연조공정이 방적사의 불균제도에 미치는 영향(Ⅱ-2)

공정의 성능

개개 기계에 대한 앞의 설명과 유사한 방법으로 전방적공정의 성능을 설명할 수 있을 것이다. 개개의 기계나 작업의 거동들을 연합하는 방법은 다만 두 가지 작업 A와 B로 구성되는 한 공정을 고찰함으로서 설명된다. 이와 같은 공정은 그림2의 흐름도로 대표시킬 수 있다.

<그림 2> 두 가지 연속 작업으로 구성되는 단위 공정의 흐름도

기계 B에 의하여 송출된 슬라이버 불균제도의 스펙트로그램을 S_B라고 할 때 다음 공식과 같은 두 성분을 가지게 된다.

$S_B = S_A T_B + P_B$

다만

S_A : A에서 나오는 슬라이버의 스펙트로그램

T_B : 작업 B의 전달함수

P_B : 작업 B의 섭동스펙트로그램

제품 $S_A T_B$는 공급슬라이버 불균제도에 비례하는 송출슬라이버 불균제도의 해당성분의 스펙트로그램을 제공한다. P_B는 작업B에 의하여 더해진 성분이다.

마찬가지로 $S_A = S_F T_A + P_A$

다만

S_F : 공급슬라이버의 스펙트로그램

T_A: 작업 A의 전달함수

P_A: 작업 A의 섭동스펙트로그램

따라서 전공정을 거쳐 송출된 재료에 나타나는 불균제도는 다음 공식과 같이 공급 불균제도에 관계된다.

$S_B = (S_F T_A + P_A) T_B + P_B + S_F T_A T_B + P_A T_B + P_B$

이 식은 두 기계로 된 한 공정에서 송출된 슬라이버의 불균제도는 대응하는 파장에서 세 성분을 가진다는 것을 보인다.

1. 공급슬라이버에서 진폭에 비례하는 $S_F T_A T_B$.

2. 기계 A에 의하여 도입되고 기계 B의 전달함수 T_B에 의하여 수정된 불균제도 $P_A T_B$.

3. 기계 B에 의하여 도입된 불균제도 P_B.

많은 기계를 포함하는 더 확장된 공정에서 공급불균제도에 대한 송출불균제도의 의존성과 기계들의 섭동스펙트럼의 공식화는 보다 복잡해진다. 그러나 그 원리는 간단한 보기에서 보듯이 명료하다.

ⅰ) 공급불균제도는 그 공정의 모든 기계의 전달함수에 의하여 작용받는다.

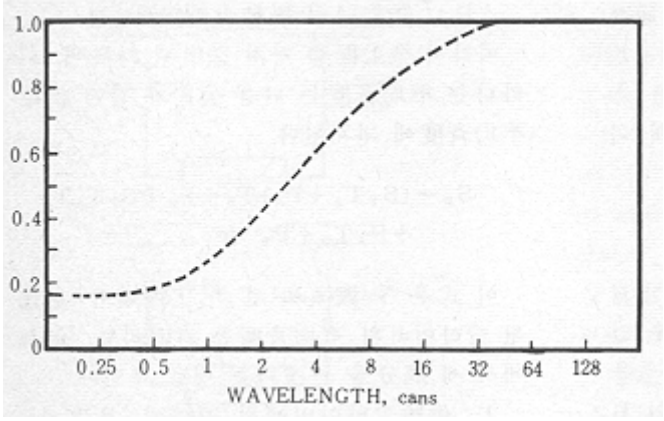
ⅱ) 어떤 기계에 의하여 도입된 부가불균제도는 모든 다음 기계의 전달함수에 의하여 작용받는다.

ⅲ) 그 공정의 마지막 기계에 의하여 도입된 부가불균제도는 송출재료에 변화없이 나타난다.

한 공정 안에서의 기계 전달함수의 조합

재래식 방적공정에서 연조공정에서의 N겹 더블링은 한 캔에 든 슬라이버의 길이보다 짧은 모든 파장에서 슬라이버의 분산을 인자 N만큼 감소시킨다는 것을 알고 있다. 크리일에 있는 슬라이버의 총길이보다 훨씬 더 긴 파장

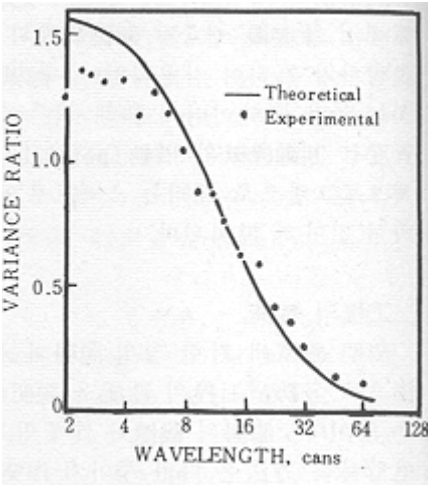
에 대하여 분산의 어떤 감소도 얻어지지 않는다. 이 두 가지 설명은 그림3에 다이어그램식으로 보인다.



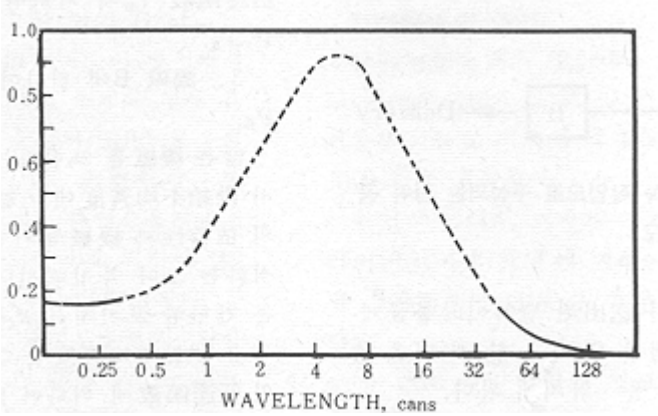
<그림 3> 송출슬라이버 파장에 관련된 6겹 더블링 및 드래프팅 작업에 대한 전달 함수

그림4에는 송출슬라이버의 캔칭량방식을 기초로한 피드 백 제어장치를 가진 기계의 전달함수를 보여준 Ⅳ장의 다이어그램을 다시 그렸다.

크리일에 6캔을 가졌으며 드래프트 6과 캔중량 제어장치를 가진 연조기의 전달함수는 그림5에 대응하는 파장에서 그림3과 4의 비율을 곱하여 주어졌다.



<그림 4> 캔중량 제어 장치에 대한 전달함수



<그림 5> 캔중량 제어장치를 부착한 6가닥 슬라이버 공급의 연조기에 대한 전달함수

위 곡선들의 점선 부분은 추정치들을 매끈하게 그린 것으로 정밀하지는 않다. 그러나 이 곡선은 연조기 더블링과 캔중량제어장치의 개략적인 보충적 성질을 나타내는데 유용하다. 한가지가 유효하지 않은 영역에서 다른 한가지가 효과적인 균제작용을 가진다.

일반적으로 한 공정에서 상이한 기계들이나 위치에 고정된 제어장치의 이와 같은 형태의 상호보완성을 기대할 수 있다.

한 제어공정에서의 섭동의 기여

부가불균제도를 도입케 하는 공정의 교란, 즉 섭동은 이들이 만드는 불균제도의 스펙트럼에 의하여 특징지워진다. 제어장치에 대한 현재의 논의에서 가장 중요한 섭동의 형태는 슬라이버 선밀도의 측정이나 드래프트에 대한 요구된 수정의 적용에 영향을 미치는 것들이다. 이들의 작용형태와 우리가 제어에 이용할 수 있는 방법들은 슬라이버 캔중량을 기초로 한 제어를 고찰함으로써 설명된다.

한 캔 안의 기지의 슬라이버 길이의 무게는 실제적으로 면과 흡수된 물의

무게의 합계이다. 우리는 총중량을 관찰하여 면만의 무게를 제어하기를 바란다. 따라서 수분률의 변화는 측정에 있어 섭동의 한 근원이다. 또 생산 중 수분률의 변화는 제어장치가 슬라이버에 불균제도를 도입케 하는 원인이 될 것이다 이 섭동은 두 가지 방법으로 다루어질 수 있다.

ⅰ) 슬라이버의 수분률은 측정될 수 있고 수정될 수 있다. 이것은 근본적으로 수정의 피드 포워드 형태이며 연속적인 수분률 변화에 대한 정확한 정보를 필요로 한다.

ⅱ) 섭동의 발생을 허용하는 한편 수분률 변화와 독립적인, 또는 수분률이 안정되어 있는 공정 단계에서 제2의 제어장치로서 별도로 수정할 수 있다.

섭동스펙트로그램과 그 제어공정에서 요구하는 성능에 따라서 이들 중 한 가지가 선택된다. 재래식 방적공정에서는 두 가지 모두 사용된다. 혼타면실의 상대습도에 따라 스커쳐 랩의 수분률을 위하여 대략적인 수정이 가해진다. 이것은 (ⅰ)의 방법이며 따라서 가장 큰 섭동은 제거된다. 카드실의 상대습도는 제어되며 슬라이버가 소면, 연조공정을 거침에 따라 그 수분률은 안정화 된다. 따라서 완성연조기에서 나온 슬라이버의 wrapping에 의한 정량시험이 완성연조기의 드래프트를 측정하는데 사용된다. 이것은 방법 (ⅱ)에 의한 섭동의 제어가 된다. 송출슬라이버를 드문드문 시료로 따오는 빈약한 샘플링 방법 때문에 후자의 제어는 그렇게 정밀하지 못하다.

연속적으로 작동하는 제어장치를 만들고자 할 때는 슬라이버 선밀도를 연속적으로 측정하는 방법을 사용해야 한다. 지금까지 연구된 장치들 즉, 용량게이지형, B-ray흡수형 및 단면적형 중에서 단면적형이 가장 중요하다. 슬라이버 단면적의 게이징(gauging)에 의한 측정에 있어서 섭동은 특수한 중요성이 있으며 다음에 이것을 논의 한다.

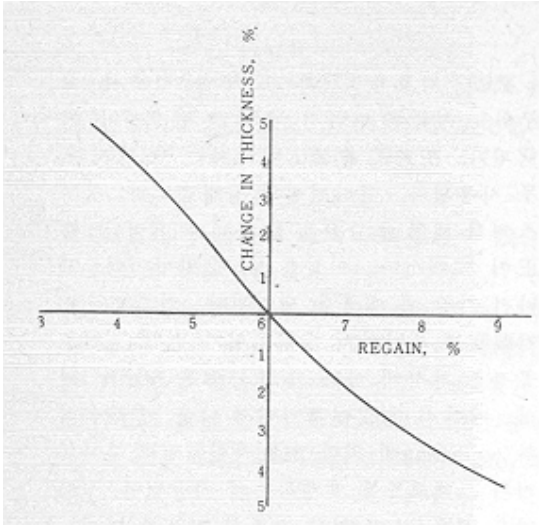
단면적 게이징에 의한 불균제도 측정

4가지 중요한 섭동의 근원이 단면적 측정에 의한 슬라이버 선밀도의 연속적인 평가를 방해한다. 첫째 수분율에 따른 섬유탄력성의 변동이며, 둘째 기계온도변화에 따른 게이지 치수의 변동, 셋째 혼용율, 개면도 및 섬유평행도 변화에 따른 슬라이버 압축성의 변동성, 넷째는 게이징 롤러의 구조적인 편심, 또는 마모나 작동 중 쌓인 잡물, 왁스, 풍면 등에 의한 편심이다.

일정한 하중을 갖는 강철롤러들의 파지점을 통과하는 면 웹의 두께에 대한 수분율의 영향을 그림6에 보인다. 그 관계는 직선에 매우 가까우며 수분율 감소에 따라 두께가 증가 한다. 즉 수분율이 1% 감소할 때 두께는 2%씩 증가한다. 완전히 두께측정을 기초로 한 제어장치는 일정한 두께의 웹을 생산할 것이다. 만약 면 웹의 수분율이 갑자기 1% 증가한다면 그 두께는 제어장치가 송출 웹에 2%의 면을 더 넣어 주어 원래 두께로 회복시킬 때까지 순간적으로 2% 감소 될 것이다. 이와 같이 면 웹에서의 1% 수분율 변화는 송출물질의 단위길이당 2%의 섭동으로 바뀐다. 수분의 변화는 그 자체로 기술적인 중요성이 없으나 면 중량의 섭동은 심각하다. 측정 전 섬유수분율의 정확한 표준화는 이 섭동의 근원을 없애지만 이렇게 하기 위하여서는 비용이 많이 든다. 웹 수분율의 측정과 그 변화에 대한 제어장치의 보정이 가능하다. 카드와 같은 기계에서는 웹 수분율이 주위 공기의 상대습도와 밀접한 관계가 있다. 면 수분율보다 측정하기가 비교적 더 쉬운 대기 상대 습도의 측정은 기계에 대한 제어장치의 보정기초로서 사용될 수 있다.

기계설계로서 게이지설계의 최적화를 도모할 필요성을 배제시킬 수 있다. 이것은 셔얼리 자동화 카드실의 경우에서 볼 수 있다. 이러한 슬라이버준비 시스템에서, 여러 개 겹쳐진 카드 웹의 연조는 양호한 단주기 균제도와 초기 단계에서의 양호한 섬유평행도를 주게 된다. 이 단계의 연속자동제어를 위하

여 두께 측정은 0.016인치 두께에 불과한 랩슬라이버에 적용된다. ±1%보다 양호한 정확도로 이 두께를 측정하는 것은 160마이크로인치 이상의 안정성을 필요로 함을 알 수 있다. 기계 작동에 의한 온도 변화는 게이지로 사용된 롤러에 이 한계보다 큰 팽창과 수축을 일으키게 한다. 원리적으로 기계의 온도를 측정하여 그 결과를 참작할 수도 있지만 이 경우에는 이 방법이 사용되지 않았다.



<그림 6> 일정한 동하중에서의 측정된 면 웹 두께와 수분율의 관계

위에서와 같이 게이지에 직접 영향을 미치는 온도변화에 의한 섭동은 공급슬라이버들을 재현성있는 집합체로 모으게 한 플라트(Platt)의 전연조기(Pre-draw frame) 오토레블러에서 감소된다. 이 집합체는 가변치수가 비교적 큰 테두리가 있고 홈파진(tongued and grooved) 롤러에 의하여 측정된다. 게이지의 온도변화는 비교적 적으며 그에 따른 섭동은 최소화되어 있다. 그러나 게이지에 슬라이버를 모아 넣는데서 생기는 변동은 슬라이버에 섭동을 도입시킨다. 이 섭동의 성질과 중요성은 아직 검토하지 못했다.

혼면의 동질성을 평가하기 위하여 공정 기계에서 사용될 수 있는 기술에

대하여는 알려져 있지 않다. 따라서 그 변동성에 대한 보정은 불가능하다.

일반적으로 카딩 후 측정된 면에 대하여 위에 열거한 요인들에 의하여 도입된 섭동은 서서히 변동하고 있다. 따라서, 만약 각 배치(batch)의 재료 길이가 가장 짧은 유의한 섭동의 파장보다 훨씬 짧다면(보통 $1/2$), 이들 섭동은 배치중량제어장치의 사용에 의한 개별적 측정을 않더라도 제어될 것이다. 그리고 수분율 변화에 의한 배치 중량의 섭동은 대기의 상대습도를 참고로 하거나 이것을 제어함으로서 컨트롤된다.

게이지 롤러의 편심은 롤러 둘레와 동일한 파장을 가진 섭동을 만든다. 이런 섭동은 반드시 없어야 한다. 고정도의 구조가 우선 이것을 만족시키겠으나 롤러에 대한 부분적인 잡물 또는 왁스의 부착은 기계 제작시의 오차와 같은 역할을 하게 된다. 이런 형태의 섭동을 제거하는 가장 확실한 방법은 가장 큰 게이지 롤러 둘레의 10배보다 짧은 파장에 대한 제어장치의 반응을 제한시키는 것이다. 비록 측정이 짧은 파장에 대한 오차를 포함할지라도, 이 길이보다 짧은 섭동은 재료에 부과되지 않게 된다. 한 조각의 잡물의 부착은 롤러 둘레에 걸쳐 평균화되며 배치중량 제어장치에 의하여 제대로 보정될 수 있다.

셔얼리 자동화 카드실(S.A.C.)의 제어시스템의 개요

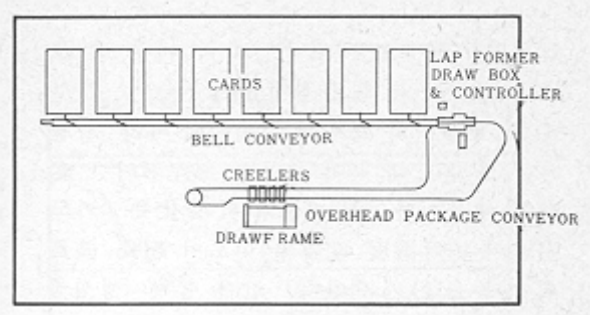
S.A.C.(Shirley Automated Cardroom)제어장치의 설계는 위에서 검토한 세 가지 고찰을 기초로 한 것이다.

1. 제어장치의 반응율을 제한함으로서, 측정롤러 편심에 의한 섭동은 짧은 파장의 불균제도를 무시하여 피할 수 있다. 중간 및 긴 파장의 불균제도는 초장파장의 섭동을 도입케 하는 대신에 슬라이버 단면적에 의하여 제어할 수 있다.

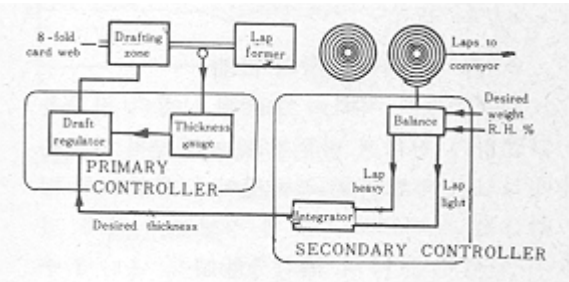
2. 초장파장의 섭동과 불균제도는 수분율에 대한 보정과 함께 배치중량제어장치의 사용에 의하여 제어할 수 있다.

다음에 보이겠지만, 단파장 불균제도의 수준은, 카드의 균제작용에 의하여 낮아진다. 따라서 위의 고찰 (1)에서는 전반적인 성능의 실제적인 한계를 함축하지는 않는다.

셔얼리 자동화 카드실 공정에서의 면의 흐름도와 위의 고찰을 기초로 한 제어기구를 그림7과 8에 보인다.



<그림 7> 셔얼리 자동화 카드실 시스템의 일반 배치도



<그림 8> 셔얼리 자동화 카드실 시스템의 제어장치 기구도

6인치 폭으로 압축된 8대의 랩공급식 카드기에서 나온 웹들이 랩포머의 공급롤러로 웹을 수송하는 컨베이어 상에서 포개진다. 여기서는 웹을 축소하기 위하여 하나의 $\frac{2}{4}$ 드래프트 기구가 사용된다. 이 지역의 드래프트는 드

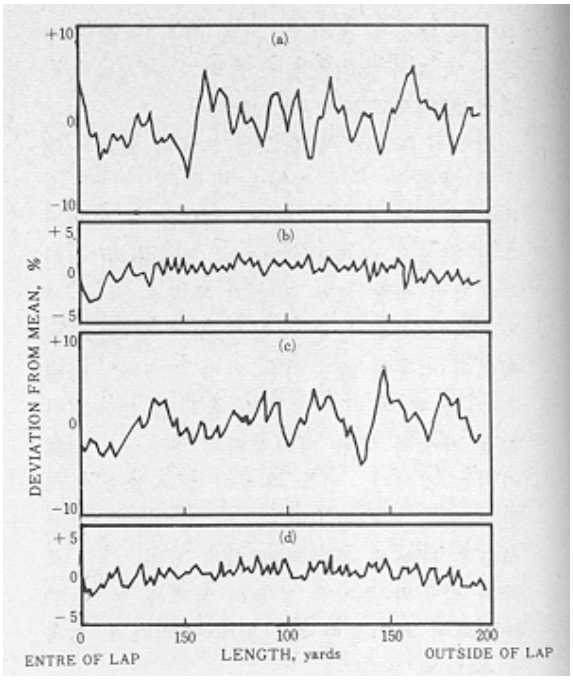
래프트 지역의 프런트 롤러의 닙(nip)에서 측정된 웹의 두께와 관련하여 일차 제어장치로 조정된다. 웹은 편리하게 600피트 길이 단위의 배치(batch)로 형성되어 칭량된다. ±0.6%를 초과하는 배치 중량의 변동은 2차 제어장치가 1차 제어장치에서 요구한 두께로 보정하도록 만든다.

1차 및 2차 제어장치 둘 다 피드 백 형식이며 오차가 존재하는 한 보정작용을 계속하여 행한다. 측정롤러로 사용한 프런트 드래프팅 롤러의 편심에 의하여 발생된 단파장의 섭동은 드래프트 지역의 드래프트가 변화될 수 있는 최대비율을 제한시킴으로서 최소화 시킬 수 있다. 매우 긴 파장의 섭동이 두께 측정에 발생되는데 예컨대 톱 롤러의 고무가 더워짐에 따라 팽창되며 또 온도에 따라 고무의 탄성률이 변하기 때문이다. 면 수분율의 변화는 카드실내의 상대습도 변동을 따르며 초장 파장의 섭동을 야기시킨다. 한 개 랩의 생산 중 1차 제어장치에 의하여 웹에 도입된 장파장 섭동의 양은 적으며 이 까닭으로 이들 섭동은 2차 제어장치에 의하여 충분히 제어될 수 있다.

S.A.C. 제어장치의 성능

방적공정에 의하여 생산된 실의 번수를 제어하기 위하여 시도된 제어장치의 성능은 편리하게 불균제도 프로필이나 웹시료의 상대분산 스펙트로그램 및 상당한 시간에 걸쳐 얻어진 시료의 상대분산치로 나타낼 수 있다. 불균제도 프로필은 육안평가의 빠른 방법이 되며 스펙트로그램으로는 단기간에 있어서의 제어장치 거동을 정밀 분석할 수 있고 상대분산 수치는 제어장치의 장기간에 걸친 안정성을 평가케 해준다.

S.A.C. 시스템의 제어장치의 랩 내 성능은 제어장치를 작동과 비작동을 교대로 시키면서 연속 4개의 랩에 의한 웹을 채취함으로서 평가한다. 이들 시료의 선밀도 프로필을 그림9에 보인다.

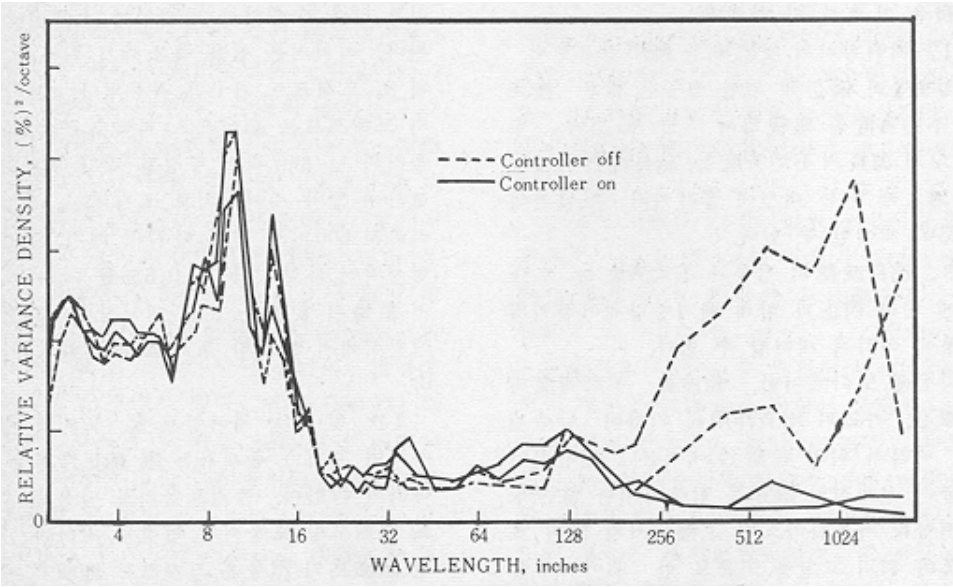


<그림 9> S.A.C. 시스템의 랩 포머에서 도핑한 연속 랩들의 프로필

a. c. 제어장치 작동

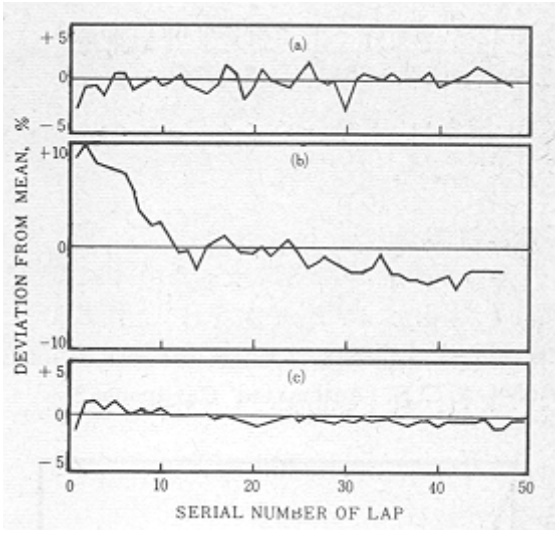
b. d. 제어장치 비작동

이들 시료의 스펙트로그램은 컴퓨터 분석으로 얻어졌으며 그림10과 같다.



<그림 10> 제어장치의 효과를 보이는 S.A.C. 시스템에 의한 랩의 스펙트로그램

비제어 웹의 스펙트로그램의 특수한 양상은 약 20~160인치의 파장대에 걸친 낮은 불균제도이다. 이것은 카드기의 완화효과(smoothing effect)가 가장 유효한 영역이며 이 범위의 파장에서는 제어장치에 의한 균제작용이 요구되지 않는 것이 분명하다. 따라서 전체적으로 이 시스템의 성능을 손상시키지 않고 약 3야드 미만의 파장을 가진 불균제도에 대하여 제어장치가 작용하지 않게 만들 수 있다. 3야드의 길이는 큰 측정롤러 둘레의 12배에 상당하므로 상부 측정롤러 고무의 편심, 또는 이질성에 의한 섭동의 도입을 피하기에는 충분히 크다. 실제로 이들 섭동을 피할 수 있다는 것은 16인치 이하의 짧은 파장에서의 제어슬라이버와 비제어슬라이버의 스펙트로그램이 매우 근사한 것으로 알 수 있다.



<그림 11> 상이한 제어도를 가진 S.A.C. 시스템에 의하여 송출된 랩 중량 프로필

a. 무제어
b. 두께 제어 단독
c. 완전제어, 두께와 중량

장주기 불균제도는 야간의 정지로부터 가동을 시작하여 도핑한 랩들의 계

속적인 중량을 관찰함으로서 조사된다. 이러한 일련의 랩 중량은 그림11에 무제어, 1차 제어(두께) 단독 작동 및 1차와 2차 제어(랩 중량) 모두 작동으로 보인다.

그림11 (a)와 (b)를 비교하면 두께 제어는 랩 중량의 프로필을 어느 정도 완만하게 만들지만 장주기 섭동은 매우 허용하기 어려운 크기로 발생되어 있다. 이 섭동이 2차 제어장치의 추가에 의하여 제어될 때 훌륭한 불균제도의 표준이 성취됨을 알 수 있다.

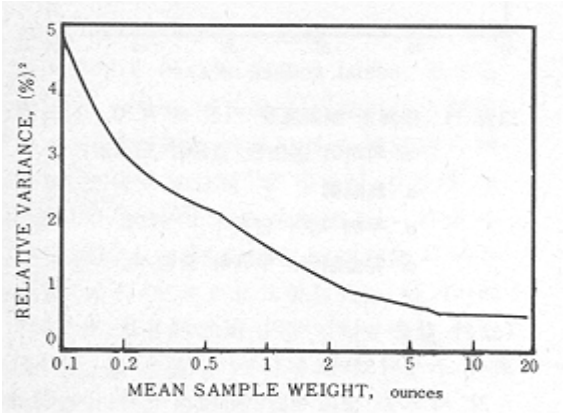
이 시스템에 의하여 생산된 슬라이버의 초장주기 불균제도는 2개월에 걸쳐 그림11(c)와 같은 여러 개의 완전 챠트를 관찰함으로서 조사되었다.

각 챠트는 냉각된 상태에서부터 시동을 시작하였으며 따라서 어떤 요인이 있다며, 유의차가 적은 챠트에서도 처음 6~7개의 랩에서 큰 편차를 발생시킬 것이므로 그 결과가 나쁘게 나타날 것이다. 이 기간 중의 배치 중량의 상대분산은 표1에 보인다.

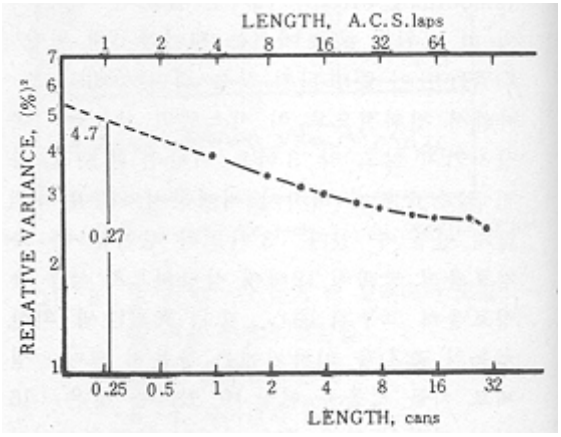
<표 1> 2개월간의 600피트 배치들의 불균제도

	相对分散	变動係数
목표 중량에 대하여	0.7 (%)²	0.84 (%)²
평균 중량에 대하여	0.5 (%)²	0.71 (%)²

조정기가 작용되는 자동화 카드실 시스템에 의하여 송출된 웹의 불균제도는 실 번수 균제도에 대한 그 영향을 측정할 목적으로 단순한 분산길이 곡선으로 표현할 수 있다. 이 곡선은 5인치~100피트 범위에 대하여 그림12에 보인다. 각 길이들의 평균중량은 웹 불균제도에 의하여 실에 기여된 상대분산을 예측하기 위한 보조로서 그림12에 사용되었다.



<그림 12> 시료의 평균 중량에 관련된 송출 웹 시료의 분산을 보이는 그래프



<그림 13> S.A.C. 연속 랩들과 비교될 수 있는 가능한 길이들의 분산을 구하기 위하여 연장한 공장의 완성 슬라이버에서의 평균 장주기 불균제도

성능의 평가

오토레블러가 웹 균제도에 상당히 유익한 효과를 가진다는 것이 위에 주어진 성능데이터로부터 명백하다. 이 성능을 평가하기 위하여 A.C.S. (Automated Cardroom System)에 의한 웹의 장주기 불균제도(2개월내)를 공장의 완성슬라이버에서 측정한 것으로 Ⅳ장에 인용한 파장의 불균제도와 비교할 수 있다. 공장 완성슬라이버에 대한 분산/길이 곡선이 그림13에 다시 보였으

며 짧은 시료장까지 연장되었다. 개개 슬라이버 캔들의 목표 중량을 32.5lb였으며 따라서 9/32.5캔(0.27캔)의 시료길이가 A.C.S. 랩들과 직접 비교를 위한 9lb의 목표중량에 일치한다.

그림13에서 A.C.S. 랩들에 대응하는 길이의 공장 완성 슬라이버 시료의 불균제도는 4.7(%)^{2}의 상대분산을 가짐을 알 수 있다. 이 숫자를 0.7(%)^{2}의 A.C.S. 랩 불균제도와 비교할 때 A.C.S.의 초장 파장 불균제도는 공장완성슬라이버의 그것보다 4.0(%)^{2}이나 낮다는 것을 알 수 있다.

따라서 A.C.S.로 시작되는 방적공정의 보빈 간 번수변동은 재래식 공장보다 최소한 4(%)^2 더 낮은 불균제도를 가질 것을 확실히 기대할 수 있다. 1963년도의 공장 번수 조사를 근거로 할 때, 이것은 10.7(%)^2 대신 6.7(%)^{2}의 스핀들간 번수변동을 의미한다.(즉 3.3% 대신 2.6%의 C.V). 이 예측이 비관적인 것은 그림10에 분명히 나타난 랩 내(within-lap)의 평활화를 고려하지 않았음을 알 때 수긍될 수 있다. 이 그림에서 4oz의 평균중량을 가진 시료의 상대분산은 0.75(%)^{2}임을 알 수 있다. 여기서 상대분산 0.7(%)^{2}의 랩 간 불균제도가 더해져 A.C.S. 웹 불균제도로 인한 보빈 간 불균제도의 총 상대분산으로 된다. (0.75+0.7=1.45(%)^2)그 분산으로 된다. 이것이 최종값은 아니며 그 까닭은 개개 드래프팅 헤드, 조방기 및 정방 스핀들 사이의 차이들이 실에 그에 해당하는 불균제도를 부가시키기 때문이다. 따라서 이 숫자는 얻어질 수 있는 최저의 스핀들간 번수변동의 예측치이다. 실제의 실 번수 변동은 정방 스핀들간에 1.45(%)^{2}과 6.7(%)^2 사이의 어떤 값으로 된다. 1963년의 공장조사는 보빈 내의 리이 변동이 4.4(%)^{2}임을 나타냈다. 이 불균제도 성분은 오토레블러에 의하여 크게 영향을 받지 않으리라고 예상한다. 따라서 어떤 공장에서 리이 번수 불균제도는 15.1(%)^{2}에서 5.85(%)^{2}과 11.1(%)^2 사이로 떨어질 것을 기대할 수 있다. (즉 3.9%에서 2.2~3.3%의 C.V. 값으로 또는 8에서 4.5~6.8의

P.M. 12.4 값으로)

이 번수변동 중에서 연조기, 조방기 및 정방기가 기여하는 몫이 대부분이다. 번수 불균제도를 더 감소시키기 위해서는 정방기의 개선 또는 오토레블러의 사용에 의존해야 한다. OE정방기의 도입은 이러한 개선방법의 하나로서, 오토레블링에 의한 OE 방적사의 불균제도 감소는 링방적사에 대하여 위에서 추정한 것보다 훨씬 더 크다.