

# 비무기계 군사용 섬유소재의 평가기술

이혜정, 박윤철, 심재운 · 한국생산기술연구원

## 1. 서 언

비무기계 군사용 섬유소재는 전투작전 수행중 개인 및 장비의 위치를 탐지할 수 있는 첨단장비로부터의 위치추적을 막을 수 있도록 가시광선, 근적외선 영역에서 주변환경과 유사한 분광학적 반사특성을 보유하고 위장에 필요한 주요성능(디지털 무늬 위장, 전자파 차단, 열 차단, 레이더 은폐 등)을 지닌 섬유를 말한다.

최근 스텔스(stealth) 섬유라는 명칭으로 전투작전수행 중 개인 및 장비의 위치를 탐지할 수 있는 ① 눈, 망원경, 야시관측 장비로부터의 위치추적을 막을 수 있도록 가시광선(380~700 nm), 근적외선 영역(700~1,250 nm)에서 주변 자연환경과 유사한 분광학적 반사특성 및 패턴을 보유하고, ② 3~5  $\mu\text{m}$ , 8~14  $\mu\text{m}$  영역대의 열화상 관측 장비에 대응하여 위장성능을 갖도록 열 차단 및 열 변조 특성을 지니며, ③ 광대역 주파수(1~100 GHz) 영역대의 레이더 관측 장비에 감쇄효과를 나타내 미래 전자전 대응 군사용 섬유소재/관련제품과 관련된 기술로 대변되고 있다.

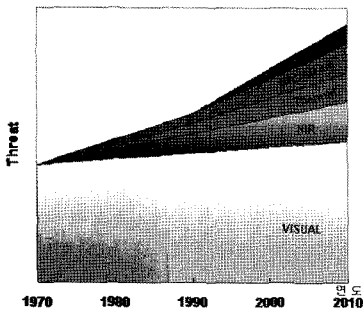


Figure 1. 군용 탐지체계 위협의 변천.

스텔스 섬유는 관측 인체기관이나 관측 장비를 속이는 기능을 지닌 섬유이므로, 군에서 사용하는 관측 장비에 대응하는 분석/평가기술이 매우 중요하다 할 수 있다. 평가기술은 근적외선 관측 장비, 열상 관측 장비, 레이더 관측 장

비에 대한 위장을 분석/평가하는 내용으로 구성되고, 더불어 분석/평가기술에 신뢰성 및 일관성을 더하기 위해 기술의 표준화가 필요할 것으로 본다. 본 고에서는 위장용 스텔스 섬유소재에 대한 내용과 그 평가에 관해서 간단히 고찰해 보고자 한다.

## 2. 군사용 섬유소재

### 2.1. 군사용 섬유소재의 분류

국방, 군사와 관련된 연구개발은 무기체계, 비무기체제로 나눌 수가 있고 군사용 섬유소재의 경우는 병력운영, 시설유지, 장비유지 및 운영에 필요한 물자, 개인의 기본적인 생존방호 장구류, 전력화 장비의 운영유지에 필요한 물자 비무기체계의 범주에 속한다. 비무기체계의 경우 무기체계에 비해 연구개발과 비교하여 너무 뒤떨어져 있다는 지적에 의해 최근 발전방안에 대한 논의 및 연구개발이 진행되고 있다. 비무기체계는 기동장비, 일반장비, 물자류, 피복류, 장구류, 천막류 등의 연구가 진행되고 있으며, 섬유소재가 많이 적용이 되고 있고 주로 경량화, 다기능화, 신소재 적용 등에 대한 연구가 주류를 이루고 있다.

군사용 섬유는 인체를 보호하는 의류에서부터 전투장비 관련 품목에 이르기까지 다양하게 적용이 되고 있기 때문에 섬유의 고유 성능뿐만 아니라 복합화를 통해 고성능, 고기능성이 요구되고 있다. 현대 전장에서 최근의 경향은 더욱더 첨단화된 장비와 무기를 이용해 소수의 병력으로 최대의 효과를 내고자 한다. 군사용 섬유는 이러한 경향의 요구를 충족시킬 수 있어야 하므로, 섬유 고유의 성능 뿐만 아니라 복합을 통한 섬유소재의 다양성과 고기능성이 요구된다.

### 2.2. 위장용 섬유소재

최근 현대전은 전자전(electronic warfare)이라 불릴 만큼 전자기 스펙트럼상의 전 영역에 걸쳐 첨단기술이 전장을 지배하고 있다. 전자전이란 적군이 사용하는 전자파 에너지를 탐지, 제한, 방해하거나 이를 역이용하고 아군의 전자파 에너지 사용을 확보하기 위한 군사적 행위로 정의된다. 따라서 군사용 섬유소재의 위장에 대한 요구가 증대되고 있는 실정이다. 위장의 개념은 물자, 장비 및 시설물들의 탐지 및 확인 가능성을 최소화 하기 위한 은폐를 말하는 것으로 적의 관측과 표적 획득 방법에 의한 탐지 가능성을 감소시킴으로써 아

**Table 1.** 방위사업청 국방전자조달 스텔스 관련 세부거래 품목 및 거래건수, 2007년

탄알보호주머니	육군 근무모	공군근무모	해군사병 근무복류(호수)
사막색 춘추운동복	근무모(해군/해병)	얼룩무늬요대류	동운동복(개선품, 공군)
사막색 방상 외피	기동장비카바류	해상병전투복 상의 외 1종	내부방탄복(관문점용)
특전복(군읍서버요원)	총포장비카바류	신형방탄복레바논용(판제외)	방한복상의 내피
사막색 전투복	통신/일반장비카바류	방한복상의, 외피	일반용 천막
디지털 무늬 방상외피	면포폴린내의	특전복	일반용 천막
사막색 방탄헬멧 위장포 외 1종	총포 멜빵끈류	비행잠바(2종)	여군 정복/근무복류
사막색 전투모 외 2종	방한장갑	동운동복(공군)	산막침투 보호복
동잠바(해군간부)의 4종	전피장갑	침낭주머니	육사생도 피복류
정글화	원단, 사지직(230, 곤색) 외 2종	야전배낭류	신형방탄복레바논용(판제외)
장비커버류(전차, 장갑차용)	전투우의	총기수입포류	일반용 천막
원단 범포지류	전투조끼 탄입낭류	런닝셔츠	일반용 천막
매복용 깔개	배낭/부속재류	런닝셔츠	일반용 천막
방탄복(판제외)	조끼(특전용)	하운동복 하의(육군)	일반용 천막
원단, 하정복용(P180, 연회색) 외 원단, 사지직	개인장구 카바류	정비용(일체형 및 분리형)	일반용 천막
디지털무늬 전투복	기동장비 카바류	하운동복 상의(4종)	일반용 천막
내의	얼룩무늬 포단	운동복(부사관용)	일반용 천막
P/C 원단, 위장무늬형(IR)	잠수함 근무복(체촌)	코드(섬유제)	로프류(섬유제)
P/C 원단, 위장무늬형(IR)	과카, 항정용	하운동복 하의(해/공군)	산악등반장비세트
P/C 원단, 위장무늬형(IR)	얼룩무늬 잠바(육군)	마스크, 후한용	귀덮개(방한용)
P/R 185, 4도나염(IR)	동운동복(해군, 해병)	목도리, 토시형	원단, 사지직(230 곤색) 외 2종
P/R 185, 4도나염(IR)	고속정 동전투복 외 13종	가족잠바(3종)	방한복 하의
P/R 185, 4도나염(IR)	해군동근무복 스웨터	야전 배낭류	과카외피
동내의	춘추운동복(레바논 파병용)	방한두건 외 1종	개인용 천막
P/R 295, 4도 나염(IR)	동운동복(레바논 파병용)	정비용 안전모	원단, 사지직(230 곤색) 외 2종
원단, 위장무늬형(PC 155)	운동복, 학군단(동/하계용)	영내 활동모	매복용 깔개
일반모차류	일반우의	전투모	코트, 방한복
얼룩무늬 요대	하운동복상의(레바논 파병용)	킬팅원단	3사생도 피복류
의류대	잠바(공군 사병용)	방한장갑	공군 간부 정복/근무복류(초도)
개인장구요대	동전투복	과카, 정비사용	공군 간부 정복/근무복류(보충)
요대류	동전투복	육군 정복 근무복류(초도)	해병대 병 활동모
배낭류(일반용 배낭)	하전투복	육군 동운동복(4종)	야전침대피(신형)
동근무복(특정구역, 체촌) 외 4종	동전투복	춘추운동복(7종)	권총집류
전투화 끈	동전투복	UDT방한복 외 4종	방한복(특전사용)
원단, 방수·투습용(WM2L 130)	동전투복	개인장구류커버류	신형야전깔개
관초무의	하전투복	면포폴린내의류('07개선품)	용접복
간부 다목적외투(해/공군)	하전투복	방투습원단(WM3L 205)	비행잠바
사병외투	하전투복	방한두건	과카외피(설상복제외)
해병 얼룩무늬팔각모 외 1종	하전투복	육·해군 정복/근무복류(보충)	근무복 잠바(육군)
병과휘장(포제)	하전투복	수입지 및 수입포	동·하 근무복(공군사병)
권총집류	하전투복	비행복	공군 근무모(개선품)
탄입대류	분대용천막	해군 사병 정복(체촌)	설상복 상의
	헬멧위장포	해군 간부 정복/근무복류(초도)	다가능 개인용 특수천막

군의 생존 가능성, 임무 수행, 전술적인 이점을 확보할 수 있다는 측면에서 위장은 매우 중요한 전력요소이다.

특히 현대전에서 요구되는 위장은 단순히 구축한 진지용이나 계류중인 기동장비에만 적용하는 개념이 요구되는 것이 아니라 스텔스 개념과 연계되어 기동중인 장비에도 전술적 지원이 가능한 위장을 요구하게 된다. 분광학적 전자기 스펙

트럼을 사용하는 적외선(IR), 레이더, 열상장비, 레이저 등 전자광학장비 등의 군수장비로의 응용은 지상, 항공, 우주 등 전영역에서 적용되고 있으며, 공격무기의 목표탐지 기술에도 응용되어 그 위협이 날로 증대되고 있다.

그런데 전자전에서 방호와 생존성의 확보를 위한 위장의 중요성에도 불구하고 무기체계의 발전에 비해 현 위장막의



Figure 2. 군사과학적 측면의 스텔스(stealth) 개념도.

Table 2. 위장망의 영역별 위장 메커니즘

위장 대상	영역 구분	대상: ESM (Reconnaissance)	위장기구 (Mechanism)	소재
육안	가시광선 • 400~700nm	Photography Image Intensifiers	Reflectance Matching	염료 안료 패턴
적외선	근적외선 • 700~1200nm	Image Intensifiers	Reflectance Matching	염료 안료 무기입자
열상	열적외선 • MIR: 3~5 mm • FIR: 8~14 mm	IR Seekers IR Line Scanners FLIR	Emissivity Dumping Spatial Matching	단열재 차단막 변조막
레이더	레이더파 cmwave: 6.10, 17GHz mmwave: 35, 94GHz	Radar Seekers FLAR SAR Radiometry	Scattering Absorption Reflectance	탄소섬유/metal사 혼입섬유

위장성능은 위성 레이더 및 열상 관측장비에 대한 위장 성능이 부여되지 않아 기술확보가 절실히 필요하다. 한국에서 운용되고 있는 R/S 위장망을 바탕으로 세계적으로 운용하고 있는 위장망의 위장성능 부여 메커니즘을 전자기스펙트럼 영역별로 구별해 보면 Table 2와 같다.

스텔스 기능성 섬유의 위장은 주간의 경우, 육안 및 망원경 관측에 의해 결정되며 주변자연환경 color matching과 패턴이 핵심 스텔스 요인으로 구성되고, 가시광선 영역 스텔스로 표현할 수 있으며, 군 위장체계에 있어 기본이 되는 기술 분야로 모든 군 위장제품에 활용되는 필수적인 기술 분야이다. 따라서 가시영역의 위장은 다양한 색상의 위장포와 포의 편칭 등에 의한 파형특성을 부여하고 주위환경과 특성조화를 이룸으로써 대상을 위장한다. 주요인자는 색상별 색도, 색차이다.

야간 위장은 근적외선 관측 장비의 탐지에 의해 결정되며 주변자연환경 NIR 반사율과 위장제품의 NIR 반사율 저하/제어기술이 핵심 스텔스 요인으로 구성되고, 근적외선(NIR) 영역 스텔스로 표시할 수 있으며, NIR 스텔스는 대개의 경우

기본적으로 섬유제품이 NIR 영역에서 높은 반사율을 나타내므로 NIR 반사율 저하/제어기술이 핵심이라 할 수 있다. 따라서 근적외선 영역(600~1200 nm)의 적외선 반사특성을 산림지역의 반사특성과 조화시켜 위장효과를 부여한다. 위장포에서는 적외선 흡수 색소를 사용하여 적절한 반사특성을 나타나게 해야 한다.

열상위장은 위장목적물에서 발산되는 열을 효과적으로 차단, 주위환경과 유사하게 해주어야 관측장비로부터 은폐가 가능해진다. 열상위장망이 피위장물의 열적신호를 주위배경에 은폐시키기 위해서는 2가지의 열 신호처리 특성을 가져야 하는데, 첫째는 표적에서 복사되는 열 신호의 투과율을 억제하는 것이고, 둘째는 위장망 자체가 주위배경과 온도차를 적게 가져야하는 특성을 들 수 있다. 열상위장에서 열차단을 하는 좋은 방법은 목적물을 주위의 열 특성과 유사한 단열재로 덮어버리면 열상위장은 가능하겠으나, 다른 관측장비(레이더, 육안 등)에 대한 위장대책을 위해 추가 위장망이 필요하게 되며, 위장간 전투태세를 갖추는데 문제가 있게 되므로 바람직하지 못하다. 열상위장의 수준은 열화상 관측 장비의 탐지에 의해 결정되는데 열화상 관측 장비는 사용하는 파장영역대로 크게 두 가지(3~5  $\mu\text{m}$ , 8~14  $\mu\text{m}$ )로 구분되며, 이에 대응하기 위해서는 소재기술과 관련된 열 차단/변조 소재 설계기술, 원부재료를 활용한 염색·가공기술 및 열에너지지를 충분히 흡수할 수 있는 섬유복합재료 기술이 핵심 스텔스 요인으로 구성된다.

레이더 신호에 의한 감쇄기구는 일반적으로 세가지로 대변할 수가 있다. 첫째는 반사체에 의한 차폐로서 레이더 빔의 방향을 완전히 편향시켜 탐지를 못하게 하는 방법이다. 그러나 이기구는 레이더에 의한 피탐체의 직접적인 감지는 아니지만 주위 환경과 상이한 이른바 레이더 홀(radar hole)이라는 반향을 나타내게 되어 위장효과로서는 오히려 역효과를 유발할 수가 있다. 두 번째는 현재 세계 여러나라에서 운용되고 있는 센티미터파 영역의 레이더파 산란 위장망의 예를 들 수 있는데, 이와같은 산란은 결국 레이더 빔을 넓은 범위에 걸쳐 불규칙한 난반사를 시킴으로써 표적의 레이더 피탐면적(radar cross section)이 감소되어 위장효과를 가지는 것이다. 또다른 메커니즘은 복사 레이더파를 흡수하여 위장성능을 부여하는 것이다. 이는 탄소 같은 특별한 소재가 혼입된 섬유상의 물질에 복사된 레이더파 에너지를 열에너지로 변환 하여 소멸시킴으로 위장효과를 부여하는 방법이다. 레이더 스텔스 탐지에 사용하는 레이더는 1~100 GHz의 광대역 레이더이며 이에 대응하기 위해서는 소재 및 원사기술과 관련된 광대역 레이더 차폐소재 섬유화 기술, 광대역 레이더

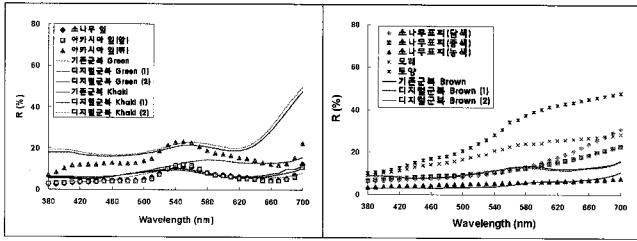


Figure 3. 군사용 섬유소재의 반사를 측정데이터.

Table 3. 적외선 반사율

파장(nm)	적외선반사율(%)				
	카키색		녹색 및 갈색		흑색
	최소	최대	최소	최대	최대
600	8	18	3	10	10
620	8	18	3	10	10
640	8	18	3	9	10
660	8	18	3	12	10
680	10	22	3	14	10
700	18	33	5	18	10
720	22	45	7	20	10
740	30	55	12	28	10
760	35	65	18	36	10
780	40	75	26	44	10
800	45	80	34	52	10
820	50	86	42	60	10
840	55	88	50	68	10
860	60	90	56	74	10

파 흡수 소재를 활용한 다층구조 섬유복합재료 기술이 핵심 스텔스 요인으로 구성된다.

### 3. 군사용 섬유소재의 평가

#### 3.1. 위장무늬형(NIR)

군에서는 위장무늬형 천에 대해서 KDK 8305(제정일자 : 1986. 1.30)에 각종 피복 및 장구류용으로 사용하는 4도색 위장무늬형 원단에 대한 재질 및 색상별 염색견뢰도, 적외선 반사율의 품질기준에 대하여 규정하고 있다. 원단에 대한 기본적인 이화학, 물리적 특성에 대한 측정은 기본적으로 KSK규격을 따르고 있고, 위장무늬 부분은 무늬의 도안, 색상 등은 표준견본에 따라야 한다. 가공 직물의 무늬는 60±6 cm로 반복되며, 각 색상은 정확한 자리에 위치하여야 하며, 어떤 인쇄 영역에서도 표준견본에서 나타난 것 이상의 무늬 겹침이 있으면 불합격이다. 표준견본이 없을 경우 무늬는 제시된 도면과 일치하여야 한다.

이러한 위장무늬형 원단의 평가는 분광광도계를 이용한 적

- 01.07.14 : 비무기체계 소모체계 (군제41101-010030 육분-국방부)
- 01.10.20 : 다영역 위장차장용 접착제 개발 승인 건의 (실외 024.181)
- 02.07.26 : 다영역 차장 위장용 접착제개발 승인결과 발표 (군보 33430-82 국방부-러원기연)
- 04.1 - 04.4 : 지출시(일명기 (불연소))
- 04.6 - 06.9 : 음봉시(일명기 (불기부대 : 30사단, 101여단, 23사단)
- 06.11.09 : 다영역차장 위장용 실수모의 (국방본부)
- 08.2 - 08.4 : 제시원 (시험부대 : 38사단, 23사단, 1호병대단, 101여단)
- 08.021 : 부대요율 재시(일명기 결과 보고(육군-국방부)
- 08.11.16 : 다영역차장 위장용 군사용 접합 (국방본부)
- 08.12.7 : 다영역차장 위장용 규격과 표준(국방부)
- 07.5.7 : 다영역차장 위장용 규격과 (KOS 1080-4001, KOS 1080-4002)
- 07.7.30 : 다영역차장 위장용 재교반도 부여 완료

Figure 4. 다영역차장 규격 추진.

외선 반사율 측정을 통해서 이루어지고 있는데 정해진 파장 범위와 일정 크기의 시료에 대한 근적외선 반사율은 입사에너지의 분광 구성, 분광기의 scan 감도 및 시험편의 근적외선 파장에 대한 반사율에 의해 좌우된다.

국방규격에 의하면 적외선 반사율 측정을 위한 시험 장비는 Genal Electric Diano Hardy, Beckman DU 또는 DK, Diano Match-Scan, Cary 14 또는 Hunter D54P-IR 분광 광도계를 사용할 수 있는데, 적외선 반사율 값은 백색 황산바륨을 표준으로 하고 600 내지 860 nm에서 측정하고 시험편은 600-760 nm에서 20±5%의 반사율과 780-860 nm에서 32±7%의 반사율을 갖는 회색 표면을 시험편 뒷면에 부착하여 측정하여야 하며 시험편은 수직에서 10°가 넘지 않는 각도에서 관찰하여야 한다.

#### 3.2. 다영역차장 위장망

다영역차장 위장망의 경우 국방규격으로는 KDS 1080(제정일자 : 2007.5.7)에 가시영역, 근적외선영역, 열적외선영역 및 레이더 영역에 대한 위장특성 제시하고 있다. 이중 특히 열상과 레이더에 대한 시험평가 내용을 살펴보고자 한다.

##### 3.2.1. 열상

절대온도 0°K(-273 °C)보다 높은 온도를 갖는 모든 물체는 에너지를 방출한다. 이 방출과정은 물체의 분자 내에서 일어나는 분자진동(oscillation)에 기인되며, 물체의 온도와 밀접한 관계가 있고, 파장은 적외선 영역에 해당한다. 실제 모든 물체에서 방출되는 에너지의 양은 흑체복사(black body radiation)와 밀접한 관계가 있는데 열상 적외선복사에 대한 이론의 배경은 다음의 물리적 법칙에 따른다.

- Wein's, Reyleigh -Jeans' Law of Radiation

$$\rho(\lambda) = 8\pi kT/\lambda^4 \text{ (절대온도 T에서의 물체의 복사에너지밀도 계산)}$$

Table 4. 염색견뢰도

등급 기호	색상별	일광	세탁		땀		마찰		I.R 적용여부	사용재질
			변	오	변	오	건	습		
P/C 94급	카키색	4	4	4	4	4	4	4	I.R 적용	폴리에스터/면 또는 레이온 혼방
	녹색	5	4	4	4	4	4	3-4		
	갈색	5	4	4	4	4	4	3		
	흑색	6	4	4	4	4	3-4	2-3		
P/C 85급	카키색	4	4	4	4	4	3-4	3	I.R 적용	폴리에스터/면 또는 레이온 혼방 및 면 100% 원단
	녹색	4	4	4	4	4	3-4	3		
	갈색	5	4	3-4	4	3-4	3	2-3		
	흑색	5	4	3-4	4	3-4	2	1-2		
P 88급	카키색	4	4	4	4	4	4	4	I.R 적용	폴리에스터 100% 원단
	녹색	4	4	4	4	4	3	3		
	갈색	5	4	4	4	4	3	3		
	흑색	5	4	4	4	4	2-3	2-3		
P 92급	카키색	4	4	4	4	4	4	4	I.R 미적용	폴리에스터 100% 원단
	녹색	4	4	4	4	4	4	4		
	갈색	5	4	4	4	4	4	3-4		
	흑색	5	4	4	4	4	4	3-4		
N 85급	카키색	4	4	4	4	4	3-4	3-4	I.R 적용	나일론 100% 원단
	녹색	4	4	4	4	4	3	3		
	갈색	4	4	4	4	3-4	3	3		
	흑색	5	4	4	4	3-4	2-3	2-3		
N 90급	카키색	4	4	4	4	4	4	4	I.R 미적용	나일론 100% 원단
	녹색	4	4	4	4	4	4	4		
	갈색	4	4	4	4	3-4	4	3-4		
	흑색	5	4	4	4	3-4	4	3-4		

- Plank's Law of Radiation

플랑크의 복사법칙에 대한 근사식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$\lambda m = 2898/T$  (현재온도에서의 에너지복사가 최대가 되는 파장 계산)

물체의 현재온도가 낮아지면 복사가 최대가 되는 파장은 장파장화(red shift) 된다.

- Stefan-Bolzman Equation

단위 면적/시간 내 방사된 총 에너지는 주어진 물체온도의 4승에 비례

$W_{tot} = \sigma T^4$  (온도에 따라 물체의 복사가 얼마나 빨리, 얼마만큼 되는가에 대한 개념제공)

이 법칙들은 온도에 따른 총 복사에너지량, 에너지밀도 및 최대에너지를 복사하는 파장에 대한 정보의 근거를 제공하며, 이들 정보가 적절한 장치에 의해 영상화 될 수 있는데, 이를 응용한 장비가 바로 열상장비이다. 이러한 열상장비로부터 위장에 대한 평가는 위장망의 열투과도와 주위배경과 온도조차로서 망의 열적신호를 규정하고 있다. 열투과도는 2개

의 평판 표적을 25 °C 및 40 °C로 주위의 대기온도보다 높게 가열하여 여기에 위장망을 씌운 것과 씌우지 않은 상태의 방사량을 측정하여 다음 식에 의해 투과도를 구하여 20% 미만 (최대허용치 30% 미만)으로 규정하였다.

$$\% Transmission = \frac{R_{U40} - R_{U25}}{R_{B40} - R_{B25}} \times 100$$

(R : 방사량, U : 위장망의 설치표적, B : 설치전 표적, 40 : 대기온도보다 높은 40 °C 표적, 20 : 대기온도보다 높은 20 °C 표적)

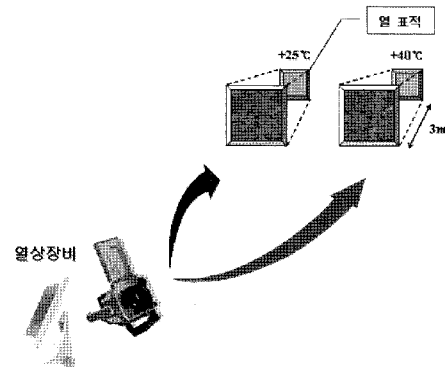


Figure 5. 열투과도 시험.

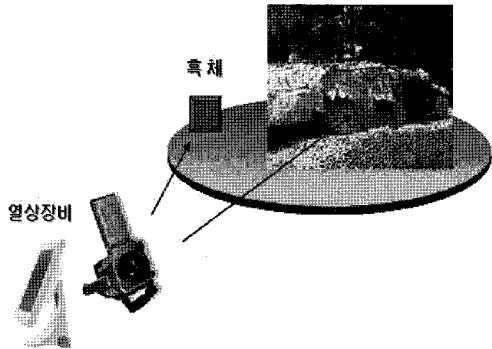


Figure 6. 열적신호 시험.

위장망의 열적신호는 0.98 이상의 방사율을 가진 흑체와 위장망을 800 W/m<sup>2</sup>보다 큰 태양과의 복사 및 일정풍속, 일정시간의 조건에서 노출한 다음, 흑체주위의 대기온도와 열상장비에 나타나는 위장망의 겉보기 온도를 측정하여 그 온도차를 ±5 °C(최대허용 온도 ±8 °C)로 규정하고 있다. 이는 위장망 이외의 부분에 비해 높은 온도를 가지고 위장망이 나타나는가를 보고 위장성능을 분석하고자 하는 것이다.

### 3.2.2. 레이더

레이더 관측장비의 원리는 대상물에 레이더파를 발사하여 되돌아오는 파의 반사특성을 이용하여 관측한다. 따라서 피위장물의 위장은 관측 입사레이더파에 대하여 주위환경과 유사한 반사특성을 나타내게 하여 위장효과를 부여할 수 있다. 그러나 위장 시 반사특성이 미약하거나, 흡수산란이 과도하게 되면 레이더구멍(radar hole)현상 발생으로 관측장비에 대한 위장효과를 나타낼 수 없게 된다.

국내에서 사용하고 있는 레이더 산란형 위장망의 위장메커니즘은 위장포에 금속사를 적절히 배열하여 입사파에 대한 임피던스(impedance)를 부여함으로써 산란효과를 유발, 특정한 반사특성을 나타낸다.

일반적으로 피위장물 주위 자연환경에 대한 레이더파의 반사특성은 50% 이상(3 dB 이상)이 흡수산란(감쇄)되므로 현용위장망 운용 시 요구 반사특성은 3 dB 이상의 감쇄능력을 요구하고 있다.

한편, 레이더 파장에 따른 레이더산란 특성은 주파수특성에 기인하는 것으로 위성운용 레이더파(35, 94 GHz)의 경우 산란에는 특수한 기술이 요구된다.

위성운용 레이더파에 대한 위장기술은 현재 국내에서 기초 연구가 완료되어 양산 적용성을 검토 중에 있으며, 방법은 특정물성의 탄소섬유를 위장포에 산포, 입사파에 대한 임피던스에 의해 레이더산란을 유발하는 메커니즘을 응용하고 있다.

평가는 기본적으로 전자파 차폐에 대한 측정 방법을 기본적으로 활용하고 있는데 전자파를 입사하여 차폐재료를 투과하여 나오는 전자파의 power를 직접 측정하여 차폐효율을 계산하는 방법과 전기전도도를 측정하여 이론식에 의하여 차폐효율을 측정하는 간접적 측정방법을 택하고 있다.

전자파차폐 성능은 차폐효율(shielding efficiency, SE)로 나타낼 수 있으며 다음의 식 (1)로 정의되며 전자파가 재료를 통과할 때 감쇄되는 상대적 크기인 decibel(dB)로 나타낸다.

$$SE = 10 \log \frac{P_I}{P_T} = 20 \log \frac{E_I}{E_T} \quad (1)$$

여기서, P<sub>I</sub>와 P<sub>T</sub>는 각각 입사와 투과되는 전자파의 power 이고 E<sub>I</sub>와 E<sub>T</sub>는 입사와 투과되는 전기장의 세기이며, 만약 차폐효율이 10 dB 일 경우에는 입사된 전자파 power의 10%에 해당하는 전자파가 투과된 경우로 전자파차폐가 매우 미미한 수준인 반면에 100 dB 일 경우에는 입사전자파의 power가 1/10<sup>10</sup>으로 감소되어 투과되는 경우로 매우 우수한 차폐성능을 보인다 할 수 있다.

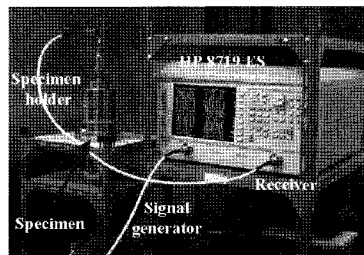


Figure 7. 전자파 차폐효율 측정장치 예.

전자파 차폐효율을 측정하는 방법에는 전기전도도를 측정하여 이론식에 의해 차폐효율을 간접적으로 측정하는 방법과 전자파를 입사하여 차폐 재료를 투과해 나오는 전자파의 power를 직접 측정하여 차폐효율을 직접적으로 측정하는 방법이 있다. 다음의 Figure 7에 전자파 차폐효율을 측정하는 측정장치를 나타내었는데, 측정원리는 signal generator에서 발생된 전자파가 holder에 있는 시료를 투과되어 나오는 전자파의 power를 receiver에서 측정하여 전자파 차폐효율을 측정한다.

또한, 시료의 표면에서의 반사 및 시료의 내부에서의 흡수에 의한 상대적인 차폐 정도는 매우 중요한 성능지표이며, 다음과 같은 식(2)에 의해 측정할 수 있다.

$$T_r + R_e + A_b = 1 \quad (2)$$

여기서 T<sub>r</sub>, R<sub>e</sub>, A<sub>b</sub>는 각각 투과도(transmittance), 반사도(reflectance), 그리고 흡수도(absorbance)를 나타내며 다음의 식(3)과 (4)에 의해 투과도와 반사도를 측정할 후 식(5)를 이용하여 흡수도를 계산하여 반사도와 흡수도를 비교하면 흡수에 의한 차폐와 반사에 의한 차폐를 상대적으로 비교할 수 있다.

$$T_r = \frac{E_t^2}{E_i^2} = |S_{21} \text{ (or } S_{12})|^2 \quad (3)$$

$$R_e = \frac{E_r^2}{E_i^2} = |S_{11} \text{ (or } S_{22})|^2 \quad (4)$$

여기서,  $E_i$ ,  $E_r$ ,  $E_t$ 은 각각 입사전기장의 세기, 투과된 전기장의 세기, 그리고 반사된 전기장의 세기이며,  $S_{21}$ (또는  $S_{12}$ )과  $S_{11}$ (또는  $S_{22}$ )는 각각 투과와 반사에 해당하는 scattering parameter (S-parameter)이다.

최근 1990년 이후 35 GHz 이상의 광대역(mm wave 이하의 초단파 사용) 레이더 탐지에 대한 위협요소가 증가하고 있고, 레이더 스텔스 기술은 탐지의 특성상 대인이 아닌 기동화력, 전투기, 함정과 같은 전장의 승패를 크게 좌우하는 무기체계 군사용 장비와 연관되어 있다. 그러나 대부분 현재 국내의 개방된 기술은 광대역이 아닌 1 GHz 이하의 전자파 차폐기술에 집중되어 있고, 초단파 영역의 레이더 기술은 적용분야 특성상 개발이 미비한 상태로 이론정립 및 원천소재 기술개발이 시급한 실정이다. 따라서 레이더로부터의 위장에 대한 평가는 개방형의 일방송신(one-way transmission method) 방식에 의한 감쇄율로 평가를 해야하는데 레이더용 전자파 차폐 측정방법인 경우 사용주파수가 높기 때문에 실험 장치나 실험 장소에 대한 구축이 어려운 실정이다.

#### 4. 국방규격

국방규격은 특별한 군사요구도가 없는 군수품은 국방규격의 제정을 지양하고, 한국산업규격, 정부 및 민간의 단체규격을 최대한 활용하고 있다. 민수규격의 우선 순위는 특별하게 지정되어 있지 않는 한 국제규격, 국내 민수규격, 외국 민간 단체 규격의 순으로 적용한다. 군수품의 국방규격은 국산화 추진 가능 품목, 소요량 다수 품목, 고가품목 위주로 제정하며, 가능한 한 디자인 또는 외형 묘사적인 특징보다는 성능

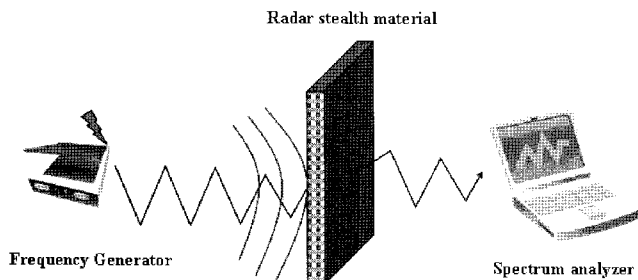


Figure 8. 레이더 감쇄율 측정장비 구성도.

위주로 작성하며 다음의 원칙을 준수하여야 한다. 군수품의 국방규격은 기능성·표준성·경쟁성·경제성·최신성 및 시장성 등을 감안하여 제정함을 원칙으로 하며, 규격서는 정식규격서·약식규격서(임시규격서, 포장규격서, 구매규격서, 도면규격서)로 구분한다.

규격번호는 방위사업청(계약관리본부)은 규격서를 등록하고 규격번호를 부여하여 그 결과를 관련기관에 통보한다. 규격번호는 다음과 같이 부여한다.

· KDS(KDC) 군급번호-규격의 종류 일련번호-개정번호

KDS는 표준 및 정식규격, KDC는 약식규격에 사용한다. 약식규격은 규격의 종류에 따라 일련번호 앞에 임시규격은 "T", 포장규격은 "P", 구매규격은 "R", 도면규격은 "D"로 표시하며, 정식규격의 경우는 규격의 종류를 별도로 표시하지 않는다. 단, 규격서 번호를 전산으로 관리할 경우에는 국방표지와 띄어쓰기를 적용하지 않고 또한 최초작성관리기관과 규격의 종류는 별도로 관리하여 사용한다.

국방규격의 획득목표는 사용자인 군의 요구를 충족하는 양질의 제품을 적기에 적절한 가격으로 획득하는 것이다. 이러한 목표를 달성하기 위해서는 두가지가 중요한데, 그 하나는 양질의 조달업체를 선정하는 것이며, 다른 하나는 창조적인 융통성을 제한하는 규격(specification)이나 계약상의 문제조항의 제약없이 납품업체가 혁신적인 방법을 도입할 수 있도록 설계 프로세스에 재량권과 자유를 주는 것이다. 성능형 규격(performance specification)과 성능에 근거한 계약집행(performance-based contracting)은 바로 이러한 목표를 달성하는 중심축이 된다.

미국의 경우도 미군 군사규격(milspec)에서도 발전된 최신 민간기술의 수용과 경제적 조달을 목적으로 1994년 6월 군사규격에 대한 개혁을 단행하였다. 당시 Perry 장관은 'anaging

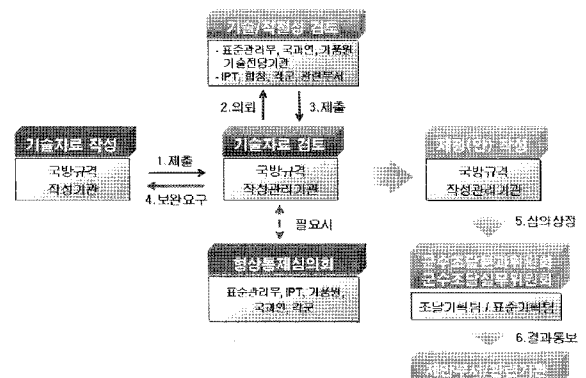


Figure 9. 국방규격 제정 절차.

the New Way of Doing Business' 라는 문서를 통해 최신 민간기술의 도입과 경제적 조달을 저해하는 상세형 군사규격에 대해 과감한 폐지 및 다른 규격문서로의 전환을 추진하였다.

성능형 규격서의 필요조건은 제품의 형상, 기능, 그리고 요구되어지는 것이 무엇인가를 명기하여야 한다. 성능형 규격서의 필요조건은 필요조건을 달성할 수 있는 방법을 기술해서는 안되고, 특정 재료나 제품의 사용이나 상세 설계방법 또는 기존 제품과 상호 호환성을 보증하는데 필요한 요구조건을 범위를 넘어서 제조 요구조건을 기술해서도 안된다. 성능형 규격서로 지정된 일반 규격서의 부수 규격내에 있는 요구조건 역시 성능 요구조건으로 기술되어야 한다.

상세형 규격서는 모든 상세 필요조건 혹은 성능과 상세 필요조건을 통합으로 구성될 수 있다. 가능한 범위까지 최대한 확장하면 상세형 규격서의 필요조건은 "성능"을 나타내는 것이 되어야한다. 상세형 규격서는 재질, 설계 또는 제조 필요조건 또는 필요조건이 "어떻게" 획득된 제품의 적합성, 안전성, 호환성을 보증할 수 있는 범위까지 규제할 수 있도록 구체적으로 기술되어야만 한다.

따라서 필요한 성능만을 기술하고 군의 요구를 충족시키는 방법에 대해서는 제조업체에 위임하는 성능형 규격서로의 전환을 통해 원가절감 및 최신 민수기술의 도입을 통한 군장비의 성능향상이 절실히 요구되고 있다.

## 5. 결 언

국방, 군사 분야에서 스텔스 기술은 병사의 생명을 보호하고 무기나 군수용 장비를 보호한다는 측면에서 매우 중요한 기술로서 세계 모든 나라에서 연구개발이 활발하게 이루어지고 있으며 군사대국에 인접하고 있는 우리나라에서도 기술개발의 필요성이 더욱 증가하고 있다.

군의 요구사항(군사요구도)과 관련소재나 제품의 소비자들인 병사들의 요구사항을 비교분석하고 관련기술의 연구진들과 정보를 공유하여 기술을 개발을 하는 것이 필요하며, 실제 전투환경에서 성능을 유지하기 위하여 현장적용성과 관련한 평가기술들이 상당히 중요할 것으로 사료된다. 또한 산·학·연·군(관)을 유기적 조직으로 구성하여 공동으로 연구하여야 우수한 결과를 얻을 것으로 보인다. 과학, 공학, 기술의 발달과 함께 공상과학영화에서 볼 수 있었던 스텔스 기술들이 현실화되는 부분도 있다. 이러한 기술들은 산업계와 연구기관에 새로운 도전의식을 주고 있으며 관련산업의 활성화에 기여할 것이다. 개발된 섬유소재들은 군사용 뿐만 아니라 민

간용으로 활용가능한 소재이므로 우리나라에서도 활성화되리라 전망되며 이와 아울러 스텔스 기능성을 제대로 평가하는 기술도 발전할 것으로 예측된다.

본 고에서는 가시광선/근적외선 영역의 위장섬유소재, 열상 차폐 섬유소재, 전자파/레이더 차폐 섬유소재 등의 군사용 섬유소재에 대한 평가기술을 검토하여 보았다. 실제로 우수한 성능의 스텔스 기능성 섬유소재나 섬유제품이 개발되어도 그에 상응하는 감지 장치나 관측 장비가 개발되고 있기 때문에 관련 기술은 계속하여 진보하고 있다. 기술의 발전 동향과 관련하여 스텔스 기능성을 실제로 발현하는지에 대한 평가기술은 국가의 인적, 물적 자원을 보호하는데 직접적으로 영향을 주게되므로 상당히 중요하며, 군수용 섬유소재(제품) 뿐만 아니라 민수용 제품에도 적용이 가능하므로 기술개발의 필요성은 더욱 증대되고 있다.

## 참고문헌

1. 김성동 외, "스텔스 기능성 섬유 기술개발", 지식경제부, 2008.
2. 임채근, "얼룩무늬 전투복의 위장원리", 국방품질, 1999.
3. 박윤철, "최신 섬유기술 동향스텔스 기능성 섬유소재" 한국섬유산업연합회, 2007.
4. 신현인, "국내 성능형 규격 적용 활성화 방안", 국방정책연구, 2003.
5. 국방규격, "염색견뢰도(위장무늬형)", 2003.
6. 국방규격, "다영역차장 위장망 체계", CN-007, 2003.

### ● 이 해 정

1993. 경북대학교 견섬유학과 졸업  
 1995. 경북대학교 염색공학과(석사)  
 1995-2001. 염색기술연구소  
 2001-2002. 한국산업기술평가원  
 2002-현재. 한국생산기술연구원 섬유융합연구부 선임연구원  
 전화 : 031-8040-6123, Fax : 031-8040-6110  
 e-mail : hjlee@kitech.re.kr

### ● 박 윤 철

1989. 한양대학교 섬유공학과 졸업  
 1991. 한양대학교 섬유공학과(석사)  
 1997. 한양대학교 섬유공학과(박사)  
 1991-1993. 제일모직 연구소  
 1998-2001. 산업자원부 기술표준원 섬유과  
 2001-2003. NCSU 섬유대학 방문 연구  
 2003-현재. 한국생산기술연구원 섬유융합연구부 수석연구원

### ● 심 재 윤

1997. 경북대학교 염색공학과 졸업  
 1999. 경북대학교 염색공학과(석사)  
 2006. 서울대학교 재료공학부(박사수료)  
 1998-2002. (주)대우/인터내셔널 섬유연구소  
 2002-현재. 한국생산기술연구원 의류·염색가공기술지원센터 선임연구원