연조공정이 방적사의 불균제도에 미치는 영향(Ⅱ-1)

Ⅳ. 초장주기 변동

앞 장에서 설명한 더블링과 드래프팅의 효과는 연조기 크릴의 총 슬라이버 길이에 비하여 불균제도의 파장이 길 때는 이미 나타나지 않는다. 이것을 알아보기 위하여 각각 0.12행크 슬라이버 3370야드를 가진(캔당33lb) 6개캔으로부터 슬라이버가 공급되는 연조기를 고찰해 보자. 크릴에서 공급된 60개 캔에 걸쳐 발생된 파장의 한 불균제도는 그림1(a)에 보인 형태를 취한다.

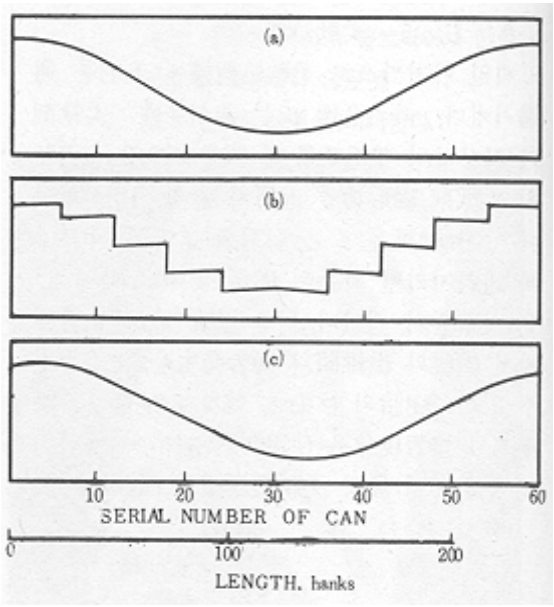
이와 같이 긴 파장으로는 한 개 캔 내의 슬라이버 길이를 통하여 슬라이버 선밀도 변화는 거의 없는 것이 분명하다. 연조기에서 송출된 슬라이버의 선밀도는 거기에 공급되는 슬라이버의 평균 선밀도이므로 연조기에서 나타나는 파형을 쉽게 만들 수 있다. 동시 크릴링(block creeling; 6개의 모든 캔들을 동시에 교체함)이 사용될 때 송출슬라이버의 불균제도는 그림1(b)에 보인 형태를 가진다.

한편 시차 크릴링(staggered creeling; 한번에 한 개의 크릴 캔을 교체함)은 송출슬라이버에 그림1(c)에 보인 불균제도를 발생시킨다. 이 두 가지 경우 더블링에 의한 송출불균제도 진폭의 감소는 무시할 만하다.

더욱이 그 파장은 연조 드래프트에 의하여 증가되지 않는다. 이 거동을 요약하여 말하면, 초장주기 불균제도는 연조기의 통과에 의하여 영향을 받지 않는다는 것이다.

카드슬라이버에 존재하는 초장파장 불균제도는 만약 카드실에 통한 면의 흐름이 많은 분리된 채널로 엄격히 통제된다면, 상당한 중요성을 가진다. 이 현상은, 일단의 카드기에서 1차 연조기단에 슬라이버를 공급하고 또 이들 각각을 특정된 2차 연조기들에 공급할 때 발생한다. 이런 형태의 기구는 생산

라인에서 결점을 추적할 수 있는 단순한 공정을 제공하겠으나 카드슬라이버의 초장파장 불균제도를 완화시킬 여지를 전혀 주지 못한다.



<그림 1> 연조기에서의 초장파 불균제도(6 더블링, 6 드래프트)

(a) 공급슬라이버 불균제도

(b) 송출슬라이버 불균제도(동시 크릴링)

(c) 송출슬라이버 불균제도(시차 크릴링)

카드실을 통한 슬라이버의 흐름을 적절히 조직함으로서 초장파장에 대하여 어느 정도의 균제작용을 얻을 수 있다. 더블링에서 가능한 한 상관성이 없는 슬라이버들을 한데 모으는 것이 요구된다. 따라서 1차 연조기의 각 헤드에서 나온 제품을 2차 연조기의 특정 헤드에 보내는 식의 채널화 대신에 여러 개의 2차 연조기 크릴에 슬라이버를 분산시키는 것이 바람직하다. 기계당 2 또는 4의 헤드를 가진 연조기에서는 이 배분을 쉽게 행할 수 있다. 1차 연조기에서 한번에 도핑된 2 또는 4개의 캔을 2차 연조기의 한 헤드에 건다.

이렇게 하면 각 헤드의 상이한 크릴로부터 1차 연조기를 거쳐 나온 초장파장 불균제도들은 2차 연조기의 크릴에 집합된다. 초장파장 불균제도는 이들이 1차 연조기로부터 나타날 때 어느 정도 상이한 양상들을 띄게 되므로 2차 연조기 크릴에서의 더블링에 의한 약간의 균제작용을 얻는다. 서로 독립적인 이들 불균제도 부분들은 2차 연조기의 각 크릴에 공급하는 1차 연조기 수와 동일한 인수로 감소된다.

물론 실제에 있어서는 독립적인 것과 상관적인(interdependent of coherent) 불균제도 두 가지가 발생할 것이다. 대체로 초장파장을 가진 불균제도는 아래와 같이 인수 F로 감소된다.

$$F = 1 - \alpha\left(1-\frac{1}{N}\right)$$

여기서, α는$\left(\frac{\text{독립적}}{\text{독립적}+\text{상관적}}\right)$불균제도의 비율이다.

N은 각 2차 연조기 크릴에 공급한 1차 연조기의 수이다.

이 인수가 1의 값일 때, 2차 연조기의 더블링에 의한 초장파장 불균제도의 개선은 없다. 1차 연조기의 한 헤드가 2차 연조기한 헤드를 공급할 때 (N=1), 또는 모든 1차 연조기가 동일한 초장파장 불균제도를 함유한 슬라이버를 방출할 때 (α=0)에는 이 인수는 1이 된다.

가능한 최대의 개선은 (α=1)이며 (N=크릴의 캔수)가 될 때 얻어진다. 이 경우는 먼저 장에서 논의한 상황과 같다.

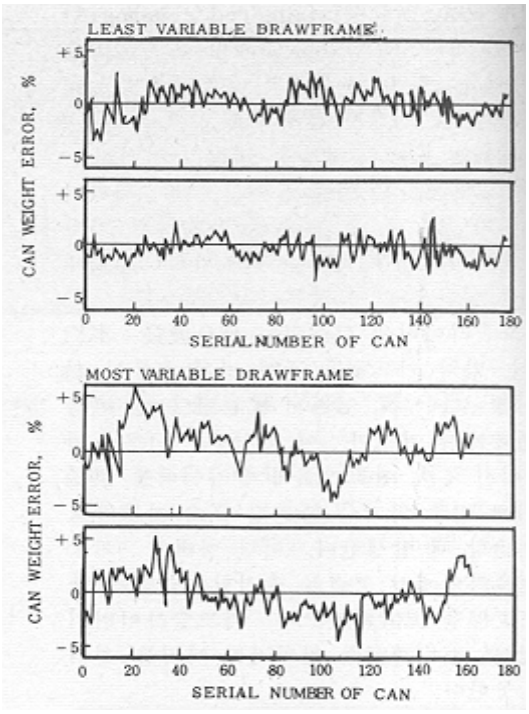
어떤 불균제도(한 캔 또는 연조기 크릴의 슬라이버 길이와 비슷한 파장을 가진 것)는 더블링에 의하여 항상 균제화되는 불균제도와 위에서 검토한 초장파장 불균제도 사이의 중간 범주에 속한다. 이 범주의 불균제도에 대한 연조기 통과의 영향은 상당히 복잡하여 여기서는 제외한다.

초장파장 불균제도의 발생과 크기

초장파장 불균제도의 제어에 응용될 수 있는 여러 가지 계획의 효과를 토의하기 전, 유의한 불균제도로서 단순히 학술적으로 흥미있는 주제가 아닌 것을 다룬다는 것을 확실히 해두는 것이 현명하다. 따라서 계산의 기초가 될 수 있었던 기초자료를 얻기 위하여 수행한 공장 슬라이버 불균제도의 조사에 대하여 설명하고자 한다.

공장에서의 조사 계획

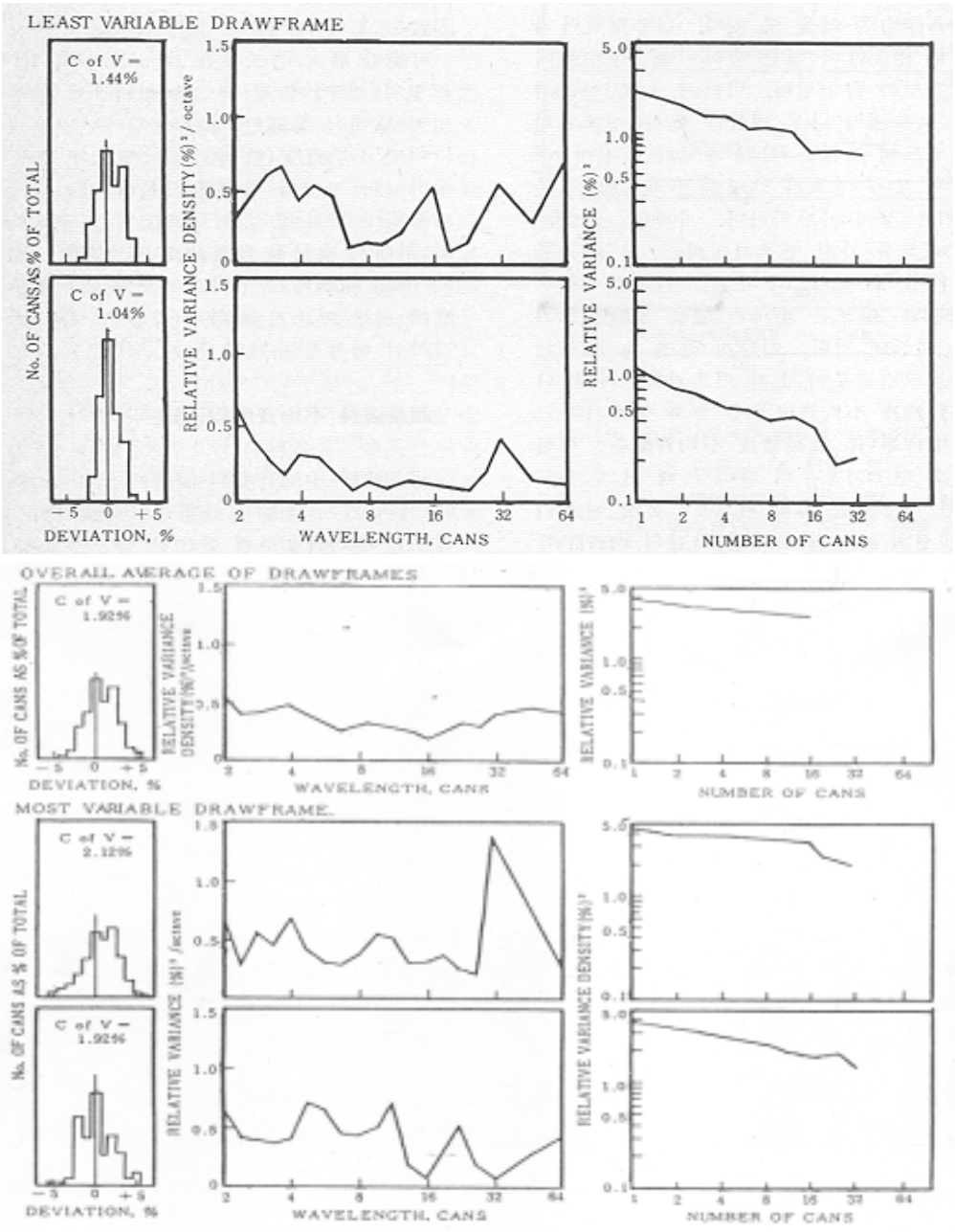
2 헤드 완성연조기 6대에서 송출된 슬라이버 중량을 2교대 작업의 연속 5일 동안 한 캔씩 계속하여 기록했다. 이렇게 하여 이 기간동안 카드실의 장주기 번수변동에 대한 좋은 기록을 제시한 12개의 불균제도 프로필이 얻어졌다. 각 캔에는 약 32.5lb의 슬라이버가 포함되었다.



<그림 2> 공장에서 관찰한 캔 중량의 프로필

가장 균제한 슬라이버와 가장 불균제한 슬라이버를 생산한 2 헤드로부터 얻어진 슬라이버 프로필을 관찰한 장주기 변동의 성질을 보이기 위하여 그림 2에 보인다.

조사의 검토

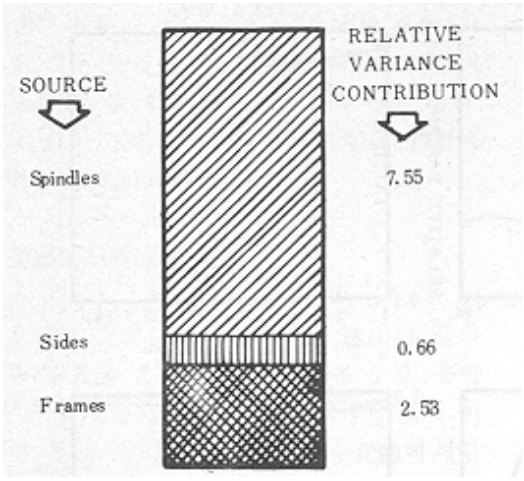


<그림 3> 캔 불균제도의 분석적 설명도

슬라이버의 캔 불균제도(can-by-can irregularity) 프로필은 분명한 불균제도가 실제로 존재한다는 것을 보여 준다. 이 불균제도의 성능이 각 연조기 헤드에 대하여 히스토그램, 스펙트로그램 및 분산/길이 곡선으로 분석적으로 설명된다. 그림2의 프로필에 대하여 검토한 모든 완성 연조기에 대한 평균 히스토그램, 스펙트로그램 및 분산/길이 곡선을 함께 그림3에 보인다.

시장-평균분산 곡선으로부터, 6캔 이상의 슬라이버 길이들은 전체 불균제도에 약 2.9(%)^{2}의 상대분산을 기여한다는 것을 알 수 있다. 위에서 알 수 있듯이, 이 기여는 이 슬라이버로 만들어진 실의 번수 변동에 전부 그대로 나타나게 된다.

이 기여량은 많은 공장조사에 의한 번수 변동의 분석을 고찰함으로서 올바르게 파악된다. 그림4는 카드면의 보빈간 번수 변동에 대한 상이한 근원들의 상대분산 기여를 보인다.



<그림 4> 1963년 공장조사에 의한 스핀들간 번수변동의 성분

초장주기 슬라이버 불균제도는 조방기에서 흩어져 로빙의 보빈간 변동으로 나타난다. 따라서 정방기 사이의 로빙배분은 불균제도를 정방실에서 스핀

들간, 측간(Side/side) 및 기계간에 기여시키는 원인이 된다. 따라서 초장주기 불균제도에 의한 불균제도의 감소, 예컨대 2(%)^{2}의 상대분산 감소는 보빈간 번수 변동을 10.7(%)^{2}에서 8.7(%)^{2}로 (C. V. 로는 3.3%에서 3.0%로)감소시킨다. 이와 같은 감소는 적은 양이나 유의하다.

초장주기 불균제도의 제어

재래식 제어 형태로서 구제작업이라기 보다 오히려 번수제어를 위한 기초로서 완성 슬라이버 정량측정에 의하여 검출된 변동을 보정하기 위하여 완성연조기 피니언 교환을 행하는 어리석음은 잘 알려져 있다. 이것은 위에서 수집된 데이터에 대한 이론적 제어를 검토함으로서 입정된다. 이것은 완성연조기 슬라이버의 이따금의 정량시험을 기초로 보정하는 어떤 실제적 방법도 이들 슬라이버의 장주기 번수변동을 개선시키지 못한다는 것을 보인다.

지금까지 사용해 온 번수제어의 대체적인 방법은 연조기에서 각 캔에 일정한 길이의 슬라이버를 담고 그것을 칭량하는 것이다.

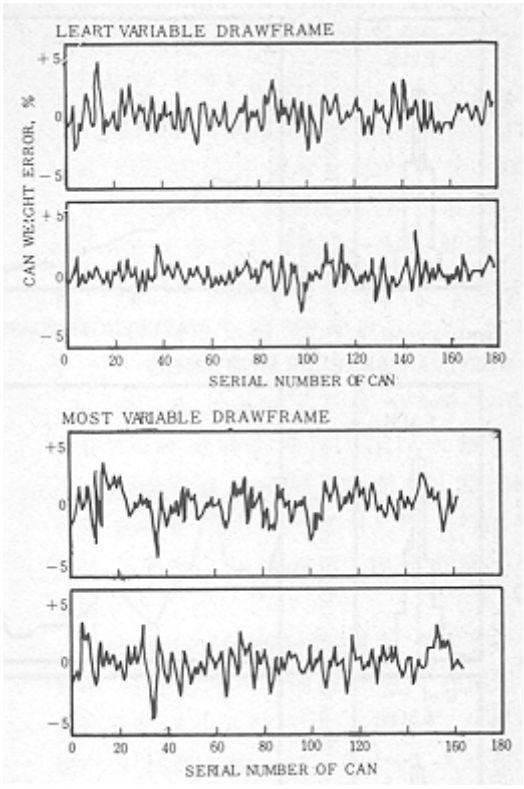
이 조작은 캔으로부터 슬라이버 시료를 채취하는 데 따른 샘플링 변동을 피하게 하며, 도핑될 때 각 캔을 칭량할 수 있도록 쉽게 자동화 된다. 연조기에 무한변속 기어 박스를 설치하면 피니언의 치수로 고정시키지 않고 바라는 조절을 가능하게 한다. 드래프트의 변환도 역시, 초장주기 불균제도를 제어하는 오토레블러를 설치하기 위하여, 슬라이버 캔의 자동칭량에 연결될 수 있다.

이러한 오토레블러의 효과는 공장에서 조사된 연조기를 이론적(notionally)으로 제어함으로써 발견되었다. 즉, 각 연조기 헤드로부터 나온 캔의 중량을 파악한다. “바라는 캔 중량”과 관련하여 연조기에서 방금 도핑된 캔과의 오차(error0를 관찰한다. 특정된 이 오차 부분은 다음 캔이 채워지는 동안의 연조

기 드래프트에 대한 이론적 보정에 의한 것으로 생각된다. 이 다음 캔에서의 실제적인 슬라이버 중량이 파악되고 이론적 중량(이론적 보정이 가해진 중량)이 계산된다.

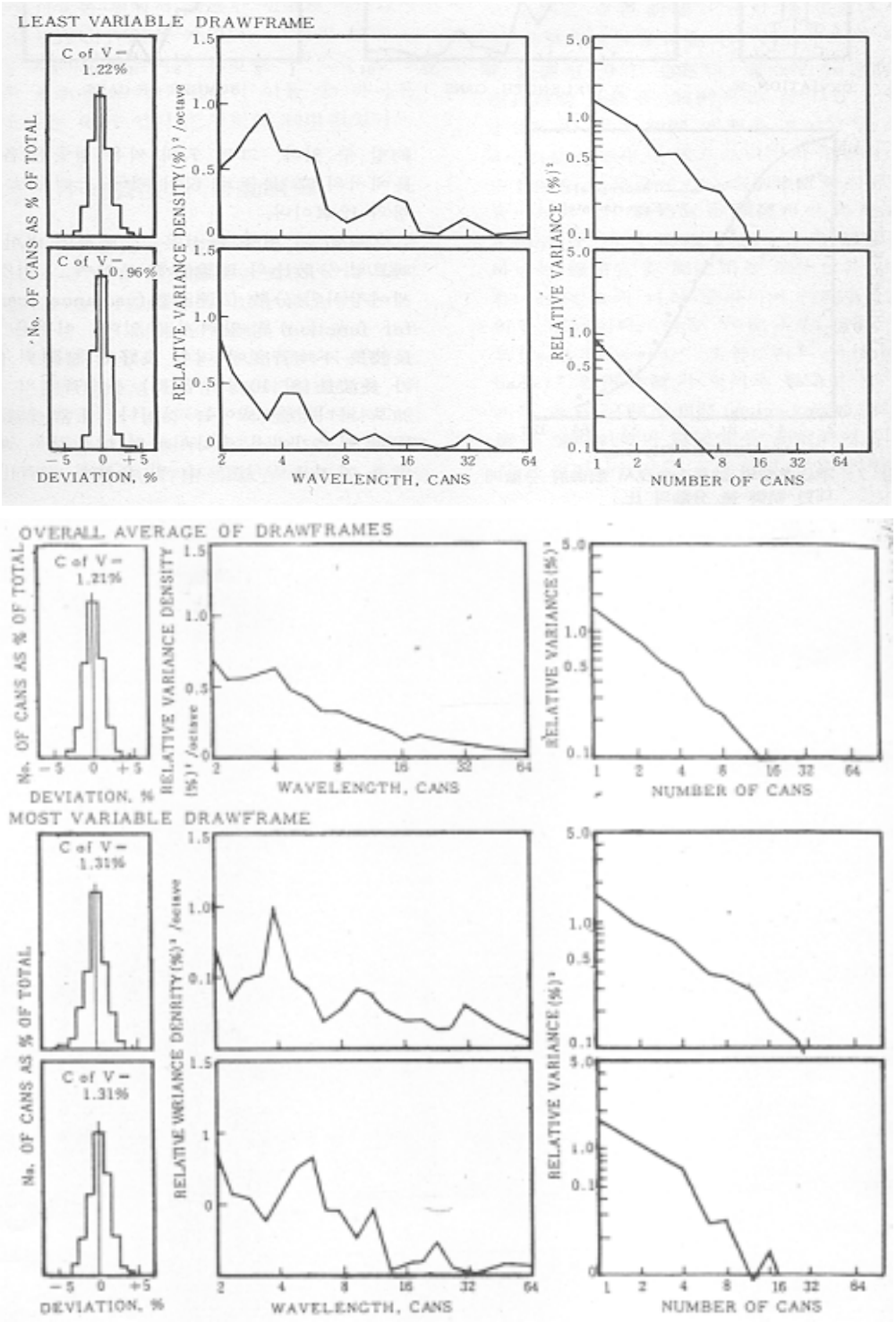
이 과정은 각 연조기 헤드를 제어하여 일련의 새로운 캔중량들을 얻기 위하여 각 헤드로부터의 모든 중량에 대하여 계속된다.

그림2에 보인 연조기 헤드들에 대응하는 “제어된(with control)” 이론적 캔 중량들의 프로필을 그림5에 보인다.



<그림 5> 캔중량 제어장치의 이론적 응용에 의하여 얻어진
캔 중량의 프로필

일련의 제어된 캔중량은 그림6에 보인 히스토그램, 스펙트로그램 및 분산/길이곡선을 얻기 위하여 앞에서와 같은 방법으로 분석되었다.



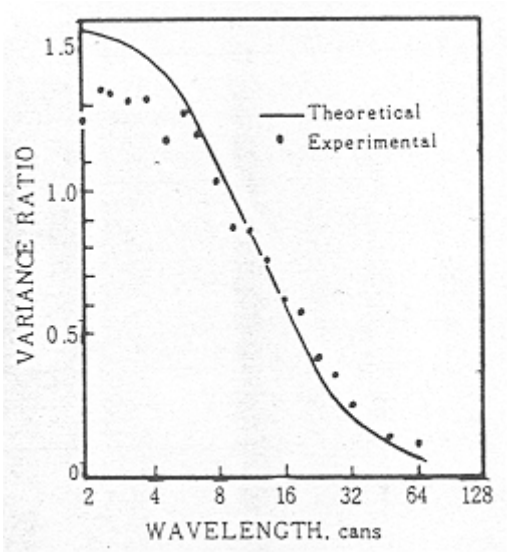
<그림 6> 이론적 캔 중량 제어 후의 캔간 불균제도의 분석적 설명

그림3과 6의 대응하는 다이어그램들을 비교함으로서 제어시스템의 효과를

그래프식으로 나타낼 수 있다. 히스토그램들은 바라는 캔중량의 ±1% 범위 내에 드는 캔의 수가 각 경우, 제어에 의하여 증가됨을 보인다. 스펙트로그램들은 초장파장 불균제도(20캔 이상의 파장을 가진 것)가 엄청나게 감소됨을 보인다. 제어 슬라이버의 시장-분산 곡선은 어디서든 비제어의 그것보다 아래에 놓인다.

스펙트로그램은 또한 10캔의 슬라이버 길이보다 짧은 파장을 가진 불균제도는 비제어 슬라이버보다 제어 슬라이버에서 더 큼을 보인다. 이것은 어떤 지체(한 캔의 슬라이버 길이) 후에 작용하는 피드백 제어장치의 피할 수 없는 결과이다. 그러나 10캔까지 파장에 대한 불균제도의 증가에도 불구하고 전길이들의 샘플의 분산은 분산/길이 곡선에서 보이는 것처럼 감소된다. 이것은 10캔보다 긴 파장의 불균제도 감소로 얻어진 득이 짧은 파장 불균제도 증가에 의한 해보다 크기 때문에 가장 불균제한 연조기 슬라이버에도 나타난다.

우리는 제어장치의 작용을 각 파장에서 제어와 비제어의 슬라이버 불균제도 스펙트로그램의 비율을 나타내는 단일 그래프로 요약할 수 있다. 그림7에 찍은 점들은 각 파장에서의 그림3과 6의 평균 스펙트로그램의 비율이다. 그림7의 연속 곡선은 그 파장에 대한 스펙트럼 분산비의 이론치를 보이며 이것은 제어장치의 분산 전달함수(variance transfer function)로 알려지고 있다. 이것은 초장파장 불균제도에 대한 양호한 제어의 대가가 장파장(약 10캔의 파장) 불균제도의 증가로 나타남을 보이는 것이다. 정상 방적공정의 연조기에서 슬라이버의 더블링은 역효과를 가지므로(단, 중 및 장파를 균제화시키지만 초장파는 감소시키지 않고 통과시킴), 캔중량제어장치가 정상 방적공정의 더블링에 보충 역할을 함을 알 수 있다.



<그림 7> 불균제도의 파장함수로서 제어전 분산에 대한 제어 후 분산의 비.

요 약

앞서 방적공정에서 초장파장 불균제도를 제어하는 것이 왜 불가능한가를 설명했다. 완성 연조슬라이버의 짧은 길이를 칭량하는 보통의 제어방식은 정밀하지 못하고 때로는 해로운 것으로 알려져 있다. 슬라이버 캔 칭량과 기대치에 대한 이들의 편차를 기초로 한 피드백 수정은 10캔 이상의 파장이 그 크기가 증가되기는 하여도, 슬라이버의 변동성을 감소시킴을 보였다. 제어시스템의 효과에 대한 간단한 설명(분산 전달함수)이 소개되었다.

슬라이버 선밀도의 균제도를 제어하는 다른 방법들이 때때로 제기되었다. 대표적으로 빨리 작동하는 연속 작용의 오토레블러가 흥미있다. 현재 판매되는 연속 작용 오토레블러의 형태는 양호한 중주기 및 장주기 균제작용을 주지만 곧잘 초장주기 불균제도를 가진 슬라이버를 송출하기 쉽다. 따라서 이들은 위에서 논의한 캔중량 제어장치에 보충적인 작용을 가진다. 그들의 성능은 다음 장에서 검토되며 도달될 수 있는 균제도의 수준을 보이기 위하여

이들 중 하나를 개발하는 데서 얻어진 경험이 이용되었다.

V. 불균제도의 자동제어

슬라이버 선밀도의 효과적인 자동제어는 실 번수에 대한 제어능력을 상실시키지 않고 방적공정을 재편성할 수 있는 기회를 준다. 이렇게 될 때, 개면과 정면기의 목적은 섬유의 손상없이 넵이 없는 카드 슬라이버를 생산하는데 국한된다. 슬라이버 선밀도의 자동제어는 카드 슬라이버 균제도를 유지시키기 위하여 대기 조건과 혼타면 랩 중량제어장치의 효과적인 작용에 의존해야 할 필요성을 없애준다. 혼타면 작업과 카드슬라이버 균제도 제어를 분리시킴으로써 다음과 같은 이익이 얻어질 수 있다.

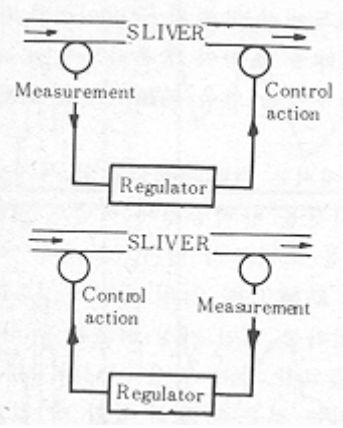
a. 혼타면 효율의 증대. 카드실에서 만들어진 모든 혼타면 랩들을 받아줄 수 있고 또 카드 슬라이버 선밀도의 어떤 편차에 대하여서도 다음에 수정할 수 있는 능력이 있기 때문이다. 허용범위를 벗어난 랩들을 재처리하지 않아도 되며, 따라서 이에 수반될 수 있는 섬유품질의 퇴화도 방지된다.

b. 슈트를 통하여 카드에 섬유를 직접 공급함으로써 혼타면 랩 제조공정을 없앤다.

c. 카드에서 생산된 슬라이버가 조방기에서의 연신을 위하여 충분하도록 평행화되어 있는 경우에는 더욱 방적공정을 단축시킬 수 있다.

본 장에서는 자동제어장치의 특징을 설명하고 이것을 방적공정에 어떻게 설치할 수 있는가를 보이고자 한다. 그러나 여기에서 현재의 방적공정 내의 어디에 오토레블러를 설치하는 것이 가장 유익한가 하는 문제를 토의코자 하는 것은 아니다. 이익이 되고 안되는 것은 명확히 말할 수 없으나 모든 효과적인 오토레블러에 공통적으로 이것이 설치된 곳의 주요한 이점은 장주기 및 초장주기 변동을 제어하는 것이다. 쉽게 달성될 수 있는 제어 수준을 보

이기 위하여 셔얼리연구소에서, 프로토타입의 자동화 카드공정을 위하여 개발한 제어장치를 사용했다. 슬라이버의 선밀도를 제어하기 위한 자동장치는 두 개의 명확한 부분으로 구성된다. 하나는 선밀도를 측정하는 부분이고 다른 하나는 필요에 따라 슬라이버 밀도를 조정하는 부분이다. 이들 두 부분은 “피드 포워드(feed-forward)” 또는 “피드 백(feed-back)” 제어장치의 형태로 조립될 수 있다. 피드 포워드[개방회로(open-loop)] 제어장치는 슬라이버의 선밀도를 측정하여 바라는 값을 벗어나는가를 평가하여 필요한 수정작용을 계산하여 적용한다. 측정하여 얻어진 오차는 슬라이버 진행방향의 앞쪽에 있는 조정기(regulator)에 전달되어 여기서 슬라이버에 미리 측정된 수정을 가하게 된다. 피드 백[폐쇄회로(closed-loop)] 제어장치는 슬라이버의 선밀도를 측정하여 바라는 값을 벗어나는가를 평가하여 필요한 수정작용이 슬라이버의 진행방향 반대쪽에 있는 조정기에 전달되며 여기서 수정이 가해지고 뒤에 측정장치에 의하여 이 수정의 정확성이 체크되도록 되어 있다. 이 두 가지 기본적인 작용형식을 그림1에 블록선도로 보인다.



<그림 1> 피드 포워드와 피드 백 제어의 기본형태를 보이는 블록선도

피드 포워드 제어기의 한 예가 Graf-Optima 슬라이버 균제기이다. 이 장치

에서는 슬라이버의 단면적(간혹 두께로 잘못 불림)을 측정하여 측정롤러와 송출 롤러 사이의 지역에서 드래프트를 조정한다. 드래프트의 변화는 섬유가 측정롤러에서 풀려 나온 지점과 송출롤러에 의하여 파지된 지점 사이의 어떤 곳에서 작용된다. 드래프트의 조정효과는 측정롤러에 의하여 감지되지 않으므로 이 제어장치는 피드 포워드 형식이다. 측정된 불균제도를 없애기 위하여 조정기의 “증폭(magnification)” 세팅에 주의를 기울여야 한다.

피드 백 제어장치의 한 예는 Ⅳ장에서 설명한 캔중량 제어장치이다. 여기서는 일정한 길이의 슬라이버 무게가 칭량되며 이것을 송출한 연조기의 드래프트는 기대치에 대한 무게편차에 따라 조정된다. 드래프트의 조정은 연속적으로 생산된 슬라이버 캔의 총 슬라이버 무게에 영향을 미친다. 조정효과는 다음 칭량에 의하여 탐지 되므로 이것은 피드 백 형식이다. 이 제어장치의 조정기 “증폭”은 피드 포워드 조정기보다 덜 민감하다. 피드 백 형식의 조정기는 원래 더 느리게 작용한다.

슬라이버의 자동균제를 위하여서는 경제적으로 구입 설치할 수 있는 측정장치의 정확성과 안정성, 그리고 기계자체의 공정거동에 대한 예측능력을 고려하여 위의 두 가지 제어장치 중에서 하나를 선택하게 된다. 이 선택은 제어 기술자(control engineer)가 해야 할 일이므로 여기서는 이들 제어장치의 형식에 따른 특성을 상세히 검토하지 않겠다. 방적의 입장에서 어떤 특수한 방적공정에 대한 제어장치의 적합성을 평가할 수 있는 방법으로 충분히 설명될 수 있다면 어떤 형식의 제어장치를 택하는가는 그렇게 중요하지 않다.

제어기계의 성능

자동제어장치의 설계 중, 제어 기술자는 그 기계의 측정, 제어 및 기타 부분의 개별거동을 이들이 기계에 조립될 때의 상호 작용과 함께 고찰한다.

완전히 제어된 기계가 거기에 공급된 슬라이버의 불균제도에 대하여 가지는 작용을 생각해보면 다음 두 부분으로 나눌 수 있다.

ⅰ) 송출 슬라이버에 일정한 불균제도를 부여하기 위한 공급슬라이버 불균제도의 축소, 또는 확대.

ⅱ) 들어오는 불균제도와는 무관하며 기계세팅과 대기조건에 따라서 달라질 수 있는 부가 불균제도(Ⅱ장 참조)의 도입.

이러한 거동은 둘 다 불균제도의 파장에 따라 달라지므로 이에 대하여는 스펙트럼에 의한 설명이 적절하다. (ⅰ)의 거동은 대응하는 파장에서 공급슬라이버 불균제도에 대한 송출 슬라이버 불균제도의 분산비 또는 진폭비(Variance Ratio or Amplitude Ratio)로 설명된다. 파장에 따라 좌우되는 이 비를 제어기계의 전달함수(transfer function)라고 부르기로 한다. 이것은 제Ⅳ장에서 연조기 캔중량 제어장치의 작용을 설명하기 위하여 사용되었다. 기계를 통과하는 동안 슬라이버에 가해지는 부가불균제도는 제어기계의 섭동(perturbation) 스펙트로그램으로 불리는 스펙트로그램에 의하여 간단히 설명된다.