

고속 세탁시스템의 구동 설계

A Study on the Power Transmission Design of a High Speed Automatic Washer

이 장 무(서울대), 윤 구 영(홍익대)

Jang Moo Lee(Seoul National Univ.) Koo Young Yoon(Hong-Ik Univ)

ABSTRACT

Most studies of rotary machinery design have been performed to establish a new mechanism or a dramatic combination of machine elements for the power transmission. Although the rotary machine is worked very efficiently, that still has a major work to better performance which is the optimization of the selected mechanism for the mechanical efficiency, low vibration and noise, or customer interest.

This work presents a practical approach used for washer's efficiency and machinery vibration and noise reduction along with a systematic procedure. Also for the confirming the study, a computer simulation program and a real working mock-up are developed and used to show very good agreement with the analytical result.

Key Words : Mechanism Design(기구설계), Washer Mechanism(세탁구동), Optimal Power Transmission Design(최적전동기구설계)

1. 서론

회전기기류의 구동기구설계에는 지금까지 기구설계적 측면 즉, 구동방식의 선택 또는 조합에 관심을 갖고 설계하여왔다. 따라서 기존의 구동 미케니즘의 최적화 혹은 구동 목적함수의 변화에 대한 적극적인 연구 보다는 새로운 구동 미케니즘 또는 구동방법을 찾는 데 보다 많은 노력을 기울여 왔다. 그러나 구동 미케니즘의 다양화의 한계 및 모든 미케니즘의 제한 조건인 기계적효율성, 경제성, 진동 및 소음 등의 환경적 요건들은 모든 경우에 있어서 아직도 해결되어야 하는 과제인 것이다. 특히 세탁시스템의 구동설계에는 링크식에서 나선식까지 거의 모든 미케니즘이 시도되었고 지금도 탈수 및 세탁 또는 동력전달 방식에서 새로운 시도가 행하여지고 있다.^[1,2,3]

그러함에도 위에서 언급하였듯이 미케니즘 자체의 최적화와 목적함수에 기인한 설계 변수 최적화는 많이 연구되어 있지 못한 실정이다. 저자의 연구에서 보고되었듯이 기계류의 운동미케니즘에는 각각의 경우 최적의 운동계적 및 조건이 존재하고 있으며 그러한 시도의 결과는 미케니즘 자체의 효율성을 크게 높이고 있으며 그로인한 부가적 가치 즉 동일입력조건에서 보다 안정적이면서도 출력결과는 기계적 효율성의 증가 뿐만 아니라 마찰 및 저항에 기인한 내

구성 감소 방지에 더하여 안정적 동적거동에 의한 저진동 및 저소음의 효과도 이룩하는 것으로 관찰되었다. 따라서 앞으로 이러한 연구 시도는 크게 주목받게 되리라고 생각 된다.^[4,5]

2. 운동미케니즘의 최적화와 운동계적과의 관계

저자의 캠설계 연구에서 발표되었듯이^[4], 캠프로파일(기구설계변수)의 최적화(최고의 운동계적 창출)로 인한 설계목적함수(동적하중 및 변동률에 기인한 밸브이탈 현상방지, valve toss)를 20%이상 향상시켰고, 기어시스템의 소음에 직접적 요소인 최대 동하중 변동률은 60%이상 안정시킨 결과가 발표되었다.^[5]

지금까지의 연구결과에서 시도된 운동미케니즘의 최적화를 세탁구동시스템의 설계, 특히 고속인 경우 관성효과의 극적 증가로 인하여 구동미케니즘의 최적화 결과는 매우 효과적일 것이다.

그러므로 본 연구는 고속세탁시스템의 구동 미케니즘을 설계변수인 교반각과 요동 구동축(세탁축)의 각속도 다양화를 통하여 구동 미케니즘 효율성 증대를 시도하였다.

본 이론을 검증하기 위하여 잔산 시뮬레이션과 설

계 시제품(목업)을 제작하여 그결과를 상호 비교하였다.

3. 구동방식

크랭크-슬라이더 구동방식 세탁시스템 중 특허가 청구된 월풀사의 시스템의 요동기구는 기구가 간단하며 토크전달이 확실한 장점을 가지고 있다. 세탁시에는 구동기어의 방향이 시계방향으로 회전하여 풀의 클러치가 끊어져서 탈수튜브쪽으로는 구동이 전달되지 않는다. 이때 편심자가 크랭크 역할을 하며 회전을 하게 되며 이와 연결된 랙이 피니언을 요동시켜 세탁축의 교반운동을 일으킨다.

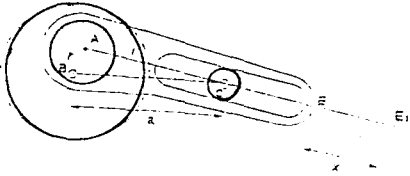


Figure 1. Mechanism of Crank-Slider

세탁시는 구동기어의 회전이 반시계방향으로 바뀌게 된다. 따라서 세탁축의 동력은 조 클러치를 분리시켜 단락이 된다. 구동력은 풀 클러치를 따라 스피너기어에 전달되어 탈수 튜브를 회전시켜 탈수모드를 형성시킨다.

3.1 크랭크-슬라이더의 운동해석

크랭크-슬라이더의 속도와 가속도 특성을 해석하기 위해 Fig. 1 과 같이 모델링 하였다. 그림으로부터 BC = a, AB=r, AE = l, ABC = θ 라 하면,

$$\begin{aligned} x &= AE_1 - AE = AE_1 - l = AC + CE_1 - l \\ &= AC + (r + l - a) - l = AC - (a - r) \quad (1) \end{aligned}$$

그러므로 크랭크의 변위는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$x = \sqrt{r^2 + a^2 - 2arcos\theta} - (a - r) \quad (2)$$

식 (2)를 미분하여 속도와 가속도를 식 (3)과 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$\dot{x} = \frac{dx}{dt} = \omega \cdot \frac{arsin\theta}{\sqrt{r^2 + a^2 - 2arcos\theta}} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= \frac{dv}{dt} = \alpha \cdot \frac{arsin\theta}{\sqrt{r^2 + a^2 - 2arcos\theta}} \\ &+ \omega^2 \cdot \left\{ \frac{arcos\theta}{\sqrt{r^2 + a^2 - 2arcos\theta}} - \frac{a^2 r^2 \sin^2 \theta}{(r^2 + a^2 - 2arcos\theta)^{3/2}} \right\} \quad (4) \end{aligned}$$

식 (4)에서 크랭크의 가속도가 일정하다고 가정하면 $\alpha=0$ 이므로 식은 첫째 항은 없어지고 둘째 항만 남는다.

3.2 각속도 및 각가속도의 유도

속도비를 계산하면 입력축과 출력축의 각속도 관계식은 다음과 같다.

$$\omega_{in} = \frac{1}{r_{in}} \cdot \frac{N_{out}}{N_{in}} \cdot \frac{arsin\theta}{\sqrt{r^2 + a^2 - 2arcos\theta}} \cdot \omega_{out} \quad (5)$$

가속도비를 계산하면 입력축과 출력축의 각가속도 관계식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \alpha_{in} &= \frac{1}{r_{in}} \left[\frac{N_{out}}{N_{in}} \frac{arsin\theta}{\sqrt{r^2 + a^2 - 2arcos\theta}} \cdot \alpha_{out} \right. \\ &+ \left. \left(\frac{N_{out}}{N_{in}} \right)^2 \cdot \left\{ \frac{arcos\theta}{\sqrt{r^2 + a^2 - 2arcos\theta}} - \frac{a^2 r^2 \sin^2 \theta}{\sqrt{(r^2 + a^2 - 2arcos\theta)^{3/2}}} \right\} \cdot \omega_{out}^2 \right] \quad (6) \end{aligned}$$

3.3 각속도 및 각가속도 특성

기존의 세탁기에 대한 실측에 의해 다음의 데이터를 구하였다.

$N_{out} = 5$
 $N_{in} = 49$
 $a = 81.63 \text{ mm}$
 $r = 14.15 \text{ mm}$
 $r_{in} = 17.33 \text{ mm}$
 $\omega_{out} = 1600 \text{ rpm}$

위의 값들을 위에서 구한 각속도 및 각가속도 관계식에 대입한 결과

$$\text{Agitator의 교반각} = \frac{\chi_{max} - \chi_{min}}{r_{in}} = 93.56 \text{ deg}$$

이며, 각속도 및 각가속도 특성으로는, 최대 각속도가 약 130 rpm으로 나타났으며 최대 각가속도는 281 rad/s^2 으로 나타났다.

4. 고속 세탁 시스템의 설계 최적화과정준비

본 연구에서 제시하는 세탁 시스템에 대해서 구체적인 설계작업을 수행하면서 전체 세탁 시스템을 구성하는 구동설계를 하기 위해 기구학적인 속도 설계와 함께 주어진 하중 조건을 만족하는 요소 설계를 하였다.

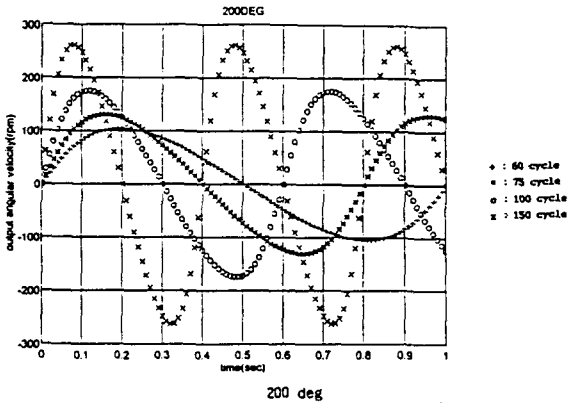


Figure 2. Comparison of Angular Velocity

4.1 실험 모델

월플사의 크랭크슬라이더 방식을 구동설계를 위한 실험모델로 선정하였다. 그러므로 실제생산되어진 세탁기를 이용하여 구동메카니즘의 해석을 위한 자료를 실측할 수 있게 되었다.

4.2 설계조건

선택된 고속세탁 시스템의 설계조건으로는 다음과 같다.

- 모터의 최대속도 = 1800 rpm
- 탈수시 급정지 시간 = 10 초 이내 (8 ~ 9 초)
- 동기모터 : 흡입력 = 6 kgf, 유지력 = 14 kgf

4.3 치수 설계

제안모델은 이론적 해석과 전산시뮬레이션 그리고 목업실험의 준비 및 용이성을 위하여 앞에서 주어진 설계조건에서와 같이 네가지의 세탁축 왕행속도와 세가지의 요동각을 갖도록 설계한다. 세탁축 왕행속도는 워 기어의 감속비를 조정하여 변경이 가능하게 하고, 요동각은 크랭크의 피봇위치를 조정하여 변경이 가능하게 한다. 이를 위해 다음과 같이 각 조건에 대하여 기계 요소의 치수를 다음과 같이 결정하였다. 워 기어의 감속비는 다음과 같다.

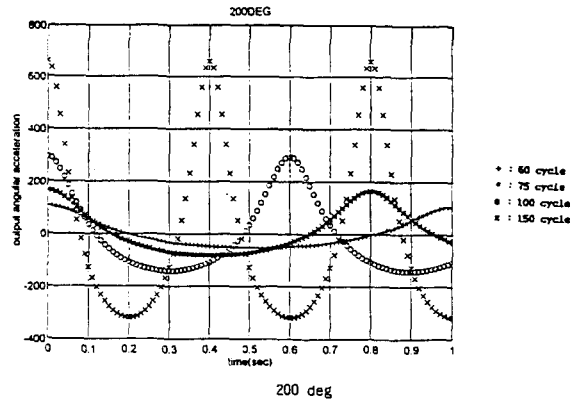


Figure 3. Comparison of Angular Acceleration

크랭크의 치수설계는 앞절에서 해석한 것을 바탕으로 세탁축의 요동각이 100 도, 200 도, 300 도가 가능하도록 하였다. 식 2에서 크랭크의 변위는 크랭크의 피봇위치와 축간 거리에 의해 결정된다. 축간 거리의 변경은 새로운 시스템을 다시 제작하는 것과 같으므로, 피봇위치를 변경하여 요동각을 조정하였

다.

$$\text{감속비} : N = \frac{N_{in}}{N_{out}} = (30, 24, 18, 12)$$

$$\text{축간거리} : a = 110 \text{ mm}$$

$$\text{피봇 위치} : r = 29.2, 38.8, 41.2(\text{mm})$$

제안모델의 각속도와 각가속도를 교반각이 100, 200, 300 도의 세가지 모델에 대하여 세탁축 왕행 속도는 1 분에 60, 75, 100, 150 회전의 네가지 모델, 즉 총 12가지 모델에 대하여 계산을 하였다(Fig. 2,3).

4.4 ADAMS를 이용한 설계 검증

실험모델의 기구학적 타당성의 검증과 하우징 설계를 위해 범용 다물체 동역학 프로그램인 ADAMS를 이용하여 기구학 해석을 수행하였다.

이 모델은 전체 시스템에 대하여 기계적인 조인트 요소와 강체 요소 등을 이용하여 모델링한 것이다. 세탁시의 기구학 해석을 위하여 Animation을 하고 있는 모습과 기어 시스템을 수용하기 위한 하우징의 최소 공간을 구하기 위한 크랭크 끝점의 궤적 등의 기구학적 특성을 볼 수 있다.

5. 고속 세탁시스템 구동최적화를 위한 목업 제작 및 성능 실험

각 요소들의 이론해석을 통한 통합 설계한 자료를 토대로 본 연구에서 제시한 시스템의 목업을 제작하였다. 설계한바와 같이 입력축에서의 각속도 비가 1/12, 1/18, 1/24, 1/30의 네가지가 되게 기어세트를 조립가능하게 4세트를 제작하였다. 또한 교반각을 100도, 200도, 300도의 세가지가 되게 크랭크의 편심량을 세가지가 되게 하였다.

제작된 목업은 시작품이므로 하우징을 제작의 편의성을 고려하여 사각형태로 만들었다. 목업의 구조는 크랭크-슬라이더 요동기구와 탈수축 클러치, 세탁축 클러치 튜브 브레이크 등으로 이루어져 있다.

목업의 교반각과 회전각속도가 설계시 계산했던 값과 일치하는가를 알아보기 위해 변위 및 각속도 측정실험을 실시하였다. 각변위와 각속도를 같이 측정하기 위해 엔코더를 사용하였다. 엔코더의 사양은 500(pulse/cycle) 이다. 엔코더에서 측정된 펄스는 A/D 컨버터를 거쳐서 P/C에 기록하였다. 펄스의 개수는 각변위를 나타내며 샘플링 시간당 펄스의 개수는 각

속도를 나타낸다.

여러 세트중 교반각 300도 왕행속도 75 cycle/min 과 교반각 300도 왕행속도 150 cycle/min에 대해서 실험을 하였다. 교반각 300도 왕행속도 75 cycle/min에 대한 각속도와 교반각을 교반각이 150도에서 -150도까지 변하는 것을 볼 때 교반각 300도를 만족하는 것을 알 수있다. 교반각이 150도에서 -150도까지 변하는 것을 볼 때 교반각 300도를 만족하는 것을 알 수있다. 교반각 300도 왕행속도 75 cycle/min에 대한 각속도 실험 결과와 시뮬레이션 결과를 비교하였고 교반각 300도 왕행속도 150 cycle/min에 대한 각속도 실험 결과와 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 설계시 예측했던 각속도가 목업에서도 구현이 됨을 검증하였다(Fig. 4).

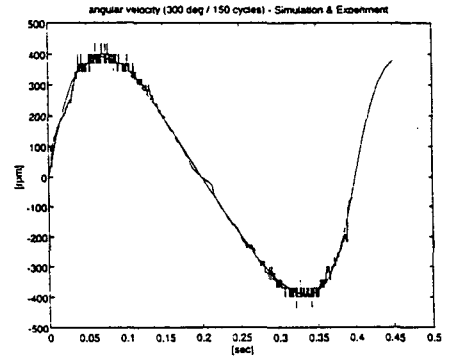


Figure 4. Comparison of Experimental and Simulation Result for Oscillation in 300 degree and 150 cycle

6. 결론

본 연구에서는 신개념 세탁 시스템의 개발을 목적으로 초기 설계 단계에서 시스템이 수행해야 할 기능을 개념화하는 개념 설계와 메카니즘 설계를 수행한 후 구체적인 기구학 설계와 요소 설계를 수행하였다. 이러한 설계를 통해 전체 세탁 시스템을 구성하고 실제로 목업을 제작하여 설계의 구현성을 확인하였으며 목업의 기능성과 문제점 등을 고찰하여 최적 세탁 시스템 개발 가능성을 확인하였다.

본 연구의 주요 연구 결론은 다음과 같다.

- (1). 본 연구의 연구 과정 중 고려한 세탁 시스템

으로는 가장 일반적이며 널리쓰이는 크랭크-슬라이더 구동방식 세탁시스템을 채택하였다. 본 시스템의 적용 가능성과 효용성을 검토하기 위해 구동 방식과 기구학적인 분석을 수행하였다. 그 결과로 운전속도(rpm)과 교반각에 따라 2 ~ 4배까지의 각가속도 변동(기구 메커니즘 동적거동해석시 핵심 요소)이 나타났으며 교반위치 및 속도전환 정도도 각속도 급등에 매우 민감한 것으로 관측되었다. 이는 특정 주기 또는 일정주기 구간에서 동적 불안전을 해결할 수 있는 가능성을 제시 한다.

(2) 세탁 시스템은 개개의 기계요소가 아닌 기계요소들의 메카니즘에 대한 특허가 청구되어 있기 때문에 새로운 메카니즘을 개발하기 위해서는 전체 세탁 시스템에 대하여 기능을 만족하는 기계요소의 전체적인 개념 설계문제 라는 여러문제점들이 있다. 반면에 최적화는 이와같은 어려움 없이 제품의 기계적 효율(세탁력, 저진동 및 저소음)이나 경제성 등을 향상시킬수 있다.

(3) 크랭크-슬라이더 요동 기구를 사용한 구동 시스템을 실제로 구현하기 위해 원하는 교반각과 각속도, 각가속도 등 기구적인 설계와 세탁과 탈수시의 하중을 고려하는 기계요소 설계 작업을 수행하였다. 제작전 설계의 타당성과 하우징 설계를 위하여 다물체 동역학 해석 프로그램인 ADAMS를 이용해서 전체 메카니즘을 모델링하여 모의 실험을 수행하여 앞으로 계획된 최적화된 통합구동설계 과정을 준비하였다.

(4) 설계한 자료를 토대로 본 연구에서 제시한 세탁 시스템의 목업을 제작하였고, 실험 결과 설계시 고려했던 교반각과 왕행속도가 구현됨을 확인하였다. 본 연구에서 제작한 시스템의 세탁력 실험을 위해, 실링부와 탈수축과 세탁축 등 일부 부품들은 현재 시판중인 세탁기와 같은 치수로 설계하였지만 현 시스템은 Pulsator형으로서 Agitator방식에서 구동되는 하중을 수용할 수 없는 점과 제작된 목업의 과도한 자중으로 인해 현시스템의 현가계와 상용할 수 없는 문제점이 있어 이에 대한 보완은 앞으로의 통합설계과정을 위해 선결되어야 할 것이다. 그러나 본 연구에서 제작한 목업은 기구학적인 성능을 충분히 만족한다는 점과 시작품으로 실제 제작이 되었고 그 기능 또한 이론 설계 및 전산 모의 실험과 충분히 일치된 기능을 보여줌으로써 앞으로 통합설계 과정을 실현하는데 크게 신뢰성을 갖게 하였다.

(5) 본 연구로 통하여 고속세탁시스템의 구동메커니즘 설계시 설계목적합수가 되는 세탁력 증대 또는 저진동 및 저소음 등을 설계변수(교반각, 각속도)들을 이용하여 광범위한 최적설계를 수행할 수 있게 되었으며, 전산 모의 예비실험을 통한 시제품 제작 실험까지의 통합설계과정을 완전하게 구축하게 되었다.

(6) 설계 목적 함수에 대한 신뢰성있는 정성적 또는 정량적 판단 기준등은 생산 현장 또는 제품 평가 기관에서의 확인되어야 할 과제들로서 앞으로 구동 메커니즘 최적화 설계의 매우 중요한 과제로 인식되었고 이를 위한 산학 협동이 요망되는 바이다.

참고문헌

1. Artobolevsky, I, "Mechanisms in Modern Engineering Design"
2. Chironis, Nicholas P., "Mechanism & Mechanical Devices Sourcebook", McGraw-Hill, Inc.
3. Whirlpool Corp., "Automatic Washer Spin Delay Mechanism", U.S. Patent No. 4,218,899.
4. K.Y.Yoon and S.S.Rao, "Cam Motion Synthesis Using Cubic Splines", ASME, Journal of Mechanical Design, Vol.115, No. 3,1993
5. K.Y.Yoon and S.S.Rao, "Dynamic Load Analysis Spar Gears Using a New Tooth Profile", ASME, Journal of Mechanical Design, Vol.118,1996