

복합소재 리그매트 스냅핏 연결부의 착탈 거동

Snap-fitting behavior of GFRP composite rigmats with snap-fit connection

홍기증* · 최성호** · 이성우***

Hong, Kee Jeung · Choi, Sung Ho · Lee, Sung Woo

요 약

고중량, 부식 등의 문제를 안고 있는 목재/강재 리그매트를 대체할 수 있는 고강도·경량·고내구성 특성을 갖는 복합소재 리그매트를 전통 목재 연결방식의 결구시스템을 응용한 새로운 개념의 스냅핏 방식으로 개발하였다. 본 논문에서는 기존에 개발한 리그매트와 이를 개선한 개선형 리그매트의 스냅핏 (snap-fit) 연결부의 안전성을 검증하기 위해 연결부 착탈 거동에 대한 해석 및 구조성능 시험을 실시하였고, 그 결과를 비교 분석하여 스냅핏 연결부의 긍정적인 효과를 입증하였다.

Keywords: 복합소재, 리그매트, 스냅핏, Composite, deck, Snap-fit

1. 서 론

우주항공용 첨단소재로 사용되던 섬유강화복합소재(FRP)는 현재 여러 산업분야에서 신소재로서 활발히 연구 개발되어지고 있으며, 복합소재가 가지고 있는 고강도, 경량, 내부식, 고내구성의 특성으로 콘크리트의 열화와 강재의 부식을 근본적으로 해결할 수 있는 제3의 건설소재로 대두되었다. 특히 교량 바닥판에 대한 연구가 활발히 진행되어지고 있어 해외는 물론 국내에서도 복합소재 바닥판을 적용한 교량의 시공사례가 적지 않다. 본 연구진 또한 유전개발에 사용되는 가도용 리그매트에 대한 연구를 진행하고 있어 복합소재의 활동 영역은 점차 넓어질 것으로 기대된다.

본 논문에서는 기존에 개발된 복합소재 리그매트의 단점을 보완한 개선형 리그매트 연결부에 대한 시험과 해석을 수행하여 연결부의 긍정적인 효과를 확인하였다. 그림 1의 기존 리그매트는 스냅핏 형상 연결부의 적용으로 연결과 해체가 용이하여 시공기간을 단축할 수 있는 이점이 있으며, 보수 및 유지 관리비용을 현저하게 감소시킬 수 있다. 기 수행한 기존 리그매트의 현장적용시험 수행 결과 중차량 통과조건에서 반복되는 하중에 의한 패널 연결부의 파괴가 발생하였고, 반복적인 차량 출발 및 제동 시 상부판에 작용하는 수평력에 의해 복부판과 상부판 연결부의 균열 및 적층 분리가 발생하였다. 이러한 문제점을 해소하기 위하여 그림 2와 같은 단면의 개선형 리그매트를 설계 및 개발하였다. 개선형 리그매트는 휨강성 증대를 위해 단면 높이 및 부재 두께를 보강하였고, 횡방향 내피로 성능 향상을 위해 기존 장방형에서 제형 중공단면으로 단면형상을 변경하였다. 또한 차량 출발 및 제동시 리그매트에 재하되는 수평력의 영향을 고려하여 섬유적층 설계시 횡방향 섬유(90°) 및 전단보강 섬유($\pm 45^\circ$)를 가능한 범위 내에서 최대한 배치하였다.

* 정 회 원 · 국민대학교 건설시스템공학부 교수 E-mail: kjhong@kookmin.ac.kr

** 학생회원 · 국민대학교 건설시스템공학부 석사과정 E-mail: lokilll@naver.com

*** 정 회 원 · 국민대학교 건설시스템공학부 교수 E-mail: swlee@kookmin.ac.kr

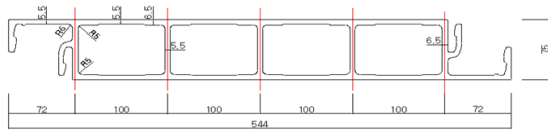


그림 1 기존 리그매트 단면

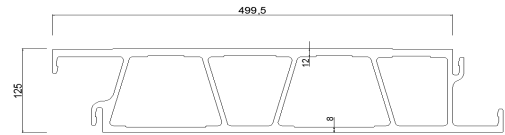


그림 2 개선형 리그매트 단면

2. 연결부의 착탈해석

연결부 결합 및 이탈시의 거동을 해석하기 위하여 접촉문제에 유리한 Solid 요소를 이용하여 기하비선형을 고려한 해석을 수행하였다. 구조해석은 유한요소해석 프로그램인 CosmosWorks를 사용하였으며 그림 3에는 리그매트별 착탈해석을 위한 연결부의 유한요소 모델을 보여주고 있다. 실제 시험조건과 동일하도록 아래 연결부를 고정단으로 하고 윗 연결부에 완전한 착탈이 이루어질 때까지 변위하중을 적용시켰다. 솔리드 요소의 특성상 많은 요소가 생성되어 해석에 어려움이 있어 모델의 폭을 100mm정하고, 접촉해석시 절점 대면의 관점에서 접촉문제에 대한 해석을 시도하였다. 메시는 자동메시를 사용하여 분할하도록 하였다. 해석에 사용된 물성치는 표 1과 같이 시편시험을 통해 얻어진 값을 사용하였다.

표 1 시편 재료시험을 통해 얻은 물성치

구 분	탄성계수(MPa)			전단탄성계수 Gxy(MPa)	포아송비 μ_{xy}	포아송비 μ_{yx}	시편 인장강도	시편 압축강도
	Ex	Ey	Ez					
기존리그매트	23000	11000	4900	8000	0.26	0.14	50	110
개선형리그매트	20000	10000	4500	5000	0.37	0.20	70	130

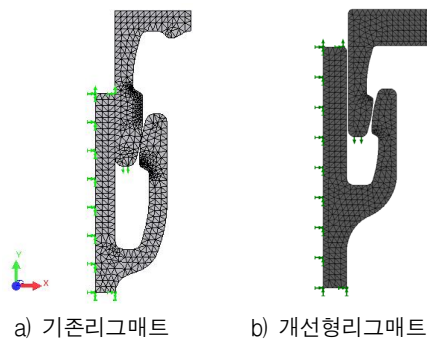


그림 3 착탈연결부 유한요소 해석모델

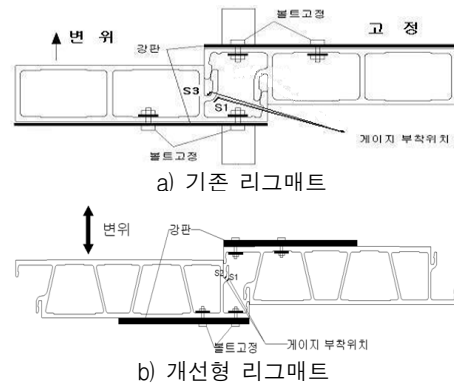


그림 4 착탈시험 개요도

3. 연결부 착탈시험

수직결합 연결부의 착탈 과정에서 목부위에 발생하는 응력에 대한 안전성을 평가하기 위하여 착탈시험을 수행하였다. 그림 4는 리그매트별 착탈 시험체의 개념도 및 변형률 게이지의 부착 위치를 보여준다. 시험은 250kN용량의 MTS 유압 액추에이터를 재하속도 1mm/min으로 완전한 착탈이 이루어질 때까지 변위제어하여 작용 수직하중과 변형률을 측정하였다. 시험체는 폭 100mm로 하였으며, 착탈시 가장 취약한 부위인 목부위 안쪽 인장응력 발생부위와 목부위 바깥쪽 압축응력 발생부위에 변형률 게이지를 부착하여 변형률을 측정하였다.

4. 해석 및 시험결과

표 2에 기존 리그매트와 개선형 리그매트의 시험 및 해석결과와 안전율을 나타내었다. 표에서 보이듯이 개선형 리그매트의 착탈시 발생응력이 기존 리그매트에 비해 대체로 적음을 알 수 있다. 기존 리그매트에서는 연결부 사이공간이 거의 없으므로 그림 3의 왼쪽 복부판이 윗 연결부 목부위의 변형을 제한하는 역할을 하게 되고 대부분의 변형은 아래 연결부 목부위에 집중된다. 반면, 개선형 리그매트에서는 1mm정도 연결부 사이에 공간을 설계하였기 때문에 위와 아래 연결부에 변형이 분산된다. 이로 인해 개선형 리그매트 연결부 목부위의 착탈시 안전율은 3.0으로 기존 리그매트 1.3보다 큰 안전성을 확보하였다.

그림 5과 6은 기존 리그매트, 그림 7과 8은 개선형 리그매트의 이탈변위-변형률 관계와 결합변위-변형률 관계에 대한 시험결과 및 해석결과를 각각 보여주고 있다. 기존 리그매트의 경우 연결부 이탈시 변형률의 급격한 감소는 나타나지 않지만, 연결부 이탈시 개선형 리그매트의 변형률은 점점 증가하다 급격히 감소하게 된다. 기존 리그매트는 연결부 사이 여유공간이 거의 없게 설계한 반면, 개선형 리그매트는 수월한 착탈 작업을 위해 연결부 사이 여유공간을 1mm정도 확보하여 개선형 리그매트 연결부 머리부분이 기존 리그매트에 비해 미끄러짐에 제약을 받지 않기 때문에 상대적으로 미끄러지면서 변형이 급격히 감소하기 때문이다.

표 2 착탈시 연결부 목부위 응력 및 안전율

시 험 내 용		결 합				이 탈			
		인장응력 (MPa)	안전율	압축응력 (MPa)	안전율	인장응력 (MPa)	안전율	압축응력 (MPa)	안전율
기 존 리 그 매 트	해석값	55.70	0.9	33.18	3.3	74.26	0.7	76.17	1.4
	시험값	37.59	1.3	13.40	8.2	24.92	2.0	27.95	3.9
개 선 형 리 그 매 트	해석값	16.60	4.2	9.09	14.3	20.40	3.4	13.16	9.9
	시험값	6.75	10.3	4.17	31.2	22.98	3.0	14.95	8.7

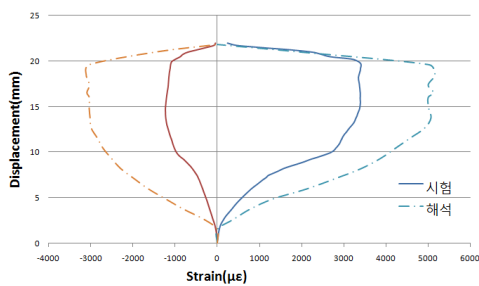


그림 5 기존 리그매트 결합변위-변형률관계

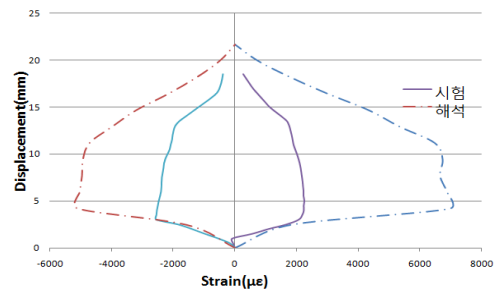


그림 6 기존 리그매트 이탈변위-변형률관계

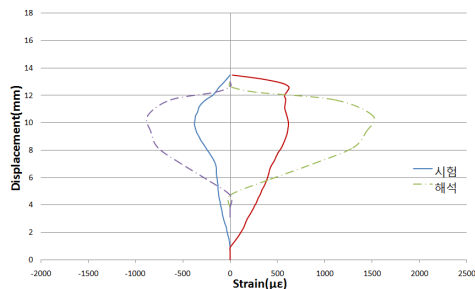


그림 7 개선형 리그매트 결합 변위-변형률관계

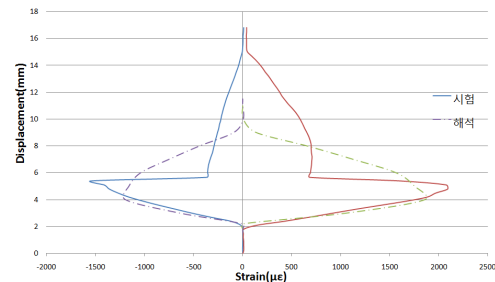


그림 8 개선형 리그매트 이탈변위-변형률관계

5. 연결부 착탈시 Tsai-Wu 파괴해석

시편시험을 통해 얻어진 재료의 물성치를 사용하여 기존 리그매트와 개선형 리그매트 연결부에 대한 안전성 검토를 위하여 Tsai-Wu 파괴해석을 실시하였다. 착탈시 가장 취약한 부분인 연결부 목부위에 대해서 파괴해석을 실시하였으며, 기존 리그매트는 결합시 3.4와 이탈시 1.3의 안전율을 보이며 개선형 리그매트의 경우 결합시 4.7과 이탈시 10.7의 안전율을 확보하였다. 그림 9와 10에서는 리그매트별 결합 및 이탈시의 Tsai-Wu 파괴해석 그래프를 나타내고 있다.

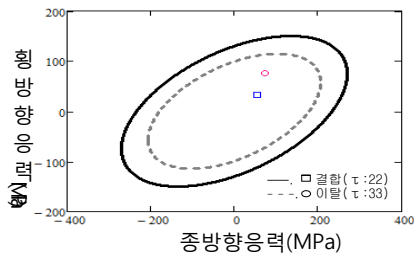


그림 9 기존 리그매트 Tsai-Wu 파괴해석

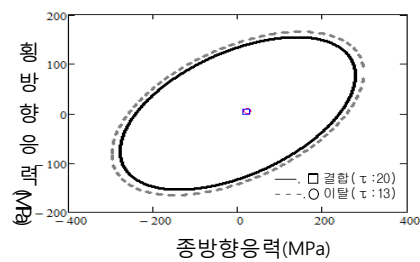


그림 10 개선형 리그매트 Tsai-Wu 파괴해석

6. 결론

기존 개발된 복합소재 리그매트 연결부의 휨 및 전단피로 거동을 개선한 복합소재 리그매트의 스냅핏 연결부의 유한요소해석과 착탈시험을 통하여 연결부의 거동 특성을 알아보고 그 성능을 비교 검증하였다.

1. 개선형 리그매트의 결합시 최대 인장응력은 16.6MPa(해석)와 6.75MPa(시험)으로 기존 리그매트의 인장응력 55.70MPa(해석)와 37.59MPa(시험)보다 상당히 감소하였고 시편 인장강도 70MPa의 1/8 수준이다. 또한, Tsai-Wu 파괴해석 결과 안전율 4.7으로 안전성을 확인하였다.
2. 개선형 리그매트의 이탈시 최대 인장응력은 20.40MPa(해석)와 22.98MPa(시험)으로 기존 리그매트 인장응력 74.26MPa(해석) 24.92MPa(시험)보다 감소하였고 시편 인장강도 70MPa의 1/3 수준이다. 또한, Tsai-Wu 파괴해석 결과 안전율 10.7으로 안전성을 확인하였다.
3. 연결부 착탈 거동에 대한 기존 리그매트 연결부의 단점을 보완하기 위하여 리그매트 연결부의 섬유 적층량을 증가시켜 더 높은 강성을 발휘할 수 있도록 개선하였고, 연결부 사이의 여유공간을 두어 착탈시 작업성 향상과 목 부위에 발생하는 응력을 감소시켰다.
4. 추후 연결부의 내피로 성능 확인을 위해 반복적인 착탈에 대한 피로시험 검증이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부(건설핵심기술: 06건설핵심C04)의 지원으로 수행되었으며, 건설교통부의 연구지원에 감사드립니다.

참고문헌

- S. W. Lee and K. J. Hong, (2007) "Experiencing More Composite-Deck Bridge and Developing Innovative Profile of Snap-fit Connections", Proceeding of COBRAE Conference
- 이성우외, (2006) "보도교용 복합소재 테크패널의 착탈결구식 연결부 개발", 대한토목학회 학술발표 논문
- 이성우외, (2009) "유전개발용 리그매트 및 교량바닥판용 착탈조립식 경량 복합소재 테크개발" 건기평 연구보고서.