

철도차량의 막판식 공기제동시스템의 해석 및 설계

노진환*(인하대 대학원 기계공학과), 김재도(인하대 기계공학과)

Analysis and Design of Diaphragm-type Air Braking System for Train

J. H. Noh(Mech. Eng. Dept. INHA), J. D. Kim(Mechanical Eng. Dept., INHA)

ABSTRACT

As the railroad train gets a increasingly high speed and distant transportation, a braking device becomes important recently. A diaphragm-type air braking system using compressed air has been producing to solve this problem, but information and technology of this device is lacking. Therefore, this paper shows how to design KRF-3 diaphragm-type air braking system which was based on modeling this device. And the modeling database for the pipe-line of the compressed air which is flowed, is made. When the compressed air flew in this pipe-line, this paper shows how to analyze the air condition each of the parts of the KRF-3 diaphragm-type air braking system with the STAR-CD CFD analysis program.

Key Words : diaphragm-type air braking system(막판식 공기 제동장치), compressed air(압축 공기), CFD(전산 유체역학)

1. 서론

고속 철도의 건설과 더불어 철도차량의 신속하고 정확한 화물수송이 이루어 질 수 있다. 철도차량의 고속화 됨에 따라 제동성능이 중요한 문제로 부각되게 되었다.

현재, 고속화 된 철도기술 선진국에서는 제동성, 신뢰성 및 내구성 등의 특성을 모두 만족시키는 제동장치의 구성과 요소 부품의 적절한 설계 및 정확한 성능 평가 그리고 신속 정확한 보수 유지 등에 대한 기술을 개발하고 있다. 이를 만족하는 제동장치로서 막판식 공기 제동장치가 개발되었는데, 국내 기술은 대부분 제품 생산 기술에 편중되어 있으며 제동 이론 및 설계 변수 추출등에 관한 엔지니어링 기술은 매우 취약한 실정이다. 이에 막판식 제동장치에 대한 체계적이고 다단계적인 연구 계획이 필요하다.

Fig. 1 은 본 연구에 사용된 제동장치로서 ㈜대금산업에서 생산하는 KRF-3 막판식 공기 제동장치를 보여준다. 제동관 압력이 5kg/cm^2 에 적합한 특성을 가지고 있어, 기존 차량과 혼성 편성이 가능하며, 보다 효과적인 제동기능을 수행하기 위하여 기존 운행차량 보다 대폭적으로 영차시 제동 효율

을 증가 시킬 수 있다. 또한 보수를 위한 부품의 교체와 쉽고, 작동상 마모 부품이 없어 본체는 반영구적이며, Rubber Diaphragm 방식을 채택하여 민감한 제동감도를 얻을 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 본 제품에 대한 설계 기술 및 압축공기의 작동 원리에 대한 정확한 정보가 없어, 이에 본 연구는 막판식 제동장치의 원천적 해석 기술 획득 및 설계 DATABASE 기술축적으로 이미 개발되어진 제품의 공학적 합리성과 안전성 및 제품 성능을 이론적으로 뒷받침 해줄 것이다.

본 연구는 제품에 대한 공학적 해석기술 및 설계 DATABASE 구축으로 국내 막판식 제동장치의 제조기술을 한단계 높일 뿐만 아니라 독자적인 제동장치 설계 기술 확보로 인한 대외 경쟁력 강화 및 수입에 따른 막대한 기술료 절감효과와 각종 철도차량, 자동차, 항공기, 선박 등은 물론이고 산업용 브레이크에의 기술 적용이 가능할 것으로 예상된다 또한 소모성인 제동 부품의 막대한 보수 유지비 절감 및 적기 공급 뿐만 아니라 고성능 제동장치 사용에 따른 에너지 절약 효과 제동장치의 고효율 고성능화에 따른 장치의 콤팩트와 및 경량화 달성 등을 기대 할 수 있겠다.

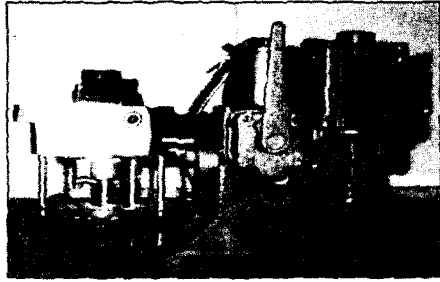


Fig. 1 KRF-3 Diaphragm-type Air braking system

2. 제품의 모델링

2.1 3차원 형상 측정

제품은 있으나 도면이 없는 경우 제품의 형상 데이터를 얻기 위해 외관 곡면 형상을 3차원 측정장비를 통해 설계 데이터를 얻을 수 있다. 이 측정을 통해 점 데이터를 얻게 되고, 점 데이터를 영역 분할과 곡면을 생성하여 표면 데이터의 수치적 변환을 통한 CAD 모델을 생성하게 된다. KRF-3 막판식 공기제동장치의 치수 및 위치 데이터가 없기 때문에 본 연구를 위한 설계 데이터를 얻기 위해 3차원 형상 측정을 하였다. 3차원 형상 측정방법에는 프로브(probe)에 의한 접촉식 방법과 레이저를 이용한 비접촉식 방식이 사용되는데 본 연구에서는 제품의 크고 복잡한 형상이 아니므로 시간과 비용을 절약하고 비교적 정확한 측정값이 나오는 레이저 측정을 하였다.

외관과 부품의 곡면형상을 레이저 곡면 측정기를 사용하여 제동시스템 각각의 부품에서 hole의 위치, 치수, 그리고 형태를 측정하고 응용 소프트웨어를 이용하여 도면화 하는 역설계 작업을 수행하였다. 형상 정보를 얻기 위해 사용된 3차원 레이저 측정 간격은 0.05mm이며 스캐닝 스피드는 500 point/sec 이다. Fig. 2는 비접촉식 레이저 3차원 형상 곡면 측정장치와 측정한 점 데이터를 보여준다.

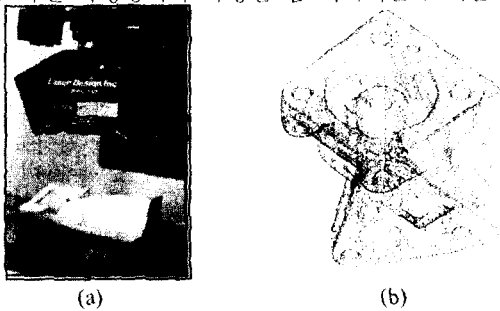


Fig.2 (a) 3D measuring machine of laser
(b) The measured point data of the KRF-3 using the measuring machine

2.2 CAD 모델링

측정을 통해 얻어진 형상 점 데이터를 이용하여 CAD 프로그램을 통해 제동기의 외관과 내부의 모델링 작업을 수행하였으며, 레이저 3차원 측정기를 사용하여 얻지 못한 홀의 깊이나 기타 형상 등은 직접 측정하여 KRF-3 막판식 공기 제동장치를 모델링하였다. 이렇게 구현된 데이터를 공압 해석을 위해 해석에 불필요한 부분을 제거하고, 공기 유동 통로만을 남겨 이 부분을 solid model로 만드는 모델 재생성 작업을 거쳐 최종적으로 해석에 필요한 관로 데이터만을 가지고 해석을 진행하였다.

2.1.1 3차원 모델링

비접촉식 레이저 형상 측정 장비에 의해 얻어진 점 데이터를 기반으로 각각의 면에서 측정된 데이터를 조합하여 3차원 형상 모델을 만든다. 그러나 이 데이터들의 측정 깊이가 길지 않기 때문에 홀 부분의 깊이를 측정하고 기타 안쪽의 측정되지 못한 부분들을 직접 측정하여 모델에 적용을 한다. 이렇게 얻어진 3차원 형상은 단지 외관의 형상만을 구현한 것이므로 측정 데이터를 기반으로 실측을 통해 CAD 프로그램에 의해 3차원의 모델링을 한다. 전체 모델의 3차원 형상 모델링을 하기 위해서는 각 부품별로 데이터를 측정하여 모델링 한 뒤 부품 모델을 결합하여 최종 3차원 전체 모델 데이터를 얻게 된다.

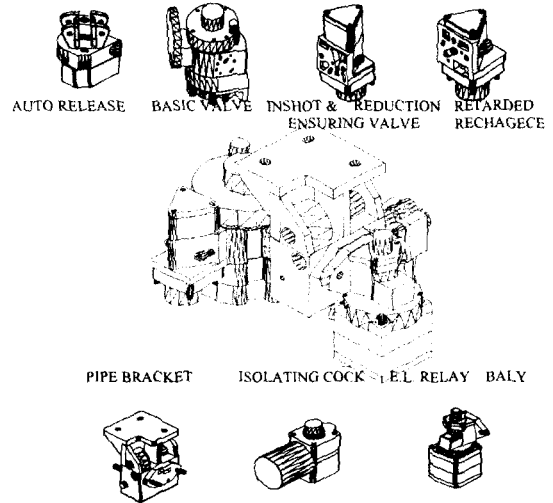


Fig. 3 Drawing of the KRF-3 by cad software program

각각의 부품 모델링에서 유동 해석을 위한 부분만을 구현했다. 즉, 스프링, 덮개, 가스켓, 막판, 오링 등 세부 부품들의 모델링은 제외하였다. 주요 관로 파악과 관로를 통한 압축공기의 유동을 파악하기 위해 모델링을 최대한 간략화 하였다. 부분

모델링을 한 후 각 부품의 관로를 중심으로 하여 주요 부분의 연결부를 파악하여 각각의 부품을 assembly 작업을 통해 최종 KRF-3 막판식 공기 제동장치의 3차원 모델을 구현하였다. Fig. 3은 위와 같은 모델링 작업으로 완성된 KRF-3 막판식 공기 제동장치의 3차원 모델링을 보여준다.

2.1.2 Solid 생성

3차원 형상 모델링은 완전한 solid가 아닌 surface 모델이다. 일반적인 CAD 프로그램은 완전한 solid 데이터를 저장하지 않기 때문에 CAD 데이터 모델을 solid로 구현하기 위해 CAD의 3차원 형상 모델링 데이터를 igs 파일로 변환하여 상용 소프트웨어인 solidedge에서 import하여 3차원 형상 모델 데이터에서 3차원 solid 데이터로 변환하였다.

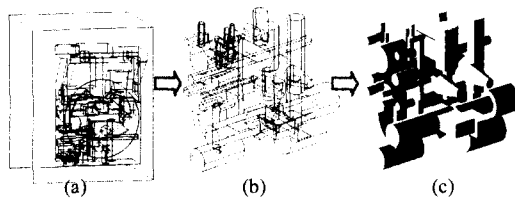


Fig. 4 The pipe formation processing of compressed air flowing for CFD analysis. (a)solid box (b)surface pipe-line (c)solid pipe-line

2.1.3 공기 유동 통로 생성

Solid로 변환된 3차원 데이터를 공기 유동 해석을 하기 위해 KRF-3 막판식 공기제동장치를 구성하는 외부와 내부의 solid를 제거하고 압축공기가 흐르는 관로만을 남겨 유동해석을 해야한다. Solidedge 프로그램을 통해 변환된 3차원 solid 데이터를 상용 모델링 프로그램인 Unigraphics를 통해 불러들인다. 공기 유동의 내부 관로만을 만들기 위해서는 Solid Box를 만들어 box로부터 3차원 solid 모델을 subtract하여 box 안에 부품 모델이 빠진 내부 관로가 생성되게 된다. 다음 공기 유동통로를 포함하는 solid box에서 관로만을 빼내기 위해 solid로 구성된 box를 surface 정보로 모두 변환을 해야한다. 이 방법에 의해 생성된 surface를 box외부와 부품의 내부 형태의 surface를 제거함으로써 관로의 surface만이 남게된다. 공기 유동통로만이 남은 surface 데이터를 다시 solid로 만들어 공기 유동 해석에 필요한 형상을 얻어낸다. 해석에 필요한 mesh를 나누기 위한 준비 작업으로 공기가 흐르는 부분을 해석하기 위해서는 빈 공간인 내부 관로를 solid로 만들어야 한다. Surface로 구성된 부품의 모델을 solid로 표현하기 위한 작업으로 각각

의 surface를 연결하여 solid로 만든다. Fig. 4는 내부 관로를 생성하는 과정을 보여준다.

3. 유동해석

3.1 Finite Element Mesh 생성

위의 과정으로 생성된 공기 유동 관로 solid 모델은 공기 유동해석을 위한 mesh 생성 작업을 통해 최종 유동 해석을 할 수 있다. Mesh는 3D-tetra를 사용하였으며, 이 KRF-3 막판식 공기제동장치의 관로의 크기 차이가 크므로 자동 생성 방법에 의해 mesh를 생성하였다. 관로의 크기가 불균일하고 내부 형상이 복잡하므로 수작업에 의한 mesh 생성은 많은 시간을 요하게 된다. 각각의 부품들에서 세부 부품들의 mesh를 생성한 후 부품별로 node를 연결하는 작업을 수행하고 node의 겹치는 부분을 제거함으로써 유동해석을 위한 mesh 생성을 하게된다.

3.2 공기 유동 해석

KRF-3 막판식 공기 제동장치는 압축공기를 충기시켜 막판의 작용에 의한 제동 시스템이므로 유동 해석시 초기 압력, 초충기 압력인 5kg/cm^2 을 제동관 연결부에 부여하였다.

본 연구에서는 각각의 부품의 초기 입력된 압력에 의한 각각의 위치에서의 압축공기의 유동에 관하여 연구하였다. 각각의 입력 압력은 연결부의 압력을 적용하여 해석하였다. KRF-3 막판식 공기 제동장치는 작용 과정 즉, 초충기 및 완해시작, 충기 및 제동, 완해 작용마다의 공기 유동이 바뀌어 지나 본 연구에서는 전체 관로를 개방한 상태에서 해석을 진행하였다. 각각의 작용 과정에 따른 해석은 전체 모델 중에서 닫히는 즉, 유동이 없는 관을 막고 또한 막판에 걸리는 압력을 측정 구조해석을 병행해야 한다. Fig. 5는 유동 해석 프로그램에 의해 압축 공기를 인가하여 해석된 KRF-3 막판식 공기제동 장치의 pipe bracket 해석 결과를 보여준다

Fig. 6은 KRF-3 막판식 공기 제동장치의 각 제동통들이 연결되어 있는 pipe bracket의 해석 결과를 보여준다. 결과에서 압축공기가 0.78m/s 로 인가되었을 때, 다음 부품으로 전해지는 출구측의 공기의 압력은 61.60kg/m^2 , 속도는 6m/s 의 공기가 다음 부품으로 인가된다. 이 출력압력을 다음 연결 부품인 ISOLATING COCK 연결부에 인가 해주면서 각 부품위치에 걸리는 압력 및 속도 변화를 알 수 있어 설계상의 오류나 작동 메커니즘을 쉽게 이해할 수 있어, 이러한 과정을 통해 초충기시 각 부품이 작용하는 원리를 파악하였다. Table 1.은 위의 과정에 의해 진행되는 초충기 작용시 공기유동에 따른 입구와 출구에서의 압력과 속도를 보여준다.

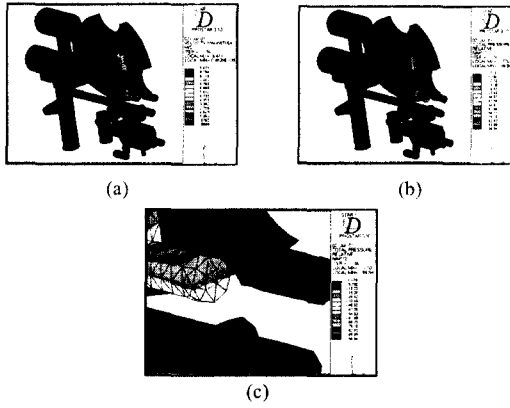


Fig. 5 The analysis results of the KRF-3's part using the STARCD CFD program. (a)velocity (b)pressure.

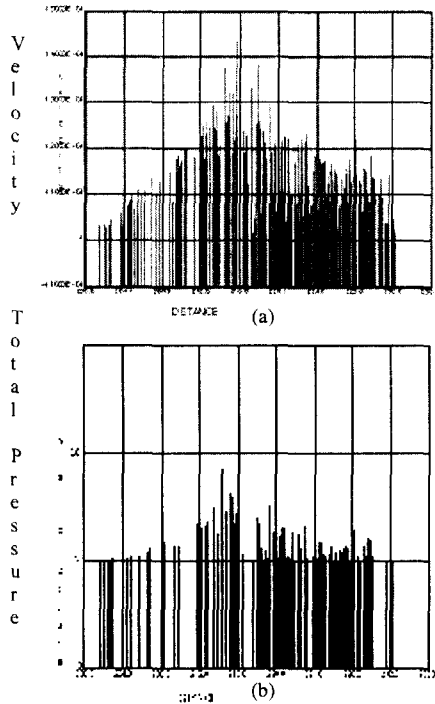


Fig. 6 The (a)velocity and (b)pressure at the pipe bracket by CFD analysis

Table. 1 The analysis results of the KRF-3 parts

부품명	입력		출력	
	속도	압력	속도	입력
Pipe Bracket(1)	0.78	50000	6	61.60
Isolating Cock	6	61.60	6	1457
Pipe Bracket(2)	6	1457	10	259
Pipe Bracket(3)	10	259	4	5
Retarded Recharge	6	260	1.2	2
E.L. Relay Valve	4	5	5	7

4. 결론

본 KRF-3 막판식 공기 제동장치의 모델링 및 해석 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻어냈다.

1. 형상 정보로부터 측정과 모델링 작업으로 설계 데이터를 도출할 수 있었다.
2. 설계 데이터로부터 3 차원 솔리드 형상을 구현하였다.
3. 솔리드 모델을 유공해석을 위한 판로 만들어 납기여 솔리드로 변환하는 작업을 수행하여 판로 데이터를 얻어낼 수 있었다.
4. 공기 유동 해석을 통해 KRF-3 막판식 공기 제동장치의 주요 부품에서 작용하는 압력과 속도, 온도 등을 파악할 수 있었다.

향후 추가적인 연구로 실험을 통한 각 KRF-3 막판식 공기제동장치의 각 부분에서의 정확한 실험적 공기 압력을 도출, 해석 값과의 비교 검토가 필요하고, 주요 부품들에 작용하는 압력을 인가하여 부품들의 압력에 의한 변형, 응력 값을 분석하는 구조해석 과정을 병행하여 막판식 공기 제동장치의 내부구조 및 각 부의 정확한 데이터를 획득하여 개선점을 찾아 차후 더욱 응답성과 제동성이 우수한 막판식 공기 제동장치를 만드는 데 중요한 데이터가 될 것으로 본다.

참고문헌

1. 이국도, 주장용, "공유압 이론과 실습" 기전 연구사, pp. 33-35, pp. 58-69.
2. 강보식, "공압 밸브의 동적응답 특성측정 자동화 시스템 개발", 한국자동제어학술지, pp. 974-978, 1991.
3. 신흥렬, "공압 설계를 위한 전문가시스템", 한국전문가 시스템 학회지, pp. 13-30, 1997.
4. 이선엽, "축매변환기에서의 유동특성에 관한 수치해석", 고려대학교 석사학위 논문, 1997.
5. 조금원, "상대운동이 있는 3 차원 비정상 유동해석을 위한 효율적인 중첩 격자계 개발", 한국과학기술원 박사학위논문, pp. 32-55, 2000.
6. 김완두, 우창수, "고속전철 제동역학 해석 및 시스템 예비 설계 기술 개발", 한국기계연구원, pp.23-27, 1996.