

제 3 장 재하시험

3.1 개요

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

시험측정은 재하차량을 사용하여 교량이 통제된 상태에서 힘모멘트에 의한 변형률 및 처짐이 최대가 되는 지점에 재하차량을 재하하여 거더의 장·동적 처짐 및 변형률을 측정하였다.

차량제하 시험에서는 다음을 측정하였다.

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

차량재하시험의 측정 시스템은 다음과 같다.

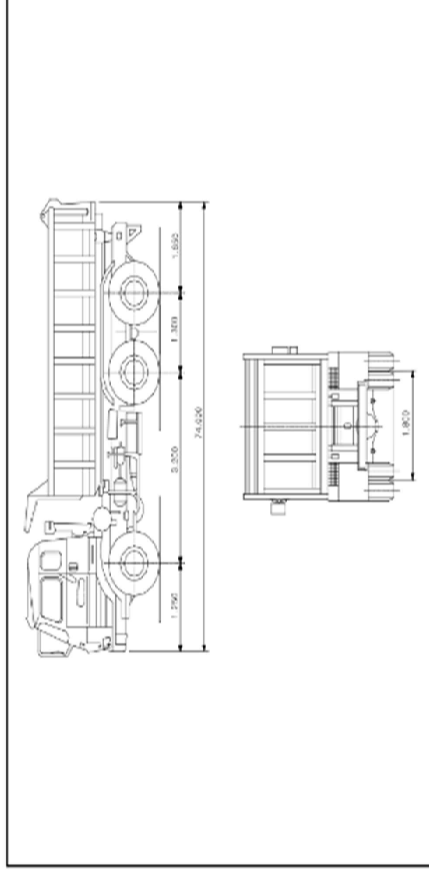


【그림 3.1】 진동, 처짐, 변형률 측정 과정

3.2 재하차량

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

3.2.1 재하차량



【그림 3.2】 재하차량

3.2.2 재하차량 제원

차	종	차축 1과 차축 2간 거리	차축 2와 차축 3간 거리	최우측 거리	(단위 : m)
15 TON	D/T	3.2	1.3	1.8	

구	분	앞 바퀴 (1축)	중 간 바퀴 (2축)	뒷 바퀴 (3축)	비 고	(단위 : ton)
15 TON	D/T	3.845	5.200	5.200	총중량 : 28.490	

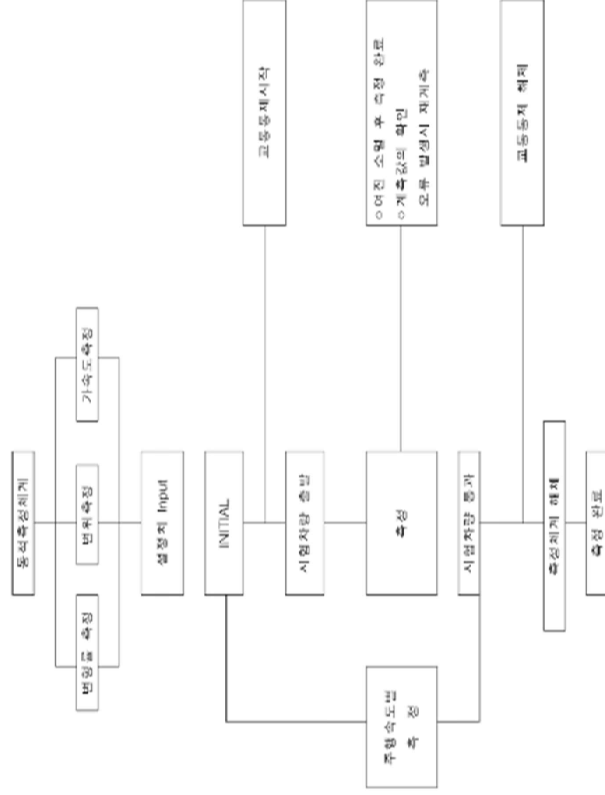
3.4 동적 재하시험

3.4.1 개 요

동적 재하시험은 구조물의 동적 거동을 조사, 측정하기 위한 것으로 교량의 실 증적계수의 실고유진동수 등의 동적 특성을 측정 기록하여 본 교량의 안전성을 검토하기 위한 기본자료를 구하기 위해 실시하였다.

재하차량의 주행은 주요위치의 동적치짐과 진동을 기록할 수 있는 위치를 주행하며, 측정값의 일정한 패턴을 유지하고자 능숙한 운전자가 운행하도록 하였다. 동적 재하시험은 주행차량에 의한 동적응답을 구하는 시험으로서 시험측에서 증점속으로 주행하였으며 주행속도는 10km/hr부터 10km/hr씩 증가하면서 가능한 최고속도까지 속도별로 주행시험.

3.4.2 동적 재하시험 수행절차



【그림 3.4】 동적 재하시험 흐름도

1) 준비작업

각 센서로부터 측정소까지 인장한 리드와이어들은 동적경비에 연결시키며, 측정기는 모두지반에 진지시킨다. 또한 리드와이어의 끝에서 저항을 기록한다.

2) 설정치 input

센서의 특성을 동적 계측장비에 맞게 설정 값들을 입력한다.

3) Initial

시험경간에 재하차량을 포함한 할라중이 일체 재하되지 않은 상태에서 처짐과 변형률의 초기값을 측정기에서 설정한다.

4) 준비

시험차량의 주행속도를 10Km/h씩 단계별로 증가하면서 최대속도까지 주행시험을 한다.

단, 점속도로의 선형, 노면상태, 차량통제 현황 등이 하라되지 않을 경우는 예외로 한다.

시험차량이 대상 경간을 완전히 빠져나간 후에도 교량의 자유진동은 계속되므로 여진이 소멸 될 때 까지 측정을 계속하고 Computer Hard disk에 저장한다.

5) 시험차량의 주행상황 확인

계측 기술자가 시험차량의 주행 상황을 파악할 수 없을 때는 시험차량에 기술자가 동승하여 시험차량의 출발, 대상 경간의 진입, 통과 등 일련의 상황을 통보한다.

6) 계측값의 확인

획득한 데이터는 분석 프로그램인 MDS-2000을 이용하여 측정된 계측파형을 파악하여, 획득한 측정자료의 실측 응답값과 선형구조해석 응답값의 경향을 확인한다. 계측값 들어 성이하거나, 오류가 발생하였으면 원인을 파악·제거하여 재측정을 한다.

7) 교동통제 해제

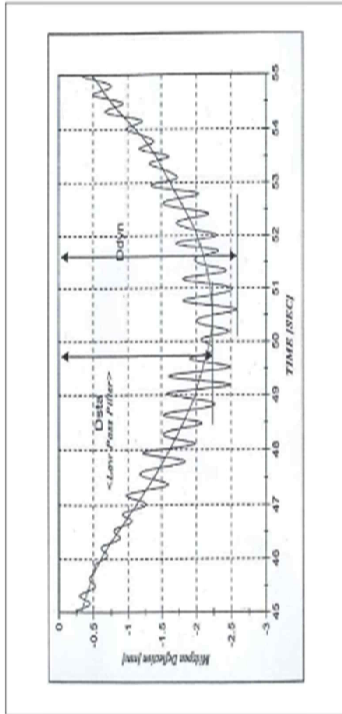
모든 Case의 시험차량 주행 시험을 끝내고 측정 완료되면 교동통제를 해제한다.

3.4.3 실속충격계수 분석

일반적으로 계측된 변형률, 처짐 등을 이용하여 실속충격계수를 분석하고자 할 때 정적재하, 의사 정적(5km/h) 주행시험 등에서 계측된 응답곡선<Dsta(max)>을 정적 응답곡선으로 하여, 속도별로 계측된 동적 응답곡선<Ddyn(max)>과 비교하여 실속충격계수로 산정하는 방법을 이용하였다.

이는 주행시험에서 각 주행 속도마다 운전자의 숙달, 습관 등에 의해서 시험차량은 정적재하시험에 이용된 부차 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 실속충격계수로 산정 하는 것은 문제점을 내포하고 있는 것으로 판단된다.

그러므로, 이러한 문제점들을 해결하고자 동적주행 시험의 각 속도별의 동적응답 곡선을 Low Pass Filter에 의해서 필터링 한 최대정적응답<Dsta(max)> 곡선을 기준으로 하여 계측 최대동작을 답자<Ddyn(max)>와 비교하여 실속충격계수를 산정하여 대상 교량 안전성 평가에 적용하는데 목적 이 있다.



【그림 3.5】 처짐이력곡선

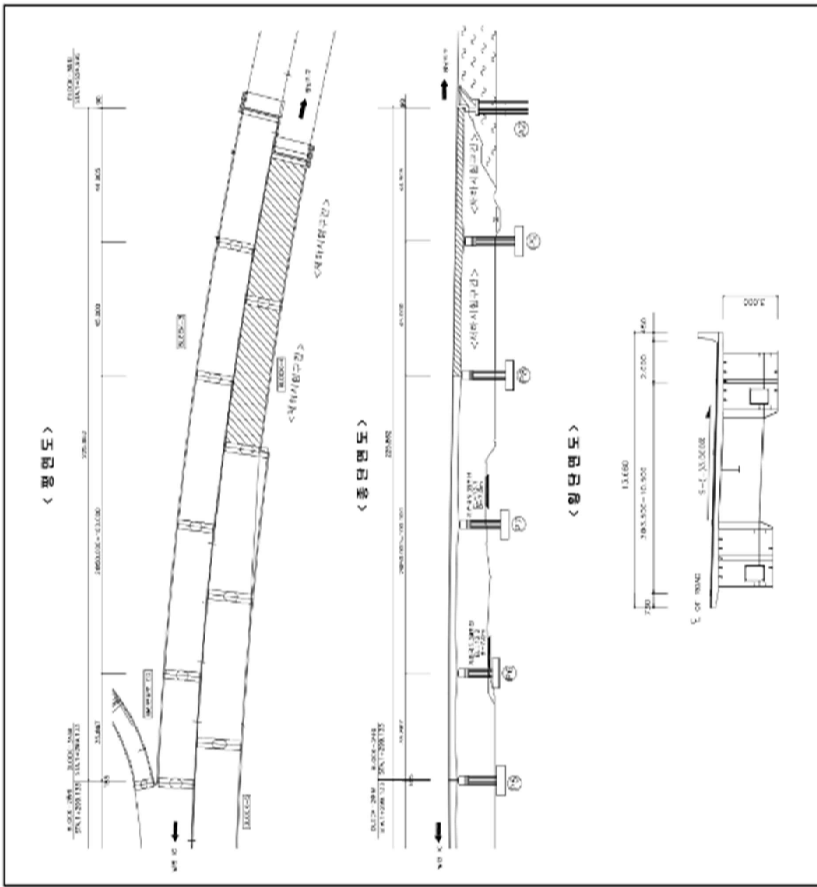
$$\text{동적충격률 (Dynamic Load Factor : D.L.F)} = \frac{D_{dyn}(\text{Max})}{D_{sta}(\text{Max})}$$

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

3.5 시험구간 선정

3.5.1 시험구간

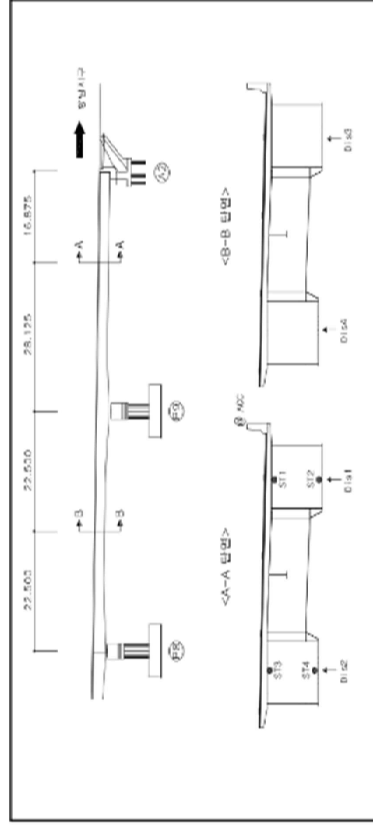
현상 외관조사 및 구조물 형태에 대하여 분석한 결과 최대 모멘트 계속위치는 다음과 같다.



【그림 3.6】 상신육교(향남방향) 시험구간 선정

3.5.2 Gauge 설치위치

① Gauge 설치위치도



【그림 3.7】 상신육교(항남방향) Gauge 설치위치도

② Gauge 설치위치

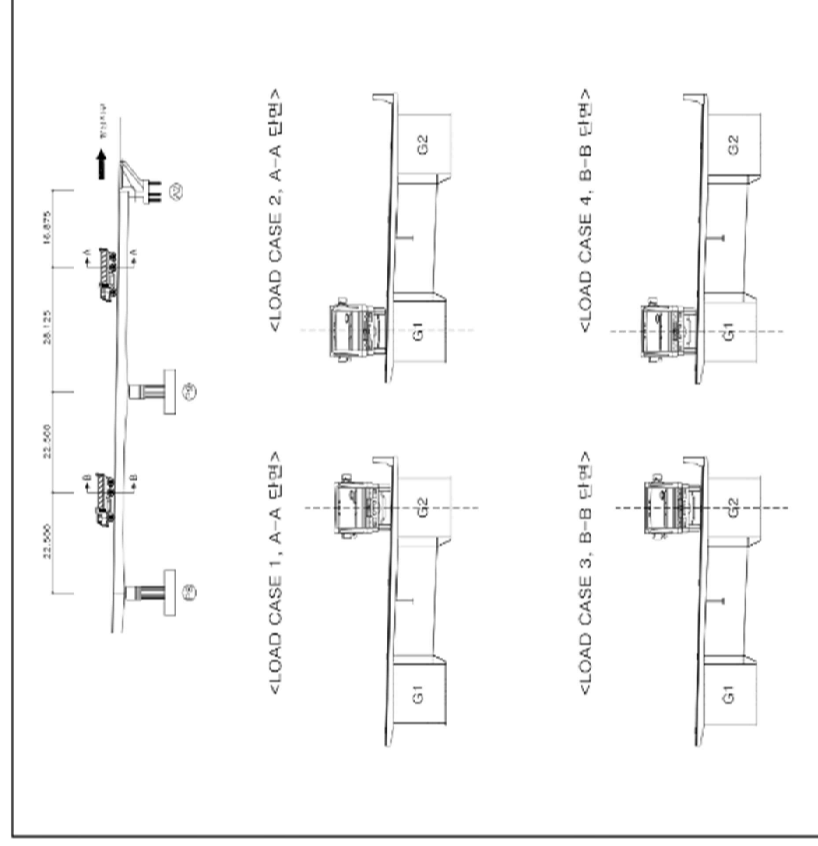
【표 3.1】 Gauge 설치 위치

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

3.5.3 Load Case별 재하위치

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

- Load Case 재하도



【그림 3.8】 상신육교(항남방향) Load Case별 재하위치

3.6 재하시험 결과

3.6.1 상신육교(항남방향) 정적 재하시험 결과

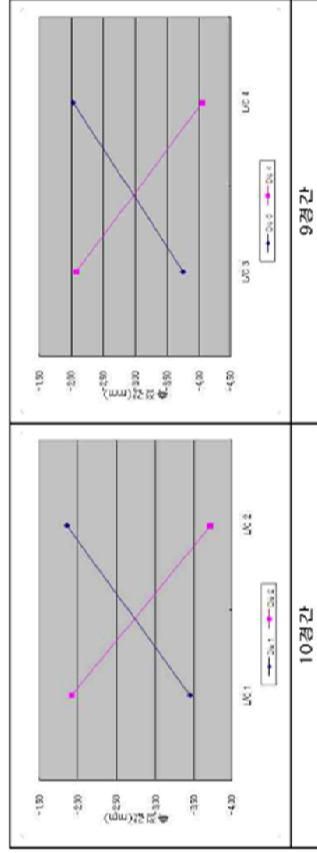
① 처점(Dis) 측정결과

최대 횡모멘트 발생 하중 재하에 대하여 처점을 측정한 결과 Dis1의 최대처점은 -3.448mm의 측정값을 나타내었고, Dis2의 최대처점은 -3.721mm의 측정값을 나타내었고, Dis3의 최대처점은 -3.750mm의 측정값을 나타내었고, Dis4의 최대처점은 -4.039mm의 측정값을 나타내었다.

그 중 L/C-4의 Dis4 위치에서 최대처점이 -4.039mm가 발생하였다.

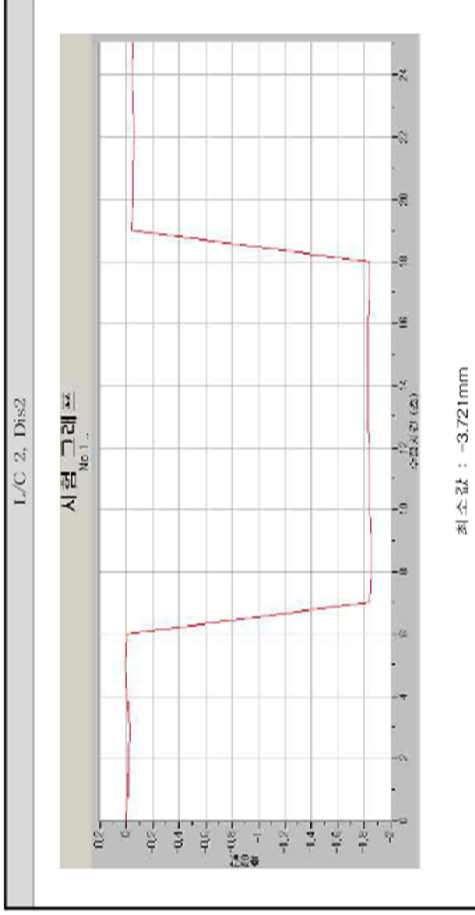
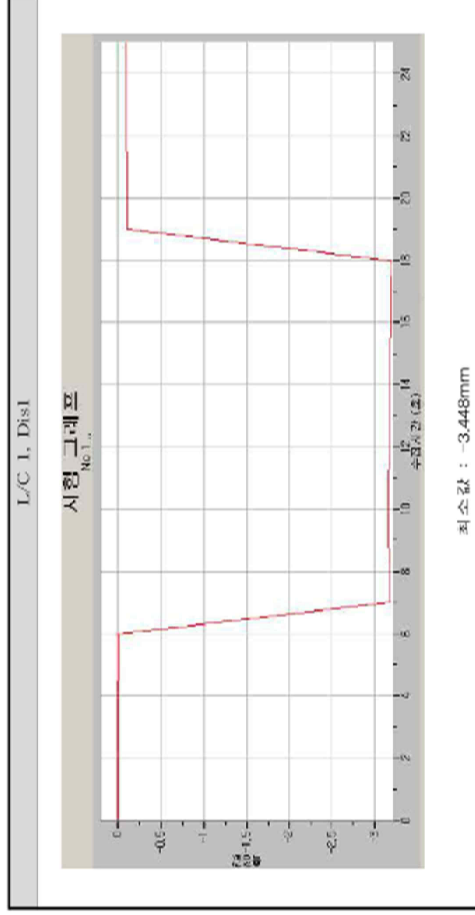
【 표 3.2 】 Load Case별 실험 처점(mm)

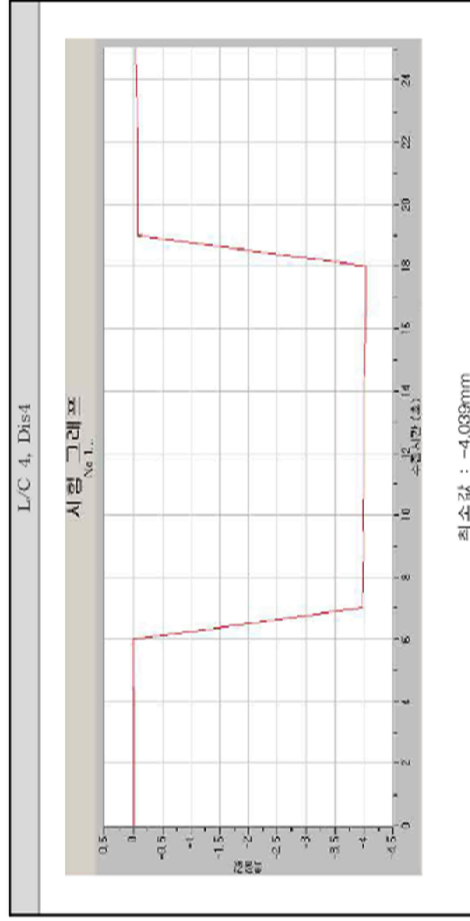
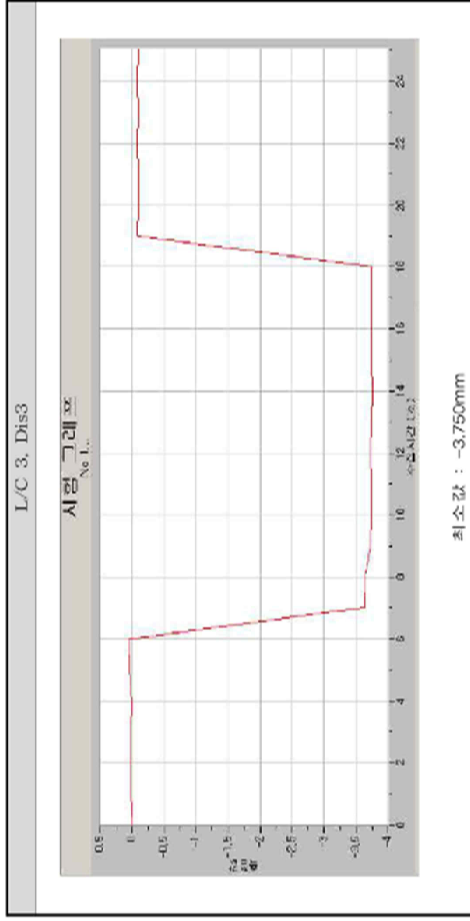
구분	Dis 1	Dis 2	Dis 3	Dis 4	비 고
10경간 3/8지점	L/C-1 -3.448	-1.915	-	-	
	L/C-2 -1.856	-3.721	-	-	
9경간 1/2지점	L/C-3 -	-	-3.750	-2.079	
	L/C-4 -	-	-2.025	-4.039	
MAX	-3.448	-3.721	-3.750	-4.039	



【 그림 3.9 】 L/C별 처점 측정결과 분석그래프(mm)

② 정적처점 DATA





【그림 3.10】 L/C별 치짐 측정결과 분석 그래프(mm)

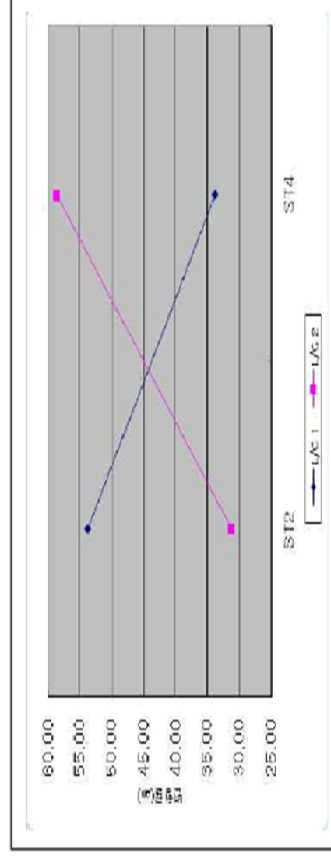
③ 강재 변형률 게이지(ST) 측정결과

최대 원모멘트 발생 하중에 대하여 강재변형률을 측정된 결과 ST1의 최대변형률은 -17.764의 측정값을 나타내었고, ST2는 53.816, ST3은 -18.063, ST4는 58.669의 측정값을 나타내었다.

그중 L/C-2의 ST4에서 최대변형률 58.669로 측정되었다.

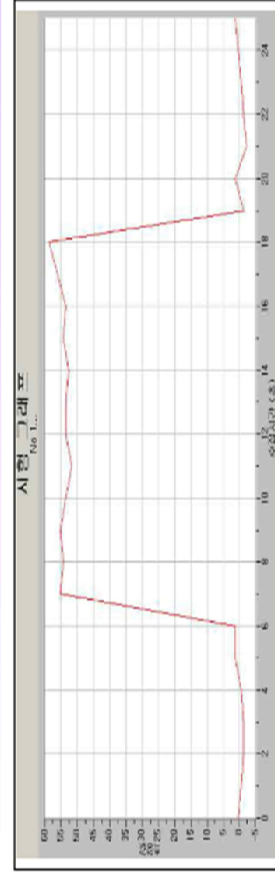
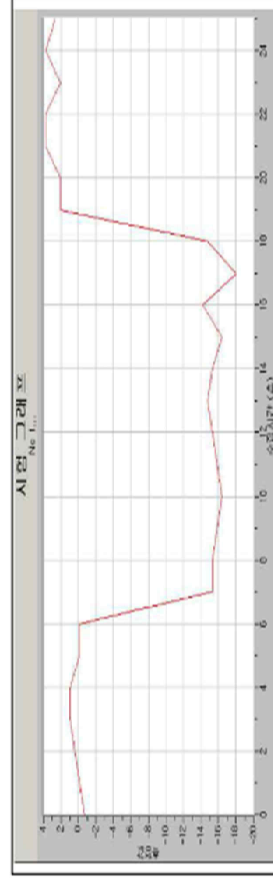
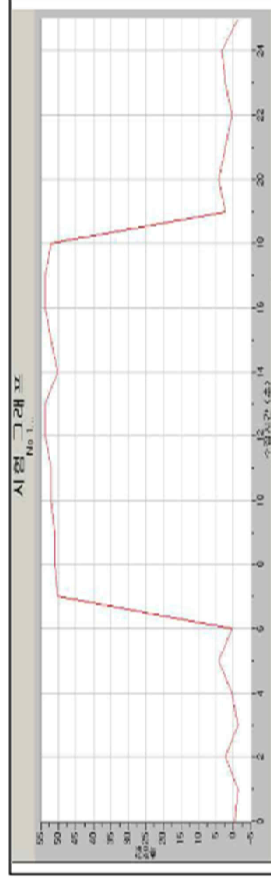
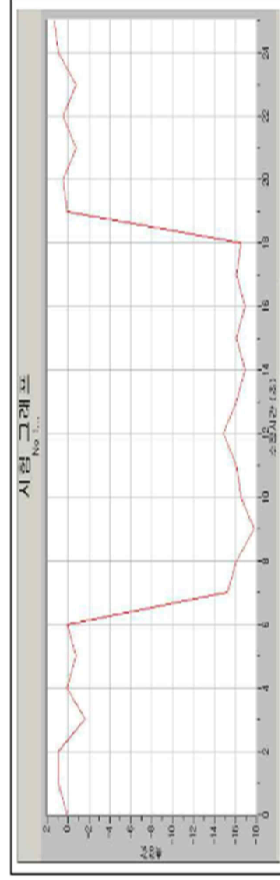
【표 3.3】 Load Case별 변형률 게이지 측정값

구분	ST1	ST2	ST3	ST4	비고
L/C-1	-17.764	53.816	-8.664	33.744	
10경간 1/2지점					
L/C-2	-8.405	31.165	-18.063	58.669	
MAX	-17.764	53.816	-18.063	58.669	



【그림 3.11】 Load Case별 변형률 분석 그래프

④ 강세변형률 측정 DATA



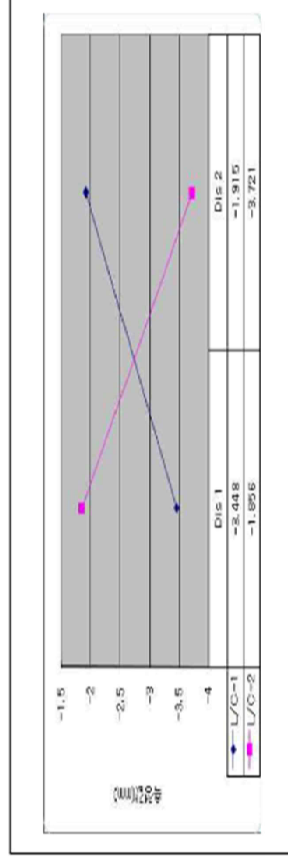
【그림 3.12】 L/C별 변형률 측정결과 분석그래프(mm)

⑤ 하중 횡분배(대칭성) 검토

1) 치짐계 횡분배 검토

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

- L/C-1과 L/C-2의 하중 횡분배 치짐검토

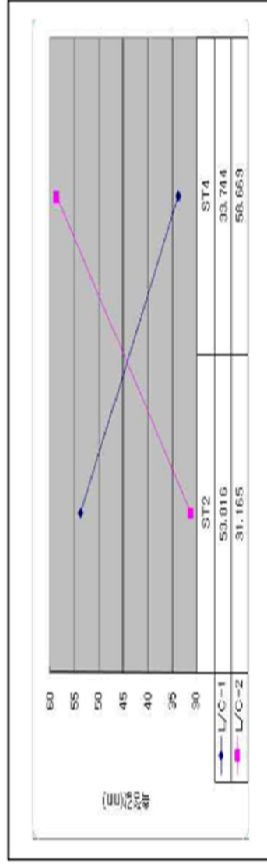


【그림 3.13】 하중 횡분배 변위그래프(L/C-1, L/C-2)

2) 변형률계 횡분배 검토

하중 횡분배 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 횡분배 처짐경도



【그림 3.14】 하중 횡분배 변형률그래프(L/C-1, L/C-2)

3) 분석결과

교량의 횡분배 효과는 분석한 바와 같이 처짐, 변형률 모두 대칭적인 형태를 보이고 있으며 대칭성이 확연하게 나타나 횡분배가 양호한 것으로 평가된다.

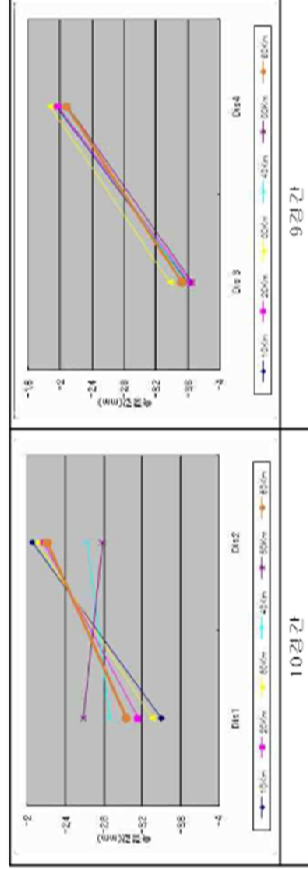
3.6.2 상신육교(항남방향) 동적 재하시험 결과

(1) 동적처짐 측정결과

동적 재하시험 결과 시험차량에 의해 발생된 10경간 최대 처짐은 Dis1에서 10km/hr일 때 -3.398mm, 9경간 최대 처짐은 Dis3에서 50km/hr일때 -3.642mm를 나타내었다.

【 표 3.4】 동적처짐 측정결과

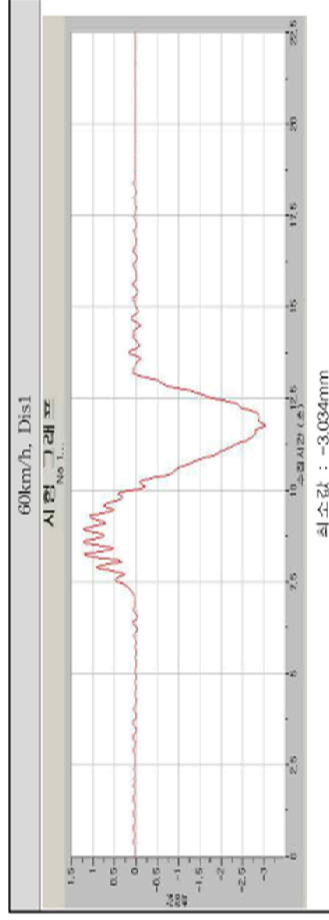
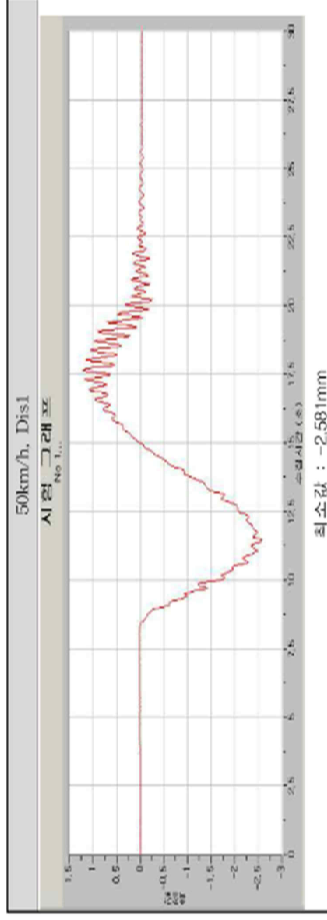
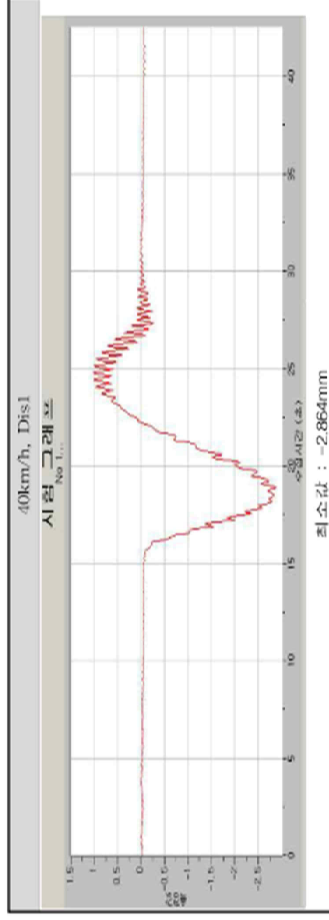
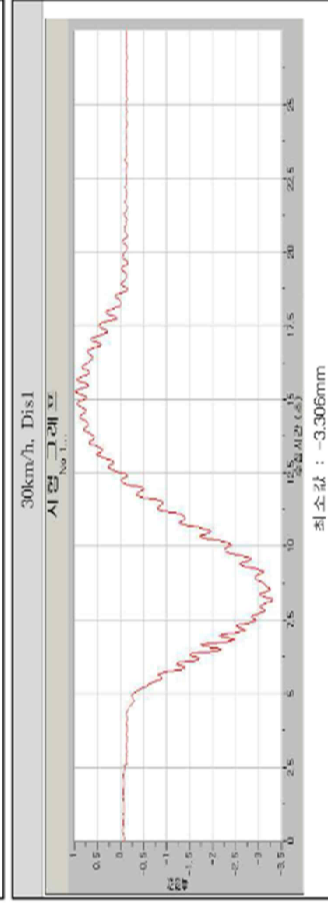
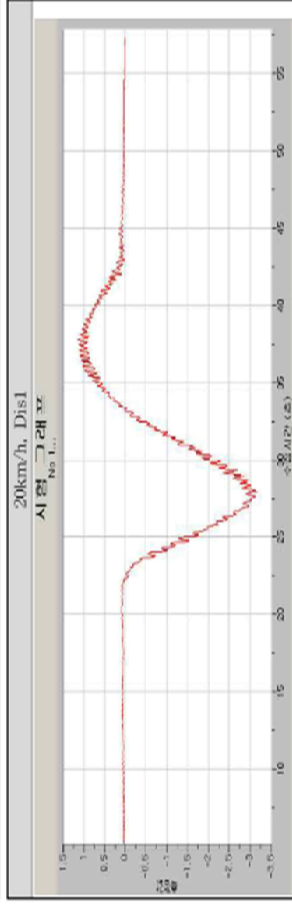
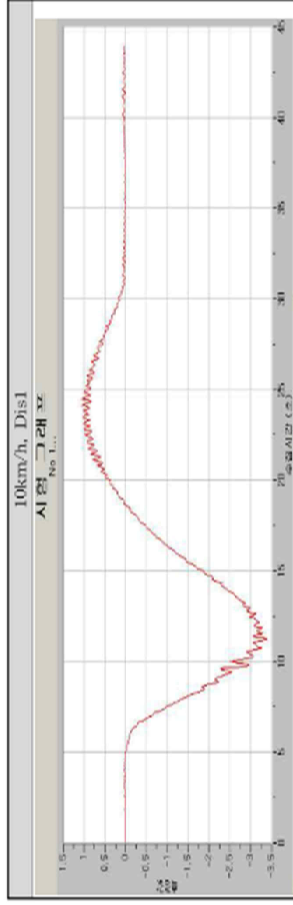
구분	Dis1		Dis2		Dis3		Dis4	
	최대동적 응답치	최대동적 응답치	최대동적 응답치	최대동적 응답치	최대동적 응답치	최대동적 응답치	최대동적 응답치	최대동적 응답치
10km/hr	-3.227	-3.398	-2.060	-3.540	-3.584	-1.955		
20km/hr	-3.034	-3.158	-2.174	-3.495	-3.617	-1.980		
30km/hr	-3.192	-3.306	-2.100	-3.332	-3.371	-1.877		
40km/hr	-2.774	-2.864	-2.626	-3.493	-3.569	-2.054		
50km/hr	-2.476	-2.581	-2.789	-3.475	-3.642	-2.090		
60km/hr	-2.945	-3.034	-2.214	-3.400	-3.524	-2.076		



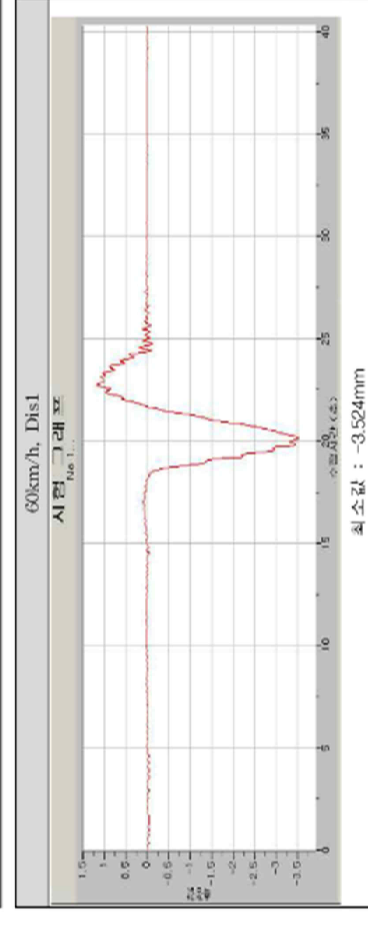
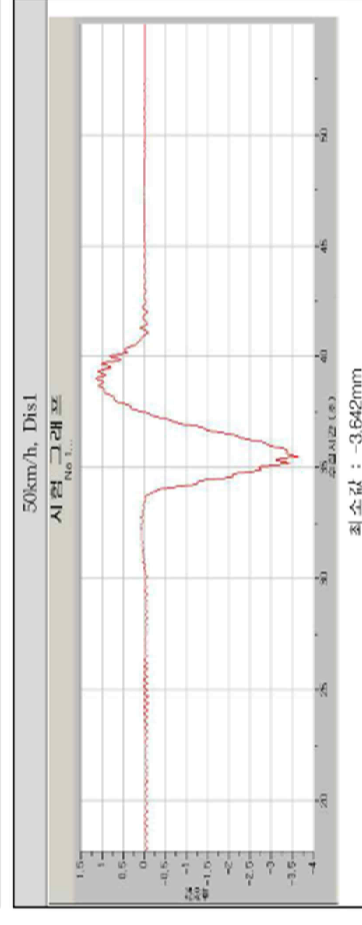
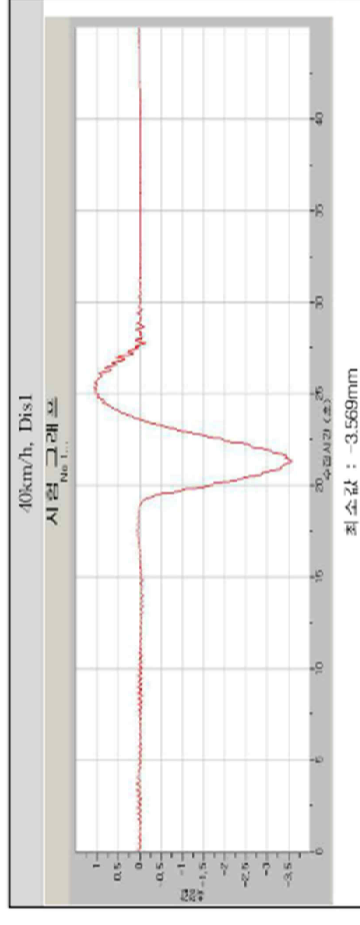
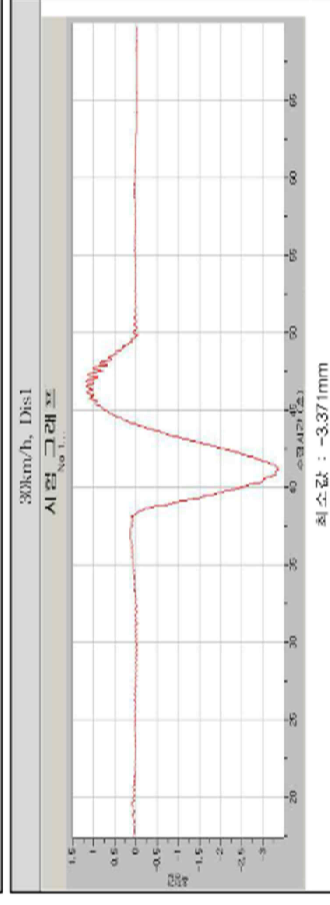
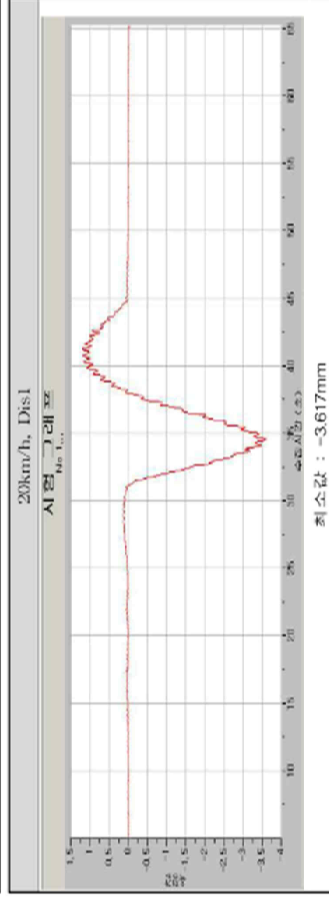
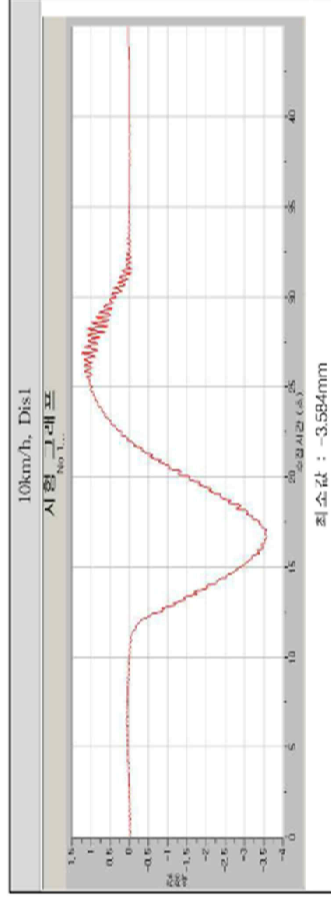
【 그림 3.15】 속도별 동적처짐 측정결과 분석그래프

(2) 동적저점 DATA

① Dis1



② Dis.3



(3) 실측 충격계수

교량의 노면상태, 차량의 주행속도, 지간장, 구조적특성 등의 다양한 인자들에 의한 정적허중보다는 교량에 더 큰 영향을 줄 수 있는 활하중에 의한 충격영향 정도를 파악하기 위해 동적 주행시험시 측정된 변형률을 이용하여, 각 주행속도별로 계측된 동적응답곡선 [dynamic(max)] 과 Low Pass Filtering의 범위를 1.0hz로 필터링하여 구한 정적 응답곡선을 [ystatic(max)] 비교후 실측충격계수를 분석하였다.

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

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

$$N = \text{재하 차량의 횟수}$$

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

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

1) 10경간 Dis1

【 표 3.5 】 동적시험에 의한 충격계수(Dis1)

주행속도 (km/hr)	최대정적 응답치 (Dsta)	최대동적 응답치 (Ddyn)	동적 충격계수	충격계수	비고
10	-3.227	-3.398	1.053	0.053	실측 충격계수 = 0.053 이론 충격계수 = 15/(40*L) = 0.176
20	-3.034	-3.158	1.041	0.041	
30	-3.192	-3.306	1.036	0.036	
40	-2.774	-2.864	1.032	0.032	
50	-2.476	-2.581	1.042	0.042	
60	-2.945	-3.034	1.030	0.030	

2) 9경간 Dis3

【 표 3.6 】 동적시험에 의한 충격계수(Dis3)

주행속도 (km/hr)	최대정적 응답치 (Dsta)	최대동적 응답치 (Ddyn)	동적 충격계수	충격계수	비고
10	-3.540	-3.584	1.012	0.012	실측 충격계수 = 0.048 이론 충격계수 = 15/(40*L) = 0.176
20	-3.495	-3.617	1.035	0.035	
30	-3.332	-3.371	1.012	0.012	
40	-3.493	-3.569	1.022	0.022	
50	-3.475	-3.642	1.048	0.048	
60	-3.400	-3.524	1.036	0.036	

구분	Dis1	Dis3
실측충격계수	0.053	0.048
최대충격계수	0.053	
이론충격계수	0.176	

재하시험에 의한 본 대상 교량의 최대 충격계수는 0.053으로 측정되어 시방서에서 규정하고 있는 실제 충격계수 0.176보다 작게 나타나 주행차량의 충격에 대한 안전성이 확보된 것으로 판단된다.

(4) 고유진동수

자랑이 교량을 통과할 때는 자랑의 진동과 교량 자체 진동과의 상호 작용이 교량의 동적거동에 영향을 미치므로 본 조사에서는 주행차량이 교량을 통과하고 자유진동으로부터 교량의 측정 고유진동수를 구한다.

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

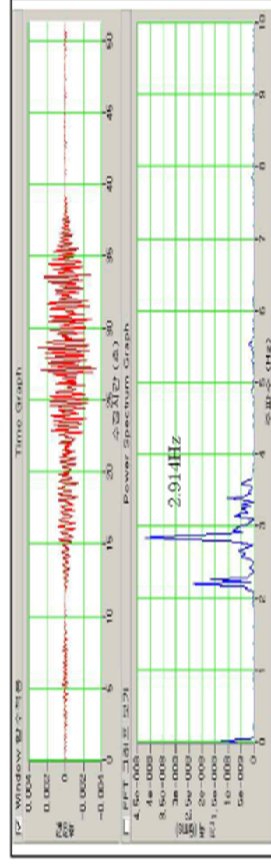
1) 주행속도별 고유진동수(Hz)

【표 3.7】 실측고유진동수

주행속도 (km/hr)	실측고유진동수 (Hz)
10	3.246
20	2.914
30	3.468
40	3.016
50	2.958
60	3.324

2) 최대 고유진동수

측정된 속도별 고유진동수를 최대 고유진동수는 10km/hr 주행시의 2.914Hz로 측정되었다.



【그림 3.16】 Power Spectrum Data 10 km/hr

3.6.3 상신축교(항남방향) 재하시험 결과분석

① 재하시험 결과

상신축교(항남방향)에 대한 재하시험 결과를 요약 정리하면 다음과 같다.

【표 3.8】 재하시험 결과

시험구분	측정항목	Gauge NO.	측정치	측정최대치	비 고
정적 재하시험	치짐	10경간	Dis1	-3.448	-4.039
			Dis2	-3.721	
			Dis3	-3.750	
			Dis4	-4.039	
	강재변형률	10경간	ST1	-17.764	58.669
			ST2	53.816	
			ST3	-18.063	
			ST4	58.669	
동적 재하시험	치짐	10경간	Dis1	-3.398	-3.642
			Dis2	-2.789	
			Dis3	-3.642	
			Dis4	-2.090	
	충격계수	10경간	Dis1	0.053	0.053
		9경간	Dis3	0.048	
	고유진동수	Acc	2.914~3.468	2.914	

② 결과고찰

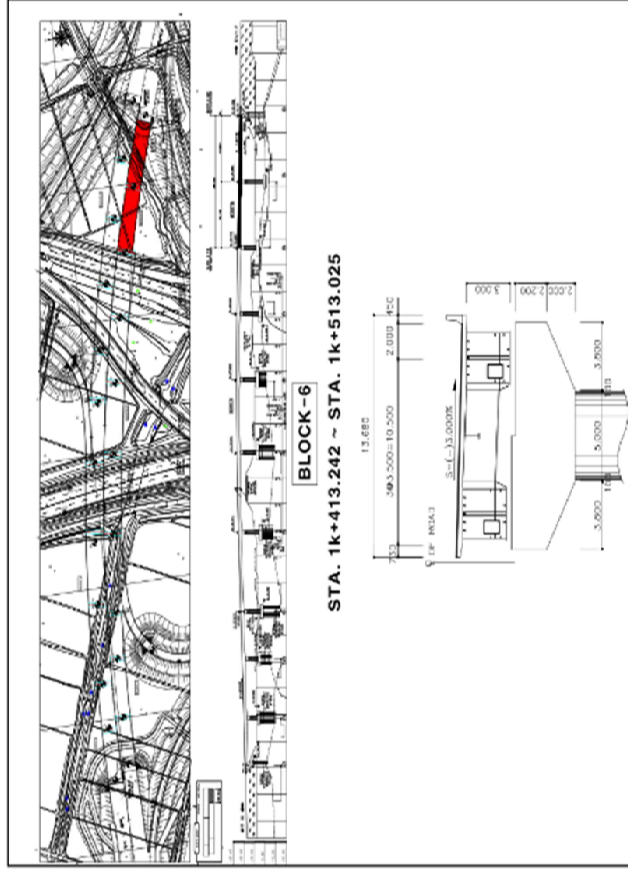
- 정적재하시험 결과 최대 장부모멘트 발생 구간에 대하여 치짐 및 변형율을 측정 한 결과 최대치 짐은 L/C-4의 Dis4 위치에서 -4.039mm가 발생하였으며, 강재변형률은 L/C-2의 ST4에서 최대변형률 58.669가 발생되었다.

- 동적재하시험 결과 시험차량에 의해 발생된 최대 치짐은 Dis3에서 50km/hr일때 -3.642mm로 나타났다. 교량의 최대 실측충격계수는 0.053으로 측정되어 시방서에서 규정하고 있는 설계 충격계수에 대한 기준치인 0.176이내로 측정되었고, 실측최대 고유진동수는 2.914Hz로 측정되었다.

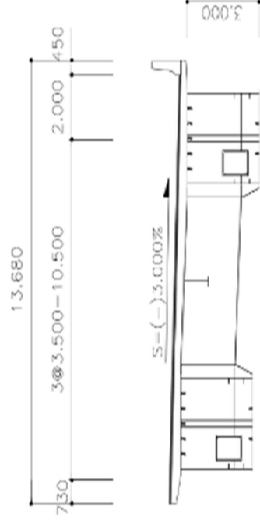
제4장 구조해석 및 내하력평가

4.1 개요

구조물의 안전성평가는 그 기능과 역할을 유지할 수 있는 구조적 및 사용상의 안전성에 대한 확보 여부를 평가하는 것이므로 설계지표 검토, 시공방법과 사용재료에 대한 검토, 부재별 상태평가 및 각종 계측측장조사시험 등을 통한 기초지료를 확보하여 이를 바탕으로 구조검토-해석에 의해 안전성 여부를 판단하여야 한다. 본 장에서는 기 구조개념서를 참조하여 기본내하력을 평가하고 제하시험을 통하여 공용내하력을 평가하였다.



4.2 구조검토



4.2.1 설계기준

1) 교량 제원

- 교량 명 : 상신육괴(Block-6)
- 교량 등급 : 1등급 (DB-24 및 DL-24 적용)
- 교량 형식 : 합성형 STEEL BOX GIRDER 교
- 교량 연장 : L=50.0+50.0 = 100.000 m
- 교량 폭원 : B=13.68m
- 교량 제원 : B=2.800m H=3.000m
- 주사각 : 90.0

2) 하중

- 고정하중
 - 청근 콘크리트 : $W_{c1} = 25,000 \text{ kN/m}^3$
 - 무근 콘크리트 : $W_{c2} = 23,500 \text{ kN/m}^3$
 - 갈재 : $W_s = 78,500 \text{ kN/m}^3$
 - 아스팔트 포장 : $W_a = 23,000 \text{ kN/m}^3$
 - 활하중
 - DB-24 -Pr = 96,000 kN
 - Pf = 24,000 kN
 - DL-24 -W1 = 12,700 kN/m
 - Pm = 108,000 kN
 - Ps = 156,000 kN
- 중력계수 : $I = 15 / (40 + L) \leq 0.3$

3) 사용 재료

- (1) 콘크리트
- 설계 기준강도 : $f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$
 - 탄 성 계 수 : $E_c = 25000 \text{ MPa}$
- (2) 철근 (SD40)
- 항 복 강 도 : $f_y = 400.0 \text{ MPa}$
 - 탄 성 계 수 : $E_s = 200,000.0 \text{ MPa}$
- (3) 강재
- 주 부 재 : SM520B 사용 (상판, 하판, 복부판, 상부중리브, 하부중리브, 지점부 다이아프램, 지점보강재, 스프레이트)
 - 부 부 재 : SM400B 사용 (지점부의 다이아프램, 수직보강재, 횡리브, 세로보, 가로보)
 - 탄 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 : $W_{cl} = 23.0 \text{ kN/m}^3$
- 아스콘 포장 : $W_s = 23.0 \text{ kN/m}^3$ - 강 재 : $W_s = 78.0 \text{ kN/m}^3$

5) 허용 응력

- 콘크리트 바닥판의 허용압축응력 : $f_{ca} = 0.4 \times f_{ck} = 10.80 \text{ MPa}$
- 콘크리트 바닥판의 항성석용매 허용압축응력 : $f_{ca} = 0.3 \times f_{ck} = 8.10 \text{ MPa}$
- 콘크리트 허용단응력 : $f_{ca} = 0.25 \times \sqrt{f_{ck}} = 4.10 \text{ MPa}$

【표 4.1】 콘크리트의 허용압축응력

1	하중의 조합		허용응력(MPa)
	주하중	1) 바닥판으로서의 작용 2) 주가니 단면의 일부로서의 작용 3) 1)과 2)를 동시에 고려할 때	
2	주하중+바닥판 콘크리트와 강재 주가니와의 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
판두께(mm)				
40 이하	140	190	210	260
40초과 75 이하		175 (190)	200 (210)	250 (260)
75초과 100이하	130		195 (210)	245 (260)

* TMC 강재일 경우에는 ()의 값을 적용한다.

【표 4.3】 허용 축방향 압축응력 (MPa)

강종	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
판두께(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
	$6,700+(\ell/r)^2$	$5,000+(\ell/r)^2$	$4,500+(\ell/r)^2$	$3,500+(\ell/r)^2$
40초과 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
75초과 100이하			$4,700+(\ell/r)^2$	$3,600+(\ell/r)^2$
	$130-0.75(\ell/r-20)$	$175-1.1(\ell/r-15)$	$78 < \ell/r$	$69 < \ell/r$
	$20 < \ell/r \leq 97$	$15 < \ell/r \leq 83$	$195 : \ell/r \leq 14$	$245 : \ell/r \leq 18$
			$195-1.3(\ell/r-14)$	$245-2.2(\ell/r-18)$
	1,200,000	1,200,000	$14 < \ell/r \leq 79$	$18 < \ell/r \leq 69$
75초과 100이하	$7,300+(\ell/r)^2$	$5,300+(\ell/r)^2$	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 유효최종 길이 (mm)
 r : 부재 종단면의 단면회전반경 (mm)

【표 4.4】 허용응력 증가율

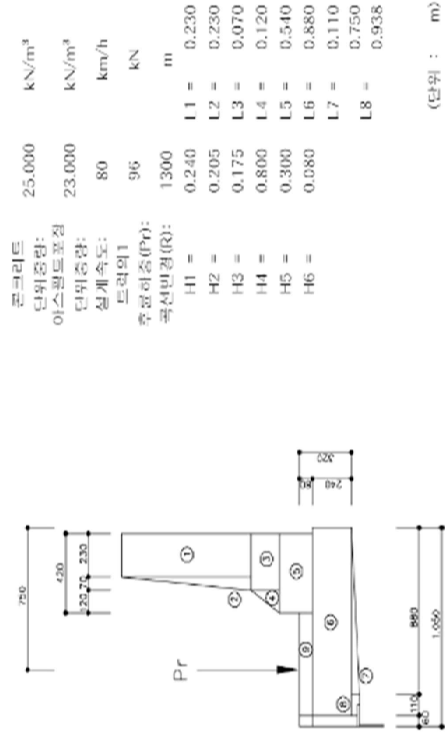
하중의 조합		증가율(%)	
		점의 휨모멘트를 받는 부분	부의 휨모멘트를 받는 부분
1	크리프의 영향과 건조수축의 영향을 제외한 주하중	0	0
2	주하중	15	0
		인장면	0
		인장면	0
3	주하중+비단면크리프와 강재주거터와의 온도차	30	15
		인장면	15
		인장면	15
4	가설시 하중	25	25
		인장면	25
		인장면	25

6) 참고 문헌

- i) 도로교 설계기준(2005)
- ii) 콘크리트 구조 설계기준(2003)
- iii) 도로설계 편람(2001)
- iv) 도로설계 요령(2001)
- v) 강구조 편람(1995)
- vi) 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	$\frac{1}{2} \times 0.12 \times 0.175 \times 25 = 0.263$	0.620	1.163
5	$0.53 \times 0.205 \times 25 = 2.153$	0.750	1.615
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
TOTAL	16.788		10.707

$M_d = 10.707 \text{ kN}\cdot\text{m}$

㉔ 활하중

활하중 분포율

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

여기서, $X = 0.240 \text{ m}$

중력계수

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

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

㉕ 차량충돌 하중

- 수평충돌력 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 횡방향으로 $H = 10 \text{ kN/m}$ 의 수평하중 제하시

작용높이 $h = 1.180 \text{ m}$

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

곡선반경 $R > 200\text{m}$ 이므로 ㉑과 ㉒에 의해 계산된 값중에서 큰 값을 적용

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

㉖ 탭크트레일리 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, $X = 0.052 \text{ m}$

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

㉗ 풍하중

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

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

㉘ 원심하중

일반 활하중 작용시

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

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

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

탭크 트레일리 하중 작용시

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

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

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

㉙ 하중 조합

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

$$= 1.3 \times 10.707 + 2.15 \times 22.486 + 1.3 \times 5.045 = 68.822 \text{ kN m/m}$$

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

$$= 1.3 \times 10.707 + 1.3 \times 22.486 + 1.3 \times 5.045 + 1.3 \times 17.1 = 71.939 \text{ kN m/m}$$

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

$$= 1.3 \times 10.707 + 1.3 \times 22.486 + 1.3 \times 5.045 + 1.3 \times 5.045 + 0.65 \times 2.079 = 51.061 \text{ kN m/m}$$

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

$$= 1.2 \times 10.707 + 1.2 \times 2.079 + 1.2 \times 17.1 = 35.863 \text{ kN m/m}$$

$$Mu5 = 1.3 \text{ Md} + 1.3 \text{ Ml+i} + 1.3 \text{ Mcf(데크 트레일리 하중 작용시)}$$

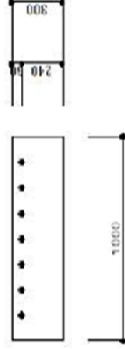
$$= 1.3 \times 10.707 + 1.3 \times 4.555 + 1.3 \times 1.332 = 21.572 \text{ kN m/m}$$

㉚ 단면검토

◀ 설계량 산정

(DESIGN CONDITION)

f_{ck}	=	27	MPa
Mu	=	71.939	kN · m
b	=	1000	mm
d'	=	60	mm
ϕ (Bending)	=	0.85	
f_y	=	400	MPa
h	=	300	mm
d	=	240	mm



[Req'd d & As]	
$a = As \times f_y / (0.85 \times f_{ck} \times b)$	= 0.0174 As
$Mu = \phi \times As \times f_y \times (d - a/2)$	= $-3.0As^2 + 81600 \text{ As}$
	= 71939000
$\therefore \text{Req'd As}$	
$\text{Min.As} = \text{Req'd As} \times 4/3$	= 911.8mm^2
$\text{Min.As} = 0.002 \times b \times d$	= 1215.7mm^2
$\text{Min.As} = 1.4/f_y \times b \times d$	= 480.0mm^2
$\text{Min.As} = 0.25 \sqrt{f_{ck}} / f_y \times b \times d$	= 840.0mm^2
USE	$H16 @ 150$
	$As_{use} = 1324.0\text{mm}^2$
	O.K.

[RE-BAR RATIO CHECK]

$$P = As / (b \times d) = 0.0096 < P_{max} = 0.75 \times p_b = 0.0219 \quad \text{O.K.!!}$$

[DESIGN MOMENT CHECK]

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

$$\begin{aligned} \text{Max.} a &= 0.85 \times c = 91.800 \text{ mm} > a = f_y \times A_s / (0.85 \times f_{ck} \times b) = 23.076 \text{ mm} \\ j d &= d - a/2 = 228.462 \text{ mm} \\ C &= 0.85 \times f_{ck} \times a \times b = 529.600 \text{ kN} \quad T = f_y \times A_s = 529.600 \text{ kN} \\ \phi M_n &= \phi f_y \times A_s \times j d = 102.844 \text{ kN} \cdot \text{m} > M_u = 71.939 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{O.K.} \end{aligned}$$

배력철근의 계산
 배력철근의 주철근에 대한 백분율 $120 / \sqrt{L} = 120 / \sqrt{1.420} = 101 \% > 67 \%$
 $A_s \times 67\% = 911.793 \times 0.67 = 610.9 \text{ mm}^2$
 수축 · 온도철근 : $0.0020 \times b \times h = 600.0 \text{ mm}^2$
 USE H16 @ 200 = 993.0 mm² O.K.

2) 중앙부

① 고정하중

$$\begin{aligned} \text{정관크리트} &: 0.300 \text{ m} \times 25,000 \text{ kN/m}^3 = 7,500 \text{ kN/m}^2 \\ \text{이스팔트포장} &: 0.080 \text{ m} \times 23,000 \text{ kN/m}^3 = 1,840 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

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

계산지점 L = 4.244 m 바닥판 지점의 수 n = 5

$$M_d = (1/10) \times W_d \times L^2 = (1/10) \times 9.34 \times 4.244^2 = 16.823 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

② 활하중

활하중 (DB-24 : Pr = 96kN)

중력계수

$$\begin{aligned} i &= 15 / (40 + L) = 15 / (40 + 4.244) = 0.339 > 0.3 \quad I = 0.3 \\ M_{I-i} &= ((L+0.6) / 9.6) \times Pr \times (1+i) = ((4.244 + 0.6) / 9.6) \times 96 \times (1 + 0.3) \\ &= 62.972 \text{ kN} \cdot \text{m} \\ \text{연속바닥판이므로,} \\ M_{I-i} &= 0.8 \times 62.972 = 50.378 \text{ kN} \cdot \text{m/m} \end{aligned}$$

③ 하중 조합

$$\begin{aligned} \text{① } M_{u1} &= 1.3 M_d + 2.15 M_{I-i} \\ &= 1.3 \times 16.823 + 2.15 \times 50.378 = 130.183 \text{ kN} \cdot \text{m/m} \end{aligned}$$

④ 바닥판의 최소두께 (X > 0.25 인 경우)

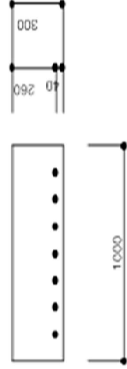
$$\begin{aligned} h_{min} &= (30 \times L + 130) = (30 \times 4.244) + 130 \\ &= 257 \text{ mm} > 220 \text{ mm} \rightarrow 300 \text{ mm 사용} \end{aligned}$$

⑤ 단면검토

◀ 철근량 산정

(DESIGN CONDITION)

$$\begin{aligned} f_{ck} &= 27 \text{ MPa} \\ M_u &= 130.183 \text{ kN} \cdot \text{m} \\ b &= 1000 \text{ mm} \\ d' &= 40.00 \text{ mm} \\ \phi (\text{Bending}) &= 0.85 \\ f_y &= 400 \text{ MPa} \\ h &= 300 \text{ mm} \\ d &= 260 \text{ mm} \end{aligned}$$



[Req'd d & As]	
$a = A_s \times f_y / (0.85 \times f_{ck} \times b)$	$= 0.0174 \text{ As}$
$M_u = \phi \times A_s \times f_y \times (d - a/2)$	$= -2.96 A_s^2 + 88.400 A_s$
	$= 130183000$
$\therefore \text{Req'd } A_s$	$= 1553.53 \text{ mm}^2$
$\text{Min. } A_s = \text{Req'd } A_s \times 4/3$	$= 2071.41 \text{ mm}^2$
$\text{Min. } A_s = 0.002 \times b \times d$	$= 520.00 \text{ mm}^2$
$\text{Min. } A_s = 1.4/f_y \times b \times d$	$= 910.00 \text{ mm}^2$
$\text{Min. } A_s = 0.25 \sqrt{f_{ck}} / f_y \times b \times d$	$= 844.37 \text{ mm}^2$
USE	$1122 @ 125$
	$A_{suse} = 3096.80 \text{ mm}^2 \text{ O.K.}$

[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]

$$\begin{aligned} \text{Max. } c &= 0.75 \times 600 / (600 + f_y) \times d = 117.000 \text{ mm} > c = a/0.85 = 63.500 \text{ mm} \\ \text{Max. } a &= 0.85 \times c = 99.450 \text{ mm} > a = f_y \times A_s / (0.85 \times f_{ck} \times b) = 53.975 \text{ mm} \\ j d &= d - a/2 = 233.013 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$C = 0.85 \times f_{ck} \times a \times b = 1238.72 \text{ kN} \quad T = f_y \times A_s = 1238.72 \text{ kN}$$

$$\phi M_n = \phi f_y \times A_s \times j d = 245.342 \text{ kN} \cdot \text{m} > M_u = 130.183 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{O.K.}$$

배력철근의 계산

배력철근의 주철근에 대한 백분율 $120 / \sqrt{L} = 120 / \sqrt{4.244} = 58 \% > 67 \%$

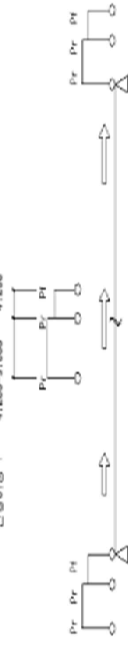
$$A_s \times 58\% = 1553.554 \times 0.58 = 901.1 \text{ mm}^2$$

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

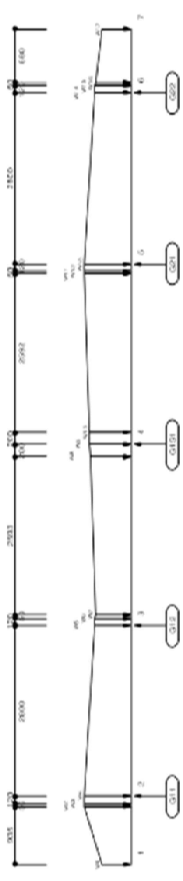
$$\text{USE H16 @ 125} = 1588.8 \text{ mm}^2 \quad \text{O.K.}$$

4.1.3 거더 검토

1) 작용하중 산정

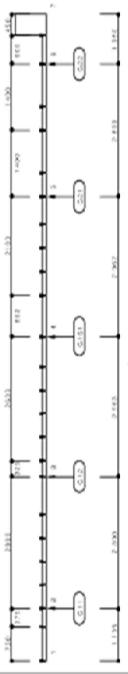
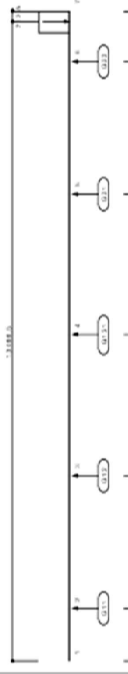
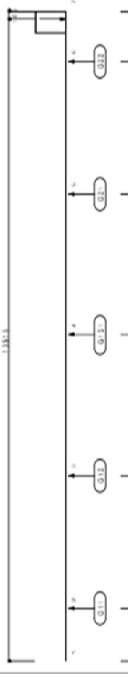
Case 1 합성전 고정하중	- Steel 지중, - 바닥면 지중
Case 2 합성후 고정하중	- 합성후 단면에 대하여 거더별 하중재하(부속설비 하중 포함)
	- DB-24 하중 : 표준 트럭하중을 연행하중으로 적용 - 연행하중 : 4,200~9,000 4,200
Case 3 활하중	
Case 4 지점침하	합성후 단면에 대하여 각 지점 위치별 20mm 부등침하를 조합하여 적용 - 1 : P8 지점침하 - 2 : P9 지점침하 - 3 : A2 지점침하 - 4 : P8, A2 지점침하 - 5 : P9 지점침하

① 합성전 고정하중(슬래브 자중)



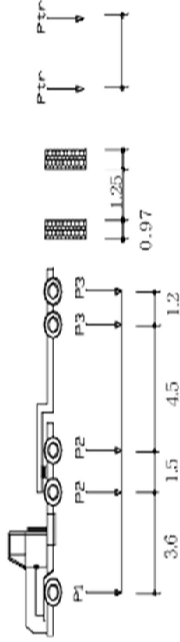
W1	0.240 x 25 = 6.000 KN/m ²	W10	0.350 x 25 = 8.750 KN/m ²
W2	0.394 x 25 = 9.850 KN/m ²	W11	0.394 x 25 = 9.850 KN/m ²
W3	0.393 x 25 = 9.825 KN/m ²	W12	0.393 x 25 = 9.825 KN/m ²
W4	0.389 x 25 = 9.725 KN/m ²	W13	0.389 x 25 = 9.725 KN/m ²
W5	0.305 x 25 = 7.625 KN/m ²	W14	0.305 x 25 = 7.625 KN/m ²
W6	0.302 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

이스플트	 Wm = 0.08 x 23 = 1.840 KN/m²
방호벽	 P1 = 6.949 KN/m²
난간	 P1 = 10.000 KN/m²

③ 활하중

연석간의 교폭 $W_c = 13.230 \text{ m}$ $\therefore$ 실제 차로수 $N = 4$
 설계 차로폭 $W =$ 설계 차로폭 $W = 13.230 / 4 = 3.308 \text{ m} \leq 3.6 \text{ m}$ $W = 3.308 \text{ m}$
 - DB-24 하중(운하중)
 전륜하중 : $P_f = 24 \text{ KN}$
 후륜하중 : $P_r = 96 \text{ KN}$
 - DL-24 하중(지선하중)
 $W = 12.7 / 3.0 = 4.233 \text{ KN/m}$
 $P_m = 108 / 3.0 = 36 \text{ KN}$
 $P_s = 156 / 3.0 = 52 \text{ KN}$
 - 탱크 트레일러 하중



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

④ 충격계수

지간장 (L) $49.208 + 49.410 \text{ m}$
 따라서, 내부 지점 및 지간내에 제한되는 하중에 대한 충격계수는 아래와 같다.
 다만, 탱크 트레일러와 탱크 트레일러 하중에는 일률적으로 충격계수를 0.15로 적용 한다.

< 제1 지간

$$i = \frac{15}{40 + 49.208} = 0.168 < 0.3 \Rightarrow 0.168$$

< 제2 지간

$$i = \frac{15}{40 + 49.41} = 0.168 < 0.3 \Rightarrow 0.168$$

< 제1 내부지점

$$i = \frac{15}{40 + (49.208 + 49.41)/2} = 0.168 < 0.3 \Rightarrow 0.168$$

$\therefore$ 계산된 충격계수 중 가장 큰 0.168를 적용함

⑤ 주형별 적용하중

- 1) 강제지중 - 각종 보강재 및 원장이음재 등의 부부재 하중으로 주부재지중을 49.342% 일률적용
 총강제중량 / 모델링 강제중량 = $4925.552 \text{ kN} / 3298.17 \text{ kN} = 1.49342$
- 2) 합성전 고정하중 (슬래브 지중)

거더폭	합성전	G - 1	G - 2	ST - 1	비고
		2.800	2.800		m
슬래브 지중	P1	21.239	28.095	25.656	
	P2	23.620	17.713		kN/m
	Pt	44.879	45.808	25.656	
	Mt	3.305	-14.535		kN · m/m

3) 합성 후 고정하중

합성 후	G - 1	G - 2	ST - 1	비고
Pavement 및 원호벽, 증분대	P1	4.639	-2.463	7.468
	P2	4.833	26.816	
	Pt	9.472	24.353	7.468
	Mt	0.272	40.991	
				kN · m/m

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

거더당 적용하는 부속설비 하중 $W(\text{KN/m}) = 0.5 \text{ kN/m}^2 \times \text{슬래브 선폭(m)} / \text{종거더수}$

$$W = 0.50 \times 13.680 / 2 = 3.420 \text{ kN /m}$$

4) 활하중

< DB-24 G1 MAX > : 단위하중제하

거더폭	DB-24	G - 1	G - 2	ST - 1	단 위
1 차선 제하시	P1	2.8	2.8		m
	P2	1.670	0.018	-0.007	
	Pt	0.387	-0.003		kN/m
	Pt	2.057	0.015	-0.007	
	Mt	-1.796	-0.030		kN · m/m
2 차선 제하시	e	-0.873	-2.006		원심(c)=Mt/Pt
	P1	1.603	-0.113	0.067	
	P2	1.823	0.020		kN/m
	Pt	3.426	-0.093	0.067	
	Mt	0.309	0.186		kN · m/m
3 차선 제하시	e	0.090	-2.006		원심(c)=Mt/Pt
	P1	1.628	0.828	0.194	
	P2	1.678	-0.079		kN/m
	Pt	3.306	0.749	0.194	
	Mt	0.059	-1.270		kN · m/m
4 차선 제하시	e	0.021	-1.696		원심(c)=Mt/Pt
	P1	1.621	1.939	0.177	
	P2	1.722	0.946		kN/m
	Pt	3.342	2.885	0.177	
	Mt	0.142	-1.390		kN · m/m
	e	0.042	-0.482		원심(c)=Mt/Pt

< DB-24 G2 MAX > : 단위하중제하

구분	DB-24	G-1	G-2	ST-1	단 위
거리		2.8	2.8		m
1 차선 제하시	P1	-0.007	0.859	-0.015	
	P2	0.038	1.259		kN/m
	Pt	0.031	2.118	-0.015	
	Mt	0.063	0.559		kN · m/m
	e	2.006	0.264		관성(e)=Mt/Pt
2 차선 제하시	P1	0.021	2.003	0.093	
	P2	-0.116	1.158		kN/m
	Pt	-0.096	3.161	0.093	
	Mt	-0.192	-1.182		kN · m/m
	e	2.006	-0.374		관성(e)=Mt/Pt
3 차선 제하시	P1	-0.073	1.853	0.188	
	P2	1.152	1.185		kN/m
	Pt	1.079	3.038	0.188	
	Mt	1.714	-0.935		kN · m/m
	e	1.589	-0.308		관성(e)=Mt/Pt
4 차선 제하시	P1	1.345	1.885	0.176	
	P2	1.832	1.179		kN/m
	Pt	3.177	3.064	0.176	
	Mt	0.683	-0.987		kN · m/m
	e	0.215	-0.322		관성(e)=Mt/Pt

< DL-24 G1 MAX > : 단위하중제하

구분	DL-24	G-1	G-2	ST-1	단 위
거리		0.120	0.120		m
1 차선 제하시	P1	2.505	0.028	-0.011	
	P2	0.582	-0.005		kN/m
	Pt	3.086	0.023	-0.011	
	Mt	-2.692	-0.046		kN · m/m
	e	-0.872	-2.006		관성(e)=Mt/Pt
2 차선 제하시	P1	2.392	-0.171	0.099	
	P2	2.757	0.030		kN/m
	Pt	5.149	-0.141	0.099	
	Mt	0.511	0.282		kN · m/m
	e	0.099	-2.006		관성(e)=Mt/Pt
3 차선 제하시	P1	2.433	1.241	0.292	
	P2	2.527	-0.123		kN/m
	Pt	4.959	1.118	0.292	
	Mt	0.131	-1.909		kN · m/m
	e	0.026	-1.708		관성(e)=Mt/Pt
4 차선 제하시	P1	2.421	2.924	0.265	
	P2	2.595	1.407		kN/m
	Pt	5.016	4.331	0.265	
	Mt	0.244	-2.123		kN · m/m
	e	0.049	-0.490		관성(e)=Mt/Pt

< DL-24 G2 MAX > : 단위하중제하

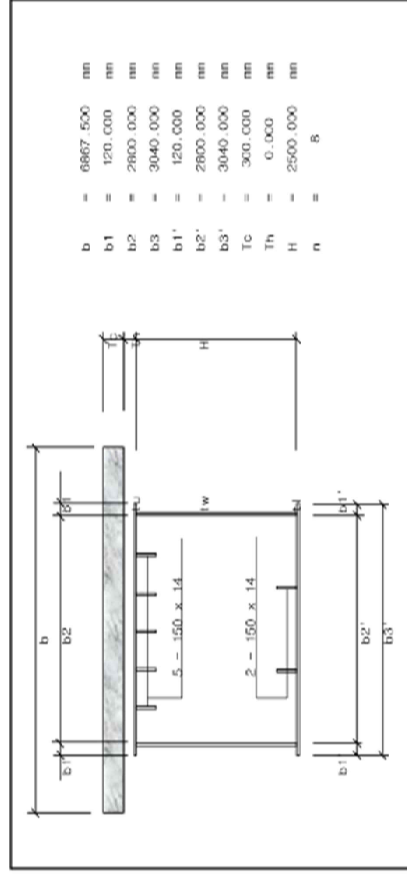
구분	DL-24	G-1	G-2	ST-1	단 위
거리		0.120	0.120		m
1 차선 제하시	P1	-0.011	1.301	-0.023	
	P2	0.059	1.883		kN/m
	Pt	0.049	3.183	-0.023	
	Mt	0.815	0.256		kN · m/m
	e	2.006	0.256		관성(e)=Mt/Pt
2 차선 제하시	P1	0.032	3.024	0.140	
	P2	-0.181	1.725		kN/m
	Pt	-0.149	4.749	0.140	
	Mt	-0.299	-1.818		kN · m/m
	e	2.006	-0.383		관성(e)=Mt/Pt
3 차선 제하시	P1	-0.117	2.793	0.283	
	P2	1.773	1.766		kN/m
	Pt	1.616	4.559	0.283	
	Mt	2.589	-1.437		kN · m/m
	e	1.602	-0.315		관성(e)=Mt/Pt
4 차선 제하시	P1	2.006	2.841	0.263	
	P2	2.761	1.758		kN/m
	Pt	4.767	4.599	0.263	
	Mt	1.057	-1.517		kN · m/m
	e	0.222	-0.330		관성(e)=Mt/Pt

< 탱크 트레일러 하중제하시 > : 단위하중제하

구분	Tank Trailer	G-1	G-2	ST-1	단 위
거리		0.120	0.120		m
G1 MAX	P1	1.513	0.020	-0.008	
	P2	0.550	-0.004		kN/m
	Pt	2.063	0.017	-0.008	
	Mt	-1.349	-0.084		kN · m/m
	e	-0.654	-2.006		관성(e)=Mt/Pt
G2 MAX	P1	-0.005	0.963	-0.012	
	P2	0.029	1.129		kN/m
	Pt	0.024	2.092	-0.012	
	Mt	0.049	0.233		kN · m/m
	e	2.006	0.111		관성(e)=Mt/Pt

2) 단면 특성

◎ 정모멘트 구간 단면 특성



① 합성전 단면

단	면	B (mm)	H (mm)	As(mm²)	Y(mm)	As*Y (mm³)	Is*Y² (mm⁴)
1	- UPPER FLANGE	3040	12	36480	1256	45818880	57548513280
5	- UPPER RIB	150	14	10500	1175	12337500	14496562500
2	- WEB	2500	12	60000			312500000000
2	- LOWER RIB	150	14	4200	-1175	-4935000	5798525000
1	- LOWER FLANGE	3040	12	36480	-1256	-45818880	57548513280
TOTAL				147660		7402500	135392214060

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

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

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

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

- 비틀림 강성

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

$$H_k = H + t_w / 2 + t_l / 2 = 2500.000 + 12.000 / 2 + 12.000 / 2 = 2512.00 \text{ mm}$$

$$K = (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b_k / t_l) = (4 \times 2812^2 \times 2512^2) / (2 \times 2512 / 12 + 2812 / 12) = 224927780455 \text{ mm}^4$$

② 합성후 단면

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

$$A_v = \sum A_s + A_c / N = 147660 + 2137500 / 8 = 414848 \text{ mm}^2$$

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

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

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

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

$$I_{v33} = I_{33} + I_c / N + \sum A_s \cdot d_{vs}^2 + A_c / N \cdot d_{vc}^2$$

$$= 166299549505 + 16031250000 / 8 + 147660 \times 869.399^2 + 2137500 / 8 \times 480.469^2$$

$$= 341593290952 \text{ mm}^4$$

$$I_{v22} = I_{22} + b \times I_c / 12 / N = 174799808000 + 7125.000^3 \times 300.00 / 12 / 8$$

$$= 1305128177141 \text{ mm}^4$$

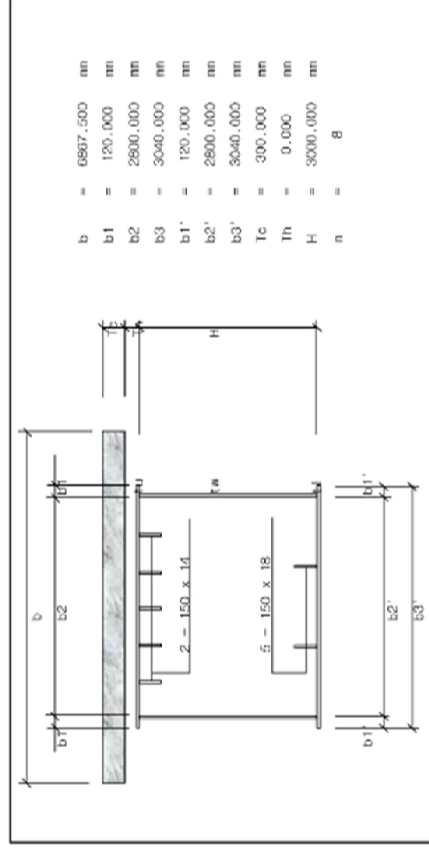
- 비틀림 강성

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

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

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

◎ 부모멘트 구간 단면 특성



① 합성신 단면

단 면	B (mm)	H (mm)	As(mm ²)	As*Y (mm ³)	As*Y ² (mm ⁴)	Io(mm ⁴)
1 - UPPER FLANGE	3040	30	91200	1515	209324520500	65400200
2 - UPPER RIB	150	14	4200	1425	8528625000	7875000
2 - WEB	3000	12	72000			54000000000
5 - LOWER RIB	150	18	13500	-1425	-27413437500	25312500
1 - LOWER FLANGE	3040	32	97280	-1515	-223574343680	8301227
TOTAL			278180	-22500980	568840926180	54048328727

$$I_s = \sum A_s \cdot Y^2 + \sum I_o = 468840926180 + 54048328727 = 522889254907 \text{ mm}^4$$

$$\delta s = \sum A_s Y / \sum A_s = -22500980 / 278180 = -81.10 \text{ mm}$$

$$I_{33} = I_s - \sum A_s \cdot \delta s^2 = 522889254907 - 278180 \times (-81.10)^2 = 521059512227 \text{ mm}^4$$

$$I_{22} = (b_3^3 \times t_u / 12) + (b_3^3 \times t_l / 12) + (H \times t_w^3 / 12) + (H \times t_w \times (b_2 / 2 + t_w / 2)^2) + 2 \times ((3040^3 \times 30 / 12) + (3040^3 \times 32 / 12) + ((3000 \times 12^3) / 12) + (3000 \times 12 \times (2800 / 2 + 12 / 2)^2)) \times 2 = 287487786667 \text{ mm}^4$$

- 비틀림 강성

$$J_k = b_2 \times t_w / 2 \times 2 = 2800.000 \times 12.000 / 2 \times 2 = 2812.00 \text{ mm}^4$$

$$J_k = H \times t_u / 2 + H / 2 = 3000.000 \times 30.000 / 2 + 32.000 / 2 = 3031.00 \text{ mm}^4$$

$$K = (4 \times b k^3 \times H k^3) / (2 \times H k / t_w + b k / t_u + b k / t_l)$$

$$= (4 \times 2812^3 \times 3031^3) / (2 \times 3031 / 12 + 2812 / 30 + 2812 / 32) = 423104865154 \text{ mm}^4$$

② 합성후 단면

$$A_c = b \times T_c = 6867.5 \times 300.000 = 2060250 \text{ mm}^2$$

$$A_v = \sum A_s + A_c / N = 278180 + 2060250 / 8 = 535711 \text{ mm}^2$$

$$I_c = b \times T_c^3 / 12 = 6867.5 \times 300.00^3 / 12 = 15451875000 \text{ mm}^4$$

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

$$= 3000.0 / 2 - (-81.10) + 300.00 / 2 = 1731.1 \text{ mm}$$

$$d_{vc} = d_v \cdot \sum A_s / A_v = 1731.1 \times 278180 / 535711 = 898.91 \text{ mm}$$

$$d_{vs} = d_v - d_{vc} = 1731.1 - 898.91 = 832.19 \text{ mm}$$

$$I_{v33} = I_{33} + I_c / N + \sum A_s \cdot d_{vs}^2 + A_c / N \cdot d_{vc}^2$$

$$= 521059512227 + 15451875000 / 8 + 278180 \times 832.189^2 + 2060250 / 8 \times 898.913^2$$

$$= 923738139178 \text{ mm}^4$$

$$I_{v22} = I_{22} + b^3 \times T_c / 12 / N = 287487786667 + 6868.5^3 \times 300.00 / 12 / 8$$

$$= 1299640458688 \text{ mm}^4$$

- 비틀림 강성

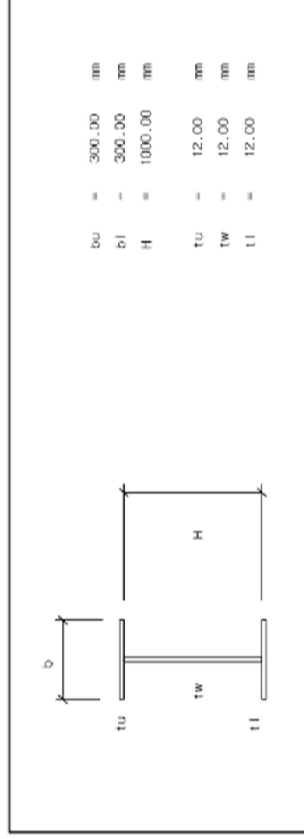
* 합성단면의 K값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 간재로 환산하여 적용한다.

$$t_{cu} = t_u + T_c / N = 30.000 + 300.000 / 8 = 67.50 \text{ mm}$$

$$K = (4 \times b k^3 \times H k^3) / (2 \times H k / t_w + b k / t_{cu} + b k / t_l)$$

$$= (4 \times 2812^3 \times 3031^3) / (2 \times 3031 / 12 + 2812 / 67.5 + 2812 / 32) = 457818528219 \text{ mm}^4$$

② Stringer



단 면	B(mm)	H (mm)	As(mm ²)	Y(mm)	As*Y (mm ³)	As*Y ² (mm ⁴)	Io(mm ⁴)
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			19200		0	1843459200	1000086400

$$I_{33} = I_s - \sum A_s \cdot Y^2 + \sum I_o = 1843459200 + 1000086400 = 2843545600 \text{ mm}^4$$

$$I_{22} = (b u^3 \times t_u / 12) + (b l^3 \times t_l / 12) + (H \times t_w^3 / 12)$$

$$= (300^3 \times 12 / 12) + (300^3 \times 12 / 12) + (1000 \times 12^3 / 12)$$

$$= 54144000 \text{ mm}^4$$

모멘트관성의 가로로 강성모형은 $I' = I \times (L' / L)^3$ 에 의한다.

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

-비틀림 강성

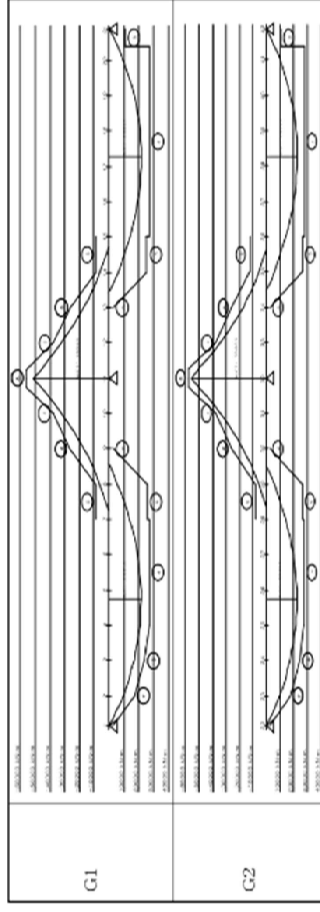
$$K = \sum (b \times t^3) / 3$$

$$= (300 \times 12^3 + 300 \times 12^3 + 1000 \times 12^3) / 3$$

$$= 921600 \text{ mm}^4$$

3) 해석 결과

① 단면 요약도



② 정모멘트부 단면력 집계표

【표 4.7】 원모멘트 집계표

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활 하중	지 정 침 하	합 계	단위:kNm	비 고
	Steel	Concrete						
G1	2475.397	6749.920	2320.556	6629.649	1247.912	19423.434		
G2	2459.031	6643.024	3433.156	6345.652	1236.165	20117.028		

【표 4.8】 전단력 집계표

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활 하중	지 정 침 하	합 계	단위:kNm	비 고
	Steel	Concrete						
G1	160.325	457.766	171.977	484.202	50.593	1324.853		
G2	160.401	454.027	190.301	460.617	51.722	1317.069		

【표 4.9】 비틀림모멘트 집계표

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활 하중	지 정 침 하	합 계	단위:kNm	비 고
	Steel	Concrete						
G1	-21.480	-86.665	262.192	650.977	10.962	815.991		
G2	-20.852	-42.532	161.152	629.870	11.230	738.868		

③ 부모멘트부 단면력 집계표

【표 4.10】 원모멘트 집계표

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활 하중	지 정 침 하	합 계	단위:kNm	비 고
	Steel	Concrete						
G1	-8526.585	-21985.513	-6225.096	-12053.608	-2439.802	-51230.534		
G2	-8499.090	-21672.312	-11392.497	-11319.998	-2601.121	-55485.018		

【표 4.11】 전단력 집계표

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활 하중	지 정 침 하	합 계	단위:kNm	비 고
	Steel	Concrete						
G1	-787.786	-1628.414	-393.036	-1105.638	-48.150	-3813.084		
G2	-790.723	-1831.238	-1064.108	-1168.244	-60.032	-4914.345		

【표 4.12】 비틀림모멘트 집계표

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활 하중	지 정 침 하	합 계	단위:kNm	비 고
	Steel	Concrete						
G1	-7.701	-19.371	200.751	-1261.698	-6.524	-1004.543		
G2	-20.662	-142.135	320.391	-1277.687	-4.491	-1124.584		

- 합성주

$$\begin{aligned} Av &= As + Ac/n = 398457.6 \text{ mm}^2 \\ lc/n &= 1880981910 \text{ mm}^4 \\ dv &= Ysu - Tu + Th + Tc/2 = 1349.9 \text{ mm} \\ dvc=dv \cdot As/(Ac/n+As) &= 500.2 \text{ mm} \\ dvs &= dv - dvc = 849.6 \text{ mm} \\ Yvcu &= dvc + Tc/2 = 650.2 \text{ mm} \\ Yvcl &= Yvcu - Tc = 350.2 \text{ mm} \\ Yvsu &= Yvcu - H2 + Tu = 362.2 \text{ mm} \\ Yvsl &= Yvsu - (H + Tu + T1) = -2161.8 \text{ mm} \\ lv=ls+lc/n+As \cdot dvs^2+Ac/n \cdot dvc^2 &= 337531109411 \text{ mm}^4 \\ fvcu &= Msc \cdot Yvcu/(n \cdot lv) = 0.827 \text{ MPa} \\ fvc1 &= Msc \cdot Yvcu/(n \cdot lv) = 0.445 \text{ MPa} \\ fvsu &= Msc \cdot Yvsu/lv = 3.684 \text{ MPa} \\ fvs1 &= Msc \cdot Yvsl/lv = -21.388 \text{ MPa} \\ \sigma &= Ssc / A(Web) + Msct / (2 \cdot F \cdot Tw) = 4.115 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 횡하중에 의한 응력

$$\begin{aligned} fvcu &= Mv \cdot Yvcu/(n \cdot lv) = 1.826 \text{ MPa} \\ fvc1 &= Mv \cdot Yvc1/(n \cdot lv) = 0.983 \text{ MPa} \\ fvsu &= Mv \cdot Yvsu/lv = 8.137 \text{ MPa} \\ fvs1 &= Mv \cdot Yvsl/lv = -48.559 \text{ MPa} \\ \sigma &= Sv / A(Web) + Mvt / (2 \cdot F \cdot Tw) = 12.293 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 크리프에 의한 응력

$$\begin{aligned} n1=n \cdot (1+\phi/2) &= 8 \times (1+2.0/2) = 16 \\ Av1 &= As + Ac/n1 = 276649.8 \text{ mm}^2 \\ dcl=dv \cdot As/(Ac/n1+As) &= 730 \text{ mm} \\ ds1 &= dv - dcl = 619.9 \text{ mm} \\ Yv1cu &= dcl + Tc/2 = 880 \text{ mm} \\ Yv1cl &= Yv1cu - Tc = 580 \text{ mm} \\ Yv1su &= Yv1cu - H2 + Tu = 592 \text{ mm} \\ Yv1sl &= Yv1su - (H + Tu + T1) = -1932 \text{ mm} \\ lv1 &= ls+lc/n1+As \cdot ds1^2+Ac/n1 \cdot dcl^2 = 290801383870 \text{ mm}^4 \\ Nc &= Msc \cdot dvc \cdot Ac/(n \cdot lv) = 1276072 \text{ N} \\ P \cdot \phi &= Nc \cdot 2 \cdot \phi / (2+\phi) = 1276072 \text{ N} \\ M \cdot \phi &= P \cdot \phi \cdot dcl = 931479091 \text{ N} \cdot \text{mm} \\ Ec1 &= Ec / (1 + \phi / 2) = 12500 \text{ MPa} \\ fcu &= Msc \cdot Yvcu / (n \cdot lv) = 0.827 \text{ MPa} \\ fcl &= Msc \cdot Yvcl / (n \cdot lv) = 0.445 \text{ MPa} \\ fvcu1=1/n1 \cdot (P \cdot \phi / Av1+M \cdot \phi \cdot Yv1cu/lv1)-Ec1 \cdot fcu \cdot \phi / Ec &= -0.465 \text{ MPa} \\ fvc1=1/n1 \cdot (P \cdot \phi / Av1+M \cdot \phi \cdot Yv1cl/lv1)-Ec1 \cdot fcl \cdot \phi / Ec &= -0.108 \text{ MPa} \\ fvsu1=P \cdot \phi / Av1+M \cdot \phi \cdot Yv1su/lv1 &= 5.418 \text{ MPa} \\ fvs11=P \cdot \phi / Av1+M \cdot \phi \cdot Yv1sl/lv1 &= 2.241 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 구조수축에 의한 응력

$$\begin{aligned} n2=n \cdot (1+\phi/2) &= 8 \times (1 + 4.0 / 2) = 24 \\ Av2 &= As + Ac/n2 = 231259.196 \text{ mm}^2 \\ dc2=dv \cdot As/(Ac/n2+As) &= 861.9 \text{ mm} \\ ds2= dv - dc2 = 488 \text{ mm} \\ Yv2cu &= dc2 + Tc/2 = 1011.9 \text{ mm} \\ Yv2cl &= Yv2cu - Tc = 711.9 \text{ mm} \\ Yv2su &= Yv2cu - H2 + Tu = 723.9 \text{ mm} \\ Yv2sl &= Yv2su - (H + Tu + T1) = -1800.1 \text{ mm} \\ lv2=ls+lc/n2+As \cdot ds2^2+Ac/n2 \cdot dc2^2 &= 264189735597.7 \text{ mm}^4 \\ p2=Es \cdot \epsilon s \cdot Ac/n2 &= 4740074 \text{ N} \\ Mv2= P2 \cdot dc2 &= 4085453718 \text{ N} \cdot \text{mm} \\ Ec2= Es \cdot /n2 &= 8750 \text{ MPa} \\ fvcu2=1/n2 \cdot (P2/Av2+K \cdot Mv2 \cdot Yv2cu/lv2)-Ec2 \cdot \epsilon s &= -1.252 \text{ MPa} \\ fvc12=1/n2 \cdot (P2/Av2+K \cdot Mv2 \cdot Yv2cl/lv2) - Ec2 \cdot \epsilon s &= -1.328 \text{ MPa} \\ fvsu2=P2/Av2+K \cdot Mv2 \cdot Yv2su/lv2 &= 24.896 \text{ MPa} \\ fvs12=P2/Av2+K \cdot Mv2 \cdot Yv2sl/lv2 &= 9.557 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 온도차에 의한 응력

$$\begin{aligned} \epsilon t &= \alpha \cdot t = 0.000012 \times 10 = 0.00012 \\ P1=Es \cdot \epsilon t \cdot Ac/n &= 6320099 \text{ N} \\ Mv1=P1 \cdot dvc &= 3161520057 \text{ N} \cdot \text{mm} \\ fcu1=1/n \cdot (P1/Av + K \cdot Mv1 \cdot Yvcu/lv) - Ec \cdot \epsilon t &= -0.718 \text{ MPa} \\ fcl1=1/n \cdot (P1/Av + K \cdot Mv1 \cdot Yvcl/lv) - Ec \cdot \epsilon t &= -0.856 \text{ MPa} \\ fsu1=P1/Av+K \cdot Mv1 \cdot Yvsu/lv &= 17.195 \text{ MPa} \\ fs1=P1/Av+K \cdot Mv1 \cdot Yvsl/lv &= 7.904 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 진단 및 비틀림에 의한 응력

$$\begin{aligned} \sigma &= (Ss + Ssc + Sv)/Aw + (Mst/(2 \cdot F \cdot Tw) + (MscL/Mvt)/(2 \cdot Fv \cdot Tw)) \\ &= 25.135 \text{ MPa} < \sigma a = 120 \text{ MPa} \quad \text{O.K.} \end{aligned}$$

- 응력조립 및 검토

적용 허용조립

- LCB 1 : 합성진 고정하중
- LCB 2 : 합성진 고정하중+임성후 고정하중+활하중
- LCB 3 : 합성진 고정하중+임성후 고정하중+활하중+크리프
- LCB 4 : 합성진 고정하중+임성후 고정하중+활하중+크리프+구조수축
- LCB 5 : 합성진 고정하중+임성후 고정하중+활하중+크리프+구조수축+온도차
- LCB 6 : 합성진 고정하중+임성후 고정하중+활하중+크리프+구조수축+온도차

② 정모멘트부 응력 검토

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

【표 4.15-1】 응력검토 결과 (CONCRETE) 단위 :MPa

하중조합	상 연 (안축응력 발생부위)		하 연 (안축응력 발생부위)		검토 결과
	작용응력	허용응력	작용응력	허용응력	
LCB1		10.800		10.800	
LCB2	2.652	10.800	1.429	10.800	7.558
LCB3	2.187	10.800	1.321	10.800	8.176
LCB4	0.935	10.800	-0.007	1.890	270.000
LCB5	0.217	12.420	-0.863	2.174	2.519
LCB6	1.653	12.420	0.849	12.420	14.629
안전성검토	최소 안전율		최소 안전율		2.519
	검 토 결 과		검 토 결 과		안 전

【표 4.15-2】 응력검토 결과 (STEEL) 단위 :MPa

하중조합	상 연 (안축응력 발생부위)		하 연 (안축응력 발생부위)		검토 결과
	작용응력	허용응력	작용응력	허용응력	
LCB1	66.329	134.0000	-71.817	210.000	2.924
LCB2	78.150	134.0000	-142.364	210.000	1.475
LCB3	83.569	154.1000	-140.123	210.000	1.499
LCB4	108.465	154.1000	-130.566	210.000	1.608
LCB5	125.660	174.2000	-122.662	241.500	1.969
LCB6	91.270	174.2000	-138.470	241.500	1.744
안전성검토	최소 안전율		최소 안전율		1.475
	검 토 결 과		검 토 결 과		안 전

주) 1. 안축응력을 정(+), 안축응력을 부(-)로 하였음

③ 합성응력 검토 (도로교 설계기준)

• 상면

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v}{v_a}\right)^2 = \left(\frac{125.66}{174.2}\right)^2 + \left(\frac{25.135}{120.0}\right)^2 = 0.520 + 0.044 = 0.564 < 1.2 \quad \therefore \text{O.K}$$

• 하면

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v}{v_a}\right)^2 = \left(\frac{-142.364}{210.0}\right)^2 + \left(\frac{25.135}{120.0}\right)^2 = 0.460 + 0.044 = 0.503 < 1.2 \quad \therefore \text{O.K}$$

④ 항복에 대한 안전도 검토

$$\Sigma f = 1.3 \times (\text{항성선 고정하중응력} + \text{항상후 고정하중응력}) + 2.15 \times \text{필리주에 의한 응력(중식포함)} + (\text{크리프응력 변화량}) + (\text{간조수축응력 변화량}) + (\text{온도저응력 변화량}) \text{의 조합 중에서}$$

가장 불리한 하중 조합에 대하여 검토

- 바닥판 콘크리트

항상후 고정하중 응력 = $(M_{sc} / (n \cdot I_v)) \times Y_{vcu} = 0.827 \text{ MPa}$
 항성후 필리주 응력 = $2.652 - 0.827 = 1.826 \text{ MPa}$
 $\Sigma f = 1.3 \times 0.827 + 2.15 \times 1.862 + (-0.465) + (-1.252) + (0.718) = 4.001 \text{ MPa} < (3/5) f_{ck} = 16.2 \text{ MPa} \quad \text{O.K. (크리프, 간조수축 포함시)}$
 $\Sigma f = 1.3 \times 0.827 + 2.15 \times 1.826 + (0.718) = 5.718 \text{ MPa} < (3/5) f_{ck} = 16.2 \text{ MPa} \quad \text{O.K. (크리프, 간조수축 제외시)}$

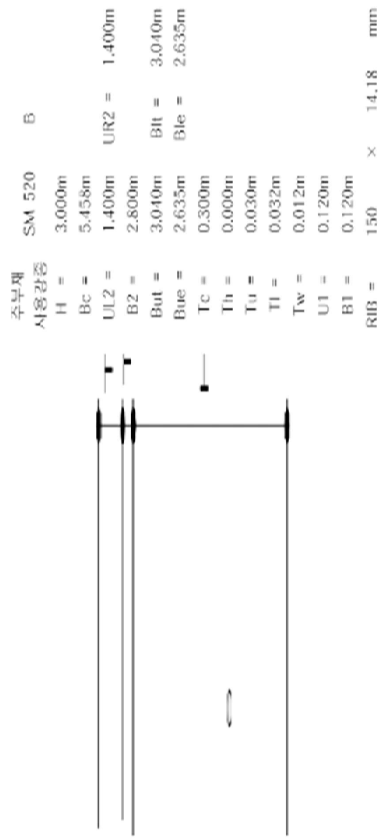
- 강재주형 상판

항성선 고정하중 응력 = 66.329 MPa
 항성후 고정하중 응력 = $(M_{sc} / I_v) \times Y_{vsu} = 3.684 \text{ MPa}$
 항성후 필리주 응력 = $78.15 - 66.329 - 3.684 = 8.137 \text{ MPa}$
 $\Sigma f = 1.3 \times (66.329 + 3.684) + 2.15 \times 8.137 + (5.418) + (24.896) + (17.195) = 156.021 \text{ MPa} < f_y = 360.0 \text{ MPa O.K. (크리프, 간조수축 포함시)}$
 $\Sigma f = 1.3 \times (66.329 + 3.684) + 2.15 \times 8.137 + (17.195) = 125.706 \text{ MPa} < f_y = 360.0 \text{ MPa O.K. (크리프, 간조수축 제외시)}$

- 강재주형 하판

항성선 고정하중 응력 = -71.817 MPa
 항성후 고정하중 응력 = $(M_{sc} / I_v) \times Y_{vsl} = -21.988 \text{ MPa}$
 항성후 필리주 응력 = $-142.364 - (-71.817) - (-21.988) = -48.559 \text{ MPa}$
 $\Sigma f = 1.3 \times (-71.817) - 21.988 + 2.15 \times -48.559 + (2.241) + (9.557) + (-7.904) = -222.454 \text{ MPa} < f_y = 360.0 \text{ MPa O.K. (크리프, 간조수축 포함시)}$
 $\Sigma f = 1.3 \times (-71.817) - 21.988 + 2.15 \times -48.559 + (-7.904) = -234.252 \text{ MPa} < f_y = 360.0 \text{ MPa O.K. (크리프, 간조수축 제외시)}$

(2) 파모에트과

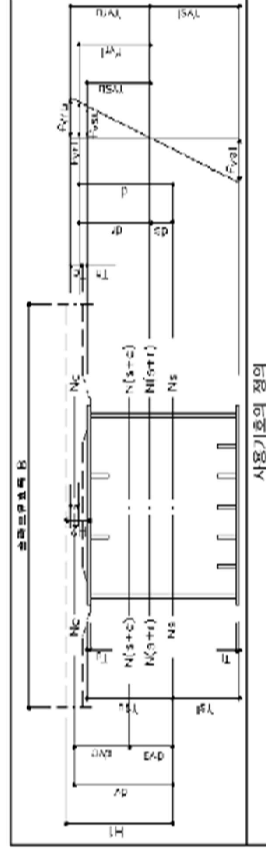


【표 4.16】응력 산정시 입력자료

구분	단위	입력자료
Es : 강 의 탄성계수	MPa	210000
Ec : 콘크리트 탄성계수	MPa	25000
es : 비탄력 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축률		0.00027
α : 강재 및 콘크리트의 선형팽창계수		0.000012
ϕ_2 : 건조수축에 의한 응력계수에 사용된 크리이프계수		4
n : 강재와 콘크리트의 탄성계수비		8
t : 강재와 콘크리트의 온도차	℃	10
Ms : 탄성전 구간하중에 의한 모멘트	kNm	-30171.400
MSc : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kNm	-11392.497
Mv : (열하중 + 지점침하)에 의한 모멘트	kNm	-13921.119
Ss : 탄성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-2621.961
Ssc : 탄성후 고정하중에 의한 전단력	kN	-1064.108
Sv : (열하중 + 지점침하)에 의한 전단력	kN	-1228.276
Mst : 탄성전 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kNm	-162.797
Mstd : 탄성후 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kNm	320.391
Mvt : (열하중 + 지점침하)에 의한 비틀림모멘트	kNm	1282.178
tau, td : 교축방향 종근의 피복두께 (상부, 하부)	mm	60, 40

【표 4.17】 단면제원

단	명	B(mm)	H(mm)	AREA (mm ²)	Y(mm)	A*Y(mm ³)	A*Y2(mm ⁴)	Ix(mm ⁴)
1	- UPPER FLANGE	2635.5	30	79065	15.15	119783164	181471493576	5929860
2	- UPPER RIB	14	150	4200	1425	5985000	8528625000	7875000
1	- L WEB	12	3000	36000	0.60	0.0	0.0	270000000000
1	- R WEB	12	3000	36000	0.60	0.0	0.0	270000000000
5	- LOWER RIB	18	150	13500	-1425	-19237500	27413437500	25312500
1	- LOWER FLANGE	2635.5	32	84336	-1515	-127833044	193825214900	7196653
각단별 합계								
UPPER RE-BAR		-	-	21128	1740	36763312	63968162184	-
LOWER RE-BAR		-	-	21128	1540	32537644	50107971144	-
RE-BAR 합계								
1	- RC SLAB	5458.1	300	1637432	1650	683009955	114076133328	-
							4457909946957	12280743639

* $A_s = 253101 \text{ mm}^2$ $A_c = 1637432 \text{ mm}^2$ $A_r = 42257 \text{ mm}^2$ 

① 응력 분포

$$\begin{aligned} |s|^2 - A_s \cdot Y_2 \cdot \Sigma |s| &= 411238770976 + 54046314013 = 465285084989 \text{ mm}^4 \\ \delta s = \Sigma (A \cdot Y) / A_s &= -21322380 / 253101 = -84.245 \text{ mm} \\ |s|^2 - A_s \cdot \delta s^2 &= 465285084989 - 253101 \times -84.245^2 = 463488787649 \text{ mm}^4 \\ Y_{su} = H/2 + T_u - \delta s &= 3080 / 2 + 30 - 84.245 = 1614.245 \text{ mm} \\ Y_{sl} = Y_{su} - (H + T_u + T_l) &= 1614.245 - 3062 = -1447.755 \text{ mm} \\ F = b \cdot h \cdot ((UL2 + UR2 + B2/2 + Tw) \cdot (H + Tu/2 + Tl/2)) &= 8523172 \text{ mm}^3 \\ f_{su} = M_s \cdot Y_{su} / I_s &= -105.081 \text{ MPa} \\ f_{sl} = M_s \cdot Y_{sl} / I_s &= 94.243 \text{ MPa} \\ \sigma = S_s / A(\text{Web}) + M_{st} / (2 \cdot F \cdot Tw) &= 37.212 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 합성부

$$\begin{aligned} Av &= As + Ar = 295357 \text{ mm}^2 \\ d &= Ysu - Tu + Th + tc + (Tc - tcu - tc) \cdot Aru / Ar = 1724.245 \text{ mm} \\ dr &= d \cdot As / (As + Ar) = 1477.557 \text{ mm} \\ ds &= d - dr = 246.687 \text{ mm} \\ Yvru &= dr + (Tc - tcu - tc) \cdot Arl / Ar = 1577.557 \text{ mm} \\ Yvrl &= dr - (Tc - tcu - tc) \cdot Aru / Ar = 1377.557 \text{ mm} \\ Yvsu &= Yvrl - tc - Th + Tu = 1367.557 \text{ mm} \\ Yysl &= Yvsu - (H + Tu + Tl) = -1694.443 \text{ mm} \\ lrv &= ls + As \cdot ds^2 / Ar \cdot dr^2 = 571144891156 \text{ mm}^4 \\ fvrU &= Msc \cdot Yvru / lrv = -31.467 \text{ MPa} \\ fvrL &= Msc \cdot Yvrl / lrv = -27.478 \text{ MPa} \\ fvsU &= Msc \cdot Yvsu / lrv = -27.278 \text{ MPa} \\ fvsL &= Msc \cdot Yysl / lrv = 33.799 \text{ MPa} \\ v &= Ssc / A(Web) + Msc / (2 \cdot F \cdot Tw) = 16.336 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 합하중제 의한 응력

$$\begin{aligned} fvrU &= Mv \cdot Yvru / lrv = -38.451 \text{ MPa} \\ fvrL &= Mv \cdot Yvrl / lrv = -33.577 \text{ MPa} \\ fvsU &= Mv \cdot Yvsu / lrv = -33.333 \text{ MPa} \\ fvsL &= Mv \cdot Yysl / lrv = 41.300 \text{ MPa} \\ v &= Sv / A(Web) + Mv / (2 \cdot F \cdot Tw) = 23.289 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 크리프에 의한 응력

$$\begin{aligned} Avc &= As + Ac / n = 457779.637 \text{ mm}^2 \\ dv &= Ysu - Tu + Th + Tc / 2 = 1734.245 \text{ mm} \\ dvc &= dv \cdot As / (Ac / n + As) = 958.842 \text{ mm} \\ dvs &= dv - dvc = 775.403 \text{ mm} \\ n1 &= n \cdot (1 + \varphi / 2) = 8 \times (1 + 2.0 / 2) = 16 \\ Av1 &= As + Ac / n1 = 355440.106 \text{ mm}^2 \\ dcl &= dv \cdot As / (Ac / n1 + As) = 1234.915 \text{ mm} \\ dsl &= dv - dcl = 499.330 \text{ mm} \\ lcv &= ls + lc / n + As \cdot dvs^2 / Ac / n \cdot dvc^2 = 805377854984.1 \text{ mm}^4 \\ Nc &= Msc \cdot dvc \cdot Ac / (n \cdot lcv) = -2776129 \text{ N} \\ P \varphi &= Nc \cdot 2 \cdot \varphi / (2 + \varphi) = -2776129 \text{ N} \\ M \varphi &= P \varphi \cdot dcl = -3428283817 \text{ N} \cdot \text{mm} \\ Ec1 &= Ec / (1 + \varphi / 2) = 12500 \text{ MPa} \\ fvr1 &= P \varphi / Av + K \cdot M \varphi \cdot Yvru / lrv = -3.216 \text{ MPa} \\ fvrL &= P \varphi / Av + K \cdot M \varphi \cdot Yvrl / lrv = -4.000 \text{ MPa} \\ fvsU &= P \varphi / Av + K \cdot M \varphi \cdot Yvsu / lrv = -4.039 \text{ MPa} \\ fvsL &= P \varphi / Av + K \cdot M \varphi \cdot Yysl / lrv = -16.041 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 건조수축에 의한 응력

$$\begin{aligned} n2 &= n \cdot (1 + \varphi / 2) = 8 \times (1 + 4.0 / 2) = 24 \\ Av2 &= As + Ac / n2 = 321326.929 \text{ mm}^2 \\ dc2 &= dv \cdot As / (Ac / n2 + As) = 1366.018 \text{ mm} \\ ds2 &= dv - dc2 = 368.227 \text{ mm} \\ P2 &= Es \cdot \varepsilon s \cdot Ac / n2 = 3868434 \text{ N} \\ Mv2 &= P2 \cdot dc2 = 5284350340 \text{ N} \cdot \text{mm} \\ fvrU2 &= P2 / Av + K \cdot Mv2 \cdot Yvru / lrv = 3.566 \text{ MPa} \\ fvrL2 &= P2 / Av + K \cdot Mv2 \cdot Yvrl / lrv = 4.775 \text{ MPa} \\ fvsU2 &= P2 / Av + K \cdot Mv2 \cdot Yvsu / lrv = 4.835 \text{ MPa} \\ fvsL2 &= P2 / Av + K \cdot Mv2 \cdot Yysl / lrv = 23.335 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 온도차에 의한 응력

$$\begin{aligned} \varepsilon t &= \alpha \cdot t = 0.000012 \times 10 = 0.00012 \\ P1 &= Es \cdot \varepsilon t \cdot Ac / n = 5157912 \text{ N} \\ Mv1 &= P1 \cdot dvc = 4945622837 \text{ N} \cdot \text{mm} \\ Ert &= Es \cdot \varepsilon t = 25.2 \text{ MPa} \\ frU1 &= P1 / Av + K \cdot Mv1 \cdot Yvru / lrv - Es \cdot \varepsilon t = -16.657 \text{ MPa} \\ frL1 &= P1 / Av + K \cdot Mv1 \cdot Yvrl / lrv - Es \cdot \varepsilon t = -15.526 \text{ MPa} \\ fsU1 &= P1 / Av + K \cdot Mv1 \cdot Yvsu / lrv = 9.731 \text{ MPa} \\ fsL1 &= P1 / Av + K \cdot Mv1 \cdot Yysl / lrv = 27.044 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 전단 및 비틀림에 의한 응력

$$\begin{aligned} v &= (Ss + Ssc + Sv) / Aw + (Msc / (2 \cdot F \cdot Tw) + (MscL \cdot Mv) / (2 \cdot Fv \cdot Tw)) \\ &= 75.245 \text{ MPa} < va = 120 \text{ MPa} \text{ O.K.} \end{aligned}$$

- 응력조합 및 검토

적용 하중조합

- LCB 1 : 합성전 고정하중
- LCB 2 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중
- LCB 3 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프
- LCB 4 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축
- LCB 5 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축+온도차
- LCB 6 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축+온도차

② 부오멘트부 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 (양측응력 발생부위)		하 연 (양측응력 발생부위)		검토 결과
	좌용응력	허용응력	좌용응력	허용응력	
LCB1		160.00		160.00	
LCB2	-69.919	160.00	-61.054	160.00	2.621
LCB3	-73.134	160.00	-65.054	160.00	2.459
LCB4	-69.568	160.00	-60.280	160.00	2.654
LCB5	-86.225	184.00	-75.806	184.00	2.427
LCB6	-52.911	184.00	-44.754	184.00	4.111
안전성검토	최소 안전율		최소 안전율		2.427
	검 토 결 과		검 토 결 과		안 전

【표 4.18-2】 응력검토 결과 (STEEL) 단위 : MPa

하중조합	상 연 (양측응력 발생부위)		하 연 (양측응력 발생부위)		검토 결과
	좌용응력	허용응력	좌용응력	허용응력	
LCB1	-105.081	210.00	94.243	210.00	2.228
LCB2	-165.693	210.00	169.343	210.00	1.240
LCB3	-169.732	210.00	153.302	210.00	1.370
LCB4	-164.896	210.00	176.637	210.00	1.189
LCB5	-155.166	241.50	203.681	241.50	1.186
LCB6	-174.627	241.50	149.592	241.50	1.614
안전성검토	최소 안전율		최소 안전율		1.186
	검 토 결 과		검 토 결 과		안 전

주) 1. 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

③ 합성응력 검토

•상면

$$\left(\frac{f}{f_y}\right)^2 + \left(\frac{v}{v_a}\right)^2 = \left(\frac{-169.732}{210.0}\right)^2 + \left(\frac{75.245}{120.0}\right)^2$$

$$= 0.653 + 0.393 = 1.046 < 1.2 \therefore O.K$$

•하면

$$\left(\frac{f}{f_y}\right)^2 + \left(\frac{v}{v_a}\right)^2 = \left(\frac{203.681}{210.0}\right)^2 + \left(\frac{75.245}{120.0}\right)^2$$

$$= 0.711 + 0.393 = 1.105 < 1.2 \therefore O.K$$

④ 항복에 대한 안전도 검토

$$\Sigma f = 1.3 \times (\text{합성전 고정하중응력} + \text{합성후 고정하중응력}) + 2.15 \times \text{원하중에 의한 응력(축각포함)} \\ + (\text{크리프응력 변화량}) + (\text{건조수축응력변화량}) + (\text{온도자유평면변화량}) \text{의 조합 중에서} \\ \text{가장 불리한 하중 조합에 대하여 검토}$$

- 상부바닥판 REBAR

$$\text{합성후 고정하중 응력} = (M_{sc} / I_{rv}) \times Y_{rvu} = -31.467 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 원하중 응력} = -69.919 - (-31.467) = -38.451 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (-31.467) + 2.15 \times (-38.451) + (-3.216) + 3.566 + (-16.657)$$

$$= -139.884 \text{ MPa} < f_y = 400.0 \text{ MPa O.K. (크리프, 건조수축 포함시)}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (-31.467) + 2.15 \times (-38.451) + (-16.657)$$

$$= -140.235 \text{ MPa} < f_y = 400.0 \text{ MPa O.K. (크리프, 건조수축 제외시)}$$

- 김제주형 상판

$$\text{합성전 고정하중 응력} = -105.081 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 고정하중 응력} = (M_{sc} / I_{rv}) \times Y_{vsu} = -27.278 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 원하중 응력} = -165.693 - (-105.081) - (-27.278) = -33.333 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (-105.081) + 2.15 \times (-33.333) + (-4.039) + 4.835 + (-9.731)$$

$$= -252.668 \text{ MPa} < f_y = 360.0 \text{ MPa O.K. (크리프, 건조수축 포함시)}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (-105.081) + 2.15 \times (-33.333) + (-9.731)$$

$$= -253.464 \text{ MPa} < f_y = 360.0 \text{ MPa O.K. (크리프, 건조수축 제외시)}$$

- 강재주형 하단

$$\text{임상진 고정하중 응력} = 94.243 \text{ MPa}$$

$$\text{임상후 고정하중 응력} = \{ \text{Msc} / \text{Irv} \} \times \text{YvsI} = 33.799 \text{ MPa}$$

$$\text{임상후 활하중 응력} = 169.343 - 94.243 - 33.799 = 41.301 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (94.243 + 33.799) + 2.15 \times 41.301 + (-16.041) + (23.335) + 27.044$$

$$= 289.590 \text{ MPa} < f_y = 360.0 \text{ MPa O.K. (크리프, 건조수축 포함시)}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (94.243 + 33.799) + 2.15 \times 41.301 + 27.044$$

$$= 282.296 \text{ MPa} < f_y = 360.0 \text{ MPa O.K. (크리프, 건조수축 제외시)}$$

4.3 내하력평가

본 교량에 대한 내하력 평가는 주형(Steel Box) 및 슬래브에 대하여 실시하였고, 정적제하 시험의 측정치와 구조계산 결과에 의해 얻어진 계산치로부터 응답비(계산치/실측치)를 산출하고 구조물의 동적 특성을 반영하기 위하여 동적제하시험시 얻어진 실측증거계수를 적용하여 내하력을 산정하였다.

4.3.1 내하율 산정

■ 강도설계법에 의한 내하율

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

여기서, RF = 내하율

$$wM_n = \text{공칭 원모멘트}$$

$$M_d = \text{사하중에 의한 모멘트}$$

$$M_1 = \text{설계활하중에 의한 모멘트}$$

$$\gamma_b = \text{활하중계수} = 2.15$$

$$\gamma_d = \text{사하중계수} = 1.30$$

$$i = \text{종격계수}$$

■ 허용응력설계법에 의한 내하율

$$\text{내하율(RF)} = \frac{f_s - f_d}{f_t (1+i)}$$

여기서, RF = 내하율

$$f_s = \text{허용응력}$$

$$f_d = \text{고정하중에 의한 응력}$$

$$f_t (1+i) = \text{활하중(종격포함)에 의한 응력}$$

- 모든 부재의 허용내하력은 다음과 같이 계산하였다.

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

여기서, P = 공용내하력

$$K_s = \text{응력보정계수}$$

$$K_m = \text{보정계수}$$

$$P_t = \text{설계활하중}$$

4.3.2 기본 내하력 평가

기본 내하력 : $P_o = RF(\text{내하율}) \times Pr(\text{실계하중})$

(1) 바닥판 슬래브 기본내하율(RF) : 강도설계법
공칭강도 - 1.3 x 사하중 모멘트 / 2.15 x 활하중

구 분	슬래브		비 고
	중앙부	켄틀레버부	
모멘트 (KN/m)	공칭모멘트(φMn)	245.342	102.844
	사하중모멘트(Md)	16.823	10.707
	활하중모멘트(Ml)	50.378	22.486
사하중계수		1.3	1.3
활하중계수		2.15	2.15
내하율(RF)		2.06	1.84

(2) 거더 기본내하율(RF) : 허용응력설계법
(허용응력 - 사하중응력) / 활하중응력

구 분	중량부 거더	저정부 거더	내하율(RF)		
			허용응력	사하중응력	활하중응력
중량부 거더	거 더 상면	134	70.013	8.137	7.86
	거 더 하면	210	93.805	48.559	2.39
저정부 거더	거 더 상면	210	132.359	33.333	2.32
	거 더 하면	210	128.042	41.300	1.98

(3) 기본 내하력 산정

구 분	슬래브	중량부 켄틀레버부	기본내하력			비 고
			내하율(RF)	실계하중	DB-24	
주형	상면	상면	2.06	DB-24	49.4	DB-24 이상 확보
		하면	1.84	DB-24	44.16	
		상면	7.86	DB-24	188.6	
	지정부	하면	2.39	DB-24	57.36	
		상면	2.32	DB-24	55.68	
		하면	1.98	DB-24	47.52	

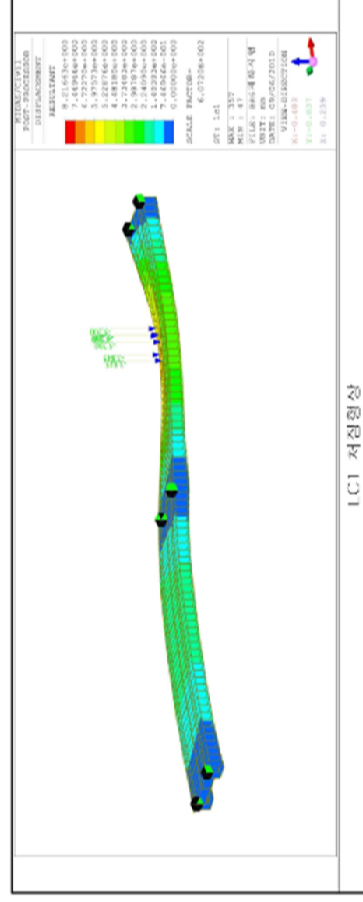
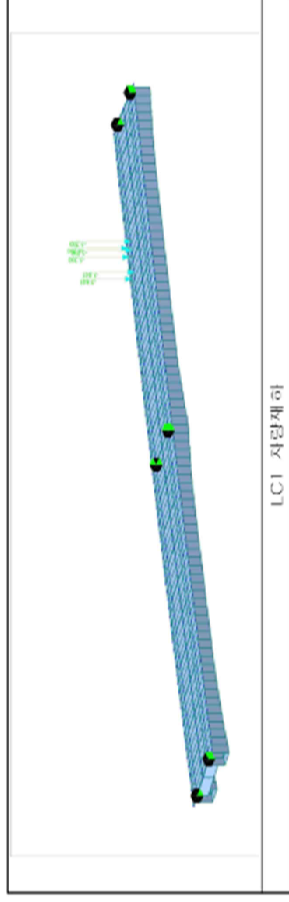
4.3.3 공용 내하력 평가

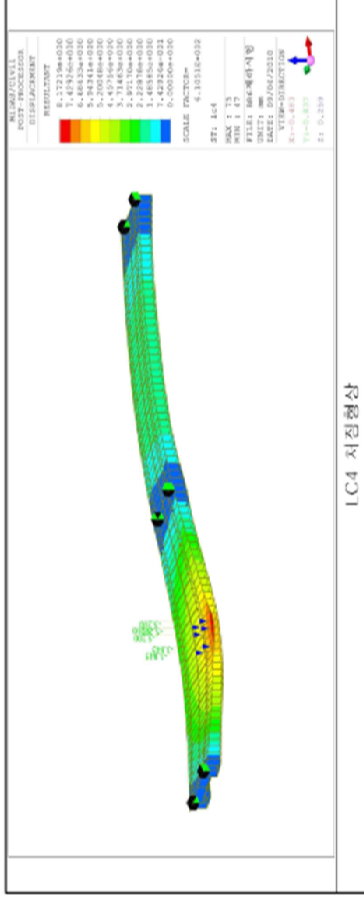
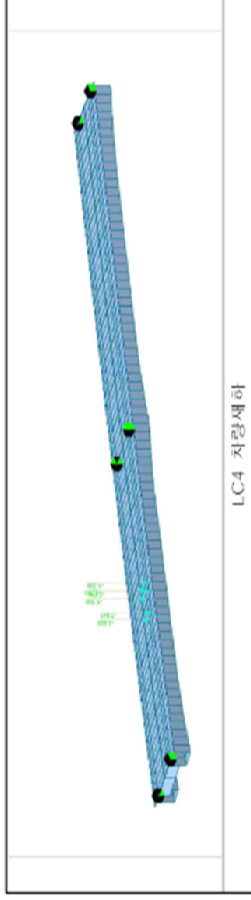
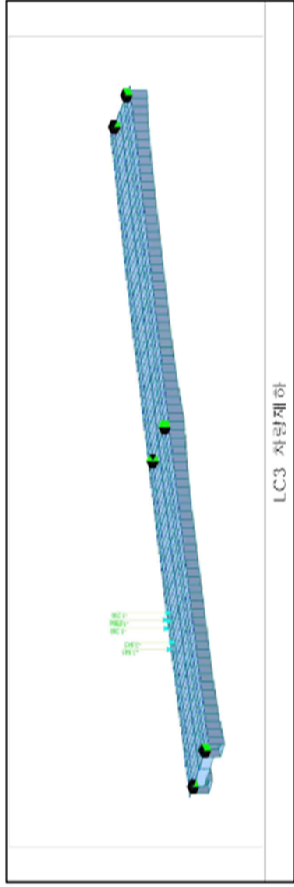
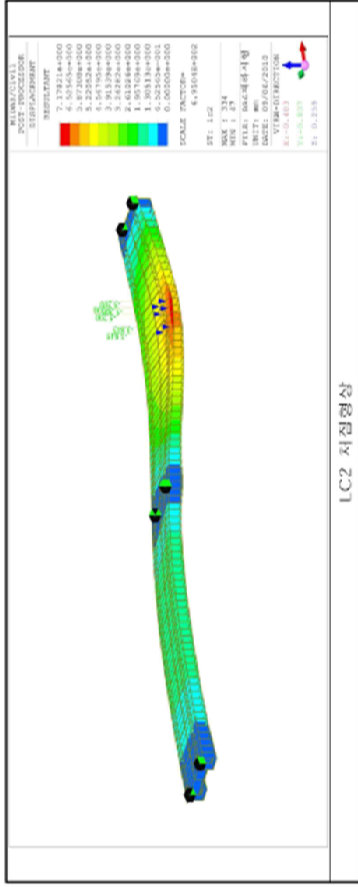
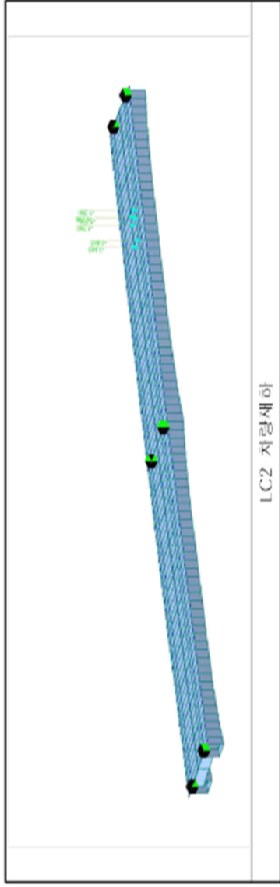
공용 내하력 : $P = RF(\text{내하율}) \times Pr(\text{실계하중}) \times K_s(\text{응답비})$

(1) 응답보정계수(Ks)

•이론치점 산정

제하시험 결과에 의한 실측치와 비교하기 위한 이론치를 계산하여 응답비 계산을 기초자료로 제공하였다. 이론치를 구하기 위한 구조해석은 대상 구조물을 3차원으로 모델링 하였으며, 제하시험시와 동일한 하중상태를 재현하여 구조해석 범용 프로그램인 MIDAS/CIVIL로 해석하였다.





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

< 응답비 선정 >

구 분	Dis1	Dis2	Dis3	Dis4	비 고
L/C-1	실측치	3.448	1.915	-	
	이론치	6.158	3.168	-	
	응답비	1.78	1.65	-	
L/C-2	실측치	1.856	3.721	-	
	이론치	3.238	5.818	-	
	응답비	1.74	1.56	-	최소 응답비
L/C-3	실측치	-	-	3.750	2.079
	이론치	-	-	6.324	3.493
	응답비	-	-	1.68	1.68
L/C-4	실측치	-	-	2.025	4.039
	이론치	-	-	3.425	6.164
	응답비	-	-	1.69	1.52

(2) 공용 내하력 선정

구 분	내하력(RF)	설계하중	응답비(Ks)	공용내하력	비 고
슬래브	중양부	2.06	DB-24	1.52	75.14
		1.84	DB-24	1.52	67.1
주형	중양부	7.86	DB-24	1.52	268
		2.39	DB-24	1.52	87.1
	지점부	2.32	DB-24	1.52	84.6
		1.98	DB-24	1.52	72.2

4.3.4 내하력평가 고찰

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

4.4 안전성 평가 등급 선정

외관상태와 내구성조사를 근거로 교량구조물의 대표등급을 산정하는 경우, 구조물의 실제적인 안전성에 대한 효과적의 고려가 곤란하다. 따라서, 정밀점검(필요시)이나 정밀안전진단 시에는 안전성 평가 결과에 의하여 안전성평가등급을 선정하도록 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 월하중 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 선정결과에 따라 안전성평가등급을 선정한다.

【표 4.26】 상신육교(향남방향)의 안전성 평가기준 및 결과

등급	안전성평가 기준	비 고
A	SF > 1.0	
B	0.9 ≤ SF < 1 이나, 공용내하력이 실제 하중보다 크게 평가된 경우	• 허용응력설계법 $SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{실재응력}} = \frac{f_d}{f_{d+1}}$
C	0.9 ≤ SF < 1	$= \frac{210.000}{169.34} = 1.24$
D	0.75 ≤ SF < 0.9	
E	SF < 0.75	
안전성 평가등급 : A		