

<연구논문(기술)>

고강력 PET Interlace Yarn 밀도변화가 Pack Style Shock Energy Absorber의 물성에 미치는 영향

조진원 · 권상준 · 최종덕 · 김상태¹ · 지병철² · 양성백² · 염정현^{2,†}

(주)신흥, ¹스왈록아시아(주), ²경북대학교 기능물질공학과

Effect of Density Variation of High Tenacity PET Interlace Yarn on the Physical Properties of Pack Style Shock Energy Absorber

Jin Won Cho, Sang Jun Kwon, Jong Deok Choe, Sang Tae Kim¹, Byung Chul Ji²,
Seong Baek Yang² and Jeong Hyun Yeum^{2,†}

Shin Heung Co. Ltd., Gumi, Korea, ¹Swelock Asia Co. Ltd., Busan, Korea,

²Department of Advanced Organic Materials Science and Engineering, Kyungpook National University, Daegu, Korea

(Received: April 14, 2015 / Revised: June 10, 2015 / Accepted: June 22, 2015)

Abstract: Fall-arrest systems(maximum arrest force and allowable free-fall) have been widely applied to provide a safe stop during fall incidents for various industrial activities. Fabric structure affects on the mechanical properties of shock energy absorber. The object of this study is to perform the basic research for the evaluation of the capacity of fall arrest energy absorber in relation to the different interlace yarn density. In this work, pack style energy absorber was prepared by weaving 10 types(Interlace yarn density used high tenacity PET 1000D : 60, 59, 58, 57, 56, 55, 54, 53, 52, 51). The paper presents the results of theoretical investigations of the performance of adjustable absorber during fall arrest. Dynamic load tests based on the EU fall protection equipment standard(CE : EN355:2002) were conducted. Results showed that the maximum arrest force by dynamic load test of energy absorber was satisfied with global standard(below 6,000N). Also, Maximum allowable free-fall of energy absorber showed below 1.75m.

Keywords: absorber, lanyard, dynamic load, maximum arrest force, maximum allowable free-fall

1. 서 론

전 세계적으로 산업현장에서 발생하는 재해 중 추락 재해는 상위 3대 유형에 포함된다. 전체산업에서 발생하는 사고의 15% 정도를 차지하고 있으며 매년 10,000명 이상이 사망한다. 해외 추락재해 사례를 살펴 보면 지붕에서의 사고 건수가 37% 정도로 전체 추락 재해 건수 중 가장 높은 비율을 보이고 있다. 다음으로 공사현장, 사다리, 철골공사 등이다. 통상적으로 산업 현장에서 빈번하게 발생하는 추락재해를 보호하기 위하여 안전그네를 착용하고 이를 고정지지대에 고정된

안전로프를 연결한다. 이들 상간에는 shock energy absorber lanyard를 연결하여 추락 시 작업자에게 미치는 강한 충격을 완충할 수 있도록 하고 있다.

Shock energy absorber lanyard는 산업현장에서 작업자가 추락 시 가해지는 충격을 완충·흡수하면서 사람을 보호하는 안전장비이다. 구성은 카라비너, 밴드, absorber(충격흡수장치) 부분으로 되어 있다. 이 중 가장 중요한 부분은 충격을 흡수하는 absorber이다. 이는 화섬사인 고강력 PET를 세폭형태로 제직하여 형성시킴으로 별도의 추가 작업이나 완충장치를 구비하지 않아도 충격흡수 및 완화작용을 가능하도록 구성되어 있다¹⁻³⁾.

Shock energy absorber lanyard는 국가별로 정해진 규격이 있는데, 미국은 ANSI, 일본은 JIS, 유럽은 CE, 국내는 KCS가 있다. 각 나라별로 요구하는 기계적 물

[†]Corresponding author: Jeong Hyun Yeum (jhyeum@knu.ac.kr)
© 2015 The Korean Society of Dyers and Finishers.
All rights reserved. TCF 27-2/2015-6/132-141

Table 1. EU fall protection equipment standard(CE : EN355)

	Unit	Standard
Distance of falling	m	4
Maximum arresting force	N	6,000 Under
Maximum allowable free-fall	m	1.75 Under

성을 측정하여 이를 통과하여야 판매가 가능하다. 미국의 ANSI 규격에서 요구하는 동하중 측정 추의 무게는 140kg를 사용하며, 일본의 JIS 규격에서는 80kg 추를 사용한다. 하지만 유럽의 CE 규격, 국내 KCS 규격은 100kg의 추를 사용한다. 또한 유럽의 CE 규격은 유럽국가 뿐만 아니라 아시아 전역에서도 CE 규격의 기준을 따르고 있다. 따라서 CE 규격은 큰 시장성을 가진다. 특히 유럽에서 사용되어지는 shock energy absorber는 유럽연합 통합규격(EN355:2002)에서 요구하는 동하중 성능 기준을 통과하여야 한다(Table 1). 동하중 성능시험의 기준으로는 100kg 추를 4m 높이에서 하강시켜 최대전달 충격력이 6,000N 미만이어야 한다. 또한 제동거리도 1.75m 미만을 유지함으로써 사람이 추락되는 것을 방지할 수 있고, 2차 및 3차 사고를 예방할 수 있다^{4,5)}.

Pack style shock energy absorber는 narrow fabric 형태로 구성되어 있으며 일정하중의 힘이 가해지면 pack에서 지그재그로 적층된 충격흡수 장치가 퍼지면서 층간 분리되어 충격을 흡수하게 된다. 층간 분리되면서 상판과 하판을 연결하는 interlace yarn(엮임사)이 파열하면서 충격을 흡수시키게 된다. 이를 제조하기 위해서는 1m 길이의 narrow fabric 형태로 제작하게 된다. 이는 상판과 하판으로 구분되며 상판 2중직, 하판 2중직 총 4중 구조로 형성되며 interlace yarn이 상판과 하판을 연결하게 된다. 또한 interlace yarn의 밀도 조절이 가능하여 충격흡수의 최대전달 충격력에 영향을 주게 된다. CE 규격에서 요구되는 충격흡수를 확보하기 위해서는 interlace yarn의 밀도에 따른 연구가 절실히 요구되고 있다. 또한 일정구간까지의 제동거리도 유지하여야 하는 특징도 요구된다⁶⁻¹²⁾.

본 연구에서는 interlace yarn의 밀도 변화에 따른 충격흡수과장 및 최대전달 충격력을 분석하고 이에 따른 제동거리를 확보하여 CE 규격(EN355:2002)에서 요구하는 pack style shock energy absorber lanyard 충격흡수장치 성능을 확보하는데 목적이 있다.

2. 실험

2.1 실험재료

본 실험에서 사용된 고강력 PET 1,000D(KOLON, ASKIN, KOREA)는 인장강도가 87N인 것을 사용하였다. 또한 고강력 PET 3,000D(KOLON, ASKIN, KOREA)는 인장강도가 253N을 그대로 사용하였다.

2.2 제직

2.2.1 제직준비과정

별도의 제직준비 공정인 호부 및 연사 없이 KOLON ASKIN 원사 콘을 크릴에 걸어 바로 세폭직기로 이동시켜 정경공정없이 제직하였다.

2.2.2 제직설계 및 제직

Figure 1은 pack style shock energy absorber lanyard 제품의 모식도이다. Carabiner, absorber, rope로 구분되어 있으며 충격을 흡수시키는 곳은 absorber이다.

따라서 본 연구에서는 absorber 장치의 특성을 확인하기 위하여 interlace yarn 밀도에 따라 제직을 실시하였다.

Table 2는 absorber를 상판과 하판으로 층간 분리시키기 위한 설계 조건을 나타낸 것이다. 이는 4중직의

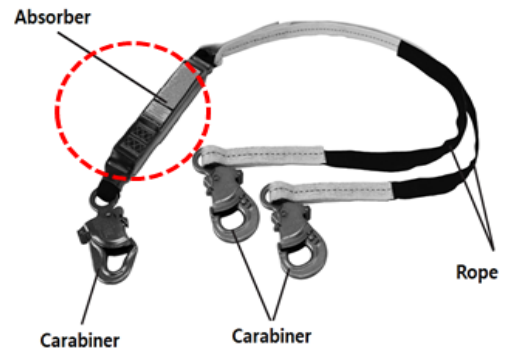


Figure 1. Form of energy absorbing lanyard.

Table 2. Textile weaving type of absorber

Number	Warp		Weft		Interlace yarn	
	Filament Type	Density(ends/in) Upper Lower	Filament Type	Density (picks/in)	Filament Type	Density (ends/in)
Sample 1		118 118		17		60
Sample 2		118 118		17		59
Sample 3		118 118		17		58
Sample 4		118 118		17		57
Sample 5	H.T PET	118 118	H.T PET	17	H.T PET	56
Sample 6	3,000D	118 118	1,000D	17	1,000D	55
Sample 7		118 118		17		54
Sample 8		118 118		17		53
Sample 9		118 118		17		52
Sample 10		118 118		17		51

* H.T PET : High Tenacity PET

형태로 설계 하였으며, 상판과 하판을 연결함과 동시에 추락 시 층간이 분리되면서 충격을 흡수시키기 위한 방법으로 interlace yarn을 사용하였다. 또한 interlace yarn 밀도의 범위는 고강력 PET 1000D의 인장강도 87N을 기준으로 밀도 개수를 합산하여 설정하였다.

밀도 60ends/inch(5,220N), 밀도 59ends/inch(5,133N), 밀도 58ends/inch(5,046N), 밀도 57ends/inch(4,959N), 밀도 56ends/inch(4,872N), 밀도 55ends/inch(4,785N), 밀도 54ends/inch(4,698N), 밀도 53ends/inch(4,611N), 밀도 52ends/inch(4,524N), 밀도 51ends/inch(4,437N) 로 최대전달 충격을 고려하여 설계하였다.

Figure 2는 본 연구에서 사용된 세폭직물의 조직도이다. 경사 3, 5, 4, 6은 제직되어 상판이 되고, 경사 3-1, 5-1, 4-1, 6-1은 하판이 된다. 이들은 상판 2중, 하판 2중 총 4중구조의 형태를 가지며, interlace yarn 1, 2번은 상판과 하판을 엮어 제직하였다. 또한 경사 밀도는 236ends/inch, 위사 밀도는 17picks/inch로 설계

하였다.

2.2.3 세폭직기

세폭직기는 캐리어 삽입 방식으로 주로 슬링벨트, 신발 끈, 가방 끈, 묶음 끈, 안전벨트 등과 같이 폭이 좁은 세폭직물을 제작하는 것을 말한다. 세폭직기는 종광, 캐리어, 니들, 바디 등으로 구성된다.

본 연구에서 세폭직물을 제작하기 위한 과정은 다음과 같다. 개구운동으로 경사를 직물의 조직에 따라 상하 구분하고 정지상태에서 연속적으로 개구되면 캠에 의해 형성된 개구 안으로 이중위사를 넣는 위입 운동과, 개구 안에 위입 운동의 결과로 유입된 씨실을 제직선까지 밀어 경사와 위사를 일정한 위치가 되도록 유지시켜 주는 동시에 위사의 일정한 장력을 가지도록 하고, 위사가 돌아가도록 이중 needle을 한쪽에 설치하여 위사를 걸어주고 다시 캐리어가 복귀하면서 위사를 가지고 돌아오는 것으로 변사부분에서 위사를 당겨 제직하는 형태이다. 이러한 운동을 연속적으로 반복하여 충격흡수장치를 제작하였다.

2.3 특성분석

제조된 absorber의 성능을 분석하기 위해서 유럽 연합에서 규정하고 있는 CE 규격(EN355) 평가 방법으로 동하중 성능시험을 실시하였다.

동하중 평가방법은 KOLAS에서 인증하고 있고, 스왈록아시아(주)에서 보유한 동하중 측정 장비를 사용하여 측정하였다. 사용되어진 동하중 측정 장치 구조는

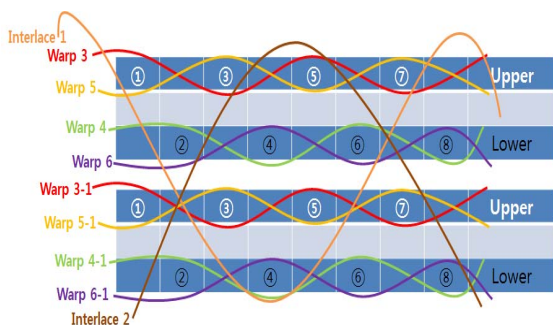


Figure 2. Structure of narrow width fabrics.

고정점에서 수직 축의 해당 고유 주파수가 100Hz 이상에서, 고정점에 20kN의 힘을 가했을 때 1.0mm 미만으로 휘어지는 가성의 고정구조로 이루어져 있으며 전달충격력 측정 장치는 1.2kN에서 20kN까지의 힘을 ±2% 정밀도로 측정가능하다. 사용되어진 시험 추는 (200±2)mm 직경과 (100±1)kg인 강성구조된 것을 사용하였다. 충격흡수 장치의 동하중 성능시험방법은 전달 충격력 측정에 충격흡수 장치의 카라비너를 걸고 무게 100kg의 시험 추를 다른 한쪽에 걸어 연결된 전체 길이가 4m 되도록 연결한 후 시험 추를 들어 올려 자유낙하 시킨 후 전달 충격력, 제동거리, 충격흡수 파장을 측정하였다. 이 경우 시험 추에 부착된 고리와 전달충격력은 측정 장치의 수직 중심선에 수평으로 300mm 이내로 둔다.

Figure 3은 동하중 측정 장비의 모식도이다. 100kg의 추를 4m 높이에서 하강시켜 충격흡수 및 최대전달 충격력을 data화 하는 장비이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 Interlace yarn 밀도 60, 59의 동하중 분석 및 충격흡수 변화

Figure 4는 interlace yarn sample 1(밀도 60ends/inch), sample 2(밀도 59ends/inch)의 동하중을 측정하여 충격흡수 파장 및 최대전달 충격력 분석 결과이다.

(a) sample 1의 interlace yarn 밀도는 60ends/inch이다. 0.4초 내에 충격흡수는 모두 이루어졌지만 0.1초까지

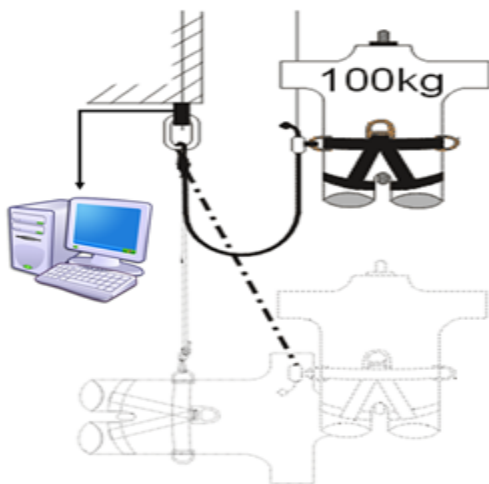


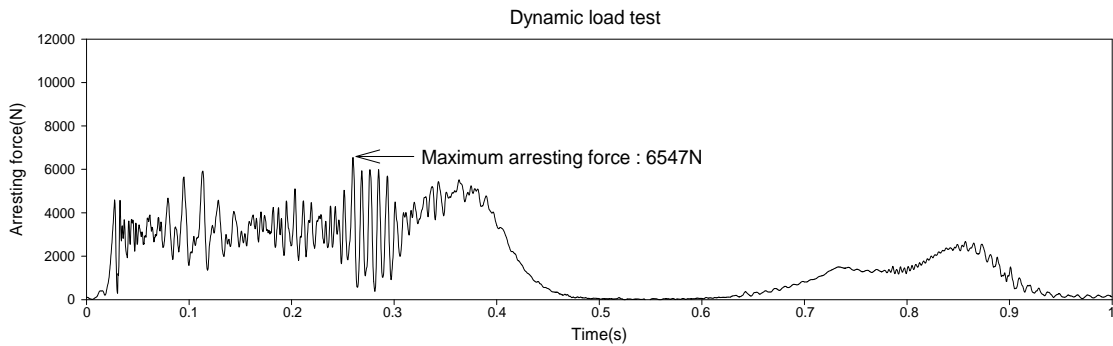
Figure 3. Test stand used for dynamic load test of the absorber.

충격흡수 파장이 일정하게 이루어지다가 높은 피크를 발생시킨다. 이후에도 일정하게 충격흡수가 이루어지다 0.3초 부근에서 높은 피크가 발생된다. 이는 빨리 충격을 흡수시켜 다시 일정하중이 가해지고 있음을 나타낸다. 최대전달 충격력은 6,547N을 나타내고 있다. 또한 1.673m로 빠른 제동거리를 확보하였다.

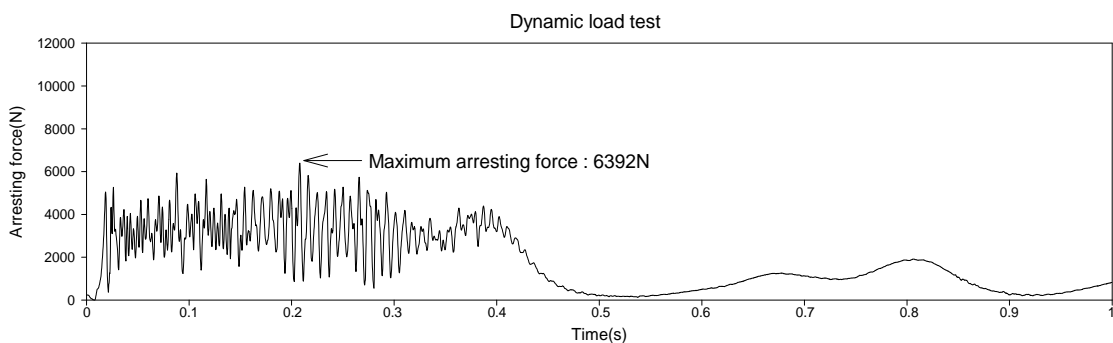
(b) sample 2의 interlace yarn 밀도는 59ends/inch이다. 0.4초 내에 충격흡수는 모두 이루어졌지만 충격전달 파장은 높은 형태를 지속적으로 유지하고 있다. 0.1-0.3초 부근에서 충격파장 피크가 다소 높게 나타나는데 충격흡수를 일정하게 유지하지 못하고 충격흡수가 일정수준으로 진행되다가 다시 일정하중이 가해지고 있다. 최대전달 충격력도 6,392N을 나타내고 있다. 제동거리 또한 1.629m로 빠르게 제동거리를 확보하였다. (a), (b) 모두 일정한 충격흡수 구간에서 피크가 다소 높게 나타남을 알 수 있다. 이는 충격흡수가 진행되다가 일정하중의 힘을 다시 받기 때문이다. 또한 빨리 충격흡수가 일어남으로 제동거리도 다소 빠른 것으로 확인되었다. 따라서 CE 규격에서 요구되는 제동거리는 확보하였지만 최대전달 충격력은 높아 CE 규격에 적합하지 않음을 알 수 있었다.

3.2 Interlace yarn 밀도 58, 57, 56의 동하중 분석 및 충격흡수 변화

Figure 5는 interlace yarn (a) sample 3(밀도 58ends/inch), (b) sample 4(밀도 57ends/inch), (c) sample 5(밀도 56ends/inch)의 동하중을 측정하여 최대전달 충격력 및 충격흡수 파장의 분석 결과이다. (a) sample 3의 충격흡수 초기 값은 다소 높게 나타나는데, 이는 충격흡수를 시작하는 시점으로 인장하중을 크게 받기 때문이다. 초기 이후 0.3초까지 일정 수준의 충격흡수를 보여주고 있다. 0.4초 부근에서의 파장이 다소 높게 나타나지만 6,000N보다 낮게 나타남을 알 수 있었다. 최대전달 충격력은 5,715N을 나타내고 있으며 제동거리는 1.699m로 나타났다. (b) sample 4에서도 초기하중이 높게 나타난다. 2,000N에서 5,000N 범위에서 충격흡수 파장이 유지됨을 알 수 있다. (a) sample 3과 마찬가지로 0.4초 부근에서의 파장이 다소 높게 나타나지만 6000N보다 낮게 나타남을 알 수 있었다. 최대전달 충격력은 5,560N을 나타냈으며 제동거리는 1.704m였다. (c) sample 5도 2,000N에서 5,000N 범위에서 충격흡수 파장이 유지됨을 알 수 있다. 하지만 (a) sample 3, (b) sample 4와는 달리 0.4초 부근에서 높은 충격흡수 파장을 볼 수 없고



(a) sample 1



(b) sample 2

Figure 4. The dynamic load test of absorber (a) sample 1 interlace filament density 60 (b) sample 2 interlace filament density 59.

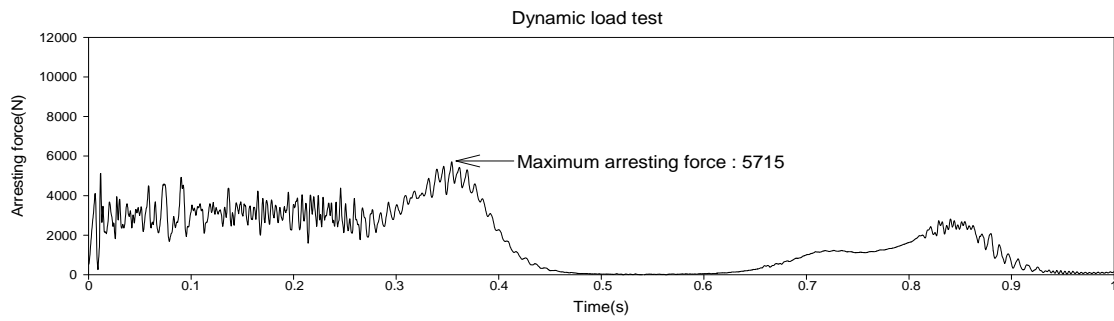
일정 수준을 그대로 유지하고 있음을 알 수 있었다. 5,269N으로 가장 우수한 최대전달 충격력을 확보하였다. 제동거리는 1.746m로 나타났다. (a), (b), (c) 모두 CE 규격에서 요구하는 최대전달 충격력과 제동거리를 확보할 수 있었다. 하지만 충격흡수 파장을 분석해보면 (a), (b)에서는 충격흡수가 이루어지다가 충격흡수가 끝나는 뒷부분에서 높은 충격흡수를 보여주고 있다. 이는 interlace yarn 밀도의 영향으로 빠른 충격흡수로 인하여 제동거리가 빨리 일어나 높은 피크가 확인됨을 알 수 있었다. (c)에서는 충격흡수를 일정하게 유지하고 있는 특징을 가짐으로 가장 낮은 최대전달 충격력을 확보할 수 있었다.

3.3 Interlace yarn 밀도 55, 54, 53, 52, 51의 동하중 분석 및 충격흡수 변화

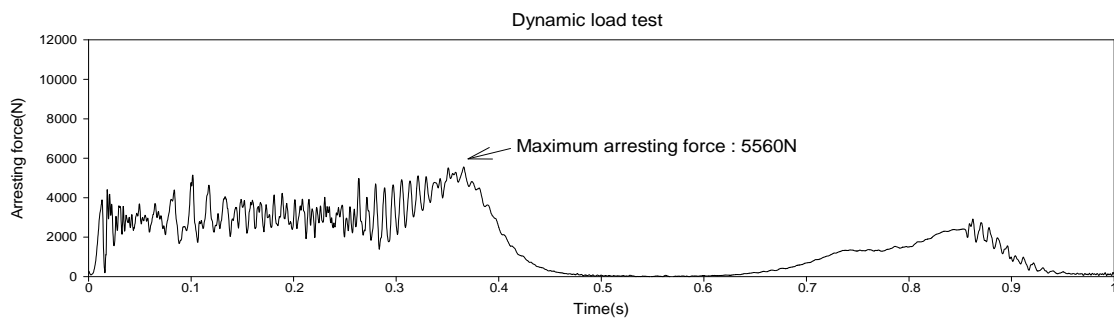
Figure 6은 interlace yarn sample 6(밀도 55ends/inch), sample 7(밀도 54ends/inch), sample 8(밀도 53ends/inch), sample 9(밀도 52ends/inch), sample 10(밀도 51 ends/inch)

의 동하중을 측정하여 충격흡수파장을 분석한 결과이다. (a) sample 6, (b) sample 7, (c) sample 8, (d) sample 9에서는 모두 유사한 충격흡수 파장을 보이는데, 충격흡수를 시작하는 초기 충격흡수 값은 높게 나타남을 알 수 있었다. 초기부터 0.3초까지 6,000N에서 10,000N 범위에서 충격흡수가 일어나고 있으며 0.3초 부근에서 높은 피크를 확인할 수 있다. 이는 낮은 interlace yarn의 밀도 영향으로 초기에 충격흡수를 충분히 못하고 뒷부분에서 높은 충격력을 받는 것이다.

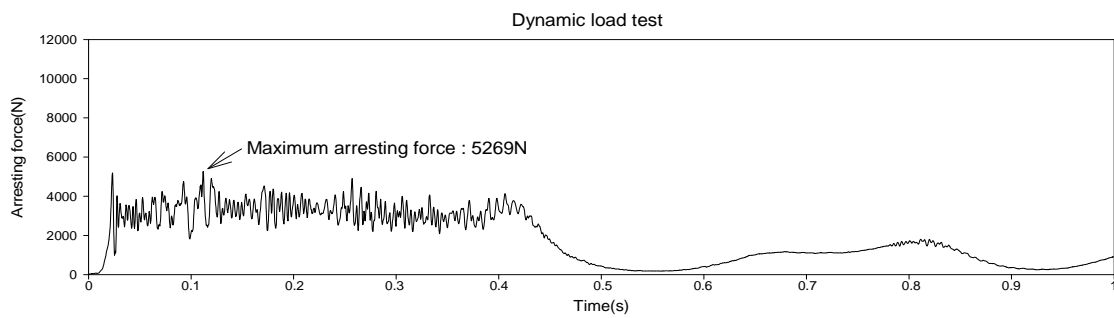
따라서 (a) sample 6은 6,245N, (b) sample 7은 6,921N, (c) sample 8은 7,026N, (d) sample 9는 8,051N으로 interlace yarn 밀도가 낮아지면 최대전달충격력은 높게 나타남을 알 수 있었다. (e) sample 10은 초기 충격 흡수 값에서는 (a)-(d)와 유사하지만 0.3초까지의 충격흡수에서는 4,000N에서 10,000N 범위에서 충격흡수가 일어난다. 이는 낮은 interlace yarn 밀도로 충격흡수를 충분히 시키지 못하고 있음을 알 수 있다. 또한 0.3초 부근에서 11,824N의 아주 높은 최대전달 충격력을 보



(a) sample 3

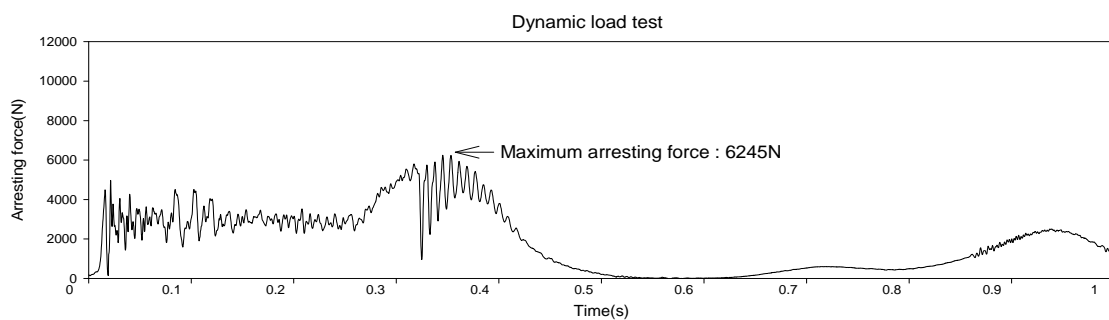


(b) sample 4



(c) sample 5

Figure 5. The dynamic load test of absorber (a) sample 3 interlace filament density 58, (b) sample 4 interlace filament density 57, (c) sample 5 interlace filament density 56.



(a) sample 6

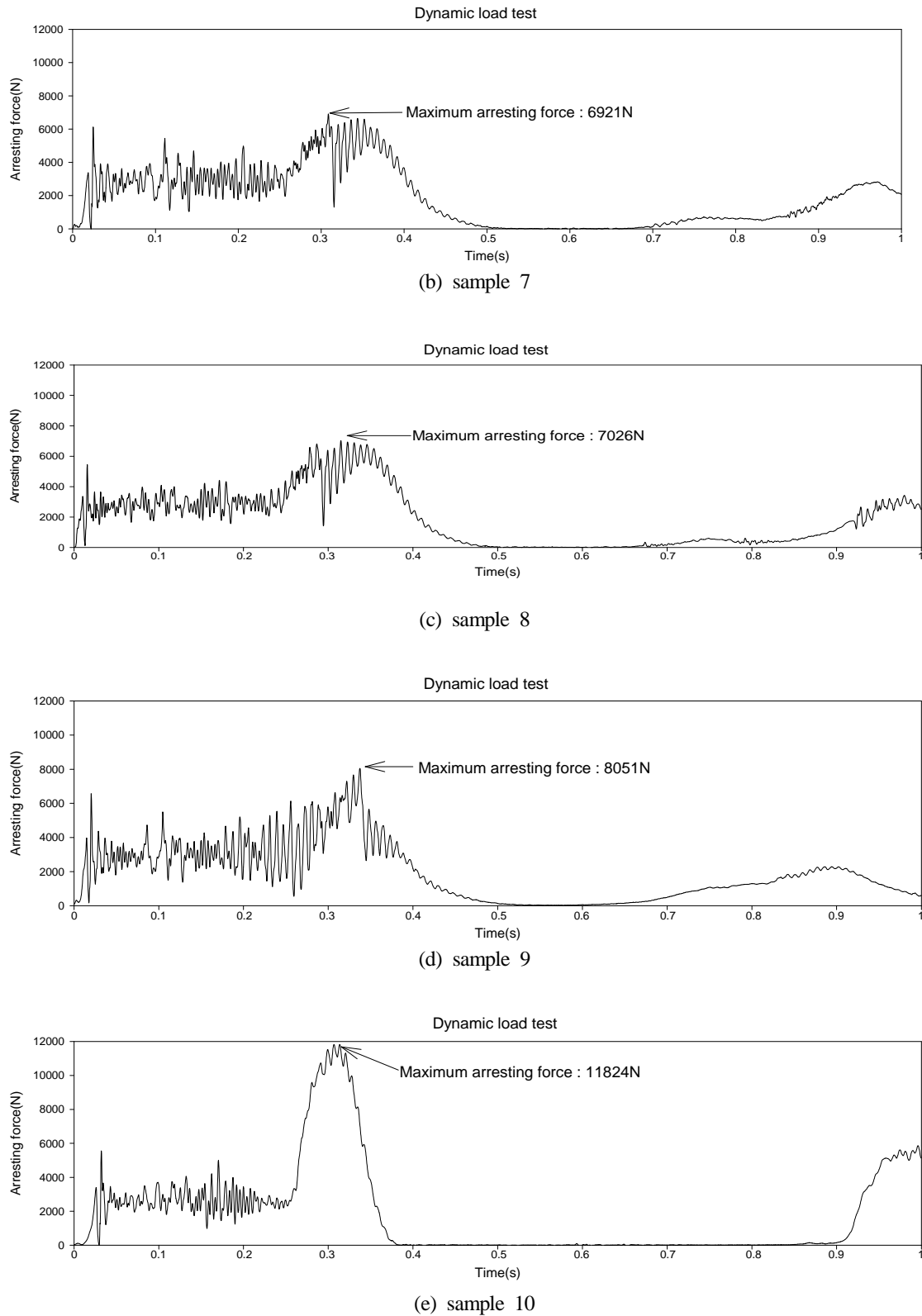


Figure 6. The dynamic load test of absorber (a) sample 6 interlace filament density 55, (b) sample 7 interlace filament density 54, (c) sample 8 interlace filament density 53, (d) sample 9 interlace filament density 52, (e) sample 10 interlace filament density 51.

이고 있다. 이는 충분히 충격을 흡수하지 못하여 인장 하중을 그대로 받기 때문이다.

제동거리는 각각 1.756m, 1.752m, 1.751m, 1.758m, 1.791m로 모두 CE 규격(EN355:2002)에서 요구하는 기준을 확보하지 못하였다. Interlace yarn 밀도가 낮아질수록 제동거리 길이도 늘어남을 알 수 있었다.

따라서 interlace yarn 밀도의 변화는 충격흡수 파장, 최대전달 충격력, 제동거리에 상당한 영향력을 주고 있음을 알 수 있었다. 또한 Figure 6에서는 CE 규격을 만족하지 못하였다.

3.4 Interlace yarn의 밀도변화에 따른 최대전달 충격력 변화

Figures 4-6의 동하중 분석에서 나타난 것과 같이 interlace yarn의 밀도에 따라 최대전달 충격력의 변화를 분석하였다. 최대전달 충격력은 CE 규격을 확보함에 있어 중요한 요인이 된다.

Figure 7에서는 interlace yarn의 밀도 범위를 60에서 51까지 확인해본 결과 sample 1(밀도 60ends/inch)에서는 6,547N, sample 2(밀도 59ends/inch)에서는 6,392N을 나타내었다. sample 3(밀도 58ends/inch), sample 4(밀도 57ends/inch), sample 5(밀도 56ends/inch)에서는 최대전달 충격력이 각각 5,715N, 5,560N, 5,269N을 나타내었으며, sample 6(밀도 55ends/inch), sample 7(밀도 54ends/inch), sample 8(밀도 53ends/inch), sample 9(밀도 52ends/inch), sample 10(밀도 51ends/inch)에서는 각각 6,245N, 6,921N, 7,026N, 8,051N, 11,824N을 나타내었다.

Interlace yarn의 밀도가 감소하면서 sample 1(밀도

60ends/inch), sample 2(밀도 59ends/inch), sample 3(밀도 58ends/inch), sample 4(밀도 57ends/inch), sample 5(밀도 56ends/inch)까지는 최대전달 충격력도 감소하게 된다. 하지만 sample 6(밀도 55ends/inch), sample 7(밀도 54ends/inch), sample 8(밀도 53ends/inch), sample 9(밀도 52ends/inch), sample 10(밀도 51ends/inch)에서는 반대로 증가하는 현상을 보이고 있다. 이는 sample 1(밀도 60ends/inch), sample 2(밀도 59ends/inch), sample 3(밀도 58ends/inch), sample 4(밀도 57ends/inch), sample 5(밀도 56ends/inch)에서는 interlace yarn의 밀도가 가지는 하중에 의해 최대전달 충격력이 지속적으로 낮아지지만, sample 6(밀도 55ends/inch), sample 7(밀도 54ends/inch), sample 8(밀도 53ends/inch), sample 9(밀도 52ends/inch), sample 10(밀도 51ends/inch)은 Figure 6에서 설명한 것과 같이 interlace yarn의 밀도가 감소하면 하중이 약해져 충격을 충분히 흡수하지 못하게 되어 마지막 부분에서 높은 충격력이 가해지기 때문이다.

따라서 CE 규격에서 요구하는 성능을 확보하기 위해서는 sample 3(밀도 58ends/inch), sample 4(밀도 57ends/inch), sample 5(밀도 56ends/inch)가 적합함을 알 수 있었다.

3.5 Interlace yarn의 변화에 따른 제동거리의 변화

CE 규격(EN355:2002)에서 요구하는 성능 기준 중에는 1.75m 미만으로 제동거리를 확보하여야 한다. 제동거리를 확보하지 못하게 되면 충격흡수 이후 다시 추락하게 되어 2, 3차 사고가 발생하게 된다.

따라서 interlace yarn의 밀도 설계 조건에 따라 제

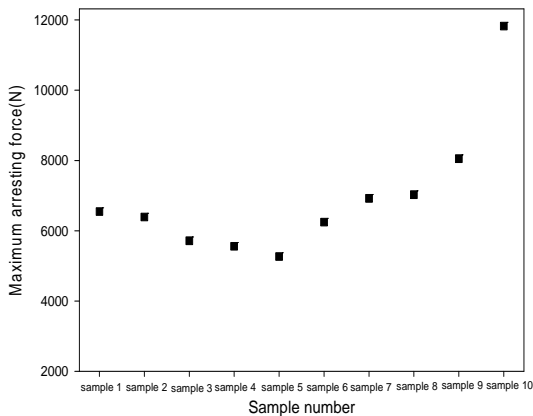


Figure 7. Influence for conditioning on the maximum arresting force(N) value of the dynamic load of absorber type interlace filament density.

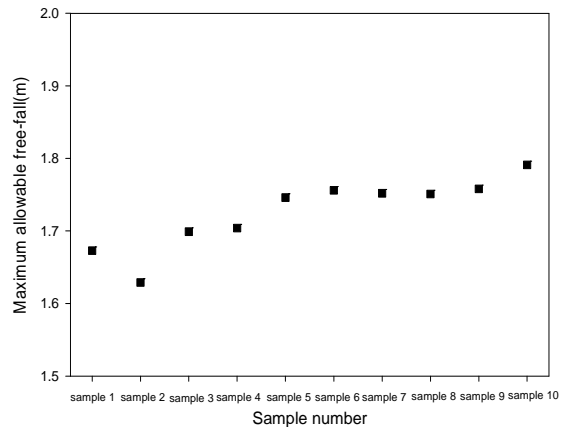


Figure 8. Influence for conditioning on the maximum allowable free-fall(m) value of the dynamic load of absorber type interlace filament density.

동거리를 분석하였다.

Figure 8은 interlace yarn 밀도에 따른 제동거리를 나타내었다. sample 1(밀도 60ends/inch), sample 2(밀도 59ends/inch), sample 3(밀도 58ends/inch), sample 4(밀도 57ends/inch), sample 5(밀도 56ends/inch)는 각각 1.673m, 1.629m, 1.699m, 1.704m, 1.746m의 제동거리를 나타내어 CE 규격에서 요구하는 규격을 확보 할 수 있었다. 하지만 sample 6(밀도 55ends/inch), sample 7(밀도 54ends/inch), sample 8(밀도 53ends/inch), sample 9(밀도 52ends/inch), sample 10(밀도 51ends/inch)은 제동거리가 각각 1.756m, 1.752m, 1.751m, 1.758m, 1.791m의 범위로 CE 규격에 적합하지 않음을 알 수 있다. 이는 interlace yarn의 밀도가 낮아짐에 따라 인장하중의 힘이 약해져 충격흡수 이후 제동거리가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 interlace yarn의 밀도에 따른 인장하중이 제동거리에도 영향을 주는 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 pack style shock energy absorber를 제조하기 위하여 고강력 PET 3000D를 경사로 고강력 PET 1000D를 interlace yarn으로 밀도를 조절함으로 CE 규격에서 요구하는 동하중 성능 및 제동거리를 확보하고, 충격흡수 파장을 분석한 후 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. Interlace yarn의 변화에 따른 동하중 성능을 분석하여 충격흡수 파장 및 최대전달 충격력을 interlace yarn 밀도에 따라 특성을 확인한 결과, sample 1(밀도 60ends/inch), sample 2(밀도 59ends/inch)에서는 interlace yarn의 높은 밀도로 인하여 충격흡수가 크게 진행되다가 일정 하중의 힘을 다시 받게 되어 충격흡수 파장이 크게 유지되어 최대전달 충격력이 높게 나타남을 확인할 수 있었다.
2. Interlace yarn의 sample 3(밀도 58ends/inch), sample 4(밀도 57ends/inch), sample 5(밀도 56ends/inch)의 충격흡수 파장을 확인해 본 결과, sample 3(밀도 58ends/inch), sample 4(밀도 57ends/inch)에서는 다소 크게 충격흡수가 이루어지다가 흡수가 끝나는 뒷부분에서 높은 충격력을 보여주고 있다. 이는 interlace yarn의 밀도 영향으로 충격흡수 이후 받는 충격력으로 인하여 높은 피크가 확인됨을 알 수 있었다. sample

5(밀도 56ends/inch)에서는 충격흡수를 일정하게 유지하고 있는 특징을 가짐으로 가장 낮은 최대전달 충격력을 확보함을 알 수 있었다.

3. sample 1(밀도 60ends/inch), sample 2(밀도 59ends/inch), sample 3(밀도 58ends/inch), sample 4(밀도 57ends/inch), sample 5(밀도 56ends/inch)에서는 interlace yarn의 밀도가 가지는 하중에 의해 충격력이 낮게 유지됨을 알 수 있었다. 하지만 sample 6(밀도 55ends/inch), sample 7(밀도 54ends/inch), sample 8(밀도 53ends/inch), sample 9(밀도 52ends/inch), sample 10(밀도 51ends/inch)은 낮은 밀도의 interlace yarn으로 인하여 인장하중이 약해져 충격을 충분히 흡수하지 못하게 되어 높은 충격력이 가해짐을 알 수 있었다. 따라서 CE 규격에서 요구하는 물성은 sample 3(밀도 58ends/inch), sample 4(밀도 57ends/inch), sample 5(밀도 56ends/inch)가 적합함을 알 수 있었다.
4. Interlace yarn이 파열되면서 충격흡수 후 제동거리를 확보하게 되는데, interlace yarn 밀도가 상당한 영향이 있음을 알 수 있다. Interlace yarn 밀도가 낮아짐에 따라 직물의 인장하중 힘이 저하되어 충분히 충격흡수에 영향을 받아 제동거리가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 CE 규격에 적합한 물성을 가지는 밀도는 sample 1(밀도 60ends/inch), sample 2(밀도 59ends/inch), sample 3(밀도 58ends/inch), sample 4(밀도 57ends/inch), sample 5(밀도 56ends/inch)가 적합함을 알 수 있었다.
5. CE 규격에서는 최대전달 충격력과 제동거리를 동시에 만족하여야 한다. 따라서 CE 규격(EN355:2002)에 가장 우수한 적합성을 나타내는 interlace yarn 밀도는 sample 3(밀도 58ends/inch), sample 4(밀도 57ends/inch), sample 5(밀도 56ends/inch)이었다. 따라서 안전산업에 적용 가능함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2014년 글로벌전문기술개발사업(10044523)의 지원에 의하여 수행된 연구결과입니다.

References

1. C. A. Janicak, Fall-related Deaths in the

- Construction Industry, *J. Safety Res.*, **29**, 35(1998).
2. A. Suruda, D. Fosbroke, and R. Braddee, Fatal Work-related Falls from Roofs, *J. Safety Res.*, **26**, 1(1995).
 3. P. Kines, Falls through Roofs : Fatal Versus Serious Injuries, *J. Safety Res.*, **33**, 195(2002).
 4. J. W. Cho, S. J. Kwon, S. T. Kim, J. H. Yeum, J. M. Kang, and B. C. Ji, Characteristic and Development of All-in-one Shock Energy Absorber Lanyard Protection Tube used Super Fibers, *Textile Coloration and Finishing*, **26**(2), 106(2014).
 5. J. W. Cho, S. J. Kwon, J. D. Choe, S. T. Kim, B. C. Ji, and J. H. Yeum, Preparation and Characterization of Shock Energy Absorber Lanyard used Super Fibers, *Textile Coloration and Finishing*, **26**(3), 181(2014).
 6. J. W. S. Hearle, R. Prakash, and M. A. Wilding, Prediction of Mechanical-properties of Nylon and Polyester Fiber as Composites, *Polymer*, **28**, 441(1987).
 7. Y. M. Goh and P. E. D. Love, Adequacy of Personal Fall Arrest Energy Absorbers in Relation to Heavy Workers, *Safety Science*, **48**, 747(2010).
 8. K. Baszczynski, Influence of Weather Conditions on the Performance of Energy Absorbers and Guided Type Fall Arresters on a Flexible Anchorage Line During Fall Arresting, *Safety Science*, **42**, 519(2004).
 9. A. B. Spierings and R. Stampfli, Methodology for the Development of an Energy Absorber: Application to Worker Security Rope, *International J. of Impact Eng.*, **32**, 1370(2006).
 10. K. Baszczynski, The Influence of Anchor Devices on the Performance of Retractable Type Fall Arresters Protection against Falls from a Height, *International J. of Occupational Safety and Ergonomics*, **12**(3), 307(2006).
 11. K. Baszczynski, Dynamic Strength Tests for Low Elongation Lanyards, *International J. of Occupational Safety and Ergonomics*, **13**(1), 39(2007).
 12. S. Lehner, A. Somschor, and V. Senner, Mathematical Model of the Energy Absorbing Stitch Brake used in via Ferrata Climbing, *Procedia Engineering*, **34**, 652(2012).