

<연구논문(기술)>

## 슈퍼 섬유를 이용한 Shock Energy Absorber Lanyard의 제조 및 특성분석

조진원 · 권상준 · 최종덕 · 김상태<sup>1</sup> · 지병철<sup>2</sup> · 염정현<sup>2,†</sup>

(주)신흥, <sup>1</sup>스왈록아시아(주), <sup>2</sup>경북대학교 기능물질공학과

### Preparation and Characterization of Shock Energy Absorber Lanyard used Super Fibers

Jin Won Cho, Sang Jun Kwon, Jong Deok Choe, Sang Tae Kim<sup>1</sup>,  
Byung Chul Ji<sup>2</sup> and Jeong Hyun Yeum<sup>2,†</sup>

Shin Heung Co. Ltd., Gumi, Korea

<sup>1</sup>Swelock Asia Co. Ltd., Busan, Korea

<sup>2</sup>Department of Advanced Organic Materials Science and Engineering,  
Kyungpook National University, Daegu, Korea

(Received: May 5, 2014 / Revised: June 16, 2014 / Accepted: September 16, 2014)

**Abstract:** Fall-arrest system have been widely applied to provide a safe stop during fall incidents for occupational activities. This research object to evaluate the energy capacity of fall arrest shock energy absorber lanyard in relation to the used super fiber. In this work, shock energy absorber lanyard was prepared using high tenacity PET, high tenacity PET/P-aramid and high tenacity PET/UHMWPE, respectively. Dynamic load and static load tests based on the Korea fall protection equipment standard(Korea Occupational Safety & Health Agency standard 2013-13) were conducted. Maximum arrest force by dynamic load test of shock energy absorber showed below 6,000N. Also, static strength by static load test of lanyard and rope remains 15,000N and 22,000N for 1 min.

**Keywords:** absorber, lanyard, shock energy, dynamic load, super fiber

## 1. 서 론

추락재해는 산업현장 전체 재해 중 15%정도를 차지하며 매년 10,000명 이상이 추락으로 다치거나 사망한다. 추락사는 산업재해 중에서 가장 높은 비율을 차지하고 있다. 사람이 추락하게 되는 경우 추락에 의해 받게 되는 최대 전달 충격력은 추락 속도의 제곱에 비례하여 증가하게 된다. 따라서 작업자가 1.8m 정도의 높이에서 추락하게 되는 경우 자기 체중의 10배 이상 충격을 받게 되어 치명적인 부상이나 사망에 이를 수 있다. 따라서 산업현장에서 치명적인 추락재해를 방지하기 위해 shock energy absorber lanyard 안전제품이 절실히 요구되고 있다. shock energy absorber lanyard는 지면에 추

락하는 것을 방지함과 동시에 추락사고시 작업자의 체중에 의하여 가해지는 충격을 흡수하도록 설계하여 신체부위에 가해지는 충격을 최소화하는 장치이다<sup>1,2)</sup>.

Figure 1은 shock energy absorber lanyard 제품의 사진으로 carabiner, rope, absorber로 구분하게 된다. 이들 중 가장 중요한 부분은 충격을 흡수하는 absorber이며, carabiner를 제외한 모든 부분이 narrow fabric으로 이루어져 있다. Shock energy absorber lanyard는 narrow fabric으로 구성되어 있으며, 이는 needle loom 직기로 제작하게 된다. Narrow fabric은 설계된 조직 형태 및 원사 특성에 따라 다양한 물성이 발현된다.

Table 1은 안전보건공단 고용노동부고시 제2013-13호 안전대 KCS 규격이다. Shock energy absorber lanyard 제품을 측정하기 위해서는 동하중과 정하중 성능시험을 제시하고 있다. 동하중(완성품, 충격흡

<sup>†</sup> Corresponding author: Jeong Hyun Yeum (jhyeum@knu.ac.kr)  
Tel.: +82-53-950-5739 Fax.: +82-53-950-6744

©2014 KSDF 1229-0033/2014-9/173-180

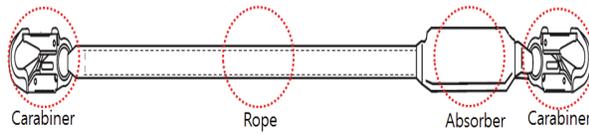


Figure 1. Form of shock energy absorber lanyard.

수장기) 성능시험에서 요구하는 최대전달 충격력은 6,000N 미만이다. 이는 추락 시 사람이 받는 충격을 의미하고 있다. 따라서 최대전달 충격을 6,000N 미만으로 줄이기 위한 노력이 절실히 요구되고 있다. 정하중 성능시험은 쥘줄 (rope)의 인장하중을 측정하는 방법으로 완제품의 경우 15,000N에서 1분간 유지되고 파손 및 기능 상실이 없어야 하며, 쥘줄로는 22,000N에서 1분간 유지되고 파손 및 기능 상실이 없어야 한다<sup>3-5)</sup>.

Shock energy absorber lanyard 완제품 및 충격흡수 장치를 제작하기 위해서는 narrow fabric 형태의 제품으로 제작하게 된다. 이는 4중 구조로 형성되어 있고, 상판과 하판으로 구분된다. 본 연구에서 충격흡수를 시키기 위한 방법으로는 상판과 하판을 연결하는 엮임사가 파열되면서 상판과 하판이 층간 분리되어 충격흡수가 일어나게 되는 특징으로 설계하였다. 또한 안전보건공단 고용노동부고시 제 2013-13호 안전대 KCS 규격에서 규정하고 있는 1m 미만의 감속 작동 거리를 확보하기 위하여 50 cm 길이로 제작하였다. 따라서 상판과 하판이 층간 분리되면서 파손되지 않고 인장하중을 그대로 유지시켜 2차 및 3차 사고를 방지해야 하는 특징도 가지도록 제작하였다<sup>6-12)</sup>.

본 연구에서는 상판과 하판에 고강력 PET 뿐만 아니라 Aramid 및 UHMWPE 원사를 사용하여 비교함으로써 새로운 소재를 개발하고, 상판과 하판이 층간 분리시 파손되지 않고 인장하중을 유지시켜 진동 폭을 줄임으로 2차 및 3차 사고의 안전성을

최대한 확보하기 위한 기초 연구를 진행하였다. 또한, 안전보건공단 고용노동부고시 제2013-13호 안전대 KCS 규격 기준을 만족시킴과 동시에 동하중 성능시험에서 6,000N 미만의 최대전달 충격을 효율적으로 낮추기 위해 narrow fabric으로 설계하여 추락시 인체에 가해지는 최대 전달 충격을 최소화 하는데 그 목적이 있다.

## 2. 실험

### 2.1 실험재료

본 실험에서 사용된 고강력 PET 1,000Denier (KOLON, ASKIN, KOREA)는 인장강도가 8.6g/denier 인 것을 사용하였다. 또한 사용된 P-aramid 1,500Denier (KOLON, HERACRON, KOREA) 인장강도는 24.8g/denier 인 것을 사용하였으며, UHMWPE 1,500Denier (DONG YANG ROPE, MIRACLE, KOREA) 인장강도는 19.6g/denier인 것을 그대로 사용하였다.

### 2.2 제직

Table 2는 shock energy absorber lanyard를 상판과 하판을 층간 분리시키기 위한 설계 조건을 나타낸 것이다. 고강력 PET 1000Denier 원사를 3합, P-aramid, UHMWPE 1500Denier 원사를 2합 하여 3000Denier 굵기로 제작하였다. 이를 사용하여 4중직의 형태로 설계하였으며, 상판과 하판을 연결함과 동시에 추락시 층간이 분리되어 충격을 흡수시키기 위한 방법으로 엮임사를 사용하였다.

Figure 2(a)는 absorber 직물의 모식도이다. 3, 5, 4, 6은 제직되어 상판이 되고, 경사 3-1, 5-1, 4-1, 6-1은 하판이 된다. 이들은 4중구조의 형태를 가지며, 엮임사 1, 2번은 상판과 하판을 엮어 제직하였다. Figure 2(b)는 rope 직물의 모식도이다. 3, 5, 4, 6 순서로 제직하였고, 1번 엮임사 하나만 사용하였

Table 1. Korea occupational safety and health agency standard 2013 - 13(lanyard KCS)

Test item	Standard
1. dynamic load head test of energy absorber lanyard	6,000N Under
2. dynamic load test of energy absorber	6,000N Under
3. Static load test of absorber lanyard	15,000N for 1 minute
4. Static load test of rope	22,000N for 1 minute

Table 2. Textile weaving type of shock energy absorber lanyard

		Warp			Weft		Interlace		
		Filament Type	Ply	Density(ends/in)		Filament Type	Density (picks/in)	Type	Density (ends/in)
				Upper	Lower				
Energy absorber	HT PET + HT PET Weaving	HT PET 1000D	3	98	98	HT PET 1000D	15	HT PET 1000D	49
	HT PET + P-aramid Weaving	HT PET 1000D	3	98	98	HT PET 1000D	15	HT PET 1000D	49
		P-aramid 1500D	2						
	HT PET + UHMWPE Weaving	HT PET 1000D	3	98	98	HT PET 1000D	15	HT PET 1000D	49
		UHMWPE 1500D	2						
Rope	HT PET 1000D	HT PET 1000D	9	24	-	HT PET 1000D	17	HT PET 1000D	5

\* H.T PET : High Tenacity PET

고, 2중 구조형태로 제작하였다. Narrow fabric은 위사를 중심으로 경사가 꼬이면서 직조되는 형태이다. 따라서 narrow fabric에서 요구하는 특징으로 제작하기 위해 경사 배열 순서를 3, 5, 4, 6으로 제작하였다.

본 연구에서 사용되어진 absorber 직물의 경우 경사 밀도는 98 Density(ends/in), 역임사 밀도는 49 Density(ends/in), 위사 밀도는 15 Density(picks/in)로 설계하여 제작하였다. 줍줄(rope)은 고강력 PET 1,000D를 그대로 사용하였다. 경사 밀도는 24 Density(ends/in), 위사 밀도는 17 Density(picks/in), 역임사 밀도는 5 Density (ends/in)로 200mm 폭으로 설

계한 후 제작하였다.

### 2.3 특성분석

제조된 shock energy absorber lanyard 제품의 성능을 분석하기 위해서 안전보건공단에서 규정하고 있는 KCS 인증 평가 방법으로 동하중 성능시험 및 정하중 성능 시험을 실시하였으며, 동하중 평가방법은 KOLAS에서 인증하고 있고, 스왈록아시아(주)에서 보유한 동하중 측정 장비를 사용하여 측정하였다. 또한 정하중 측정 장비는 Universal Testing Machine (DSCK-P-21487)을 이용하였다.

Figure 3는 동하중 측정 장비 모식도이다. 100kg

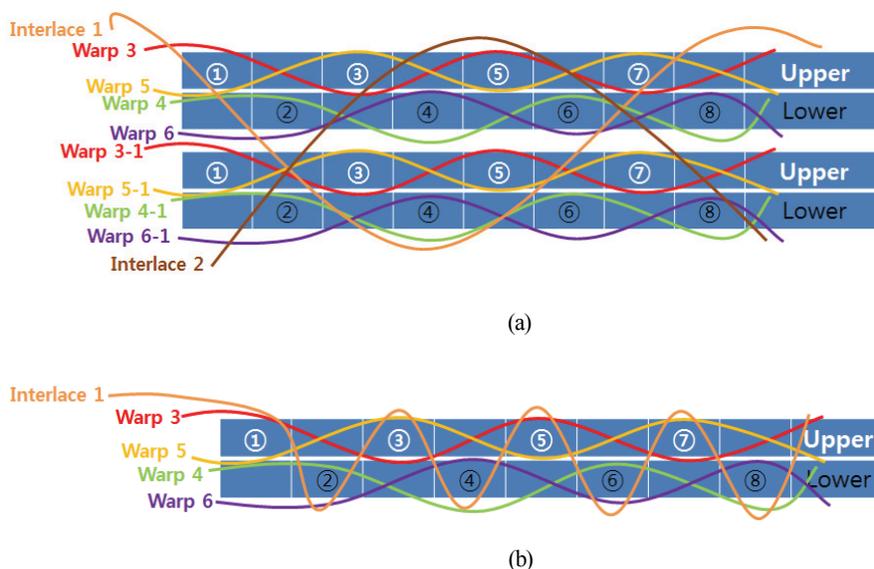


Figure 2. Structure of narrow width fabrics (a) structure of absorber and (b) structure of rope.

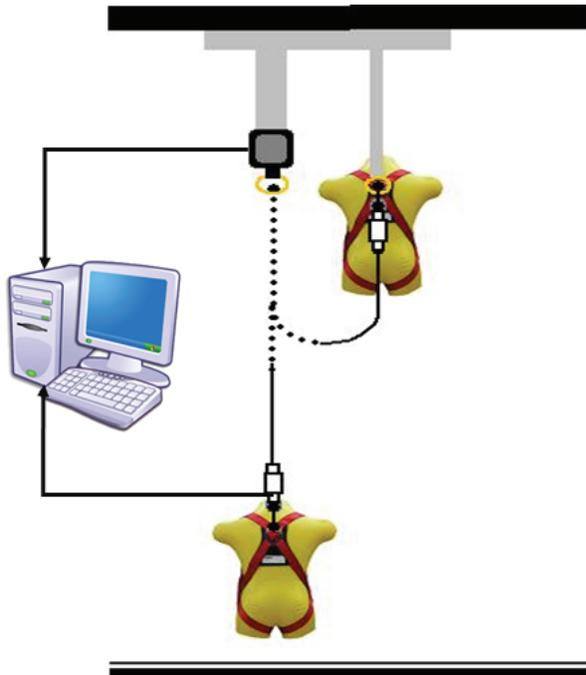


Figure 3. Test stand used for dynamic load test.

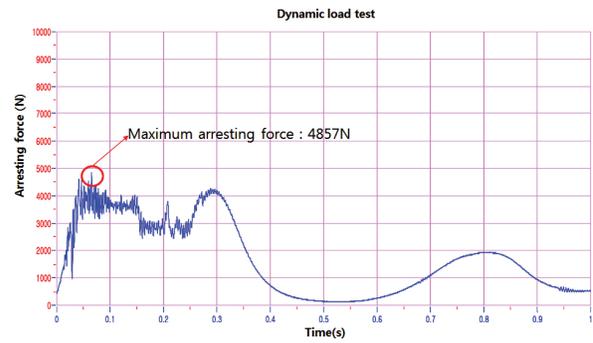
의 추를 2m 높이에서 하강시켜 충격흡수 및 최대 전달 충격력을 data화하는 장비이다.

### 3. 결과 및 고찰

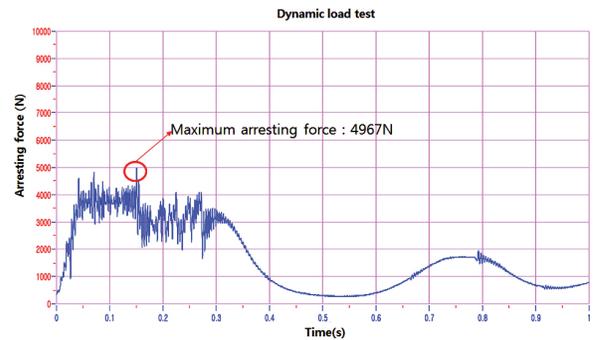
#### 3.1 충격흡수 장치의 동하중 분석 및 충격흡수 변화

동하중 성능 시험은 최대전달 충격 및 경사에 사용되어진 원사의 설계 조건에 따라 다양한 특성 및 물성을 확인할 수 있다.

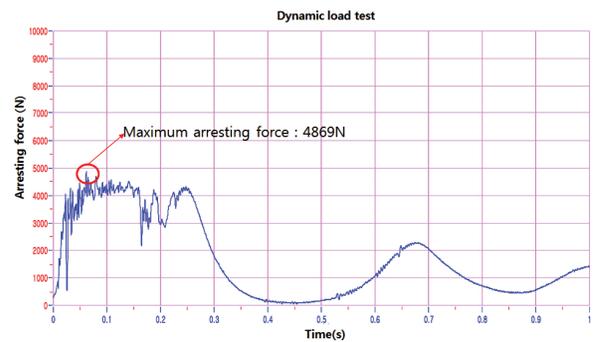
Figure 4에서는 shock energy absorber의 최대 전달 충격력, 충격흡수, 인장하중을 견디는 특성을 확인할 수 있다. Figure 4(a)는 고강력 PET 1,000D를 100% 사용하여 동하중 성능을 확인한 것으로 최대 전달 충격력은 4,857N이며, 충격흡수 진동 파장은 0초에서 0.3초 까지 조밀하면서도 높은 진동 파장을 나타내고 있다. 이는 추락 시 충격흡수가 진행되면서 충격력을 지속적으로 전달 받는 특징을 가진다. 또한 0.3초 이후에도 지속적으로 충격력이 전달되고 있는 것을 확인할 수 있다. Figure 4(b)는 고강력 PET 1,000D + P-aramid 1,500D를 경사로 교대 배열하여 제작한 직물로 동하중 성능을 측정된 결과 최대 전달 충격력은 4,967N이며, 0초에서 0.1초 사이에서 충격진동 파장이 많이 나타난다. 또한 일정하게 충격파장을 유지하면서 Figure 4(a), (c)에



(a)



(b)



(c)

Figure 4. The dynamic load test of shock energy absorber (a) high tenacity PET 1,000D 100% (b) high tenacity PET 1,000D 50% + P-aramid 1,500D 50%(c) high tenacity PET 1,000D 50% + UHMWPE 1,500D 50%.

비해 중간부분에서 최대전달 충격력이 나타난다. 전체적으로 0.1초 이후부터 0.3초까지 충격흡수 파장이 낮게 유지된다. 이는 빠르게 충격흡수를 시킨 이후 인장 하중을 견디는 특성이 발현되어 충격력이 낮게 나타남을 알 수 있다. 0.3초 이후에도 파장이 미미하게 전달되는 특징을 가진다. Figure 4(c)는 고강력 PET 1,000D + UHMWPE 1,500D를 경사로 교대 배열하여 제작한 직물로 동하중 성능을 측정

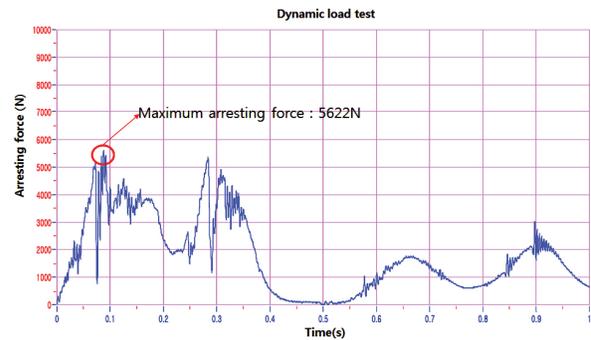
한 결과 최대 전달 충격력은 4,869N이며, 0초에서 0.3초 이내에서 빠른 충격흡수 파장이 나타나며, 충격파장은 Figure 4(a), (b)보다 낮게 나타남을 알 수 있다. 또한 0.3초가 되기 전에 충격흡수가 완료되어 인장하중을 견디는 특성을 보인다. 이는 빠르게 충격흡수가 완료되어 안정적인 형태를 유지시켜 주는 것으로 보인다.

P-aramid와 UHMWPE를 비교해 보면 충격흡수 파장이 P-aramid를 사용하였을 때 보다 UHMWPE를 사용하였을 때 충격흡수 파장이 낮게 유지됨을 볼 수 있다. 이는 추락 하면서 전달되는 충격력이 낮음을 알 수 있다. 따라서 P-aramid, UHMWPE의 원사를 적용시킴으로서 인장하중의 특성 및 엮임사 파열시 그 형태를 안정적으로 유지시켜주는 것을 확인할 수 있다.

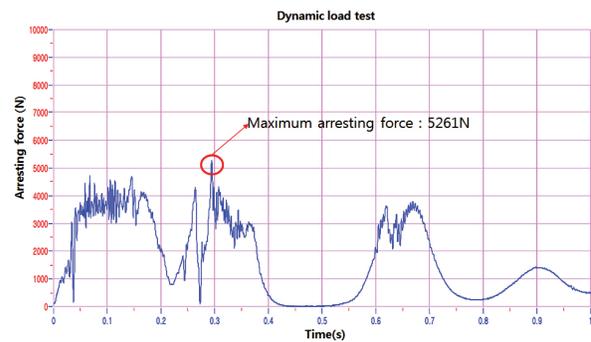
### 3.2 Shock energy absorber lanyard 완제품의 머리 낙하 동하중 시험

앞절에서는 충격흡수 장치만으로 동하중 분석을 실시하였다. KCS 규격을 만족시키기 위해서는 완제품에서 동하중 최대전달 충격력의 변화를 확보해야 함으로 완제품을 제작하여 동하중 머리낙하 및 다리낙하를 실시하였다. 머리 낙하 동하중 성능 시험은 완제품 전체의 특성을 파악하기 위한 것으로 충격흡수, 인장하중, 유해진동 폭을 활용하여 제품의 특징을 예측하는 방법이다.

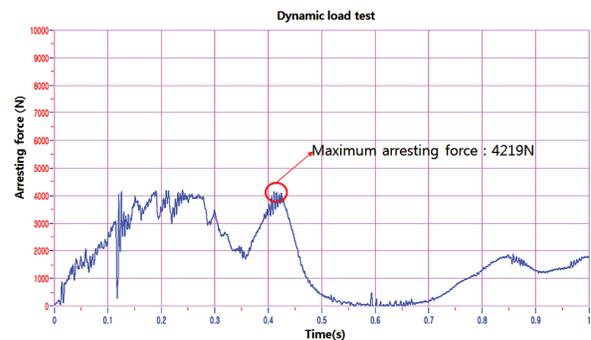
측정방법은 KCS 규격에서 고시한 기준으로 측정하였다. Figure 5(a)는 고강력 PET 1,000D를 100% 사용하였으며, 머리 낙하 동하중 측정 결과 0.1초 이내 최대 전달 충격력은 5,622N이며, 0.3초 이후까지 충격흡수가 일어나고, 충격전달 파장이 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 충격력을 지속적으로 전달 받는 특징을 가진다. Figure 5(b)는 고강력 PET 1,000D + P-aramid 1,500D를 경사로 교대 배열하여 제작된 직물로, 머리 낙하 동하중 성능을 측정한 결과 최대 충격력은 5,261N이며, 0초에서 0.1초 사이에서 충격흡수가 일어나고 있으며, 충격 흡수 진동 파장은 일정하게 나타난다. 또한 0.4초 이후에 충격전달이 0에 가까워지는 것을 확인할 수 있다. 이는 충격흡수가 완료되었음을 나타낸다. 0.6초 이후에는 하강시킨 추에 의해 흔들리는 유해진동 폭을 나타내고 있다. Figure 5(a)와 (b)를 비교한 결과 최대전달 충격력에서의 차이를 볼 수 있었다. 이는



(a)



(b)



(c)

**Figure 5.** The dynamic load head test of shock energy absorber lanyard (a) high tenacity PET 1,000D 100%, (b) high tenacity PET 1,000D 50% + P-aramid 1,500D 50%, (c) high tenacity PET 1,000D 50% + UHMWPE 1,500D 50%.

충격이 흡수되면서 P-aramid 원사의 특성에 의해 최대 전달 충격력이 낮게 나타남을 알 수 있다.

Figure 5(c)는 고강력 PET 1,000D + UHMWPE 1,500D를 경사로 교대 배열하여 제작한 이후 머리 낙하 동하중 성능을 측정한 결과 최대 전달 충격력은 4,219N이었다. Figure 5(a), (b)에 비해 Figure 5(c)에서 가장 낮은 최대 충격력을 나타내고 있다. 0초에서 0.2초 사이에서 순차적으로 충격흡수가 진행되

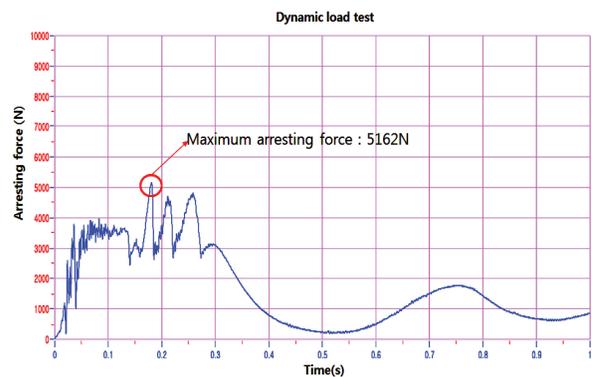
었다. 이는 충격흡수 이후 UHMWPE 원사의 특징으로 인하여 인장하중을 견디는 특성이 우수한 것으로 사료된다.

P-aramid와 UHMWPE를 비교해 보면 충격흡수 파장이 P-aramid를 사용하였을 때 보다 UHMWPE를 사용하였을 때 충격흡수 파장이 앞절에서 설명한 것처럼 충격흡수 장치와 마찬가지로 낮게 유지됨을 볼 수 있다. 이는 추락 하면서 전달되는 충격력이 낮음을 알 수 있다. 따라서 P-aramid, UHMWPE의 원사를 적용시킴으로서 완제품 동하중 머리 낙하에서도 인장하중의 특성 및 역할사 파열시 그 형태를 안정적으로 유지시켜주는 것을 확인할 수 있다.

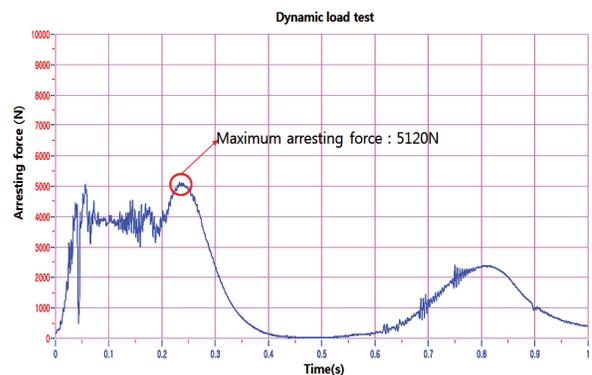
### 3.3 Shock energy absorber lanyard 완제품의 다리 낙하 동하중 시험

다리낙하 동하중 성능 시험도 완제품 전체의 특성을 파악하기 위한 것으로 충격흡수, 인장하중, 유해진동 폭을 활용하여 제품의 특징을 예측하는 방법이다. 측정방법은 KCS 규격에서 고시한 기준으로 측정하였다.

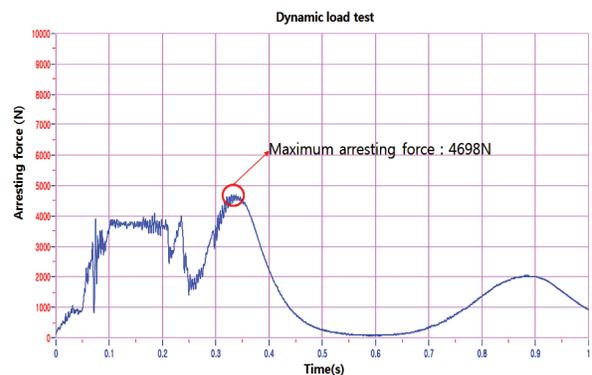
Figure 6(a)는 고강력 PET 1,000D를 100% 사용한 것으로, 다리낙하 동하중 성능을 측정한 결과 최대 전달 충격력은 5,162N이며, 0.1초에서 0.3초까지 충격흡수 파장을 확인할 수 있다. 또한 충격전달 파장의 피크가 크게 나타내는 특성을 나타내었다. Figure 6(b)는 고강력 PET 1,000D + P-aramid 1,500D를 경사로 교대 배열하여 사용한 형태로 제작되어진 완제품이며, 다리낙하 동하중 성능을 측정한 결과 최대 전달 충격력은 5,120N이며, 0초에서 0.1초 사이에서부터 충격흡수가 일어나고 있으며, 충격진동 파장은 일정하게 유지됨을 알 수 있다. Figure 6(c)는 고강력 PET 1,000D + UHMWPE 1,500D를 경사로 교대 배열하여 사용한 형태로 다리낙하 동하중 성능을 측정한 결과 최대 전달 충격력은 4,698N이었다. Figure 6(a), (b)와 비교해보면 Figure 6(c)에서 가장 낮은 최대 전달 충격력을 나타내고 있다. 0초에서 0.2초까지 순차적으로 충격흡수가 진행되고 있으며, 낮은 파장을 나타내고 있다. 앞절에서 설명한 머리 낙하와 마찬가지로 P-aramid와 UHMWPE를 비교해 보면 충격흡수 파장이 P-aramid를 사용하였을 때 보다 UHMWPE를 사용하였을 때 충격흡수 파장이 낮게 유지됨을 볼 수



(a)



(b)



(c)

**Figure 6.** The dynamic load leg test of shock energy absorber lanyard (a) high tenacity PET 1,000D 100%, (b) high tenacity PET 1,000D 50% + P-aramid 1,500D 50%, (c) high tenacity PET 1,000D 50% + UHMWPE 1,500D 50%.

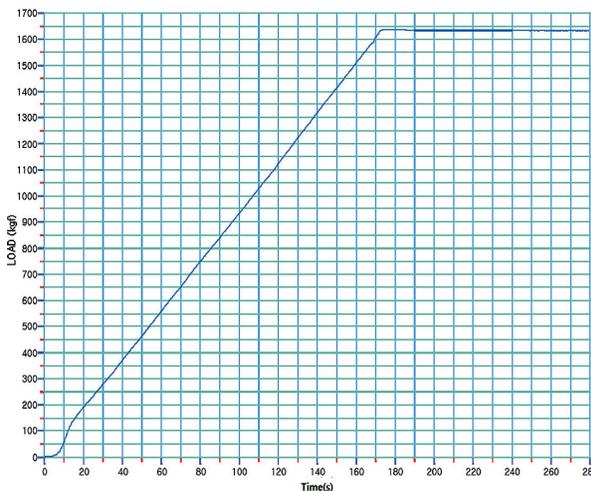
있다. 앞절의 결과와 마찬가지로 추락하면서 전달되는 충격력이 낮음을 알 수 있다. 따라서 P-aramid 및 UHMWPE의 원사를 적용시킴으로서 완제품 동하중 다리 낙하에서도 인장하중의 특성 및 역할사

파열시 그 형태를 안정적으로 유지시켜주는 것을 확인 할 수 있다.

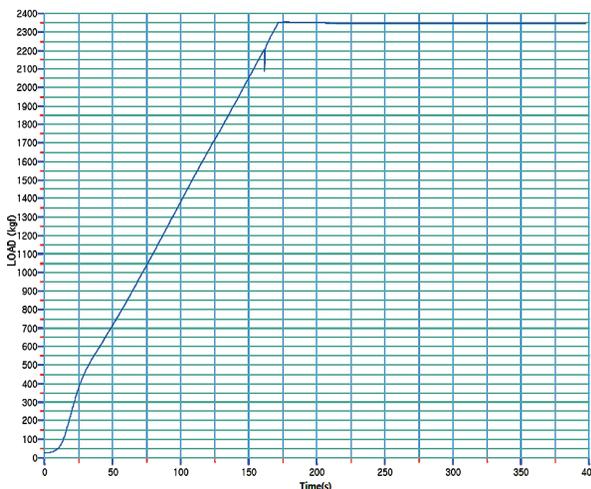
### 3.4 줌줄(rope)에 따른 인장 하중 변화

줌줄은 추락시 가해지는 하중을 지탱하는 역할로 KCS에서 고시하는 정하중 성능 시험으로 측정하였다. 줌줄은 완제품을 제작하기 위한 것으로 머리낙하, 다리낙하에서만 적용된다. 따라서 본 연구에서는 한 종류의 줌줄로 사용하였다. 줌줄 완제품의 경우 15,000N 하중에서 1분간, 줌줄은 22,000N 하중에서 1분간 유지되어야 규격을 통과할 수 있다.

Figure 7(a)은 1,650 kgf (16,170N) 이상의 하중에



(a)



(b)

**Figure 7.** Static load test of rope. (a) 15,000N static load, (b) 22,000N static load(High Tenacity PET 1,000D 100%).

서 280초 동안 유지하였으며 성능 및 기능 상실이 없었다. 또한 Figure 7(b)도 2,350 kgf (23,030N) 이상의 하중에서 400초 동안 유지하였으며 성능 및 기능 상실은 전혀 없었다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 shock energy absorber lanyard를 제조하고 고강력 PET, P-aramid 및 UHMWPE를 경사로 교대 배열하여 제작한 것을 안전보건공단 고용노동부고시 제2013-13호 KCS 규격에 의하여 동하중 및 정하중을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. KCS 규격에서 요구하는 6,000N 미만의 성능은 모두 확보하였으며, 정하중 특성도 기준치 이상의 물성을 확보하였다.

- Shock energy absorber lanyard의 충격흡수 장치에서 경사 부분에 고강력 PET 1,000D를 3합, P-aramid, UHMWPE 1,500D를 2합하여 교대배열시켜 제작한 후 동하중을 측정한 결과 최대 전달 충격력은 6,000N 미만의 값은 얻을 수 있었다. 또한 고강력 PET 1,000D를 100% 사용하였을 때의 최대 전달 충격력인 4,967N, P-aramid 및 UHMWPE를 선택적으로 사용한 결과 각각 4,857N 과 4,869N의 결과를 확인 할 수 있었다. 3가지 모두다 KCS에서 요구하는 6000N 미만의 물성을 우수하게 확보 할 수 있었다.
- 안전보건공단 고용노동부고시 제2013-13호 KCS 규격에서 요구하는 shock energy absorber lanyard 완제품을 제작하여 머리낙하 및 다리낙하를 측정한 결과 모두다 6,000N 미만의 값은 얻을 수 있었으며, 충격흡수 파장도 일정하게 나타남을 알 수 있었다. 또한 P-aramid 및 UHMWPE를 적용하였을 경우 우수한 물성 확보가 가능하였다. UHMWPE를 사용하였을 경우 최대 충격 흡수값이 매우 낮게 나타남을 알 수 있어 산업현장의 사용자가 추락 했을 경우 낮은 충격으로 인하여 안전성을 확보 할 수 있을 것이다.
- 줌줄에서도 KCS 규격에서 요구하고 있는 완제품의 경우 15,000N에서 1분간 견딜과 함께 파손 및 기능 상실이 없음을 확인하였다. 또한 줌줄도 22,000N의 기준으로 측정한 결과 1분간 견디면서 파손 및 기능상실이 없었음을 확인 할 수 있었고, 추락 시 충격흡수와 함께 안전성을 확

보 할 수 있는 특징을 가지게 되었다.

### 감사의 글

본 연구는 2013년 글로벌전문기술개발사업(10044523)의 지원으로 수행된 연구결과입니다.

### References

1. J. M. Yoon, A Study on Development of Safety Rope using Wire Rope at the Construction Site, M.S. Thesis, Kyonggi University, 2012.
2. J. S. Kim, Korea Pat. 10-0791148(2008).
3. J. S. Kim, Korea Pat. 10-0096665(2011).
4. S. W. Kim, Korea Pat. 20-0354542(2004).
5. 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).
6. K. Baszczyński, 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).
7. 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).
8. K. Baszczyński, 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).
9. K. Baszczyński, Dynamic Strength Tests for Low Elongation Lanyards, *International J. of Occupational Safety and Ergonomics*, **13**(1), 307(2007).
10. S. Lehner, A. Somschor, and V. Senner, Mathematical Model of the Energy Absorbing Stitch Brake used in Aia Ferrata Climbing, *Procedia Engineering*, **34**, 652(2012).
11. H. S. Bae, The Mechanical Properties of Working Materials Considering Industrial Settings, *Textile Coloration and Finishing(J. of Korea Soc. Dyers and Finishers)*, **25**(2), 140(2013).
12. H. S. Son, S. B. Sim and M. H. Min, Preparation of Yacht Sail Using High Tenacity Polyester and Its Performance Evaluation, *Textile Coloration and Finishing(J. of Korea Soc. Dyers and Finishers)*, **24**(1), 54(2012).