

드럼세탁기 구동시스템 시뮬레이션을 위한 부하 모델링

이정효, 이병국, 원충연
성균관대학교

Load modeling for the drum washing machine system simulation

Jung-Hyo Lee, Byoung-Kuk Lee, Chung-Yuen Won
SungKyunKwan University

ABSTRACT

In motor driving, one of the most important consideration is the load characteristic and variation. Generally, the motor dirve should be made enough for the current by load variation, and it should be controlled by the load weight. However, the drum washing machine's load variation is irregular and large. Therefore, we want to make the motor drive that considering this load pattern, this paper describes the drum washing machine's load pattern modeling by the mathematical theory.

1. 서 론

드럼 세탁기 시스템의 시뮬레이션은 세탁 부하의 불규칙성과 비선형성 때문에 어려운 점이 있다. 세탁 부하는 주로 세탁 부하의 무게에 의해 결정된다. 하지만 단순히 무게의 증가와 비례하여 세탁 부하가 결정되지는 않는다. 세탁 부하는 크기뿐만 아니라 주기를 가지고 있다. 게다가 세탁 모드, 행굼 모드, 탈수 모드 등 각각의 세탁 방식에 따라 다른 부하 패턴을 가지고 있다.

기존의 세탁기 시스템의 시뮬레이션은 부하토크를 단순히 실효치나 최대값으로 설정하여 시뮬레이션 하였다. 이러한 시뮬레이션은 구동 드라이브를 설계하는데 있어서 최적의 설계점을 제공하지 못한다. 또한 부하 토크에 따라 변하는 전류의 최대치에 대한 정보를 제공하지 못하므로 회로 설계 낭비, 혹은 과전류의 위험이 있게 된다. 이러한 문제점을 실제로 실험하기 위해서는 비용의 문제를 비롯한 여러 가지 문제점이 발생한다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문은 세탁모드 시드럼 세탁기의 회전에 따라 부하에 작용하는 힘을 분석하고, 모터에 걸리는 부하 토크를 계산하여 정확한 세탁 부하의 토크를 모델링 하고자 한다.

2. 세탁부하의 원리

세탁 부하는 세탁 방식에 따라 다음과 같이 세 가지 모드로 나눌 수 있다.

1. 세탁 모드
2. 행굼 모드
3. 탈수 모드

각각의 모드는 세탁물의 상태와 처리에 따라 분류된다. 그러므로 각각의 모드는 각기 다른 부하 토크를 갖게 된다.

2.1 세탁 모드

세탁 모드는 세탁물을 세척하는 모드로써 회전 드럼이 약 45rpm 으로 회전한다. 세탁기의 세탁모드 수행방법은 다음과 같다.^[1] 먼저 물을 급수한다. 이 때 급수량은 세탁조 내에 최소 수위의 물이 투입된다. 그 후 세탁기의 모터를 구동시켜 소정 회전속도에 도달하기까지의 가속시간을 측정한다. 이 가속 시간으로부터 세탁물의 양을 계산하게 된다. 계산된 세탁물의 양에 따라 세탁물의 세탁방법을 선택하는 단계로 진행된다.

여기서 중요한 점은 세탁 모드를 진행하는데 있어 물이 최소 수위로 결정된다는 것이다. 그러므로 세탁 모드의 부하 패턴에서 물의 영향은 다른 모드에 비해 적은 편이다.

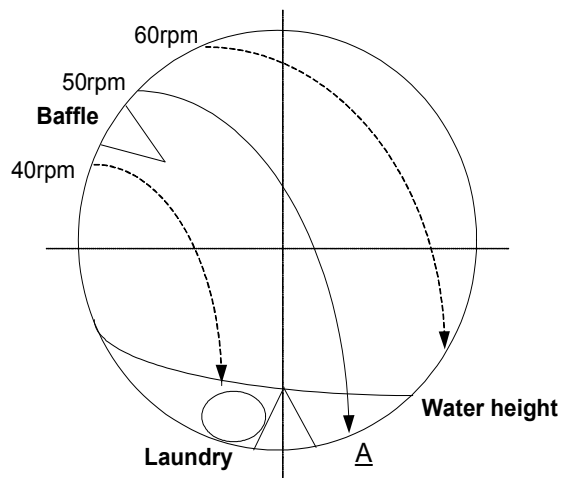


그림 1. 세탁모드 일정속도에서 부하의 낙하 궤적
Fig 1. Falling motion traces at the fixed velocity in washing mode

그림 1은 세탁모드에서의 세탁물의 낙하 궤적이다. 드럼 내부의 부하는 세탁날개(Baffle)에 의해 들어 올려지고, 중력에 의한 자유 낙하 운동 후 드럼 벽면에 충돌한다.(A점) 이 때 낙하 운동의 궤적은 속도에 따라 결정된다.

2.2 행굼 모드

행굼모드는 세탁물에 침투한 세액과 세제를 제거하는 모드이다. 행굼모드의 속도는 세탁모드와 비슷하지만 세탁모드와 다르게 세탁조의 급수량은 최대가 된다. 이 때문에 발생하는 물의 증량은 세탁모드와 다른 부하 패턴을 만들게 된다. 세탁모드에 비해서 물의 양이 많기 때문에 전체 크기는 증가하지만, 물의 부하 변동은 적기 때문에 변동 폭은 작다.

또한 세탁물 자체의 중량도 물의 양이 많아져 증가하기 때문에 세탁 모드와 비교해서 낮은 위치에서 낙하가 시작된다. 그러므로 세탁물이 물속에 있는 시간이 세탁모드에 비해 길어진다.

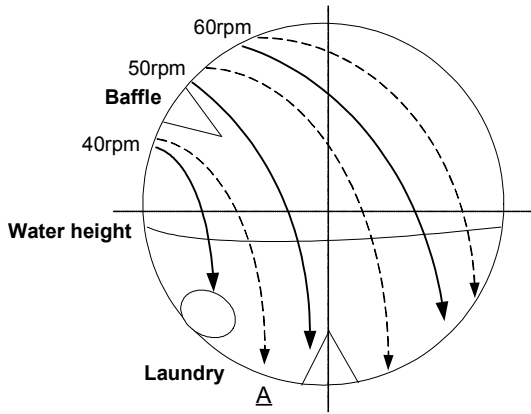


그림 2 행굼모드 일정속도에서 부하의 낙하 궤적
Fig 2 Falling motion traces at the fixed velocity in rinse mode

그림 2에서 점선은 세탁 모드에서의 낙하 궤적이고 실선은 행굼 모드에서의 낙하 궤적이다. 행굼 모드의 낙하 궤적은 부하의 무게 때문에 낙하 시점이 세탁 모드 보다 빠르다.

2.3 탈수 모드

탈수 모드는 세탁 모드나 행굼 모드와 달리 약 1200rpm 정도의 고속 운동을 한다. 이 때, 세탁물은 세탁조에 붙어서 회전하며 원심력에 의해 세탁물의 물을 제거하게 한다.

세탁 모드와 행굼 모드는 세탁물 내에 있는 때나, 세제를 제거해야 한다. 때문에 이러한 모드에서는 비교적 저속의 높은 토크를 필요로 한다. 하지만 탈수 모드는 세탁물 내에 있는 물을 제거하기 때문에 높은 토크는 필요치 않는다. 그림 3은 탈수 모드에서 필요한 토크와 속도, 그리고 세탁 모드에서 필요한 토크와 속도를 표현하였다.

한편 탈수 모드는 부하에 주로 작용하는 힘이 원심력이다. 이 때문에 탈수 모드에서는 전동기 중심인 축에 부하가 주로 분포하게 되고 따라서 세탁물의 무게에 의해 중심이 흔들리는 편심이 발생하게 된다. 편심에 의한 부하 토크는 근사적으로 정현적인 특징을 띄지만 그 외에 드럼의 마찰력 등 여러 가지

힘이 작용하기 때문에, 시뮬레이션과 실제와 차이가 크다.

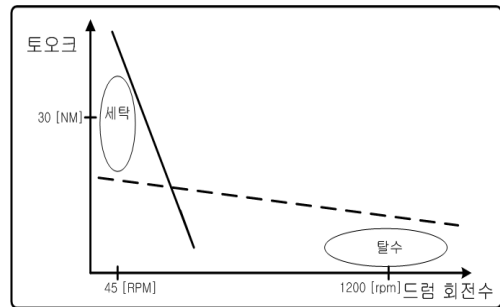


그림 3. 드럼 세탁기의 부하특성
Fig 3. Load characteristics of washing machine

2.4 세탁 부하의 동역학적 특성

세탁 부하의 동역학적 특성은 낙하운동의 관점에서 하게 된다. 드럼 세탁기의 정속회전 시 세탁물은 드럼 내부의 세탁 날개(Baffle)에 의해 들어 올려 진다. 이 때 세탁물에 작용하는 힘은 크게 원심력과 중력으로 구분되며, 중력은 다시 원심력의 반대방향 성분과 회전방향의 접선성분으로 나누어진다.

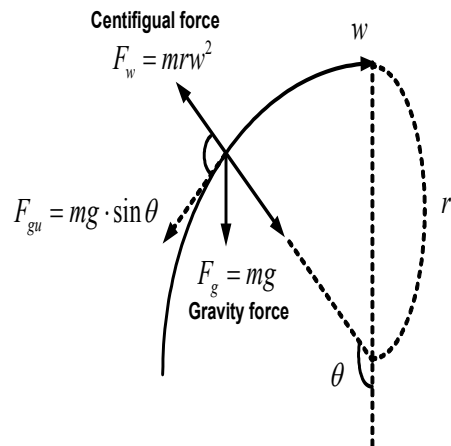


그림 4 정속회전시 세탁물에 작용하는 힘
Fig 4 Forces of the laundry at the fixed velocity

이러한 힘의 역학 관계에서 낙하 운동이 일어날 조건은 다음과 같다.

$$F_w + \Delta f = F_{gw} \quad (1)$$

여기서 F_w 는 원심력, F_{gw} 는 중력의 원심력 반대 방향의 힘, Δf 는 세탁날개의 마찰력을 나타낸다.

낙하 시작 시점은 식 (1)에서 표현한 것과 같이 원심력과 세탁날개의 마찰력이 중력의 원심력 반대 방향의 힘과 같아질 때이다. 여기서 세탁날개의 마찰력은 그 크기가 중력과 원심력에 비교하여 작기 때문에 무시하고 드럼의 반지름을 고려한 회전 속도별 낙하 시작 각도를 근사적으로 계산하면 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$mr\omega^2 = mg \cos\theta \quad (2)$$

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{r\omega^2}{g}\right) \quad (3)$$

$$t = \frac{r\theta}{\omega} \quad (4)$$

즉, 낙하 시작 시점은 회전 속도에 따라 변화한다. 한편 행굼 모드에서는 원심력의 접선 방향의 힘, 즉 중력이 세져서 원심력 크기에 의한 마찰력이 감소된다. 이는 (1)의 수식에서 세탁 모드의 낙하 시작 시점보다 행굼 모드에서의 낙하 시작 시점이 약간 빠르게 되는 원인이 된다.

3. 시뮬레이션

본 논문에서는 세탁 시 가장 오랜 시간동안 구동되고, 쉽게 행굼 모드로 확장이 가능한 세탁 모드에서의 부하 패턴에 대해 시뮬레이션 하였다.

표 1은 시뮬레이션에서 사용된 파라미터 이고, 그림 5는 이러한 부하를 Matlab/Simulink로 시뮬레이션 한 블록도이다.

표 1 시뮬레이션에서 사용된 세탁기 파라미터

Table 1 Parameter of the washing machine system in the simulation

세탁물의 중량	4 [N·m]
물의 중량	2 [N·m]
세탁기의 속도	45 [rpm]
드럼의 반지름	33 [cm]
드럼의 중량	2 [N·m]

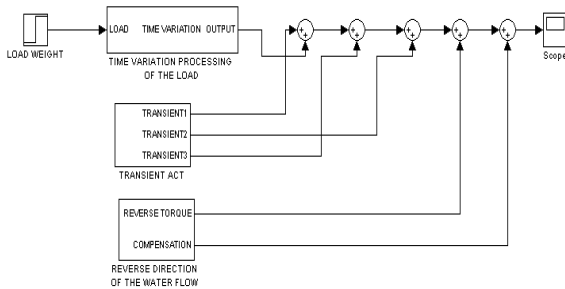


그림 5 드럼세탁기 시뮬레이션 블록도

일정한 세탁물의 중량은 드럼의 반지름과 세탁기의 속도에 따라 주기를 갖는 구형파로써 표현된다. (그림 6) 세탁 모드에서 드럼 세탁기는 정역 회전을 한다. 따라서 초기 부하 토크의 상태는 관성과 반대되는 크기의 토크를 출력하여야 하며 이는 과도 상태로 표현된다. (그림 7) 또한 초기 상태에서 물의 회전은 순간적으로 변하지 않기 때문에 부하 토크와 반대 방향의 토크를 발생한다. (그림 8) 다음 그림들은 이러한 부하토크의 패턴을 시뮬레이션 한 결과 파형들이다.

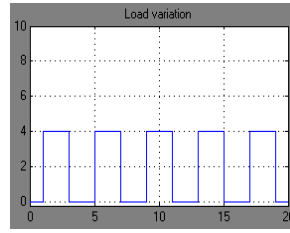


그림 6 세탁기 부하 변동
Fig 6 Load variation of washing machine

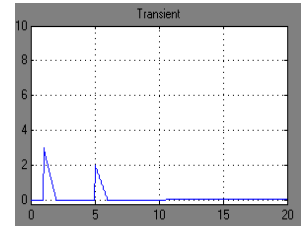


그림 7 초기 과도 상태
Fig 7 Initial transient state

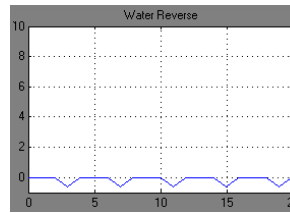


그림 8 물에 의한 역방향 토크
Fig 8 Reverse torque by water flow

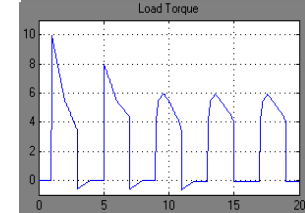


그림 9 세탁기 부하 모델링
Fig 9 Load modeling of the washing machine

4. 결론

전동기 구동에 있어서 가장 중요한 것 중 하나는 부하의 특성의 변화이다. 일반적으로 부하의 변동에 따라 전류의 크기가 변화하기 때문에 그 변동의 크기에 따라 적절히 제어해야 할 필요가 있으며, 부하에 필요한 전류량에 맞는 드라이브를 설계해야만 한다. 하지만 드럼 세탁기의 부하 변동의 경우 변동의 크기가 불규칙하며 그 차이가 크다. 이러한 부하 패턴을 고려하여 드럼 세탁기의 구동 드라이브를 설계하기 위해 본 논문은 세탁기 부하의 변동을 수학적 원리로써 계산하여 모델링 하였다.

참고 문헌

- [1] Wang C. . He Z. . Guo J. , "The application of a novel motor in washing machines", Electrical Machines and Systems, 2001. ICEMS 2001. Proceedings of the Fifth International Conference, vol 2, Page 1030 – 1033, Aug. 2001.
- [2] 손 권, "드럼 세탁기의 세탁 정속 및 탈수 편심제어 알고리즘", 부산대학교 대학원 지능기계시스템전공 공학석사 학위 논문, 2002년 2월.
- [3] Harmer K. , Mellor P.H. , Howe D. , "An energy efficient brushless drive system for a domestic washing machine ", Power Electronics and Variable-Speed Drives, Fifth International Conference, Page 514 – 519 Oct 1994.