

Pirn Winder의 권취형상에 대한 기구학적 제어알고리즘 개발

정원지*, 최영휴*, 김광영**, 김종수**, 박대원***

- * : 창원대학교 정밀기계공학과
- ** : 한국기계연구원 산업기계실
- *** : (주)대봉기계

요 약 문

종래의 Cam구동방식 Pirn Winder에서는 낮은 捲取속도와 滿捲時 권취 Bobbin이 Cradle에서 이탈될 때 권취 Yarn의 대량손실, Pirn 형성시 絲層의 붕괴에 따른 과다권취 등 기술적 난제가 대두되었다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 구미선진국에서는 Micom제어 Pirn Winder가 개발되었다. 국내에서는 이 기계를 전량 수입에 의존하고 있어 수입대체가 시급하지만 선진국의 기술보호주의 때문에 기술도입도 어려운 실정이다. 본 논문에서는 Micom제어 Pirn Winder에서 기본적으로 絲層이 무너지지않기 위한 권취량, Traverse 속도, 絲速(Yarn Speed), 스펀들의 각속도 등을 결정함으로써 기구학적 제어를 할 수 있는 알고리즘을 제시하고 컴퓨터 모사실험을 통하여 타당성을 보였다.

Key Word: Pirn Winder, Degressive Pirn, 絲層, 권취형상, 絲速(Yarn Speed), Traverse 속도

용 어 (Nomenclature)

<Menu Parameter>

- CT 초기 Traverse 행정거리 (入力) (m)
- CF 滿捲時 Traverse 행정거리 (프로그램에 의한 자동계산) (m)
- DS Bobbin 直徑 (入力) (m)
- DF 滿捲時 Package(Bobbin에 실이 감긴 것)의 直徑 (프로그램에 의한 자동계산) (m)
- v_s 絲速(Yarn Speed) (入力) (m/s)
- T 총작업시간(프로그램에 의한 자동계산) (s)
- n 실의 DENIER값(入力)
- W 絲重(入力) (kg)
- ϕ 絲層각도 (入力) (rad)
- d 실의 직경 (m) (MENU에서 실의 종류를 입력하면 이에 따른 실의 직경값을 Table로부터 읽어냄)

<Intermediate Parameter>

- \vec{p}_i i번째 권취에 대한 (Traverse 下限點으로부터의) 실의 위치 벡터
- p_i i번째 Traverse Pitch (m)
- r_i i번째 권취에서 Package(Bobbin에 실이 감긴 것을 稱함)의 半徑 (m)
- ω_i i번째 권취에서 스펀들 혹은 Package의 각속도 (rad/s)
- v_{ti} i번째 권취에서 Traverse 속도 (m/s)
- z_i i번째 Traverse 행정거리 (m)
- s_i i번째 권취에서 감긴 실의 길이 (m)
- T_i i번째 권취시간 (s)
- N 총 Traverse 횟수
- s 총 실길이 (m)
- A 실의 단면적 (m²)
- g 중력가속도 (9.8 m/s²)
- ρ 실의 밀도 (kg/m³)

- V 管捲 전체의 부피 (m³)
- V_1 管捲 ①의 부피 (m³) (그림 3 참조)
- V_2 管捲 ②의 부피 (m³) (그림 3 참조)
- Δz Traverse 행정거리 감소량 (m)

1 서 론

현재 국내의 섬유기계 관련기술은 직물제조업계의 규모와 생산능력이 비추어 볼 때 섬유기계의 설계 및 제작기술이 크게 낙후되어 있는 실정이다. 뿐만아니라 최근 선진국의 기술보호주의가 심화되면서 고정밀, 고성능, 고부가가치의 섬유기계관련 설계기술의 이전을 기피하고 있으며, 기술도입시 고액의 기술사용료를 요구하고 있다. 현재 국내에서 사용되고 있는 Pirn Winder도 대부분은 Cam Traverse 구동방식이기 때문에 생산능력이 떨어지고 제반성능이 취약하여 국내 섬유업체의 경쟁력을 저하시키는 요인이 되고 있다. 따라서 직물고급화에 따른 원사종류의 다양화, 다품종 세분화 추세 등에 신속하고도 경제적으로 대응할 수 있도록 기계의 구조 변경없이 다양한 제품에 적용가능한 Micom 제어 Pirn Winder를 개발하여 현재 전량 수입에 의존하고 있는 점을 개선하고 국내 섬유업체의 국제경쟁력을 제고하는 것이 시급하다.

본 연구의 대상인 Micom제어 Pirn Winder는 종래의 (Cam Traverse 구동방식) Winder에서의 문제점, 즉 낮은 捲取속도와 滿捲時 권취 Bobbin이 Cradle에서 이탈될 때 권취 Yarn의 대량손실, Pirn 형성시 絲層의 붕괴에 따른 과다권취 등과 같은 기술적 難題를 해결해야될 필요성이 있다. 본 연구와 관련한 기술논문이나 연구보고서는 全無한 실정이고 국외에서도 Pirn Winder의 Mechanism 특허정보만 있을 뿐이지 권취형상의 기구학적 제어에 대한 자료는 거의 발표되지 않았다. 그래서 본 논문에서는 Micom 제어 Pirn Winder의 권취형상에 대한 기구학적 제어, 즉 絲層이 무너지지 않기위한 권취량, 絲速(Yarn Speed), Traverse 속도 및 행정거리(혹은 범위), 스펀들(혹은 Package)의 각속도 등을 구하여 Inverter 제어시 목표값(Desired Value)으로 제공해주는 것을 主目的으로 한다. 本論文에서는 권취형상의 대표적인 Type 4가지, 즉 Degressive Pirn, Alternate Pirn, Degressive Milk Bottle, Equal Flange Bobbin 中 가장 널리 사용되는 Degressive Pirn에 대해서 기구학적 제어알고리즘을 論하기로 한다.

2 권취형상에 대한 기구학적 제어알고리즘

2.1 총작업시간의 결정

그림 1에 보여진 Degressive Pirn에 대해서 i 번째 권취에서의 실의 위치벡터 $\vec{p}_i(t)$ (그림 2 참조)는 다음과 같이 주어진다.

i) Traverse Velocity가 Upward인 경우:

$$\vec{p}_i(\tau) = r_i \cos \omega_i \tau \hat{i} + r_i \sin \omega_i \tau \hat{j} + (Z_i + v_n \tau) \hat{k} \quad (0 \leq \tau \leq T_i)$$

ii) Traverse Velocity가 Downward인 경우:

$$\vec{p}_i(\tau) = r_i \cos \omega_i \tau \hat{i} + r_i \sin \omega_i \tau \hat{j} + (Z_i' - v_n \tau) \hat{k} \quad (0 \leq \tau \leq T_i)$$

여기서 Z_i 와 Z_i' 은 2.4절 Winding Algorithm에서 다시 논하기로 한다. i 번째 권취는 시간구간 $T_1 + T_2 + \dots + T_{i-1} \leq t \leq T_1 + T_2 + \dots + T_{i-1} + T_i$ 에 해당된다. T_i ($i=1, 2, \dots, N$)는 i 번째 권취시간이며 N 는 총 Traverse 횟수이다. i 번째 권취에서 감긴 실의 길이 s_i 는

$$s_i = \int_0^{T_i} \left\| \frac{d\vec{p}_i(\tau)}{d\tau} \right\| d\tau \quad (1)$$

에 의해 계산된다. $\vec{p}_i(\tau)$ 의 시간도함수 $d\vec{p}_i(\tau)/d\tau$ 는

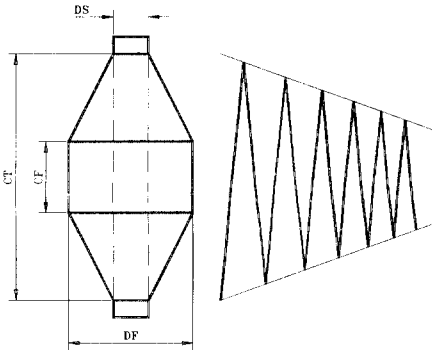


그림 1

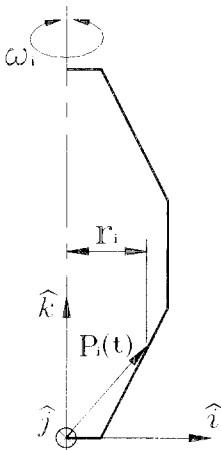


그림 2

$$\frac{d\vec{p}_i(\tau)}{d\tau} = -r_i \omega_i \sin \omega_i \tau \hat{i} + r_i \omega_i \cos \omega_i \tau \hat{j} \pm v_n \hat{k} \quad (2)$$

이며 $\|d\vec{p}_i(\tau)/d\tau\|$ 는

$$\left\| \frac{d\vec{p}_i(\tau)}{d\tau} \right\| = \sqrt{\frac{d\vec{p}_i(\tau)}{d\tau} \cdot \frac{d\vec{p}_i(\tau)}{d\tau}} = \sqrt{v_n^2 + v_n^2} \quad (3)$$

이다. i 번째 권취동안 v_n 는 일정하므로

$$s_i = \sqrt{v_n^2 + v_n^2} \cdot T_i \quad (4)$$

이다. 그런데 Traverse 속도 v_n 는

$$v_n = \frac{\omega_i p_i}{2\pi} \quad (5)$$

이다. (5)식을 (4)식에 대입하면

$$\sqrt{v_n^2 + v_n^2} = \sqrt{v_n^2 + \frac{\omega_i^2 p_i^2}{4\pi^2}} = v_n \sqrt{1 + \frac{\omega_i^2 p_i^2}{4\pi^2 v_n^2}} \quad (6)$$

이다. 그런데 絲速(Yarn Speed) v_s 는 Pirn Winding동안 일정하며

$$v_s = r_i \omega_i \quad (7)$$

이다. (7)식을 (6)식에 대입하면

$$\sqrt{v_n^2 + v_n^2} = v_s \sqrt{1 + \frac{1}{4\pi^2} \left(\frac{p_i}{r_i} \right)^2} \quad (8)$$

을 얻는다. Package의 반경 r_i 는 Traverse Pitch p_i 보다 Order of Magnitude가 훨씬 크므로, 즉 $O(r_i) \gg O(p_i)$ 이므로 (8)식은

$$\sqrt{v_n^2 + v_n^2} \approx v_s \quad (9)$$

으로 된다. (4)식과 (9)식으로부터

$$s_i \approx v_s T_i \quad (10)$$

을 얻는다. 따라서 총실길이 s 는

$$s = \sum_{i=1}^N s_i = v_s \sum_{i=1}^N T_i = v_s T \quad (11)$$

이다.

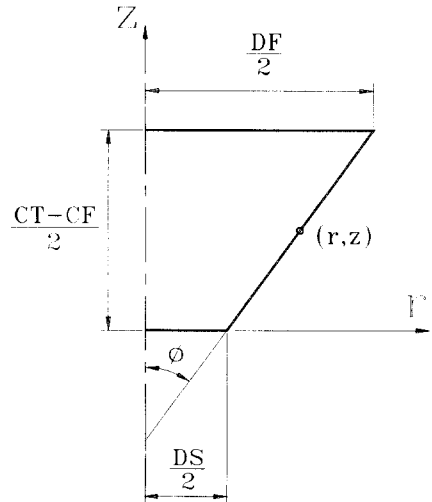


그림 3

한편, 실의 굵기가 n DENIER⁽¹⁾로 입력되었다면 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$9000 : n \times 0.001 = s : W \quad (12)$$

윗식은 DENIER의 정의(즉, 9000m의 실이 1g일 때를 1 DENIER로 정의함)에 기초하여 유도된 식으로서 W 는 絲重을 나타내며 입력된 값이다. (12)식에서 실의 총길이 s 는 다음과 같이 얻어진다.

$$s = 9 \times 10^6 \frac{W}{n} \text{ (m)} \quad (13)$$

따라서 총작업시간 T (sec)는 (11)식으로부터

$$T = 9 \times 10^6 \frac{W}{\pi v_s} \text{ (s)} \quad (14)$$

이 얻어진다.

2.2 권취형상의 결정

滿捲時의 권취형상을 결정하기 위해서는 CF와 DF를 (그림 1 참조) 프로그램에 의해서 자동계산해주는 것이 필요하다. 그림 3에서 다음과 같은 관계식이 얻어진다.

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

윗식에서 CF와 DF의 관계식으로 변형하면

$$CF = -\frac{1}{\tan \phi} DF + \frac{1}{\tan \phi} DS + CT \quad (16)$$

와 같다. 사중각도 ϕ , Bobbin 직경 DS , Traverse 범위 CT 는 입력된 값이므로 未知數 CF와 DF의 관계식은 (16)식으로 표현된다. 한편, 絲重 W 와 총 실길이 s 와의 관계식은

$$W = \rho g A s \quad (17)$$

이다. 여기서 A 는 실의 단면적으로서 圓形으로 모델링할 경우

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 \quad (18)$$

이고 d 는 실의 직경을 나타낸다. (17)식에서 다음의 관계식을 얻는다.

$$\frac{W}{\rho g} = A s \quad (19)$$

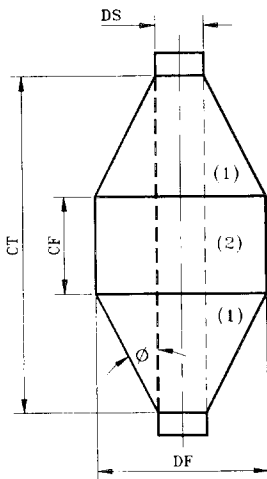


그림 4

그림 4에서 滿捲時 (Bobbin의 부피를 除한) 管捲단의 부피는

$$V = 2V_1 + V_2 - \frac{\pi}{4} (DS)^2 CT \quad (20)$$

이다. V_1 을 구하기 위해서는 그림 3을 참조하여 다음의 관계식을 이용한다.

$$\frac{r - DS/2}{z} = \tan \phi \quad (21)$$

(r, z) 는 관권의 극좌표를 나타낸다. (21)식에서 z 에 관한 식으로 구해보면

$$z = \frac{1}{\tan \phi} r - \frac{DS}{2 \tan \phi} \quad (22)$$

이다. 한편 V_1 는

$$V_1 = \int_0^{(CT-CF)/2} \pi r^2 dz \quad (23)$$

이다. (22)식에서

$$dz = \frac{1}{\tan \phi} dr$$

이고 r 이 $DS/2$ 에서 $DF/2$ 까지 변할 때 z 는 0에서 $(CT - CF)/2$ 로 변하므로 (23)식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$V_1 = \int_{DS/2}^{DF/2} \pi r^2 \frac{dr}{\tan \phi} = \frac{\pi}{24 \tan \phi} \{ (DF)^3 - (DS)^3 \} \quad (24)$$

또, V_2 는

$$V_2 = \pi \left(\frac{DF}{2} \right)^2 (CF) \quad (25)$$

이며 (16)식을 이용하여 V_2 를 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$V_2 = -\frac{\pi}{4 \tan \phi} (DF)^3 + \frac{\pi}{4} \left(CT + \frac{DS}{\tan \phi} \right) (DF)^2 \quad (26)$$

滿捲時 관권부피 V 와 絲重과의 관계는

$$W = \rho g V \quad (27)$$

이며 (19)식을 이용하면

$$A s = V \quad (28)$$

이다. (20), (24), (26) 및 (28)식으로부터

$$\begin{aligned} (DF)^3 - \frac{3}{2} \{ (\tan \phi) CT + DS \} (DF)^2 + \frac{1}{2} (DS)^3 + \\ - \frac{6 A s}{\pi} \tan \phi + \frac{3}{2} (DS)^2 CT \tan \phi = 0 \end{aligned} \quad (29)$$

이 얻어진다. DF를 x 로 두면 $f(x) = 0$ 의 一變數(One Variable) 방정식을 푸는 문제로 볼 수 있다. 즉,

$$f(x) = x^3 + \alpha x^2 + \beta = 0 \quad (30)$$

여기서

$$\alpha = -\frac{3}{2} \{ (\tan \phi) CT + DS \} \quad (31)$$

$$\beta = \frac{1}{2} (DS)^3 + \frac{6 A s}{\pi} \tan \phi + \frac{3}{2} (DS)^2 CT \tan \phi \quad (32)$$

변수 DF 즉 x 의 범위를 알아야 多數個의 解中에서 물리적인 의미가 있는 解를 선별해낼 수 있다. 먼저 x 의 下限, 즉 $(DF)_{\min} = DS$ 임을 알 수 있다. x 의 上限, 즉 $(DF)_{\max}$ 은 그림 5와 6을 참조하면 다음과 같다.

$$\frac{(DF)_{\max} - \frac{DS}{2}}{\frac{CT}{2}} = \tan \phi \quad (33)$$

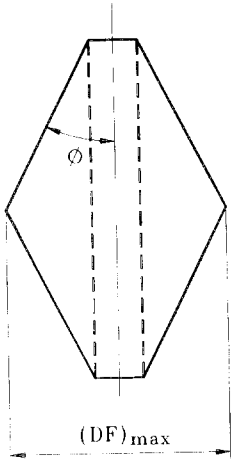


그림 5

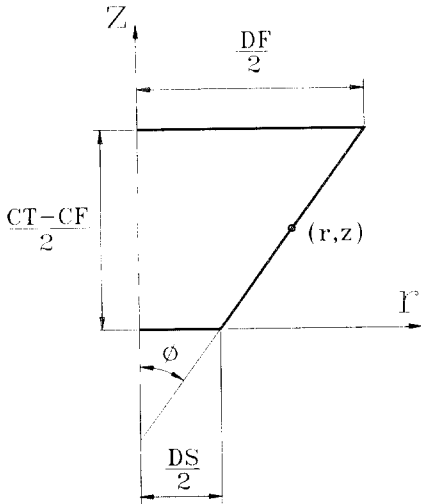


그림 6

즉,

$$(DF)_{max} = DS + (\tan\phi) CT \quad (34)$$

이다. 정리하면 $DS \leq x \leq DS + (\tan\phi) CT$ 의 범위안에 존재하면서 $f(x)=0$ 를 만족하는 x , 즉 DF 를 구하는 문제로 귀착된다. x 에 대한 3차 방정식을 푸는 해법으로 Bisection Method나 Newton-Raphson Method⁽²⁾를 이용할 수 있다.

2.3 Traverse Pitch의 결정

그림 7을 참조하면 i 번째 Traverse 행정거리 z_i 를 Traverse 속도 v_i (i 번째 Traverse 동안 일정)로 권취할 경우에 T_i 는

$$T_i = \frac{z_i}{v_i} \quad (35)$$

로 주어진다. (5)식을 뒷식에 대입하면

$$T_i = \frac{2\pi z_i}{\omega_i p_i} \quad (36)$$

이다. 한편, (10)식에서

$$T_i = \frac{s_i}{v_i} \quad (37)$$

가 얻어지므로 (36)식과 연계하여

$$p_i = \frac{2\pi z_i v_i}{\omega_i s_i} \quad (38)$$

이 얻어진다. 여기서 z_i 는 Winding Algorithm(다음節에서 설명됨)을 통하여 每 Traverse마다 결정될 수 있다.

첫번째 Traverse Pitch p_1 은

$$p_1 = \frac{2\pi z_1 v_1}{\omega_1 s_1} \quad (39)$$

이다. 여기서 첫번째 Traverse동안 실길이 s_1 은 다음과 같이 추론할 수 있다. 그림 8에서 보듯이 2번의 Traverse마다 Traverse 행정거리는 Δz 만큼 감소하므로 다음의 관계식이 성립한다.

$$\Delta z = \frac{2d}{\tan\phi} \quad (40)$$

총 Traverse 횟수를 N 이라고 하면

$$\frac{CT-CF}{\frac{2}{\Delta z}} = \frac{N}{2} \quad (41)$$

이란 관계식이 성립하며 따라서 N 는

$$N = \frac{CT-CF}{\Delta z} \quad (42)$$

로 주어진다. 실의 총길이 s 에 관한 식, 즉

$$s = \sum_{i=1}^N s_i \approx N s_1 \quad (43)$$

으로부터

$$s_1 = \frac{s}{N} \quad (44)$$

을 구할 수 있다. 따라서 (39)식에서 p_1 은 구할 수 있다.

i 번째 Traverse동안 실길이 s_i 는

$$s_i \approx 2\pi r_i \frac{z_i}{p_{i-1}} \quad (45)$$

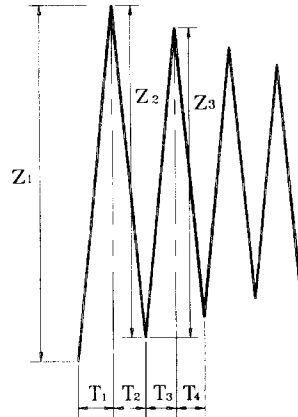


그림 7

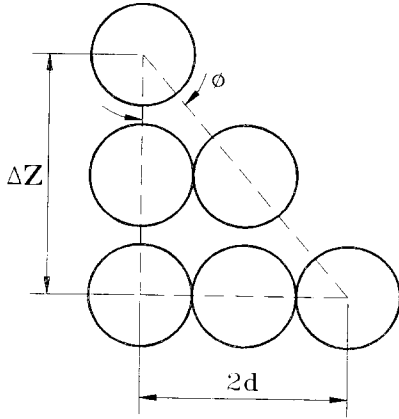


그림 8

를 이용하여 구할 수 있다. 물론 $p_{i-1} \approx p_i$ 로 가정한 결과이다. 그러므로 첫번째 Traverse Pitch p_1 을 구한 다음 (38)식과 (45)식을 이용하여 i 번째 Traverse Pitch p_i 를 구한다.

2.4 Winding Algorithm

그림 7에서 Traverse 下限점을 原点으로하여 Winding Algorithm을 기술하면 아래와 같다.

i) $i=1$ (Upward)

$$z_1 = CT, \quad r_1 = DS/2, \quad \omega_1 = v_1/r_1, \quad \Delta z = \frac{2d}{\tan \phi}$$

$$N = \frac{CT - CF}{\Delta z}, \quad s_1 = \frac{s}{N}, \quad p_1 = \frac{2\pi z_1 v_1}{\omega_1 s_1}$$

$$v_n = \frac{\omega_1 p_1}{2\pi}, \quad T_1 = \frac{z_1}{v_n}, \quad t = T_1$$

$$\vec{p}_1(t) = r_1 \cos \omega_1 \tau \hat{i} + r_1 \sin \omega_1 \tau \hat{j} + v_n \tau \hat{k} \quad (0 \leq \tau \leq T_1)$$

ii) $i=2$ (Downward)

$$z_2 = CT, \quad r_2 = DS/2 + d, \quad \omega_2 = v_2/r_2$$

$$s_2 = 2\pi r_2 \frac{z_2}{p_1}, \quad p_2 = \frac{2\pi z_2 v_2}{\omega_2 s_2}$$

$$v_n = \frac{\omega_2 p_2}{2\pi}, \quad T_2 = \frac{z_2}{v_n}, \quad t = T_1 + T_2$$

$$\vec{p}_2(t) = r_2 \cos \omega_2 \tau \hat{i} + r_2 \sin \omega_2 \tau \hat{j} + (CT - v_n \tau) \hat{k} \quad (0 \leq \tau \leq T_2)$$

iii) if ($t > T$) STOP

else {

$$z_i = z_{i-1} - \Delta z, \quad r_i = DS/2 + (i-1) \cdot d, \quad \omega_i = v_i/r_i$$

$$s_i = 2\pi r_i \frac{z_i}{p_{i-1}}, \quad p_i = \frac{2\pi z_i v_i}{\omega_i s_i}$$

$$v_n = \frac{\omega_i p_i}{2\pi}, \quad T_i = \frac{z_i}{v_n}, \quad t = \sum T_i$$

if ($i=3, 5, 7, \dots$)

$$\vec{p}_i(t) = r_i \cos \omega_i \tau \hat{i} + r_i \sin \omega_i \tau \hat{j} + (Z_i + v_n \tau) \hat{k} \quad (0 \leq \tau \leq T_i)$$

if ($i=4, 6, 8, \dots$)

$$\vec{p}_i(t) = r_i \cos \omega_i \tau \hat{i} + r_i \sin \omega_i \tau \hat{j} + (Z_i' - v_n \tau) \hat{k} \quad (0 \leq \tau \leq T_i)$$

단,

$$Z_i = (\text{INT}(i/2) - 1) \Delta z \quad (46)$$

$$Z_i' = CT - (\text{INT}(i/2) - 1) \Delta z \quad (47)$$

이다.

3 컴퓨터 모사실험

그림 1에 보인 바와 같이 관권모양 1 (Degressive Pirn)에 대한 컴퓨터 모사실험을 하였다. 실의 종류가 주어지면 그 실에 대한 직경 d 값은 Data Base화되어 있는 File에서 검색하여 주어진다. Input Menu는 그림 9와 같이 사용자가 원하는 Menu Parameter의 값을 입력할 수 있다. 모사실험결과 사용자가 원하는 권취형상이 얻어지는지 여부를 Graphics를 통해 그림 10과 같이 검증해 볼 수 있다.

4 결론

본 논문에서는 Micom 제어 Pirn Winder에 대하여 絲層이 무너지지않는 권취형상을 얻기위한 기구학적 제어알고리즘을 제시하였다. 특히 每 Traverse마다 Inverter 제어도 필요한 목표값, 즉 Traverse 속도 및 행정거리(혹은 범위), 스피들(혹은 Package)의 각속도를 제공함으로써 Micom 제어 Pirn Winder에서 실제로 이 Data를 이용할 수 있도록 하였다.

앞으로 본 논문에서 제안된 기구학적 제어알고리즘을 Micom 제어 Pirn Winder의 Prototype에 탑재하여 시운전을 통한 Troubleshooting을 해봄으로써 알고리즘의 수정 및 보완을 할 예정이다.

| CLASS | ITEM | VALUE | UNIT |
|----------|-----------|------------------|-----------------------|
| SORE | OF THREAD | (1-2) | |
| WIDTH | OF THREAD | (10-300) | DENIER |
| DIAMETER | DIAMETER | 0.0005 | M |
| LOAD | OF THREAD | (0.5-5.0) | (45 KM ²) |
| RATE | OF THREAD | (250-900) | M/MIN |
| FULL | TIME | ? | MINUTE |
| REMAINE | TIME | ? | MINUTE |
| TRAVERS | RANGE | (0.01-0.4) | M |
| TRAVERS | LIMIT | (0-0.1) | M |
| CLASS | DEGREE | (10-20) | DEGREE |
| BEAM | DIAMETER | (0.01-0.099) | M |
| FULL | DIAMETER | ? | M |
| CLASS | SHAPE | (1,2) | |
| WEIGHT | REWARD | (1.5, 10) | |
| ROTATE | DIRECTION | S, R | |
| WORKING | STATE | STOP, HOLD, WORK | |
| | | HOLDING TO WORK | |

그림 9

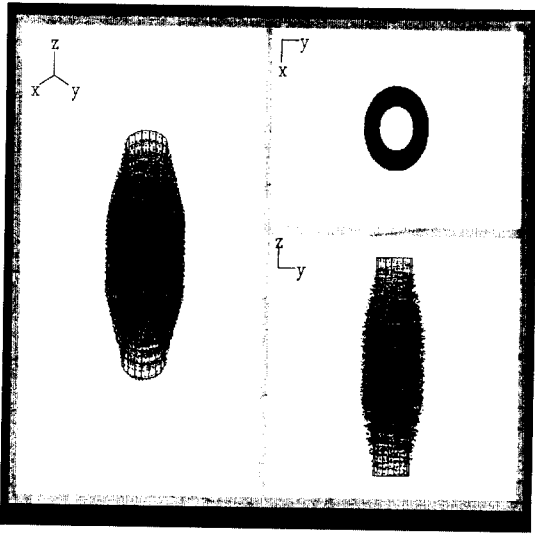


그림 10

感謝

본 연구를 지원해준 한국기계연구원에 감사를 드리고 컴퓨터 모사실험을 위해 프로그래밍을 담당해준 창원대학교 기계공학과 대학원생인 문정욱君과 도면을 그려준 학부생 조제혁君에게 감사한다.

참 고 문 헌

1. 日本纖維機械學會 纖維工學刊行委員會編, 纖維工學 (III): 系の製造・性能及び物性, 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.