

<연구논문(기술)>

## 슈퍼 섬유를 활용한 일체형 Shock Energy Absorber Lanyard Protection Tube 제조 및 특성분석

조진원\* · 권상준<sup>1</sup> · 김상태<sup>2</sup> · 염정현<sup>†</sup> · 강지만<sup>3</sup> · 지병철<sup>4</sup>

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

<sup>3</sup>한국섬유개발연구원, <sup>4</sup>경북대학교 섬유시스템공학과

## Characteristic and Development of All-in-one Shock Energy Absorber Lanyard Protection Tube used Super Fibers

Jin Won Cho\*, Sang Jun Kwon<sup>1</sup>, Sang Tae Kim<sup>2</sup>, Jeong Hyun Yeum<sup>†</sup>,  
Ji Man Kang<sup>3</sup> and Byung Chul Ji<sup>4</sup>

Department of Bio-fiber and Materials Science, Kyungpook National University, Daegu, Korea

<sup>1</sup>Shin Heung Co. Ltd., Gumi, Korea, <sup>2</sup>Swelock Asia Co. Ltd., Busan, Korea

<sup>3</sup>Korea Textile Development Institute, Daegu, Korea

<sup>4</sup>Department of Textile System Engineering, Kyungpook National University, Daegu, Korea

(Received: May 6, 2014 / Revised: June 16, 2014 / Accepted: June 20, 2014)

**Abstract:** Work-related falls are a major problem in the construction and roofing industries. To avoid serious injury to the worker caused by high decelerations or forces, different systems to absorb the energy of a fall are implemented in personal protective equipment. In this study, shock energy absorber lanyard protection tube was prepared using high tenacity PET fiber, P-aramid fiber, and UHMWPE fiber, respectively. Dynamic load test and static load test, bursting strength test based on the Korea fall protection equipment standard(Korea Occupational Safety & Health Agency standard 2013-13) or conformity European safety test(CE : EN355) were conducted. Especially maximum arrest force by dynamic load test of energy absorber showed below 6,000N.

**Keywords:** protection tube, shock energy, dynamic load, static load, bursting strength

### 1. 서 론

Shock energy absorber lanyard는 안전그네(Harness)와 함께 건설현장, 조선소 등 고처의 산업현장에서 추락재해로 작업자의 안전을 확보하기 위해 착용하는 안전보호구이다. 현재 현장에서 사용되는 shock energy absorber lanyard의 문제점은 충격 분산 장치인 absorber의 끝 부분에 별도로 rope가 구성되어 있어 공사 현장에서의 작업자가 장시간 동안 착용시 무게감에 의한 피로감, 작업 및 이동시의 불편함 등으로 인해 개선이 요구되고 있다.

Figure 1은 shock energy absorber lanyard의 종류를 나타낸 것이다. Figure 1(a)는 absorber와 rope가 분리된 형태이고, Figure 1(b)는 absorber와 rope가 하나인 형태이다. 따라서 본 연구에서는 absorber와 rope 부분을 단일화시킨 Figure 1(b)의 형태로 shock energy absorber lanyard의 기본 기능을 충족하면서 경량화 작업 및 이동시의 불편함을 개선하기 위한 제품의 개발을 진행하였다. 이와 같이 absorber와 rope를 일체화한 경우, 내부에 충격 흡수 역할을 하는 충격 흡수 장치를 보호하고 rope의 역할인 추락을 방지하는 tube의 성능을 확보하려고 한다<sup>1-6)</sup>.

즉, 보호 tube의 강도에 따라 인장하중의 변화가 있으며, tube의 강도가 우수할수록 추락사고 발생시 일체형 shock energy absorber lanyard의 안정성이 높아지게 된다<sup>7,8)</sup>. Absorber와 rope를 일체형화한 shock

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

\*Present address: Shin Heung Co. Ltd., Gumi, Korea

©2014 KSDF 1229-0033/2014-6/106-113

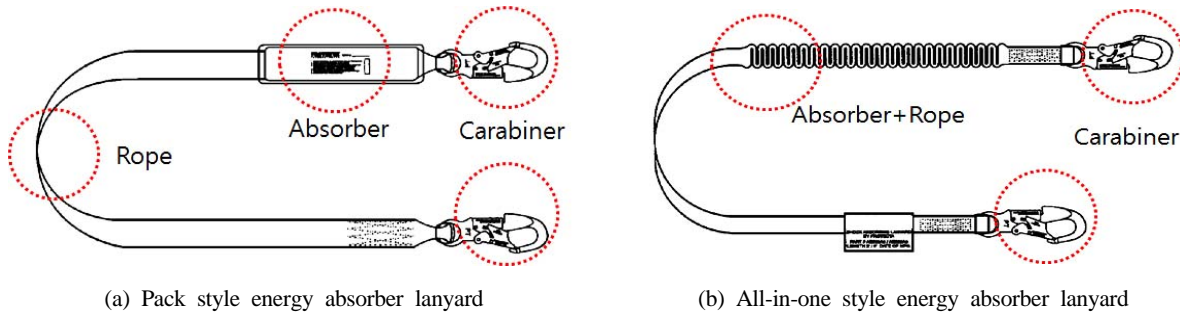


Figure 1. Kind of absorber lanyard.

energy absorber lanyard protection tube를 제작하기 위해서는 세폭 형태의 섬유제품으로 제작하게 된다. 이는 2중구조로 형성되어 있고, 상판과 하판으로 구분되어 tube 형태로 제작된다<sup>9,10</sup>.

일체형 shock energy absorber lanyard protection tube 제품의 분석 기준으로는 동하중과 정하중 성능시험 방법을 제시하고 있으며, 동하중(완성품) 성능시험의 최대전달 충격은 6000N 이하이다. 이는 추락 시 사람이 받는 충격을 말하는 것으로 최대전달 충격을 6000N 이하로 줄이기 위한 기술적인 노력이 진행되고 있다. 또한 보호 tube는 정하중 성능시험 방법으로 측정하고 있으며, 기준은 KCS 국내 규격과 CE 유럽연합 규격으로 분석할 수 있다. KCS 국내규격은 22,000N에서 1분간 유지되고 파손 및 기능상실이 없어야하며, CE(EN355 : 유럽연합규격) 규격은 22,000N에서 3분간 유지되고 파손 및 기능상실이 없어야 한다<sup>6,11-15</sup>.

본 연구에서는 absorber와 rope가 일체화된 shock energy absorber lanyard protection tube의 성능을 개선시키기 위한 방법으로 슈퍼섬유(고강력 PET, UHMWPE, P-aramid)를 적용하여 경량이면서 고강력 고기능성을 가지는 보호 tube를 개발 하고자 함과 동시에 안전보건공단 고용노동부고시 제 2013-13호 안전대 KCS 규격에서 요구하는 동하중 및 정하중 시험 그리고 CE(EN355 : 유럽연합규격) 유럽

연합 기준인 정하중 시험을 만족시켜 효율적으로 인장 하중을 견디는 세폭직물을 설계함으로써 충격 흡수 이후 효율적으로 추락을 방지하는데 그 목적이 있다. 또한 인장하중을 유지시켜 유해진동 폭을 줄임으로 2차 및 3차 사고의 안전성을 확보하기 위한 메커니즘을 연구 하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험재료

본 실험에서 사용된 고강력 PET 1000 Denier (KOLON, ASKIN, KOREA)는 인장강도가 87N인 것을 사용하였다. 또한 사용된 P-aramid 1500 Denier (KOLON, HERACRON, KOREA) 강도는 365N인 것을 사용하였으며, UHMWPE 1500 Denier(DONG YANG ROPE, MIRACLE, KOREA) 강도는 289N인 것을 그대로 사용하였다.

### 2.2 제직

Table 1은 일체형 shock energy absorber lanyard protection tube 설계 조건을 나타낸 것이다. 이는 2중직의 형태로 설계 하였으며, tube 형태로 제작하기 위해서 엮임사를 사용하지 않았다. Figure 2는 본 연구에서 사용된 세폭직물의 제직도이다. 경사 3, 5가 제직되어 상판이 되고, 경사 4, 6은 하판이

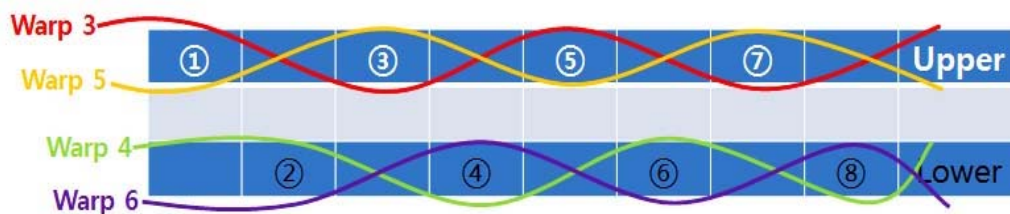


Figure 2. Weave construction of protection tube fabrics.

Table 1. Textile weaving type of all-in-one energy absorber lanyard protection tube

	Warp				Weft		
	Filament Type	TM	Density(ends/in)		Filament Type	TM	Density(picks/in)
			Upper	Lower			
Energy absorbing protection tube	H.T PET 1000D	80	220	220	H.T PET 1000D	80	15
	P-aramid 1500D	80	104	104	P-aramid 1500D	80	11.5
	UHMWPE 1500D	80	104	104	UHMWPE 1500D	80	11.5

\*H.T PET : High Tenacity PET

된다. 이들은 2중구조의 형태를 가진다. 또한 위사의 밀도는 18 Density(picks/in)로 설계하여 제작하였다.

### 2.3 특성분석

제조된 일체형 shock energy absorber lanyard protection tube 제품의 성능을 분석하기 위하여 동하중 및 정하중 평가를 하였다. 동하중 성능 시험은 안전보건공단에서 규정하고 있는 KCS 인증 평가 방법으로 측정하였으며, 평가 장비로는 KOLAS에서 인증하고 있고, 스왈록아시아(주)에서 자체 제작한 동하중 측정 장비를 이용하였다.

Figure 3은 동하중 측정 장비 모식도이다. 100kg에서 140kg까지의 무게로 측정이 가능하다.

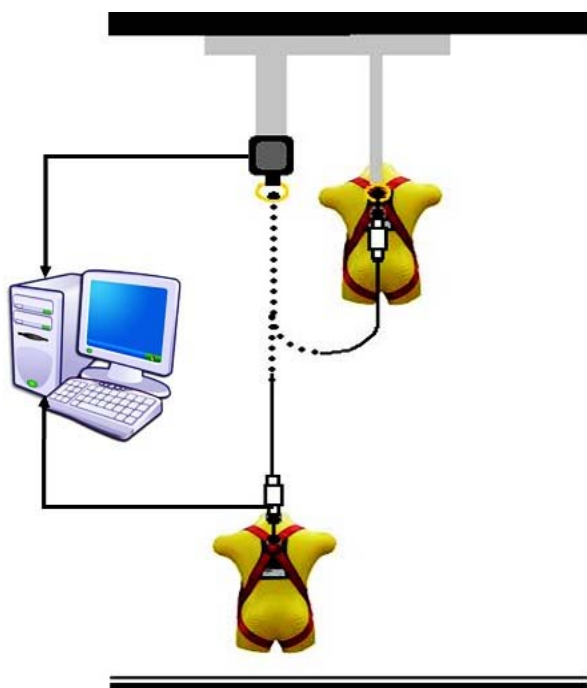


Figure 3. Test stand used for dynamic load test.

본 연구에서는 100kg의 추를 2m 높이에서 하강시켜 충격흡수 및 최대전달 충격력을 확보하였다. 또한 정하중 성능시험은 안전보건공단에서 규정하는 KCS규격과 유럽 연합기준인 CE규격(EN355)으로 측정하였으며, 정하중 측정 장비로는 Universal Testing Machine(DSCK-P-21487)을 이용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 일체형 shock energy absorber lanyard protection tube 동하중 분석

동하중 성능 시험은 최대전달 충격 및 설계 조건에 따라 다양한 특성 및 물성을 확인할 수 있다. 동하중 성능을 측정하기 위해 충격흡수 장치는 기존의 제품을 그대로 사용하였다.

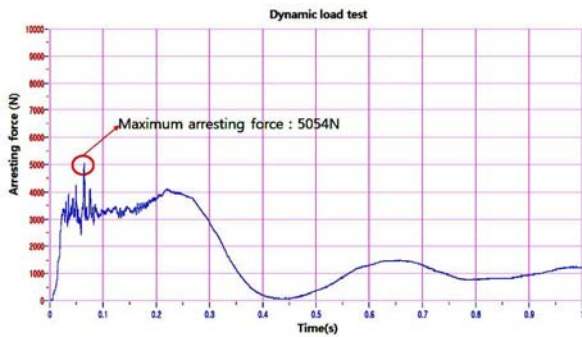
Figure 4에서는 일체형 shock energy absorber lanyard의 최대 전달 충격력, 충격흡수, 인장하중을 견디는 특성을 확인할 수 있다. Figure 4(a)는 고강력 PET 1000D를 100% 사용하여 동하중 성능을 확인 해본 결과 최대 전달충격력은 5054N이며, 충격흡수 진동 파장은 0초에서 0.2초까지 조밀하면서도 높은 진동 파장이 나타내고 있다. 0.3초 이후에도 지속적으로 충격력이 감소되고 있다. Figure 4(b)는 P-aramid 1500D를 100% 사용하여 제작한 직물로 동하중 성능을 측정한 결과 최대 전달 충격력은 4149N이며, 0초에서 0.1초 사이에서 충격진동 파장이 나타나며 0.1초 이후부터 0.3초까지 충격흡수 파장이 낮게 나타난다. 이는 빠르게 충격흡수를 시킨 이후 인장 하중을 견디는 특성이 발현되어 충격력이 낮게 나타남을 알 수 있다. Figure 4(c)는 UHMWPE 1500D를 100% 사용하여 제작한 직물로 동하중 성능을 측정한 결과 최대 전달 충격력은

4428N이며, 0초에서 0.1초 사이에서 빠른 충격흡수 파장이 나타나며, 0.2초가 되기 전에 충격흡수가 완료되어 인장하중을 견디는 특성을 보이게 된다. 이는 빠르게 충격흡수가 완료되어 안정적인 형태를 유지시켜 주게 된다. 따라서 고강력 PET 보다 P-aramid, UHMWPE의 원사를 적용시킴으로서 인장하중 특성을 안정적으로 유지시켜주는 물성을 확인하였다.

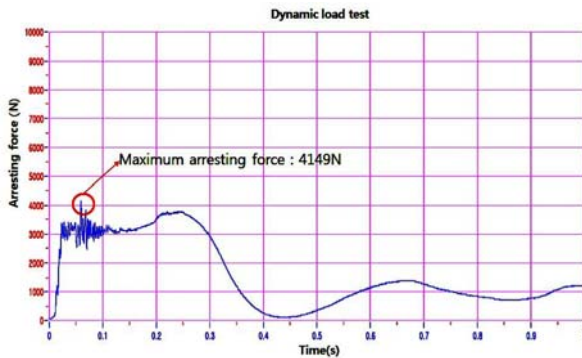
### 3.2 일체형 shock energy absorber lanyard protection tube KCS 정하중 분석

일체형 shock energy absorber lanyard protection tube는 추락 시 가해지는 하중을 지탱하는 역할로 KCS에서 고시하고 있는 22KN 하중에서 1분간 유지하는 방법으로 분석하였다.

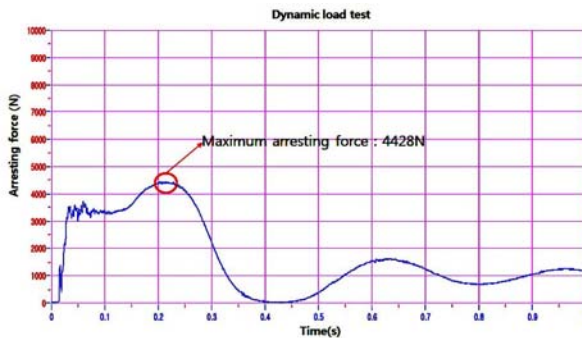
Figure 5에서는 N을 kgf로 환산하여 2250kgf에서



(a)

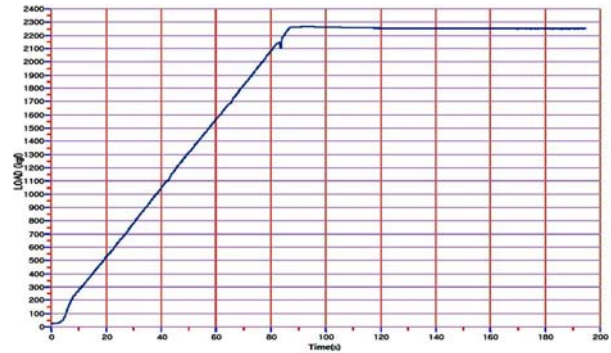


(b)

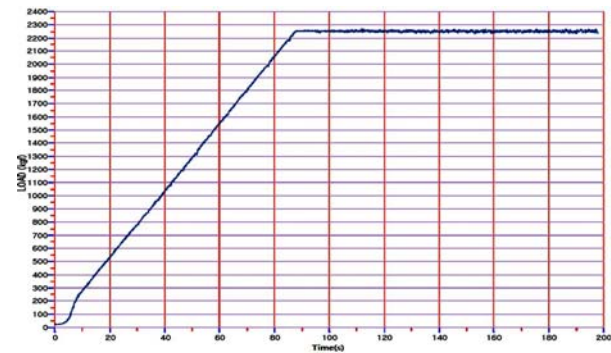


(c)

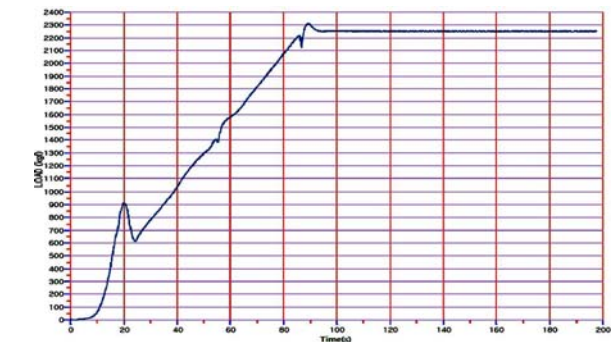
**Figure 4.** The dynamic load test of shock energy absorber (a) High Tenacity PET 100%, (b) P-aramid 1500D 100%, (c) UHMWPE 1500D 100%.



(a)



(b)



(c)

**Figure 5.** The KCS static load test of all-in-one shock energy absorber lanyard protection tube (a) High Tenacity PET 100%, (b) P-aramid 1500D 100%, (c) UHMWPE 1500D 100%.

150초 값으로 설정 하여 측정하였다.

Figure 5(a) 고강력 PET 1000D 100%, (b) P-aramid 1500D 100%, (c) 고강력 UHMWPE 1500D 100% 3 가지 모두다 2250kgf 이상의 하중에서 150초 동안 유지하였으며 성능 및 기능 상실이 없었다. Figure 5(c) UHMWPE 그래프 20s 부위에서 피크가 올라가는 것을 확인 할 수 있다. 이는 UHMWPE 100% 원사로 제작된 tube 직물의 특징중 낮은 마찰 계수의 영향으로 정하중 측정에서 tube를 잡아주는 지그의 슬립현상으로 나타나는 피크이다.

따라서 정하중 측정에서 물성 차이가 없었음을 확인하였다. 고강력 PET, P-aramid, UHMWPE의 고강도 원사를 사용함으로써 안정적인 물성을 유지시켜 주고 있었다.

본 연구에서 사용된 3개의 원사 모두 안전보건공단 고용노동부고시 제 2013-13호 안전대 KCS 규격에 부합하는 물성으로 최종 제품으로 사용할 때 아무런 문제점을 가지지 않음을 알 수 있었다.

### 3.3 일체형 shock energy absorber lanyard protection tube KCS 파열강도 분석

파열 강도 분석은 기계적 물성을 확보하기 위한 방법으로 3000kgf에서 150초 값으로 시험 분석을 실시하였다.

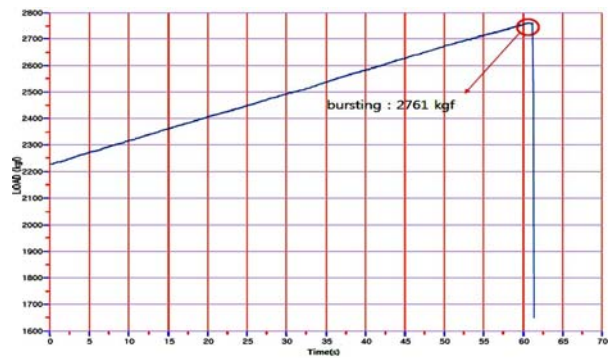
Figure 6(a) 고강력 PET 1000D 100%은 2761kgf에서 파열되었다. 이는 KCS에서 고시하고 있는 2250kgf 이상의 수치로 기계적인 성능을 충분히 확보 할 수 있었다.

또한 Figure 6(b) P-aramid 1500D 100%, Figure 6(c) 고강력 UHMWPE 1500D 100% 원사 모두 3000kgf에서 파열되지 않으며, 150초 동안 유지하고 있었다. Figure 6(b) P-aramid 1500D 100%는 2900kgf 하중에서 내부 파열이 일어난 후 지속적으로 하중을 유지하고 있었으며, Figure 6(c) UHMWPE 1500D 100%에서도 마찬가지로 2750kgf 하중에서 먼저 내부파열이 일어난 후 지속적으로 하중을 유지하는 특성을 확인 할 수 있었다.

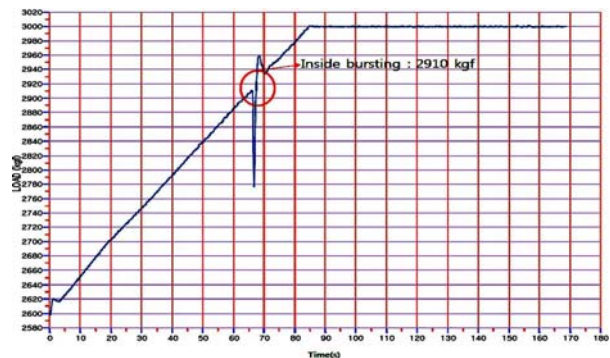
Figure 6(a) 고강력 PET 1000D 100%를 사용하였을 때 보다 Figure 6(b) P-aramid 1500D 100%, Figure 6(c) UHMWPE 1500D 100% 고강도 원사를 활용하였을 때 높은 기계적인 물성을 확보 할 수 있었다. 따라서 산업 전반에 걸쳐 다양한 분야에 응용이 가능함을 알 수 있었다

### 3.4 일체형 shock energy absorber lanyard protection tube CE 정하중 분석

일체형 shock energy absorber lanyard protection tube은 추락 시 가해지는 하중을 지탱하는 역할로 CE(EN355)에서 고시하고 있는 22KN 하중에서 3분간 유지하는 방법으로 분석하였다. Figure 7은 N을 kgf로 환산하여 2250kgf에서 210초 값으로 설정하여 측정하였다. Figure 7(a) 고강력 PET 1000D 100%,



(a)



(b)

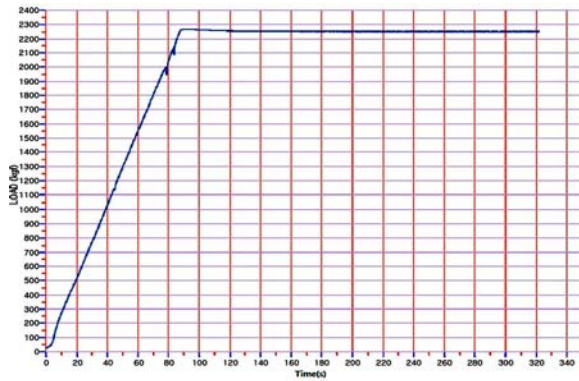


(c)

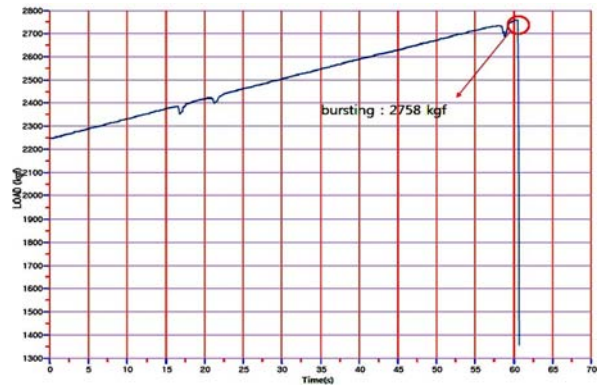
Figure 6. The KCS bursting strength test of all-in-one shock energy absorber lanyard protection tube (a) High Tenacity PET 100%, (b) P-Aramid 1500D 100%, (c) UHMWPE 1500D 100%.

Figure 7(b) P-aramid 1500D 100%, Figure 7(c) 고강력 UHMWPE 1500D 100% 3가지 모두다 2250kgf 이상의 하중에서 210초 동안 유지되었으며 성능 및 기능 상실이 없었다. Figure 7(b)에서 18s 부근, Figure 7(c)에서 20s 부근에서 나타나는 피크는 정하중 측정 중 tube 형태의 세폭 직물을 잡아주는

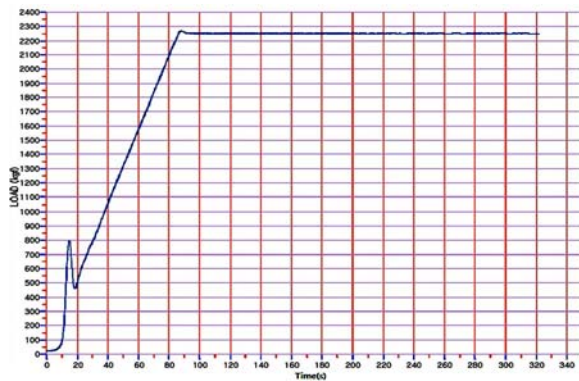
지그 부분에서 나타나는 미끌림 현상이다. 따라서 정하중 물성에 차이가 없었음을 확인하였다. 고강력 PET, P-aramid, UHMWPE의 고강도 원사를 사용함으로써 안정적인 물성을 유지시켜 주고 있었다. 3가지 모두다 유럽연합에서 요구하는 CE(EN 355) 기준에 부합하는 물성으로 최종 제품으로 사용할



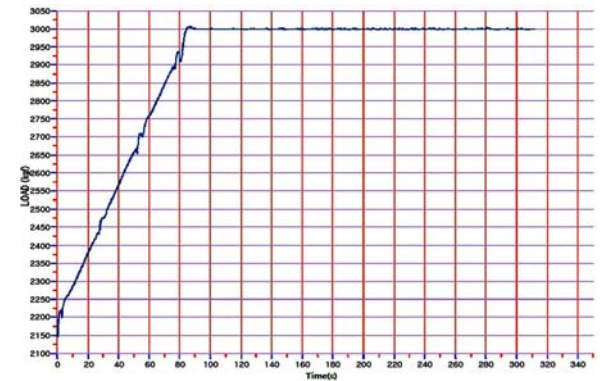
(a)



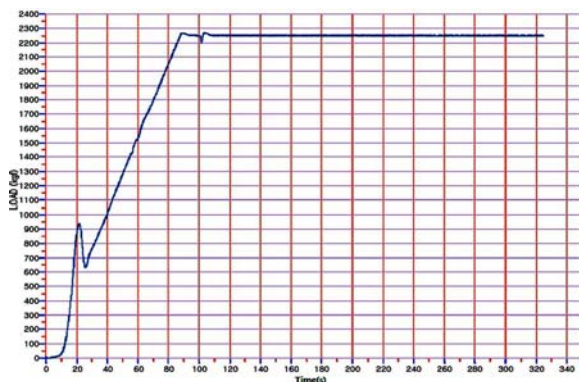
(a)



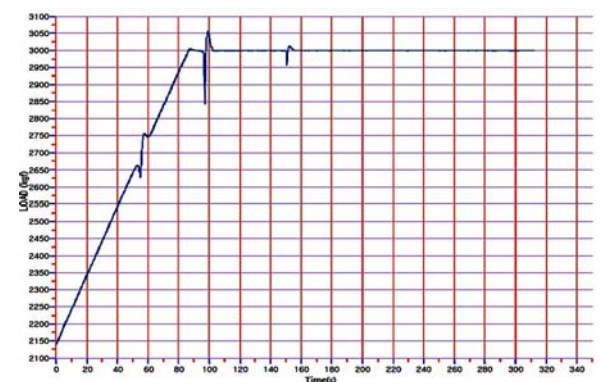
(b)



(b)



(c)



(c)

**Figure 7.** The CE static load test of all-in-one shock energy absorber lanyard protection tube (a) High tenacity PET 100%, (b) P-aramid 1500D 100%, (c) UHMWPE 1500D 100%.

**Figure 8.** The CE bursting strength test of all-in-one shock energy absorber lanyard protection tube (a) High tenacity PET 100%, (b) P-aramid 1500D 100%, (c) UHMWPE 1500D 100%.

때 아무런 문제점을 가지지 않음을 알 수 있었다.

### 3.5 일체형 shock energy absorber lanyard protection tube CE 파열강도 분석

파열 강도 분석은 기계적 물성을 확보하기 위한 방법으로 3000kgf에서 210초 값으로 시험 분석을 실시하였다.

Figure 8(a) 고강력 PET 1000D 100%은 2758kgf에서 파열되었다. 이는 CE 규격에서 고시하고 있는 2250kgf 이상의 수치로 기계적인 성능을 충분히 확보할 수 있었다. 또한 Figure 8(b) P-aramid 1500D 100%, Figure 8(c) UHMWPE 1500D 100% 시험은 3000kgf에서 파열되지 않으며, 210초 동안 유지되고 있었다. Figure 8(b) P-aramid 1500D 100%는 직물내부 파열이 없었으며, 그대로 하중을 지속적으로 유지하고 있음을 알 수 있었고, Figure 8(c) UHMWPE 1500D 100%는 2650kgf, 3000kgf 하중에서 몇 가닥 정도의 내부파열이 일어난 후 파열되지 않은 직물 부위에서 지속적으로 하중을 유지하는 특성을 확인 할 수 있었다. Figure 8(a) 고강력 PET 1000D 100%를 사용하였을 때 보다 Figure 8(b) P-aramid 1500D 100% 및 Figure 8(c) UHMWPE 1500D 100% 고강도 원사를 활용하였을 때 높은 기계적인 물성을 확보 할 수 있었다. 따라서 산업적인 전반에 걸쳐 다양한 분야에도 응용이 가능함을 알 수 있었다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 일체형 shock energy absorber lanyard protection tube를 제조하고 고강력 PET 1000D, P-aramid 1500D, UHMWPE 1500D를 사용하여 안전보건공단 고용노동부고시 제 2013-13호 안전대 KCS 규격에 의하여 동하중 및 정하중을 측정 하였으며, 기계적인 물성을 확보하기 위해서 파열 강도도 분석하였다. 또한 유럽연합 CE(EN355 : 유럽연합규격) 규격으로 정하중 및 파열강도를 측정 하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. KCS 규격에서 요구하는 6000N 이하의 성능은 모두 확보 하였으며, KCS 및 CE 규격에서 요구하는 정하중도 기준치 이상의 물성을 확보하였다.

1. 일체형 shock energy absorber lanyard 제작시 충격흡수 장치는 기존의 제품을 그대로 사용하였고, 고강력 PET 1000D, P-aramid 1500D, UHMWPE

1500D 원사로 제작한 tube를 사용하여 동하중을 측정한 결과 최대 전달 충격력은 6000N 이하의 값을 얻을 수 있었다. 또한 고강력 PET 1000D를 100% 사용하였을 때의 최대 전달 충격력인 5054N 보다 P-aramid 및 UHMWPE를 선택적으로 사용한 결과 각각 4149N, 4428N의 우수한 충격 흡수 값을 확보 할 수 있었다. 일체형 shock energy absorber lanyard protection tube에 고강도 원사를 사용하였을 때 인장 하중을 견디는 특성이 발휘되어 충격이 낮게 나타남을 알 수 있었다.

2. KCS 규격에서 요구하는 정하중 측정 결과 일체형 shock energy absorber lanyard protection tube에 고강력 PET 1000D, P-aramid 1500D, UHMWPE 1500D를 사용하였을 때 3개의 원사 모두 2250kgf 이상의 하중에서 150초 동안 성능을 유지하였으며, 기능상실이 없음을 알 수 있었다.
3. 기계적 물성을 확보하기 위하여 파열 강도를 측정하기 위해 3000kgf에서 150초 동안 측정한 결과 일체형 shock energy absorber lanyard protection tube에 고강력 PET 1000D를 사용하였을 때 2761kgf에서 파열 하였으며, P-aramid 1500D, UHMWPE 1500D를 사용하였을 때는 3000kgf 이상의 하중에서 150초 동안 유지하였으며, 성능 및 기능상실이 없음을 알 수 있었다.
4. CE 규격에서 요구하는 정하중 시험방법으로 측정한 결과 일체형 shock energy absorber lanyard protection tube에 고강력 PET 1000D, P-aramid 1500D, UHMWPE 1500D를 사용하였을 때 3개의 원사 모두 2250kgf 이상의 하중에서 210초 동안 성능을 유지하였으며, 기능상실이 없음을 알 수 있었다.
5. 기계적 물성을 확보하기 위하여 파열 강도를 측정하기 위해 3000kgf에서 210초 동안 측정한 결과 일체형 shock energy absorber lanyard protection tube에 고강력 PET 1000D를 사용하였을 때 2758kgf에서 파열 하였으며, P-aramid 1500D, UHMWPE 1500D를 사용하였을 때는 3000kgf 이상의 하중에서 210초 동안 유지하였으며, 성능 및 기능상실이 없음을 알 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 2013년 글로벌전문기술개발사업(10044523)

의 지원으로 수행된 연구결과입니다.

### References

1. 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).
2. C. A. Janicak, Fall-related Deaths in the Construction Industry, *J. of Safety Research*, **29**(1), 35(1998).
3. A. Suruda, D. Fosbroke, and R. Braddee, Fatal Work-related Falls from Roofs, *J. of Safety Research*, **26**(1), 1(1995).
4. H. Tanaka and T. Russell, US Pat. 7677360B2(2010).
5. T. Russell, US Pat. 8316988B2(2012).
6. S. W. Kim, Korea Pat. 20-0354542(2004).
7. P. Kines, Construction Workers Falls through Roofs: Fatal Versus Serious Injuries, *J. of Safety Research*, **33**(2), 195(2002).
8. 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).
9. 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).
10. J. M. Yoon, A Study on Development of Safety Rope using Wire Rope at the Construction Site, M.S. Thesis, Kyonggi University, 2012.
11. 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).
12. K. Baszczynski, Dynamic Strength Tests for Low Elongation Lanyards, *International J. of Occupational Safety and Ergonomics*, **13**(1), 307(2007).
13. 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).
14. H. S. Bae, The Mechanical Properties for Working Clothes Materials Considering Industrial Settings, *Textile Coloration and Finishing(J. of Korea Soc. Dyers and Finishers)*, **25**(2), 140(2013).
15. S. M. Park, I. J. Kwon, M. S. Kim, S. S. Kim, J. Y. Choi, and J. H. Yeum, Surface Modification Effect and Mechanical Property of para-aramid Fiber by Low-Temperature Plasma Treatment, *Textile Coloration and Finishing(J. of Korea Soc. Dyers and Finishers)*, **24**(2), 131(2012).