

페타이어 고무분말과 코드-고무 스크랩을 이용한 철재 롤코일 선박운송용 Dunnage 안정성 해석

곽이구⁺, 김홍건*, 김항우⁺⁺, 한재호⁺⁺, 김재열⁺⁺⁺

(논문접수일 2006. 2. 20, 심사완료일 2006. 8. 29)

Stability Analysis of Dunnage for Transportation of a Steel Roll Coil using Powder of Waste Tire and Cord-rubber Scrap

Lee-Ku Kwac⁺, Honggun Kim*, Hang-Woo Kim⁺⁺, Jae-Ho Han⁺⁺, Jae-Yeol Kim⁺⁺⁺

Abstract

When ironwork, especially steel roll coil, is transported to customers, land transportation and sea transportation are usually used. To transport steel roll coil fast and safe without damaging it, it is necessary that the steel roll coil has to be in stable condition. These days, apitong, which is all imported from overseas, is being used to support the steel roll coil, but because of apitong's rigidity, it damages the coil and when the coil is damaged, it is hard to fix. Due to the fact that recovering damage of the coil is almost impossible, we have to find the new type of dunnage that can substitute the apitong. In this paper, the arrays and the kinds of reinforcements, and rectangular type and trapezoid of dunnage will be talked about. The phenomenon of rolling and the impact when the carrier start moving and stop will be talked about as well. Therefore, we are going to develop a dunnage that does not damage ironwork and has better recovery and softness than existing apitong dunnage.

Key Words : Steel Roll Coil(철재 롤 코일), Dunnage(받침대), Reinforcements(보강재), Waste Tire(페타이어)

1. 서론

현행 국내제철소에서 생산되어 내수 및 수출제품에 대한

적재 및 운반시 철제품의 훼손에 따른 제품의 이미지 실추와 소비자의 빈번한 손해배상 청구로 인하여 생산업체에서 또 다른 해결과제로 대두되어 지고 있다. 따라서, 이를 조속히

+ 전주대학교 기계자동차공학과
* 교신저자, 전주대학교 기계자동차공학과 (hkim@jj.ac.kr)
주소: 506-759 전라북도 전주시 완산구 효자동 3가 1200
++ 송원대학 자동차과
+++ 조선대학교 메카트로닉스공학과

해결하기 위해서는 적재 및 운송 특성을 충분히 고려하여 새로운 철제 롤 코일 받침대(Dunnage)의 개발이 필요하리라 보여진다^(1,2). 현재 사용되어지고 있는 수입목재인 아비톤(Apitong) 침대 표면이 견고하여 롤코일 적재 및 운송 시 제품 표면의 손상이 빈번히 발생되어지며, 받침대 자체도 한번 손상이 되면 회복이 되지 않아 재사용이 불가 능한 문제가 있다. 이러한 문제점을 해소하고자 여기에서는 다음과 같은 신소재를 이용하여 새로운 철제 롤 코일 받침대를 개발하기 위해 안정성 해석을 하고자 한다.

- 1) 타이어의 코드지로 사용되어지고 있는 폴리에스테르(Polyester) 코드(Cord)와 고무를 혼합하여 고무 스스로의 강도를 향상시키면서 유연성을 갖추어 적재 및 운송 시 롤 코일의 표면을 훼손 및 손상으로부터 보호하게 된다.
- 2) 롤 코일 적재 및 운송 시 과도한 받침대의 변형 및 선체 바닥의 손상을 방지하고자 어느 정도의 견고한 특성을 부여하여야 하며, 이를 위하여 스틸코드(Steel Cord) 또는 유리섬유(Fiber Glass)를 코어(Core) 형태로 사용하도록 한다.
- 3) 외관의 형상을 부드럽게 유지하기 위하여 NR(천연고무) 또는 SBR(합성고무)을 혼합시켜서 외피고무로 사용하도록 한다. 따라서, 이러한 신소재를 이용하여 아비톤 목재에서 발생하는 롤 코일 손상 및 받침대의 회복성저하 등의 문제점을 해결하며, 이의 효과를 극대화하고자 받침대의 형상, 보강재(Core)의 배열 및 종류 등의 특성을 충분히 고려하여 결정하도록 한다.

2. 유한요소해석

본 논문과 같은 연구를 수행하기 위해서는 철제 롤코일의 적재 및 운송 시 사용되어지고 있는 받침대의 특성을 정확히 파악하여 용도에 적합하면서 현행 보다 더 개선된 제품의 개발이 필수적이다. 따라서, 현재까지 철제 롤 코일의 적재 및 운송 시 받침대로 사용되었던 아비톤 수입목재의 경우 견고성(Rigidity) 성능은 매우 우수하나 롤 코일 제품 표면을 훼손하거나 손상시키는 문제와 받침대의 눌림 변형 시 회복이 불가능하여 재사용이 곤란하다는 문제점을 지니고 있다. 따라서, 이러한 특성을 고려하여 본 논문에서는 철제 롤 코일의 적재 및 운송 시 롤 코일 제품에 손상을 주지 않는 유연성과 재사용이 가능한 회복성(Recovery)이 우수하고, 적합한 소재와 구조를 지니는 받침대 개발위해 해석을 수행하였다. 이러한 제품을 개발하기 위해서는 설계 단계에서부터 제품에 대한 성능평가의 예측은 필수적이라 할 수 있으

며, 이러한 예측기법으로는 수학적 접근방법과 수치해석적인 기법을 사용할 수 있다. 그러나 실제 사용하고 있는 여러 가지 조건들을 고려하고 보다 더 현실에 근접하도록 하기 위해서는 수식화가 곤란하다는 이론적 한계성으로 말미암아 수학적 접근방법은 결과에 대한 신뢰성이 저하되어 사용이 곤란하다. 따라서, 본 논문에서는 실제 사용조건들을 최대한 반영하여 적용이 가능한 유한요소해석기법(Finite Element Method)을 적용하였다⁽³⁻⁵⁾.

본 논문에서 검토되어질 받침대의 단면형상은 롤 코일의 적재 및 운송 시 보다 더 안정성(Stability)을 향상시키고자 사각형상과 사다리꼴 형상의 두 가지를 고려하도록 한다. 또한 선박용 받침대에 사용되는 재료로는 폴리에스테르 코드를 합성고무와 혼합한 고무층(Fabric Cord Mixing Rubber), 스틸 꼬임코드(Steel Twisted Cord)에 고무 토폭(Topping)이 되어 있는 스틸코드층, 직조되어 있는 유리섬유(Woven Fiber Glass)에 고무 토폭이 되어있는 유리섬유층 및 Dunnage 표면의 외관 보호용 외피고무층으로 크게 네 가지 재료로 구성되어 있다. 여기에서 받침대의 견고한 성능을 결정 짓는 스틸코드층과 유리섬유층을 코어(Core)라 칭하며, 이러한 코어부는 받침대의 굽힘강성(Bending Stiffness) 및 뒤틀림강성(Twisting Stiffness)을 좌우하게 되며, 이의 설치위치 또한 매우 중요하여 받침대 전체의 눌림과 들림현상에 영향을 미치게 된다. 또한, 단면형상측면에서 사각형상과 사다리꼴 형상에 대해 검토하였으며, 두 형상의 단면적(Section Area)은 거의 동일하게 설계되었다. 이의 형태별 받침대의 구조는 Fig. 1과 같다.

본 논문에서 사용되는 유한요소해석 모델은 철제 롤 코일을 받침대에 적재 및 운송시의 조건을 부여할 수 있도록 롤 코일, 받침대 및 지면으로 구분하여 모델링하였으며, 전체적인 유한요소해석 모델은 다음 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있다. 또한 신뢰성이 높은 결과를 얻기 위하여 3차원 8절점 솔리드 요소를 사용하여 3차원 해석을 실시하였다. 유한요소해석의 신뢰성을 확보하기 위해서는 롤 코일과 받침대 각 부품

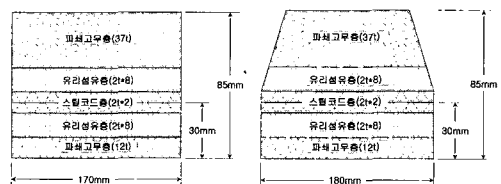


Fig. 1 Dunnage section area structure (a) Rectangle formation (b) Trapezoid formation

별 물성 실제적인 거동에 근접하도록 부여하여야 한다. 롤 코일의 경우 얇은 판재를 시계태엽처럼 운반하기 적합하도록 원통으로 감아서 있는 철제품이므로 일반 강철의 물성값을 적용하는 것이 보통이나 여기에서는 받힘대의 물성에 비해 상대적으로 롤 코일이 커다란 물성치를 지니고 있어 매우 단단한 강체(Rigid Body)로 고려하였다. 승용차용 타이어에 사용되는 폴리에스테르 코드를 분쇄하여 합성고무와 혼합하여 사용함으로써 일반 합성고무보다는 높은 물성을 지니고 있으며, 이러한 혼합고무는 등방성 물질로 고려하여 적용한다. 일반적인 고무의 거동을 살펴보기 위하여 Fig. 3과 같이 시편을 만들어 만능시험기(Universal Test Machine)를 이용한 응력과 변형곡선에 의해 파악할 수 있으며, 현실에 근접한 거동을 묘사하고자 여기에서는 Mooney-Rivlin Method를 적용하였다. Table 1은 고무의 물성치를 나타내고 있다.

스틸코드 및 유리섬유는 여러 개의 필라멘트(Filament)들이 Fig. 4처럼 꼬여있는 상태에서 고무를 이용하여 토폵(Topping)한 상태이므로 이를 가류(Vulcanization) 할 경우

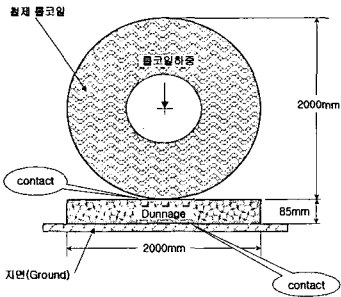


Fig. 2 Dunnage and roll coil of FEM model

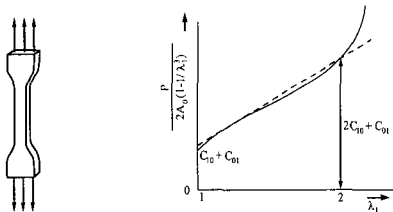


Fig. 3 The rubber tension test

Table 1 The properties of rubber (단위 : kg/mm²)

부 품	E	C ₁₀	C ₀₁	비고
혼합고무	7.0	1.17	0.29	-
외피고무	3.6	0.6	0.15	-

코드의 방향과 코드 직각방향 물성 차이가 크게 나타나게 된다. 이러한 특성을 정확히 묘사하여 적용하지 않을 경우 현실과 거리가 먼 결과를 가져다주기 때문에 특히 주의해야 할 사항이다. 따라서, 이러한 복합체 모델링에서 정확한 해석을 하기 위해서는 코드와 고무를 각각 요소 분할하여 물성을 별도로 적용하여야 하나 이렇게 할 경우 해석모델의 요소(Element)수가 많아져서 컴퓨팅 리소스가 많이 필요하게 되며 수십시간에서 수일간의 해석시간이 소요되어 여러 가지 경우에 대한 검토가 불가능하다는 단점을 지니게 된다. 따라서, 이러한 복합체의 모델을 현실에 근접하도록 묘사한 Halpin-Tsai Equation은 코드와 고무가 복합되어 있을 경우 각 방향에서의 물성값을 얻어내어 적용 가능하므로 현재 널리 이용되어지고 있으며, 이는 해석시간의 단축 및 사용자로부터 좋은 결과를 얻게 한다. 본 논문에서 적용한 복합체의 물성값은 실험치와 근사적인 결과를 가져다 줄 수 있는 Halpin-Tsai Equation은 Fig. 5와 식 (1)과 같이 표현된다. Table 2는 코드와 고무의 제조사양이고, Table 3은 코드와

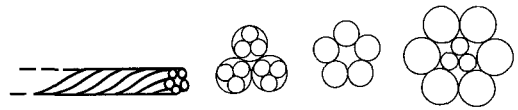


Fig. 4 The twisted cord formation

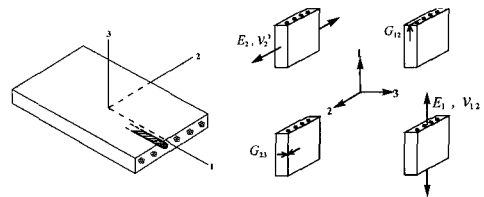


Fig. 5 The tension and shearing of young's modulus of the cord and the rubber composites

Table 2 The manufacturing specifications of the cord and the rubber

부 품	φ _c (mm)	EPI	G/A(mm)	A _c (mm ²)	v _c	v _r
스틸코드	1.2	13	2.0	1.508	0.29	0.71
유리섬유	0.7	15.24	1.4	0.385	0.16	0.84

※ 여기에서, φ_c: 꼬임코드직경, EPI: 인치당 코드갯수, G/A: 고무토폵두께, A_c: 꼬임코드의 단면적, v_c: 복합체의 총 체적에 대한 꼬임코드가 차지 하는 체적, v_r: 복합체의 총 체적에 대한 순수 고무만의 체적

고무복합체의 물성을 나타내고 있다.

본 유한요소해석모델의 경우 적용되는 경계조건으로는 Fig. 6과 같이 롤 코일의 자중을 적용하기 위해서 강제 중심에 집중하중이 작용하도록 하였으며, 이러한 집중하중은 롤 코일 2단 적재 및 운송시를 고려하여 최대 작용하중을 계산하였다. 또한, 받침대와 지면과의 접촉부위는 접촉문제 처리하였다. Table 4는 롤 코일의 자중 및 적용하중을 나타내었다. 실제적인 거동에 근접하도록 최대한의 접촉문제(Contact Problem)로 처리를 하였으며, 구체적인 사항으로는 롤 코일과 받침대의 접촉부위, 받침대와 지면과의 접촉부위를 각각 접촉문제로 지정하여 처리함으로써 보다더 현실에 근사한 결과를 얻도록 수행하였다. 또한, 각각의 접촉부위에서의 마찰계수는 고무와 스틸의 미끄럼성을 고려하여 "0"을 적용하였다.

현용 롤 코일 적재용 받침대인 아비톤의 견고성으로 인한 제품 손상 및 내구성저하의 문제점을 해소하고자 신소재의 받침대를 개발함에 있어서 유한요소해석기법을 적용하여 효과적인 설계 및 개발방안을 결정하고자 한다. 유한요소해석기법을 이용하여 해석결과를 통한 집중적인 검토사항으로는 롤 코일 적재부위의 받침대 눌림량(수직방향) 및 퍼짐량(폭

방향), 롤코일의 가장자리에서의 들림량(받침대 가장자리), 받침대의 파손여부 등이다. 우선 받침대의 눌림량과 퍼짐량은 받침대 자체의 강성저하로 인하여 선박 바닥면의 손상여부를 파악하는 것이며, 롤 코일의 가장자리 들림은 받침대 가장자리의 요철에 의한 연속 연결시 들림량이 많은 경우 요철 연결부 훼손 문제점이 발생함으로 이를 파악하는데 있다. 또한, 운송 시는 단순 적재시의 200% 정도 하중이 증가됨으로 이에 견딜 수 있는지의 여부를 검토하고자 한다. 구조물의 파괴에 관한 이론으로 널리 사용되어지고 있는 것은 「Von-Mises Criterion Theory」과 「Maximum Shear Stress Criterion Theory」이며, 여기에서는 고무구조물에 적합한 후자의 이론을 적용하여 다음과 같은 식에 의해 파손여부를 평가하고자한다.

$$i) \text{ 안전} : \tau_{\max} < \frac{Y}{2} \quad ii) \text{ 파괴} : \tau_{\max} > \frac{Y}{2}$$

여기에서, τ_{\max} 는 최대 전단응력, Y 는 재료의 항복(파괴)강도를 나타낸다. 이러한 중점 검토사항을 주안점으로 두고서 다음과 같은 설계 검토사항들에 대해 각각 유한요소해석을 통하여 분석하고자 한다. ① 보강재 적층위치에 따른 들림현상 파악, ② 보강재 배열에 따른 특성파악, ③ 보강재종류에 따른 특성파악, ④ 받침대의 형상변화에 따른 특성파악, ⑤ 선박롤링(요동)을 고려한 받침대의 특성파악, ⑥ 선박출발 및 정지시의 받침대의 특성파악, ⑦ 받침대 가장자리의 롤 코일 적재시의 영향파악, ⑧ 롤 코일 적재시 선체 바닥면에 작용하는 하중 분포파악

Table 3 The properties of cords and rubber composites (unit : kg/mm²)

부 품	E_1	$E_2 = E_3$	$\nu_{12} = \nu_{13}$	ν_{23}	$G_{12} = G_{13}$	G_{23}
스틸코드	3,173	7.9	0.44	0.49	2.17	2
유리섬유	528	5.6	0.468	0.49	1.6	1.4

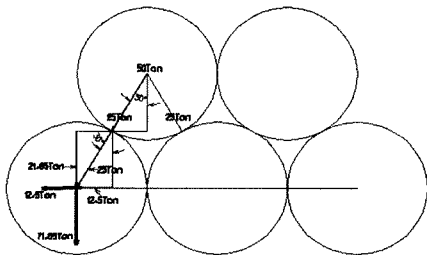


Fig. 6 Applied load distribution per layer for two-layer roll coils loading

Table 4 The circumspection of the roll coil and the applied load (unit : ton)

구 분	물코일 자중	자중	적용하중
2단 적재	25	35.825	50.0(140%)
2단 적재 및 운송	25	71.65(※)	90.0(125%)

$$\begin{aligned}
 E_1 &= E_c v_c + E_r (1 - v_c) \\
 E_2 &= E_r (1 + 2v_c) / (1 - v_c) \\
 E_3 &= E_2 \\
 G_{12} &= \frac{\{G_r [G_c + G_r + (G_c - G_r)v_c]\}}{\{G_c + G_r - (G_c - G_r)v_c\}} \\
 G_{13} &= G_{12} \\
 G_{23} &= \frac{E_2}{\{2(1 + 2\nu_{23})\}}
 \end{aligned} \tag{1}$$

2.1 받침대(Dunnage)의 보강재 적층위치 평가

Fig. 7과 같이 받침대의 스틸코드층과 유리섬유층으로 구성된 보강재의 적층위치를 받침대의 최상부 또는 최하부에 위치하도록 하여 롤 코일을 받침대 중앙에 적재할 경우 받침대에 나타나는 특성을 평가한 결과 Fig. 18, 19에서 확인할 수 있듯이 보강재를 최상부에 위치시킨 받침대의 경우 가장자리(Edge)에서 들림현상이 발생한 반면에 보강재를 받침대의 최하부에 위치시킨 경우에는 받침대 가장자리에서의 들림현상이 나타나지 않음을 알 수 있었다. Table 5는 해석

결과 값을 나타낸 것이다.

2.2 받힘대(Dunnage)의 보강재 적층배열 평가

받힘대에 사용된 보강재의 꼬임코드 배열방향에 따른 평

Table 5 Characteristic Analysis of Dunnage respect to the laminate position of reinforcement (unit:kg,mm)

적층위치	눌림량	퍼짐량	들림량	τ_{max}	안전율
최상부	8.176	6.583	52.6	0.485	1.56
최하부	8.188	7.04	0.665	0.4755	1.57

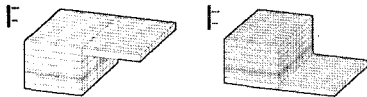


Fig. 7 (a) The highest reinforcement laminate position (b) The lowest reinforcement laminate position

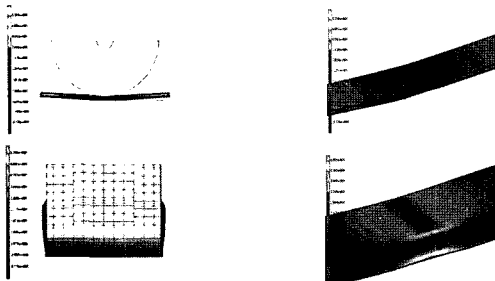


Fig. 8 The deviation and the stress distribution when the highest reinforcement laminated (a) Deviation (b) Pressure part (c) Spread part (d) Maximum shear stress

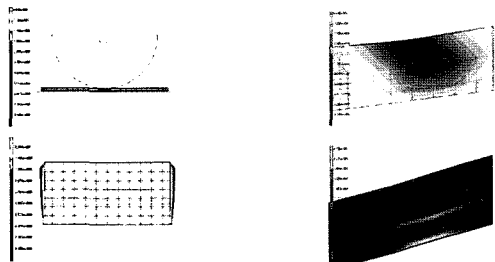


Fig. 9 The deviation and the stress distribution when the lowest reinforcement laminated (a) Deviation (b) Pressure part (c) Spread part (d) Maximum shear stress

가를 수행하기 위하여 스틸코드 6층을 이용하여 살펴보았다. 이때 보강재의 적층위치는 받힘대의 가장자리 들림현상을 제거하고자 사물의 가장 안정된 위치인 바닥면으로부터 높이의 1/3 지점에 보강재 적층 중심을 두었다. Fig. 10과 같이 받힘대 보강재인 스틸코드 만을 이용하여 적층배열을 단일방향(받힘대 길이방향인 0° 또는 폭 방향인 90°) 배열과 양방향 배열을 시킬 경우 해석 결과는 Fig. 11, 12, 13에서 확인할 수 있듯이, 양방향 배열에 비해 단일방향의 받힘대 변형이

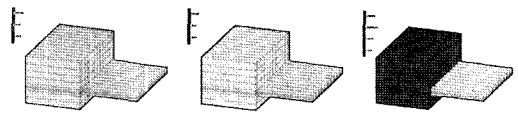


Fig. 10 (a) The 6 layered steel cord arrangement following the dunnage length direction (b) The 6 layered steel cord arrangement following the dunnage width direction (c) The 3 equal layered steel cord arrangement following the dunnage length and width direction separately

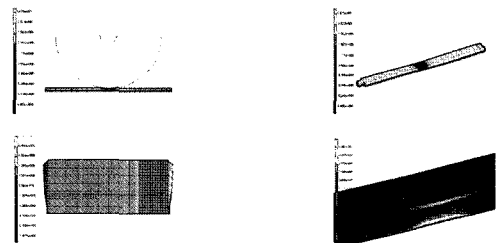


Fig. 11 The 6 layered steel cord arrangement following the dunnage length direction (a) Deviation (b) Pressure part (c) Spread part (d) Maximum shear stress

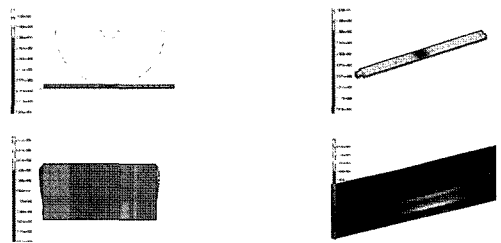


Fig. 12 The 6 layered steel cord arrangement following the dunnage width direction (a) Deviation (b) Pressure part (c) Spread part (d) Maximum shear stress

더 미소하였다. Table 6은 해석결과 값을 나타낸 것이다.

2.3 받힘대(Dunnage)의 보강재 종류 평가

본 연구에서 소개된 받힘대의 보강재로는 스틸코드층과

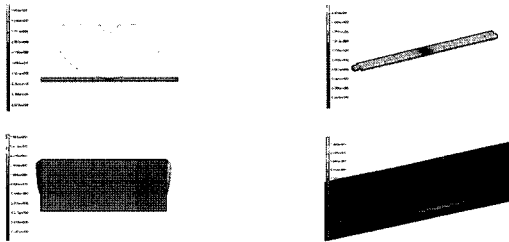


Fig. 13 The 3 equal layered steel cord arrangement following the dunnage length and width direction separately (a) Deviation (b) Pressure part (c) Spread part (d) Maximum shear stress

Table 6 The Characteristic analysis of the dunnage in terms of the reinforcement laminate arrangements (unit:kg,mm)

보강재배열	눌림량	퍼짐량	들림량	τ_{max}	안전율
길이방향 6층	7.679	7.507	0.568	0.4441	1.69
폭방향 6층	7.974	6.023	0.037	0.414	1.81
길이 3층 & 폭 3층	6.669	7.041	0.357	0.73	1.02

Table 7 Reinforcement type

보강재	적층순서 및 배열	코드배열
스틸코드	스틸코드 3층 : 0°(길이)	적층은 상측에서부터 유리섬유8층→스틸코드1층(0°)→스틸코드1층(90°)→유리섬유8층 순서로 함.
	스틸코드 3층 : 90°(폭)	
스틸코드 및 유리섬유	유리섬유 8층 : -	
	스틸코드 1층 : 0°(길이)	
	스틸코드 1층 : 90°(폭)	
	유리섬유 8층 : -	

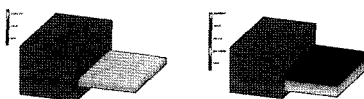


Fig. 14 (a) The steel cord reinforcement (b) The Reinforcements of the steel cord and the woven fiber glass

유리섬유층이 있으며, Table 7의 보강재 종류에 따라 제조된 받힘대에 롤 코일 적재 시 나타나는 받힘대의 특성을 살펴해보았다. 보강재 배열은 Fig. 14와 같으며, 그 결과 Fig. 15, 16에 나타난 것처럼 받힘대의 보강재로 스틸코드와 유리섬유를 이용함에 있어서 한가지만을 이용하는 것 보다는 동시에 스틸코드와 유리섬유를 적층 및 혼합배열 시키는 것이 받힘대의 눌림량이 커진 반면 퍼짐량은 줄어들고 안전율이 증가되었다. 해석결과 값은 Table 8에 나타내었다.

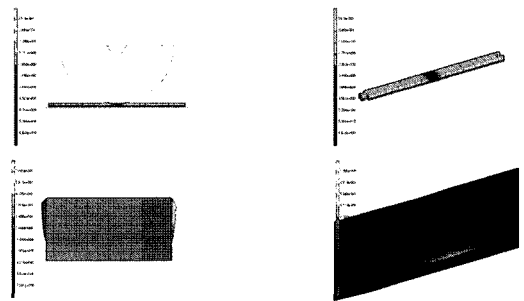


Fig. 15 The steel cord reinforcement (a) Deviation (b) Pressure part (c) Spread part (d) Maximum shear stress

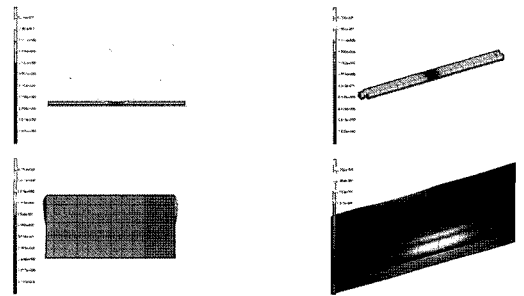


Fig. 16 The reinforcements of the steel cord and the woven fiber glass (a) Deviation (b) Pressure part (c) Spread part (d) Maximum shear stress

Table 8 The characteristic analysis of the dunnage redefined by the reinforcement material (unit:kg,mm)

보강재종류	눌림량	퍼짐량	들림량	τ_{max}	안전율
스틸코드	6.669	7.041	0.357	0.73	1.02
스틸코드/유리섬유	7.365	4.797	0.524	0.274	2.74

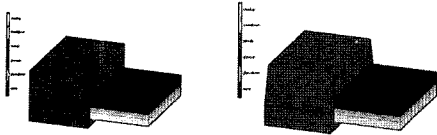


Fig. 17 The model formation of the dunnage (a) Rectangle formation (b) Trapezoid formation

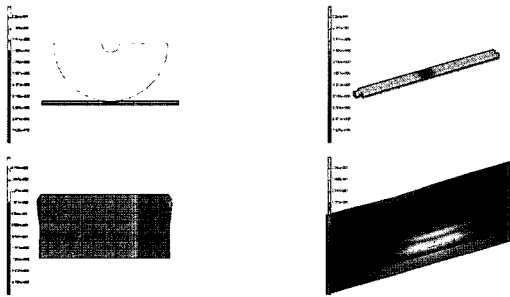


Fig. 18 Rectangle formation (a) Deviation (b) Pressure part (c) Spread part (d) Maximum shear stress

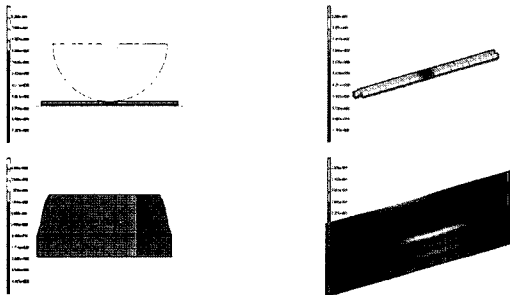


Fig. 19 Trapezoid formation (a) Deviation (b) Pressure part (c) Spread part (d) Maximum shear stress

Table 9 The formation and the reinforcement structure

형상	보강재구조	보강재 적층위치
사각	유리섬유 8층 : -	바닥면으로부터 높이의 1/3 지점
	스틸코드 1층 : 0°(길이)	
사다리꼴	스틸코드 1층 : 90°(폭)	
	유리섬유 8층 : -	

Table 10 The characteristic analysis depending on the dunnage formation (unit:kg,mm)

형상	눌림량	퍼짐량	들림량	τ_{max}	안전율
사각	7.365	4.797	0.524	0.274	2.74
사다리꼴	7.369	4.425	0.5208	0.3836	1.96

2.4 반힘대(Dunnage)의 형상변화 평가

반힘대의 형상은 롤 코일 적재시 변형량이 적고 안전율이 높은 형상을 선정하기위해 Fig. 17과 같은 사각형상과 사다리꼴형상에 대해 살펴보았다. 반힘대의 보강재로는 스틸코드와 유리섬유를 이용하고 적층배열 및 적층위치는 동일하게 하였다.

그 결과 Fig. 18, 19에서 확인할 수 있듯이 사각형상 보다 사다리꼴 형상이 눌림량은 많으나 퍼짐량이 적게 나타나서 변형측면에서 유리하였다. Table 10에 해석결과 값을 정리 하였다.

2.5 선박롤링(요동) 평가

철재 롤 코일 제품을 사다리꼴 형상의 반힘대에 적재하여 선박운송 시 선박 롤링(요동)에 의해 반힘대에 미치는 영향을 단순적재의 경우와 비교 평가하였다. 여기에서 선박롤링

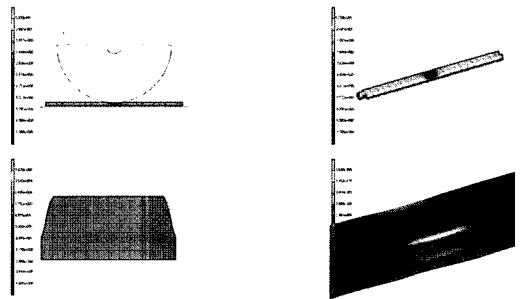


Fig. 20 The Typical Loading (a) Deviation (b) Pressure part (c) Spread part (d) Maximum shear stress

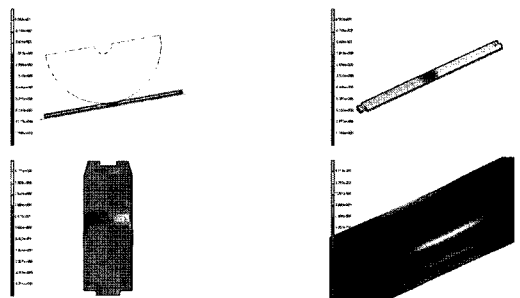


Fig. 21 The Carrier Rolling (a) Deviation (b) Pressure part (c) Spread part (d) Maximum shear stress

Table 11 The characteristic analysis depending on the carrier rolling (Vibration) (unit:kg,mm)

롤링여부	눌림량	퍼짐량	들림량	τ_{max}	안전율
No Roll	7.369	4.425	0.5208	0.3836	1.96
Rolling	7.948	4.211	0.8082	0.4114	1.82

현상을 묘사하기 위하여 선박이 수평면상으로부터 10°정도 기울어진 상태에서 철제 롤코일의 자중을 수직으로 작용시켰다. Fig. 20, 21에서 확인할 수 있듯이 선박롤링(요동)시 롤링이 없는 경우에 비해 받힘대의 눌림량은 108% 증가하고 퍼짐량이 95% 감소하게 되며, 안전을 측면에서도 대등성이 하였으며, 해석결과 값을 Table 11에 정리하였다.

2.6 선박출발 및 정지영향 평가

철제 롤코일을 선박에 적재하여 출발하거나 정지할 순간에 일반적인 단순적재인 경우에 비해 받힘대에 작용하는 하중에 2배 정도 커지게 된다. 이러한 경우 받힘대의 변형 및 안전상태를 파악하고자 사다리꼴 형상에 스틸코드 및 유리

섬유를 상호 혼합하여 배열시킨 받힘대에 철제 롤 코일 자중의 2배(200%)를 작용시켰다. Fig. 22, 23에서 확인할 수 있듯이 선박의 출발 및 정지 시에 받힘대에 작용되는 하중은 일반 적재의 경우에 비해 약 2배 정도 증가함에 따라 받힘대의 눌림량은 168%, 퍼짐량 156%로 증가함과 동시에 운송중에 비하여 안전을 저하를 초래하고 있으나 받힘대의 손상에 영향을 미치지 않는 범위의 적은 값으로 나타났다. 해석결과 값을 Table 12에 정리 하였다.

2.7 받힘대(Dunnage) Edge 적재영향 평가

철제 롤 코일 운송용 선박의 Chamber 폭이 9.5m 정도이며, 받힘대 설치폭은 9.0m 정도이다. 받힘대 당 길이는 2m 정도임으로 4개 정도를 길이방향으로 연결시켜서 철제 롤코일을 적재하게 된다. 이때, 롤 코일의 적재는 받힘대의 어느 부위에 놓이게 될지 예상할 수 없다. 가장 안정된 적재 위치는 받힘대의 중앙부위이며, 가장 받힘대에 무리를 주는 적

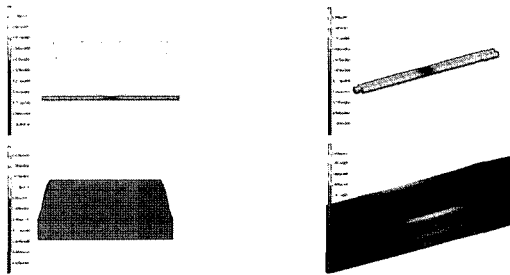


Fig. 22 The Typical Loading (a) Deviation (b) Pressure part (c) Spread part (d) Maximum shear stress

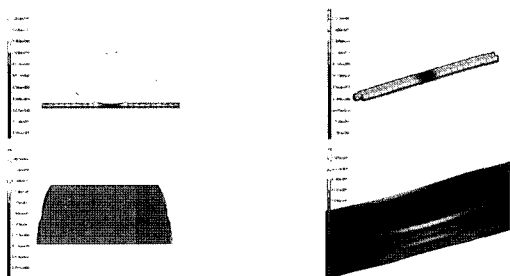


Fig. 23 Start/Stop (a) Deviation (b) Pressure part (c) Spread part (d) Maximum shear stress

Table 12 the carrier at start and stop of the motionThe characteristic analysis of the dunnage during (unit:kg,mm)

구 분	눌림량	퍼짐량	들림량	τ_{max}	안전율
단순적재	7.369	4.425	0.5208	0.3836	1.96
출발/정지	12.41	6.897	1.267	0.5925	1.27

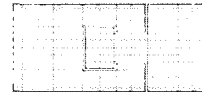


Fig. 24 The Dunnage Connecting Model

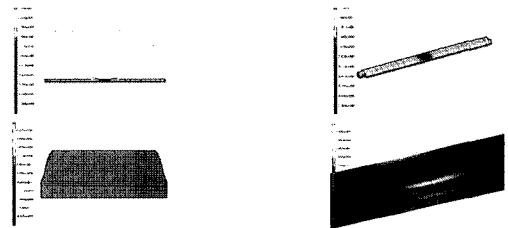


Fig. 25 The dunnage center load of the roll coils (a) Deviation (b) Pressure part (c) Spread part (d) Maximum shear stress

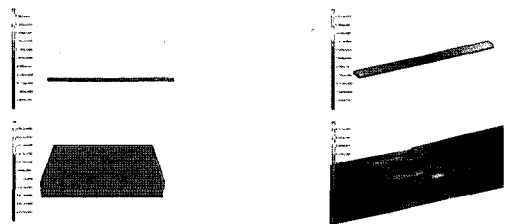


Fig. 26 The dunnage edge load of the roll coils (a) Deviation (b) Pressure part (c) Spread part (d) Maximum shear stress

Table 13 The Effects on dunnage due to the load position of the roll coils (unit:kg,mm)

적재위치	눌림량	펴짐량	들림량	τ_{max}	안전율
중앙적재	7.369	4.425	0.5208	0.3836	1.96
Edge적재	10.56	6.053/6.047	15.61	0.6825	1.09

재워치는 가장자리 부위이다. 따라서, 받힘대의 가장자리에 롤 코일을 적재할 경우와 중앙에 위치할 경우를 상호 비교하였다. Fig. 24는 받힘대의 연결부 모델이다. Fig. 25, 26에서 확인할 수 있듯이 받힘대의 길이방향으로 연속 연결 사용 시 롤 코일의 적재가 받힘대 연결부인 가장자리(Edge)에 위치할 경우 받힘대중앙부에 롤 코일 적재위치가 놓이는 경우와 비교하여 살펴보면, 눌림량 143%, 퍼짐량 137%가 증가하여 받힘대 가장자리(Edge)에서의 들림현상(15.61mm)이 발생하게 되나 손상은 없는 것으로 보인다. 해석결과 값을 Table 13에 정리하였다.

2.8 롤 코일 적재시 선박 바닥면에 작용하는 하중분포 평가

철제 롤 코일을 선박에 적재할 경우 롤코일의 자중(自重)이 선박(선체:船體) 바닥면에 작용하게 되는데 이때 사각받침대의 재질(材質)에 따라 선박 바닥면에 작용하는 하중분포가 다르게 된다. 따라서, 여기에서는 현행 사용되어지고 있는 사각받침대인 아비톤목재의 경우와 사다꼴 형상의 신소재인 고무복합체 개발제품과의 경우에 대해 롤 코일 2단 적재시의 선박 바닥면에 작용되어지는 하중에 대한 분포를 살펴보았다. Fig. 27, 28, 29에서 확인할 수 있듯이 롤 코일의 자중이 받힘대를 통하여 선박 바닥면에 작용하게 되며, 받힘대의 소재에 따른 선박 바닥면 작용하중의 분포가 차이를 파악한 결과 현행 사용되고 있는 아비톤의 경우가 고무복합체 보다 집중하중이 1.98배(198%)정도 더 크게 작용함에 따라 선박의 바닥면 손상 및 훼손우려가 더 심할 것으로 사료된다. 해석결과 값을 Table14에 정리 하였다.

3. 결론

본 논문에서는 유한요소해석 기법을 이용하여 철제 롤 코일 적재 및 운송을 위한 산박용 받힘대 개발을 수행하였다. 여기에서 검토되어진 주요 내용으로는 받힘대의 보강재 적층위치, 보강재 적층배열, 보강재 종류, 받힘대 형상변화, 선

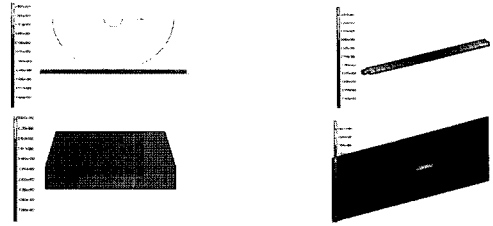


Fig. 27 The apitong dunnage (a) Deviation (b) Pressure part (c) Spread part (d) Maximum shear stress

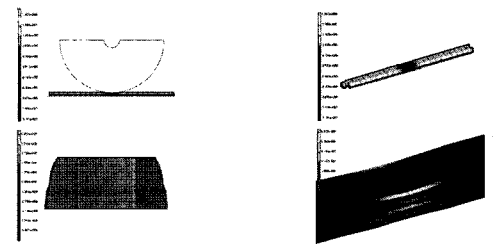


Fig. 28 The rubber mixed dunnage (a) Deviation (b) Pressure part (c) Spread part (d) Maximum shear stress



Fig. 29 The load distribution of the bottom surface categorized by the dunnage types (a) The load distribution of apitong dunnage (b) The load distribution of rubber mixed dunnage

Table 14 The characteristic analyses in load distributions of the bottom surface for the apitong dunnage and the rubber mixed dunnage (unit:kg,mm)

재질	눌림량	펴짐량	들림량	τ_{max}	안전율	최대 집중하중
아비톤 목재	0.1464	0.0708	0.2007	2.267	3.68	1,091 (100%)
고무 복합체	12.41	6.897	1.267	0.5925	1.27	551 (50.5%)

※ 아비톤 목재의 파괴계수(Yield Strength) : $8.34kg_f/mm^2$ (철도청자료)

박롤링(요동), 선박 출발 및 정지시 영향, 받힘대 가장자리의 롤 코일 적재영향 등을 평가하였으며, 그 결과는 다음과 최종 결론을 얻어냈다.

사다리꼴 형상을 지닌 받힘대의 보강재로는 스틸코드와 유리섬유를 동시에 혼합배열하면서 바닥면 으로부터 높이의 1/3 지점에 보강재 중심을 위치하도록 제조하는 것이 이상적이며, 선박의 롤링(요동), 출발 및 정지시, 받힘대의 Edge에 롤 코일 적재시에도 안전하며 아비톤 목재를 사용할 때 보다 바닥면의 집중하중이 약 50%정도 감소됨을 확인하였다.

참 고 문 헌

- (1) Kwac, L. K., Kim, H. W. and Han, J. H., 2005, "The Development of Dunnage for Transportation of a Steel Roll Coil," *Key Engineering Materials*, Vols. 297-300, pp. 339~344.
- (2) Halpin, J. C. and Kardos, J. L., 1976, "The Halpin-Tsai Equations : A Review," *Polymer Engineering and Science*, Vol. 16, No. 5, pp. 344~352.
- (3) Gison, R. F., 1994, *Principles of Composite Material Mechanics*, McGraw-Hill, Inc., New York.
- (4) Cembrola, R. J. and Dudek, T. T., 1985, *Rubber Chemical and Technology*, 58(4), pp. 830~856.
- (5) MSC, 1994, *MARC Analysis Research Corporation manual*, Vol. A, Vol. B, Vol. C, Vol. D.
- (6) Kim, J. Y., Kwac, L. K. and Kim, H. W., 2003, "Stability Analysis According to Material Alteration on Micro Stage for Micro Cutting Machine," *KSMTE*, Vol. 12, No. 3, pp. 52~57.