

시험실간 HVI 시험결과와의 일치성 향상

1. 서 론

현재 HVI 시스템은 미국에서만도 200대 이상이 사용되고 있으며, 전세계적으로는 거의 400대가 사용되고 있다. 미국의 섬유산업에서 소비되는 원면의 절반 이상이 HVI로 측정된 섬유의 물성을 기준으로 선택되고 있다. 미국에서 생산되는 전체 원면의 절반 정도가 이미 미농무성을 통하여 HVI 시스템에 의해 분류되는데, 1991년부터는 전체 원면을 HVI 시스템에 의해 분류할 계획이다.

미국 내의 원면을 사용하는 모든 업체에서는 원면의 생산, 판매 및 이용에 있어 효율을 향상시키기 위하여 HVI 기술을 도입하는 추세에 있다. 미국에는 HVI 시스템을 대규모로 사용하는 세 그룹이 있다.

- 첫번째 그룹은 미국 농무성인데, 농무성에서는 1991년까지 20개소의 지방품선사무소에 약 200대의 HVI 시스템을 도입하여 미국에서 생산되는 약 1,400만 베일의 원면을 분류할 계획으로 있다. 국적(government loan)은 HVI 시험결과를 근거로 할 것이고 원면 생산자들은 HVI 물성에 따라 원면을 판매하게 될 것이다.

- 두번째 그룹은 상인들인데, 15군데 이상에서 이미 HVI 시스템을 사용하고 있다. 최근에 발표된 자료에 의하면 미국 중남부 멤피스 지역의 원면 販賣契約書 가운데 80% 이상이 일정한 수준 이상의 섬유강도를 요구하고 있으며, 그 중에서 약 90%가 24gf/tex의 HVI 강도를 최소치로 규정하고 있다.

- 세번째 그룹은 섬유회사들인데, 최근의 조사에 의하면 약 40개의 제조업체들이 원면을 선택하는데 있어서 HVI 시스템을 이용하고 있는 것으로 나타났다.

미국에서는 이런 추세는 증가하고 있으며 3~5년 사이에 거의 모든 원면에 대한 목록과 혼면의 HVI 물성에 의해 이루어지게 될 것이다.

HVI 시험결과에 입각한 원면의 판매가 효율적이고 경제적이기 위해서는 많은 단체들과 시험실 간의 HVI 시험결과가 서로 일치되어야 한다.

2. 시험실간의 일치성에 영향을 미치는 인자

시험실 간에 차이를 야기시키는 가장 큰 원인은 캘리브레이션 방법과 원료의 차이이다. 시험 전에 시험실의 조건을 일정하게 유지하고 시료를 컨디셔닝하는 것이 중요하다.

가. 캘리브레이션용 원면

HVI 시스템을 캘리브레이션하는데 사용되는 원면은 두 종류가 있다. 미국에서는 거의 대부분의 시험실이 농무성에서 HVI 시스템의 캘리브레이션용으로 특별히 준비한 원면을 사용하고 있다. 이 캘리브레이션용 원면에도 두 종류가 있는데, 모두 혼합되지 않은 균일한 베일 상태로 공급된다. 이 중 하나는 섬유장이 1in 이하이고 강도가 25gf/tex 이하인 짧고 약한 섬유로 구성되어 있으며, 다른 하나는 섬유장이 1.1in 이상이고 강도가 27gf/tex 이상인 길고 강한 섬유로 구성되어 있다. 이 원면들은 Spinlab사와 Motion Control사의 HVI 시스템 모두에 대해 같은 결과를 나타내도록 선별된 것이다. 이 원면에 대한 측정치들은 농무성이 지정한 시험실에서 측정된 것이다. HVI 시스템을 캘리브레이션 하는데 두번째 원면은 국제 캘리브레이션용 사용되는 표준원면이다. 이 표준원면도 역시 농무성이 지정한 시험실에서 준비된 것인데, 이것은 잘 혼합된 카드 웹(card web)으로부터 만들어진 것이다. 이 데이터에서 섬유장은 스펠 길이에 의해서 구해진 것이다.

미국보다 다른 나라의 HVI 사용자들이 표준원면을 더 많이 사용하고 있는 것으로 생각되는데, 시험실에서 섬유장과 강도가 서로 다르게 나타나는 두 종류의 캘리브레이션용 원면을 사용하는 것은 바람직하지 못하다. 이제는 국제적으로 일치되는 측정방법과 캘리브레이션용 원면이 절실히 필요한 때가 되었다.

섬유장 측정치를 사용하는 것이 강도 측정치를 사용하는 것보다 그 목적이 더 뚜렷한 것을 생각된다. 상반 평균장(upper half mean length)은 확실한 이론적 배경을 갖고 유익하게 사용되었는데, 이는 공정 및 제품의 성능을 예측하는데 유용한 것으로 밝혀졌으며 측정치가 정확하고 재현성이 있다. 스테이플 표준에 대한 일련의 데이터를 통하여, 측정치의 수준이 원면시장에서 전통적으로 사용되었던 스테이플 길이와 서로 연관성을 갖게 되었는데, 이것이 상반 평균장이 공통의 측정법으로 사용되는 피할 수 없는 이유인 것이다.

그렇지만 HVI 강도시험의 수준을 결정하는데 있어서 명확한 표준이 없기 때문에 수준의 변화가 심한데, 최근에 와서는 농무성에서 관리하는 水準基標 베일(benchmark bale)을 표준으로 삼고 있다. 이것은 우리에게 추가적인 연구과제를 제공해 주며, 측정치의 정확성과 재현성 그리고 판매와 공정에서 이런 데이터를 이용하기 위하여 최상의 수준을 결정하는 작업을 생략할 수 있게 해준다. 아마도 HVI와 섬유장에 대해 연구하는 ITMF 산하의 연구팀들은 이러한 일치성에 대한 연구작업의 촉매 역할을 할 수 있을 것이다.

나. 캘리브레이션 방법

비록 HVI 시스템을 캘리브레이션하는 보편화된 방법은 아직 개발되지 않았지만, HVI 시스템 제작회사들은 독자적으로 자신들의 시스템에 대해 캘리브레이션을 지원할 수 있는 컴퓨터 프로그램을 개발해 왔다. 뿐만 아니라 몇

몇 개인과 회사에서도 캘리브레이션 방법과 소프트웨어를 개발해 왔다. 실제로 시험실에서 시스템을 조작하는데 있어 서로가 너무 다르기 때문에 공통적인 캘리브레이션 프로그램이 꼭 있어야 한다거나 필요하다고는 확신하기 힘들다.

구형의 HVI 시스템은 수동식 조정작업이 필요하지만 컴퓨터를 사용해 캘리브레이션하는 최신형 시스템을 사용하면, 시험실에서 캘리브레이션 과정을 쉽게 숙지할 수 있다. 그 과정은 자세히 기록되어 있어야 할 것이며, 시험실의 HVI 취급자 모두 사용법과 중요성에 대해서 충분히 숙지하고 있어야 한다.

다. 시험실 조건의 관리

HVI 섬유물성들이 모두 시험실 조건에 민감한 것은 아니다. 사람이 안락한 기분을 느낄 정도의 온도범위에서는 HVI 측정치들이 크게 영향을 받지 않는다. 그렇지만 상대습도의 경우는 면의 흡습성은 거의 영향을 받지 않는 것으로 알려져 있다. 상대습도를 알맞게 관리하고 온도조절을 하는 시험실이라면, 마이크로네어, 섬유장, 섬유장 균제도 등을 측정하는데 충분하다. 그러나 이러한 조건에서도 상대습도가 단시간에 급격하게 변하는 것을 피해야만 한다.

강도와 신도는 상대습도에 매우 민감한데, 몇 년 전의 연구결과로부터 상대습도가 3% 변하면서 HVI 강도는 1gf/tex가 변함을 알았다. 이는 상대습도에 따라서 장시간에 걸쳐 천천히 일어나는 변화가 아니라 2~3분 내에 변화를 가져오는 단시간의 변화인 것이다.

시험실에서는 처음 정한 상대습도가 변하는 것보다 일정하게 유지되는 것이 더욱 중요하다. 예로서 상대습도를 55%로 일정하게 유지하는 것이 65%에

서 변화가 있는 것보다 더 좋다.

라. 시료의 컨디셔닝

시료가 시험실에 접수되면 노출된 상태로 최소한 8~12시간을 컨디셔닝해야만 한다. 이 시간은 시험실 내에서 시료에 함유된 수분이 완전한 평형상태가 되기에는 불충분하지만 대부분 상업용의 HVI 시험에는 적당하다.

면의 수분함유량은 履歷效果가 있어서 시험실이 습하거나 건조한 것에 따라 시료는 평형수분상태에 도달하게 된다. 예를 들면, 상대습도 65%인 표준 상태에서 습한 시료는 수분을 방출하여 평형수분함유량이 약 9.5%가 되고, 반면에 건조한 시료는 수분을 흡수하여 수분함유량이 약 7.5%가 된다. 이상적인 컨디셔닝 과정은 처음에 모든 시료를 건조시켜 수분함유량이 3~4% 정도 되게 한 후에 수분함유량이 6~7%가 되도록 재컨디셔닝시키는 방법으로, 현재까지 이력현상의 영향을 없애 주는 유일한 방법으로 알려져 있다.

3. 시험실간 시험결과의 일치성에 대한 예측

이제, 두 시험실에서 온습도가 정확히 관리되고, 시험기기의 캘리브레이션이 잘 되어 있으며, 시료가 적당히 컨디셔닝되었다고 가정하면, HVI 시료결과에 대해서 어떤 일치성을 예상할 수 있는지 알아본다.

가. 마이크로네어

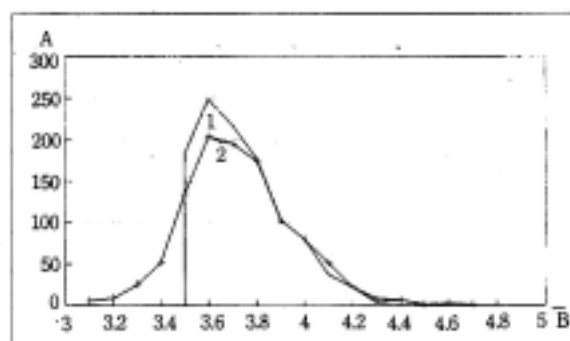
시험실간 HVI 시험결과의 일치성에 대해 실제 상황에서 예상될 수 있는 것을 보여주기 위하여 특별한 예를 사용하기로 하겠다.

다음의 시험결과는 원면상인(판매자)과 섬유제조업자(구매자)로부터 입수한 마이크로네어에 대한 실제 측정치이다. 판매자는 1,100베일의 원면을 공장에

납품했는데, 이 가운데 마이크로네어치가 3.5 이하인 베일은 하나도 없었다. 판매자와 구매자로부터 시험결과에 대한 분석을 의뢰받았는데, 그 이유는 구매자가 9% 정도의 베일에 대해서 마이크로네어치가 최소치인 3.5이하라는 것으로 불합격 판정을 내렸기 때문이다. 판매자와 구매자의 데이터를 검토하여 오류가 발견된 19베일을 제외시키고 1,081베일로 최종 데이터를 만들었다.

여기서 제기된 첫번째 문제는 마이크로네어를 시험한 기기의 캘리브레이션에 차이가 없었는가하는 것이었는데, 캘리브레이션의 차이를 확인하기 위해서 1,081베일에 대한 두 시험실의 평균치를 계산하였다. 결과는 모두 다 평균치가 3.73으로서 소수점 둘째 자리까지 같았다.

다음에 평균치에 대한 각 측정치의 분포를 조사하였으며, <그림 1>은 각 마이크로네어 범위에 드는 베일 수를 나타낸다. 구매자와 판매자의 시험실 모두 마이크로네어치 3.6으로 측정된 베일 수가 가장 많다는 사실에 주의 기울일 필요가 있다. 다음으로 분포곡선이 마이크로네어치 3.6에서 최고치를 나타내고 최고치의 우측으로 곡선이 치우쳐 있는데, 두 시험실의 결과가 이러한 점에서 서로 일치하였다. 즉, 마이크로네어치가 3.8로 측정된 베일의 수가 판매자는 178베일, 구매자는 175베일이며, 4.0인 것은 모두 80베일, 4.2인 것은 판매자는 22베일, 구매자는 23베일, 4.4인 것은 모두 7베일이었다.



A: 베일 수 B: 마이크로네어치 1: 판매자 2: 구매자

<그림 1> 판매자와 구매자가 시험한 마이크로네어치 분포곡선

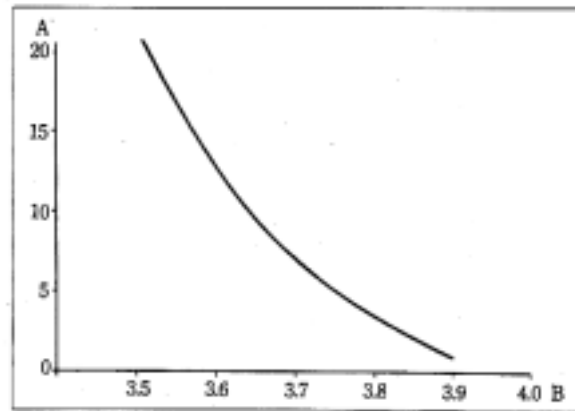
그렇지만 더욱 관심을 끄는 것은 마이크로네어치가 낮은 부분인데, 두 시험실의 결과가 명백하게 서로 일치하지 않고 있다. 구매자의 데이터는 마이크로네어치가 3.5에서 급격한 차단선을 그리는 구매자의 데이터와 일치하지 않고 있다. 무엇보다도 이에 대한 큰 이유는 두 시험실 모두 마이크로네어시험을 베일당 단지 1회만 실시하였다는 것이다. 베일당 1회의 시험만으로는 각 베일이 0.1마이크로네어까지 일치한다는 것이 사실상 불가능하다. 실제 두 시험실이 1,081베일 가운데 23.7%에 해당하는 256베일에 대한 마이크로네어치가 정확히 일치하고 있으며, 62.9%에 해당하는 680베일이 0.1마이크로네어 범위 내에서 서로 일치하고 있는데, 이는 이론적인 예측과 매우 근사하다.

구매자의 시험실에서는 8.5%인 92베일을 3.5마이크로네어 이하로 측정하였는데, <그림 2>를 이용하여 이 베일을 더 자세히 검토해 보기로 한다. 이 그림은 판매자가 3.5이상으로 측정한 베일 수에 대해서 구매자는 3.5이하로 측정한 베일 수의 비율을 나타낸다. 즉, 판매자는 183베일이 마이크로네어치 3.5인 것으로 납품하였으나 구매자는 이 가운데 약 21%의 베일이 3.5이하인 것으로 측정하였으며, 역시 3.6인 베일 중 12.5%의 베일이 3.5 이하인 것으로 측정하였다. 만일, 구매자가 3.9 마이크로네어 이하인 베일을 납품하지 않았더라면, 구매자는 전체 베일 중 단지 3베일만 불합격 판정을 내렸을 것이다. 또한 구매자의 시험에서 불합격 판정을 받은 베일이 나오지 않기 위해서는 구매자는 4.0 마이크로네어 이하인 베일을 납품할 수 없게 되며, 이렇게 되면 공장에서 요구하는 수준을 훨씬 넘어서는 매우 높은 평균치의 마이크로네어가 될 것이다.

시험실 간의 일치성을 향상시키는 방법 가운데 하나는 각 시험실에서 베일당 시험횟수를 3회 이상으로 늘리는 것이다. <그림 3>은 베일당 시험횟수가 증가함에 따른 마이크로네어 평균치에 대한 정밀도를 나타낸다. 예를 들

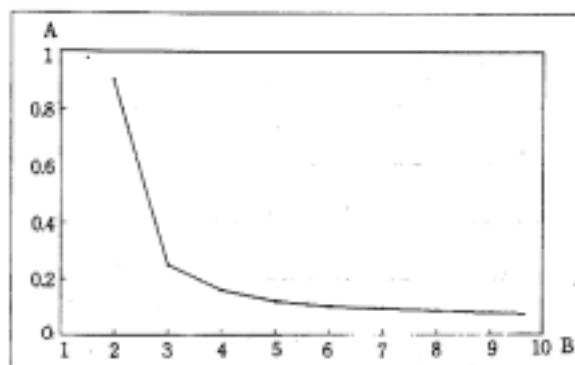
면, 0.1 마이크로네어 범위 내에서 각 베일의 평균치가 결정되기 위해서는 베일당 6회의 시험이 필요하다. 또한, 그림으로부터 베일 평균치의 정밀도는 베일당 시험횟수가 5회 이상에서는 거의 향상되고 있지 않음을 알 수 있는데, 베일당 5회의 시험을 하게 되면 시험비용이 매우 증가하게 된다. 마이크로네어치가 최소 3.5이상이 요구되는 경우에 이와 같은 일련의 데이터로부터는 선택적인 시험이 가능하게 된다. 즉, 판매자에 의해 마이크로네어치가 3.5~3.6으로 측정된 시료는 5~6회, 3.7과 3.8로 측정된 시료는 3~4회 시험하고, 3.9이상으로 측정된 모든 시료는 원래의 측정치대로 납품한다. 이와 같은 시험은 불합격 판정을 받는 베일 수를 최소한으로 감소시키지만, 추가적인 비용부담이 따르게 된다. 판매자와 구매자가 시험의 확률론적 방법에 대해 거의 이해가 없는 상태에서 마이크로네어치가 최소 3.5 이상인 원면 1.100베일에 대해 賣買契約을 하였기 때문에 구매자는 마이크로네어치가 너무 낮다는 이유로 거의 9%의 베일에 대해서 불합격 판정을 내렸으며, 서로가 상대방의 시험실이 캘리브레이션이 잘못되었거나 기능이 나쁜 기기를 보유하고 있는 것으로 생각하였지만, 사실은 그렇지 않은 것이다. 이와 같은 시험결과에 대해서 시험실 간의 일치성을 향상시킬 수 있는 유일한 방법은 판매자와 구매자 모두가 시험방법을 보다 잘 이해하며, 이러한 점을 염두에 두고 賣買契約에 임하는 것이다.

이처럼 마이크로네어치가 3.5에 가까운 베일을 납품하게 되면, 구매자에 의해 많은 베일이 불량판정을 받게 된다는 것을 구매자는 알고 있어야 한다. 마찬가지로 구매자는 베일당 1회시험을 한 결과를 가지고 구매자는 베일당 1회시험을 한 결과를 가지고 마이크로네어치가 3.2이상인 베일에 대해서 불합격 판정을 내리는 것은 공정성이 없다는 것을 명심해야 한다.



A: 구매자가 3.5 이하로 측정한 비율 (%) B: 판매자가 측정한 마이크로네어치

<그림 2> 판매자가 3.5이상으로 측정한 각 마이크로네어치의 베일수에 대한 구매자가 3.5이하로 측정한 베일수의 백분율(%)



A: 마이크로네어 평균치의 정밀도 B: 베일당 시험횟수

<그림 3> 베일당 시험횟수의 증가에 따른 마이크로네어에 대한 평균치의 정밀도

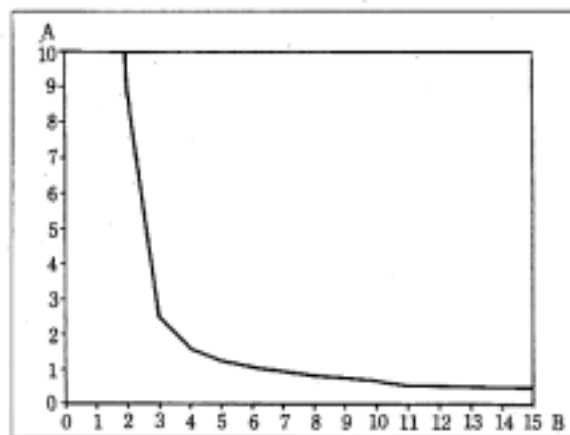
나. 강도

섬유강도는 중요한 물성이므로, HVI강도에서 시험실 간의 일치성을 예측하는 방법에 대해 간단히 고찰하고자 한다. 하나의 베일에 대해서는 HVI 강도 시험을 한 후에 나타난 결과를 가지고 설명한다. 베일의 HVI 강도가 25.0gf/tex라고 가정하고 500베일을 구매한다고 가정해 보자. 판매자가 납품한

500베일 가운데 강도가 25.0gf/tex인 것이 100베일 포함되어 있다.

이때 16%는 베일의 강도가 26 이상이고 50%는 25이상으로 나타난 것은 각 시험실의 HVI시스템이 같은 수준으로 캘리브레이션 되었음을 나타낸다. 그러나 구매자와 판매자에게 가장 중요한 것은 판매자의 시험에서 강도가 25인 베일이 구매자의 시험에서 34%는 24로 14%는 23으로 측정된다는 사실이다.

이와 같은 사실의 중요성은 구매자와 시험실에서 원면을 시험하여 앞에서와 같은 분포를 얻었을 때 구매자는 판매자에게 손해배상을 청구하는 확실한 근거가 될 수 없다는 것이다. 즉, 이러한 분포는 베일 내에서 자연적인 강도변동에 의해 발생할 수 있는 것이다. 반면에 구매자가 25gf/tex로 납품된 베일을 시험하여 앞과 유사한 분포를 나타내지 않는다면, 손해배상을 청구할 수 있는 충분한 근거가 된다. 즉, 재시험을 하여 60%가 24gf/tex이고 20%가 23gf/tex로 측정된다면, 그때는 납품된 베일에 대해서 구매자가 손해배상을 청구할 수 있는 이유가 된다. 물론, 이는 캘리브레이션에 전혀 문제가 없다는 것을 전제조건으로 한다.



A: 평균치의 정밀도 B: 베일당 시험횟수

<그림 4> 시험횟수에 따른 강도에 대한 베일 평균치의 정밀도

(베일당 4회의 시험으로 신뢰도 95%로 1.6gf/tex범위 내에서 베일의 평균치를 구할 수 있음)

4. 결 론

지금까지 시험실간 HVI 시험결과와의 차이를 줄이기 위해서 각 시험실에서 할 수 있는 보다 분명한 것에 대해 설명했는데, 중요한 사항은 다음과 같다.

- 올바른 캘리브레이션용 원면의 사용
- 올바른 캘리브레이션 방법을 사용
- 시험실의 상대습도를 항상 일정하게 유지
- 시험전에 시료의 컨디셔닝을 적절하게 함
- 시험오차와 확률론적 방법에 대한 이해
- 베일 내의 변동에 대한 평가방법의 숙지

이러한 점에 유의하고 통계에 대한 깊은 이해를 갖게 되면, 시험실 간의 HVI 측정치에 대한 일치성은 매우 향상될 것이다.