

진동저감을 위한 드럼세탁기 현가시스템의 다분야통합최적설계 Multidisciplinary Design Optimization of Suspension System for Vibration Reduction of Drum Type Washer

이태희*·현상학**·유홍희***·최동훈***·전시문****·김동원****·김영호****

T. H. Lee, S.H. Hyun, H.H. You, D.-H. Choi, S.M. Jeon, D.W. Kim, Y.H. Kim

Key Words : Multidisciplinary Design Optimization (다분야통합최적설계), Vibration Reduction Design (진동저감설계), Design of Suspension System (현가시스템 설계), Drum Type Washer (드럼세탁기).

ABSTRACT

Multidisciplinary design optimization technique is applied to drum type washer in order to minimize the vibration of the cabinet. Dynamic analysis and structural analysis are carried out by using commercial programs to obtain the reliable responses. Analysis models are compared to the experimental responses and finally validated for further design. Two commercial programs are integrated by the design framework EMDIOS that provides interfaces to conveniently link between analyzers and performs design optimization. In this research we could obtain an optimum design that reduces the magnitude of amplitude by about 33% compared with the original design.

1. 서론

최근에 생활수준의 향상과 더불어 쾌적한 환경에 대한 요구는 날로 증대되어 가고 있고 그 중에서도 생활에 밀접한 가전제품에서는 저진동, 저소음에 대한 요구도 강해지고 있다. 특히 세탁기는 다른 가전 제품에 비해서 사용 빈도도 높고 진동 및 소음 레벨이 상대적으로 크기 때문에 이에 대한 저감이 절실히 요구되고 있다.

세탁기의 종류는 회전하는 축의 방향이 지면에 수직인 펄세이터식 (pulsator type) 세탁기 및 애지테이터식 (agitator type) 세탁기와 회전축의 방향이 지면에 수평인 드럼식 (drum type) 세탁기로 구분된다. 국내 가전 회사에서는 펄세이터식 (pulsator type)과 애지테이터식 (agitator type) 세탁기를 주로 생산하여 왔지만 드럼식 (drum type) 세탁기가 물을 적게 사용하고 삶는 세탁이 가능하며, 건조 기능을 가지고 있어 공간을 절약할 수 있고 빨래의 마모가 적은 특징을 가지고 있기 때문에 최근에 드럼식 (drum type) 세탁기를 많이 생산하고 있다.

세탁기의 진동은 세탁, 탈수기능에서 모두 발생될 수 있는데, 특히 탈수시 발생하는 진동은 세탁포의 분포상태에 따라 편심질량으로 작용한다. 이 편심질량의 크기에 따라서 세탁기의 진동은 민감한 응답을 나타내며 발생된 진동을

저감시키기 위해서 진동계를 개선할 수 있는 설계가 요구된다. 탈수시 원심력의 불균형으로 인해 발생된 진동은 현가시스템 (suspension system)의 스프링과 댐퍼를 통하여 세탁기 몸체에 전달되고, 전달된 몸체진동은 세탁기 다리 (leg)를 통하여 바닥에 전달된다. 이와 같은 세탁기의 진동 특성은 매우 복잡하고 경계조건이 다양하기 때문에 해석이 쉽지 않다. 특히 드럼식 세탁기에서 탈수시에 발생하는 소음 진동이 심하기 때문에 더욱 문제가 되고 있다.

세탁기의 진동저감 설계를 위하여 다양한 분야의 통합 및 이의 최적화가 요구된다. 이를 위하여 본 연구에서는 다분야통합최적설계 기술을 적용하였다. 다분야통합최적설계 (Multi-disciplinary Design Optimization: MDO) 기술이란 여러 분야의 공학적 원리들, 예를 들어, 구조해석, 동역학, 열·유체 유동해석, 제어, 전자기장해석 등을 동시에 고려하여 체계적이고 유기적인 방법으로 최적의 설계결과를 도출하는 설계자동화기술이다. 이 MDO 기술은 최근 컴퓨팅기술의 발전과 새로운 최적화기술의 발달에 힘입어 선진국을 중심으로 연구가 진행되고 있으며, 산업제품 설계에의 적용 시 달성할 수 있는 제품의 성능향상, 개발기간의 획기적인 단축, 제품의 원가절감 효과 때문에 미국, 유럽 등 선진국 산업체에서도 그 연구가 활발히 진행 중에 있는 신기술이다

구동부, 현가시스템, 캐비닛, 다리로 구성된 세탁기 시스템 중 구동부, 현가시스템, 캐비닛의 모델링 및 동적 해석 기술을 동역학 해석 프로그램인 DADS 와 구조해석 프로그램인 ANSYS 를 이용하여 정립한 후, 구동부의 회전에 의해 발생하는 세탁통(tub)과 캐비닛의 최대 변위들에 대한 제한조건들을 만족하며 정상상태

* 한양대학교 기계공학부/최적설계신기술연구센터
E-mail : thlee@hanyang.ac.kr
Tel : (02) 2290-0449, Fax : (02) 2298-4634

** 한양대학교 최적설계신기술연구센터

*** 한양대학교 기계공학부/최적설계신기술연구센터

**** ㈜ LG 전자 DA 연구소

캐비닛 진동을 최소화할 수 있는 드럼 세탁기의 현가시스템의 특성 및 장착위치, 그리고 캐비닛의 형상을 결정하는 다분야통합최적설계를 수행하였다. 다분야해석은 상용 프로그램을 사용하였으며, 다분야해석의 통합 및 최적화는 최적설계기술 연구센터에서 개발한 EMDIOS 를 사용하여 수행하였다.

2. 다분야통합해석

2.1 동역학해석

드럼세탁기 현가시스템의 동역학 해석을 위하여 DADS 를 이용한 동적 모델링 및 해석, 실험 결과와의 비교를 통한 모델 튜닝, 해석을 통한 Cabinet 전달력과 현가시스템 특성 분석, 최적설계 프로그램과의 인터페이스 등의 연구가 수행된다.⁽¹⁾ 완성된 DADS 모델링은 간단하면서도 현가시스템의 동특성을 충분히 표현 하며, 또한 다양한 하중 조건에서도 수치해석이 원활히 수행되는 충분히 안정된 모델링이 되어야 한다. 모델 튜닝은 튜닝용 파라미터로 조인트 결합부의 강성 및 감쇠계수를 선정하고, 실험과 시뮬레이션 결과로서 최대한 일치하도록 파라미터들을 조절하는 방식으로 수행하였다. 최적설계 프로그램과의 인터페이스는 DADS 에서 제공하는 파라메트릭 모델링부분과 과도 해석 및 Post-processing 자동화 부분으로 구성된다. Fig. 1 은 드럼세탁기 동역학 해석에 이용된 모델의 개략도를 나타낸다.

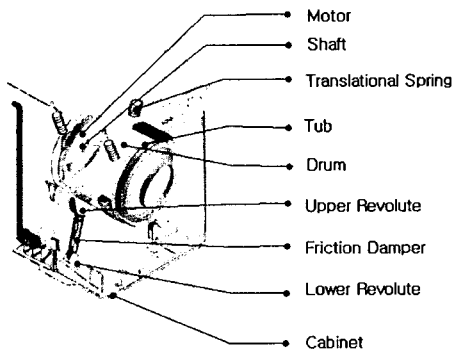


Fig.1 Schematic diagram of drum type washer

세탁기의 Cabinet은 Ground로 모델링 되었고, Tub assembly는 스프링과 Friction damper로 구성된 현가장치에 의해 지지된다. Drum assembly는 Tub assembly와 Revolute joint로

연결되어 상대 회전운동만이 허용된다. Drum assembly가 회전하면, Drum 안의 세탁물에 의해서 편심된 원심력이 발생되며 이는 Tub assembly에 주기적인 외력으로 작용한다. 이 가진력으로 인해 Tub assembly는 진동을 하게 되며, 세탁기 현가시스템이 갖고 있는 고유한 진동 특성과 가진력의 관계에 의해 시스템의 진동의 형태 및 크기가 결정된다.

드럼 세탁기의 진동 특성은 현가시스템을 구성하는 스프링, Friction damper 및 결합부, 그리고 Gasket에 의해 결정되며 이 3 요소들은 각각 Cabinet에 병렬구조로 연결되어 있다. 그런데 스프링 및 Gasket과 관련된 고유진동수들은 그 값이 매우 낮아 정상작동을 하는 세탁기 Drum의 회전운동 주파수나 Cabinet의 고유진동수와 멀리 떨어져서 거의 영향을 주지 못하나 Friction damper 및 그 결합부가 결정하는 고유진동수들은 이들과 상당히 근접해 있어 세탁기의 진동특성에 가장 큰 영향을 미친다. Friction damper 결합부 모델링 못지 않게 현가시스템의 동적 특성에 영향을 미치는 요소로써 스프링과 댐퍼로 모델링 하였다.

본 연구에서 개발된 DADS 모델링은 최적설계를 위해 개발된 모델링이므로, 최적설계 프로그램에서 요구사항에 대한 해를 안정적으로 제공해야 한다. 본 연구에서 이용하는 최적설계 프로그램은 DADS 프로그램과 독립적으로 실행되는 프로그램이다. 따라서 두 프로그램 사이 정보 교환은 File In/Out을 기본으로 하였다. Optimizer는 원하는 설계변수에 대하여 특정 해석 결과값을 DADS program에 요청한다. DADS 프로그램은 이러한 요청에 대해 일련의 동역학 해석 과정을 거쳐 특정 해석 결과값을 파일에 기록하며 이 파일을 최적화 프로그램이 읽어 들여 최적화를 수행하도록 하였다.

2.2 구조해석

캐비닛의 구조해석에서는 모델검증을 위한 모드해석을 수행한 후 tub 회전력에 의한 변위계산을 예측하는 과도해석을 수행한다. 이런 모드해석과 과도해석을 수행할 수 있는 유한요소해석 프로그램은 다양하게 개발되었으나 본 연구에서는 ANSYS를 사용한다. 모든 캐비닛의 형상과 mesh generation은 전용 ANSYS 전용 pre-processor를 사용하지 않고 ANSYS ver 6.0을 사용하여 구현하였다.⁽²⁾

세탁기의 캐비닛모델은 서로 다른 두께와 재질을 가진 여러 개의 부품으로 조합되어 있으며

그 형상도 복잡하기 때문에 각 부품의 형상을 독립적으로 모델링한 후 이 부품을 조립하는 방법을 사용하였다. 부품간에는 연결부위가 확실하게 모델링상에서 정의될 수 없는 경우에는 해석상의 오차를 주지 않는 범위 내에서 적절한 연결법을 선택하였다.

실제 모델과 근접한 응답을 줄 수 있는 신뢰성 있는 세탁기 해석모델을 구축하기 위하여 모달 해석 결과를 실제 실험값과 비교하였다. 본 연구에서는 관심영역인 옆면의 진동모드를 실험값과 3 차까지 일치 시키는 모델을 구축하여 모델의 신뢰성을 확보하였다.⁽³⁾

캐비닛의 진동변위를 예측하기 위한 과도해석은 모드조합법 (mode superposition)을 적용하였다. 이 방법은 구조물의 응답을 모달해석을 통해 얻은 고유벡터를 이용하여 시스템 자유도를 줄여서 해석을 하여 그것들을 합하여 얻는 방법이다. 이 방법은 해석시간을 획기적으로 줄일 수 있으면서 응답을 계산할 때 모드수를 조절함으로써 해의 정확도도 어느 정도로 확보할 수 있다.⁽⁴⁾

다분야통합해석을 위하여 설계변수값이 달라지면 그에 따라서 모델이 자동으로 바뀌어야 한다. 이를 위하여 ANSYS의 APDL을 이용하여 설계변수를 지정하고 모델이 업데이트 되도록 구성하였다.

3. 다분야통합 최적설계

3.1 최적설계문제의 정의

설계요구사항은 다음과 같다.

- (1) 캐비닛의 정상상태에서 진폭을 최소로 한다.
- (2) 정상상태 및 과도상태에서의 tub의 최대변위를 설정값 이하로 유지한다 (4개의 제한조건).
- (3) 캐비닛의 최대변위를 설정값 이하로 유지한다 (3개의 제한조건).

이런 요구사항을 만족하는 설계를 얻기 위하여 설계변수를 선정하였다. 즉, 시스템 관련 설계변수 5 개, 현가시스템 관련 설계변수 4 개, 캐비닛 비드형상 관련 설계변수 5 개 등 총 14 개의 설계변수를 정하여 다분야통합 최적설계를 수행하였다. 다분야통합최적화 문제는 7 개의 설계요구조건들을 제한조건으로 하며 목적함수인 캐비닛의 정상상태 진폭을 최소화하는 14 개의 설계변수 값을 구하는 문제로 정의하였다. 최적화 문제에서 각 분야별 입출력 연성관계는 Fig. 2 와 같이 구성된다.

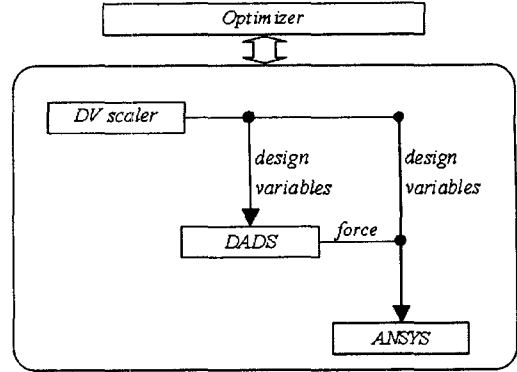


Fig. 2 Flow of design variables among dynamic analysis, structural analysis and optimizer for MDO

3.2 EMDIOS 에 의한 최적설계

최적설계문제의 최적해를 구하기 위하여 최적설계기술연구센터에서 개발한 MDO 프레임워크인 EMDIOS 를 사용하였으며, 그 절차는 Fig. 3 과 같다. 단계 ①에서는 설계변수의 초기값을 EMDIOS 의 입력으로 사용한다. 단계 ②에서는 전달된 설계변수 값들을 이용하여 동역학해석프로그램인 DADS 와 구조해석프로그램인 ANSYS 의 입력파일을 순차적으로 생성하고 단계 ③에서는 생성된 입력파일을 사용하여 DADS 와 ANSYS 를 순차적으로 수행하여 결과파일을 생성하며 단계 ④에서는 결과파일에 저장된 데이터 중에서 최적설계에 필요한 데이터를 추출하는 작업을 수행한다. 단계 ⑤에서는 추출된 데이터를 설계요구사항들과 비교하여 만족여부를 판정한다. 만족하지 않으면 최적화 알고리즘에 의하여 설계변수의 값을 자동으로 변경시키면서 설계요구사항들이 만족될 때까지 단계 ②에서 단계 ⑥까지의 과정을 반복 수행한다.

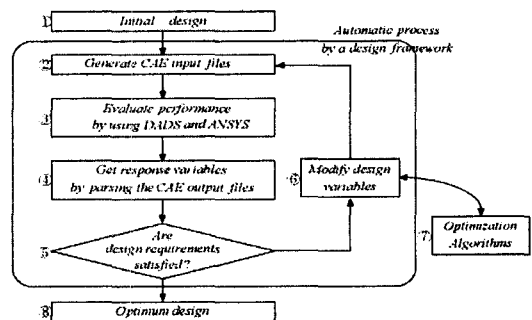


Fig. 3 Overall procedures for MDO of drum type washer

EMDIOS 를 이용하여 다분야통합최적설계를 수행한 결과 7 개의 설계요구조건을 모두 만족하는 최적해를 구할 수 있었으며, 최적설계 이후 캐비닛의 정상상태 진폭은 초기설계와 비교하여 약 33% 감소하였다. 그리고 Fig. 4 에 초기 설계에서의 설계변수 값을 1 로 하였을 때 최적설계치의 상대비율을 나타내었는데, 이 그림에서 볼 수 있는 바와 같이, 14 개의 설계변수의 값들이 적절히 증가하거나 감소함으로써 설정했던 설계요구사항을 모두 충족시킬 수 있었다

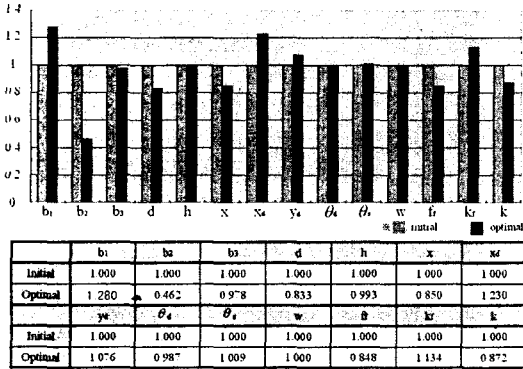


Fig. 4 Optimum design variables compared with the original design

또한, 캐비닛 우측 중앙, 좌측 중앙, 그리고 원형문의 진폭을 초기 설계치를 사용했을 경우와 최적 설계치를 사용하였을 경우에 대하여 비교한 결과를 Fig.5 에 도시하였다. Fig.5 에서 볼 수 있는 바와 같이 최적설계값을 사용했을 경우에 진폭이 크게 감소하였고, 이를 통하여 다분야통합최적설계의 효과를 알 수 있었다.

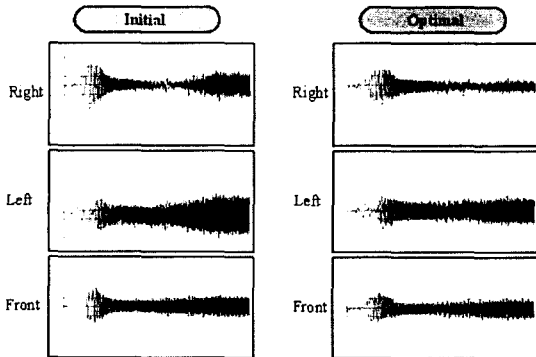


Fig. 5 Comparison of dynamic amplitudes at specified positions of cabinet

4. 결론

구동부, 현가시스템, 캐비닛으로 구성된 드럼 세탁기 시스템의 구동부, 현가시스템, 캐비닛의 모델링 및 동적 해석 기술을 상용 동역학 해석 프로그램과 상용 구조해석 프로그램을 이용하여 수행하였다. 구동부의 회전에 의해 발생하는 세탁통과 캐비닛의 최대 변위들에 대한 제한조건들을 만족하며 정상상태 캐비닛 진동을 최소화할 수 있는 드럼세탁기의 현가시스템의 특성 및 장착위치, 그리고 캐비닛의 형상을 결정하는 최적설계를 수행하였다. 본 연구를 통하여 캐비닛에 전달되는 전달력의 감소와 캐비닛 강성의 증가 설계를 도출하여 캐비닛 진동량이 최소가 되는 최적설계의 값을 다분야통합최적설계 기법을 적용하여 체계적으로 도출 할 수 있었다.

이 결과 드럼세탁기의 캐비닛 진동이 초기에 비하여 33%감소하는 진동저감 최적설계를 얻었다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 지정 최적설계신기술연구센터와 ㈜ LG 전자의 재정지원에 의하여 수행이 되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) Dynamic Analysis and Design Systems User's Guide, 1999, Revision 9.5, LMS CADSI, Inc., Iowa.
- (2) ANSYS User's Guide, Ver. 6.0, ANSYS Inc.
- (3) Prells, U. and Friswell, M.I., 1999, "Application of the Vibration Projection Method for updating Models of Mechanical Systems," Journal of Sound and Vibration, Vol. 225, pp. 307-325.
- (4) Inman, D.J., 1994, Engineering Vibration, Prentice Hall, Inc., New Jersey.