

한국전력 방염복의 품질향상에 관한 연구

유호근*, 김우성*, 이재영*, 조계철*, 안철경*, 최명호*, 고영아**
한국전력공사*, (유)듀폰**

The Study for KEPCO Flame-resistance Garment's current quality performance and future upgrade

Yoo Ho-Keun*, Choi Myeong-ho*, Kim Woo-Sung*, Lee Jae-young*, Cho Kye-cheol*, An Chul Kyung*,
Ko Young-ah**, KEPCO*, Dupont(korea) Inc.**

Abstract 우리나라 방염 작업복의 역사는 매우 짧다. 외국의 선진 사례에 비교하여 전기아크에 대한 보호구 기준 및 제도가 미비한 현실에서 한전이 국내 최초로 방염 작업복을 전 직원에게 도입하면서 난연성 작업복의 중요도와 개인 안전에 대한 인식이 새롭게 자리매기고 있다. 한전 방염 작업복의 현주소는 한국을 대표할 뿐만 아니라 세계적 수준에 도달하였으나, 몇가지 풀어야 할 과제를 안고 있다. 디자인을 좀 더 발전시켜 시대적 흐름에 부합하는 좀더 기능적이고도 세련된 작업복의 구현이 그것이다. 이를 위한 원단 및 디자인 개발을 위한 다양한 시도는 앞으로도 꾸준히 계속될 것이다.

1. 서 론

우리나라의 방염 작업복의 역사는 매우 짧다. 외국의 선진 사례에 비교하여 전기아크에 대한 보호구 기준 및 제도가 미비한 한국의 현실에서 한전이 국내 최초로 방염 작업복을 전 직원에게 도입하면서 방염 작업복의 중요도와 개인 안전에 대한 인식이 새롭게 자리매기고 있다. 단순 작업복에서 방염 작업복으로의 전환은 전기아크의 위험에 항상 노출된 환경에서 작업하는 모든 근로자들의 생명을 지키는 중요한 전환점이 되었으며, 한전이 지난 5년간 방염 작업복의 성능 및 디자인에 대한 각고의 노력으로 근로자들의 안전 및 작업성을 동시에 구현하는 방염 작업복으로 거듭 발전하여 왔다. 소재는 듀폰사의 노멕스(R) 아라미드 섬유를 사용하여 영구적이고 우수한 방염 성능을 갖고 있으며, 다양한 패턴 및 디자인의 변천은 현장에서 작업하는 근로자들의 작업성을 높이는 방법에 주안점을 두었다.

2. 본 론

2.1 아크방전의 물리적 특성

방전이라는 현상은 공기의 절연 파괴에 의해 발생한다. 공기는 보통의 경우, 전기를 통하지 않으나 (절연), 전계(대전물체간의 단위 길이당의 전압)가 30kV/cm (1cm당 3만 볼트의 전압이 가해진 상태)를 초과하면 급격히 절연성이 파괴되어 전기가 잘 통한다는 것은 주지의 사실이다. 이 절연파괴 때에 순간적으로 고온으로 된 공기로 부터 빛이나 소리가 발생된다. 만일 방전이 인체로 향하여 발생되면, 극히 단시간 내에 큰 전류가 체내를 통과하기 때문에 화선 작업 등에서는 사망에 이르게 된다. 이러한 방전현상은 대전물체의 종류, 방전전압 및 전류 등에 따라 코로나방전, 아크방전, 브러시방전, 불꽃방전, 연면방전 등으로 구분한다.

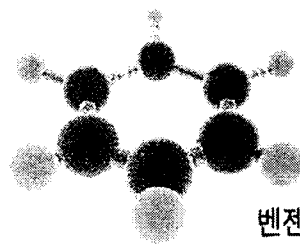
2.2 방염소재의 물성

세상에는 수많은 폴리아미드가 존재하는데, 이 중에는

일상적으로 사용하는 말이 되어버린 소재가 있다. 듀폰 노멕스(R)가 바로 그것으로, 개발된 지는 30년이 넘었지만, 지속적인 제품 개발과 새로운 기술의 적용 결과 듀폰 노멕스(R)는 방염성능이 요구되는 대부분의 특수 응용분야에서 각광을 받으면서 폭넓게 사용되고 있다.

2.2.1 듀폰 노멕스(R)의 화학적 특성

나일론은 완전 합성이 가능하며, 강도가 높고 실용적인 섬유를 생산하기에 적합한 긴 사슬 구조를 갖춘 최초의 성공작이었다. 화학적으로 나일론의 구조는 아라미드 군에 의해 연결된 짧은 지방족의-파라핀과 같은-탄소 사슬을 기초로 한다. 그러한 지방족 고분자의 골격 구조는 강도가 약한데, 이는 원자들이 정렬되어 있지 않기 때문이다. 이 구조는 탄성력이 있는 연결 사슬 주위로 회전 이 가능하고, 결합 각(보통 110°)이 힘을 받으면 부분적으로 직선상에 놓이게 된다. 고분자 사슬은 무질서한 형태로 꼬일 수 있는 구조를 가지며, 실제로 자주 꼬임이 발생한다. 거시적으로는 이러한 고분자는 비교적 저온에서 연화(煙火)되고 녹는다. 화학자들은 "방향족 화합물"이라 불리는 물질의 안전성에 대해 오래전부터 주지하고 있었다. 방향족 물질은 단단한 육각형의 "벤젠 고리" 구조를 기본 골격으로 한다. 이러한 고리에서 튀어나온 가지 모양의 연결구조는 서로 60° 각도를 이루고 있고, 모두 고리의 동일 평면상에 놓여 있다는 것으로 정의 내릴 수 있다.



벤젠고리

(그림2.1 벤젠고리 화학적 구조)

이러한 고리 구조의 결합은 앞에서 말한 지방족 물질의 경우에 비해 훨씬 더 강한데, 이는 구조 내의 분자들이 서로 전자를 공유하고 있기 때문이다. 만일 이러한 방향족 고리들을 아미드 연결 사슬로 결속시킬 경우에는 전형적인 기존의 지방족 폴리아미드인 나일론과 완전히 다른 방향족 아미드 사슬 구조를 얻을 수 있는 데, 이 새로운 물질은 각 협회에 의해 공식적으로 인정되었으며, 듀폰(DuPont)이 명명한 아라미드라는 이름으로 탄생되었다.

2.2 듀폰 노멕스(R)의 물리적 특성

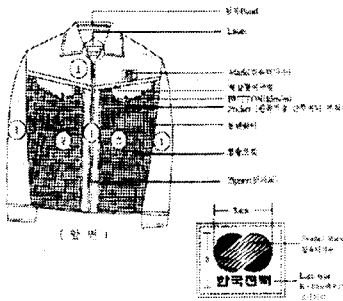
(1)방염 및 내열성 : 듀폰 노멕스(R)의 방염성은 매우 필수적인 특성이다. 섬유 자체의 화학 구조에 방염성이 있기 때문에, 듀폰 노멕스(R)는 타 천연 섬유나 합성 섬유와는 달리 공기 중에서 불에 타지 않고, 녹아 떨어지는 일도 없다. 듀폰 노멕스(R)의 고온 특성은 섬유 특유의 메커니즘에 기인하는 것이다. 듀폰 노멕스(R) 섬유가 강한 열에 노출되면 탄화되어 두꺼워져서 열원과 피부사이에 보호층을 형성하게 된다. 이 보호층은 냉각되기 전까지 부드럽고 유연한 상태로 있어서 착용자가 탈출할 때까지 수초의 시간을 벌여준다.

(2)화학적 안정성 : 매타 아라미드 고분자 구조는 매우 안정적이고 화학적인 충격, 가수 분해, 증기 분해에 대한 내성이 강하다.

2.3 한전의 작업복 역사

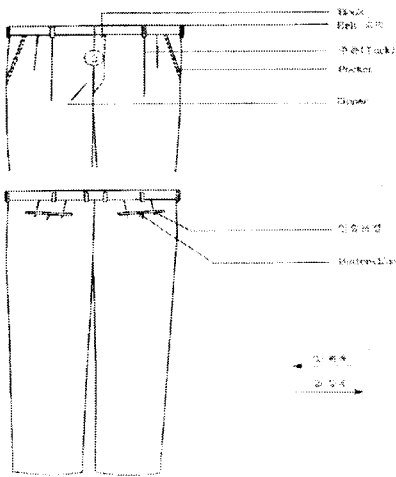
한전의 작업복의 역사는 84년으로 거슬러 올라간다. 최초로 면작업복으로 규격을 만들어 하복/동복 상하의를 지급하였다. 94년에 이르러 작업복의 원단 규격이 바뀌면서 현재의 한전 작업복 디자인이 도입되었다.(그림 2.2) 원단은 Poly 65%/Rayon 35%으로 기존 원단의 땀뻘함이 훨씬 보완되는 새로운 발전이었다.

1. 상 의



(그림 2.2 상의 디자인)

2. 하 의



(그림 2.2 하의 디자인)

방염복에 대한 필요가 부각되면서, 한전에서는 아라미드 계열의 소재가 처음으로 1999년에 도입되었다, 도입

초기에는 상의만 지급되었으며, 하의는 기존의 폴리 혼 방염복이 지급되었다.

2001년에 배전전기원, 송전 전기원 기타 전기 작업 종사자 모두 상하의 방염복으로 바뀌었으며 전 한전 전기 작업 근로자 모두에게 방염복이 지급되었다. 방염 소재는 듀폰 노멕스(R) IIIA 원단으로, 방염성능은 물론 기존 소재보다 부드러워 작업성의 효율도 높아졌다.

2005년에는 동복의 색상이 바뀌면서 소재도 듀폰 노멕스(R) IIIA 100%에서 듀폰 노멕스(R) 65% FR Rayon 35%로 바뀌었다. 기존의 방염 성능을 유지하면서 더욱 부드럽고, 작업복의 외양을 좋게 하기 위한 직원들의 의사를 반영하여, 원단 개발을 한 결과였다.

2006년에는 동복 바지에 기모처리를 함으로써, 겨울철에 방한 기능을 더하여, 더욱 따뜻하면서도 기능은 유지할 수 있는 새로운 제품을 개발하게 되었다.

한전의 방염복 역사는 이제 6년 남짓이나, 매해 근무자들의 의견을 반영하여 새로운 원단 개발을 해 왔으며, 이제는 방염 작업복의 기능성과 작업성의 효율을 높이는 착용감이 우수한 원단으로 끊임없는 정진을 하고 있다.

2.4 한전 방염복 도입의 역사

1998년 전기 작업자를 위한 방염복의 필요성을 인식한 이래 한전은 1999년부터 아라미드 소재의 방염복을 도입하였다. 초기에는 배전 전기원을 대상으로 상의 자켓에 대하여만 방염복을 적용하였으나, 2001년부터 상,하의(자켓 및 바지)를 모두 아라미드 방염소재인 듀폰의 듀폰 노멕스(R) 원단을 사용하여 배전전기원, 송전전기원, 계기담당 배전 업무원으로 지급대상을 확대하였다.

방염복 지급 초기, 특히 무더운 여름에는 보호성능에도 불구하고 작업자들이 더위와 불편함을 이유로 작업복을 착용하지 않는 사례가 발생하였으나, 한전에서는 지속적인 교육, 홍보와 실제 전기 아-크로 인한 안전사고에서 방염복 착용자의 경미한 부상과 미착용자의 사망사례 등에 따른 실제적인 보호력의 증명으로 인해 그 착용의 효율성이 강화되었다. 또한 2002년부터 한전은 미국 듀폰 본사에서 듀폰 노멕스(R) 방염복에 대한

Thermo-man(R) 마네킹 테스트를 직접 참관하여 전기 아-크로 인한 화상의 위험과 그 예방에 대한 중요성을 더욱 확실히 인식하고, 한전에서의 방염복 착용을 의무화 함과 동시에, 방염복의 디자인과 착용감을 향상시키기 위해 매년 새로운 디자인과 원단을 개발하는 등 지속적인 노력을 경주했다. 또한 하복과 동복 이외에 등장바를 2년에 한번씩 지급하여, 추운 겨울에도 안전사고를 예방하기 위한 적극적인 노력을 기울였다.

특히 2003년 8월 18일 전기 아-크로 인한 전기 작업자의 화상재해 예방을 위하여 방염복 착용의무가 법령에 신설되어 한전에서는 사업소 관리감독자, 전기 작업자에 대한 교육 및 지도감독을 시행하였고, 협력업체에 대해서도 충분한 교육 및 계도를 강화하기 시작했다.

또한 2005년부터 협력업체와 계약시 방염복 보유 기준 등을 반영토록 하여, 협력업체에도 안전 의식수준을 향상시키고 작업환경을 개선하기 위한 안전관리활동을 강화하고 있다.

2.5 방염복 시험결과 분석

방염성능을 알기 위한 여러 시험이 있으나, 아래에는 듀폰 노멕스(R) 원단의 방염성능 및 현 한전 방염복의 방염성능을 알 수 있는 여러 실험을 다 방염성능 원단과 비교하여 수행하였으며, 이에 그 결과를 분석하여 정리하고자 한다.

2.5.1 열 보호성능 시험(TPP)

이 시험은 실험실 통제하의 특정 열 조건에서 직물을 통과하여 2도 화상을 일으키는 데 필요한 열에너지를 측

정한다. TPP값이 높을수록 직물의 방열특성은 우수한 것이다. 단점 직물의 경우, 이 시험에서는 화염과 착용자 사이에 보호층을 유지해 주는 직물의 능력도 측정하게 된다. (표2.1)에서 알 수 있는 바와 같이, 면과 폴리에스터/면 혼방 직물은 모두 불이 붙으므로 TPP(Thermal protective performance)값은 의미가 없게 된다. 반면 듀폰 노맥스(R) IIIA의 TPP 중량은 더 나가는 방염처리면의 경우보다 훨씬 우수하다.

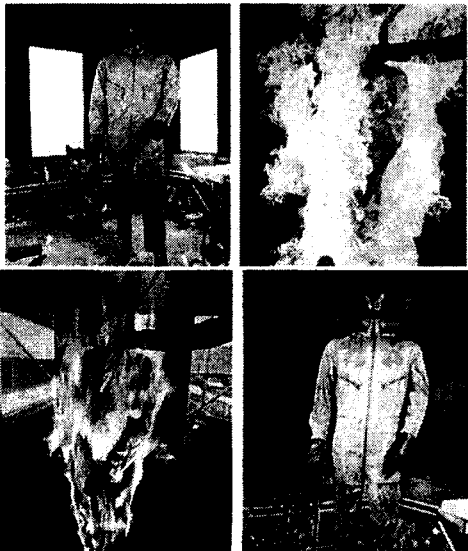
다양한 직물*의 열 보호 성능(TPP)*

직물	명목중량(oz/yd ²)	점화 (예/아니오)	TPP (cal/cm ²)
노맥스® IIIA	4.5	아니오	10.6
노맥스® IIIA	6.0	아니오	13.1
노맥스® IIIA (장전기 방지 미처리 직물)	6.0	아니오	13.1
면	6.5	예	...
폴리에스터/면 혼방 (62%/35%)	7.0	예	...
방염 처리 면	6.0	아니오	7.6
방염 처리 면	9.0	아니오	9.8

(표2.1 열 보호성능 시험결과)

2.5.2 듀폰 Thermo-man(R) 시험

한전은 2002년과 2005년에 미국 듀폰사를 방문하여 직접 Thermo-man(R) 시험을 수행하였다. 이 시스템에서는 순간적인 화염을 실험실 시뮬레이션을 통해 제어할 수 있다. 키 185cm의 마네킹 전체에 122개의 열 센서를 장착하여 얻은 데이터를 이용하여 시험용 의복으로부터 신체 표면에 전달된 열을 측정한다. 그러면 정교한 컴퓨터프로그램에 의한 계산을 통해 실제로 순간적인 화염이 발생할 경우 인체에 2도 및 3도 화상을 일으킬 수 있는 부위를 예측하게 된다.



(그림2.3 듀폰 Thermo-man(R) test 시험장면)

2002년에 실시한 실험결과를 정리하면 다음과 같다.

* 면 내의를 착용한 Thermo-man(R)을 4초간 2cal/cm² 2 sec에 노출시켰을 경우의 시험 결과

직물	명목중량 (oz/yd ²)	2도 화상 발생확률	3도 화상 발생확률
듀폰 노맥스(R) IIIA	6.0	24%	25%
면 coverall	9.0	10%	82%
FR cotton	7.7	52%	18%

(표2.2 Thermo-man(R) 시험결과)

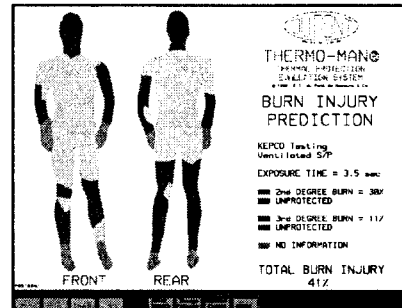
듀폰 노맥스(R) IIIA의 경우, 전체 화상범위가 49%으로 면 coverall이 92%이고 FR cotton이 70%인 것에 비하면 중량이 적게 나감에도 불구하고, 화상 면적이 적다는 것을 알 수 있다.

Garment System	Fabric Weight	Exposure Time Seconds	Predicted Body Burn Results		Total
			2nd Degree	3rd Degree	
KEPCO Uniform	4.5 oz/yd ²	3.5	30	11	41
KEPCO Uniform	7.2 oz/yd ²	3.5	11	8	19
Nomex® IIIA	6.0 oz/yd ²	4.0	26	30	56
UltraSoft®	7.0 oz/yd ²	4.0	54	20	74
Regular Clothing		4.0	7	82	89

* All systems evaluated with cotton T-shirts and briefs
* Unprotected Head yields ~ 7% 3rd Degree Predicted Body Burn in each exposure

(표 2.3 Flame Resistant Clothing Test Summary)

표2.3에서 알 수 있듯이 일반옷감은 화상정도가 89%인 반면 한전방염복의 경우 41%로 그 피해정도가 50% 이상 감소되었다.



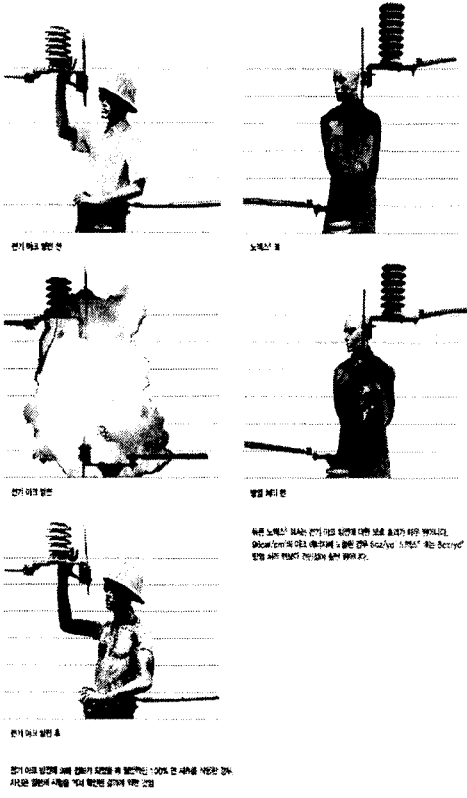
(그림2.4 한전 방염복 Thermo man(R) Test 결과 - 신체부위별 화상정도)

2.5.3 마네킹을 이용한 실험실 아크 방전시험 결과
실물 크기의 마네킹을 이용한 실험실 아크방전 시험의 경우, 고에너지 아크 방전에 노출되었을시의 보호복 성능 평가를 할 수 있다. 이 시험은 직물의 점화 및 손상에 견디는 능력을 측정할 수 있다.

8,000 [A]의 전류를 생성, 36~150cal/cm²·sec의 아크 노출 에너지를 만들어 지속시간이 1/6초인 약 30 cm길이의 15kV 아크 방전은 아크 관련 사고의 발생이 잦은 소비 전력선 (4~12 kV)의 노출 위험과 비슷한 수치이다. 면직물로 된 평상복은 52cal/cm²·sec의 낮은 에너지 노출 (아크로부터 직물까지의 거리는 30cm)에 대하여 점화가 되었으며 찢어졌다. 듀폰 노맥스(R)IIIA를 포함하여 방염처리 직물 모두 전기아크 노출시 불이 붙지 않았다. 또한 저 에너지 아크 노출 (72cal/cm²·sec이하)의 경우, 직물이 전혀 손상되지 않았다.(그림2.5)

그러나 고 에너지 아크 노출의 경우에는 듀폰 노멕스(R) IIIA 직물이 같은 중량의 방염처리 면직물보다 안전성이 높은 것으로 나타났다. 96cal/cm²·sec의 노출 에너지에서 반복 시험한 결과, 6oz/yd² 듀폰 노멕스(R) IIIA 직물은 전혀 손상이 없었으나, 6oz/yd² 방염 처리 면직물은 모두 손상되었다. (그림 2.6)

(그림2.5 일반직물 시험) (그림2.6 노멕스(R) IIIA 직물시험)



2.6 방염복의 향후 과제

한전의 방염복 성능은 듀폰의 노멕스(R) 방염 소재를 사용하여 세탁 후에도 사라지지 않는 태생적인 방염성능을 갖고 있음을 확인할 수 있다. 또한 한전의 모든 전기 작업자들에게 제공함으로써, 전기작업의 위험에 노출된 근로자들의 안전에 더욱 각별한 주의를 기울이고 있다.

그러나, 한전의 작업환경상 고압 또는 초고압 전기 작업을 하는 작업자를 보호하기에는 현재의 한전 방염복의 보호성능에는 한계가 있다. 미국의 NFPA 70E에 명시된 4단계의 전기작업복에 의거하면 한전의 현 방염작업복은 1 혹은 2단계에 머물고 있다. 적절한 방염보호복을 선택하는 것은 착용자의 안전에 매우 필수적인 요건이라 하겠다. 이제 한전은 적절한 환경 분석에 따른 적합한 보호복을 선택함으로써, 한단계 일보 진전하는 안전기준의 마련이 절실하다.

또한, 작업복의 특성상, 여러가지 어려운 환경에서 작업하는 근로자들의 안전뿐만 아니라 작업성 내지는 착용감을 위한 노력과 개선 또한 간과해서는 안되는 매우 중요한 일이 아닐 수 없다. 이러한 노력의 일환으로 FR 레이온과 듀폰 노멕스(R)를 같이 혼용하여 기존의 뻣뻣한 재질이 많이 유연해지고, 이로 인한 근로자들의 평가도 높아지고 있음이 사실이다. 그러함에도 불구하고, 디자인

은 본론에서 제시한 바와 같이 2000년도 사용한 디자인을 계속 사용하고 있어, 현재의 패션 중심의 작업복 디자인에는 떨어지는 감이 많다. 방염의 기능성과 작업의 효율성, 그리고 패션의 감각까지 선도적인 작업복을 만든다면 전 직원이 한전에 대한 기업 자부심과 함께, 안전과 함께 하는 한전 방염복의 새로운 기준을 제시하게 될 것이다.

또한 한전 직원들 뿐만 아니라, 더욱 나아가 협력업체 그리고 한국의 전기 작업을 하는 모든 근로자들의 안전을 위한 한전의 끊임없는 교육과 홍보는 절실히 요구된다.

3. 결 론

한전 방염복의 역사는 이제 6년 남짓하다. 그러나 한전은 산업안전기준에 관한 규칙 제332조 3항이 공표되기 이전부터 한국 방염복 역사상 처음으로 모든 전기작업자들에게 방염복을 지급한 회사이다. 방염성능은 물론 작업자들의 업무효율을 증진시키기 위한 끊임없는 노력을 한 결과로, 방염성능은 물론 부드럽고 가벼운 작업복을 실현화 하였고, 원단조성은 물론 후처리 가공을 통한 제품의 질적 향상을 끊임없이 펴하고 있다.

앞으로도 계속적인 교육과 계도를 통하여 한전 직원들 뿐 아니라 협력업체들 더 나아가 전기작업을 하는 모든 한국의 근로자들에게 더욱 적극적인 역할을 하여야 할 것이다.

[참고 문헌]

- [1] 한국산업안전공단, "난연성 작업복의 성능기준 연구", 2005년 연구보고서
- [2] 한국전력, "2006년 피복개선 보고서", 2006