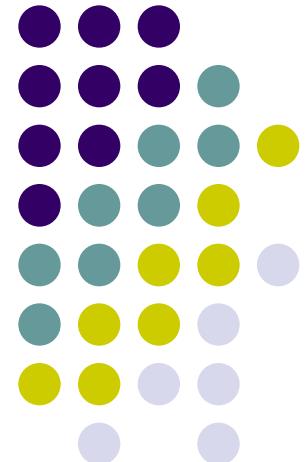
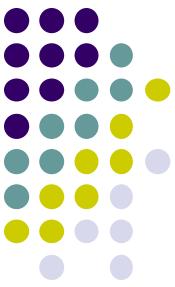


# BRIDGE ENGINEERING

Design Loads and  
Combinations

Prof. Ho-Kyung Kim





# How many loads should we consider for the design of bridges?



# Permanent Loads

- Those loads which always remain and act on a bridge throughout its life
- See Table 3.5.1-1 in AASHTO-LRFD, Table 3.5.1 in KBDC-LSD

## • Dead load

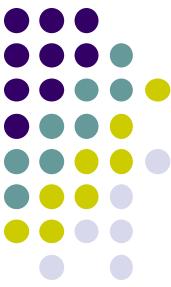
- Deck, stay-in-place forms, sidewalks, railings, parapets, primary members, secondary members, stiffeners, signing, wearing surface, utilities (higher load factor with larger uncertainty)

## • Superimposed dead load

- Those loads placed on the superstructure after the deck has cured and begun to work with the primary members in resisting loads
- Resisted by a composite section
- Part of dead load, sidewalks, railings, parapets, signing, utilities, wearing surface

## • Pressures

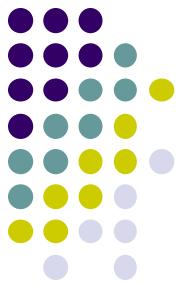
- Due to earth or water are also considered permanent loads



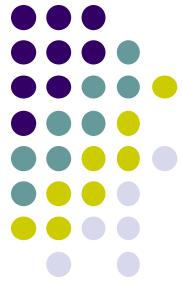
# Temporary Loads

- Those loads which are placed on a bridge for only a short period of time
- Vehicle live load
- Earthquake loading
- Wind loading
- Channel forces
- Longitudinal forces
- Centrifugal forces
- Impact (Dynamic Load Allowance)
- Construction loads

# Deformation and Response Loads



- Deformation loads are those loads induced by the internal or external change in material properties or member geometry.
- Response loads are those loads created by the response of the structure to a given loading condition.
- Creep
- Shrinkage
- Settlement
- Uplift
- Thermal forces



# One step further for important loadings ...



# Dead Loads

- AASHTO LRFD

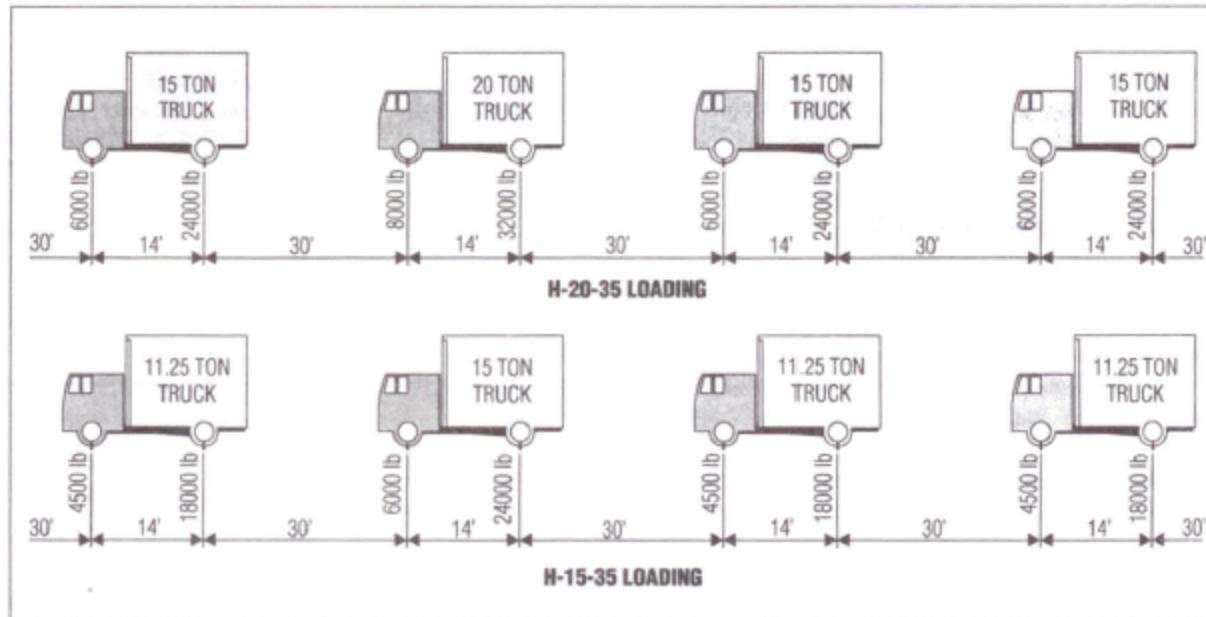
Table 3.5.1-1, AASHTO LRFD 2007

Material	Density (kg/m <sup>3</sup> )
Aluminum Alloys	2800
Bituminous Wearing Surfaces	2250
Cast Iron	7200
Cinder Filling	960
Compacted Sand, Silt, or Clay	1925
Concrete	1775
Low-density	1925
Sand-low-density	2320
Normal Density with $f'_c \leq 35$ MPa	2240 + 2.29 $f'_c$
Normal Density with $35 < f'_c \leq 105$ MPa	2240 + 2.29 $f'_c$
Loose Sand, Silt, or Gravel	1600
Soft Clay	1600
Rolled Gravel, Macadam, or Ballast	2250
Steel	7850
Stone Masonry	2725
Wood	960
Hard	800
Water	1000
Fresh	1025
Salt	
Item	Mass per Unit Length (kg/mm)
Transit Rails, Ties, and Fastening per Track	0.30



# (Vehicle) Live Loads (LL)

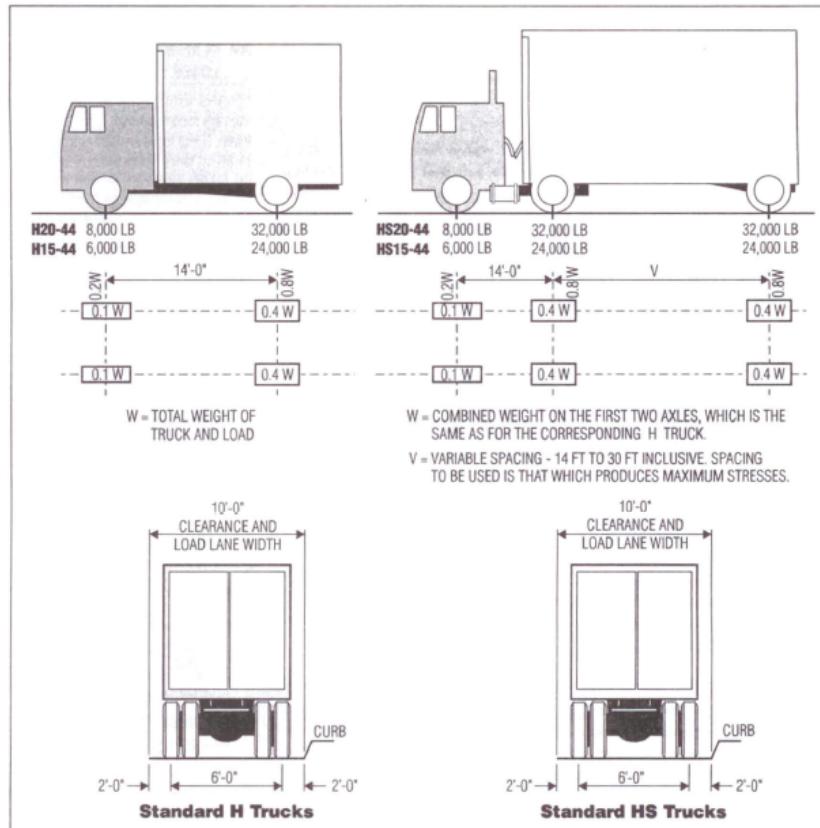
- A load that moves along the length of a span
- Do not present an actual truck being used to transport goods and materials
- Approximations used to simulate the greatest bending and shear forces caused by actual trucks
- AASHTO 1935 truck train loadings (H-20-35)





# (Vehicle) Live Loads (LL)

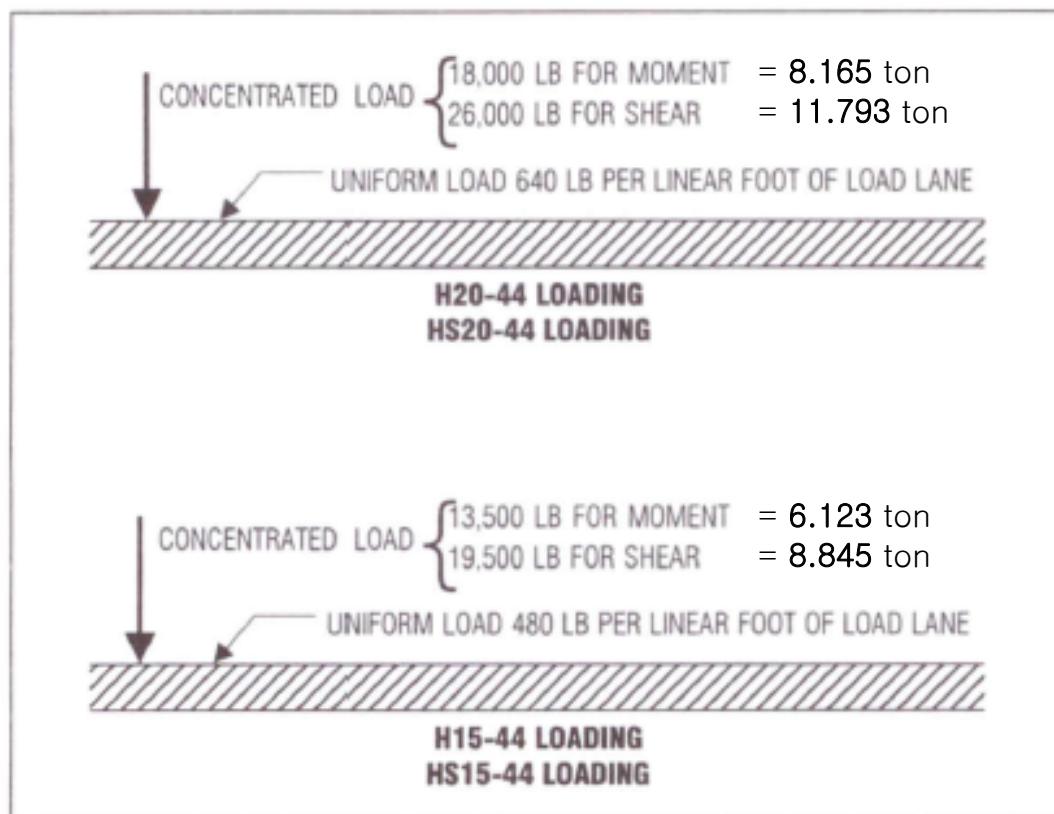
- AASHTO Standard truck loading (HS20-44)

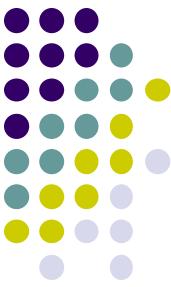




# (Vehicle) Live Loads (LL)

- AASHTO Standard lane loading (HS20-44)

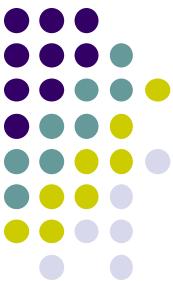




# (Vehicle) Live Loads (LL)

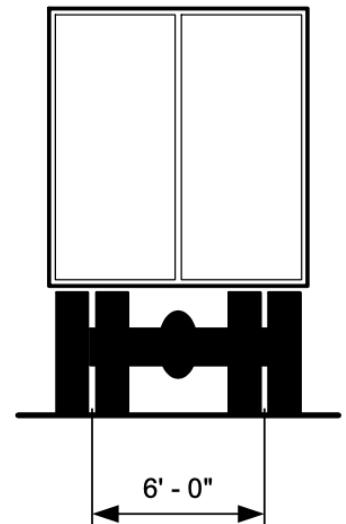
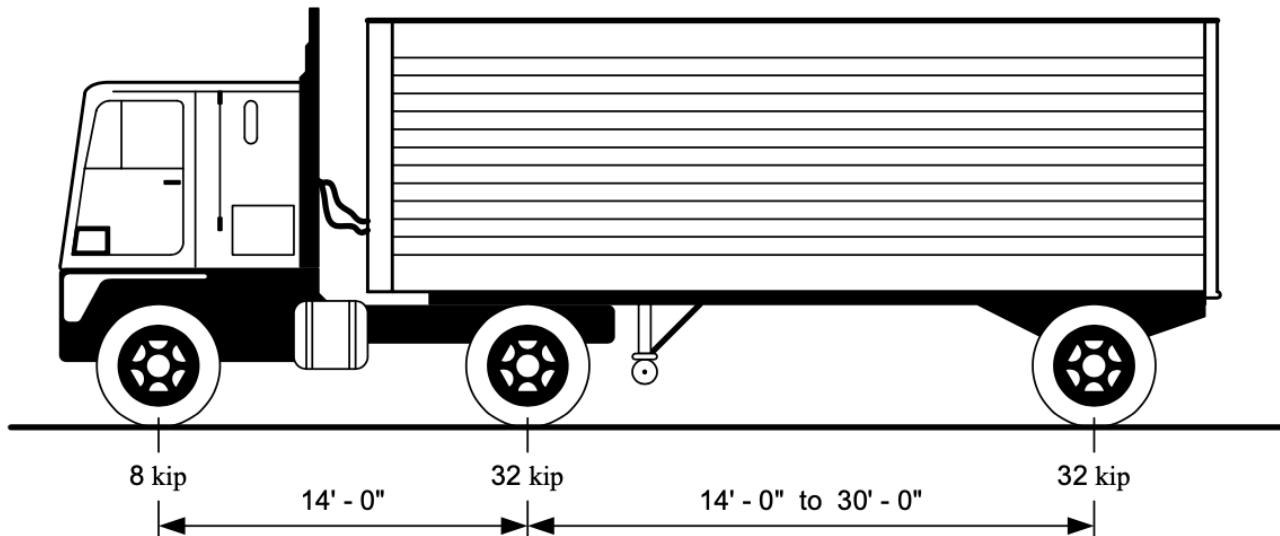
- AASHTO LRFD (HL-93 loading)

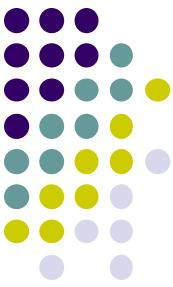
- Consists of a design truck or tandem (whichever produces the greater forces), combined with a design lane load
- The design truck is identical to HS20-44.
- The design tandem consists of a pair of 111KN axles spaced 1.2m apart.
- The design lane load is 9.34KN/m, used in conjunction with the design truck or tandem.
- Note that in the AASHTO Standard Spec., no lane load is required to be added to an HS truck loading.



# (Vehicle) Live Loads (LL)

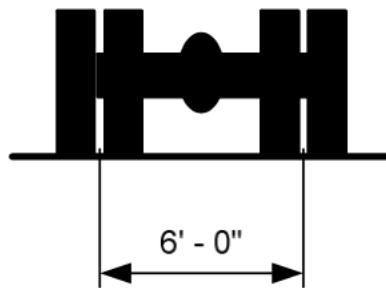
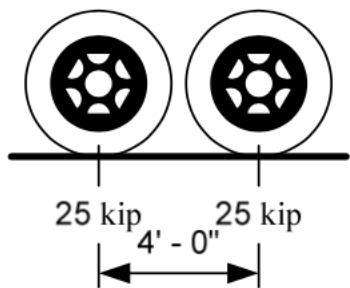
- Design truck





# (Vehicle) Live Loads (LL)

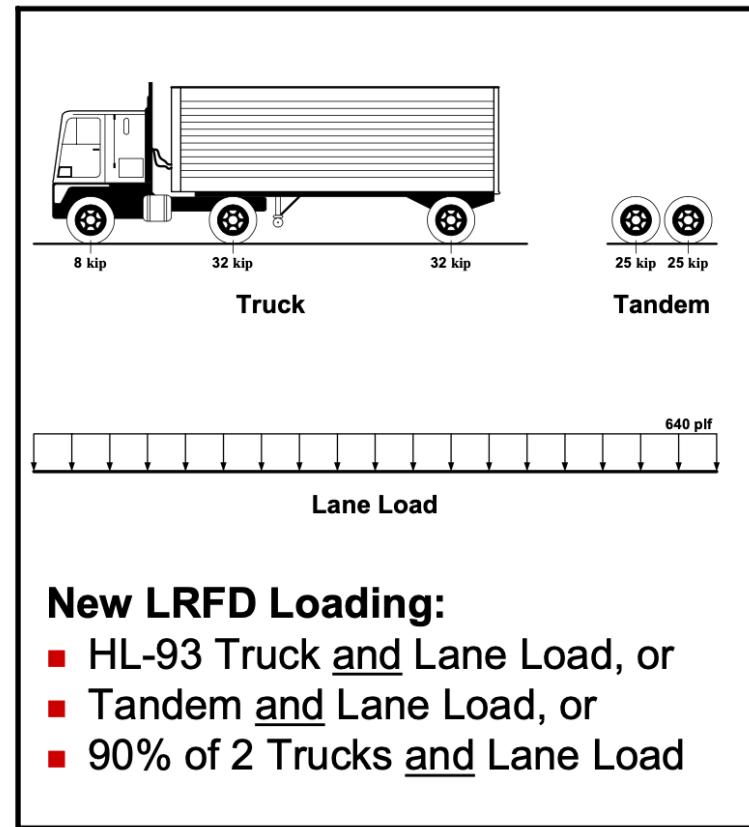
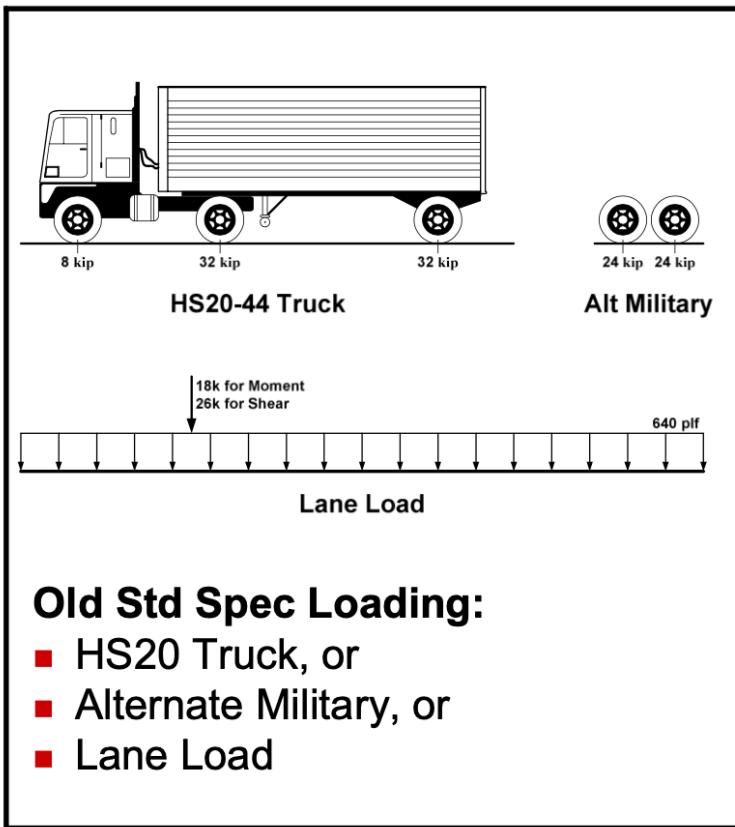
- Design tandem





# (Vehicle) Live Loads (LL)

- AASHTO Standard vs LRFD

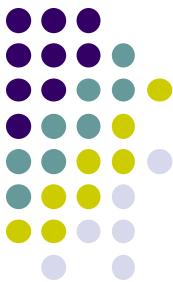




# (Vehicle) Live Loads (LL)

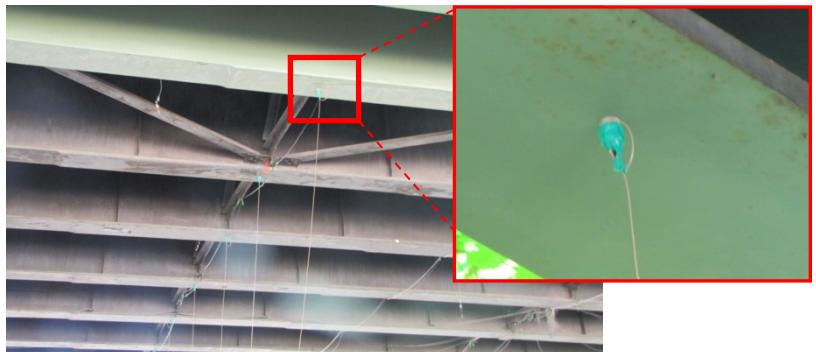
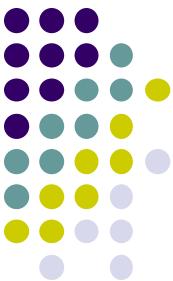
- Reduction for multiple lane presence
  - A reduction in the live load intensity is permitted for bridges with two or more lanes that have maximum stress caused by fully loading each lane.
- AASHTO Standard Spec.
  - 10% reduction for three lane loading
  - 25% reduction for four or more lane loading
- AASHTO LRFD
  - Multiple presence factor
  - 20% increase for a single lane loading
  - 15% reduction for three lane loading
  - 35% reduction for four or more lane loading

# Impact (Dynamic Load Allowance)

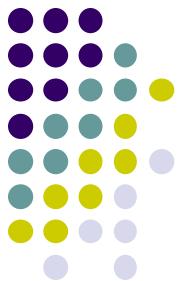


- In order to account for the dynamic effect of a vehicle riding over a structure, an impact factor is used as a multiplier for certain structural elements.
- AASHTO Standard Spec.
  - $I=50/(L+125) \leq 0.3$ , L=length of span loaded to create maximum stress (ft)
  - L for truck load moment = Design span length
  - L for truck load shear = Length loaded portion of span from point of analysis to farthest reaction
  - L for transverse members = Span length of member from center to center of supports (e.g., a floor beam)
  - L for continuous span = Length of span being analyzed for positive moment and the average of two adjacent spans loaded for negative moment
- AASHTO LRFD
  - 15% for fatigue and fracture limit states
  - 33% for all other limit states
  - 75% for deck joints for all limit states
  - Only apply to the truck or tandem portion of live load, not to the lane load

# Field Measurement of Dynamic Effects

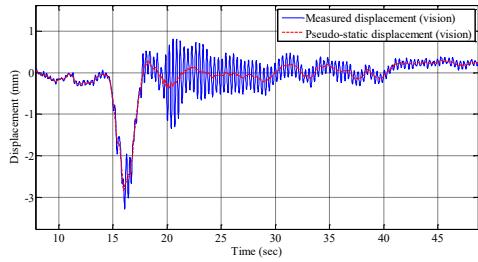


# Dynamic Amplification Factors (DAF)

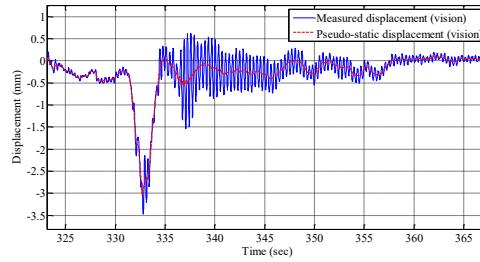


$$DAF = \frac{u_m^{\max}}{u_s^{\max}}$$

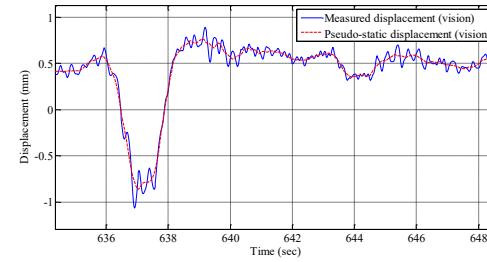
<b>Case</b>	$U_m^{\max}$ (mm)	$u_s^{\max}$ (mm)	<b>DAF</b>
<b>Case00</b>	-3.724	-2.834	0.1553
<b>Case01</b>	-3.462	-3.022	0.1460
<b>Case02</b>	-1.063	-0.8644	0.2298
<b>Average</b>			<b>0.1770</b>



**Case00**



**Case01**

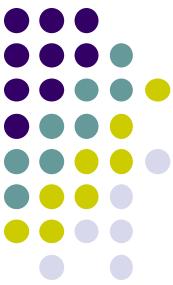


**Case02**



**Does each load act individually  
or in various combination?**

# Group Loadings (AASHTO Standard Spec.)



$$Group_N = \gamma \cdot \left[ \begin{array}{l} \beta_D \cdot D + \beta_L \cdot (L + I) + \beta_C \cdot CF + \beta_E \cdot E + \beta_B \cdot B \\ + \beta_S \cdot SF + \beta_W \cdot W + \beta_{WL} \cdot WL + \beta_L \cdot LF \\ + \beta_R \cdot (R + S + T) + \beta_{EQ} \cdot EQ + \beta_{ICE} \cdot ICE \end{array} \right]$$

where  $N$  = group number

$\gamma$  = load factor

$\beta$  = coefficient

## AASHTO STANDARD

### 3.22 GROUP LOAD VARIABLES

The AASHTO group loading combinations are broken down by types of loads. These load types have been detailed throughout Section 3.5. The following lists the coefficient subscript convention used in Equation 3.16 and Table 3.2.

<b>D</b>	= Dead Load
<b>L</b>	= Live Load
<b>I</b>	= Live Load Impact
<b>E</b>	= Earth Pressure
<b>B</b>	= Buoyancy
<b>W</b>	= Wind Load on Structure
<b>WL</b>	= Wind Load on Live Load 100 lb/ft (1.46 kN/m)
<b>LF</b>	= Longitudinal Force from Live Load
<b>CF</b>	= Centrifugal Force
<b>R</b>	= Rib Shortening for Arches or Frames
<b>S</b>	= Shrinkage
<b>T</b>	= Temperature
<b>EQ</b>	= Earthquake
<b>SF</b>	= Stream Flow Pressure
<b>ICE</b>	= Ice Pressure

# Group Loadings (AASHTO Standard Spec.)



GROUP	$\gamma$	$\beta$ Factors													
		D	$(L+I)_n$	$(L+I)_g$	CF	E	B	SF	W	WL	LF	R+S+T	EQ	ICE	%
WORKING STRESS DESIGN															
I	1.0	1	1	0	1	$\beta_E$	1	1	0	0	0	0	0	0	100
IA	1.0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150
IB	1.0	1	0	1	1	$\beta_E$	1	1	0	0	0	0	0	0	“
II	1.0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	125
III	1.0	1	1	0	1	$\beta_E$	1	1	0.3	1	1	0	0	0	125
IV	1.0	1	1	0	1	$\beta_E$	1	1	0	0	0	1	0	0	125
V	1.0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	140
VI	1.0	1	1	0	1	$\beta_E$	1	1	0.3	1	1	1	0	0	140
VII	1.0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	133
VIII	1.0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	140
IX	1.0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	150
X	1.0	1	1	0	0	$\beta_E$	0	0	0	0	0	0	0	0	100
LOAD FACTOR DESIGN															
I	1.3	$\beta_D$	1.67*	0	1.0	$\beta_E$	1	1	0	0	0	0	0	0	
IA	1.3	$\beta_D$	2.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
IB	1.3	$\beta_D$	0	1	1.0	$\beta_E$	1	1	0	0	0	0	0	0	
II	1.3	$\beta_D$	0	0	0	$\beta_E$	1	1	1	0	0	0	0	0	
III	1.3	$\beta_D$	1	0	1	$\beta_E$	1	1	0.3	1	1	0	0	0	
IV	1.3	$\beta_D$	1	0	1	$\beta_E$	1	1	0	0	0	1	0	0	
V	1.25	$\beta_D$	0	0	0	$\beta_E$	1	1	1	0	0	1	0	0	
VI	1.25	$\beta_D$	1	0	1	$\beta_E$	1	1	0.3	1	1	1	0	0	
VII	1.3	$\beta_D$	0	0	0	$\beta_E$	1	1	0	0	0	0	1	0	
VIII	1.3	$\beta_D$	1	0	1	$\beta_E$	1	1	0	0	0	0	0	1	
IX	1.20	$\beta_D$	0	0	0	$\beta_E$	1	1	1	0	0	0	0	1	
X	1.30	1	1.67	0	0	$\beta_E$	0	0	0	0	0	0	0	0	

기본적으로

$$fa = 0.6fy, 1.5 * fa = 1.5 * 0.6fy = 0.9fy, \\ 1.7 * fa = 1.7 * 0.6fy = 1.0fy$$

따라서

$$1.25 * fa = 1.25 * 0.6fy = 0.75fy, \\ 1.33 * fa = 1.33 * 0.6fy = 0.8fy, \\ 1.40 * fa = 1.40 * 0.6fy = 0.85fy$$

풍하중에 대한 활하중재하 풍하중 조합

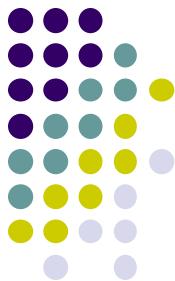
$$p = 0.5 \rho * B * C_d * U^2 * L, \\ 25m/s^2 = 625, 45m/s^2 = 2025, \\ 625/2025 = 0.31$$

활하중계수  $1.3 * 1.67 = 2.15$  (구 도로교설계기준)

IA 조합은 부반력 조합, 활하중을 2배로 재하하되 허용응력 150%(0.9fy)로 활증 검토

NOT APPLICABLE

# Earth Pressure and Dead Load Coefficients for LFD



$\beta$	LOAD	VALUE	ELEMENT
$\beta_e$	Earth Pressure	1.15	Lateral at-rest earth pressure.
$\beta_e$	Earth Pressure	1.3	Lateral earth pressure for retaining walls and rigid frames excluding rigid culverts.
$\beta_e$	Earth Pressure	0.5	Lateral earth pressure when checking positive moments in rigid frames.
$\beta_e$	Earth Pressure	1.0	Rigid culverts.
$\beta_e$	Earth Pressure	1.5	Flexible culverts.
$\beta_e$	Dead Load	0.75	Columns, when checking member for minimum axial load and maximum moment or maximum eccentricity.
$\beta_e$	Dead Load	1.0	Columns, when checking member for maximum axial load and minimum moment.
$\beta_e$	Dead Load	1.0	Flexural and tension members.



# LRFD Design Philosophy

$$\sum \eta_i \gamma_i Q_i \leq \phi R_n = R_r$$

in which:

For loads for which a maximum value of  $\gamma_i$  is appropriate:

$$\eta_i = \eta_D \eta_R \eta_I \geq 0.95$$

For loads for which a minimum value of  $\gamma_i$  is appropriate:

$$\eta_i = \frac{1}{\eta_D \eta_R \eta_I} \leq 1.0$$

where:

$\gamma_i$  = load factor: a statistically based multiplier applied to force effects

$\phi$  = resistance factor: a statistically based multiplier applied to nominal resistance, as specified in Sections 5, 6, 7, 8, 10, 11, and 12

$\eta_i$  = load modifier: a factor relating to ductility, redundancy, and operational importance

$\eta_D$  = a factor relating to ductility, as specified in Article 1.3.3

$\eta_R$  = a factor relating to redundancy as specified in Article 1.3.4

$\eta_I$  = a factor relating to operational importance as specified in Article 1.3.5

$Q_i$  = force effect

$R_n$  = nominal resistance

$R_r$  = factored resistance:  $\phi R_n$

# Load Combinations for Limit States (AASHTO LRFD)



## AASHTO LRFD LOAD COMBINATION AND LOAD FACTORS



# Limit States in AASHTO LRFD

## ● Strength limit state

- I : Basic load combination relating to the normal vehicular use
- II : Owner-specified special design vehicles or permit vehicles
- III : Being exposed to maximum wind velocity, no live load is assumed to be present on the bridge
- IV : For structures with very high dead to live load force effect ratios
- V : Normal vehicular use of the bridge with wind velocity of 25m/s(90km/h)

## ● Extreme event limit state

- I : Related to earthquake
- II : Extreme events such as ice load, collision by vessels and vehicles

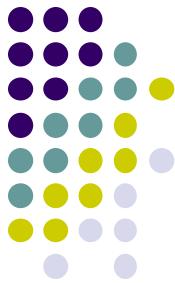
## ● Service limit state

- I : Normal operational use of the bridge with a 25m/s(90km/h) wind
- II : Preventing yielding of steel structures due to vehicular live load
- III : Relates only to tension in prestressed concrete superstructure
- IV : Relates only to tension in prestressed concrete substructure to control cracks

## ● Fatigue limit state

- Relates to repetitive gravitational vehicular live load and dynamic responses
- The live load factor 0.75 reflects a load level that represents the majority of truck population.
- Only a single truck with a constant spacing of 9.1m between 142KN axles

# Load Factors for Permanent Loads (AASHTO LRFD)



Type of Load	Load Factor	
	Maximum	Minimum
DC	1.25	0.90
DD	1.80	0.45
DW	1.50	0.65
EH:		
Active	1.50	0.90
At-rest	1.35	0.90
EL	1.00	1.00
EV:		
Overall Stability	1.00	N/A
Retaining walls and abutments	1.35	1.00
Rigid buried structures	1.30	0.90
Rigid Frames	1.35	0.90
Flexible buried structures other than metal box culverts	1.95	0.90
Flexible metal box culverts	1.50	0.90
ES	1.50	0.75



# Also in the Korean design code

...



# Dead Loads

재료	단위질량(kg/m <sup>3</sup> )	
강재, 주강, 단강	7,850	
주철, 주물강재	7,250	
알루미늄 합금	2,800	
철근콘크리트	2,500	
프리스트레스트 콘크리트	2,500	
콘크리트	2,350	
시멘트 모르타르	2,150	
역청재(방수용)	1,100	
아스팔트 포장재	2,300	
목재	단단한 것	960
	무른 것	800
용수	담수	1,000
	해수	1,025



# Live Loads

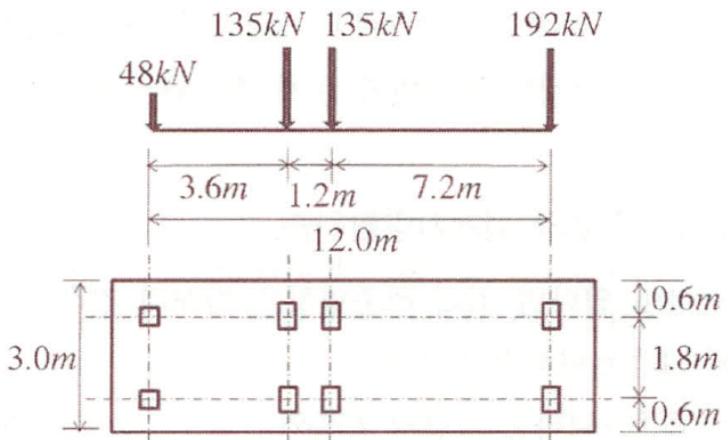


그림 3.6.1 표준트럭하중

표 3.6.3 표준차로하중

$L \leq 60 \text{ m}$	$\omega = 12.7 \text{ (kN/m)}$
$L > 60 \text{ m}$	$\omega = 12.7 \times \left(\frac{60}{L}\right)^{0.18} \text{ (kN/m)}$

$L$  : 표준차로하중이 재하되는 부분의 지간



# Impact Factor

- 정적 하중에 적용시켜야 할 충격하중계수는 다음과 같다 :  $(1+IM/100)$

표 3.7.1 충격하중계수, IM

성 분	IM
바닥판 신축이음장치 모든 한계상태	70%
모든 다른 부재	피로한계상태를 제외한 모든 한계상태
	피로한계상태

참고: KBDC(2012) pp3-17



# Application of Live Loads

## 3.6.1.4 바닥판과 바닥틀을 설계하는 경우의 설계차량활하중

Design live load

- (1) 바닥판과 바닥틀을 설계하는 경우에는 차도부분에 표준트럭하중을 재하한다. 표준트럭하중은 종방향으로는 차로당 1대를 원칙으로 하고, 횡방향으로는 재하 가능한 대수를 재하하되 동시 재하계수를 고려하여 설계부재에 최대응력이 일어나도록 재하한다. 교축직각방향으로 볼 때, 표준트럭하중의 최외측 차륜중심의 재하위치는 차도부분의 단부로부터 300 mm로 한다.
- (2) 차륜의 접지면은 표준트럭하중의 각 차륜에 대해 면적이  $\frac{12500}{9} P(\text{mm}^2)$ 인 하나의 직사각형으로 간주하며 이 직사각형의 폭과 길이의 비는 2.5 : 1로 한다. 여기서,  $P$ 는 차륜의 중량(kN)이다. 접지면이 연속적인 표면인 경우에 접지압은 규정된 접지면에 균일하게 분포하는 것으로 가정한다. 접지면이 단속적인 경우에는 접지압은 바퀴자국이 있는 실제의 접촉면에 균등하게 분포되어 있으며 규정된 접지면과 실제 접지면의 비만큼 압력을 증가시킨다.



# Application of Live Loads

## 3.6.1.5 주거더를 설계하는 경우의 설계차량활하중

- (1) 만약 다른 특별한 규정이 없다면 최대 하중영향은 아래의 경우 중 큰 값을 사용한다.
- 3.6.1.3.1에 정의된 표준트럭하중의 영향
  - 3.6.1.3.1에 정의된 표준트럭하중 영향의 75%와 3.6.1.3.2에 정의된 표준차로하중의 영향의 합
- (2) 최대 하중효과에 영향을 주지 않는 바퀴는 무시해도 된다.
- (3) 설계차로와 각 차로에 재하되는 3,000 mm폭은 최대 하중영향을 갖도록 배치되어야한다.

$$W = \frac{W_c}{N} \leq 3.6 \text{ m} \quad (3.6.1)$$

표 3.6.1 설계차로의 수

$W_c$ 의 범위(m)	N	$W_c$ 의 범위(m)	N
$6.0 \leq W_c < 9.1$	2	$23.8 \leq W_c < 27.4$	7
$9.1 \leq W_c < 12.8$	3	$27.4 \leq W_c < 31.1$	8
$12.8 \leq W_c < 16.4$	4	$31.1 \leq W_c < 34.7$	9
$16.4 \leq W_c < 20.1$	5	$34.7 \leq W_c < 38.4$	10
$20.1 \leq W_c < 23.8$	6		

- (4) 표준트럭하중 최외측 차륜중심의 횡방향 재하위치는 차도부분의 단부로부터 600 mm로 한다.



# Application of Live Loads

## 3.6.1.6 흙 채움에 의한 윤하중의 분배

채움의 깊이가 600 mm보다 작은 경우 활하중 분배에 대한 채움의 영향을 무시할 수 있다. 암거상부의 활하중분배는 4.6.2.1과 4.6.3.2의 차량방향과 평행한 바닥판의 규정을 근거로 한다.

채움의 깊이가 600 mm을 초과할 때는 정밀해석 대신에 윤하중이 3.6.1.4(2)에 규정된 타이어 접촉면적과 크기가 같은 직사각형에 균등하게 작용하는 분포하중으로 간주하며 양질의 입상 채움에서는 깊이의 1.15배, 다른 채움에서는 그 깊이만큼 증가시킨다. 3.6.1.3의 규정이 적용된다.

몇 개의 바퀴하중이 중복되어 받는 경우에 전체하중은 전면적에 균일하게 분포시킬 수 있다.

단경간 암거에서 채움의 깊이가 2,400 mm이상이며 경간 길이보다 큰 경우에는 활하중 효과를 무시할 수 있다. 나경간 암거의 경우에는 채움의 깊이가 벽사이 거리보다 크면 활하중효과를 무시할 수 있다. 흙채움을 통한 하중분배에 기초한 콘크리트 바닥판의 활하중과 충격하중에 의한 모멘트가 4.6.2.1과 4.6.3.2에서 계산된 활하중이나 충격하중의 모멘트보다 크면 후자의 모멘트를 사용한다.

## 3.6.1.7 처짐 평가를 위한 하중재하

만약 발주자가 규정된 활하중에 대한 처짐의 허용기준을 요구할 때 처짐은 아래의 값 중 큰 값을 사용해야한다.

- 표준트럭하중만으로 얻은 처짐
- 표준차로하중과 조합된 표준트럭하중의 25%에 의해 얻은 처짐



# Application of Live Loads

## 3.6.2 피로하중

### 3.6.2.1 크기와 형태

피로 하중은 세 개의 축으로 이루어져 있으며 총중량을 351 kN로 환산한 한 대의 설계트럭하중 또는 축하중이다 (그림 3.6.2). 3.7에 규정된 충격하중도 피로하중에 적용된다.



그림 3.6.2 피로설계트럭하중

### 3.6.2.2 빈도

피로하중의 빈도는 단일차로 일평균트럭교통량(ADTT<sub>SL</sub>)을 사용한다. 이 빈도는 교량의 모든 부재에 적용하며 통행차량수가 적은 차로에도 적용한다.

단일차로의 일평균트럭교통량에 대한 확실한 정보가 없을 때는 식(3.6.2)의 차로당 통행비율을 적용하여 산정할 수 있다. 즉,

$$ADTT_{SL} = p \times ADTT \quad (3.6.2)$$

여기서,

ADTT = 한 방향 일일트럭교통량의 설계수명기간동안 평균값

ADTT<sub>SL</sub> = 한 방향 한 차로의 일일트럭교통량의 설계수명기간동안 평균값

p = 표 3.6.2의 값

표 3.6.2 한 차로에서의 트럭교통량 비율, p

트럭이 통행가능한 차로수	p
1차로	1.00
2차로	0.85
3차로 이상	0.80



# Application of Live Loads

## 3.6.3 궤도차량하중

교량에 궤도차량하중이 있다면 발주자가 궤도차량하중의 특성과 궤도차량과 일반차량간의 예상되는 상호관계를 규정해야한다.

## 3.6.4 보도하중

- (1) 바닥판과 바닥틀을 설계하는 경우에 보도 등에는  $5 \times 10^{-3}$  MPa의 보도하중이 설계차량활하증과 동시에 적용된다.
- (2) 주거더를 설계하는 경우에 보도 등에는 표 3.6.4의 등분포하중을 재하한다.
- (3) 보도나 보행자 또는 자전거용 교량에서 유지관리용 또는 이에 부수되는 차량통행이 예상되는 경우 이 하중은 설계에 고려되어야한다. 이 차량에 대해 충격하중은 고려하지 않는다.

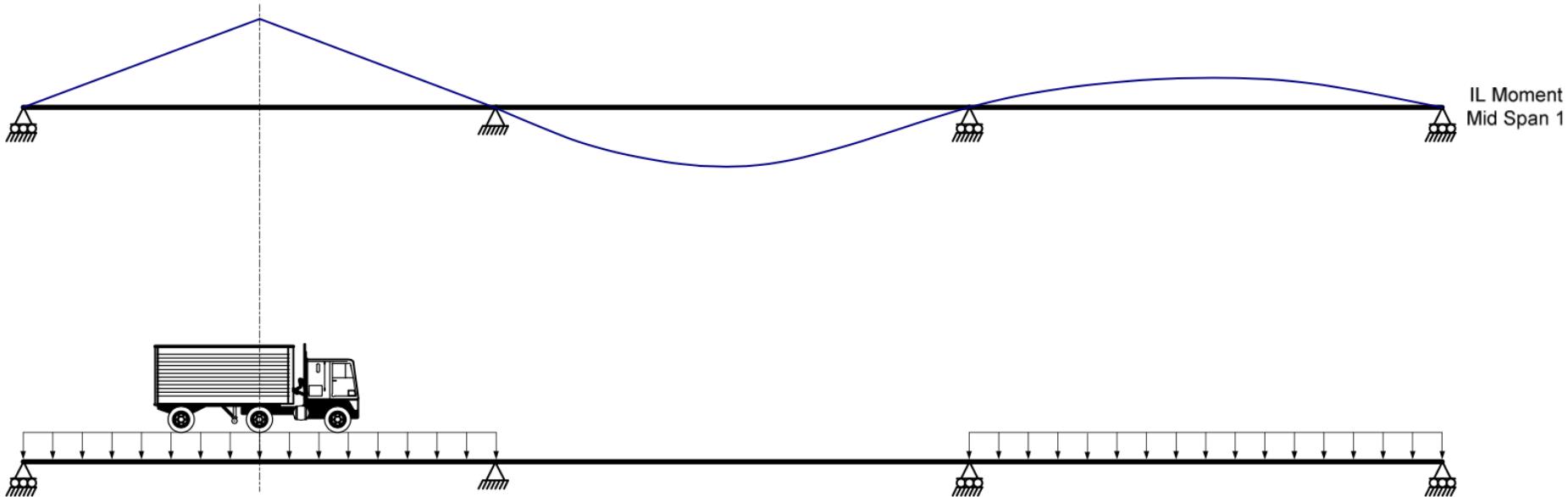
표 3.6.4 보도 등에 재하하는 등분포하중

지간장 $L(m)$	$L \leq 80$	$80 < L \leq 130$	$L > 130$
등분포하중의 크기	$3.5 \times 10^{-3}$	$(4.3 - 0.01L) \times 10^{-3}$	$3.0 \times 10^{-3}$



# Application of Live Loads

## Live Loads for Maximum Positive Moment in Span 1

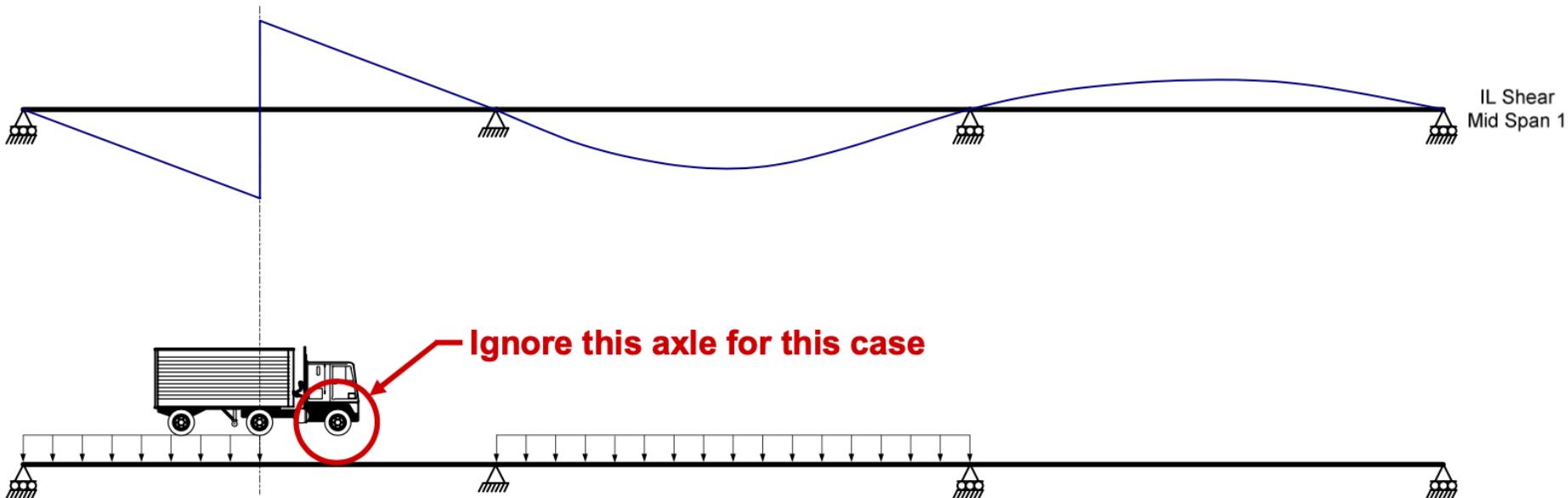


- The impact factor is applied only to the truck, not the lane load
- Although a truck in the third span would contribute to maximum response, by specification only one truck is used.



# Application of Live Loads

## Live Loads for Shear at Middle of Span 1

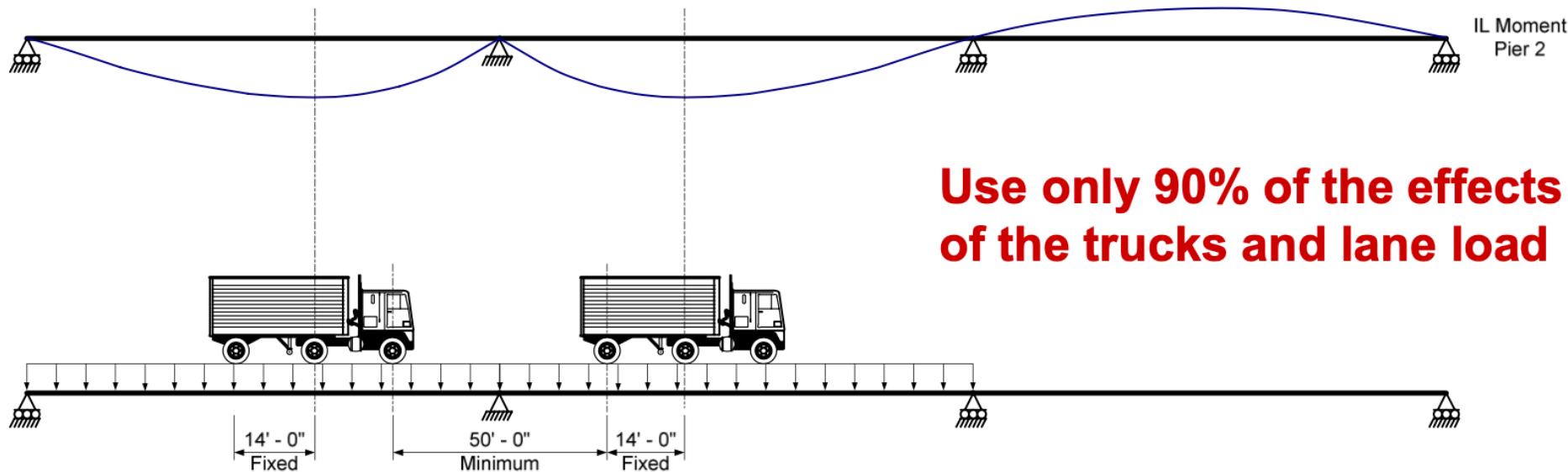


- Impact is applied only to the truck.
- In this case, the front axle is ignored as it does not contribute to the maximum response.

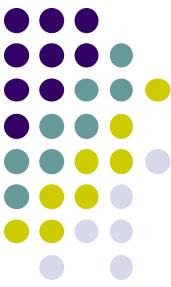


# Application of Live Loads

## Live Loads for Maximum Moment Over Pier 1



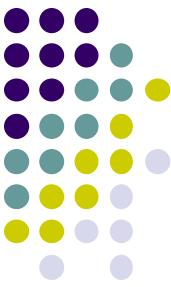
- Impact is applied to the trucks only.
- The distance between rear axles is fixed at 14 ft.
- The distance between trucks is a minimum of 50 ft.
- This applies for negative moment between points of contraflexure and reactions at interior piers



# 한계상태설계법

교량의 부재들과 연결부들은 다음의 각 한계상태에서 규정된 극한하중효과의 조합들에 대하여 식(3.4.1)에 의해 검토하여야 한다.

- **극한한계상태 하중조합 I** : 일반적인 차량통행을 고려한 기본하중조합. 이때 풍하중은 고려하지 않는다.
- **극한한계상태 하중조합 II** : 발주자가 규정하는 특수차량이나 통행허가차량을 고려한 하중조합. 풍하중은 고려하지 않는다.
- **극한한계상태 하중조합 III** : 풍속 90km/hr(25m/sec)를 초과하는 풍하중을 고려하는 하중조합.
- **극한한계상태 하중조합 IV** : 활하중에 비하여 고정하중이 매우 큰 경우에 적용하는 하중조합.
- **극한한계상태 하중조합 V** : 90km/hr의 풍속과 일상적인 차량통행에 의한 하중효과를 고려한 하중 조합.
- **극단상황한계상태 하중조합 I** : 지진하중을 고려하는 하중조합.
- **극단상황한계상태 하중조합 II** : 빙하중, 선박 또는 차량의 충돌하중 및 감소된 활하중을 포함한 수리학적 사건에 관계된 하중조합. 이때 차량충돌하중 CT의 일부분인 활하중은 제외된다.



# 한계상태설계법

- **사용한계상태 하중조합 I** : 교량의 정상 운용 상태에서 발생 가능한 모든 하중의 표준 값과 25m/s의 풍하중을 조합한 하중상태이며, 교량의 설계 수명 동안 발생 확률이 매우 적은 하중조합이다. 이 하중조합은 철근콘크리트의 사용성 검증에 사용할 수 있다. 또한 옹벽과 사면의 안정성 검증, 매설된 금속구조물, 터널라이닝판과 열가소성 파이프에서의 변형제어에도 적용한다.
- **사용한계상태 하중조합 II** : 차량하중에 의한 강구조물의 항복과 마찰이음부의 미끄러짐에 대한 하중조합.
- **사용한계상태 하중조합 III** : 교량의 정상 운용 상태에서 설계 수명 동안 종종 발생 가능한 하중조합이다. 이 조합은 부착된 프리스트레스 강재가 배치된 상부구조의 균열폭과 인장응력 크기를 검증하는데 사용한다.
- **사용한계상태 하중조합 IV** : 설계수명 동안 종종 발생 가능한 하중조합으로 교량 특성상 하부구조는 연직하중보다 수평하중에 노출될 때 더 위험하기 때문에 연직 활하중 대신에 수평 풍하중을 고려한 하중조합이다. 따라서 이 조합은 부착된 프리스트레스 강재가 배치된 하부구조의 사용성 검증에 사용해야 한다. 물론 하부구조는 사용하중조합 III에서의 사용성 요구 조건도 동시에 만족하도록 설계하여야 한다.
- **피로한계상태 하중조합** : 3.6.2항에 규정되어 있는 피로설계트럭하중을 이용하여 반복적인 차량하중과 동적응답에 의한 피로파괴를 검토하기 위한 하중조합.



# 한계상태설계법

표 3.4.1 하중조합과 하중계수

한계상태 하중조합	하중	이 하중들은 한번에 한가지만 고려 $\gamma_p$											
		DC DD DW EH EV ES EL PS CR SH	LL IM CE BR PL LS CF	WA BP WP	WS	WL	FR	TU	TG	GD SD	EQ	IC	CT
극한 I	$\gamma_p$	1,80	1,00	-	-	1,00	0,50/ 1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$	-	-	-	-
극한 II	$\gamma_p$	1,40	1,00	-	-	1,00	0,50/ 1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$	-	-	-	-
극한 III	$\gamma_p$	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/ 1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$	-	-	-	-
극한 IV - DII, EV, ES, DW DC 만 고려	$\gamma_p$	-	1,00	-	-	1,00	0,50/ 1,20	-	-	-	-	-	-
극한 V	$\gamma_p$	1,40	1,00	0,40	1,0	1,00	0,50/ 1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$	-	-	-	-
극단상황 I	$\gamma_p$	$\gamma_{EQ}$	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,00	-	-	-
극단상황 II	$\gamma_p$	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,00	1,00	1,00
사용 I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,0	1,00	1,00/ 1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$	-	-	-	-
사용 II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/ 1,20	-	-	-	-	-	-
사용 III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/ 1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$	-	-	-	-
사용 IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/ 1,20	-	1,0	-	-	-	-
피로 - LL, M & CE만 고려	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

표 3.4.2  $\gamma_p$ 에 관한 하중계수

하중의 종류	하중계수	
	최대	최소
DC : 구조부재와 비구조적 부착물	1,25 1,50(극한한계상태 조합IV에서만)	0,90
DD : 말뚝부마찰력	1,80	0,45
DW : 포장과 시설물	1,50	0,65
EV : 수평토압 • 주동 • 정지	1,50 1,35	0,90 0,90
EL : 시공중 발생하는 구속응력	1,50	0,75
PS : 프리스트레스함 • 세그멘탈콘크리트교량의 상부, 하부구조 • 비세그멘탈콘크리트교량 상부구조 • 비세그멘탈콘크리트교량 하부구조 - $I_g$ 를 사용하는 경우 - $I_{effective}$ 를 사용하는 경우 • 강재 하부구조	1,0 1,0 1,0 1,0 0,5 1,0	- 1,00 1,35 1,30 0,90 1,35 0,90 1,95 0,90 1,50 0,90
CR, SH : 크리프, 건조수축 • 세그멘탈콘크리트교량의 상부, 하부구조 • 비세그멘탈콘크리트교량 상부구조 • 비세그멘탈콘크리트교량 하부구조 - $I_g$ 를 사용하는 경우 - $I_{effective}$ 를 사용하는 경우 • 강재 하부구조	DC에 대한 $\gamma_p$ 사용 1,0 0,5 1,0	1,0 1,0 0,5 1,0