

연결통로 구조물의 안전성 평가 사례 연구

은충기·채원규·김광일*·손영현**·홍성욱***

신구대학 토목과·*한양대학교 토목과·**현대건설 기술연구소·***한림정보산업대학 토목과

1. 서론

본 연구에서는 롤러로 지지된 슬래브 구조물인 연결통로 구조물에 대한 구조해석을 수행하여, 고정하중(사하중)과 활하중 작용시 대상구조물에 발생하는 최대 변위 및 최대 단면력을 해석하였으며, 극한강도설계법에 의하여 극한강도 및 설계강도를 비교·검토함으로써 대상 연결통로 구조물의 안전성을 평가하였다.

구조해석시 대상구조물을 3차원 뼈대 요소 및 shell 요소로 형상화하여 모델링하였으며, 현재 가장 널리 사용되고 있는 범용 구조해석 프로그램인 SAP 2000 Nonlinear에 의해 구조해석을 수행하였다.

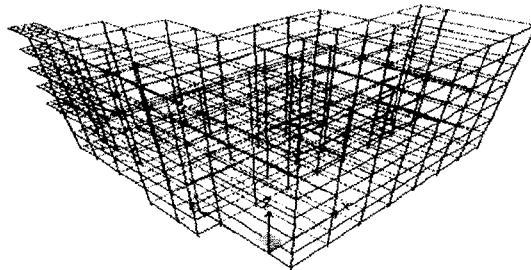
2. 구조해석 모델

2. 1. 모델링

대상구조물에 대한 구조해석시 대상구조물을 총 597개의 절점과 939개의 부재번호 398개의 shell 요소로 모델링 하였으며, 지하 층의 기초들은 고정지점으로 지점조건을 형상화하였다. 또한 연결통로의 이음부분은 현장여건을 감안하여 수직방향(구조해석 모델링의 Z축)의 변위만을 구속하였다.

구조해석에 대한 모델링시 절점의 위치, 부재의 단면특성 및 지점조건은 최대한 설계도서를 참고하였으며, 일부 정밀한 조사가 필요한 부분은 현장에서 실측한 자료를 토대로 하였다.

대상구조물에 대한 본 구조해석 모델링은 <그림 1>에 나타내었다.



<그림 1> 구조해석 모델링

2. 2. 지점조건

대상구조물의 구조해석시 총 597개의 절점 중, 지하 2층(일부 구역은 지하 1층)의 기초들을 고정지점으로 하였으며, 연결통로의 이음부는 수직방향의 변위만을 구속하였다.

지점조건을 정리하면 <표 1>과 같다.

<표 1> 지점조건

절점번호	지점조건 (고정=1, 자유=0)					
	F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z
지하 기초	1	1	1	1	1	1
연결통로 이음부	0	0	1	0	0	0

2. 3. 단면특성

본 과업에서는 대상구조물의 구조해석시 사용되는 단면특성은 설계도서의 값을 참고하였으며, 연결통로 부분은 설계도서가 미흡하여 실측한 단면의 제원을 사용하여 산정하였다. 대상구조물의 대표적인 단면의 단면특성을 정리하면 <표 2>와 같다.

<표 2> 단면특성

단면특성 번호	H [m]	B [m]	A [m ²]	J [m ⁴]	I ₃₃ [m ⁴]	I ₂₂ [m ⁴]	As [m ²]
F1 (girder)	0.75	0.25	0.1875	3.087E-3	8.789E-3	9.766E-4	0.1563
F6 (girder)	0.12	0.25	0.03	1.006E-4	3.600E-05	1.563E-04	0.025
C1 (column)	0.45	0.25	0.1125	1.530E-3	1.898E-3	5.859E-04	0.0938
C11(column)	0.75	0.45	0.3375	0.0143	0.0158	5.695E-3	0.2813
CH1 (column)	0.25	0.45	0.1125	1.530E-3	5.859E-4	1.898E-3	0.0938
CH10 (column)	0.4	0.75	0.3	0.0107	4.000E-3	0.0141	0.25

[참고 : 여기서, B, H는 각각 직사각형 단면의 폭과 높이, A는 단면적, J은 비틀림상수, I₃₃과 I₂₂는 각각 3축과 2축에 대한 단면 2차모멘트, As는 전단력 면적을 나타낸다.]

3. 하중조건

본 과업에서는 대상구조물의 구조해석시 고정하중(사하중)과, 실험실 하중, 복도 하중, 옥상하중, 기계실하중 등의 활하중을 하중으로 재하시켰으며, 이들 하중이 조합되어 작용될 때의 대상구조물의 구조부재에 발생하는 단면력을 산출하였다.

3. 1. 고정하중

대상구조물의 고정하중(dead load)은 3가지로 나누어 재하하였다. 즉, 슬래브, 보 및 기둥의 고정하중은 구조계산시 자동적으로 계산하였으며(하중경우 1), 하중경우 1에서 슬래브와 보의 교차된 고정하중은 별도로 감소시켰으며(하중경우 2), 연결통로 이음부에 있는 조적식 기둥과 보의 고정하중을 재하하였다(하중경우 3).

3. 2. 활하중

대상구조물에 작용되는 활하중(live load)은 건설교통부의 건축구조설계기준에 의하면 학교의 교실과 복도의 경우 각각 250 kg/m^2 , 일반 실험실의 경우 300 kg/m^2 , 중량물이 있는 실험실의 경우 각각 500 kg/m^2 , 건물옥상의 경우 200 kg/m^2 의 하중을 재하하도록 규정되어 있다.

본 연구에서는 대상구조물에 작용되는 활하중을 건설교통부의 건축구조설계기준에 맞게 재하하였다(하중경우 4).

3. 3. 하중조합

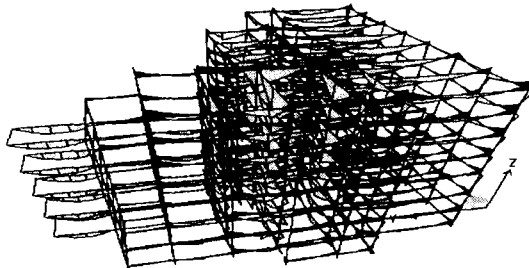
본 과업에서는 대상구조물의 구조해석시 건축구조설계기준에서 사용하고 있는 하중조합계수를 이용하여 다음과 같이 하중경우를 조합하여 구조부재에 발생될 수 있는 최대 단면력을 계산하였다.

- 1) Load Case 1 (L.C 1) : 고정하중
- 2) Load Case 2 (L.C 2) : 고정하중(슬래브와 빔의 중복 하중)
- 3) Load Case 3 (L.C 3) : 고정하중(연결통로 이음부의 조적식 기둥의 고정하중)
- 4) Load Case 4 (L.C 4) : 활하중(실험실 하중, 복도 하중, 기계실하중, 옥상하중 등)
- 5) Load Combination 1 (COMB 1) : L.C 1 + L.C 2 + L.C 3
- 6) Load Combination 2 (COMB 2) : $1.3 \times \text{L.C 4}$
- 7) Load Combination 3 (COMB 3) : $1.4 \times \text{COMB 1} + 1.7 \times \text{COMB 2}$

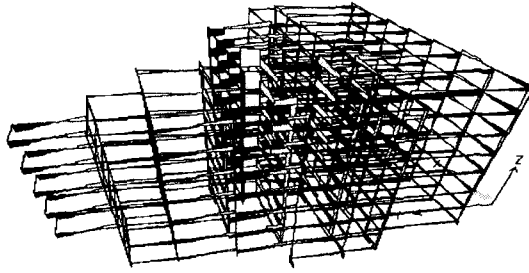
4. 구조해석 결과

4. 1. 단면력도

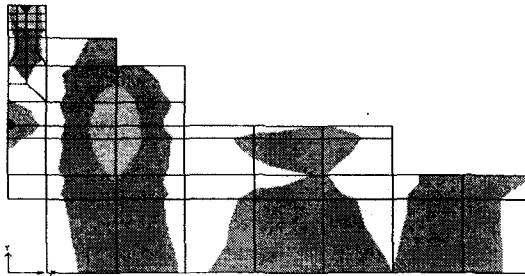
Ⅱ장의 모델링에 Ⅲ장의 하중조건을 재하하여 구조해석을 수행한 결과 중 하중조합 경우 3(COMB 3)의 휨모멘트도, 전단력도, 및 슬래브의 응력도를 나타내면 <그림 2>~<그림 4>와 같다.



<그림 2> COMB 3의 휨모멘트도



<그림 3> COMB 3의 전단력도



<그림 4> COMB 3의 슬래브 횡방향 응력도(Sy)

4. 2. 부재별 최대 단면력

본 연구에서 수행한 대상구조물의 구조해석 결과 중 연결통로 슬래브 구조물에 대한 빔요소의 최대 수직변위, 최대 휨 모멘트, 최대 전단력 및 슬래브 요소의 최대 휨 모멘트, 최대 전단력을 정리하여 나타내면 <표 3>과 같다.

<표 3> 연결통로 슬래브 구조물의 부재별 최대 단면력

단면종류	보						슬래브					
	최대 수직 변위 [mm]		최대 휨모멘트 [T·m]		최대 전단력 [Ton]		X방향 최대 휨모멘트 [T·m]		Y방향 최대 휨모멘트 [T·m]		최대 전단력 [Ton]	
	작용 절점 번호	최대 수직 변위	작용 부재 번호	최대 휨모멘트	작용 부재 번호	최대 전단력	작용 shell 번호	최대 휨모멘트	작용 shell 번호	최대 휨모멘트	작용 부재 번호	최대 전단력
1	375	-2.74	1002	5.76	1001	4.63	449	0.22	441	0.51	418	2.44
2	375	-0.51	1002	0.92	938	0.66	424	0.08	445	0.13	418	0.22
3	375	-4.70	1002	9.62	1001	7.60	424	0.44	441	0.92	418	3.76

5. 안전성 검토

본 연구에서는 II장~IV장의 대상구조물의 구조해석 결과를 이용하여 롤러로 지지된 연결통로 슬래브 구조물의 안전성을 검토하였다.

구조물의 안전성 검토시, 대상구조물이 철근콘크리트 구조임을 감안하여 극한강도설계법을 적용하였으며, 롤러로 지지된 연결통로 슬래브 구조물의 보 부재와 슬래브 부재에 최대 발생될 수 있는 극한강도(ultimate strength : 극한 휨모멘트, 극한 전단력)를 계산하여 각각의 설계강도(design strength : 설계 휨모멘트, 설계 전단력)와 비교, 검토하였다.

한편 본 연구에서는 구조물에 대한 안전성 검토시, 철근량 및 부재제원은 설계도서에 준하였으며, 콘크리트 및 철근의 재료적 물성값은 일반적인 값을 사용하였다.

5. 1. 휨강도에 대한 안전성 검토

1) 연결통로의 보 부재의 휨 모멘트에 대한 안전성 검토

◦ 극한 휨모멘트 : $M_u = 9.62 \text{ T} \cdot \text{m}$ (1002 부재)

◦ 설계 휨강도 :

· 등가직사각형 깊이

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f_{ck} \times b} = \frac{5.730 \times 3000}{0.85 \times 240 \times 25} = 3.371 \text{ cm}$$

· $M_d = \varphi \times M_n = \varphi \times A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2})$

$$= 0.85 \times 5.730 \times 3000 \times (70.0 - \frac{3.371}{2})$$

$$= 998177.3 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$= 9.982 \text{ T} \cdot \text{m}$$

◦ 안전성 검토

· $M_d = 9.98 \text{ T} \cdot \text{m} > M_u = 9.62 \text{ T} \cdot \text{m}$

∴ 안전

2) 연결통로의 슬래브 부재의 X방향 휨 모멘트에 대한 안전성 검토

◦ 극한 휨모멘트 : $M_u = 0.44 \text{ T} \cdot \text{m}$ (424 shell 부재)

◦ 설계 휨강도 :

· 등가직사각형 깊이

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f_{ck} \times b} = \frac{4.755 \times 3000}{0.85 \times 240 \times 100} = 0.699 \text{ cm}$$

· $M_d = \varphi \times M_n = \varphi \times A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2})$

$$= 1.049 \text{ T} \cdot \text{m}$$

◦ 안전성 검토

· $M_d = 1.05 \text{ T} \cdot \text{m} > M_u = 0.44 \text{ T} \cdot \text{m}$

∴ 안전

5. 2. 연결통로의 슬래브 부재의 전단력에 대한 안전성 검토

- 극한 전단력 : $V_{max} = 3.76 \text{ Ton}$ (418 shell 부재)
 $\therefore V_u (= V_{max}) = 3.76 \text{ Ton}$
- 콘크리트의 전단강도 :
 $V_c = 0.53 \times \sqrt{f_{ck}} \times b_w \times d = 0.53 \times \sqrt{240} \times 100 \times 9 = 7389.7 \text{ kg}$
 $= 7.390 \text{ Ton}$
- 스트립의 전단강도 : V_s (생략)
- 설계 전단력 :
 $\cdot V_d = \phi \times V_n = \phi \times (V_c + V_s) = 0.8 \times 7.390 = 5.912 \text{ Ton}$
- 안전성 검토
 $\cdot V_d = 5.91 \text{ Ton} > V_u = 3.76 \text{ Ton} \therefore$ 안전

6. 결 론

고정하중, 활하중 등이 작용된 대상구조물의 구조해석 결과를 이용하여 극한강도 설계법에 의해 롤러로 지지된 연결통로 부재에 대한 안전성을 검토한 결과를 정리하면 <표 4>와 같다.

<표 4> 롤러로 지지된 연결통로의 안전성 검토 결과

안전성 검토 사항	부재의 종류	적용부재	설계강도	극한강도	안전성 검토 결과
휨강도	보 부재	1002	$M_d = 9.98 \text{ T} \cdot \text{m}$	$M_u = 9.62 \text{ T} \cdot \text{m}$	O.K
	슬래브 부재(Mx)	424	$M_d = 1.05 \text{ T} \cdot \text{m}$	$M_u = 0.44 \text{ T} \cdot \text{m}$	O.K
	슬래브 부재(My)	441	$M_d = 1.70 \text{ T} \cdot \text{m}$	$M_u = 0.92 \text{ T} \cdot \text{m}$	O.K
전단강도	보 부재	1001	$V_d = 11.49 \text{ Ton}$	$V_u = 7.60 \text{ Ton}$	O.K
	슬래브 부재	418	$V_d = 5.91 \text{ Ton}$	$V_u = 3.76 \text{ Ton}$	O.K

<표 4>의 롤러로 지지된 연결통로 구조물의 안전성 검토 결과에서, 휨강도에 대한 안전성 검토 결과, 보 부재 및 슬래브 부재 모두 설계 휨모멘트가 극한 휨모멘트보다 크게 나타나 본 연구의 대상구조물은 휨 모멘트에 대한 안전성을 보유하고 있는 것을 알 수 있었다.

또한 전단력에 의한 전단강도의 안전성 검토 결과에서도 보 부재 및 슬래브 부재 모두 설계전단력이 극한전단력을 크게 상회하고 있어서 전단에 대한 안전성도 보유하고 있음을 알 수 있었다.

. 참고문헌

1. 건설교통부, 《건축구조설계기준》, 1988.
2. 건설교통부, 《콘크리트 구조설계기준》, 1999.

3. 대한토목학회, 《도로교 표준시방서》, 1996.