방적사의 균제도 특성과 관리(3)

2.6 섬유집합체의 한계불균제도

2.6.1 면사 및 화섬사의 한계불균제도

스테이플 섬유로 균일한 실을 방적하고자 할 때에는 임의의 실 단면내 섬유 올수가 일정하고, 각 섬유가 동일한 섬도를 가져야 할 뿐만 아니라 모든 섬유 한올의 끝이 다음에 따라오는 섬유의 처음과 연결되어야 한다. 그러나 이와 같은 섬유집합체는 만들 수 없다. 방적공정에서는 기본적으로 섬유를 균일하게 섞고, 각각의 섬유를 서로 분리, 평행하게 하여 최종 번수에 맞도록 잡아당기게 된다. 혼섬에 의해 각 섬유들이 어떤 선택된 구역에 존재할 확률이 같아져서 섬유집합체내의 섬유들이 균일하게 분포하게 된다.

임의의 실 단면내 섬유 올수는 확률변동에 따르는데, 어떤 섬유들은 상호 겹치기도 하기 때문에 가장 최상의 조건하일지라도 최소한의 불균제(한계불균제)를 갖는 방적사가 되고 만다. 합섬 스테이플 섬유와는 달리 천연섬유의 경우 단면적이 다르기 때문에 불균제도가 더 크다.

Martindale 및 Huberty 등은 수학적으로 한계불균제도를 다음과 같이 정의하였다.

즉, 만약 모든 단일 섬유들이 동일한 단면 크기, 즉 같은 섬도를 갖는다고 가정한다면 한계불균제도는 다음 식에 의해 계산될 수 있다 :

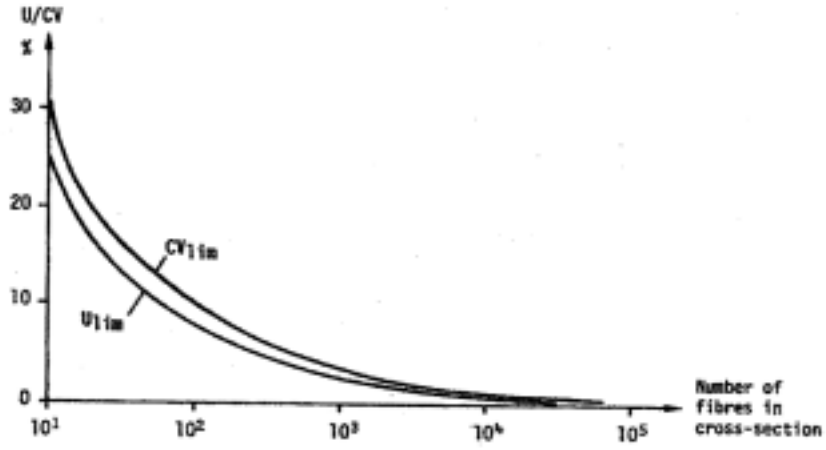
$CV_{lim} = \frac{1}{\sqrt{n}}$ 또는 $CV_{lim} = \frac{100}{\sqrt{n}}(\%)$; 면과 합성섬유

단, n = 실단면내 평균 섬유올수

이 식은 “CV% = 1.25U%”를 만족하는 경우에 다음 식으로 변환될 수 있다 :

$$U_{lim} = \frac{0.8}{\sqrt{n}} \text{ 또는 } U_{lim} = \frac{80}{\sqrt{n}}(\%)$$

이와 같은 식에 의하면 섬유가 가늘수록 실 단면내 평균 섬유올수가 많아지기 때문에 실의 CV% 또는 U%와 같은 불균제도 값이 감소된다는 것을 알 수 있다.



<그림 2.20> 실 단면내 섬유 올수와 한계불균제도와의 관계 곡선

<그림 2.20>은 실 단면내 평균 섬유올수와 한계불규제도와의 관계를 나타낸 것으로 일반적으로 이와 같은 관계를 면섬유, 합성섬유 및 혼방 섬유에 대해 유효한데, 이는 섬유간 단면 차이를 무시할 수 있기 때문이다.

2.6.2 불균제도 지수

어떤 섬유집합체에 대해 측정된 실제불균제도는 항상 한계불균제도보다 크다. 한계 불균제도는 이상적인 경우를 나타내므로 실제불균제도를 비교하는 기준값으로 고려될 수 있다. 이러한 한계불균제도에 대한 실제불균제도의 비를 불균제도 지수(index of irregularity, I)라고 한다 :

$$I = \frac{CV_{eff}}{CV_{lim}}, \text{ 또는 } \frac{U_{eff}}{U_{lim}}$$

불균제도 지수(I)의 크기는 방적사 불균제도의 척도로, 실제로 방적사의 불균제도가 이상적인 경우(I=1)로부터 얼마만큼 벗어나 있는가를 나타낸다. 이 값에 의해 정방기가 얼마나 잘 운전되고 있는가 하는 점과 시간이 지날수록 운전상태가 나빠졌는지 여부를 알 수 있다.

한계불균제도를 계산하기 위해서는 섬유집합체의 단면내 섬유올수(n)를 알아야 하는데, 이 값은 슬라이버, 조사, 또는 실의 번수와 섬유 섬도로부터 결정된다 :

$$CV_{lim} = \frac{100}{\sqrt{n}} = 100\sqrt{\frac{T_F}{T}}(\%), \text{ 또는 } U_{lim} = \frac{80}{\sqrt{n}} = 80\sqrt{\frac{T_F}{T}}(\%)$$

단, T_F = 섬유 섬도(tex), T = 슬라이버, 조사, 또는 실의 번수(tex)

따라서 면사, 화섬사 및 혼방사에 대한 불균제도 지수(I)는 다음 식에 의해 결정될 수 있다 :

$$I = \frac{CV_{eff}}{100}\sqrt{\frac{T}{T_F}}, \text{ 또는 } I = \frac{U_{eff}}{80}\sqrt{\frac{T}{T_F}}$$

(예) 면사(Nm 10)의 측정된 실제불균제도(CV_{eff})가 9.3%, 섬유 섬도가 5.7μg/inch일 때 한계불균제도(CV_{lim}) 및 불균제도 지수(I)를 구하는 경우 :

면사 번수 : Nm 10 = 100tex

섬유 섬도 5.7 μg/inch ≈ 224.4μg/m = 0.224tex

$$CV_{lim} = 100\sqrt{\frac{T_F}{T}} = 100\sqrt{\frac{0.224}{100}} = 4.74\%$$

$$I = \frac{CV_{eff}}{CV_{lim}} = \frac{9.30}{4.74} = 1.96, \quad \text{또는}$$

$$I = \frac{CV_{eff}}{100}\sqrt{\frac{T}{T_F}} = \frac{9.3}{100}\sqrt{\frac{100}{0.224}} = 1.96$$

2.6.3 양모사의 한계불균제도

2.6.2절에서 제시된 한계 불균제도식은 일반적으로 면사, 합섬사 및 면/합섬 혼방사에만 유용하다. 이러한 경우 섬유직경 변동을 무시하였으나, 양모사의 경우에는 이러한 변동을 무시할 수 없기 때문에 섬유직경 변동계수(CV_d)가 고려된다.

$$CV_{lim} = \frac{100}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{1 + 0.0004 \cdot CV^2{}_d} \quad (\%), \quad \text{또는}$$

$$U_{lim} = \frac{80}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{1 + 0.0004 \cdot CV^2{}_d} \quad (\%)$$

단 CV_d = 섬유직경 변동계수, n = 양모사 단면에 존재하는 평균 섬유올수

양모의 경우 섬유직경 변동계수 CV_d = 25% 값을 사용하면 다음과 같이 단순화된다.

$$CV_{lim} = \frac{3.58 \cdot d_F}{\sqrt{T}}(\%), \quad \text{또는} \quad U_{lim} = \frac{2.86 \cdot d_F}{\sqrt{T}}(\%) \ : \text{양모}$$

단, d_F = 섬유 직경(μ , 1 μ =1/1000mm), T = 실의 번수(tex)

이에 따라 불균제도 지수(I)는 다음 식으로 변환 될 수 있다 :

$$I = \frac{0.279 \cdot CV_{eff\%} \cdot \sqrt{T}}{d_F}, \quad \text{또는} \quad I = \frac{0.350 \cdot U_{eff\%} \cdot \sqrt{T}}{d_F} \ : \text{양모}$$

(예) 평균 섬유직경 d_F=24 μ 인 100tex 방모사의 측정 불균제도(CV_{eff})가 13.5%일 때, 불균제도(CV_{lim})와 불균제도 지수(I)를 구할 경우 :

$$CV_{lim} = \frac{3.58 \cdot d_F}{\sqrt{T}} = \frac{3.58 \cdot 24}{\sqrt{100}} = 8.59\%$$

$$I = \frac{0.279 \cdot CV_{eff\%} \cdot \sqrt{T}}{d_F} = \frac{0.279 \cdot 13.5 \cdot \sqrt{100}}{24} = 1.57$$

한편 실 단면내 섬유올수는 섬유 섬도와 실의 번수를 알면 간단히 계산된다 :

$$n = \frac{T}{T_F}$$

단, n = 단면내 섬유올수, T = 실의 번수(tex), T_F = 섬유 섬도(tex)

양모의 경우, 일반적으로 평균 섬유직경 및 밀도(ρ =1.31g/cm^3)를 고려할 때 섬도(tex)는 다음 식과 같이 된다 :

$T_F = 0.0103 \cdot d_F 2$(tex), 양모

단, d_F = 평균 섬유직경(μ , 1 μ = 1/1000mm)

(예) 양모사(Nm 15)가 평균 섬유직경(d_F)이 22 μ 인 섬유로 구성되어 있을 때, 단면에 존재하는 섬유올수와 한계불균제도를 구하는 경우 :

$$T = \frac{1000}{Nm} = \frac{1000}{15} = 66.67\text{tex}$$

$$T_F = 0.00103 \cdot d_F{}^2 = 0.00103 \cdot 22^2 = 0.5\text{tex}$$

$$n = \frac{T}{T_F} = \frac{66.67}{0.5} = 133$$

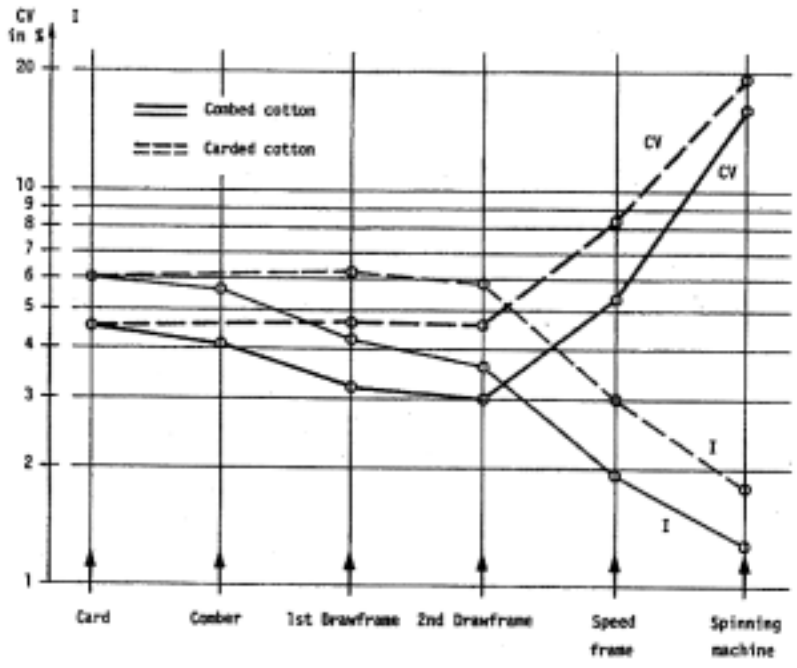
$$CV_{lim} = \frac{100}{\sqrt{n}}\sqrt{1 + 0.0004 \cdot CV^2{}_d} = \frac{100}{\sqrt{133}}\sqrt{1 + 0.0004 \cdot 25^2} = 9.69\%$$

2.6.4 공정단계별 불균제도 및 불균제도 지수

불균제도 지수(I)는 이미 2.6.2절에서 설명한 것처럼 정방기 운전상태에 대한 척도로 고려될 수 있다. 전방공정 제품과 실에 대한 균제도 시험결과를 불균제도 지수로 평가하면, 공장내 품질표준으로부터의 편차와 방적사 품질저하에 영향을 주는 요인 을 알 수 있다. <그림 2.21>은 소면사 및 정소면사 제조시 방적공정 단계별 제품의 실제 불균제도(CV)와 이 CV 값으로부터 계산된 불균제도 지수를 나타낸 예이다.

이 그림에 의하면 정방이전 공정에서의 불균제도 지수가 비교적 높은 값

을 보이고 있고, 불균제도(CV%)는 섬유집합체가 가늘어질수록, 즉 조방공정과 정방공정 단계에서 증가하며, 소면사 제조단계에서보다 정소면사 제조단계에서의 불균제도가 훨씬 더 작음을 알 수 있다.



<그림 2.21> 소면사 및 정소면사 제조시 방적공정 단계별 제품의 실제불균제도(CV)와 불균제도 지수(I)

2.6.5 방적공정 중 불균제도의 부가

방적공정 각 단계마다 어떤 양만큼 불균제도가 부가되어 최종적으로 실의 불균제도를 이루게 되는데, 각 공정의 불균제도는 그 앞 공정에서의 불균제도 제곱근에 해당되는 양만큼 부가되어 수학적으로 공정단계 C에서의 불균제도는 공정단계 A와 B의 불균제도와 다음 식과 같은 관계로 표현된다 :

$CVc = \sqrt{CV_A{}^2 + CV_B{}^2}$, 또는 $Uc = \sqrt{UA_2 + UB_2}$

(예) CV가 4%인 연조 슬라이버를 조방기에 공급한 후 만들어진 조사의

CV가 8.4%이고, 이 조사로 만들어진 방적사의 CV가 14.5%라고 할 때, 조방기에 의해서 발생된 불균제도와 링 정방기에 의해 발생된 불균제도를 구하는 경우 :

① 계산식에 의한 해

조방기 및 정방기에 의해 발생된 불균제도는 위 식으로부터 구할 수 있다 :

$$CV = \sqrt{CV_{VG}{}^2 - CV_{SB}{}^2} = \sqrt{8.4^2 - 4^2} = 7.39\%$$

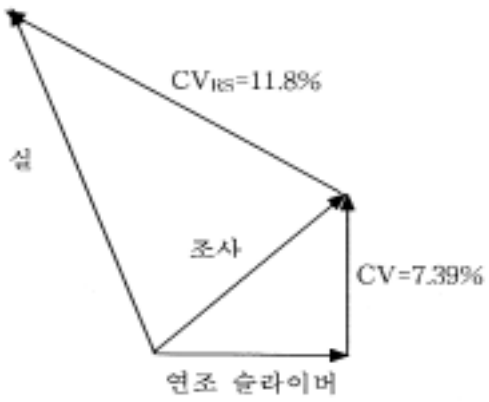
단, CV = 조방기에 의해 발생된 불균제도, CV_{VG} = 조사의 변동계수, CV_{SB} = 연조 슬라이버의 변동계수

$$CV_{RS} = \sqrt{CV_G{}^2 - CV_{VG}{}^2} = \sqrt{14.5^2 - 8.4^2} = 11.8\%$$

단, CV_{RS} = 링 정방기에 의해 발생된 불균제도, CV_G = 실의 변동계수

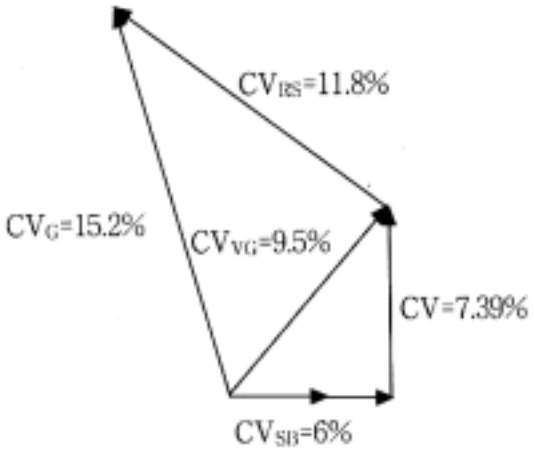
② 도식적인 해

변동계수를 벡터량으로 간주하여 도식적으로 더하면 답을 구할 수 있다.



만약 이 조방기에 불균제도가 50% 증가된 연조 슬라이버(즉, CV_{SB}=6%)가 공급된다면, 동일한 링 정방기에서 만들어진 실의 불균제도(CV_G)는 15.2%가

되어 단지 4.6%만 증가할 것이다.



2.6.6 혼방사의 한계불균제도, U/CV 및 불균제도 지수의 결정

섬유 혼방, 특히 천연섬유와 합성섬유 혼방의 경우에도 대체로 두 섬유의 평균 섬유직경 차이가 너무 크지 않을 때 한계불균제도, 불균제도 및 불균제도 지수는 비교적 간단하게 계산될 수 있다.

1) 혼방사의 한계불균제도

혼방사의 한계불균제도를 계산할 경우 각 단일 섬유로 구성된 2가지 또는 2가지 이상의 단사로 구성된 합사를 고려하며, 각 단사는 다음 식에서와 같이 그 조성섬유 비율에 따른 번수를 갖게 된다 :

$$T_k = \frac{T_G \cdot P_k}{100}$$

단, T_k = 각 특정 섬유성분으로 이루어진 단사의 번수(tex), T_G=혼방사의 공칭 번수, P_k = 전체 번수에 대한 조성섬유 비율, K = 조성섬유 종류(1,2, ・・・, n)

이와 같이 가정된 각 단사의 경우, 2.7.1 절에서와 같이 한계불균제도를 구할 수 있다. 따라서 다음 식과 같이 2차식 형태의 부가에 의해 혼방사의 한

계불균제도가 게산된다 :

$$CV_{lim} = \frac{\sqrt{(CV_{1lim} \cdot T_1)^2 + (CV_{2lim} \cdot T_2)^2 + \cdots + (CV_{n\,lim} \cdot T_n)^2}}{T_G}, \text{ 또는}$$

$$U_{lim} = \frac{\sqrt{(U_{1lim} \cdot T_1)^2 + (U_{2lim} \cdot T_2)^2 + \cdots + (U_{n\,lim} \cdot T_n)^2}}{T_G}$$

단, CV_{lim}, U_{lim} = 혼방사의 한계불균제도, T_1, T_2, ・・・, T_n = 섬유 종류에 따른 단사의 번수, T_G = 혼방사의 공칭 번수

(예) 소모방적에서 양모 45%와 합성섬유 55%로 제조된 혼방사의 번수는 33.3tex(Nm 30), 합성섬유 섬도는 0.44tex이며, 양모의 평균 섬유직경은 27.5μ라고 할 때 이 혼방사의 한계불균제도를 구하는 경우 :

$$T_s = \frac{T_G \cdot P_s}{100} = \frac{33.3 \cdot 55}{100} = 18.3\text{tex}$$

$$Tw = \frac{T_G \cdot P_W}{100} = \frac{33.3 \cdot 45}{100} = 15.0\text{tex}$$

$$T_G = T_s + T_w = 18.3 + 15.0 = 33.3\text{tex}$$

이에 따라 합성섬유 및 양모섬유로 이루어진 단사의 한계불균제도는

$$CV_{s\,lim} = 100 \cdot \sqrt{\frac{T_{FS}}{T_S}} = 100 \cdot \sqrt{\frac{0.44}{18.3}} = 15.5\%$$

$$CV_{w\,lim} = \frac{3.58 \cdot d_{FW}}{\sqrt{T_W}} = \frac{3.58 \cdot 27.5}{\sqrt{15}} = 25.4\% \text{가 되어,}$$

혼방사의 전체 불균제도는 다음과 같다.

$$CV_{lim} = \frac{\sqrt{(CV_{s\,lim} \cdot T_s)^2 + (CV_{w\,lim} \cdot T_w)^2}}{T_G} = \frac{\sqrt{(15.5 \cdot 18.3)^2 + (25.4 \cdot 15)^2}}{33.3} = 14.3\%$$

2) 혼방사의 U/CV와 불균제도 지수

혼방사의 실제 측정된 불균제도는 한계불균제도와 마찬가지로 2가지 이상의 불균제도 성분으로 구성된다. 종류는 다르나 섬도는 동일한 섬유로 만들어진 2가지 실의 불균제도를 안다면, 혼방사의 불균제도는 이 값들로부터 다음 식과 같이 2차식 형태의 부가법칙에 따라 얻어질 것이다 :

$$CV_{BY} = \frac{\sqrt{(CV_1 \cdot T_1)^2 + (CV_2 \cdot T_2)^2 + \cdots + (CV_n \cdot T_n)^2}}{\sum_{k=1}^{n} T_k}(\%) \text{ , 또는}$$

$$U_{BY} = \frac{\sqrt{(U_1 \cdot T_1)^2 + (U_2 \cdot T_2)^2 + \cdots + (U_n \cdot T_n)^2}}{\sum_{k=1}^{n} T_k}$$

단, CV_{BY}, U_{BY} = 혼방사의 불균제도, CV_1, CV_2, ・・・, CV_n, U_1, U_2, ・・・U_n = 섬유종류에 따른 단사의 불균제도, T_k = 섬유 종류에 따른 단사의 번수

(예) 양모사 불균제도(CV_w)가 20%, 화섬사 불균제도(CV_s)가 19%일 때, 합성섬유 55%와 양모 45%로 구성된 40tex 혼방사의 예상되는 평균 불균제도를 구하는 경우 :

$$T_{KW} = \frac{T_G \cdot P_{KW}}{100} = \frac{40 \cdot 45}{100} = 18\text{tex}$$

$$T_{KS} = \frac{T_G \cdot P_{KS}}{100} = \frac{40 \cdot 55}{100} = 22\text{tex}$$

$$CV_{BY} = \frac{\sqrt{(CV_W \cdot T_{KW})^2 + (CV_S \cdot T_{KS})^2}}{T_{KW} + T_{KS}} = \frac{\sqrt{(20 \cdot 18)^2 + (19 \cdot 20)^2}}{18 + 22} = 13.8\%$$

혼방사의 불균제도 지수(I_{BY})는 한가지 종류의 섬유로 구성된 실과 동일한 방법으로 구할 수 있다. 먼저 2.6.6절의 1)에 따라 혼방사의 한계불균제도를 구한 후, 이것을 실제 측정한 불균제도와 결부시켜 다음과 같이 혼방사의 불균제도 지수를 구한다 :

$$I_{BY} = \frac{CV_{BYeff}}{CV_{BY\,lim}}, \quad \text{또는} \quad IBY = \frac{U_{BYeff}}{U_{BY\,lim}}$$

2.7 더블링이 U/CV에 미치는 영향

연조기에서는 각 슬라이버에 존재하는 선밀도 변동의 차이를 줄이기 위하여 여러 개의 슬라이버가 동시에 드래프트 장치로 공급된다. 연조기에 슬라이버가 공급될 때 다음과 같은 더블링 법칙이 적용될 수 있다 :

$$CV_I = \frac{\overline{X}cv}{\sqrt{n}}$$

단, CV_I = 드래프트 입력단계에 있는 슬라이버의 전체 불균제도(CV%),

$\overline{X}_{CV}$ = 입력 슬라이버에 대한 평균 불균제도(CV%)

= $(CV_1 + CV_2 + \cdots + CV_n)/n$,

n = 슬라이버 수

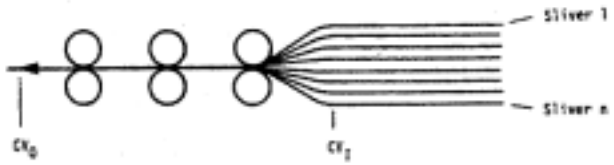
드래프트 장치에 의해 부가적인 불균제도(CV_O)는 공급단계에서의 불균제도(CV_I)에 비해 더 나빠지게 된다.

(예) 연조기에 Nm 0.25의 면 슬라이버 8개가 공급되고, 각 슬라이버 CV의 전체 합($CV_1 + CV_2 + \cdots CV_8$)은 22.4%, $\overline{X}_{CV}$ 는 2.8%, 연조기 출력단계에서 불균제도 (Cvo)는 2.5%일 때, 연조기 드래프트 장치에 의해 발생된 불균제도를 구하는 경우 :

$$CV_I = \frac{\overline{X}_{CV}}{\sqrt{n}} = \frac{2.8}{\sqrt{8}} = 0.99$$

$$CV_O = \sqrt{CV_D{}^2} + CV_I{}^2, \text{ 또는 } CV_D = \sqrt{CVo^2 - CV_1{}^2}$$

$$CV_D = \sqrt{6.25 - 0.98} = \sqrt{5.27} = 2.3\%$$



<그림 2.22> 연조기 입력 및 출력단계에서의 슬라이버 불균제도 관계