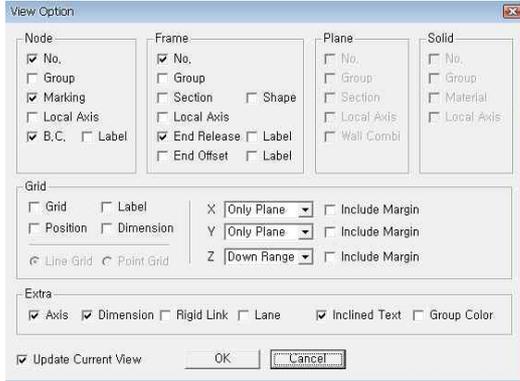


그리드를 정의하는 기능

- Add : 그리드 추가
- Modify : 선택된 그리드 수정
- Delete : 선택된 그리드 삭제
- Delete All : 모든 그리드 삭제
- Multi Add : 그리드 복수 추가

* ASAP 에서는 Z Grids를 Story 정보로 사용.
-> 필수적으로 입력되어야 함.

⑥ View Option

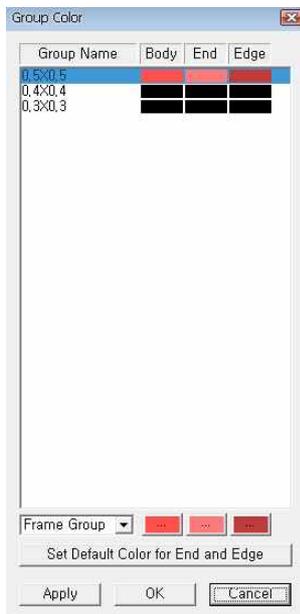


현재 활성화된 모델링 뷰(View) 상에 나타나는 각종 항목의 선택사항을 설정하는 기능

View상에 나타내고자 하는 항목을 체크, 그렇지 않은 항목은 체크해제 하면 됨.

Update it on view, whenever you check it. : 이 항목을 체크하면 그 즉시 화면에서 업데이트된 상태를 볼 수 있음.

⑦ Group Color



그룹색을 설정하는 기능

각 그룹에 대해 세가지 색을 설정해야함.

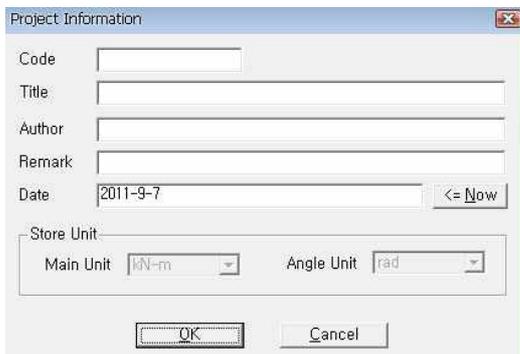
Body : 그룹내의 부재 몸체의 색

End : 그룹내의 부재 끝단면의 색

Edge : 그룹내의 부재형상을 이루는 모서리의 색

Set Default Color for End and Edge : Body에서 지정된 색을 기준으로 End와 Edge를 정해진 색으로 초기화

⑧ Project Information



프로젝트에 관한 정보를 설정하는 기능

Code : 프로젝트 코드번호

Title : 프로젝트 이름

Author : 프로젝트 수행 회사나 구조실무자를 뜻함

Remark : 프로젝트의 성격을 알기 쉽게 설명한 주석

Date : 프로젝트 시작 날과 시간을 뜻함

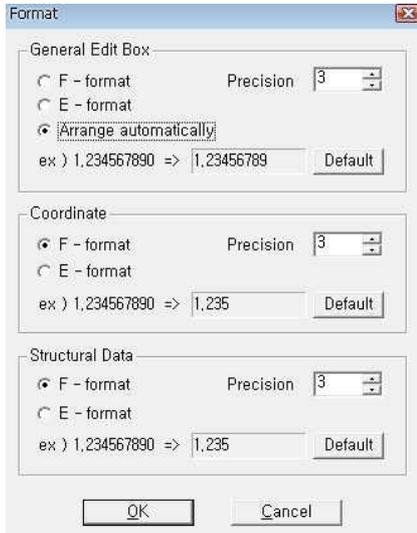
Store Unit : 현 프로젝트에 적용되는 저장 단위

·새로운 프로젝트를 시작할 때만 저장 단위를 지정할 수 있음.

·Main Unit : 주요단위

·Angle Unit : 각의 단위

⑨ Format



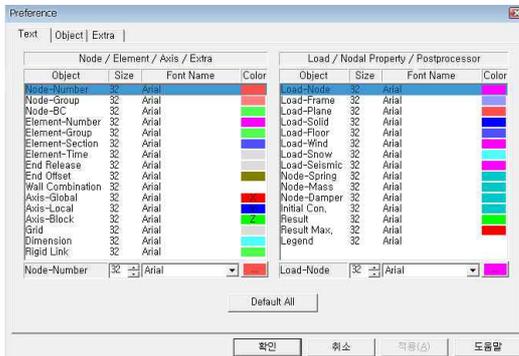
프로젝트에 관한 정보를 설정하는 기능

General Edit Box : 실수의 표시 형식 지정

Coordinate : 치수선의 값과 좌표값의 표시형식을 지정

Structural Data : 모델링에 사용되는 Data들의 표시형식 지정

⑩ Preference



작업 환경을 설정하는 기능

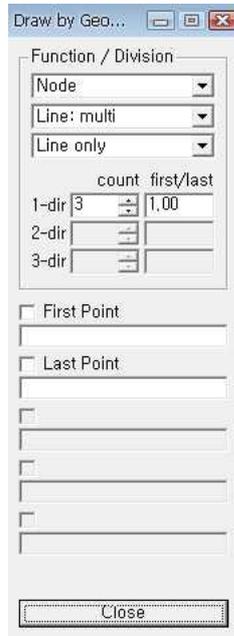
Text : 작업화면에 나타나는 절점, 요소, 하중 및 후처리 등에 대한 텍스트의 폰트 크기, 이름, 색상을 지정

Object : 작업화면에 나타나는 여러 도식요소들(절점, 스프링, 지점 조건, 요소, 단부해제, 단부강역, 치수선, 축, 하중, 각종 후처리)에 대한 크기 및 색상을 지정

Extra : 파일저장, 출력 선택사항, 관련파일 경로 및 기타 설계관련 선택사항들을 지정

(2) DRAW

① Draw by Geomtery



기하학적인 정의에 의해 자동으로 절점 및 요소를 생성하는 기능

Function / Division : 생성하고자 하는 요소 종류, 방법 및 모델 형태 정의

② Draw Nodes

- 좌표모드 또는 스냅모드를 이용하여 절점을 그리는 기능

③ Draw Frames

- 좌표모드 또는 스냅모드를 이용하여 부재를 그리는 기능

④ Draw Plane

- 좌표모드 또는 스냅모드를 이용하여 평면 요소를 그리는 기능

⑤ Draw Solids

- 좌표모드 또는 스냅모드를 이용하여 솔리드 요소를 그리는 기능

⑥ Quick Draw Nodes

- 선택된 Grid의 양 끝점과 중앙부에 Nodes를 생성

⑦ Quick Draw Frames

- 선택된 Grid의 양 끝점을 끝단으로 하는 Frame 생성

⑧ Quick Draw Plane

- 선택된 그리드 선으로 구획되는 사각형 영역에 평면요소를 생성

⑨ Quick Draw Solids

- 선택된 그리드 선으로 구획되는 육면체의 공간에 솔리드요소를 생성

⑩ Draw Dimensions

- 치수선을 그리는 기능
- 원하는 두 절점을 마우스로 선택한 뒤 원하는 위치에 치수선을 위치시키면 됨

⑪ Current Dimension Type

- xyz distance, x distance, y distance, z distance 중 하나를 선택하여 현재 치수선 타입을 지정

⑫ Coordinate Mode & Snap

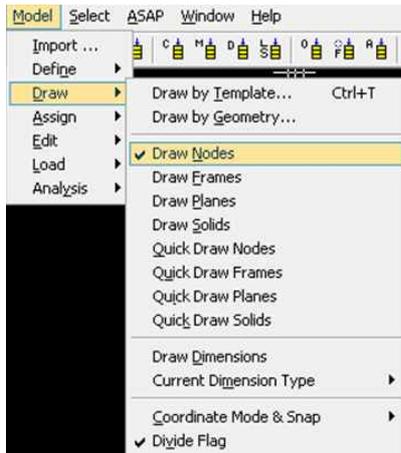
- 절점 그리기, 부재 그리기, 평면요소 그리기, 솔리드요소 그리기, 치수선 그리기, 절점 이동, 프레임 이동 및 블록의 참조점, 원점 설정 등의 작업시에 절대/상대좌표 키보드 입력과 스냅 기능

⑬ Divide Flag

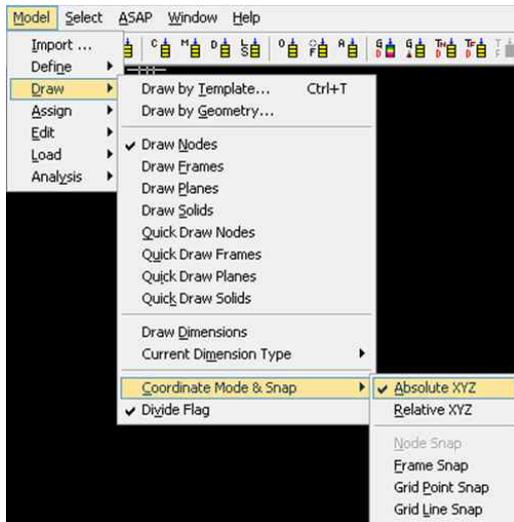
- 부재를 그릴 때에 만약 서로 교차하는 부재가 있다면 그 교차점에 자동으로 절점을 생성하고 해당 부재는 자동 분할하게 하는 기능

*** 참고 * 요소를 그리는 방법 설명**

1. 그리고자 하는 요소 선택 (Model -> Draw ->)



2. Coordinate Mode & Snap 설정 (Model -> Draw -> Coordinate Mode & Snap 또는 View에서 마우스 오른쪽 버튼)



<메뉴를 이용할 경우>

<Context 메뉴를 이용할 경우>

3. 선택한 Coordinate Mode & Snap에 따라 요소 그리기

Absolute XYZ : 마우스 왼쪽 버튼을 클릭을 하면 커서가 위치한 곳에 j-절점 생성과 동시에 부재가 생성된다. 또한 원하는 x, y, z 좌표값을 키보드 입력한 다음 <enter> 키를 치면 그 좌표에 j-절점이 생성됨과 동시에 부재가 생성된다.

Relative XYZ : 마우스 클릭은 Absolute XYZ와 같은 기능을 한다. 최근 절점에 대한 상대 x, y, z 좌표값을 키보드 입력한 다음 <enter> 키를 치면 그 상대 좌표에 j-절점이 생성됨과 동시에 부재가 생성된다.

Node Snap : 이미 존재하는 절점이 하나 이상이 있을 때 현재 커서에 가장 가까운 거리에 있는 절점을 선택하면 그 절점을 j-절점으로 설정하고 부재가 생성된다.

Frame Snap : Divide Flag가 체크된 상태에서는 이미 존재하는 부재가 하나 이상이 있을 때 현재 커서에 가장 가까운 거리에 있는 부재를 선택하면 그 부재의 스냅수에 해당하는 비율로 그 부재가 분할되고 그 분할점을 j-절점으로 설정한 뒤 부재를 생성한다. Divide Flag가 체크되지 않은 상태에서는 가장 가까운 거리에 있는 부재의 스냅수에 해당하는 비율의 위치에 j-절점이 생성됨과 동시에 부재가 생성된다.

Grid Point Snap : 현재 좌표계에 그리드가 존재할 때 현재 커서에 가장 가까운 거리에 있는 그리드 점에 j-절점을 생성시킬 때 쓰인다.

Grid Line Snap : 현재 좌표계에 그리드가 존재할 때 현재 커서에 가장 가까운 거리에 있는 수직 그리드 선의 스냅수에 해당하는 비율의 위치에 j-절점을 생성시킬 때 쓰인다.

(3) ASSIGN

① Diaphragm

* Story Diaphragm



층 다이어프램을 할당하는 기능

다이어프램으로 지정하고자 하는 층을 리스트 박스에서 선택한 뒤 Diaphragm 체크박스를 체크

여기서 변위제한식은 다음과 같음.

- $Dxs = Dxc + Rzc \times dY$
- $Dys = Dyc - Rzc \times dX$
- $Rzs = Rzc$

여기서,

Dxs : 종속절점의 x 방향 변위

Dys : 종속절점의 y 방향 변위

Rzs : 종속절점의 z 방향 회전변위(radian)

Dxc : 다이어프램 질량중심절점의 x방향 변위

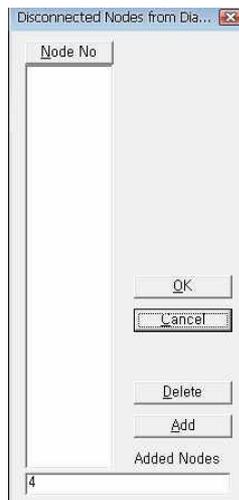
Dyc : 다이어프램 질량중심절점의 y방향 변위

Rzc : 다이어프램 질량중심절점의 z방향 회전변위

$dX = Xc - Xs$

$dY = Yc - Ys$

* Disconnected Nodes from Story Diaphragm



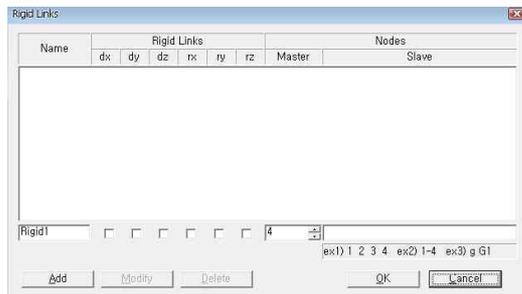
층 다이어프램에서 특정 절점을 제외/추가 하는 기능

Added Nodes : 다이어프램에서 제외되는 절점번호 입력

Delete : 절점 삭제

Add : 절점 추가

② Rigid Link

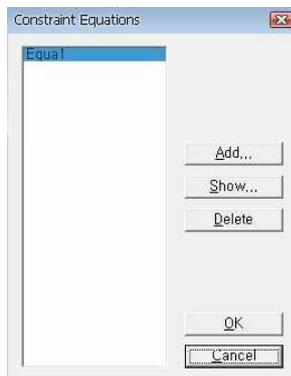


강제 연결에 대한 추가, 수정, 삭제 하는 기능

강제 연결의 이름과 6개의 자유도, 주절점(Master Node)과 종속절점(Slave Nodes)을 입력한 뒤 Add 누르면 하나의 강제 연결이 정의 됨.

③ Constraint

* Constraint Equation

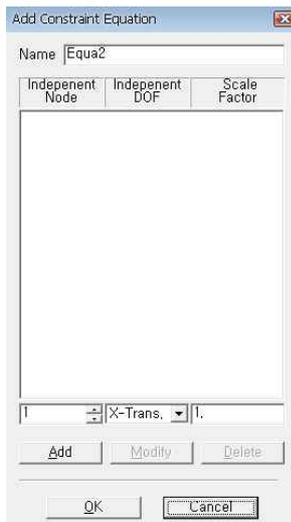


변위제한식의 오른쪽 항에 해당하는 식을 구성하는 기능

Add : 변위제한식의 오른쪽 항 추가

Show : 변위제한식의 오른쪽 항 편집

Delete : 변위제한식의 오른쪽 항 삭제



Name : 변위제한식의 이름

Independent Node : 절점번호 입력

Independent D.O.F : 자유도 입력

Scale Factor : 스케일 계수값 입력

Add : 변위제한식의 오른쪽 항 추가

Show : 변위제한식의 오른쪽 항 편집

Delete : 변위제한식의 오른쪽 항 삭제

* Assign Individual Constraint



변위제한식의 왼쪽항에 해당하는 식을 정의하는 기능

Slave Node : 절점번호 입력

Slave D.O.F : 자유도 입력

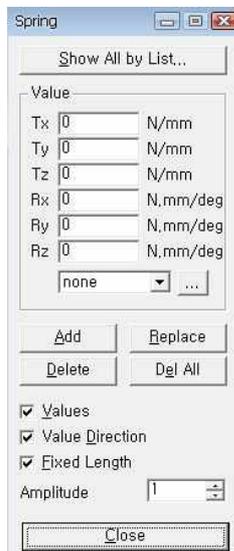
Constraint Equation : 변위제한식의 오른쪽에 해당하는 식 선택

Add : 변위제한식의 오른쪽 항 추가

Show : 변위제한식의 오른쪽 항 편집

Delete : 변위제한식의 오른쪽 항 삭제

④ Nodal Spring



절점 스프링을 할당 하는 기능

Show All by List : 입력된 절점 스프링에 대한 데이터를 텍스트로 검토 및 수정

Value : 절점스프링의 강성값 입력

Add : 절점 스프링 추가

Replace : 절점 스프링 대체

Delete : 절점 스프링 삭제

Del All : 모든 절점 스프링 삭제

⑤ Boundary Condition



지점조건을 할당 하는 기능

Show All by List : 입력된 지점조건에 대한 데이터를 텍스트로 검토 및 수정

Value : 할당하고자 하는 지점조건을 정의함

Add : 지점조건 추가

Replace : 지점조건 대체

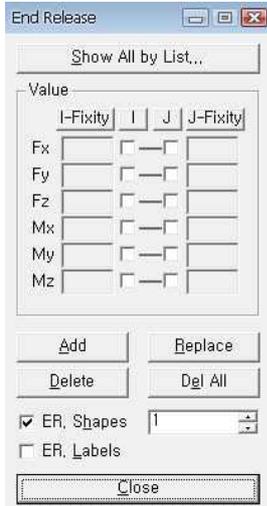
Delete : 지점조건 삭제

Del All : 지점조건 삭제

BC.Shpae : 지점조건을 화면에 표시할 때 체크

BC.Label : 지점조건을 화면에 텍스트로 표시할 때 체크

⑥ End Releases



단부해제를 할당하는 기능

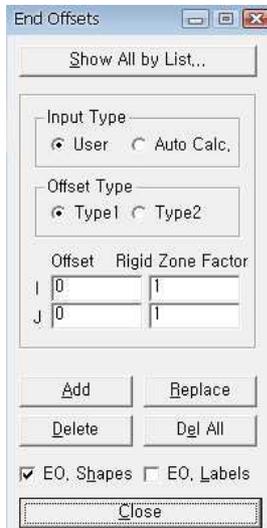
Show All by List : 입력된 단부해제에 대한 데이터를 텍스트로 검토 및 수정

Value : 할당하고자 하는 단부해제 조건을 정의함

- Add : 단부해제 조건 추가
- Replace : 단부해제 조건 대체
- Delete : 단부해제 조건 삭제
- Del All : 단부해제 조건 삭제

ER.Shpae : 단부해제 조건을 화면에 표시할 때 체크
ER.Label : 단부해제 조건을 화면에 텍스트로 표시할 때 체크

⑦ End Offset



단부강역을 할당하는 기능

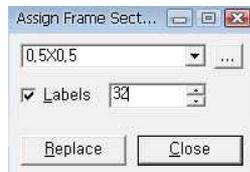
Show All by List : 입력된 단부강역에 대한 데이터를 텍스트로 검토 및 수정

Input Type : 단부강역에 대한 데이터를 입력하는 방법 선택
Offset Type : 단부강역 형태 선택

- Add : 단부강역 조건 추가
- Replace : 단부강역 조건 대체
- Delete : 단부강역 조건 삭제
- Del All : 단부강역 조건 삭제

ER.Shpae : 단부강역 조건을 화면에 표시할 때 체크
ER.Label : 단부강역 조건을 화면에 텍스트로 표시할 때 체크

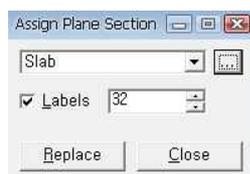
⑧ Frame Section



프레임 요소단면을 할당하는 기능

Replace : 선택된 요소의 단면을 대체함.

⑨ Plane Section



평면 요소단면을 할당하는 기능

Replace : 선택된 요소의 단면을 대체함.

⑩ Solid Material

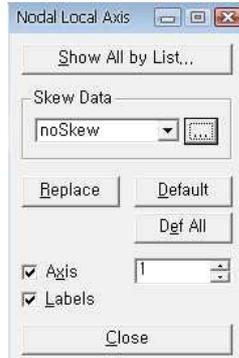


입체요소의 재료를 할당하는 기능

Replace : 선택된 요소의 재료를 대체함.

⑪ Local Axis

* Node (Skew)



요소축의 경사지지조건을 할당하는 기능

Show All by List : 입력된 경사지지 조건에 대한 데이터를 텍스트로 검토 및 수정

Skew Data : 경사지지조건 선택

Replace : 현재 정의된 경사지지조건으로 대체

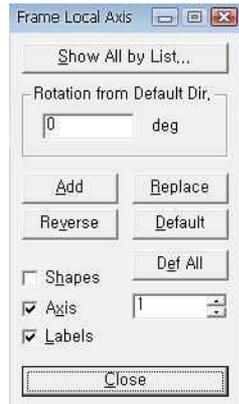
Default : 경사지지조건을 초기값으로 설정

Def All : 모든 경사지지조건을 초기값으로 설정

Axis : 요소축을 화면에 나타낼 때 체크

Labels : 요소축을 화면에 Text로 나타낼 때 체크

* Frame



부재의 요소축을 할당하는 기능

Show All by List : 입력된 요소축에 대한 데이터를 텍스트로 검토 및 수정

Rotation from Default Dir. : 초기방향에서 회전되는 각도 입력

Add : 부재의 요소축 추가

Reverse : 부재의 I, J 절점의 교환

Replace : 현재 정의된 요소축으로 대체

Default : 부재의 요소축을 초기값으로 설정

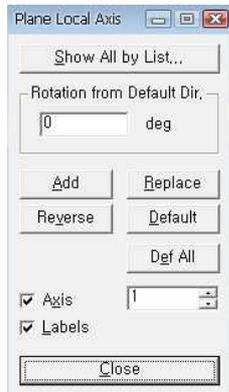
Def All : 모든 부재의 요소축을 초기값으로 설정

Shapes : 요소축에 대한 형상을 화면에 나타낼 때 체크

Axis : 요소축을 화면에 나타낼 때 체크

Labels : 요소축을 화면에 Text로 나타낼 때 체크

* Plane



평면요소의 요소축을 할당하는 기능

Show All by List : 입력된 요소축에 대한 데이터를 텍스트로 검토 및 수정

Rotation from Default Dir. : 초기방향에서 1축이 회전되는 각도 입력

Add : 평면요소의 요소축 추가

Reverse : 해당요소의 1축 방향을 반대로 교환

Replace : 현재 정의된 요소축으로 대체

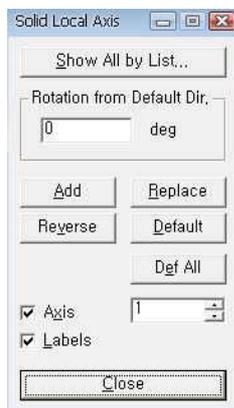
Default : 평면요소의 요소축을 초기값으로 설정

Def All : 모든 평면요소의 요소축을 초기값으로 설정

Axis : 요소축을 화면에 나타낼 때 체크

Labels : 요소축을 화면에 Text로 나타낼 때 체크

* Solid



솔리드의 요소축을 할당하는 기능

Show All by List : 입력된 솔리드요소의 요소축에 대한 데이터를 텍스트로 검토 및 수정

Rotation from Default Dir. : 초기방향에서 1축이 회전되는 각도 입력

Add : 솔리드요소의 요소축 추가

Reverse : 솔리드요소의 1축 방향 교환

Replace : 현재 정의된 요소축으로 대체

Default : 솔리드요소의 요소축을 초기값으로 설정

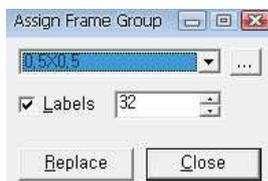
Def All : 모든 솔리드요소의 요소축을 초기값으로 설정

Axis : 요소축을 화면에 나타낼 때 체크

Labels : 요소축을 화면에 Text로 나타낼 때 체크

⑫ Group

- 요소에 그룹을 할당하는 기능
- ASAP은 Node, Frame, Plane, Solid요소에 그룹을 지정할 수 있음.

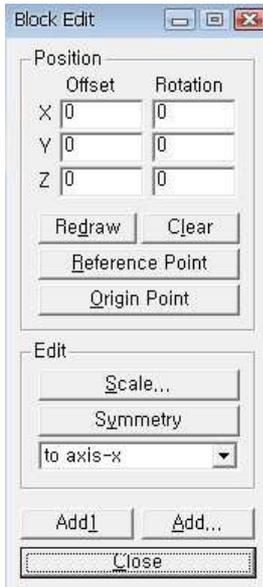


프레임 요소에 그룹을 지정하는 기능

원하는 그룹을 선택 후 Replace를 이용하여 View에 선택된 요소에 그룹을 할당할 수 있다.

(4) Edit

① Block by Copy

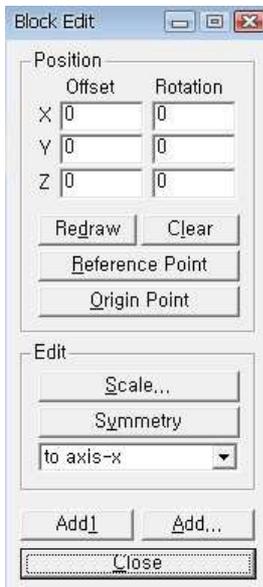


블록으로 선택된 절점이나 요소를 복사하는 기능

복사를 실행하기 위해서는 원하는 절점과 요소를 먼저 선택하면 선택된 절점과 요소는 블록(Block)으로 됨.

블록이 생성됨과 동시에 Block Edit 대화상자가 나타나고 이 대화상자에서 원하는 블록 편집을 할 수 있음.

② Block by Cut



블록으로 선택된 절점이나 요소를 잘라내는 기능

잘라내기를 실행하기 위해서는 원하는 절점과 요소를 먼저 선택하면 선택된 절점과 요소는 블록(Block)으로 됨.

블록이 생성됨과 동시에 Block Edit 대화상자가 나타나고 이 대화상자에서 원하는 블록 편집을 할 수 있음.

③ Delete

* Selected

선택된 요소나 절점을 삭제하는 기능

* Not Used Nodes

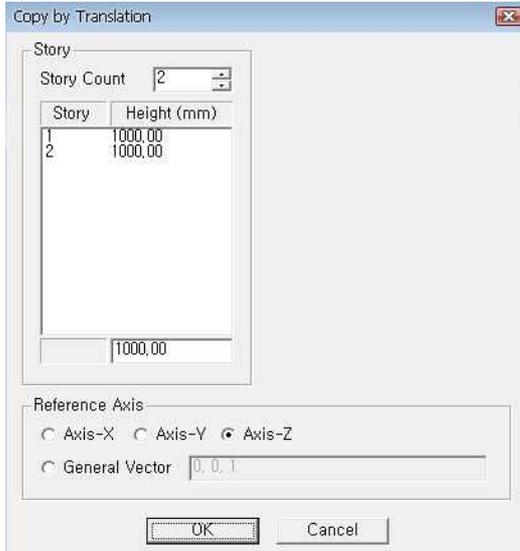
어떤 요소 또는 치수선에도 사용되지 않는 절점을 지우는 기능

* Invalid Elements

유효하지 않은 요소를 지우는 기능

④ Copy

* Translation

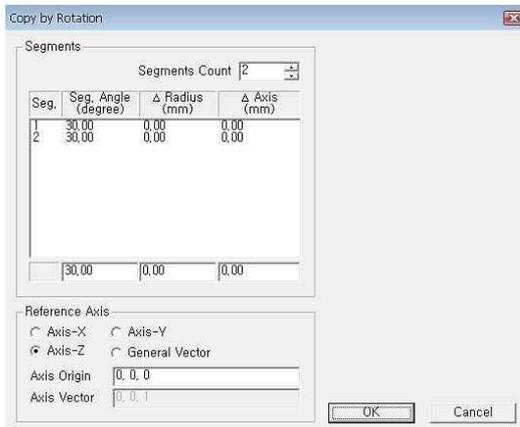


선택된 요소를 등간격 또는 부등간격으로 특정한 평행 이동 방향으로 다중 복사하는 기능

Story Count : 복사하고자 하는 개수

- Story 및 Height : 각 복사단계 및 간격
- Reference Axis : 원하는 평행이동 축방향 선택
 - Axis-X : X 축방향으로 평행이동
 - Axis-Y : Y 축방향으로 평행이동
 - Axis-Z : Z 축방향으로 평행 이동
 - General Vector : 방향벡터 직접입력

* Rotation

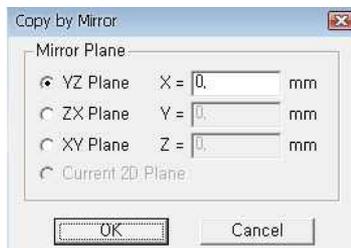


선택된 요소를 등간격 또는 부등간격으로 특정한 회전 이동 방향으로 다중 복사하는 기능

- Nr of Segments : 복사할 개수 입력
- Seg. Angle : 각 복사단계의 각도 입력
- delta Radius : 각 복사단계의 회전반경 방향의 변위 입력
- delta Axis : 각 복사단계의 회전 축방향 변위 입력
- Reference Axis : 회전시키려는 방향의 기준축 선택

- Axis-X : X 축방향으로 평행이동
- Axis-Y : Y 축방향으로 평행이동
- Axis-Z : Z 축방향으로 평행 이동
- General Vector : 방향벡터 직접입력

* Mirror



Mirror Plane : 대칭이동하려는 평면을 선택

YZ Plane : YZ 평면이동

ZX Plane : ZX 평면이동

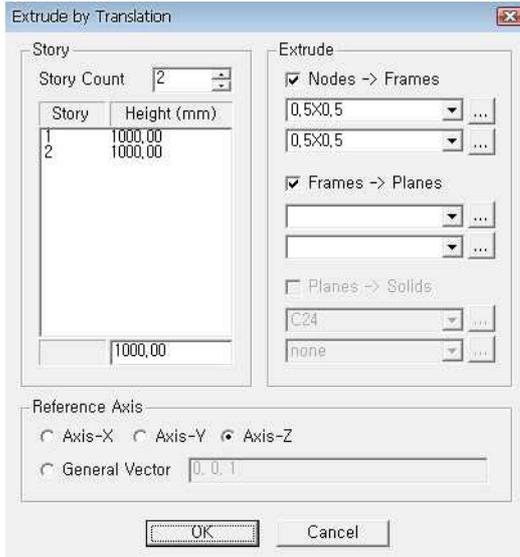
XY Plane : XY 평면이동

Current 2D Plane : 현재 화면이 2차원 평면화면일 때 그 평면을 대칭이동하려는 평면으로 선택

⑤ Extrude

-절점은 프레임요소로(Nodes->Frames), 프레임요소는 평면요소로(Frames->Planes), 평면요소는 솔리드요소로(Planes->Solids) 요소변환을 하는 기능

* Translation



선택된 요소를 등간격 또는 부등간격으로 특정한 평행 이동 방향으로 다중 사출하는 기능

Nr of Stories : 대화상자에서 사출하고자 하는 개수 입력

Story Height : 각 사출단계의 간격

Reference Axis : 원하는 평행이동 축방향

Axis-X : X 축방향으로 평행이동

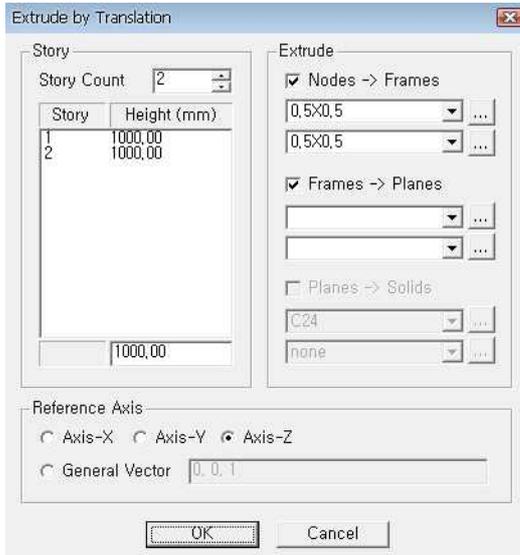
Axis-Y : Y 축방향으로 평행이동

Axis-Z : Z 축방향으로 평행 이동

General Vector : 방향벡터 직접입력

사출하고자 하는 함수를 선택하고, Section과 Group란에서는 생성되는 요소의 단면과 그룹을 지정해준다.

* Rotation



선택된 요소를 등간격 또는 부등간격으로 특정한 회전 이동 방향으로 다중 사출하는 기능

◦ Nr of Segments : 대화상자에서 사출 하고자 하는 개수 입력

◦ Seg. Angle : 각 사출단계의 각도 입력

◦ delta Radius : 각 복사단계의 회전반경 입력

◦ delta Axis : 각 복사단계의 회전 축방향 변위 입력

·delta Radius , delta Axis : 스프링 모양 등 보다 확장된 회전이동

◦ Reference Axis : 회전시키려는 방향의 기준축 선택

·회전이동 축방향(Reference Axis)중 Axis-X, Axis-Y, Axis-Z를 선택

한 경우에는 회전축의 위치를 정의하기 위해서 한 점만 입력

·General Vector : 회전축을 정의하기 위하여 두 점을 입력

◦ Section, Group : 생성되는 요소의 단면과 그룹을 지정

⑥ Move

* Nodes

- 선택된 절점을 이동시키는 기능

* Elements

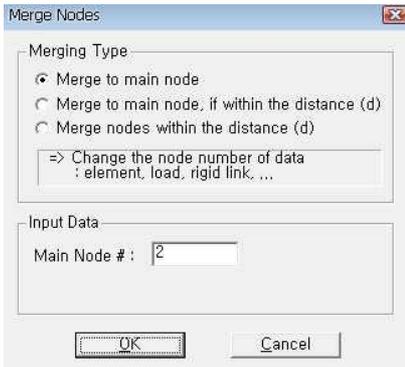
- 선택된 부재를 이동시키는 기능

* Dimensions

- 선택된 치수선을 이동시키는 기능

⑦ Merge

* Nodes



선택 범위내에 포함된 절점들을 중첩시키는 기능

Merging Type : 중첩방법 선택

Main Node # : 절점중첩을 할 경우 주절점으로 하려는 절점번호 입력

* Frames

- 일직선상에 연결된 부재들을 하나의 부재로 중첩하는 기능
- 연결하려는 부재를 선택한 후 Model -> Edit -> Merge -> Frames를 실행

* Planes

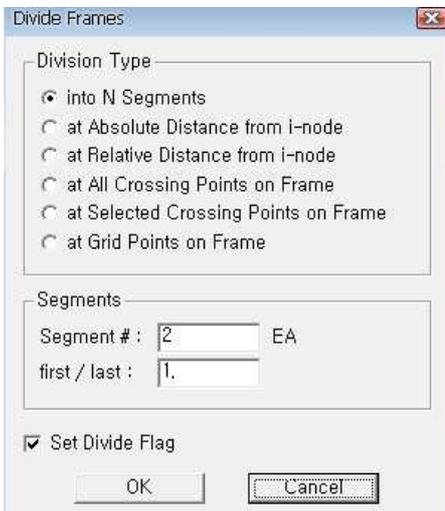
- 한 평면상에 연결된 두 개 이상의 평면요소를 서로 중첩시키는 기능
- 중첩시키려는 요소들을 선택한 후 Model -> Edit -> Merge -> Planes 를 실행

* Solids

- 공간상에서 두 개 이상의 솔리드 요소들을 서로 연결하는 기능
- 중첩시키려는 요소들을 선택한 후 Model -> Edit -> Merge -> Solids 를 실행

⑧ Divide

* Frames



선택된 프레임 부재를 분할하는 기능

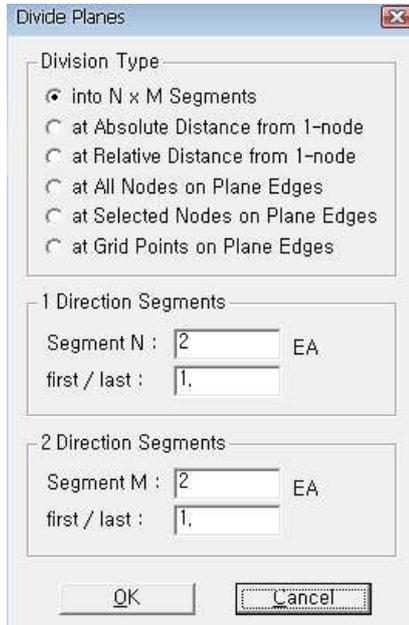
Division Type : 분할 방법 선택 사항

Segments : 각 방법에 따라 입력내용이 다르다.

Segment # : 분할 요소 수(N)

first/ last : 선택부재를 N분할할 때 처음 부재와 마지막 부재의 길이비

* Planes



평면요소를 분할하는 기능

Division Type : 분할 방법 선택 사항

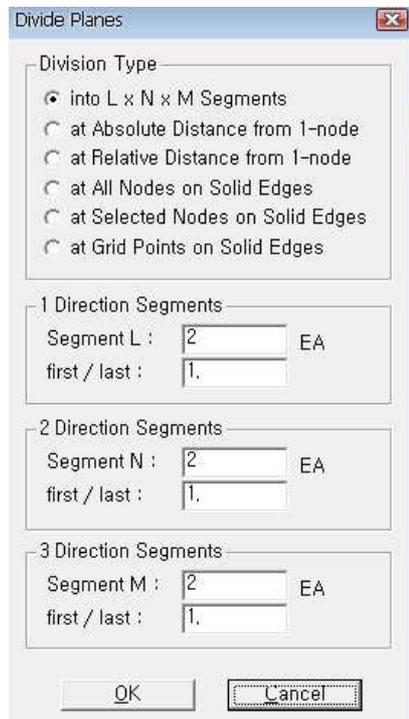
- 방법 1 : into N×M Segments
- 방법 2 : at Absolute Distance from I-node
- 방법 3 : at Relative Distance from I-node
- 방법 4 : at All Nodes on Plane Edges
- 방법 5 : at Selected Nodes on Plane Edges
- 방법 6 : at Grid Points on Plane Edges

◦ 1, 2 Direction Segments : 각 방법에 따라 입력내용이 다르다.

·Segment : 분할 평면요소 수

·first/ last : 선택된 평면요소를 분할할 때 처음 평면요소와 마지막 평면요소 쪽의 비

* Solids



서로 교차하는 솔리드요소를 분할하는 기능

Division Type : 분할 방법 선택 사항

- 방법 1 : into L×N×M Segments
- 방법 2 : at Absolute Distance from I-node
- 방법 3 : at Relative Distance from I-node
- 방법 4 : at All Nodes on Solid Edges
- 방법 5 : at Selected Nodes on Solid Edges
- 방법 6 : at Grid Points on Solid Edges

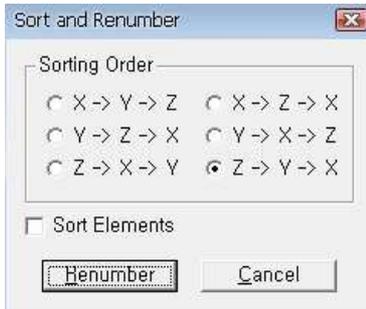
◦ 1, 2, 3 Direction Segments : 각 방법에 따라 입력내용이 다르다.

·Segment : 분할 솔리드요소 수

·first/ last : 선택된 솔리드를 분할할 때 처음 솔리드와 마지막 솔리드의 쪽의 비

⑨ Convert

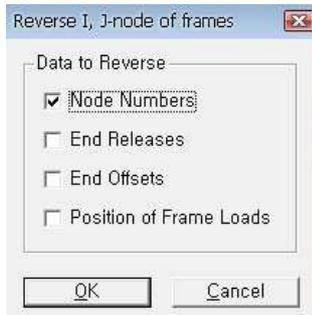
* Renumbr and Nodes



절점 번호와 요소 번호를 방향별로 정렬하는 기능

Sorting Order : 절점순서를 선택
Sort Elements : 요소의 번호를 정렬하려면 체크함.

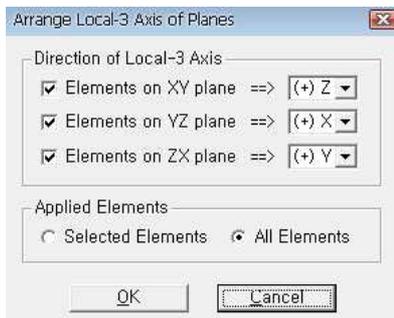
* Reverse i, j-node of frames



프레임부재의 I-J 절점에 대한 정보(절점 번호, 단부해제, 단부강역, 하중의 위치)를 서로 바꾸는 기능

Data of Reverse : I-J절점의 서로 바꾸고자하는 정보를 선택하는 옵션
·Node Numbers : 절점 번호
·End Releases : 단부 해제
·End Offsets : 단부 강역
·Position of Frame Loads : 하중의 위치

* Arrange Local-3 of Planes



프레임부재의 I-J 절점에 대한 정보(절점 번호, 단부해제, 단부강역, 하중의 위치)를 서로 바꾸는 기능

Data of Reverse : I-J절점의 서로 바꾸고자하는 정보를 선택하는 옵션
·Node Numbers : 절점 번호
·End Releases : 단부 해제
·End Offsets : 단부 강역
·Position of Frame Loads : 하중의 위치

* Frame

- 2NodeFrame -> 3NodeFrame : 2절점 부재를 3절점 부재로 변환
- 2NodeFrame -> 4NodeFrame : 2절점 부재를 4절점 부재로 변환
- Continuous 2NodeFrames -> 3NodeFrame : 연속하는 2절점 부재를 3절점 부재로 변환
- Continuous 2NodeFrames -> 4NodeFrame : 연속하는 2절점 부재를 4절점 부재로 변환
- 3/4NodeFrame -> 2NodeFrame : 3/4절점 부재를 2절점 부재로 변환

* Plane

- 4(3)NodePlane -> 8(6)NodePlane : 4(3)절점 평면요소를 8(6)절점 평면요소로 변환
- 4NodePlane -> 9NodePlane : 4절점 평면요소를 9절점 평면요소로 변환
- 4NodeShell -> 16NodeShell : 4절점 Shell 요소를 16절점 Shell 요소로 변환
- 4NodeShell -> 2Layer8NodeShell : 4절점 Shell 요소를 2층 8절점 Shell 요소로 변환
- 4NodeShell -> 2Layer32NodeShell : 4절점 Shell 요소를 2층32절점 Shell 요소로 변환
- OtherPlane -> 4NodePlane : 4절점 요소가 아닌 평면요소를 4절점 평면요소 요소로 변환
- Shell -> Solid : Shell 요소를 솔리드 요소로 변환

* Solid

- 8(6, 4)NodeSolid -> 20(15, 10)NodeSolid : 8 (6, 4)절점 솔리드 요소를 20(15, 10)절점 솔리드 요소로 변환
- 8(6, 4)NodeSolid -> 21(16, 11)NodeSolid : 8(6, 4)절점 솔리드 요소를 21(16, 11)절점 솔리드 요소로 변환
- 8(6, 4)NodeSolid -> 27(11, 15)NodeSolid : 8(6, 4)절점 솔리드 요소를 27(21, 15)절점 솔리드 요소로 변환
- OtherSolid -> 8(6, 4)NodeSolid : 8(6, 4)절점 요소가 아닌 솔리드 요소를 8(6, 4)절점 솔리드 요소로 변환
- Solid -> Shell : 솔리드 요소를 Shell 요소로 변환

⑩ Details

* Table

Node No	X	Y	Z	BC	Skew	Group
1	0	0	0	111111	noSkew	none
2	0	0	1000	000000	noSkew	none
3	1000	0	0	111111	noSkew	none
4	1000	0	1000	000000	noSkew	none
5	2000	0	0	111111	noSkew	none
6	2000	0	1000	000000	noSkew	none
7	2000	2000	0	000000	noSkew	none
8	2000	2000	2000	000000	noSkew	none
9	2000	3000	1000	000000	noSkew	none
10	2000	2000	1000	000000	noSkew	none
11	3000	2000	1000	000000	noSkew	none
12	4000	2000	1000	000000	noSkew	none
13	4000	3000	1000	000000	noSkew	none
14	3000	3000	1000	000000	noSkew	none
15	3000	2000	2000	000000	noSkew	none
16	4000	2000	2000	000000	noSkew	none
17	4000	3000	2000	000000	noSkew	none
18	3000	3000	2000	000000	noSkew	none
19	0	0	5000	000000	noSkew	none

절점 또는 요소에 대한 자세한 정보를 텍스트로 검색하고 수정하는 기능

* Seek Node/ Seek Frame/ Seek Plane/ Seek Solid

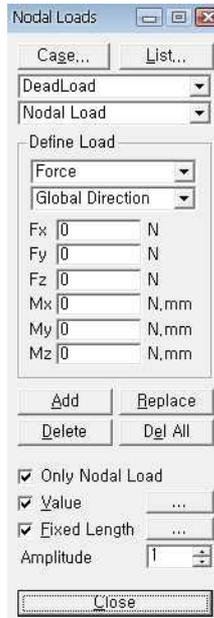


절점 또는 요소에 대한 자세한 정보를 알고 싶거나, 편집하려고 할 때 사용

Change : 수정을 하려고 할 때 사용

(5) Load

① Node Load



절점하중을 정의하고 입력하는 기능

Case : 하중조건을 추가, 수정 및 삭제

List : 현재 입력된 내용을 List 로 보여줌

Define Load : 작용하중의 종류, 방향, 크기 정의

Add : 절점하중을 절점에 할당

Replace : 절점하중을 절점에 할당(기존 절점하중 제거)

Delete : 절점하중을 삭제

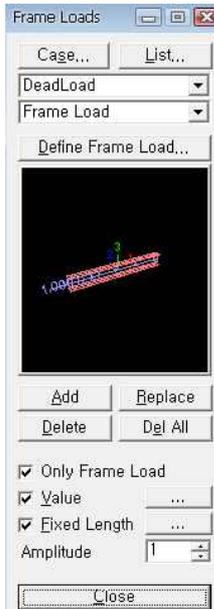
Del All : 현재 하중조건에 포함된 절점하중과 요소하중을 삭제

Only Nodal Load : 화면에 절점하중만 표시

Value : 하중 값 표시

Fixed Length : 하중의 크기와 상관없이 동일한 크기로 하중을 표시

② Frame Load



부재에 작용하는 하중을 정의하고 입력하는 기능

Case : 하중조건을 추가, 수정 및 삭제

List : 현재 입력된 요소하중을 List 로 보여줌

Define Frame Load : 작용하중의 종류, 방향, 크기 정의

Add : 요소하중을 부재에 할당

Replace : 요소하중을 부재에 할당(기존 요소하중 제거)

Delete : 요소하중 삭제

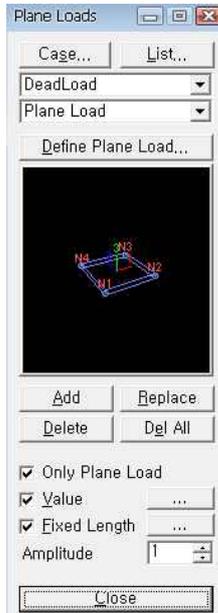
Del All : 현재 하중조건에 포함된 절점하중과 요소하중을 삭제

Only Frame Load : 화면에 요소하중만 표시

Value : 하중 값 표시

Fixed Length : 하중의 크기와 상관없이 동일한 크기로 하중을 표시

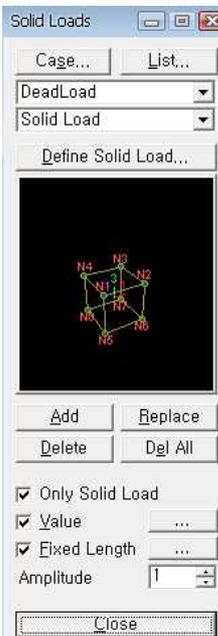
③ Plane Load



평면요소 하중을 정의하고 입력하는 기능

- Case : 하중조건을 추가, 수정 및 삭제
- List : 현재 입력된 요소하중을 List 로 보여줌
- Define Plane Load : 작용하중의 종류, 방향, 크기 정의
- Add : 요소하중을 부재에 할당
- Replace : 요소하중을 부재에 할당(기존 요소하중 제거)
- Delete : 요소하중 삭제
- Del All : 현재 하중조건에 포함된 절점하중과 요소하중을 삭제
- Only Plane Load : 화면에 요소하중만 표시
- Value : 하중 값 표시
- Fixed Length : 하중의 크기와 상관없이 동일한 크기로 하중을 표시

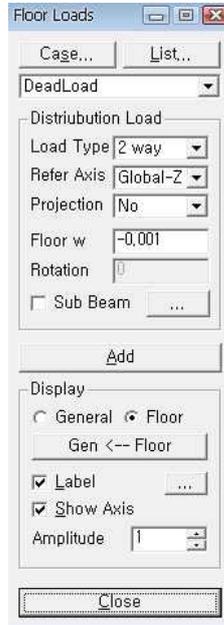
④ Solid Load



입체요소 하중을 정의하고 입력하는 기능

- Case : 하중조건을 추가, 수정 및 삭제
- List : 현재 입력된 요소하중을 List 로 보여줌
- Define Solid Load : 작용하중의 종류, 방향, 크기 정의
- Add : 요소하중을 부재에 할당
- Replace : 요소하중을 부재에 할당(기존 요소하중 제거)
- Delete : 요소하중 삭제
- Del All : 현재 하중조건에 포함된 절점하중과 요소하중을 삭제
- Only Solid Load : 화면에 요소하중만 표시
- Value : 하중 값 표시
- Fixed Length : 하중의 크기와 상관없이 동일한 크기로 하중을 표시

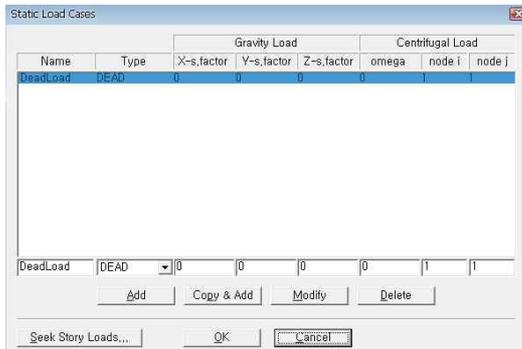
⑤ Floor Loads



바닥 하중을 정의하고 입력하는 기능

- Case : 하중조건을 추가, 수정 및 삭제
- List : 현재 입력된 바닥하중을 List 로 보여줌
- Distribution Load : 작용하중의 종류, 방향, 크기 정의
- Load Type : 1 way 방식과 2 way 방식중 선택
- Refer Axis : 하중의 작용방향을 정의하기 위한 참조축
- Projection : 실제면적당(No) 작용하는 하중과 투영면적당(Yes) 작용하는 하중 선택사항
 - Floor w : 단위면적당 하중으로 표현되는 분포하중
 - Rotation : 하중이 배분되는 각도, 즉 요소좌표계의 1축을 기준으로 돌아가는 각도
 - Sub Beam : 가상보 정의
- Add : 요소하중을 부재에 할당
- Gen <-- Floor : 바닥하중을 일반 프레임하중으로 자동 변환
- Label : 하중 값 표시
- Show Axis : 하중의 요소 좌표계 표시
- Amplitude : 화면에 하중을 도식할 때 도식하는 크기 설정

⑥ Load Cases

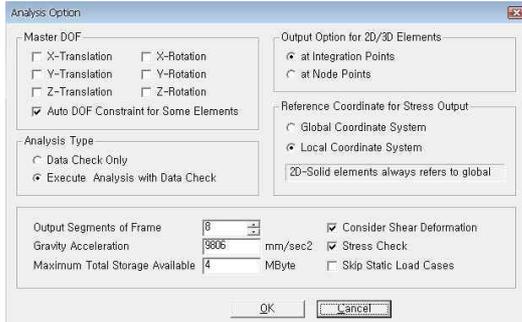


정적 하중조건을 추가/수정/삭제 하는 기능

- name : 하중조건 이름
- Type : 하중형태
- Gravity Load : 중력방향 하중
 - X, Y, Z-s.factor : 각 방향의 증감계수
- Centrifugal Load : 원심력 하중
 - omega : 구조물이 회전하는 각속도
 - node i, node j : 회전축을 결정하기위한 i, j 절점번호
- Add : 하중조건 추가
- Copy & Add : 선택된 하중조건을 복사하여 추가
- Modify : 선택된 하중조건의 수정
- Delete : 선택된 하중조건 삭제

(6) Analysis

① Main Option



해석과 관련된 일반적인 사항을 설정하는 기능

Master DOF : 전체 구조물의 각 절점이 갖는 자유도(Degree Of Freedom)를 설정

·해석 시 체크된 자유도의 변위는 발생하지 않는 것으로 설정됨.

Analysis Type : 입력데이터의 오류검토만을 수행할 것인지, 해석까지 수행할 것인지를 결정

Data check only : 입력데이터의 오류검토만 수행

Execute analysis with data check: 입력데이터의 오류검토 및 수치해석 수행

Stress Output Reference Coordinate Systems : 셸(Shell) 요소의 경우 해석 결과를 전체좌표계에 대하여 출력할 것인지 아니면 요소좌표계에서 출력하는 것인지를 결정

·2D Solid 요소인 경우에는 해석결과가 항상 전체좌표계로 출력

Maximum Total Storage Available :구조해석시 사용할 동적 할당 메모리 설정

사용자가 지정한 메모리가 해석시에 필요한 메모리보다 적을 경우에는 여러 블록(Block)단위로 파일에 쓰고 읽는 반복작업을 수행하게 된다.

사용할 수 있는 메모리가 넉넉하다면 충분히 큰 메모리를 지정해 주는 것이 해석상의 효율을 위해 바람직할 것이다.

Gravity Acceleration : 자중이나 등가지진하중을 계산하기 위한 중력가속도를 설정(필요한지?)

Consider Shear Deformation : 보요소의 전단변형을 고려할 것인지를 결정

7. View Tool 기능

View에 관련된 메뉴 모음으로 기능은 다음과 같다.

메뉴	툴바	기능
Zoom Previous		이전의 화면 상태를 보여 준다.
Zoom All		구조물이 모두 화면에 들어오도록 한다.
Zoom In		현재의 화면 상태를 약 20% 확대한다.
Zoom Out		현재의 화면 상태를 약 20% 축소한다.
Zoom Window		사용자가 마우스로 선택한 영역을 확대 보여준다.
Zoom Dynamic		마우스를 위로 움직이면 확대하고 아래로 하면 축소한다.
Move Hor/Ver		마우스를 따라 수평, 수직으로 움직인다.
Move Back/Fro		마우스를 상하로 움직임에 따라 앞뒤로 움직인다.
Rotate Hor/Ver		마우스의 움직임에 따라 수평 및 수직으로 회전시킨다.
Rotate Clock Wise		요소의 중심을 기준으로 시계/반시계 방향으로 회전시킨다
Default View		3차원 기본 화면으로 보여준다.
Left View		왼쪽 측면을 보여준다.
Right View		오른쪽 측면을 보여준다.
Top View		위쪽 면을 보여준다.
Bottom View		아래쪽 면을 보여준다.
Front View		정면을 보여준다.
Back View		뒷면을 보여준다.
Perspective		3차원 화면에 투시도 효과를 도입한다.
Line		부재를 단일 선으로 표현한다.
Wireframe		부재를 두께가 있는 외각선으로 표현한다.
Shading		부재를 두께가 있는 외각면으로 표현한다.
Shrinkage		부재를 양끝단과 절점을 분리하여 표현한다.

8. Select Tool 기능

Select에 관련된 메뉴 모음으로 기능은 다음과 같다.

메뉴	툴바	기능
Select by Pointer/Window		마우스로 선택한 영역 안의 요소를 선택한다.
Select by Intersection Line		마우스로 그린 선분에 걸치는 요소를 선택한다.
Select All		모든 요소를 선택한다.
Select Object on YZ		마우스로 선택한 점과 X좌표가 같은 요소를 선택한다.
Select Object on ZX		마우스로 선택한 점과 Y좌표가 같은 요소를 선택한다.
Select Object on XY		마우스로 선택한 점과 Z좌표가 같은 요소를 선택한다.
Select Object on General 3P		마우스로 선택한 3절점을 지나는 평면내의 요소를 선택한다.
Deselect by Pointer/Window		마우스로 선택한 영역 안의 요소를 선택 해제한다.
Deselect by Intersection Line		마우스로 그린 선분에 걸치는 요소를 선택 해제한다
Deselect All		모든 요소의 선택 해제한다.
Deselect Object on YZ		마우스로 선택한 점과 X좌표가 같은 요소를 선택 해제한다
Deselect Object on ZX		마우스로 선택한 점과 Y좌표가 같은 요소를 선택 해제한다
Deselect Object on XY		마우스로 선택한 점과 Z좌표가 같은 요소를 선택 해제한다
Deselect Object on General 3P		마우스로 선택한 3절점을 지나는 평면내의 요소를 선택 해제한다
Reverse Select/Deselect		선택된 요소와 선택되지 않은 요소를 바꾼다.
Select Previous Selection		이전 선택된 요소를 선택한다.
Select/Deselect by Definition		요소 그룹 또는 단면별로 선택한다.
Show All Hidden Object		숨겨진 모든 요소의 숨김을 해제 한다.
Show Only Selected Object		선택된 요소만 보여준다.
Hide selected Object		선택된 요소를 숨긴다.
Reverse Show/Hide		숨긴 요소와 그렇지 않은 요소를 바꾼다.

