

유한요소해석을 이용한 교면포장의 필요부착강도 산정

Calculation of Required Bond Strength for Bridge Deck Overlay Using Finite Element Analysis

권혁* 장흥균** 정원경*** 김동호**** 윤경구*****
Hyuck Kwon* Heung-Gyun Jang** Won-Kyong Jung*** Dong-Ho Kim**** Kyong-Ku Yun*****

Abstract

The bonding strength of the interface between the actual bridge concrete deck and overlay was primarily affected by the shear that depended on the flexural behavior than pure tensile, but the field bonding test measured bonding strength by the pure tensile due to simplicity and field applicability. Therefore, the purpose this study was to evaluate the required direct bond strength for bridge deck overlay using Finite element analysis with the many variables such as bridge deck types, span length, material properties, lanes, and loading types. The commercial program LUSAS was used in analysis. The analysis results were compared to the value of specification currently used in highway construction site.

1. 서론

교량, 도로 등의 토목구조물은 그 구조물을 효과적으로 이용하고 사용자의 안전을 위해 주기적인 유지 보수를 필요로 한다. 특히 현재 교량의 노후화로 인한 교량 상판의 보수보강은 커다란 문제로 대두되고 있다. 국내에서 신·구 콘크리트의 부착강도 측정 시험방법에 조깅 인장시험, 경사전단시험 등 일부를 사용하고 있으나 부착에 대한 체계적인 연구가 미흡한 실정이다. 또한 현장 부착시험은 순수 인장에 의한 부착강도를 측정하고 있으나 실제 교량 상판과 덧씌우기 사이 계면에서의 부착강도는 순수 인장보다는 휨거동에 의한 전단에 주된 영향을 받는다.

따라서 본 연구에서는 유한요소해석 프로그램을 사용하여 각 변수별 교량의 상부 모델링을 수행하여 이 때의 전단응력과 수직응력의 분포를 파악하여 교량의 필요 부착강도를 도출하고자 하였다.

2. 유한요소해석

2.1. 해석개요

- * 정회원, 강원대학교 공과대학 토목공학과 석사과정
- ** 정회원, (주)국일건설 엔지니어링 대표
- *** 정회원, 강원대학교 공과대학 토목공학과 박사과정
- **** 정회원, 강원대학교 공과대학 토목공학과 박사수료
- ***** 정회원, 강원대학교 공과대학 토목공학과 교수

본 연구에서는 실제 교량에서 하중 재하시 응력의 형태를 알아보기 위해 범용 유한요소 프로그램인 LUSAS[FEA.Ltd]를 사용하여 라멘교와 슬래브교 모델링을 실시하였다. 그림 1 과 그림 3, 4는 모델링에 사용된 설계단면을 나타낸 것이다. 기존의 교량상판위에 덧씌우기 된 형태로 구성되어졌다. 기본 가정은 콘크리트는 선탄성 거동을 하며, 균질하다고 가정하였다. 모델링시 콘크리트는 8절점 3차원 고체 요소를 철근은 상판에서 인장을 받는 하부에 주행방향으로 2절점 3차원 봉요소를 사용하였으며 각 요소사이에는 공유절점을 사용하여 연결하였다. 주요변수로는 시간길이, 차선수, Latex 혼입률, 하중조건, 경간수에 변화를 주었으며 여기서 하중조건은 최대처짐하중과 DB24와 자중의 조합하중으로 하였으며 단경간 일 때 시간의 중앙에 최대처짐하중을 재하하였으며 활하중은 절대최대 휨모멘트 개념을 도입하여 재하하였다. 2경간일 때는 양쪽경간에, 3경간시에는 외측 두 경간에 각각 하중을 재하하였다. 모델링에 사용된 단면특성과 재료 물성치는 표 1, 2에 나타내었다.

2.2. 라멘교

라멘교는 보높이를 줄일수 있으므로 형고의 제약을 받는 곳이나 도로폭이 작은 마을 진입로 횡단시 널리 사용된다. 모델링시 콘크리트는 8절점 3차원 고체 요소를 철근은 상판에서 인장을 받는 하부에 주행방향으로 2절점 3차원 봉요소를 사용하였다. 그림 1은 모델링에 사용된 단면을 나타낸 것이며 단면특성과 재료물성치는 표 1에 나타내었으며 FEM 해석모델은 그림 2에 나타내었다. 경계조건은 양단 모두 고정으로 고려하였다. 유한요소해석시 변수는 시간길이(12m, 15m), 차선수(4차선, 6차선, 8차선), Latex 혼입률(5%, 10%, 15%), 하중조건(처짐제어, 자중+DB24하중)으로 해석을 수행하였다. 하중조건에서 처짐은 시방서에 규정한 최대처짐인 L/500을 재하하였으며 DB하중은 절대 최대 모멘트 개념을 사용하여 재하하였다.

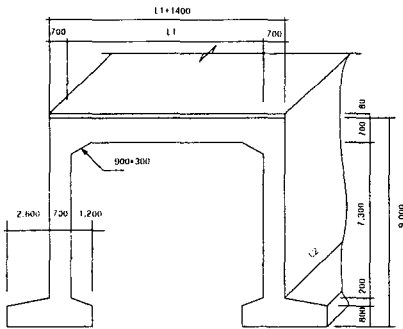


그림 1 라멘교의 설계단면

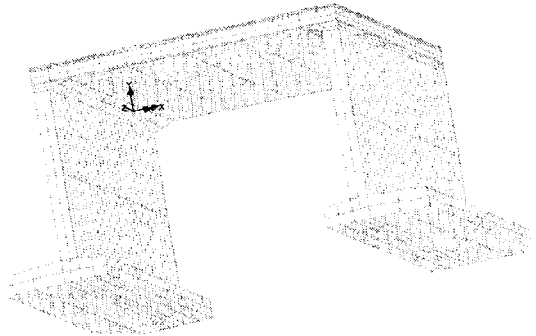


그림 2 라멘교의 FEM 해석모델

표 1 라멘교의 단면특성과 재료물성치

E_c (kgf/cm ²)	E_l (kgf/cm ²)	E_s (kgf/cm ²)	처짐 (cm)	피복두께 (cm)	A_s (cm ²)	프아송비	L1 (cm)	L2 (cm)
280,000	243,000 242,000 202,000	2,000,000	2.4	10	5.067	0.18(con'c) 0.3(steel)	1200 1500	1420 2220 2820

2.3. 슬래브교

슬래브교에서도 라멘교와 마찬가지로 콘크리트는 8절점 3차원 고체 요소를 철근은 슬래브 하부에 주행방향으로 2절점 3차원 봉요소를 사용하였으며 단 2경간 이상일 때 지점에서 부모멘트를 고려하여 지점의 양쪽으로 4m 떨어진 부근까지 상부철근을 배근하였다. 그림 3, 4는 단면을 나타낸 것이며 표 2는 단면특성과 재료물성치를 나타내었으며 그림 5, 6, 7은 각각 단경간 2경간 3경간의 FEM 해석 모델을 나타낸 것이다. 주요변수로는 지간길이(단경간의 경우 15m이하에서 널리 쓰이므로 12m, 15m), 차선수(4차선, 6차선), 경간수(단경간, 2경간, 3경간), 하중조건(처짐제어, 자중+DB24하중)으로 해석을 수행하였다. 처짐은 시방서에 규정한 최대처짐인 $L/800$ 을 재하하였다.

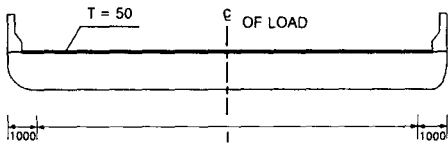


그림 3 슬래브교의 횡단면도



그림 4 슬래브교의 종단면도



그림 5 단경간 슬래브교의 FEM 해석모델

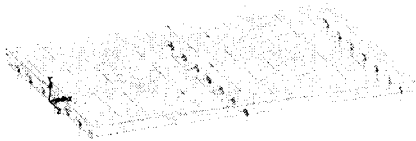


그림 6 2경간 슬래브교의 FEM 해석모델

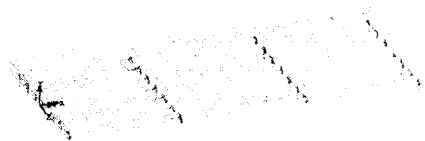


그림 7 3경간 슬래브교의 FEM 해석모델

표 2 슬래브교의 단면특성과 재료물성치

E_c (tf/m^2)	EI (tf/m^2)	E_s (tf/m^2)	처짐 (m)	피복두께 (m)	A_s (m^2)	프아송비	L_1 (m)	L_2 (m)	l (m)
2,800,000	2,430,000	20,000,000	0.015	0.07	0.005067	0.18(con'c) 0.3(steel)	12 15	10.8 12	12 18.4

3. 유한요소해석 결과 및 고찰

유한요소 해석을 통해 차선수, 하중조건, 지간길이에 따른 응력 중 특히 부착력을 알기 위해 중앙단면에서 차량 진행방향의 응력(S_x)과 수직응력(S_y)을 고찰하여 콘크리트는 압축에는 강하나 인장에 취약한 경향을 보이므로 각 각 양(+)²의 최대값을 비교하여 민감도 분석을 실시하였다.

3.1. 라멘교

3.1.1. 지간길이 변화에 의한 영향

지간길이가 부착강도에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 12m, 15m의 지간을 갖는 교량의 해석을 수행한 결과 표 3, 4에 보여지듯이 처짐하중 재하시에는 곡률에 의한 영향으로 차량주행방향 응력은 약 8kgf/cm^2 , 수직응력은 4kgf/cm^2 정도 감소하였으나 DB24하중과 자중의 조합하중을 재하하였을 경우는 지간이 늘어날수록 자중이 증가하므로 차량주행방향 응력은 약 6kgf/cm^2 , 수직응력은 0.5kgf/cm^2 가량 증가하였다.

3.1.2. Latex 혼입률에 따른 영향

Latex 혼입률에 따른 영향을 살펴보기 위해 5%, 10%, 15%로 혼입률을 변화시켜 유한요소해석을 수행하였으며 재료 물성치는 표 1에 보여진다. 이전의 연구결과 Latex 혼입률이 증가함에 따라 부착강도가 크게 증진된다는 것은 잘 알려져 있다. 그러나 유한요소해석 결과를 나타낸 표 3, 4를 살펴보면 Latex 혼입률이 증가하여도 거의 변화를 보이지 않는다. 이는 Latex의 고유특성을 모델링에 잘 반영시키지 못하고 단지 각 혼입률에 맞는 탄성계수만을 변화시킨데서 기인한 결과이다. 유한요소해석시 탄성계수에 의한 변화는 미소하여 무시할 수 있을 정도이다.

3.1.3. 차선에 따른 영향

표 3, 4를 살펴보면 차선이 증가할수록 처짐하중 재하시에는 차량주행방향 응력과 수직응력이 거의 변화가 없으나 자중과 DB24하중의 조합하중을 재하하였을 경우 차선이 증가함에 따라 차량주행방향 응력은 약 5kgf/cm^2 , 수직응력은 0.8kgf/cm^2 정도 증가하는 경향을 보였다.

3.1.4. 하중조건에 따른 영향

하중조건에 따른 영향을 살펴보기 위해 L/500의 처짐하중과 하중계수와 충격계수를 포함한 DB24하중과 자중의 조합하중을 재하하였다. 표 3, 4에 보여진 것과 같이 처짐제어시가 DB하중 재하시보다 상당히 큰 응력을 보임을 알 수 있었다.

3.2. 슬래브교

표 3 라멘교의 차량주행방향응력

교량폭 (m)	지간길이 (m)	하중조건	(Kgf/cm ²)					
			2차선		3차선		4차선	
			12	15	12	15	12	15
10	처짐	51.33	43.32	51.09	43.17	51	43.15	
	자중/DB24	7.37	13.75	5.62	10.86	4.97	9.74	
15	처짐	51.31	43.28	51.05	43.13	50.96	43.11	
	자중/DB24	7.37	13.74	5.61	10.86	4.97	9.73	
20	처짐	49.5	42.13	49.29	41.39	49.21	41.38	
	자중/DB24	7.32	13.53	5.57	10.69	4.15	9.58	

표 4 라멘교의 수직응력

교량폭 (m)	지간길이 (m)	하중조건	(kgf/cm ²)					
			2차선		3차선		4차선	
			12	15	12	15	12	15
10	처짐	13.38	9.28	13.36	9.26	13.36	9.26	
	자중/DB24	1.56	1.98	0.72	1.28	0.61	1.11	
15	처짐	13.36	9.26	13.34	9.25	13.34	9.25	
	자중/DB24	1.56	1.98	0.72	1.28	0.61	1.11	
20	처짐	12.57	8.71	12.55	8.7	12.55	8.7	
	자중/DB24	1.54	1.94	0.7	1.24	0.57	1.11	

표 5 슬래브교의 차량주행방향응력

경간수	지간길이 (m)	하중조건	차선	(kgf/cm ²)					
				단경간		2경간		3경간	
				12	15	12	15	12	15
2차선	처짐	2.26	1.34	176.1	128.69	66.72	48.74		
	자중/DB24	0.85	1.06	27.19	45.93	14.15	21.21		
3차선	처짐	-	-	170.1	125.35	67.32	49.3		
	자중/DB24	-	-	20.94	36.72	11.9	18.8		

표 6 슬래브교의 수직응력

경간수	지간길이 (m)	하중조건	차선	Kgf/cm ²					
				단경간		2경간		3경간	
				12	15	12	15	12	15
2차선	처짐	8.86	5.75	12.71	10.57	11.92	9.5		
	자중/DB24	0.48	0.77	0.47	0.91	0.33	0.62		
3차선	처짐	8.91	5.78	12.91	10.77	12.02	9.73		
	자중/DB24	0.39	0.63	0.35	0.8	0.28	0.61		

3.2.1. 지간길이 변화에 의한 영향

지간길이별 응력분포를 고찰하기 위해 이전의 라멘교와 같이 12m, 15m의 길이변화를 주었으며 결과는 표 5, 6에서 보는바와 같이 처짐하중 재하시 곡률에 의한 영향으로 차량주행방향 응력은 감소하였으며 DB24 하중과 자중의 조합하중 재하시 자중의 증가로 인해 차량주행방향 응력은 증가하였다.

3.2.2. 경간수에 따른 영향

경간수에 의한 영향을 알아보기 위해 단경간, 2경간, 3경간에 대한 유한요소해석을 수행하였으며 2경간, 3경간에는 바깥쪽 두 지간에 모두 하중을 재하하였다. 그 결과 표 5, 6에서 보여지듯이 모든 조건중 2경간 처짐하중 재하시에 차량주행방향의 응력이 상당히 큼을 알 수 있었다.

3.2.3. 차선수에 따른 영향

표 5, 6를 살펴보면 차선이 증가할수록 모든 조건에서 라멘과 유사한 경향을 보이거나 수직응력에서 처짐하중 재하시 차선이 증가할수록 반대로 아주 미소하지만 응력이 증가하는 경향을 보였다. 또한 단경간 3차선의 차량주행방향 양(+)의 응력은 발생하지 않았다. 이렇게 라멘과 다른 경향을 보이는 것은 경계조건의 차이에서 기인한 것으로 사료된다.

3.1.4. 하중조건에 따른 영향

하중조건에 따른 영향을 살펴보기 위해 L/800의 처짐하중과 하중계수와 충격계수를 포함한 DB24하중과 자중의 조합하중을 재하하였다. 표 5, 6에 보여진 것과 같이 슬라브교도 라멘교와 마찬가지로 처짐제어시가 DB하중 재하시보다 상당히 큰 응력을 보임을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 실제 교량에서의 교량상판과 덧씌우기 사이의 계면에서의 적절한 부착강도를 산정하고자 시간길이, 경간수, 하중조건, 차선수, Latex 혼입률에 변화를 주어 유한요소해석을 통해 응력을 고찰하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 실제 교량 상부의 유한요소해석 결과 시간길이가 증가할수록 처짐제어시는 응력이 현저히 감소하였으며 DB하중과 자중을 조합하였을 경우는 증가하였다. 여기서 실교량의 하중은 처짐제어보다는 차량하중에 가까우며 시간이 길어질수록 높은 부착력을 요구하므로 주의를 요한다.

2) Latex 혼입률에 의한 영향은 미비하여 Overlay의 탄성계수 변화에 의한 영향을 거의 없다는 것을 알 수 있었다.

3) 차선수가 증가할수록 슬라브교의 처짐하중 재하시 수직응력만 증가하는 경향을 보이고 나머지 변수에서는 응력이 감소하는 경향을 보이거나 그 차이가 극히 미소하여 무시할 수 있는 정도이다.

4) 응력치들을 살펴보면 그 중 처짐제어시의 수직응력에 적절한 안전율을 고려한다면 현재 시방서에 규정한 기준치 14kgf/cm^2 는 타당한 것으로 판단된다. 향후 더욱 다양한 교량에 대한 추가적인 해석을 통한 데이터 확보가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 장홍균, 홍창우, 정원경, 이봉학, 윤경구(2002)교면 덧씌우기 콘크리트의 부착강도 평가 방법 제안, 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집 pp. 349-54.
2. 심종성, 김규선(1999)보강재로 보강된 RC보의 계면응력 해석모델, 대한토목학회 학술발표회 논문집 pp. 161-70.
3. Simon Austin, Peter Robins, Youguang Pan(1995)Tensile Bond Testing of Concrete Repairs, RILEM Materials and Structures, Vol. 28 pp. 249-59.
4. P. J. Robins, S. A. Austin(1995)A Unified Failure Envelope from the Evaluation of Concrete Repair Bond Test, Magazine of Concrete Research, Vol. 47, No. 170 pp. 57-68.