탄성사의 자동 인장 시험시의

문제점과 해결방법

1. 서론

실의 절단 강신도는 사품질 평가를 위한 기본적인 물성이다. 절단 강신도는 인장 시험기에 의해 측정되는데, 인장 시험기는 이러한 물성들에 대한 정보를 가능한 정확하게 전달하는 것을 목적으로 한다. 측정의 정밀도는 로드 셀(load cell)의 정확성과 드로우 오프 클램프 트래버스(draw-off clamp traverse)의 정밀한 측정에 의해 보장된다. 클램프는 실을 확실하게 파지 해야 하며, 파지된 실 부분에 어떠한 손상도 주어서는 안된다. 시험되는 실이 클램프 근처에서 미끄러지거나 절단된다면 그 시험은 의미가 없다.

탄성사 시험시 클램프에서의 미끄러짐은 잘 알려져 있는 현상이다. 이러한 현상은 합성원료의 마찰계수가 낮고 시험이 진행되는 과정에서 실의 직경이 크게 변동되기 때문이다. 이 문제의 해결방법은 클램핑 압력을 높이는 것인데, 이 방법은 실에 손상을 주고 조기 사절을 유발 한다.

BISFA(국제섬유규격협회)는 탄성사의 인장시험과 관련하여 두 가지 옵션을 규정하고 있다.

옵션 A <그림 1> : 위쪽 클램프는 마찰이 적은 베어링으로 된 롤러로 교체되어 있고(1) 아래쪽 클램프는 실의 양 끝(9)을 파지하는 두 개의 세그먼트(4)로 구성된 실린더로 되어 있는 정속신장식(CRE) 시험기. 실린더는 두 가지 기능이 있는데, 실린더의 수평축을 중심으로 회전하여 실린더에 실을 감고 시험기의 드로우 오프 캐리지(draw-off carriage)(2)로 수직 이동하여 일정한 속도로 실에 하중을 주는 것이다. 실린더의 회전 속도는 포지션 센서

(7)에 의해서 제어 되는데, 이것은 보조 클램프(8)에 의해 양쪽 실 끝 중에 한 곳에 부착되어 있다. 이 옵션의 장치는 독일 Textechno 사가 제안한 것이다. BISFA 의 회전식 클램프 장치는 클램프에서의 미끄러짐이나 사절이 없기 때문에 그 결과가 매우 정확하다.

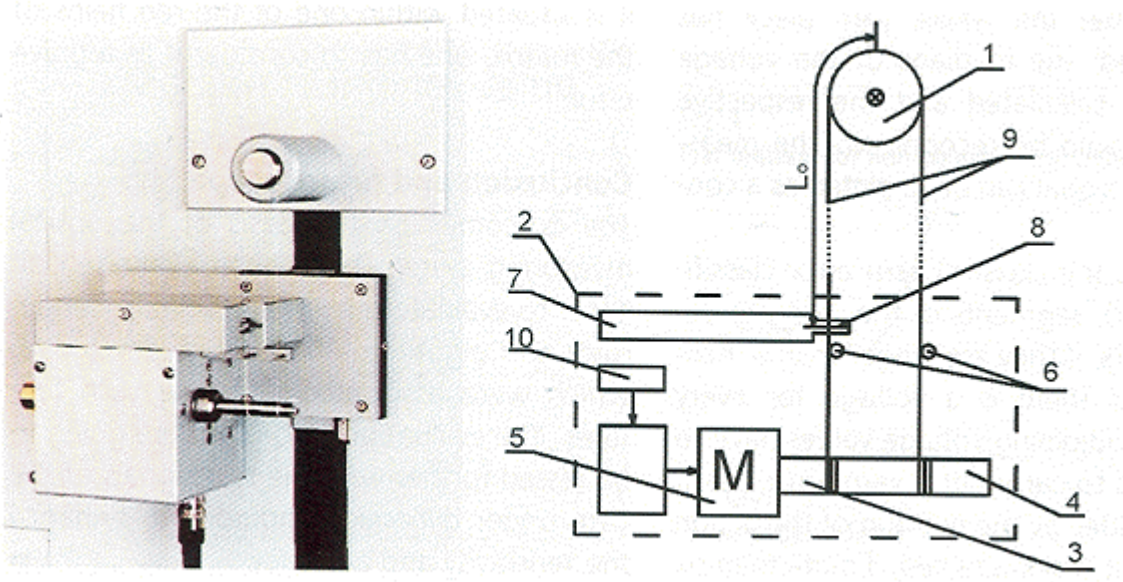
초하중은 초하중 웨이트로 주는데, 이 초하중 웨이트는 0.1mg 의 정밀도 기준요건에 충족되도록 매우 정밀하게 제조된 것이다.

실의 절단 후, 시료는 시험부분에서 수동으로 제거해야 한다. 이러한 방법으로 얻어진 결과는 매우 정확하지만, 손이 많이 가며, 시험을 자동으로 할 수 없다.

옵션 B : 인장시험기는 수동으로 샘플을 삽입하기 위해 기존의 압축 공기 방식으로 작동 되는 클램프가 장착 되어 있으며, 클램프의 한 쪽 면에는 평평한 면의 조우(jaw, 강철 또는 아크릴재질)가 다른 한 쪽 면에는 볼록한 면의 조우로 되어 있다. 이론적으로는 클램핑된 영역에서 실의 미끄러짐을 감소시키기 위해 한 지점에서만 파지 되지만, 파지점에서 실이 절단되는 문제점이 있다.

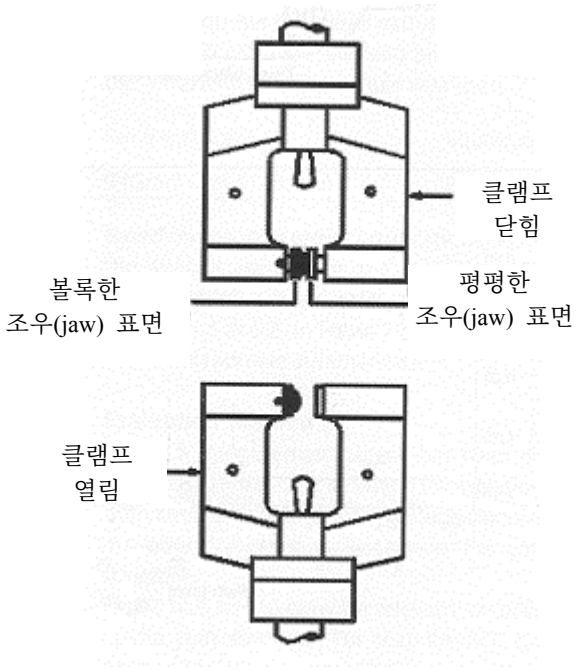
Textechno 사의 Statimat MEL 은 탄성사의 인장시험을 위한 전자동 시험기이다. 이 시험기 역시 압축 공기방식으로 클램프가 작동되며, 부드러운 평면을 갖는 조우와 조합된 툭수한 C-형 금속 조우로 되어 있는데, 이것은 탄성사에 적합하도록 파지점에서의 샘플 절단과 미끄러짐을 최소화 한다. 불행하게도 Statimat MEL 의 클램프는 높은 클램핑 압력에서 미끄러짐이 발생하고, 미리 절단 되기 때문에 폴리우레탄이 들어가지 않은 새로운 타입의 탄성사의 정확한 절단 강신도 결과를 내지 못하였다. a.m. C-형 금속 조우의 표면과 조합시켜 사용할 소프트한 평면 조우의 새로운 재질을 검토하는 실험이 이뤄졌다. 위에서 설명된 조우로 된 Statimat MEL 과 BISFA 회전

식 클램프 시스템의 비교 실험에서 절단 강도 값이 같은 것으로 나타났다. 그러나 Statimat MEL 의 절단 신도 값은 클램프에서의 미끄러짐 때문에 회전식 클램프 시스템의 값을 크게 초과 하였다.



1. 롤러
2. 회전식 클램프 장치
3. 회전식 클램프
4. 실린더의 회전식 클램프의 클램핑 조우
5. 전기모터
6. 더블 얀 가이드
7. 포지션 센서(Position sensor)
8. 포지션 센서의 클립
9. 루프를 형성한 실 시료
10. 회전식 클램프의 구동을 제어하는 유도식 픽업

<그림 1> 옵션 A(회전식 클램프 시스템)



<그림 2> 옵션 B

2. 목적

본고의 연구 목적은 미끄러짐 발생시, 신도 값의 결과를 교정할 수 있는 교정 방법을 개발하는 것이었다. 이는 Statimat MEL 과 BISFA 회전식 클램프 방식의 결과를 비교하여 오차를 교정하고, 두 시험법의 결과 사이의 상관 관계를 도출하여 검토하였다.

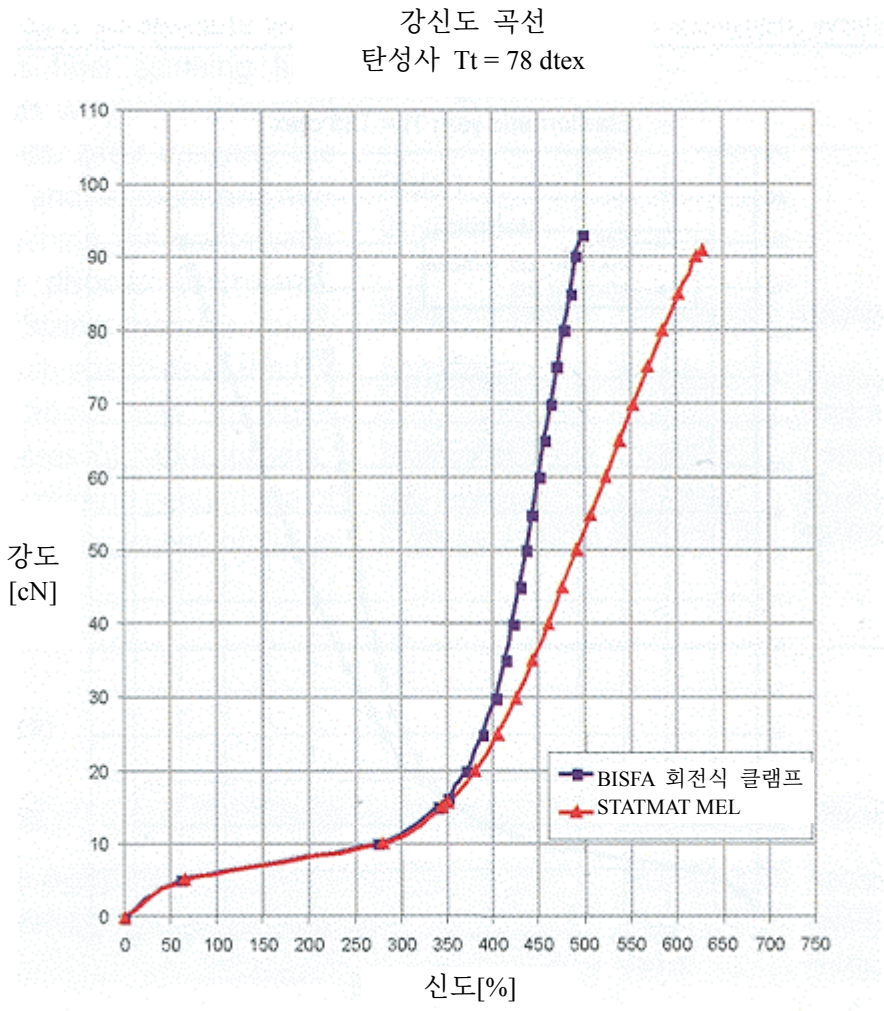
3. 실험

본고의 연구 목적을 위해서 폴리우레탄이 들어가지 않은 탄성사의 번수를 8 가지로 하여 실험하였다. BISFA 표준 옵션 A 에 따르는 회전식 클램프 그리고 a.m. 클램프 형태를 취하는 Statimat MEL 인장 시험기 이렇게 두 가지 시험방법과 시험장치를 사용하였다. 모든 실 샘플에 대해 50 회씩 시험하였다.

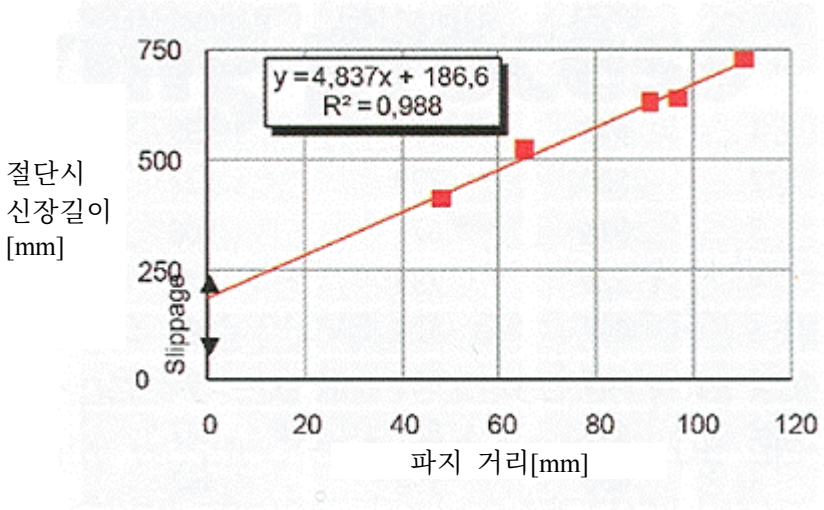
우선 두 시험방법의 시험 결과, 두 시험 장치 간에 통계적으로 차이가

있는 것이 확인 되었다. 모든 샘플에서 최대 강력 값은 통계적으로 99% 차이가 없었지만, 신도 값은 분명한 차이가 있었다. 모든 시험에서 Statimat MEL 의 신도 값은 미끄러짐 때문에 높았다.

<그림 3>은 시험된 실 샘플들 중 한 샘플의 강신도 곡선을 나타내고 있다. 신도가 약 350 %를 초과할 때부터 Statimat MEL 에서 실의 미끄러짐이 분명하게 시작된다. 반면 그 보다 낮은 신도에서는 두 시험방법의 결과가 일치한다.



<그림 3> 두 인장 시험기의 탄성사 시험결과 비교



<그림 4> 절단 신도와 파지 길이 사이의 상관관계와 실의 미끄러짐

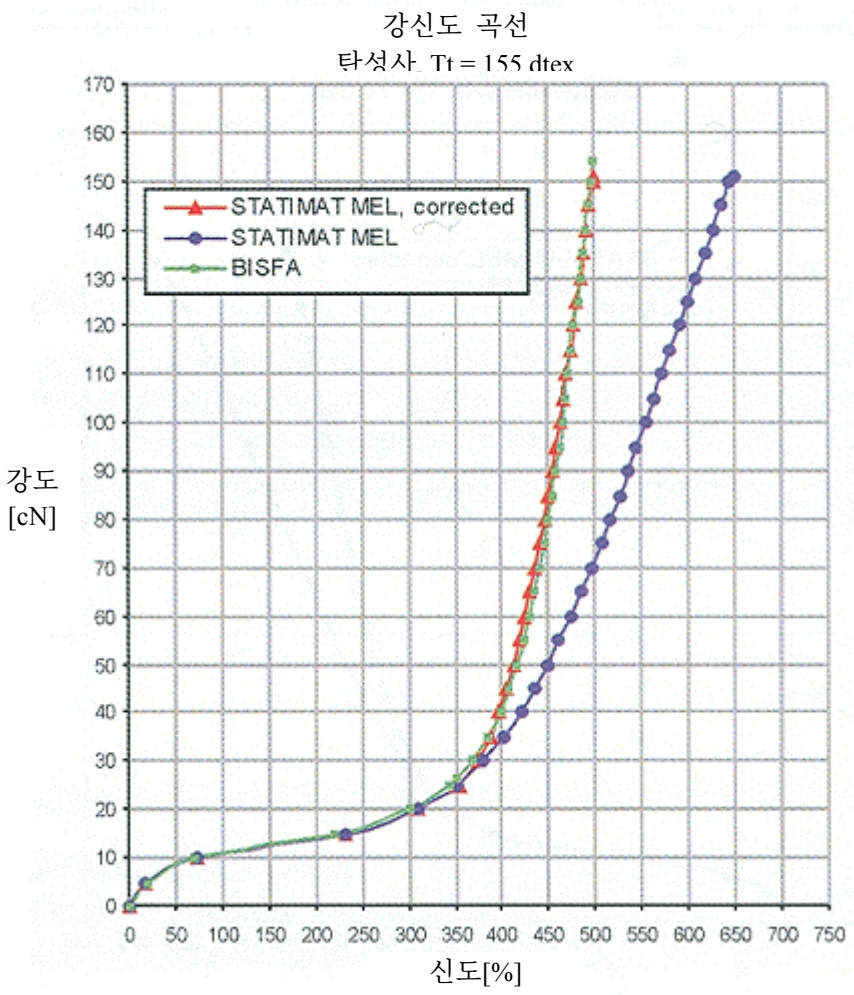
4. 실 미끄러짐에 대한 규정과 신도의 교정

파지 길이와 절단 신도 간의 관계를 정립하기 위하여 파지 길이를 50, 65, 90, 100, 110 mm 로 하여 Statimat MEL 로 예비 실험을 하였다. 파지 길이 제로 "0"에서 선형 상관관계를 추정함으로써 두 클램프에서의 실의 미끄러짐을 측정할 수 있었다. 그 관계는 <그림 4>와 같다. 가로 좌표는 실제 파지 길이(RGL)를 나타내는데, 이것은 시험기의 자동 영점 기능 때문에 공칭과 약간 다르다. 자동 영점 기능은 시험 시작 전에 실을 펴서 초하중을 정확하게 준다. 이 시험과정은 0.001 cN 단위 까지 측정이 가능한 매우 정밀한 강력 측정 시스템으로 이뤄진다. 다이어그램에 나타나는 것처럼 그 관계는 통계적으로 매우 유의한 선형 관계이다.

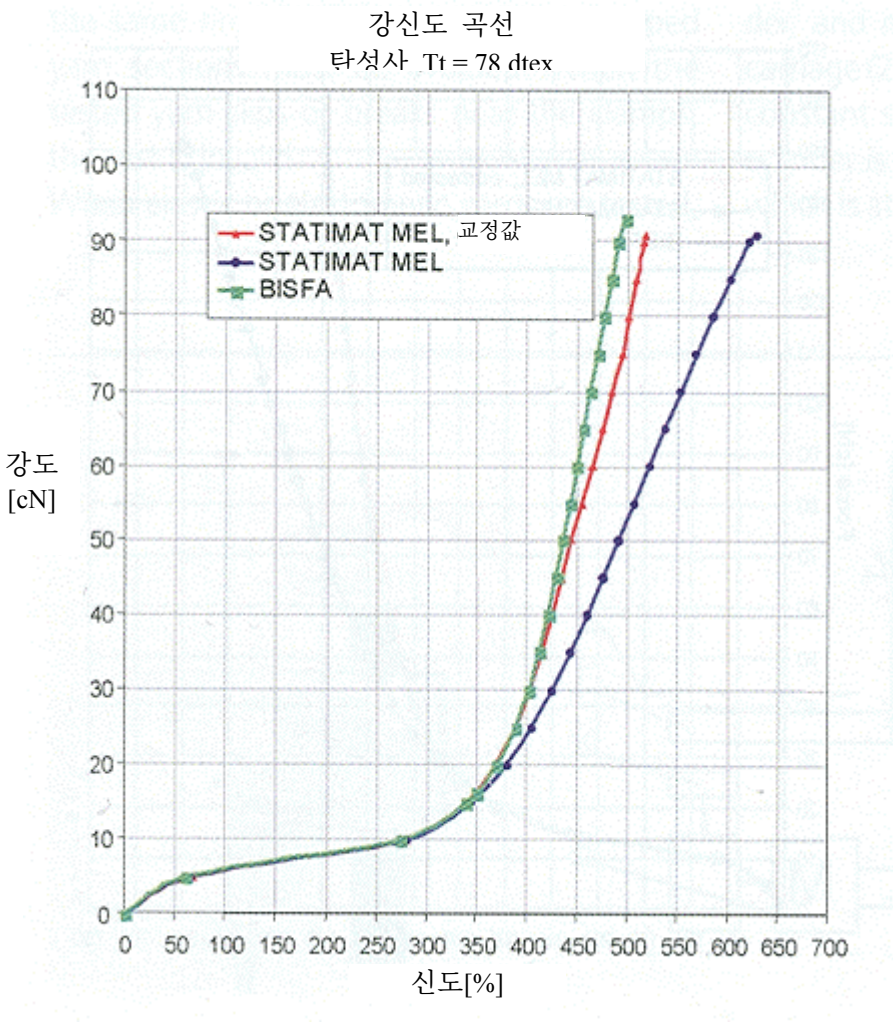
절단 신도의 교정을 위해 오차 △l [mm]의 절대 값을 상대 값 △ε[%]으로 변환하고 그 값을 측정 값으로부터 도출하였다.

$$\Delta\varepsilon = \frac{\Delta l}{RGL} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \text{ 식 } 1$$

이와 같은 방법으로 절단 신도는 절단 강신도 곡선의 어떤 중간 지점에서 교정 될 수 있다. 완전히 교정된 강신도 곡선을 얻기 위해서 Statimat MEL 로 측정된 곡선은 5 cN 단위로 세분하고 그에 상응하는 %와 각 지점에서 계산된 오차를 나타내었다. 교정값과 실제 측정값(BISFA) 사이의 차이가 거의 눈에 띄지 않는 경우도 있고<그림 5>, 작지만 여전히 차이가 있는 경우도 있다<그림 6>.



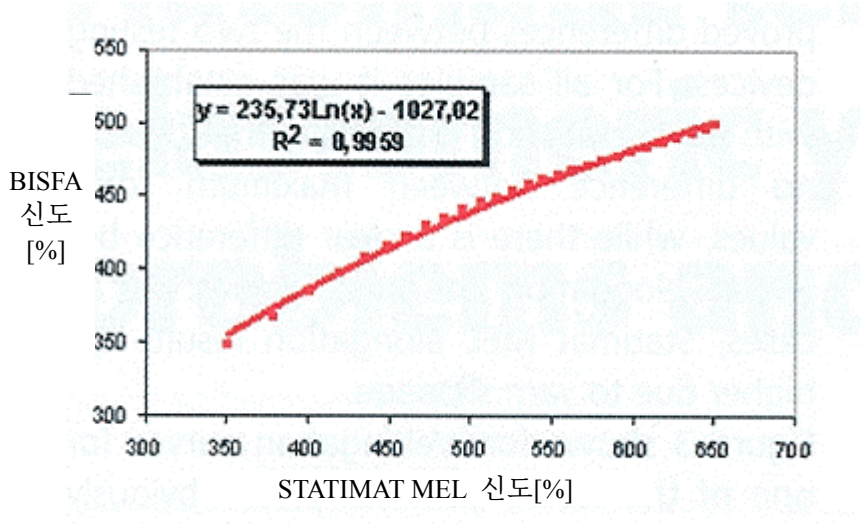
<그림 5> 교정후 BISFA 회전식 클램프의 시험결과와 일치된 Statimat MEL의 시험결과



<그림 6> 교정된 Statimat MEL 의 시험결과와 BISFA 회전식 클램프의 시험결과의 차이는 크지 않음

5. 수학적 교정의 성립

신도가 350%를 초과 할 때부터 Statimat MEL 클램프에서 미끄러짐이 시작되므로 350%가 초과하는 신도들 간의 관계를 통계분석을 하였다. 로그함수 일 때, 가장 적합한 상관성을 나타내었으며, 일치도(coincidence degree) $R^2 > 0.99$ 이다. <그림 7>에는 BISFA 회전식 클램프와 Statimat MEL 로 측정된 신도 값 사이의 관계가 다이어그램으로 나타나 있다.



<그림 7> 신도 값 간의 로그 관계

6. 결과의 교정

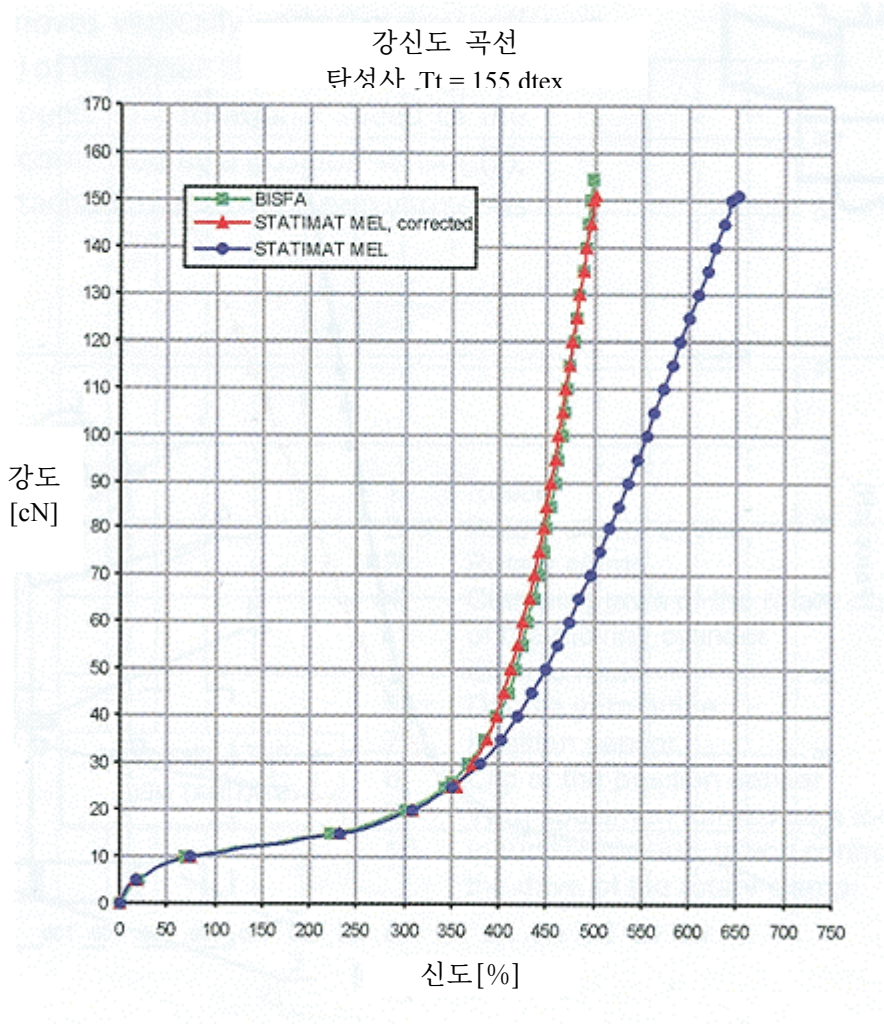
교정식은 로그함수에 기초하였다 :

ϵ STATIMAT MEL corrected = 235 · ln ϵ STATIMAT MEL – 1027 ····· 식 2

ϵ STATIMAT MEL – STATIMAT MEL 로 측정된 신도 값

ϵ STATIMAT MEL corrected – 로그함수에 의해 교정된 신도 값

<그림 8>은 <그림 5>와 같이 실험한 실 중의 한 실에 대한 강신도 곡선을 나타내고 있다. BISFA 회전식 클램프로 측정된 신도값과 Statimat MEL로 측정되고 교정된 신도 값 사이의 뚜렷한 차이는 없다. 모든 경우 교정된 곡선은 ϵ = 350% 부근에서 완만해 진다.



<그림 8> 강신도 곡선

<표 1> 절단 신도 값의 비교

구분	BISFA [%]	Statimat MEL [%]	Statimat MEL Corrected[%]
1	499	650	499
2	520	729	527
3	514	673	508
4	528	735	528
5	497	628	491

6	502	659	503
7	448	521	447
8	460	554	462

<표 1>은 모든 실 샘플에 대한 절단 신도 값을 나타내고 있다. 모든 실 샘플의 절단 신도 값은 수학적 교정으로 BISFA 결과에 매우 근접하게 되었다.

7. 결론

본고는 인장 시험시 클램프에서 미끄러짐이 발생하는 탄성사의 신도 값에 대한 교정 방법을 제시 하였다. 이 수학적 교정방법은 여러 파지 조건에서 신도를 측정하고 측정된 신도로부터 추론하여 클램프에서의 실의 미끄러짐을 계산하는 노동 소비적인 방법을 대체할 수 있다. 원리적으로 이러한 수학적 교정 방법은 다른 인장 시험 결과에도 적용할 수 있다. 이를 위해서는 상관관계가 설명되는 방정식에 대한 정의를 미리 정립해야 한다.

현재 이 방법은 Statimat MEL 의 소프트웨어에 관계식을 입력하여 활용할 수 있으며, 이러한 방법으로 BISFA 회전식 클램프 방식의 결과에 상응하는 탄성사의 인장 물성을 구할 수 있다. Statimat MEL 로 측정하는 시험에서 측정값의 자동적인 교정은 탄성사의 품질 제어에 중요한 과정이다.