

자동화설계를 위한 강상판교의 해석모델

Analysis Models for Automatic Design of Orthotropic Steel Deck Bridges

조 효 남¹⁾ · 정 지 승²⁾ · 민 대 홍³⁾

Cho, Hyo Nam Chung, Jee Seung Min, Dae Hong

요 약 : 본 연구는 강상판교의 자동화설계에 적합한 합리적인 해석모델을 제시하였다. 최적의 해석모델을 선정하기 위해 격자모델에 기초한 다양한 해석모델을 제시하며, 제안된 해석모델들을 해석의 신뢰성, 해석시간 및 효율성 등에 대해 비교하였다. 또한 현재 강상판교의 설계에 많이 사용되는 Pelikan-Esslinger 방법과 제시한 해석모델과의 성능을 비교하였다. 선정된 해석모델의 효율성을 입증하기 위하여 수치예제로서 시간장이 200m(60m+80m+60m)인 3경간 연속 강상판 박스거더교를 적용하였다.

ABSTRACT : This study proposes useful analysis models for automatic design of orthotropic steel deck bridges. For the selection of the best or the most proper analysis model, this paper presents various analysis models based on grillage model, which are then compared with each other in terms of reliability of analysis, computing time and effectiveness. Also the selected analysis models are compared with Pelikan-Esslinger method well-known for orthotropic steel deck bridge analysis. The effectiveness of proposed analysis models is demonstrated by means of a numerical example that is a three-span continuous (60m+80m+60m=200m) orthotropic steel-box girder bridge.

핵 심 용 어 : 강상판교, 자동화설계, 해석모델

KEYWORDS : Orthotropic Steel Deck Bridge, Automatic Design, Analysis Model

1. 서 론

장경간 교량 계획시 강상판 교량은 합리적인 교량형식임에도 불구하고, 우리나라에서는 아직 설계 및 시공의 경험이 부족하고 초기비용이 비싸다는 인식으로 실무의 설계자에게 등한시 되고 있다. 또한 강상판교량이 설계자에게 무시되는 주

요인은 처짐 및 진동수가 콘크리트 데크 교량보다 커서 강바닥판의 피로거동 및 사용성이 불리하다는 이유이나, 현재 강바닥판의 피로문제는 많은 연구자에 의해서 개선되어지고 있으며 처짐, 진동 문제도 설계자가 이를 고려하여 강성을 적절하게 조정할 경우 해결할 수 있는 문제라고 알려져 있다. 그러나 이러한 요인 외에 설계자가 강상판교

1) 정희원, 한양대학교 토목·환경공학과 교수
2) 정희원, 한양대학교 토목공학과 박사수료
3) 학생회원, 한양대학교 토목·환경공학과 박사과정

본 논문에 대한 토의를 2000년 2월 29일까지 학회로 보내 주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

설계를 기피하는 다른 주요인은 강상판교의 해석이 복잡하다는 것이다. 현재 실무에서 강상판교량의 설계에 가장 많이 사용되는 강상판 설계방법은 컴퓨터 발전 이전의 시대인 1957년도에 제시한 Pelikan-Esslinger방법으로 그 당시에는 계산량이 많은 격자해석방법보다 실용적이라고 알려져 있었다. 이 방법은 현재와 같이 주로 컴퓨터를 이용하여 설계하는 시대에는 적합하지 않는 방법이나, 기존에 많은 설계자들이 사용한 설계방법이라는 이유로 현재까지 계속해서 사용되고 있다. 한편 격자해석방법은 수계산 시대에는 계산량이 많다는 이유로 실용적으로 사용할 수 없었으나 현재에는 컴퓨터의 발달로 인하여 큰 문제가 되지 않으며, Pelikan-Esslinger방법에서 문제점으로 여겨지던 횡리브와 종리브의 탄성적 회전 지지조건과 부재의 변단면 해석을 구조해석 모델링상에서 고려할 수 있게 되었다. 일본의 山村信道(1981)는 이러한 격자해석방법의 범용성을 이용하여 강상판만을 등가 격자형으로 부구조 모델링하여 강상판 해석을 실시하였으며 해석결과가 상당히 신뢰할 수 있다는 것을 입증하였다. 하지만 이러한 해석은 주형해석을 배제한 강상판만의 해석이며 부구조해석시 경계조건의 처리가 난해하다는 단점이 있다. 실제적인 강상판교의 설계에 있어 합리적이고 경제적인 설계를 위해 재해석이 요구되는 최적설계를 수행할 경우 다소 구조해석이 까다로운 방법이다. 따라서 본 연구에서는 범용 구조해석 프로그램을 이용한 강상판교 해석을 위하여 신뢰성이 입증된 격자해석방법에 기초하여 자동화설계에 적합한 효율적인 강상판교 해석 모델을 제시하고자 한다.

2. 강상판 해석이론

강상판은 주형의 일부로서 작용할 뿐만 아니라 바닥판 및 바닥틀로서도 작용한다. 따라서 이 두 작용에 안전하게 설계해야 한다. 이와 같이 강상판의 특성상 바닥판 및 바닥틀로서의 작용을 해석하기 위하여 도로교표준시방서(1996)에서는 직

교이방성판 이론이나 격자거더 이론을 사용하도록 규정하고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 강상판 해석이론에 대하여 고찰하였다.

2.1 직교이방성판 이론

M. T. Huber(1923)가 제안한 방법으로 식 (1)과 같은 편미분방정식에 기초를 둔 것으로 F. W Mader(1957)는 종리브 간격 및 횡리브 간격의 함수로서 휨강성 K_x , K_y 를 산정하여 직교이방성판으로 해석할 것을 제안하였으나 상당한 계산을 요구하는 방법이었다.

$$K_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + K_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = p(x, y) \quad (1)$$

여기서,

K_x : 교축방향 휨강성

K_y : 교축직각방향 휨강성

H : 강상판의 유효 비틀림강성

따라서 이를 개선하고자 Pelikan과 Esslinger는 우선 횡리브의 휨 강도를 무한대로 가정하고 연속 직교이방성판으로서 해석한 후 횡리브의 탄성 변형에 따른 영향을 고려하여 보정하는 방법을 제안하였고, E. Giencke(1958)는 처음부터 횡리브의 탄성 변형을 고려하여 탄성 횡리브 위의 연속 직교이방성판으로서 해석하는 방법을 제안하였다.

2.2 격자거더 이론

격자거더 이론은 격자거더를 골조 입체 구조물로 취급하는 것이다. 강상판 계산법을 좀더 효율적으로 활용하고자 H. Homberg(1952)는 강상판의 판-격자구조에서 평판의 전단강도를 무시해도 실제와 차이가 없다는 것을 연구하였고, 특히 강상판과 같이 데크 플레이트가 얇은 경우에는 데크 플레이트를 리브 중간에서 분할하고 그것을 횡 및 종리브에 통합한 격자구조로 이상화하여도 적당하다고 제안하였다. 이를 근거로 Fischer의 풀이법, Homberg의 풀이법이 사용되었으나 보다

간편한 Leonhardt폴이법도 기본설계 단계에서는 유용하게 사용되었다. 또한 Bouwkamp와 Powell(1967)은 오크랜드 부근에 2주형 강상판형교를 가설하고 재하시험을 실시하여 그 실험치를 격자해석방법에 의한 해석치와 비교함으로써 격자해석방법의 실용성과 신뢰성을 입증하였다.

3. 강상판교 해석모델

강상판의 해석이론에서 고찰한 바와 같이 강상판교의 해석 방법은 정밀도와 고려사항에 따라 많은 계산법이 존재한다. 하지만 대부분의 강상판설계에서는 AISC 설계 매뉴얼(1963)에 있는 Pelikan-Esslinger방법을 적용하여 설계하고 있다. 따라서 본 연구에서는 직교이방성판 이론을 이용한 해석방법으로는 Pelikan-Esslinger방법을 사용하였고 격자거더 이론을 이용한 해석방법으로는 격자모델을 현재의 컴퓨터 시스템과 구조해석 프로그램에 적합하게 모델링하여 제안하였다.

3.1 Pelikan-Esslinger방법(해석모델I)

2번 단순 지지의 강상판에서 주형이 무한강성을 가진 부재라고 가정한다. 즉, 텍 플레이트와 종리브로 이루어진 강상판(직교이방성판)을 무한강성의 주형과 등간격으로 배치된 탄성 횡리브에 의해 지지된 연속 직교이방성판으로서 취급한다. 이 구조계의 계산은 다음의 2가지 단계로 분리하여 실시한다. 제1단계는 횡리브가 무한강성을 가졌다고 가정하고 횡리브와 종리브의 휨모멘트 최대치를 계산한다. 그리고 제2단계는 횡리브의 탄성 처짐의 영향을 구하여 제1단계 계산에서 얻어진 휨모멘트의 값을 수정한다.

3.2 격자모델

격자모델은 교량해석을 위한 가장 보편적인 해석방법으로 상대적으로 적은 노력에 비해 정확한

해석값을 산출하기 때문에 실무에서 가장 많이 사용되는 방법이다. H. Homberg(1952)의 이론적 연구에 의하면 일반적으로 상판과 격자거더가 일체로 이루어진 판-격자구조에서는 평판의 전단강도가 무시된다고 하였다. 강상판처럼 텍 플레이트의 두께가 얇을 경우에는 전단강도를 무시하여도 상관없으므로, 강상판의 텍 플레이트를 리브 중간에서 분할하고 횡리브 및 종리브를 격자부재로 치환한 격자구조 방법으로 해석한다(小西一郎: 1975), [Bouwkamp, Powell:1967]. 이때 강상판과 주형이 휨에 대해 복합작용을 한다는 사항과 관련문헌^{(3), (8), (11)}에 제시된 격자모델링 방법에 근거하여 그림 1과 같이 모델링하였으며 해석의 효율성을 분석하고자 3가지의 모델로 구분하였다. 여기서 흰 점은 힌지연결을 나타낸다.

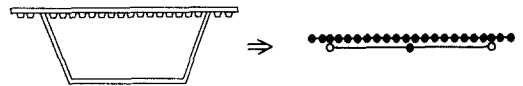


그림 1. 강상판교의 격자모델

3.2.1 부구조해석에 의한 격자모델(해석모델II)

강상판은 종, 횡리브의 부재수가 많으므로, 해석시간을 단축시키기 위해 설계에 필요한 부분만을 발췌해서 경계조건을 새롭게 결정하는 모델이다. 본 연구에서 도입한 해석기법은 그림 2와 같이 상대적으로 간략하게 모델링된 전체 구조계의 경계조건을 부구조모델의 경계에 적용하여 적합조건을 만족시키고, 전체 구조계와 똑같은 하중조건을 구성하여 평형조건을 만족시키도록 하였다. 따라서 일반적인 모델링은 표 2의 해석모델II와 같이 된다.

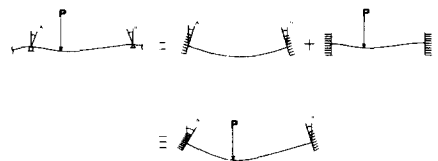


그림 2. 격자모델 부분엄밀해석의 개념도

3.2.2 주형과 상판을 동시에 해석하는 격자모델 (해석모델Ⅲ)

강상판교량 전체를 그림1과 같이 모델링하여 강상판과 주형을 동시에 해석하는 방법이다. 따라서 이 해석모델은 주형과 강상판부재를 전부 모델링하고 DB, DL이동하중을 적용하여 강상판 및 주형의 응력을 동시에 산정한다. 따라서 일반적인 모델링은 표 2의 해석모델Ⅲ과 같이 된다.

3.2.3 주형과 상판을 분리 해석하는 격자모델 (해석모델Ⅳ)

강상판이 주형의 일부로서의 작용과 바닥판 및 바닥틀로서의 작용을 분리하여 해석하는 방법으로서 강상판에 대해서는 해석모델Ⅲ처럼 교량 전체를 그림1과 같이 격자모델로서 모델링하고 강상판에 가장 불리하게 작용하는 DB하중에 대해서 해석한다. 그리고 주형에 대해서는 바닥판을 포함하는 하나의 부재로 주형을 모델하고 DB, DL이동하중에 대하여 해석한다. 따라서 일반적인 모델링은 표 2의 해석모델Ⅳ와 같이 된다.

4. 적용에 및 고찰

본 연구에서 제안하는 강상판 박스거더교의 해석모델에 의해 모델링을 3경간 연속 강상판 박스거더교에 대하여 적용하고, 이에 대한 해석을 수행하였으며 그 해석결과를 토대로 해석모델간의 성능을 비교·분석하였다.

4.1 대상구조물 개요

폐단면리브 강상판 박스거더교의 적용에는 총 연장 200m의 3경간 연속 강상판 박스거더교로 정릉천변교 단면^[10]을 선정하였으며, 그림 3와 4는 대상구조물의 종단면도와 횡단면도를 나타낸 것이고 표 1에는 교량의 일반사항을 나타내었다.

4.2 구조해석 모델링

범용 구조해석 프로그램을 이용한 강상판교의

구조 해석시 본 연구에서 제안하는 격자모델에 기초한 강상판교 해석모델들을 대상구조물에 적용하기 위해 구조해석 모델링을 수행하였으며 이를 표 2에 나타내었다. 격자해석에 사용된 요소는 Beam 요소이며 하얀 점은 부재간의 연결을 힌지로 처리한 것이고 검은 점은 강결을 나타낸다. 구조해석 프로그램은 SAP90 상용프로그램을 이용하였다.

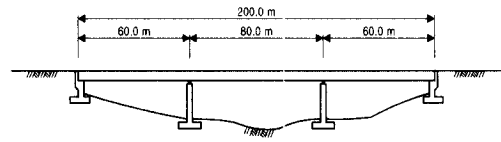


그림 3. 대상구조물 종단면도

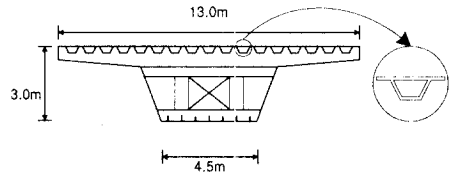


그림 4. 대상구조물 횡단면도

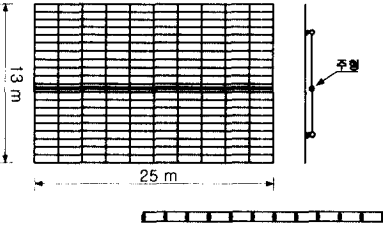
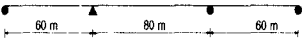
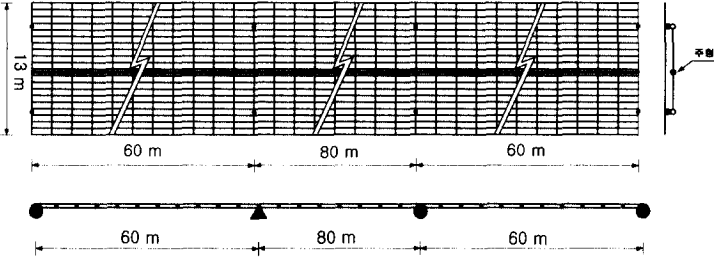

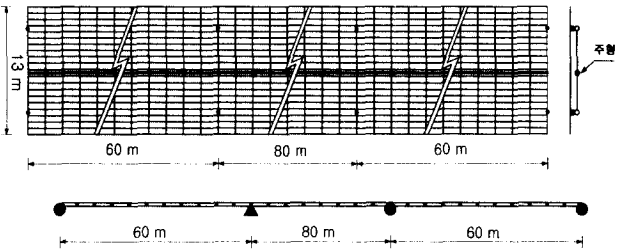
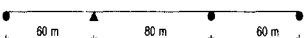
표 1. 대상교량의 일반사항

구조형식	강상판 박스거더교
경 간	200m(60m+80m+60m)
교 폭	13.0m
설계차로	3차로
교량등급	1등급 (DB-24, DL-24)

4.3 해석결과 및 고찰

4.3.1 격자해석 모델에 따른 해석결과 및 고찰
격자해석모델인 해석모델Ⅱ~Ⅳ에 대하여 적용 대상구조물에 대한 구조해석을 수행하였으며 그 해석결과인 강상판과 주형의 단면력 및 처짐을 표 3에 나타내었다. 이때 부구조해석인 해석모델Ⅱ의 적용 시 대상구조물은 중앙경간의 중앙부 25m를 선정하였다. 표 3에서 보는 바와 같이 구조해석프로그램을 이용하여 격자해석 모델을 적용한 강상판교의 해석에서 해석모델Ⅱ~Ⅳ의 경우 내측지간 중앙부의 정모멘트는 5.75t·m, 내

표 2. 적용에 대한 격자 구조해석 모델링

모델명	강상판	주형
격자모델의 부구조 모델 (해석모델Ⅱ)		
주형과 상판을 동시에 해석하는 격자모델 (해석모델Ⅲ)		
주형과 상판을 분리 해석하는 격자모델 (해석모델Ⅳ)		

측지간 지점부의 부모멘트는 $-2.23t \cdot m$ 로 3가지 모델에서 동일한 단면력을 산출하므로, 해석모델 Ⅱ~Ⅳ중 어떠한 해석모델을 사용하여 해석을 수행해도 동일한 해석결과를 얻는다는 것을 알 수 있다. 또한 DB-24와 DL-24의 연행하중을 이용하여 해석을 수행한 주형해석모델을 비교해보면 강상판의 횡리브와 종리브를 격자형태로 나타내지 않고 주형모델에 포함하여 나타낸 One-Girder 모델인 해석모델Ⅱ, Ⅳ의 경우 내측지간 중앙부 정모멘트는 $3849t \cdot m$, 내측지간지점부 부모멘트는 $-4919t \cdot m$ 이고 처짐은 $14.87cm$ 이다. 또한 강상판의 횡리브와 종리브를 격자형태로 나타낸 해석모델Ⅲ의 경우 주형의 단면력이 내측지간중앙부 정모멘트는 $3826 t \cdot m$, 내측지간지

점부 부모멘트는 $-4896t \cdot m$ 이다. 이는 해석모델Ⅲ이 해석모델Ⅱ,Ⅳ와 비교할 때 단면력과 처짐에서 약 0.5%정도 작게 산정되고 있다.

이와 같은 결과는 강상판의 횡리브와 종리브를 격자형태로 나타낸 해석모델에 따른 하중횡분배의 차이라고 볼 수 있지만, 차이가 미소하므로, 신뢰도측면에서 판단할 때 두 방법 모두 합리적이라고 판단된다. 그러나 그림5에서 보는 바와 같이 해석시간을 비교해 보면 해석모델별로 상당히 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 해석시간을 단축하기 위해 일반적으로 이용되는 부구조 모델인 해석모델Ⅱ를 적용한 경우 강상판 24초, 주형 20초가 소요되었고, 주형과 강상판을 동시

표 3. 격자모델에 따른 구조해석 결과

구 분		격자모델 (부구조모델)	전 체 모 델		
			주형 및 상판을 동시에 해석	주형 및 상판을 분리하여 해석	
해석 모델 기호		II	III	IV	
강상판	내측지간 중앙부	단면력(t·m)	5.75	5.75	5.75
		상부응력(kg/cm ²)	414.13	414.13	414.20
		하부응력(kg/cm ²)	-1004.87	-1004.87	-1005.05
	내측지간 지점부	단면력(t·m)	-2.30	-2.30	-2.30
		상부응력(kg/cm ²)	-160.60	-160.60	-160.60
		하부응력(kg/cm ²)	389.70	389.70	389.70
주 형	내측지간 중앙부	단면력(t·m)	3849	3826	3849
		상부응력(kg/cm ²)	727.65	723.30	727.65
		하부응력(kg/cm ²)	-1629.96	-1620.22	-1629.96
		처 집(cm)	14.87	14.79	14.87
	내측지간 지점부	단면력(t·m)	-4919	-4896	-4919
		상부응력(kg/cm ²)	-929.93	-925.58	-929.93
		하부응력(kg/cm ²)	2083.08	2073.34	2083.08
	해석시간(CPU Time)	강 상 판	24초	320분	55초
		주 형	20초		20초

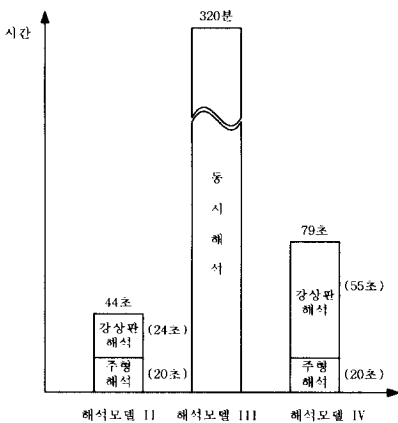


그림 5. 해석모델 해석실행 시간

에 해석하는 해석모델Ⅲ을 적용한 경우 320분이 소요되었으며, 주형과 강상판을 분리해석하는 해석모델Ⅳ을 적용할 경우 강상판 55초, 주형 20초가 소요되었다. 따라서 강상판교의 자동화 최적설계를 수행할 경우 근사화 기법과 민감도 해석 기법을 이용하여 구조해석의 계산횟수를 최소한으로 줄인다고 해도 최소 몇번의 재해석이 필요

한 만큼 해석모델Ⅲ은 실질적인 자동화 시스템에 적용하기에는 현실적으로 불가능하다고 판단된다. 해석모델Ⅳ의 경우는 강상판 해석시 주형의 효과를 고려한 전체 구조물에 대해 모델링을 하였으므로 상당한 시간이 소요될 것이라고 예상되었으나 컴퓨터와 해석프로그램의 발전으로 해석시간 단축효과와 메모리 용량절약효과를 고려한 부구조 해석모델(해석모델Ⅱ)과도 강상판 해석시간 차이가 35초밖에 나지 않았다. 따라서 해석수행 시간을 줄이기 위해 적용되는 부구조 모델(해석 모델Ⅱ)의 시간단축효과는 강상판 전체를 모델링하는 해석모델Ⅳ와 비교시 거의 의미가 없다고 판단되며, 부구조 모델의 다른 장점인 모델링의 간편성 및 컴퓨터 메모리 절약도 최근의 해석 프로그램의 자동생성기법 기능 강화와 H/W의 발전으로 인해 전체 모델링작성시와 차이가 없다고 판단된다. 오히려 부구조 모델인 해석모델Ⅱ를 적용할 경우 전체 주형해석에서 부구조물의 경계부를 모사하는데 있어 상당한 시간이 소요되고 특히 강상판교의 자동화설계시 주형의 단면은 많은 변화가 예상되며 이러한 단면변화 시마다 주형의

표 4. 주형강성변화에 따른 격자모델과 Pelikan-Esslinger방법에 의한 해석결과

구 분		격 자 모 델 (해석모델 IV)			Pelikan-Esslinger (해석모델 I)			
가로보 지지조건		Rigid	Elastic	Total	Rigid	Elastic	Total	
주형강성 $I=638.8 m^4$ (적용예 주형강성 $\times 1000$)	내측지간 중 앙 부	모멘트	5.57	0.03	5.59	5.63	1.10	6.73
		상부응력	400.88	2.017	402.89	405.49	79.17	484.66
		하부응력	-972.71	-4.89	-977.61	-983.90	-192.10	-1176.00
	내측지간 지 점 부	모멘트	-2.57	0.42	-2.15	-3.20	-	-3.20
		상부응력	-185.13	30.40	-154.73	-230.46	-	-230.46
		하부응력	449.21	-73.76	375.45	558.46	-	558.46
주형강성 $I=6.388 m^4$ (적용예 주형강성 $\times 10$)	내측지간 중 앙 부	모멘트	5.58	0.03	5.61			
		상부응력	401.97	2.017	403.99			
		하부응력	-975.37	-4.89	-980.26			
	내측지간 지 점 부	모멘트	-2.57	0.36	-2.21			
		상부응력	-185.13	25.83	-159.30			
		하부응력	449.21	-62.66	449.21			
주형강성 $I=0.6388 m^4$ (적용예 주형강성 $\times 1$)	내측지간 중 앙 부	모멘트	5.72	0.03	5.75			
		상부응력	412.12	2.017	414.13			
		하부응력	-999.98	-4.89	-1004.87			
	내측지간 지 점 부	모멘트	-2.59	0.36	-2.23			
		상부응력	-186.43	25.83	-160.60			
		하부응력	452.36	-62.66	389.70			
주형강성 $I=0.06388 m^4$ (적용예 주형강성 $\times 0.1$)	내측지간 중 앙 부	모멘트	7.07	0.03	7.10			
		상부응력	509.28	2.017	511.31			
		하부응력	-1235.77	-4.89	-1240.67			
	내측지간 지 점 부	모멘트	-2.67	0.26	-2.41			
		상부응력	-192.33	18.73	-176.60			
		하부응력	466.70	-45.45	421.20			

강성을 고려하여 경계조건을 새롭게 설정하는 것은 상당한 노력과 시간이 요구된다. 따라서 격자 해석을 이용하여 강상판교를 모델링하여 해석할 경우 해석시간, 모델링 작성의 편리성을 고려해 볼 때 주형의 강성변화에 따른 강상판과 주형 해석을 효율적으로 수행할 수 있고 해석결과가 안정적인 해석모델 IV가 자동화설계에 적합한 모델이라고 판단된다.

4.3.2 격자모델과 Pelikan-Esslinger방법에 의한 해석결과 및 고찰

격자해석모델 중 다른 격자해석모델과 동일한 해석결과를 주며 효율적인 해석모델이라고 판단

되는 해석모델 IV와 Pelikan-Esslinger방법에 의한 해석모델 I에 대한 해석결과를 표4에 나타내었다. 또한 격자모델의 경우 주형의 강성변화에 따른 강상판의 해석결과를 산정 하고자 주형의 강성을 다양하게 변화시키면서 결과를 정리하였다. 하지만 Pelikan-Esslinger방법은 가정된 이론이 주형의 강성을 무한히 크다고 보고 있어 주형 강성이 무한대인 경우만 결과를 정리하였다. 그림 6은 격자해석시 가로보의 강성을 무한히 크게 하여 Pelikan-Esslinger방법의 1단계 해석에 해당하는 가로보를 강지점(힌지)으로 해석하는 효과를 모사 하여 해석을 수행하였으며 이를 주형강성의 변화에 따라 바닥판의 단면력을 그림

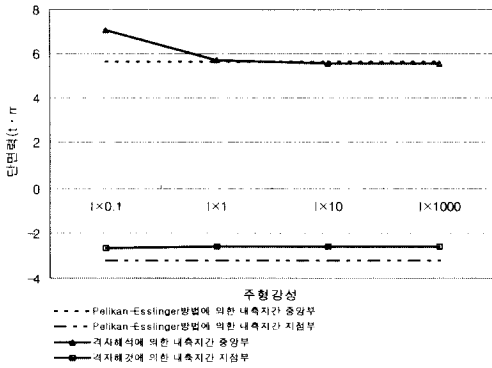


그림 6. 가로보를 고정지점으로 할 때 주형강성변화에 따른 정모멘트부의 종리브 모멘트 변화

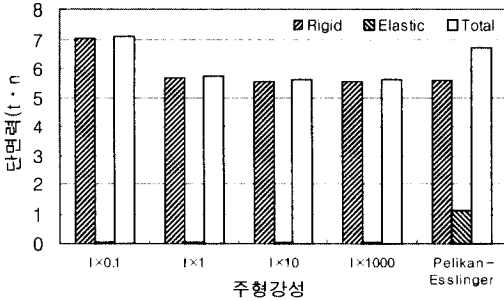


그림 7. 주형강성변화에 따른 격자모델과 Pelikan-Esslinger 방법에 의한 정모멘트부의 횡리브 해석결과 비교

으로 나타내었다. 여기서 알 수 있듯이 바닥판의 단면력을 원래의 강성에 1000배인 주형강성을 가질 때와 원래의 주형강성을 가진 모델과 비교하여 보면 내측지간중양부의 정모멘트는 약3% 감소하였고 내측지간지점부의 부모멘트는 약0.2% 증가하였다. 그리고 0.1배의 주형강성을 가지는 경우를 원래의 주형강성을 가진 모델과 비교하여 보면 내측지간중양부의 정모멘트는 약24% 증가하였고 내측지간지점부의 부모멘트는 약8% 증가하였다. 이는 바닥판의 단면력이 주형강성에 따라 어느 정도 영향을 받고 있다는 것을 보여주고 있으며, 특히 정모멘트의 경우는 주형의 강성이 작아질수록 주형처짐의 증가로 인해 바닥판의 단면력이 증가됨을 알 수 있으며, 부모멘트의 경우는

주형강성이 일정범위 내에서는 영향이 거의 없으며, 전체적으로 미소하다는 것을 알 수 있다. 또한 Pelikan-Esslinger방법의 1단계 해석에 의한 바닥판의 단면력은 내측지간중양부의 정모멘트 $5.63t \cdot m$ 로 격자해석의 원래 주형강성의 바닥판의 단면력과 동일하게 산정되었으며 내측지간지점부의 부모멘트에서는 $-3.20t \cdot m$ 로 약 33% 크게 산정하고 있어 Pelikan-Esslinger방법에 의한 바닥판의 단면력이 격자해석에 의한 단면력보다 크게 산정하고 있다. 하지만 원래의 주형강성에 0.1배를 한 격자해석의 결과와 비교하여 보면 내측지간 중양부의 정모멘트는 약26% 작게 바닥판의 단면력을 산정하고 있어 오히려 Pelikan-Esslinger방법에 의한 바닥판의 단면력이 적게 나타남을 알 수 있다. 그리고 격자해석시 가로보의 강성을 Pelikan-Esslinger방법의 2단계 해석에 해당하는 모델인 가로보를 탄성지점(스프링)으로 해석한 결과와 Pelikan-Esslinger방법의 2단계 해석결과를 살펴보면 주형강성의 변화에도 불구하고, 격자해석의 경우 탄성지점을 고려한 바닥판의 단면력은 $0.03t \cdot m$ 일정하게 나타났으며, 내측지간중양부의 정모멘트는 Pelikan-Esslinger방법의 2단계 해석의 결과보다 매우 작게 나타나고 있다(그림 7 참조). 이상과 같이 가로보를 탄성지점으로 고려할 경우 Pelikan-Esslinger방법에 의한 해석값이 격자모델의 값과 비교하여 과다하게 산정되는 이유는 Pelikan-Esslinger방법에 의한 바닥판의 종리브 해석시 가로보를 지점 스프링(단순지지)으로 고려하나, 실제 강상판교는 종리브와 가로보는 용접으로 강결처리된 상태이다. 따라서 격자모델 해석과 같이 실제 상태를 모사하기 위해서 강결로 모델링한 해석과 해석값의 차이가 발생된다고 판단된다. Pelikan-Esslinger방법에 의한 2단계 해석(Elastic)값이 격자모델에 의한 해석값 보다 크다고 하여, Pelikan-Esslinger방법이 반드시 안전측 방법이라고는 판단할 수는 없다. 그 이유는 그림7에 나타난 것처럼 주형강성이 예제강성의 0.1배에 해당할 경우 주형처짐에 의한 2차 응력

이 증대하여, 주형의 처짐을 고려하지 않는 Pelikan-Esslinger방법 보다 크게 나타나기 때문이다. 따라서 강상판교가 장경간에 많이 사용된다는 현실성을 고려해볼 때 주형처짐을 반드시 고려해야한다고 판단된다. 그리고 Pelikan-Esslinger방법의 2단계 해석인 가로보를 탄성지점으로 간주하고 해석 할 경우 동일한 강성을 가지는 횡리브만을 고려하기 때문에 횡리브와 가로보를 함께 병행하여 사용되는 실제 강상판 해석시에는 횡리브와 가로보를 고려하여 해석해야 한다.

강상판교의 자동화설계를 위한 최적설계방법은 강상판교의 강상판과 주형을 독립적으로 모델하는 단단계 최적설계방법이 가장 적절한 모델이라고 문헌에 나타나 있다(조효남, 1997, 1998, 1999). 따라서 본 연구에서 제시한 구조해석 모델중 이를 가장 합리적이고 효율적으로 나타낼 수 있는 모델은 전산화프로그램이 비교적 간편하고 다양한 강상판교 형식에 합리적인 구조해석 결과를 줄 수 있는 격자해석모델이라고 판단되며, Pelikan-Esslinger방법을 사용할 경우는 구조물의 특징을 Pelikan-Esslinger방법이 제대로 반영하는지 사전에 검토가 필요하다고 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 강상판형교의 자동화 최적설계를 위하여 강상판형교의 강상판과 주형의 구조해석을 다양한 격자해석모델과 Pelikan-Esslinger방법을 이용하여 구조해석을 수행하였으며 이에 대한 결론은 다음과 같다.

- 1) 향후 강상판교의 실질적인 자동화 최적설계에 있어 매우 중요한 역할을 담당하는 구조해석 모델을 제안하였으며, 본 연구에서 제안한 강상판과 주형을 분리해석하는 해석모델IV가 신뢰성, 효율성 및 경제성을 고려한 결과 가장 타당한 해석모델이라고 판단된다.
- 2) 강상판은 종리브와 가로보가 용접으로 강결되어 있어서, 구조해석 모델링은 강결로 고려하여야 한다. 그러나 Pelikan-Esslinger방법은 바닥판

의 종리브가 가로보를 힌지지점으로 고려하여 해석한 값으로, Pelikan-Esslinger방법에 의한 해석 값이 강결을 고려한 격자모델의 해석 값보다 다소 과대하게 계산된다. 따라서 정밀한 해석이 필요한 경우 Pelikan-Esslinger방법보다 강상판의 실제상태를 가능한 정확하게 모사한 격자모델을 적용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

3) Pelikan-Esslinger방법은 주형의 처짐을 고려하지 않는 방법으로, 주형의 처짐에 의한 2차응력이 고려되지 않아서 실제보다 작은 해석값이 산정된다. 특히 강상판교는 장경간 교량에 적용되는 교량형식이므로 강상판교 해석시에는 주형처짐의 효과가 반드시 고려되어야 한다.

4) 교량설계시 설계자는 컴퓨터와 구조해석의 프로그램의 발전을 고려하여 보다 합리적인 해석모델을 적용하여야 한다. 특히 강상판교의 합리적인 설계를 위해서는 다수의 반복적인 해석이 필요하므로, 이를 고려하여 최적의 해석모델을 적용하여야 한다.

감사의 말

이 논문은 1998년도 학술진흥재단의 자유공모과제 “강상판교량의 Life-Cycle 비용 최적설계시스템 개발(관리번호:1998-001-E01901)”의 학술연구비에 의하여 지원되었음.

참 고 문 헌

- (1) American Institute of Steel Constructions (1963), "Design Manual for Orthotropic Steel Plate Deck Bridges."
- (2) Bouwkamp, Powell(1967), "Structural Behavior of an Orthotropic Steel Deck Bridge," Report to California Department of Public Works, Division of Highways and U. S. Department of Commerce, Bureau of Public Roads, Univ. of California.
- (3) E.C.Hambly(1976), "Bridge Deck Behavior", Ghapman & Hall

- (4) Giencke, E(1958), Die Berechnung von durchlaufenden Fahrbahnplatten, Stahlbau.
- (5) M.S. Troisky, D.Sc(1987). "Orthotropic Bridges Theory and Design, 2nd Edition", The James F.Lincoln Arc Welding Foundation.
- (6) F.W.Mader(1954), Die Berücksichtigung der Diskontinuität bei der Berechnung orthotroper Platten, Stahlbau.
- (7) H. Homberg(1952), Über die Lastverteilung durch Schkräfte, Theorie des Plattenkeruzwerks, Stahlbau.
- (8) The Steel Construction Institute, "Design Guide for Composit Box Girder Bridges".
- (9) 건설교통부(1996), "도로교표준시방서", 강교편
- (10) 동부건설주식회사(1994), "정릉천변도시고속도로 건설공사 구조계산서"
- (11) 문성권, 이종관(1996), "강상판 교량의 설계 프로그램 개발", 강건재 학술발표회 논문집 제 5권.
- (12) 小西一郎(1975), "鋼橋" 도서출판 건설도서.
- (13) 山村信道(1981), "等価格子桁法による閉断面りつ鋼床板の實用計算法", 橋梁と基礎, Vol.15, No.5, pp.44~51.
- (14) 조효남(1997), "기존도로의 효율적인 확충방안으로서 2층도로 강구조 텍 시스템의 설계 및 시공에 관한 연구", 강건재 학술발표회 논문집 제6권.
- (15) 조효남, 민대홍, 김현우(1998), "2층도로용 강구조 텍 시스템의 최적설계", 한국강구조학회 논문집 제10권 3호, pp. 553 ~ 564
- (16) 조효남, 정지승, 민대홍, 이광민(1999), "자동화설계를 위한 강상판교의 해석모델", 한국강구조학회 학술발표회 논문집, pp. 162~169.

(접수일자 : 1999년 6월 10일)