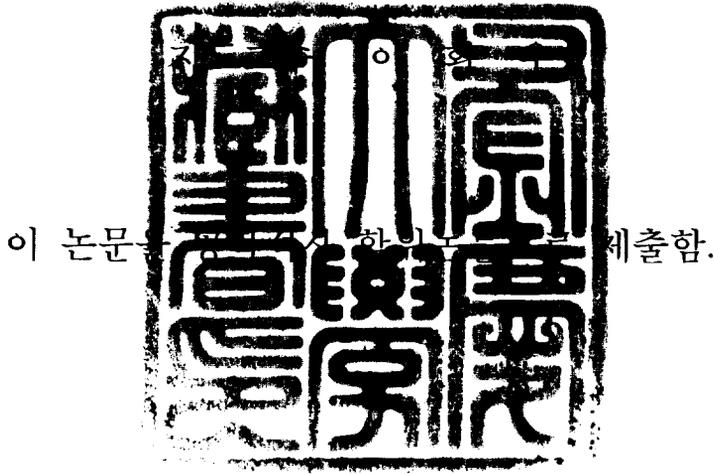


공학석사 학위논문

I형 PSC 거더교를 위한
구조해석 모델의 비교



2006년 2월

부경대학교 대학원

토목공학과

이 동 준

이동준의 공학석사 학위논문을 인준함

2006년 2월 24일

주 심 공학박사 장 희 석



위 원 공학박사 김 명 식



위 원 공학박사 이 환 우



목 차

1. 서 론	1
1.1 연구배경 및 목적	1
1.2 연구 동향	2
1.3 연구방법 및 범위	7
2. 기존 분배계수 상부구조모델	8
2.1 AASHTO Standard Specifications	8
2.2 AASHTO LRFD Bridge design Specifications	13
2.2.1 활하중 분배계수식	13
2.2.2 특수 기준	18
3. 모델링 선정	20
3.1 개요	20
3.2 모델 분류	24
3.2.1 격자모델	24
3.2.2 바닥판 상세 구조모델	26
3.2.3 상세모델	29
3.3 해석모델 선정	35
4. 수치 해석	48
4.1 대상 교량	48
4.1.1 대상 교량의 제원 및 설계조건	48
4.2 하중 재하	51

4.3 수치해석결과	55
4.3.1 종방향 휨모멘트	57
4.3.2 응력	60
4.3.3 처짐	64
5. 해석결과 분석	68
5.1 모델별 응력 비교	69
5.1.1 가로보 없는 모델 응력 비교	69
5.1.2 가로보 있는 모델 응력 비교	76
5.1.3 가로보 형태에 따른 모델 응력 비교	82
5.2 모델별 처짐 비교	91
5.2.1 가로보 없는 모델 처짐 비교	91
5.2.2 가로보 있는 모델 처짐 비교	97
5.2.3 가로보 형태에 따른 모델 처짐 비교	100
5.3 분석결과	108
6. 결 론	111
참고문헌	113
감사의 글	117

그림 목 차

그림 2.1 축하중의 분배개념	9
그림 2.2 교축방향 모멘트를 위한 분배 형태	10
그림 2.3 교축직각방향 단면에서 교축방향 모멘트 분배	11
그림 2.4 활하중 분배계수식의 개발	13
그림 2.5 평면 격자모델	15
그림 2.6 유한요소모델	16
그림 2.7 가로보와 격벽에 의한 강체거동	18
그림 3.1 사용된 해석 요소	23
그림 3.2 격자 요소망	25
그림 3.3 바닥판 상세 M2-PCG 모델	27
그림 3.4 바닥판 상세 M2-PEG 모델	28
그림 3.5 상부구조 상세모델 구성 요소	29
그림 3.6 M3-PBPB	31
그림 3.7 M3-PPPP	31
그림 3.8 M3-PSSS	32
그림 3.9 M3-SBPB	33
그림 3.10 M3-SPPP	33
그림 3.11 M3-SSSS	34
그림 3.12 해석예제 구성	35
그림 3.13 M2-PCG	37
그림 3.14 M2-PEG	39
그림 3.15 M2-SEG	39
그림 3.16 M3-PSSS	40

그림 3.17 M3-PPPP	40
그림 3.18 M3-PPBP	41
그림 3.19 M3-SPPP	41
그림 3.20 M3-SSSS	42
그림 3.21 M1 구조해석모델	44
그림 3.22 M2 구조해석모델(M2-PCG)	45
그림 3.23 M3 구조해석모델(M3-PSSS)	46
그림 3.24 M3 구조해석모델(M3-SSSS)	47
그림 4.1 교량 일반도	49
그림 4.2 I형 거더 상세도	50
그림 4.3 가로보 상세도	50
그림 4.4 종방향 차량하중 재하	52
그림 4.5 차량하중 재하 위치	53
그림 4.6 단면력 산정위치	55
그림 4.7 거더번호	56
그림 5.1 거더 응력분포(case 1)	69
그림 5.2 거더 응력분포(case 2)	70
그림 5.3 거더 응력분포(case 3)	70
그림 5.4 거더 응력분포(case 4)	73
그림 5.5 거더 응력분포(case 5)	73
그림 5.6 거더 응력분포(case 6)	74
그림 5.7 거더 응력분포(case 1)	76
그림 5.8 거더 응력분포(case 2)	76
그림 5.9 거더 응력분포(case 3)	77
그림 5.10 거더 응력분포(case 4)	79
그림 5.11 거더 응력분포(case 5)	79

그림 5.12 거더 응력분포(case 6)	80
그림 5.13 거더 응력분포(case 1)	82
그림 5.14 거더 응력분포(case 2)	83
그림 5.15 거더 응력분포(case 3)	83
그림 5.16 거더 응력분포(case 4)	84
그림 5.17 거더 응력분포(case 5)	85
그림 5.18 거더 응력분포(case 6)	85
그림 5.19 거더 응력분포(case 1)	87
그림 5.20 거더 응력분포(case 2)	87
그림 5.21 거더 응력분포(case 3)	88
그림 5.22 거더 응력분포(case 4)	88
그림 5.23 거더 응력분포(case 5)	89
그림 5.24 거더 응력분포(case 6)	89
그림 5.25 거더 처짐분포(case 1)	91
그림 5.26 거더 처짐분포(case 2)	92
그림 5.27 거더 처짐분포(case 3)	92
그림 5.28 거더 처짐분포(case 4)	94
그림 5.29 거더 처짐분포(case 5)	95
그림 5.30 거더 처짐분포(case 6)	95
그림 5.31 거더 처짐분포(case 1)	97
그림 5.32 거더 처짐분포(case 2)	97
그림 5.33 거더 처짐분포(case 3)	98
그림 5.34 거더 처짐분포(case 4)	98
그림 5.35 거더 처짐분포(case 5)	99
그림 5.36 거더 처짐분포(case 6)	99
그림 5.37 거더 처짐분포(case 1)	100

그림 5.38 거더 처짐분포(case 2)	101
그림 5.39 거더 처짐분포(case 3)	101
그림 5.40 거더 처짐분포(case 4)	102
그림 5.41 거더 처짐분포(case 5)	102
그림 5.42 거더 처짐분포(case 6)	103
그림 5.43 거더 처짐분포(case 1)	104
그림 5.44 거더 처짐분포(case 2)	104
그림 5.45 거더 처짐분포(case 3)	105
그림 5.46 거더 처짐분포(case 4)	105
그림 5.47 거더 처짐분포(case 5)	106
그림 5.48 거더 처짐분포(case 6)	106

표 목 차

표 2.1 AASHTO Standard에 의한 방법	12
표 2.2 AASHTO LRFD에 의한 방법	15
표 3.1 외국문헌 구조해석모델 적용 예	21
표 3.2 국내문헌 구조해석모델 적용 예	21
표 3.3 상부구조모델 명칭 기준(M2)	26
표 3.4 상부구조모델 명칭 기준(M3)	29
표 3.5 재료 특성치	35
표 3.6 해석예제 단면특성치	36
표 3.7 구조모델별 응력과 처짐량	42
표 3.8 적용가능 모델	43
표 4.1 교량 제원	48
표 4.2 재료 특성치	48
표 4.3 설계 차로 수	51
표 4.4 M1-GCG-0 모델의 거더 모멘트	57
표 4.5 M1-GCG-1 모델의 거더 모멘트	57
표 4.6 M2-PEG-0 모델의 거더 모멘트	58
표 4.7 M2-PEG-1C 모델의 거더 모멘트	58
표 4.8 M2-PEG-1E 모델의 거더 모멘트	58
표 4.9 M2-PCG-0 모델의 거더 모멘트	59
표 4.10 M2-PCG-1 모델의 거더 모멘트	59
표 4.11 M1-GCG-0 모델의 거더 응력	60
표 4.12 M1-GCG-1 모델의 거더 응력	60
표 4.13 M2-PEG-0 모델의 거더 응력	60

표 4.14 M2-PEG-1C 모델의 거더 응력	61
표 4.15 M2-PEG-1E 모델의 거더 응력	61
표 4.16 M2-PCG-0 모델의 거더 응력	61
표 4.17 M2-PCG-1 모델의 거더 응력	62
표 4.18 M3-PSSS-0 모델의 거더 응력	62
표 4.19 M3-PSSS-1C 모델의 거더 응력	62
표 4.20 M3-PSSS-1E 모델의 거더 응력	63
표 4.21 M3-SSSS-0 모델의 거더 응력	63
표 4.22 M3-SSSS-1 모델의 거더 응력	63
표 4.23 M1-GCG-0 모델의 거더 처짐	64
표 4.24 M1-GCG-1 모델의 거더 처짐	64
표 4.25 M2-PEG-0 모델의 거더 처짐	64
표 4.26 M2-PEG-1C 모델의 거더 처짐	65
표 4.27 M2-PEG-1E 모델의 거더 처짐	65
표 4.28 M2-PCG-0 모델의 거더 처짐	65
표 4.29 M2-PCG-1 모델의 거더 처짐	66
표 4.30 M3-PSSS-0 모델의 거더 처짐	66
표 4.31 M3-PSSS-1C 모델의 거더 처짐	66
표 4.32 M3-PSSS-1E 모델의 거더 처짐	67
표 4.33 M3-SSSS-0 모델의 거더 처짐	67
표 4.34 M3-SSSS-1 모델의 거더 처짐	67
표 5.1 응력의 비와 기울기 비교(case1)	71
표 5.2 응력의 비와 기울기 비교(case2)	72
표 5.3 응력의 비와 기울기 비교(case3)	72
표 5.4 응력의 비와 기울기 비교(case4)	74
표 5.5 응력의 비와 기울기 비교(case5)	75

표 5.6	응력의 비와 기울기 비교(case6)	75
표 5.7	응력의 비와 기울기 비교(case1)	77
표 5.8	응력의 비와 기울기 비교(case2)	78
표 5.9	응력의 비와 기울기 비교(case3)	78
표 5.10	응력의 비와 기울기 비교(case4)	80
표 5.11	응력의 비와 기울기 비교(case5)	81
표 5.12	응력의 비와 기울기 비교(case6)	81
표 5.13	처짐의 비와 기울기 비교(case1)	93
표 5.14	처짐의 비와 기울기 비교(case2)	93
표 5.15	처짐의 비와 기울기 비교(case3)	94
표 5.16	처짐의 비와 기울기 비교(case4)	96
표 5.17	처짐의 비와 기울기 비교(case5)	96
표 5.18	처짐의 비와 기울기 비교(case6)	96

Comparison of structural Analysis Models on PSC I-Girder Bridges

Dong-Jun Lee

*Department of Civil Engineering, Graduate School,
Pukyong National University*

Abstract

Methods to determine the section force of a bridge are Finite Element Method, grillage analysis, transverse load distribution. Although there are many analysis models for prestressed concrete I-girder bridges, comparative studies on those models are relatively insufficient. For this reason, a study on the comparison and evaluation of analysis models in the process to determine the section force of a bridge should be firstly done. In order to compare structure analysis models which influence on the calculations of the capacity of a bridge, models which exactly reflect on the behavior of structures and are possible to interpret various geometric structures and significant design variants of a bridge are chosen in this paper. The bridges which are used for the structure analysis is road bridges with a span of thirty meters, prestressed concrete I-girder bridges.

Interpreting the structures of grillage model (M1), detailed model for deck plate (M2) and detailed model (M3) in the literature review of local and overseas structure analysis models, this paper compares and analyzes the stress and the size of the drooping according to each model with the stress of the cross beam arrangement (centers of deck plate and section of cross beam) and the size and distribution of drooping.

The comparison of the results of the structure analysis showed that in the case with a cross beam, in the first map of stress distribution M1 and M2-PCG, both plane models are similar to each other, and solid models of M2-PEG and M3 affiliate model resemble each other. This is interpreted to affect on the lateral stiffness of a bridge according to the eccentricity of crossbeam.

In the analysis on the second map of a drooping distribution, M2-PCG model always have low value, which is the possible consequence of the piled stiffness according to the effective width of the synthesis of vertical structures. On the other hand, M1 was analyzed to have the highest value. This is considered to be generated since stiffness is concentrated on the vertical and lateral structures, which is characteristic of the analysis model, and this results from the concentrated pathways of load distribution according to the locations of lateral structures.

In the third analysis according to the arrangement of a cross beam, it was found that the lateral stiffness was influenced by the synthetic reaction with the deck plate according to the location of the cross beam. Therefore it is interpreted that the model of a cross beam and structural performance affects on the distribution of drooping and the stress.

The comparison results between structure analysis modes are drawn, standardizing the most specific structure analysis model for a bridge, M3 affiliates.

Among M2 affiliates, M2-PEG, in which a neutral axis of vertical and lateral structures can be considered, is determined to be the most appropriate model. As for M3 affiliates, the most suitable model is M3-PSSS, which is relatively easy for deck plate models according to the geometric structure of a bridge, since there are no significant differences between models.

keyword: Prestressed concrete I-girder bridges, structure analysis model, grillage model(M1), detailed model of deck plate(M2), detailed model(M3), M2-PEG model, M3-PSSS model

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

I형 PSC 거더 교량의 설계에서 단면력은 교량 부재 크기를 결정하는 과정에 있어 가장 중요한 사항이다.

교량의 설계 단면력 결정은 유한요소해석, 격자해석 그리고 국내·외의 설계 기준에서 제시하고 있는 하중 횡분배를 포함한 하중 분배 방법을 사용하여 결정할 수 있다.

설계 기준의 하중 분배식은 적용하기에 간편하고 단순한 형태로 구성되어 있다. 그러나 국내·외 활하중 분배식[건설교통부, 2005, AASHTO, 1996]에 대한 많은 연구자들의 연구 결과에 의하면 일부 교량에서 교량의 기하구조에 따라 과대 또는 과소평가 되고 있음을 알 수 있다. 국내의 경우 하중 분배 개념은 관용법[한국도로공사, 1996]과 도로교설계기준[건설교통부, 2005]에 의한 방법은 활하중 횡분배 개념으로 잘 알려져 있으며 설계자의 경험과 판단에 따라 다양하게 적용되고 있다.

본 논문에서 설계 기준과 현재 관행적으로 사용되는 활하중 분배방법을 정확히 평가하기 위하여 I형 PSC 거더교 상부구조 해석모델을 평가하고자 한다.

연구 문헌[NCHRP 12-26, 1991]에 적용된 구조해석모델과 설계자에 따라 다양한 구조해석모델을 이용하여 I형 PSC 거더 교량의 거동을 평가하고 있다. 그러나 구조해석모델의 전반적인 비교 평가는 다소 미흡한 실정이라 할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 현재 사용되고 있거나 교량의 이상화가 가능한 구조 모델의 전반적인 특성과 거동을 비교 평가할 것이다. 그리고 사용된 해석요소와 모델에 따른 특성분석도 포함하여 비교 평가하고자 한다.

1.2 연구 동향

활하중 분배계수 산정을 위한 연구는 National cooperative Highway Research Program 12-26[NCHRP 12-26, 1991, 이하 NCHRP 12-26]이후 활발하게 이루어지고 있다. 활하중 분배계수 산정을 위한 연구 중 구조모델의 선정은 기본적인 정밀도를 확보할 수 중요한 부분이라 할 수 있다. 교량 구조의 거동을 분석하기 위해 많은 연구자들에 의해 다양한 구조모델이 사용되고 있으며 실험 결과와 비교할 때 잘 일치하는 결과를 얻는 것으로 보고 되고 있다. 이러한 구조모델을 전체적으로 크게 3가지 형태로 분류 할 수 있다.

첫 번째 구조모델은 교량을 종·횡 방향 부재인 보로 이상화 시킨 격자 구조모델이며 가장 단순한 형태의 수치 해석용 모델이다.

두 번째 교량 바닥판은 상세 모델로 I형 PSC 거더는 보요소를 사용한 형태의 구조모델이며 가장 널리 사용되고 있다.

세 번째 사용되고 있는 구조모델 중 가장 복잡한 형태이며 교량의 거동을 가장 잘 반영하고 있으나 그 과정에서 소요되는 계산시간, 출력물 정리의 어려움을 이유로 널리 사용되지는 않고 있는 수치해석 모델이다.

먼저 국내연구 동향으로는 바닥판을 가지는 교량 중 거더의 종류에 따라 분류할 수 있다. 사용된 거더는 강재 I형 거더와 PSC I형 거더로 요약할 수 있다. 먼저 강재 I형 거더 경우 이학은 등은 합성 I-형교의 횡방향 하중분배[이학은, 1995]에서 AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges[AASHTO, 1996, 이하 AASHTO Standard] 활하중 분배계수를 평가하고 새로운 식을 제안하였다. 그리고 사용된 구조 모델은 격자해석 법을 적용하였다.

김상진 등은 I형 강교 주형 하중분배 계수와 충격 계수에 관한 현장실

협[김상진, 1999]은 현장 실험의 기법과 결과분석 방법을 제시하였고, 또한 AASHTO Standard 활하중 분배 계수 값과 비교하여 설계 기준 값이 과대 산정되는 것을 발표하였다.

서종철은 유한요소 해석을 통한 윤하중 분배계수의 적정성 분석[서종철, 1998]은 4가지 구조모델을 평가하였으며 평가된 구조모델은 바닥판 상세 모델과 바닥판과 거더를 상세하게 모델링 하였다. 분석결과 4가지 모델 모두 좋은 결과를 얻을 수 있었고 해석 구조모델은 사용하기가 상대적으로 수월한 평면 모델을 추천하고 있다.

방성용은 PSC 거더 교량의 경우 RC-T형교 비선형 거동 하중 분배해석[방성용, 1995]에서 재하 실험에 의해 각 거더의 하중분배 특성을 재하 하중과 측정 변위와의 관계로부터 구조모델의 비선형 거동방정식을 유도하였고, 해석치와 비교하였다. 탄성 영역에서는 잘 일치하였으나 비선형 영역에서는 하중의 재분배로 오차가 발생하는 것을 연구하였다.

이학은 등은 영향면을 이용한 합성형 교량의 하중분배 변동성 연구[이학은, 1997]에서 바닥판 상세 모델을 이용하여 영향면 해석을 실시하였다.

오병환은 PSC 합성거더 실교량의 극한 거동 및 하중분배 특성연구[오병환, 2001]에서는 바닥판은 셀요소를 PSC 거더는 보요소로 PSC 강선은 트러스요소를 사용하여 사용 하중하에서 거더 분배계수에 대한 연구를 수행하였다.

구민세는 2경간 연속 프리스트레스 콘크리트 사교의 윤하중 분배에 관한 연구[구민세, 2003]에서 교량의 변수인 지간, 거더간격, 사각 종·횡 부재 강성비등을 고려한 바닥판 상세 모델인 편심모델을 사용하여 활하중 분배계수를 평가하였다. 그리고 AASHTO Standard와 비교 분석하고 새로운 분배 계수 식을 발표하였다.

김진호는 슬래브를 가지는 PSC-Beam 교량의 차량하중 분배계수 산정 연구[김진호, 2004]에서 곡선교를 바닥판 상세 모델인 편심 모델을 사용하

였다. 연구내용은 교량 매개변수 해석을 실시하여 곡선형 슬래브 PSC 거더 교량의 활하중 분배식을 제안하였다.

국외의 연구에서 AASHTO LRFD Bridge design Specifications [AASHTO, 2004, 이하 AASHTO LRFD] 활하중 분배 설계식은 1991년 NCHRP 12-26[Zokaie, 1991]의 연구결과에 기초하고 있고 AASHTO Standard의 설계보다는 다소 복잡하다. 하지만 교량의 변수인 지간장, 거더간격, 종방향 강성비 등을 포함하고 있다.

NCHRP 12-26는 미국 각주에서 획득한 교량 자료로부터 거더간격, 지간장, 바닥판 두께 등의 매개변수 범위를 결정하고 평균특성치를 갖는 “표준교량(Average Bridge)을 결정하였다. 표준 교량으로부터 독립적인 변수 민감도 해석을 실시하여 활하중 분배계수식을 유도하였다.

Clifford O. Hays 등은 유한요소방법(Finite Element Method)을 이용해 횡하중 분배에 관한 연구[Clifford O. Hays, 1986]에서 하중 분배 계수 평가용 프로그램 개발 목적으로 강재 I형 거더와 PSC I형 거더의 바닥판 상세 구조 모델을 사용하였다.

Tarek Ebeido 등에 의해 연속 합성사교에서의 거더 모멘트 연구 [Tarek Ebeido, 1996]에서 600개의 교량에 대해 바닥판 상세 모델을 이용하여 활하중 분배계수를 평가하는 연구를 수행하였다.

Mounir E. Mabsout 등에 의해서 강재 거더교에서 횡하중 분배에 대한 다중차선의 효과 연구[Mounir E. Mabsout, 1999]에서는 바닥판과 거더를 모두 상세모델로 해석을 실시하고 수치모델과 실험치를 비교하여 지점 경계조건으로 스프링 상수를 결정하였다. 그리고 AASHTO Standard와 AASHTO LRFD 분배계수를 평가하였다.

Sami W. Tabsh등은 설계하중을 초과하는 크기의 트럭하중에 대한 거더교에 활하중 분배 연구[Sami W. Tabsh, 2001]에서 바닥판과 거더를 상세하게 바닥판은 셀요소로 거더 상·하부 플랜지는 보요소로 거더 복부는

셀요소를 사용한 구조모델을 이용하였다. 트럭에 따른 수정계수를 개발하기 위해 활 하중 분배 계수에 미치는 영향을 분석하였다.

PSC 거더 교량의 경우 최근의 연구 동향을 정리하면 논문의 방향은 대개 실험 치와 수치해석치의 비교 후 설계기준의 활하중 분배계수를 평가 하였다. 수치 해석모델은 교량 상부구조 요소 즉 채움재, 다이어프램 사각, 캔틸레버 길이, 연속성 등을 고려한 분석하였다.

Francesco M. Russo등은 이동하중의 충격에 의해 손상된 PSC교량의 하중 테스트 연구[Francesco M. Russo, 1998]의 연구에서 피해손상 유무에 따라 교량의 형상 실험을 실시하여 처짐을 측정하고 활하중 분배의 변화를 연구하였다.

Mohsen Shahawy등은 콘크리트 슬래브 거더교에서 횡하중 분배의 분석과 현장실험에 관한 연구[Mohsen Shahawy, 2001]의 연구에서 바닥판 상세 모델을 이용하여 525개의 교량에 대해 해석을 실시하였다. 해석결과 바탕으로 AASHTO LRFD 분배식 중 내측거더 2차선이상 외측거더 1차선에 대해 AASHTO LRFD 분배식의 수정 계수를 연구하였다.

2001년 Michael Shwarz는 횡하중에 의한 I형 PSC 거더교의 영향 연구 [Michael Shwarz, 2001]를 통하여 현장 실험과 격자 모델의 분배계수를 비교 평가하였고 구조 모델의 특징은 단계별로 중간 격벽 미고려, 중간 격벽 고려하면서 분배계수를 평가하였다. 실험과 모델의 비교에서 비교적 짧은 지간 장에서는 중간 격벽을 무시하는 것이 좋은 결과를 가져오는 것으로 분석하였다.

Paul J. barr 등은 PSC거더교에서의 활하중 분배[Paul J. barr, 2001]의 연구에서 바닥판 상세 모델을 이용하여 활하중 분배 계수 변화를 분석하였다. 모델은 1단계 ~ 5단계로 나누었고 1단계는 주 부재만을 고려한 기본모델이며 2단계는 채움재고려, 3단계는 중간 다이어프램 고려, 4단계는 단부 다이어프램 고려, 5단계는 연속형을 적용 분석하였다. 그 결과 채움

재 횡방향 강성의 증가로 분배계수를 감소 시켰다. 중간 다이아프램은 외측거더는 증가하였고 내측거더는 감소를 가져왔다. 단부 다이아프램은 내·외측 거더에서 분배계수를 감소시키는 효과를 가져왔다.

Ali R. Khaloo 등은 단순 지지된 사교에서의 활하중 분배 계수에 관한 연구[Ali R. Khaloo, 2003]에서 바닥판 상세 모델을 이용하여 교량 실험치와 비교하였다. 연구에서 거더 간격은 1.8m, 2.7m, 지간장은 25 ~ 35m, 사각은 0 ~ 60° 까지 변화하면서 활하중 분배계수의 변화를 분석하였다. 사각은 커질수록 종방향 활하중 분배계수를 감소시켰고 지간장은 다이아프램을 갖는 교량에서 외측거더는 증가시켰으며 내측거더는 민감하게 반응하지 않는 것으로 분석하였다.

최근의 연구 동향은 구조해석 모델 구축이 된 후 현장 실험 치와 비교 분석을 실시하고 교량의 매개변수 해석을 실시하였다. 그리고 교량의 매개변수에 따른 활하중 분배 계수의 평가 수정계수 또는 새로운 분배계수를 개발하는 것으로 요약할 수 있다.

국내의 경우 일부의 연구자에 의해 활하중 분배계수를 평가, 수정, 개발을 위한 연구는 진행되고 있다. 그러나 실무설계서의 적용 또는 설계기준의 변화에 대한 노력은 미약하다 할 수 있다.

그러나 국외의 경우 많은 연구자에 의해 다양한 경로, 즉, 한정된 구조 모델의 사용이 아닌 다양한 모델의 평가, 정·동적 현장 실험 자료를 축적하고 있다. 그리고 다양한 교량의 매개 변수 중 지간 길이, 거더 간격, 종횡방향 부재 강성비등의 다이어그램의 구조적 기여도 평가 등을 통한 활하중 분배 계수의 평가와 설계 기준식의 보정을 위한 노력이 활발히 이루어지고 있다.

1.3 연구방법 및 범위

활하중 분배계수 산정을 위한 해석모델은 수치해석 모델의 가정 후 현장 실험치와 비교분석을 통해 검증과정을 거친다. 대부분의 논문에서는 강재 I형 단면의 경우 많으면 3 ~ 4개 정도까지의 계획을 수립하고 있지만 PSC거더 교량의 경우 대부분 선택된 구조해석모델에 대해서만 검증하였다. 그러나 본 논문에서는 기존 문헌의 광범위한 자료로부터 사용되어 왔던 구조모델을 선택하였고 또한 적용 가능한 구조 모델 계획을 수립하였다.

본 연구에서는 고속도로나 국도에 중소지간 교량에 널리 사용되고 있는 30m 지간의 표준적인 교량 기하구조를 사용하여 구조해석모델을 비교분석하고자 한다. 새로운 수치해석 방법이나 해석요소의 개발보다는 현재 유한요소 해석에 사용되고 있는 일반적인 요소를 사용하여 유한요소 구조해석모델을 비교하였다. 그리고 구조해석모델은 두 가지 방향으로 비교분석 할 것이다.

첫 번째, 연구문헌을 이용하여 상부구조 해석모델을 해석수준에 따라 분류하고 I형 PSC 거더 교량의 거동을 비교할 것이다.

두 번째는 종·횡부재의 사용된 요소와 요소간의 연결위치나 방법에 따른 구조해석모델이 가지고 있는 특성을 비교할 것이다.

2. 기존 분배계수 상부구조모델

현행 설계기준에서 활하중 분배계수는 AASHTO Standard와 AASHTO LRFD에서 수록된 설계식과 격벽이나 가로보를 가진 교량에 적용할 수 있는 특수 기준(Special Procedure)이 있다. 본 장에서는 보다 합리적인 I형 PSC 거더교의 상부구조모델의 수립을 위해 활하중 분배식과 방법들의 분배계수 산정에 이용된 기초적인 근거와 구조해석모델의 장단점을 분석하였다.

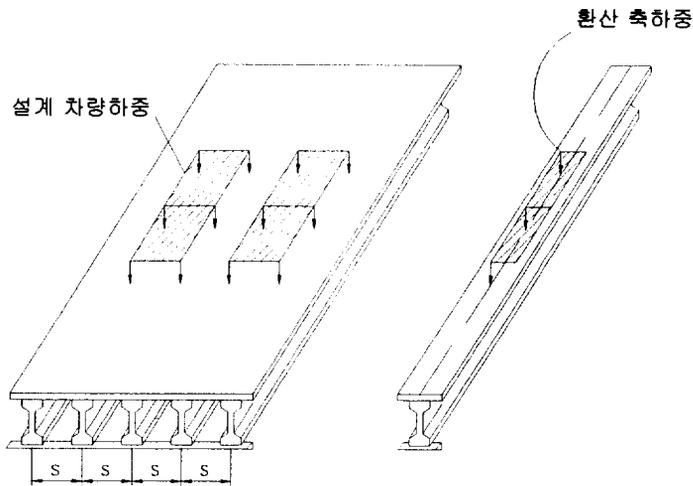
2.1 AASHTO Standard Specifications

교량의 활하중 분배는 설계자에 있어서는 교량 부재 크기 결정을 위해 교량 거동의 크기를 결정하는 주요한 요소이고 기존 교량 진단 시 하중 용량의 크기를 결정하는 중요한 항목이다.

즉 교량의 강도와 사용성을 규명하는 교량 거동의 크기를 결정하는 것이다. 활하중 분배계수를 사용함으로써 설계자는 하중의 크기에 따른 교량의 거동을 쉽게 예측할 수 있다.

AASHTO Standard에 적용되어있는 활하중 분배계수는 Newmark 연구[Newmark, 1938]에서의 하중 분배 계수를 1930년대 이후 변화 없이 사용하고 있다.

그림 2.1은 실제 교량에 재하된 하중을 단순보 해석을 위해 활하중 분배개념을 나타낸 그림이다. 그림 (a)는 실제교량에 재하된 설계차량하중을 묘사한 것이고 그림 (b)는 단순보 해석을 위해 축하중의 환산을 묘사한 그림이다. S/D 는 현행 AASHTO Standard에서 적용되고 있는 활하중 분배계수 산정방법이다.



(a) 실제 재하 하중

(b) 거더 모멘트 계산을 위해서
사용된 하중

그림 2.1 축하중의 분배개념

AASHTO Standard에 적용된 식의 근거는 D-Type 방법[Bakht, 1985]을 근간으로 하고 있다. D-Type 방법은 교량을 직교이방성 판으로 이상화하여 개발되었고 이 방법은 교축직각방향 즉 교량의 횡단면 산정에서 종방향 모멘트의 크기와 분포는 하중의 종방향 위치와 고려되는 횡단면 위치에서 서로 독립적인 것을 전제로 한다. 이러한 전제 조건을 그림 2.2에서 설명할 수 있다.

그림 2.2에서 M_1 은 단면 1-1에서 종방향 모멘트의 합이며 M_2 는 단면 2-2에서의 종방향 모멘트의 합이다. M_{x1} 과 M_{x2} 는 같은 종방향 선상에서 단면 1과 2의 위치에서 종방향 휨 모멘트이다. $\frac{M_{x1}}{M_1} = \frac{M_{x2}}{M_2}$ 의 크기가 거의 같음을 조건으로 D-Type 이론의 전제 조건을 설명하고 있다. 이는 교량 임의의 위치에서 같은 활하중 분배계수를 적용할 수 있음을 설명한다.

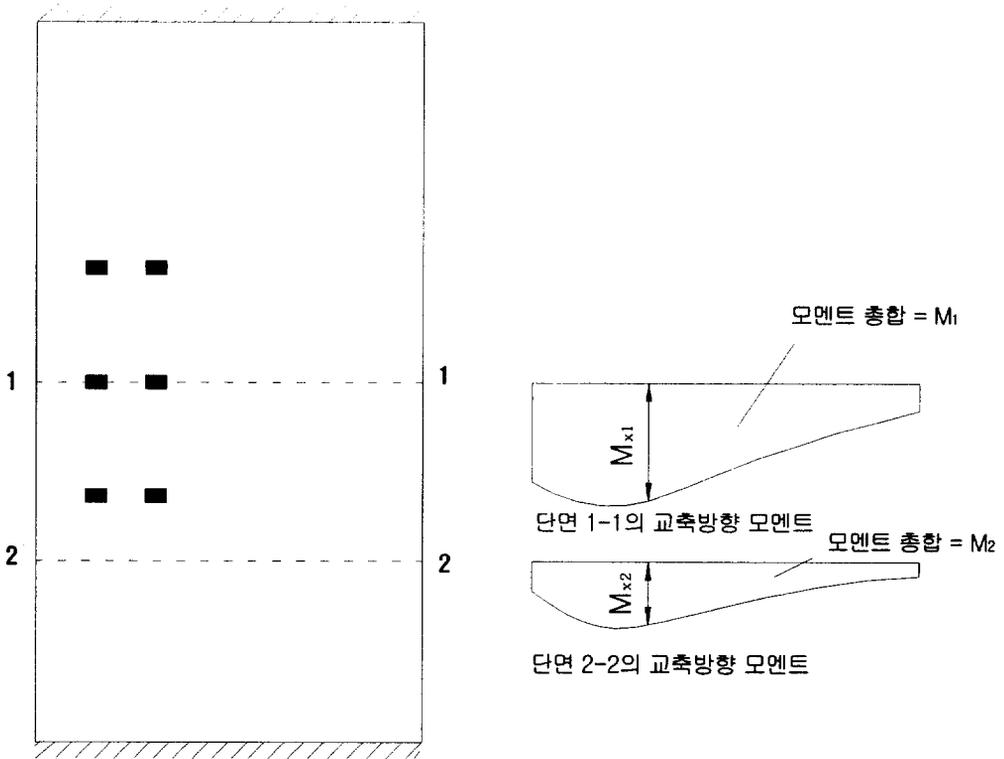
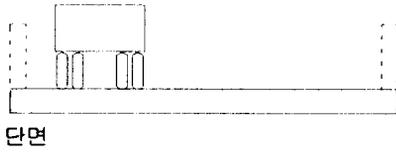


그림 2.2 교축방향 모멘트를 위한 분배 형태

교량을 직교이방성 판으로 이상화 시킨 D-type은 그림 2.3으로 설명할 수 있다. 최대 모멘트의 크기가 M_{max} 이고 거더 간격이 S 라면 좌측에서 2번째 거더 G_2 가 받는 휨모멘트의 크기는 대략 S_x 가 된다.

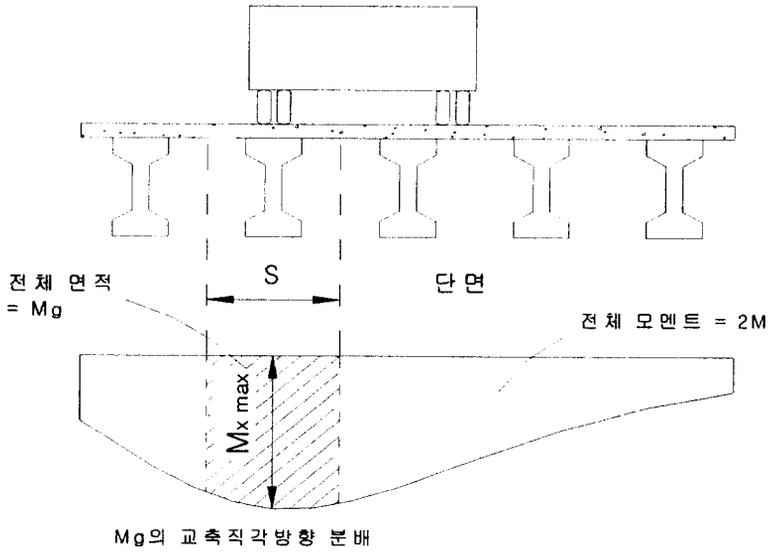


그림 2.3 교축직각방향 단면에서 교축방향 모멘트 분배

즉 2번째 거더 모멘트 M_g 의 크기는 식(2.1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$M_g = S_x \cdot M_{\max} \quad (2.1)$$

여기서 M_g 는 G_2 가 부담해야될 모멘트의 크기이다. 미지량 M_{\max} 는 D 에 의해 가정할 수 있다.

$$D = \frac{M}{M_{\max}} \quad (2.2)$$

여기서 M 은 1개 차륜선(on-wheel line) 축하중에 의한 모멘트로 전체 모멘트의 $\frac{1}{2}$ 이다. 식 (2.1)을 식 (2.2)에 대입하면 다음과 같은 식 (2.3)을 얻을 수 있다.

$$M_g = \frac{S}{D} M \quad (2.3)$$

D 값을 알면 교량의 최대 활하중 모멘트를 하나의 보해석으로부터 쉽게 결정할 수 있다. 활하중 분배계수식은 AASHTO Standard에서의 경우 표 2.1과 같이 규정하였다.

표 2.1 AASHTO Standard에 의한 방법

구 분	1차선	2차선
내측	$GDF = \frac{L}{7} \quad (L \leq 10')$	$GDF = \frac{L}{5.5} \quad (L \leq 14')$
거더	거더의 간격이 기준에서 주어진 범위를 초과할 때 레버룰을 적용	
외측 거더	레버룰 적용	

AASHTO Standard 식은 개발 당시 직교와 단순교를 기준으로 개발되어 있다. 그리고 식은 거더 간격만을 변수로 하고 있기 때문에 현재 교량 가설에 있어 지역적인 여건에 따른 교량의 기하구조 변화를 수용하기 힘들다. 즉 사교, 곡선교와 연속교 등에서는 정확도의 개선이 필요하며 설계 차선의 변화를 고려하지 못하고 있다. 그리고 국내의 경우에도 설계기준 차선평의 변화를 식에서는 고려 할 수가 없다.

은 고려한 유한요소방법으로 주로 2 레벨을 평가하고 1 레벨은 대표적인 교량 30개소에 대해 평가 하였다.

미국의 여러 주에서 불규칙적으로 수집된 365개소 교량 자료로부터 거더간격, 지간, 바닥판 두께 등 각 설계변수의 변화 범위를 결정하고 평균 특성치를 갖는 “표준 교량(Average Bridge)”을 산정하였다. 표준 교량으로부터 독립적인 설계변수 민감도 해석을 실시하여 변수 변화를 유도하였다. 활하중 차량은 HS-20을 기준으로 하였다.

레벨 2는 그래프에 의한 방법, 도표에 의한 방법, 영향선(Influence Surface)과 평면 격자모델이 포함되어 있고 단계를 평가할 목적으로 실시 되었다.

레벨 1은 활하중 분배계수를 사용한 거더의 분배계수 예측을 위한 단순하게 유도된 분배식을 포함하고 있다.

AASHTO LRFD 분배식 개발을 위해 사용된 구조모델은 “표준 교량”의 바닥판 상세 구조 모델과 평면 격자모델이 있다.

그림 2.5는 레벨 2에 사용된 평면격자 구조 모델을 나타낸 것이고 그림 2.6은 바닥판 상세모델인 유한요소방법 모델을 나타낸 것이다.

먼저 평면격자 모델의 경우 종방향 부재인 거더는 유효폭 만큼의 바닥판과 합성된 단면으로 모델링 되고 횡방향 부재는 바닥판만의 강성으로 간격은 지간 길이의 1/10을 적용하였다.

유한요소 모델은 종방향 부재인 거더의 경우 I형 PSC 거더 도심만큼의 편심을 고려한 보요소를 모델링하고 바닥판은 셸요소를 사용하였다. 그리고 거더와 바닥판의 편심은 강제 보요소로 연결하여 거더와 바닥판이 합성 작용을 할 수 있도록 모델링 하였다.

그림 2.5와 그림 2.6은 NCHRP 12-26보고서를 인용한 그림으로 모멘트 최대 하중의 경우 후륜 첫 번째 하중이 교량 중앙부에 위치하도록 차량 하중을 재하 하였다.

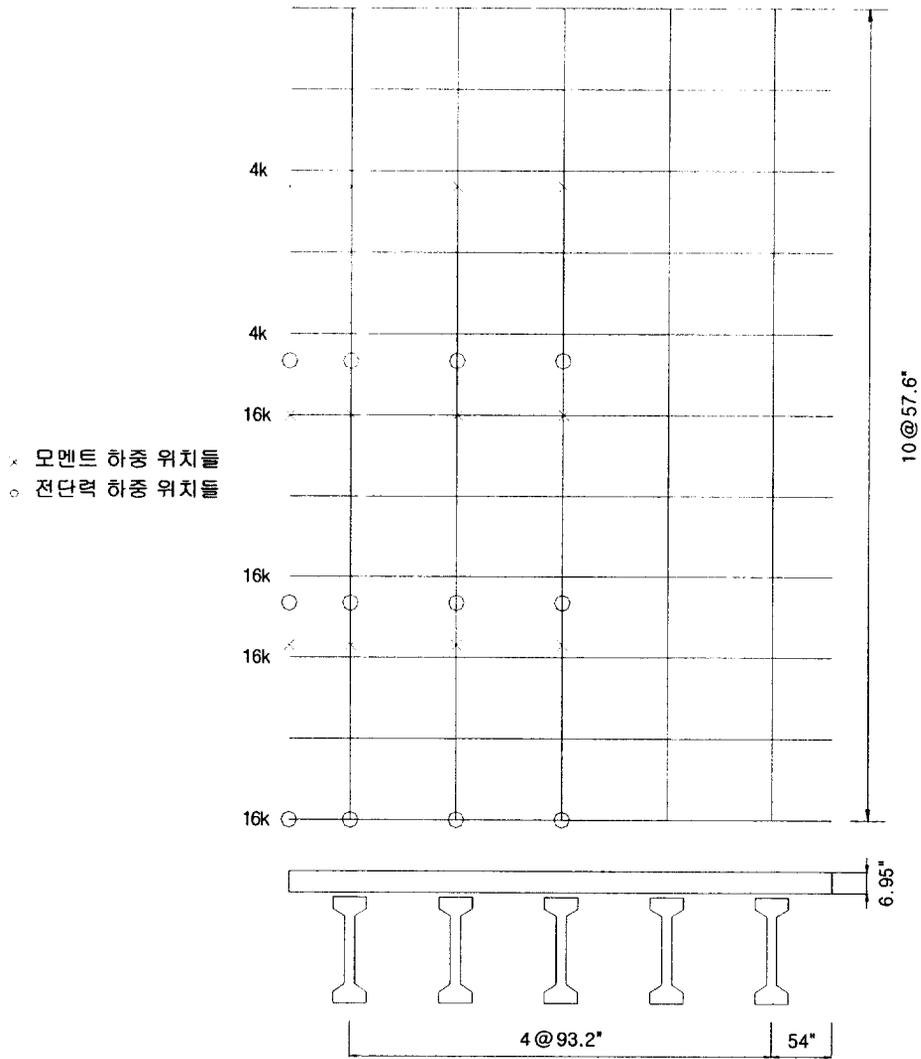


그림 2.5 평면 격자모델

표 2.2 AASHTO LRFD에 의한 방법

구 분	1차선	2차선
내측 거더	$GDF = 0.06 + \left(\frac{S}{4300}\right)^{0.4} \left(\frac{S}{L}\right)^{0.3} \left(\frac{K_g}{Lt_s^3}\right)^{0.1}$	$GDF = 0.075 + \left(\frac{S}{2900}\right)^{0.6} \left(\frac{S}{L}\right)^{0.2} \left(\frac{K_g}{Lt_s^3}\right)^{0.1}$
외측 거더	레버룰	$GDF = e GDF_{interior} \left(e = 0.77 + \frac{d_e}{2800}\right)$

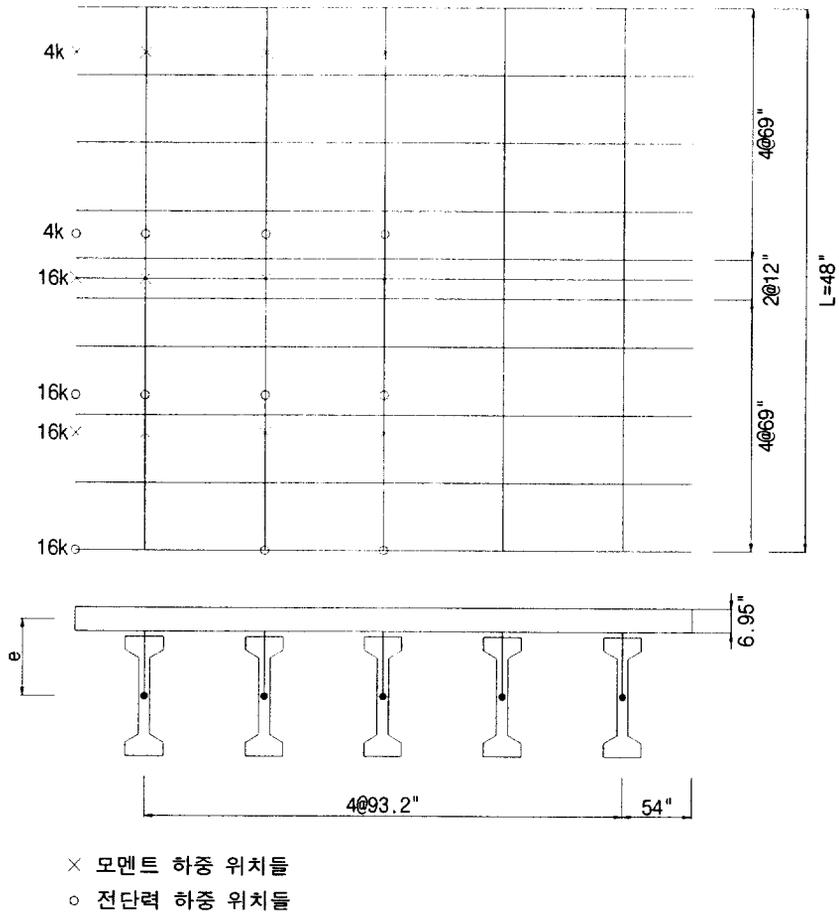


그림 2.6 유한요소모델

AASHTO LRFD 분배식은 NCHRP 12-26에 기초한 것으로 교량의 지간장, 거더와 거더 간격이 포함되어 있다. 그러나 그림 2.5와 그림 2.6에서 사용된 구조해석모델에서 두 모델에서 2차 부재인 가로보와 방호벽을 해석에 반영하지 않았다. 그 이유는 NCHRP 12-26에서 가로보는 해석결과치 보다 실험에서 그 영향이 크게 감소하였기 때문이다. 즉 가로보의 경우 실제 단면에 의해 산정되어지는 강성보다는 강성저하를 고려하였을 때 실

협치와 잘 일치하였다. 따라서 실제 가로보의 영향을 예측하기 힘들며 설계차선이 증가 할수록 가로보의 영향도 크게 감소하고 안전측 평가를 위해 NCHRP 12-26에서는 가로보의 영향을 무시하였다.

방호벽이나 연석의 경우는 내측 거더는 하중 분담율을 감소, 외측 거더는 하중 분담율을 증가시키는 작용한다. 이들 방호벽이나 연석은 신축이음 등의 불연속으로 인한 모든 교량에 있어 실제의 영향을 확인하기 힘들며 때에 따라서 강성을 감소시킨 부분적 고려가 잘 일치 하였다. 그리고 만약 설계 시 연석효과가 반영되어 있고 보수시 연석이 제거된다면 거더는 과응력 상태가 될 수 있어 안전측 고려를 위해 방호벽이나 연석의 영향은 무시하였다.

NCHRP 12-26은 교량의 다양한 변수해석과 형식에 대한 광범위한 자료를 기본으로 하고 있다. 그러나 교량의 가로보, 연석, 난간에 대한 강성도의 평가, 즉 거더와 가로보의 관계, 거더와 기타와의 관계 평가 그리고 국내 설계 기준 도입을 위한 국내에서 적용되고 있는 교량 변수 평가 등은 새로이 필요할 것이다.

2.2.2 특수 기준

AASHTO LRFD 분배식은 가로보나 격벽이 없을 경우나 고려하지 않고 개발된 식이다. 특수 기준은 교량 상부구조에 가로보나 격벽이 있을 경우 강체 단면으로 휨이나 회전을 가정하여 외측 거더에 대한 횡하중 분배 기준이다. 단면을 강체거동으로 가정한 분배식은 아래와 같고 외측 거더의 반력을 산정하여 외측 거더에 대한 활하중 분배계수로 적용한다.

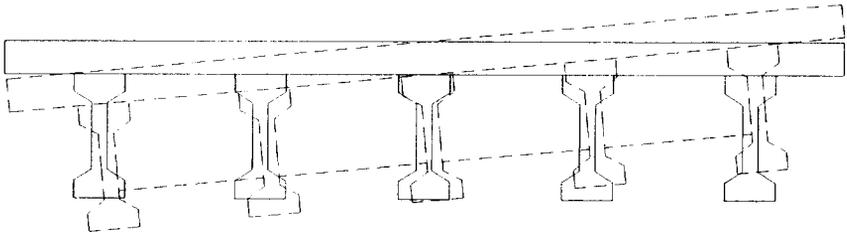


그림 2.7 가로보와 격벽에 의한 강체거동

$$R = \frac{N_L}{N_b} + \frac{X_{ext} \sum e}{\sum X^2} \quad (2.4)$$

여기서, N_L : 교량에 재하된 설계 차선하중 수.

N_b : 교량의 거더수

X_{ext} : 거더 전체의 중심에서 외측 거더 사이의 수평거리

X : 거더 전체의 중심에서 각각 거더 사이의 수평거리

e : 거더 전체의 중심에서 각 차선까지의 거리

식 (2.4)는 교량의 외측거더에 가로보나 격벽이 있을 경우에 사용되는 식으로 교량의 설계 차선하중 수, 거더수, 거더 전체의 중심에서 외측 거

더 사이의 수평거리, 각각 거더 사이에 수평거리와 각 차선까지의 거리를 변수로 하여 만들어진 식이다.

특수 기준은 가로보 영향으로 인한 교량상부구조로 거동을 강체 거동으로 가정함으로써 NCHRP 12-26에서 규명된 가로보의 단면의 기여도 평가와는 대조를 이루며 외측 거더의 분배계수를 너무 안전측으로 유도 될 수도 있다.

3. 모델링 선정

3.1 개요

구조물의 구조해석이나 설계시 올바른 결과값을 도출하기 위해서 구조물의 거동을 정확히 반영하여야 한다. 만약 구조물의 거동특성을 절적하게 파악하지 못한다면 만족하는 활하중 분배계수를 구할 수 없고 적절한 설계치를 구하기 어려울 것이다. 따라서 적절한 활하중 분배계수 결정을 위해서는 교량의 하중분배특성을 정확히 반영할 수 있는 구조해석모델에 대한 연구가 선행되어야 할 것이다. 이러한 구조해석 모델의 비교분석을 수행하기 위해 다음 두 가지를 고려해야 한다.

첫째, 교량의 거동에 미치는 중요한 설계변수를 모델링 할 수 있어야 하고 둘째, 바닥판의 실제거동을 잘 나타내어야 한다. 표 3.1은 국외문헌 구조해석모델 적용 예를 표 3.2는 국내문헌에 의한 구조해석모델 적용사례를 정리한 표이다. 조사에서 구조해석모델은 크게 분류하여 3가지 형태로 분류할 수 있다.

표 3.1 외국문헌 구조해석모델 적용 예

문헌	구조모델			바닥판모델		거더모델			비고
	격자	바닥판 상세	상세	플레 이트	솔리드	보	보+ 플레 이트	플레 이트	
1. Barr(2001)		O		O		O			C
2. Bishra(1993)			O	O			O		S
3. Brockenbrough(1986)			O	O			O		S
4. Chen (1999)		O		O		O			C
5. Ebeido(1996)		O		O		O			S
6. Nowak(2001)			O		O			O	S
7. Khaleel(1990)		O		O		O			C
8. Mabsout(1997)		O	O		O	O	O	O	S
9. Marx(1985)		O		O		O			C
10. Schwarz(2001)	O								S
11. Shahawy(2001)		O		O		O			C
12. Tabsh(2001)			O	O			O		S
13. Tarhini(1992)			O		O			O	S
14. Zokaie(1991)	O	O		O		O			C
15. Chan(1999)		O		O		O			C
16. Hays(1996)		O		O		O			C
17. Mabsout(1999)		O		O		O			S
18. Khaloo(2003)		O		O		O			C
19. Sotelion(2004)		O		O		O			C

표 3.2 국내문헌 구조해석모델 적용 예

문헌	구조모델			바닥판모델		거더모델			비고
	격자	바닥판 상세	상세	플레 이트	솔리드	보	보+ 플레 이트	플레 이트	
1. 서종철 등(1998)		O	O	O	O	O		O	C
2. 오병환 등(2001)		O		O		O			S
3. 구민세 등(2003)		O		O		O			S
4. 정철현 등(1996)		O		O		O			C
5. 김광수 등(1999)		O		O		O			S
6. 김진호 등(2004)		O		O		O			S
7. 정원석 등(2005)		O		O		O			C

첫 번째의 경우 구조물의 주형과 슬래브를 보로 해석한 격자모델이다. 그리고 두 번째는 바닥판은 상세모델하고 PSC 거더는 편심 또는 바닥판과 같은 평면에 보요소를 사용한 구조모델이다. 마지막 세 번째는 바닥판과 PSC 거더를 상세요소를 사용한 구조모델로 분리하였다. 본 논문에서는 격자모델은 M1, 바닥판 상세모델은 M2 그리고 상세모델은 M3로 나타내었다.

그림 3.1은 해석에 사용된 해석요소와 자유도를 나타낸 그림이다. M1 모델인 격자구조의 경우 종·횡부재에 절점당 6자유도의 보요소를 사용하였다. M2 모델인 경우 바닥판은 플레이트요소를 거더는 보요소를 적용하였고 M3 모델은 바닥판, 거더의 종방향 부재는 플레이트요소와 솔리드 요소를 횡부재인 가로보는 보요소와 솔리드요소를 이용하여 해석에 적용하였다. 구조해석모델의 적용절차는 단순한 구조계의 수치해석을 통하여 먼저 본 논문에의 사용에 따른 적합성을 분석하였다. 분석된 결과를 바탕으로 본 논문에 적용할 구조해석모델을 선정하였다.

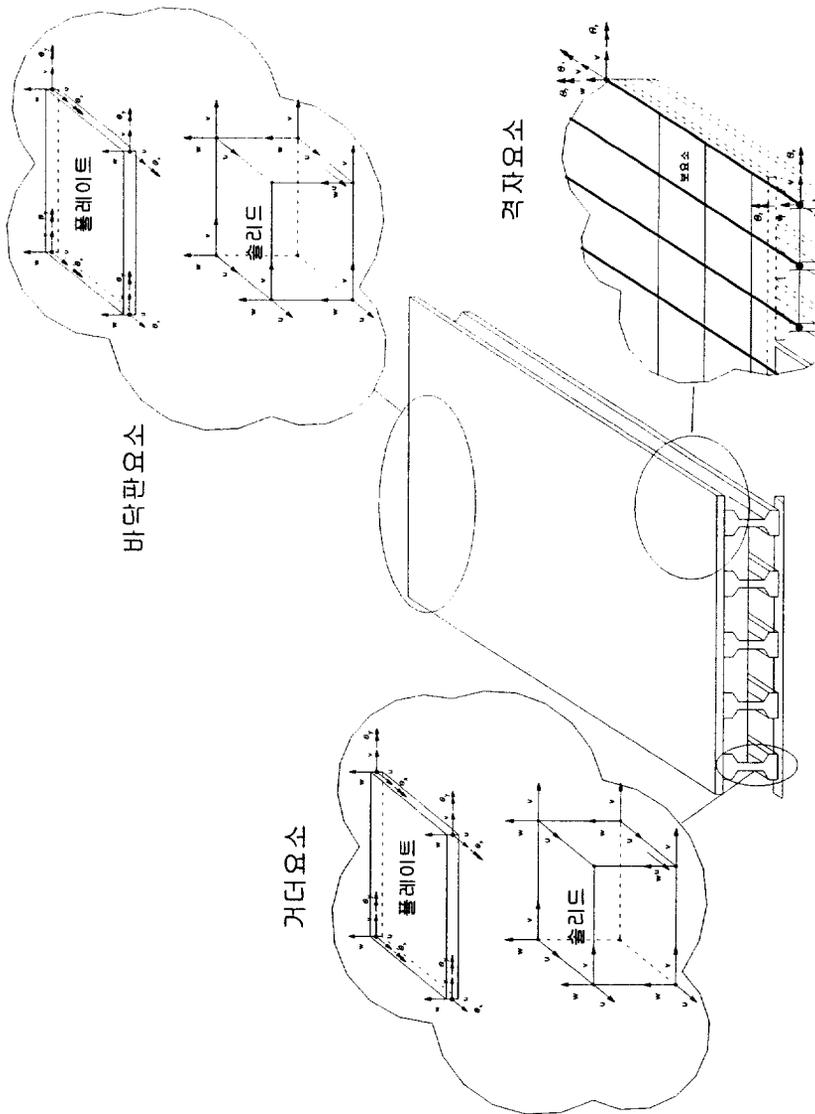


그림 3.1 사용된 해석 요소

3.2 모델 분류

3.2.1 격자모델(M1-GCG)

평면 격자모델은 1991년 NCHRP 12-26 활하중 분배계수식 평가를 위해 사용되었다. 이 당시 사용된 모델은 가로보가 없는 교량으로 미국의 각 주에서 수집된 데이터베이스에서 "표준 교량(Average Bridge)"으로 구성되었다. "표준 교량"은 기존의 설계기준의 식의 정확성을 보완하기 위해 개발된 분배식의 평가용으로 사용되었고 연구 결과에서는 바닥판 상세 유효요소방법과 잘 일치하는 결과를 얻을 수 있었다.

격자해석은 평면상의 보로 구성된 뼈대구조로 모델링된다. 종방향 보는 PSC 거더와 바닥판의 분담폭을 고려한 합성보로 구성된다. 횡방향 보는 가로보 또는 바닥판을 등가의 강성을 가지는 보요소로 모델링 하고 이때 격자의 간격은 일반적으로 경간의 1/10 이하로 하면 설계 목적상의 정밀도를 얻을 수 있는 것으로 추천하고 있다[NCHRP 12-26, 1991].

구조물에서 평면 격자해석은 복잡한 구조물을 간편하게 계산하고, 결과를 직접적으로 확인 할 수 있는 장점이 있다. 예로 PSC 거더의 설계를 위한 단면력 산정시 바닥판의 단면력과 거더의 단면력을 사용하여 합성작용 설계 단면력을 산정하여야 한다. 그때 평면 격자해석은 종방향 단면력을 그대로 사용하게 됨으로 별도의 산정절차가 필요치 않다.

그림 3.2은 평면격자 요소의 망을 나타낸 그림이다. 그림 3.2에서 종방향 부재는 바닥판과의 합성 작용을 고려한 강성으로 횡방향 부재는 바닥판 또는 가로보가 있는 곳은 가로보의 영향을 고려하여 횡방향 부재의 강성을 평가 하였다.

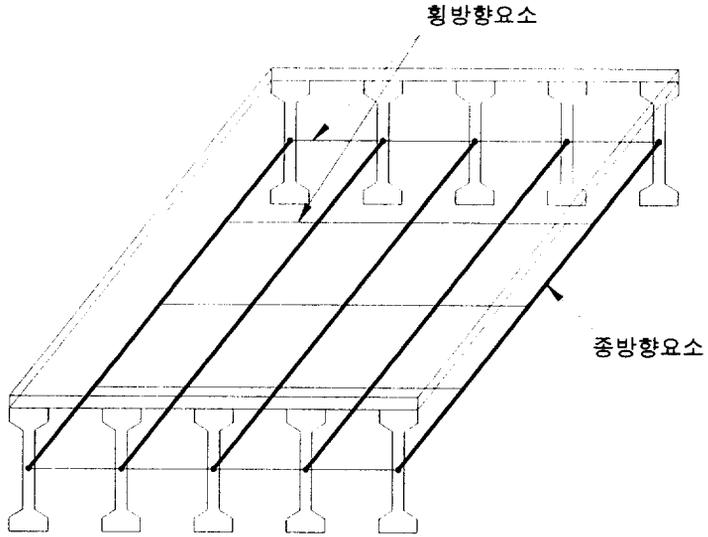


그림 3.2 격자 요소망

격자해석에 사용되는 종방향 및 횡방향 보는 절점 당 6개의 자유도를 갖는 2절점 보 요소를 사용 하였다.

3.2.2 바닥판 상세 구조모델(M2)

바닥판 상세 모델은 크게 두 가지로 분류 할 수 있다. 첫 번째는 바닥판의 도심에 거더의 도심 중심선을 가정한 평면 모델이다. 이 경우 거더의 강성은 합성 또는 비합성으로 고려 할 수 있다. 비합성시는 단면력은 일반의 다른 모델들과 비교 할 때 거의 같은 값을 나타내지만 처짐에서는 교량의 거동을 정확히 표현 할 수 없다.

두 번째는 바닥판은 플레이트 요소로 상세모델링하고 거더는 보요소를 사용하여 거더의 도심에 위치토록 하는 편심모델로 현재 I형 PSC 거더교량의 설계나 평가에 널리 활용되고 있다. 거더와 바닥판의 연결은 강체요소를 사용하여 연결한다. 그리고 두 모델에서 확장된 개념인 가로보의 연결성을 고려하여 PSC플랜지 상부 바닥판을 보요소를 추가 배치하여 종방향 거더와 횡방향 가로보와의 연결성을 개선한 모델이 있다.

표 3.3은 I형 PSC 거더교의 바닥판 구조모델 명칭을 분류하기 위한 것이다. 표 3.3에서 M2-PCG은 바닥판은 플레이트로 바닥판과 거더의 편심은 고려하지 않은 모델이다.

표 3.3 상부구조모델 명칭 기준

명칭구분	바닥판	편심고려	거더	바닥판 보요소 배치
M2-PCG	플레이트	×	보	×
M2-PEG	플레이트	O	보	×
M2-SEG	솔리드	O	보	O

1) M2-PCG

바닥판 상세 모델은 크게 두 가지로 분류 할 수 있다. 첫 번째는 바닥판의 도심에 거더의 도심 중심선을 가정한 평면 모델이다. 이때 거더의 강성은 합성 또는 비합성으로 고려 할 수 있다. 비합성시는 단면력은 일반의 다른 모델들과 비교 할 때 거의 같은 값을 나타내지만 처짐에서는 교량의 거동을 정확히 표현 할 수 없다. 이 평면 모델은 Cloifford o. hays 등의 유한요소법을 이용한 하중분배계수 연구[cloifford o. hays, 1986]에 사용되어 충분한 정확도를 갖는 것으로 평가 하였다. 그리고 거더교 평가에도 이용하였다[cloifford o. hays 1994]. 국내의 경우는 서종철은 유한요소 해석을 통한 윤하중 분배계수의 적정성 분석[서종철, 1997]에서 강 판형교의 모델 분석에서 간편하면서도 일정 수준 이상의 정밀도를 획득할 수 있어 분배 계수 평가 모델로 추천하고 있다.

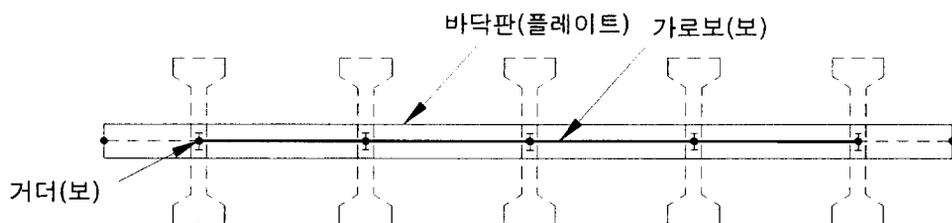


그림 3.3 바닥판 상세 M2-PCG 모델

2) M2-PEG

두 번째는 현재 I형 PSC 거더 교량의 설계나 평가에 널리 활용되고 있는 모델로 바닥판은 플레이트 요소로 상세모델링 하고 거더는 보요소를 사용하여 거더의 도심에 위치토록 하는 편심모델이다. 거더와 바닥판의 연결은 강제 요소를 사용하여 연결한다. 이 편심 모델의 경우 NCHRP 12-26의 가장 정확도가 높은 모델로 평가되어 그 당시 분배계수식의 개발을 위해 설계 변수의 민감도 해석을 실시하고 또한 분배계수와 격자해석 모델을 평가 하는데 사용 되었다. 모델이 평가된 대표적인 경우를 인용하

면 국외의 경우 Cloifford o. hays 등은 유한요소방법을 이용한 거더교의 평가[cloifford o. hays, 1994]에서 교량의 평가에 이용되었고 Paul J. Barr 등의 PSC거더교에서의 활하중 분배연구[Paul J. Barr, 2001]에서 AASHTO LRFD의 분배계수를 평가 하는데 이용하였고 현장 실험치와 잘 일치 하는 것으로 평가 하였다.

국내의 문헌으로는 일반 설계 실무에서 보편적으로 사용되고 있는 구조해석모델이다. 그리고 서종철 등의 유한요소 해석을 통한 운하중 분배계수의 적정성 분석연구[서종철, 1997]에서 강재 플레이트교의 분배계수 평가를 위해 사용되었으며 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 그리고 2경간 연속 프리스트레스 콘크리트 사교의 운하중 분배에 관한 연구에서 기존의 분배계수를 평가하고 설계변수의 민감도 해석을 통한 새로운 분배계수식의 개발에 이용 하였다.

바닥판의 중심과 거더의 중심은 강체 연결하여 일체거동 하도록 하여 합성작용이 나타나도록 하였다. 바닥판에는 4절점 플레이트 요소를 사용하였고 거더는 거더만의 강성을 고려한 보요소를 사용하였다. 가로보는 보요소를 사용하여 바닥판의 중심선을 따라 연결한다.

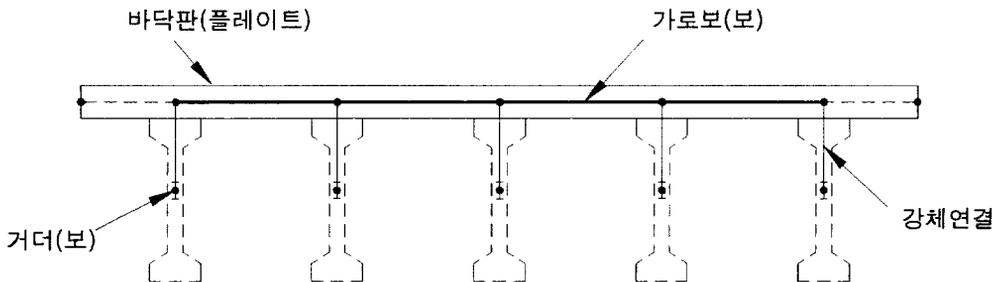
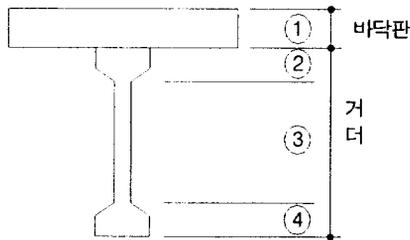


그림 3.4 바닥판 상세 M2-PEG 모델

3.2.3 상세모델(M3)

격자모델처럼 교량을 단순화한 구조모델과 바닥판만 상세 모델과 달리 교량을 구조해석모델로 단순화 시키는 과정에서 발생할 수 있는 오차를 최소화 하고 복잡한 교량의 거동을 표현 할 수 있는 구조해석모델이다. 상세모델은 바닥판을 플레이트와 솔리드요소를 적용한 교량구조모델로 크게 분리 할 수 있다.



M3-①②③④

그림 3.5 상부구조 상세모델 구성 요소

표 3.4 상부구조모델 명칭 기준

명칭	바닥판	거더			비고
		상부플랜지	복부	하부플랜지	
M3-PBPB	플레이트	보	플레이트	보	
M3-PPPP	플레이트	플레이트	플레이트	플레이트	
M3-PSSS	플레이트	솔리드	솔리드	솔리드	
M3-SBPB	솔리드	보	플레이트	보	
M3-SPPP	솔리드	플레이트	플레이트	플레이트	
M3-SSSS	솔리드	솔리드	솔리드	솔리드	

표 3.4는 바닥판과 거더를 상세 모델한 경우 상부구조모델명칭 기준을 표시한 것이다. 예로 M3-PSSS에서 P는 바닥판을 플레이트로 SSS는 거

더의 상·하부 플랜지 복부를 솔리드로 모델링한 것이다. 그리고 M3-SPPP에서 S는 바닥판을 솔리드로 거더의 상·하부 플랜지와 복부는 플레이트 요소를 사용하여 모델링한 것을 의미한다.

1) 바닥판이 플레이트 요소인 모델

① M3-PBPB 모델

M3-PBPB 모델은 바닥판은 플레이트요소를 사용하고 PSC 거더의 경우 상·하부 플랜지는 보요소를 적용하였고 복부는 플레이트 요소를 사용하였다. 이러한 구조모델은 Sami W. Tabsh등의 설계하중을 초과하는 크기의 트럭하중에 대한 거더교에 활하중 분배 연구[Sami W. Tabsh, 2001]에서 슬래브 거더 교량에 트럭의 축간 간격, 축간 길이 그리고 중량을 변화 시키면서 활하중 분배계수에 미치는 영향을 평가하고 기존의 규정된 식에 기초하여 수정계수를 개발 하였다. 교량의 상부구조 형식은 바닥판은 콘크리트로 거더는 I형의 강재 단면으로 구성되어있다. Mounir E. Mabsout등은 강재 거더교의 유한요소분석[Mounir E. Mabsout, 1997]에서는 4가지의 구조모델을 비교분석 하였다. 교량 상부구조는 바닥판은 콘크리트로 거더는 강재 I형 단면으로 구성되어있다. 사용된 구조 모델은 바닥판 상세와 상세구조모델을 사용 하였다. 첫 번째 구조모델은 바닥판 상세 평면 모델을(case a) 두 번째 구조모델의 바닥판 상세 편심모델(case b)을 사용 하였다. 세 번째 구조모델은 바닥판은 플레이트요소를 적용하고 거더의 경우 상하부 플랜지는 보요소로 복부는 플레이트요소를 사용한 상세구조모델(case c)를 사용 하였다. 그리고 네 번째 구조모델은 바닥판은 8절점 솔리드 요소를 거더는 상하부 플랜지와 복부를 플레이트 요소를 사용한 상세구조모델(case d)을 사용하였다. 논문에서 활하중 분배계수를 산정하여 각각의 구조해석모델을 비교하고 또한 기존의 설계기준과도 비교 분석 하였다. 분석결과 case a모델을 기준으로 case b는 같은 값을 case c는

8%낮게 case d는 4%낮게 결과를 보였고 NCHRP 12-26 연구 결과의 분배식의 사용성을 분석 하였다.

이상화된 구조해석모델의 형상은 그림 3.6와 같이 표현 하였다. 교량의 바닥판과 거더에서 슬립은 발생하지 않으며 일체 거동으로 가정할 수 있다. 따라서 바닥판과 거더의 연결은 강제요소(Rigid Link)를 사용하여 일체 거동하도록 하였다.

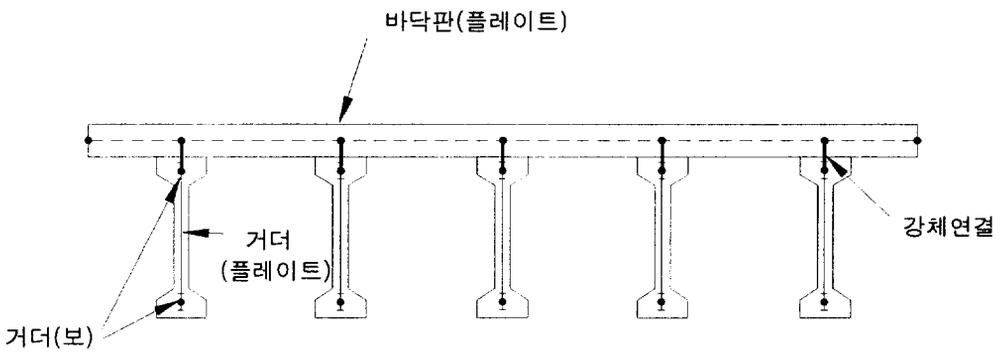


그림 3.6 M3-PBPB

② M3-PPPP

이 모델은 그림 3.7에서 나타낸 구조해석모델의 확장된 개념으로 활하중 분배계수 평가를 위한 구조해석모델의 선정 목적으로 본 연구에 적용된 모델이다. 바닥판과 거더 모두 플레이트 요소를 사용하였다. 바닥판과 거더는 거동의 일체를 고려하여 바닥판 부재의 중심에서 강제요소를 사용하여 합성 거동 하도록 유도 하였다.

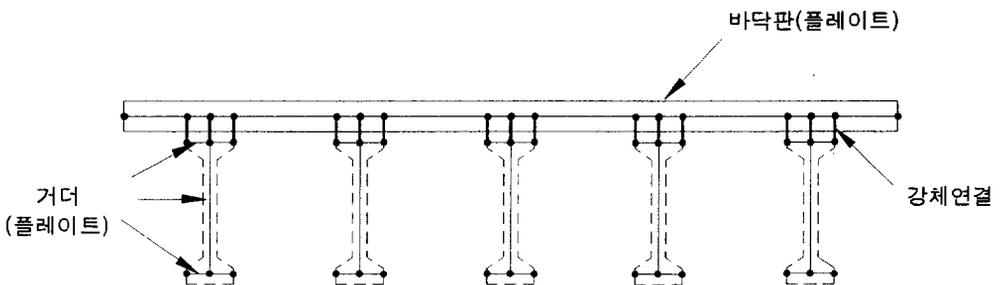


그림 3.7 M3-PPPP

③ M3-PSSS

M3-PSSS 구조해석모델은 본 연구에서 사용된 구조해석모델로 바닥판은 플레이트요소를 거더는 솔리드요소를 사용하여 구조모델을 계획하였다. 이러한 구조해석모델을 계획한 이유는 바닥판의 경우 판 부재로서 휨의 특성을 잘 표현 할 수 있는 플레이트 요소를 적용하고 거더는 구조거동에 있어 단면력이 크며 휨의 특성을 반영되지 않는 것으로 보고 솔리드요소를 적용하였다.

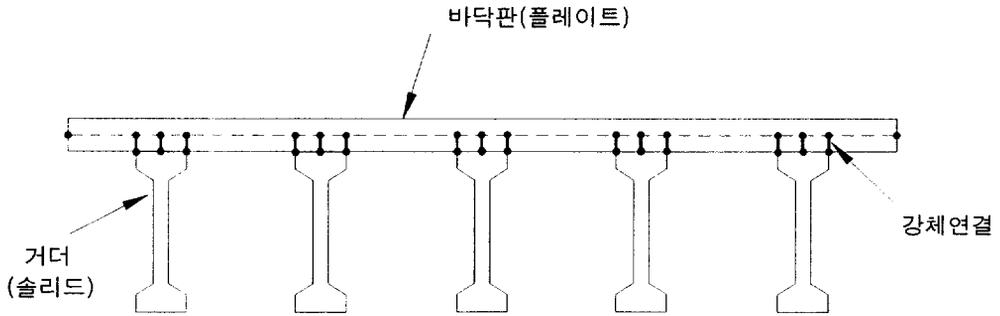


그림 3.8 M3-PSSS

2) 바닥판이 솔리드 요소인 모델

① M3-SBPB

이 구조해석모델은 그림 3.9과 같은 개념의 구조해석모델로 바닥판의 요소 사용에 따른 힘의 분포현상을 분석하기 위한 구조해석모델이다. 바닥판은 8절점 솔리드 요소를 사용하였고, 거더는 상부와 하부는 2절점 보 요소, 복부는 4절점 플레이트 요소를 사용하여 모델링 하였다.

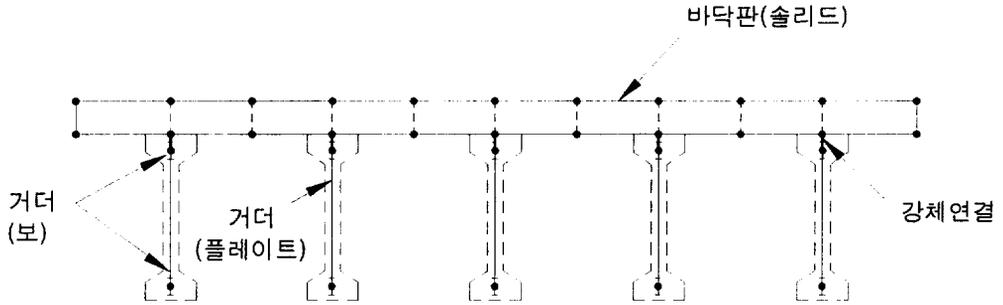


그림 3.9 M3-SBPB

② M3-SPPP

바닥판을 솔리드요소를 사용하여 교량의 거동을 평가한 기존 문헌은 Mounir E. Mabsout 등의 강재 거더교의 유한요소해석[Mounir E. Mabsout, 1997]이 있다. 그리고 국내문헌의 경우 서종철의 유한요소 해석을 통한 운하중의 분배계수의 적정성 분석[서종철, 1998]에서는 4가지의 구조모델을 비교 분석 하였다. 평가한 구조 모델은 평면 모델, 편심모델, 바닥판은 솔리드 거더의 상하부 플랜지는 보로 복부는 플레이트요소를 사용한 모델, 바닥판은 솔리드 거더는 플레이트요소를 적용한 구조모델을 비교 분석 하였다. 그 결과 평면모델을 기준으로 분석 할때 편심모델은 2% 크게 그 외의 모델들은 각각 8%, 6% 낮은 분배계수의 분포를 보였다. 논문에서 평가된 교량의 경우 상부구조는 바닥판은 콘크리트로 거더는 강재 I형 단면으로 구성되어있다. 구조 모델은 바닥판은 8절점 솔리드 요소를 거더는 상하부 플랜지와 복부를 플레이트 요소를 사용하였다.

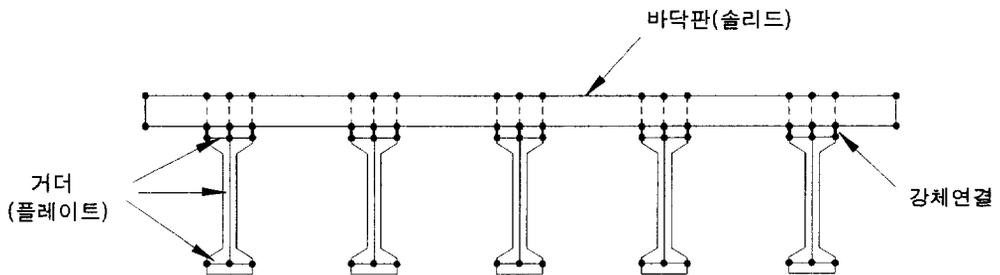


그림3.10 M3-SPPP

③ M3-SSSS

바닥판을 솔리드요소를 사용하여 교량의 거동을 평가한 기존 문헌은 Mounir E. Mabsout의 강재 거더교의 유한요소해석[Mounir E. Mabsout, 1997]이 있다. 그러나 이 논문에서는 거더가 강재 I형단면인 점을 고려하여 그림 3.11와 같이 바닥판은 솔리드요소로 거더는 플레이트요소를 사용한 구조모델이다. 본 연구대상 교량인 바닥판 콘크리트 거더는 PSC 거더로 구성되어있는 교량의 해석 결과를 비교 분석하기 위해 본 연구에서는 바닥판과 PSC 거더를 모두 솔리드요소를 사용한 모델도 비교 대상에 포함하여 분석 하였다. 이 모델의 특징은 다른 모델이 가로보의 경우 보요소를 사용하여 바닥판의 중심선에서 거더를 연결하는 것과는 달리 가로보의 기하구조를 솔리드요소를 사용하여 표현 할 수 있는 장점이 있다.

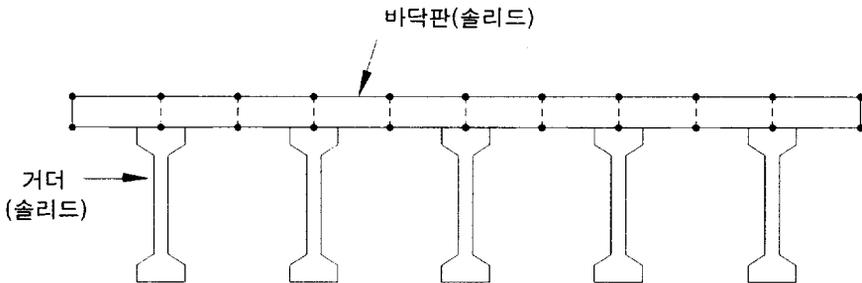


그림 3.11 M3-SSSS

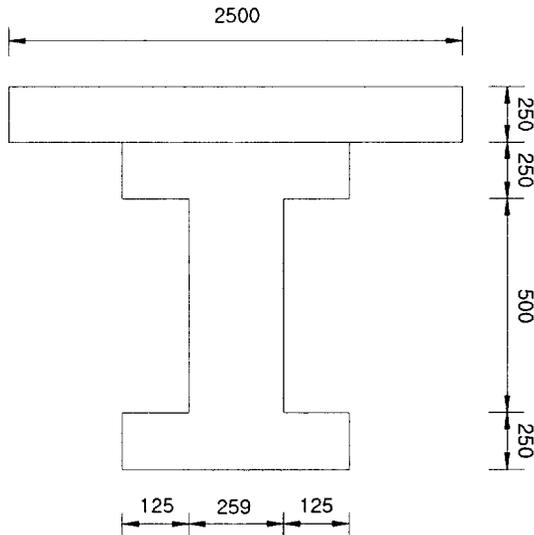
3.3 해석모델 선정

3.1절에서 선정된 모델 즉, 활하중 분배계수 문헌 연구와 I형 PSC거더 교에 적용 가능한 상부구조 모델을 중심으로 수치해석에 적용할 상부구조 모델을 비교하였다. 단순하고 명확한 결과 비교를 위해 각각의 구조해석모델에서 지간과 재료 특성치는 표 3.5와 표 3.6같이 단면은 그림 3.12와 같이 동일하게 적용하였다.

표 3.5 재료 특성치

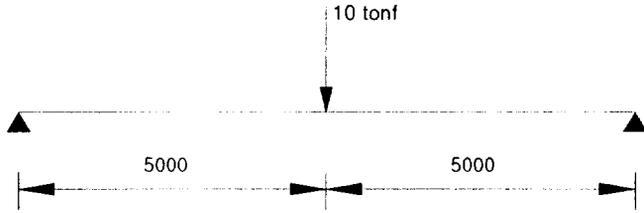
구분	설계기준강도(kgf/cm^2)	탄성계수(kgf/cm^2)
PSC 거더	400	280,000
바닥판	270	246,000

해석에서 적용된 예제의 단면형상과 지간 구성은 그림 3.12과 같다.



(a) 단면구성

그림 3.12 해석예제 구성



(b) 지간구성

그림 3.12 해석예제 구성

표 3.6 해석예제 단면특성치

구분	$A(cm^2)$	$I(cm^4)$	$y_t(cm)$	$y_L(cm)$	$Z_T(cm^3)$	$Z_B(cm^3)$
단면특성치	9250	12901076.6	37.84	87.16	340,937.5	148016.0

1) M1-GCG

단순보 해석모델로 지간 중앙부 휨모멘트의 크기는 다음과 같이 산정된다.

$$M = \frac{pl}{4} = \frac{10 \times 10}{4} = 25 t \cdot m$$

구해진 휨모멘트로부터 지간중앙 하단부의 응력과 처짐을 산정하면 다음과 같다.

$$f_b = \frac{M}{Z_B} = \frac{25 \times 10^5}{148016.0} = 16.89 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\Delta = \frac{pl^3}{48EI} = 0.06 \text{ cm}$$

2) M2-PCG

M2-PCG의 경우도 다음과 같이 휨모멘트의 크기와 응력과 처짐을 산정할 수 있다.

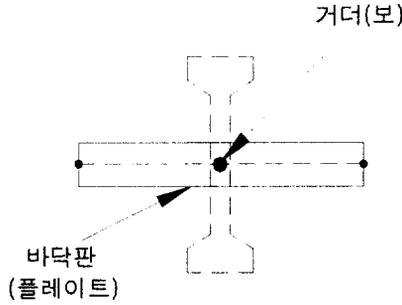


그림 3.13 M2-PCG

- 거더 비합성 단면 사용시

$$\sum M = M_G + M_A + \sum E \times P_M = 25.00t \cdot m$$

$$\text{거더 하단응력 } f_b = \frac{\sum M}{Z_B} = 16.89\text{kgf}/\text{m}^2$$

$$\text{처짐 } \Delta = 0.18\text{cm}$$

- 거더 합성단면 사용시

$$\sum M = M_G + M_A + \sum E \times P_M = 25.00t \cdot m$$

$$\text{거더 하단응력 } f_b = \frac{\sum M}{Z_B} = 16.89\text{kgf}/\text{m}^2$$

$$\text{처짐 } \Delta = 0.06\text{cm}$$

거더 단면 적용에 있어 거더 하단의 응력은 합성 단면이나 비합성 단면 사용시 같은 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 처짐에서는 비합성시가 합성시에 비해 약 2.5배의 결과를 나타내며 이는 보 강성 적용에서 나타난

결과이다. 그리고 단면력의 분포는 거더강성 합성시가 비합성시보다 5% 가량의 단면력이 증대하였고 바닥판은 거더에서의 증가량 크기의 휨모멘트가 감소하는 경향을 보였다. 따라서 이 모델을 구조해석시 적용하고자 할 때는 바닥판은 플레이트 요소로 하고 PSC 거더는 바닥판의 유효폭을 고려한 합성 단면으로 적용하는 것이 바람직하다.

3) M2-PEG

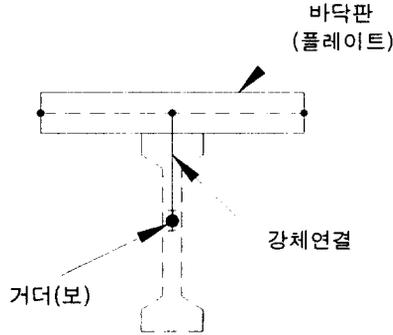


그림 3.14 M3-PEG

$$\sum M = M_G + M_A + \sum E \times P_M = 25.00t \cdot m$$

$$f_b = \frac{M}{Z_B} = 16.89kgf/m^2$$

M2-PEG의 모멘트와 응력은 위와 같이 산정되고 프로그램 내에서 보의 하단응력 $f_b = 17.7kgf/m^2$, 처짐은 $\Delta = 0.07cm$ 로 산정되었다.

4) M2-SEG

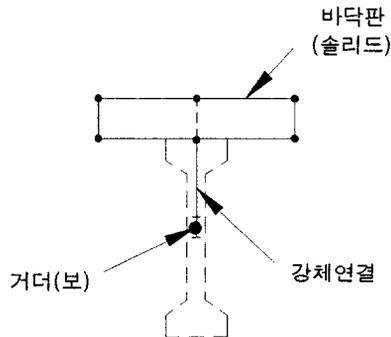


그림 3.15 M3-SEG

거더 하단응력 $f_b = 16.47kgf/m^2$, 처짐량 $\Delta = 0.07cm$ 로 산정되었다.

5) M3-PSSS

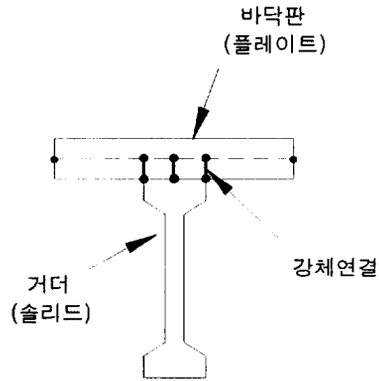


그림 3.16 M3-PSSS

응력 $f_b = 16.70 \text{kgf}/\text{m}^2$ 이고, 처짐량 $\Delta = 0.07 \text{cm}$ 로 산정되었다.

6) M3-PPPP

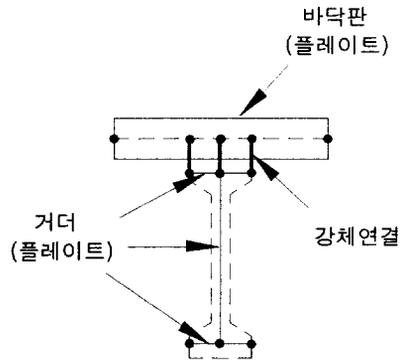


그림 3.17 M3-PPPP

거더 하단응력 $f_b = 16.78 \text{kgf}/\text{m}^2$, 처짐량 $\Delta = 0.07 \text{cm}$ 이었다.

7) M3-PPBP

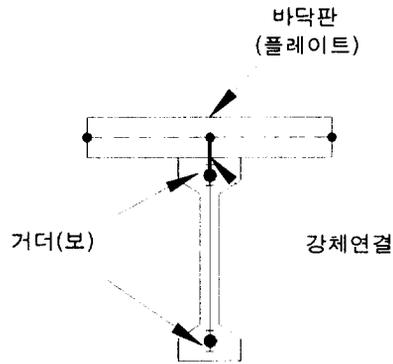


그림 3.18 M3-PPBP

거더 하단응력 $f_b = 18.04 \text{kgf/m}^2$, 처짐량 $\Delta = 0.07 \text{cm}$ 이었다.

8) M3-SPPP

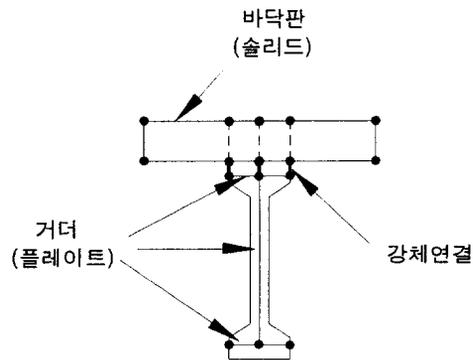


그림 3.19 M3-SPPP

거더 하단응력은 $f_b = 14.85 \text{kgf/m}^2$, 처짐량 $\Delta = 0.06 \text{cm}$ 이었다.

9) M3-SSSS

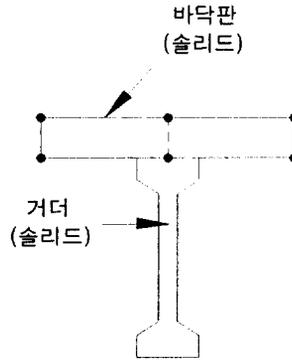


그림 3.20 M3-SSSS

거더 하단응력 $f_b = 16.59 \text{ kgf/m}^2$, 처짐량 $\Delta = 0.07 \text{ cm}$ 로 산정되었다. 그림 3.12 ~ 그림 3.20에서 각각의 모델에서 산정된 분배계수 사용을 위한 거더 하단응력과 처짐량을 요약 비교하면 표 3.7과 같이 정리할 수 있다.

표 3.7 구조모델별 응력과 처짐량

구조모델	거더 하단응력 (kgf/m^2)	처짐량 (cm)
M1-GCG	16.89	0.06
M2-PCG	16.89	0.06
M2-PEG	16.89	0.07
M2-SEG	16.47	0.07
M3-PSSS	16.70	0.07
M3-PPPP	16.78(15.71)	0.07(0.06)
M3-PBPB	18.04(15.43)	0.07(0.06)
M3-SPPP	15.89(14.85)	0.07(0.06)
M3-SSSS	16.59	0.07

주 : ()는 단면중첩효과를 고려하지 않았을 때 값.

바닥판을 플레이트 거더는 보와 플레이트 요소를 동시에 사용한 M3-PBPB 모델의 경우는 응력이 다소 과대평가되고 콘크리트 단면과 같은 두께가 큰 부재의 경우 강성의 중첩현상이 발생된다. 이러한 중첩현상 제거를 위해서는 변단면을 가지는 I형 PSC 거더의 경우 문제를 복잡하게 만든다. 상대적으로 단면 중첩현상이 거의 없고, 기하구조를 실제 가깝게 표현되는 강재 I형 단면 교량에 적용 가능한 모델로 판단된다. M3-SBPB 모델 역시 강재 I형 교량에 적용 가능한 모델로 판단되어 모델 비교분석에서는 제외하였다.

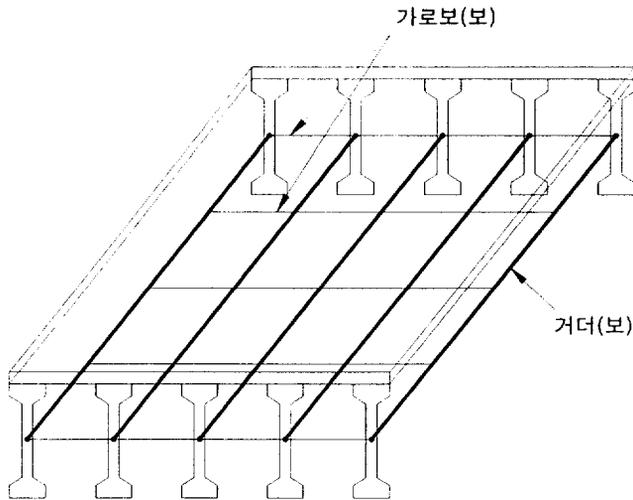
바닥판을 솔리드로 거더는 편심 보요소를 사용한 M2-SEG 모델과 거더를 플레이트로 사용한 모델 역시 정확도와 M2 모델간의 차이점이 거의 없음을 고려하여 본 연구의 수치해석모델에서는 제외하였다. 본연구에 적용할 구조모델과 교량 형식에 따른 적용 가능한 모델을 분류하면 표 3.8과 같다.

표 3.8 적용가능 모델

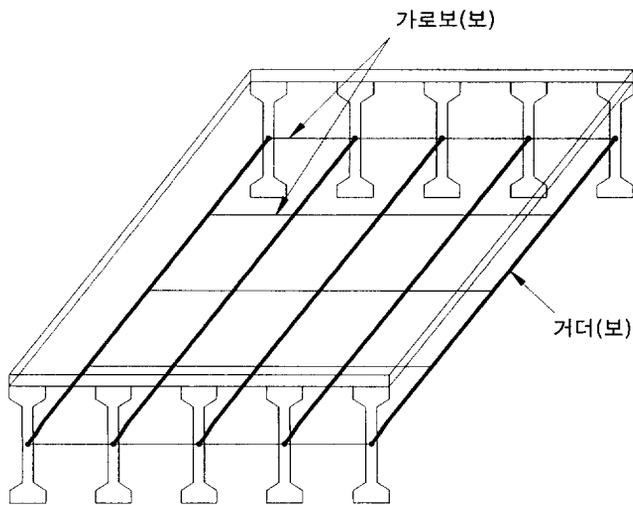
모델	PSC 거더	강재 거더	본 연구 적용
M1-GCG	○	○	○
M2-PCG	○	○	○
M2-PEG	○	○	○
M2-SEG	○	○	-
M3-PSSS	○	-	○
M3-PPPP	-	○	-
M3-PBPB	-	○	-
M3-SPPP	-	○	-
M3-SSSS	○	-	○

단순보의 분석을 통한 선행 연구로부터 결정된 구조해석 모델을 기준으로 교량의 가로보의 고려 또는 고려하지 않은 경우로 다시 분리 할 수 있다.

그리고 구조해석 모델에서 가로보의 설치 가능한 위치에 따라 구조해석 모델을 더욱 세분화 하였다.



(a) M1-CGC-0



(b) M1-CGC-1

그림3.21 M1구조해석모델

그림 3.21에서 M1 구조해석 모델중 (a) M1-GCG-0은 가로보를 고려하지 않았고 (b) M1-GCG-1은 가로보의 영향을 고려한 구조해석 모델이다.

그림 3.22은 M2 구조해석 모델중 평면 모델인 M2-PCG를 가로보의 설치여부에 따라 분리한 그림이다. 그림 중 (a)는 가로보를 설치하지 않았고 (b)는 가로보를 구조해석 모델에 반영한 것을 의미한다.

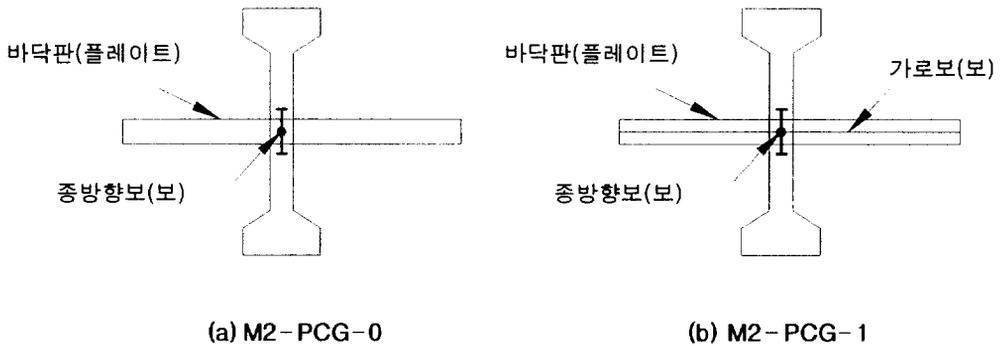
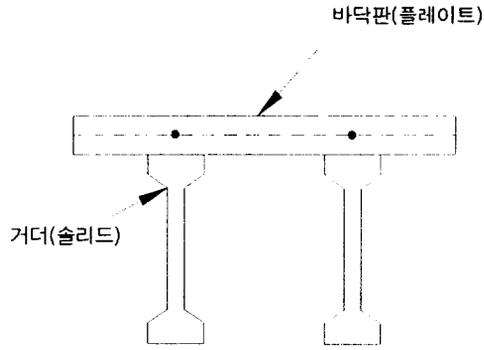
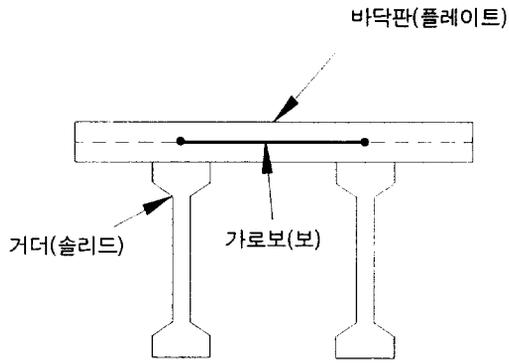


그림3.22 M2 구조해석모델(M2-PCG)

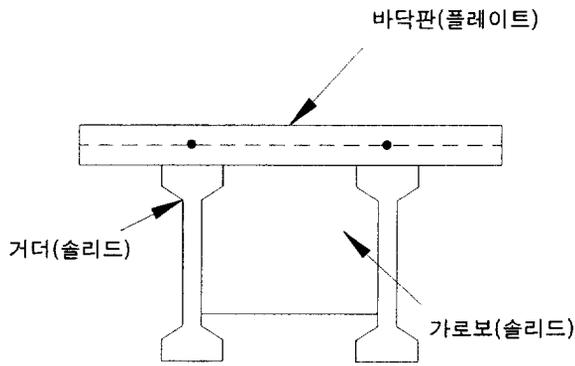
그림 3.23은 M3-PSSS 해석모델을 상세하게 분류한 그림이다. (a)의 M3-PSSS-0는 가로보를 설치하지 않았고 (b)인 M3-PSSS-1C는 바닥판 중심에 가로보를 설치한 형상의 해석 모델이다. 그리고 (c)인 M3-PSSS-1E는 해석모델에서 표현 가능한 가로보의 실제 형상을 그대로 반영한 구조 해석모델이다.



(a) M3-PSSS-0



(b) M3-PSSS-1C



(c) M3-PSSS-1E

그림 3.23 구조해석모델(M3-PSSS)

그림 3.24은 구조해석 모델중 바닥판과 거더를 모두 솔리드 요소를 사용한 M3-SSSS 모델을 상세하게 분리한 그림이다.

그림 (a)는 가로보의 영향을 고려하지 않았고 (b)는 가로보를 구조 해석모델에 반영한 모델과 모델 명칭이다.

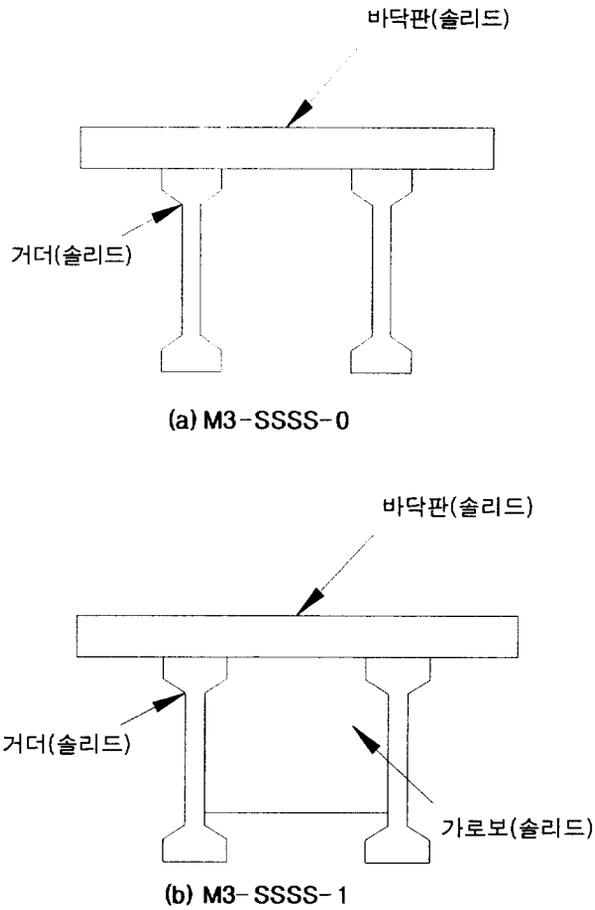


그림3.24 구조해석모델 (M3-SSSS)

4. 수치 해석

4.1 대상 교량

국내의 30~40m 중·소 지간을 가지는 교량에 적용되는 대표적인 교량 형식 중 도로교 표준 I형 PSC 거더 30m 교량을 선정하여 각각의 분배 계수를 산정하였다.

4.1.1 대상 교량의 제원 및 설계조건

본 연구의 대상교량은 I형 PSC 거더교로 교량 등급은 1등교(DB-24)를 사용하였고 거더의 높이는 2.0m를 적용하였다. 기타 제원은 표 4.1과 같고, 재료 특성치는 표 4.2와 같이 적용하였다.

표 4.1 교량 제원

구 분	제 원 (m)	비 고
교 장	30.0	
거 더 간 격	2.5	
바닥판 두께	0.25	
폭 원	12.5	

표 4.2 재료 특성치

구 분	설계기준강도(kgf/cm ²)	탄성 계수(kgf/cm ²)	비 고
거 더	400	280,000	
바닥판	270	246,000	

그림 4.1은 교량의 형상과 제원을 나타내었고 그림 4.2와 그림 4.3은 I형 PSC거더 단면과 가로보의 제원을 나타낸 그림이다.

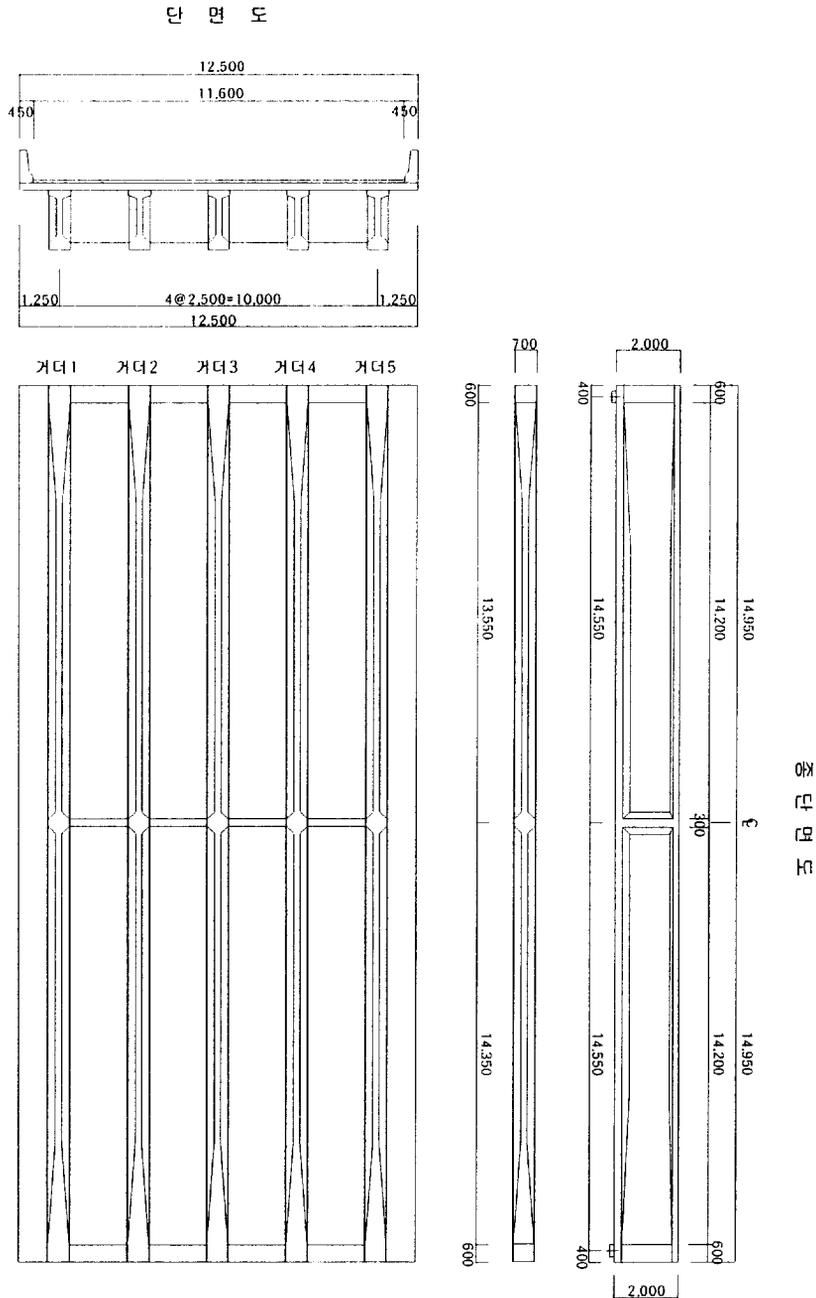


그림 4.1 교량 일반도

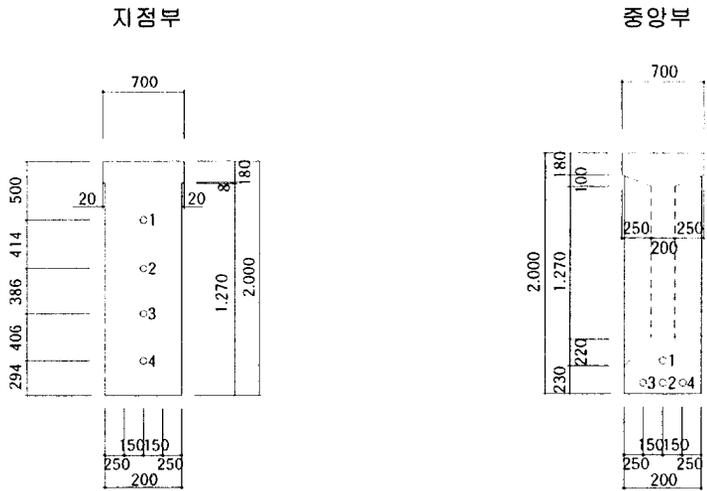


그림 4.2 I형 거더 상세도

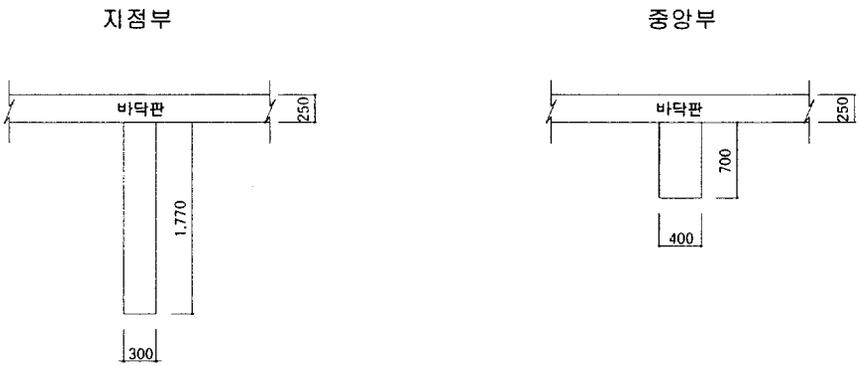


그림 4.3 가로보 상세도

4.2 하중 재하

활하중은 이동하고 있으므로 구조물이나 부재에 가장 불리한 응력이 생기도록 하중의 위치나 재하폭 및 재하길이를 고려해서 재하한다. 도로교의 활하중에는 자동차 하중과 군집하중 및 궤도의 차량하중이 있다. 여기서는 도로 설계기준에 의하여 표준트럭하중(DB하중)을 재하시켰다.

1) DB하중이나 DL하중의 점유폭은 3m로 본다.

설계시에 이 하중은 원칙적으로 표준 편차폭 6m안에 두어야한다.

2) 연석간의 교폭 W_c 에 따른 설계 차로 수는 표 4.3 설계 차로 수 규정에 따라 결정한다.

$$W_c = \frac{W_C}{N} \leq 3.6m \quad (4.1)$$

표 4.3 설계 차로 수

W_c 의 범위(m)	N(차선)	W_c 의 범위(m)	N(차선)
$6.0 \leq W_c < 9.1$	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		

표 4.4에 의해 교량 연석간 교폭에 따라 설계 차로수를 결정한다. 그리고 결정된 차로수와 교폭을 고려하며 식 (4.1)을 이용하여 차량하중 재하폭을 결정하게 된다.

3) 대상교량의 설계차로(W)

$$W = \frac{11.6}{3} = 3.87\text{m} \geq 3.6\text{m} \quad (4.2)$$

식 (4.1)에 의해 설계 차로수와 차로폭을 결정하면 3차로 3.6m로 산정할 수 있다.

활하중 재하는 각각 1, 2, 3차선으로 하중 경우를 적용하였다. 표준차로 폭 3.6m이내에서 차량하중을 아래 그림 4.5와 같이 재하시켰다. 그림 4.5 중에서 (a)~(c)까지는 외측거더의 거동을 집중적으로 분석하기 위해 차량하중을 편측재하 한 형상이다. 그리고 그림 4.5의 (d)~(f)는 중앙내측 거더를 집중적으로 분석하기 위해 차량하중을 중앙부를 중심으로 재하한 형상을 나타낸 그림이다. 그리고 종 방향으로서는 I형 PSC 거더교의 설계지배 단면인 중앙부를 기준으로 하중을 고려하였고 그림 4.4와 같이 교량 중앙부에 첫 번째 후륜축이 위치하도록 재하시켰다.

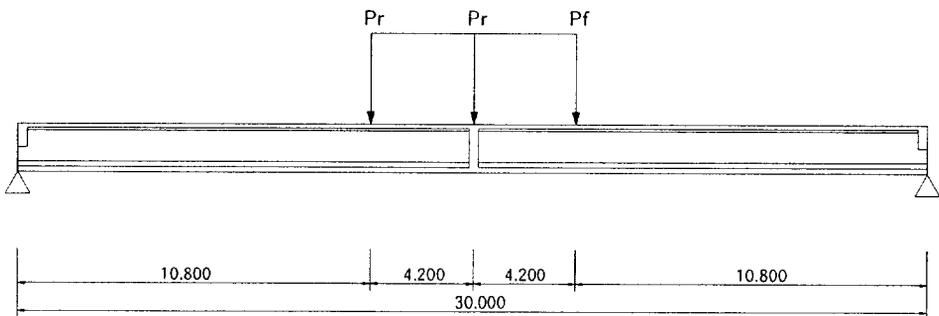
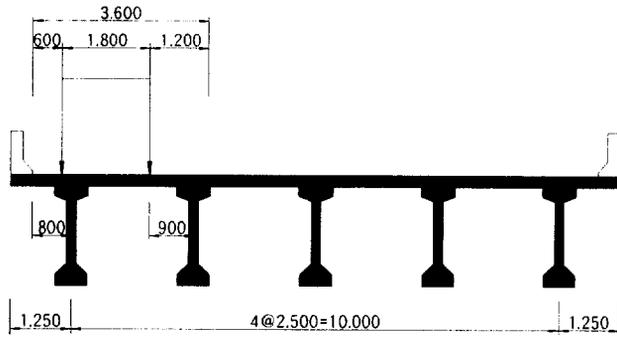
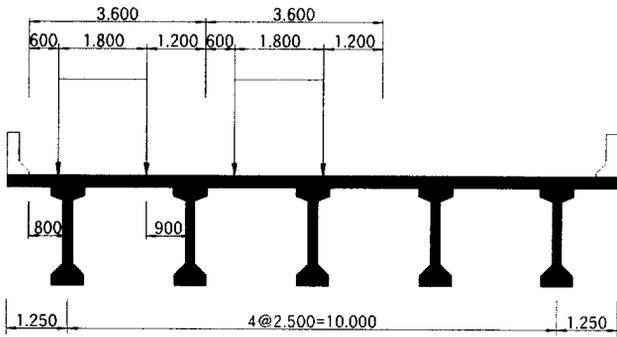


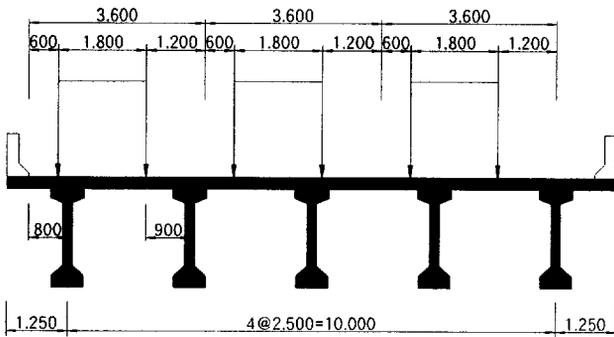
그림 4.4 종 방향 차량하중 재하



a) 1차선 편 재하

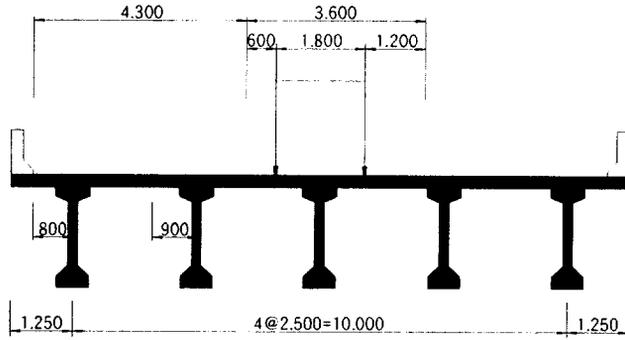


b) 2차선 편 재하

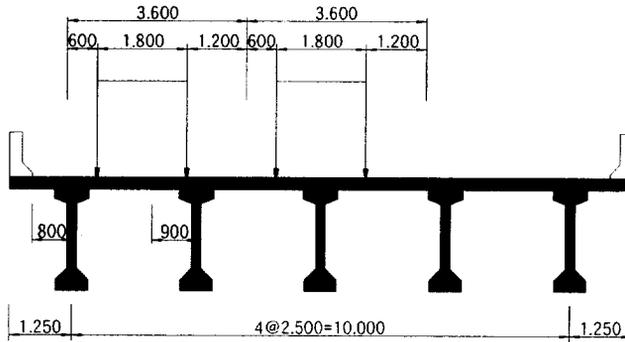


c) 3차선 편 재하

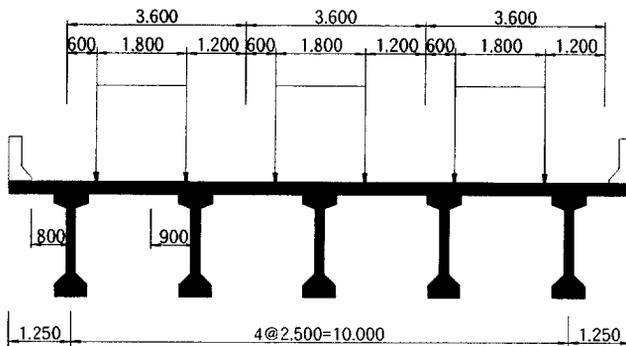
그림 4.5 차량하중 재하 위치



d) 1차선 중앙 제하



e) 2차선 중앙 제하



f) 3차선 중앙 제하

그림 4.5 차량하중 제하 위치

4.3 수치해석결과

본장에서는 3장에서 선정된 구조해석모델을 기반으로 해석을 실시하여 그 결과를 정리하였다. 해석결과는 거더의 분담 종방향 휨모멘트와 처짐의 크기를 정리하고, 보요소의 경우 산정된 종방향 휨모멘트로부터 응력의 크기를 결정하여 정리하였다. 그림 4.6은 종방향 휨모멘트, 처짐 그리고 응력의 산정위치를 나타낸 그림이다.

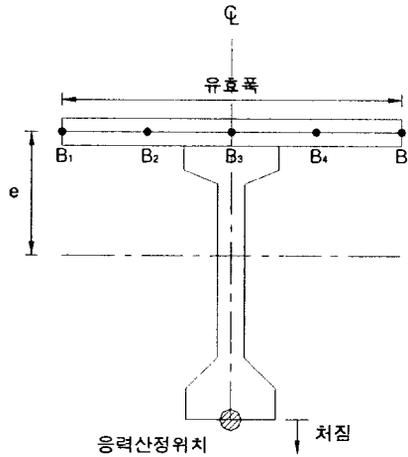


그림 4.6 단면력 산정위치

$$M_i = M_g + P_g \cdot e + \sum_{j=1}^n M_{B_j} \quad (4.3)$$

$$\sigma_i = M_i / Z \quad (4.4)$$

$$\sigma_i = \text{수치해석에 의해 산정} \quad (4.5)$$

식 (4.3)은 거더가 분담하는 종방향 휨모멘트의 크기를 결정하는 식으로 거더의 종방향 휨모멘트와 거더의 바닥판에 대한 유효폭 그리고 축력

에 의한 편심의 영향 모두 고려하여 나타낸 식이다. 식 (4.3)은 바닥판 상세 모델인 M2 모델에 적용되어진다.

식 (4.4)는 식 (4.3)에 의해 산정된 종방향 휨모멘트에 의해 휨응력을 산정하는 식이다.

식 (4.5)는 솔리드 요소를 사용한 M3 모델에 해당되는 것으로 직접 응력을 산정한 것을 의미한다.

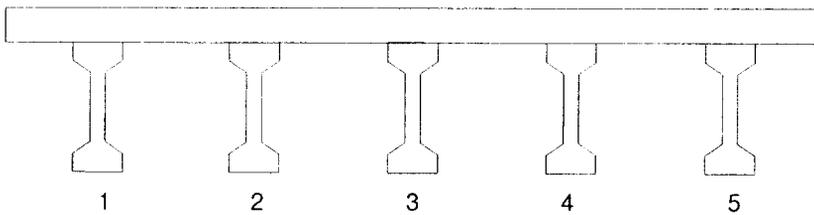


그림 4.7 거더 번호

그림 4.7은 해석대상 교량의 분석에 이용할 거더번호를 부여한 그림이다. 거더의 번호는 좌측에서 우측으로 1~5 거더로 명칭을 부여하였다.

4.3.1 종방향 휨모멘트

표 4.4 M1-GCG-0 모델의 거더 모멘트($\text{tonf} \cdot \text{m}$)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
거더 1	153.780	184.274	179.508	19.084	141.500	134.378
거더 2	87.752	165.966	183.744	63.391	161.308	171.375
거더 3	28.394	123.978	178.363	69.116	139.685	180.254
거더 4	2.932	52.136	154.977	63.391	73.478	171.375
거더 5	-8.869	1.827	95.151	19.084	12.209	134.378
합 계	263.989	528.181	791.743	234.066	528.180	791.760

표 4.5 M1-GCG-1 모델의 거더 모멘트($\text{tonf} \cdot \text{m}$)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
거더 1	133.749	202.697	198.736	54.193	177.384	160.274
거더 2	91.851	149.728	178.219	55.016	136.964	156.158
거더 3	55.735	104.163	158.654	56.883	106.324	159.099
거더 4	12.815	63.712	135.669	55.016	75.626	156.158
거더 5	-30.078	9.632	121.320	54.193	37.084	160.274
합 계	264.072	529.932	792.598	275.301	533.382	791.963

표 4.6 M2-PEG-0 모델의 거더 모멘트(tonf · m)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
거더 1	162.627	186.089	181.117	12.677	138.925	133.495
거더 2	88.800	173.666	187.991	66.925	169.946	176.517
거더 3	22.993	129.869	184.963	112.217	150.093	187.969
거더 4	-0.171	49.482	161.893	66.925	73.495	176.517
거더 5	-5.378	-0.560	92.730	12.677	7.108	133.495
합 계	268.871	538.546	808.695	271.421	539.567	807.993

표 4.7 M2-PEG-1C 모델의 거더 모멘트(tonf · m)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
거더 1	142.931	200.612	195.855	43.325	169.177	155.014
거더 2	91.767	157.224	183.737	59.657	145.844	163.539
거더 3	47.480	109.997	167.238	63.982	115.705	168.516
거더 4	9.090	61.944	142.809	59.657	77.354	163.539
거더 5	-23.271	6.885	115.694	43.325	29.098	155.014
합 계	267.996	536.663	805.334	269.945	537.178	805.623

표 4.8 M2-PEG-1E 모델의 거더 모멘트(tonf · m)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
거더 1	139.833	206.607	202.325	52.396	177.928	160.964
거더 2	93.886	154.310	180.745	55.399	141.522	159.973
거더 3	52.619	105.603	160.670	54.583	106.660	160.769
거더 4	10.720	60.096	138.198	55.399	73.850	159.973
거더 5	-28.827	9.231	121.360	52.397	35.403	161.000
합 계	268.231	535.846	803.297	270.175	535.363	802.679

표 4.9 M2-PCG-0 모델의 거더 모멘트(tonf · m)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
거더 1	156.951	186.243	180.797	17.660	142.517	135.154
거더 2	88.588	168.564	185.095	64.305	163.505	172.166
거더 3	26.641	125.660	180.089	103.220	142.851	182.483
거더 4	1.551	50.649	156.332	64.305	72.966	172.166
거더 5	-8.645	0.306	95.316	17.660	10.296	135.154
합 계	265.085	531.422	797.629	267.148	532.134	797.122

표 4.10 M2-PCG-1 모델의 거더 모멘트(tonf · m)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
거더 1	138.461	199.515	194.636	46.422	170.550	155.189
거더 2	91.285	153.884	181.264	58.210	141.251	159.939
거더 3	50.246	107.289	163.740	63.522	112.487	164.928
거더 4	10.231	62.896	139.015	58.210	76.916	159.939
거더 5	-25.439	7.414	116.448	46.422	31.062	155.189
합 계	264.784	530.998	795.104	272.786	532.264	795.184

4.3.2 응력

표 4.11 M1-GCG-0 모델의 거더 응력($tonf/m^2$)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
거더 1	306.691	367.507	358.002	38.060	282.201	267.997
거더 2	175.008	330.995	366.450	126.424	321.705	341.782
거더 3	56.628	247.256	355.719	137.842	278.581	359.490
거더 4	5.847	103.978	309.079	126.424	146.541	341.782
거더 5	-17.688	3.644	189.765	38.060	24.349	267.997
합 계	526.487	1053.379	1579.014	466.810	1053.377	1579.048

표 4.12 M1-GCG-1 모델의 거더 응력($tonf/m^2$)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
거더 1	266.743	404.249	396.350	108.080	353.766	319.643
거더 2	183.183	298.610	355.431	109.721	273.154	311.434
거더 3	111.155	207.738	316.412	113.445	212.047	317.299
거더 4	25.558	127.064	270.572	109.721	150.825	311.434
거더 5	-59.986	19.210	241.955	108.080	73.959	319.643
합 계	526.653	1056.871	1580.719	549.047	1063.751	1579.453

표 4.13 M2-PEG-0 모델의 거더 응력($tonf/m^2$)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
거더 1	324.336	371.127	361.212	25.283	277.064	266.235
거더 2	177.099	346.352	374.920	133.471	338.931	352.037
거더 3	45.857	259.004	368.882	223.801	299.339	374.877
거더 4	-0.341	98.685	322.873	133.471	146.575	352.037
거더 5	-10.726	-1.118	184.937	25.283	14.176	266.235
합 계	536.224	1074.051	1612.823	541.309	1076.086	1611.422

표 4.14 M2-PEG-1C 모델의 거더 응력($tonf/m^2$)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
거더 1	285.054	400.091	390.605	86.404	337.398	309.152
거더 2	183.015	313.561	366.437	118.977	290.865	326.155
거더 3	94.691	219.373	333.532	127.602	230.756	336.081
거더 4	18.128	123.537	284.812	118.977	154.271	326.155
거더 5	-46.410	13.732	230.735	86.404	58.033	309.152
합 계	534.479	1070.295	1606.120	538.365	1071.323	1606.696

표 4.15 M2-PEG-1E 모델의 거더 응력($tonf/m^2$)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
거더 1	278.877	412.046	403.507	104.497	354.851	321.019
거더 2	187.242	307.748	360.469	110.485	282.245	319.043
거더 3	104.941	210.610	320.433	108.858	212.717	320.629
거더 4	21.380	119.852	275.615	110.485	147.283	319.043
거더 5	-57.491	18.410	242.034	104.499	70.607	321.091
합 계	534.948	1068.666	1602.058	538.824	1067.702	1600.825

표 4.16 M2-PCG-0 모델의 거더 응력($tonf/m^2$)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
거더 1	313.015	371.434	360.572	35.219	284.229	269.544
거더 2	176.676	336.176	369.145	128.246	326.087	343.359
거더 3	53.132	250.611	359.161	205.856	284.895	363.936
거더 4	3.092	101.011	311.780	128.246	145.519	343.359
거더 5	-17.241	0.610	190.094	35.219	20.533	269.544
합 계	528.674	1059.843	1590.753	532.786	1061.263	1589.742

표 4.17 M2-PCG-1 모델의 거더 응력(tonf/m^2)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
거더 1	276.140	397.902	388.173	92.581	340.136	309.501
거더 2	182.054	306.900	361.504	116.091	281.704	318.975
거더 3	100.209	213.972	326.555	126.686	224.339	328.925
거더 4	20.404	125.437	277.244	116.091	153.397	318.975
거더 5	-50.734	14.786	232.239	92.581	61.948	309.501
합 계	528.073	1058.996	1585.716	544.030	1061.523	1585.877

표 4.18 M3-PSSS-0 모델의 거더 응력(tonf/m^2)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
거더 1	305.291	365.497	356.786	42.411	284.207	275.895
거더 2	185.029	335.742	367.328	130.240	320.347	339.837
거더 3	63.090	250.730	354.754	193.936	281.425	359.292
거더 4	9.489	111.609	311.099	130.240	153.517	339.837
거더 5	-16.831	14.074	201.643	42.411	34.123	275.895
합 계	546.068	1077.652	1591.610	539.238	1073.619	1590.756

표 4.19 M3-PSSS-1C 모델의 거더 응력(tonf/m^2)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
girder 1	279.357	395.066	385.797	91.028	334.965	305.935
girder 2	182.599	309.328	359.573	115.200	285.671	320.435
girder 3	102.249	220.705	329.257	118.368	227.051	327.398
girder 4	26.133	129.787	282.104	115.200	156.365	320.435
girder 5	-47.771	26.856	233.063	91.028	70.128	305.937
합 계	542.567	1081.742	1589.794	530.824	1074.180	1580.140

표 4.20 M3-PSSS-1E 모델의 거더 응력($tonf/m^2$)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
거더 1	270.778	416.068	409.667	114.460	371.837	337.876
거더 2	194.461	310.755	370.502	112.313	275.498	319.316
거더 3	132.977	210.082	323.764	79.164	201.035	318.389
거더 4	45.191	142.221	275.918	112.313	156.848	319.317
거더 5	-61.244	43.252	259.593	114.458	93.414	337.876
합 계	582.163	1122.378	1639.444	532.708	1098.632	1632.774

표 4.21 M3-SSSS-0 모델의 거더 응력($tonf/m^2$)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
거더 1	303.840	364.821	356.689	43.163	284.407	276.511
거더 2	185.004	335.042	366.970	129.693	319.360	339.201
거더 3	63.540	250.256	354.051	193.095	280.634	358.662
거더 4	9.833	111.641	310.533	129.693	153.299	339.201
거더 5	-16.431	15.067	202.580	43.163	35.239	276.511
합 계	545.786	1076.827	1590.823	538.807	1072.939	1590.086

표 4.22 M3-SSSS-1 모델의 거더 응력($tonf/m^2$)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
거더 1	269.358	414.279	408.427	114.306	370.376	337.118
거더 2	193.796	309.458	369.404	111.828	274.351	318.548
거더 3	132.947	209.542	322.879	78.165	200.253	317.443
거더 4	45.727	142.382	275.464	111.829	156.764	318.548
거더 5	-60.382	44.217	259.463	114.307	94.002	337.118
합 계	581.446	1119.878	1635.637	530.435	1095.746	1628.775

4.3.3 처짐

표 4.23 M1-GCG-0 모델의 거더 처짐(mm)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
거더 1	6.759	8.252	8.006	0.929	6.408	6.050
거더 2	3.864	7.279	8.165	2.902	7.031	7.527
거더 3	1.398	5.352	7.904	4.059	6.033	8.006
거더 4	0.139	2.502	6.741	2.902	3.398	7.527
거더 5	-0.439	0.056	4.345	0.929	0.571	6.050
합 계	11.721	23.441	35.161	11.721	23.441	35.160

표 4.24 M1-GCG-1 모델의 거더 처짐(mm)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
거더 1	6.036	8.778	8.674	2.156	7.524	6.903
거더 2	4.094	6.825	7.945	2.422	6.287	7.095
거더 3	2.220	4.775	7.151	2.566	4.865	7.163
거더 4	0.500	2.607	6.226	2.422	3.230	7.095
거더 5	-1.131	0.456	5.165	2.156	1.535	6.903
합 계	11.719	23.441	35.161	11.722	23.441	35.159

표 4.25 M2-PEG-0 모델의 거더 처짐(mm)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
거더 1	6.260	7.814	7.605	1.036	6.153	5.775
거더 2	3.650	6.761	7.565	2.628	6.503	6.970
거더 3	1.400	4.931	7.269	3.613	5.474	7.336
거더 4	0.164	2.295	6.245	2.628	3.095	6.970
거더 5	-0.524	0.092	4.147	1.036	0.658	5.775
합 계	10.950	21.893	32.831	10.941	21.883	32.826

표 4.26 M2-PEG-1C 모델의 거더 처짐(mm)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
거더 1	5.737	8.089	7.974	1.808	6.827	6.306
거더 2	3.762	6.414	7.451	2.348	5.962	6.687
거더 3	1.939	4.542	6.799	2.625	4.726	6.827
거더 4	0.418	2.451	5.887	2.348	3.073	6.687
거더 5	-0.913	0.383	4.705	1.808	1.287	6.306
합 계	10.943	21.879	32.816	10.937	21.875	32.813

표 4.27 M2-PEG-1E 모델의 거더 처짐(mm)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
거더 1	5.700	8.256	8.140	2.010	7.046	6.443
거더 2	3.832	6.380	7.394	2.247	5.902	6.627
거더 3	2.062	4.438	6.645	2.382	4.520	6.659
거더 4	0.446	2.389	5.806	2.247	2.973	6.627
거더 5	-1.066	0.410	4.819	2.010	1.407	6.443
합 계	10.974	21.873	32.804	10.896	21.848	32.799

표 4.28 M2-PCG-0 모델의 거더 처짐(mm)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
거더 1	6.052	7.277	7.027	0.731	5.596	5.270
거더 2	3.382	6.414	7.140	2.562	6.217	6.599
거더 3	1.154	4.712	6.946	3.647	5.337	7.026
거더 4	0.072	2.141	5.917	2.256	2.944	6.599
거더 5	-0.375	-0.025	3.740	0.731	0.405	5.270
합 계	10.285	20.519	30.770	9.927	20.499	30.764

표 4.29 M2-PCG-1 모델의 거더 처짐(mm)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
거더 1	5.443	7.612	7.476	1.652	6.397	5.891
거더 2	3.537	6.048	7.006	2.220	5.629	6.286
거더 3	1.790	4.278	6.402	2.512	4.471	6.431
거더 4	0.363	2.280	5.528	2.220	2.878	6.286
거더 5	-0.862	0.308	4.375	1.652	1.146	5.891
합 계	10.271	20.526	30.787	10.256	20.521	30.785

표 4.30 M3-PSSS-0 모델의 거더 처짐(mm)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
거더 1	6.132	7.736	7.554	1.178	6.175	5.869
거더 2	3.741	6.736	7.565	2.651	6.385	6.943
거더 3	1.553	4.944	7.225	3.471	5.445	7.296
거더 4	0.268	2.459	6.247	2.651	3.231	6.943
거더 5	-0.515	0.293	4.341	1.178	0.872	5.869
합 계	11.179	22.168	32.932	11.129	22.108	32.920

표 4.31 M3-PSSS-1C 모델의 거더 처짐(mm)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
거더 1	5.710	8.035	7.929	1.825	6.768	6.306
거더 2	3.800	6.432	7.443	2.361	5.964	6.688
거더 3	2.000	4.608	6.815	2.625	4.774	6.820
거더 4	0.502	2.556	5.936	2.361	3.156	6.688
거더 5	-0.887	0.536	4.774	1.825	1.405	6.306
합 계	11.125	22.167	32.897	10.997	22.067	32.808

표 4.32 M3-PSSS-1E 모델의 거더 처짐(mm)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
거더 1	5.540	8.100	8.078	2.045	6.966	6.480
거더 2	3.818	6.319	7.360	2.228	5.800	6.570
거더 3	2.150	4.479	6.625	2.330	4.521	6.604
거더 4	0.613	2.571	5.831	2.228	3.096	6.570
거더 5	-0.964	0.701	4.962	2.045	1.650	6.480
합 계	11.157	22.170	32.856	10.876	22.033	32.704

표 4.33 M3-SSSS-0 모델의 거더 처짐(mm)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
거더 1	6.146	7.767	7.591	1.191	6.205	5.905
거더 2	3.755	6.760	7.599	2.661	6.406	6.974
거더 3	1.566	4.963	7.257	3.476	5.463	7.327
거더 4	0.277	2.480	6.274	2.661	3.252	6.974
거더 5	-0.511	0.309	4.376	1.191	0.891	5.905
합 계	11.233	22.279	33.097	11.180	22.217	33.085

표 4.34 M3-SSSS-1 모델의 거더 처짐(mm)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
거더 1	5.552	8.122	8.109	2.056	6.988	6.510
거더 2	3.829	6.340	7.390	2.237	5.820	6.600
거더 3	2.160	4.499	6.654	2.340	4.540	6.633
거더 4	0.622	2.590	5.860	2.237	3.115	6.600
거더 5	-0.955	0.719	4.991	2.056	1.669	6.510
합 계	11.208	22.270	33.004	10.926	22.132	32.853

5. 해석결과 분석

본 장에서는 표 4.4 ~ 표 4.34에 수록된 해석결과를 바탕으로 해석모델에 따른 부재력의 분포특성과 바닥판 사용요소와 I형 PSC 거더 사용요소간의 구조적인 특성 비교를 하였다. 상부 구조모델간의 상호 비교는 세 가지 방향으로 진행하였다.

첫 번째는 가로보의 영향을 고려하지 않은 가로보가 없는 경우의 응력과 처짐의 분포상태를 비교하였다.

두 번째는 I형 PSC 거더 교량의 단부 및 중간부 가로보의 영향을 고려한 가로보가 있는 경우 응력과 처짐의 분포를 비교 분석하였다. 이때 적용 가능한 범위 내에서 실제 형상에 근접되도록 고려한 구조해석모델을 사용하였다. 예로 M2-PEG 모델에서는 가로보의 편심영향을 고려한 M2-PEG-1E를 M3 모델 중 M3-PSSS는 M3-PSSS-1E와 M3-SSSS를 비교하였다.

그리고 마지막으로 세 번째는 가로보의 사용요소나 배치위치에 따라 응력과 처짐의 분포를 각각의 구조해석모델별로 비교 정리하였다.

5.1 모델별 응력 비교

하중경우를 나타내는 case 1 ~ case 6은 그림 4와 그림 5에 정의하였고, case 1 ~ case 3은 편측 1~3차선 재하이며 case 4 ~ case 6은 중앙부측 재하 1~3차선 재하를 나타낸다. 하중재하를 편측과 중앙부측으로 분리한 이유는 내·외측 거더에 대한 불리한 단면력이나 처짐의 크기를 분석하기 위해서이다.

5.1.1 가로보 없는 모델 응력 비교

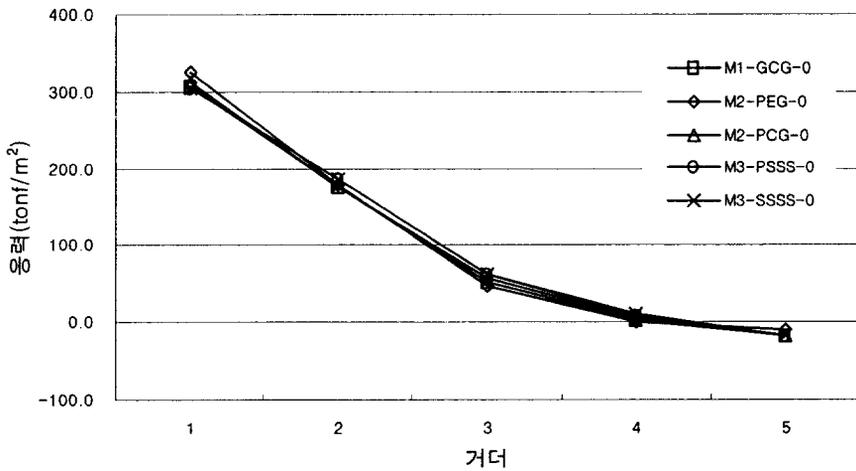


그림 5.1 거더 응력분포(case 1)

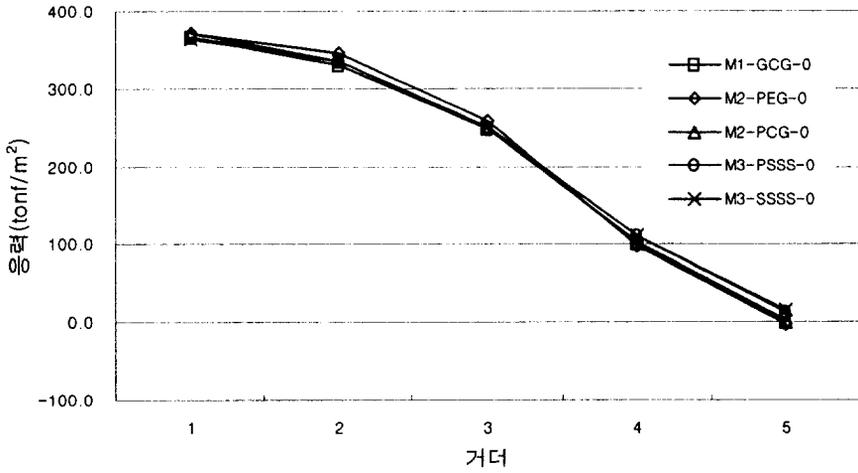


그림 5.2 거더 응력분포(case 2)

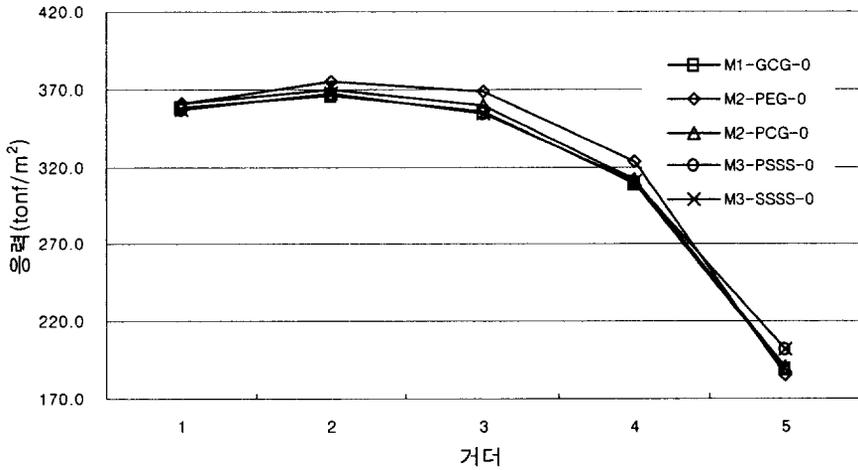


그림 5.3 거더 응력분포(case 3)

그림 5.1 ~ 그림 5.3은 하중 Case 1 ~ Case 3의 편축재하시 가로보가 없는 경우 응력을 비교한 그림이다. 1, 2번 거더를 대상으로 가장 크게 나타나는 부분을 비교하여 정리하면 표 5.1에서 표 5.3과 같이 정리할 수 있다. 정리는 M1 해석모델을 기준으로 하였다.

표에서 응력비는 식 (5.1)에 의해 M1모델을 기준으로 거더의 응력 비

울을 표시한 것이다. 응력 기울기는 식 (5.1)에 의해 구해진 응력비를 모델간 인접 거더간의 차이로 비교하였다. 응력의 기울기에 적용된 개념을 식 (5.2)와 같다.

$$\text{응력비} = \frac{M_i}{M1-GCG-0} \quad (5.1)$$

응력비는 M1-GCG-0 구조해석모델을 기준으로 비의 크기를 비교하였으며 여기서 M_i 는 구조해석모델 종류를 의미한다.

$$\text{응력기울기} = G_i - G_j \quad (5.2)$$

식 (5.2)에서 각각의 구조해석모델 G_i 는 가장 큰 응력하의 거더이고 G_j 는 인접한 거더의 응력의 크기이다. 편측 재하된 Case 1 ~ Case 3의 경우 G_i 는 1번 거더이며 G_j 는 2번 거더이다.

표 5.1 응력의 비와 기울기 비교(case 1)

모델	응력비		응력기울기
	거더 i	거더 j	
M1-GCG-0	1.00	0.57	0.43
M2-PEG-0	1.06	0.58	0.48
M2-PCG-0	1.02	0.58	0.44
M3-PSSS-0	1.00	0.60	0.39
M3-SSSS-0	0.99	0.60	0.39

표 5.2 응력의 비와 기울기 비교(case 2)

모델	응력비		응력기울기
	거더 i	거더 j	
M1-GCG-0	1.00	0.90	0.10
M2-PEG-0	1.01	0.94	0.07
M2-PCG-0	1.01	0.91	0.10
M3-PSSS-0	0.99	0.91	0.08
M3-SSSS-0	0.99	0.91	0.08

표 5.3 응력의 비와 기울기 비교(case 3)

모델	응력비		응력기울기
	거더 i	거더 j	
M1-GCG-0	1.00	0.98	0.02
M2-PEG-0	1.02	0.99	0.04
M2-PCG-0	1.01	0.98	0.02
M3-PSSS-0	1.00	0.97	0.03
M3-SSSS-0	1.00	0.97	0.03

하중이 편축재하된 case 1 ~ case 3의 경우 바닥판 상세모델인 M2-PEG-0이 응력의 크기나 기울기에서 모두 크게 나타났다. 응력의 크기는 1차선의 경우 최대 7%, 2차선은 2%, 3차선은 2%로 크게 나타났다.

기울기에서는 하중이 가장 국부적으로 재하된 1차선에서 0.48이었고 2차선 0.10 이며 전체 거더에 고르게 분포된 3차선 재하시는 거더에 응력이 균등한 수준으로 분포되는 것을 알 수 있었다.

가로보가 없는 경우 편축재하에서는 하중의 위치에 따라 응력분포가 크게 달라지는 것을 알 수 있었다.

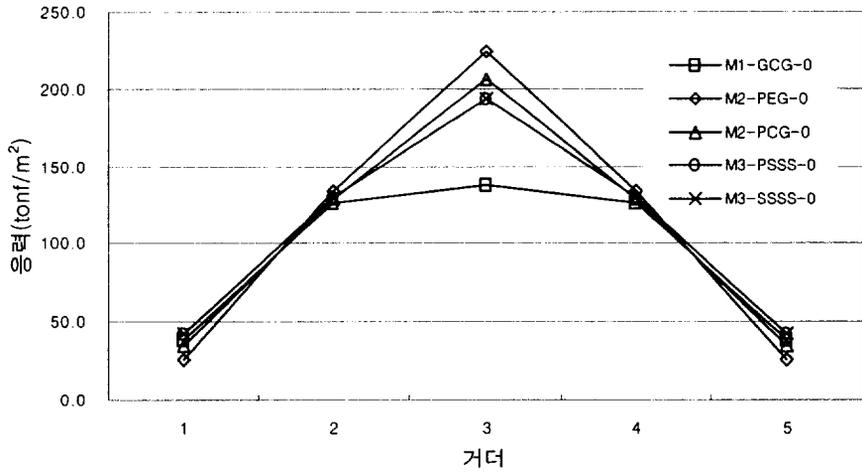


그림 5.4 거더 응력분포(case 4)

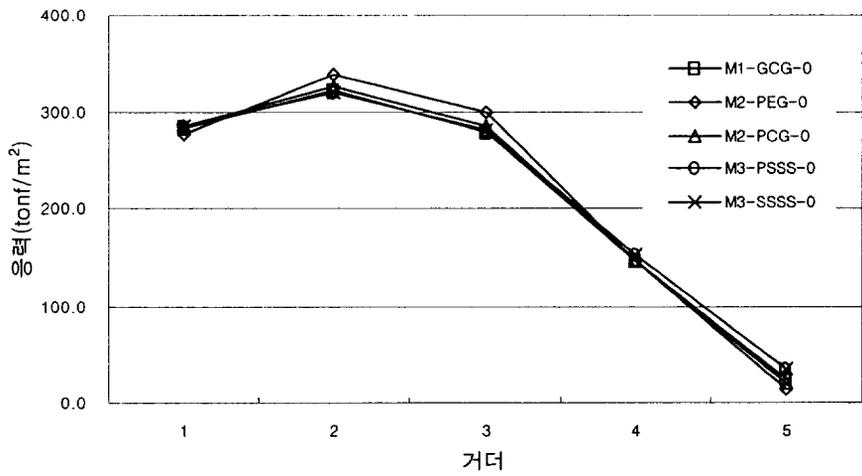


그림 5.5 거더 응력분포(case 5)

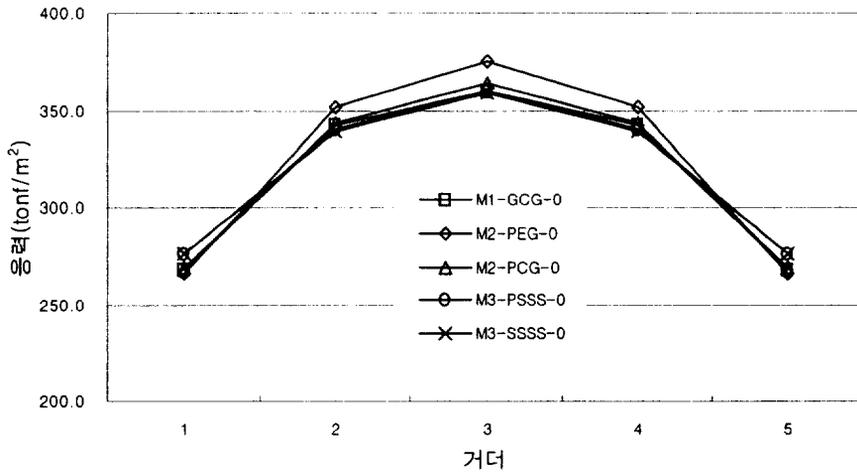


그림 5.6 거더 응력분포(case 6)

그림 5.4 ~ 그림 5.6은 하중이 중앙부를 기준으로 재하된 case 4 ~ case 6의 응력분포도이다. 최대응력크기와 인접거더와의 기울기를 정리하여 표 5.4 ~ 표 5.6에 나타내었다. Case 4과 Case 6의 경우 G_i 는 3번 거더이며 G_j 는 2번 거더이고 Case 5의 경우에는 G_i 는 2번 거더이며 G_j 는 3번 거더이다.

표 5.4 응력의 비와 기울기 비교(case 4)

모델	응력비		응력기울기
	거더 i	거더 j	
M1-GCG-0	1.00	0.92	0.08
M2-PEG-0	1.62	0.97	0.66
M2-PCG-0	1.49	0.93	0.56
M3-PSSS-0	1.41	0.94	0.46
M3-SSSS-0	1.40	0.94	0.46

표 5.5 응력의 비와 기울기 비교(case 5)

모델	응력비		응력기울기
	거더 i	거더 j	
M1-GCG-0	1.00	0.87	0.13
M2-PEG-0	1.05	0.93	0.12
M2-PCG-0	1.01	0.89	0.13
M3-PSSS-0	1.00	0.87	0.12
M3-SSSS-0	0.99	0.87	0.12

표 5.6 응력의 비와 기울기 비교(case 6)

모델	응력비		응력기울기
	거더 i	거더 j	
M1-GCG-0	1.00	0.95	0.05
M2-PEG-0	1.04	0.98	0.06
M2-PCG-0	1.01	0.96	0.06
M3-PSSS-0	1.00	0.95	0.05
M3-SSSS-0	1.00	0.94	0.05

하중이 교량 중심선을 기준으로 대칭으로 재하된 case 4 ~ case 6의 경우에는 1차선의 경우 응력의 크기는 M2-PEG-0가 격자모델인 M1-GCG-0 보다 62% 응력이 크게 나타났으며 M2-PCG-0는 49%이며 M3 모델은 M1-GCG-0보다 40% 정도 크게 나타났다.

응력기울기에서는 1차선의 경우 M2-PEG-0가 가장 크게 다음으로 M2-PCG-0 그리고 M3 모델 순으로 나타났고 하중이 전체 교량에 고르게 분포된 경우인 3차선에서는 거더에 응력이 고르게 분포하였다. 중앙부 2차선은 편측재하와 같은 결과를 보였다.

바닥판 및 거더 모두 가장 상세하게 묘사된 해석모델인 M3 계열의 M3-PSSS-0과 M3-SSSS-0는 응력의 크기와 기울기에서 차이를 발견할 수 없었다.

5.1.2 가로보 있는 모델 응력 비교

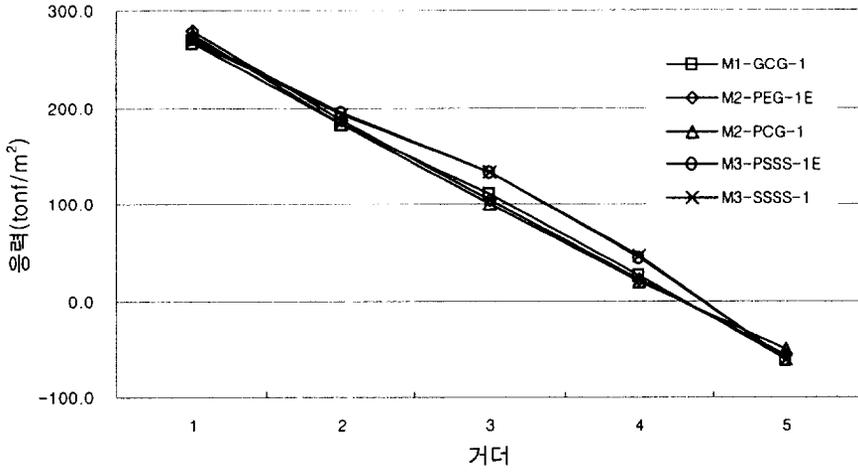


그림 5.7 거더 응력분포(case 1)

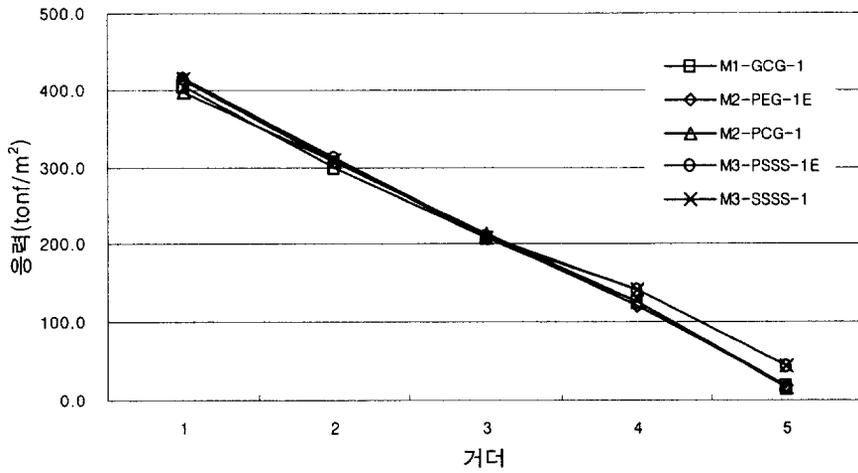


그림 5.8 거더 응력분포(case 2)

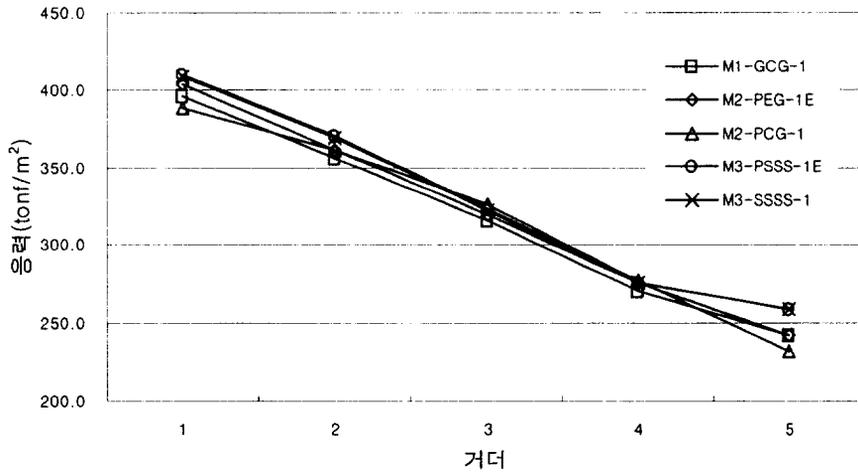


그림 5.9 거더 응력분포(case 3)

그림 5.7 ~ 그림 5.9는 가로보가 있는 경우의 응력분포도를 비교한 그림이다. M2-PEG-1E 모델과 M3-PSSS-1E 모델은 가로보의 편심을 고려한 모델을 이용하여 정리하였다.

M1-GCG-1 모델을 기준으로한 응력의 최대 크기비와 인접거더와의 응력분포 기울기를 산정하여 표 5.7 ~ 표 5.9에 정리하였다.

표 5.7 응력의 비와 기울기 비교(case 1)

모델	응력비		응력기울기
	거더 i	거더 j	
M1-GCG-1	1.00	0.69	0.31
M2-PEG-1E	1.05	0.70	0.34
M2-PCG-1	1.04	0.68	0.35
M3-PSSS-1E	1.02	0.73	0.29
M3-SSSS-1	1.01	0.73	0.28

표 5.8 응력의 비와 기울기 비교(case 2)

모델	응력비		응력기울기
	거더 i	거더 j	
M1-GCG-1	1.00	0.74	0.26
M2-PEG-1E	1.02	0.76	0.26
M2-PCG-1	0.98	0.76	0.23
M3-PSSS-1E	1.03	0.77	0.26
M3-SSSS-1	1.02	0.77	0.26

표 5.9 응력의 비와 기울기 비교(case 3)

모델	응력비		응력기울기
	거더 i	거더 j	
M1-GCG-1	1.00	0.90	0.10
M2-PEG-1E	1.02	0.91	0.11
M2-PCG-1	0.98	0.91	0.07
M3-PSSS-1E	1.03	0.93	0.10
M3-SSSS-1	1.03	0.93	0.10

가로보가 있는 경우 가로보가 없는 경우보다 구조해석모델간의 차이는 크게 감소하였다. 편축재하 1차선 응력의 크기에서는 M2-PEG-1E 모델이 가장 크게 나타나고 기울기는 M2-PCG-1 모델이 가장 크게 나타났다.

편축재하 2차선, 3차선의 경우는 M1-GCG-1 모델과 M2 모델 중 M2-PCG-1E 모델이 유사한 분포를 보이고 M2-PEG-1E 모델과 M3 계열 모델이 응력의 크기나 분포에서 유사한 분포를 보였다.

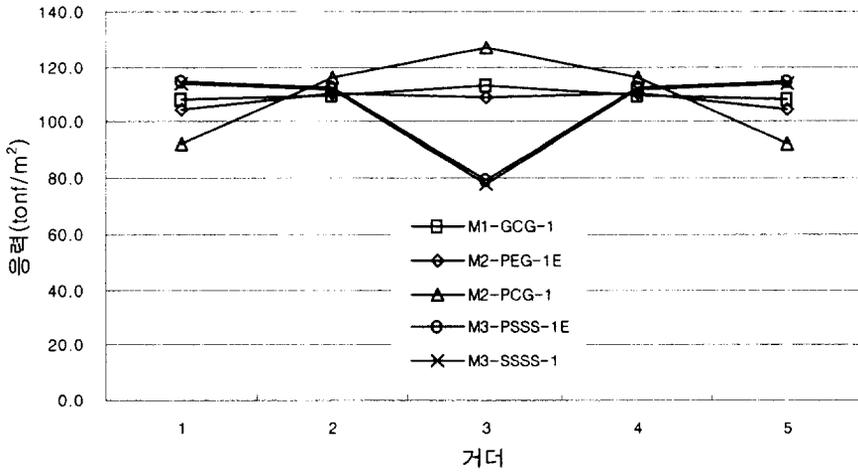


그림 5.10 거더 응력분포(case 4)

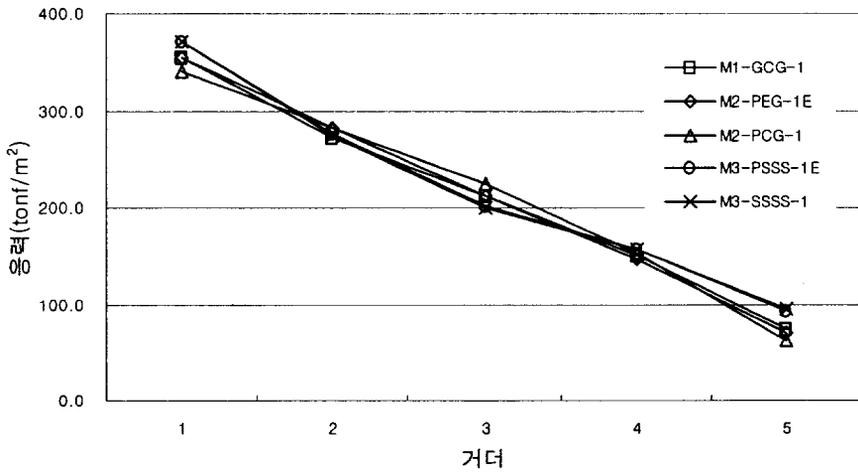


그림 5.11 거더 응력분포(case 5)

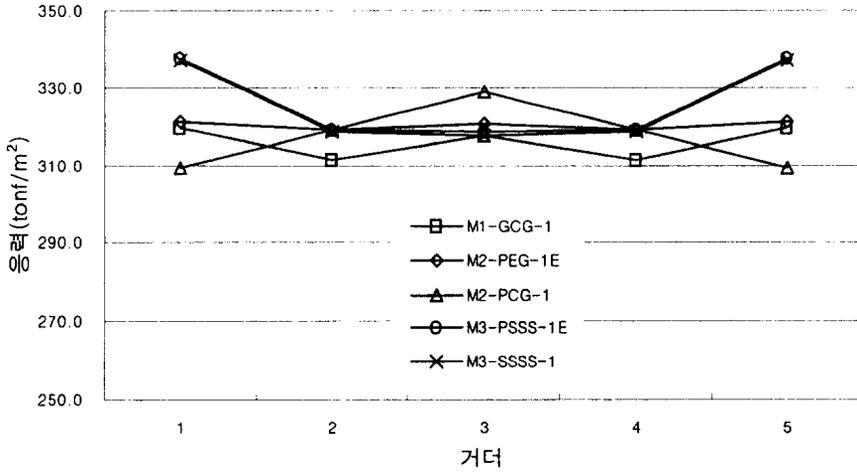


그림 5.12 거더 응력분포(case 6)

그림 5.10 ~ 그림 5.12는 가로보가 있는 경우 하중이 중앙부에 재하된 경우의 응력분포도를 나타낸 것이다. M1-GCG-1 모델을 기준으로 응력의 최대 크기비와 인접거더와의 응력분포 기울기를 산정하여 정리하면 표 5.10 ~ 표 5.12와 같이 나타났다.

표 5.10 응력의 비와 기울기 비교(case 4)

모델	응력비		응력기울기
	거더 i	거더 j	
M1-GCG-1	1.00	0.97	0.03
M2-PEG-1E	0.96	0.97	-0.01
M2-PCG-1	1.12	1.02	0.09
M3-PSSS-1E	0.70	0.99	-0.29
M3-SSSS-1	0.69	0.99	-0.30

표 5.11 응력의 비와 기울기 비교(case 5)

모델	응력비		응력기울기
	거더 i	거더 j	
M1-GCG-1	1.00	0.77	0.23
M2-PEG-1E	1.00	0.80	0.21
M2-PCG-1	0.96	0.80	0.17
M3-PSSS-1E	1.05	0.78	0.27
M3-SSSS-1	1.05	0.78	0.27

표 5.12 응력의 비와 기울기 비교(case 6)

모델	응력비		응력기울기
	거더 i	거더 j	
M1-GCG-1	1.00	0.98	0.02
M2-PEG-1E	1.01	1.01	0.01
M2-PCG-1	1.04	1.01	0.03
M3-PSSS-1E	1.00	1.01	0.00
M3-SSSS-1	1.00	1.00	0.00

중앙부 하중재하인 case 4 ~ case 6 에서는 M2-PCG-1 모델이 응력 크기와 기울기에서 가장 크게 나타났다. M2-PCG-1 모델은 M1 계열인 격자구조에 가까운 분포를 M2-PEG 모델은 M3 모델에 가까운 분포를 보였다.

가장 상세한 해석모델인 M3-PSSS-1E와 M3-SSSS-1는 동일한 응력 크기 및 분포를 나타내고 있어 실제 차이를 발견할 수 없다.

5.1.3 가로보 형태에 따른 모델 응력 비교

가로보의 형태란 가로보에 사용된 해석요소와 요소의 가정 위치를 의미한다. 가로보를 여러 가지 형태로 사용할 수 있는 구조해석 모델은 M2 모델의 경우 M2-PEG 이고 M3 모델의 경우 M3-PSSS 구조해석모델이다.

1) M2-PEG 모델

M2-PEG 모델 중 M2-PEG-0는 가로보가 없는 경우이고 M2-PEG-1C는 보요소를 바닥판 중심에 그리고 M2-PEG-1E는 보요소를 가로보의 퍼심 영향을 고려한 구조해석모델을 의미한다.

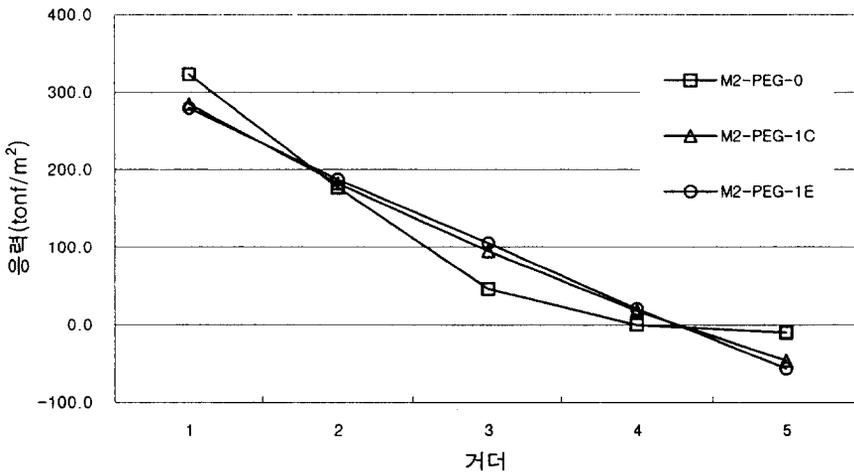


그림 5.13 거더 응력분포(case 1)

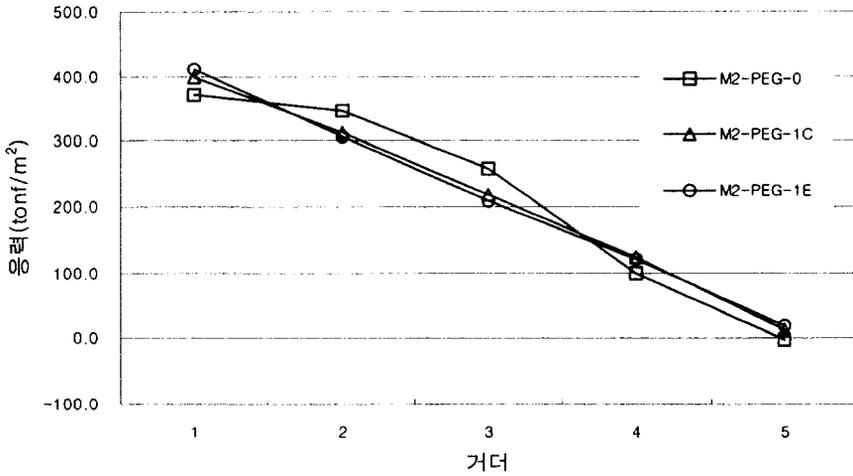


그림 5.14 거더 응력분포(case 2)

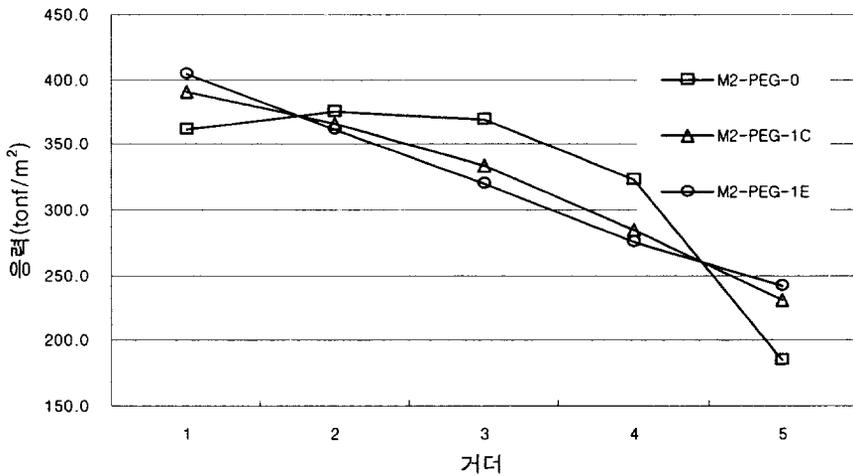


그림 5.15 거더 응력분포(case 3)

그림 5.13 ~ 그림 5.15는 M2-PEG 해석모델을 하중 편축재하시 가로 보 형태에 따라 응력분포를 비교한 그림이다. 응력의 크기는 가로보가 없는 경우에는 하중의 위치에 따라 모델중 가장 크게 영향을 받는 것을 알 수 있다. 먼저 case1의 경우 외측 거더와 내측 거더간의 차이가 가장 크게 나타난 반면 case2, case3에서는 오히려 가로보가 있는 경우보다 편차의

양이 감소하는 것을 그림에서 알 수 있다. 가로보가 있는 경우 응력분포도는 편심의 영향이 고려된 M2-PEG-1E 해석모델이 분포도의 기울기가 가장 급하게 나타났다. 가로보가 없을 경우 1번 거더를 기준할 때 M2-PEG-0의 최외측 거더를 1로 보면 Case1의 경우 M2-PEG-1C는 0.88, M2-PEG-1E의 최외측 거더는 0.86으로 나타났다. 3차선의 경우는 M2-PEG-1C는 1.08, M2-PEG-1E는 1.12로 나타났다. 가로보의 위치에 따른 실제차이는 4%로 나타났다.

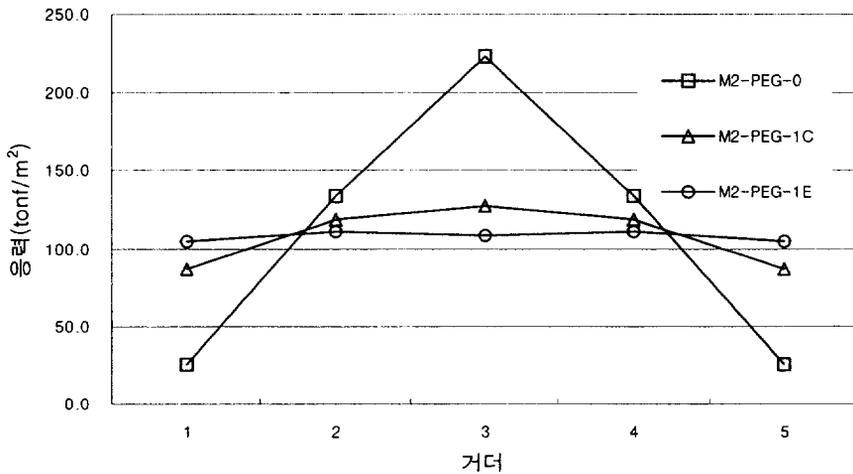


그림 5.16 거더 응력분포(case 4)

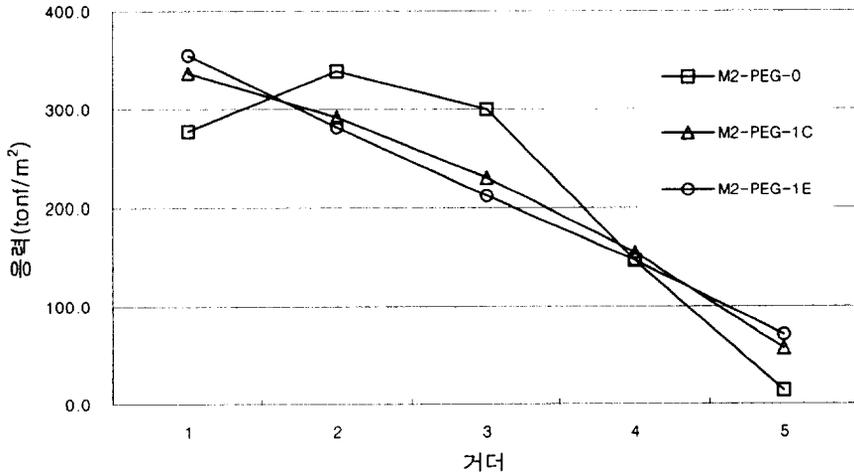


그림 5.17 거더 응력분포(case 5)

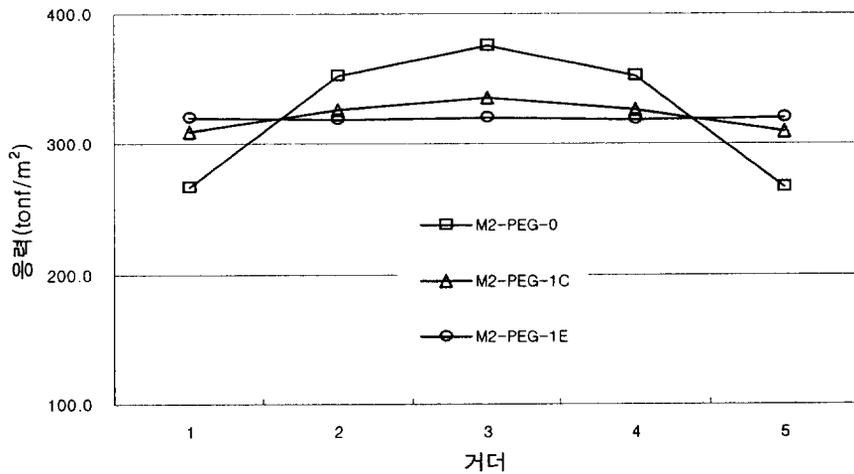


그림 5.18 거더 응력분포(case 6)

그림 5.16 ~ 그림 5.18은 중앙부에 하중이 재하된 경우의 응력분포를 나타낸 그림이다. 차량 하중이 중앙부에 재하된 경우 가로보가 없는 경우가 변화폭이 가장 크게 나타나고 다음으로 바닥판에 가로보가 설치된 경우이다. 가로보의 편심의 영향이 고려된 M2-PEG-1E가 가장 완만한 응력 분포도를 그림에서 보여주고 있다.

M2-PEG-0 모델인 가로보가 없는 경우를 기준으로 중앙 3번 거더의 비를 구하면 Case 4의 경우 M2-PEG-1C는 0.57이며 M3-PEG-1E는 0.48이다. Case 6은 M2-PEG-1C는 0.9이고 M2-PEG-1E는 0.86으로 분석되어 가로보의 차이에 따른 영향은 1~8%로 조사되었다.

구조해석모델에서 외측 거더의 경우 크게 내측 거더의 경우는 응력이 적게 나타나는 것이 가로보가 크게 영향을 미친다 할 수 있다. 즉, 편심모델이 외측에서는 4%, 내측에서는 최대 8%까지 가로보의 영향이 크게 작용함을 알 수 있다.

2) M3-PSSS 모델

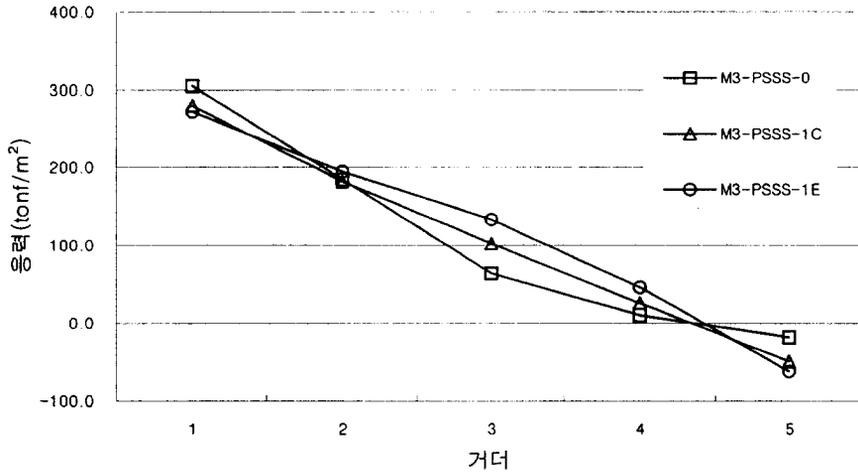


그림 5.19 거더 응력분포(case 1)

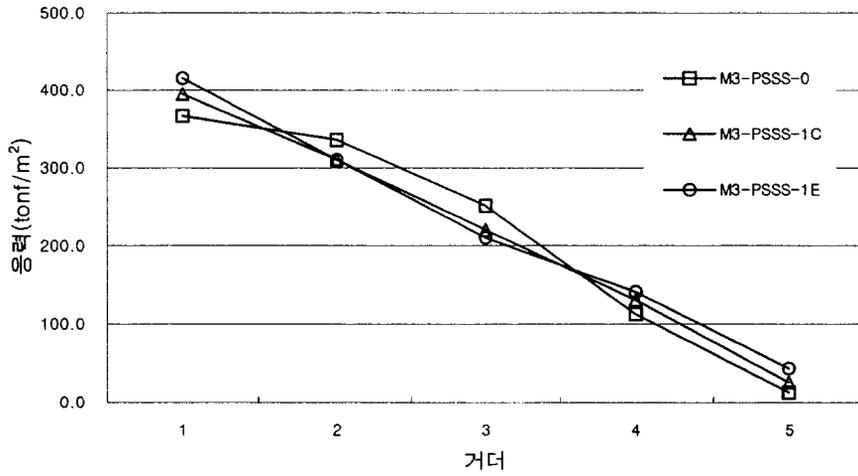


그림 5.20 거더 응력분포(case 2)

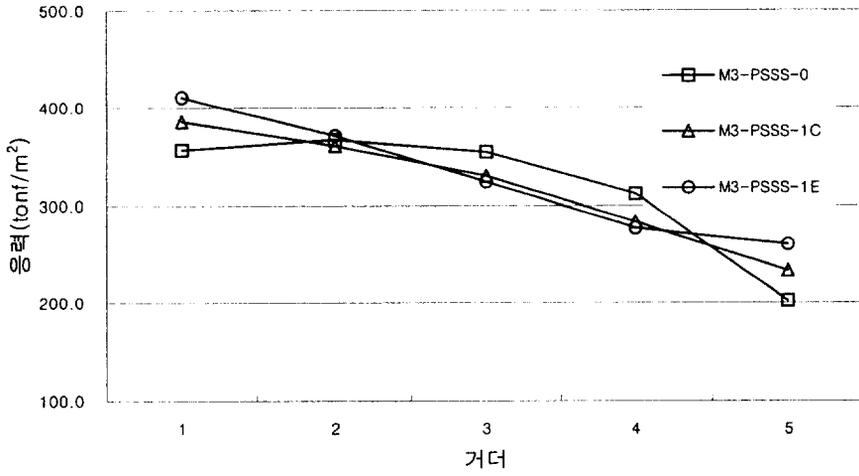


그림 5.21 거더 응력분포(case 3)

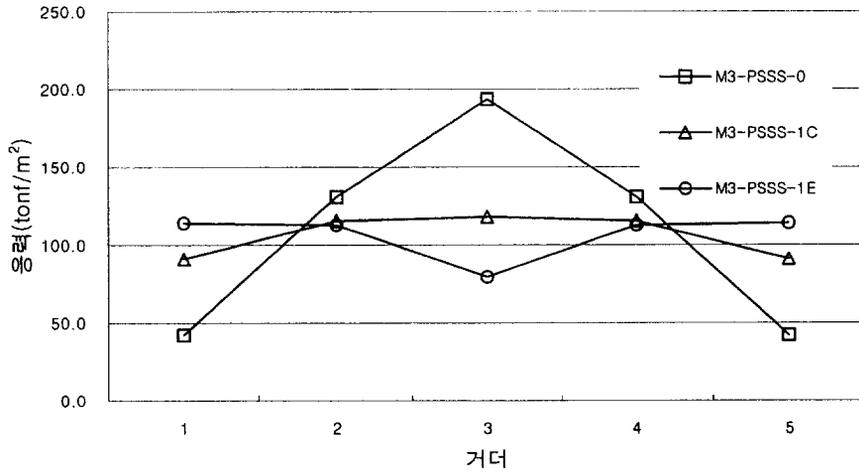


그림 5.22 거더 응력분포(case 4)

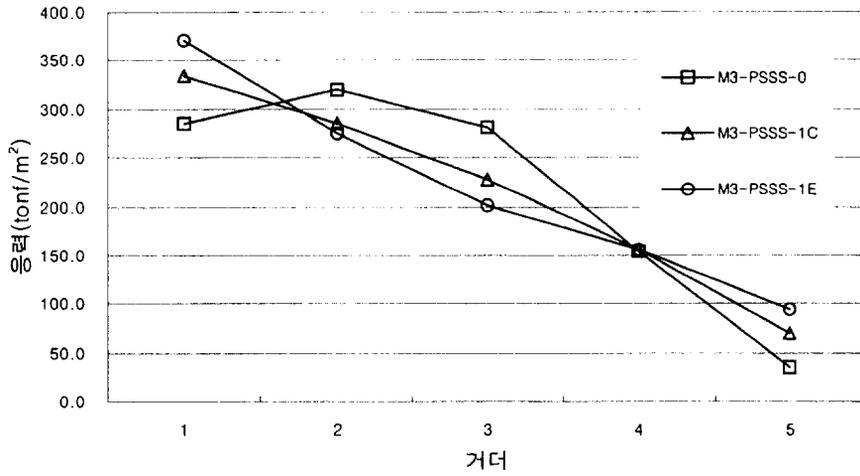


그림 5.23 거더 응력분포(case 5)

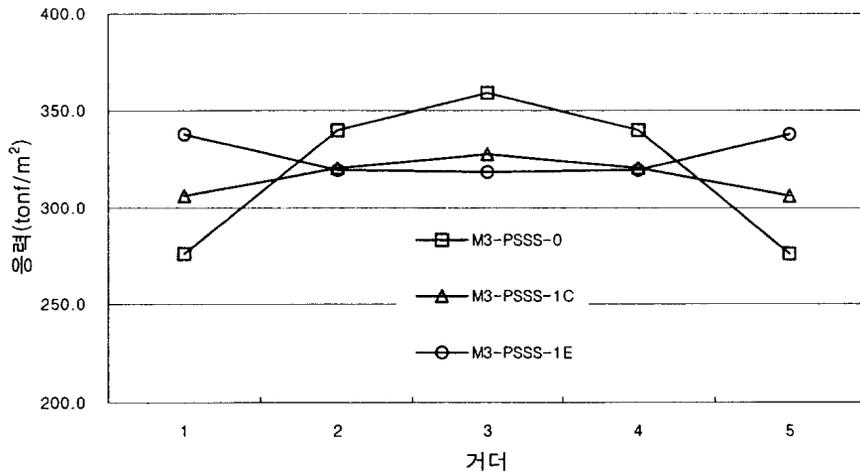


그림 5.24 거더 응력분포(case 6)

그림 5.19 ~ 그림 5.21은 하중이 편측 재하시 응력분포도이며 그림 5.22 ~ 그림 5.24은 중앙부 1차선에서 3차선으로 재하된 경우의 응력분포도이다.

편측의 경우 응력 크기의 분포가 가로보가 없는 경우 하중의 위치에 따라 해석모델에서 가장 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 이는 case 1

에서는 외측거더와 내측거더간의 차이가 가장 크게 산정된 반면 case 2와 case 3은 가로보가 있는 경우 응력분포 차가 적게 나타나는 것으로 알 수 있었다. 그리고 가로보가 있는 경우는 바닥판 중심에 보요소로 설치한 가로보 모델보다는 편심의 영향이 고려된 M3-PSSS-1E가 편축재하 하중에 대해서 기울기가 급하게 나타났다. 가로보가 없는 모델을 기준으로 Case 1의 경우 M3-PSSS-1C는 0.91, M3-PSSS-1E는 0.89로 나타났고, Case 2와 Case 3은 M2-PSSS-1C는 1.80, M3-PSSS-1E는 1.14로 나타났다.

Case 4의 경우 M3-PSSS-1C는 모델이 0.61, 편심모델은 0.41, Case 6은 M3-PSSS-1C 모델은 0.91, M3-PSSS-1E 모델은 0.88로 나타났다.

가로보 형태에 따라서 외측의 경우 값이 크게 나타나고 중앙부의 경우 값이 적게 나타나는 것이 가로보의 영향이 크게 모델에 반영되었다 할 수 있다. 즉, M3-PSSS-1C 모델보다는 M3-PSSS-1E 모델이 외측 거더에서는 3~6%적게, 내측 거더는 최대 20%에서 30% 크게 나타났다.

하중이 대칭적으로 작용하는 case 4와 case 6에서는 M3-PSSS-1E가 완만한 응력기울기 분포를 보이는 것을 그림에서 알 수 있다.

5.2 모델별 처짐 비교

그림 5.25 ~ 그림 5.48는 하중작용위치와 재하차로에 따라 상부구조모델의 처짐 크기를 비교한 것이다.

5.2.1 가로보 없는 모델 처짐 비교

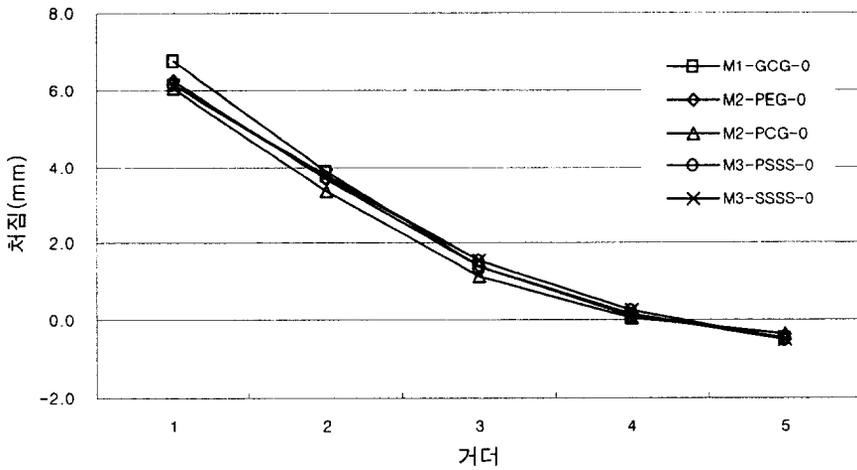


그림 5.25 거더 처짐분포(case 1)

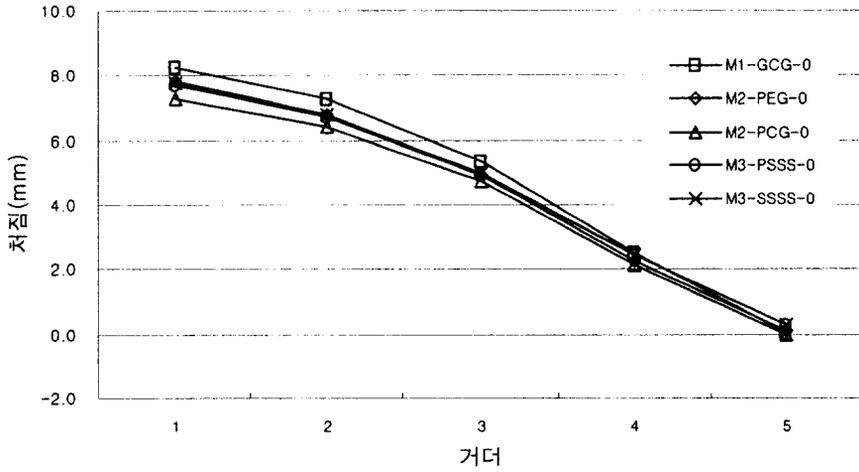


그림 5.26 거더 침짐분포(case 2)

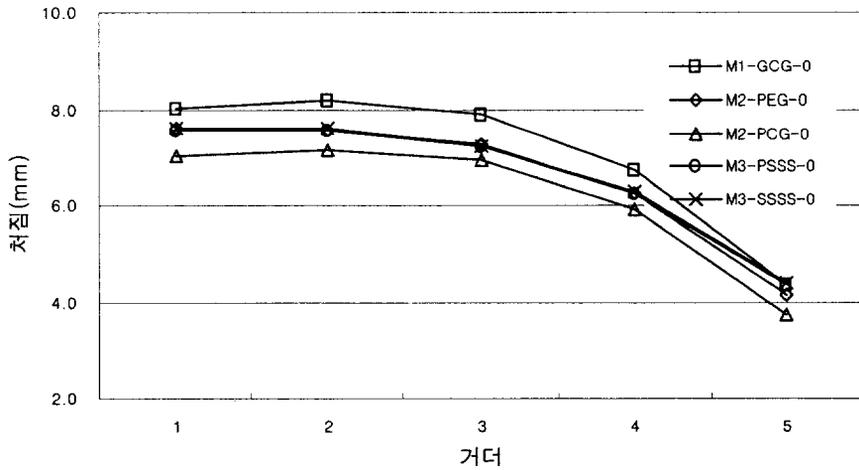


그림 5.27 거더 침짐분포(case 3)

그림 5.25 ~ 그림 5.27은 하중 편측재하시 case 1에서 case 3의 거더 별 침짐 크기에 대한 분포도를 나타낸 것이다. 구조해석모델 M1-GCG-0을 기준으로 침짐 크기의 비와 인접거더와의 침짐기울기를 구하여 표 5.13 ~ 표 5.15에 정리하였다.

$$\text{처짐비} = \frac{M_i}{M1 - GCG} \quad (5.3)$$

처짐 크기의 비를 나타낸 식 (5.3)에서 $M1 - GCG$ 격자모델을 기준으로 산정하였고 M_i 는 구조모델을 의미한다.

$$\text{처짐기울기} = G_i - G_j \quad (5.4)$$

식 (5.4)는 상대적인 처짐기울기를 분석하기위한 것으로 G_i 는 최대 처짐을 가지는 거더이며 G_j 는 G_i 에 인접된 거더의 처짐비이다.

표 5.13 처짐의 비와 기울기 비교(case 1)

모델	처짐비		처짐기울기
	거더 i	거더 j	
M1-GCG-0	1.00	0.57	0.43
M2-PEG-0	0.93	0.54	0.39
M2-PCG-0	0.90	0.50	0.40
M3-PSSS-0	0.91	0.55	0.35
M3-SSSS-0	0.91	0.56	0.35

표 5.14 처짐의 비와 기울기 비교(case 2)

모델	처짐비		처짐기울기
	거더 i	거더 j	
M1-GCG-0	1.00	0.88	0.12
M2-PEG-0	0.95	0.82	0.13
M2-PCG-0	0.88	0.78	0.10
M3-PSSS-0	0.94	0.82	0.12
M3-SSSS-0	0.94	0.82	0.12

표 5.15 처짐의 비와 기울기 비교(case 3)

모델	처짐비		처짐기울기
	거더 i	거더 j	
M1-GCG-0	1.00	1.02	-0.02
M2-PEG-0	0.95	0.94	0.00
M2-PCG-0	0.88	0.89	-0.01
M3-PSSS-0	0.94	0.94	0.00
M3-SSSS-0	0.95	0.95	0.00

편측재하의 경우 처짐량에서는 M2-PCG-0 모델이 가장 낮게 나타났고 격자구조 M1 모델이 가장 크게 나타났다. M3 모델계열과 M2-PEG-0의 처짐 크기는 유사한 분포를 보였고 값의 차이는 2% 내외였다.

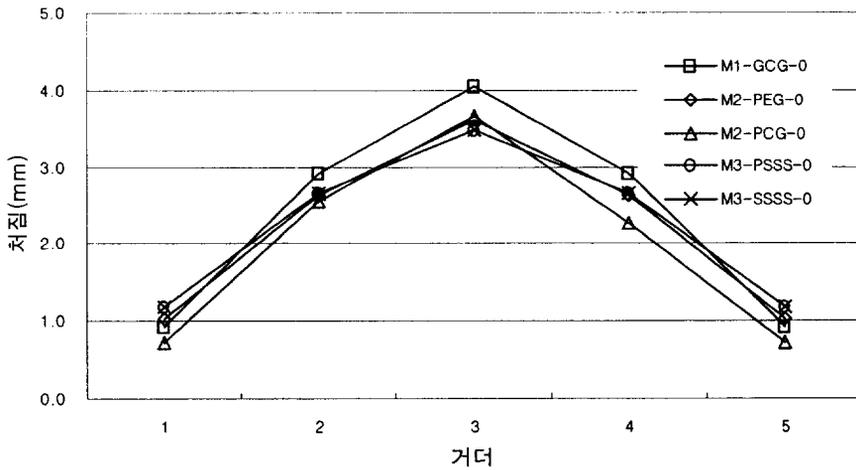


그림 5.28 거더 처짐분포(case 4)

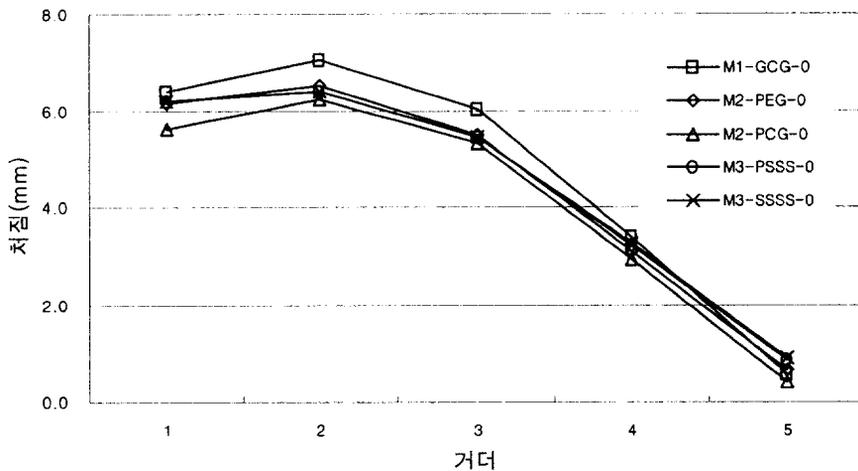


그림 5.29 거더 침분포(case 5)

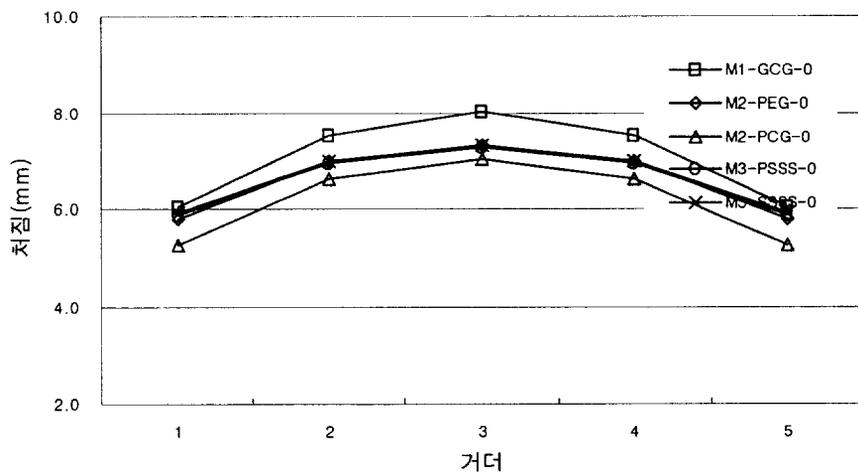


그림 5.30 거더 침분포(case 6)

그림 5.28 ~ 그림 5.30는 하중이 중앙부를 기준으로 재하된 case 4 ~ case 6의 거더별 침 분포도를 비교한 것이다. 모델 M1을 기준으로 구조 해석 모델에 따른 침 크기 의 비와 인접거더와의 기울기를 정리하여 표 5.16 ~ 표 5.18에 나타내었다.

표 5.16 처짐의 비와 기울기 비교(case 4)

모델	처짐비		처짐기울기
	거더 i	거더 j	
M1-GCG-0	1.00	0.71	0.29
M2-PEG-0	0.89	0.65	0.24
M2-PCG-0	0.90	0.63	0.27
M3-PSSS-0	0.86	0.65	0.21
M3-SSSS-0	0.86	0.66	0.20

표 5.17 처짐의 비와 기울기 비교(case 5)

모델	처짐비		처짐기울기
	거더 i	거더 j	
M1-GCG-0	1.00	0.91	0.09
M2-PEG-0	0.92	0.88	0.05
M2-PCG-0	0.88	0.80	0.09
M3-PSSS-0	0.91	0.88	0.03
M3-SSSS-0	0.91	0.88	0.03

표 5.18 처짐의 비와 기울기 비교(case 6)

모델	처짐비		처짐기울기
	거더 i	거더 j	
M1-GCG-0	1.00	0.94	0.06
M2-PEG-0	0.92	0.87	0.05
M2-PCG-0	0.88	0.82	0.05
M3-PSSS-0	0.91	0.87	0.04
M3-SSSS-0	0.92	0.87	0.04

중앙부에 하중이 재하된 case 4에서 case 6의 경우에는 M2-PCG 모델의 처짐량이 가장 적게 M1-GCG가 가장 크게 나타났다. M2-PEG와 M3 계열모델은 유사한 분포의 처짐량을 나타내고 있다.

5.2.2 가로보 있는 모델 처짐 비교

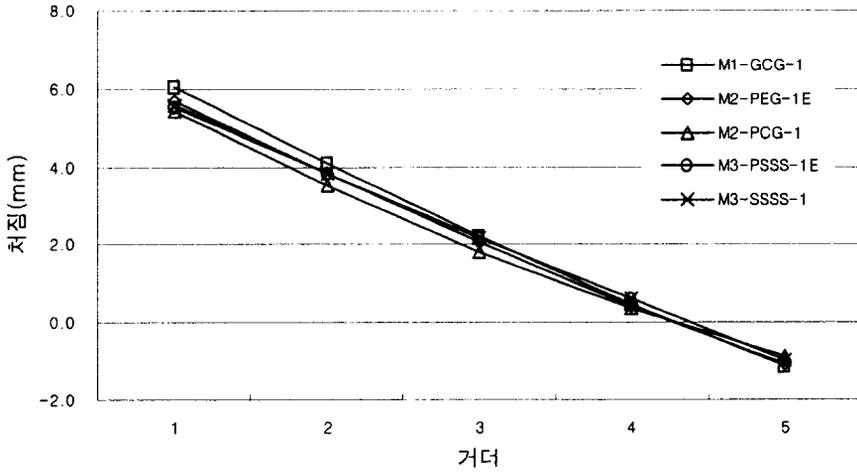


그림 5.31 거더 처짐분포(case 1)

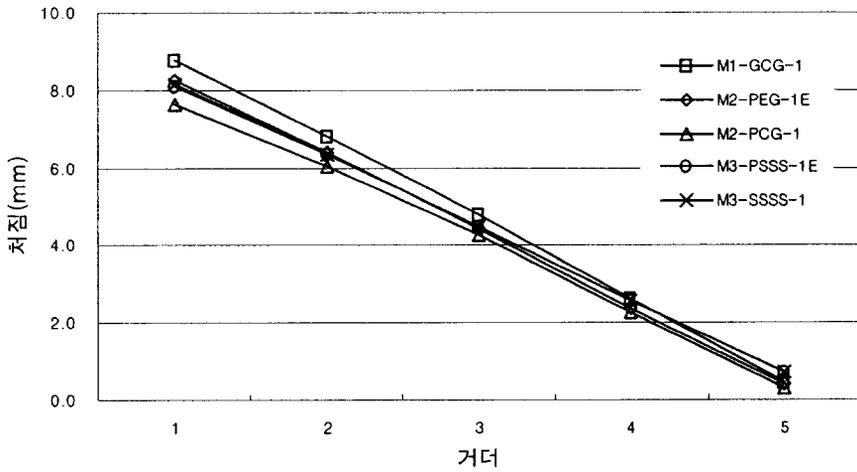


그림 5.32 거더 처짐분포(case 2)

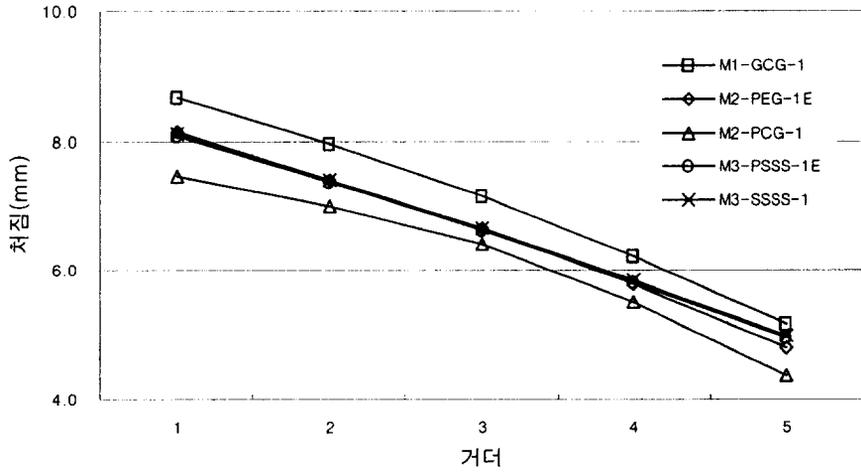


그림 5.33 거더 침짐분포(case 3)

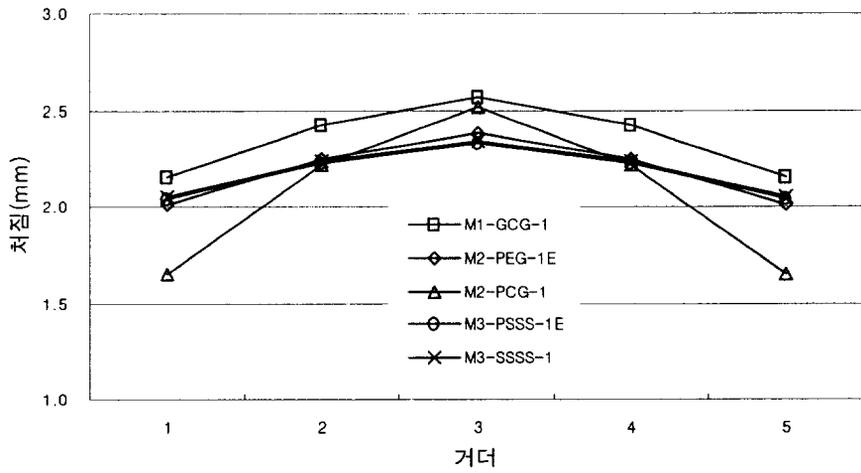


그림 5.34 거더 침짐분포(case 4)

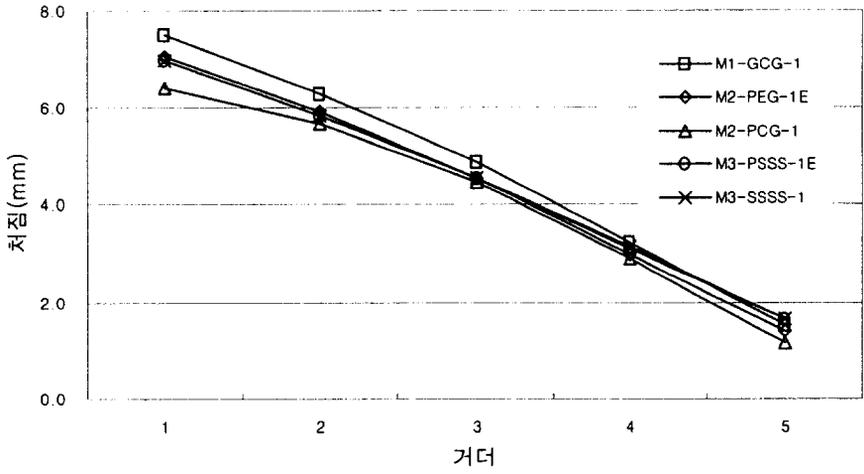


그림 5.35 거더 침짐분포(case 5)

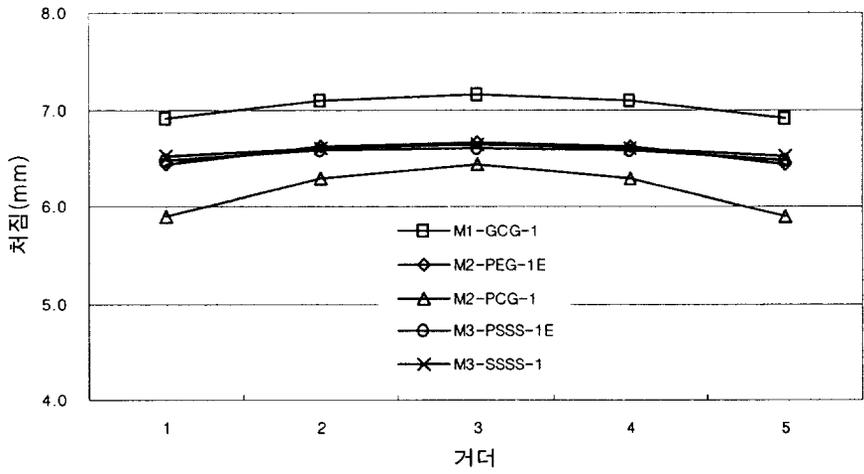


그림 5.36 거더 침짐분포(case 6)

5.2.3 가로보 형태에 따른 모델 처짐 비교

가로보 형태란 가로보에 사용된 요소와 배치위치를 의미한다. 가로보를 여러 가지 형태로 사용할 수 있는 구조해석모델 M2 모델의 경우 M2-PEG 모델이 가능하고 M3 모델은 M3-PSSS 모델이 가능하다.

1) M2-PEG 모델

M2-PEG 모델중 M2-PEG-0은 가로보가 없는 경우이고 M2-PEG-1C는 가로보를 보요소를 사용하여 바닥판 중심에 설치한 모델이다. 그리고 M2-PEG-1E는 가로보의 편심을 고려하여 보요소를 사용한 구조해석모델이다.

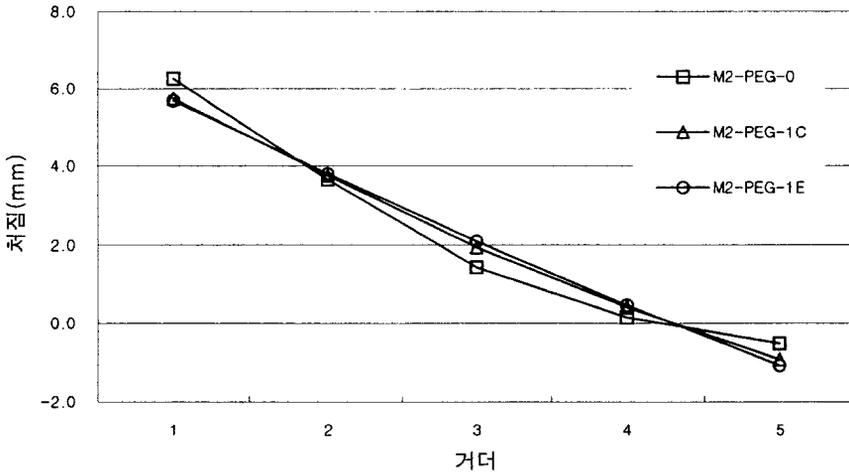


그림 5.37 거더 처짐분포(case 1)

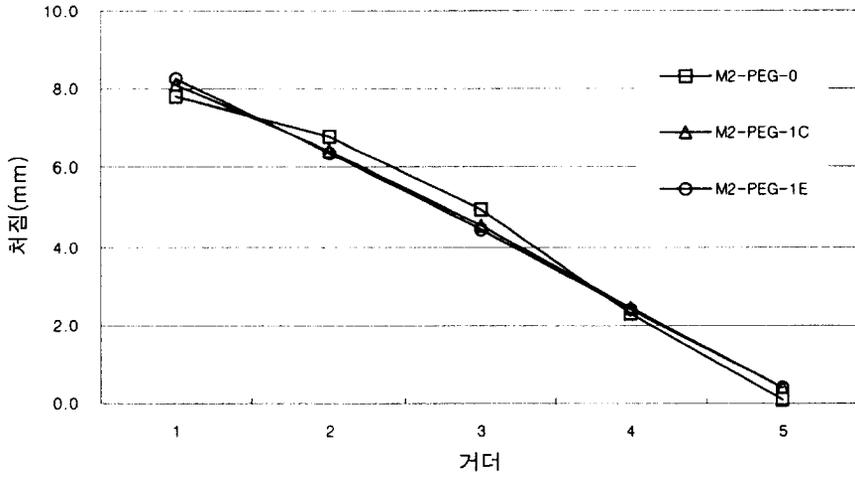


그림 5.38 거더 처짐분포(case 2)

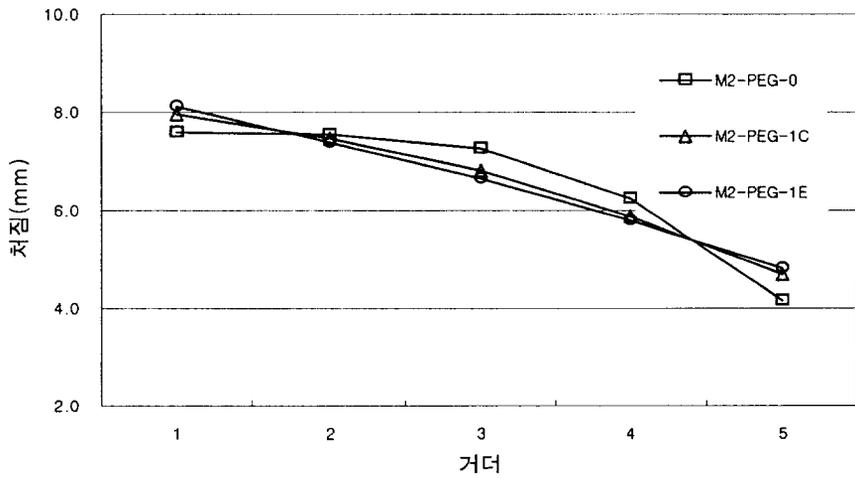


그림 5.39 거더 처짐분포(case 3)

그림 5.37 ~ 그림 5.39는 M2-PEG 해석모델을 하중의 편측재하시 가로보형태에 따라 처짐을 비교한 분포도이다.

처짐의 크기는 가로보가 없는 경우에는 하중의 위치에 따라 가장 크게 영향을 받는 것을 알 수 있다. 먼저 case 1의 경우는 외측 거더와 내측 거더간의 차이가 가장 크게 나타난 반면 case 2, case 3으로 갈수록 가로보

가 있을때 보다 오히려 분포가 완만해지는 것을 알 수 있다.

가로보가 있는 경우 처짐분포 기울기는 편심의 영향이 고려된 M2-PEG-1E가 크게 나타났다.

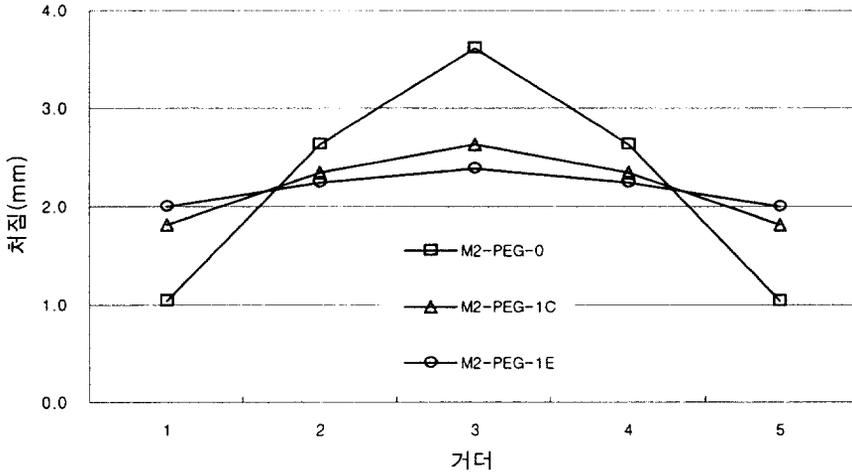


그림 5.40 거더 처짐분포(case 4)

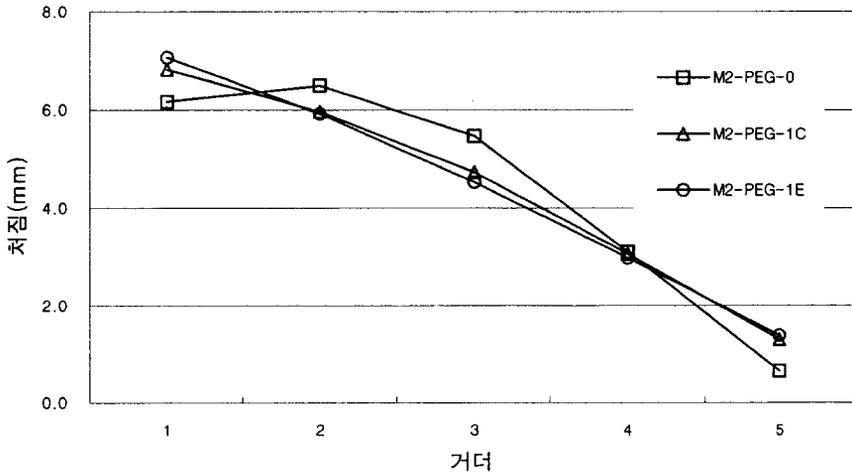


그림 5.41 거더 처짐분포(case 5)

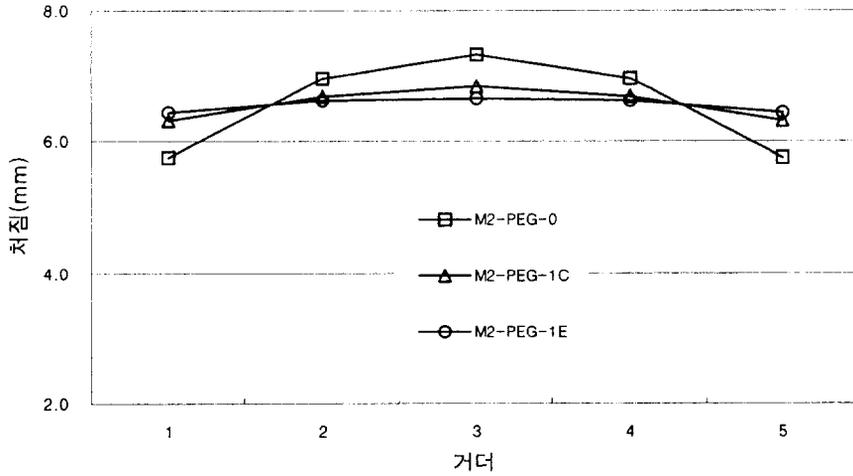


그림 5.42 거더 처짐분포(case 6)

그림 5.40 ~ 그림 5.42는 하중 경우 case 4 ~ case 6에 대한 거더의 처짐분포도를 나타낸 것이다.

차량 하중이 중앙부에 재하된 경우 가로보가 없는 경우 변화폭이 가장 크게 나타나며 다음으로 바닥판에 가로보가 설치된 M2-PEG-1C 이고 편심이 고려된 M2-PEG-1E가 가장 완만한 분포를 보여주고 있다.

2) M3-PSSS 모델

M3-PSSS 모델중 M3-PSSS-0은 가로보가 없는 경우이고 M3-PSSS-1C는 보요소를 바닥판 중심에 고려된 해석모델이다. 그리고 M3-PSSS-1E는 가로보를 슬리드요소를 사용하여 실제 가로보 형상에 가깝도록 고려된 구조해석모델이다.

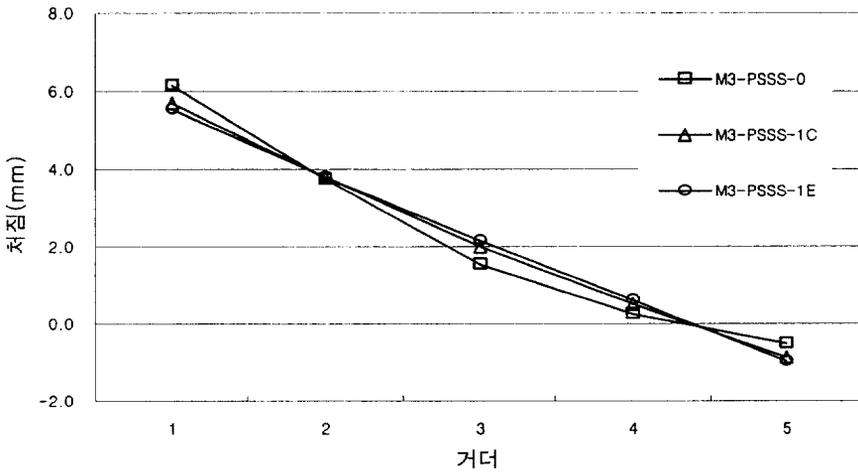


그림 5.43 거더 침짐분포(case 1)

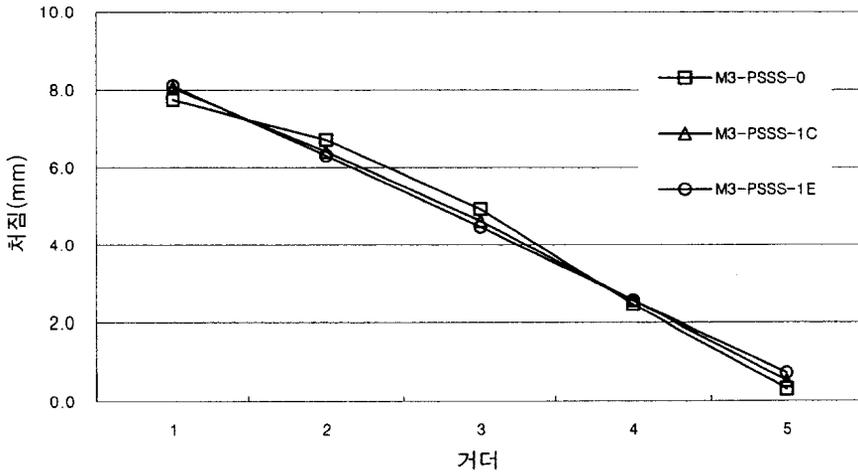


그림 5.44 거더 침짐분포(case 2)

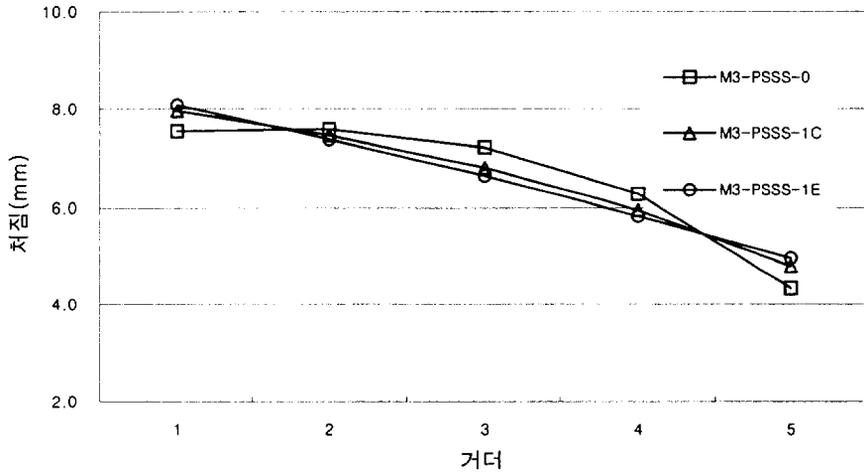


그림 5.45 거더 침짐분포(case 3)

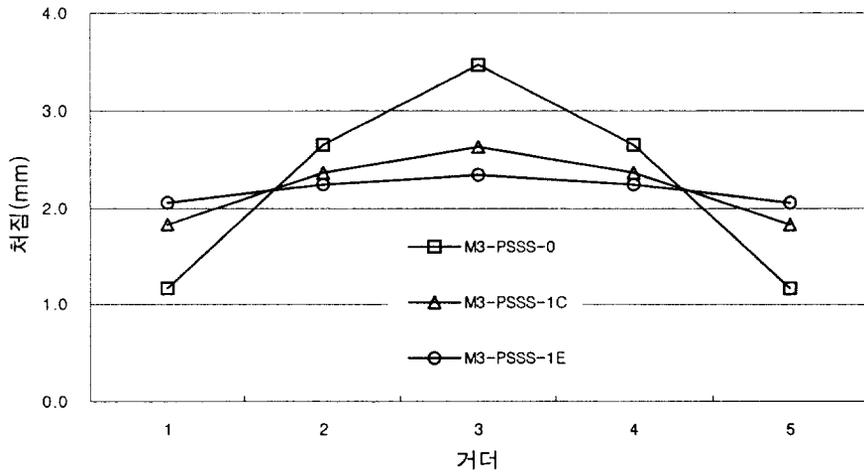


그림 5.46 거더 침짐분포(case 4)

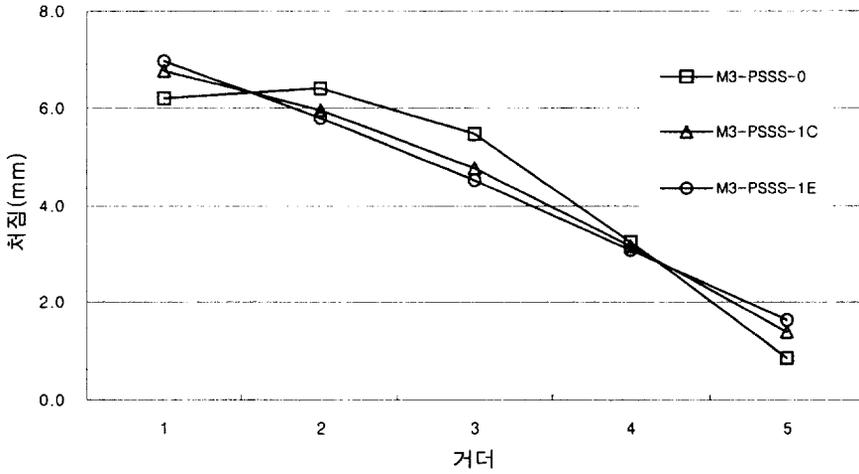


그림 5.47 거더 처짐분포(case 5)

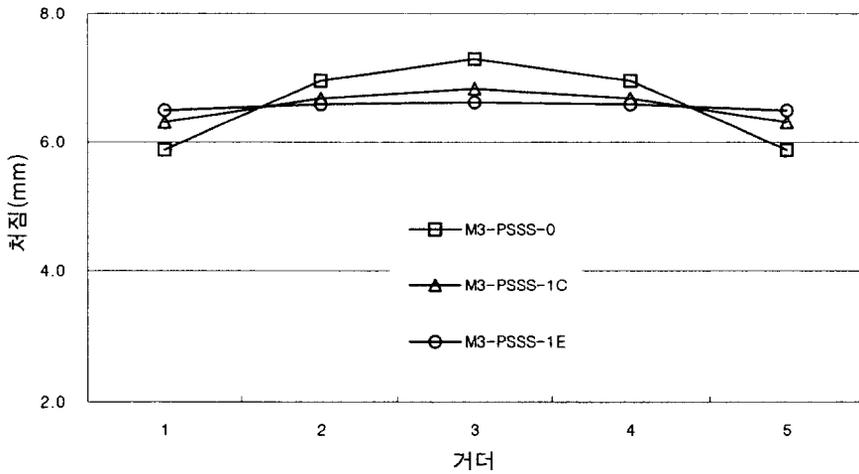


그림 5.48 거더 처짐분포(case 6)

그림 5.43 ~ 그림 5.45는 편측재하시 처짐 분포도이며 그림 5.46 ~ 그림 5.48은 하중이 중앙부를 중심으로 재하된 경우의 처짐 분포도이다.

먼저 편측의 경우 처짐의 크기는 가로보가 없는 경우는 하중의 위치에 따라 가장 크게 영향을 받는 것을 알 수 있다. case 1의 경우 외측 거더와 인접하는 내측 거더간의 차이가 크게 나타난 반면 case 2와 case 3은 가

로보가 있는 경우보다 처짐 크기 분포가 완만하게 나타나는 것을 알 수 있다. 그리고 가로보가 있는 경우는 바닥판 중심에 가로보가 설치된 모델 보다는 편심의 영향이 고려된 해석모델이 편측에서는 기울기가 급하게 중앙 재하의 경우는 완만하게 나타나는 것을 그림에서 알 수 있다.

5.3 분석결과

1) 응력

가로보가 있는 경우나 없는 경우 모두 인접거더와의 기울기가 적다는 것은 하중의 분배가 가장 잘 이루어지고 있어 횡방향 부재가 상대적으로 큰 강성을 가지고 있다고 할 수 있다.

가로보가 없는 경우는 M3 모델은 모두 같은 동일한 강성으로 하중 횡방향 분배에 대해 교량이 거동하는 것을 알 수 있었다.

M2 모델 중 M2-PEG-0은 하중위치에 따라 국부적인 영향이 가장 크게 작용하여 횡방향 부재의 강성이 상대적으로 가장 낮게 평가되는 것을 알 수 있었다. 그리고 M1 과 M2 모델 중 M2-PCG 모델의 응력분포는 상세모델인 M3에 가까운 값으로 나타났다.

가로보가 있는 경우는 상세모델인 M3 모델에는 M2-PEG-1E 해석모델이 유사한 분포를 보였고 격자구조 M1 모델과 M2-PCG-1 모델이 응력의 크기나 기울기에서 유사한 분포를 보였다.

이러한 차이점은 전체 구조모델의 거동의 차이라기보다는 가로보의 편심 영향에 의해 발생하는 값의 차이로 생각된다. 즉 평면모델과 입체모델의 가로보 중립축에 의해 횡방향 부재 강성이 영향을 받는 것으로 생각되어진다. 또한 가로보의 편심에 따른 합성작용의 차이로 분석되어진다.

가로보가 없는 경우 M1 모델이 편측에서는 외측 거더가 가장 크게 나타나고 중앙재하의 경우는 가장 낮게 분포하는 것은 바닥판이 보요소로 모델되어 강성의 집중현상이 나타나 활하중 분배효과를 향상시키는 것으로 생각된다.

가로보가 있는 때 M1모델과 M2-PCG모델에서 외측 거더는 낮게 중앙부 거더에서는 높게 나타나는 것은 가로보의 편심의 영향에 의해 발생하는 가로보와 바닥판의 합성작용에 따른 강성의 차이로 분석되어진다.

2) 처짐

처짐량 분포의 분석에서 상세모델 M3를 기준할 때 격자모델 M1-GCG는 5~10% 크게 나타나고 M2-PCG는 3~6% 낮은 처짐 분포를 보였다. 가로보가 없는 경우 크게 나타나는 이유는 M2-PEG-1E 모델과 M3모델인 M3-PSSS 와 M3-SSSS는 가로보가 있는 경우 없는 경우 모든 하중상태에서 1~2% 정도의 편차를 보여 모델에 따른 처짐의 크기에서는 같은 거동을 보였다.

격자모델인 M1-GCG 모델이 크게 나타난 이유는 해석 모델의 특성에 기인된 것으로 두 가지로 설명할 수 있다. 그중 첫 번째 원인으로서는 종방향 부재의 강성집중 현상에 따른 종·횡부재의 상대적인 강성비에 따른 것이다. 그리고 두 번째 원인으로서는 구조계 모델에 따른 이유로 종방향 부재로의 하중 전달경로 때문으로 생각된다. 즉 M2와 M3 계열의 구조모델은 바닥판에서 일정한 분포폭을 가지고 종방향 부재에 하중을 전달하는 반면 격자구조는 횡방향 부재인 가로보에서 직접 집중되어 종방향 부재에 하중을 전달하기 때문이다.

M2-PCG 모델이 처짐의 크기에서 가장 낮은 분포를 보이는 이유는 모델특성상 고려된 거더와 바닥판의 합성작용에 따른 바닥판 유효폭에 대한 강성의 증첩된 현상으로 생각된다.

3) 가로보 형태

해석 모델의 분석에서 M2, M3 계열 모두 가로보의 형태에 따라 응력 분포, 처짐량에서 차이를 보여주고 있다.

가로보가 없는 경우 하중의 위치에 따라 가장 민감하게 응력분포의 편차를 확인할 수 있었다.

가로보가 바닥판 중심에 설치된 해석모델들은 항상 중간 형태로 가로보 편심모델에 가까운 거동을 보였다.

가로보 편심의 영향이 고려된 모델에서 항상 분배효과가 크게 나타나 외측 거더는 높게 내측 거더는 응력분포를 낮추는 결과를 확인하였다.

이러한 결과를 분석할 때 가로보는 편심영향에 따라 바닥판과 가로보의 합성작용에 의해 교량의 횡방향 강성이 증가된 것으로 분석되어진다. 즉 가로보의 구조모델 방법과 구조적 성능이 교량의 전체적인 거동에 영향을 미칠 수 있다는 것을 의미한다.

6. 결 론

I형 PSC 거더교에 대한 다양한 상부구조 모델의 구조적인 특징과 모델에 사용되어진 요소들에 의한 부재력 분포에 미치는 영향을 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 상세해석모델인 M3 계열간의 응력과 처짐 분포에서 해석모델간의 상대적인 차이는 거의 없는 것으로 분석되었다. 먼저 가로보를 고려하지 않은 해석모델에서 M2-PCG와 상세모델 M3와 비교할 때 상대적 편차는 1~2%로 가장 유사한 응력분포를 보였다. 그리고 가로보가 있는 경우는 M2-PEG가 M3와 비교할 때 일부 경우를 제외하면 5% 이내로 가장 근접하는 결과를 확인하였다.
- 2) 가로보가 있는 경우 응력분포도를 분석하면 평면모델인 M1과 M2-PCG가 유사한 형태로 입체모델인 M2-PEG와 M3 계열 모델이 근접하는 응력분포도를 확인하였다. 이는 가로보의 편심에 따라 교량 횡방향 강성에 영향을 미치는 것으로 분석된다.
- 3) 처짐의 분포도를 분석하면 M2-PCG 모델은 항상 낮은 값으로 유도되었다. 이는 종방향 부재의 합성 유효폭에 따른 강성이 증첩된 현상으로 생각된다.
- 4) M1 모델은 처짐 분포에서 가장 큰 값으로 분석되었다. 그 이유는 해석 모델이 가지는 특성상 종·횡방향 부재에 강성이 집중되고 횡부재의 위치에 따라 집중되는 하중전달 경로에 기인한 원인으로 분석된다.
- 5) 가로보 형태에 따른 분석에서는 가로보 모델의 배치위치(슬래브 중심 또는 가로보 단면중심)에 따라 바닥판과의 합성작용에 의해 횡방

향 강성이 영향을 받고 있음을 알 수 있었다. 따라서 가로보의 모델과 구조적인 성능에 의해 응력 및 처짐 분포에 상당한 영향을 주는 것으로 분석되었다.

- 6) I형 PSC 거더교의 상부구조해석모델을 비교분석한 결과 교량 평가용 모델으로는 M2 계열에서는 종·횡부재의 중립축 위치를 고려할 수 있는 M2-PEG가 가장 적합한 것으로 판단된다. 그리고 M3 계열은 모델 상호간의 교량에 대한 상대적인 차이가 없으므로 교량 기하구조에 따라 바닥판 모델이 비교적 수월한 M3-PSSS 모델이 가장 적합한 것으로 판단된다.

향후 진행할 연구 과제는 본 논문에서 비교된 I형 PSC 거더교의 상부구조모델 들에 대한 적정 해석모델 선정을 위한 구조실험을 수행과 하중과 주형의 위치, 지간장, 주형간격, 종, 횡방향 부재 강성비의 설계변수 해석 통한 활하중 분배에 관련된 설계식 개발을 위한 연구를 진행할 예정이다.

참 고 문 헌

- 건설교통부 (2005). 도로교설계기준, 한국도로교통협회.
- 구민세, 연정흠, 정재운, 강동현 (2003). “2경간 연속 프리스트레스트 콘크리트 사교의 운하중 분배에 관한 연구”, *대한토목학회논문집*, 제 23권 6A호, pp. 1057-1066.
- 김광수, 박선규, 김형열 (1999). “PSC보 교량의 유한요소 모델링방법에 관한 연구”, *콘크리트학회 논문집*, 제 11권 5호, pp. 33-40.
- 김진호, 한경봉, 박선규 (2004). “슬래브를 가지는 PSC-Beam 교량의 차량하중 분배계수 산정”, *대한토목학회논문집*, 제 24권 1A호, pp. 27-34.
- 마이다스아이티 (2005). *MIDAS/CIVIL*, 마이다스아이티.
- 오병환, 김광수, 유영, 유동우 (2001). “PSC 합성거더 실교량의 극한거동 및 하중분배특성 연구”, *대한토목학회 논문집*, Vol. 21, No. 5-A, pp. 761-771.
- 서종철, 이성우 (1998). “유한요소 해석을 통한 운하중 분배계수의 적정성 분석”, *대한토목학회 학술발표회 논문집*, pp. 47-50.
- 한국도로공사 (1996). 도로설계실무편람, 한국도로공사.
- 한국콘크리트학회 (2004). *콘크리트구조설계기준 해설*, 기문당.
- Ali R. Khaloo and H. Mirzabozorg (2003). “Load Distribution Factors in Simply Supported Skew Bridges”, *Journal of Bridge Engineering*, Vol. 8, No. 4, pp. 241-244.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (2004). *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*, Third Edition, Washington, D.C.

- American Association of State Highway and Transportation Officials (1996). *Standard Specifications for highway bridges*, Sixteenth Edition, Washington, D.C.
- Alfred G. Bishara, Maria Chuan Liu and Nasser, D. El-Ali (1993). "Wheel Load Distribution on Simply Supported Skew I-Beam Composite Bridges", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 119, No. 2, pp. 399-419.
- Clifford O. Hays, Cary R. Consolazio, Marc I. Hoit and Abhijit Kakhandiki (1994). "Bridge Rating of Girder-Slab Bridges Using Automated Finite Element Technology", *University of Florida, Structures Research Report No. 94-1*.
- Elisa D. Sotelino, Judy Liu, Wonseok Chung, kitjapat Phuvoravan (2004). "Simplified Load Distribution Factor for Use in LRFD Design", *Purdue University, FHWA/IN/JTRP-2004/20*
- Junsik Eom and Andrzej S. Nowak (2001). "Live Load Distribution for Steel Girder Bridges", *Journal of Bridge Engineering*, Vol. 6, No. 6, pp. 489-497.
- James Michael Stallings and Paul Porter (2002). *Live Load Tests of Alabama's HPC Bridge*, Auburn University Highway Research Center.
- Michael Schwarz and Jeffrey A. Laman (2001). "Response of Prestressed Concrete I-Girder Bridges to Live Load", *Journal of Bridge Engineering*, Vol. 6, No. 1, pp. 1-8.
- Mohammad A. khaleel and Rafik Y. Itani (1990). "Live-Load Moments for Continuous Skew Bridges", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 116, No. 9, pp. 2361-2373.

- Mohsen Shahawy and Dongzhou Huang (2001). "Analytical and Field Investigation of Lateral Load Distribution in concrete Slab-On-Girder Bridges", *ACI Structural Journal*, Vol. 98, No. 4, pp. 590-599.
- Mounir E. Mabsout, Kassim M. Tarhini, Gerald R. Frederick and Charbel Tayar (1997). "Finite-Element Analysis of Steel Girder Highway Bridges", *Journal of Bridge Engineering*, Vol. 2, No. 3, pp. 83-87.
- Mounir E. Mabsout, Kassim M. Tarhini, Gerald R. Frederick and Abbas Kesserwan (1999). "Effect of Multilanes on Wheel Load Distribution in Steel Girder Bridges", *Journal of Bridge Engineering*, Vol. 4, No. 2, pp. 99-106.
- Paul, J. Barr, Marc, O. Eberhard and John, F. Stanton (2001). "Live-Load Distribution Factors in Prestressed Concrete Girder Bridges", *Journal of Bridge Engineering*, pp. 298-306.
- Roger L. Brockenbrough (1986). "Distribution Factors For Curved I-Girder Bridges", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 112, No. 10, pp. 2200-2215.
- Sami W. Tabsh and Muna Tabatabai (2001). "Live Load Distribution in Girder Bridges Subject to Oversized Trucks", *Journal of Bridge Engineering*, Vol. 6, No. 1, pp. 9-16.
- Tarek Ebeido and John B. Kennedy (1996), "Shear And Reaction Distributions in Continuous Skew Composite Bridges", *Journal of Bridge Engineering*, Vol. 1, No. 4, pp. 155-165.
- Yochia Chen (1999). "Distribution of Vehicular Loads on Bridge Girders by The FEA Using ADINA: Moderling, Simulation, and

Comparison”, *Computers & Structures*, pp. 127-139.

Zokaie, T., Osterkamp, T. A. and Imbsen, R. A. (1991). *Distribution of Wheel Loads on Highway Bridges*, NCHRP 12-26.

감사의 글

대학원에 진학하여 부족한 저를 연구실에서, 또 사회에서 학문적으로, 인성적으로 항상 지도와 용기를 주시고 논문의 마무리까지 지도와 격려를 아끼지 않으셨던 지도교수 이환우 교수님 깊은 감사를 드립니다.

그리고 학업연구에 바쁘신 중에도 논문지도를 위해 많은 충고와 관심으로 심사해 주신 장희석 교수님, 김명식 교수님께 깊이 감사드립니다. 또한 항상 많은 관심으로 지켜봐 주신 김종수 교수님, 손인식 교수님, 이종섭 교수님, 이동욱 교수님, 이종출 교수님, 이영대 교수님, 정진호 교수님, 김수용 교수님, 정두희 교수님, 국승규 교수님, 이상호 교수님께 진심으로 감사드립니다.

저에게 있어 이 논문은 남다른 의미있는 논문이며 좀더 열심히 하지 못했던 아쉬움이 남기도 합니다. 항상 구조설계연구실의 사람들이 제 뒤에 항상 버팀목이 되어주었고 앞으로도 구조설계연구실의 일원으로 열심히 하는 것이 감사에 대한 보답이라 생각합니다. 논문 시작에서 마무리까지 자기일처럼 함께 애를 써 주신 구조설계 연구실의 김광양 선배, 연구실에서 열심히 연구하면서 항상 도와준 관수, 동원, 제가 힘들 때 많은 이야기해주신 이동환 선배, 짧은 시간이나마 같이 연구실 생활했던 박순호 선배, 문영철 선배, 안태욱 그리고 구조설계 연구실의 박익태 선배이하 여러 선후배 회원님들께도 감사드립니다.

언제나 그 자리에서 나를 지켜봐주고 잘되길 바라던 초음동 친구 명진이, 지훈이, 형규, 정남이, 경남이, 동민이, 승재, 주수, 경희, 미국에 있는 현수, 조금 있으면 결혼에 골인할 동엽, 연조 커플에게도 감사를 드립니다. 같이 시험공부하며 고생 많았던 정철, 영걸, 택기, 진재, 미영이 에게도 감사하는 마음을 전하고 싶습니다. 지금은 각 분야에서 열심히 일하고 있는 대학교, 대학원 선후배 동기들, 그리고 일본에서 적지 않은 나이에 열심히 공부하는 성민이 에게도 감사드립니다.

그리고 울산광역시 상수도본부 북부사업소 이광락 소장님, 그리고 이철우 계장님, 김강석 계장님이하 동고동락하며 많이 부족한 저를 가르쳐 주신 사업소 직원들에게도 감사드립니다.

끝으로 저를 30여년이란 긴 세월을 사랑과 정성으로 보살펴주고 지켜준 우리 가족 아버지, 어머니, 그리고 누나, 그리고 친지 분들께도 감사드립니다.