

Alternate Pirn의 권취형상 제어를 위한 기구학적 제어 알고리즘 개발

Development of a Kinematic Winding Control Algorithm for the Alternate Pirn

최영휴(창원대 기계설계공학과), 김광영(한국기계연구원), 김종수(한국기계연구원), 박대원(대봉기계(주))
Y.H. Choi(Changwon Univ.), K.Y. Kim(KIMM), J.S. Kim(KIMM), D.W. Park(DaiBong Mach. Co.)

ABSTRACT

Alternate pirn winding is more difficult to control than others because starting points of its traverse strokes are changed alternately through the winding operations. However, the alternate pirn winding is very useful method because the yarn can be hardly broken when it is unwinded from full packaged bobbin. This paper presents kinematic control algorithm for the alternate pirn. The proposed algorithm can decide the values of control variables such as bobbin speed and traverse speed from the given input parameters and constraints by using the kinematic relations of the winding mechanism. The compute simulations and experimental verifications of the developed winding control algorithm are carried out. It is concluded that the proposed algorithm is an efficient and reliable alternative to traditional trial and error control methods.

Key Words : Pirn Winder(권취기), Alternate Pirn(알터네이트 편), Winding Algorithm(권취 알고리즘), Yarn Speed(絲速), Traverse speed(트래버스 속도), Traverse Stroke(트래버스 行程), Bobbin Speed(보빈 회전속도)

용어 (Nomenclature)

<Menu Parameter>

CT	초기 Traverse 행정거리 (入力) (m)
CF	滿捲時 Traverse 행정거리(m)
d	실의 직경 (내장된 데이터 이용) (m)
DF	滿捲時 Package 直徑 (出力) (m)
D_n	실의 Denier값 (入力)
DS	Bobbin 直徑 (入力) (m)
v_s	絲速(Yarn Speed) (入力) (m/s)
T_w	총작업시간(出力) (s)
W	絲重(入力) (kg)
ϕ	絲層각도 (入力) (rad)

<Intermediate Parameter>

g	보정계수(Volume compensation factor)
L	실의 총길이 (m)
\vec{P}_i	i 번째 권취 Traverse에서 실의 위치벡터
p	Traverse Coil Pitch (m)

r_{ij}	i 번째 권취사이클의 j 번째 Stroke에서 Bobbin Package의 半徑 (m)
V	管捲 전체의 부피 (m^3)
V_1	管捲 ①의 부피 (m^3) (Fig.1 참조)
V_2	管捲 ②의 부피 (m^3) (Fig.1 참조)
V_b	Bobbin의 부피 (m^3)
v_{Tij}	i 번째 권취사이클의 j 번째 Stroke에서 Traverse 속도 (m/s)
Z_{ij}	i 번째 권취사이클의 j 번째 Stroke에서 Traverse 행정거리 (m)
Δz	Traverse 행정거리 감소량 (m)
ω_{ij}	i 번째 권취사이클의 j 번째 Stroke에서 Bobbin의 회전속도 (rad/s)
ρ	실의 밀도 (kg/m^3)

1. 서론

현재 국내 섬유기계 산업은 직물 제조업의 규모와 생산능력에 비추어 볼 때 그 규모가 매우 작고 기술적인 기반도 취약한 실정이다. 특히 국내에서

사용되고 있는 Pirn Winder의 대부분은 Cam Traverse 구동방식의 Winder로 다양한 종류의 권취형상을 권취하기 위해서는 권취형상이 바뀔 때마다 기계구조를 변경해야 하므로 직물고급화에 따른 원사종류의 다양화, 다품종 소량생산 요구에 신속하게 대응하기 어렵다. 이러한 문제를 극복하기 위하여 선진국에서는 Micom 제어 Pirn Winder를 개발하여 실용화 하고 있다. 따라서 현재 전량 수입에 의존하고 있는 Micom 제어 Pirn Winder의 핵심기술인 Winding Control 알고리즘을 개발하여 국내 섬유업체의 국제 경쟁력을 제고하는 것이 시급하다.

본 연구에서는 Computerized Winding M/C으로 Alternate Pirn을 권취하기 위한 권취형상 제어 알고리즘에 대하여 연구하였다. 즉, 원하는 일정한 작업 시간 동안에 요구되는 권취량의 권사를 Alternate Pirn으로 권취하기 위한 사속(Yarn Speed), Traverse 속도, Bobbin 회전속도 등의 제어 값을 결정하는 것이 연구의 주된 목적이다.

Alternate Pirn Winding 방법은 Winding 과정중에 Traverse의 기준점과行程(Stroke)이 연속적으로 변화되는 可變인 Traverse 기준을 사용하므로 Winding Control이 어려운 방법이다. 그러나 Traverse가 가변적인 반면에 단위 Traverse Stroke당 실의 길이는 일정하므로, Winding이 끝난 Bobbin으로부터 실을 다시 풀어내는 작업을 할 때 장력의 유지가 용이하여 실이 끊어지는 일이 적다. 그러므로 Alternate Pirn은 Winding Control이 어려운 대신 효율성은 매우 큰 방법이다.

2. 기구학적 제어알고리즘

Fig.1에 보인 Alternate Pirn의 권취형상을 얻기 위한 기구학적 제어 알고리즘을 요약하면 다음과 같다. 먼저 입력데이터인 絲重, 絲速, 데니어(Denier) 값, 실의 밀도, 만권시의 형상치수와 사충각도, Bobbin직경, Traverse 초기위치와 상하한점, Traverse Pitch값 등이 주어지면, 원하는 권취형상을 Winding 하는데 소요되는 총작업시간, 각각의 Traverse에서의行程과 속도, Bobbin 회전속도 등의 제어목표값을 계산한다.

2.1 총작업시간 결정

총작업시간 T_w 동안 일정한 絲速 v_y 로 감긴 실의 총길이 L 은 다음 식과 같이 표현된다.

$$L = v_y \cdot T_w \quad (1)$$

한편, 길이 L 인 실의 총중량, W 는 데니어의 정의(데니어는 9000m 길이의 실의 무게)로부터 다음과 같이 계산된다.

$$W = \frac{L}{9000} \times \frac{D_n}{1000} \quad (2)$$

식(1)과 식(2)에서 L 을 소거하면 W 는 다음과 같다.

$$W = \frac{v_y T_w}{9000} \times \frac{D_n}{1000} \quad (3)$$

그러므로 식(3)에서 총중량 W 의 실을 권취하는데 소요되는 총작업시간 T_w 은 다음과 같이 계산된다.

$$T_w = 9 \times 10^6 \frac{W}{D_n v_y} \quad (4)$$

2.2 滿捲時 捲取形相 결정

사중 W , 사충각도 ϕ , Bobbin 직경 DS , Traverse 최대 Stroke CT , Traverse의 Pitch값 p 및 실의 밀도 ρ 가 입력값으로 주어지면 만권시 Bobbin 직경 DF 와 만권부의 Traverse 길이 CF 를 구할 수 있다.

2.2.1 滿捲時 Bobbin 直徑 DF 결정

DF 를 결정하기 위해서는 먼저 실의 단면 직경을 계산해야 한다. 총길이가 L , 단면직경이 d , 밀도가 ρ 인 실의 무게, W 는 다음식과 같다.

$$W = \rho \times \frac{\pi d^2}{4} \times L \quad (5)$$

또한 식(1)과 식(4)로부터 실의 총길이 L 은 다음과 같이 계산된다.

$$L = 9 \times 10^6 \frac{W}{D_n} \quad (6)$$

식(5)와 식(6)으로부터 L 소거하면 실의 단면직경 d 는 다음과 같이 계산된다.

$$d = \frac{1}{1500} \sqrt{\frac{D_n}{\rho}} \quad (7)$$

Fig.1에서 滿捲時 Bobbin의 부피를 제외한 捲絲만의 총부피, V 는 다음과 같다.

$$V = 2V_1 + V_2 - V_b \quad (8)$$

먼저 V_1 은 Fig.1과 Fig.2(a)에서 다음의 적분식으로 구할 수 있다.

$$V_1 = \int_0^{\frac{CT-CF}{2}} \pi r^2 dz = \int_{\frac{DS}{2}}^{\frac{DF}{2}} \pi r^2 \frac{1}{\tan \phi} dr$$

$$\therefore V_1 = \frac{\pi}{24 \tan \phi} [(DF)^3 - (DS)^3] \quad (9)$$

또한, V_2 는 Fig.1에서 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned}
V_2 &= \pi \left(\frac{DF}{2} \right)^2 \times CF \\
&= \pi \left(\frac{DF}{2} \right)^2 \left[CT - \frac{DF - DS}{\tan \phi} \right] \\
&= \frac{\pi}{4} (DF)^2 \left[CT + \frac{DS}{\tan \phi} \right] - \frac{\pi (DF)^3}{4 \tan \phi} \quad (10)
\end{aligned}$$

Bobbin 부피 V_b 는 Fig.1로부터 다음과 같이 구한다.

$$V_b = \frac{\pi}{4} (DS)^2 CT \quad (11)$$

위 식(9), 식(10), 및 식(11)을 식(8)에 대입하면 만추시 Bobbin의 총부피, V 는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned}
V &= 2V_1 + V_2 - V_b \\
&= 2 \left[\frac{\pi}{24 \tan \phi} \{ (DF)^3 - (DS)^3 \} \right] \\
&\quad + \left[\frac{\pi}{4} (DF)^2 \left\{ CT + \frac{DS}{\tan \phi} \right\} - \frac{\pi (DF)^3}{4 \tan \phi} \right] \\
&\quad - \left[\frac{\pi}{4} (DS)^2 CT \right] \quad (12)
\end{aligned}$$

한편 Fig.3(a)에서처럼 단면직경 d 인 실이 Traverse Coil Pitch p 로 Winding되어 만추시 부피가 V 였다면, V 는 다음과 같이 계산된다.

$$V = g \times p \times d \times L \quad (13)$$

그러므로 식(13)을 식(12)에 대입하여 V 를 소거하면 다음과 같이 DF에 관한 3차방정식이 된다.

$$\begin{aligned}
&\frac{\pi}{12 \tan \phi} \{ (DF)^3 - (DS)^3 \} \\
&\quad + \frac{\pi}{4} (DF)^2 \left\{ CT + \frac{DS}{\tan \phi} \right\} \\
&\quad - \frac{\pi (DF)^3}{4 \tan \phi} - \frac{\pi}{4} (DS)^2 CT - p d L = 0 \quad (14)
\end{aligned}$$

위 식(14)를 풀면 DF를 구할 수 있다. 여기서는 Newton-Raphson 방법으로 근사해를 구하였다.

2.2 만권부의 Traverse 행정 CF 결정

먼저 사중각도 ϕ 는 Fig.1 또는 Fig.2(a)에서 권취 현상의 기하학적 관계로부터 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\tan \phi = \frac{DF - DS}{CT - CF} \quad (15)$$

그러므로 만권부의 Traverse 길이 CF는 위 식(15)로부터 다음 식과 같이 결정된다.

$$CF = CT - \frac{DF - DS}{\tan \phi} \quad (16)$$

2.3 Traverse 속도의 결정

Traverse 속도는 대개의 경우 권취작업시의 Traverse 코일 피치(Coil Pitch)값과 사속으로부터 산출하여 결정한다. 적정한 Traverse 코일 피치 값은 사중과 권취현상에 따라 차이가 있으나 데니어(Denier) 값의 크기에 따른 권장값은 다음 Table 1과 같다.

Table 1 Recommended Traverse Coil Pitch Value

Denier	Recommended Traverse Coil Pitch
Below 75d	0.5 ~ 1.5 ($\times 10^{-3}$ m)
75d ~ 300d	0.7 ~ 2.0 ($\times 10^{-3}$ m)
Above 300d	1.0 ~ 3.0 ($\times 10^{-3}$ m)

Traverse 코일 피치값이 선택된 다음 Traverse 속도를 결정하는 방법은 다음과 같다.

먼저 Fig.3(a)에서 단위 코일피치(Coil Pitch), p 만큼 Traverse하는데 소요되는 시간을 Δt 라 하면, Traverse 속도, v_T 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$v_T = \frac{p}{\Delta t} \quad (17)$$

또한 Fig.3(b)에서 보는 바와 같이 Bobbin의 미소 회전각변위 증분 $d\theta$ 동안의 Traverse 코일 피치 증분 dp 와 실의 길이증분 dl_p 와의 관계로부터 다음의 관계식을 구한다.

$$d\theta = \frac{\sqrt{v_y^2 - v_T^2}}{r} dt \quad (18)$$

위 식(18)의 양변을 단위 코일 피치당 걸린 시간 Δt 와 회전각도 2π 구간에 대하여 적분하면 Δt 를 구한다.

$$\begin{aligned}
\int_0^{2\pi} d\theta &= \int_0^{\Delta t} \frac{\sqrt{v_y^2 - v_T^2}}{r} dt \\
\therefore \Delta t &= \frac{2\pi r}{\sqrt{v_y^2 - v_T^2}} \quad (19)
\end{aligned}$$

위 식(19)에 구한 Δt 를 식(17)에 대입하면 Traverse 속도는 다음식과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned}
v_T &= \frac{Pv_y}{2\pi r} \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{P}{2\pi r} \right)^2}} \\
&\doteq \frac{Pv_y}{2\pi r} \quad (20)
\end{aligned}$$

2.5 Bobbin의 회전속도의 결정

사속 v_y 가 일정하게 제어되어야 하는 경우 Fig.3

(a)에서 보듯이 Bobbin의 회전속도 ω 는 다음 관계식을 만족시키도록 결정된다.

$$\omega = \frac{v_y}{r} \quad (21)$$

2.6 Winding 알고리즘

Fig.1의 경우와 같이 한 싸이클당 Traverse행정, $K = 10$ 개의 행정이 이루어지는 경우의 Winding 알고리즘을 예로 보이던 다음과 같다.

i 번째 싸이클의 j 번째 권취행정에서의 실의 위치벡터, $\vec{P}_{ij}(\tau)$ 는 Fig.2(b)로부터 다음과 같이 주어진다.

$$\vec{P}_{ij}(\tau) = r_{ij} \cos \omega_{ij} \tau \hat{i} + r_{ij} \sin \omega_{ij} \tau \hat{j} + Z_{ij} \hat{k} \quad (22)$$

여기서, $0 \leq \tau \leq t_{ij}$

위에서 i 번째 싸이클의 j 번째 권취행정의 시간상한, t_{ij} 은 다음과 같다.

$$t_{ij} = \{(i-1) \times K + j\} \times \Delta T \quad (23)$$

i -th Cycle의 j -th Stroke에서의 Bobbin Speed 및 Traverse Speed 제어는 다음과 같이 이루어진다.

1) Traverse가 Upward Stroke일 때

$$\textcircled{a} \quad j < \frac{K}{2} \text{인 경우(즉 } j = 1, 3, 5, \dots, \frac{K}{2})$$

Traverse Height, $Z_{ij}(\tau)$ 는 다음과 같다.

$$Z_{ij}(\tau) = Z_{sj} + v_{T\ddot{v}} \tau \quad (24)$$

Traverse Stroke의 Starting Position Z_{sj} 은 다음과 같다.

$$Z_{sj} = (j-1) \times \Delta Z \quad (25)$$

r_{ij} 는 다음과 같이 결정된다;

$$\text{for } m = 1 \text{ to } \frac{j+1}{2}$$

$$\text{if } CD + (2m-3)\Delta Z < Z_{ij} < CD + (2m-1)\Delta Z$$

(단, $CD + (2m-3)\Delta Z = Z_{sj}$, for $(2m-3) \leq 0$)

then

$$r_{mj}^* = \left\{ \frac{j+1}{2} - m \right\} \times 2d, \quad j = 1, 3, 5, \dots, \frac{K}{2} \quad (26)$$

$$r_j^* = r_{mj}^* \quad (27)$$

최종적으로 Bobbin 회전반경은 다음과 같이 된다.

$$r_{ij} = \frac{DS}{2} + i \times r_j^* \quad (28)$$

Traverse Speed, $v_{T\ddot{v}}$ 는 다음과 같다.

$$v_{T\ddot{v}} = \frac{Pv_y}{2\pi r_{ij}} \quad (29)$$

Bobbin Speed, ω_{ij} 는 다음과 같다.

$$\omega_{ij} = \frac{v_y}{r_{ij}} \quad (30)$$

$$\textcircled{b} \quad j > \frac{K}{2} \text{인 경우(즉 } j = \frac{K}{2} + 2, \frac{K}{2} + 4, \dots, K-1)$$

Traverse Height, $Z_{ij}(\tau)$ 는 다음과 같다.

$$Z_{ij}(\tau) = Z_{sj} - v_{T\ddot{v}} \tau \quad (31)$$

Traverse Stroke의 Starting Position Z_{sj} 은 다음과 같다.

$$Z_{sj} = \left(\frac{K}{2} - \frac{j-1}{2} \right) \times 2\Delta Z \quad (32)$$

r_{ij} 는 다음과 같이 결정된다.

$$\text{For } m = 1 \text{ to } \left(\frac{K-2}{4} \right)$$

$$\text{if, } Z_{sj} + 2(m-1)\Delta Z < Z_{ij} < Z_{sj} + 2m\Delta Z$$

then

$$r_{mj}^* = \left(\frac{K}{2} + 1 \right) d - \left(j - \frac{K}{2} - 2 \right) d + 2(m-1)d \quad (33)$$

$$r_j^* = r_{mj}^* \quad (34)$$

Else

$$\text{if } CD + \Delta Z < Z_{ij}$$

$$\text{then let } R_{cj} = r_j^*$$

$$\text{And for } n = 1 \text{ to } \left(\frac{K-2}{4} - m + 1 \right)$$

$$\text{if } CD + (2n-1)\Delta Z < Z_{ij} < CD + (2n+1)\Delta Z$$

then

$$r_j^* = R_{cj} - 2nd \quad (35)$$

최종적으로 Bobbin 회전반경은 다음과 같이 된다.

$$r_{ij} = \frac{DS}{2} + i \times r_j^* \quad (36)$$

Traverse Speed, $v_{T\ddot{v}}$ 는 다음과 같다.

$$v_{T\ddot{v}} = \frac{Pv_y}{2\pi r_{ij}} \quad (37)$$

Bobbin Speed, ω_{ij} 는 다음과 같다.

$$\omega_{ij} = \frac{v_y}{r_{ij}} \quad (38)$$

2) Traverse가 Downward Stroke일 때

Traverse가 Upward일 때와 유사한 방법으로 Traverse Stroke별로 Bobbin 회전반경을 산정할 수 있다. 이에 따라 제어 목표값인 Traverse Speed, v_{Tij} 와 Bobbin Speed, ω_{ij} 는 각각 식(37) 및 식(38)으로부터 결정된다.

3. 컴퓨터 모사실험

3.1 Winding Control Simulation Program

앞 절에서 기술한 권취형상의 기구학적 제어알고리즘을 이용하여 권취형상의 제어상태를 확인할 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램을 작성하였다. 작성된 컴퓨터 프로그램으로 Fig.1에 보인 관권모양 1 (Alternate Pirn)에 대한 권취형상 제어를 위한 컴퓨터 모사실험을 수행하였다. 컴퓨터 모사실험의 과정은 Fig.4에 보인 Input Menu Parameter의 값을 입력하면 컴퓨터 프로그램이 필요한 계산을 수행하고, 계산된 변수값과 권취가 완료된 Bobbin의 형상을 화면에 출력한다.

3.2 컴퓨터 모사 실험 결과

Fig.4와 같이 모사실험 데이터를 입력했을 때 사용자가 원하는 권취형상이 얻어지는지 여부를 Fig.5과 같이 쉽게 Graphics를 통해 검증해 볼 수 있다. 그림을 보면 매우 성공적으로 권취가 이루어짐을 알 수 있다.

4. 권취실험

4.1 실험장치 설계

Fig.6은 권취 실험을 위하여 설계제작된 Prototype Winding Machine으로서 3상 AC 220V 모터를 사용하여 Bobbin을 구동시키고, DC 스텝모터를 이용하여 Traverse Stroke를 제어하도록 되어 있다. Traverse 범위는 27cm이며, AX5411 General Purpose DAC Board를 컴퓨터에 장착하여 권취 Simulation Program과 인터페이스가 가능하고, Potentio Meter가 장착되어 Traverse Stroke 제어를 쉽게할 수 있게 설계하였다.

4.2 권취실험 결과

Fig.7은 실험장치를 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션과 같은 조건으로 권취실험을 수행한 결과로서 매우 성공적인 권취가 이루어졌음을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 Alternate Pirn의 권취형상 제어를 위한 기구학적 제어 알고리즘을 개발하고, 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 개발된 제어 알고리즘은 每 Traverse마다 Inverter 제어에 필요한 목표값, 즉 Traverse 속도 및 행정거리, Bobbin의 각속도 값을 계산하여 제공해 주도록 되어있다. 따라서 실제 Pirn Winding시에 이 계산 결과를 이용하여 Inverter 제어 입력 신호만 발생시키면 권취형상 제어가 가능하다. 아울러 본 연구에서는 실험용 Winding Machine을 설계제작하여 Alternate Pirn의 권취실험을 수행한 결과 개발된 제어알고리즘이 Alternate Pirn의 권취형상 제어에 성공적으로 작동됨을 확인하였다.

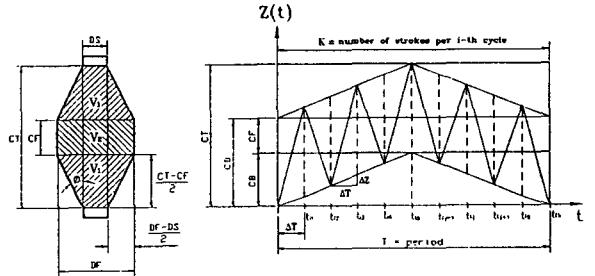
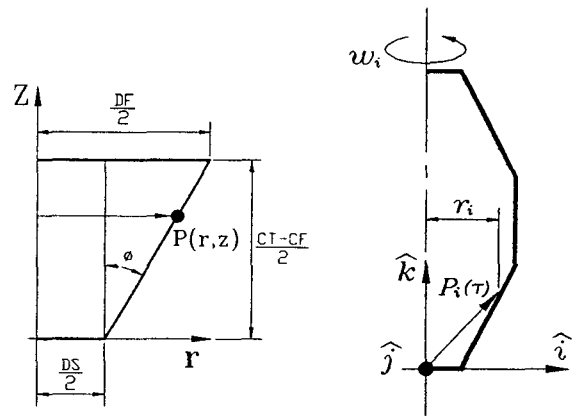


Fig.1 Alternate Pirn and Its Traverse Changes



(a) Cone Angle (b) Position Vector of Yarn
Fig.2 Definitions of Pirn and Yarn Parameters

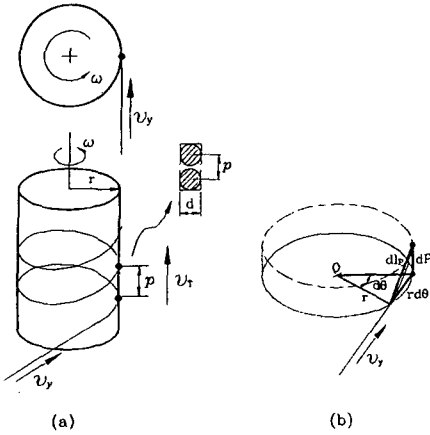


Fig.3 Traverse Pitch in Pirm Winding

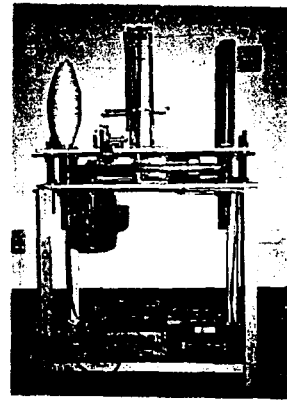


Fig.6 Prototype Winding Machine

CLASS OF ITEM	VALUE	UNIT
Sort of Thread (1-2)	1	
Width of Thread (10-600)	320	Denier
Diameter (0.0004)	0.0004	m
Load of Thread (0.0-0.01)	1.000	kg
Rate of Thread	400	m/min
Full Time (0.0-0.1)	0.05	minute
Residual Time (0.0-0.1)	0.05	minute
Traverse Range (0.01-0.4)	0.24	m
Traverse Limit (0-5)	0.01	m
Class Degree (10-30)	25	Degree
Bobbin Diameter (0.01-0.099)	0.042	m
Full Diameter (0.1-1)	0.1	m
Class Shape (1, 2)	1	
Weight Constant (1.0-10)	1	
Rotate Direction	2	
Machine State	STOP HOLD WORK	
	HOLDING TO WORK	

Fig.4 Input Data for the Computer Simulation

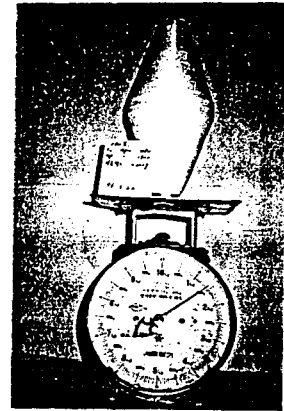


Fig.7 Winding Test Result

참 고 문 헌

1. 纖維工學刊行委員會編, "纖維工學(III): 糸の製造・性能及物性," 日本纖維機械學會, 1987.
2. Burden, R. L. and Fairs, J. D., "Numerical Analysis," 3rd Ed., Prindle, Weber & Schmidt, MA:Boston, 1985.
3. 최영휴, 정원지, "Computerized Winding Machine System의 Micom제어 알고리즘에 관한 연구 I," 창원대학교 산업기술연구소, 1995. 5.
4. 정원지, 최영휴, 김광영, 김종수, 박대원, "Pirm Winder의 권취형상에 대한 기구학적 제어 알고리즘 개발," 한국정밀공학회 '95년도 춘계학술대회 논문집, 1995. 5. pp.336-341.
5. 최영휴, 조재혁, "Computerized Winding Machine System의 Micom제어 알고리즘에 관한 연구 II," 창원대학교 산업기술연구소, 1996. 9.

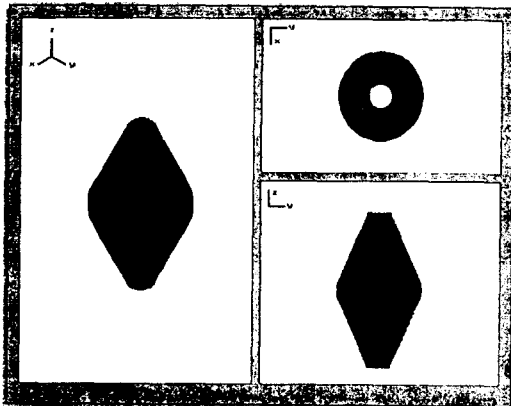


Fig.5 Computer Simulation Results