지하구조물 작업차량 운행에 따른 대책

김종두 | 남광토건(주) 기술개발부 | 02-3433 -7730 | E-mail: kimjd@namkwang.co.kr

1.서론

현재 대부분의건축물은 지하실이 대형화되어 가고 있고, 도심에서는 대형화 · 대심도의지하실을 구축함과 동시에 용도도 다양화되고 있다. 지상건물을 지으려면규모에따라지하실을의무적으로설치하여야하며, 또한일정규모의주차공간도설치해야한다. 이러한상황을충족시키기위해지하구조물은날로대심도대형화하기시작했으며, 최근에는주공간이대부분지하에 있는 건물도 나타나고 있다. 지하공간의 유효한 이용및도심지의재개발등으로지하층은대형화대심도화로발전되고있다. 이처럼공사부지의협소및주공간지하층활용으로인하여땅속깊이건물을축조하여야하는열악한공사환경을가지고공사를진행하고 있으며, 지하구조물을공사자재 적치공간 · 공사작업공간및공사용차량통행구간등으로일정부분을할애하여야 할 정도로 공사환경은 열악하고 그로 인한 균열및심각한구조적인하자가발생할수있다. 본고에서는지하구조물에중량물적재나빈번한공사용차량통행에대한대책방안의하나로 Support을이용한하자발생요인을줄이는방법을제시하고자한다.

2. 차량하중과 주차장 상부 활하중 관계

a) 지하주차장옥외상부고정하중

일반적으로 구조계산서 작성당시 토목레벨 및마감(흙높이 포함)이 정확하게 결정되지 않는 상태에서의 구조계산서는 토목레벨을 가정하여 계산되고 도면에 반영된다. 지하주차장 상부 토목레벨 및 마감이 주변 현황에따라변하고흙높이가주차장중앙부와가장자리의 물매를 잡기 위해서 달라지게 되므로 설계시 흙높이 변동을 정확히 반영하여야 한다. 그 설계하중을 근거로 지하주차장옥외상부에공사용작업차량통행시구조물저항강성을정확히파악할수있다.

[표1] 주차장관련활하중

용도		건축물의부분	개정전	개정후(2000년)
주차장	옥내주차지역	가. 승용차전용	300 kgf/㎡	400 kgf/㎡
		나. 경량트럭및빈버스	500 kgf/㎡	800 kgf/㎡
		다. 총중량 18톤이하, 중량차량용도	1,200 kgf/㎡	1,200 kgf/㎡
	옥내차로와 경사로	가. 승용차전용	300 kgf/㎡	600 kgf/㎡
		나. 경량트럭및빈버스	500 kgf/㎡	1,000 kgf/㎡
		다. 총중량18톤이하, 중량차량용도	1,200 kgf/㎡	1,600 kgf/㎡
	옥 외	가. 승용차,경량트럭및빈버스용도	1,200 kgf/㎡	1,200 kgf/㎡
		나. 총중량 18톤 이하의트럭용도	-	1,600 kgf/㎡

b) 공사용차량총중량에따른등분포활하중

여기에제시한산정식과차종의총중량을 등분포활하중으로 산정하여 공사현장에서 차량통행 가능여부를쉽게판단할수있도록하고자함에있으며, 현장에서정확한판단이어려운경우는구조검토가필요하다.

가) 차량 총중량에 따른 등분포 활하중 산정식

- 옥내주차구역(충격계수적용하지않음)

$$w = \frac{\frac{0.4}{1.8}W}{(1.8m \times 1.8m)} = 0.07 \times W \text{ ----------(식1)}$$

where, W = 차량총중량(ton)

w = 등분포활하중

- 옥외주차구역/ 옥내차로(충격계수 30%고려)

예) 총중량 26.3tf 레미콘차량

$$w = (1+0.3)\frac{\frac{0.4}{1.8}W}{(1.8m \times 1.8m)} = 0.09 \times W \text{ ----------(식2)}$$

$$= (1+0.3)\frac{\frac{0.4}{1.8}W}{(1.8m \times 1.8m)} = 2.4\ tf/m^2$$

where, W = 차량총중량(ton)

w = 등분포활하중

2)현장의차량동선파악

현장의 작업공간이 협소하여 지하구조물의 지붕을 차량 통행구간으로 일부 활용해야 하므로 현장의 차량동선을 파악하고 동선의 최소화로 구조물 안정성 및보강SUPPORT을절감할수있다.

나) 차량 총중량에 따른 등분포 활하중 산정표

[표2] 차량등분포활하중산정표

명 칭	차체중량	적재중량	총중량	등분포활하중(tf/㎡) 옥내주차구역 (충격계수적용하지않음)	등분포활하중(tf/㎡) 옥내차로/옥외주차구역 (충격계수 30%적용)
지게차	3.49 tf	2.0 tf	5.49 tf	0.38 tf/㎡	0.5 tf/㎡
	8.35 tf	5.0 tf	13.35 tf	0.92 tf/㎡	1.2 tf/㎡
대형화학차	-	-	16 tf	1.1 tf/㎡	1.5 tf/㎡
레미콘	11.9 tf	14.4 tf	26.3 tf	1.8 tf/㎡	2.4 tf/㎡
덤프트럭	11.3 tf	15.0 tf	26.4 tf	1.8 tf/㎡	2.4 tf/㎡
고성능화학차	-	-	30 tf	2.1 tf/m2	2.7 tf/㎡
고가사다리차	-	-	32 tf	2.2 tf/㎡	2.9 tf/㎡
Hydro Crane	24.5 tf	25 tf(최대양중)	-	· 이동시차체중량만적용	
	38.7 tf	25 tf(최대양중)	-	· 작업시Outrigger 집중하중검토필요	

3. 지하주차장 중량차량 통행에 따른 구조 보강

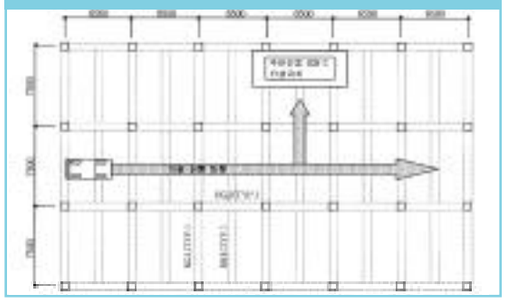
1) 구조검토절차

[표3] 구조검토의절차

흐름도	주요내용
현장공사용차량및차량동선파악	-. 공사용차량종류및차량주요동선파악
지하구조물상부마감및차량하중산정	-. 지하구조물상부마감하중및주요차량하중산정
슬래브및Girder 내력판정	-. 차량Moving Load에의한부재안정성검토
부재내력부족할경우보완대책강구	-. 부재내력에따른부재강성및보강조치를강구
보완대책안정성판단	-. 보완대책의현장적용성판단및수정보완

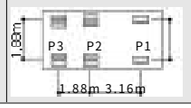
상기표와같은흐름으로공사용차량운행에대한지하구조물안정성을실례를들어검토해보고자한다.

[그림1] 차량동선및레미콘타설위치



3) 지하구조물상부마감하중산정및차량하중산정

[표4] 상부슬래브마감산정표

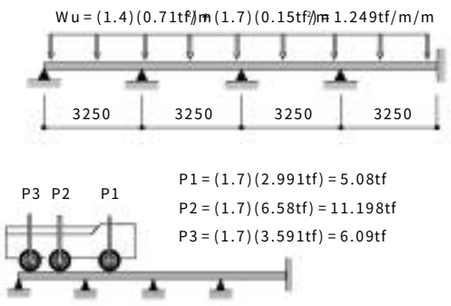
분류	상부마감	마감두께(mm)	단위중량(tf/㎥)	하중(kgf/㎡)
고정하중	방수및보호몰탈	THK = 100mm	2.3 tf/㎥	230 kgf/㎡
	슬래브	THK = 200mm	2.4 tf/㎥	480 kgf/㎡
작업하중	-	-	-	150 kgf/㎡
차량하중	-. 레미콘차륜하중  차체중량: 11.9 tf 차량총중량: 26.3 tf			P1 : 2.99 tf P2 : 6.58 tf P3 : 3.59 tf

4) 슬래브검토

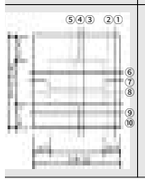
(1) 슬래브 마감 하중 및 차륜하중

슬래브가 1WAY 슬래브이므로 슬래브 분담폭은 1.0M로 가정한다.아래에 도시된 그림과 같이 차륜 접지압에 대한 하중은 집중하중이 작용하는 것으로 가정하여슬래브내력검토를수행하고자한다.

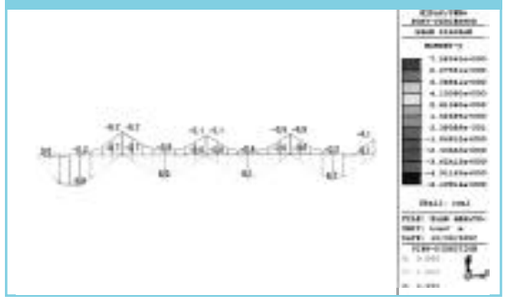
[그림2] 슬래브마감하중및차륜하중도



[표5] 슬래브배근일람표

슬래브배근TYPE	재료강도및두께	단변방향철근	장변방향철근
	CON'C강도 : 240 kgf/㎠ STEEL 강도 :4000 kgf/㎠ 슬래브두께 : THK = 200mm	①HD 16 @ 300 ②HD 16 @ 300 ③HD 13 @ 300 ④HD 13 @ 300 ⑤HD 13 @ 300	⑥HD 13 @ 400 ⑦HD 13 @ 400 ⑧HD 10 @ 400 ⑨HD 10 @ 400 ⑩HD 10 @ 400

[그림3] SLAB ANALYSIS OUTPUT



(2) 슬래브 중앙부 배근 검토

- Mu = 8.0 tm (계수모멘트)

$$- \rho = \frac{0.85 f_{ck}}{f_y}\left(1-\sqrt{1-\frac{2R_N}{0.85 f_{ck}}}\right)$$

$$= \frac{0.85 \times 240}{4000}\left(1-\sqrt{1-\frac{2 \times 30.76}{0.85 \times 240}}\right)$$

= 0.00838

where, $R_N = Mu / \phi bd^2$

= 30.76 kgf/cm²

f_{ck} = 240 kgf/cm²

f_y = 4000 kgf/cm²

- As = ρbd = 0.00834 x 100 x 17 = 14.24 cm²/m

> As = 10.87 cm²/m (기존배근) ∴ N.G

(3) 슬래브 단부 배근 검토

- Mu = 6.2 tm (계수모멘트)

$$- \rho = \frac{0.85 f_{ck}}{f_y}\left(1-\sqrt{1-\frac{2R_N}{0.85 f_{ck}}}\right)$$

$$= \frac{0.85 \times 240}{4000}\left(1-\sqrt{1-\frac{2 \times 23.84}{0.85 \times 240}}\right)$$

= 0.00636

where, $R_N = Mu / \phi bd^2$

= 23.84 kgf/cm²

f_{ck} = 240 kgf/cm²

f_y = 4000 kgf/cm²

- As = ρbd = 0.00636 x 100 x 17 = 10.8 cm²/m < As

= 13.27 cm²/m (기존배근) ∴ o.k

(4) 처짐검토

- 고정하중에의한즉시처짐

$$\sigma_d = K\frac{5M_d l_n^2}{48E_c I_g}$$

$$= 0.85\frac{5 \times 70{,}000 \times 275^2}{48 \times 232{,}379 \times 40{,}971.7}$$

= 0.0493 cm

where, M_d = 0.7 tm/m = 70000 kgf·cm/m

l_n = 2.75 m

$E_c = 15000\sqrt{f_{ck}} = 15000\sqrt{240}$ = 232379 kgf/cm²

$I_g = 100h^3 / 12$ = 100 x 173 / 12 = 40941.7 cm⁴

- 활하중에의한즉시처짐

$$\sigma_l = K\frac{5M_d l_n^2}{48E_c I_g}$$

$$= 0.85\frac{5 \times 410{,}000 \times 275^2}{48 \times 232{,}379 \times 40{,}971.7}$$

= 0.28 cm < l_n / 360 = 275cm / 360 = 0.763cm ∴ o.k

where, M_d = 4.1 tm/m = 410,000 kgf·cm/m

l_n = 2.75 m

$E_c = 15000\sqrt{f_{ck}} = 15000\sqrt{240}$ = 232379 kgf/cm²

$I_g = 100h^3 / 12$ = 100 x 173 / 12 = 40941.7 cm⁴

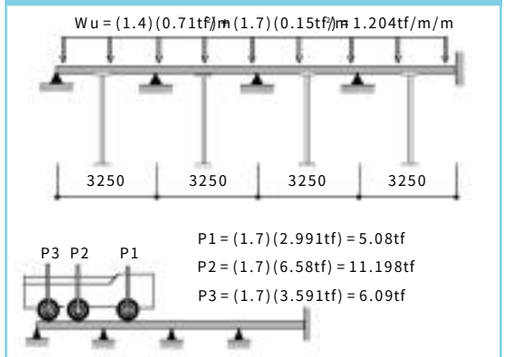
상기(2),(3),(4)와같이 공사용 차량(레미콘) 운행에 대하여 슬래브 내력을 검토한 결과에 의하면 슬래브 중앙부의철근내력이부족하다.

그러므로 이에 대한 보강대책 방법으로 Support를 이용한대책을검토하고자한다.

(5) Jack Support(φ139.8x 2.4t)보강 대책

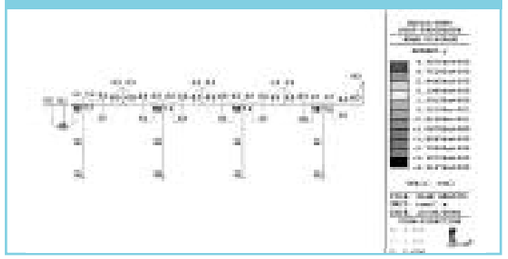
i) 슬래브중앙support 보강

[그림4] Jack support 보강시하중도



ii) Jack Support 설치에따른슬래브계수모멘트 Output

[그림5] SLAB MOMENT OUTPUT



iii) 해석결과정리요약

[표6] Jack Support 설치에따른해석결과요약

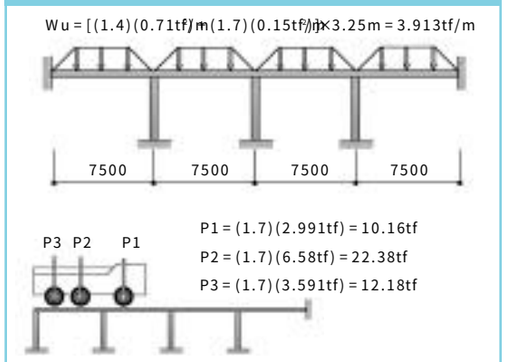
	계수모멘트 (Mu)	철근단면적 (As)	단위중량 (tf/m3)	기존철근단면적 (As)	판정
슬래브 단부	4.6 tm	7.87 cm2/m	2.3 tf/m3	13.3 cm2/m	O.K
슬래브 중앙부	4.3 tm	7.34 cm2/m	2.4 tf/m3	10.87 cm2/m	O.K
처짐	-. 고정하중에의한즉시처짐 $\sigma_d = K\frac{5M_d l_n^2}{48E_c I_g} = 0.85\frac{5 \times 250{,}000 \times 275^2}{48 \times 232{,}379 \times 40{,}971.7}$ = 0.0011cm -. 활하중에 의한 즉시처짐(활하중의 50%은 지속하중으로가정) $\sigma_L = K\frac{5M_d l_n^2}{48E_c I_g} = 0.85\frac{5 \times 30{,}000 \times 275^2}{48 \times 232{,}379 \times 40{,}971.7}$ = 0.044cm -. 장기처짐 $\sigma_c = (\sigma_d + \sigma_L) \times 2 = (0.0011cm + 0.5 \times 0.044cm) \times 2$ = 0.046cm < Ln/240 = 0.57 cm				O.K

5) Girder 검토

큰 보에 작용하는 고정하중 분담폭을 3.25m라고 큰 보 설치방향과 동일방향의 차량운행이 가장 불리하다고가정하였다.

i) 큰보에작용하는하중및배근도

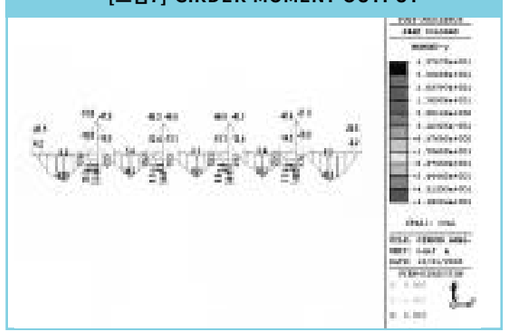
[그림7] GIRDER에작용하는하중도



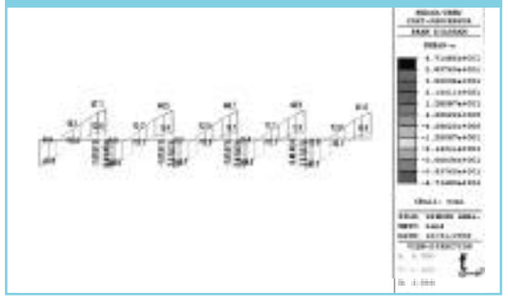
[표7] GIRDER 철근배근

배근현황		부재 SIZE
[단부] 10 - HD 25 HD13 @ 100 4 - HD 25	[중앙부] 4 - HD 25 HD13 @ 200 8 - HD 25	RG1, RB1 500 x 900
[단부] 12 - HD 25 4 - HD13 @ 150 4 - HD 25	[중앙부] 4 - HD 25 4 - HD13 @ 150 12 - HD 25	RG2 500 x 900

[그림7] GIRDER MOMENT OUTPUT



[그림8] GIRDER SHEAR OUTPUT



ii) 큰보중앙부배근검토

- Mu = 43.8 tm (계수모멘트)

- $\rho = \frac{0.85 f_{ck}}{f_y}\left(1-\sqrt{1-\frac{2R_N}{0.85 f_{ck}}}\right)$

  = 0.00357

where, R_N = Mu / ϕbd^2

= 13.79 kgf/cm²

f_{ck} = 240 kgf/cm²

f_y = 4000 kgf/cm²

- As = ρbd = 0.00357 x 50cm x 84 = 15.01 cm²

  < As = 40.56 cm²(기존배근) ∴o.k

iii) 큰보단부배근검토

- Mu = 51.8 tm (계수모멘트)

- $\rho = \frac{0.85 f_{ck}}{f_y}\left(1-\sqrt{1-\frac{2R_N}{0.85 f_{ck}}}\right)$

  = 0.00425

where, R_N = Mu / ϕbd^2

= 16.31 kgf/cm²

f_{ck} = 240 kgf/cm²

f_y = 4000 kgf/cm²

- As = ρbd = 0.00425 x 50cm x 84 = 17.9 cm²

  < As = 50.7 cm²(기존배근) ∴o.k

iv) 전단철근검토

- 계수전단력Vu = 47.1 tf

- 콘크리트전단강도

$\phi Vc = \phi \times 0.53 \times \sqrt{f_{ck}} \times bw \times d$

= 0.85 x 0.53 x $\sqrt{240}$ kgf/cm² x 50cm x 84cm /1000

= 29.3 tf

- 단면적정성검토

$\phi Vs = Vu - \phi Vc$ = 47.1tf-29.3tf

= 17.8 tf

< ϕ0.12 fck bw d = 0.85 x 2.12 x 240 kgf/cm² x 50cm x 84cm

= 117.2 tf ∴보단면이적정함

- 전단철근간격검토

S = ϕAv fy d) / ϕVs

= 0.85 x 2 x 1.27 x 4 x 84 / 17.8

= 40.75 cm < HD13 @ 300 ∴o.k

v) 처짐검토

- 고정하중에의한즉시처짐

$\delta_d = K\frac{5M_d l_n^2}{48E_c I_g}$

$= 0.85\frac{5 \times 1{,}150{,}000 \times 750^2}{48 \times 232{,}379 \times 3{,}037.500}$

= 0.0811cm

where, M_d = 11.5 tm/m = 1,150,000 kgf · cm/m

l_n = 7.5 m

E_c = 15000$\sqrt{f_{ck}}$ = 15000$\sqrt{240}$ = 232,379 kgf/cm²

I_g = bh³ / 12 = 50 x 90³ / 12 = 3.037,500 cm⁴

- 활하중에의한즉시처짐(활하중의 50%는지속하중으로가정)

$\delta_l = K\frac{5M_l l_n^2}{48E_c I_g}$

$= 0.85\frac{5 \times 1{,}900{,}000 \times 750^2}{48 \times 232{,}379 \times 3{,}037.500}$

= 0.134 cm

where, M_l = 19.0 tm/m = 1,900,000 kgf · cm/m

l_n = 7.5 m

E_c = 15000$\sqrt{f_{ck}}$ = 15000$\sqrt{240}$ = 232,379 kgf/cm²

I_g = bh³ / 12 = 50 x 90³ / 12 = 3.037,500 cm⁴

- 장기처짐

$\delta_c = (\delta_d + 0.5\delta_l) \times 2$ = (0.0811cm + 0.5 x 0.134cm) x 2

= 0.296cm < ln/240 = 2.08cm ∴o.k

vi) 주요보내력판정

아래[표8] 참고

4. 결론

지하구조물에차륜의반복적인하중이작용할경우 구조물의 내력저하 및 크랙등의 하자가 발생 진행될 수있으므로구조물의 보강및다른부수적인 보강대책을강구하여야할것으로판단된다.

예를 들은 상기와 같은 구조물에서는 보의처짐 및 내력은 충분하나 슬래브의 내력이 부족하므로 Jack Support에 보강 및 다른 보강대책이 필요하며, 현장 작업 상황을 고려하여 차량통행 구간을 최소화하여 보강구간을줄이는효과를얻을수있을것이다.

[표8] 주요보의내력판정

부재명		계수모멘트	계수전단력	계수철근단면적	기존철근단면적	기존전단력	판 정
RG1	단부	51.8 tf · m	47.1 tf	15.01 cm²	50.7 cm²	101.7 tf	O.K
	중앙부	43.8 tf · m		17.9 cm²	40.56 cm²		O.K
RG2	단부	71.1 tf · m	61.1 tf	24.9 cm²	60.84 cm²	125.8 tf	O.K
	중앙부	65.2 tf · m		22.8 cm²	60.84 cm²		O.K