

## PSC 거더교의 하중횡분배에 관한 연구 Lateral Load Distribution for Prestressed Concrete Girder Bridge

박문호\*, 박정활\*\*, 김진규\*\*\*

Moon-Ho Park\*, Jung-Hwal Park\*\*, Jin-Kyu Kim\*\*\*

### <Abstract>

The purpose of this study is to examine the accuracy of the code provisions on lateral load distribution factors of prestressed concrete girder bridges. Most designers in Korea use the lever method or lateral load distribution formula in the existing design codes. However, the methods do not account for the effect of bridge skew or direction of diaphragm. Therefore, this study analysed the prestressed concrete girder bridge with grillage model for various girder spacings, directions of diaphragms, span lengths, and skews, and compared the results with those of existing design code. It has been found that lateral load distribution factors were proportional to the girder spacing while they were not significantly affected by the change of span length, direction of diaphragm, and skew. For bending moments, lateral load distribution factors from the grillage analysis were 60%~68% of those from Korean bridge design code. Therefore, the code provisions result in very conservative design. For support reactions, however, lateral load distribution factors from the grillage analysis were slightly greater than those from Korean bridge design code. Therefore, the capacity of bearings of the bridge with a large skew should be determined by grillage analysis.

**Key words** : PSC girder bridge, lateral load distribution factor, grillage analysis

\* 정회원, 경북대학교 토목공학과 교수 / 工博  
연세대학교졸업 / parkmh@kyungpook.ac.kr  
\*\* 정회원, 한백종합기술공사 구조부장 / 工碩 / 기술사  
경북대학교졸업 / jhpark330@bcline.com  
\*\*\* 정회원, 영남이공대학 토목과 조교수 / 工博  
경북대학교졸업 / jkkim@ync.ac.kr

\* Professor, Dept. of Civil Eng. Kyungpook National University, Dr. Eng.  
\*\* The Chief of Dept. of Structure, Hanbeck Associated Eng. Service Co. Ltd.  
\*\*\* Assistant Professor, Dept of Civil Eng. Yeungnam College of Science & Technology, Dr. Eng.



## 1. 서론

국내 대부분의 PSC 주형의 교량설계는 도로교 표준 시방서 강교편 세로보의 윗하중 분포공식에 의해 하중횡분배를 하고 단일보 해석을 한다. PSC 주형의 교량에서 세로보의 윗하중 분포공식 적용에 대한 논란이 제기되고 있으며 이 분포공식은 주형의 간격만 고려되고 가로보의 방향, 교량의 지간 및 사각을 고려하지 못한다. 또한 시방서마다 하중분배계수 산정식의 차이가 크다. 따라서 주형의 간격, 가로보의 방향, 교량의지간 및 사각을 변화요소로 하여 하중 분배의 경향을 분석하고, 기존시방서 공식의 정확성을 평가하기 위하여 도로교 표준 시방서와 AASHTO 규정과도 비교하여 결과를 고찰하였다.

Table1. Lateral load distribution formula

구분	제한식
도로교 표준시방서 (강교편)	내측부 $(L/2.10) \times P \quad L \leq 3.0$
	외측부 $(L/1.65) \times P \quad L \leq 4.2$
AASHTO	구분 없음 $\frac{S}{5.5}$
LRFD	내측부 $0.075 + \left(\frac{S}{2900}\right)^{0.6} \left(\frac{S}{L}\right)^{0.2} \left(\frac{Kg}{L t_s^3}\right)^{0.1}$
	외측부 $g = e \cdot g_{interior}$ $e = 0.77 + \frac{de}{2800} \geq 1.0$

## 2. 교량의 모델링

### 2.1 연구대상의 교량선정

연구대상 교량의 횡단구성은 4차선 고속도로의 상·하행선 분리교량인 전폭 12.0m로 하였으며 주형간격은 2.0m, 2.5m, 3.33m로 하였다.

대상교량의 지간은 PSC 거더교의 적용지간인 20m, 25m, 30m를 기준으로 하였으며, 가로보의 개수는 현재 PSC 거더교의 표준으로 사용하는 20m와 25m 지간은 5개, 30m 지간은 7개를 적용하였다.

### 2.2 거더별 작용력 계산

일반적으로 사용하는 PSC 거더교의 바닥 슬래브 두께인 25cm를 사용하여 각 거더의 최대 작용력을 산출하며, 단위하중 1을 재하하여 얻은 반력의 결과는 Table 2와 같다.

각 거더별 실작용 차량하중은 다음의 식으로 구해지며 지간 20m일 경우 Table 3과 같다.

$$\text{실작용 차량하중} = \text{단위하중 반력} \times \text{Pf(or Pr)} \times \text{충격계수}(i) \times \text{감소계수}(R)$$

$$\text{충격계수 } i = \frac{15}{40 + L}$$

여기서 L : 교량의 지간장(m), 감소계수 R  
2차선 재하시 : 1.0 , 3차선 재하시 0.9

Table2. Reactions due to unit load

간격	차선	G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>	G <sub>4</sub>	G <sub>5</sub>	G <sub>6</sub>
2.0m (S)	2차선	0.993	1.141	1.174	0.772	-0.097	0.016
	3차선	0.990	1.156	1.112	1.062	1.305	0.365
2.5m (M)	2차선	1.085	1.495	1.340	0.095	-0.015	
	3차선	1.084	1.504	1.302	1.631	0.480	
3.33m (L)	2차선	1.227	2.174	0.667	-0.068		
	3차선	1.262	1.966	2.085	0.688		

Table3. Real load of Vehicles(span 20m)

간격	차선	차용	G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>	G <sub>4</sub>	G <sub>5</sub>	G <sub>6</sub>
2.0m (S)	2	Pf	2.979	3.423	3.522	2.316	-0.291	0.048
		Pr	11.916	13.692	14.088	9.264	-1.164	0.192
	3	Pf	2.673	3.121	3.002	2.867	3.551	0.986
		Pr	10.692	12.485	12.010	11.470	14.202	3.942
2.5m (M)	2	Pf	3.255	4.485	4.020	0.285	-0.045	
		Pr	13.020	17.940	16.080	1.140	-0.180	
	3	Pf	2.927	4.061	3.515	4.404	1.296	
		Pr	11.707	16.243	14.062	17.615	5.184	
3.33m (L)	2	Pf	3.681	6.522	2.001	-0.204		
		Pr	14.724	26.088	8.004	-0.816		
	3	Pf	3.407	5.308	5.630	1.858		
		Pr	13.630	21.233	22.518	7.430		

### 2.3 격자해석

#### (1) 부재의 단면특성치

거더의 단면 특성치는 슬래브를 포함하여 계산하였으며 내측부와 외측부를 구분하였다. 슬래브의 강성은 거더의 단면 특성치 계산시 포함되었으므로 가로보의 단면 특성치는 보 자체



만을 계산하였으며 한국도로공사에서 사용하는 표준의 것을 사용하였다.

**(2) 격자구조**

격자구조의 구성은 종방향의 PSC 거더와 횡방향의 가로보로 구성된다. PSC 거더의 경우는 2.0m 간격인 경우 6개로 되고, 2.5m 간격인 경우 5개, 3.33m 간격인 경우 4개로 구성된다. 가로보의 경우 지간이 20m 일 때 5개, 지간이 25m 일 때 5개, 지간이 30m 일 때 7개로 구성되며 이는 한국도로공사 표준도의 보(beam) 개수이다.

**(3) 전산프로그램에 의한 해석**

구조해석에 사용된 프로그램은 범용구조해석 프로그램인 SAP 2000 이며 차량하중은 Table 3의 값을 이동하중으로 재하 하였으며, 지간 20m일 경우에 대한 해석의 결과를 정리하여 Table 4에 나타내었다.

**Table4. Result of grillage analysis with SAP2000**

지간	간격	경사	Beam 방향	Moment		Reaction	
				내측	외측	최대	최소
20m	2.0m (S)	0°		63.27	62.49	21.62	8.67
		15°	S	61.54	61.05	22.03	7.26
			T	61.49	60.89	24.87	7.57
		30°	S	56.53	58.32	22.43	6.28
			T	55.54	55.84	25.59	6.53
		45°	S	53.08	57.08	22.88	5.50
	T		47.69	56.49	25.37	5.92	
	2.5m (M)	0°		77.77	73.31	26.66	10.34
		15°	S	75.74	71.30	27.09	9.06
			T	75.22	71.24	29.11	9.12
		30°	S	69.75	67.97	27.42	8.00
			T	68.30	66.05	27.62	8.22
		45°	S	64.66	63.95	27.56	7.15
	T		57.71	66.23	28.64	7.64	
	3.33m (L)	0°		100.49	89.58	34.62	13.35
		15°	S	98.03	87.56	35.21	12.07
			T	96.56	87.44	36.30	11.85
		30°	S	91.90	83.44	35.74	10.92
			T	87.83	81.98	36.70	10.39
		45°	S	85.60	78.29	36.03	9.98
	T		75.65	81.82	37.31	9.92	

**3. 차량하중분배계수 산정결과**

**3.1 하중분배계수의 산정**

하중분배계수는 다음과 같은 방법으로 산정하였다.

$$DF = \frac{\text{격자모델해석에서 발생하는 주형의 최대모멘트}}{\text{1차륜하중을 받는 단일보에서의 최대모멘트}}$$

하중분배 산정을 위한 1차륜하중을 받는 단일보에서의 최대모멘트 및 반력을 계산한 결과는 Table 5와 같다.

한편 Table 4의 값을 Table 5의 값으로 나누어주면 하중분배계수가 되고 반력의 값을 나누어주면 반력비가 되며 이값을 정리하면 Table 6과 같다.

**Table5. Maximum moment and reaction of single beam with 1 wheel load**

지간	20m	25m	30m	비고
최대모멘트 (ton·m)	66.07	82.80	99.95	
반력 (ton)	14.35	14.26	14.36	

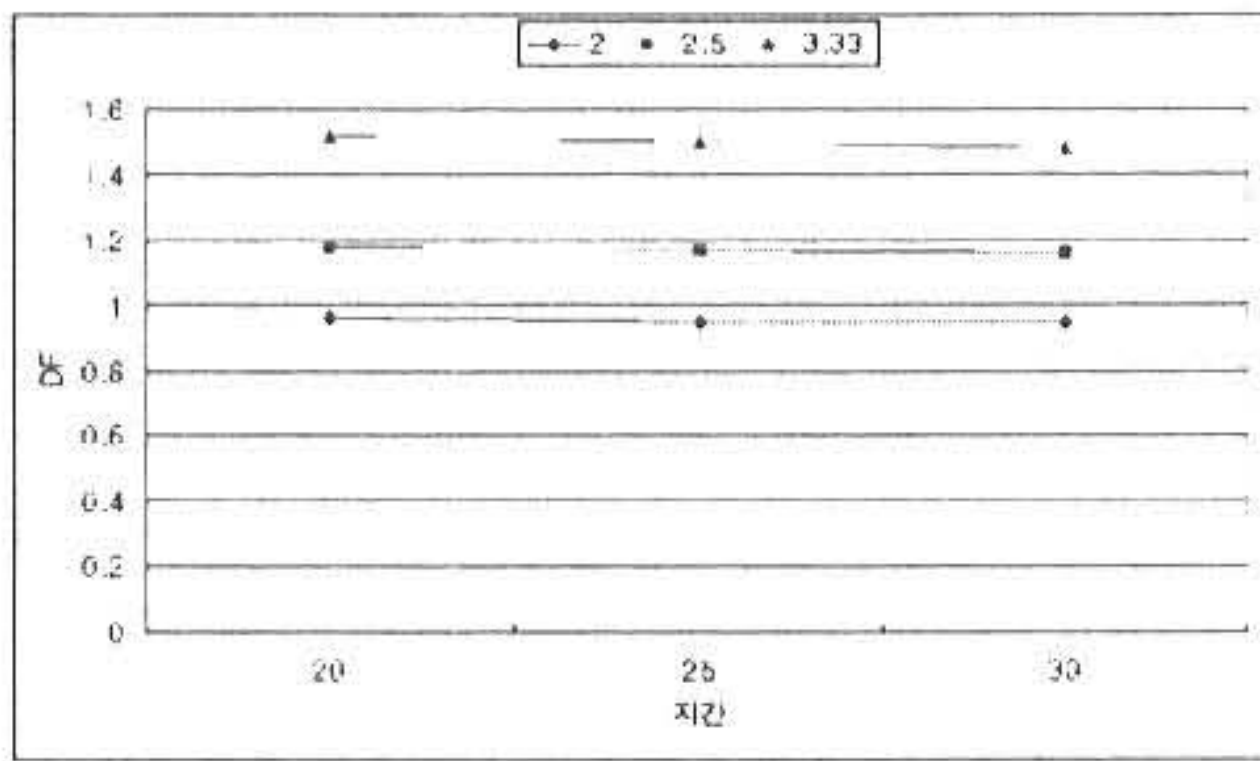
**Table6. Load distribution factor and reaction ratio**

지간	빔 간격	경사	Cross Beam 방향	Moment		Reaction	
				내측	외측	최대	최소
20m	2.0m (S)	0°		0.96	0.95	1.51	0.60
		15°	S	0.93	0.92	1.54	0.51
			T	0.93	0.92	1.73	0.53
		30°	S	0.86	0.88	1.56	0.44
			T	0.84	0.85	1.78	0.46
		45°	S	0.80	0.86	1.59	0.38
	T		0.72	0.86	1.77	0.41	
	2.5m (M)	0°		1.18	1.11	1.86	0.72
		15°	S	1.15	1.08	1.89	0.63
			T	1.14	1.08	2.03	0.64
		30°	S	1.06	1.03	1.91	0.56
			T	1.03	1.00	1.92	0.57
		45°	S	0.98	0.97	1.92	0.50
	T		0.87	1.00	2.00	0.53	
	3.33m (L)	0°		1.52	1.36	2.41	0.93
		15°	S	1.48	1.33	2.45	0.84
			T	1.46	1.32	2.53	0.83
		30°	S	1.39	1.26	2.49	0.76
			T	1.33	1.24	2.56	0.72
		45°	S	1.30	1.18	2.51	0.70
	T		1.14	1.24	2.60	0.69	

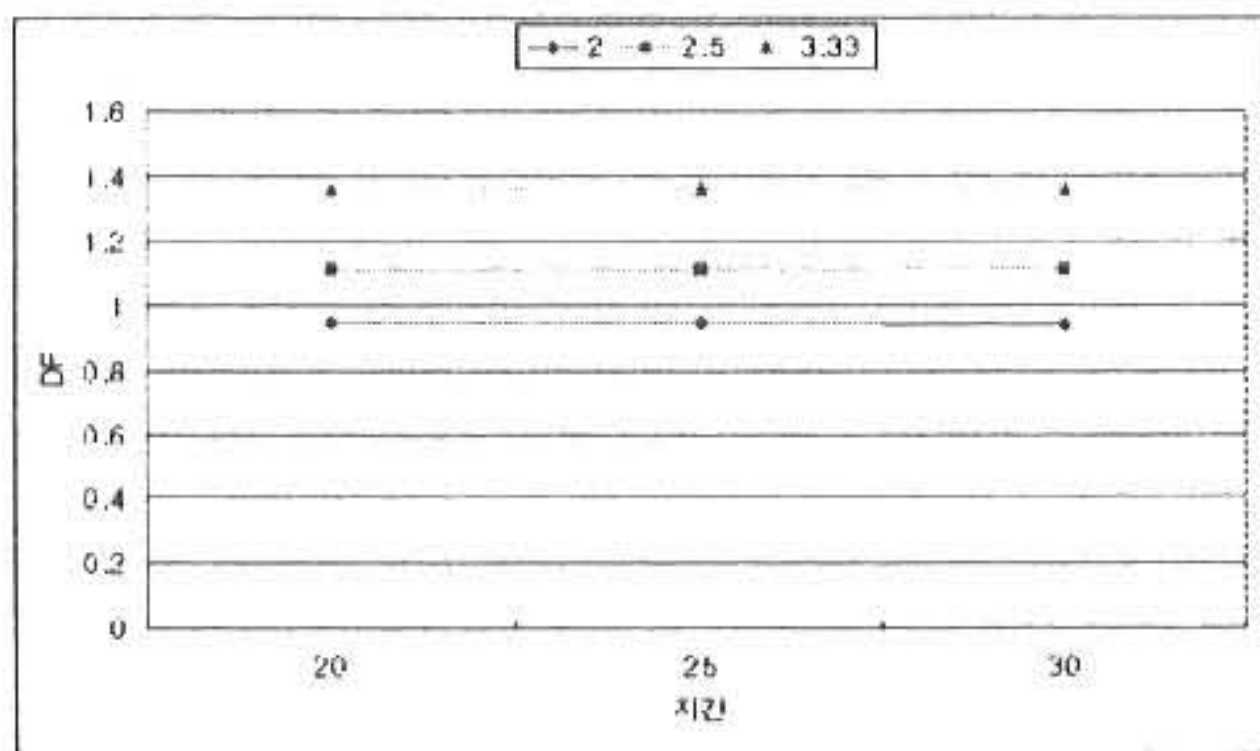


### 3.2 하중분배 경향분석

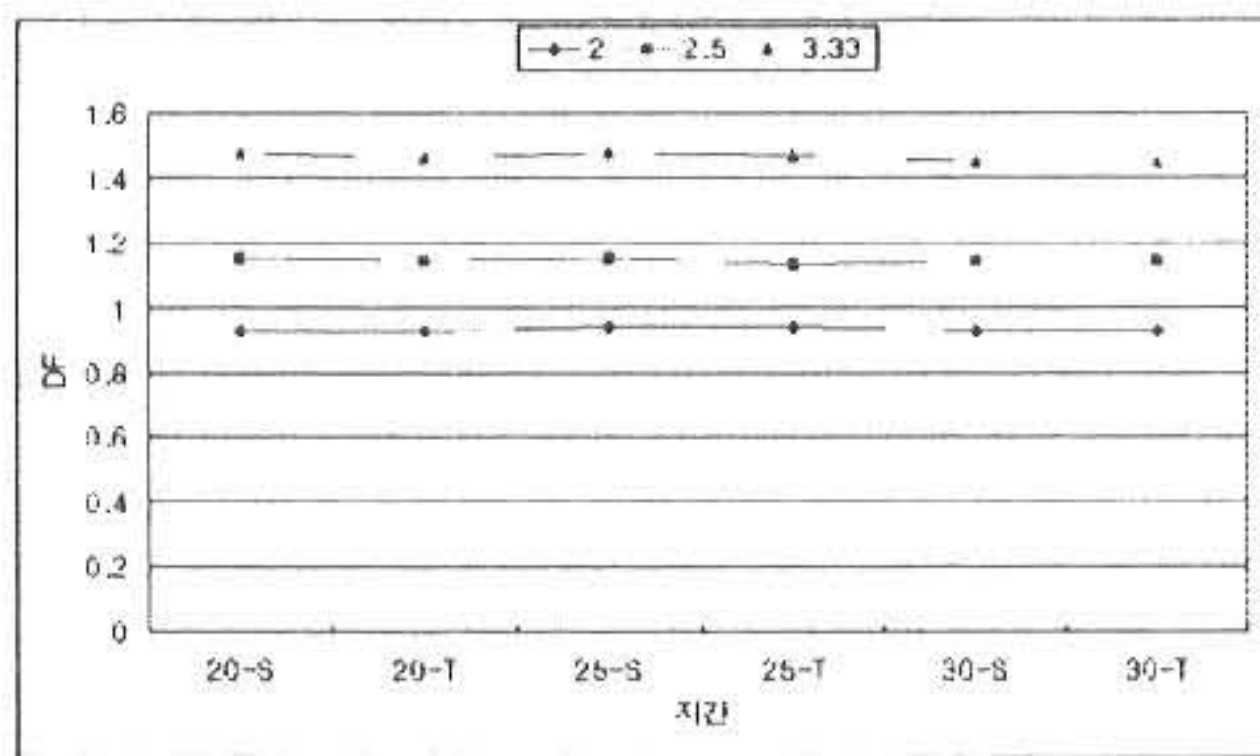
#### (1) 시간별 하중분배 경향



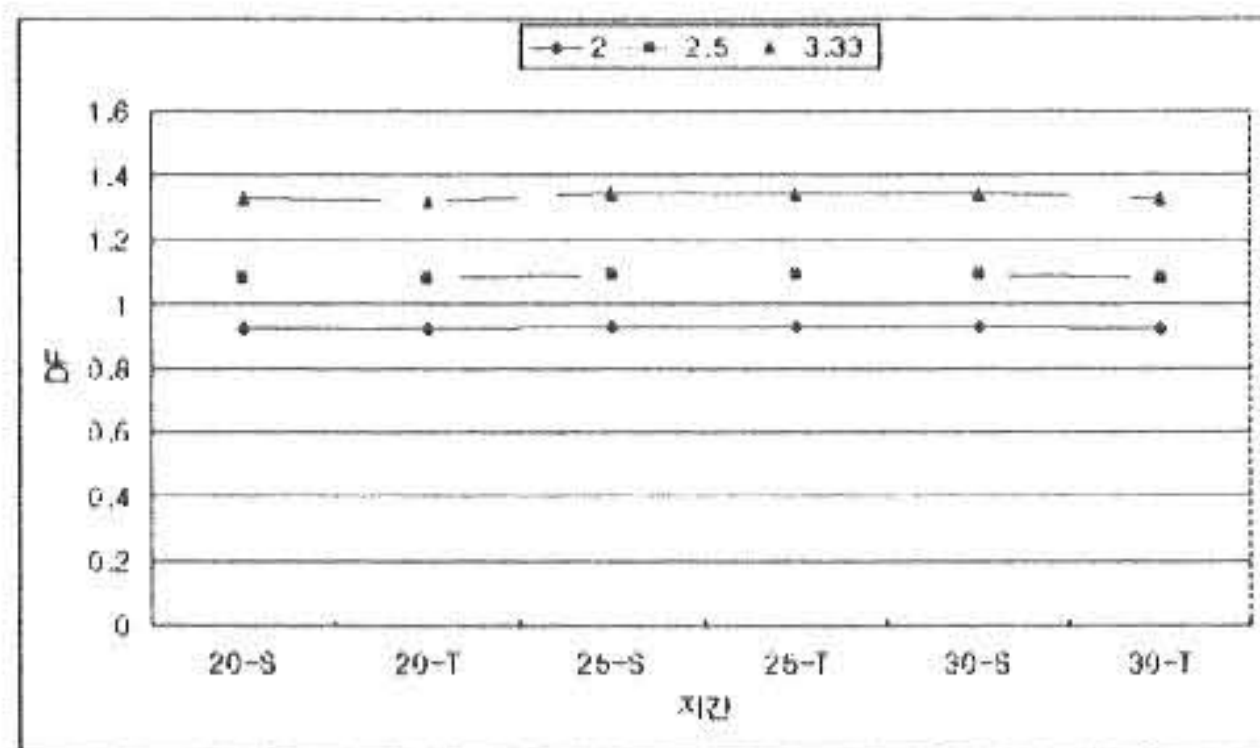
0° 내측



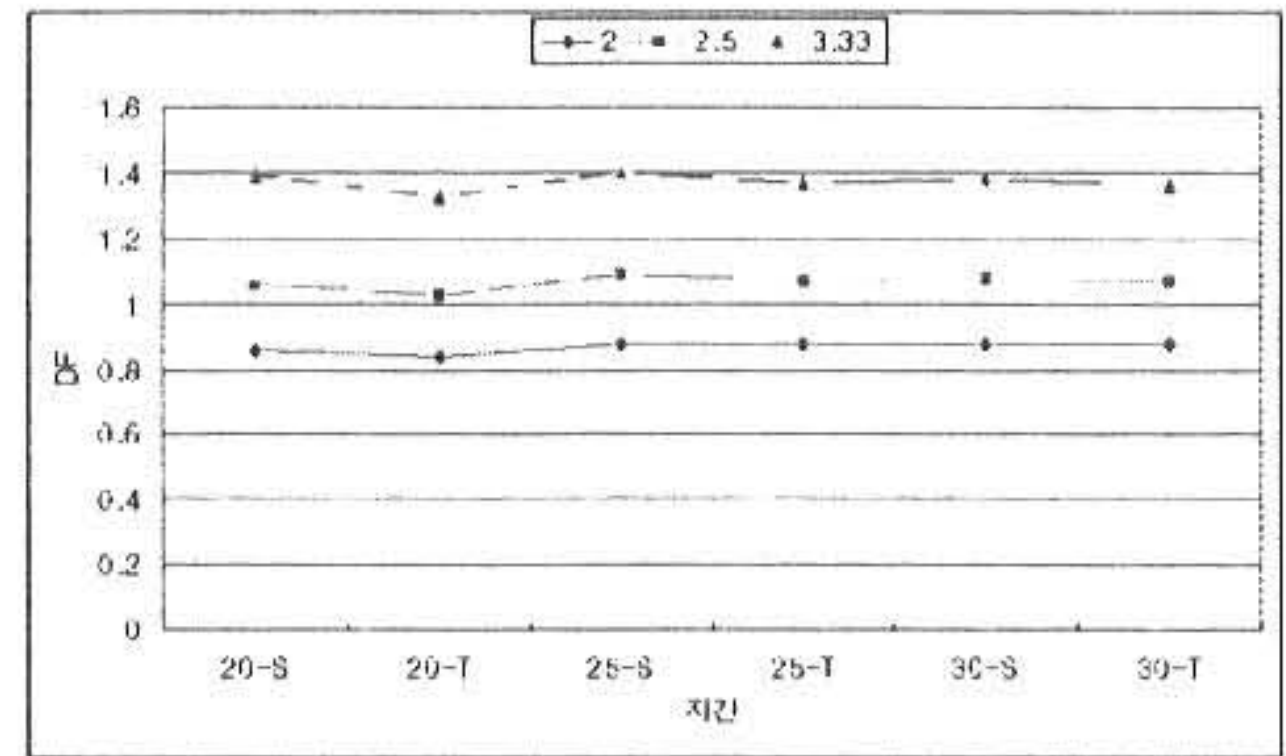
0° 외측



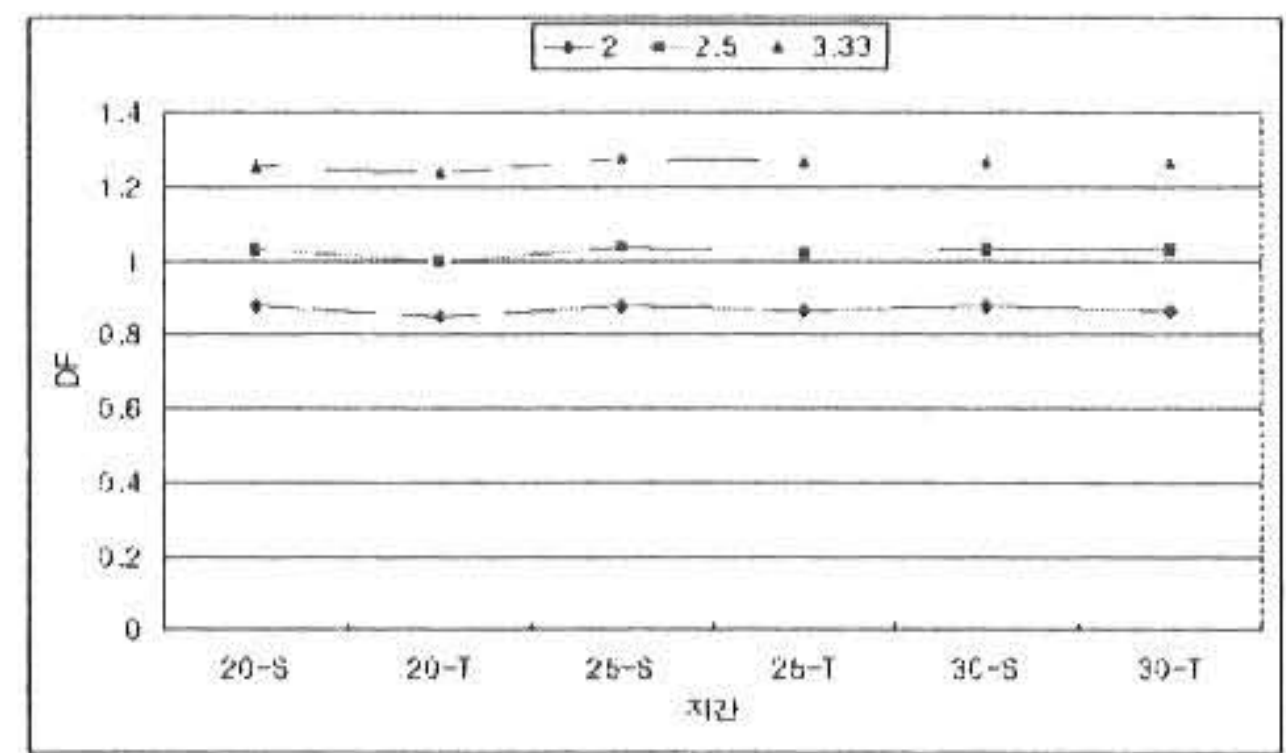
15° 내측



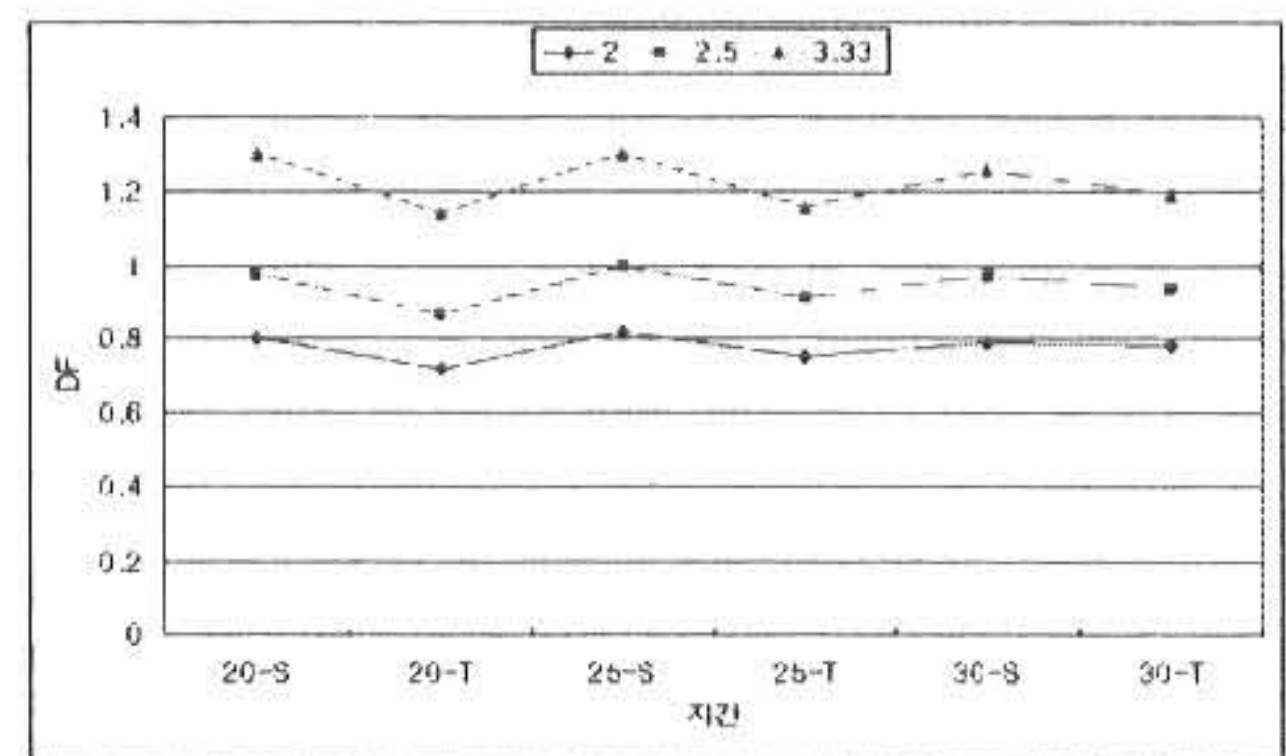
15° 외측



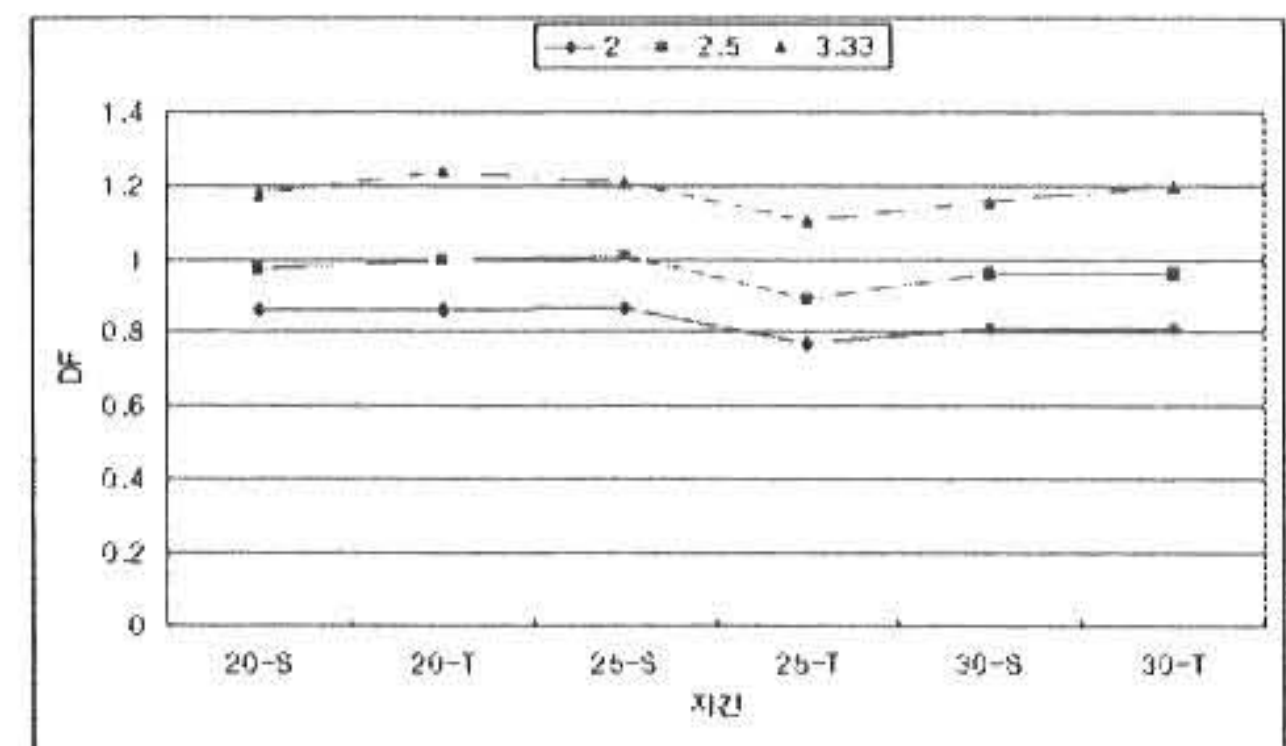
30° 내측



30° 외측

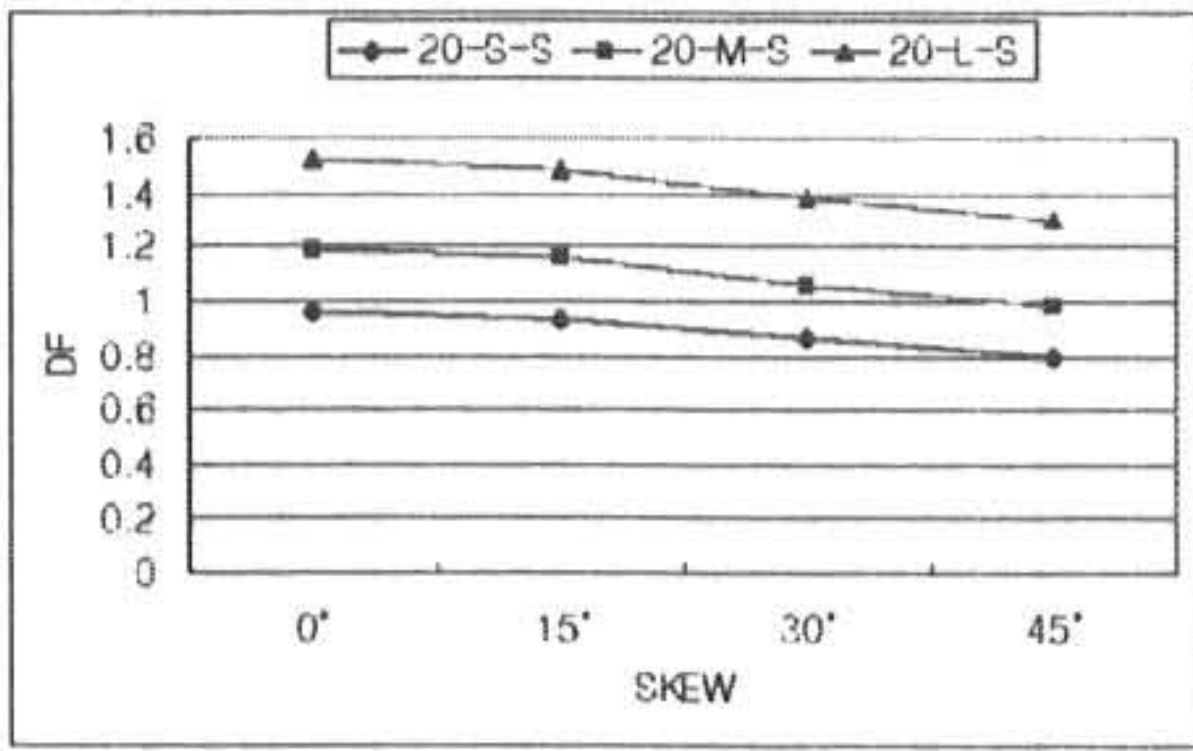


45° 내측

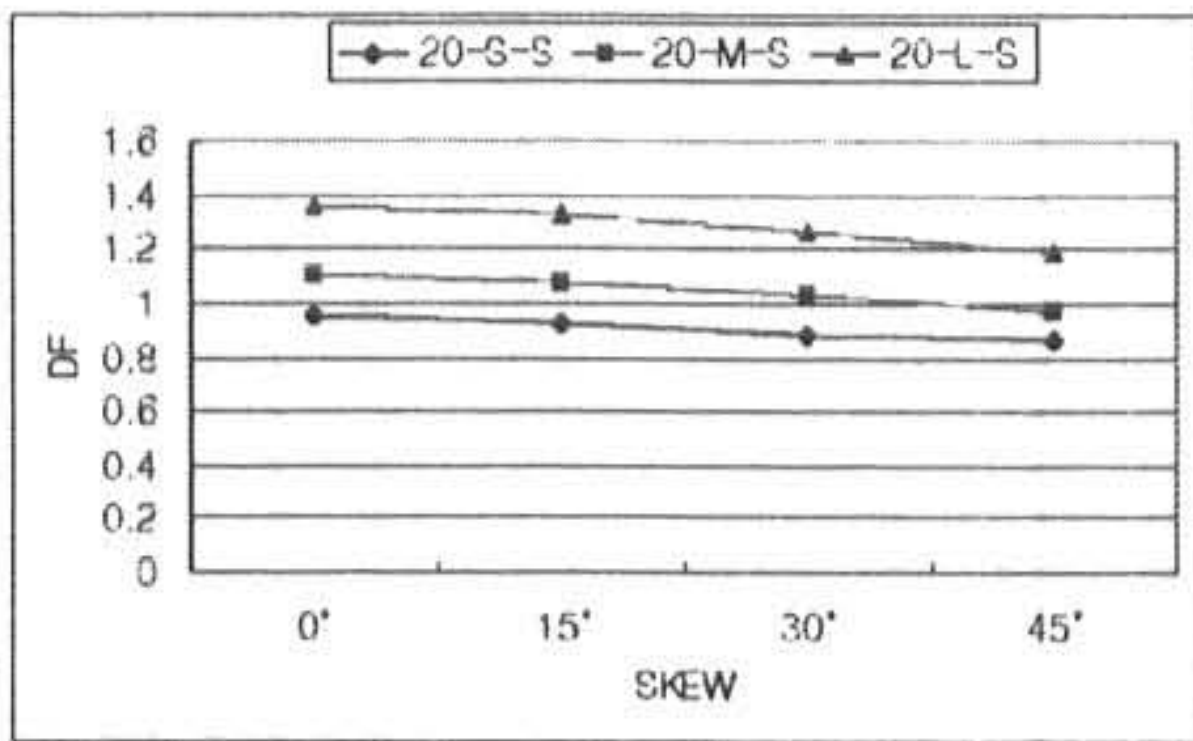


45° 외측

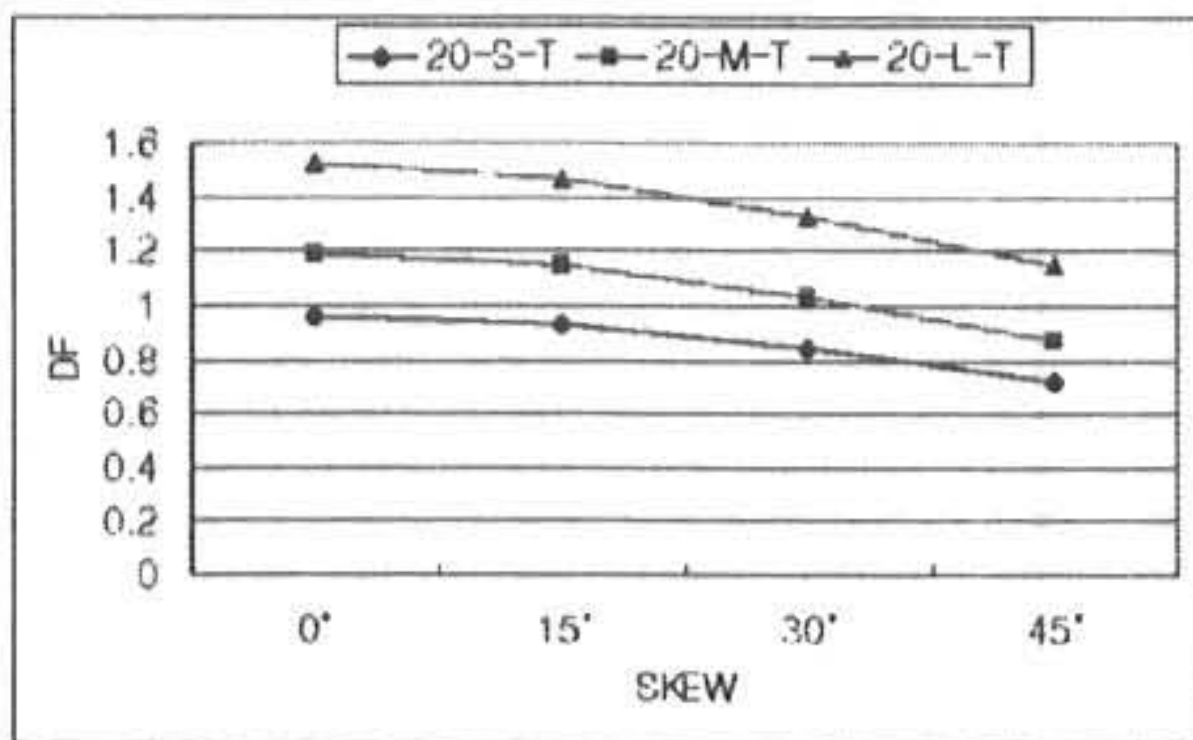
Fig. 1 Tendency of load distribution factor for span



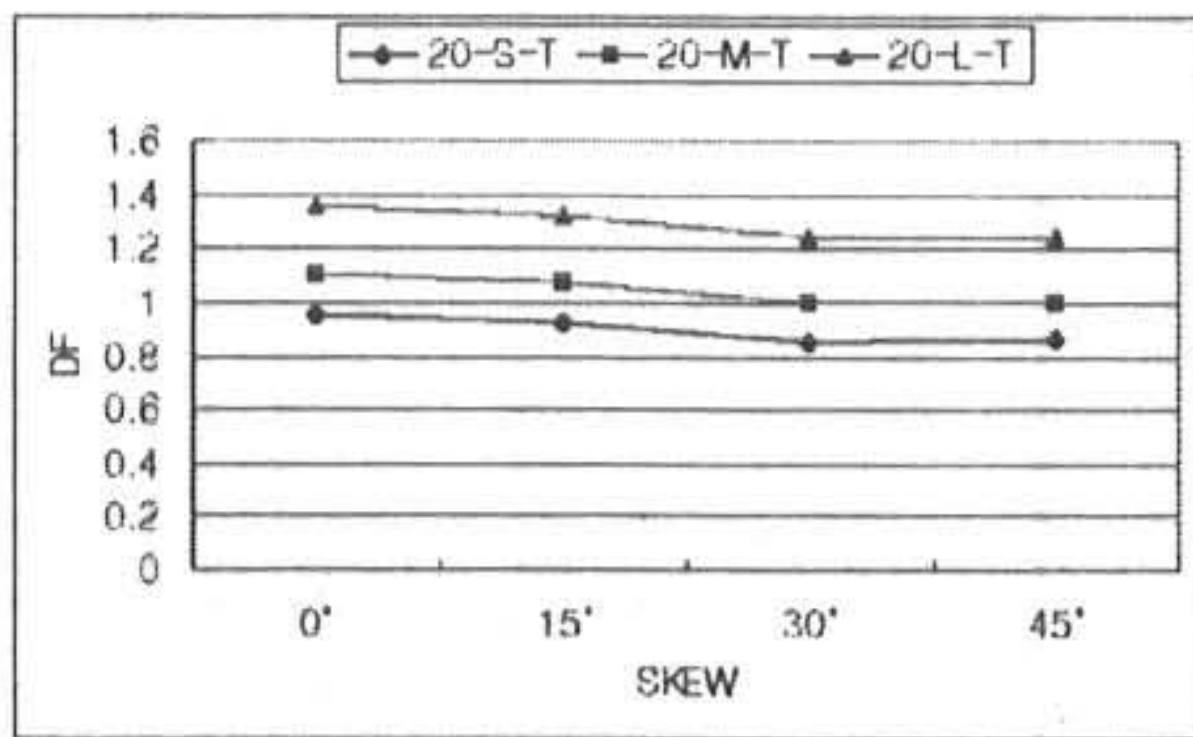
지간 20m 경사방향(내측)



지간 20m 경사방향(외측)



지간 20m 직각방향(내측)



지간 20m 직각방향(외측)

각각의 지간별로 하중분배계수의 변화를 보면 다음의 Fig. 1과 같으며, 교량의 지간에 관계없이 하중분배계수가 거의 같은 값을 나타내어 하중분배계수는 교량지간의 영향을 받지 않는다는 사실을 알 수 있다.

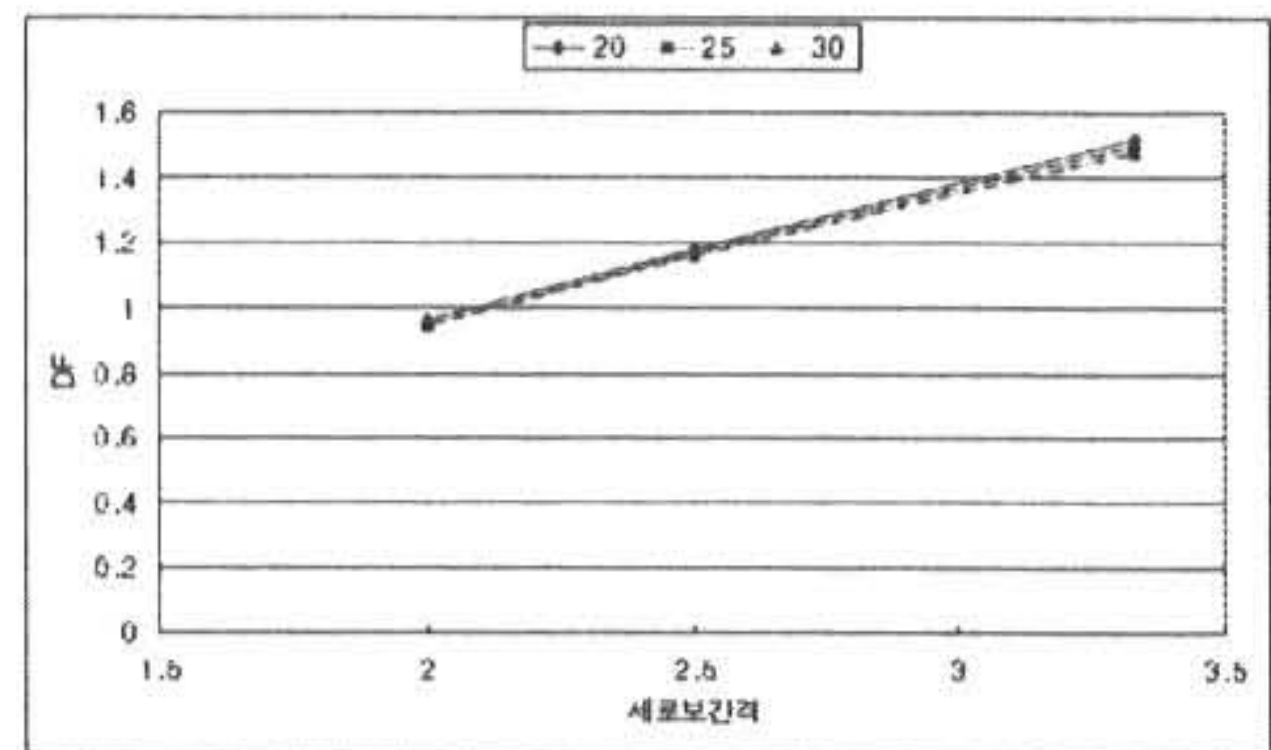
(2) 교량 SKEW별 하중분배 경향

내측 주형과 외측 주형을 구분하고 가로보의 방향별로 구분하여 교량경사의 변화에 따른 하중분배계수의 변화를 보면 Fig. 2와 같다.

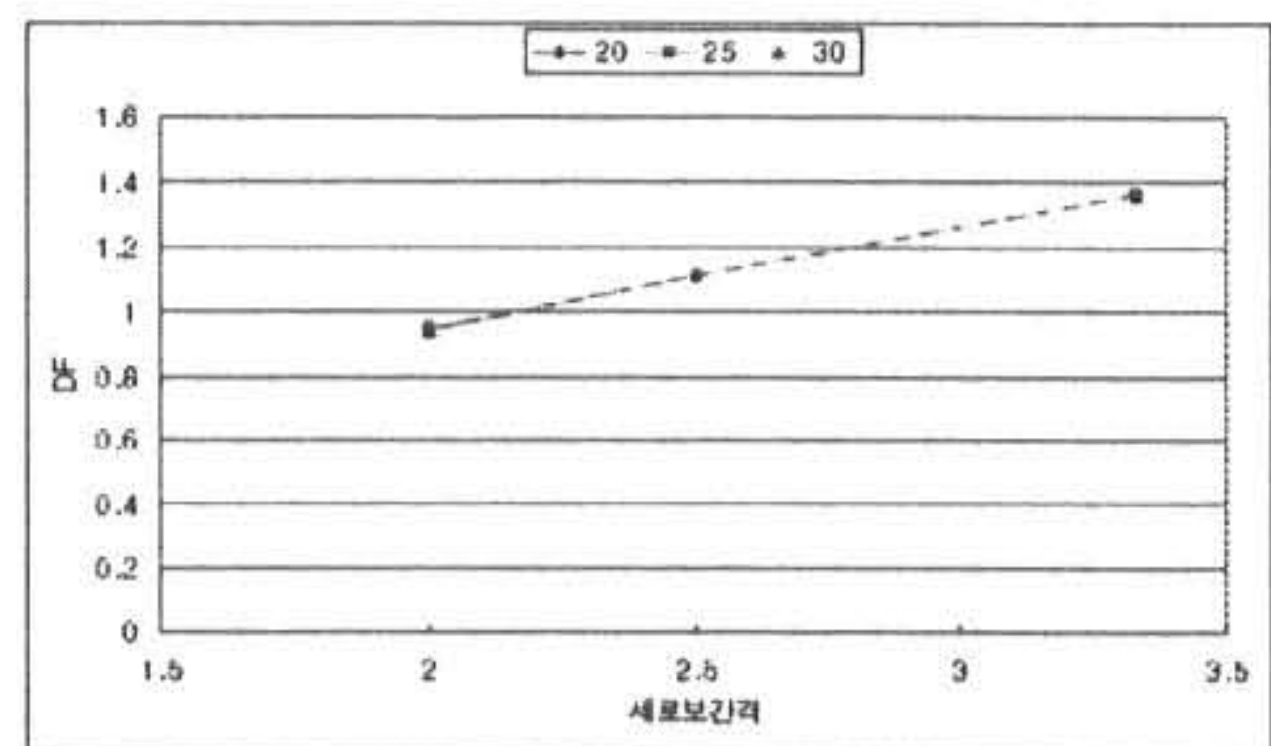
한편 Fig. 2에서 알 수 있듯이 교량의 사각이 커질수록 하중분배계수가 작아지는 것을 알 수 있다.

(3) 세로보의 간격별 하중분배 경향

내측과 외측보를 구분하고 교량의 사각별로 세로보 간격에 따른 하중분배 계수를 나타내면 Fig. 3과 같다. 한편 그림에서 알 수 있듯이 세로보의 간격과 하중분배계수는 정비례의 관계가 성립하고 있음을 알 수 있다.



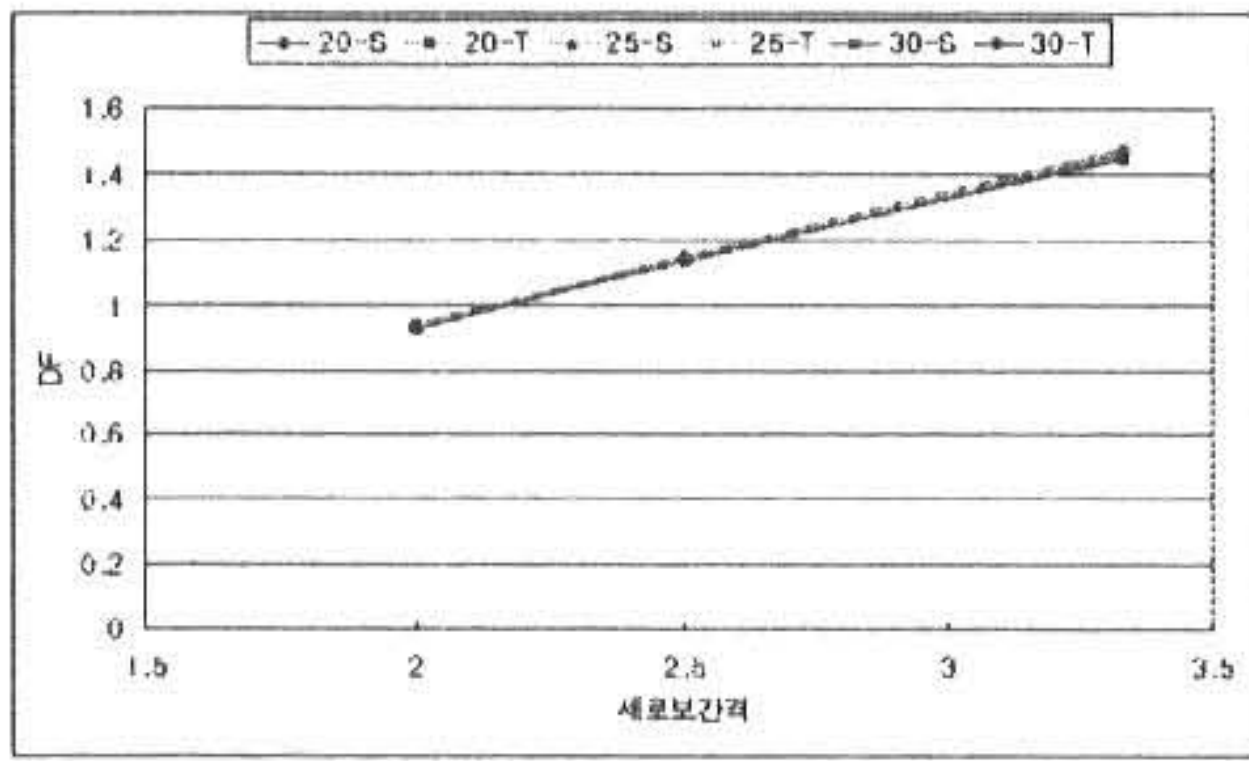
0° 내측



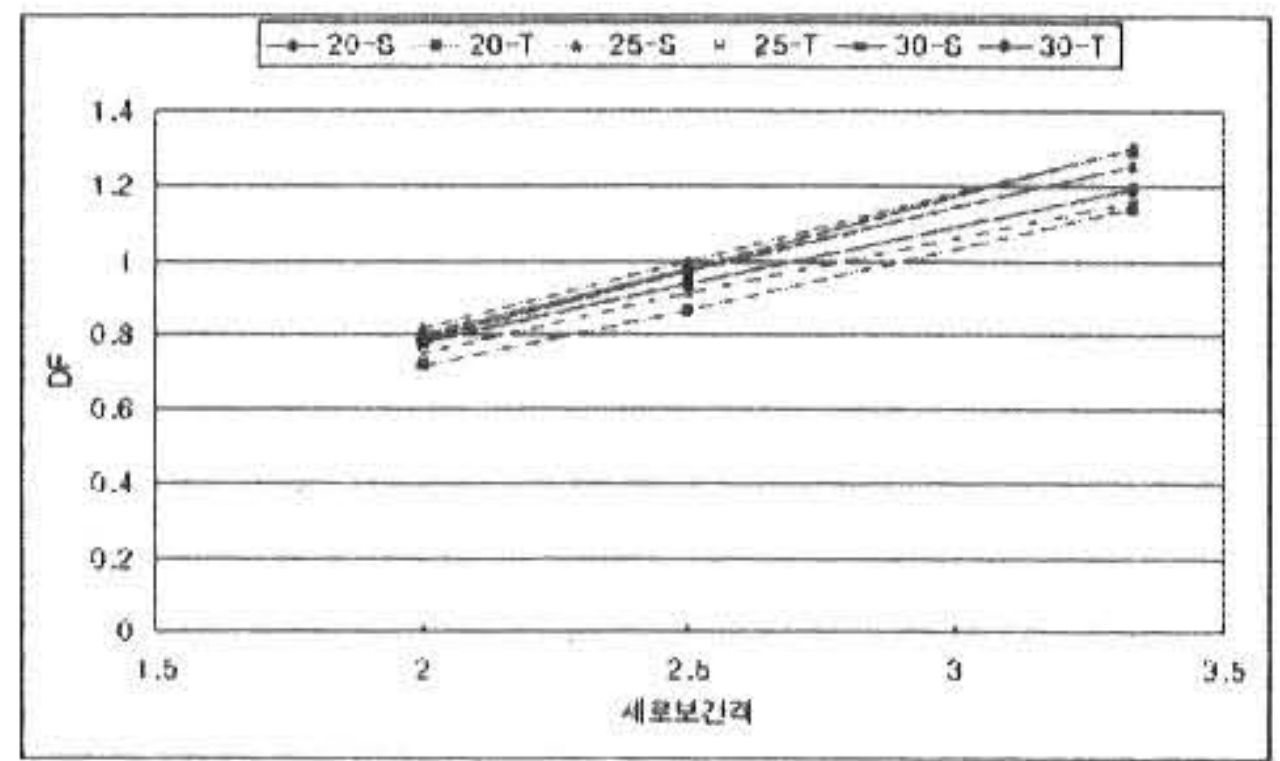
0° 외측

Fig. 2 Tendency of load distribution factor for bridge SKEW(span 20m)

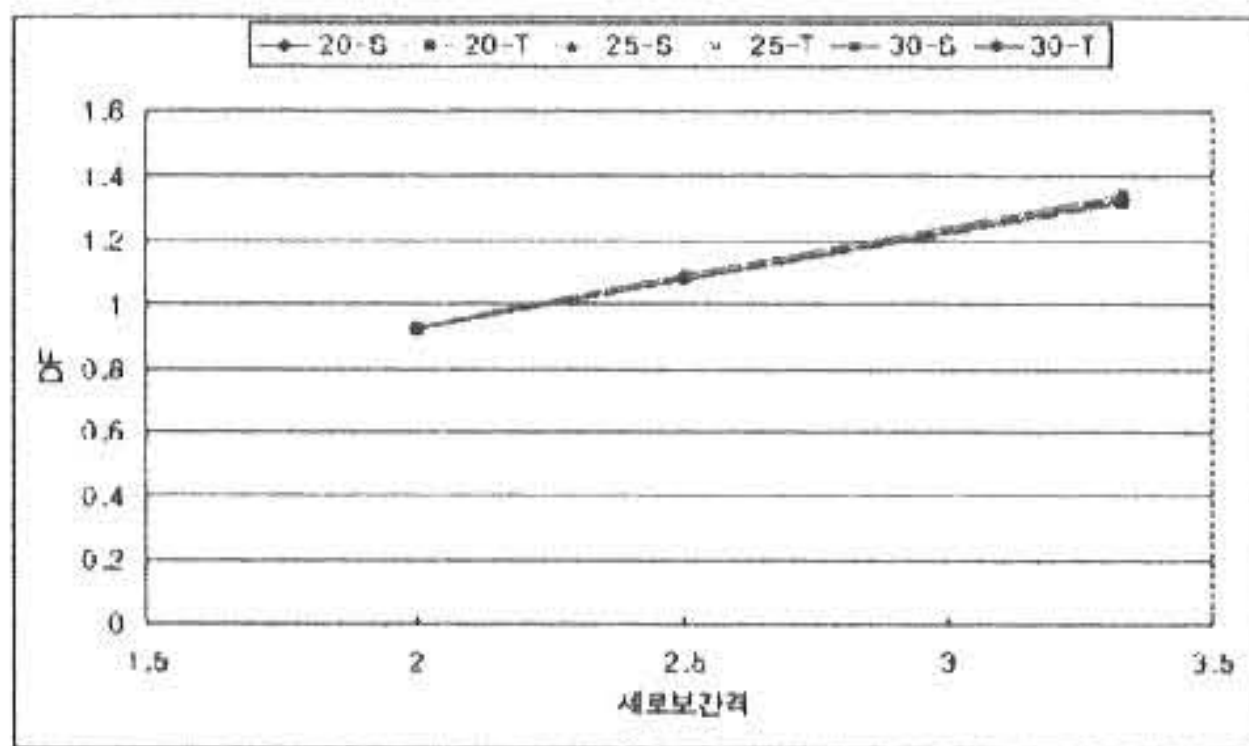




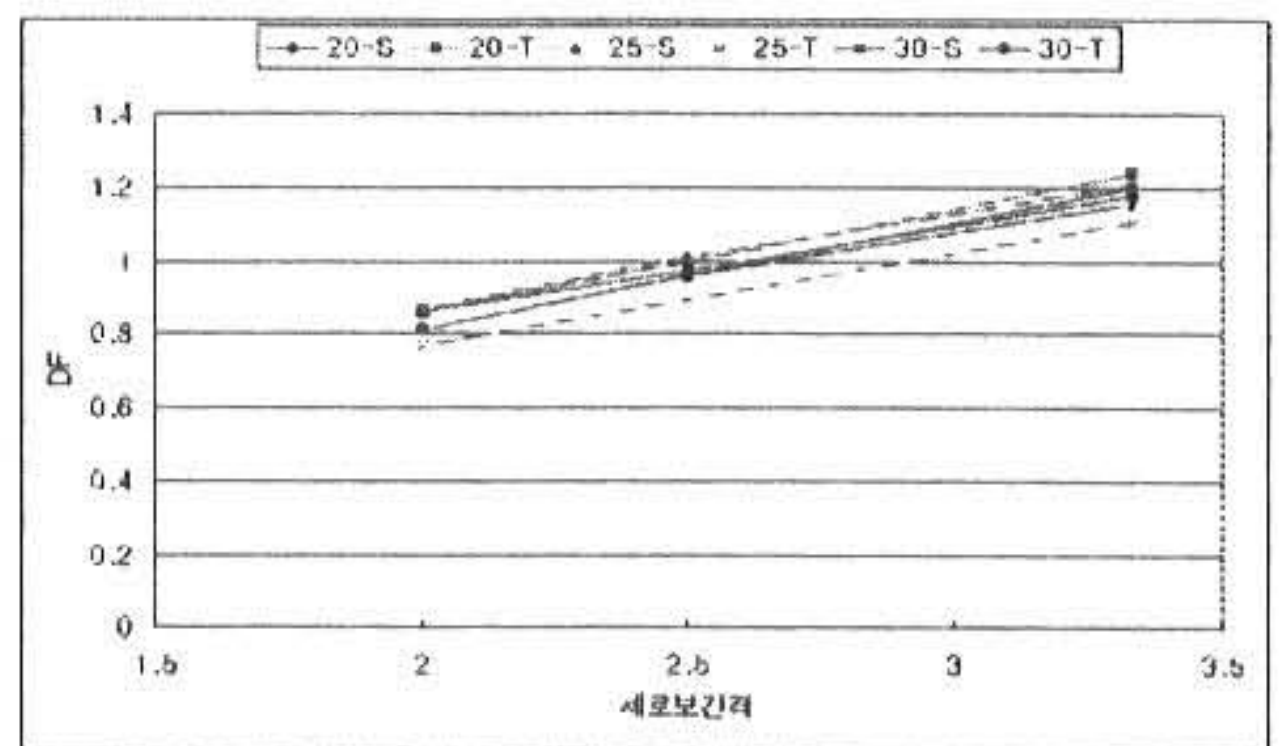
15° 내측



45° 내측

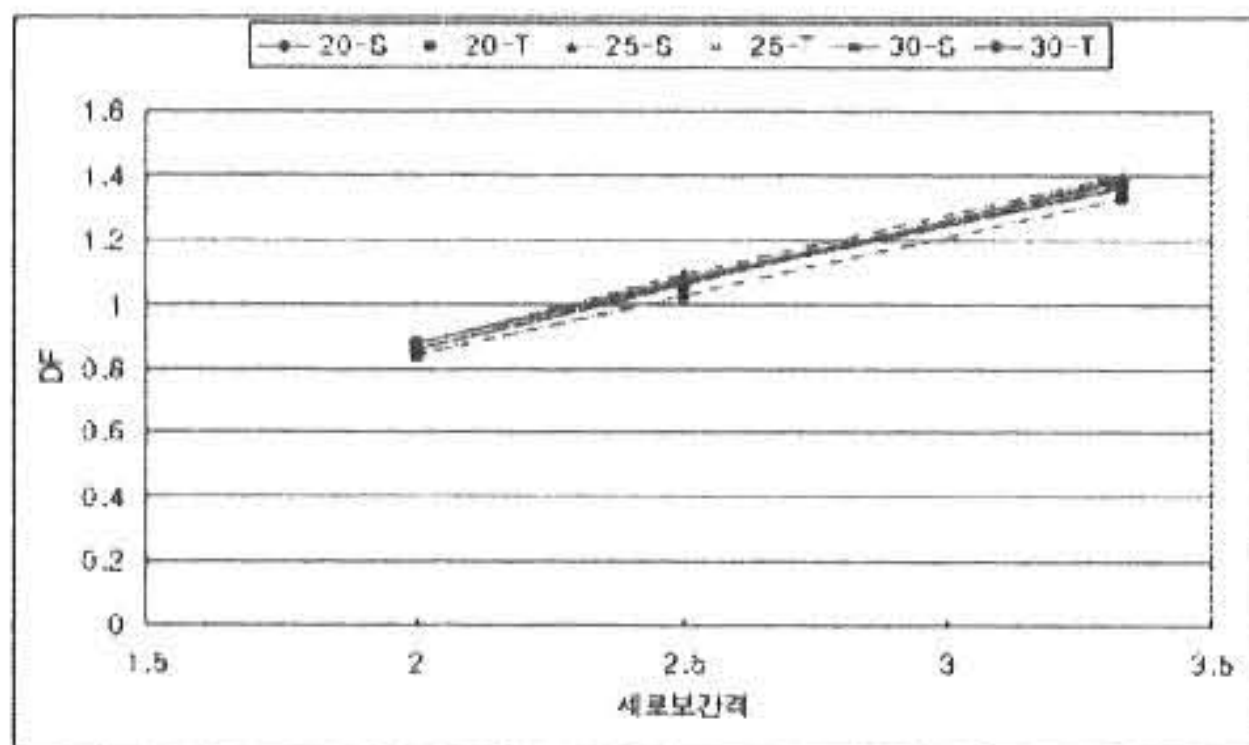


15° 외측



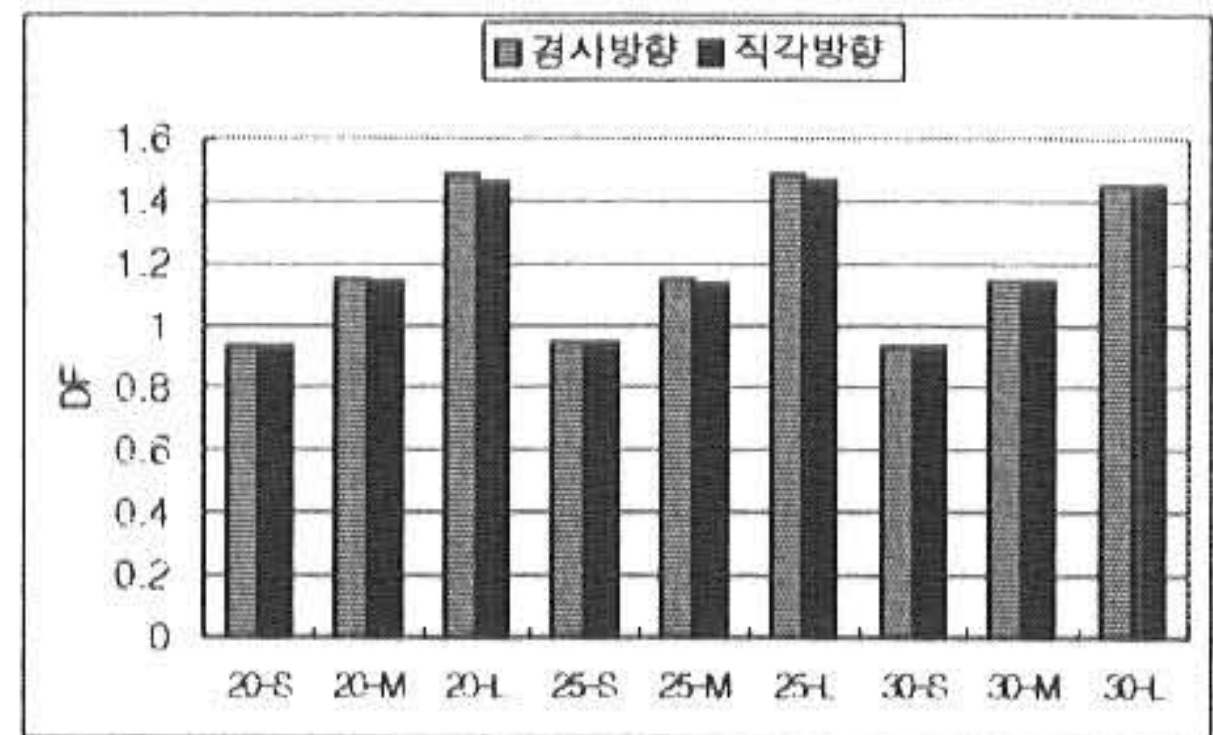
45° 외측

Fig. 3 Tendency of load distribution factor for the spacing of girder

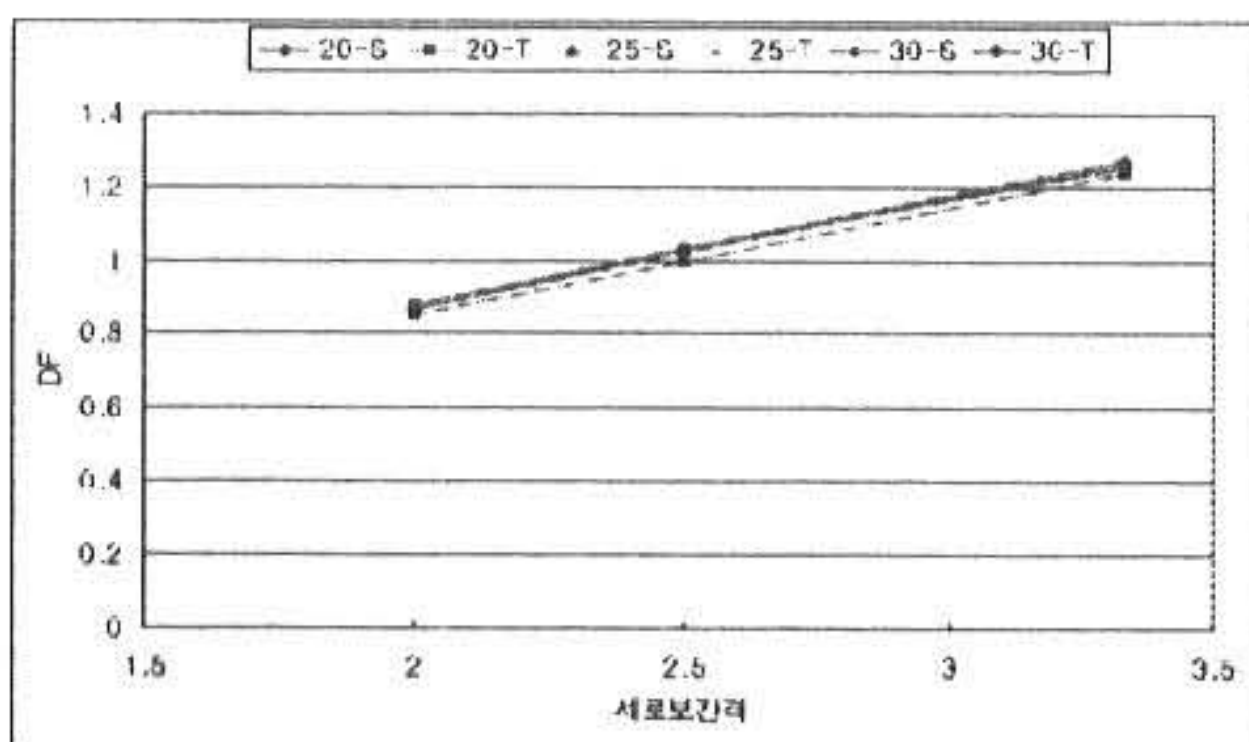


30° 내측

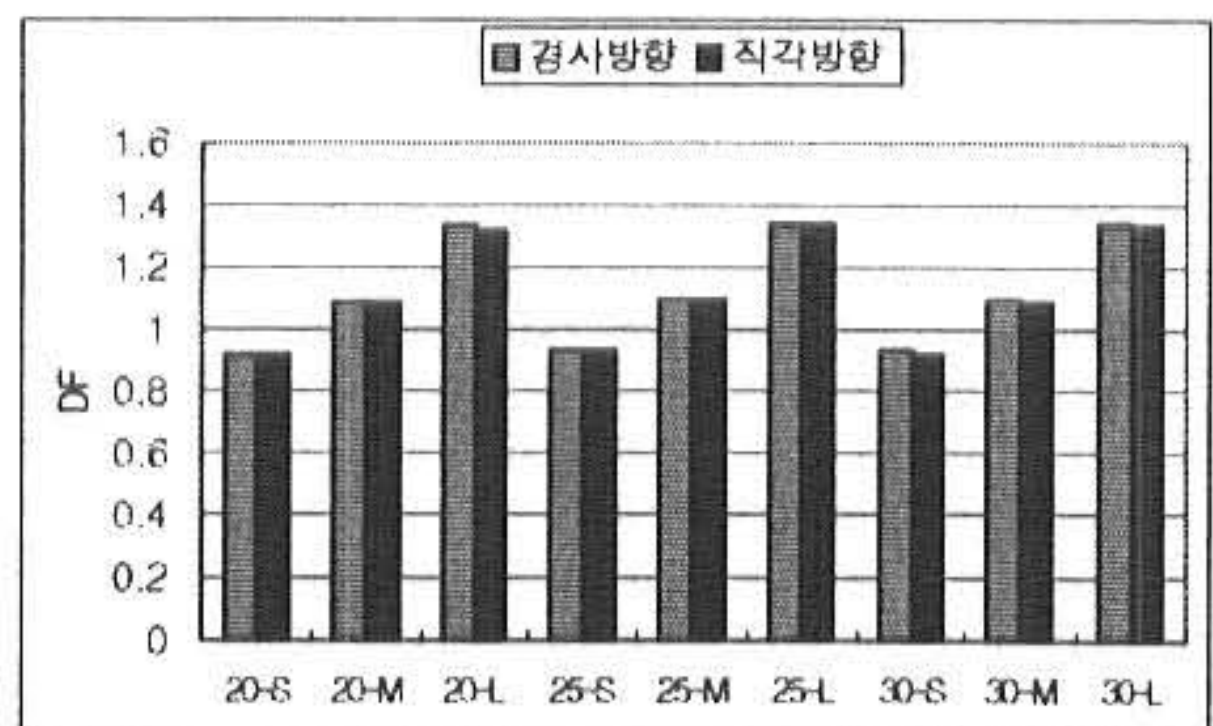
(4) 가로보의 방향별 하중분배 경향



15° 내측

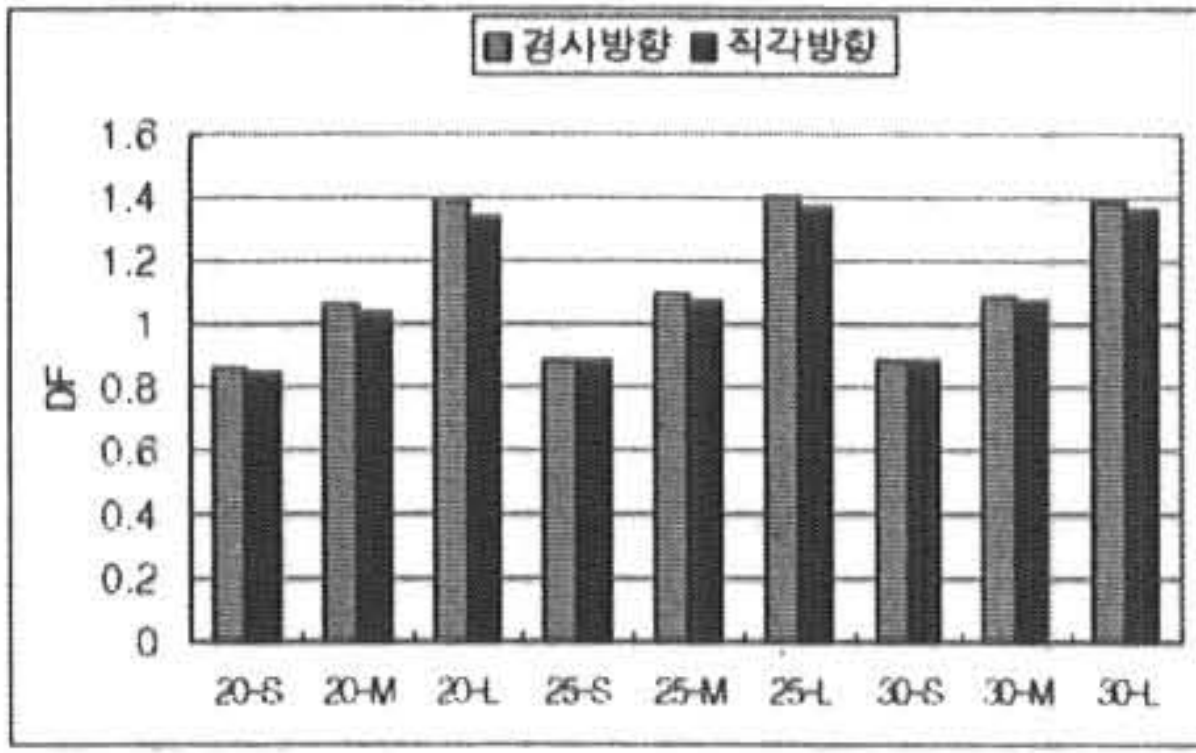


30° 외측

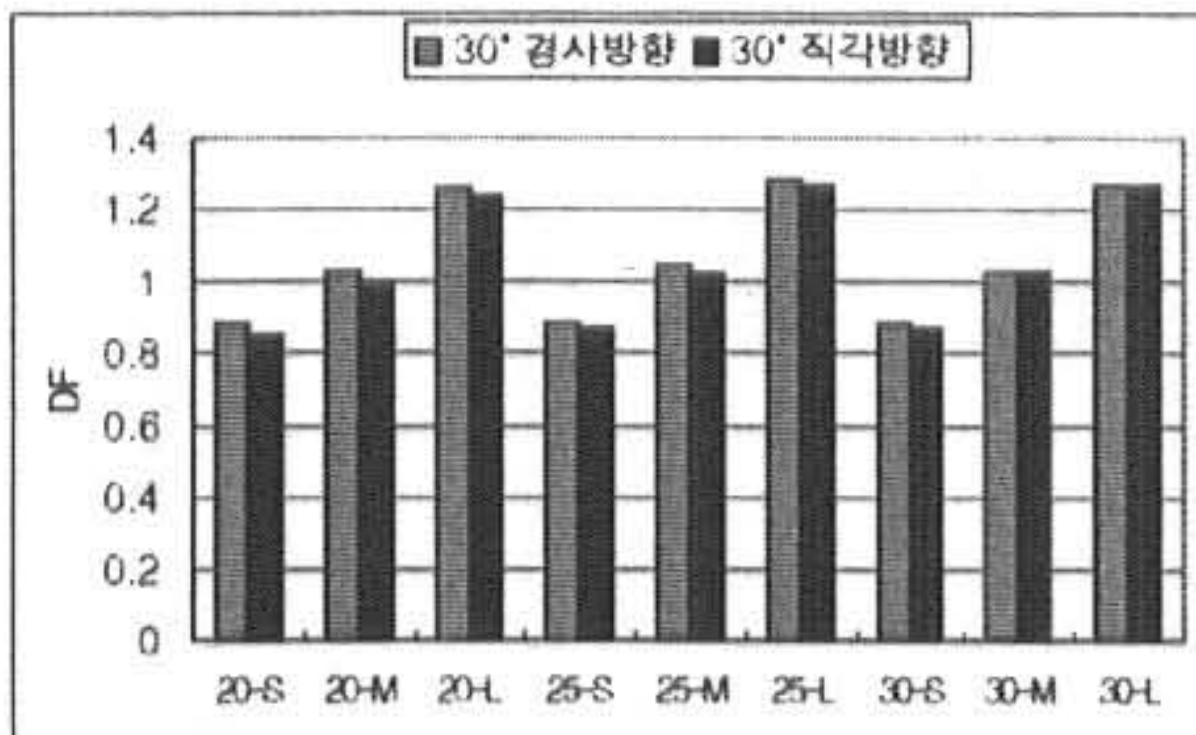


15° 외측

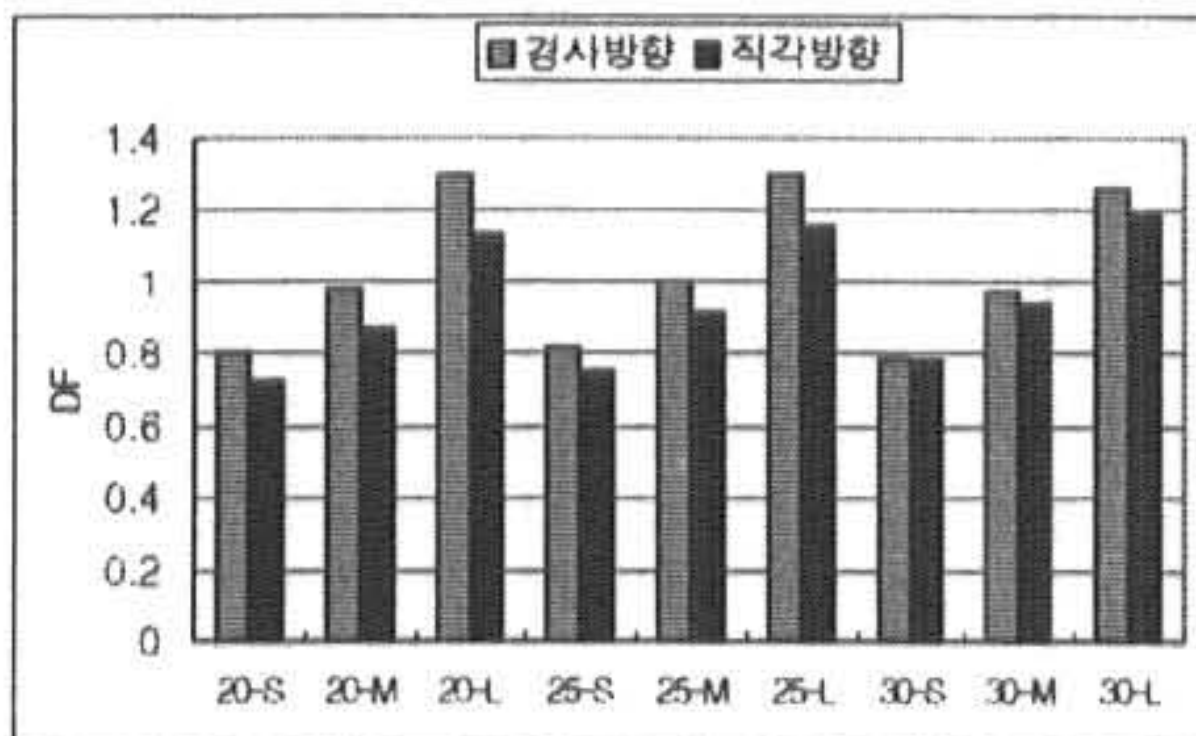




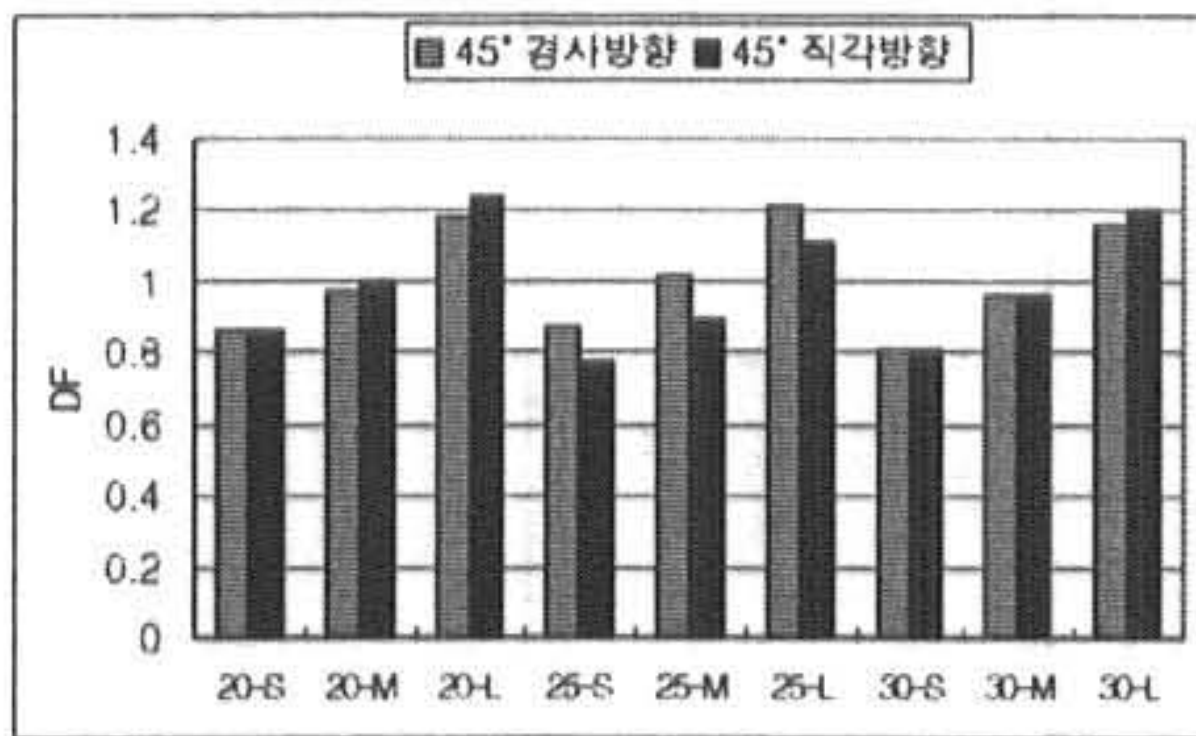
30° 내측



30° 외측



45° 내측



45° 외측

Fig. 4 Tendency of load distribution factor for the direction of diaphragm

내측보와 외측보를 구분하여 가로보의 방향

별 하중분배계수를 막대그래프로 표시하면 Fig. 4와 같다. 그림에서 보면 내측보의 경우 경사 방향보다는 직각방향일 때의 하중분배계수가 약간 작아지고 있으며 이러한 경향은 경사가 클수록 두 계수의 차이가 크게 나타난다. 그러나 외측보의 경우 가로보의 방향과 관계없이 하중분배계수가 거의 같게 나타나고 있다.

### 3.3 기존 시방서식과의 비교

#### (1) 시방서에 의한 하중분배계수의 산정

도로교 표준 시방서에 의한 하중분배계수는 내측부와 외측부를 나누어 다음과 같이 계산하도록 되어 있다.

내측부 :

$$\frac{l}{1.65} \times (1 + i) \times P : 2차선 일 때$$

$$i = \frac{15}{40 + L} \quad L = 20m \rightarrow i = 0.250$$

$$L = 25m \rightarrow i = 0.231$$

$$L = 30m \rightarrow i = 0.214$$

외측부 :

$$\frac{l}{(1.2 + 0.25l)} \times (1 + i) \times P$$

$$: 1.8m < l \leq 4.2m$$

위에서와 같이 도로교 표준시방서에 따른 하중분배계수를 산정한 결과는 다음의 Table 7과 같다.

Table 7. Load distribution factor with Korean bridge design code

구분	가로보간격	지간 20m	지간 25m	지간 30m
내측부	2.00 m	1.515	1.492	1.472
	2.50 m	1.894	1.865	1.839
	3.33 m	2.523	2.484	2.450
외측부	2.00 m	1.471	1.448	1.428
	2.50 m	1.712	1.686	1.663
	3.33 m	2.048	2.017	1.989

한편 AASHTO 시방서에는 내측부와 외측부의 구분없이 다음과 같은 방법으로 하중분배계수를 계산한다.



$$\frac{S}{5.5} (1 + i) \times P$$

여기서 사용단위가 feet 단위이므로 이식을 m 단위로 환산하면 다음과 같다.

$$\frac{S}{1.6764} (1 + i) \times P$$

AASHTO 시방서에 따른 하중분배계수의 산정결과를 각각의 지간별로 나타내면 다음의 Table 8과 같다.

Table8. Load distribution factor with AASHTO

차로보관적	지간 20m	지간 25m	지간 30m
2.00 m	1.491	1.469	1.448
2.50 m	1.864	1.836	1.810
3.33 m	2.483	2.445	2.411

(2) 시방서식과 하중분배계수의 비교

도로교 표준시방서와 AASHTO 시방서의 하중분배계수는 내측부의 경우에는 거의 같은 결과를 나타낸다. 도로표 표준시방서에서는 내측부와 외측부를 구분하고 있으나, AASHTO 시방서에는 내·외측의 구분 없이 적용하고 있어 도로교 시방서의 경우가 더 합리적이라고 볼 수 있다. 도로교 표준시방서의 하중분배계수와 격자해석결과에 의한 하중분배계수(사각 0° 일때)를 비교하면 Table 9와 같다.

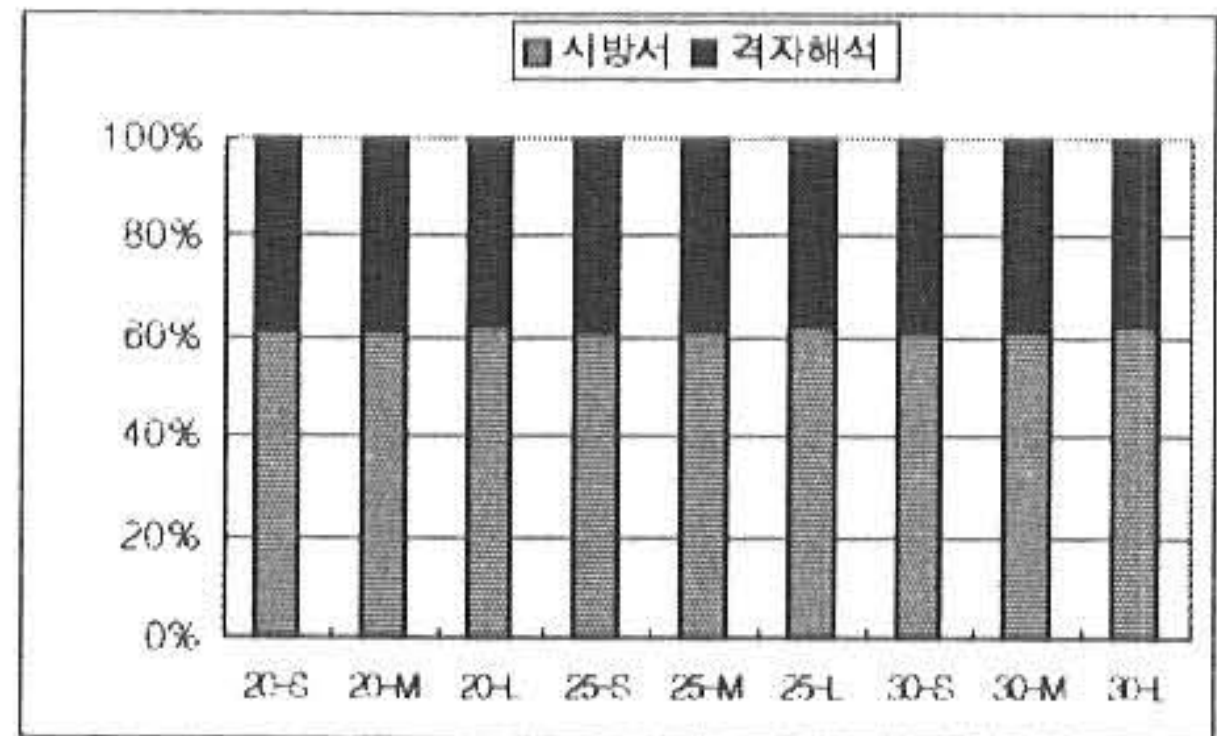
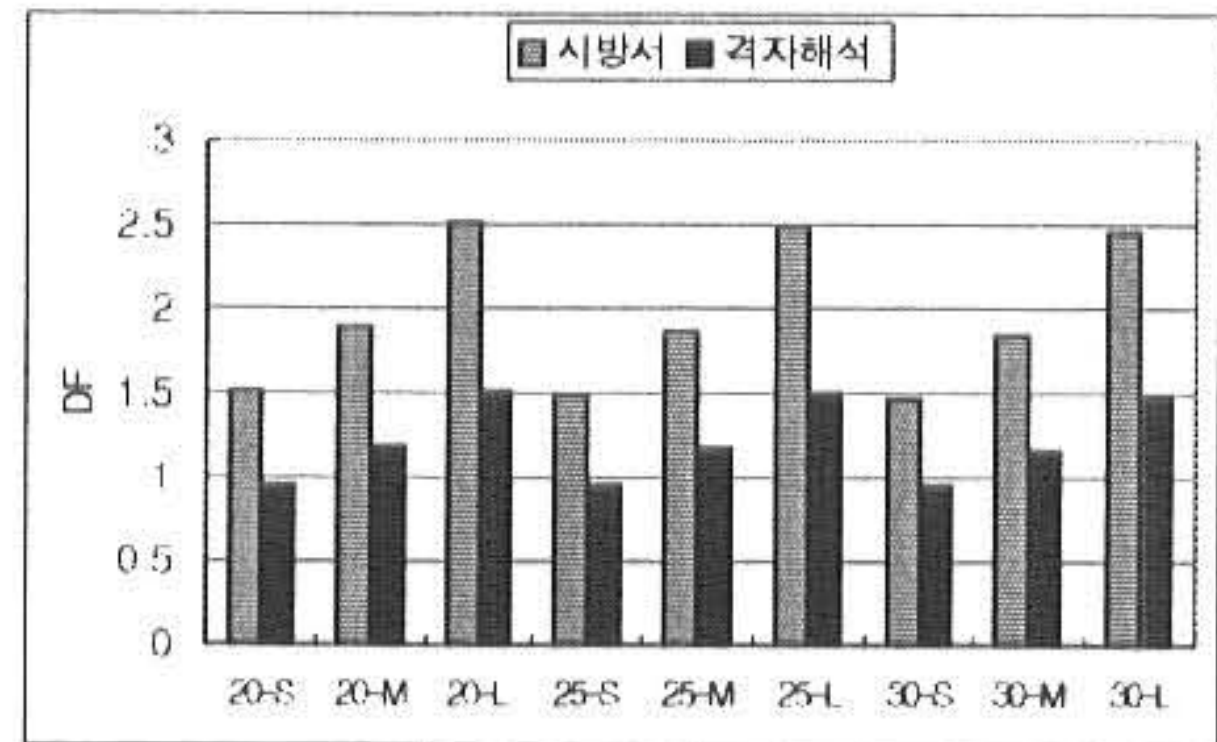
Table9. Comparison of load distribution factor

구분	차로보관적	지간 20m		지간 25m		지간 30m	
		시방서	격자해석	시방서	격자해석	시방서	격자해석
내측부	2.00m	1.515	0.96	1.492	0.95	1.472	0.95
	2.50m	1.894	1.18	1.865	1.17	1.839	1.16
	3.33m	2.523	1.52	2.484	1.50	2.450	1.48
외측부	2.00m	1.471	0.95	1.448	0.95	1.428	0.94
	2.50m	1.712	1.11	1.686	1.11	1.663	1.11
	3.33m	2.048	1.36	2.017	1.36	1.989	1.36

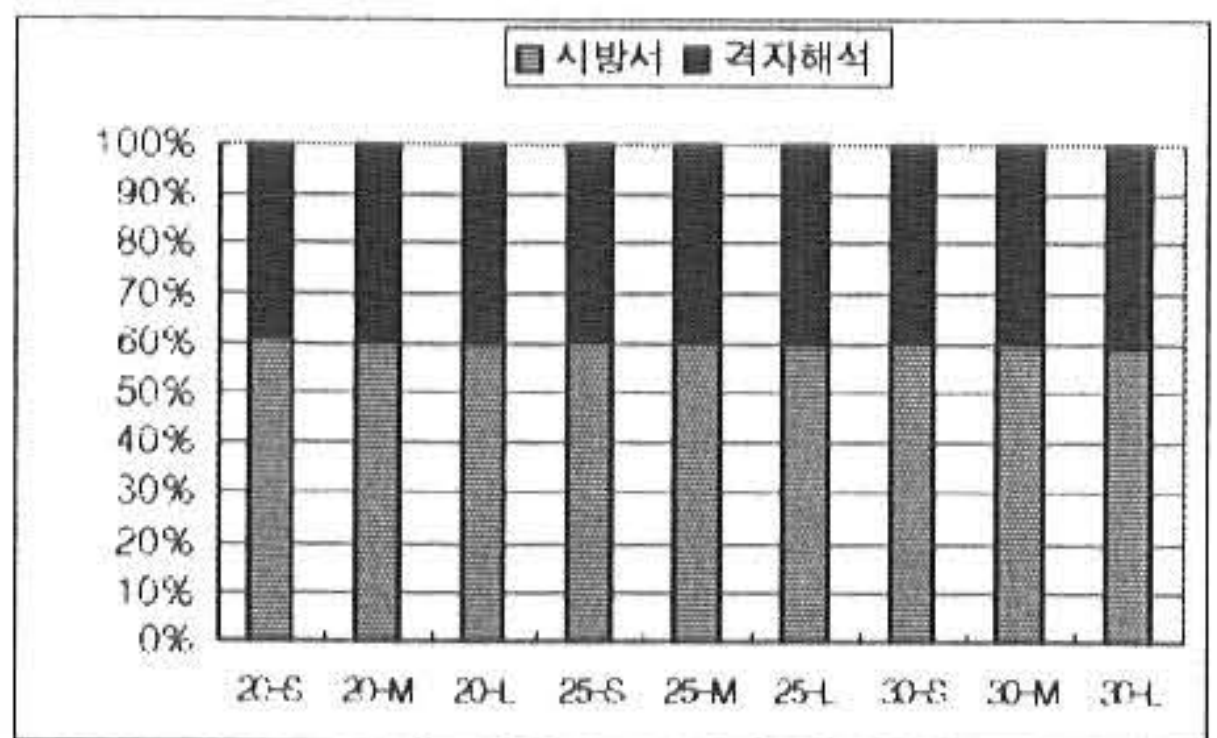
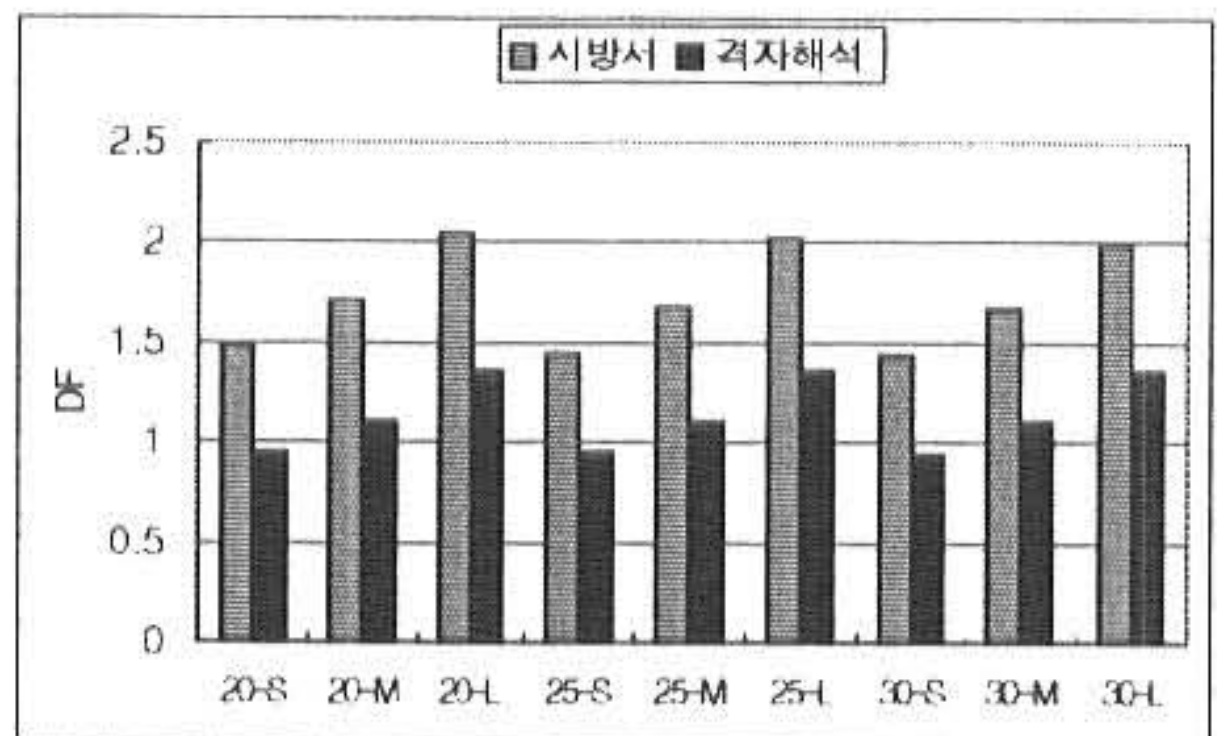
Table 9에서 알 수 있듯이 시방서의 하중분배계수가 격자해석에 의한 계수보다 상당히 큰 값으로 산정 되었다. 이들 하중분배계수간의 비율을 그래프로 표시하면 Fig. 5와 같으며 시

방서식으로 구한 하중계수에 대한 격자해석 하중계수의 비가 60%~62%로 나타나 시방서식은 상당히 안전한 측으로 계산되는 것을 알 수 있다.

3.4 지점반력의 경향분석



내측



외측

Fig. 5 Load factor comparison with grillage analysis and design code



격자해석에 의한 지점반력 값의 최대치와 최소치가 Table 4에 정리되어 있으며, 이를 1차원 하중을 받는 단일보에서의 반력값인 Table 5의 반력값으로 나누어 반력비를 구한 값이 Table 6에 수록되어 있다.

격자해석에 의한 결과는 사각이 커질수록 최대반력과 최소반력의 격차가 커지고 보의 간격이 넓어질수록 반력비가 커지는 것을 알 수 있다. 한편 시방서에 의한 하중분배계수와 반력비와의 비교를 위하여 이를 Table 10에 나타내었다.

Table 10. Comparison of load distribution factor and reaction ratio with design code

(최대/최소)

가로보 간격	지간 20m		지간 25m		지간 30m	
	시방서	반력비	시방서	반력비	시방서	반력비
2.00 m	1.515	1.78 0.38	1.492	2.01 0.44	1.472	1.85 0.49
2.50 m	1.894	2.03 0.50	1.865	2.10 0.56	1.839	2.08 0.61
3.33 m	2.523	2.60 0.69	2.484	2.65 0.71	2.450	2.62 0.80

위의 Table 10에서 보면 반력비의 값이 시방서에 의한 하중분배계수보다 약간 큰 값으로 계산되어 교량설계시 사고의 경우에는 반력 산정을 위하여 격자해석을 할 필요가 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결론

PSC 거더 교량의 하중 횡분배에 관해 격자해석에 의한 하중분배계수와 도로교 표준시방서에 의한 하중분배계수 및 지점반력의 경향을 교량의 지간, 가로보의 간격, 교량의 사각, 가로보의 방향별로 비교 검토하여 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 하중 횡분배 계수는 교량의 지간에는 거의 영향을 받지 않는다.
- 2) 하중 횡분배 계수는 교량의 사각이 커질수록 약간 작아지는 경향이 있으나 그 차이는 미

미하다.

- 3) 교량의 하중 횡분배 계수는 세로보의 간격에 정비례한다고 볼 수 있다.
- 4) 교량의 하중 횡분배 계수는 가로보가 경사방향일때가 직각방향일때 보다 약간 커지지만 큰 차이가 없다.
- 5) 격자해석에 의한 하중분배계수는 도로교 표준시방서에 의한 분배계수의 60% 수준으로 도로교 시방서의 값을 사용하면 상당히 안전한 측으로 계산이 된다. 다만, 반력비는 격자해석에 의한 값이 시방서의 하중분배계수보다 좀더 크게 산정되므로 사각이 큰 교량의 지점반력은 시방서식에 따라 계산한 것보다 크게 될 수 있다. 따라서 사각이 큰 교량의 교좌장치 규격은 격자해석에 의하여 결정할 필요가 있다.

#### 참고문헌

- 1) AASHTO. : Standard Specifications for Highway Bridges, 1992.
- 2) AASHTO. : AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 1994.
- 3) E. C. Hambly : Bridge Deck Behaviour, 2nd edition, E & FN SPON, 1991.
- 4) B. O. Kuzmanovic and M. R. Sanchez : Lateral Distribution of Live on Highway Bridges, Journal of the Structural Division, ASCE, pp 1847-1862, 1986.
- 5) Ministry of Transportation and Communications : Ontario Highway Bridge Design Code, 1983.
- 6) Kumar C. Natesaiyer : Influence Surfaces for Highway Bridge Decks, University of Florida, 1984.
- 7) Demetrios E. Tonias, P. E. : Bridge Engineering, Mc Graw Hill, 1995.
- 8) 한국도로공사 : 고속도로 건설공사 표준도, 1997.
- 9) 최영섭 : 토목구조설계 실무자를 위한 구조설계자료, 건설도서, 1998.
- 10) 건설교통부 : 도로교 표준시방서, 1996.
- 11) 건설교통부 : 도로교 표준시방서(부록) 하중-저항계수 설계편, 1996.
- 12) 정진환, 김성도, 최홍달, 이상문, 서외택, 김형석 : PC 주형으로 구성된 지하철 고가부분의 합리적인 구조해석 모델에 관한 연구, 1997년도 학술발표회 논문집(1), pp 435-438.



- 13) 한국도로공사 : 도로설계실무편람, 구조물공. 제1권, 1996.
- 14) 한국도로공사 : 설계실무자료집(통합본), 중권, 1996.
- 15) 토목구조물설계예시리즈, 2권 : PC교의 설계계산예, 건설도서, 1990.

---

(2001년 2월 26일 접수, 2001년 5월 15일 채택)