

제 3 장 재하시험

3.1 개요

재하시험은 본 교량의 차량주행여건을 감안하여 시험경간을 선정, 시행하였다. 시험결과를 구조해석 검토를 수행하여 실 차량에 의한 모멘트와 이온치를 상호 비교검토함으로써 교량의 내하력을 판단하고 이에 따른 교량의 구조적인 안전성 여부를 파악하고자 하였다.

시험측정은 재하자량을 사용하여 교통이 통제된 상태에서 원모멘트에 의한 변형률 및 처짐이 최대가 되는 지점에 재하자량을 재하하여 거리의 정·동적 처짐 및 변형률을 측정하였다.

차량재하 시험에서는 다음을 측정하였다.

- 거리의 처짐, 변형률
- 교량의 진적 및 동적 거동 평가
- 진동 등에 대한 사용성 검토
- 충격하중에 대한 교량의 동적 특성 파악

차량재하시험의 측정 시스템은 다음과 같다.

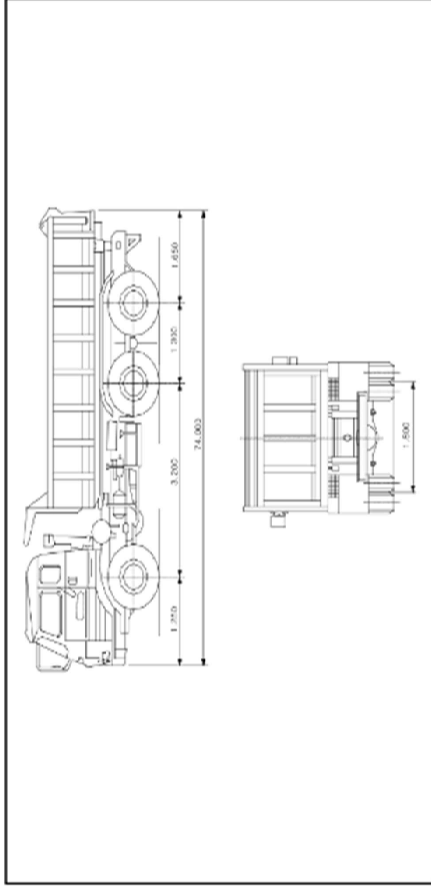


【그림 3.1】 진동, 처짐, 변형률 측정 과정

3.2 재하차량

재하시험에 사용된 시험차량은 15t 덤프트럭으로서 만차상태의 각 차륜하중을 개량소에 서 측정 기록하였다. 사용된 트럭의 제원 및 차륜하중은 다음과 같다.

3.2.1 재하차량



【그림 3.2】 재하차량

3.2.2 재하차량 제원

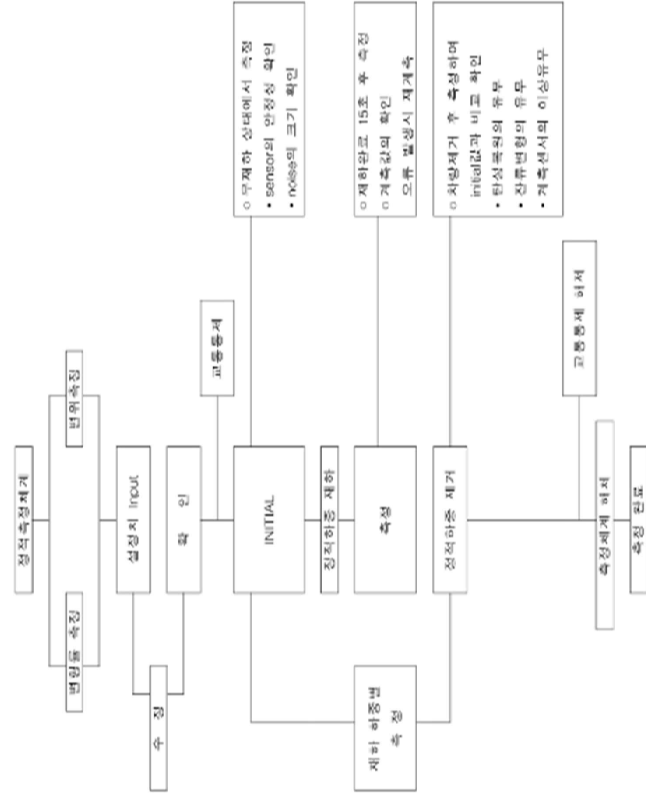
(단위 : m)				
차 종	차축 1과 차축 2간 거리	차축 2와 차축 3간 거리	최우측 거리	
15 TON D/T	3.2	1.3	1.8	
(단위 : ton)				
구 분	앞 바퀴 (1축)	중 간 바퀴 (2축)	뒷 바퀴 (3 축)	비 고
15 TON D/T	3.845	5.200	5.200	총 중량 : 28.490

3.3 정적 재하시험

3.3.1 개요

정적재하시험은 적용외력에 대한 대상교량의 정적기동특성을 파악하고 내하력 평가를 위한 정적변위 및 응력의 응답비 등을 구하기 위해 실시하였다. 시험측정은 재하차량을 사용하여 교동이 동체된 상태에서 횡모멘트에 의한 변형을 및 처짐이 최대가 되는 지점에 재하차량을 재하하여 바닥판의 정적 처짐 및 변형률을 측정하였다. 정적재하 시험에 대한 흐름은 다음과 같다.

3.3.2 정적 재하시험 수행절차



【그림 3.3】 정적 재하시험 흐름도

1) 준비작업

부착된 센서에서 발생한 라드와이어들은 정적 변형을 측정기와 Switch Box에 센서의 종류별로 연결시키며, 측정기는 모두 지반에 진지 시킨다. 또한 라드와이어의 끝에서 지량을 기록한다.

2) 설정지 Input

부착한 센서들의 보정된 계수값과 측정 단위 등을 계측기의 특성에 맞게 입력한다.

3) 확인 : 입력된 설정치의 이상유무를 확인하고 수정한다.

4) Initial : 시험경간에 재하차량을 포함한 횡하중이 일체 재하되지 않은 상태에서 처짐 변형률의 초기값을 측정기에서 설정한다.

5) 측정

시험차량은 최대 정모멘트, 최대처짐 및 변형률, 최대 전단력이 발생할 수 있도록 계획 된 Load Case 별로 변화시켜 가면서 측정한다.

이때, 상부구조의 진동, 소음, 종격 등이 측정결과에 영향을 미칠 수 있으므로 재하차량은 시동을 끈 후 구조제의 응답시간을 고려하여 약 1분 이상의 측정대기 시간을 가진 후 1분 간격으로 2회 정도 측정을 실시한다.

6) 정적하중 제거

측정이 끝나면 시험차량을 측정대상 경간으로부터 벗어나 다음의 재하 경우를 준비한다.

7) 계측값의 확인

2 ~ 3회 획득한 측정자료의 실측 응답값과 실험구조해석 응답값의 경향을 확인한다. 계측값들이 상이하거나, 오류가 발생하였으면 원인을 파악 · 제거한 후 재측정을 한다.

8) 계측완료

계측된 Load Case 경우별 측정을 완료한다.

9) 교통통제 해제

통행차량의 교통통제를 해제한다.

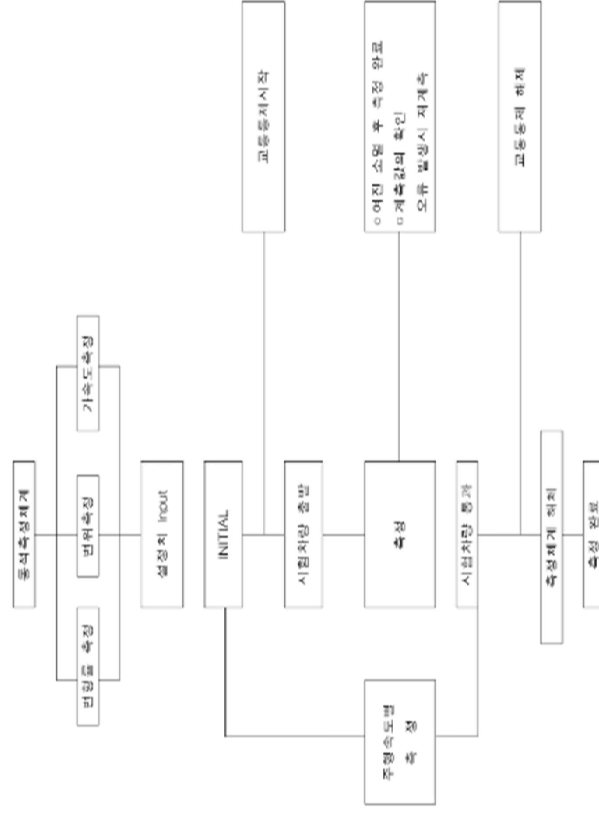
3.4 동적 재하시험

3.4.1 개요

동적 채히시럼은 구조물의 동적 거동을 조사, 예측하기 위한 것으로 교량의 실·혼각계수와 실교량 위 진동수 등의 동적 특성을 측정 기록하여 본 교량의 안전성을 검토하기 위한 기본자료를 구하기 위해 실시하였다.

재하차량의 주행은 주요위치의 등적처짐과 신장을 기록할 수 있는 위치를 주행하며, 측정값의 일정한 패턴을 유지하고자 능숙한 운전자가 운행하도록 하였다. 동적 재하시험은 주행차량에 의한 동적응답을 구하는 시점에서 시점속에서 종점속으로 주행하였으며 주행속도는 10km/hr부터 10km/hr씩 증가하면서 가능한 최고속도까지 속도별로 주행시킴.

3.4.2 동적 재하시험 수행절차



【그림 3.4】 동적 재하시험 흐름도

목차 (1)

각 센서로부터 계측정보까지 연결한 리드와이어들은 동적전비에 연결시키며, 축전기는 모두지반에 정지 시킨다. 또한 리드와이어의 끝에서 저항을 기록한다.

2) 설정지 input

센서의 특성을 동적 계측장비에 맞게 설정 값들을 입력한다.

3) Initial

시공간간에 재하차량을 포함한 활하중이 일체 재하되지 않은 상태에서 차진과 변형률의 초기값을 측정기에서 설정한다.

4) 준비

시원치량의 주행속도를 10K m/h 씩 단계별로 증가하면서 최대속도까지 주행시험을 한다.

단, 점속도로의 선행, 노면상태, 차량통제 현황 등이 허락되지 않을 경우는 예외로 한다.

시험자원이 대실 공간을 완전히 빠져나간 후에도 교량의 자요진동은 계속되므로 어진이 소멸 될 때까지 측정을 계속하고 Computer Hard disk에 저장한다.

5) 시현차량의 주행상화 확인

계속 기술자가 시험자리의 수행 상황을 파악할 수 없을 때는 시험자리에 동승하여 시험자의 행태, 대강 경간의 진행, 문과를 변경하는 등의 조치를 취할 수 있었다.

6) 계속값의 확인

획득한 데이터는 분석 프로그램인 MDS-2000을 이용하여 측정된 계속파형을 파악하여, 획득한 측정자료의 실측 응답값과 선행 구조해석 응답값의 격차를 확인한다. 계속값 등이 산이하거나, 오류가 발생되었으면 원인을 파악·제거하여 재측정을 한다.

7) 공통통제 해제

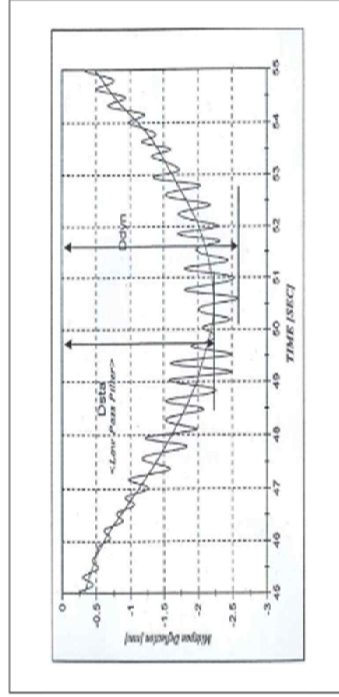
모든 Case의 시험치량 주행 시항을 끝내고 측정 완료되면 교통통제를 해제한다.

3.4.3 실측충격계수 분석

일반적으로 계속된 변형률, 처짐 등을 이용하여 실측충격계수를 분석하고자 할 때 정적제하, 의사 정적(5km/h) 주행시험 등에서 계속된 응답곡선<Dsta(max)>를 정적 응답곡선으로 하여, 속도별로 계속된 동적 응답곡선<Ddyn(max)>과 비교하여 실측충격계수로 산정하는 방법을 이용하였다.

이는 주행시험에서 각 주행속도마다 운전자의 숙달, 습관 등에 의해서 시험차량은 정적제하시험에 이용한 부작 Gauge 상단으로 동일하게 주행하는 것은 어려운 상태이며, 의사정적 주행시에도 노면의 요철 등의 원인으로 대상 교량에 가해지는 충격이 각 속도별로 다르게 나타내고 있는 상태로 이들 정적응답이력곡선이나, 동적응답 이력곡선으로 보아 실측충격계수로 산정 하는 것은 문제점을 내포하고 있는 것으로 판단된다.

그러므로, 이러한 문제점들을 해결하고자 동적주행 시험의 각 속도별의 동적응답 곡선을 Low Pass Filter에 의해서 필터링 한 최대진폭응답<Dsta(max)> 곡선을 기준으로 하여 계속 최대동적응답저<Ddyn(max)>와 비교하여 실측충격계수를 산정하여 대상 교량 안전성 평가에 적용하는데 목적이 있다.



【그림 3.5】 처짐이력곡선

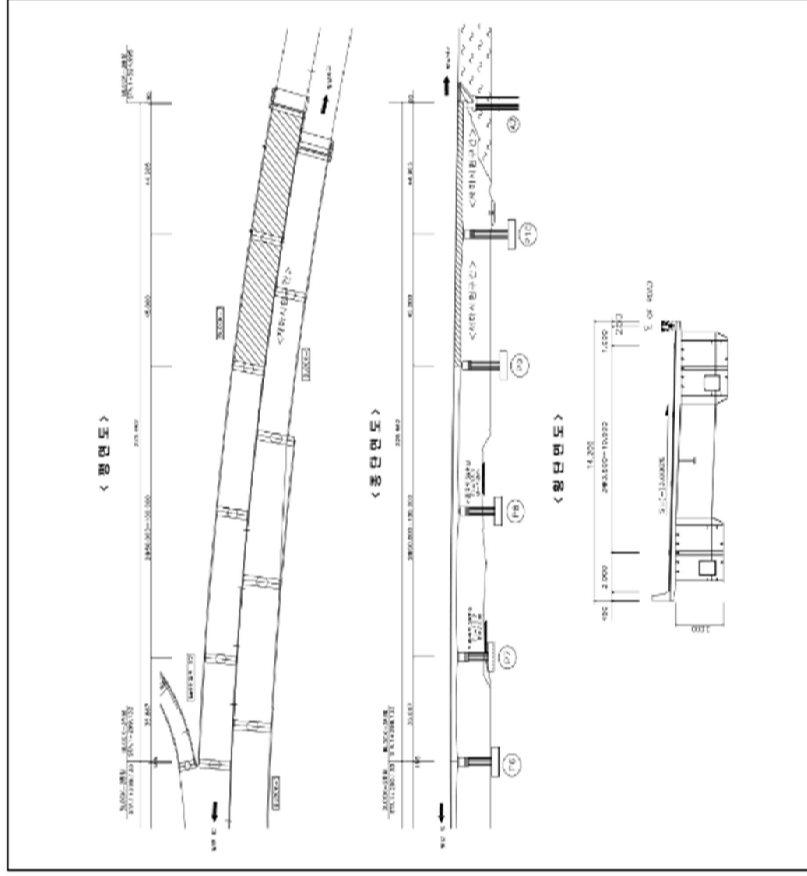
$$\text{동적충격률(Dynamic Load Factor : D.L.F)} = \frac{D_{\text{dyn(Max)}}}{D_{\text{sta(Max)}}$$

$$\text{실측충격계수(Impact Factor), I} = \text{D.L.F} - 1$$

3.5 시험구간 선정

3.5.1 시험구간

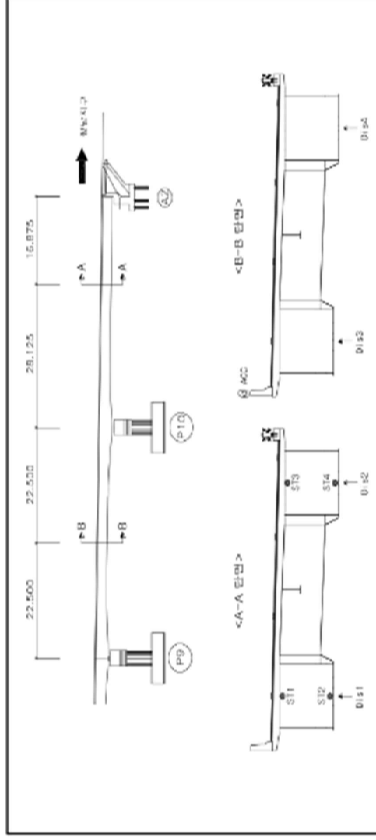
관상 외관조사 및 구조물 형태에 대하여 분석한 결과 최대 모멘트 계속위치는 다음과 같다.



【그림 3.6】 상신육교(발안)C방향) 시험구간 선정

3.5.2 Gauge 설치위치

① Gauge 설치위치도



【그림 3.7】 상신육교(발인)C방향) Gauge 설치위치도

② Gauge 설치위치

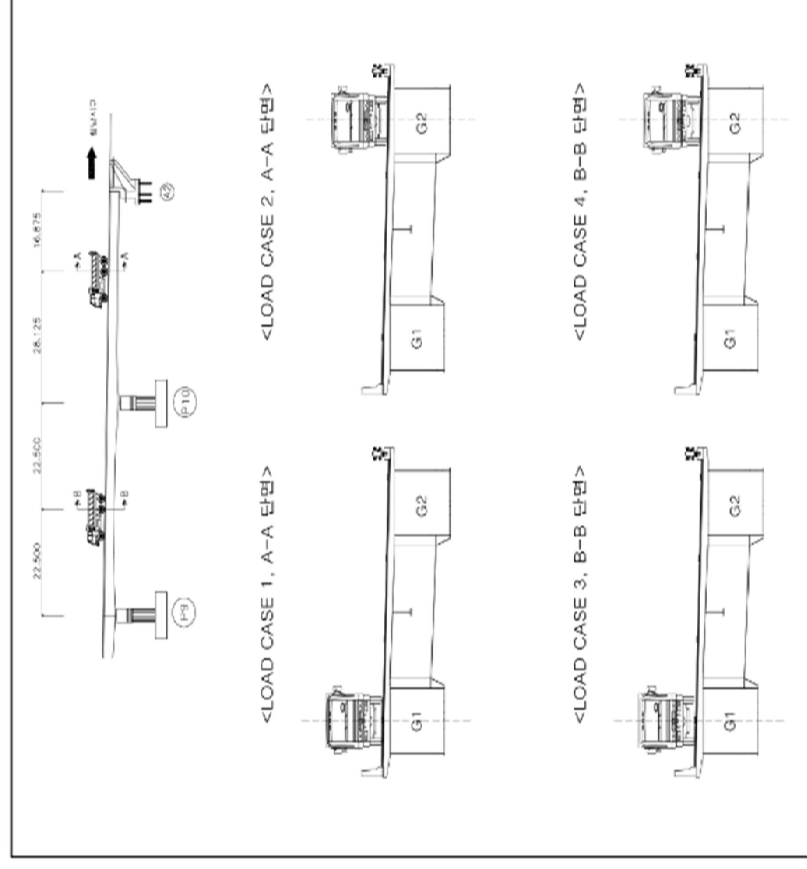
【표 3.1】 Gauge 설치 위치

No	위 치	용 도	비 고
Dis1	Girder1 하부	저 점 계	정착재하시험 동적재하시험
Dis2	Girder2 하부	저 점 계	
S1	G1내부 상부플랜지	강재변형률계이지	
S2	G1내부 하부플랜지	강재변형률계이지	
S3	G2내부 상부플랜지	강재변형률계이지	
S4	G2내부 하부플랜지	강재변형률계이지	
ACC	좌측연석	가속도계	
Dis3	Girder1 하부	저 점 계	
Dis4	Girder2 하부	저 점 계	

3.5.3 Load Case별 재하위치

Load Case별 재하위치는 최대 차장, 모멘트 및 최대전단력이 발생하는 곳에 재하차량을 재하하였으며 각각의 Load Case별 재하시험을 실시하였다.

- Load Case 재하도



【그림 3.8】 상신육교(발인)C방향) Load Case별 재하위치

3.6 재하시험 결과

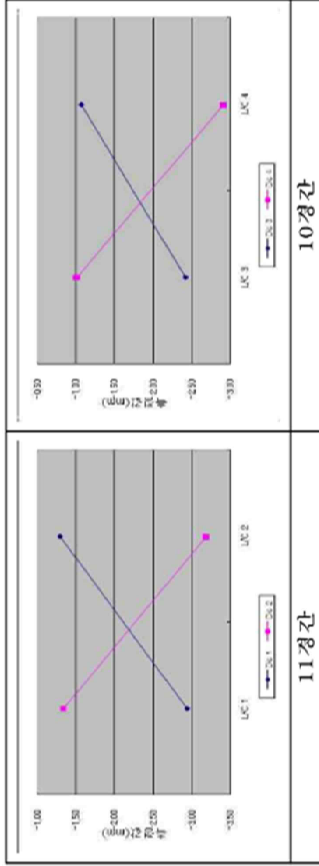
3.6.1 상신육교(발안)C방향) 정적 재하시험 결과

① 처짐(Dis) 측정결과

최대 휨모멘트 발생 하중 재하에 대하여 처짐을 측정한 결과 Dis1의 최대처짐은 -2.945mm의 측정값을 나타내었고, Dis2의 최대처짐은 -3.190mm의 측정값을 나타내었고, Dis3의 최대처짐은 -2.421mm의 측정값을 나타내었고, Dis4의 최대처짐은 -2.916mm의 측정값을 나타내었다. 그 중 L/C-2의 Dis2 위치에서 최대처짐이 -3.190mm가 발생하였다.

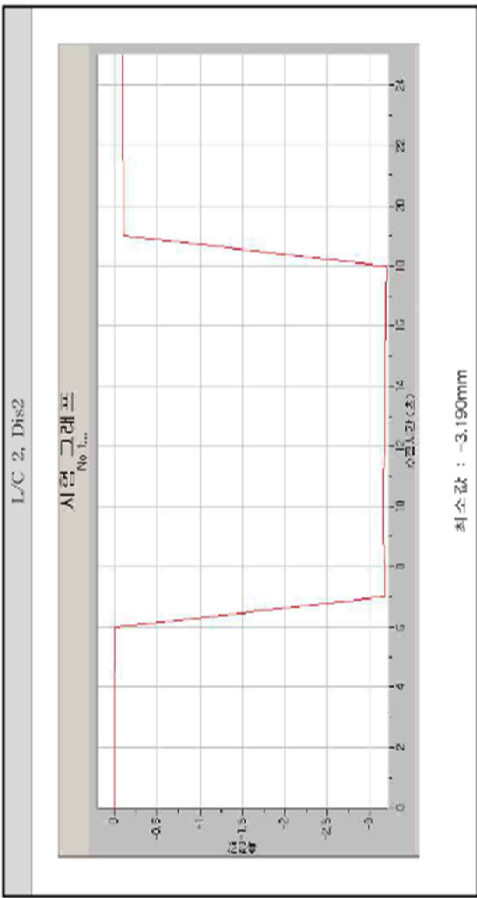
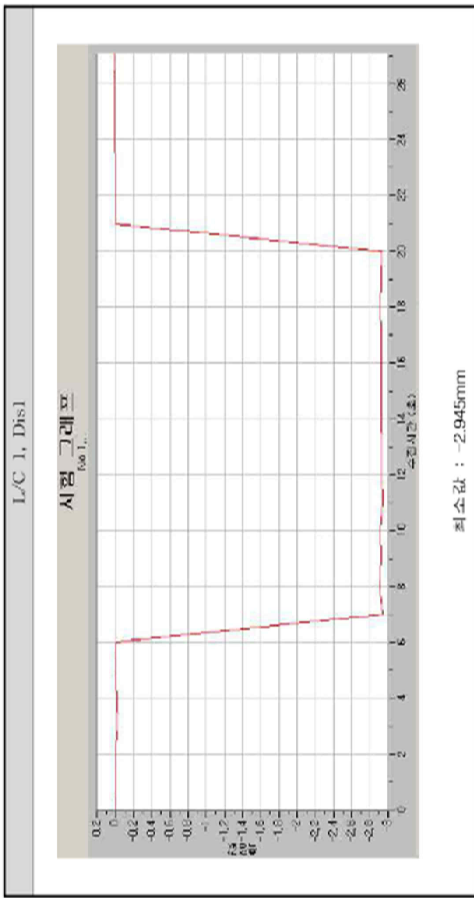
【 표 3.2 】 Load Case별 실험 처짐(mm)

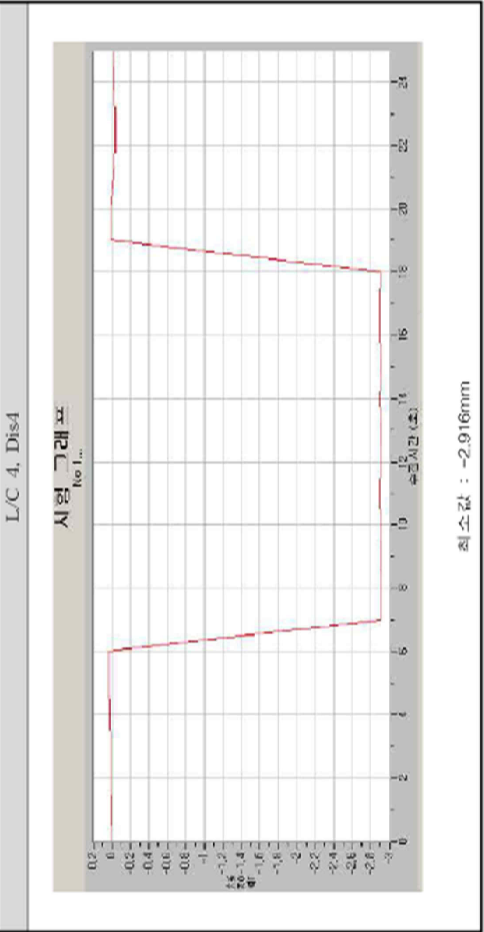
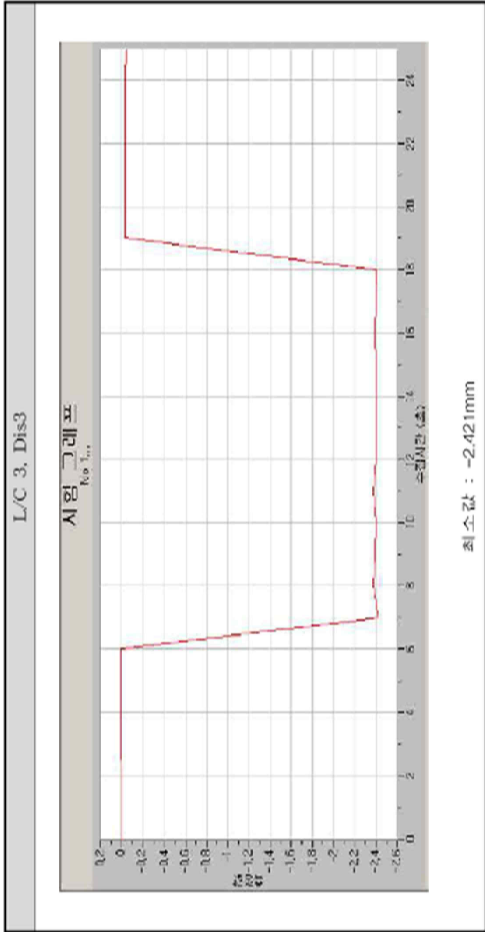
구분	Dis 1	Dis 2	Dis 3	Dis 4	비 고
11경간 3/8지점	L/C-1 -2.945	-1.333	-	-	
	L/C-2 -1.290	-3.190	-	-	
10경간 1/2지점	L/C-3 -	-	-2.421	-1.012	
	L/C-4 -	-	-1.064	-2.916	
MAX	-2.945	-3.190	-2.421	-2.916	



【 그림 3.9 】 L/C별 처짐 측정결과 분석그래프(mm)

② 정적처짐 DATA





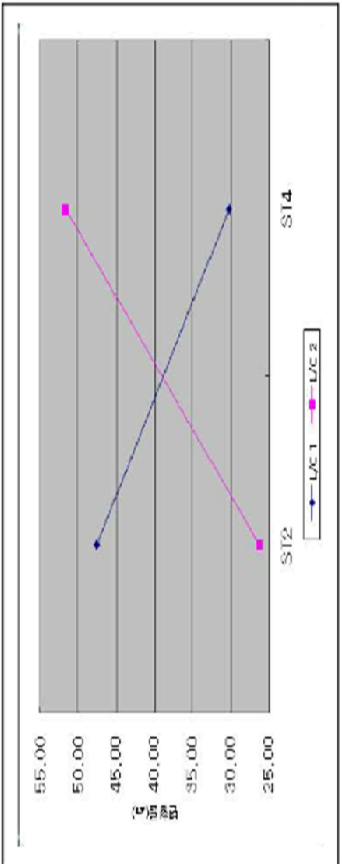
【그림 3.10】 L/C별 지점 측정결과 분석 그래프(mm)

③ 강재 변형률 게이지(ST) 측정결과

최대 원모멘트 발생 하중에 대하여 강재변형률을 측정된 결과 ST1의 최대변형률은 -15.638의 측정값을 나타내었고, ST2는 47.536, ST3은 -17.623, ST4은 51.716의 측정값을 나타내었다. 그중 L/C-2의 ST4에서 최대변형률 51.716로 측정되었다.

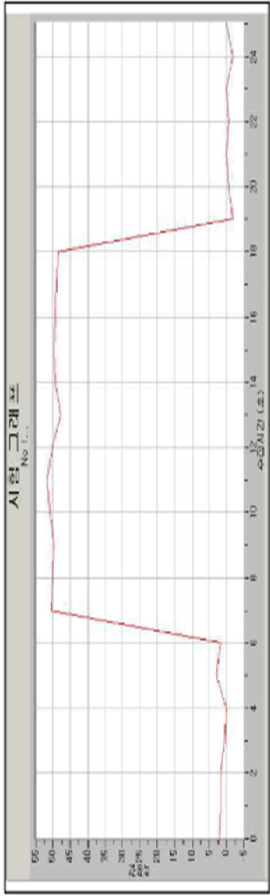
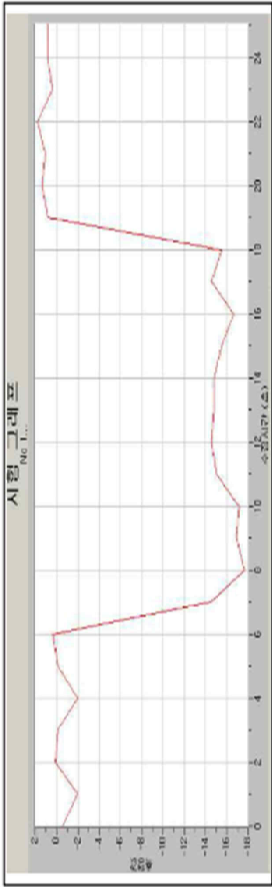
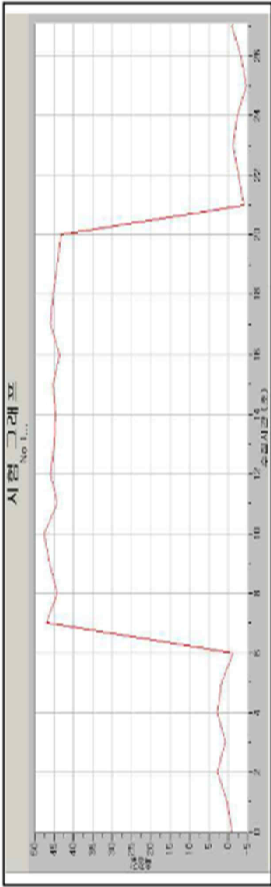
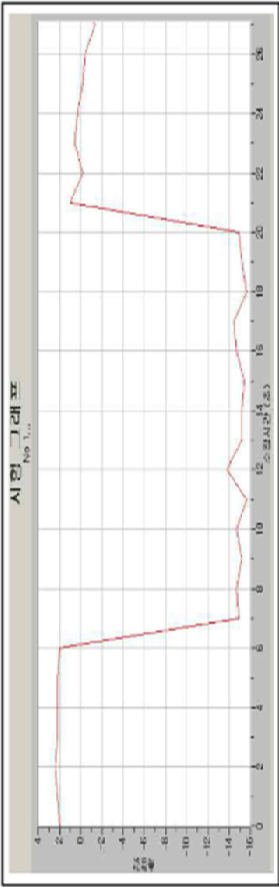
【표 3.3】 Load Case별 변형률 게이지 측정값

구분	ST1	ST2	ST3	ST4	비고
L/C-1	-15.638	47.536	-7.342	30.242	
L/C-2	-6.705	26.271	-17.623	51.716	
MAX	-15.638	47.536	-17.623	51.716	



【그림 3.11】 Load Case별 변형률 분석 그래프

④ 강재변형률 측정 DATA



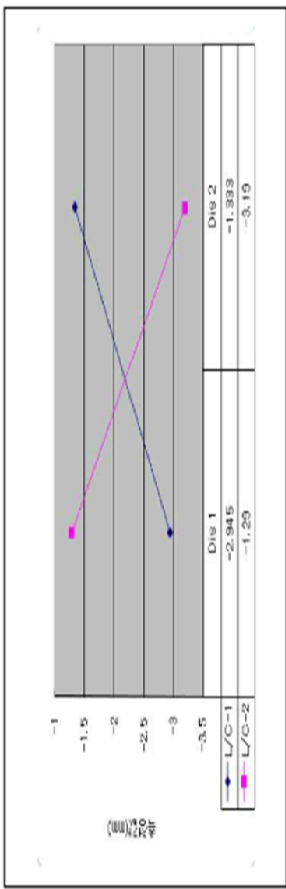
【그림 3.12】 L/C별 변형률 측정결과 분석그래프(mm)

⑤ 하중 횡분배(대칭성) 검토

1) 처짐개 횡분배 검토

하중 횡분배 특성을 파악하기 위하여 11경간에 걸쳐재하시험 경우 중 하중이 횡방향으로 대칭성을 나타내는 L/C-1과 L/C-2에 대하여 비교분석하였다.

- L/C-1과 L/C-2의 하중 횡분배 처짐검토

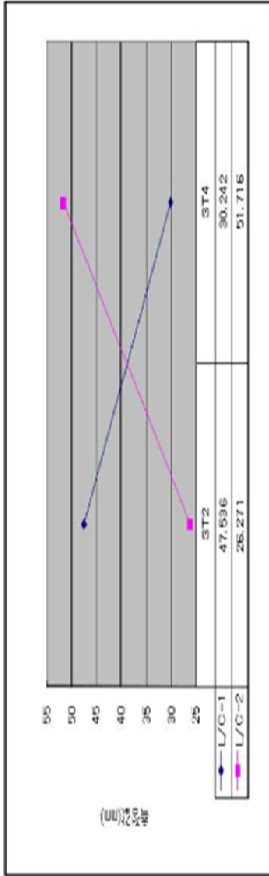


【그림 3.13】 하중 횡분배 변위그래프(L/C-1, L/C-2)

2) 변형률계 원분배 검토

하중 원분배 특성을 파악하기 위하여 정적재하시험 경우 중 하중이 횡방향으로 대칭성을 나타내는 L/C-1과 L/C-2에 대하여 비교분석하였다.

- L/C-1과 L/C-2의 하중 원분배 처짐값도



【그림 3.14】 하중 원분배 변형률그래프(L/C-1, L/C-2)

3) 분석결과

교량의 원분배 효과는 분석한 바와 같이 서점, 변형률 모두 대칭적인 형태를 보이고 있으며 대칭성이 확연하게 나타나 원분배가 양호한 것으로 평가된다.

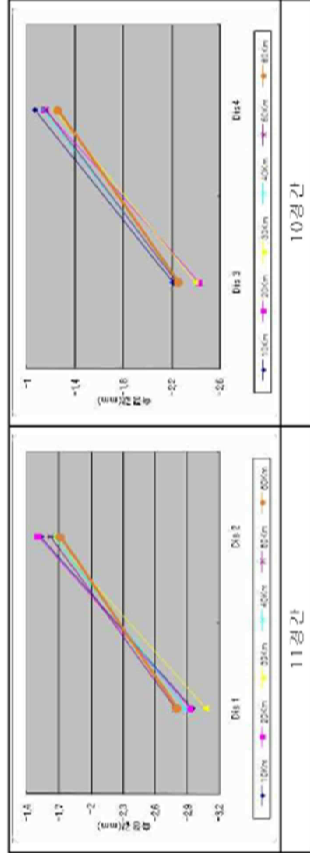
3.6.2 상신육교(발안)IC방향) 동적 재하시험 결과

① 동적처짐 측정결과

동적 재하시험 결과 시험차량에 의해 발생된 최대 처짐은 11경간 Dis1에서 30km/hr일 때 -3.070mm, 10경간 Dis3에서 20km/hr일때 -2.423mm를 나타내었다.

【 표 3.4】 동적처짐 측정결과

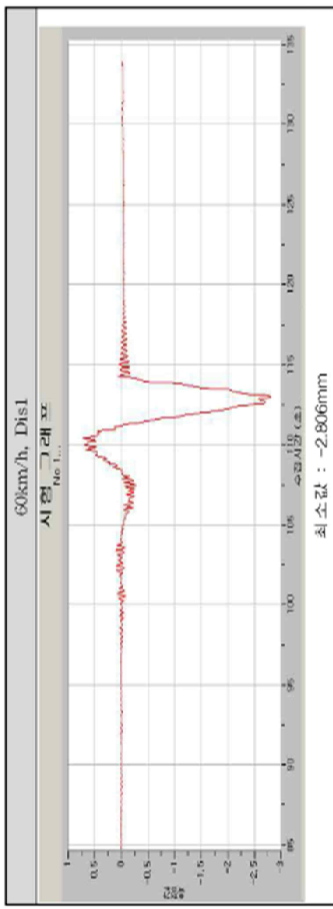
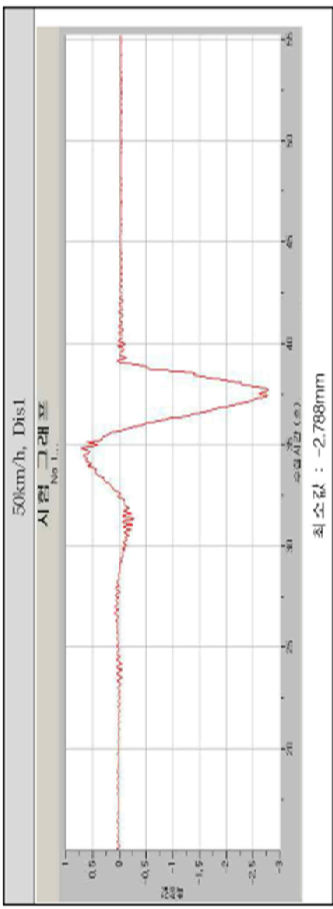
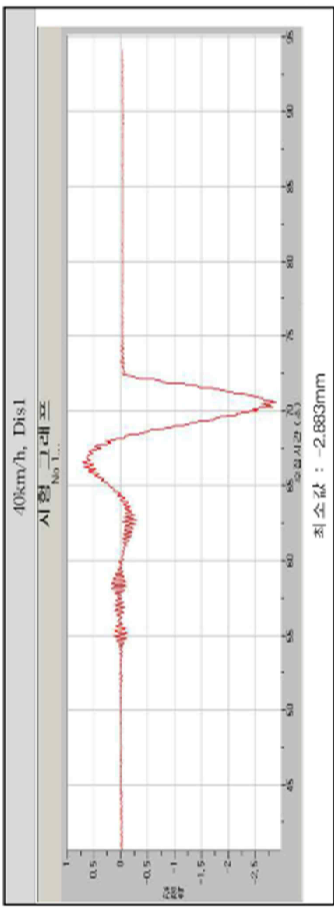
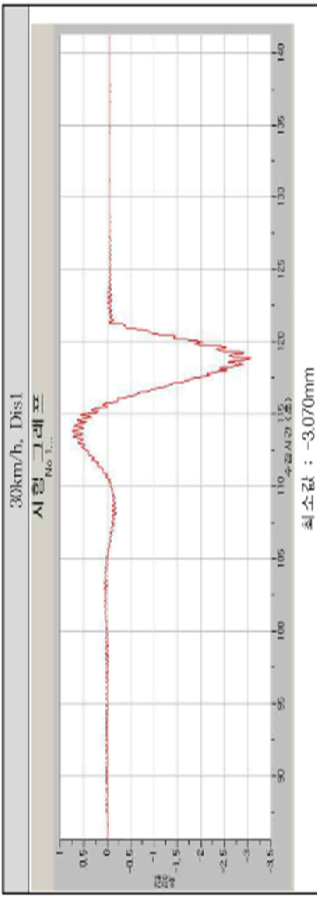
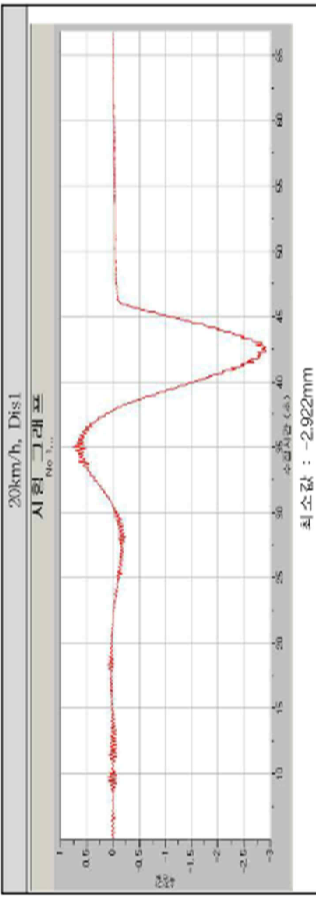
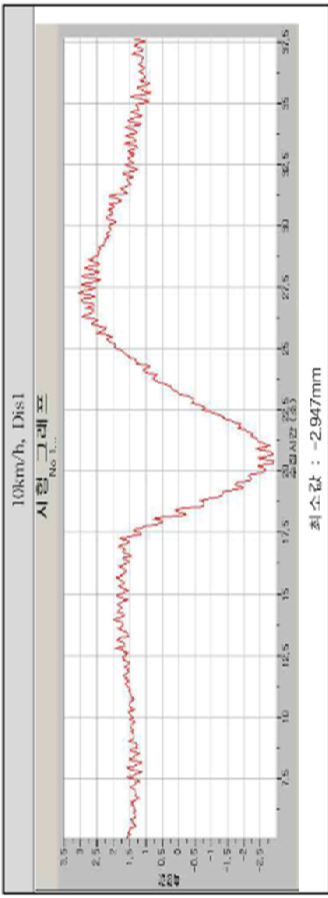
구분	Dis1		Dis2		Dis3		Dis4	
	최대장차 응답치	최대동차 응답치	최대장차 응답치	최대동차 응답치	최대장차 응답치	최대동차 응답치	최대장차 응답치	최대동차 응답치
10km/hr	-2.734	-2.947	-1.531	-2.146	-2.212	-1.066	-1.066	-1.066
20km/hr	-2.872	-2.922	-1.512	-2.316	-2.423	-1.153	-1.153	-1.153
30km/hr	-2.830	-3.070	-1.640	-2.168	-2.392	-1.226	-1.226	-1.226
40km/hr	-2.762	-2.883	-1.661	-2.195	-2.252	-1.137	-1.137	-1.137
50km/hr	-2.690	-2.788	-1.621	-2.165	-2.239	-1.157	-1.157	-1.157
60km/hr	-2.688	-2.806	-1.719	-2.145	-2.257	-1.256	-1.256	-1.256



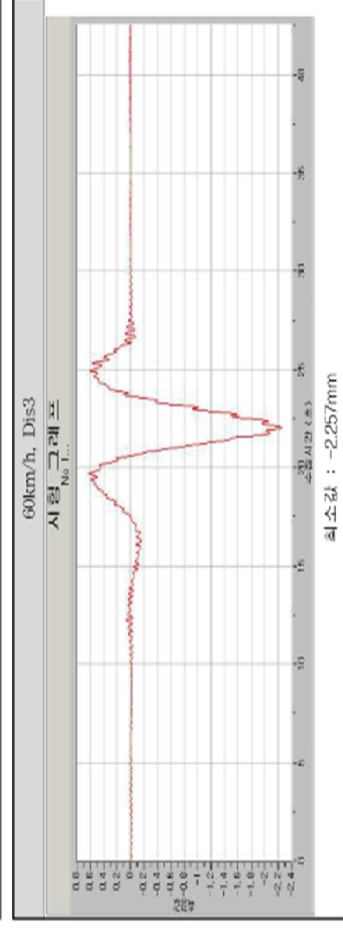
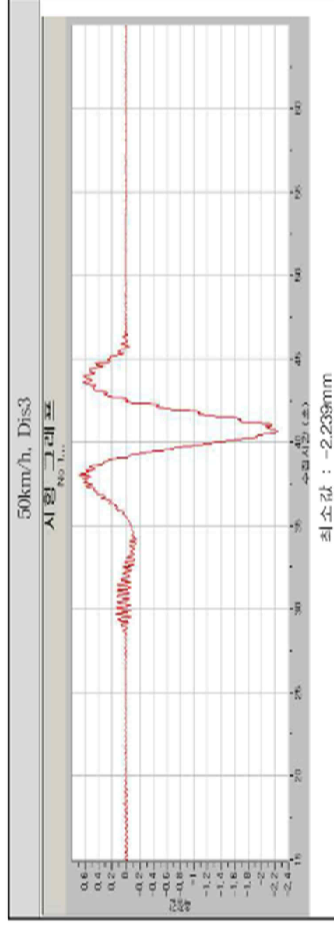
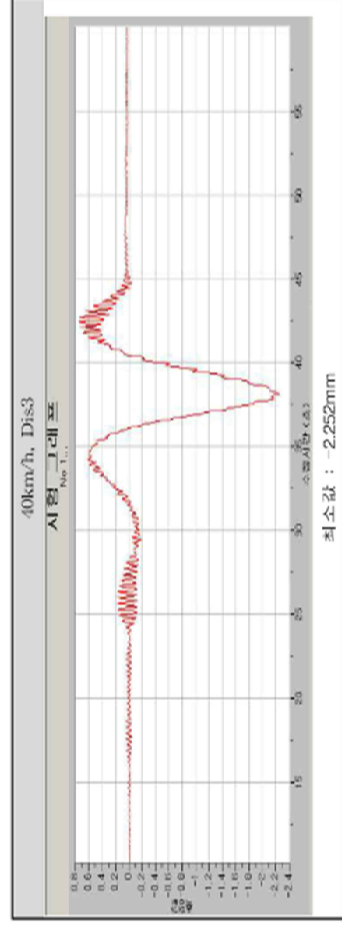
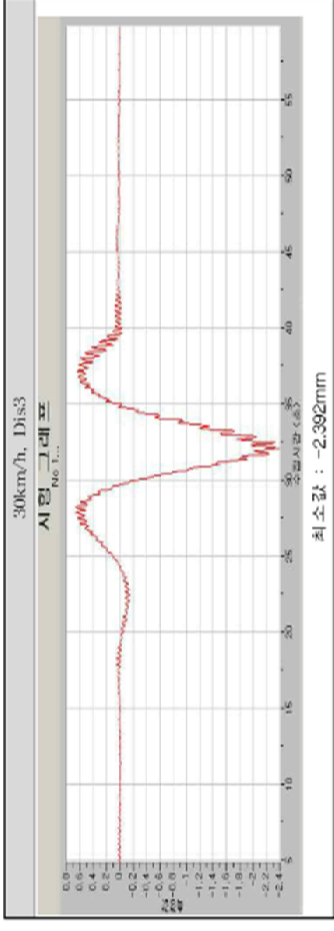
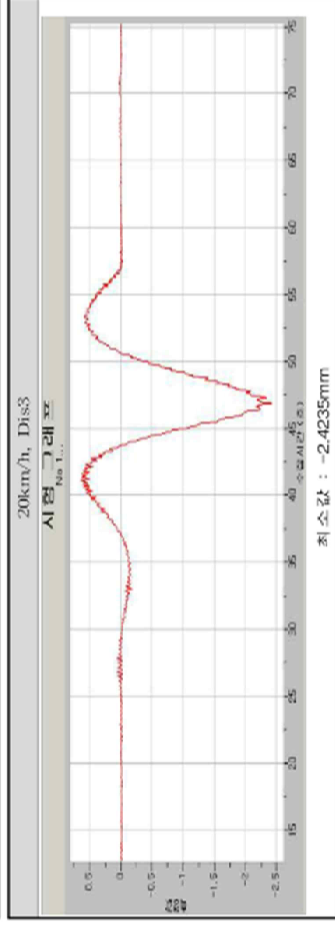
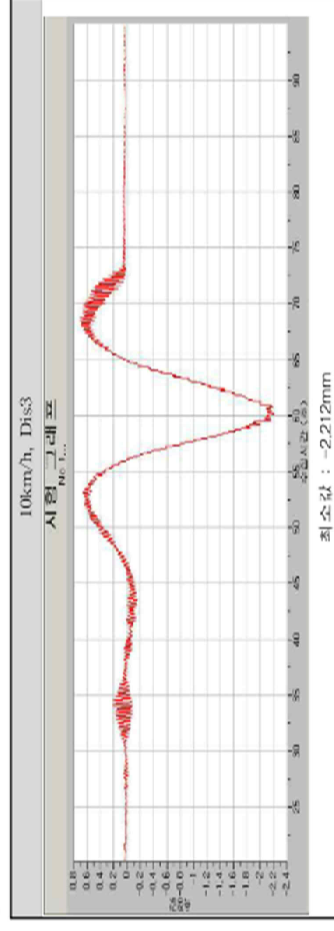
【 그림 3.15】 속도별 동적처짐 측정결과 분석그래프

(2) 동적저점 DATA

① Dis1



② Dis3



(3) 실측 충격계수

교량의 노면상태, 차량의 주행속도, 지반강, 구조적특성 등의 다양한 인자들에 의한 정하중보다는 교량에 더 큰 영향을 줄 수 있는 활하중에 의한 충격영향 정도를 파악하기 위해 동적 주행시험시 측정된 변형률을 이용하였으며, 각 주행속도별로 계측된 동적 응답곡선 $[y_{dynamic}(max)]$ 과 Low Pass Filtering의 범위를 1.0hz로 필터링하여 구한 정적 응답곡선을 $[y_{static}(max)]$ 비교후 실측충격계수를 분석하였다.

$$\text{충격계수}(i) = (D.L.F - 1) / \sqrt{N}$$

$$D.L.F = (D_{dyn})_{max} / (D_{sta})_{max}$$

N = 재하 차량의 갯수

$$(D_{dynamic})_{max} = \text{최대 동적응답치}$$

$$(D_{static})_{max} = \text{최대 정적응답치}$$

1) 11경간 Dis1

【 표 3.4 】 동적시험에 의한 충격계수(Dis1)

주행속도 (km/hr)	최대정적 응답치 (Dsta)	최대동적 응답치 (Ddyn)	동적 증폭계수	충격계수	비 고
10	-2.734	-2.947	1.078	0.078	실측 충격계수 = 0.085 이론 충격계수 = $15/(40+L)$ = 0.176
20	-2.872	-2.922	1.017	0.017	
30	-2.830	-3.070	1.085	0.085	
40	-2.762	-2.883	1.044	0.044	
50	-2.690	-2.788	1.036	0.036	
60	-2.688	-2.806	1.044	0.044	

2) 10경간 Dis3

【 표 3.5 】 동적시험에 의한 충격계수(Dis3)

주행속도 (km/hr)	최대정적 응답치 (Dsta)	최대동적 응답치 (Ddyn)	동적 증폭계수	충격계수	비 고
10	-2.146	-2.212	1.031	0.031	실측 충격계수 = 0.103 이론 충격계수 = $15/(40+L)$ = 0.176
20	-2.316	-2.423	1.046	0.046	
30	-2.168	-2.392	1.103	0.103	
40	-2.195	-2.252	1.026	0.026	
50	-2.165	-2.239	1.034	0.034	
60	-2.145	-2.257	1.052	0.052	

구 분	Dis1	Dis3
실측충격계수	0.085	0.103
최대충격계수	0.103	
이론충격계수	0.176	

재하시험에 의한 본 대상 교량의 최대 충격계수는 0.103으로 측정되어 시험서에서 규정하고 있는 설계충격계수 0.176보다 작게 나타나 주행차량의 충격에 대한 안전성이 확보된 것으로 판단된다.

④ 고유진동수

차량이 교량을 통과할때는 차량의 진동과 교량 자체 진동과의 상호 작용이 교량의 동적거동에 영향을 미치므로 본 조사에서는 주행차량이 교량을 통과하고 자유진동으로부터 교량의 측정 고유진동수를 구한다.

고유진동수를 산정하기 위하여 연석상면에 변위계를 설치하고 주행차량이 교량을 통과한 후의 교량의 여진으로부터 고유진동수(Natural Frequency)를 구하였다.

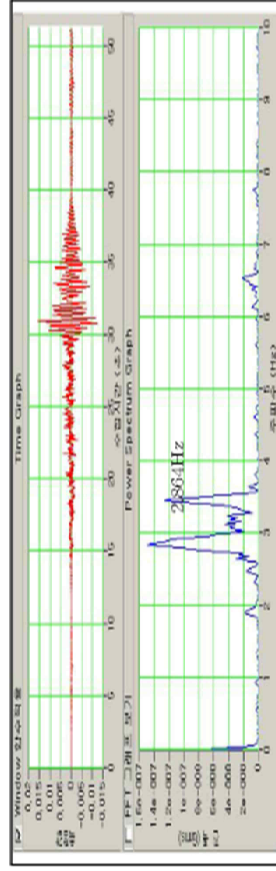
1) 주행속도별 고유진동수(Hz)

[표 3.6] 실측 고유진동수

주행속도 (km/hr)	실측고유진동수 (Hz)
10	3.191
20	3.335
30	2.937
40	3.136
50	2.864
60	3.024

2) 최대 고유진동수

측정된 속도별 고유진동수를 최대고유진동수는 50km/hr 주행시의 2.864Hz로 측정되었다.



[그림 3.16] Power Spectrum Data 50 km/hr

3.6.3 상신육교(발안IC방향) 재하시험 결과분석

① 재하시험 결과

상신육교(발안IC방향)에 대한 재하시험 결과를 요약 정리하면 다음과 같다.

[표 3.7] 재하시험 결과

시험구분	측정항목	Gauge NO.	측정치	측정치대차	비고
정적 재하시험	처짐	11경간	Dis1 Dis2 Dis3 Dis4	-2.945 -3.190 -2.421 -2.916	-3.190
		10경간	ST1 ST2 ST3 ST4	-15.638 47.536 -17.623 51.716	
	강제변위율	11경간	Dis1 Dis2 Dis3 Dis4	-3.070 -1.719 -2.423 -1.256	-3.070
		10경간	Dis1 Dis3	0.085 0.103	
동적 재하시험	충격계수	11경간	Dis1	0.103	0.103
		10경간	Dis3	0.103	
	고유진동수	Acc	2.864~3.335		2.864

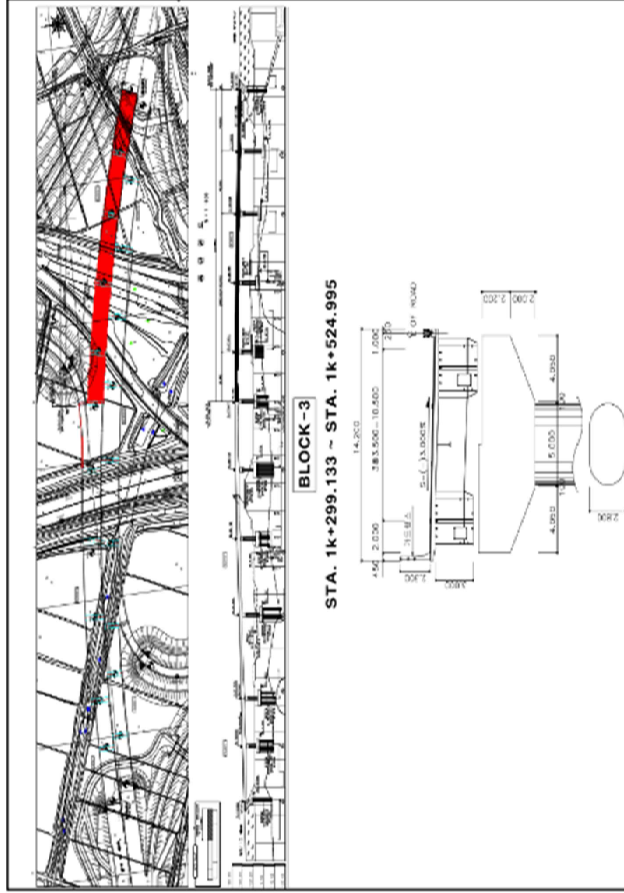
② 결과고찰

- 정적재하시험 결과 최대 정·부모멘트 발생 구간에 대하여 처짐 및 변형률을 측정하고 결과 최대 처짐은 L/C-2의 Dis2 위치에서 -3.190mm가 발생하였으며, 강재변형률은 L/C-2의 ST4에서 최대 변형률 51.716이 발생되었다.
- 동적재하시험 결과 시험차량에 의해 발생된 최대 처짐은 Dis1에서 30km/hr일때 -3.070mm로 나타났다으며, 교량의 최대 실측충격계수는 0.103로 측정되어 시방서에서 규정하고 있는 설계 충격계수에 대한 기준치인 0.176이내로 측정되었고, 실측 최대 고유진동수는 2.864Hz로 측정되었다.

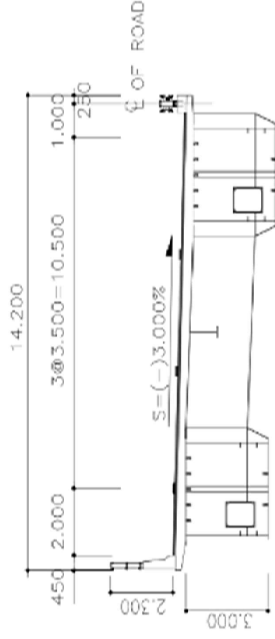
제4장 구조해석 및 내하력평가

4.1 개요

구조물의 안전성평가는 그 기능과 역할을 유지할 수 있는 구조적 및 사용상의 안전성에 대한 확보 여부를 평가하는 것이므로 설계자로 검토, 시공방법과 사용재료에 대한 검토, 부재별 상태평가 및 각종 계속축장조사시험 등을 통한 기초지료를 확보하여 이를 바탕으로 구조검토해석에 의해 안전성 여부를 판단하여야 한다. 본 장에서는 기 구조개산서를 참조하여 기본내하력을 평가하고 재하시험을 통하여 공용내하력을 평가하였다.



4.2 구조검토



4.2.1 설계기준

1) 교량제원

- 교량명 : 상신육교(Block-3)
- 교량등급 : 1등급 (DB-24 및 DL-24 적용)
- 교량형식 : 합성형 STEEL BOX GIRDER 교
- 교량인장 : L=36.0+2@50.0+2@45.0 = 226.000 m
- 교량폭원 : B=14.2m
- 주형체원 : B=2.800m H=2.500m - 3.000m
- 사각 : 90.0

2) 하중

- 고정하중
 - 성근 콘크리트 : $W_{c1} = 25,000 \text{ kN/m}^3$
 - 무근 콘크리트 : $W_{c2} = 23,500 \text{ kN/m}^3$
 - 강재 : $W_s = 78,500 \text{ kN/m}^3$
 - 아스팔트 포장 : $W_a = 23,000 \text{ kN/m}^3$
 - 활하중
 - DB-24 -Pr = 96,000 kN
 - Pf = 24,000 kN
 - DL-24 -Wl = 12,700 kN/m
 - Pm = 108,000 kN
 - Ps = 156,000 kN
- 충격계수 : $1 = 1.5 / (40 + L) \leq 0.3$

3) 사용 재료

(1) 콘크리트

- 설계 기준강도 : $f_c = 27.0 \text{ MPa}$
- 탄 성 계 수 : $E_c = 25,000 \text{ MPa}$

(2) 철근 (SD40)

- 항 복 강 도 : $f_y = 400.0 \text{ MPa}$
- 단 성 계 수 : $E_s = 200,000.0 \text{ MPa}$

(3) 강재

- 주 부 재 : SM520B 사용 (성관, 하관, 복부관, 성부중리브, 하부중리브, 지점부 다이아프램, 지점보강재, 솔플레이트)
- 부 부 재 : SM400B 사용 (지점부의 다이아프램, 수직보강재, 합리브, 세로보, 가로보)
- 단 성 계 수 : $E_s = 210,000.0 \text{ MPa}$

4) 단위 중량

- 철근 콘크리트 : $W_c = 25.0 \text{ kN/m}^3$ - 무근 콘크리트 : $W_{c1} = 23.0 \text{ kN/m}^3$
- 아스콘 포장 : $W_a = 23.0 \text{ kN/m}^3$ - 강재 : $W_s = 78.0 \text{ kN/m}^3$

5) 허용 응력

- 콘크리트 바닥판의 허용압축응력 : $f_{ca} = 0.4 \times f_c = 10.80 \text{ MPa}$
- 콘크리트 바닥판의 항설적응력 : $f_{cs} = 0.3 \times f_c = 8.10 \text{ MPa}$
- 콘크리트 허용전단응력 : $\tau_{ca} = 0.25 \times \sqrt{f_c} = 4.10 \text{ MPa}$

【표 4.1】 콘크리트의 허용압축응력

	허용의 조건		허용응력(MPa)
	주해중	1) 바닥판으로서의 작용 2) 주거터 단면의 일부로서의 작용 3) D와 2)를 동시에 고려할 때	
1			$0.4f_c$
2	주하중+바닥판 콘크리트의 강재 주거터와의 온도차	1.1)항의 15%증가	

- 철근의 허용응력(SD40) : $f_{sa} = 1,900 \text{ kgf/cm}^2$
- 강재의 허용응력

【표 4.2】 강재의 허용인장응력 (MPa)

강종	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
관두께(mm)				
40 이하	140	190	210	260
40 초과 75 이하		175 (190)	200 (210)	250 (260)
75 초과 100 이하	130		195 (210)	245 (260)

* TMC 강재의 경우에는 0의 값을 적용한다.

【표 4.3】 허용 축방향 압축응력 (MPa)

강종	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
관두께(mm)				
40 이하	$140 : \ell/r \leq 20$	$190 : \ell/r \leq 15$	$210 : \ell/r \leq 14$	$260 : \ell/r \leq 18$
	$140-0.84(\ell/r-20)$	$190-1.3(\ell/r-15)$	$210-1.5(\ell/r-14)$	$260-2.2(\ell/r-18)$
	$20 < \ell/r \leq 93$	$15 < \ell/r \leq 80$	$14 < \ell/r \leq 76$	$18 < \ell/r \leq 67$
	1,200,000	1,200,000	1,200,000	1,200,000
	$6,700+(\ell/r)^2$	$5,000+(\ell/r)^2$	$4,500+(\ell/r)^2$	$3,500+(\ell/r)^2$
40 초과 75 이하	$93 < \ell/r$	$80 < \ell/r$	$76 < \ell/r$	$67 < \ell/r$
			$200 : \ell/r \leq 14$	$250 : \ell/r \leq 18$
	$130 : \ell/r \leq 20$	$175 : \ell/r \leq 15$	$200-1.4(\ell/r-14)$	$250-2.1(\ell/r-18)$
			$14 < \ell/r \leq 78$	$18 < \ell/r \leq 69$
			1,200,000	1,200,000
75 초과 100 이하			$4,700+(\ell/r)^2$	$3,600+(\ell/r)^2$
	$130-0.75(\ell/r-20)$	$175-1.1(\ell/r-15)$	$78 < \ell/r$	$69 < \ell/r$
	$20 < \ell/r \leq 97$	$15 < \ell/r \leq 83$	$195 : \ell/r \leq 14$	$245 : \ell/r \leq 18$
			$195-1.3(\ell/r-14)$	$245-2.2(\ell/r-18)$
	1,200,000	1,200,000	$14 < \ell/r \leq 79$	$18 < \ell/r \leq 69$
75 초과 100 이하	$7,300+(\ell/r)^2$	$5,300+(\ell/r)^2$	1,200,000	1,200,000
	$97 < \ell/r$	$83 < \ell/r$	$4,900+(\ell/r)^2$	$3,700+(\ell/r)^2$
			$79 < \ell/r$	$69 < \ell/r$

여기서, ℓ : 부재의 유효좌굴 길이 (mm)
 r : 부재 종단면의 단면회전반경 (mm)

【표 4.4】 허용응력 증가율

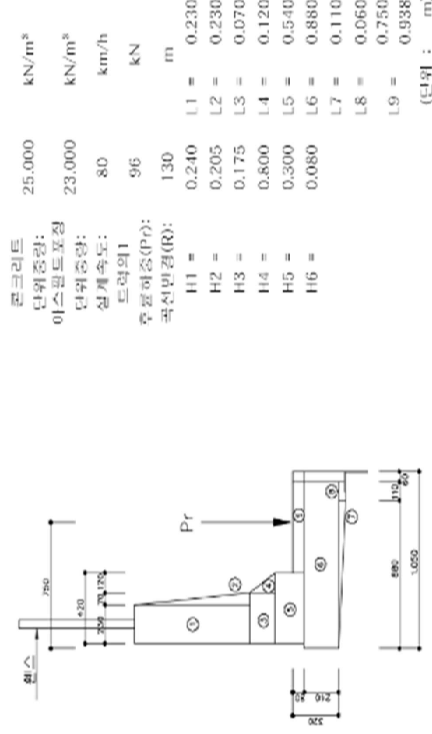
하중의 조합	증가율(%)	
	정의 원모멘트를 받는 부분	부의 원모멘트를 받는 부분
1	크리프의 영향과 건조수축의 영향을 제외한 주하중	0
2	주하중	
	압축면	15
	인장면	0
3	주하중-바닥판콘크리트와 강제주거터의 온도저	
	압축면	30
	인장면	15
4	기설시 하중	
	압축면	25
	인장면	25

6) 참고 문헌

- 도로교 설계기준(2005)
- 콘크리트 구조 설계기준(2003)
- 도로실계 관림(2001)
- 도로실계 요령(2001)
- 강구조 관림(1995)
- 강도로교 상세부 설계지침(1997)

4.1.2 슬래브 검토

1) 캔틸레버부



① 고정하중

No	적용하중 (kN)	거리 (m)	모멘트 (kN·m)
1	$0.23 \times 0.8 \times 25 = 4.600$	0.845	3.887
2	$\frac{1}{2} \times 0.07 \times 0.8 \times 25 = 0.700$	0.707	0.495
3	$0.3 \times 0.175 \times 25 = 1.313$	0.810	1.063
4	$\frac{1}{2} \times 0.12 \times 0.175 \times 25 = 0.263$	0.750	1.614
5	$0.42 \times 0.205 \times 25 = 2.153$	0.750	1.614
6	$0.99 \times 0.24 \times 25 = 5.940$	0.495	2.940
7	$\frac{1}{2} \times 0.88 \times 0.06 \times 25 = 0.660$	0.403	0.266
8	$0.11 \times 0.06 \times 25 = 0.165$	0.055	0.009
9	$0.54 \times 0.08 \times 23 = 0.994$	0.270	0.268
10	웬스: 교축방향 단위길이당 지중=10	0.825	8.250
TOTAL	26.786		18.956

$$M_d = 18.956 \text{ kN.m}$$

② 활하중

활하중 분포폭

$$E = 0.8 \cdot X + 1.14 = 0.8 \times 0.24 + 1.14 = 1.332 \text{ m}$$

여기서, $X = 0.240 \text{ m}$

중계수

$$i = 15 / (40 + L) = 15 / (40 + 0.2) = 0.373 > 0.3 \quad i = 0.3$$

$$Ml+i = Pr/E \cdot X \cdot (1 + i) = (96 / 1.332) \times 0.24 \times (1 + 0.3) = 22.486 \text{ kN m/m}$$

③ 차량중률 하중

- 수평중률력 H가 노면상 1m 높이에 교축을 따라 1m 마다 작용시

$$H = (V / 60)^2 \times 7500 + 2500$$

$$= (80 / 60)^2 \times 7500 + 2500 = 15833.333 \text{ N/m} = 15.833 \text{ kN/m}$$

작용높이 $h = 1.080 \text{ m}$

$$Mco = 15.833 \times 1.080 = 17.100 \text{ kN m/m}$$

- 방호벽 상단에 차량으로 $H = 10 \text{ kN/m}$ 의 수평하중 재하시

작용높이 $h = 1.180 \text{ m}$

$$Mco = 10.00 \times 1.180 = 11.800 \text{ kN m/m}$$

곡선반경 $R > 200\text{m}$ 이므로 ①과 ②에 의해 계산된 값중에서 큰 값을 적용

$$Mco = 17.100 \text{ kN m/m}$$

④ 램크트레일러 하중(700 KN : Pr = 90 KN)

$$E = 0.8 \cdot X + 1.14 = 0.8 \times 0.052 + 1.14 = 1.182 \text{ m}$$

여기서, $X = 0.052 \text{ m}$

$$Ml+i = Pr \cdot X / E \cdot (1 + i) = 90 \times 0.052 / 1.182 \times (1 + 0.15) = 4.555 \text{ kN m/m}$$

⑤ 풍하중

$$Pw = 3.0 \text{ kN/m}^2 \times 1.100\text{m} = 3.300 \text{ kN/m}$$

$$Mw = 3.300 \text{ kN/m}^2 \times 0.630\text{m} = 2.079 \text{ kN/m}$$

⑥ 원심하중

일반 원하중 작용시

$$Cf = 0.79 \cdot V^2 / R \text{ (\%)} = 0.79 \times 80^2 / 1300(\%) = 3.889 \text{ \%}$$

$$Pcf = Pr/E \times 3.889 / 100 = 2.803 \text{ kN/m}$$

$$Mcf = 2.803 \times 1.8 = 5.045 \text{ kN/m}$$

램크 트레일러 하중 적용시

$$Cf = 0.79 \cdot V^2 / R \text{ (\%)} = 0.79 \times 40^2 / 1300(\%) = 0.972 \text{ \%}$$

$$Pcf = Pr/E \times 0.972 / 100 = 0.740 \text{ kN/m}$$

$$Mcf = 0.740 \times 1.8 = 1.332 \text{ kN/m}$$

⑦ 하중 조합

$$Mu1 = 1.3 \text{ Md} + 2.15 \text{ Ml+i} + 1.3 \text{ Mcf}$$

$$= 1.3 \times 18.956 + 2.15 \times 22.486 + 1.3 \times 5.045 = 79.546 \text{ kN m/m}$$

$$Mu2 = 1.3 \text{ Md} + 1.3 \text{ Ml+i} + 1.3 \text{ Mcf} + 1.3 \text{ Mco}$$

$$= 1.3 \times 18.956 + 1.3 \times 22.486 + 1.3 \times 5.045 + 1.3 \times 2.079 = 82.663 \text{ kN m/m}$$

$$Mu3 = 1.3 \text{ Md} + 1.3 \text{ Ml+i} + 1.3 \text{ Mcf} + 0.65 \text{ Mw}$$

$$= 1.3 \times 18.956 + 1.3 \times 22.486 + 1.3 \times 5.045 + 0.65 \times 2.079 = 61.784 \text{ kN m/m}$$

$$Mu4 = 1.2 \text{ Md} + 1.2 \text{ Mw} + 1.2 \text{ Mco}$$

$$= 1.2 \times 18.956 + 1.2 \times 2.079 + 1.2 \times 17.1 = 45.762 \text{ kN m/m}$$

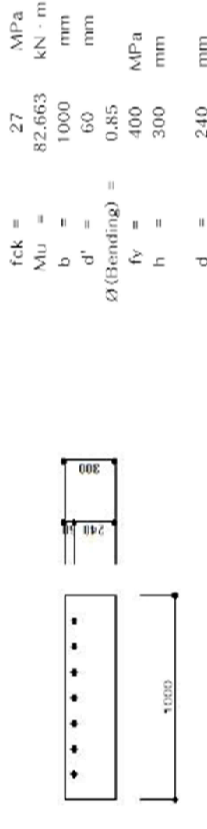
$$Mu5 = 1.3 \text{ Md} + 1.3 \text{ Ml+i} + 1.3 \text{ Mcf(널크 트레일러 하중 적용시)}$$

$$= 1.3 \times 18.956 + 1.3 \times 4.555 + 1.3 \times 1.332 = 32.296 \text{ kN m/m}$$

⑧ 단면검토

▲ 철근량 산정

(DESIGN CONDITION)



[Req'd d & As]	
$a = As \times fy / (0.85 \times fck \times b)$	$= 0.0174 \text{ As}$
$Mu = \phi \times As \times fy \times (d - a/2)$	$= -3.0As^2 + 81600 \text{ As}$
	$= 82663000$
$\therefore \text{Req'd As}$	$= 1053.3\text{mm}^2$
$\text{Min.As} = \text{Req'd As} \times 4/3$	$= 1404.4\text{mm}^2$
$\text{Min.As} = 0.002 \times b \times d$	$= 480.0\text{mm}^2$
$\text{Min.As} = 1.4/fy \times b \times d$	$= 840.0\text{mm}^2$
$\text{Min.As} = 0.25 \sqrt{fck} / fy \times b \times d$	$= 779.4\text{mm}^2$
USE	$= 1324.0\text{mm}^2$
	$As_{use} = 1324.0\text{mm}^2 \text{ O.K.}$

(RE-BAR RATIO CHECK)

$$p = As / (b \times d) = 0.0096 < Pmax = 0.75 \times pb = 0.0219 \text{ O.K.!!}$$

(DESIGN MOMENT CHECK)

$$\text{Max. c} = 0.75 \times 600 / (600 + fy) \times d = 108.000 \text{ mm} > c = a / 0.85 = 27.149\text{mm}$$

$$\text{Max.} a = 0.85 \times c = 91.800 \text{ mm} > a = f_y \times A_s / (0.85 \times f_{ck} \times b) = 23.076 \text{ mm}$$

$$j d = d - a/2 = 228.462 \text{ mm}$$

$$C = 0.85 \times f_{ck} \times a \times b = 529.600 \text{ kN} \quad T = f_y \times A_s = 529.600 \text{ kN}$$

$$\phi M_n = \phi f_y \times A_s \times j d = 102.844 \text{ kN m} > M_u = 82.663 \text{ kN m} \quad \text{O.K.}$$

배력철근의 계산

$$\text{배력철근의 주철근에 대한 백분율 } 120 / \sqrt{L} = 120 / \sqrt{1.000} = 120 \% > 67 \%$$

$$A_s \times 67\% = 1053.313 \times 0.67 = 705.7 \text{ mm}^2$$

$$\text{수축, 온도철근량 : } 0.0020 \times b \times h = 600.0 \text{ mm}^2$$

$$\text{USE H16 @ 200 = 993.0 mm}^2 \quad \text{O.K.}$$

2) 중앙부

① 고정하중

$$\text{철근콘크리트 : } 0.300 \text{ m} \times 25.000 \text{ kN/m}^3 = 7.500 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{아스팔트포장 : } 0.080 \text{ m} \times 23.000 \text{ kN/m}^3 = 1.840 \text{ kN/m}^2$$

$$W_d = 9.340 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{계산지점 } L = 3.140 \text{ m} \quad \text{바닥판 지점의 수 } n = 5$$

$$M_d = (1/10) \times W_d \times L^2 = (1/10) \times 9.34 \times 3.14^2 = 9.209 \text{ kN m}$$

② 활하중

$$\text{활하중 (DD-24 : Pr = 96kN)}$$

충격계수

$$i = 15 / (40 + L) = 15 / (40 + 2.7) = 0.351 > 0.3 \quad i = 0.3$$

$$M_{li} = ((L+0.6) / 9.6) \times Pr \times (1+i) = ((3.14 + 0.6) / 9.6) \times 96 \times (1 + 0.3)$$

$$= 48.620 \text{ kN m}$$

연속바닥판이므로,

$$M_{li} = 0.8 \times 48.620 = 38.896 \text{ kN m/m}$$

③ 하중 조합

$$\text{① } M_{u1} = 1.3 M_d + 2.15 M_{li}$$

$$= 1.3 \times 9.209 + 2.15 \times 38.896 = 95.598 \text{ kN m/m}$$

④ 바닥판의 최소두께 (X > 0.25 인 경우)

$$h_{min} = (30 \times L + 130) = (30 \times 3.14) + 130$$

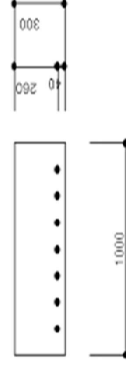
$$= 224 \text{ mm} > 220 \text{ mm} \Rightarrow 300 \text{ mm 사용}$$

⑤ 단면검토

▶ 철근량 산정

[DESIGN CONDITION]

$$\begin{aligned} f_{ck} &= 27 \text{ MPa} \\ M_u &= 95.598 \text{ kN} \cdot \text{m} \\ b &= 1000 \text{ mm} \\ d' &= 40.00 \text{ mm} \\ \phi(\text{Bending}) &= 0.85 \\ f_y &= 400 \text{ MPa} \\ h &= 300 \text{ mm} \\ d &= 260 \text{ mm} \end{aligned}$$



(Req'd d & As)	
$a = A_s \times f_y / (0.85 \times f_{ck} \times b)$	$= 0.0174 A_s$
$M_u = \phi \times A_s \times f_y \times (d - a/2)$	$= -2.96 A_s^2 + 88.400 A_s$
$\therefore \text{Req'd } A_s$	$= 95598000$
$\text{Min.} A_s = \text{Req'd } A_s \times 4/3$	$= 1123.75 \text{ mm}^2$
$\text{Min.} A_s = 0.002 \times b \times d$	$= 1498.34 \text{ mm}^2$
$\text{Min.} A_s = 1.4/f_y \times b \times d$	$= 520.00 \text{ mm}^2$
$\text{Min.} A_s = 0.25 \sqrt{f_{ck}} / f_y \times b \times d$	$= 910.00 \text{ mm}^2$
USE	$= 844.37 \text{ mm}^2$
	$= 1588.8 \text{ mm}^2$
	$= 1588.8 \text{ mm}^2 \quad \text{O.K.}$

[RE-BAR RATIO CHECK]

$$P = A_s / (b \times d) = 0.0109 < P_{max} = 0.75 \times p_b = 0.0219 \quad \text{O.K.!!}$$

[DESIGN MOMENT CHECK]

$$\text{Max. } c = 0.75 \times 600 / (600 + f_y) \times d = 117.000 \text{ mm} > c = a / 0.85 = 32.578 \text{ mm}$$

$$\text{Max. } a = 0.85 \times c = 99.450 \text{ mm} > a = f_y \times A_s / (0.85 \times f_{ck} \times b) = 27.692 \text{ mm}$$

$$j d = d - a/2 = 246.154 \text{ mm}$$

$$C = 0.85 \times f_{ck} \times a \times b = 635.520 \text{ kN} \quad T = f_y \times A_s = 635.520 \text{ kN}$$

$$\phi M_n = \phi f_y \times A_s \times j d = 132.971 \text{ kN m} > M_u = 95.598 \text{ kN m} \quad \text{O.K.}$$

배력철근의 계산

$$\text{배력철근의 주철근에 대한 백분율 } 120 / \sqrt{L} = 120 / \sqrt{3.140} = 68 \% > 67 \%$$

$$A_s \times 67\% = 1123.752 \times 0.67 = 752.9 \text{ mm}^2$$

$$\text{수축, 온도철근량 : } 0.0020 \times b \times h = 600.0 \text{ mm}^2$$

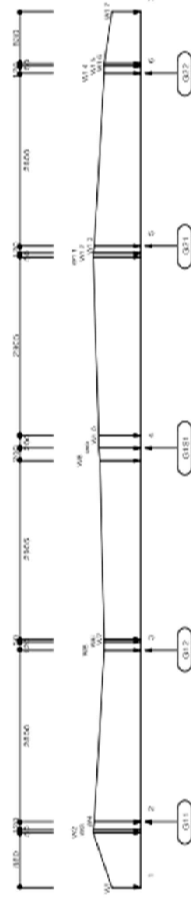
$$\text{USE H13 @ 125 = 1013.6 mm}^2 \quad \text{O.K.}$$

4.1.3 거더 검토

1) 작용하중 선정

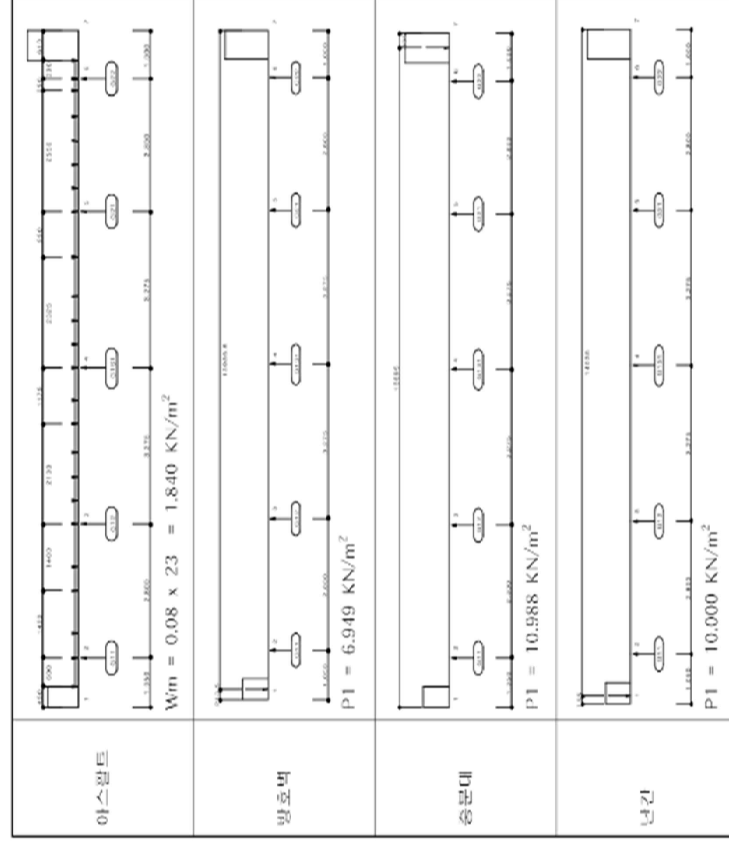
Case 1 합성전 고정하중	- Steel 지중, - 바닥판 지중
Case 2 합성후 고정하중	- 합성후 단면에 대하여 거더별 하중재하(부속설비 하중 포함)
Case 3 완전하중	- DB-24 하중 : 표준 트럭하중을 연행하중으로 적용 - 단행하중 : 4,200~9,000 4,200 
Case 4 지점침하	- DL-24 하중 : Ps 및 Pm하중은 재하 구간내에서 최대단면적을 발생시키는 위치에 대하여 
	합성후 단면에 대하여 각 지점 위치면 20mm 부등침하를 조합하여 적용 - 1 : P6 지점침하 - 2 : P7 지점침하 - 3 : P8 지점침하 - 4 : P9 지점침하 - 5 : P10 지점침하 - 6 : A2 지점침하 - 7 : P6, P8, P10 지점침하 - 8 : P7, P9, A2 지점침하

① 합성전 고정하중(슬래브 지중)



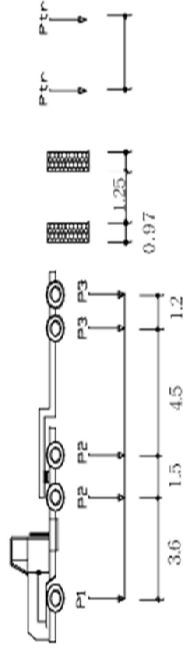
W1	0.240 x 25 = 6.000 KN/m ²	W10	0.350 x 25 = 8.750 KN/m ²
W2	0.394 x 25 = 9.850 KN/m ²	W11	0.394 x 25 = 9.850 KN/m ²
W3	0.393 x 25 = 9.825 KN/m ²	W12	0.393 x 25 = 9.825 KN/m ²
W4	0.389 x 25 = 9.725 KN/m ²	W13	0.389 x 25 = 9.725 KN/m ²
W5	0.305 x 25 = 7.625 KN/m ²	W14	0.305 x 25 = 7.625 KN/m ²
W6	0.302 x 25 = 7.550 KN/m ²	W15	0.302 x 25 = 7.550 KN/m ²
W7	0.300 x 25 = 7.500 KN/m ²	W16	0.300 x 25 = 7.500 KN/m ²
W8	0.344 x 25 = 8.600 KN/m ²	W17	0.240 x 25 = 6.000 KN/m ²
W9	0.347 x 25 = 8.675 KN/m ²		

② 합성후 고정하중



③ 활하중

연석간의 교폭 $W_c = 13.140 \text{ m}$ $\therefore$ 설계 차로수 $N = 4$
 설계 차로폭 $W =$ 설계 차로폭 $W = 13.14 / 4 = 3.285 \text{ m} \leq 3.6 \text{ m}$ $W = 3.285 \text{ m}$
 - DB-24 하중(운하중)
 전륜하중 : $P_f = 24 \text{ kN}$
 후륜하중 : $P_r = 96 \text{ kN}$
 - DL-24 하중(치선하중)
 $W = 12.7 / 3.0 = 4.233 \text{ kN/m}$
 $P_m = 108 / 3.0 = 36 \text{ kN}$
 $P_s = 156 / 3.0 = 52 \text{ kN}$
 - 탱크 트레일러 하중



$P_1 = 45 \text{ kN}$, $P_2 = 90 \text{ kN}$, $P_3 = 65 \text{ kN}$

④ 충격계수

지간장 (L) $35.317 + 2 @ 50.000 + 45.000 + 44.355 \text{ m}$
 따라서, 내부 지점 및 지간내에 제한되는 하중에 대한 충격계수는 아래와 같다.
 다만, 탱크 트레일러 하중과 탱크 트레일러 하중에는 일률적으로 충격계수를 0.15로 적용 한다.

< 제1 지간

$$i = \frac{15}{40 + 35.317} = 0.199 < 0.3 \Rightarrow 0.199$$

< 제2,3 지간

$$i = \frac{15}{40 + 50} = 0.167 < 0.3 \Rightarrow 0.167$$

< 제4 지간

$$i = \frac{15}{40 + 45} = 0.176 < 0.3 \Rightarrow 0.176$$

< 제5 지간

$$i = \frac{15}{40 + 44.355} = 0.178 < 0.3 \Rightarrow 0.178$$

< 제1 내부지점

$$i = \frac{15}{40 + (35.317 + 50)/2} = 0.181 < 0.3 \Rightarrow 0.181$$

< 제2 내부지점

$$i = \frac{15}{40 + (50 + 50)/2} = 0.167 < 0.3 \Rightarrow 0.167$$

< 제3 내부지점

$$i = \frac{15}{40 + (50 + 45)/2} = 0.171 < 0.3 \Rightarrow 0.171$$

< 제4 내부지점

$$i = \frac{15}{40 + (45 + 44.355)/2} = 0.177 < 0.3 \Rightarrow 0.177$$

$\therefore$ 계산된 충격계수 중 가장 큰 0.199를 적용함

⑤ 주행별 작용하중

- 1) 강제지점 - 각종 보강재 및 현직어음재 등의 부부재 하중으로 주부재지점을 51% 열중작용
 총강재중량 / 모델링 강재중량 = $3364.414 \text{ kN} / 2214.443 \text{ kN} = 1.5193$

- 2) 합성전 고정하중 (슬래브 하중)

거더폭	합성전	G - 1	G - 2	ST - 1	비고
		2.800	2.800		m
슬래브 하중	P1	20.425	29.705	28.971	
	P2	24.939	16.954		kN/m
	Pt	45.364	46.656	28.971	
	Mt	6.320	-17.851		kN · m/m

- 3) 합성후 고정하중

합성후	G - 1	G - 2	ST - 1	비고
Pavement 및 빙호박, 종분대	P1	26.746	1.546	8.726
	P2	-2.131	17.230	
	Pt	24.615	18.776	8.726
	Mt	-40.428	21.958	

상기 하중과 점검로 등의 부속설비 하중으로 500.0 n/m2를 설계에 반영 (강도로교 상세부 설계지침 P131)

거더당 작용하는 부속설비 하중 $W(\text{kN/m}) = 0.5 \text{ kN/m}^2 \times \text{슬래브 전폭(m)} / \text{중거더수}$
 $W = 0.50 \times 14.200 / 2 = 3.550 \text{ kN/m}$

4) 원하중

< DB-24 G1 MAX > : 단위하중제하

거더폭	DB-24	G-1	G-2	ST-1	단 위
		2.8	2.8		m
1 차선 제하시	P1	1.263	0.034	-0.013	
	P2	0.838	-0.007		kN/m
	Pt	2.102	0.027	-0.013	
	Mt	-0.595	-0.057		kN · m/m
	e	-0.283	-2.095		편심(e)=Mt/PT
2 차선 제하시	P1	1.137	-0.134	0.085	
	P2	2.122	0.027		kN/m
	Pt	3.259	-0.107	0.085	
	Mt	1.380	0.224		kN · m/m
	e	0.423	-2.095		편심(e)=Mt/PT
3 차선 제하시	P1	1.171	0.842	0.213	
	P2	1.951	-0.098		kN/m
	Pt	3.121	0.744	0.213	
	Mt	1.092	-1.317		kN · m/m
	e	0.350	-1.770		편심(e)=Mt/PT
4 차선 제하시	P1	1.163	2.067	0.198	
	P2	1.991	0.796		kN/m
	Pt	3.153	2.862	0.198	
	Mt	1.159	-1.779		kN · m/m
	e	0.368	-0.622		편심(e)=Mt/PT

< DB-24 G2 MAX > : 단위하중제하

거더폭	DB-24	G-1	G-2	ST-1	단 위
		2.8	2.8		m
1 차선 제하시	P1	-0.008	1.012	-0.014	
	P2	0.038	1.102		kN/m
	Pt	0.031	2.114	-0.014	
	Mt	0.064	0.127		kN · m/m
	e	2.095	0.060		편심(e)=Mt/PT
2 차선 제하시	P1	0.027	2.169	0.097	
	P2	-0.136	0.972		kN/m
	Pt	-0.109	3.141	0.097	
	Mt	-0.229	-1.676		kN · m/m
	e	2.095	-0.534		편심(e)=Mt/PT
3 차선 제하시	P1	-0.103	1.994	0.213	
	P2	0.974	1.007		kN/m
	Pt	0.871	3.001	0.213	
	Mt	1.508	-1.382		kN · m/m
	e	1.730	-0.461		편심(e)=Mt/PT
4 차선 제하시	P1	0.943	2.033	0.198	
	P2	2.044	0.999		kN/m
	Pt	2.988	3.032	0.198	
	Mt	1.542	-1.448		kN · m/m
	e	0.516	-0.477		편심(e)=Mt/PT

< DL-24 G1 MAX > : 단위하중제하

거더폭	DL-24	G-1	G-2	ST-1	단 위
		0.120	0.120		m
1 차선 제하시	P1	1.890	0.053	-0.020	
	P2	1.268	-0.011		kN/m
	Pt	3.158	0.042	-0.020	
	Mt	-0.871	-0.089		kN · m/m
	e	-0.276	-2.095		편심(e)=Mt/PT
2 차선 제하시	P1	1.692	-0.205	0.127	
	P2	3.205	0.041		kN/m
	Pt	4.896	-0.164	0.127	
	Mt	2.118	0.343		kN · m/m
	e	0.433	-2.095		편심(e)=Mt/PT
3 차선 제하시	P1	1.745	1.261	0.321	
	P2	2.937	-0.151		kN/m
	Pt	4.682	1.110	0.321	
	Mt	1.669	-1.977		kN · m/m
	e	0.357	-1.782		편심(e)=Mt/PT
4 차선 제하시	P1	1.732	3.115	0.297	
	P2	3.000	1.181		kN/m
	Pt	4.732	4.297	0.297	
	Mt	1.775	-2.707		kN · m/m
	e	0.375	-0.630		편심(e)=Mt/PT

< DL-24 G2 MAX > : 단위하중제하

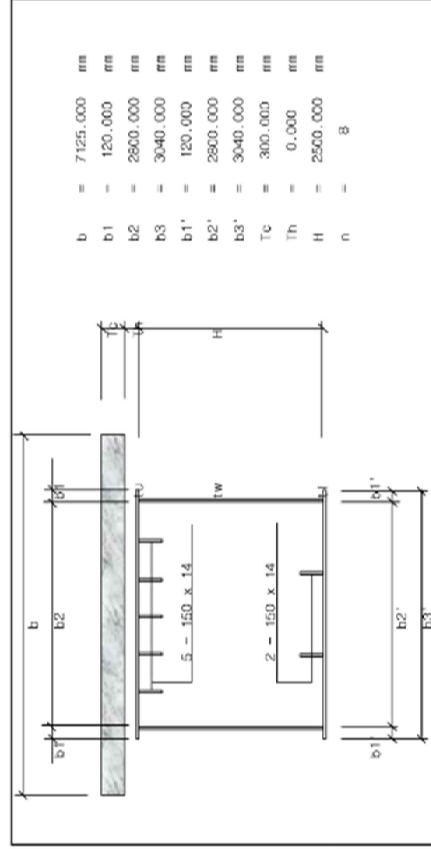
거더폭	DL-24	G-1	G-2	ST-1	단 위
		0.120	0.120		m
1 차선 제하시	P1	-0.012	1.531	-0.023	
	P2	0.048	3.178		kN/m
	Pt	0.100	0.161	-0.023	
	Mt	2.095	0.051		kN · m/m
	e	0.042	3.275		편심(e)=Mt/PT
2 차선 제하시	P1	-0.210	1.445	0.145	
	P2	-0.168	4.719		kN/m
	Pt	-0.353	-2.562	0.145	
	Mt	2.095	-0.543		kN · m/m
	e	-0.159	3.003		편심(e)=Mt/PT
3 차선 제하시	P1	1.461	1.495	0.320	
	P2	1.302	4.502		kN/m
	Pt	2.269	-2.107	0.320	
	Mt	1.742	-0.468		kN · m/m
	e	1.403	3.064		편심(e)=Mt/PT
4 차선 제하시	P1	3.082	1.486	0.296	
	P2	4.485	4.551		kN/m
	Pt	2.351	-2.209	0.296	
	Mt	0.524	-0.485		kN · m/m
	e				편심(e)=Mt/PT

< 탱크 트레일러 하중세하시 > : 단위하중세하

Tank Trailer		G - 1	G - 2	ST - 1	단 위
G1 MAX	P1	0.120	0.120	-0.010	m
	P2	1.133	0.026	-0.010	
	Pt	0.946	-0.005		kN/m
	Mt	2.079	0.021	-0.010	
	e	-0.261	-0.044		kN · m/m
G2 MAX	P1	-0.125	-2.095	-0.010	원상(e)=Mt/PT
	P2	-0.005	1.093		
	Pt	0.026	0.984		kN/m
	Mt	0.021	2.077	-0.010	
	e	0.043	-0.152		kN · m/m
		2.095	-0.073		원상(e)=Mt/PT

2) 단면 특성

◎ 정모멘트 구간 단면 특성



① 합성단면

단 면	B (mm)	H (mm)	As(mm²)	Y(mm)	As+Y (mm²)	As+Y²(mm⁴)	Io(mm⁴)
1 - UPPER FLANGE	3040	12	36480	1256	45818880	57548513280	437760
5 - UPPER RIB	150	14	10500	1175	12337500	14496562500	19687500
2 - WEB	2500	12	60000				31250000000
2 - LOWER RIB	150	14	4200	-1175	-4935000	5798625000	7675000
1 - LOWER FLANGE	3040	12	36480	-1256	-45818880	57548513280	437760
TOTAL			147660		7402500	135392214060	31278438020

$$I_s = \sum A_s \cdot Y^2 + \sum I_o = 135392214060 + 31278438020 = 166670652080 \text{ mm}^4$$

$$\delta s = \sum A_s Y / \sum A_s = 7402500 / 147660 = 50.13 \text{ mm}$$

$$I_{33} = I_s - \sum A_s \cdot \delta s^2 = 166670652080 - 147660 \times 20.132^2 = 166299549505 \text{ mm}^4$$

$$I_{22} = (b_3^3 \times t_u / 12) + (b_3^3 \times t_l / 12) + \{ (H \times t_w^3 / 12) + (H \times t_w \times (b_2 / 2 + t_w / 2)^2) \} + 2 \times (3040^3 \times 12 / 12) + (3040^3 \times 12 / 12) + \{ (2500 \times 12^3 / 12) + (2500 \times 12 \times (2800 / 2 + 12 / 2)^2) \} \times 2 = 174799808000 \text{ mm}^4$$

- 비틀림 강성

$$J = b_3^3 \times t_u / 2 + t_l / 2 + 2 \times 2800.000 + 12.000 / 2 \times 2 = 2812.00 \text{ mm}^4$$

$$J_k = H \times t_u / 2 + t_l / 2 + 2 \times 2500.000 + 12.000 / 2 + 12.000 / 2 = 2512.00 \text{ mm}^4$$

$$K = (4 \times b_3^3 \times H k^2) / (2 \times H k / t_w + b_k / t_u + b_k / t_l) = (4 \times 2812^3 \times 2512^2) / (2 \times 2512 / 12 + 2812 / 12 + 2812 / 12) = 224927780455 \text{ mm}^4$$

② 합성후 단면

$$A_c = b \times T_c = 7125.000 \times 300.000 = 2137500 \text{ mm}^2$$

$$A_v = \sum A_s + A_c / N = 147600 + 2137500 / 8 = 414848 \text{ mm}^2$$

$$I_c = b \times T_c^3 / 12 = 7125.00 \times 300.00^3 / 12 = 16031250000 \text{ mm}^4$$

$$d_v = H / 2 - \delta s + T_h + T_c / 2 = 2500.0 / 2 - 50.132 + 300.00 / 2 = 1349.87 \text{ mm}$$

$$d_{vc} = d_v \cdot \sum A_s / A_v = 1349.868 \times 147660 / 414848 = 480.47 \text{ mm}$$

$$d_{vs} = d_v - d_{vc} = 1349.868 - 480.469 = 869.40 \text{ mm}$$

$$I_{v33} = I_{33} + I_c / N + \sum A_s \cdot d_{vs}^2 + A_c / N \cdot d_{vc}^2 = 166299549505 + 16031250000 / 8 + 147660 \times 869.399^2 + 2137500 / 8 \times 480.469^2 = 341593290952 \text{ mm}^4$$

$$I_{v22} = I_{22} + b^3 \times T_c / 12 / N = 174799808000 + 7125.000^3 \times 300.00 / 12 / 8 = 1305128177141 \text{ mm}^4$$

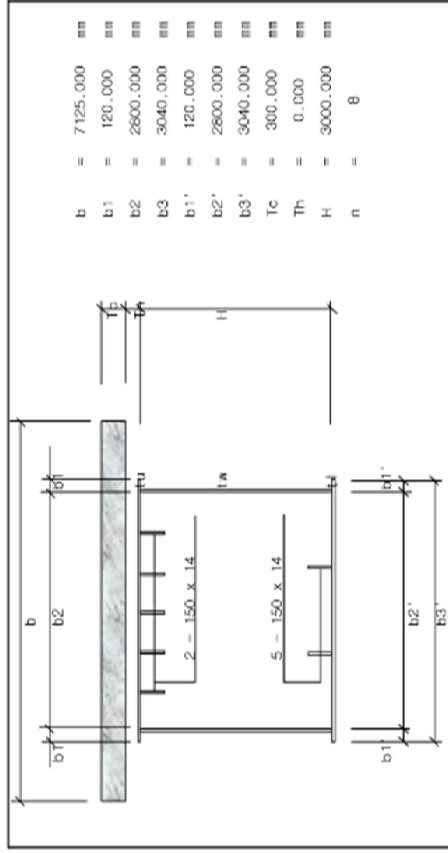
- 비틀림 강성

* 합성단면의 K값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강제로 한산하여 적용한다.

$$t_{cu} = t_u + T_c / N = 12.000 + 300.000 / 8 = 49.50 \text{ mm}$$

$$K = (4 \times b_3^3 \times H k^2) / (2 \times H k / t_w + b_k / t_u + b_k / t_l) = (4 \times 2812^3 \times 2512^2) / (2 \times 2512 / 12 + 2812 / 12 + 2812 / 12) = 281182931819 \text{ mm}^4$$

◎ 부모멘트구간 단면특성



b	=	7125.000	mm
b1	=	120.000	mm
b2	=	2800.000	mm
b3	=	3040.000	mm
b1'	=	120.000	mm
b2'	=	2800.000	mm
b3'	=	3040.000	mm
tc	=	300.000	mm
th	=	0.000	mm
h	=	3000.000	mm
n	=	8	

① 합성진 단면

단 면	B (mm)	H (mm)	As (mm²)	Y (mm)	As*Y (mm³)	As*Y² (mm⁴)	Io (mm⁴)
1 - UPPER FLANGE	3040	20	60800	1510	91808000	1386330800000	2026667
2 - UPPER RIB	150	14	4200	1425	5985000	8528675000	7875000
2 - WEB	3000	12	72000				540000000000
5 - LOWER RIB	150	14	10500	-1425	-14962500	21521562500	19687500
1 - LOWER FLANGE	3040	22	66880	-1511	-101053580	152955132480	2697493
TOTAL			214380		-18225180	321175399980	54032286660

$$I_s = \sum A_s \cdot Y^2 + \sum I_o = 321175399980 + 54032286660 = 375207686640 \text{ mm}^4$$

$$\delta s = \sum A_s Y / \sum A_s = -18225180 / 214380 = -85.01 \text{ mm}$$

$$I_{33} = I_s - \sum A_s \cdot \delta s^2 = 375207686640 - 214380 \times (-85.01)^2 = 373658301501 \text{ mm}^4$$

$$I_{22} = (b_3^3 \times t_u / 12) + (b_3^3 \times t_l / 12) + (H \times t_w^3 / 12) + (H \times t_w \times (b_2 / 2 + t_w / 2)^2) + (3040^3 \times 20 / 12) + (3040^3 \times 22 / 12) + ((3000 \times 12^3 / 12) + (3000 \times 12 \times (2800 / 2 + 12 / 2)^2) \times 2 = 240666368000 \text{ mm}^4$$

- 비틀림 강성

$$bk = b_2 + t_w / 2 \times 2 = 2800.000 + 12.000 / 2 \times 2 = 2812.00 \text{ mm}$$

$$HK = H + t_u / 2 + t_l / 2 = 3000.000 + 20.000 / 2 + 22.000 / 2 = 3021.00 \text{ mm}$$

$$K = (4 \times bk^2 \times Hk^2) / (2 \times Hk / t_w + bk / t_u + bk / t_l)$$

$$= (4 \times 2812^2 \times 3021^2) / (2 \times 3021 / 12 + 2812 / 20 + 2812 / 22) = 373956256932 \text{ mm}^4$$

② 합성후 단면

$$A_c = b \times T_c = 7125.000 \times 300.000 = 2137500 \text{ mm}^2$$

$$A_v = \sum A_s + A_c / N = 214380 + 2137500 / 8 = 481568 \text{ mm}^2$$

$$I_c = b \times T_c^3 / 12 = 7125.000 \times 300.000^3 / 12 = 16031250000 \text{ mm}^4$$

$$dv = H / 2 - \delta s + T_h + T_c / 2$$

$$= 3000.0 / 2 - (-85.013) + 300.00 / 2 = 1735.01 \text{ mm}$$

$$dvc = dv - \sum A_s / A_v = 1735.013 \times 214380 / 481568 = 772.38 \text{ mm}$$

$$dvs = dv - dvc = 1735.013 - 772.378 = 962.64 \text{ mm}$$

$$I_{v33} = I_c + I_c / N + \sum A_s \cdot dvc^2 + A_c / N \cdot dvc^2$$

$$= 373658301501 + 16031250000 / 8 + 214380 \times 962.635^2 + 2137500 / 8 \times 772.378^2$$

$$= 733716527053 \text{ mm}^4$$

$$I_{w22} = I_{22} + b^3 \times T_c / 12 / N = 240663680000 + 7125.000^3 \times 300.00 / 12 / 8$$

$$= 1370992049141 \text{ mm}^4$$

- 비틀림 강성

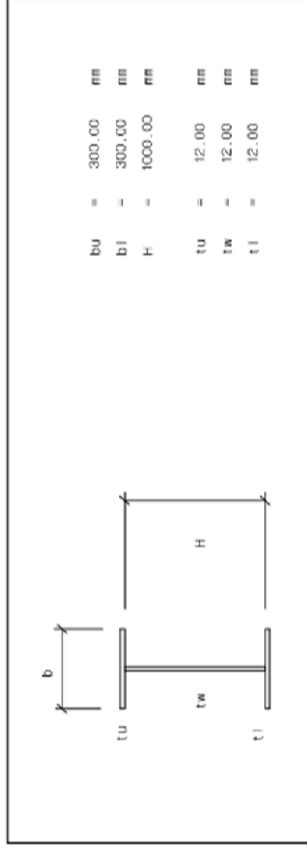
* 합성단면의 K값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 간재로 환산하여 적용한다.

$$t_{cu} = t_u + T_c / N = 20.000 + 300.000 / 8 = 57.50 \text{ mm}$$

$$K = (4 \times bk^2 \times Hk^2) / (2 \times Hk / t_w + bk / t_{cu} + bk / t_l)$$

$$= (4 \times 2812^2 \times 3021^2) / (2 \times 3021 / 12 + 2812 / 57.5 + 2812 / 22) = 424366470310 \text{ mm}^4$$

◎ 가로보-1



단 면	D (mm)	H (mm)	As (mm²)	Y (mm)	As*Y (mm³)	As*Y² (mm⁴)	Io (mm⁴)
UPPER FLANGE	300	12	3600	506	1821600	921729600	43200
WEB	1000	12	12000	0.00	0.0	0.0	1000000000
LOWER FLANGE	300	12	3600	-506	-1821600	921729600	43200
TOTAL			18200		0	1843459200	1000086400

$$\begin{aligned}
 I_{33} &= I_s - \sum A_s \cdot y^2 + \sum I_o = 18,434,592,000 + 10,000,864,000 = 28,435,456,000 \text{ mm}^4 \\
 I_{22} &= (b u^3 / 12) + (b l^3 / 12) + (0.1 \times l w^3 / 12) \\
 &= (300^3 \times 12 / 12) + (300^3 \times 12 / 12) + ((1000 \times 12^3) / 12) \\
 &= 5,414,400 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

모델링시의 가로보 강성보정은 $I' = I \times (L'/L)^3$ 에 의한다.

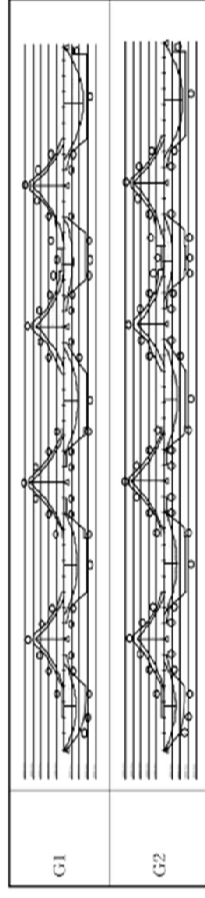
여기서, L, L' : 실제 가로보의 길이 및 강성 L', I' : 모델링시 가로보의 길이 및 보강강성

-비틀림 강성

$$\begin{aligned}
 K &= \sum (b \times I^3) / 3 \\
 &= (300 \times 12^3 + 300 \times 12^3 + 1000 \times 12^3) / 3 \\
 &= 921,600 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

3) 해석 결과

① 단면 요약도



② 정모멘트부 단면력 집계표

【표 4.7】 휨모멘트 집계표

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활 하중	지 정 하	합 계	비 고
	Steel	Concrete					
G1	971.144	2609.197	1456.720	5255.767	984.930	11277.757	
G2	956.853	2513.019	1037.366	5102.181	980.133	10589.552	

단위:kNm

【표 4.8】 전단력 집계표

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활 하중	지 정 하	합 계	비 고
	Steel	Concrete					
G1	38.974	118.224	58.250	476.472	199.311	891.231	
G2	39.319	114.034	46.076	465.307	201.984	866.720	

단위:kNm

【표 4.9】 비틀림모멘트 집계표

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활 하중	지 정 하	합 계	비 고
	Steel	Concrete					
G1	-3.302	-21.936	44.785	630.212	5.914	655.672	
G2	-4.590	12.984	-96.548	644.408	7.005	563.260	

단위:kNm

③ 부모멘트부 단면력 집계표

【표 4.10】 휨모멘트 집계표

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활 하중	지 정 하	합 계	비 고
	Steel	Concrete					
G1	-5396.757	-14515.189	-7945.634	-9563.967	-4705.206	-41496.753	
G2	-5360.217	-14295.489	-6140.039	-9313.339	-4233.908	-39342.992	

단위:kNm

【표 4.11】 전단력 집계표

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활 하중	지 정 하	합 계	비 고
	Steel	Concrete					
G1	-638.555	-1640.843	-912.528	-1135.097	-84.675	-4411.699	
G2	-638.337	-1625.408	-760.710	-1105.734	-102.631	-4172.820	

단위:kNm

【표 4.12】 비틀림모멘트 집계표

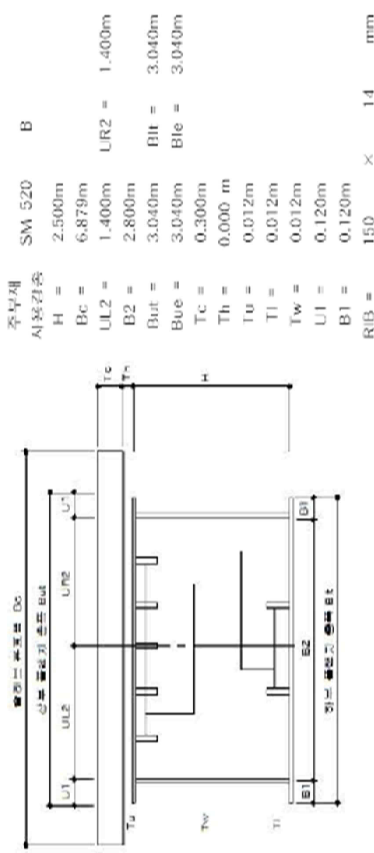
거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활 하중	지 정 하	합 계	비 고
	Steel	Concrete					
G1	-18.666	-22.377	-267.068	-1093.782	-17.195	-1419.088	
G2	-29.527	-174.788	-66.680	-1224.261	-13.817	-1509.082	

단위:kNm

4) 응력 검토

(1) 정모멘트부

정모멘트구간의 응력검토는 최대 정모멘트가 적용하는 중임부 기터1(C1) 에 대해서 수행하였으며 압축을 정(+)으로 하고 인장을 부(-)로 하여 검토하였다.



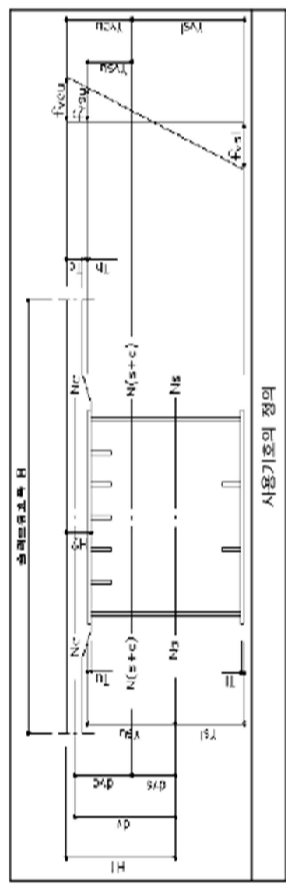
【표 4.13】 응력 선정시 입력자료

구분	단위	입력자료
Es : 강철 탄성계수	MPa	210000
Ec : 콘크리트 탄성계수	MPa	25000
αs : 바닥 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축률		0.00027
αc : 간체 및 콘크리트의 수렴침계수		0.000012
φ ₂ : 건조수축에 의한 응력계수에 사용된 크리이프계수		4
n : 간체와 콘크리트의 탄성계수비		8
t : 간체와 콘크리트의 온도차	℃	10
Ms : 합성재 고정하중에 의한 모멘트	kNm	3580.341
Msc : 합성재 고정하중에 의한 모멘트	kNm	1456.720
Mv : (합성재 + 지점침하)에 의한 모멘트	kNm	6240.697
Ss : 합성재 고정하중에 의한 전단력	kN	-157.198
Ssc : 합성재 고정하중에 의한 전단력	kN	-58.250
Sv : (합성재 + 지점침하)에 의한 전단력	kN	-675.783
Mst : 합성재 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kNm	25.238
Mscst : 합성재 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kNm	-44.785
Mvt : (합성재 + 지점침하)에 의한 비틀림모멘트	kNm	636.126

< 참고 > 합성재 고정하중 : 강제하중 + 바닥콘크리트하중
 합성재 고정하중 : 난간 및 방호벽하중 + PAVEMENT 하중

【표 4.14】 단면세원

단면	B (mm)	H (mm)	AREA(mm²)	Y (mm)	A*Y(mm³)	Is(mm⁴)
1 - UPPER FLANGE	3040	12	36480	1256	45818880	57548513280
7 - UPPER RIB	14	150	10500	1175	12337500	14496568500
1 - L WEB	12	2500	30000	0.00	0.00	0.00
1 - R WEB	12	2500	30000	0.00	0.00	0.00
3 - LOWER RIB	14	150	4200	-1175	-4935000	5798625000
1 - LOWER FLANGE	3040	12	36480	-1256	-45818880	57548513280
강면 단면 합계			147680		7402500	1.35392E+11
1 - RC SLAB	6879.5	300	2063837.1	1400	2889371938	4045120713060
* As =	147680	mm²	Ac =	2063837.1	mm²	
						15478778238



① 응력 선정

- 합성재

$$\begin{aligned}
 I_s' &= A_s \cdot Y_2^2 + \sum I_s = 135392214060 + 31278438020 = 166670652080 \text{ mm}^4 \\
 \delta s &= \sum (A \cdot Y) / A_s = 7402500 / 147680 = 50.132 \text{ mm} \\
 I_s &= I_s' - A_s \cdot \delta s^2 = 166670652080 - 147680 \times 50.132^2 = 166299549505 \text{ mm}^4 \\
 Y_{su} &= H/2 + T_u - \delta s = 2500 / 2 + 12 - 50.132 = 1211.868 \text{ mm} \\
 Y_{sl} &= Y_{su} - (H + T_u + T_l) = 1211.868 - 2524 = -1312.132 \text{ mm} \\
 F &= b \cdot h = (UL2 + UR2 + B2)/2 + T_w \cdot (H + T_u/2 + T_l/2) = 7063774 \text{ mm}^2 \\
 f_{su} &= M_s \cdot Y_{su} / I_s = 26.091 \text{ MPa} \\
 f_{sl} &= M_s \cdot Y_{sl} / I_s = -28.250 \text{ MPa} \\
 p &= S_s / A(\text{Web}) + M_{st} / (Z \cdot F \cdot T_w) = 2.769 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- 합성후

$$\begin{aligned}
 A_v &= A_s + A_c/n = 405639.6 \text{ mm}^2 \\
 I_c/n &= 1934847280 \text{ mm}^4 \\
 dv &= Y_{su} - T_u + T_h + T_c/2 = 1349.9 \text{ mm} \\
 dvc &= dv - As/(Ac/n+As) = 491.4 \text{ mm} \\
 dvs &= dv - dvc = 858.5 \text{ mm} \\
 Y_{vcu} &= dvc + T_c/2 = 641.4 \text{ mm} \\
 Y_{vc1} &= Y_{vcu} - T_c = 341.4 \text{ mm} \\
 Y_{vsu} &= Y_{vcu} - H_2 + T_u = 353.4 \text{ mm} \\
 Y_{vs1} &= Y_{vsu} - (H + T_u + T_l) = -2170.6 \text{ mm} \\
 I_v &= I_s + I_c/n + A_s \cdot dv_s^2 + A_c/n \cdot dvc^2 = 339330338477 \text{ mm}^4 \\
 f_{vcu} &= Msc \cdot Y_{vcu}/(n \cdot I_v) = 0.344 \text{ MPa} \\
 f_{vc1} &= Msc \cdot Y_{vc1}/(n \cdot I_v) = 0.183 \text{ MPa} \\
 f_{vsu} &= Msc \cdot Y_{vsu}/I_v = 1.517 \text{ MPa} \\
 f_{vs1} &= Msc \cdot Y_{vs1}/I_v = -9.318 \text{ MPa} \\
 v &= Ssc / A(Web) + Msc / (2 \cdot F \cdot Tw) = 1.233 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- 활하중에 의한 응력

$$\begin{aligned}
 f_{vcu} &= M_v \cdot Y_{vcu}/(n \cdot I_v) = 1.474 \text{ MPa} \\
 f_{vc1} &= M_v \cdot Y_{vc1}/(n \cdot I_v) = 0.785 \text{ MPa} \\
 f_{vsu} &= M_v \cdot Y_{vsu}/I_v = 6.499 \text{ MPa} \\
 f_{vs1} &= M_v \cdot Y_{vs1}/I_v = -39.918 \text{ MPa} \\
 v &= Sv / A(Web) + Mvt / (2 \cdot F \cdot Tw) = 14.988 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- 크리프에 의한 응력

$$\begin{aligned}
 n1 &= n \cdot (1 + \varphi / 2) = 8 \times (1 + 2.0 / 2) = 16 \\
 A_{v1} &= A_s + A_c/n1 = 276649.8 \text{ mm}^2 \\
 d_{c1} &= dv \cdot As/(Ac/n1+As) = 720.5 \text{ mm} \\
 ds1 &= dv - d_{c1} = 629.4 \text{ mm} \\
 Y_{v1cu} &= d_{c1} + T_c/2 = 870.5 \text{ mm} \\
 Y_{v1c1} &= Y_{v1cu} - T_c = 570.5 \text{ mm} \\
 Y_{v1su} &= Y_{v1cu} - H_2 + T_u = 582.5 \text{ mm} \\
 Y_{v1s1} &= Y_{v1su} - (H + T_u + T_l) = -1941.5 \text{ mm} \\
 I_{v1} &= I_s + I_c/n1 + A_s \cdot ds1^2 + A_c/n1 \cdot d_{c1}^2 = 292716917164 \text{ mm}^4 \\
 N_c &= Msc \cdot dvc \cdot Ac/(n \cdot I_v) = 544160 \text{ N} \\
 P_{\varphi} &= N_c \cdot 2 \cdot \varphi / (2 + \varphi) = 544160 \text{ N} \\
 M_{\varphi} &= P_{\varphi} \cdot d_{c1} = 392058381 \text{ N} \cdot \text{mm} \\
 I_{c1} &= I_c / (1 + \varphi / 2) = 12500 \text{ MPa} \\
 f_{c1} &= Msc \cdot Y_{vcu} / (n \cdot I_v) = 0.344 \text{ MPa} \\
 f_{c1} &= Msc \cdot Y_{vc1} / (n \cdot I_v) = 0.183 \text{ MPa} \\
 f_{cu1} &= 1/n1 \cdot (P_{\varphi}/A_{v1} + k \cdot M_{\varphi} \cdot Y_{v1cu}/I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu} \cdot \varphi / E_c = -0.188 \text{ MPa} \\
 f_{c1} &= 1/n1 \cdot (P_{\varphi}/A_{v1} + k \cdot M_{\varphi} \cdot Y_{v1c1}/I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{c1} \cdot \varphi / E_c = -0.038 \text{ MPa} \\
 f_{vsu1} &= P_{\varphi}/A_{v1} + k \cdot M_{\varphi} \cdot Y_{v1su}/I_{v1} = 2.326 \text{ MPa} \\
 f_{vs1} &= P_{\varphi}/A_{v1} + k \cdot M_{\varphi} \cdot Y_{v1s1}/I_{v1} = 0.771 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- 건조수축에 의한 응력

$$\begin{aligned}
 n2 &= n \cdot (1 + \varphi / 2) = 8 \times (1 + 4.0 / 2) = 24 \\
 A_{v2} &= A_s + A_c/n2 = 233653.212 \text{ mm}^2 \\
 d_{c2} &= dv \cdot As/(Ac/n2+As) = 853.1 \text{ mm} \\
 ds2 &= dv - d_{c2} = 496.8 \text{ mm} \\
 Y_{v2cu} &= d_{c2} + T_c/2 = 1003.1 \text{ mm} \\
 Y_{v2c1} &= Y_{v2cu} - T_c = 703.1 \text{ mm} \\
 Y_{v2su} &= Y_{v2cu} - H_2 + T_u = 715.1 \text{ mm} \\
 Y_{v2s1} &= Y_{v2su} - (H + T_u + T_l) = -1808.9 \text{ mm} \\
 I_{v2} &= I_s + I_c/n2 + A_s \cdot ds2^2 + A_c/n2 \cdot d_{c2}^2 = 265967901418.6 \text{ mm}^4 \\
 p2 &= E_s \cdot \varepsilon_s \cdot A_c/n2 = 4875815 \text{ N} \\
 M_{v2} &= p2 \cdot d_{c2} = 4159389800 \text{ N} \cdot \text{mm} \\
 E_{c2} &= E_s \cdot n2 = 8750 \text{ MPa} \\
 f_{vcu2} &= 1/n2 \cdot (P2/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot Y_{v2cu}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \varepsilon_s = -1.192 \text{ MPa} \\
 f_{vc12} &= 1/n2 \cdot (P2/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot Y_{v2c1}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \varepsilon_s = -1.282 \text{ MPa} \\
 f_{vsu2} &= P2/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot Y_{v2su}/I_{v2} = 26.012 \text{ MPa} \\
 f_{vs12} &= P2/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot Y_{v2s1}/I_{v2} = 7.855 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- 온도차에 의한 응력

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_t &= a \cdot t = 0.000012 \times 10 = 0.00012 \\
 p1 &= E_s \cdot \varepsilon_t \cdot A_c/n = 6501087 \text{ N} \\
 M_{vt} &= p1 \cdot dvc = 3194476736 \text{ N} \cdot \text{mm} \\
 f_{cut} &= 1/n \cdot (P1/A_v + k \cdot M_{vt} \cdot Y_{vcu}/I_v) - E_c \cdot \varepsilon_t = -0.649 \text{ MPa} \\
 f_{c1t} &= 1/n \cdot (P1/A_v + k \cdot M_{vt} \cdot Y_{vc1}/I_v) - E_c \cdot \varepsilon_t = -0.812 \text{ MPa} \\
 f_{sut} &= P1/A_v + k \cdot M_{vt} \cdot Y_{vsu}/I_v = 17.557 \text{ MPa} \\
 f_{sit} &= P1/A_v + k \cdot M_{vt} \cdot Y_{vs1}/I_v = 6.627 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- 진단 및 비틀림에 의한 응력

$$\begin{aligned}
 v &= (S_s + S_{sc} + S_v)/A_w + (M_{st}/(2 \cdot F \cdot Tw) + (M_{sct} \cdot M_{vt})/(2 \cdot F_v \cdot Tw)) \\
 &= 18.465 \text{ MPa} < v_a = 120 \text{ MPa} \quad \text{O.K.}
 \end{aligned}$$

- 응력조합 및 검토

적용 하중조합

- LCB 1 : 활성전 고정하중
- LCB 2 : 활성전 고정하중+활성후 고정하중+활하중
- LCB 3 : 활성전 고정하중+활성후 고정하중+활하중+크리프
- LCB 4 : 활성전 고정하중+활성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축
- LCB 5 : 활성전 고정하중+활성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축+온도저
- LCB 6 : 활성전 고정하중+활성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축+온도저

② 정모멘트부 응력 검토

시공단계별 하중조건에 대한 발생응력을 조합한 결과, 정모멘트구간은 횡응력에 대한 안전율을 확보하고 있는 것으로 나타났다.

【표 4.15-1】 응력검토 결과 (CONCRETE) 단위 :MPa

하중조합	상 연 (양측응력 발생부위)		하 연 (양측응력 발생부위)		검토 결과
	작용응력	허용응력	작용응력	허용응력	
LCB1		10.800		10.800	
LCB2	1.819	10.800	0.968	10.800	11.157
LCB3	1.631	10.800	0.930	10.800	11.613
LCB4	0.438	10.800	-0.353	1.890	5.354
LCB5	-0.211	2.174	-1.165	2.174	1.866
LCB6	1.088	12.420	0.459	12.420	27.059
안전성검토	최소 안전율		최소 안전율		1.866
	검 토 결 과		검 토 결 과		안 전

【표 4.15-2】 응력검토 결과 (STEEL) 단위 :MPa

하중조합	상 연 (양측응력 발생부위)		하 연 (양측응력 발생부위)		검토 결과
	작용응력	허용응력	작용응력	허용응력	
LCB1	26.091	134.0000	5.136	210.000	7.434
LCB2	34.106	134.0000	3.929	210.000	2.710
LCB3	36.432	154.1000	4.230	210.000	2.737
LCB4	62.444	154.1000	2.468	210.000	3.050
LCB5	80.001	174.2000	2.177	241.500	3.881
LCB6	44.887	174.2000	3.881	241.500	3.199
안전성검토	최소 안전율		최소 안전율		2.710
	검 토 결 과		검 토 결 과		안 전

주) 1. 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

③ 항상응력 검토 (도로교 설계기준)

•상연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v}{v_a}\right)^2 = \left(\frac{80.001}{174.2}\right)^2 + \left(\frac{18.465}{120.0}\right)^2 = 0.211 + 0.024 = 0.235 < 1.2 \quad \therefore \text{O.K}$$

•하연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v}{v_a}\right)^2 = \left(\frac{-77.485}{210.0}\right)^2 + \left(\frac{18.465}{120.0}\right)^2 = 0.136 + 0.024 = 0.160 < 1.2 \quad \therefore \text{O.K}$$

④ 항복에 대한 안전도 검사

$$\Sigma f = 1.3 \times (\text{항상전 고정하중응력} + \text{항상후 고정하중응력}) + 2.15 \times \text{열하중에 의한 응력(충격포함)}$$

+ (크리프응력 변화량) + (건조수축응력변화량) + (온도저응력변화량)의 조합 중에서 가장 불리한 하중 조합에 대하여 검토

- 바닥판 콘크리트

$$\text{항상후 고정하중 응력} = (M_{sc} / (n \cdot I_v)) \times Y_{vcu} = 0.344 \text{ MPa}$$

$$\text{항상후 열하중 응력} = 1.819 - 0.344 = 1.474 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times 0.344 + 2.15 \times 1.474 + (-0.188) + (-1.192) = -0.646$$

$$= 2.887 \text{ MPa} < (3/5) f_{ck} = 16.2 \text{ MPa} \quad \text{O.K. (크리프, 건조수축 포함시)}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times 0.344 + 2.15 \times 1.474 + (0.649)$$

$$= 4.267 \text{ MPa} < (3/5) f_{ck} = 16.2 \text{ MPa} \quad \text{O.K. (크리프, 건조수축 제외시)}$$

- 강재주형 상판

$$\text{항상전 고정하중 응력} = 26.091 \text{ MPa}$$

$$\text{항상후 고정하중 응력} = (M_{sc} / I_v) \times Y_{vsu} = 1.517 \text{ MPa}$$

$$\text{항상후 열하중 응력} = 34.106 - 26.091 - 1.517 = 6.499 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (26.091 + 1.517) + 2.15 \times 6.499 + (2.326) + (26.012) + (17.557)$$

$$= 95.757 \text{ MPa} < f_y = 360.0 \text{ MPa} \quad \text{O.K. (크리프, 건조수축 포함시)}$$

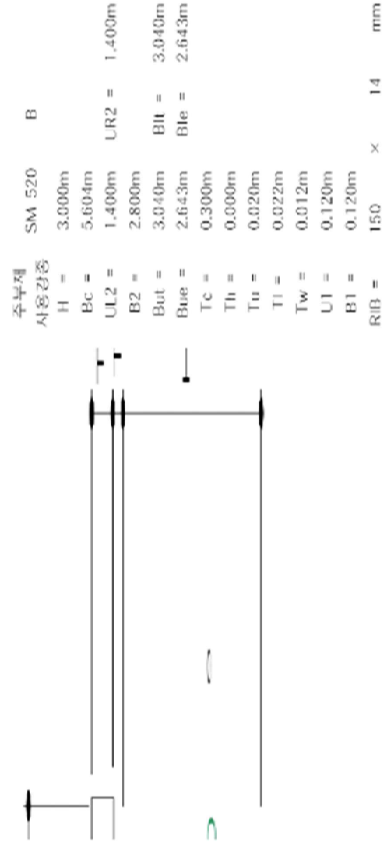
$$\Sigma f = 1.3 \times (26.091 + 1.517) + 2.15 \times 6.499 + (17.557)$$

$$= 67.419 \text{ MPa} < f_y = 360.0 \text{ MPa} \quad \text{O.K. (크리프, 건조수축 제외시)}$$

- 강재주형 하판

$$\begin{aligned}
 \text{원형전 고정하중 응력} &= -28.250 \text{ MPa} \\
 \text{한상후 고정하중 응력} &= (M_{sc} / I_v) \times Y_{vsl} = -9.318 \text{ MPa} \\
 \text{원형후 활하중 응력} &= -77.485 - (-28.25) - (-9.318) = -39.918 \text{ MPa} \\
 \Sigma f &= 1.3 \times (-28.25 + -9.318) + 2.15 \times -39.918 + (0.771) + (7.855) + (-6.627) \\
 &= -132.663 \text{ MPa} < f_y = 360.0 \text{ MPa O.K. (크리프, 건조수축 포함시)} \\
 \Sigma f &= 1.3 \times (-28.25 + -9.318) + 2.15 \times -39.918 + (-6.627) \\
 &= -141.288 \text{ MPa} < f_y = 360.0 \text{ MPa O.K. (크리프, 건조수축 제외시)}
 \end{aligned}$$

(2) 부오멘트부



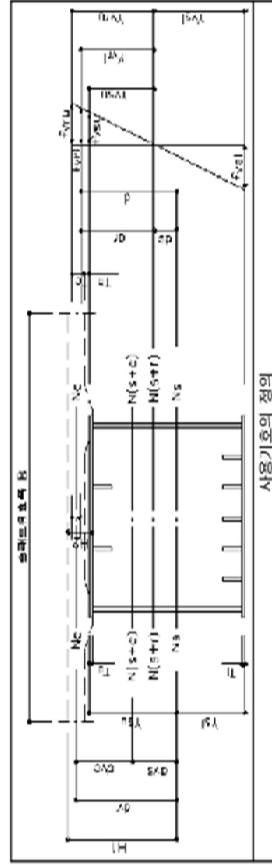
[표 4.16] 응력 산정시 입력자료

구	분	단위	입력자료
Es	: 강성의 탄성계수	MPa	210000
Ec	: 콘크리트 탄성계수	MPa	25000
es	: 바닥과 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축률		0.00027
a	: 강재 및 콘크리트의 선형팽창계수		0.000012
φ	: 건조수축에 의한 응력계수에 사용된 크리미프계수		4
n	: 강재와 콘크리트의 탄성계수비		8
t	: 강재와 콘크리트의 온도차	℃	10
Msb	: 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kNm	-19911.940
Msc	: 한상후 고정하중에 의한 모멘트	kNm	-7945.634
Mv	: (활하중 + 지점침하)에 의한 모멘트	kNm	-14269.100
Ss	: 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-2279.398
Ssc	: 한상후 고정하중에 의한 전단력	kN	-912.528
Sv	: (활하중 + 지점침하)에 의한 전단력	kN	-1219.772
Mst	: 합성전 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kNm	41.043
Mscf	: 한상후 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kNm	-267.068
Mvt	: (활하중 + 지점침하)에 의한 비틀림모멘트	kNm	-1110.977
tau, tcd	: 교각방향 철근의 피복두께 (상부, 하부)	mm	60, 40

【표 4.17】 단면제원

단 면	B(mm)	H(mm)	AREA (mm ²)	Y(mm)	A*Y(mm ³)	A*Y ² (mm ⁴)	Ix(mm ⁴)
1 - UPPER FLANGE	2642.5	20	52851	1510	79804708	120505100080	17616593
2 - UPPER RIB	14	150	4200	1425	5985000	8528625000	7875000
1 - L WEB	12	3000	36000	0.00	0.0	0.0	270000000000
1 - R WEB	12	3000	36000	0.00	0.0	0.0	270000000000
5 - LOWER RIB	14	150	10500	-1425	-14962500	21321562500	19687500
1 - LOWER FLANGE	2642.5	22	58136	-1510	-87843315	132731248481	2344814
2단면 합계			197687		-17016107	283086545061	54031669007
UPPER RE-BAR	-	-	21693	1740	37745760	65677605696	-
LOWER RE-BAR	-	-	21693	1540	33407158	51447023936	-
RC-BAR 합계			43386		71152909	117124629632	-
1 - RC SLAB	5004.0	300	1681190	1650	2773963512	4577039794874	12608925055

* As= 197687 mm² , Ac= 1681190 mm² , Ar= 43386 mm²



① 용력 산정

- 합성진

$$I_s' = A_s \cdot Y_2 + \sum I_s = 283086545061 + 54031669007 = 337118214069 \text{ mm}^4$$

$$\delta s = \sum (A \cdot Y) / A_s = -17016107 / 197687 = -86.076 \text{ mm}$$

$$I_s = I_s' - A_s \cdot \delta s^2 = 337118214069 - 197687 \times (-86.076)^2 = 335653533259 \text{ mm}^4$$

$$Y_{su} = H/2 + Tu - \delta s = 3000 / 2 + 20 - (-86.076) = 1606.076 \text{ mm}$$

$$Y_{sl} = Y_{su} - (H + Tu + Tl) = 1606.076 - 3042 = -1435.924 \text{ mm}$$

$$F = b \cdot h = (UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw \cdot (H + Tu / 2 + Tl / 2) = 8495032 \text{ mm}^2$$

$$f_{su} = M_s \cdot Y_{su} / I_s = -95.277 \text{ MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot Y_{sl} / I_s = 85.183 \text{ MPa}$$

$$\sigma = S_s / A(\text{Web}) + M_{st} / (2 \cdot F \cdot Tw) = 31.860 \text{ MPa}$$

- 합성후

$$A_v = A_s + A_r = 241073 \text{ mm}^2$$

$$d = Y_{su} - Tu + Th + (Tc - t_{cu} - t_{cl}) \cdot A_{ru} / A_r = 1726.076 \text{ mm}$$

$$dr = d \cdot A_s / (A_s + A_r) = 1415.434 \text{ mm}$$

$$ds = d - dr = 310.643 \text{ mm}$$

$$Y_{ru} = dr - (Tc - t_{cu} - t_{cl}) \cdot A_r / A_r = 1515.434 \text{ mm}$$

$$Y_{rl} = dr - (Tc - t_{cu} - t_{cl}) \cdot A_r / A_r = 1315.434 \text{ mm}$$

$$Y_{su} = Y_{rl} - t_{cl} - Th + Tu = 1295.434 \text{ mm}$$

$$Y_{sl} = Y_{su} - (H + Tu + Tl) = -1746.566 \text{ mm}$$

$$I_{rv} = I_s + A_s \cdot ds^2 + A_r \cdot dr^2 = 441651678595 \text{ mm}^4$$

$$f_{rvu} = M_{sc} \cdot Y_{ru} / I_{rv} = -27.264 \text{ MPa}$$

$$f_{rvl} = M_{sc} \cdot Y_{rl} / I_{rv} = -23.666 \text{ MPa}$$

$$f_{vsu} = M_{sc} \cdot Y_{su} / I_{rv} = -23.306 \text{ MPa}$$

$$f_{vsl} = M_{sc} \cdot Y_{sl} / I_{rv} = 31.422 \text{ MPa}$$

$$\sigma = S_{sc} / A(\text{Web}) + M_{st} / (2 \cdot F \cdot Tw) = 13.976 \text{ MPa}$$

- 합하중예 의한 응력

$$f_{rvu} = M_v \cdot Y_{ru} / I_{rv} = -48.961 \text{ MPa}$$

$$f_{rvl} = M_v \cdot Y_{rl} / I_{rv} = -42.500 \text{ MPa}$$

$$f_{vsu} = M_v \cdot Y_{su} / I_{rv} = -41.854 \text{ MPa}$$

$$f_{vsl} = M_v \cdot Y_{sl} / I_{rv} = 56.429 \text{ MPa}$$

$$\sigma = S_v / A(\text{Web}) + M_{st} / (2 \cdot F \cdot Tw) = 22.357 \text{ MPa}$$

- 크리프에 의한 응력

$$A_{vc} = A_s + A_c / n = 407835.431 \text{ mm}^2$$

$$dv = Y_{su} - Tu + Th + Tc / 2 = 1736.076 \text{ mm}$$

$$dvc = dv \cdot A_s / (A_c / n + A_s) = 841.514 \text{ mm}$$

$$dvs = dv - dvc = 894.562 \text{ mm}$$

$$n1 = n \cdot (1 + \phi / 2) = 8 \times (1 + 2.0 / 2) = 16$$

$$A_{v1} = A_s + A_c / n1 = 302761.055 \text{ mm}^2$$

$$dc1 = dv \cdot A_s / (A_c / n1 + A_s) = 1133.564 \text{ mm}$$

$$ds1 = dv - dc1 = 602.512 \text{ mm}$$

$$I_{cv} = I_s + I_c / n + A_s \cdot dvs^2 + A_c / n \cdot dvc^2 = 644242677366.3 \text{ mm}^4$$

$$N_c = M_{sc} \cdot dvc / A_c \cdot (n + 1) = -2181057 \text{ N}$$

$$P \phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi / (2 + \phi) = -2181057 \text{ N}$$

$$M \phi = P \phi \cdot dc1 = -2472368879 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$I_{c1} = I_c / (1 + \phi / 2) = 12500 \text{ MPa}$$

$$f_{rvu1} = P \phi / A_v + K \cdot M \phi \cdot Y_{ru} / I_{rv} = -9.505 \text{ MPa}$$

$$f_{rvl1} = P \phi / A_v + K \cdot M \phi \cdot Y_{rl} / I_{rv} = -9.445 \text{ MPa}$$

$$f_{vsu1} = P \phi / A_v + K \cdot M \phi \cdot Y_{su} / I_{rv} = -9.439 \text{ MPa}$$

$$f_{vsl1} = P \phi / A_v + K \cdot M \phi \cdot Y_{sl} / I_{rv} = -8.519 \text{ MPa}$$

(도로교시방서 Page242)

2차 부정정역으로 인한 응력 고려

$$K = 0.054$$

- 구조수축에 의한 응력

$$\begin{aligned} n2 &= n \cdot (1 + \varphi/2) = 8 \times (1 + 4.0/2) = 24 \\ Av2 &= As + Ac/n2 = 267736.264 \text{ mm}^2 \\ dc2 &= dv + As/(Ac/n2 + As) = 1281.855 \text{ mm} \\ ds2 &= dv - dc2 = 454.221 \text{ mm} \\ p2 &= Es \cdot \varepsilon_s \cdot Ac/n2 = 3971811 \text{ N} \\ Mv2 &= p2 \cdot dc2 = 5091287189 \text{ N} \cdot \text{mm} \\ fvr2 &= p2/Av + K \cdot Mv2 \cdot Yvr2/Ipv = 17.419 \text{ MPa} \\ fvl2 &= p2/Av + K \cdot Mv2 \cdot Yvl2/Ipv = 17.294 \text{ MPa} \\ fvsu2 &= p2/Av + K \cdot Mv2 \cdot Yvsu2/Ipv = 17.282 \text{ MPa} \\ fvs2 &= p2/Av + K \cdot Mv2 \cdot Yvs2/Ipv = 15.388 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 온도차에 의한 응력

$$\begin{aligned} \varepsilon_t &= \alpha \cdot t = 0.000012 \times 10 = 0.00012 \\ P1 &= Es \cdot \varepsilon_t \cdot Ac/n = 5295749 \text{ N} \\ Mv1 &= P1 \cdot dvc = 4456445274 \text{ N} \cdot \text{mm} \\ Ert &= Es \cdot \varepsilon_t = 25.2 \text{ MPa} \\ frut &= P1/Av + K \cdot Mv1 \cdot Yvrut/Ipv - Es \cdot \varepsilon_t = -2.407 \text{ MPa} \\ frll &= P1/Av + K \cdot Mv1 \cdot Yvrl/Ipv - Es \cdot \varepsilon_t = -2.516 \text{ MPa} \\ fsut &= P1/Av + K \cdot Mv1 \cdot Yvsu/Ipv = 22.673 \text{ MPa} \\ fsll &= P1/Av + K \cdot Mv1 \cdot Yvs/Ipv = 21.016 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 전단 및 비틀림에 의한 응력

$$\begin{aligned} \sigma &= (Ss + Ssc + Svl)/Aw + (Mst/(2 \cdot F \cdot Tw) + (MscL/Mv0)/(2 \cdot Fv \cdot Tw)) \\ &= 67.790 \text{ MPa} < \sigma_a = 120 \text{ MPa} \quad \text{O.K.} \end{aligned}$$

- 응력조합 및 검토

적용 하중조합

- LCB 1 : 합성전 고정하중
- LCB 2 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+원하중
- LCB 3 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+원하중+크리프
- LCB 4 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+원하중+크리프+긴조수축
- LCB 5 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+원하중+크리프+긴조수축+온도차
- LCB 6 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+원하중+크리프+긴조수축+온도차

② 부모멘트부 응력 검토

시공단계별 하중조건에 대한 발생응력을 조합한 결과, 정모멘트 구간은 휨응력에 대한 안전율을 확보하고 있는 것으로 나타났다.

【표 4.18-1】 응력검토 결과 (RE-BAR) 단위 : MPa

하중조합	상 연 (압축응력 발생부위)		하 연 (인장응력 발생부위)	
	작용응력	허용응력	검토 결과	검토 결과
LCB 1		160.00		160.00
LCB 2	-76.225	160.00	2.099	160.00
LCB 3	-85.731	160.00	1.866	160.00
LCB 4	-68.312	160.00	2.342	160.00
LCB 5	-70.718	184.00	2.602	184.00
LCB 6	-65.905	184.00	2.792	184.00
안전성검토	최소 안전율		1.866	최소 안전율
	검 토 결 과		안 전	검 토 결 과
				2.116
				안 전

【표 4.18-2】 응력검토 결과 (STEEL) 단위 : MPa

하중조합	상 연 (압축응력 발생부위)		하 연 (인장응력 발생부위)	
	작용응력	허용응력	검토 결과	검토 결과
LCB 1	-95.277	210.00	2.204	210.00
LCB 2	-160.486	210.00	1.309	210.00
LCB 3	-169.875	210.00	1.236	210.00
LCB 4	-152.593	210.00	1.376	210.00
LCB 5	-129.920	241.50	1.859	241.50
LCB 6	-175.267	241.50	1.378	241.50
안전성검토	최소 안전율		1.236	최소 안전율
	검 토 결 과		안 전	검 토 결 과
				1.167
				안 전

주) 1. 압축응력을 점(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

③ 합성응력 검토

•상면

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v}{v_e}\right)^2 = \left(\frac{-169.875}{210.0}\right)^2 + \left(\frac{67.79}{120.0}\right)^2$$

$$= 0.654 + 0.319 = 0.973 < 1.2 \therefore \text{O.K}$$

•하면

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v}{v_e}\right)^2 = \left(\frac{179.903}{210.00}\right)^2 + \left(\frac{67.790}{120.0}\right)^2$$

$$= 0.734 + 0.319 = 1.053 < 1.2 \therefore \text{O.K}$$

④ 항복에 대한 안전도 검토

$$\begin{aligned} \Sigma f &= 1.3 \times (\text{합성전 고정하중응력} + \text{합성후 고정하중응력}) + 2.15 \times \text{원하중에 의한 응력(충격포함)} \\ &+ (\text{크리프응력 변화량}) + (\text{건조수축응력변화량}) + (\text{온도지움변화량}) \text{의 조합 중에서} \end{aligned}$$

가장 불리한 하중 조합에 대하여 검토

- 상부바닥판 REBAR

$$\text{합성후 고정하중 응력} = (\text{Misc} / \text{Irv}) \times \text{Yvru} = -27.264 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 원하중 응력} = -76.225 - (-27.264) = -48.961 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (-27.264) + 2.15 \times (-48.961) + (-9.505) + 17.419 + (-2.407)$$

$$= -135.203 \text{ MPa} < f_y = 400.0 \text{ MPa O.K. (크리프, 건조수축 포함시)}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (-27.264) + 2.15 \times (-48.961) + (-2.407)$$

$$= -143.117 \text{ MPa} < f_y = 400.0 \text{ MPa O.K. (크리프, 건조수축 제외시)}$$

- 간재주철 상판

$$\text{합성전 고정하중 응력} = -95.277 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 고정하중 응력} = (\text{Misc} / \text{Irv}) \times \text{Yvsu} = -23.306 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 원하중 응력} = -160.436 - (-95.277) - (-23.306) = -41.854 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (-95.277) + (-23.306) + 2.15 \times (-41.854) + (-9.439) + 17.282 + (-22.673)$$

$$= -258.973 \text{ MPa} < f_y = 360.0 \text{ MPa O.K. (크리프, 건조수축 포함시)}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (-95.277) + (-23.306) + 2.15 \times (-41.854) + (-22.673)$$

$$= -266.816 \text{ MPa} < f_y = 360.0 \text{ MPa O.K. (크리프, 건조수축 제외시)}$$

- 간재주철 하판

$$\text{합성전 고정하중 응력} = 85.183 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 고정하중 응력} = (\text{Misc} / \text{Irv}) \times \text{Yvsl} = 31.422 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 원하중 응력} = 173.034 - 85.183 - 31.422 = 56.429 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (85.183 + 31.422) + 2.15 \times 56.429 + (-8.519) + (15.388) + 21.016$$

$$= 300.794 \text{ MPa} < f_y = 360.0 \text{ MPa O.K. (크리프, 건조수축 포함시)}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (85.183 + 31.422) + 2.15 \times 56.429 + 21.016$$

$$= 293.925 \text{ MPa} < f_y = 360.0 \text{ MPa O.K. (크리프, 건조수축 제외시)}$$

4.3 내하력평가

본 교량에 대한 내하력 평가는 주형(Steel Box) 및 슬래브에 대하여 실시하였고, 전적재 하 시험의 측정지와 구조계산 결과에 의해 얻어진 계산치로부터 응답비(계산치/실측치)를 산출 하고 구조물의 동적 특성을 반영하기 위하여 동적재하시험시 얻어진 설측충격계수를 적용하 여 내하력을 산정하였다.

4.3.1 내하율 산정

■ 강도설계법에 의한 내하율

$$RF = \frac{\psi M_a - \gamma_b M_d}{\gamma_1 M_1 (1+i)}$$

여기서, RF = 내하율

ψM_a = 공칭 휨모멘트

M_d = 시하중에 의한 모멘트

M_1 = 설계휨하중에 의한 모멘트

γ_b = 활하중계수 = 2.15

γ_d = 시하중계수 = 1.30

i = 충격계수

■ 허용응력설계법에 의한 내하율

$$RF = \frac{f_a - f_d}{f_t (1+i)}$$

여기서, RF = 내하율

f_a = 허용응력

f_d = 고정하중에 의한 응력

$f_t(1+i)$ = 활하중(충격포함)에 의한 응력

- 모든 부재의 공용내하력은 다음과 같이 계산하였다.

$$P = \frac{K_s}{K_m} \times RF \times P_r$$

여기서, P = 공용내하력

K_s = 응력보정계수

K_m = 보정계수

P_r = 설계활하중

4.3.2 기본 내하력 평가

기본 내하력 : $P_o = RF(\text{내하율}) \times P_r(\text{설계하중})$

(1) 바닥판 슬래브 기본내하율(RF) : 강도설계법

공정강도 - $1.3 \times$ 시하중 모멘트 / $2.15 \times$ 활하중

구분	슬래브		비고
	중양부	캔틸레버부	
모멘트 (KN/m)	공칭모멘트(ϕM_n)	132.971	102.844
	사하중모멘트(Md)	9.209	18.956
	활하중모멘트(Ml)	38.896	22.486
시하중계수	1.3	1.3	
활하중계수	2.15	2.15	
내하율(RF)	1.45	1.89	

(2) 거더 기본내하율(RF) : 허용응력설계법

(허용응력 - 시하중응력) / 활하중응력

구분	허용응력	사하중응력	활하중응력	내하율(RF)
중양부	거더 상면	134	27.608	6.499
		210	37.568	39.918
지정부	거더 상면	210	118.583	41.854
		210	116.605	56.429
거더 하면				1.65

(3) 기본 내하력 산정

슬래브	구분		내하율(RF)	설계하중	기본내하력	비고
	중양부		1.45	DB-24	34.8	
주형	캔틸레버부		1.89	DB-24	45.3	DB-24 이상 확보
	중양부	상면	16.37	DB-24	392.8	
		하면	4.31	DB-24	103.4	
	지정부		2.18	DB-24	52.3	
	하면		1.65	DB-24	39.6	

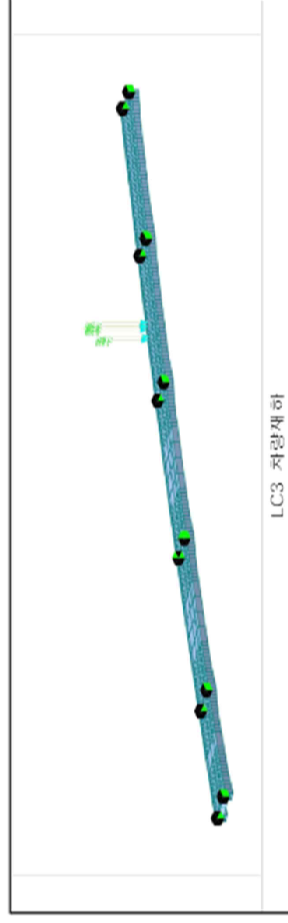
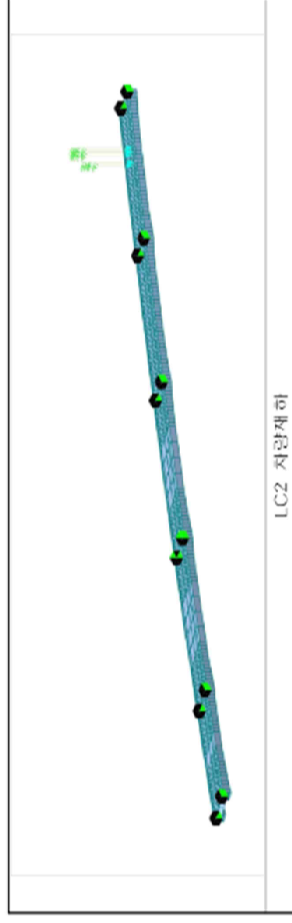
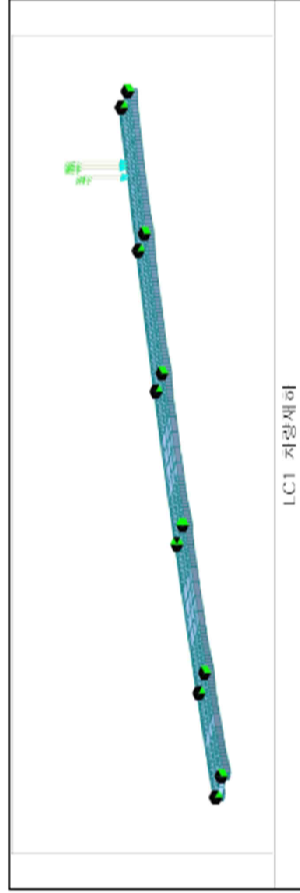
4.3.3 공용 내하력 평가

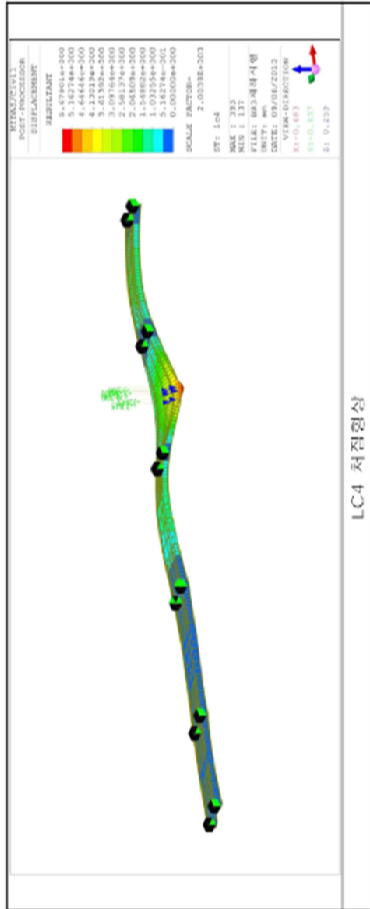
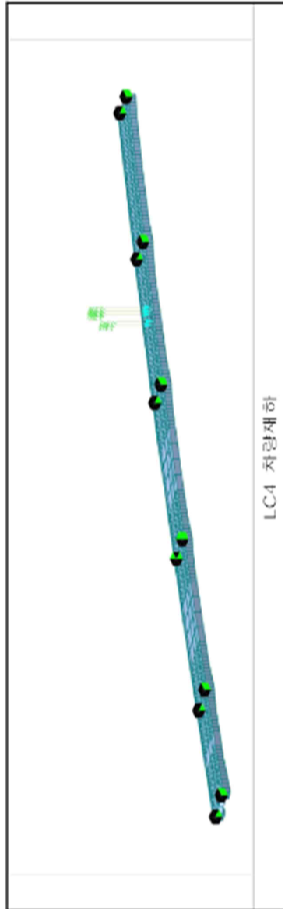
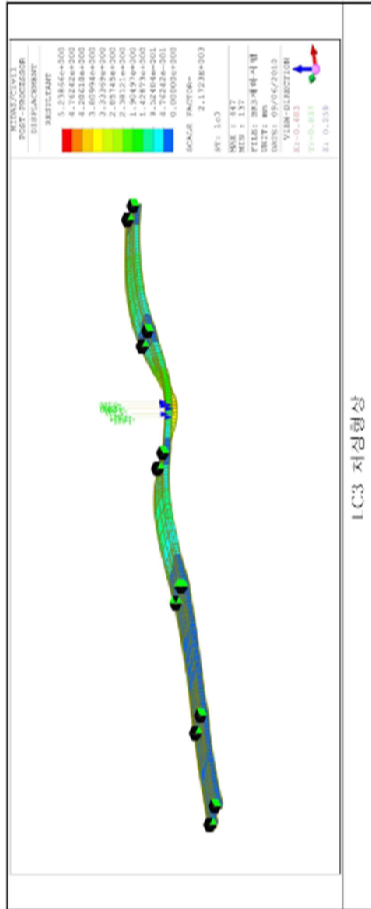
$$\text{공용 내하력} : P = RF(\text{내하율}) \times Pr(\text{실계하중}) \times Ks(\text{응답비})$$

(1) 응답보정계수(Ks)

•이론처짐 산정

제하시결 결과에 의한 실측치와 비교하기 위한 이론치를 계산하여 응답비 계산을 위한 기초자료를 제공하였다. 이론치를 구하기 위한 구조해석은 대상 구조물을 3차원으로 모델링 하였으며, 제하시결시와 동일한 하중상태를 재현하여 구조해석 전용 프로그램인 MIDAS/CIVIL로 해석하였다.





교량의 정적거동에 있어서 국부적인 이상거동의 유무를 분석하기 위하여 정적제하 시험의 측정 결과 값과 구조해석 결과 얻은 계산 값과의 비교를 담당비를 구하였으며 Load Case별 최소응답비를 적용하여 공용내하력 평가에 반영하였다.

< 응답비 선정 >

구분	실측지	Dis1	Dis2	Dis3	Dis4	비고
L/C-1	이론지	2.945	1.333	-	-	
	응답비	4.952	2.177	-	-	
	실측지	1.68	1.63	-	-	
L/C-2	이론지	1.290	3.190	-	-	
	응답비	2.221	4.742	-	-	
	실측지	1.72	1.48	-	-	
L/C-3	이론지	-	-	2.921	1.012	최소응답비 1.31
	응답비	-	-	3.858	1.754	
	실측지	-	-	1.59	1.73	
L/C-4	이론지	-	-	1.064	2.916	
	응답비	-	-	1.683	3.823	
	실측지	-	-	1.58	1.31	

(2) 공용 내하력 선정

구분	내하율(RF)	설계하중	응답비(Ks)	공용내하력	비고
슬래브	중량부	1.45	DB-24	1.31	45.5
	캡뮬레머부	1.89	DB-24	1.31	59.4
	상면	16.37	DB-24	1.31	514
주형	중량부	4.31	DB-24	1.31	135
	하면	2.18	DB-24	1.31	68.5
	지점부	1.65	DB-24	1.31	51.8

4.3.4 내하력평가 고찰

내하력 평가결과 공용내하력은 설계하중인 DB-24를 상회하는 것으로 평가되었다.

4.4 안전성 평가 등급 산정

외관상태와 내구성조사를 근거로 교량구조물의 대표등급을 산정하는 경우, 구조물의 실제적인 안전성에 대한 효과적인 고려가 곤란하다. 따라서, 정밀점검(필요시)이나 정밀안전진단 시에는 안전성 평가 결과에 의하여 안전성평가등급을 산정하도록 한다.

4.4.1 안전성 평가 기준 및 결과

구조물의 안전성평가는 주요 구조부재의 정밀육안검사, 비파괴 현상시험 및 재료시험의 결과를 토대로 종합적으로 이루어져야 한다. 현재 도로교와 철도교는 강교의 경우 허용응력 설계법, 콘크리트교는 강도설계법으로 설계되고 있다. 안전성검토는 대상 교량의 설계개념을 따라 일관성이 유지되도록 평가하는 것을 원칙으로 하고 있다.

또한 교량의 안전성평가는 내하력평가 개념으로 규정되어 왔으나 내하력은 활하중 여유도로서 하중비에 따라 내하력의 변동폭이 크게 변하므로 교량의 안전성을 일관되게 평가하는 기준으로 적절하지 못하다. 따라서 안전성평가는 교량의 안전을 개념을 도입하여 평가하였다. 그러나 안전율이 0.9에서 1 사이에 있어 재하시험에 의한 공용내하력 평가를 실시한 경우 공용내하력 산정결과에 따라 안전성평가등급을 산정한다.

【표 4.26】 상신육교(발안IC방향)의 안전성 평가기준 및 결과

등급	안전성평가 기준	비 고
A	SF > 1.0	
B	0.9 ≤ SF < 1 이나, 공용내하력이 설계 하중보다 크게 평가된 경우	• 허용응력설계법 $SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{실재응력}} = \frac{f_a}{f_{d+1}}$ $= \frac{210.000}{160.43} = 1.31$
C	0.9 ≤ SF < 1	
D	0.75 ≤ SF < 0.9	
E	SF < 0.75	
안전성 평가등급 : A		