I형 PSC 거더교를 위한 구조해석 모델의 비교

Comparison of Structural Analysis Models on PSC I-Girder Bridges

이 환 우* · 김 광 양** · 한 상 준*** · 고 동 원****

Lee, Hwan-Woo · Kim, Kwang-Yang · Han, Sang-Jun · Ko, Dong-Won

ABSTRACT

This study has been started for the development of a refined live load distribution formula that has safety and precision toward I type prestressed concrete girder bridge. This type of bridge is mainly applied to short span bridges that are 25~40m in length. Based on various structure analysis models that are currently being applied as preceding studies for the development of live load distribution method, an analysis of flexural stiffness ratio for barrier and diaphragm has been performed.

As the result of parametric analysis for the changes in flexural stiffness ratio, the effect of barrier on load distribution showed as insignificant in all structural analysis models while analyzing the deflection distribution. Also, the deflection distribution of the models with stiffness of 25% in which the diaphragm eccentricity is accounted for as same as the models with stiffness of 100% in which the diaphragm eccentricity is unaccounted for. This results are verified through the comparison with a experimental data.

Keywords: *structural analysis model, live load distribution, barrier, diaphragm.*

1. 서 론

교량의 설계단면력은 부재의 크기를 결정하는 중요한 요소이다. 이러한 단면력은 유한요소해석법에 의해 직접 결정하거나 설계의 편이성을 위해 도표나 수식 등으로 표현된 하중분배계수를 이용하여 간접 결정한다. I형 프리스트레스트 콘크리트 거더 교량은 25m~40m 중·소 지간을 가지는 교량에 적용되는 대표적인 교량 형식 중 하나이다. 설계실무에서는 이 교량의 설계시, 일반적으로 관용법에 의해 하중분배계수를 산정한 후 보 해석과정을 거쳐 설계 단면력을 결정하고 있다. 한편 이 교량 형식은 다수의 시공실적이 있고 표준단면이 주로 활용되고 있다. 따라서, 분배계수의 정확성과 안전성에 대하여 크게 고민하지 않고 설계자들이 개인적 주관이나 경험에 따라 다양한 기법으로 결정하고 있는 실정이다.

I형 프리스트레스트 콘크리트 거더 교량은 중·소 지간의 교량에서 차지하는 경제적인 비중이 매우 크다. 따라서 실무에서 활용될 수 있는 보다 정확한 활하중 분배계수식의 개발은 교량의 경제성과 안전성을 동시

* 정회원 · 부경대학교 토목공학과 교수 E-mail: hwanwoo@pknu.ac.kr
** 부경대학교 토목공학과 박사수료 E-mail: kky670@hanmail.net
*** 부경대학교 토목공학과 석사과정 E-mail: sjhan@dongbu.co.kr
**** 부경대학교 토목공학과 석사과정 E-mail: kdw_8333@naver.com

에 만족시키기 위해 반드시 필요하다.

활하중 분배계수식의 개발과 평가를 위해서는 대상교량의 구조적인 거동을 가장 잘 표현 할 수 있는 구조해석모델의 선택이 우선되어야 한다. 본 논문에서는 현재 사용되고 있는 교량의 구조해석 모델을 중심으로 구조해석모델간의 특성을 분석하고, 가로보와 방호벽의 강성기여도를 알아보기 위한 변수해석을 실시하였다. 그리고, 실제 교량의 실험치와 비교 검증을 통한 I형 프리스트레스트 콘크리트 거더 교량에 적합한 구조해석 모델을 제시하고자 한다.

2. 적합한 구조해석 모델의 선정

2.1. 해석 모델의 분류

국내외 문헌(이동준, 2005 ; Sotelino, 2004)과 현행설계실무에 대한 분석결과, 기술자들에게 많이 선택되는 I형 프리스트레스트 콘크리트 거더 교량의 구조해석모델은 크게 3가지로 분류할 수 있다. 첫 번째의 경우는 그림 1과 같이 주형과 슬래브를 보요소로 모델링한 격자해석 모델(이하 M1 모델)이다. 두 번째는 그림 2~그림 4와 같이 바닥판은 플레이트나 솔리드 요소를 사용하여 상세하게 모델링하고, 거더는 바닥판과 같은 평면에 배치하거나 편심을 갖는 보요소로 모델링하는 바닥판 상세 모델(이하 M2 모델)이다. 그리고 세 번째는 그림 5와 그림 6과 같이 바닥판과 거더 모두 플레이트나 솔리드요소를 사용한 상세모델(이하 M3 모델)이다.

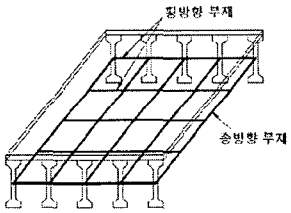


그림 1 M1-gcg

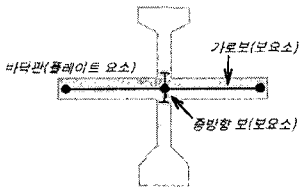


그림 2 M2-pcg 구조해석 모델

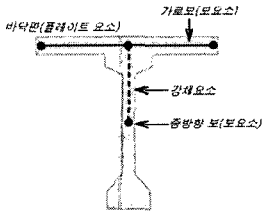


그림 3 M2-peg-c 구조모델

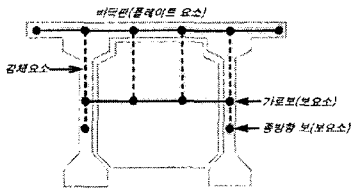


그림 4 M2-peg-e 구조모델

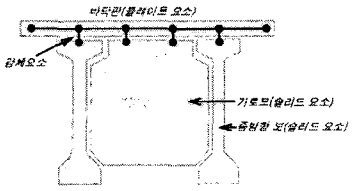


그림 5 M3-psss 구조해석 모델

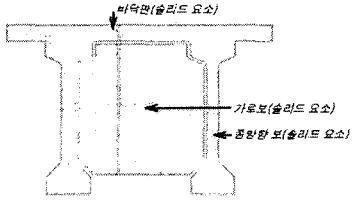


그림 6 M2-ssss 구조해석 모델

그림 1은 평면 격자해석 모델 M1-gcg의 구성과 구조해석 모델의 형상을 나타낸 것으로 평면상의 보로 구성된 뼈대구조로 모델링된다. 종방향 부재는 거더와 바닥판의 유효폭을 고려한 합성형 보로 구성되고 횡방향 부재는 가로보 또는 바닥판을 등가의 강성을 가지는 보요소로 모델링하고 이때 횡방향 요소의 간격은 일반적으로 경간의 1/10이하로 구성된다.

그림 2는 바닥판 상세모델 중 평면 모델인 M2-pcg모델을 나타낸 것이다. 이 모델의 경우 거더 강성은 합성 또는 비합성으로 적용할 수 있다. 두 경우 모두 단면력 산정에는 같은 결과 값을 주지만 모델 검증을 위

한 처짐값의 크기는 비합성의 경우 너무 크게 나타나 처짐값 산정에는 적합하지 않았다. 모델링 기호 중 p는 바닥판의 플레이트를 cg는 거더와 바닥판의 도심을 일치시킨 것을 의미한다.

그림 3은 바닥판 상세 모델 중 거더는 편심을 고려하고 가로보는 바닥판 도심에 위치하도록 계획한 모델이다. eg는 거더의 편심을 고려한 것을 의미하고 -c는 가로보는 편심을 고려하지 않은 것을 의미한다.

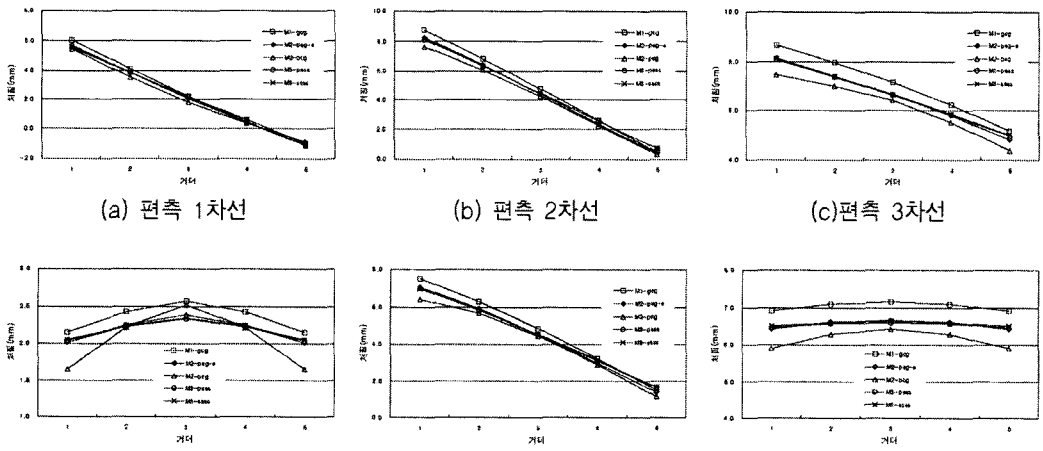
그림 4는 바닥판 상세 모델 중 거더와 가로보 모두 편심을 고려할 수 있는 M2-peg-e모델의 형상과 개념을 나타낸 것이다. 모델링 기호 중 p는 바닥판의 플레이트 eg는 거더의 편심을 고려한 것이다. 그리고 -e는 가로보의 편심을 고려한 것을 의미한다.

가장 상세한 해석 모델 중 거더는 솔리드로 바닥판은 플레이트로 계획한 M3-psss 모델을 그림 5에 나타내었다. p는 바닥판 플레이트를 sss는 거더의 상부플랜지, 복부와 하부플랜지를 솔리드요소로 모델링에 적용한 것을 의미한다.

그림 6은 M3-ssss 모델을 나타낸 것이다. s로 표현된 모든 기호는 바닥판, 거더의 상부플랜지, 복부와 하부플랜지 모두 솔리드요소로 구조해석모델에 적용한 것을 의미한다.

2.2. 구조해석 모델의 비교

도로교 표준 I형 프리스트레스 콘크리트 거더 교량 중 지간장이 30m인 교량을 대상으로 하중은 1, 2, 3차선에 편재하, 중앙 재하시킨 총 6가지 경우에 대하여 분석하였다.



(a) 편측 1차선 (b) 편측 2차선 (c)편측 3차선

(d) 중앙 1차선 (e) 중앙 2차선 (f)중앙 3차선

그림 7 하중의 위치에 따른 처짐 분포

그림 7에서 알 수 있듯이 M3-psss 모델을 기준으로 M1 모델과 M2-pcg 모델은 처짐이 각각 7-9%높게, 3-7%낮게 나타났다. M1 모델이 전반적으로 처짐이 크게 나타나는 것은 가정된 횡방향 부재의 강성과 하중의 전달경로가 집중되는 현상에 기인하는 것으로 생각된다. M2-pcg가 낮은 처짐분포를 보이고 있는 것은 바닥판의 유효폭이 종방향 부재의 강성에 합성된 상태에서 바닥판의 강성이 추가적으로 중첩되기 때문이다.

I형 PSC 거더교의 구조해석모델의 예비해석을 통한 결과 교량의 평가용 모델로는 M2계열에서는 바닥판과 종방향 거더를 분리해서 모델링 할 수 있는 M2-peg를, M3 계열은 교량의 평면 형상에 따라 모델링이

비교적 쉬운 M3-psss 구조해석 모델이 가장 적합한 것으로 판단되었다. 따라서 가로보와 방호벽의 강성 기여도를 알아보기 위한 변수해석 구조해석모델은 M2-peg 모델과 M3-psss 모델을 적용하고자 한다.

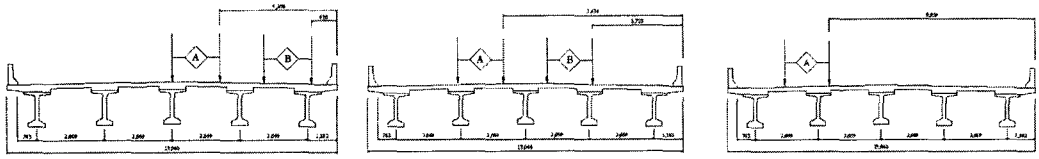
3. 변수해석

3.1. 대상교량

가로보와 방호벽의 강성 기여도를 알아보기 위한 변수해석을 검증하기 위한 대상교량인 Br1은 최근 신설된 교량으로서 I형 PSC 거더교의 생애주기 비용을 포함한 건설비용의 절감과 내구성 향상을 목적으로 건설된 HPC(high performance concrete) 단순 경간의 교량(stallings, 2002)이다. 대상교량의 지간길이는 35m, 교폭은 13m, 거더의 높이는 1.4m이며 거더의 간격은 2.7m이다. 재하시험에 사용된 차량의 중량과 제원은 표 1과 같고, 하중재하 위치는 그림 8과 같다.

표 1 시험차량의 구성

대상 교량	축의 구성	축의 간격	시험 차량의 중량(kN)			
			1축	2축	3축	총중량
Br1	3	1.8m	91	127	128	346

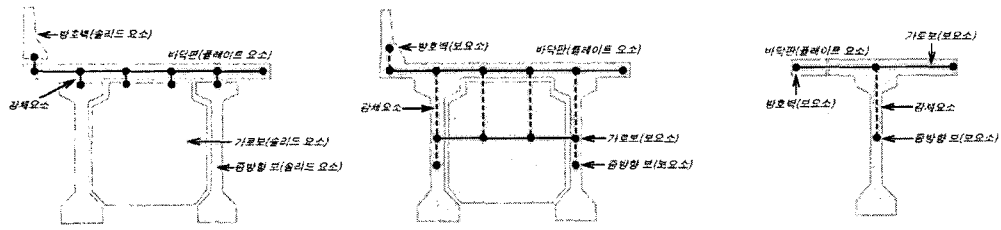


(a) 하중 경우 1 (b) 하중 경우 2 (c) 하중 경우 3

그림 8 하중의 재하

3.2. 해설모델

그림 9는 교량의 변수해석에 적용한 구조해석 모델을 나타내고 있다. M2-peg 모델의 경우에는 구조요소의 위치에 따른 영향을 분석하기 위하여 가로보와 방호벽의 편심을 고려할 수 있는 M2-peg-e모델과 가로보와 방호벽을 바닥판 도심으로 위치한 M2-peg-c로 분리하였다.

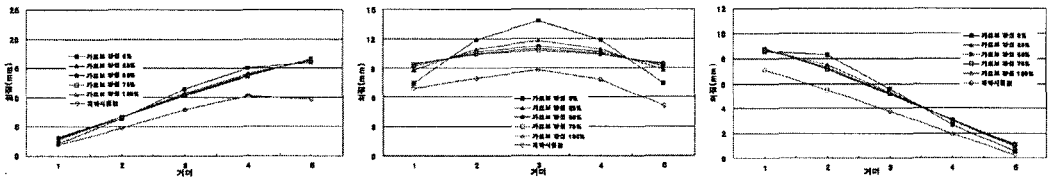


(a) M3-psss 구조모델 (b) M2-peg-e 구조모델 (c) M2-peg-c 구조모델

그림 9 교량 변수해석을 위한 구조해석모델

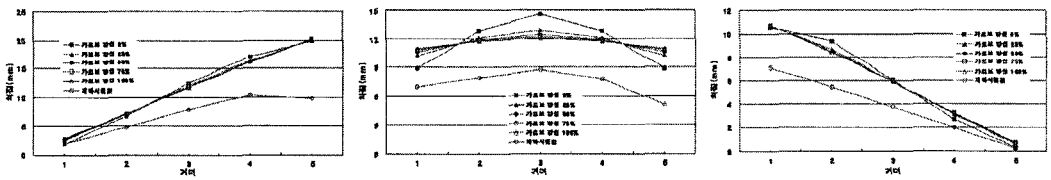
3.3. 가로보의 영향분석

가로보의 휨 강성변화에 따른 교량에 미치는 영향을 분석하기 위하여 방호벽의 휨 강성(EI)의 기여도가 최대, 최소인 100%, 0%로 가정하고 가로보의 휨 강성 기여도는 100%, 75%, 50%, 25%, 0%로 변화 하면서 시험차량의 위치에 따른 처짐의 분포형상을 분석 하였다. 휨 강성의 기여도가 100%이라 함은 가로보와 방호벽의 전체 단면이 유효한 것을 의미하고 0%이라 함은 가로보나 방호벽의 영향을 해석에서 무시함을 의미한다.



(a) 하중 경우 1 (b) 하중 경우 2 (c) 하중 경우 3

그림 10 가로보 강성 기여도에 따른 처짐 분포(방호벽100%)



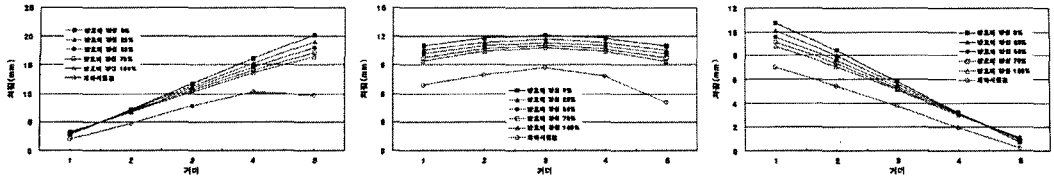
(a) 하중 경우 1 (b) 하중 경우 2 (c) 하중 경우 3

그림 11 가로보 강성 기여도에 따른 처짐 분포(방호벽0%)

그림 10과 그림 11은 M3-psss 모델을 적용한 처짐값의 결과를 비교한 것이다. 방호벽 강성의 고려 유무에 따라 처짐양의 절대적인 크기는 차이가 나지만, 하중분배의 영향을 예측할 수 있는 상대적인 처짐 분포는 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 그리고, 외측거더가 내측거더보다 처짐의 크기에서는 다소 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 한편, 가로보의 강성 기여도는 처짐값의 분포를 결정하는 것을 알 수 있었다. 선정된 교량에 대한 가로보의 강성을 0%로 무시하였을 때는 상당히 다른 형태의 처짐 분포를 보였고 가로보의 강성이 커질수록 직선에 가깝게 이동하는 것으로 나타났다. 그러나, 가로보의 강성이 25%이상 가정된 경우는 가로보의 강성 기여도에 따른 큰 차이는 나타나지 않았다.

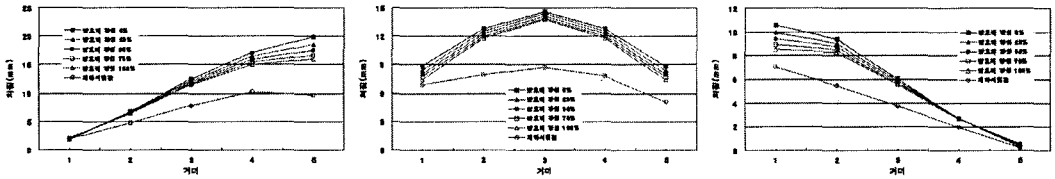
3.4. 방호벽의 영향분석

방호벽의 휨 강성기여도에 따른 교량에 미치는 영향을 분석하기 위하여 가로보의 휨 강성 기여도를 100%, 0%로 가정하고 방호벽의 휨 강성 기여도는 100%, 75%, 50%, 25%, 0%로 변화시켜 처짐의 분포형상을 분석하였다.



(a) 하중 경우 1 (b) 하중 경우 2 (c) 하중 경우 3

그림 12 방호벽의 강성 기여도에 따른 처짐 분포(가로보100%)



(a) 하중 경우 1 (b) 하중 경우 2 (c) 하중 경우 3

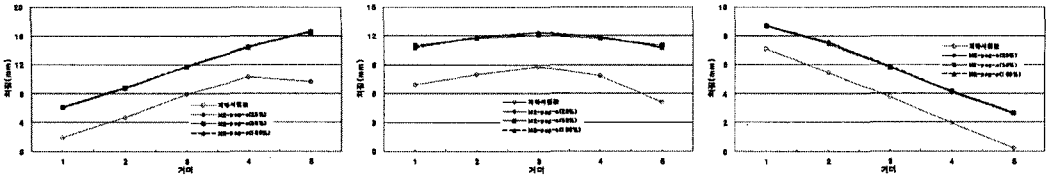
그림 13 방호벽의 강성 기여도에 따른 처짐 분포(가로보0%)

그림 12와 그림 13은 M3-psss 모델을 이용한 방호벽의 강성 기여도에 대한 처짐분포 형상을 나타낸 것이다. 방호벽의 강성 기여도가 작아질 수록 처짐은 가로보 강성 기여도가 100%, 0%일 때 모두 커졌으며, 외측거더가 내측거더보다 처짐양이 증가하는 것을 알 수 있었다. 그리고, 방호벽의 휨 강성 기여도의 변화에 따른 외측거더와 인접한 내측거더의 상대적인 처짐 증가량의 차이가 미소한 것을 알 수 있다. 따라서, 하중부배에 주는 방호벽의 휨강성의 영향은 무시할 수 있을 것으로 본다.

4. 구조해석모델간의 결과분석

M3-psss 모델은 정확한 해석값을 제공하는 장점이 있으나 실무 설계에서는 편이성을 고려하여 M2-peg-e 또는 M2-peg-c 모델을 주로 사용하고 있다. 여기서는 가로보의 강성 기여도 변화에 따른 M2-peg-e 와 M2-peg-c 모델이 하중분배계수에 주는 영향을 비교하고자 한다. 방호벽의 경우는 하중분배와 처짐 분포형상에 미치는 영향이 미소하였고, 파손과 보수가 빈번히 이루어지는 점을 고려하여 무시하였다.

3.3절의 가로보의 휨 강성 기여도를 25%이상 가정하였을 때 시험치와 가까운 분포를 갖는 것을 확인 할 수 있었다. M2-peg-c의 경우는 가로보의 가정된 강성 기여도가 50%이상 이면 좋은 분포도를 얻을 수 있었다.



(a) 하중 경우 1 (b) 하중 경우 2 (c) 하중 경우 3

그림 14 구조해석모델의 비교

그림 14는 가로보 강성기여도를 100%로 한 M2-peg-c 모델의 결과와 가로보 강성 기여도 25%, 50%로 한 M2-peg-e 모델의 결과를 재하시험값과 비교한 것이다. 그림 13에서 M2-peg-c의 가로보 강성 100%는 M2-peg-e의 가로보 강성 25%이상의 경우 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 특히 하중 경우 2는 처짐분포의 형상뿐만 아니라 내측거더 외측거더에서 처짐의 크기까지 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 두 모델간의 가로보의 강성 차이가 있음에도 불구하고 거의 같은 결과를 보이는 것은 가로보 편심의 고려유무에 따른 합성작용 또는 비합성작용에 기인한 것으로 판단된다. 즉, M2-peg-e는 가로보의 편심의 영향이 고려된 모델로 합성작용이 나타나고, M2-peg-c는 가로보가 바닥판 도심에 배치되어 가로보의 강성은 바닥판에 단순 합으로 작용하게 된다.

대상교량 Br1의 경우, 단순 합된 강성 값은 가로보와 바닥판의 합성작용을 반영한 강성값의 23%에 해당된다. 따라서, M2-peg-c 모델의의 가로보 강성기여도 100%에 대해 M2-peg-e의 가로보강성 25%의 처짐 분포형상과 크기가 잘 일치하였던 것으로 판단된다. 이들 결과는 재하시험값의 처짐분포도와도 형상이 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 따라서, 가로보의 강성기여도를 100% 반영한 M2-peg-c 모델이 I형 프리스트레스트 거더 교량에 가장 적합한 구조해석모델인 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 I형 PSC거더교에 대한 활하중 분배계수식의 개발과 교량의 용량 평가에 이용될 구조해석 모델의 비교 평가를 위해 구조모델과 구조 요소에 대한 변수해석을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 방호벽에 대한 변수해석을 실시한 결과 방호벽은 외측거더가 내측거더보다 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 그리고 처짐 분포도의 형상은 강성의 변화에 따라 변화는 양은 미소하여 거더의 하중분담 용량결정을 위한 하중분배의 크기에 미치는 영향은 거의 없을 것으로 나타났다.

2) 가로보의 강성 기여도에 대한 변수 해석을 실시한 결과 M2-peg-e와 M2-peg-c의 모델에서 가로보의 가정된 강성의 기여도는 서로 다르게 나타났다. 그 이유는 가로보의 편심 여부에 따라 나타나는 바닥판과의 합성작용에 기인된 현상으로 생각할 수 있고 가로보의 편심이 고려되는 모델은 가로보의 강성 기여도 25%에서 재하시험값과 가장 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

3) 위의 결과를 중심으로 향후 진행될 연구에 적용할 구조모델은 좋은 정도를 얻을 수 있고 가로보의 거동을 적절히 반영할 수 있는 M2-peg-c모델의 방호벽의 영향을 무시하고 가로보의 강성 기여도는 100%로 가정한 구조해석모델이 모델링의 편의성과 해석결과의 정확성 측면에서 가장 적합한 것으로 판단된다.

참고문헌

이동준 (2006) I형 PSC 거더교를 위한 구조해석 모델의 비교, 석사학위논문, 부경대학교.

Eamon, C.D. and Nowak, A.S. (2002) Effects of Edge-Stiffening Elements and Diaphragms on Bridge Resistance and Load Distribution, *Journal of Bridge Engineering*, Vol. 7, No. 5. pp.258~266.

Kostem, C.N. (1977) Effects of Diaphragms on Lateral Load Distribution in Beam-Slab Bridges, *National Academy of Sciences*, Transportation Research Record 645, pp.6~9.

Sotelino, E.D., Liu, J., Chung, W. and Phuvoravan, K. (2004) Simplified Load Distribution Factor for Use in LRFD Design, SPR-2477, INDOT Division of Research.

Stallings, J.M. and Porter, P. (2002) Live Load Tests of Alabama's HPC Bridge, Auburn University Highway Research Center.

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