복합소재 리그매트의 정적 휨 거동

Static Flexural Behavior of GFRP Composite Rigmat

홍기증* • 금문성** • 이성우***

Hong, Kee Jeung • Keum, Moon Seoung • Lee, Sung Woo

ABSTRACT

현재 유전개발이 가속화 되고 있는 캐나다의 유전개발현장에서 진입도로용으로 사용하고 있는 목재 가도 매트를 대체하기 위해 고강도・경량・고내구성 특성을 갖는 복합소재 리그매트를 개발하였다. 기존에 본 연구진이 개발한 리그매트는 중차량의 반복하중에 취약한 거동을 보였으므로 이를 해결하기 위한 개선형 리그매트를 개발하였다. 개선형 리그매트의 구조안전성을 평가하기 위하여 단일데크의 강축 휨에 대한 해석 및 시험을 실시하여 휨 거동 특성을 조사하였다.

Keywords : *복합소재, 바닥판, 휨 거동, Composite, deck, flexural behavior*

1. 서 론

복합소재는 경량·고강도·내부식·고내구성 특성으로 기존 건설재료의 콘크리트 열화와 강재 부식 문제를 해결할 수 있고, 유지관리 비용을 현저히 절감할 수 있으며, 경량특성에 의해 획기적으로 자중을 줄여줄 뿐만 아니라, 공기를 대폭 단축시켜 공사비 절감을 도모할 수 있다. 그 중 복합소재 데크는 미국을 중심으로 한 구미 선진국에서 활발히 연구개발되어 현재 실용화 단계에 있다. 특히 유가급등으로 오일샌드 유전개발이 가속화 되고 있는 캐나다의 유전개발현장에서 진입도로 가포장용으로 종래에 사용하고 있는 무겁고 비효율적인 목재 가도 매트를 대체할 수 있는 효과적인 경량 리그매트(가도매트)에 대한 수요가 폭증하고 있다. 이런 수요에 부응하여 고부가가치, 수출 주도형 전략기술인 신개념의 조립식 경량 복합소재 리그매트를 본 연구진이 이미 개발하였다. 수직방향의 착탈 조립식 결합방식을 이용하여 개발된 리그매트는 비접착식으로 데크의 조립, 해체가 용이하고 데크 간에 접착이 필요 없어 기존의 데크로는 이용이 거의 불가능했던 분야인 사용 후 철거나 재사용이 필수적인 가도용 매트, 긴급복구용 교량, 가교, 복공판 등에 활용될 수 있다.

본 논문에서는 기존에 개발된 리그매트와 그 단점을 보완한 개선형 리그매트의 구조안전성을 평가하기 위하여 정적 휨 시험 및 해석을 수행하였다. 그림 1과 같은 단면을 갖는 기존 리그매트는 현장적용시험 수행 시 중차량의 반복되는 통과 하중에 의해 리그매트 패널 연결부의 파괴가 발생하였고, 반복적인 차량 출발 및 제동 시 상부판에 작용하는 수평력에 의해 복부판과 상부판 경계 부위에서 균열 및 적층 분리가 발생하였다. 이러한 문제점을 해소하기 위하여 그림 2와 같은 단면의 개선형 리그매트를 설계 및 개발하였다. 개선형 리그매트는 국부적인 휨강성 증대를 위해 단면 높이 및 부재 두께를 보강하였으며 수평방향 하중에 대한 내피로 성능 향상을 위해 기존 장방형에서 제형 중공단면으로 단면형상을 변경하고 적층 섬유량을 증가시켰다.

리그매트는 불특정 지반조건 위에서 차량의 원활한 운송을 위해 설치되므로 다양한 경계조건을 갖게 된다.

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

** 학생회원・국민대학교 건설시스템공학부 석사과정 E-mail: insanemc@naver.com

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

이러한 다양한 경계조건을 해석 및 시험에서 고려하는 것은 불가능하므로, 리그매트에 일어날 수 있는 가장 위험한 조건으로서 양단 단순지지와 중앙부 수직하중이 가해지는 경우만을 고려하기로 한다.

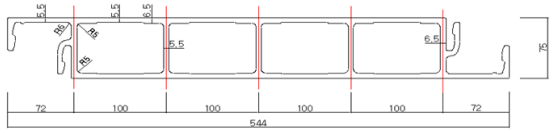


그림 1 기존 리그매트 단면

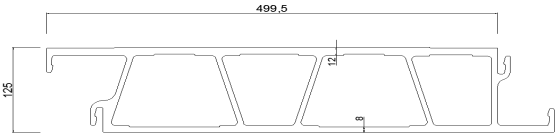


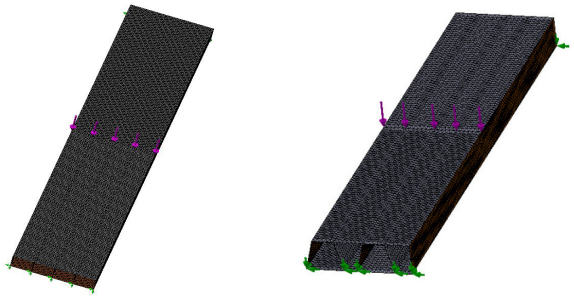
그림 2 개선형 리그매트 단면

2. 정적 휨 해석

리그매트의 휨 거동을 조사하기 위하여 쉘 요소를 이용한 기하비선형 해석을 수행하였다. 유한요소해석 프로그램 SolidWorks-Simulation을 사용하여 그림 3과 같은 유한요소모델을 지간 2m로 단순지지하고 선하중을 재하한다. 표 1과 같이 시편 재료시험을 통해 얻어진 물성치를 해석에 사용하였다. 그림 3은 기존형과 개선형 리그매트의 해석 모델이고 그림 4는 중앙부 시험하중 개요도 이다.

표 1 시편 재료시험을 통해 얻은 물성치

구 분		탄성계수(MPa)			전단탄성계수 G_{xy}(MPa)	포아송비 μ_{xy}	포아송비 μ_{yx}	시편 인장강도	시편 압축강도
		Ex	Ey	Ez					
기존형 리그매트		23000	11000	4900	8000	0.26	0.14	50	110
개선형 리그매트	상부판	20890	13350	4614	3350	0.233	0.149	70	130
	복부판	20200	10390	4500	4620	0.379	0.195		
	하부판	18130	14420	4128	4140	0.253	0.201		



a) 기존형 b) 개선형

그림 3 해석모델

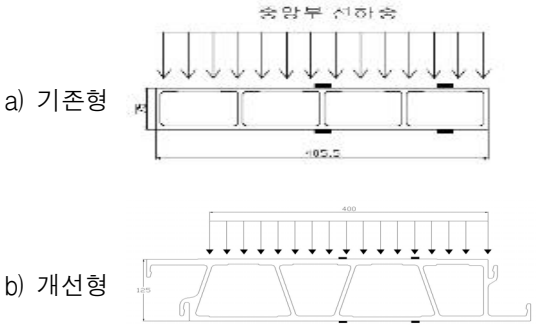


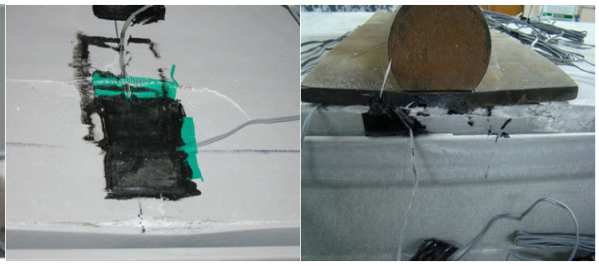
그림 4 중앙부 시험하중

3. 정적 휨 시험

길이 2,600mm, 폭 545mm의 인발성형된 단일데크를 지간 2000mm의 양단 힌지/롤러로 단순지지 하였으며, 500kN 용량의 유압액츄에이터에 의한 하중제어 방식으로 파괴시까지 하중을 재하하였다. 재하판은 길이 400mm, 폭 60mm의 강철판을 사용하였다. 그림 5는 실제 휨 시험 전경이며 그림 6은 휨 시험후 파괴된 시편 형상이다. 시험결과 기존형 리그매트의 파괴하중은 140kN/m이며 하부판의 최대수직변위는 50.26mm이다. 이때 하중 가력부 아래에 그림 6(a)와 같이 국부 펀칭파괴가 발생하였다. 이에 비해 개선형 리그매트는 493.75kN/m(=197.5kN/0.4m)의 하중에서 단부의 모서리 부분에 국부적인 휨에 의해 그림 6(b)와 같이 약 280mm 길이의 균열이 발생하였다. 이때 하부판의 최대수직변위는 50.76mm가 발생하였다. 시험 후 상부판의 하중가력부를 확인한 결과, 기존 리그매트에서 발생되었던 가력부의 펀칭파괴는 발생하지 않았다.

a) 기존형 b) 개선형

그림 5 휨 시험



a) 기존형 b) 개선형

그림 6 휨 시험 파괴형상

4. 해석 및 시험결과

그림 7의 기존형 및 개선형 리그매트의 하중-처짐 그래프를 통해 중앙부 하부판의 수직 처짐이 하중 증가에 대해 선형적으로 증가함을 확인할 수 있다. 개선형 리그매트의 파괴하중 140kN/m는 기존 리그매트의 파괴하중 493.75kN/m 보다 3배 이상 더 크므로 안전성이 상당히 향상되었음을 확인할 수 있다.

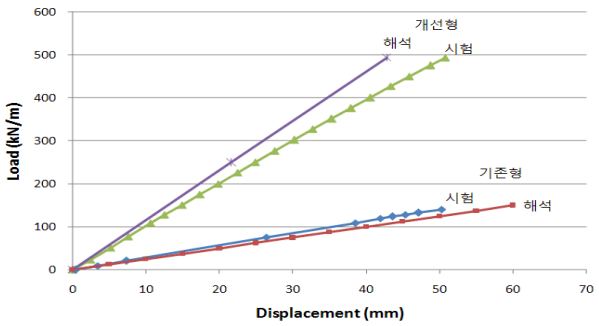


그림 7 하중-처짐 그래프

단순지지된 상태에서 충격계수를 고려한 차량 바퀴하중(124.8kN)이 재하되면 기존 리그매트는 파괴되지만 개선된 리그매트는 충분한 강도를 가지므로 파괴되지 않는다. 단순지지된 개선형 리그매트에 차량하중을 재하한 시험을 통해 얻은 변형 게이지 측정값과 해석을 통해 얻은 변형률을 그림 8과 9에 비교하여 나타내었다. 상부판에서는 종방향 압축변형과 횡방향 인장변형, 하부판에서는 종방향 인장변형과 횡방향 압축변형이 각각 해석 및 시험 모두에서 유사하게 관측되어 시험과 해석이 근사한 결과를 도출함을 보여준다.

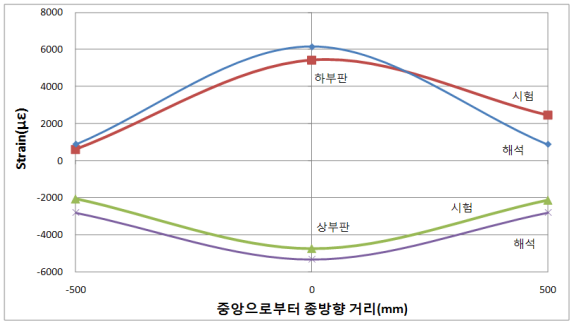


그림 8 상,하부판 종방향 위치별 응력

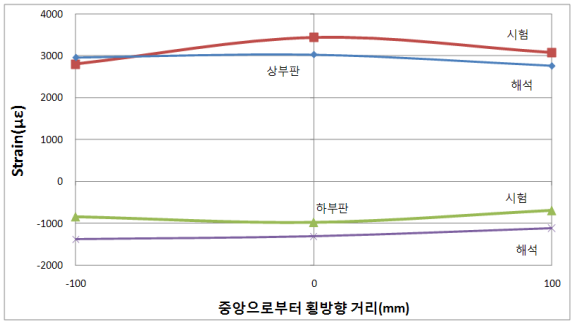


그림 9 상,하부판 횡방향 위치별 응력

5. Tsai-Wu 파괴해석

안전성 검토를 위하여 충격계수를 고려한 DB24 차량 바퀴하중 124.8kN을 단순지지된 리그매트 중앙부에 재하하여 해석한 결과를 바탕으로 Tsai-Wu 파괴해석을 실시하였다. 그림 10은 Tsai-Wu 파괴해석 그래프이며 가장 큰 압축응력이 발생한 상부판 중앙부에서 안전율 1.237, 가장 큰 인장응력 발생한 하부판 중앙부에서 안전율 2.114로 충분한 안전성을 확보하였다.

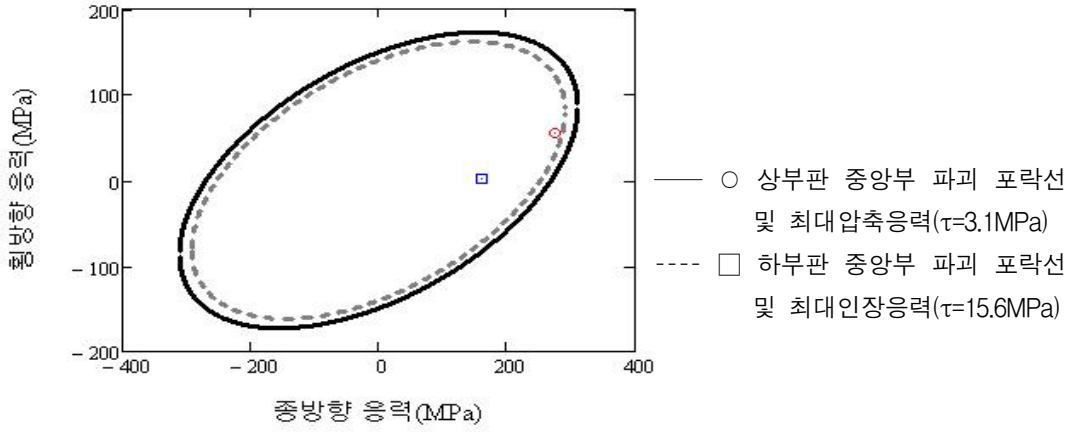


그림 11 Tsai-Wu 파괴해석 그래프

6. 결론

기존에 개발된 복합소재 리그매트가 가진 국부휨 및 국부전단의 취약성을 보완한 개선형 복합소재 리그매트의 유한요소해석 및 성능시험을 통해 구조적 안전성을 검증하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 개선형 리그매트가 기존 리그매트보다 3배 이상 더 큰 강성과 안전율을 가짐을 확인하였다.
2. Tsai-Wu 파괴해석 결과 단순지지 조건에서 DB24 차량 바퀴하중 재하시 상부판 중앙부에서 안전율 1.237, 하부판 중앙부에서 안전율 2.114로 충분한 안전성을 가진다.
3. 리그매트의 휨 시험 및 해석결과가 서로 근사한 거동을 보이므로 유한요소해석으로 실제 리그매트의 거동을 근사하게 모사할 수 있음을 확인하였다.
4. 시험과 해석시 본 논문에서 가정한 단순지지 조건은 리그매트의 실제 경계 조건 중 가장 위험한 조건에 해당하므로 대부분의 실제 리그매트 경계조건에서의 안전율은 본 논문에 구한 안전율 보다 더 높다.
5. 중차량 하중하의 현장시험을 통해 반복하중에 대한 복합소재 리그매트의 피로 취약성 검증이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부(건설핵심기술사업 : R&D/06건설핵심C004)의 지원으로 수행되었으며, 국토해양부의 연구지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 나두훈 (2008) “75mm 조립식 복합소재 데크의 거동시험 및 해석”, 석사학위논문
2. (주)국민씨아이 (2010) “유전개발용 리그매트 및 교량바닥판용 착탈조립식 경량 복합소재 데크 개발”, 국토해양부 건설핵심기술사업 최종보고서
3. 대한 토목학회, 도로교설계기준 • 해설, 2003
4. Robert D. cook, David S. Malkus, Michael E. Plesha , Robert J. Witt, Concepts and Applications of Finite Element Analysis, Fourth Edition, 2001
5. Donald F. Adams, Leif A. Carlsson, R. Byron Pipes, Experimental Characterization of Advanced Composite Materials, Third Edition, 2003