

워터제트직기 구동시스템의 동특성 해석

Dynamic Characteristic Analysis of Water Jet Loom Driving System

김 상 윤† 박 대 규* 전 두 환** 박 명 규***
Kim, Sang-Yoon Park, Dae-Kyu Chun, Du-Hwan Park, Myung-Kyu
(논문접수일 : 2008년 4월 21일 ; 심사종료일 : 2008년 10월 22일)

요 지

섬유기계산업은 생산성의 극대화를 위해 고속/정밀화를 추구하고 있으며 수요자의 요구에 따라 높은 내구성과 안정성, 신뢰성을 가진 기계를 요구하고 있다. 본 연구에서는 워터제트직기를 대상으로 실제 운전 시 구동계에 토크센서를 부착하여 모듈별로 직기에 영향을 미치는 부하량을 측정 및 분석하였다. 또한, 워터제트직기에 대한 동역학적 해석을 수행한 결과와 비교함으로써 섬유기계의 구동계에 대한 토크와 진동에 대한 계측 및 분석기술을 개발하고, 내구성과 안정성이 뛰어난 고부가가치의 섬유기계 개발에 대한 기초자료를 제시하였다.

핵심용어 : 워터제트직기, 동특성 해석, 안정성, 토크

Abstract

While high speed / precision investigating for maximization of Textile Machinery business is requesting a machine which has highly endurance, stability and reliance abilities following customer request. In this research, load volume that gives influence on loom is measured and analyzed for water jet loom in real operation time to driving system adhered torque sensor to each a module. As well, measurement and analysis technology are developed about torque and vibration of driving systems for textile machinery by comparing dynamical analysis of water jet loom with gained result, basic materials about development of high value added textile machinery which has endurance and stability are presented.

Keywords : water jet loom, dynamic characteristic analysis, stability, torque

1. 서 론

최근 섬유기계산업은 생산성의 극대화를 위해 고속, 고정밀화를 추구하고 있으며, 수요자의 요구는 더욱 더 까다로워져 높은 내구성과 안정성, 신뢰성을 가진 기계를 요구하고 있다. 이에 모든 국가들은 생산속도를 높이고, 운전 시 안정성과 신뢰성을 확보하기 위해 지속적인 노력을 기울이고 있다. 특히, 섬유기계의 가장 중심인 제작기의 경우 세계적인 직기 메이커업체인 Picanol社에서 최근 국제전시회를 통해 OMNIplus800 에어제트직기의 경우 2,007rpm의 초고속 제작속도를 시연하였으며, 중국 또한 1,000rpm이상의 직기

를 선보이는 있는 실정이다.

고속의 왕복 및 회전운동을 하는 섬유기계의 특성상 동역학적 해석기술과 고속화기술 및 신뢰성 확보기술이 요구되고 있다. 하지만, 국내 섬유기계산업의 경우 몇몇 업체를 제외하고는 소규모이며, 독자적인 기술력을 보유하고 있기 보다는 선진국 제품에 대한 모사(copy)를 주목적으로 하는 곳이 많다. 이로 인해 선진제품과의 경쟁력에서 뒤쳐지게 되며 중국, 동남아국가 등 후발주자의 추격에 위협을 받을 수밖에 없는 상황이다. 이러한 상황을 극복하고자 국내 관련 기관 및 기업에서는 국제적인 경쟁력을 갖춘 섬유기계를 개발하기 위한 연구를 진행하고 있다. 그 중 대표적인 섬유기계인 워터제트

† 책임저자, 정회원 · (재)한국섬유기계연구소 연구원
Tel: 053-819-3134 ; Fax: 053-819-3119
E-mail: sangyoon@kotmi.re.kr

* (재)한국섬유기계연구소 팀장

** 영남대학교 섬유패션학부 교수

*** 영남이공대학 기계과 전임강사

• 이 논문에 대한 토론을 2008년 12월 31일까지 본 학회에 보내주 시면 2009년 2월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

직기(Adanur, 2001)의 경우 고속화, 광폭화, 경량화가 되어가고 있으며, 이에 따른 내구성 및 안정성 향상을 위한 연구가 함께 진행되고 있다. 하지만, 현재까지는 단순 모델이나 구조적 특성에 대한 연구였다. 따라서, 고속화 등에 따른 내구성 및 안정성 향상을 위해서는 실제 운전 시 발생할 수 있는 위터제트직기의 동특성을 파악하는 것이 필요하다(김중수 등, 1996).

직기의 3대 주운동은 개구운동, 위입운동, 바디침운동으로 구성되어 있으며, 이 세가지 운동은 직기의 메인 구동모터의 힘으로 작동하여 제직을 하게되므로 이러한 운동들의 특성을 바탕으로 분석된 직기의 동특성으로 메인 구동모터의 정확한 사양의 산출이 가능해진다. 하지만, 각 운동에 대한 특성분석과 이에 대한 연구 데이터가 없는 상황이라 실제 모터선정에 있어 대체로 과용량으로 선정하고 있다.

본 연구에서는 위터제트직기의 실제 운전 시 구동계의 동특성을 파악하기 위해 구동계에 대하여 실제 부하와 토크를 측정 및 분석하고, 동적 유한요소모델을 개발하여 동역학적 해석을 수행하여 두 결과를 비교하였다. 또한, 측정된 토크와 속도 데이터를 바탕으로 모터 선정의 적합성 및 사용 효율에 대해서 살펴보았다. 이를 바탕으로 차후 섬유기계의 생산 속도 향상과 안정성 및 신뢰성 확보하여 개념설계단계에서 부터 설계자가 직접적으로 활용할 수 있는 기술을 제시하였다.

2. 실험 및 해석

2.1. 메인 구동계 토크 측정

본 연구에서 개발하고자 한 유한요소모델과 비교를 위해 메인 구동계에 걸리는 실제 부하와 토크를 측정하기 위하여 토크 센서를 부착하여 기계 운전 시의 실 부하를 측정하였다. 토크 센서는 동력계의 입력 동력의 계측이나 일정한 토크를 유지하기 위해 사용 동력을 모니터링 하는데 사용되는 것으로, 본 연구에서는 최대 토크가 10kgf-m, 최대 7,500rpm까지 측정 가능한 미국 Himmelstein사의 SHC-3120T-100모델을 사용하였다. 또한, Fig. 1과 Fig. 2처럼 직기의 메인 샤프트에 연결하기 위한 어댑터와 토크센서에 부착될 풀리를 추가로 설계 및 가공하여 Fig. 3과 같이 실제 직기에 부착하였다.

Fig. 4는 전체적인 토크 계측 시스템의 구성을 나타낸 그림으로 토크 센서로부터 출력되는 신호를 오실로스코프로 관찰하고 동시에 AD보드를 통해서 디지털 값으로 변환한 후 노트북 컴퓨터에 저장하여 신호를 분석하였다.

토크 계측 실험은 전체 모듈이 모두 기동할 때와 각각의 모듈만을 기동할 때의 부하 토크를 측정하는 방식을 사용하

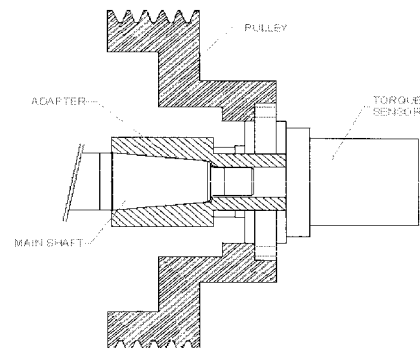


Fig. 1 Schematic representation of a torque sensor

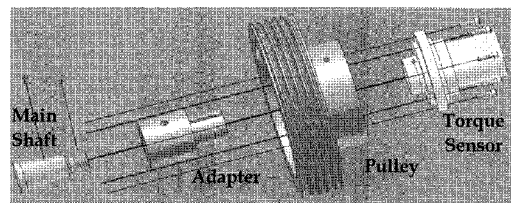


Fig. 2 3D assembly view of a torque sensor

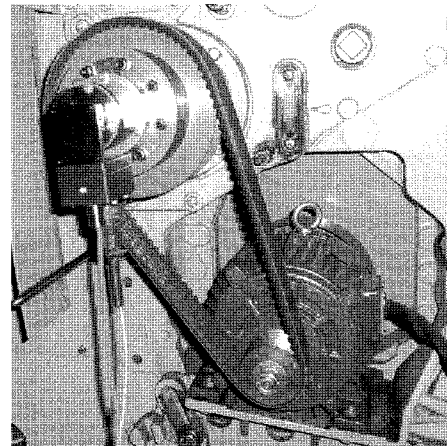


Fig. 3 Installation a torque sensor on the water jet loom

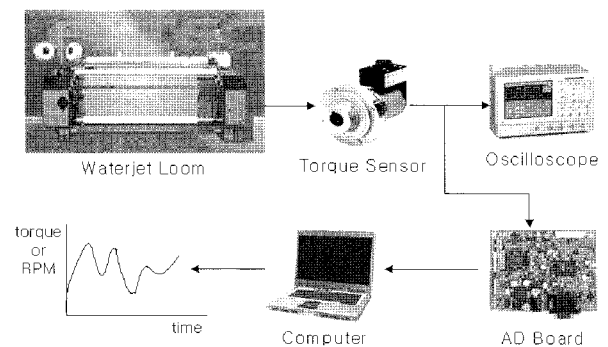


Fig. 4 Composition of torque measurement system

였다. 또한, 기동 및 정지 시의 속도를 측정하여 과도상태와 정상상태에서의 속도변화를 살펴보았다. 토크 측정에 사용된 초기 기동 조건은 최대로 개구가 된 상태인 180° 위치이고,

정상상태의 회전 속도는 760rpm(13Hz)이며, 샘플링 주파수는 4kHz, 측정시간은 6초로 하였다.

다음은 토크 측정을 위한 모듈의 조합을 나타낸 것이다.

- ① 주축 + 바디침부(김중수 등, 1996) + 개구부(김중수 등, 1997) + 위입부(김호성 등, 1997)(완전 조립 상태)
- ② 주축(바디침, 개구, 위입부 분리)
- ③ 주축 + 바디침부(개구, 위입부 분리)
- ④ 주축 + 개구부(바디침, 위입부 분리)
- ⑤ 주축 + 위입부(바디침, 개구부 분리)

2.2 직기의 동역학적 해석

위터제트직기의 동역학적 해석을 위해 3차원 CAD 프로그램인 CATIA V5로 모델링을 하였고, 다물체 동역학 해석프

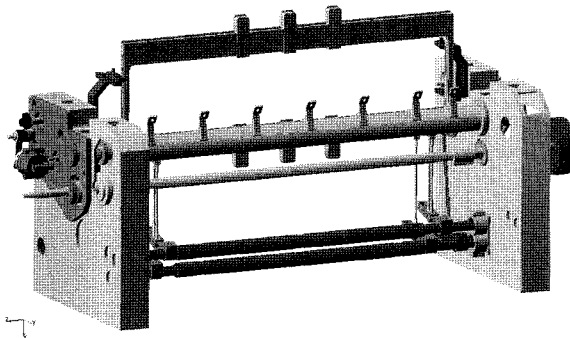


Fig. 5 Simulation domain of water jet loom for dynamic characteristic analysis

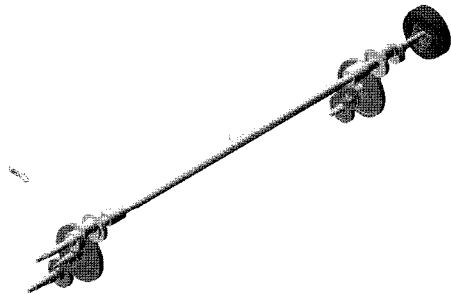


Fig. 6 Simulation domain of main shaft

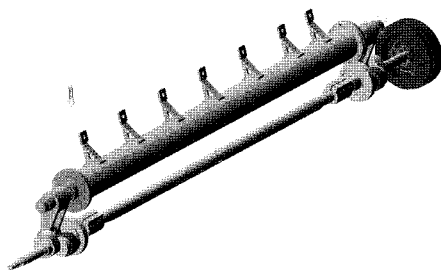


Fig. 7 Simulation domain of beating part

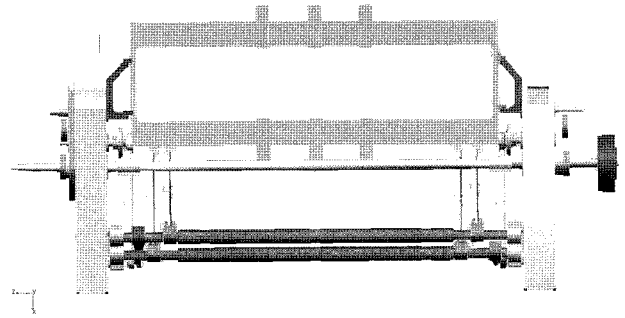


Fig. 8 Simulation domain of shedding part

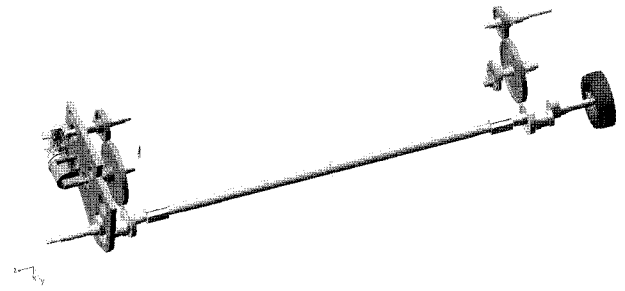


Fig. 9 Simulation domain of peaking part

로그램인 ADAMS를 이용하여 동특성 해석을 수행하였다. Fig. 5는 위터제트직기의 전체 모델이며, Fig. 6~Fig. 9는 각 모듈별 해석모델이다.

실험에 사용된 위터제트직기는 주축의 회전에 의해 동력을 각각의 기능을 하는 부분에 전달하는데 이 때 주축, 바디침, 개구, 위입부 등 전부분에서 기구의 동기화운동이 중요시 된다. 이러한 동기화 운동은 직기의 조립에도 영향을 미치는 중요한 요소로 ADAMS의 모델에서도 동기화운동을 고려하여 반영하였다. Table. 1은 직기의 동기화운동을 나타내고 있다.

해석방법은 토크 계측 실험과 동일한 5개의 모듈 조합에 대하여 발생하는 토크를 실험값과 비교하였으며, 해석조건은 Table. 2와 같다.

Table. 1 Positions of synchronize motions

주축부	180°	355°
바디침부	최대 전진	최대 후퇴
개구부	완전 개구	완전 폐구
위입부	85°	-

Table. 2 ADAMS analysis conditions

Type of Simulation	End Time	Step
Default(각 Part의 Dynamic 자유도를 자동으로 계산)	5sec	0.0025sec

3. 모터 선정에 관한 분석

토크측정 실험을 통해 얻어진 데이터를 이용해 모터 선정의 적합성 및 사용 효율에 대해서 살펴보았다. Fig. 10은 전체 부하 시 주축의 속도 선도를 나타낸 것이고, Fig. 11(a)는 전체 부하 시 토크 측정 결과를 나타낸 것이다. 두 결과를 이용하여 토크 곡선에서 최대 가속 토크와 정상 부하 토크값을 구하고 속도 선도에서 가속시간을 구하여 가속구간과 정상상태에서 소비되고 있는 파워(power)를 구해보도록 한다. 식 (1)과 식 (2)는 토크와 속도를 이용해 사용되는 파워를 구하는 계산식이다. 특히 가속구간의 토크와 가속시간이 얻어지면 전체 시스템의 등가 관성모멘트를 구해낼 수 있다 (K. Slater, 1987).

부하 - 정상 power

$$P_0(kW) = \frac{T_l N_l}{973} \tag{1}$$

부하 - 가속 power

$$\begin{aligned} P_a &= T_p \omega_{a/\max} = (J \alpha_a) \omega_l \\ &= J \frac{\omega_l}{t_a} \omega_l = \frac{J}{t_a} \omega_l^2 \\ &= \frac{1}{t_a} \frac{GD_l^2}{4g} \left(\frac{2\pi}{60} N_l \right)^2 \\ &= \frac{GD_l^2 N_l^2}{365 \times 10^3 t_a} \end{aligned} \tag{2}$$

T_l : 부하토크(kgf-m)

N_l : 부하 시 회전속도(rpm)

$\omega_{a/\max}$: 최대 토크 시 각속도(rad/s)

T_p : 가속 최대토크(kgf-m)

J : 관성모멘트(kg·m²)

α_a : 각가속도(rad/s²)

ω_l : 각속도(rad/s)

t_a : 가속시간(s)

GD_l^2 : 부하관성모멘트(kg·m²)

Fig. 10과 Fig. 11(a)에서 정상 부하 토크는 1.63kgf-m 가 되고 그때의 회전속도는 760rpm이다. 또한 최대 가속 토크는 6.65kgf-m이고 토크 최대 피크치는 기동 후 0.25초 후에 나타났고 그때의 회전속도는 275rpm으로 측정되었다. 따라서 식 (1)을 사용해 정상 상태에서의 사용 파워를 구해보면 1.27kW가 되고, 토크 최대 피크치에서는 1.88kW를 사용하고 있는 것으로 나타났다. 이는 모터 정격 출력이 3kW라는 것

Table. 3 Comparing used power with used efficiency

구분	부하 토크	회전수(각속도)	사용 동력	사용 효율	모터 정격
가속 구간	6.65kgf-m	275rpm (29rad/s)	1.88kW	63%	3kW
정상 구간	1.63kgf-m	760rpm (80rad/s)	1.27kW	42%	

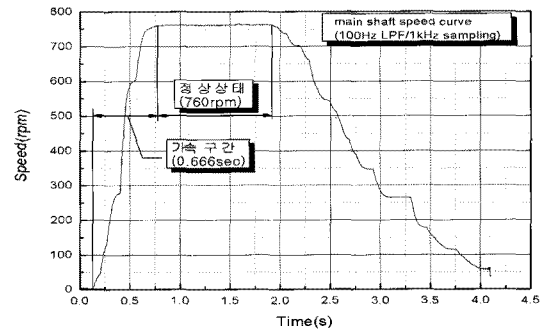


Fig. 10 Speed diagram on accelerated section and normal section(a time of full load)

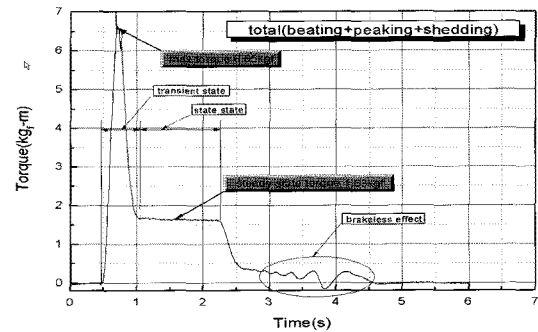


Fig. 11 (a) Experimental results of torque(a time of driving total module)

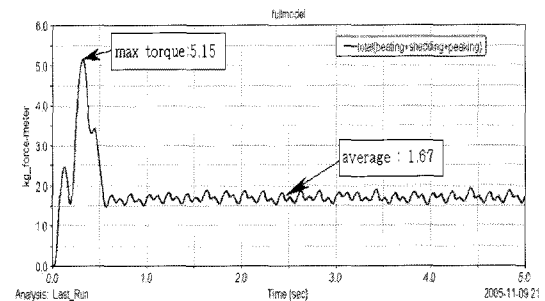


Fig. 11 (b) Simulation results(a time of driving total module)

을 고려할 때 현재 사용되고 있는 운전패턴에서는 큰 무리 없이 사용될 수 있다는 것을 의미한다.

식 (2)를 사용하여 실제 시스템의 등가 관성모멘트 및 부하 관성 모멘트를 구할 수 있고 모터가 선정되었다면 가속시간을 계산하여 운전패턴을 알아낼 수도 있다. Table. 3은 기동 후 가속구간과 정상구간에서의 사용동력과 모터의 사용효

을 정리한 것이다. 따라서 최대 부하토크를 고려할 때 모터의 안전율이 1.6 정도가 된다는 것을 알 수 있다.

안전율 1.6은 직기의 일반적인 모터의 안전율이다. 따라서, 실(絲)의 종류와 직물의 종류 등 제직조건과 외부환경을 고려하여 현장에 맞게 산정이 중요하다.

4. 결과 및 고찰

Fig. 11(a)에서 Fig. 15(b)까지는 5가지 모듈 조합에 대한 토크 측정값과 해석값을 나타낸 그래프이며, Table. 3을 이를 비교한 표이다. 두 값의 오차가 발생하는 것은 실제계의 마찰력을 고려하지 않았기 때문이다.

Fig. 11(a)의 토크 측정 결과를 보면 가동 후 약 0.6초의 가속구간에서는 최대가속토크를 나타내는 토크의 피크치가 보이고 속도가 정상상태로 도달하면서 안정된 일정한 토크가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 또한 그림에서 정지 시에 토크 선도가 흔들리는 모습이 보이는데 이는 부착되어 있던 브레이크가 실험을 위해 제거된 효과라 볼 수 있다.

이후 각각의 그래프에서 모듈에 따라 최대 가속토크와 부하토크가 잘 나타나고 있음을 알 수 있다.

모듈별 부하 토크 측정결과를 바탕으로 전체 부하토크에서 각각의 모듈이 차지하는 비율을 Fig. 16에 나타내었다. 분석 결과 주축과 바디침부(beating)를 구동하는데 31%로 가장

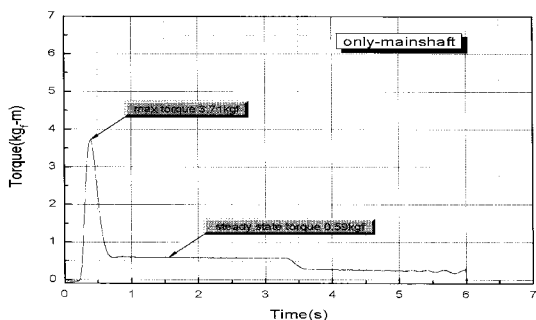


Fig. 12 (a) Experimental results of torque(a time of driving main shaft)

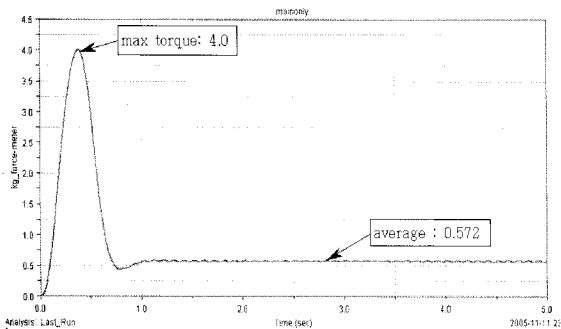


Fig. 12 (b) Simulation results(a time of driving main shaft)

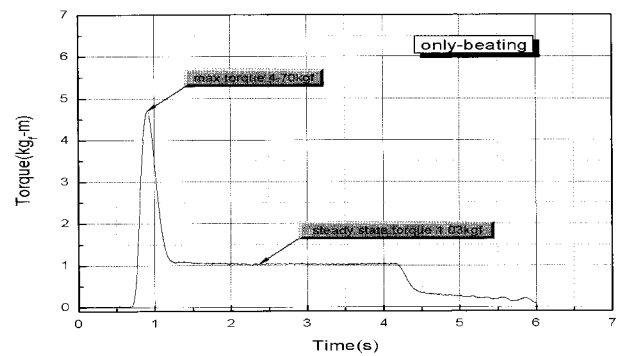


Fig. 13 (a) Experimental results of torque(a time of driving main shaft and beating part)

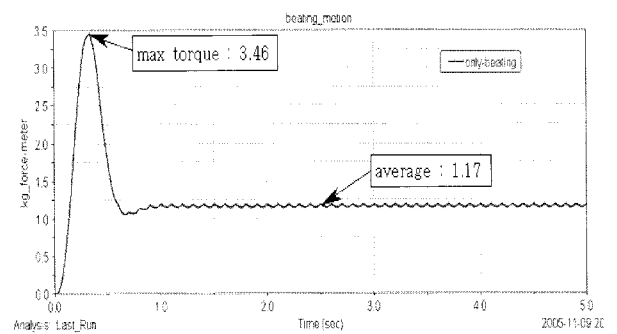


Fig. 13 (b) Simulation results(a time of driving main shaft and beating part)

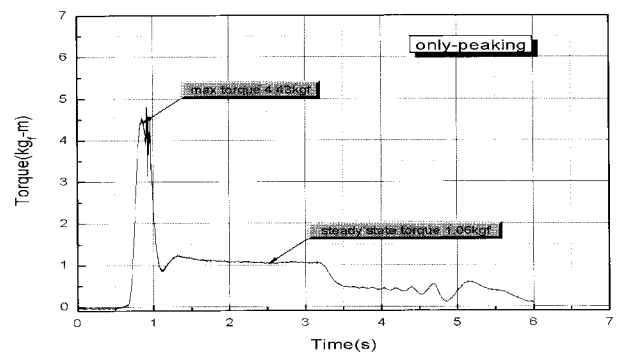


Fig. 14 (a) Experimental results of torque(a time of driving main shaft and peaking part)

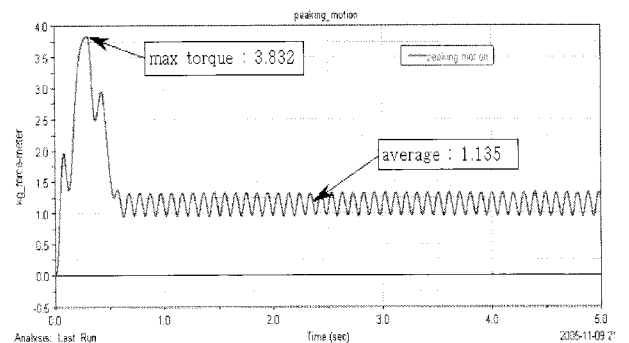


Fig. 14 (b) Simulation results(a time of driving main shaft and peaking part)

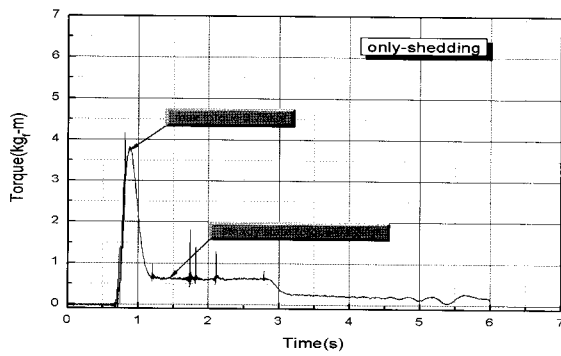


Fig. 15 (a) Experimental results of torque(a time of driving main shaft and shedding part)

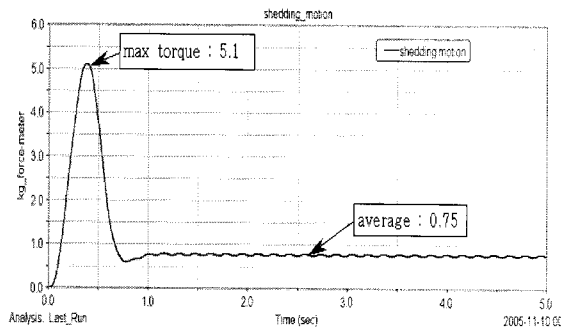


Fig. 15 (b) Simulation results(a time of driving main shaft and shedding part)

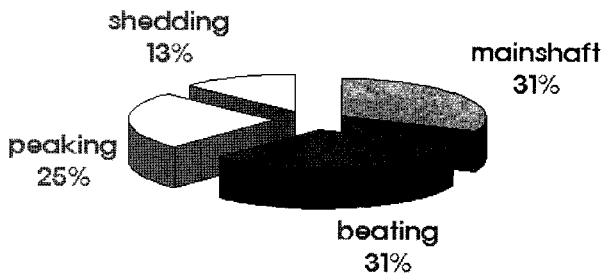


Fig. 16 Ratio of load torque

많은 동력을 소비하고, 위입부(peaking)에서 25%, 개구부(shedding)에서 13% 정도를 소비하는 것으로 나타났다.

본 연구를 바탕으로 실제계의 마찰력을 고려한 해석기술 향상과 제직환경에 대한 부하 및 토크에 대한 분석기술 등에 대한 연구를 지속적으로 수행하여 제직현장에서 즉시 활용이 가능한 직기의 구동시스템 분석기술을 개발하고자 한다.

Table. 4 Comparing experimental results with simulation results

모 들	최대가속 토크			정상상태 토크		
	측정값	해석값	오 차	측정값	해석값	오 차
전 체	6.65	5.15	1.50	1.63	1.67	0.04
주 축	3.71	4.00	0.29	0.59	0.57	0.02
주축+바디침	4.70	3.46	1.24	1.03	1.17	0.14
주축+위입	4.43	3.83	0.60	1.06	1.14	0.08
주축+개구	3.75	5.10	1.35	0.62	0.75	0.13

5. 결 론

본 연구를 통해 위터제트직기의 구동계에 대한 토크 측정 기술을 개발하였고, 직기의 해석 모델을 각각의 모듈별로 구성하여 전체 직기의 특성을 파악할 수 있는 해석 모델을 완성하였다. 또한, 전체 모델의 토크에 가장 영향을 많이 주는 모듈은 바디침부와 위입부분으로 나타남으로서 모듈의 토크를 줄이기 위한 방안과 토크 산출을 통해 이에 맞는 적정 모터를 선정할 수 있는 방안을 마련하였다.

본 연구결과를 바탕으로 전체 섬유기계의 구동부에 대한 토크와 진동에 대한 계측 및 분석 기술을 개발하여 섬유기계에서 발생하는 동적 트러블에 대한 해결 능력을 확보함으로써 내구성과 안정성이 뛰어난 고부가가치의 섬유기계 개발에 대한 연구의 기초자료로 활용될 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

김종수, 신중호 (1996) 래피어 직기에서 위입운동과 바디침운동을 위한 더블캠기구의 설계 해석에 관한 연구, 한국섬유공학회지, 33, pp.691~699.

김종수, 신중호 (1997) 고속직기용 Shedding 장치의 기구특성 분석에 관한 연구, 한국섬유공학회지, 34, pp.223~231.

김호성, 윤원식, 박명환, 신재균, 채영석 (1997) 래피어 직기의 위입구동부에 대한 기구학적 고찰, 한국섬유공학회지, 34, pp.801~808.

K. Slater (1987) Textile Mechanics, The Textile Institute.

Sabit Adanur (2001) Handbook of weaving, Sulzer.