

## 적층재료의 절연설계기술



정해천  
(주)두산 전자BG QA 팀장

### 1. 서론

절연특성이 요구되는 적층 고분자재료를 제조하기 위한 공법과 재질에는 여러가지가 있다. 예를들면 용액화된 절연chemical 자체를 후처리하여 고형화하는 공법도 있겠고 bakelite와 같이 여러겹(layers)으로 이루어진 절연중간재료들을 열처리하여 압착경화시키는 laminates공법으로도 나눌수 있다.

어떤 공법이든간에 결과는 최종제품이 외부환경여건에 노출되었을시 물성이 변화되지 않고 제기능을 발휘하도록 설계하는것이 가장 중요한 관건이라 하겠다.

본문에서는 여러 고분자절연물중에서 수지(resin)을 기저재에 함침 건조압착하여 제조하는 laminates의 일반적 제조과정에 대하여 살펴보고자 한다. laminates의 절연특성과 관련하여서는 여러공정 및 원재료에서의 검토가 필요하다.

대별하면 주요 기저재인 BKP(bleached kraft paper)를 검토할 때 요구되는 pulp자체의 물성과 함침용 chemical인 main resin의 설계 그리고 양자의 공정적용시 최적화된 함침기술과 경화조건의 필수선정 등으로 요약될수 있다. 이들중 어느 한부문이라도 적절한 요건이 결여되면 절연물로의 기능은 약화되기 때문이다.

### 2. PULP의 검토

일반적으로 함침용 기저재인 BKP의 기본설계특성은 수지(resin)의 완벽한 함침침투성(permeability)에 있다해도 과언이 아니다. 이를 위해서는 사용 pulp의 수종이나 수종별 비율, 예를들면 침엽수와 활엽수의 혼합량 그리고 혼합된 pulp의 전처리조건을 통한 pulp조직의 modification 작업등이 선행되어야 한다. 이 모든 작업은 함침에 유리하도록 pulp의 적절한 공극유지(pore-size)에 초점이 맞추어 진다. 이러한 함침용 기저재(BKP)의 공극이나 밀도 그리고 조직의 형태(formation)가 현장에서 사용시 용도에 맞지 않으면, 절연용액(resin)이 기저재에 충분히 함침되지 않고 표면에만 도포되는 이른바 coating현상이 생겨 함침공정(impregnation) 미숙으로 절연물로의 기능을 다할수 없게 된다.

화학적인 설계부분도 예외일수는 없다. PULP용액의 순도(이물질에 의한 절연치의 저하)나 PH(수소이온농도) 그리고 BKP에 포함되어 있는 잔류염소량(chlorine content)의 관리도 절연특성과 밀접한 관계가 있다.

결국 이러한 BKP의 기본특성상 사진 1과 사진 2와 같이 양단면(felt & wire-side)의 흡수성 및 흡

유성 그리고 잔류이온등이 공정조건에 따라 적절히 고려/설계되어야 하므로 절연용액(resin)과의 충분한 시험을 거쳐 결정하게 된다.

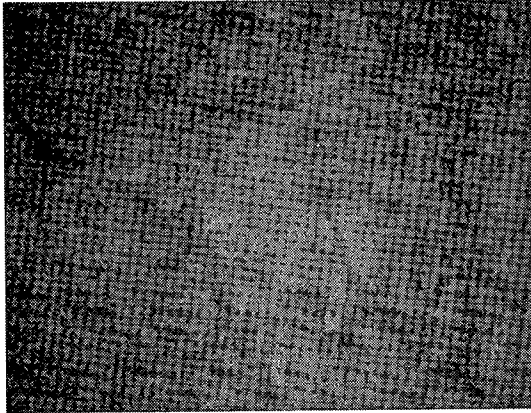


사진 1. BKP felt-side 표면사진

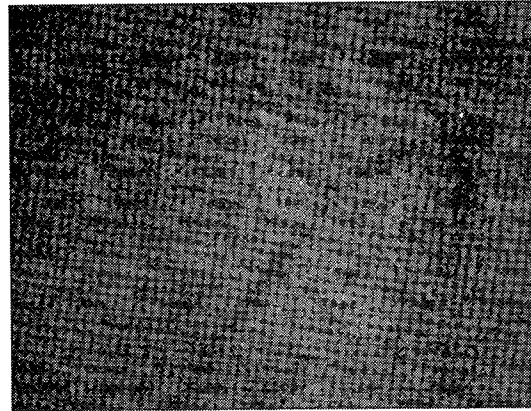


사진 2. BKP wire-side 표면사진

### 3. 수지의 설계

절연용액(resin)의 물리적특성 설계시 가장 우선시 되는 항목은, 기자재(BKP)에로의 함침성의 극대화 일 것이다. 아울러 화학적으로는 용액(resin)의 절연 특성의 견비가 기본적사항일 것이다. 전자의 특성을 향상키 위해서는 대개 resin의 함성조건(축매의선정/반응온도설정 등)에 따른 적절한 분자량분포도(molecular weight distribution)의 채택이 필요하다.

이는 공정현장에서의 생산성을 최대로 고려한 함침

속도에 맞는 조건이 우선되어야하기 때문이며 이때 절연용액(resin)의 경화시간(gel-time)이나 가교밀도(cross-linking density)역시 중요한 결정인자로 작용된다. 후자의 특성을 향상키 위해서는 정형화된 resin-system내의 미반응물질(unreacted substances)의 최소화가 큰 몫을 한다.

이 미반응물질은 계(system)내에서 고분자화되지 않은 채 저분자(monomer)로 존재하여 용액 자체의 가교밀도(cross-linking density)를 낮게 만들고, 결국 경화 resin(cured-resin)의 hydro-phobicity저하를 가져와 절연체로서의 특성을 감소시키는 요인으로 작용한다. 요점은 기자재에 함침(impregnation)시 우수한 함침속도(wettability)와 최소의 미반응물물 가진 높은 가교밀도의 절연용액(resin)의 제도가 최적이란 의미가 된다.

용액(resin)합성시 최근 많이 응용되는 물질(chemical)로는 triazine계열을 들 수 있다. 이 triazine-modified resin은 절연물 그자체로도 많은 역할을 할뿐만 아니라, 절연물이 외부에 노출/오염되었을시에도 대응하여 높은 저항특성을 나타내는 물질로 그 응용범위나 용도가 상당히 다양하다. 비단 용액(resin) 자체의 합성에만 이용되는 주요 chemical로서의 역할만이 아니라, 혼합chemical과의 보조제나 기타 기자재의 전처리용액(pretreatmentagents)으로 응용되기도 한다.

통상 laminates의 절연특성(전기적 안정성)을 가늠함에 있어서 시행되는 측정방법으로는, 절연체를 일정조건 및 상태로 전처리한후 전기기기로 측정하는 방법 이외에도, 절연체 표면에 도전성 용액을 임의로 오염시킨 상태에서 측정하여 전기적 안정성을 가능하는 사진 3과 같이 내tracking성(comparative tracking index) 측정법이 있다.

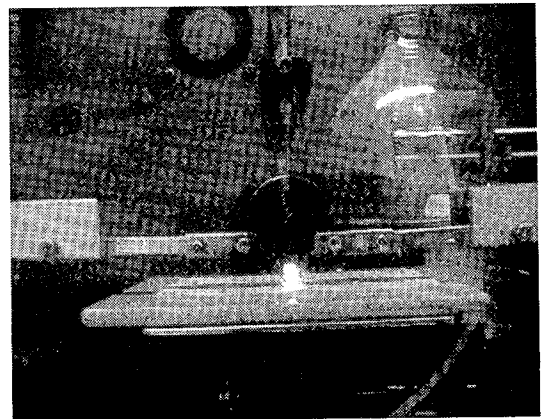


사진 3. CTI 측정사진

좋은 용액(resin)이란 이런 습식 전처리방법이나 도전성 오염노출/측정방법에도 열화되지 않고 안정적이고 높은 절연특성을 가질수 있는 설계기술과 조건의 결정체라 하겠다.

#### 4. 함침/경화조건

최적조건의 기자재와 용액(resin)의 만남에 있어, 높은 특성의 추구를 위해서는 그 가공방법도 상당히 중요하다. 기자재(BKP)의 미세공극에는 항상 수분이 존재하고 이 수분은 외부로부터의 용액침투성을 방해하는 요소로 작용한다. 최적의 함침을 위해서는 여타방법(열이나 수용성용액)을 동원한 수분의 제거가 최우선 작업으로 여겨지고 있으며 그 예중 하나가 함침방법의 다양화라고 할 수 있다. 통상 laminates용 중간성형물(prepreg)의 함침방법에는, 기자재를 함침용 절연용액(resin)에 두차례 통과건조시키는 2-pass system이 행해지기도 한다. 1차 함침건조의 주목적은 전술한바와 같이, 저분자의 절연용액을 이용한 기자재내의 수분 제거에 있으며, 2차 용액과의 밀착력 강화를 경유한 가교밀도의증대에 있다 하겠다. 이외에도 함침 용액(resin)의 농도나 온도는 물론이고 함침속도까지도 최적현장조건을 위하여 적절히 관리되어야 하며, 최종성형물의 외양(appearance)을 위해 기자재에로의 용액 함침량(resin-content)의 조절도 중요한 관리요소라 할 수 있다. laminates의 절연특성을 좌우하는 최대

hydrophobicity를 위해서는 완벽한 경화조건 역시 검토되어야 한다. 경화에 참여해야할 분자들이 미경화된 상태로 계(system)내에 남게 되면 성형물 자체의 밀도가 저하되어 외부인자(흡습)에 쉽게 공격당하고 결국 절연특성의 저하로 이어진다. 이처럼 고가교밀도의 절연구조를 가지도록 완벽한 경화구조를 검토하는데는 여러방법이 있으며 그중 하나가 열분석기(thermal analysis)를 이용한 방법이다. 이 방법은 일정경화조건에서의 작업된 시험물을 DSC(differential scanning calorimeter)에 적용하여 열적반응곡선을 산출해내고, 해석된 곡선(curve)의 행위가완전경화에 이르기까지에 소요된 모든 열원(sources)을 유추/포집해내는 방법이다.

이외에도 성형물의 가교밀도의 완성여부를 측정하는 방법으로는 TGA(thermal gravimetric-analyzer)를 이용하여 절연물의 열적손실 안정성을 측정하여 반영하는 일반적 방법도 있다. 이상과 같이 본문에서는 laminates제조상 주요공정별로 관리되어야 할 요소들을 개괄적으로 살펴보았다.

#### 5. 맺음말

이상과 같이 적층 절연물의 제조기술에 대하여 간단히 부분적으로 소개하였으며, 적층 절연재료의 핵심이 되는 기술은 용액의 선정과 제조공정의 함침 및 경화조건이며, 특히 표면 절연특성을 평가하는 최적 시험조건의 확립이 더욱 중요하다.