

Block-Out된 암거의 구조안전성 검토 사례 연구

A Case Study on the Structural Safety Assessment of Box Construction with Opening

은충기·채원규·김광일*·손영현**·홍성욱***

신구대학 토목과·*한양대학교 토목과·**(주)CSM엔지니어링·***한림정보산업대학 토목과

1. 서 론

최근 기존 암거구조물에 하수관로 등 추가적인 관로의 설치에 의해 암거 구조물이 손상을 입는 경우가 종종 발생되고 있으나, 현장여건상 이에 대한 구조적 안전성의 검토가 미비한 채 시공이 이루어지는 경우가 많다. 이에 본 연구에서는 기존 암거의 상단부에 흙관이 관통하였을 경우 block-out된 암거구조물의 구조적 거동을 검토하기 위하여, 암거구조물의 손상 인접부위의 종방향 및 횡방향 휨모멘트를 구조해석에 의해 산출하고, 이들 구조해석 결과에 의해 block-out된 암거의 손상 인접부위에 대한 구조안전성 검토를 수행하였다.

현장에서 손상된 암거구조물의 안전성이 중요시됨을 감안하면, 본 연구에서 고찰한 block-out된 암거 구조의 안전성 평가 절차는 차후 타 연구가 또는 기술자의 유사 연구 및 안전성 평가 업무에 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

2. 연구방법 및 연구 범위

본 연구에서는 대상구조물을 폭 2.12 m, 높이 1.82 m의 암거로 하였으며, 대상구조물의 상단부에 $\phi 300$ mm 크기의 흙관이 관통하였을 경우, block-out된 인접부위의 종방향 및 횡방향 휨모멘트를 구조해석에 의해 산출하여 암거의 안전성을 검토하였다.

block-out된 기존 암거의 구조해석시 block-out된 부분의 크기를 벽체의 경우 50cm×50cm, 슬래브의 경우 10cm×20cm로 하였으며, 기존 암거의 제원 및 재료적 특성치는 설계조건을 그대로 적용하였다.

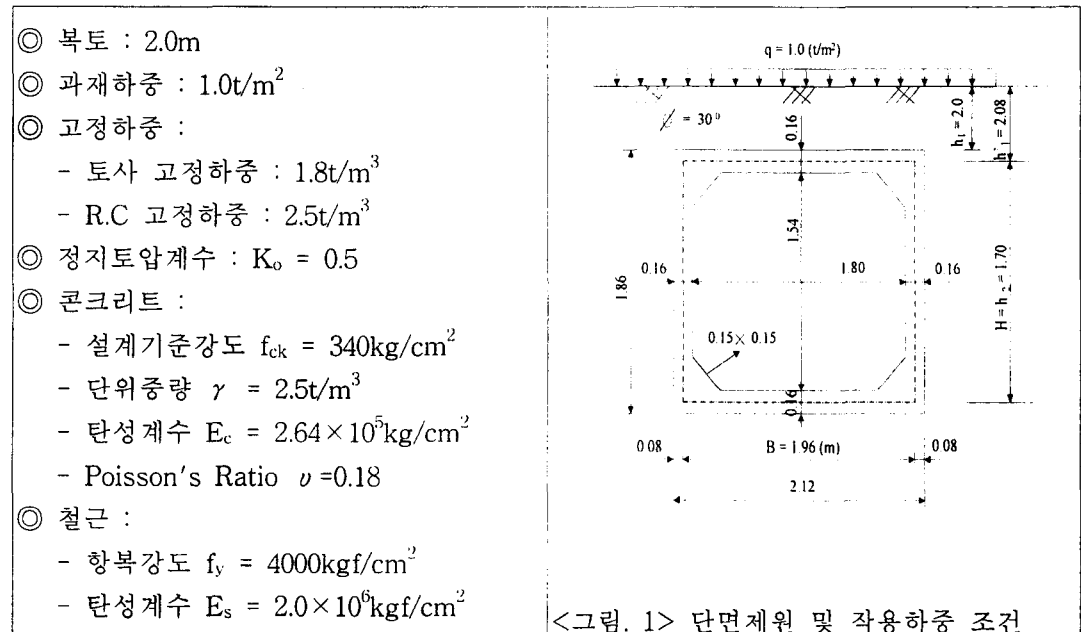
본 연구에서는 대상구조물을 3차원 입체 모델로 모델링하여 구조해석을 수행하였으며, 대상구조물이 콘크리트 구조물임을 감안하여 강도설계법에 의해 block-out 인접부의 극한강도와 설계강도를 비교함으로써 구조안전성을 검토하였다.

한편 본 연구에서는 전술한 block-out된 부분의 크기의 변화, 기존 암거의 제원 및 재료적 물성치의 불일치, block-out된 부분 이외의 부분에 대한 구조물의 손상 등에 대한 고려는 본 연구의 범위에 포함하지 않았다.

2. 구조해석

2.1 기본조건

본 연구에서는 기존 암거에 대한 구조해석 및 안전성 검토를 수행하기 위하여 다음과 같이 조사된 재료의 성질 및 하중조건, 해석방법 등을 기본조건으로 사용하였다. 한편 구조해석 모델은 3차원 입체구조로 모델링 하여 SAP 2000 Nonlinear 프로그램을 사용하여 해석하였다. 단면제원 및 작용하중 조건은 <그림. 1>과 같다.



2. 2. 하중 계산

(1) 암거자중

프로그램상에서 자동계산

(2) 상부 슬래브에 작용하는 하중 (W_1)

1) 과재하중(Surcharge) (q)

$$q = 1.0\text{t/m}^2$$

2) 복토하중 (γ_s)

$$\gamma_s = 1.8 \times 2.0 = 3.6\text{t/m}^2$$

$$\therefore W_1 = q + \gamma_s = 1.0 + 3.6 = 4.60\text{t/m}^2$$

(3) 벽체에 작용하는 하중 (P_{H1} , P_{H2})¹⁾

$$1) P_{H1} = K_o \times (\gamma \cdot h_1 + q) = 0.5 \times (1.8 \times 2.08 + 1.0) = 2.372t/m^2$$

$$2) P_{H2} = P_{H1} + K_o \cdot \gamma \cdot h_2 = 2.372 + 0.5 \times 1.8 \times 1.70 = 3.902t/m^2$$

3) 벽체의 각 요소에 작용하는 등분포하중(P_{hm})

벽체의 상부에서 하부로의 각 절점의 하중은 다음과 같은 식에 의하여 계산된다.

$$P_{hi} = P_1 + K_o \cdot \gamma \cdot h_i, \quad P_{hm} = (P_{hi} + P_{hi+1}) / 2$$

여기서, i는 상부에서 하부로의 절점번호, m은 상부에서 하부로의 shell번호이다.

이러한 사다리꼴 모양이 하중을 각 shell마다 등분포 하중으로 변환시켜 측벽 상부에서 하부까지 정리하면 <표. 1>과 같다.

<표. 1> 벽체에 작용하는 횡토압

높이 h (m)	등분포하중 ω (t/m)	높이 h (m)	등분포하중 ω (t/m)	높이 h (m)	등분포하중 ω (t/m)
2.13	2.417	2.73	2.957	3.33	3.497
2.23	2.507	2.83	3.047	3.43	3.587
2.33	2.597	2.93	3.137	3.53	3.677
2.43	2.687	3.03	3.227	3.63	3.767
2.53	2.777	3.13	3.317	3.73	3.857
2.63	2.867	3.23	3.407		

(4) 연직방향 지반반력계수 (k_v)²⁾

$$k_v = \frac{1}{30} \cdot \alpha \cdot 28N \cdot \left(\frac{\sqrt{Av}}{30}\right)^{-3/4} = \frac{1}{30} \times 1 \times 28 \times 30 \times \left(\frac{\sqrt{212 \times 100}}{30}\right)^{-3/4} = 8.563kgf/cm^3$$

하나의 shell 크기를 0.1m×0.1 m로 모델링하였으므로 지반반력계수를 환산하면 다음과 같다.

$$k_v = 8563t/m^3 \times 0.1m \times 0.1m = 85.63t/mk_{v1} = k_v = 85.63t/m$$

$$k_{v2} = \frac{k_v}{2} = \frac{85.63}{2} = 42.815t/m, \quad k_{v3} = \frac{k_v}{4} = \frac{85.63}{4} = 21.4075t/m$$

여기서, k_{v1} , k_{v2} , k_{v3} 은 각각 4번, 2번, 1번 중첩이 되는 shell의 지반반력계수 이다.

2. 3. 하중종류 및 하중조합

본 연구에서 암거해석시 사용한 하중종류와 하중조합은 다음의 <표. 2>와 <표. 3>과 같다.³⁾

<표. 2> 하중종류

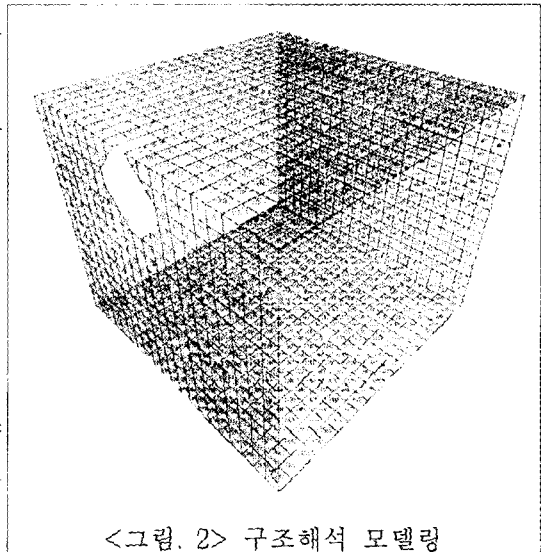
하 중 종 류	종 류	Load Case
D (고정하중)	암거자중	L.C 1
W (활하중)	상부 슬래브에 걸리는 하중	L.C 2
H (토압)	횡토압	L.C 3

<표. 3> 하중조합

Load Case	D	W	H	비 고
	1	2	3	
COMB 1	1.0			
COMB 2		1.0		
COMB 3			1.0	
COMB 4	1.3	2.15	1.7	전토압
COMB 5	1.0	2.15	0.65	반토압

2. 4. 모델링

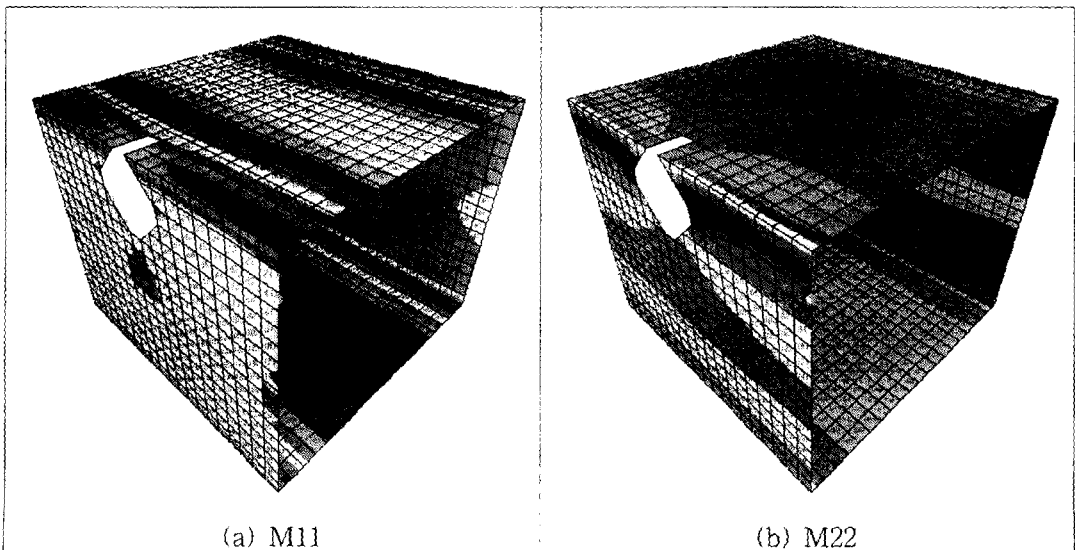
본 연구에서는 구조해석시 대상 구조물인 block-out된 암거를 <그림 2>와 같이 3차원으로 형상화하여 shell요소와 절점요소로 모델링 하였다.⁴⁾



3. 구조해석 결과

3. 1. 단면력도

구조해석결과 전토압 작용시의 횡방향 휨모멘트도(M11)와 종방향 휨모멘트도(M22)를 <그림. 3>에 나타내었다.



<그림. 3> 전토압 작용시(COMB 4)의 휨모멘트도

3. 2. 구조안전성 검토

(1) 벽체 개구부의 횡방향 휨모멘트에 대한 검토^{5),6)}

$$M_u = 2.89t \cdot m, f_{ck} = 340kgf/cm^2, f_y = 4000kgf/cm^2$$

$$b = 100cm, h = 16cm, d = 11cm, A_s = H16@17.23cm = 1.986 \times 100/17.23 = 11.53cm^2$$

$$\beta_1 = 0.85 - 0.007 \times [(f_{ck} - 280)/10] = 0.81$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{11.53}{(100 \times 11)} = 0.0105$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \times [0.85 \beta_1 \frac{f_{ck}}{f_y} \frac{6000}{6000 + f_y}] = 0.75 \times [0.85 \times 0.81 \times \frac{340}{4000} \times \frac{6000}{6000 + 4000}] = 0.0263$$

$\therefore \rho_{\max} = 0.0263 > \rho = 0.0105$ \therefore 단철근보로 해석

$$\rho_{\min} = 0.8 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_y} = 0.8 \times \frac{\sqrt{340}}{4000} = 0.0037, \frac{14}{f_y} = \frac{14}{4000} = 0.0035$$

$\therefore (\rho_{\max} = 0.0263) > (\rho = 0.0105) > (\rho_{\min} = 0.0035)$

\therefore 철근의 항복에 의한 파괴

$$a = A_s \cdot \frac{f_y}{0.85 f_{ck} b} = 11.53 \times \frac{4000}{0.85 \times 340 \times 100} = 1.60cm$$

$$M_d = \psi M_n = \psi A_s \cdot f_y (d - \frac{a}{2}) = 0.85 \times 11.53 \times 4000 \times (11 - \frac{1.60}{2}) = 399860kgfcm = 4.00t \cdot m$$

$\therefore M_u = 2.89t \cdot m < M_d = 4.00t \cdot m \therefore O.K$

(2) 벽체 개구부의 종방향 휨모멘트에 대한 검토^{5),6)}

$$M_u = 0.24t \cdot m, f_{ck} = 340kgf/cm^2, f_y = 4000kgf/cm^2$$

$$b = 100cm, h = 16cm, d = 11cm, A_s = H13@24.56cm = 1.267 \times 100/24.56 = 5.16cm^2$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{5.16}{(100 \times 11)} = 0.0047$$

$\therefore \rho_{\max} = 0.0263 > \rho = 0.0047$ \therefore 단철근보로 해석

$\therefore (\rho_{\max} = 0.0263) > (\rho = 0.0047) > (\rho_{\min} = 0.0035)$

\therefore 철근의 항복에 의한 파괴

$$a = A_s \cdot \frac{f_y}{0.85 f_{ck} b} = 5.16 \times \frac{4000}{0.85 \times 340 \times 100} = 0.71cm$$

$$M_d = \psi M_n = \psi A_s \cdot f_y (d - \frac{a}{2}) = 0.85 \times 5.16 \times 4000 \times (11 - \frac{0.71}{2}) = 186756kgfcm = 1.87t \cdot m$$

$\therefore M_u = 0.24t \cdot m < M_d = 1.87t \cdot m \therefore O.K$

4. 구조안전성 검토 결과 및 고찰

본 연구에서는 block-out된 기존 암거에 대한 구조해석 결과에서 산출된 block-out 인접부의 최대 극한 휨모멘트를 설계 휨모멘트와 비교함으로써 강도설계법으로 block-out 인접부의 구조안전성을 검토하였으며, 그 결과를 <표. 4>에 정리하여 나타내었다.

<표. 4> 강도설계법에 의한 block-out 인접부의 구조안전성 검토결과

	방 향	shell 번호	최대 극한 휨모멘트 [t·m]	Load Case	설계 휨모멘트 [t·m]	안전성 검 토
벽 체	횡방향	51	2.92	COMB 4	4.00	O.K
	중방향	31	0.24	COMB 4	1.87	O.K

앞의 <표 4-1>의 결과에서 기존 P.C 암거의 block-out 인접부의 최대극한휨모멘트는 횡방향 휨모멘트의 경우 2.92 t·m로서 설계휨모멘트인 4.00 t·m의 약 73%에 해당하여 block-out 인접부가 구조적 안전성을 확보하고 있음을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 block-out된 기존 암거에 대한 구조안전성을 평가하기 위하여 일련의 구조해석 및 강도설계법에 의한 안전성 검토를 수행하였으며, 그 결과 block-out 인접부 벽체의 경우 횡방향 최대 극한 휨모멘트가 설계 휨모멘트의 약 73%에 해당하여 block-out 인접부가 구조적 안전성을 확보하고 있음을 알 수 있었다.

그러나 기존 암거의 block-out 인접부는 응력이 집중될 수 있는 부분으로 block-out 시 발생한 손상의 진전을 방지하기 위하여 block-out 인접부에 대한 콘크리트 채움 및 탄소섬유에 의한 강도증진 등의 대책이 필요하며, 아울러 기존 암거의 안전성을 확보하기 위해서는 block-out 인접부에 대한 정기적인 점검이 필요하다.

참고문헌

1. 건설교통부, "콘크리트표준시방서", 1999, pp.29~30.
2. 건설교통부, "도로교표준시방서", 1996, pp.631~633.
3. 건설교통부, "콘크리트구조설계기준", 1999, pp.38~40.
4. Computer & Structures Inc., "SAP 2000 Nonlinear Structural Analysis User Manual", 1999.
5. 건설교통부, "도로교표준시방서", 1996, pp.25~28.
6. 건설교통부, "콘크리트구조설계기준", 1999, pp.41~44.