

노후화된 교량 바닥판 대체용 복합재료 교량 바닥판의 거동에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Behavior of Composite Materials Bridge Decks for Use in Deteriorated Bridge Decks Replacement

지 호 선¹⁾ · 손 병 직²⁾ · 장 석 윤³⁾
Ji, Hyo Seon · Son, Byung Jik · Chang, Suk Yoon

요 약 : 본 연구에서는 노후화된 교량 대체용으로 복합재료 교량 바닥판의 거동에 대하여 실험적인 방법으로 조사하였다. 바닥판의 성능평가와 관련하여 총 5개의 시험체를 1/10 축소모형 시험체로 제작하고 실험을 실시하였다. 3개의 시험체는 강성을 확보키 위해 알루미늄 코어를 갖는 샌드위치 상부플랜지와 라미네이트(Laminate) 상부플랜지 형식 2개, 총 5개의 시험체를 제작 하였다. 바닥판 구성요소는 유리섬유와 에폭시재료(glass fiber/epoxy)를 사용하여 제작하였다. 시험체의 최대내력, 강성 및 변형성능에 대한 결과를 요약하였다. 또한 실험결과와 타당성을 검증하고자 유한요소해석의 결과와 비교하였다.

ABSTRACT : The behavior of composite materials bridge decks for use in deteriorated bridge decks replacement are investigated experimentally in this study. As for the performance evaluation of bridge decks, experimental studies on the 5 test specimens with 1/10 scale of full size were carried out. Three specimens were fabricated from sandwich upper flange and two specimens were fabricated from laminated upper flange. The constituents of bridge decks were glass fiber preforms and epoxy resin. The experimental results, i.e., the maximum strength stiffness, stiffness, and deformation capacity, were summarized. The results of the finite element analysis were compared with the experimental results for the verification of validity.

핵심용어 : 복합재료 바닥판, 샌드위치판 상부플랜지, 라미네이트, 처짐, 응력

KEYWORDS : Composite materials decks, Sandwich upper flange, Laminate, Deflection, Stress

1) 정회원, 대원과학기술대학 토목과 조교수
2) 학생회원, 서울시립대학교 토목공학과 박사과정
3) 정회원, 서울시립대학교 토목공학과 교수

본 논문에 대한 토의를 2002년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

최근 교량 구조물의 노후화, 특히 강재의 부식으로 인한 사용성 및 안전성의 저하는 유지·보수비용과 함께 커다란 사회적 관심으로 대두하게 되었다.

이러한 사회의 요구에 부응하여 건설산업에서 복합재료의 출현과 적용은 위의 문제를 해결할 수 있는 새로운 재료로서 높은 관심을 모으고 있다. 복합재료는 비강성, 비강도가 기존의 콘크리트나 강재에 비해 상대적으로 높고 비부식성, 경량성, 비전기성 등 재료적 장점과 방향성을 이용하여 우수한 역학적 성질을 얻을 수 있으며⁽²⁾, 다양한 형태로 만들 수 있는 뛰어난 성형성을 가지고 있다. 복합재료를 단순히 기존의 재료에 대한 대체 재료로서가 아니라 비등방성 재료의 특이한 물성을 응용한 구조물의 주재료로 사용하기 위하여 이론연구 및 실험자료의 축적이 필요하다.

미국, 일본, 유럽 등의 선진국에서는 섬유강화 복합재료(FRP)를 교량, 건물, 판로 등의 건설분야에 응용하려는 연구가 10여년 전부터 활발히 진행되어 왔으며 최근에는 미국을 중심으로 전부 유리섬유 보강 폴리에스터와 비닐에스터 폴리머 복합재료를 이용한 교량을 건설하게 되었다^{(10),(11),(12)}. 이처럼 복합재료의 높은 활용 가능성과 엄청난 잠재 시장성 때문에 복합재료산업뿐만 아니라 적용기술 개발에 많은 관심과 노력을 기울이고 있다. 미국은 ASCE에서 FRP 구조 설계 지침서를 1984년에 제정하였으며, 유럽에서는 1996년에 복합재료 구조물 설계, 제작, 시공법에 관한 표준지침서(EUROCODE)⁽⁸⁾를 제정하였다. 특히 교량건설에 대한 복합재료의 응용은 이미 시작되었다. 이처럼 선진 각국은 복합재료를 교량 상부구조 등에 이용하는 기술을 개발하여 시험 적용하는 반면 국내에서는 항공우주, 기계, 스포츠 분야 등에는 활발히 이용되어 왔으며, 건설분야에서도 콘크리트 구조물의 보수·보강에 이용될 뿐만 아니라 최근에 교량 적용용 구조데

크가 개발되어 가교에 이용된 실정이다.⁽³⁾

교량의 공용연수 증대와 중차량 교통량의 증가에 따른 중·소형교량 열화손상이 심하여 안전에 관한 문제가 야기되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 교량유지관리는 주로 교량 상부구조물의 유지보수에 집중되어 왔으며, 상부 구조물을 보강하더라도 내하력 부족으로 인해 차량 통행이 어려워 기존의 가설된 교량을 불가피하게 모두 철거하여 신설하는 방식으로 교량을 관리하여 왔다. 이와 같이 기존의 교량을 부분적으로 보수 또는 전면적인 철거 후 재 가설하는 방법은 경제적, 시간적으로 많은 손실을 가져오고 있다. 국내의 가설된 교량 중 85%가 교량 지간이 짧은 중·소형 규모의 교량으로서, 그 대부분이 콘크리트 교량으로 가설되어 있어 차량 증가에 따른 노후화가 위험 상태에 도달하고 있다. 따라서 수년 내에 이들 교량을 불가피하게 교체할 수밖에 없다. 여기서 기존의 노후화된 교량을 재 가설하는 방법에 있어서, 상부구조만 철거하고 하부구조를 재 사용한다면 적은 비용으로도 교량을 신속히 재 가설하여 차량 통행을 원활히 할 수 있으며 교량 수명을 극대화할 수 있다.

본 연구에서는 이러한 요구에 충족될 수 있는 교량건설에 대한 첨단복합재료의 응용을 위하여 우선 기존의 노후화된 중·소형 규모의 강교량 및 콘크리트교량 바닥판 대체용과 신설교량의 바닥판으로 적용 가능토록 복합재료를 이용한 바닥판의 거동에 관한 실험적 연구를 수행하였으며, 이러한 연구를 통하여 얻어진 해석과 설계기법의 자료를 이용하여 최적의 복합재료 교량 바닥판 구조형식을 얻을 목적으로 실험을 수행하였다.

2. 실험

2.1 시험체의 설계 및 제작

본 연구에서 복합재료 교량 바닥판의 단면설계는 복합재료의 제작공정을 고려하여 설계하였다.

여기서 복합재료교량은 경간이 $L=10.0$ m 이고, 폭 $B=4.0$ m 의 제원을 갖는 복합재료 단순교이며 철근콘크리트 교대 위에 놓이게 될 것이다. 그리고 하중은 표준트럭하중 DB-24로 설계하였다⁽¹⁾. 상기 제원으로 실제 시험시공에 앞서 축소모형을 이용한 실험적 거동을 통하여 얻어진 실험 결과를 이용하여 설계를 보완하고자 한다.

본 연구에서 시험체의 크기는 실제 복합재료 교량의 동일한 형상을 유지하면서 치수는 약1/10의 크기인 $L=100$ cm, $B=43$ cm로 축소 제작하였다.

시험체 구조는 알루미늄 하니컴코어를 갖는 샌드위치구조(Model A) 및 라미네이트(laminate) 구조(Model B)로서 휨에 저항하는 상부플랜지와 전단력에 저항하는 웹(Web)로 구성되어 있다. 모든 재료는 Glass fiber/Epoxy 재료를 사용하여 교량 바닥판 시험체를 제작하였으며, 설계단면의 형상과 단면은 그림 1, 2와 같으며, 해당하는 제원은 표 1, 2, 3, 4와 같으며 모델A, 모델B에 대해 각각 3개, 2개씩 총5개의 시험체를 제작하였다. 각 구성요소의 복합재료 두께를 축척 1/10 축소두께로 제작하는 경우에는 두께가 매우 얇아지고, 1ply($t=0.556$ mm)의 프리프레그(Prepreg) 두께를 고려할 때 정확한 두께를 얻을 수 없을 것으로 예상된다. 따라서 휨시험이 가능한 적절한 두께로 제작하였다.

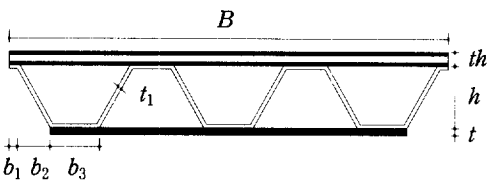


그림 1. 샌드위치 합성형 교량의 단면형상 (Model A)

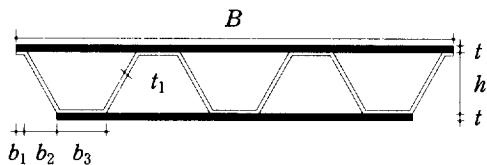


그림 2. 라미네이트 합성형 교량의 단면형상 (Model B)

표 1. 시험체의 치수(mm)

L	B	th	h	t	t_1	b_1	b_2	b_3
1000	430	14	87	3	4	22	31	40

표 2. 사용된 복합재료의 기계적 성질($10^9 N/m^2$)

재료	E_1	E_2	ν_{12}	G_{23}	G_{13}	G_{12}
Glass/Epoxy	36.9	10.1	0.33	2.0	2.9	2.9
Core (A/L)	0.27	0.27	0.11	0.11	0.11	0.11

표 3. 교량바닥판의 구성요소(Model A)

요소	적층패턴	두께	층수
Upper Facing	(0/90) ₂	0.5mm	4ply
Core	등방성재료 (알루미늄 하니컴)	10mm	1ply
Lower Facing	(0/90) ₂	0.5mm	4ply
Corrugate Web	(0/45/90/-45) _s	0.5mm	8ply
Laminate	(0/90) ₃	0.5mm	6ply

표 4. 교량바닥판의 구성요소(Model B)

요소	적층패턴	두께	층수
Laminate	(0/90) ₃	0.5mm	6ply
Corrugate Web	(0/45/90/-45) _s	0.5mm	8ply
Laminate	(0/90) ₃	0.5mm	6ply

이상과 같은 축소모형 교량 바닥판을 제작하기 위하여 각 구성요소에 대한 금형을 각각 제작하였다. 콜루게이트 웹를 제작하기 위한 Lay-up 금형으로서 SUS304 재질을 사용하였으며, 제작된 금형을 사용하여 금형의 표면에 복합재료 프리프레그(prepreg)를 수적층(hand lay-up)하여 autoclave molding 공법으로 성형하였으며, 성형된 구성요소는 치수에 일치하도록 마무리 가공을 하였다. 각 구성요소의 접합은 접착제 접합과 기계적 이음을 이용하였다. 접촉부분에 에폭시

접착제를 사용하여 접합한 후 고온 오븐을 사용하여 접합하였으며, 추가로 볼트와 Blind 리벳을 사용하여 이음을 하였으며 상부플랜지와 웨브의 이음은 볼트직경은 5mm, 하부플랜지와 웨브의 이음은 블라인드 리벳직경은 4.8mm를 사용하였다. 그리고 모델A인 경우처럼 샌드위치 플랜지와 웨브접합시 볼팅체결 위치에 미리 Epoxy/Glass Powder를 주입시켜 볼팅시 응력집중의 손상을 방지하였다. 최종 완성된 축소모형 바닥판은 그림 3에 나타내었다.

2.2 가력 및 측정방법

실험은 (주)한국화이버 복합재료연구소에서 3점 휨시험을 각각 하였으며, ASTM 790의 Laminar Flexure Test 시험규격을 적용하였다. 가력장치는 그림 4와 같이 만능시험기(Instron 4206)를 사용하여 행하였다.

단순지지되는 시험체의 좌우 지지된 길이는 80cm되도록 하였으며 양지지점에서 10cm 여유

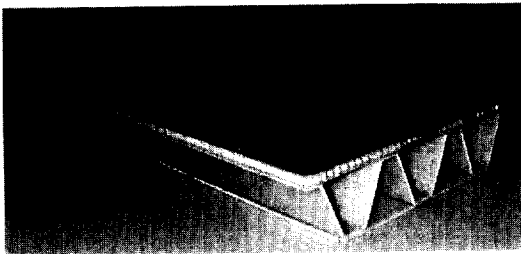


그림 3. 완성된 축소 모형

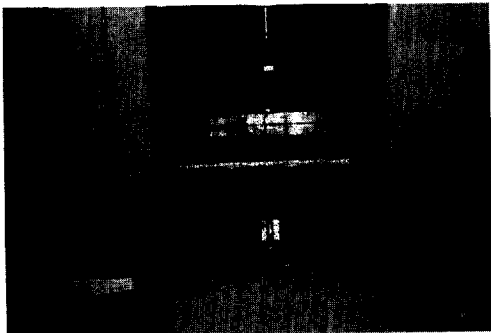


그림 4. 가력장치 및 가력방법

가 있도록 하였다. 하중은 시편의 중앙지점에 가력하였다. 변형률 및 중앙부의 수직처짐을 측정하기 위해 그림 5, 6과 같이 스트레인 게이지와 변위계를 부착하여 하중에 따른 시험체의 거동을 측정하였다. 바닥판의 좌우를 지지부와 하중을 가하는 가압부에서 접촉에 의한 국부손상을 최대한 방지하기 위하여 시험치구를 가동 제작하였다.

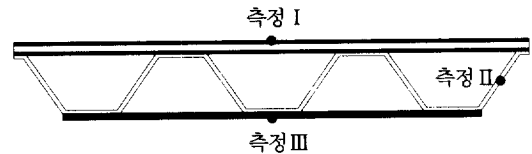


그림 5. 변형률 측정 위치 (지간 중앙부)

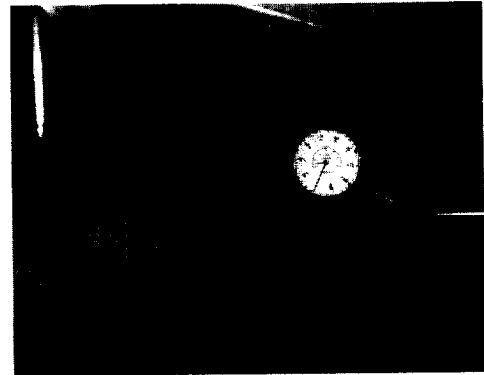


그림 6. 변위계 및 변형률 게이지 부착위치

2.3 복합재료의 기본 물성시험

복합재료 바닥판 휨 실험체 제작에 사용된 복합재료의 역학적 성질을 파악하기 위해 시편의 시험 규격에 따라 가공하여 만능시험기와 해당되는 치구를 이용하여 시험하였다. 시험의 결과는 표 5와 같다.

3. 실험결과

처짐은 그림 5과 같이 측정 I 과 측정 III의 위치에서 측정하였으며, 변형률은 지간 중앙부 3개의 점에서 측정하였다.

표 5. glass/epoxy 시편의 시험 결과

구분	각도	극한하중 (N)	극한강도 (N/mm ²)	탄성계수 (N/mm ²)	비고
인장강도	0°	48236.46	670.28	36930.77	ASTM D 3039
	90°	2164.92	38.05	10175.42	
압축강도	0°	34911.67	1234.56	34512.15	ASTM D 695
	90°	5166.14	183.58	11220.67	
휨강도	0°	2998.87	1072.36	-	ASTM D 790
	90°	148.86	78.55	-	
전단강도	0°	2979.65	66.49	3341.62	ASTM C 1292-95
	90°	1142.57	42.86	2286.52	

표 6. 구조형식별 시험체의 실험결과

시험체명	Model A		Model B	
	최대하중 (N)	최대처짐 (mm)	최대하중 (N)	최대처짐 (mm)
Test 1	196133	26.067	138568	17.974
Test 2	192896	23.707	98851	9.8155
Test 3	159112	17.596	-	-
평균	182717	22.457	118709	13.894

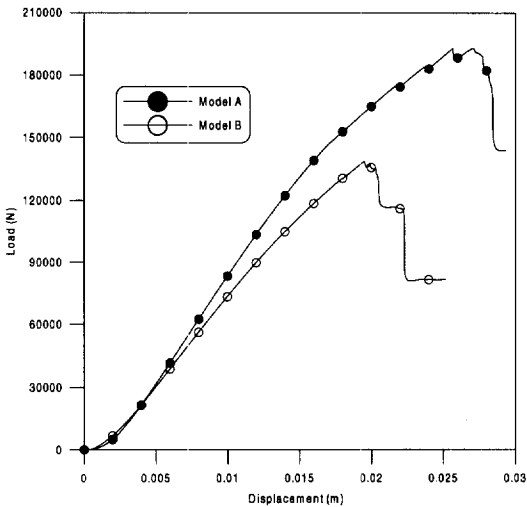


그림 7. 측정III에서의 하중-변위 관계

구조형식별 3점 휨시험으로부터 얻은 시험체의 실험결과를 표 6과 그림 7, 8, 9, 10에 나타내었다. 그림 7은 하중-변위 관계를 그림 8, 9, 10은 하중-변형률 관계를 나타낸 것이다.

그림 7에서 하중의 크기가 증가함에 따라 처짐

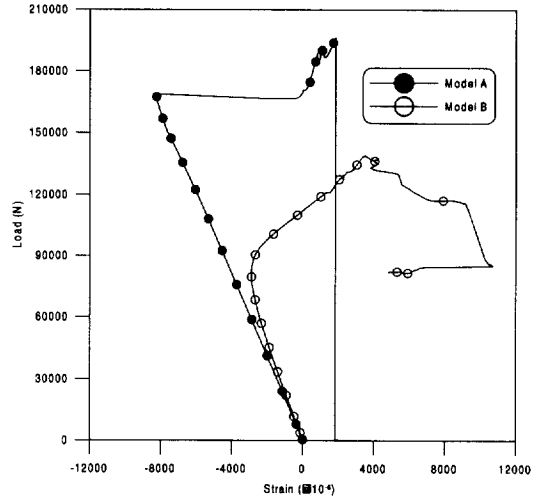


그림 8. 측정 I에서의 하중-변형률 관계

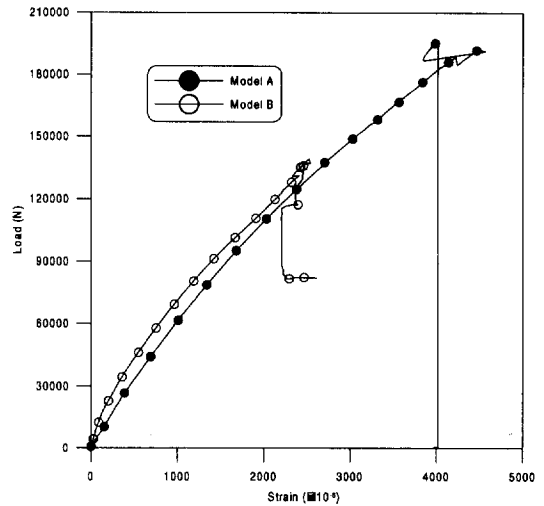


그림 9. 측정II에서의 하중-변형률 관계

의 크기는 비례하여 선형적으로 증가하였다. 처짐은 작용하는 하중과 재료의 강성, 그리고 단면의 관성모멘트 및 바닥판의 길이에 관계된다고 볼 수 있다. 재료의 변형이 선형거동을 하는 범위에서는 하중과 처짐도 선형적인 관계를 나타내었다. 보다 큰 하중이 작용하게 되면서 처짐은 비선형 거동을 나타내었고, 하중이 최대값에 도달하면서 바닥판의 웹 구성요소가 일부 파괴되면서 하중이 감소하게 되었다. 콜루게이트 웹 구성 요소가 파괴된 후 바닥판에 작용하는 하중을 상하부

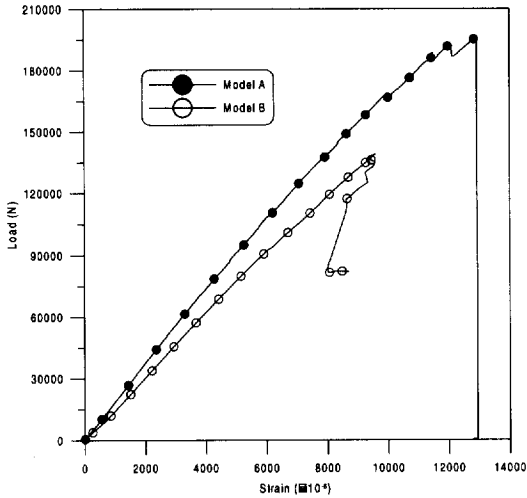


그림 10. 측정III에서의 하중-변형률 관계

플랜지 요소가 계속 지지하면서 바닥판의 파괴가 진행되었다. 시험 결과 데이터의 계산은 바닥판 휨의 대부분을 지지하고 있는 콜루게이트 웹 요소의 파괴가 일어나는 시점을 기준으로 하였다. 실험결과 알루미늄 코어를 갖는 샌드위치구조 (Model A)는 가력점 부근에서 사다리꼴 웹의 횡전단균열이 발생한 후 하중의 증가에 따라서 단부에서부터 플랜지와 웹이 상하로 분리되면서 합성력을 상실하여 최종적으로 상부플랜지의 국부파괴로 최대 내력에 도달하였다. 최대 내력시에도 상부 가력점의 샌드위치 플랜지의 파괴는 발생하지 않았으며 웹과 플랜지의 부착력 상실 후 하중이 감소하였다. 최대 내력 이후 하중의 증가없이 변형만 지속하다가 최종적으로 상부 샌드위치 플랜지의 파괴 발생 후 실험을 종료하였다. (그림 11, 12)

라미네이트(Model B)구조형식도 가력점 부근에서 사다리꼴 웹의 횡전단균열이 발생한 후 하중의 증가에 따라서 단부에서부터 플랜지와 웹이 상하로 분리되면서 합성력을 상실하여 최종적으로 상부플랜지의 파괴로 최대 내력에 도달하였다. 최대 내력시에 웹과 플랜지의 부착력 상실 후 하중이 감소하였다. 최대 내력 이후 하중의 증가없이 변형만 지속하다가 최종적으로 상부플

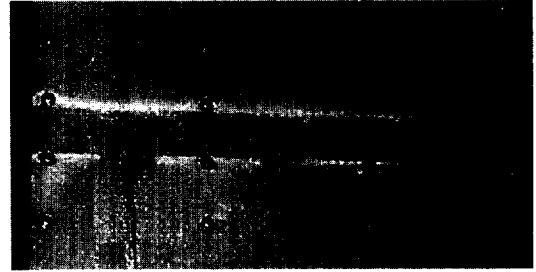


그림 11. Model A의 가력점 부근의 파괴형상

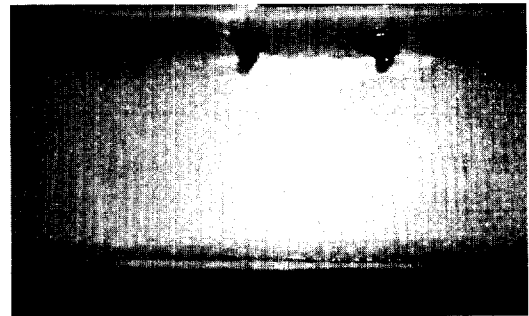


그림 12. Model A의 플랜지에서의 파괴형상

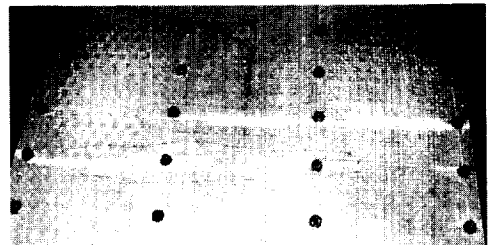


그림 13. Model B의 가력점 부근의 파괴형상

랜지의 파괴 발생 후 실험을 종료하였다.

4. 실험결과의 분석 및 고찰

4.1 휨 강성의 비교

알루미늄 코어를 갖는 샌드위치 상부플랜지의 바닥판(Model A)과 라미네이트의 바닥판(Model B) 형식의 시험편에 대한 3점 휨시험에서 구한 하중과 처짐값(측정 III)의 비교를 표 7과 그림 14에 각각 나타내었다. 알루미늄 코어를 갖는 샌드위치

표 7. 구조형식별 파괴하중, 변형률, 강성값 비교(축정III)

구조 형식	지간/ 거더높이 (L/h)	파괴하중 (N)	처짐 (m)	측정 변형률 ($\mu\epsilon$)	파괴 변형률 ($\mu\epsilon$)
Model A	9.6	80000	0.0097	4359	19317
Model B	10.8	77812	0.0155	5017	19317

플랜지 바닥판이 라미네이트 플랜지 바닥판 형식에 비해서 39.2%정도 내력이 강함을 알 수 있었고 지간/거더(L/h)비가 11.1%정도 높지만 처짐도 37.4%정도 낮게 나타났다. 그리고 파괴변형률에 비해 Model A, B의 측정변형률의 안전율은 4.0 으로 나타났는데 이것은 발생응력은 매우 안전한 것으로 보여진다. 또한 최대내력에 도달하였음에도 불구하고 하중의 증감없이 변형만 지속하는 매우 안정적인 연성적 거동을 나타내었다. 특히 파괴하중에 근접하면서 부분적으로 보강섬유가 파단되면서 하중이 감소되는 현상을 볼 수 있었다.(그림 13)

3점 휨시험은 양단이 단순지지 되어 있는 바닥판 시험편 중앙에 집중하중이 작용하는 형태이다. 바닥판은 휨모멘트에 의한 수직응력뿐만 아니라 전단하중에 의한 전단응력이 발생하므로, 바닥판의 내부에 존재하는 콜루게이트 웨브가 전단하중의 대부분을 충분히 지지하는 것을 볼 수 있었다. 그리고 표 7에서처럼 바닥판 시험편의 길이가 단면의 깊이에 비하여 짧기 때문에 전단에 의한 영향이 크게 나타날 수 있다. 재료시험에서는 한 성분의 응력에 의하여 파괴가 발생하지만, 3점 휨시험에서는 수직응력과 전단응력이 조합된 응력을 받기 때문에 전단응력이 크면 클수록 낮은 수직응력에서도 파괴가 발생할 수 있다.

4.2 휨 강성과 전단강성 비교

본 구조는 샌드위치구조로서 휨과 전단강성이 처짐에 어느 정도 영향을 미치는지 알아보기 위하여 총 처짐량을 휨과 전단변형에 의한 처짐으로 표 8 과 같이 나타내었다.

표 8. 구조형식별 휨과 전단변형에 의한 처짐 비교

구조 형식	지간/ 거더높이 (L/h)	파괴하중 (N)	총처짐 (m)	처짐(m)	
				휨변형	전단변형
Model A	9.6	80000	0.0042	0.0025 (61%)	0.0015 (39%)
Model B	10.8	77812	0.0119	0.0103 (87%)	0.0015 (13%)

3점 휨시험에 대한 비교로서 휨강성(bD_{11})과 전단강성($G_{xy}A_{core}$)에 의한 처짐을 다음 일반 비등방성 적층보 처짐식(1) (1)으로 구하여 비교하였다.

$$\delta_{max} = \frac{PL^3}{48bD_{11}} + \frac{PL}{4aG_{xy}A_{core}} \quad (1)$$

여기서 P는 집중하중이고, L 은 보의 지간이다. 그리고 bD_{11} 은 휨강성이며, $G_{xy}A_{core}$ 은 전단강성이다. 또한 a 는 보정계수이다. D_{11} 은 일반 적층판이론(12)으로 부터 쉽게 구할 수 있다. 여기서 상, 하층면재(Face)가 동일한 두께이면 다음 식 (2)로 구할 수 있고, 두께가 일치하지 않으면 다음 식 (3)으로 구할 수 있다.

$$D_{11} = \frac{E_x h_c^2 t_f}{2(1-\nu_{xy}\nu_{yx})} \quad (2)$$

$$D_{11} = \frac{E_{x,1} h_{c(belowNA)}^2 t_{f1}}{2(1-\nu_{xy,1}\nu_{yx,1})} + \frac{E_{x,3} h_{c(aboveNA)}^2 t_{f3}}{2(1-\nu_{xy,3}\nu_{yx,3})} \quad (3)$$

여기서 첨자 1, 3은 각각 샌드위치 상, 하층면재를 가리킨다. 구조형식별 전단변형에 의한 처짐이 차이가 있으며, 전체 휨거동에 영향을 주고 있음을 알 수 있었다. 따라서 설계시 코아의 전단강성 영향을 반드시 고려해야 할 것이다.

4.3 치수효과(Scale effect) 검토

본 연구는 복합재 교량바닥판의 축소된 모형실

표 9. 구조형식 요소별 변형률 비교

구조 형식	파괴하중 (N)	측정변형률($\mu\epsilon$)		파괴변형률($\mu\epsilon$)	
		인장플랜지	웹	인장플랜지	웹
Model A	80000	4358	1333	19317	4000
Model B	77812	5017	1166	19317	2500

힘이므로 치수효과(Scale effect)를 검토하여야 한다. 특히 전단강성수정계수(Shear Stiffness Correction Factor)와 웹의 안정문제(Stability)를 검토하여야 할 것이다. 실제 Full Scale 제작시 단면의 제원을 보정하여야 할 것으로 판단된다. 파괴하중하에서 인장측과 웹측에 있어서의 측정 변형률과 파괴 변형률을 나타내었다. 웹측의 변형률이 측정치와 파괴 변형률과 비교하였을 때, 구조형식별 각각 21%, 13% 정도의 차이를 나타내고 있다. 따라서 실제 Full Scale 제작시 압축하중하에서 웹의 좌굴이 일어날 수 있으므로 본 복합재 교량바닥판의 웹 두께를 보강해야 할 것으로 판단된다.

4.4 실험과 유한요소 해석의 결과 비교

실험결과의 타당성을 검증하고자 범용유한요소 해석 프로그램인 LUSAS를 사용하여 해석을 수행하였다. 해석모델링은 그림 14와 같으며, 기타 제반사항은 실험의 것과 같다. 요소는 Thick Shell요소를 사용하였으며, 기하학적 비선형 해석을 수행하였다.

LUSAS 기하학적 비선형해석에서는 하중이 80,000N 이상이 되면 수렴하지 않고 발산하였다. 이러한 이유는 비선형 해석시 프로그램 자체 내에서 하중이 너무 크게 되면 구조물이 파괴되어 더 이상 하중을 증가시킬 수 없기 때문이다. 따라서, 프로그램의 파괴 하중은 80,000N이다. 그러나 실험치는 Model A(샌드위치구조)인 경우 해석치보다 225% 보다 높은 180,000N 정도에서, Model B(라미네이트구조)인 경우는 175% 높은 140,000 N 정도에서 파괴되었으며, 표 10

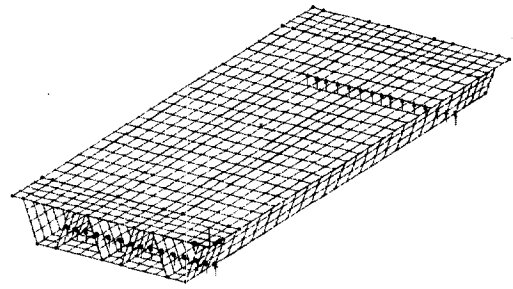


그림 14. LUSAS의 해석 모델링

표 10. 파괴하중(80,000N)하에서 증압점의 처짐값 비교

구분	Model A		Model B		비고
	실험	LUSAS	실험	LUSAS	
파괴하중	80,000N		77812.5N		LUSAS 파괴하중
처짐 (mm)	7.5	9.15	8.5	9.7	허용처짐 5.0
응력 (N/cm ²)	16092	20613	18524	23143	극한응력 67028

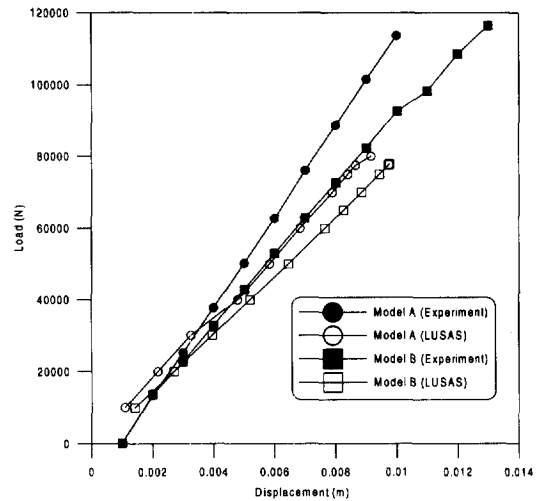


그림 15. LUSAS 해석결과와 처짐 비교(측정 I)

과 그림 16에 나타났듯이 측정 I에서의 실험치 처짐값이 이론상의 파괴하중을 기준하였을 때 보다 Model A에서는 18.0%, Model B에서는 12.0% 정도 해석치보다 작게 나타났다. 이렇게 실험치가 더 높은 하중하에서 견디는 이유는 시험체를 만들 때 접착 및 실험의 불확실성 때문에

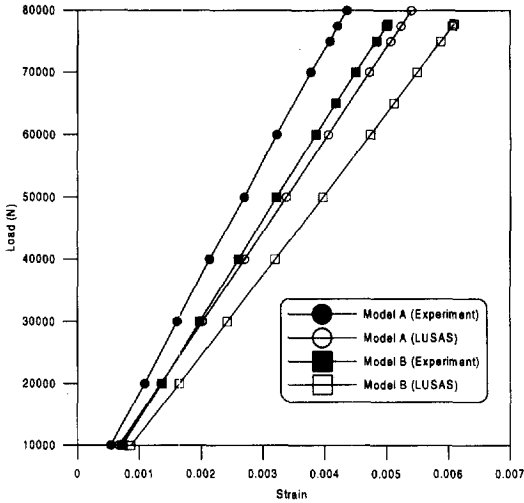


그림 16. LUSAS 해석결과와 변형률 비교

볼트 및 리벳 연결로 인하여 휨강성이 증대되었기 때문이며, 또한 적용한 복합재료의 물성값이 상이하기 때문인데, 즉 이론 해석시 적용하였던 물성값은 UD (Uni-directional Ply)값이지만 실제 시험체는 보강섬유가 기지(Matrix)와 함께 합쳐진 구조체이므로 훨씬 더 내력이 강하게 나오는 것으로 판단된다. 처짐 측정시 다이얼 게이지 상에서 초기처짐을 설정하였기 때문에 그림 15과 같이 나타났다.

5. 결론

복합재료를 사용한 샌드위치 상부플랜지와 라미네이트 상부플랜지를 갖는 교량 바닥판의 실험결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 최대하중이 이후에도 급격한 하중의 증감 없이 변형만 증가하는 매우 연성적인 거동을 나타내었다.
- (2) 샌드위치 상부 플랜지를 갖는 바닥판이 라미네이트 상부 플랜지를 갖는 바닥판 보다 내력이 13.1% 더 강함을 알 수 있었다. 그리고 처짐에 있어서 11.76% 정도 작게 나타내었다.

- (3) 해석 값 보다 내력이 높은 것으로 나타난 것은 해석시에는 구성요소가 완전 접합상태로 보았으나, 실제 시험체는 접합제 접합 + 기계적접합(리벳, 볼트) 사용에 기인한다고 생각되며, 또한 이론 해석시 적용하였던 물성값은 UD (Uni-directional Ply)값이지만 실제 시험체는 보강섬유와 기지(Matrix)와 함께 합쳐진 구조체이므로 훨씬 더 내력이 강하게 나오는 것으로 판단된다.
- (4) 기존에 사용되고 있던 콘크리트, 강재를 복합재료로 대체하여 교량바닥판으로 대체할 때 사하중을 줄이면서 내하력을 충분히 확보할 수 있는 장점이 있음을 알 수 있었다.
- (5) 파괴응력은 극한강도를 기준하였을 때 Model A, B가 안전율이 4.0으로 나타났으며, 어느 형식이든 매우 안전하나, 처짐에 있어서는 허용처짐보다 평균 60%정도 크게 발생하였다. 응력보다는 처짐조절이 중요하므로 실제 교량바닥판을 설계시에는 상부 플랜지를 라미네이트보다 샌드위치 구조가 역학적으로 유리한 형식이 될 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2000년도 한국토지공사 중소기업기술포발사업의 연구비 지원에 의한 연구결과물의 일부이며 연구비를 지원해준 한국토지공사에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 도로교 설계표준시방서, 1999, 건설교통부
2. 이대길, 정광섭, 최진호, 1998, 복합재료역학 및 제조기술, 시그마프레스
3. 이성우, 이선구, 김정현, 2001, "경량 고내구성 복합소재 교량바닥판의 개발", 대한토목학회 학술발표논문집

4. Ji, H.S., 1997, "A Study on Anisotropic Sandwich Plates with Composite Facings", University of Seoul, Ph.D. Thesis
5. Ji, H.S., Woo, Y.T. and Chang, S.Y., 1996, "Analysis of Composite Sandwich Plates with Thick Core", KSSC, Vol. 8, No.2, pp.125-137
6. Pagano, N. J., 1972, "Exact Solution for Rectangular Bidirectional Composites and Sandwich Plates.", J. of Comp. Mater., Vol.6, pp.426-440
7. Whitney, N. J., 1973, "Stress Analysis of Thick Laminated Composite and Sandwich Plates.", J. of Comp. Mater., Vol.6, pp.426-440
8. Allen, H. G., 1969, "Analysis and Design of Structural Sandwich Panels", Pergamon, Oxford
9. Clarke, J.L.(ed.), 1996, "Structural design of polymer composite-EUROCOMP design code and handbook", E&FN Spon, London, England.
10. J.G. Rodriguez, 1997, "Test and Evaluation Plan for the Composite Bridge", INEL/EXT-97-00359.
11. Kim, D.H., 1995, "Composite Structures for Civil and Architectural Engineering, E&FN Spon
12. Douglas A. Eckel II, 1998, "A Theoretical and Experimental Study of the Behaviour of Sandwich Bridge Decks Composed of Composite Materials", CCM Report 98-5, Univ. of Delaware.
13. LUSAS Ver 13.2, 1999, FEA Ltd.

(접수일자 : 2001년 6월 25일)