

착용형 에어백의 충격력 시험 방법개발 및 평가

박진오¹, 김영진^{2*}

¹한국건설생활환경시험연구원, ²아주대학교 전자공학과

Development and Evaluation of an Impulsive Force Test Method for Wearable Airbags

Jin-O Park¹, Young-Jin Kim^{2*}

¹Korea Conformity Laboratories

²Department of Electrical and Computer Engineering, Ajou University

요약 4차 산업혁명의 시대에서도 여전히 산업 재해 예방은 산업 현장에서 중요한 문제이다. 그런데, 산업 안전의 문제를 해결하는 과정에서 개발된 제품이 신뢰성 있는 성능평가에 대한 기준이나 방법의 부재로 시장 출시에 대한 어려움이 큰 상황이다. 본 연구의 목적은 산업 현장에서 추락 사고에 대응하기 위해 새롭게 개발된 추락 인체 보호용 착용형 에어백 제품에 대한 시험 방법개발 및 평가이다. 연구 방법으로는 기존에 없는 융합 신제품 평가개발 process 4단계(1단계: 제품검토, 2단계: 자료조사, 3단계: 전문가 회의, 4단계: 평가기준도출)를 통해 신뢰성 있는 평가 기준을 개발하고 적용하였다. 또한 개발된 평가 기준에 따라 추락 인체 보호용 착용형 에어백 소재에 대한 충격력을 평가하였다. 평가로 얻어진 추락 충격력은 기존 충격력 대비 96% 정도의 감소 효과를 나타내어 에어백 적용 시 추락 충격력이 현저히 줄어들 수 있었다. 이를 통해 융합 신제품이 시장 출시를 할 수 있도록 하였으며, 산업 현장 근로자가 안전하게 작업할 수 있는 환경을 조성하게 될 것으로 보인다.

Abstract Even in the era of the 4th industrial revolution, the prevention of industrial accidents is still an important issue in industrial sites. In solving the problem of industrial safety, a product can be difficult to market if there is a lack of standard or method for a reliable performance evaluation. The purpose of this study was to develop and evaluate a test method for a wearable airbag product for protecting the body from falls that was newly developed to respond to fall accidents in industrial sites. As a research method, reliable evaluation standards were developed and applied through four stages of the evaluation and development process (Step 1: Product review, Step 2: Data research, Step 3: Expert meeting, Step 4: Drawing evaluation standard). In addition, the impact force was evaluated according to the developed evaluation standard. The fall impact force obtained through the evaluation showed a reduction effect of approximately 96% compared to the existing impact force. Therefore, the fall impact force was reduced significantly when the airbag was applied. This will enable new convergence products to be launched on the market and produce an environment where industrial workers can work safely.

Keywords : Industry 4.0, New Convergence Product, Wearable Airbag Product, Test Method Development Process, Fall Impact Force

본 논문은 2020년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술평가위원회의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.20006383, 고소작업 추락전도 재해 시의 고충격에 대응 가능한 리페어러블 에어쿠션 소재와 위험상황 감지센서 기술이 적용된 IoT 기반 긴급구난 인체 착용형 보호제품 개발)

*Corresponding Author : Young-Jin Kim(Ajou Univ.)

email: youngkim@ajou.ac.kr

Received December 16, 2020

Revised January 18, 2021

Accepted March 5, 2021

Published March 31, 2021

1. 서론

4차 산업혁명(인더스트리 4.0)의 커다란 변화의 물결이 우리의 삶 속에 빠른 속도로 다가오면서 급변하는 세계 속에서 눈부신 산업발전과 더불어 다양한 융복합 신제품이 시장에 출시되고 있다. 이러한 4차 산업혁명 기술이 적용된 제품들이 기존에 목숨을 걸고 진행해야 할 일들을 대체하여, 더욱더 효율적이고 신속하게 인명을 구하고, 위험을 통제하며, 효율적으로 산업재해를 해결해 나갈 것으로 예상된다.

착용형 에어백은 산업 재해율이 여전히 높은 우리나라(건설업 사망자 485명 중 376명이 추락 사망)에서 필요한 4차 산업 융합제품으로 건설산업 환경 또는 고소 작업이 필요한 현장에서 그 빛을 발할 예정이다. 착용형 에어백을 착용한 근로자는 예기치 않은 추락 상황을 마주하였을 때, 제품에 장착된 센서와 추락알고리즘을 통하여 추락을 인지하고, 내부 inflater를 작동시켜 에어백을 부풀려 인체를 보호하는 제품이다. 하지만 시장 출시를 위해서는 착용형 에어백을 사용하였을 때 추락 충격력의 감소 정도를 확인하여야 하나, 시험 방법이 없어 시장 출시에 어려움을 겪고 있다.

이에 본 연구에서는 4차 산업 융합 신제품과 같이 기존에 존재하지 않던 추락 충격 제품에 대한 시험 방법을 개발하는 것에 큰 의미가 있으며, 국내의 충격 시험 관련 시험평가 방법들을 토대로 보호복과 에어백의 융복합 성격을 지닌 제품을 평가할 수 있는 시험 방법개발을 진행하며, 개발한 평가 방법에 따른 제품의 신뢰성 평가를 통해 시장진출을 할 수 있는 데이터를 확보하는 것을 연구의 주목적으로 하였다.

2. 배경 및 연구 동기

산재 예방은 지난 세기 동안 눈부신 과학발전에 힘입어 하드웨어적 신뢰성을 향상해 기계류의 결합과 같은 기술적 오류로부터 산재감소에 이바지했지만, 인적 오류로부터 나타나는 사고는 증가하고 있다(Fig. 1).

IBM의 「Global Technology Outlook 2014」에서는 사물인터넷 산업을 IoT 1.0(기기 연결 단계), IoT 2.0(인프라 구축 단계), IoT 3.0(산업별 혁신 솔루션 개발 단계)으로 구분하고 단계별로 중요한 주제를 소개하였다(Fig. 2).

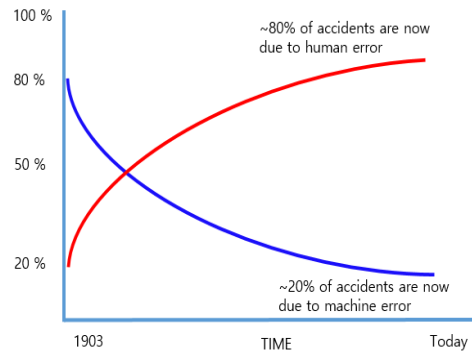


Fig. 1. Changes in the proportion of causes of accidents according to the times[1]



Fig. 2. IoT development stage[2]

IoT 기술의 발전과 산업 안전 패러다임 변화도 4차 산업 시대가 도래하면서 크게 변화하고 있다. 산업 안전의 패러다임 변화와 IoT 기술의 발전으로 대응 및 복구에 초점을 맞췄던 산업재해 활동이 데이터에 기반을 둔 재난 관리 체계 수립이 요구되고 있으며, 재난 관리 활동은 크게 예방, 대비, 대응, 복구로 나눌 수 있는데 이 중 재난 발생 요인을 사전에 제거하고 억제하는 '예방' 활동이 재난 피해를 막기 위해 가장 핵심적이라 하겠다.

이러한 세계시장의 여건 속에서 우리나라 산업재해 현황을 살펴보면, 우리나라 산업 현장은 한 해 9만여 명의 재해자가 발생하고, 이 가운데 2,000여 명 가까이 사망하고 있다[3]. 1964년부터 2014년까지 재해를 입은 근로자 수는 440만 명 이상, 사망자는 8만 5,000명 이상으로 파악된다. 우리나라 산재율은 OECD 평균(2.6명)보다도 약 세 배나 높은 수준으로 2012년 기준 재해율 1위 국가에 해당하는데, 기업들의 산재율에 대한 제재, 불이익 정책 때문에 공식 통계에 잡히지 않는 재해까지 고려한다면 훨씬 많이 발생하고 있을 것이다. 우리나라 산업재해 손실 비용을 추산해 보면 2003년부터 2012년까지

직접손실액은 연간 2조~3조 원에 이르고 간접손실액을 포함한 경제적 손실액 추정치는 2012년 19조 2,000억 원에 이를 만큼 막대한 금액이다. 이렇게 산업 안전의 패러다임 변화에도 실질적인 산재율은 많이 변화하지 않고 있음을 알 수 있다.

문재인 대통령은 올 2019년 1월 신년사에서 자살, 교통, 산재 사망자 수를 2022년까지 절반으로 줄이겠다는 국민생명 지키기 3대 프로젝트를 국정 의제로 발표했다. 2017년부터 고용노동부는 중대 산업재해 예방대책(2017.8.17)을 통해 산업 안전 패러다임의 전환을 통해 사망 재해를 감소시키는 다섯 가지 방안을 발표하고 산업재해를 줄이려 하고 있다(Fig. 3).

《 산업안전 패러다임 전환 》

	현재	개선
책임주체	• 사업주 중심	• 원청, 발주자 등 책임 강화
보호대상	• 근로자	• 특수형태 근로 종사자 등 포함
보호범위	• 신체건강 보호	• 정신건강까지 보호
사고조사	• 수사, 처벌	• 조사, 구조개선까지 유도
안전보건관리	• 외부위탁	• 정규직 직접 수행

Fig. 3. Ministry of Employment and Labor prevention of major industrial accidents[4]

이처럼 정부가 직접 개입하여 산업 안전의 문제를 해결하려는 상황에서 착용형 에어백과 같은 융합 신제품이 성능평가를 하지 못해 시장 출시에 어려움을 겪고 있다. 이런 현실에서 연구를 통해 신뢰성 있는 시험 방법개발과 평가를 진행하여 시장진출의 돌파구를 마련해 보았다.

3. 착용형 에어백의 시험 방법개발

산업 현장에서 추락 재해 발생 시 충격으로부터 인체를 보호할 수 있는 착용형 에어백 제품은 아직 신제품에 속하기 때문에 시장에서의 인식이 적은 상태이지만, 조금씩 관련 업체에 의해 개발되고 있다(Fig. 4). 이러한 제품의 시장진출 배경은 산업 현장의 사고가 끊임없이 지속해서 발생하고 있으며, 사망사고 또한 줄지 않고 있기 때문이라 할 수 있겠다.

이러한 끊임없는 사고를 줄이기 위해서는 새로이 개발된 착용형 에어백의 시험 방법을 개발하고 그에 따른 충격력평가를 통해 착용형 에어백의 추락 충격력 감소 효과를 확인할 필요성이 있으며, 이를 통해 시장 출시가 가능하도록 하여 더욱 안전한 환경에서 근로자가 일할 수 있도록 제품이 개발되어야 한다.

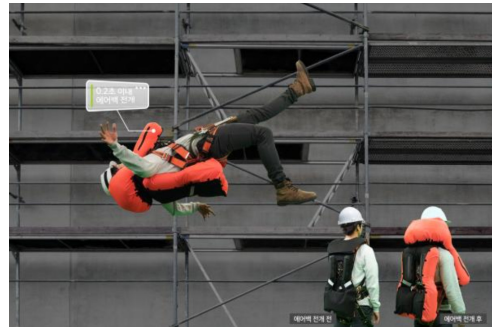


Fig. 4. Smart airbag harness[5]

착용형 에어백 충격력 시험 방법개발을 위해서는 첫째로 산업 안전 시장 조사 및 유사 제품에 대한 시장 조사를 진행한다. 제품의 융합적 성격을 파악해 보면 유사 제품으로 자동차에 장착되는 에어백이 유사한 알고리즘을 사용하고 있다고 생각하며, 에어백의 인체 보호 효과는 미 연방고속도로 교통안전국(National Highway Traffic Safety Administration) 자료를 통해 1987년부터 2010년까지 정면 에어백 덕분에 약 32,500명 정도가 목숨을 건진 것으로 확인할 수 있었다. 더불어 머리 부위를 보호하는 측면 에어백은 운전자 사망률을 37% 낮추며, SUV 운전자의 사망률은 52% 감소시키는 것으로 보고되었다. 이처럼 차 사고 시 에어백은 인명보호에 큰 효과를 준다고 할 수 있겠다[6].

산업 현장에서 가장 유사하게 사용되는 안전대가 있는데 이는 추락사고에 대응하기 위한 제품으로 산업 안전 보건인증원의 인증을 통해 시장 출시를 하고 있으며 약 24개 기업이 국내에 있는 것으로 조사되었다. 이러한 추락사고에 대한 기존 인증이 있으나 사망사고가 끊이지 않는 이유는 작업자가 작업 중 안전고리를 결속하고 푸는 행위를 반복적으로 하여야 하나 작업의 효율성을 높이고자 안전고리를 결속하지 않고 작업을 진행하다 추락사고로 이어지는 경우가 많은 것으로 확인된다.

둘째로 착용형 에어백 기술 동향, 관련 산업 표준현황 및 유사 국내외 표준조사를 통해 추락 충격에 대한 전반의 평가 기준을 파악할 필요가 있다. 이를 위해 착용형 에어백의 국내외 표준현황(KS, KC, ISO, EN, CE 등)을 확인하고, 산업안전보건법 등 관련 법규를 조사하여 시험평가 제반 데이터 확보 및 성능시험 평가 방법을 조사한다(Fig. 5). 이렇게 조사된 자료를 착용형 에어백 시험 항목 데이터 Pool 구축하여, 추락 충격 제품과 관련된 유사 표준, 관련 논문 등 조사 결과 분석 및 착용형 에어백 시험평가 방법을 자료화시킨다.



Fig. 5. Study of test methods related to fall impact

셋째로 착용형 에어백 개발업체 및 전문가들과의 회의를 통해 평가 방법을 논의한다. 신뢰성 있는 평가 방법을 개발하기 위해서는 제조자의 개발 핵심기술과 그에 따른 평가 방법이 가능할지에 대하여 심도 있게 협의가 이루어져야 하며, 추락 & 충격 분야의 전문가 협의회를 구성하여 전문가들의 조언을 통해 개발하고자 하는 방법에 대하여 검증함으로써 기준 개발을 위한 준비를 진행한다.

마지막으로 이러한 사전단계를 거쳐서 추락 충격력 평가를 위한 평가 방법개발을 구체화하고 그 방법을 기술하여 평가를 위한 기준안을 만든다. 이렇게 만들어진 기준은 기준개발 process를 통하여 1) 제품검토, 2) 자료조사, 3) 전문가 협의, 4) 평가 기준 도출의 순으로 단계를 거쳐 신뢰성 있는 기준으로 개발되어 진다고 판단된다(Fig. 6). 이러한 기준개발 process는 평가 기준이 아직 마련되어 있지 않은 다양한 4차 산업(Industry 4.0) 융합 신제품 기준 개발에 적용할 수 있다.

■ 융합 신제품 평가기준 개발 process 4 steps



Fig. 6. Convergence new product standard development process 4 steps

4. 착용형 에어백의 충격력 시험 평가

개발 소재에 대한 추락 충격 시험을 위하여 추락 충격 평가 장비를 구축하였고, 1.5 m 추락 충격이 가능한 충격 장비를 통해 소재평가를 진행하였다. 추락 충격보호복의 개발을 위해 소재 단에서의 성능이 중요한 요소로 작용하기 때문에 소재에서 충격력을 평가하였다.

충격량에 관한 기준 근거를 마련하기 위하여 EN 1621-2:2014(Motorcyclists' back protectors)를 참고하였으며 충격량 (50±1.5) J를 구현하기 위하여, 5 kg 낙하 추와 1 m 높이로 시험을 진행하였다[7]. EN 1621-2:2014 기준에서 제시하는 충격량은 추락하는 추의 충격력 값이 9 kN 보다 적어야 기준에 적합하다고 판단한다.

$$50 \text{ J} = 50 \text{ N} \cdot \text{m} = 50 * 1/9.807 \text{ kgf} \cdot \text{m} = 5.099 \text{ kgf} \cdot 1 \text{ m}$$

추락 충격 소재평가를 위한 장비는 3개의 Load Cell을 하부 원형 금속 Plate 하단에 설치하여 충격력을 평가하며 Load Cell들의 평균값으로 모니터링이 가능하다. 그 위에 하부 지그(타원형 모양) 위에 시험하고자 하는 시료를 올려놓고 평가를 진행한다. 추락 충격력(N)을 가하는 지그의 경우 5 kg으로 만들어져 있으며, 시험을 위한 높이 1 m까지 리모컨을 통해 올릴 수 있는 구조로 구성되어(Fig. 7).

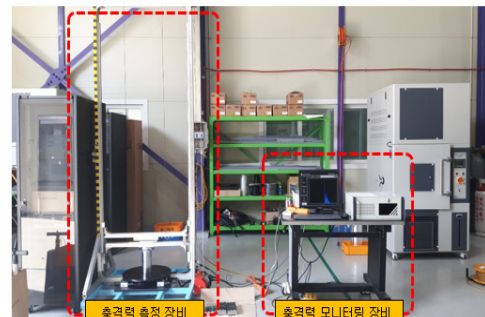


Fig. 7. Study of test methods related to fall impact

시험을 위해 사용되는 비교 소재는 TPU 소재와 고강력 섬유들(고강력 Nylon 66, 고강력 PET)과의 비교시험으로 나누어진다. TPU 소재는 고 신축성에 탄력이 있어 높은 충격 흡수 능력을 보유하고 있으나 소재의 특성상 평평하지 않고 날카로운 물체의 충격으로 인한 구멍 발생 시 충격량 감소 효과를 볼 수 없으므로 고강력 소재를 이용하여 코팅을 통해 일체화함으로써 TPU 사용에 따른 문제를 해결하는 방법을 선택하였다.

추락 충격 시험에 사용할 소재로는 TPU 소재와 고강력 Nylon 66, 고강력 PET 충격 소재를 선정하였으며, 추락 충격보호복의 소재 강화를 위해 고강력 Nylon 66, 고강력 PET 코팅 개발을 진행한 소재의 충격력을 평가하였다.

고강력 소재는 직물 형태로 구성하였으며, 재직을 통해 구성된 원단은 날카로운 외부 충격에 견딜 수 있는 형

태를 가진다. TPU는 1.0 mm Thickness, 고강력 Nylon 66의 경우 평직, 경사 본 수 2900본, 밀도 46×46본/in으로 구성하였으며, 고강력 PET의 경우 평직, 경사 본 수 2900본, 밀도 46×46본/in으로 구성하였다.

소재별 인장강도(ISO 13934-1에 준함)를 비교해보면 TPU가 1200 N/50mm, 고강력 Nylon 66가 3200 N/50mm, 고강력 PET가 2900 N/50mm으로 나타났다 [8]. 강도 면에서 봤을 때 TPU보다 약 3배 정도 높은 강도를 가진 소재를 선택하였다.

내평처(Puncture resistance) 성능을 강화하기 위하여 고강력 소재 원단에 코팅을 커버하여 내구성을 증가시켰으며, 원단의 단면을 SEM 촬영하여 코팅 도포량, 코팅층의 형상, 코팅층과 원단과의 접착 상태 등에 관한 결과를 분석하였다. 코팅 폴리머가 원단 표면에 균일하게 도포되어 원단과 치밀하게 접착된 것을 확인하였으며, 시험을 위해 잘 접착된 것을 볼 수 있었다(Fig. 8).

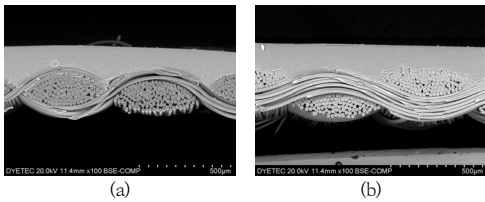


Fig. 8. SEM photo of fabric cross section of coated sample
(a) High strength Nylon 66 (b) High strength PET

시험을 위한 시료는 접착 부위를 고주파 접합을 통해 쿠션을 제조하였다. 고주파 접합이란, 높은 주파수의 전류를 용접대상물에 흘려서 이때 발생하는 열로 접착시키는 방법으로 제작하고자 하는 패턴이 결정되면 에어쿠션의 제작 속도가 빠른 장점이 있다.

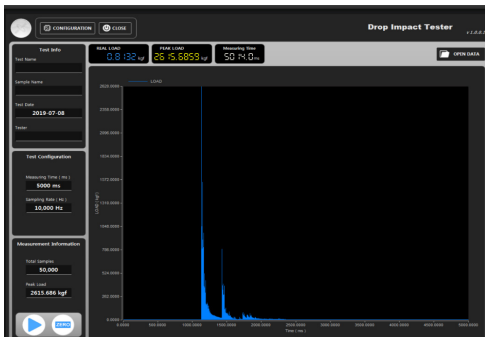


Fig. 9. Fall impact test(Initial impact force)

추락 충격 시험기를 통해 5 kg, 1 m의 추락 충격력(초기값, Initial)을 산출하기 위하여 에어백 없이 추락 시험을 진행한 결과 2615.686 kgf의 충격력이 발생한 것을 확인하였다(Fig. 9).

추락 충격에 사용되는 소재의 시험은 TPU 소재, 고강력 Nylon 66급 소재, 고강력 PET급 충격 소재 순으로 충격력을 평가하였다(Fig. 10).

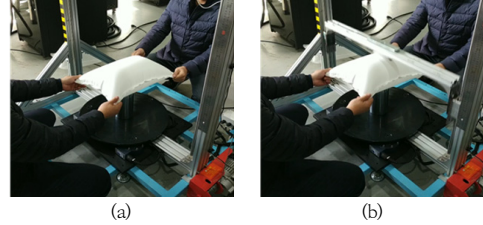


Fig. 10. 1 m fall impact test
(a) Before test (b) After test with fall impact

시험 data는 kgf로 확인할 수 있으며, kN으로 단위 환산을 통해 내용을 기술하였다.

Table 1. Fall impact test result

Material	Unit	Test result					mean
		0.77	0.76	0.78	0.76	0.75	
TPU	kN	0.77	0.76	0.78	0.76	0.75	0.8
Nylon 66		0.99	1.02	1.05	1.07	1.07	1.0
PET		1.12	1.15	1.13	1.09	1.09	1.1

기존 아무것도 없이 시험한 결과(초기값, Initial)는 2615.9 kgf로 25.6 kN의 충격력을 보였다. 기존 TPU 소재에 대한 시험평가는 0.8 kN으로 나왔으며, 개발 원단 Nylon 66와 PET의 경우도 1.0 kN, 1.1 kN으로 확인되었다.

Table 2. Impact reduction rate

Material	Test result	
	mean(kN)	Impact reduction rate(%)
Initial	25.6	-
TPU	0.8	96.9
Nylon 66	1.0	96.1
PET	1.1	95.7

충격력은 초기값(Initial) 대비 TPU 소재가 3.1% 정도로 96.9% 감소하였다. Nylon 66 소재의 경우 3.9%

정도이며 96.1% 감소하였고, PET 소재의 경우 4.3% 정도이며 95.7% 감소 효과를 보였다.

5. 결론

본 연구는 산업 현장에서 추락 재해 발생 시 충격으로부터 인체를 보호할 수 있는 기존에 없던 추락 충격보호복에 필요한 소재의 평가 방법을 개발하고 그에 따른 평가를 통해 얼마나 충격력이 감소하는지를 확인하는 연구이다.

본 연구를 통해 4차 산업 시대에 출시되는 융합 신제품을 위한 평가 기준개발 process를 운용하여 신뢰성 있는 기준안을 도출하였다.

그리고 도출된 기준안으로 측정된 추락 충격력은 TPU, 고강도 Nylon 66 또는 고강도 PET 소재의 에어백을 사용할 경우 초기값(Initial) 대비 약 96%의 충격 감소율을 나타내었다.

본 연구에서 제안하는 4차 산업 융합 신제품의 시험 방법개발 및 평가를 통하여 추락 충격 보호복 제품에 적합한 최적의 소재를 찾아 적용한다면 산업 현장 추락 사망사고를 예방하고 현장 작업자의 소중한 생명을 지켜줄 것으로 예상된다.

References

- [1] H. y. Park, H. H. Ahn, J. G. Won, K. D. Park, H. C. Lee, A Study on the Development of Models and Standards for Safety and Health Culture Certification, Survey, Korea Occupational Safety and Health Agency Industrial Safety and Health Research Institute, Republic of Korea, pp.17
- [2] Big Data, Cloud and IoT, IoT 3.0, IBM, 2014, c2014 [cited 2014 Aug 31], Available From: <http://klabcamss.blogspot.com/2014/08/iot-30.html> (accessed Jul. 17, 2020)
- [3] e Korea Economy, Industrial Accidents and Loss Costs, Construction Economy, c2015 [cited 2015 Jan 13], Available From: http://m.cnews.co.kr/m_home/view.jsp?idxno=201501121633330610756 (accessed Jul. 20, 2020)
- [4] Joint Ministry, Measures to prevent major industrial accidents, Press release, Ministry of Employment and Labor, Republic of Korea, pp.1-4
- [5] Smartcity Solution Market, Smart safety bag (wearing air bag), c2019 [cited 2019 Sep 18], Available From:

http://smartcitysolutionmarket.com/scsm/slutn/slutnVjew.do?menuNo=6&typeId=TYP006&styCode=F0011&lutnId=SLUTN_0000000000329 (accessed Aug. 20, 2020)

- [6] Consumer Safety Bureau Life Safety Team, Car Airbag Safety, Survey, Korea Consumer Agency, Republic of Korea, pp.1-2
- [7] BS EN 1621-2:2014 Motorcyclists' protective clothing against mechanical impact, Part 2: Motorcyclists' back protectors - Requirements and test methods
- [8] ISO 13494-1:2013 Textiles -- Tensile properties of fabrics -- Part 1: Determination of maximum force and elongation at maximum force using the strip method

박진오(Jin-O Park)

[정회원]



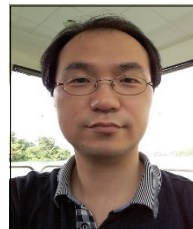
- 2021년 2월 : 아주대학교 IT융합대학원 (전자공학석사)
- 2005년 5월 ~ 현재 : KCL(한국건설생활환경시험연구원) 책임연구원
- 한국산업기술평가관리원 산업기술혁신평가단 평가위원
- 중소기업기술정보진흥원 중소기업기술개발 지원사업 평가위원

<관심분야>

IT융합, Living Lab, 융합신제품 평가방법 개발, 융합신제품 평가, 기술 컨설팅

김영진(Young-Jin Kim)

[정회원]



- 2008년 2월 : 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 (공학박사)
- 1999년 10월 ~ 2003년 1월 : 한국전자통신연구원 연구원
- 2008년 3월 ~ 2011년 8월 : 선문대학교 컴퓨터공학과 교수
- 2011년 9월 ~ 현재 : 아주대학교 전자공학과 교수

<관심분야>

IT융합, 임베디드 시스템 및 소프트웨어, 성능 평가 및 최적화, 저전력 기술