

## 출입문 자동폐쇄장치 내 유압회로 해석에 관한 연구

A Study on the Modeling of the Oil Damper in an Auto-Door Hinge

*KAERI*



한국원자력연구원  
Korea Atomic Energy Research Institute

# 제 출 문

한국원자력연구원장 귀하

본 보고서를 2009년도 “화재구역 차단용 오토힌지 실용화 기술 개발” 과제의 기술보고서로 제출합니다.

2009. 11.

주 저 자 : 하 광 순

공 저 자 : 김 종 태  
김 환 열



KAERI

## 요 약 문

제 목 : 출입문 자동폐쇄장치 내 유압회로 해석에 관한 연구

본 연구를 통하여 출입문 자동폐쇄장치(도어클로저) 내 유압회로 설계 기술을 개발하였다.

도어클로저를 도어의 열림 각도에 따라 비틀림 스프링에 의한 힘(torsion spring force)과 유압회로 내의 저항력(damping force)의 차이가 도어의 닫힘 가속도로 나타나는 시스템으로 모델링하여, 도어 닫힘 시 운동방정식 정립 및 해석하였다. 즉, 도어클로저를 spring-damper system으로 모델링하고, 이를 해석하였다.

도어클로저 유압회로 내 유압제어봉과 피스톤바디 사이의 작동유 거동을 모델링하고, 이를 이론 및 상용 전산해석 코드를 이용하여 해석하였다. 즉, 작동유의 거동을 Couette-Poiseuille 유동으로 가정하여, 유체 운동방정식을 세우고, 이를 이론적으로 해석하였다. 또한 상용전산해석코드인 Fluent를 이용하여 유압회로 내의 압력분포 및 작동유 유동을 해석하였다. 이를 통해 도어클로저 시스템 해석의 입력자료인 damping coefficient를 제공하였다. 결론적으로 유압회로 내 유압제어봉과 피스톤 바디의 구조, 작동유 선정 등 유압회로 설계에 관한 기술을 확립하였다.

도어 닫힘거동에 관한 해석결과를 검증하고, 실제 도어클로저의 설계에 응용 및 평가하기 위해 도어의 시간에 따른 닫힘거동, 닫힘력 및 닫힘속도를 측정하는 기법을 개발하였다. 즉, 엔코더를 이용한 도어 닫힘거동 측정장치를 개발하여, 도어 닫힘시 도어의 거동을 시간에 따라 계측할 수 있는 시스템을 구축하였다. 시간에 따른 도어 닫힘거동 측정결과를 바탕으로 도어의 닫힘속도, 닫힘력을 구하고, 이를 통해 도어클로저의 성능을 실질적으로 평가할 수 있도록 하였다.

# SUMMARY

Title : A Study on the Modeling of the Oil Damper in an Auto-Door Hinge

An auto-door hinge, which is one of the automatic door-closing apparatuses, has been widely used to prevent fire propagations in living or commercial buildings. The auto-door hinge consists of a spring to accumulate power for closing a door and an oil damper to control door-closing velocity. To predict and optimize the temporal door behavior during the door-closing period, the auto-door closing system was modeled as a second order-damping system. And a damping coefficient of the oil damper was also theoretically modeled by analyzing Newtonian, incompressible, viscous flow through an oil passage between a oil control rod and a oil piston body. The temporal door behaviors during the door-closing period were predicted with respect to the gap distance of the oil passage, oil viscosity, and pre-compressing of the spring.

Temporal door behavior measurement method using an encoder system was also developed to validate the modelling on the oil damping system. As using the developed test apparatus, the temporal door position, velocity, and rotational torque were measured, and the modelling method was evaluated.

# 목 차

제 1 장 서 론 .....	1
제 1 절 개발대상기술의 개요 .....	1
제 2 절 기술개발의 필요성 및 중요성 .....	1
제 3 절 국내·외 관련 기술의 현황 .....	2
제 4 절 국내·외 시장규모 .....	3
제 2 장 연구 개발 목표 .....	4
제 3 장 기술개발 내용 및 방법 .....	5
제 1 절 연구 개발 내용 및 범위 .....	5
제 2 절 기술개발 방법 및 결과 .....	9
1. 대형 도어클로저의 모델링 .....	9
2. 대형 도어클로저 내 유압회로의 유동장 해석 .....	13
3. 대형 도어의 단힘거동, 단힘속도, 단힘력 측정기술 개발 .....	29
4. 대형 도어클로저의 유압 작동 메커니즘 분석 및 실증 실험 .....	40
제 4 장 결 론 .....	56

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 개발대상기술의 개요

출입문 자동폐쇄장치(도어클로저)는 빌딩, 아파트, 오피스텔, 학교, 대형 쇼핑몰 등의 화재 발생시 문을 자동으로 닫아 화염 및 유독가스의 확산을 방지하여 인명 및 재산을 보호하기 위한 장치이다. 예로 2001년 9월 11일 미국의 무역센터 빌딩이 테러범에 의한 여객기 충돌로 화재가 발생하였을 때 건물에 있던 2만여명 중 사망자가 3,500여명 정도로 감소할 수 있었던 것은 제연 설비가 작동하였기 때문이었고, 그 제연설비 중 하나가 바로 도어클로저이다.

본 연구에서 개발하고자 하는 기술은 아파트, 상가, 빌딩 등의 계단 구역과 같이 갑종방화 구역의 격리에 사용되는 대형 방화문 용 도어클로저의 설계 기술에 관한 것이다. 특히 대형 도어의 닫힘력 및 닫힘속도를 결정하는 유압회로 설계 기술 개발을 위해 대형 도어클로저 내 유압회로의 유동장 해석, 대형 도어의 닫힘력 및 닫힘속도 측정기술 개발, 대형 도어클로저의 유압 작동 메커니즘 분석 및 실증실험을 수행하였다.

## 제 2 절 기술개발의 필요성 및 중요성

국내의 경우 1970년대 이후 도어클로저가 도입되어 건축법 및 소방법이 제, 개정을 거듭하며 사용자의 안전과 방화예방 관련 기준이 강화되었다. 이에 따라 갑종방화구역과 관련하여 공동사용 구역의 대형 방화문에 도어클로저 설치가 의무화되어 그 수요가 급증하고 있다.

이와 같은 대형 방화문용 도어클로저는 주로 독일의 Geze사나 일본의 Nitto사와 같은 고품질의 선진국 제품이 국내에 수입되어 사용되고 있다. 그러나 외국제품의 품질은 우수한 반면 가격이 매우 높아서 사용자의 부담이 증가하고 있다. 한편 현재 국내에서 시판되고 있는 국산 제품은 1980년대 일본 출원 특허의 만료로 제품의 외관과 구조를 저가로 복제한 것으로 구동 부품의 재질과 열처리, 성능 등은 수입제품에 비해 크게 떨어지는 실정이다. 더구나 최근 소방 관련 기준인 국가 화재 안전기준(NFSC)에 의해 40Pa의 압력에도 닫힐 수 있는 제품이 요구됨에 따라 이 기준을 만족하게 하기 위하여 강한 닫힘력만 우선시 되는 현상이 나타나고 있다. 이런 현상으로 문 닫힘 시 속도 제어가 되지 않아 노약자 및 장애인이 닫히는 문에 안전사고를 당하는 일이 발생하는 문제점도 발생하고 있다.

따라서 대형 방화문 용 도어클로저의 설계 기술을 체계적으로 개발하여 대형 도어클로저의 국산화가 필요하다. 특히 도어클로저의 대형화에 따라 닫힘력을 확보하면서도 닫힘속도를 안전하게 유지하는데 필요한 도어클로저 내 유압회로에 대한 설계 기술의 확보가 절실히 필요한

실정이다.

### 제 3 절 국내외 관련 기술의 현황

대형 방화문용 도어클로저의 국외 기술은 기술안정화 단계로서 단힘력 및 단힘속도 등 제품 성능이 우수하다. 그러나 가격이 국내산에 비해 5배 정도 높고, 워엄 기어 방식으로 마찰에 의한 동력 손실이 많으며, 국내 창호 규격의 상이로 인한 호환성 문제가 발생할 수 있고, 고장시 AS 지원이 어려운 단점이 있다.

한편 국내 대형 도어클로저 제품은 대략 2개사에서 공급중이나 다음과 같은 단점이 있다.

- A사

- 제조 환경이 매우 열악하며, 도어 클로저의 복합기술 부재한 상태.
- 워엄 기어 방식의 제품으로 정밀도 저하로 인한 품질 문제 발생.
- 동작시 수동에 의한 On/off 방식으로 기능 불량.

- B사

- 스프링 탄성부재의 기능저하로 단힘 성능저하.
- 열처리 기술부족으로 내마모성 저하.
- 고정밀 탄성부재 기술 부족.

한편 참여기업인 에스씨위너스(주)는 압레스 도어클로저의 특허(특허번호 제0504944호)를 기반으로, 제품을 양산(실용등록 제0361297호)하고 있는 국내 압레스 도어클로저 업계 1위의 기업이다. 또한 도어 내장형 자동단힘 도어클로저에 대한 특허(특허 제10-0652117호)를 기반으로 한국원자력연구소와 2006년도에 산연컨소시엄을 구성하여 체계적 연구개발을 수행함으로써 도어 내장형 도어클로저를 국내 최초로 상용화한 바 있다. 에스씨 위너스(주)이 독점 보유한 다줄나사를 이용한 도어클로저 구동 방식은 대형 도어클로저의 동력손실의 주원인인 기존 워엄기어 구동 방식을 대체할 수 있는 기술이다.

## 제 4 절 국내·외 시장규모

대형 방화문용 자동단힘 도어클로저는 표 1.1에 나타난 바와 같이 2007년도 기준으로 현재 국내 약 100억원, 해외 약 1,000억원의 시장규모를 가지고 있다. 국가 화재 안전기준(NFSC)의 강화로 2010년까지 국내 시장규모는 약 2배로 증가할 전망이다.

본 연구의 대형 도어클로저 설계 기술이 개발될 경우 2010년까지 내수 20억, 수출 5억원의 매출을 달성할 수 있을 것으로 예상되며, 수입 대체 효과도 클 것이다. 또한 주방 가구, 자동차 용 도어, 냉장고 등의 가전제품에 응용 확장할 수 있어 산업전반에 큰 파급효과가 기대된다.

또한 해외 시장의 경우 중국, 일본, 동남아와 같이 한국과 건축 환경이 유사한 나라에 대해 약 5억원의 수출을 기대할 수 있다. 특히 중국의 경우 주택정책전환(임대→소유)에 따른 세대 계획 변환으로 2008년까지 약 1,000만 세대 이상의 주택을 공급할 것으로 예상되는 바, 이에 따른 시장의 규모 및 성장성은 매우 큰 것으로 파악된다.

또한 도어클로저의 유압회로에 대한 체계적 해석 및 실험은 향후 유사 유압식 완충장치의 개발 및 설계 비용을 획기적으로 절감하게 될 것으로 기대된다.

표 1.1 대형 도어클로저의 시장규모

(단위 : 억원)

구 분	현재의 시장규모 (2007 년)	예상 시장규모 (2010 년)
세계시장규모	1,000	1,500
한국시장규모	100	200

※ 산출근거 : 삼성 경제 연구소 2007년 경제 전망 보고서



## 제 2 장 연구 개발 목표

본 연구의 목표는 대형 도어클로저 내 유압회로 설계 기술을 개발하는 것이다. 이를 위해 대형 도어클로저 내 유압회로의 유동장을 해석하고, 해석결과를 검증하기 위해 대형 도어의 단힘각도에 따른 단힘거동, 단힘속도 및 단힘력 측정기술을 개발하였다. 또한 해석과 실험에 의해 얻어진 최적 유압회로 설계 기술을 바탕으로 대형 도어클로저 내 유압 작동 메커니즘을 분석하고 이를 종합적으로 실증하는 실험을 수행하였다.

- 최종목표 : 대형 도어클로저 내 유압회로 설계 기술 개발
- 대형 도어클로저 내 유압회로의 유동장 해석
- 대형 도어의 단힘거동, 단힘속도 및 단힘력 측정기술 개발
- 대형 도어클로저의 유압 작동 메커니즘 분석 및 실증실험



KAERI

## 제 3 장 기술개발 내용 및 방법

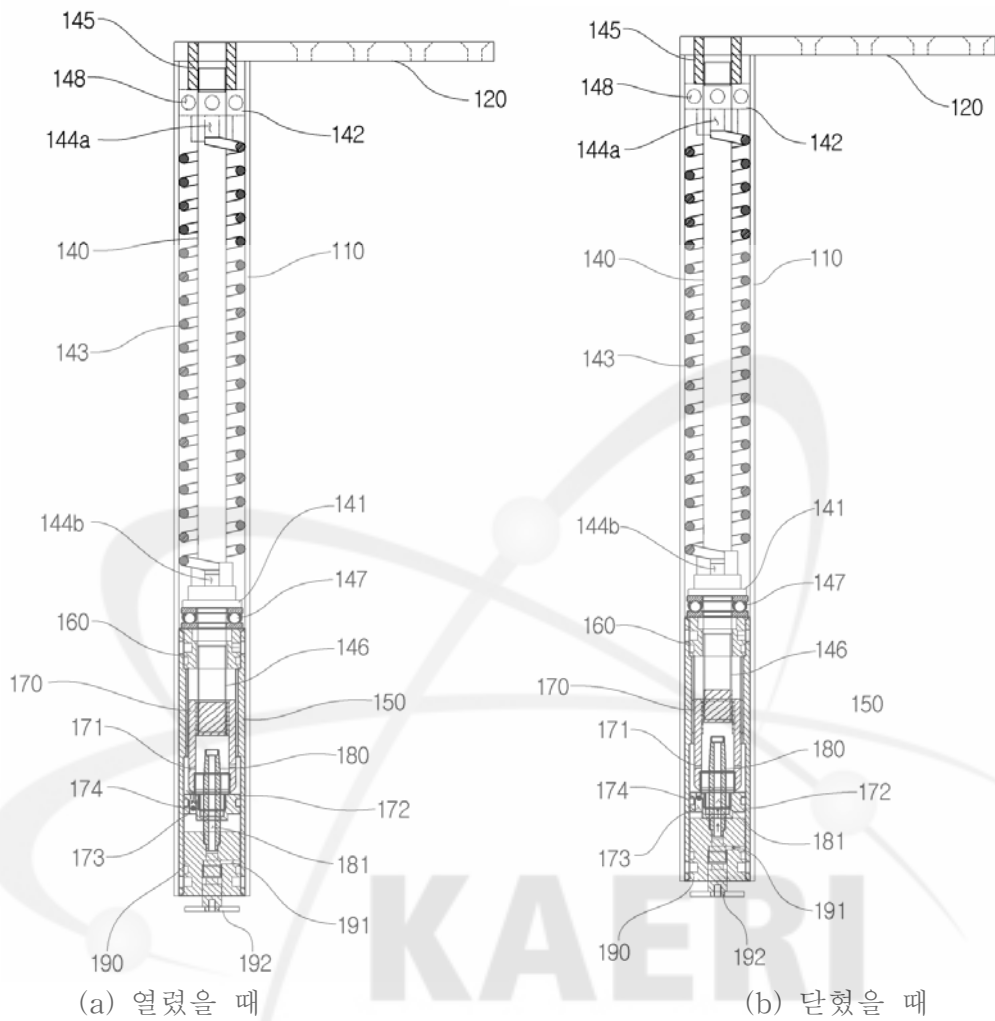
### 제 1 절 연구 개발 내용 및 범위

에스씨위너스(주)는 2006년 7월 한국원자력연구소와 산연컨소시엄을 구성하여 “도어 내장형 자동단힘 도어클로저의 상용화 기술 개발 (과제기간 2006년 8월 1일 - 2007년 1월 31일)”과제를 수행한 바 있다. 이 과제를 통하여 에스씨위너스(주)의 제10-0652117호 특허를 기반으로 도어 내장형(매립형) 자동단힘 도어클로저를 성공적으로 개발한 바 있다. 그림 3.1은 상기과제를 통해 개발한 도어 내장형(매립형) 자동단힘 도어클로저의 구조를 보여주고 있다. 개발된 도어클로저는 다줄나사의 저마찰 구조, 2단 유압 제어회로를 채택한 암리스(Armless)형이다. 따라서 문단힘이 확실하고, 문 열림이 부드러우며, 도어 내부에 장착하여 외부노출이 없이 깔끔하고, 방범 기능 및 내구성이 우수하여 일반 세대 현관문으로서의 탁월한 성능을 가진다. 이와 같이 2006년도 산연컨소시엄 사업을 통해 개발된 도어 내장형(매립형) 도어클로저를 도어중량 40, 60, 80kg의 세대 현관문(일반 방화문) 용 3종류로 표 3.1과 같이 상품화하였다. 개발된 도어 내장형(매립형) 도어클로저는 이미 대림산업 등 국내 7개여 건설회사의 아파트 세대 현관문 용으로 납품 계약을 체결한 상태이다.

표 3.2는 2006년도 과제에서 개발된 세대 현관문용 소형 도어클로저와 본 연구에서 대상으로 하는 대형 도어클로저의 사양을 비교한 것이다. 아파트, 상가, 빌딩 등의 계단 구역에 설치되는 대형 방화문에 장착되는 도어클로저는 그 작동의 안정성 때문에 도어의 하부에 장착되며, 평상시에는 열림상태로 고정되어 있다가 화재시 고정 고리의 이탈로 문이 닫히는 구조이다. 대형 도어클로저는 소형 도어클로저에 비해 강한 단힘력을 바탕으로 화재 시 그 작동성이 보장되어야 한다. 대형 도어클로저 개발에 필요한 관련 기술은 다음과 같다.

표 3.1 2006년도 산연컨소시엄을 통해 개발된 매립형 도어클로저의 상용 제품 종류

제품명	도어 적용중량	Model No.	용도
JANUS 3000	40kg 이하	SCW-3000	철재 방화문 및 일반 출입문 등
JANUS 3100	60kg 이하	SCW-3100	
JANUS 3200	80kg 이하	SCW-3200	



- |                 |               |               |              |
|-----------------|---------------|---------------|--------------|
| 110 : 하우징       | 120 : 힌지 체결판  | 140 : 구동축     | 141 : 걸림턱    |
| 142 : 블록(block) | 143 : 탄성부재    | 144a : 제1슬릿홈  | 145 : 부쉬     |
| 146 : 스프라인축     | 147 : 베어링 결합체 | 148 : 장력조절용 홈 | 150 : 실린더    |
| 160 : 상부캡       | 170 : 피스톤     | 171 : 제1유로    | 172 : 피스톤 바디 |
| 173 : 제2유로      | 174 : 체크볼     | 180 : 유량 제어봉  | 181 : 제3유로   |
| 190 : 하부캡       | 191 : 제4유로    | 192 : 조절볼트    |              |

그림 3.1 기 개발된 도어 내장형(매립형) 도어 클로저의 구조도

- 구동축 : 전단응력, 인장강도, 경도(내마모성), 재질 선택 등에 따른 적정 크기 설정
- 탄성 부재 : 각재로된 비틀림 스프링을 원형 비틀림 스프링으로 변경하는 방법 또는 적정한 스프링 설계
- 유압 관련 : 온도 민감도가 작은 유압유 개발, 유압회로 설계, 유동 해석
- 구동 관련 : 구동 각속도에 따른 단힘력 분포 해석
- 각 부품간의 체결 강도 계산, 제조 방법 해석(예: 단조, 가공, 분말중 적정한 가공방법 선택)
- 마찰구조 : 현재 8줄의 나사 구조이나 큰 동력 전달을 위해 다줄 나사 또는 그외 방법 결정 각 부품간 내부 내찰에 의한 손실을 감소시키는 방안

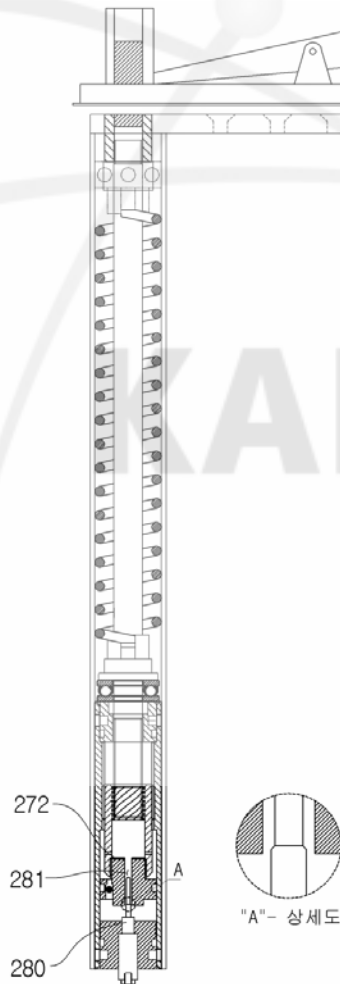
본 연구에서는 도어내장형 자동단힘 도어클로저를 바탕으로 대형 도어클로저 내 유압회로 설계기술을 개발하고자 하였다. 특히 근래의 아파트는 화재 시 계단을 통한 연기 유입을 차단하고자, 계단실에 40Pa 정도의 압력을 유지하도록 되어 있어 보다 강하고, 신뢰도 높은 단힘력이 요구된다.

표 3.2 일반 도어클로저와 대형 도어클로저의 차이점

구 분	2006년도 개발한 도어클로저	본 연구의 대형 도어클로저
사 용 처	세대 현관문 (일반 방화문)	계단 피난문 및 공동 대피 구역 (아파트, 상가, 빌딩 등의 계단 구역의 대형 방화문)
설치 위치	Door의 상부에 내장	도어의 하부에 내장
작동 형태	항상 닫히는 구조	열림상태 고정식, 화재시 고정 고리 이탈로 문 닫히는 구조
성능 기준	단힘력 : 20 N·m 이상 열림력 : 30 N·m 이하 내구성 : 30만회 기준 : KS F 4505 도어 중량 : 60 kg 기준	단힘력 : 약 40 N·m 정도 열림력 : 약 60 N·m 정도 내구성 : 약 10만회 기준 : KS F 2296, KS F 4505 도어중량 : 250 kg 기준
외 형	∅ 32 x 345mm	∅ 38 x 600mm (예상)
특이 사항	내구성중요, 사용빈도 많음	화재시 1회 사용 40 Pa 시 문이 완전히 닫힐 것(소방법)

그림 3.2는 에스씨위너스(주)에서 보유하고 있는 도어 내장형 자동 닫힘 도어클로저(특허번호 제10-0652117)의 구조를 보여주고 있다. 본 도어 내장형 자동닫힘 도어클로저는 피스톤 바디(272)에 유로(281)가 상하로 관통되게 형성되고, 유로(281)에 유량 제어봉(280)이 삽입되는 구조이다. 결과적으로 유로(281)와 유량 제어봉(280)의 간극을 통해 빠져나가는 작동유의 저항력에 따라 도어의 닫힘력 및 닫힘속도가 정해진다.

따라서 본 연구에서는 대형 도어클로저의 유로(281)와 유량 제어봉(280)으로 구성되는 유압회로의 설계 기술을 개발하고자 하였다. 즉, 대형 도어클로저 내 유압회로의 유동장을 해석하고, 해석결과를 검증하기 위해 닫힘각도에 따른 닫힘력 및 닫힘속도 측정기술을 개발하였다. 해석과 실험에 의해 얻어진 최적 유압회로 설계 기술을 바탕으로 대형 도어클로저 내 유압 작동 메커니즘을 분석하고 이를 종합적으로 실증하는 실험을 수행하였다.



272 : 피스톤 바디(272)                      280 : 유량제어봉                      281 : 유로

그림 3.2 도어 내장형 도어클로저의 세부 단면도

## 제 2 절 기술개발 방법 및 결과

### 1. 대형 도어클로저의 모델링

그림 3.3은 본 연구에서 대상으로 하는 대형 도어클로저의 개략적인 구조를 나타낸 것이다. 그림 3.3의 대형 도어클로저는 그 용도에 맞게 그림 3.2의 도어 내장형 도어클로저를 도어의 하부에 장착하도록 변형한 것이다. 일반적으로 도어클로저는 문의 닫힘력을 발생시키는 스프링(torsion spring)과 이를 제어하는 유압회로(oil damper)로 구성되어 있다. 즉, 문이 열려진 상태에서 저장된 스프링의 복원력이 문을 닫혀주게 하며, 이때 도어클로저 내에 장착된 유압회로가 문이 닫히는 속도에 따라 저항력을 발생하여 문의 닫힘 상태를 제어하게 된다.

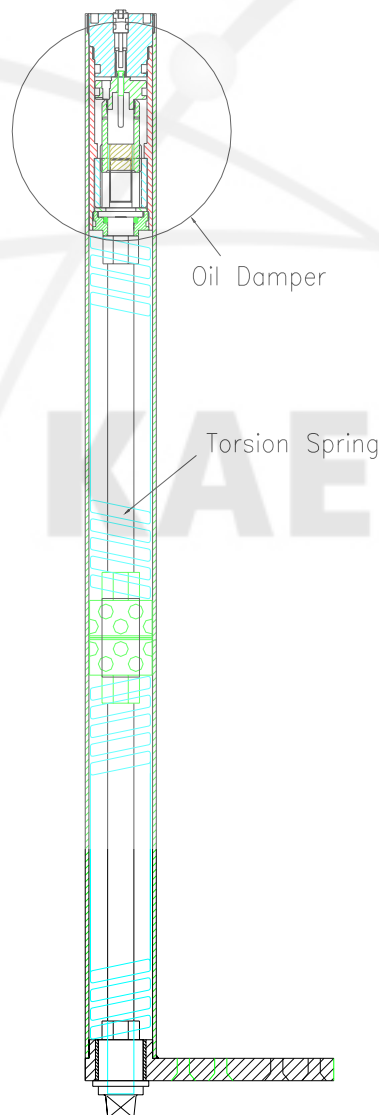


그림 3.3 대형 도어클로저 구조도

도어가 90도 열려진 상태에서 닫힐 때 도어클로저 내의 힘의 균형은 그림 3.4와 같이 모델링할 수 있다. 즉, 도어의 열림 각도에 따른 비틀림 스프링에 의한 힘(torsion spring force)과 유압회로 내의 저항력(damping force)의 차이가 도어의 닫힘 가속도로 나타나는 시스템으로 도어클로저를 모델링할 수 있다. 이때 도어 닫힘 시 운동방정식은 식(3.1)과 같다.

$$I\ddot{\theta} + d\dot{\theta} + k\theta = 0 \quad (3.1)$$

식(3.1)에서  $I$ 는 문의 관성모멘트(moment of inertia,  $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ),  $d$ 는 유압회로 내 저항계수(damping coefficient,  $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{sec}$ ),  $k$ 는 비틀림 스프링 상수(torsion spring constant,  $\text{N} \cdot \text{m}/\text{rad}$ ),  $\theta$ 는 문의 위치(rad)를 각각 나타낸다. 식(3.1)을 풀면 도어의 닫힘 상태를 시간에 따라 구할 수 있다. 식(3.1)에서 도어 닫힘 운동을 결정하는 주요인은 유압회로 내 저항계수와 스프링 상수이다. 특히 유압회로 내 저항계수는 도어의 닫힘 제어에 결정적 역할을 하며 이에 대한 결정이 필요하다.

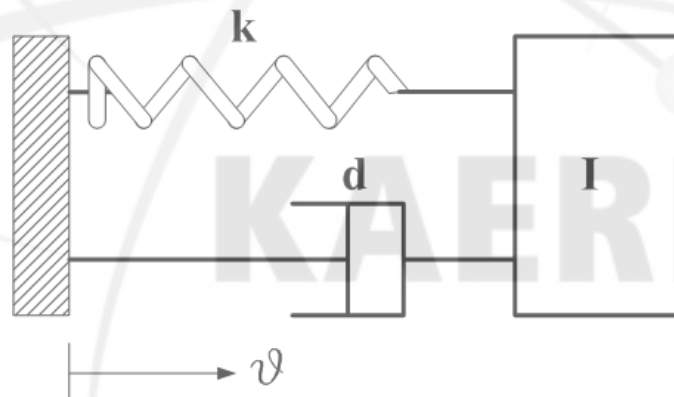


그림 3.4 도어클로저 시스템 모델

식(3.1)은 전형적인 이차 시스템 방정식으로 해석해가 존재한다. 즉, 유압회로 내 저항계수  $d$ 가 일정하다고 가정하면, Laplace transformation 을 통해 식(3.2), 식(3.3)과 같은 undamped natural frequency( $\omega_n$ ), damping ratio( $D$ )를 정의할 수 있으며,  $D$ 값에 따라 식(3.4)와 같은 해를 구할 수 있다<sup>1)</sup>.

1) Katsuhiko Ogata, System Dynamics, Prentice-Hall Inc., pp. 357-364, 1978.

$$w_n = \sqrt{\frac{k}{I}} \quad (3.2)$$

$$D = \frac{d}{2\sqrt{kI}} \quad (3.3)$$

$$\theta(t) = \frac{\theta(0)}{\sqrt{1-D^2}} e^{-Dw_n t} \sin\left\{w_n \sqrt{1-D^2} t + \tan^{-1} \frac{\sqrt{1-D^2}}{D}\right\}, \quad 0 < D < 1 \quad (3.4-1)$$

$$\theta(t) = \theta(0) e^{-w_n t} + [w_n \theta(0) + \dot{\theta}(0)] t e^{-w_n t}, \quad D = 1 \quad (3.4-2)$$

$$\begin{aligned} \theta(t) = & \left[ \frac{-D + \sqrt{D^2 - 1}}{2\sqrt{D^2 - 1}} \theta(0) - \frac{\dot{\theta}(0)}{2w_n \sqrt{D^2 - 1}} \right] e^{-(Dw_n + w_n \sqrt{D^2 - 1})t} \\ & + \left[ \frac{D + \sqrt{D^2 - 1}}{2\sqrt{D^2 - 1}} \theta(0) + \frac{\dot{\theta}(0)}{2w_n \sqrt{D^2 - 1}} \right] e^{-(Dw_n - w_n \sqrt{D^2 - 1})t}, \quad D > 1 \end{aligned} \quad (3.4-3)$$

도어 닫힘 시 도어의 거동에 대해 식(3.4)를 적용할 경우, 초기 조건은 식(3.5)와 같다.

$$\theta(0) = \pi/2, \quad \dot{\theta}(0) = 0 \quad (3.5)$$

식(3.5)의 초기 조건을 적용하여 식(3.4)를 풀면, 도어를 90도 열어 정지시킨 상태부터, 닫힐 때까지의 거동을 알 수 있다. 그림 3.5는 undamped natural frequency( $w_n$ )를 1.0 으로 가정하였을 경우, damping ratio( $D$ )에 따른 도어의 거동을 나타낸 것이다. 그림 3.4에 나타난 바와 같이, underdamped인 경우( $0 < D < 1$ ,  $D=0.5$ )는 도어가 너무 빨리 닫히는 경향을 보이며, overdamped인 경우( $D > 1$ ,  $D=2.0$ )는 도어가 닫히지 않는 경향을 보인다. 즉, 이상적인 도어의 닫힘은  $D=1.0$  인 critically damped 경우라고 할 수 있다. 실제 도어의 경우에는 underdamped 일 때는 도어의 마지막 닫힘( $\theta=0$ )시 속도가 너무 빨라 안전성에 위험이 존재하며, overdamped 일 때는 도어가 닫히지 않게 된다고 할 수 있다. Critically damped 인 경우에도, 도어의 잠금 장치 여부에 따라 도어가 닫히지 않을 수도 있다. 따라서 실제 도어에서의 damping ratio는 1 보다 약간 작은 것이 바람직하다.

위와 같은 도어클로저의 모델링과 도어 거동에 대한 해석을 통해 도어클로저 설계의 기본 방향을 설정할 수 있었다. 본 연구에서는 도어클로저의 거동에 영향을 미치는 인자인 필요한 유압회로 내 저항계수[식(3.1)의  $d$  값]를 결정하기 위해 유압회로 내 유동장을 해석하였고, 전반적인 도어클로저의 성능을 평가하기 위해 시간에 따른 도어의 거동을 측정할 수 있는 방법은 개발하였다. 이를 통해 최적의 도어클로저 설계를 위한 설계기술을 확립하였다.



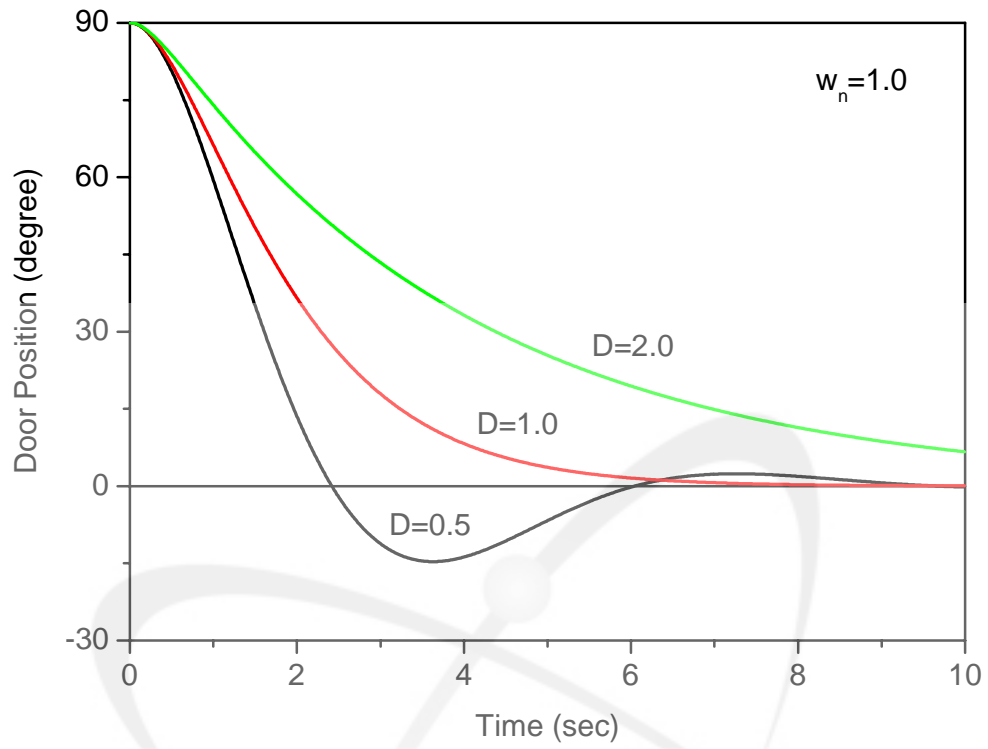


그림 3.5 시간에 따른 도어의 거동

KAERI

## 2. 대형 도어클로저 내 유압회로의 유동장 해석

도어클로저는 열려진 문에 닫힘력을 제공하는 스프링의 복원력을 제어하여 안전하고 쾌적한 닫힘속도를 얻기 위하여 내부에 그림 3.3과 같은 유압회로(oil damper)가 설치된다. 유압회로는 도어의 닫힘력을 결정하는 핵심 요소로서 그림 3.6과 같이 피스톤 바디(piston body), 유량제어봉(oil control rod), 작동유(oil) 등으로 구성되어 있다. 그림 3.6에 나타난 바와 같이 도어가 열렸을 경우 피스톤 바디는 아래쪽으로 내려간 상태에 있으며, 도어가 닫힐 경우 피스톤 바디가 위쪽으로 상승하게 된다. 이때 그림 3.6의 A 부분에 있던 작동유가 B 부분으로 이동하여야 하는데, 작동유의 유로는 check ball의 작용으로 피스톤 바디와 유량제어봉 사이의 미세 간극으로 제한되게 된다. 따라서 이러한 방식의 도어클로저 유압회로 내 저항력은 피스톤 바디와 유량제어봉 사이의 간극에 의해 결정되게 된다.

일반적으로 유량제어봉과 피스톤 바디의 형상은 기존 제품의 형상을 기초로 엔지니어의 직관에 의해 수정 및 성능 시험을 반복 수행하여 설계하여 왔다. 그러나 이러한 방법은 엔지니어의 직관에 의존하기 때문에 도어클로저의 성능 개선에 한계가 있으며 또한 설치하고자 하는 문에 최적한 유량제어봉과 피스톤의 형상을 얻기 위해서 많은 반복 작업이 요구된다. 따라서 도어클로저 내의 유압회로에 대한 유동장 해석을 통해 도어클로저 설계에 대한 시행착오를 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 성능개선 및 최적화를 이룰 수 있다.

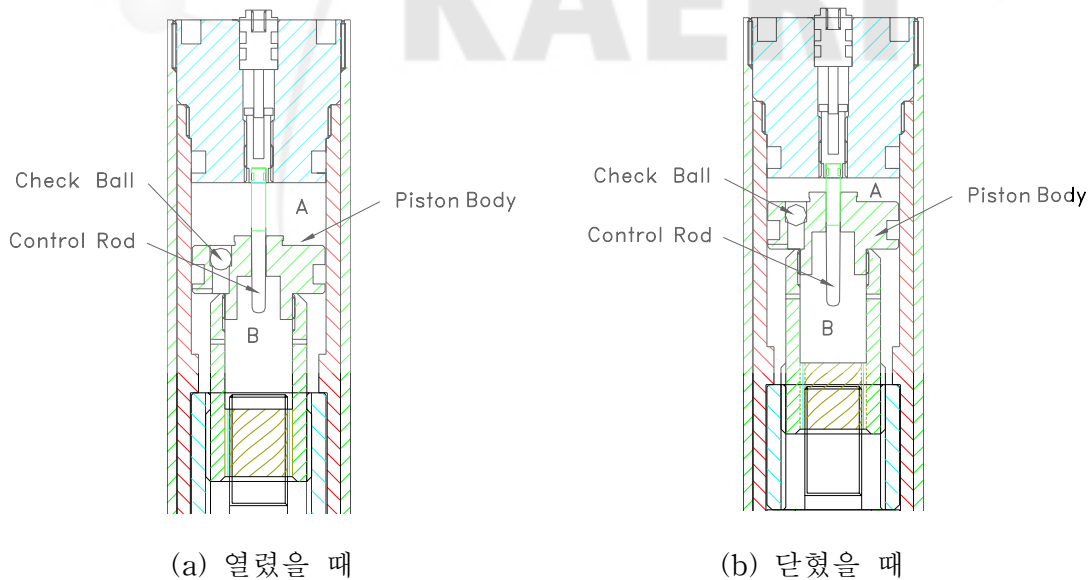


그림 3.6 유압회로(oil damper)의 작동 개요도

### 가. 이론 해석

문이 닫힐 때 도어클로저 유압회로 내 작동유의 흐름은 그림 3.7과 같이 단순화할 수 있다. 즉, 유압제어봉(oil control rod)과 피스톤 바디(piston body) 사이로 형성된 간극을 따라 작동유가 위에서 아래로 일정유량 흐른다. 그림 3.7에서  $a$ 는 피스톤 바디의 반경을,  $b(z)$ 는 유압제어봉의 반경을 각각 나타낸다. 일반적으로 도어클로저의 닫힘력을 조절하기 위해 유압제어봉의 반경  $b(z)$ 는 높이 방향( $z$ )에 따라 다르게 설계될 수 있다.

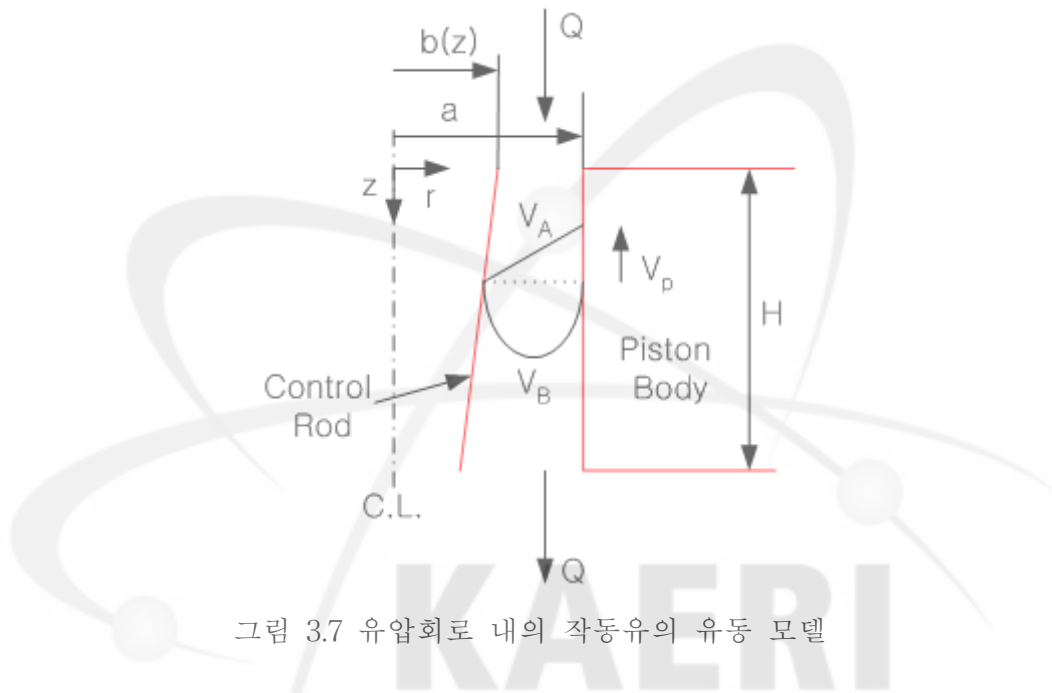


그림 3.7 유압회로 내의 작동유의 유동 모델

도어가 닫힘에 따라 유압회로 내 피스톤 바디가 위로  $V_p$ 의 속도로 움직이며, 작동유는 위에서 아래로 유량  $Q$  만큼 흐른다. 유체의 유동을 Newtonian viscous flow, incompressible flow, full developed flow, 벽면에서 no-slip condition 등을 가정할 때 작동유의 유동방정식은 식(3.6)과 같다. 식(3.6)은 전형적인 원통좌표계의 Couette-Poiseulle 유동이다<sup>2)</sup>.

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial u}{\partial r} \right) = \frac{dp}{dz} \quad (3.6)$$

$$\text{Boundary condition, } u(r=a) = -V_p, \quad u(r=b) = 0 \quad (3.6-1)$$

$$\text{Boundary condition, } u(r=a) = 0, \quad u(r=b) = 0 \quad (3.6-2)$$

2) Frank M. White, Viscous Fluid Flow, 2nd Ed., McGraw-Hill, Inc., pp. 106-122, 1991.

이때 간극 내 작동유의 속도분포(u)는 피스톤 바디의 속도에 따른  $u_A$ 와 작동유 흐름에 따른  $u_B$ 의 합으로 표현할 수 있다. 즉, 유압회로 내 작동유의 속도는 식(3.7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$u(r,z) = u_A + u_B \quad (3.7)$$

식(3.7)에서  $u_A$ 는 상하부의 압력차이가 없을 경우, 피스톤 바디의 움직임  $V_p$ 에 의해 발생하는 속도를,  $u_B$ 는 피스톤 바디의 움직임이 없을 때 상하부의 압력차이에 의해 발생하는 유동  $Q$ 에 의한 속도 분포를 각각 나타낸다.

유체의 압력강하(dp/dz)를 0으로 놓고, 경계조건식 (3.6-1)을 적용하여 식(3.6)을 풀면,  $u_A$ 는 반경방향  $r$ 에 따라 식(3.8)과 같다.

$$u_A(r,z) = -V_p \frac{\ln[r/b(z)]}{\ln[a/b(z)]} \quad (3.8)$$

또한 유체의 압력강하(dp/dz)를 0으로 놓지 않고, 경계조건식 (3.6-2)를 적용하여 식(3.6)을 풀면 식(3.9)와 같이  $u_B$ 를 구할 수 있다.

$$u_B(r,z) = \frac{Q}{c(z)} \left\{ a^2 - r^2 + [a^2 - b(z)^2] \frac{\ln(a/r)}{\ln[b(z)/a]} \right\} \quad (3.9)$$

$$c(z) = \frac{\pi}{2} \left\{ a^4 - b(z)^4 - \frac{[a^2 - b(z)^2]^2}{\ln[a/b(z)]} \right\}$$

문이 닫힐 때 상부로 움직이는 피스톤 바디에 저항력으로 작동하는 작동유의 전단응력 (shear stress,  $\tau_p$ )은 각각 식(3.10)과 같다. 식(3.10)에서  $\mu$ 는 작동유의 점성(viscosity, kg/m·sec)를 나타낸다.

$$\tau_p(z) = -\mu \left. \frac{du}{dr} \right|_{r=a} = \frac{\mu V_p}{a \ln[a/b(z)]} + \frac{\mu Q}{c(z)} \left\{ 2a + \frac{[a^2 - b(z)^2]}{a \ln[b(z)/a]} \right\} \quad (3.10)$$

도어가 닫힐 때 피스톤 바디의 상승함에 따라 그림 3.6의 A 부분의 체적이 줄어들고, 그 양만큼 작동유가 B 부분으로 하강하므로, 식(3.10)에서 피스톤 바디의 속도  $V_p$ 와 유량  $Q$ 는 식

(3.11)의 관계가 있다.

$$Q = V_p A_p \quad (3.11)$$

식(3.11)에서  $A_p$  는 피스톤 바디의 상부 면적이다. 따라서 식(3.10)은 식(3.12)와 같다.

$$\tau_p(z) = \frac{\mu V_p}{a \ln[a/b(z)]} + \frac{\mu V_p A_p}{c(z)} \left\{ 2a + \frac{[a^2 - b(z)^2]}{a \ln[b(z)/a]} \right\} \quad (3.12)$$

본 연구에서 개발하고자 하는 도어클로저는 피스톤 바디 하부의 screw에 의해 기구학적으로 문의 회전운동을 상하운동으로 바꾼다. 따라서 문의 회전 각속도( $\dot{\theta}$ )는 피스톤 바디의 상승 속도( $V_p$ )와 식(3.13)의 관계가 있다. 식(3.13)에서  $\delta$ (m/rad)는 screw의 나사구조에 따른 값이다.

$$z = \delta \theta \quad (3.13)$$

식(3.13)을 미분하면 피스톤 바디의 속도와 문의 회전 각속도의 관계를 식(3.14)와 같이 구할 수 있다.

$$V_p = -\delta \dot{\theta} \quad (3.14)$$

식(3.14)에서 문의 단힐 때 문의 회전 각속도( $\dot{\theta}$ )는 음의 값을 가지므로 피스톤 바디의 상승 속도  $V_p$ 는 양의 값을 갖게 된다. 식(3.14)를 식(3.12)에 대입하면 최종적으로 각속도에 따른 피스톤 바디의 전단응력을 식(3.15)와 같이 얻을 수 있다.

$$\tau_p(z) = -\mu \delta \dot{\theta} \left\{ \frac{1}{a \ln[a/b(z)]} + \frac{A_p}{c(z)} \left\{ 2a + \frac{[a^2 - b(z)^2]}{a \ln[b(z)/a]} \right\} \right\} \quad (3.15)$$

피스톤 바디에 작용하는 작동유의 총 힘은 식(3.15)의 전단응력을 식(3.16)과 같이 적분하여 구할 수 있다.

$$F_p = \int_0^H \tau_p(z) 2\pi a dz \quad (3.16)$$

식(3.1)에서 도어클로저내 유압회로에 작동하는 저항 moment에 해당하는  $d\dot{\theta}$ 는 피스톤 바디에 작동하는 작동유의 저항력( $F_p$ )과 문의 폭( $W$ )의 곱으로 나타낼 수 있다. 즉, 식(3.17)과 같다. 식(3.17)의 - 부호는 도어의 회전 각속도가 음의 값이기 때문이다.

$$M_d = F_p W = -d\dot{\theta} \quad (3.17)$$

식(3.15)과 식(3.16)을 (3.17)에 대입하면 최종적으로 도어클로저 유압회로 내 저항계수  $d$ 를 식(3.18)과 같이 구할 수 있다.

$$d = \mu \delta W \int_0^H \left\{ \frac{1}{a \ln[a/b(z)]} + \frac{A_p}{c(z)} \left\{ 2a + \frac{[a^2 - b(z)^2]}{a \ln[b(z)/a]} \right\} \right\} 2\pi a dz \quad (3.18)$$

$$c(z) = \frac{\pi}{2} \left\{ a^4 - b(z)^4 - \frac{[a^2 - b(z)^2]^2}{\ln[a/b(z)]} \right\}$$

식(3.18)을 통하여 도어클로저 유압회로 내 저항계수  $d$ 는 작동유의 점도, 문의 폭, 유압제어봉의 반경이 클수록 커지는 것을 알 수 있다.

#### 나. 유압회로의 기본 설계 및 해석

식(3.4)의 도어클로저 시스템 해석 결과와 식(3.18)의 유동장 해석 결과를 통하여 도어클로저 내 유압회로에 관한 기본 설계를 할 수 있다. 즉, 도어클로저의 단힘속도를 제어하는 유압회로 내 유압제어봉의 크기를 결정하였다. 유압회로의 기본 설계 자료는 표 3.3과 같다.

식(3.18)에서 유압제어봉의 높이 방향의 변화를 무시하면 도어클로저 유압회로 내 저항계수  $d$ 는 식(3.19)와 같이 적분된다.

$$d = 2\pi a \mu \delta WH \left\{ \frac{1}{a \ln[a/b]} + \frac{A_p}{c} \left\{ 2a + \frac{[a^2 - b^2]}{a \ln[b/a]} \right\} \right\} \quad (3.19)$$

$$c = \frac{\pi}{2} \left\{ a^4 - b^4 - \frac{[a^2 - b^2]^2}{\ln[a/b]} \right\}$$

표 3.3 기본 설계인자 및 기본 값

설계 인자	기본 값
피스톤 바디 반경 (a, mm)	1.5
피스톤 바디 상부 면적(A <sub>p</sub> , mm <sup>2</sup> )	609
피스톤 바디 높이 (H, mm)	8.0
Screw 인자 (δ, mm/rad)	5.093
작동유 점도(μ, kg/m · sec, DCO46 20℃)	0.0892
문 폭(W, m)	0.93
비틀림 스프링 상수(k, N · m/rad)	21.0
문의 관성모멘트(I, kg/m <sup>2</sup> )	17.3

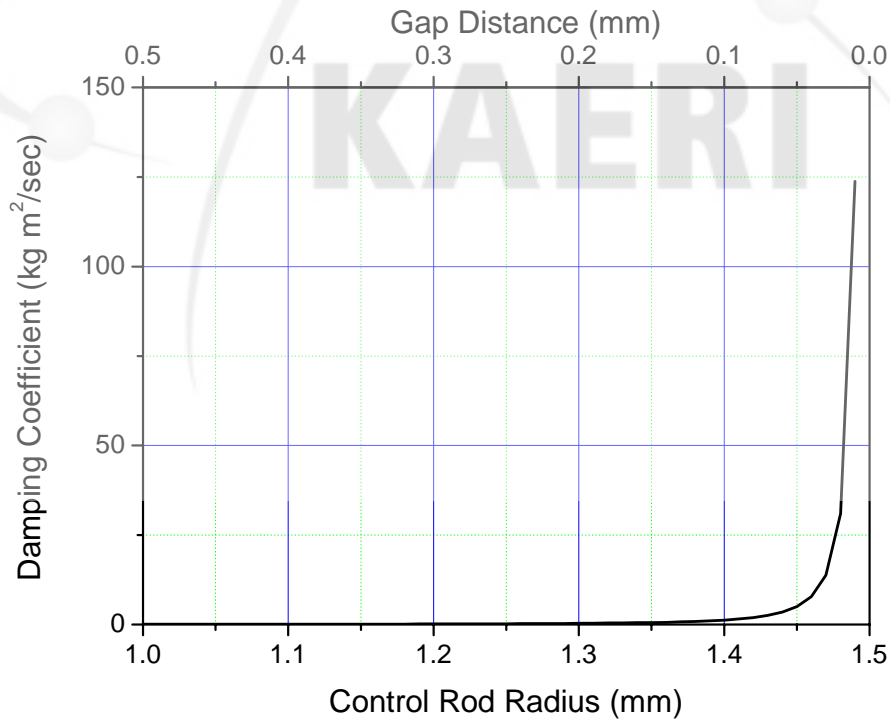


그림 3.8 유압제어봉 반경 및 간극에 따른 유압회로 내 저항계수

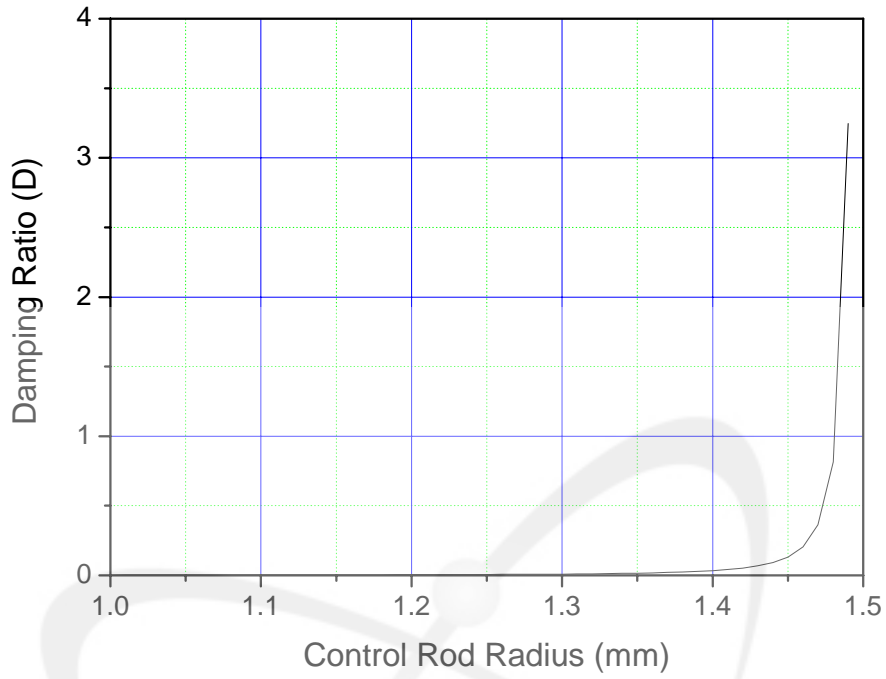


그림 9 유압제어봉 반경에 따른 damping ratio

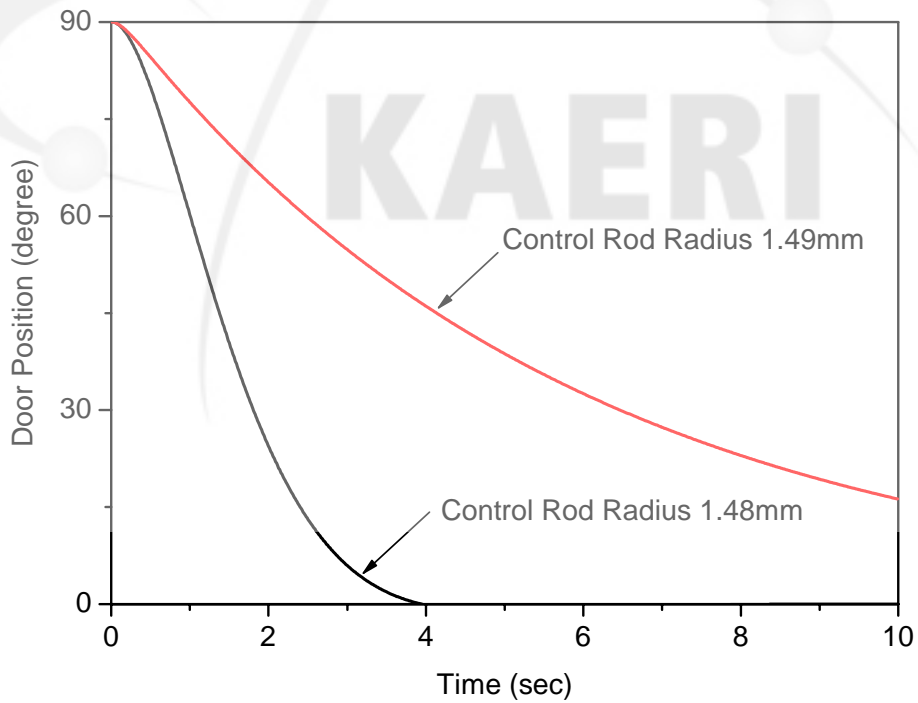


그림 3.10 유압제어봉 반경에 따른 도어의 거동



표 3.3의 기본 설계인자 값과 식(3.19)를 이용하여 유압제어봉 반경(b)에 따른 도어클로저 유압회로 내 저항계수 d를 계산하면 그림 3.8과 같다. 그림 3.8을 보면, 유압제어봉 반경이 증가할수록, 즉, 유압제어봉과 피스톤 블록의 간극이 작아질수록 저항계수가 급격히 증가하는 것을 알 수 있다. 그림 3.9는 유압제어봉 반경에 따라 식(3.3)의 damping ratio(D)를 구한 것이다. 그림 3.5에 나타나듯이 damping ratio가 1보다 큰 경우는 문이 닫히지 않는다. 또한 1보다 클 경우에는 문의 닫힘속도가 너무 커서 안전성에 문제가 있을 수 있다. 일반적으로 damping ratio가 1 부근에서 도어의 거동은 최적을 나타내므로, 그림 3.9에서 damping ratio 1 부근의 유압제어봉의 반경을 선정하면, 1.48 - 1.49mm 사이가 된다. 그림 3.10은 유압제어봉 반경이 1.48, 1.49mm 일 때의 도어의 거동을 식(3.4)를 이용하여 나타낸 것이다. 그림 3.10에 나타난 바와 같이 유압제어봉 반경이 커질수록, 즉, 유압제어봉과 피스톤 바디의 간극이 좁아질수록 유압회로 내 유동저항이 커져 도어의 닫힘시간이 느려지고, 도어가 닫힐 때(door position 0도)의 속도가 증가한다.

#### 다. 유압회로의 상세설계 및 해석

그림 3.8을 보면 유압회로 내 저항계수가 크게 변하는 영역 즉, 유압회로가 효율적으로 작동하는 영역은 유압제어봉의 반경이 1.48mm 보다 큰 영역이라는 것을 알 수 있다. 유압제어봉의 반경이 1.48mm보다 작은 영역에서는 유압제어봉 반경의 변화에 따른 유압회로의 저항에 큰 변화가 없다. 실제 도어인 경우 설치장소, 설치방법, 도어 회전저항, 온도, 도어 안의 풍압 및 내압 등에 따라 문이 닫힐 경우의 저항이 달라진다. 따라서 도어클로저의 설계 관점에서 보면 유압회로의 제어효과가 큰 영역이 응용에 더 효율적이다. 이때 유압회로의 과도한 저항력으로 인한 문의 느린 닫힘속도는 스프링 상수 및 스프링의 복원력을 증가시킴으로써 조절할 수 있다.

그림 3.11은 도어클로저 내 유압회로의 상세 설계도이다. 그림 3.10에서 계산된 바와 같이 유압제어봉의 반경은 1.48 - 1.49mm 사이에서 최적조건을 만족할 수 있는 것으로 보인다. 따라서 그림 3.11(b)와 같이 유압제어봉의 반경을 1.48-1.49mm의 가변형으로 설계함으로써 도어의 설치조건에 따라 다양하게 유압회로의 저항력을 조절할 수 있도록 하였다. 즉, 도어클로저의 상부에 장착된 조정장치(control nob)를 돌리면 유압제어봉이 상부로 이동하여 피스톤 바디와의 유로간극을 조절할 수 있다. 이와 같은 조정장치 및 유압제어봉 반경의 가변형 설계를 통해 도어의 상태에 따라 도어의 닫힘속도를 조절할 수 있게 된다.

피스톤 바디의 높이(H) 8mm, 반경(a) 1.5mm로 하였으며, 도어가 90도 회전할 때의 총 유

격거리는 8mm이다. 기타 설계인자는 표 3.3과 같이 기본설계에서 사용한 것과 동일하다.

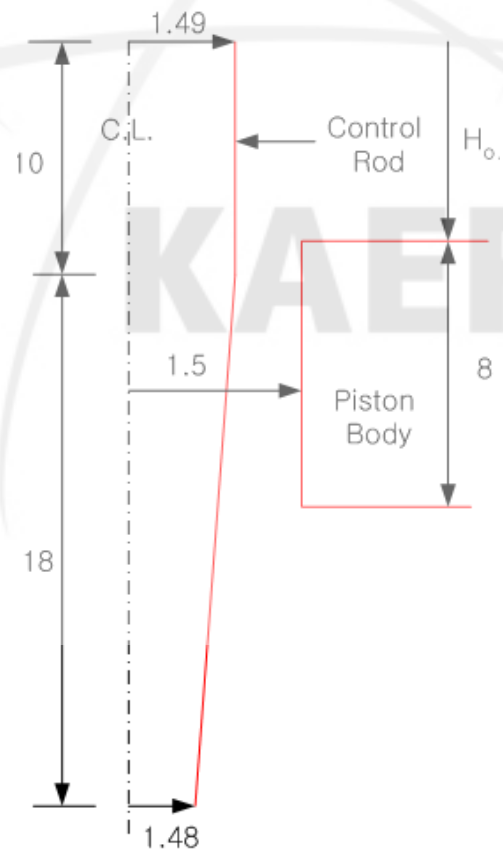
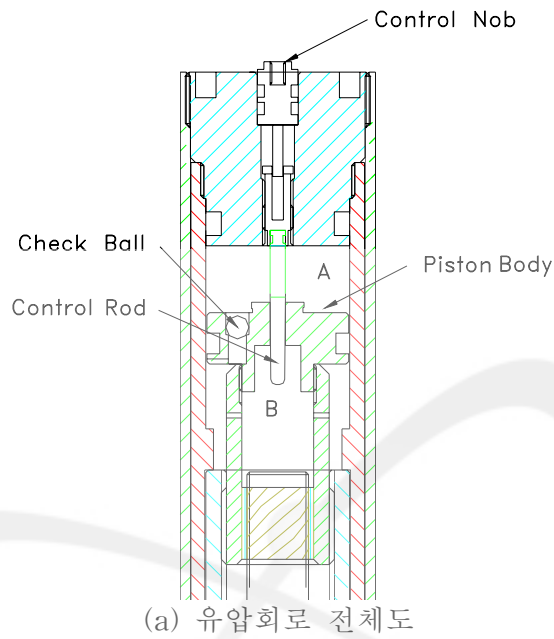


그림 3.11 도어클로저 내 유압회로의 상세설계 (단위 mm)

그림 3.11과 같은 가변형 유압제어봉을 가진 유압회로의 해석에는 식(3.4)의 해석해를 이용할 수 없다. 왜냐하면 식(3.4)는 식(1)에서 유동저항  $d$  를 상수라고 가정하였기 때문이다. 가변형 유압제어봉으로 인해 도어의 운동에 따라 피스톤바디와 유압제어봉 사이의 간극이 변하고, 이에 따라 유동저항이 변하기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 식(3.1)을 수치 해석(numerical analysis)으로 풀어 도어의 운동을 예측하였다. 즉 식(3.1)은 undamped natural frequency( $w_n$ ), damping ratio( $D$ )를 이용하여 식(3.20)과 같이 표현할 수 있다.

$$\ddot{\theta} + 2Dw_n\dot{\theta} + w_n^2\theta = 0 \quad (3.20)$$

$$w_n = \sqrt{\frac{k}{I}} \quad (3.20-1)$$

$$D = \frac{d}{2\sqrt{kI}} \quad (3.20-2)$$

식(3.20)의 일계도 미분과 이계도 미분을 forward differencing method로 식(3.21)과 같이 이산화하면 식(3.22)을 얻을 수 있다. 이때 경계조건은 문 열림 시 정지상태[( $\dot{\theta}(0) = 0$ )]에서 문을 닫는 조건이므로 식(3.23)과 같다. 모든 계산에서  $\Delta t = 0.001\text{sec}$  를 사용하였다.

$$\dot{\theta}(t) = \frac{\theta(t) + \theta(t - \Delta t)}{\Delta t} \quad (3.21-1)$$

$$\ddot{\theta}(t) = \frac{\theta(t + \Delta t) - 2\theta(t) + \theta(t - \Delta t)}{(\Delta t)^2} \quad (3.21-2)$$

$$\theta(t + \Delta t) = [2 - 2Dw_n\Delta t - w_n^2(\Delta t)^2] \theta(t) + [1 - 2Dw_n\Delta t] \theta(t - \Delta t) \quad (3.22)$$

$$\theta(0) = 2/\pi, \quad \dot{\theta}(0) = 0 \quad (3.23)$$

그림 3.12는 유압제어봉의 위치에 따른 도어의 닫힘거동을 나타낸 것이다. 그림 3.12에서  $H_0$ 는 그림 3.11(b)에 나타난 바와 같이 문이 열렸을 때 피스톤바디 상부와 유압제어봉 상부의 위치 차이를 나타낸다. 즉,  $H_0$ 가 클수록 조정장치(control nob)를 많이 돌려 유압제어봉을 상부로 많이 이동시킨 조건에 해당한다. 그림 3.12에서  $H_0$ 가 클수록 도어가 더 빨리 닫히는 것을 알 수 있다. 이것은  $H_0$ 가 클수록, 유압제어봉과 피스톤바디 사이의 간극이 더 넓어지기 때문이다.

그림 3.12의 모든 경우에 문의 닫힘시간은 매우 느리다. 더 빠른 닫힘속도를 얻기 위한 방법은, 유압회로 내의 유압제어봉과 피스톤바디의 간극을 줄이는 방법과 스프링의 선각도( $\theta_0$ )를 조절하는 방법이 있다. 즉, 문의 완전히 닫혔을 때 도어가 일정한 닫힘력을 유지하도록 스프링을 일정 각도(선각도)만큼 돌려놓는 것이다. 이와 같이 스프링의 선각도를 0이상으로 하면, 도어 닫힘시 안정적으로 닫힐 수 있도록 할 수 있다. 그림 3.12는 스프링의 선각도를 0도로 한 경우이다. 그림 3.13은  $H_0$  13.7mm일 때, 스프링 선각도를 0도, 60도, 120도로 바꾸었을 때 도어의 닫힘 거동을 계산한 결과이다. 그림 3.13에서 스프링 선각도가 클수록 도어의 닫힘속도가 빨라지는 것을 알 수 있다.

그림 3.13은 작동유의 점도에 따른 도어의 닫힘 거동을 계산한 것이다. 그림 3.13은  $H_0$  13.7mm, 스프링 선각도 120도 일 때, 작동유의 점도를 0.0892kg/m·sec에서 0.138kg/m·sec로 바꾸었을 경우이다. 그림 3.13에서 유압회로 내 작동유의 점도가 클수록 도어의 닫힘속도가 줄어드는 것을 알 수 있다.

이상과 같이 유압회로 내 유압제어봉의 제원, 조정장치(control nob)의 위치, 스프링 선각도, 작동유 점도에 따라 도어의 닫힘거동을 계산할 수 있었다. 이와 같은 도어클로져 설계 변수에 따른 도어의 닫힘거동을 쉽게 계산할 수 있도록 C 언어를 이용한 프로그램을 작성하였다. 작성된 프로그램을 이용하여 설계변수들에 대한 도어의 닫힘거동을 쉽게 예측할 수 있었으며, 그 결과를 도어클로져 시제품 설계에 이용하였다.

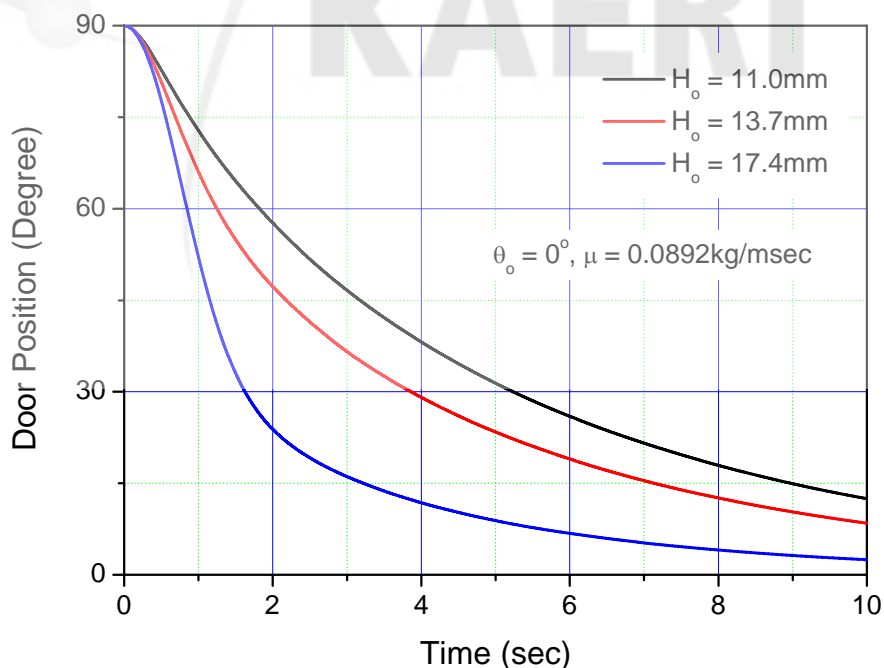


그림 3.12 유압제어봉 위치에 따른 도어 닫힘거동

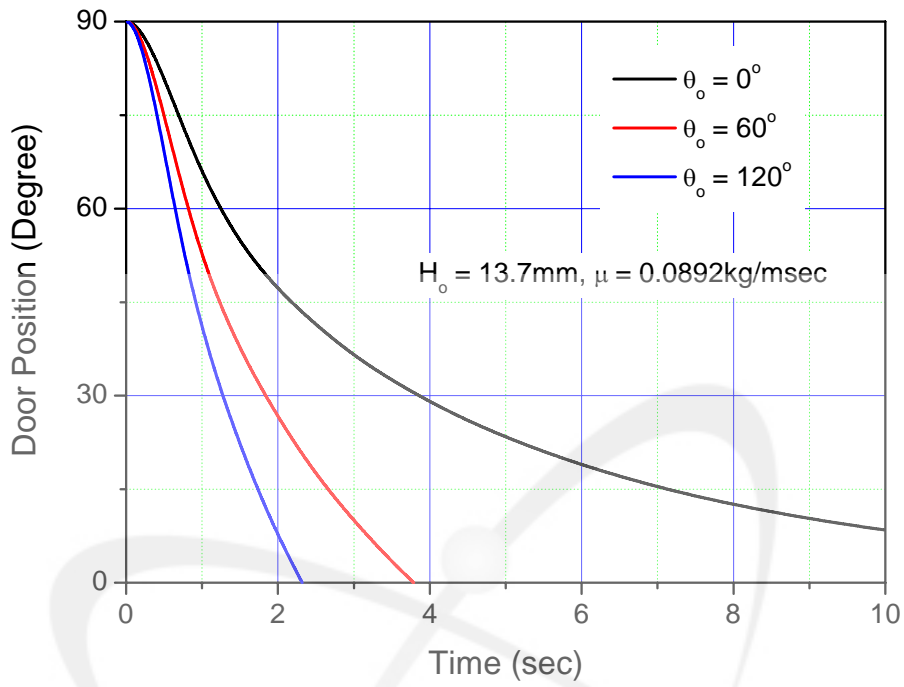


그림 3.13 스프링 선각도에 따른 도어 닫힘거동

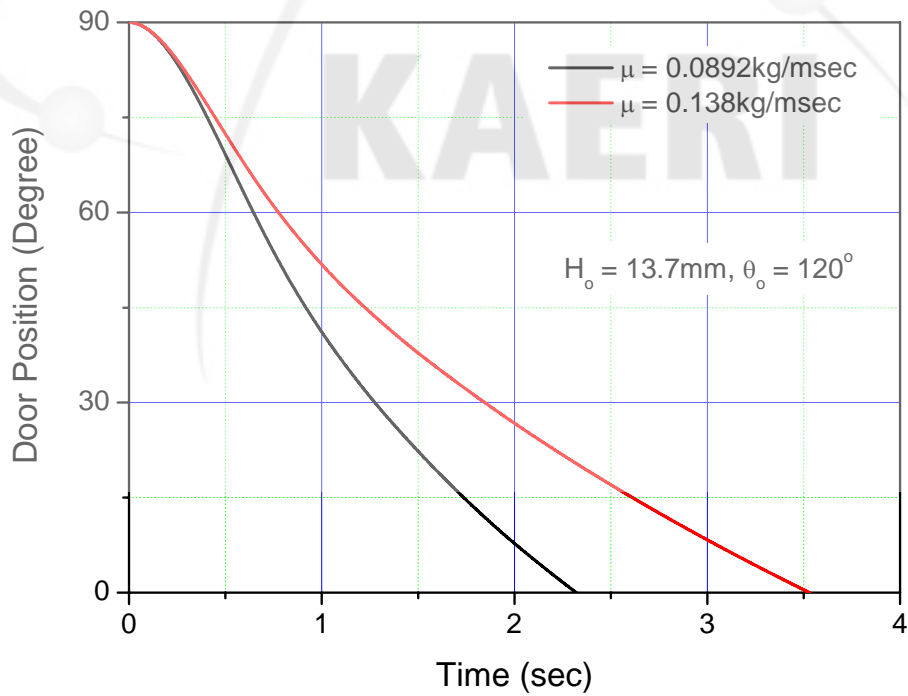


그림 3.14 작동유에 따른 도어 닫힘거동

## 라. 상용 전산코드를 이용한 유동장 해석

앞에서 기술한 도어클로저 내 유압회로의 해석기법은 피스톤바디와 유압제어봉 사이의 유로에 국한된 것이다. 그러므로 위의 해석에는 작동유가 존재하는 실린더 내의 유동해석 결과와 차이를 보일 수 있다. 따라서 상용 전산코드를 이용하여 유압제어봉과 유압제어봉을 포함한 전 실린더 내의 작동유 거동을 분석하여 위의 해석결과의 오차요인을 분석하고자 하였다.

그림 3.15는 도어클로저의 유압회로만을 확대한 그림으로, 문 닫힘 시에 도어클로저 유압회로의 유체의 흐름을 전산해석을 통하여 구하기 위하여 이 부분을 해석 영역으로 사용하였다. 그림 3.16은 도어클로저 유압회로에 대한 전산 수치해석을 위해 사용한 형상을 보여준다. 도어클로저 유압회로의 대칭성을 고려하여 2차원 축대칭으로 모의하였으며, 아래의 유압제어봉과 위쪽의 피스톤 사이의 환형 간극을 중심으로 좌우에 작동유의 실린더가 있다. 유압회로의 좌우에 위치한 실린더의 크기에 비하여 유압제어봉과 피스톤 사이의 환형으로 만들어진 유로의 간극이 매우 작은 반면 유체의 점성에 의한 속도구배가 저항력에 직접적으로 작용하기 때문에 매우 조밀한 격자를 사용하였으며, 유압회로 해석에 사용된 총 격자수는 82,541이다.

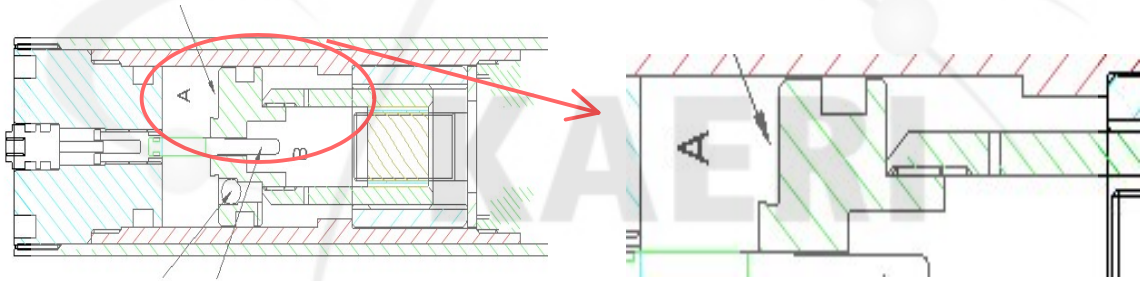


그림 3.15 도어클로저 유압회로

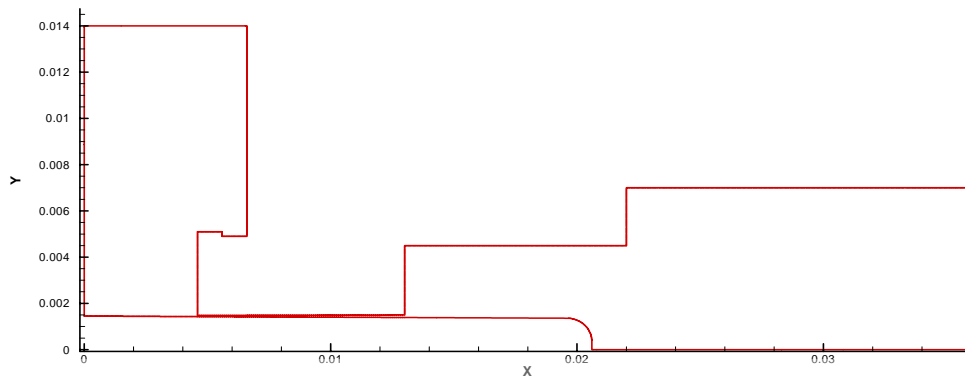


그림 3.16 도어클로저 유압회로 수치해석 영역

도어클로저 유압회로 내 유동장 해석은 상용 CFD 코드인 Fluent를 사용하였으며, 축대칭 2차원으로 해석을 수행하였다. Navier-Stokes 지배방정식의 대류항은 2차의 상류차분법을 사용하였으며, 압력은 SIMPLEC 알고리즘을 사용하여 해석하였다. 그림 3.17은 유압회로 내의 압력장을 보여주는 것으로 유압제어봉과 피스톤 사이의 환형 간극을 기준으로 좌우의 공간에서 매우 큰 압력 차이를 보이고 있다. 대부분의 압력구배는 좁은 환형의 유로에서 만들어지고 있음을 알 수 있다.

그림 3.18과 그림 3.19는 유압회로 내 속도장 및 유동장을 보여주는 것으로 유압제어봉과 피스톤바디 사이의 좁고 긴 환형의 유로에서 층류 형태의 속도가 발달되어 가는 것을 볼 수 있다. 피스톤의 이동 속도와 간극의 크기를 기준으로 한 작동유의 Reynolds 수는 약 10 근처의 값을 가지며, 피스톤의 선형 이동 속도에 비하여 간극에서의 최대 속도는 약 1800 배정도 큰 것으로 나타났다.

이상과 같은 유압회로 내부 유동의 상용전산해석을 통하여 유압회로 내에서 주요한 유동저항 역할을 하는 부분은 유압제어봉과 피스톤바디 사이의 공간임을 보였다. 따라서 유압제어봉과 피스톤바디 사이의 간극 내 유동에 기초한 본 유압회로 해석기법이 타당함을 확인하였다.

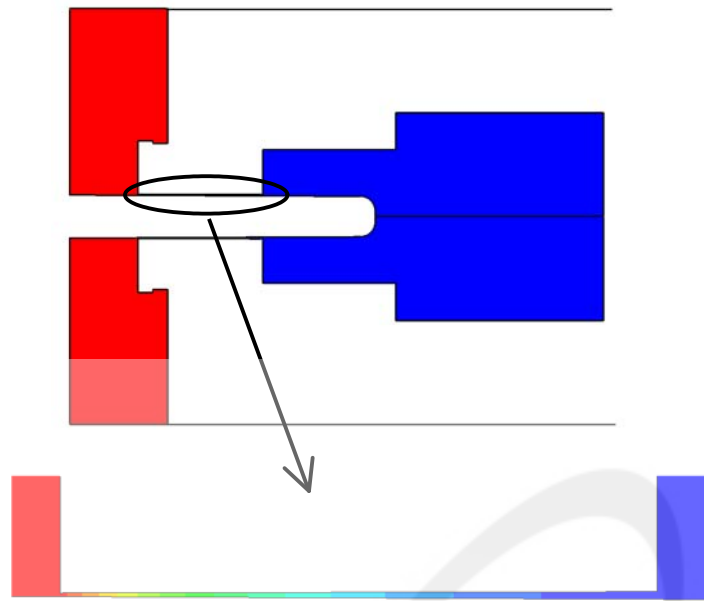


그림 3.17 도어클로저 유압회로 내 압력분포

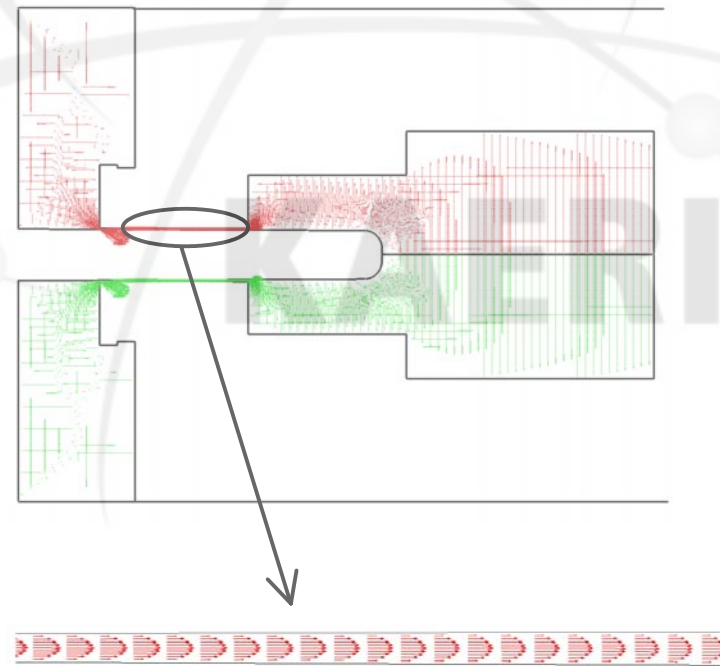


그림 3.18 도어클로저 유압회로 내 속도장



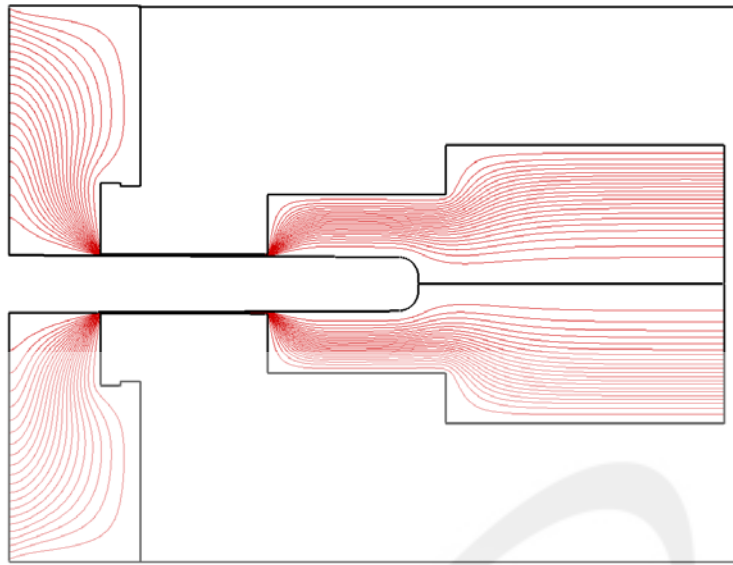


그림 3.19 도어클로저 유압회로 내 유동장(stream line)

KAERI

### 3. 대형 도어의 닫힘거동, 닫힘속도, 닫힘력 측정기술 개발

제2장 제2절 1, 2항에서 도어의 시간에 따른 닫힘거동을 유동장 해석을 통하여 구할 수 있는 기법을 개발하였다. 이와 같은 해석결과를 실제 도어클로저의 설계에 응용하기 위해서는 실험적 검증방법이 필요하다. 즉, 도어의 닫힘거동을 실시간으로 측정하고, 닫힘속도 및 닫힘력을 분석하기 위한 실험기법이 필요하다.

일반적으로 상용 도어클로저의 닫힘력 측정방법은 한국표준심의회에서 발간한 KS F2806을 따른다. KS F2806에 따르면, 도어의 닫힘력은 스프링 게이지와 같은 힘 측정 센서를 시험용 도어의 일정 위치에 걸고, 열림각도 약  $20^\circ$  정도에서 천천히 도어를 닫으면서, 시험용 도어가 열림각도  $5\pm 1^\circ$  를 통과할 때의 힘을 읽은 후 환산하여 구한다. 또한 닫힘속도는 시험용 도어가 열림 각도 약  $70^\circ$  에서 완전히 닫힐 때까지 걸린 시간을 측정하여 정한다. 그러나 이와 같은 닫힘력 및 닫힘속도 측정방법은 도어의 실제 닫힘 상태를 평가하기에는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 도어의 각도에 따른 닫힘거동, 닫힘속도 및 닫힘력을 측정하는 기술을 개발하였다.

#### 가. KS F 2806의 주요 내용

일반적으로 기존 상용 도어클로저에 대한 성능시험은 한국산업규격 KS F2806 “플로어 힌지 및 도어클로저의 여닫기 시험 방법”(산업표준심의회 심의, 2002년 12월 19일 개정, 한국표준협회 발행)을 따른다. 그 내용을 정리하면 다음과 같다.

1) 적용 범위: 이 규격은 금속재 용수철과 완충유의 조합 작용으로, 도어가 자동적으로 닫히는 플로어 힌지 및 도어클로저 등의 여닫기 시험 방법에 대하여 규정한다.

2) 인용 규격: 다음에 나타내는 규격은 이 규격에 인용됨으로써 이규격의 규정 일부를 구성한다. 이러한 인용 규격은 그 최신판을 적용한다.

3) 시험의 종류: 시험의 종류는 초기 성능 시험 및 내구 시험으로 하며, 다시 초기 성능 시험은 열리는 힘 시험, 닫히는 힘 시험, 닫히는 힘 속도 시험, 정지력 시험, 도어 폐쇄 위치 시험 및 작동 온도 범위 시험으로 한다.

#### 4) 시험 방법

가) 여닫기 시험 장치 여닫기 시험에 사용하는 장치는 그림 3.20과 같은 구조로 하고, 플로어 힌지, 도어클로저 등의 종류에 대응하는 표 3.4의 시험용 도어, 이것을 여닫는 동력, 여닫기 횟수 측정계 및 각도를 표시하는 측정판을 장치하고, 용수철 저울(용수철 저울은 국가 검정의

용수철식 지시저울(직선눈금)로 하고, 측정하는 최대하중이 그 용량의 15%-85%에 상당하는 것을 사용한다.) 등의 측정계기를 갖춘 것으로 한다. 다만, 도어클로저에서 시험용 도어는 임의의 열림 각도에서 회전 저항이 1.0N·m 이하이어야 한다.

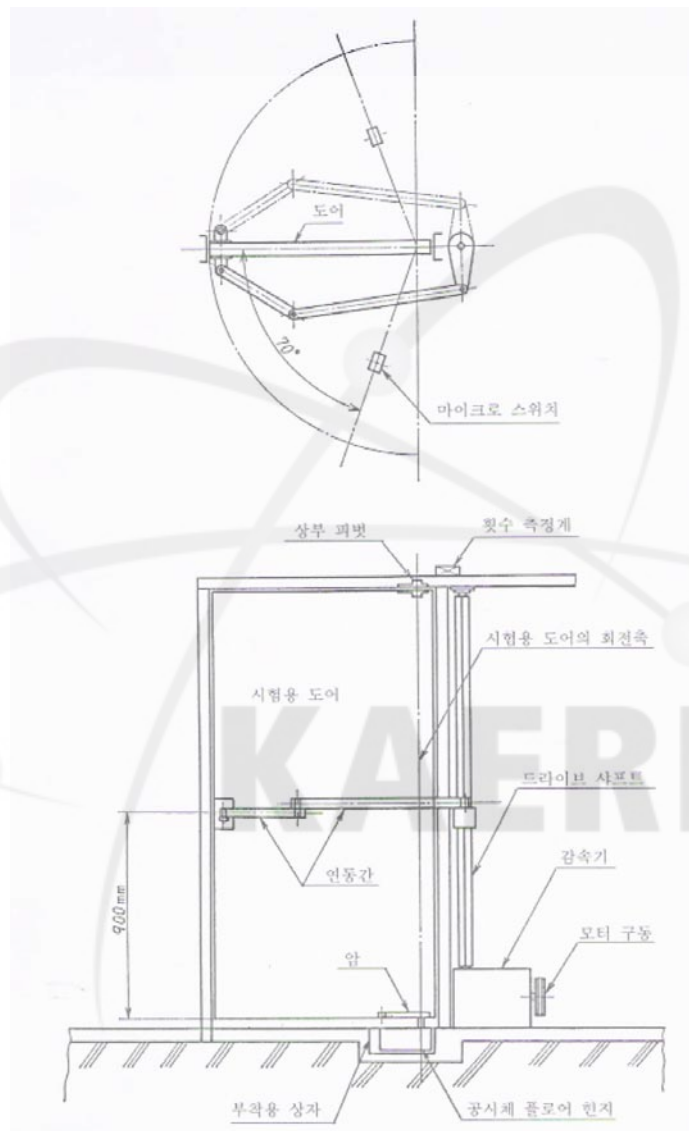


그림 3.20 플로어 힌지를 설치한 경우 (KS F2806)

표 3.4 시험용 도어의 형태 (KS F2806)

나비 mm	높이 mm	질량 kg
900	2000	25
		40
		60
		80
		100

나) 공시체의 설치 공시체는 종류에 대응한 설치 방법에 따라 시험용 도어에 설치한다. 다만, 플로어 힌지의 경우는 시험용 도어의 상하 회전축 중심이 동일 연직상이 되도록 설치한다.

다) 힘의 측정 방법: 라) 및 마)의 시험에서의 열리는 힘, 닫히는 힘 및 정지 유지력의 측정은 시험용 도어의 손잡이쪽, 또한 하단에서 900mm인 위치에 용수철 저울을 걸고, 용수철 저울을 시험용 도어의 면에 수직으로 유지하여 측정한다. 이 때, 공시체의 속도 조정 밸브는 전부 열려 있는 상태로 한다. 측정은 3회 연속하여 하고, 그 평균값을 취한다.

라) 초기 성능 시험 초기 성능 시험은 상온에서 한다. 다만, 닫히는 속도 시험은  $25^{\circ}\text{C} \pm 5\text{K}$ 에서 한다.

- 열리는 힘 시험: 완전히 닫힌 상태의 시험용 도어에서 용수철 저울을 당기면서 용수철 저울의 눈금을 충분히 읽을 수 있을 정도의 속도로 천천히 연다. 시험용 도어가 열림 각도  $5 \pm 1^{\circ}$ 를 통과할 때의 열리는 힘을  $\text{N} \cdot \text{m}$ 로 표시한다.
- 닫히는 힘 시험: 시험용 도어를 열림 각도 약  $20^{\circ}$  정도에서 열린 용수철 저울의 눈금을 충분히 읽을 수 있는 정도의 속도로 천천히 닫는다. 시험용 도어가 열림 각도  $5 \pm 1^{\circ}$ 를 통과할 때의 닫히는 힘을  $\text{N} \cdot \text{m}$ 로 표시한다.
- 닫히는 속도 시험: 시험용 도어를 열림 각도 약  $70^{\circ}$ 에서 완전히 닫힐 때까지의 닫히는 속도를 최대, 최소 및 적정 속도로 조정하고, 각각의 닫히는 소요 시간을 3회 이상 연속 실시하여 그 평균값을 최소 단위로 표시한다.
- 정지력 시험: 정지 장치가 붙은 것에서는 정지시키는 경우와 개방하는 경우의 힘을 용수철 저울로 측정하고, 이때에 소요되는 힘을  $\text{N} \cdot \text{m}$ 로 표시한다.
- 도어 폐쇄 위치 시험: 시험용 도어를 좌우 각각 약  $70^{\circ}$  열고 적정 속도로 조정하여 공시체의 작동에 의해 폐쇄된 위치에 굽은 곳이 없는지를 확인한다. 이 경우, 도어의 축심으로부터 1m 위치에서 도어의 정지 위치의 오차를 측정하여 mm단위로 표시한다. 다만, 이 시험은 양 자유플로어 힌지에 대하여 한다.

- 작동 온도 범위 시험: 완충유의 유동점을 KS M2016의 따라 측정하고 °C로 표시한다.

마) 내구 시험 시험용 도어를 통상의 속도에서완전 닫힘으로부터 열림 각도 70° 이상까지 동안을 연속 반복하여 여닫기를 한다. 이 경우, 열 때는 전동기 등의 동력에 의하여 하고, 닫을 때는 공시체의 닫히는 힘에 의한다. 한 번의 여닫는 힘을 1회로 하여, 플로어 힌지인 경우는 40만 회, 도어클로저인 경우는 20만 회를 기준 횟수로 한다. 반복 여닫기 시험 후 열리는 힘, 닫히는 힘, 닫히는 속도 및 도어 폐쇄 위치 시험을 하여 초기 성능과의 차이를 구한다.

5) 결과의 표시 다음 사항을 표시한다.

- 가) 시험의 종류 및 그 결과
- 나) 플로어 힌지, 도어클로저 등의 명칭, 종류
- 다) 제조자 명

#### 나. 닫힘거동, 닫힘속도 및 닫힘력 측정방법 개발

앞서 개발한 도어의 닫힘거동에 관한 해석결과를 검증하고, 실제 도어클로저의 설계에 응용 및 평가하기 위해서 도어의 시간에 따른 닫힘거동, 닫힘력 및 닫힘속도를 측정하는 방법을 개발하였다.



그림 3.21 도어 닫힘거동 측정장치 개요도

그림 3.21은 실시간으로 도어의 닫힘거동을 측정하기 위한 측정장치의 구조도이다.

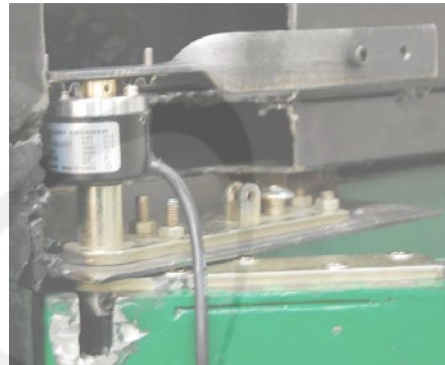
즉 본 연구에서는 로터리 엔코더(rotary encorder), 데이터저장장치(DAS, Data Acquisition System), 컴퓨터를 이용하여 비교적 쉽고 저렴하게 도어의 닫힘거동을 측정하는 방법을 개발하였다. 사용된 엔코더는 로터리 엔코더로서 회전체의 회전수를 검증 및 보정하기 위한 장치이

다. 엔코더는 좁은 공간에 설치가 가능하고, 축의 관성모멘트가 적으며, 입력전압 및 출력방식이 비교적 다양하게 선정할 수 있다. 엔코더는 1회의 축회전 당 일정수의 펄스신호가 나오도록 되어있다. 따라서 엔코더를 도어의 회전축에 설치하면, 도어의 단힘시 일정수의 펄스를 얻을 수 있다. 엔코더에서 출력된 펄스를 데이터 저장장치를 통하여 실시간으로 계측함으로써, 도어의 시간에 따른 위치를 측정하였다. 데이터 저장장치를 통해 측정된 신호를 컴퓨터에 저장한다.

본 연구에서 사용된 측정장치의 사양은 표 3.5와 같다. 엔코더의 분해능(1회 축회전당 펄스 수)은 5000, 360 pulses/revolution 두 종류를 사용하였다. 도어의 열림과 닫힘은 90도에서 이루어지므로 도어가 닫힐 때, 각 엔코더에서는 분해능의 1/4에 해당하는 신호가 출력된다. 사용된 DAS는 400kS/s의 sample rate 를 가지고 있으므로, 5000 pulses/revolution 의 엔코더를 사용하여, 도어가 약 0.01초만에 완전히 닫힐 경우에도 측정이 가능하다. 또한 DAS 자체에 5VDC 출력전원이 있으므로 엔코더를 위한 별도의 입력전원장치가 필요하지 않았다.

표 3.5 도어 닫힘거동 측정장치 사양

품 명	사 양	제조사(모델명)
Rotary Encoder	중공축형, 축내경 10mm, 분해능 5000pulses/revolution, Totem Pole 출력, 입력 5VDC	Autonics (E40H10-5000-3-T-5)
	중공축형, 축내경10mm, 분해능 360pulses/revolution, 전압 출력, 입력 5VDC	Autonics (E40H10-360-3-V-5)
DAS	Channel 수 16SE/8DI Sample rate 400kS/s Resolution 16bits Max. voltage range -10..10V Min. voltage range -200..200mV +5V power output	National Instruments (USB-6212)



(a) 도어와 엔코더 (b) 엔코더 상세도



(c) 컴퓨터와 Signal conditioner

그림 3.22 도어 닫힘거동 측정장치 사진

그림 3.22는 도어의 닫힘거동 측정장치를 실제 구현한 것이다. 그림 3.22(a)와 같이 도어의 상부축에 엔코더를 부착하였으며, DAS를 내장한 signal conditioner를 제작하여, 실제 실험에서 편리하게 사용하도록 하였다. 자체 제작한 signal conditioner는 2개의 엔코더 신호를 동시에 측정할 수 있다.

개발된 도어의 닫힘거동 측정장치를 이용한 실험방법은 다음과 같다.

- 시험용 도어에 엔코더를 설치한다.
- 엔코더의 신호선을 signal conditioner의 입력측 단자에 연결한다.
- Signal conditioner의 출력신호선을 컴퓨터의 USB 단자에 연결한다.
- 시험용 도어를 90도 열고, 닫힐 때까지의 개략적인 시간을 초시계로 측정한다.
- DAS 프로그램(NI, Measurement & Animation Explorer)을 실행한다.
- DAS 프로그램에서 sampling rate와 samples to read를 앞서 문의 닫힘시간에 맞게 설정하고, 저장할 파일 위치 및 이름을 입력한다.
- 문을 90도만큼 열고 고정한다.
- DAS 프로그램에서 측정시작을 실행한다.
- 문을 닫는다.

엔코더의 출력은 하나의 펄스신호 당 A, B, C 상으로 분리되어 출력되는데, 본 연구에서는 A상의 신호를 측정하였다. 이때 처음 펄스신호에서 발생하는 B상의 신호를 DAS의 trigger 신호로 사용하였으므로, 문을 90도 만큼 연 상태에서 DAS 프로그램 상의 측정시작을 실행하면, 문이 닫히기 시작할 때부터 자동적으로 엔코더의 출력신호를 측정하게 된다.

그림 3.23은 도어 닫힘거동 측정장치를 이용한 전형적인 엔코더 출력신호이다. 측정조건은 360pulse/revolution을 가진 E40H10-360-3-V-5 엔코더를 이용하였으며, DAS의 sample rate는 5000S/s 였다. 그림 3.23에서 도어의 일정 각 위치 간격으로 약 4.5V의 엔코더 펄스신호가 뚜렷이 구분됨을 알 수 있다. 그림 3.23의 엔코더 펄스신호를 시간에 따라 구분하면, 그림 3.24와 같이 시간에 따른 도어의 닫힘거동을 알 수 있다. 즉, 도어의 위치( $\theta$ , rad)는 도어의 초기위치 (90도), 엔코더의 분해능( $E_r$ , pulses/revolution), 펄스신호 순서( $n$ )를 이용하여 식(3.24)와 같이 계산할 수 있다.

$$\theta = \frac{\pi}{2} - \frac{2\pi}{E_r}(n-1) \quad (3.24)$$



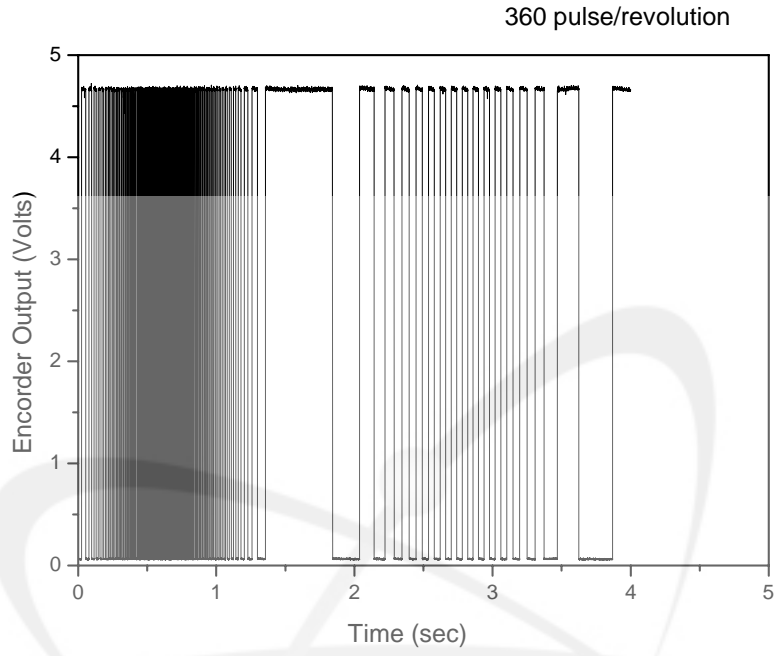


그림 3.23 엔코더 출력신호(5000S/s)

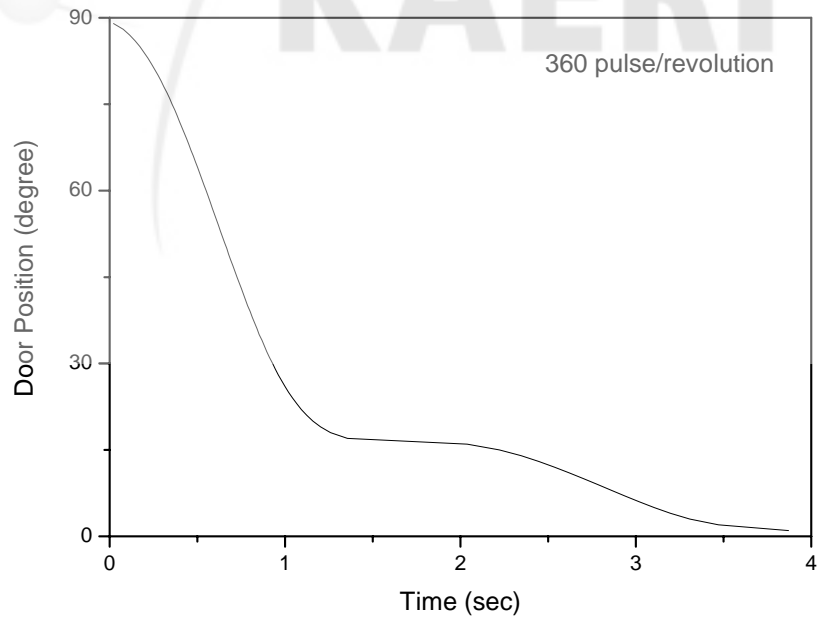


그림 3.24 시간에 따른 도어의 닫힘 거동

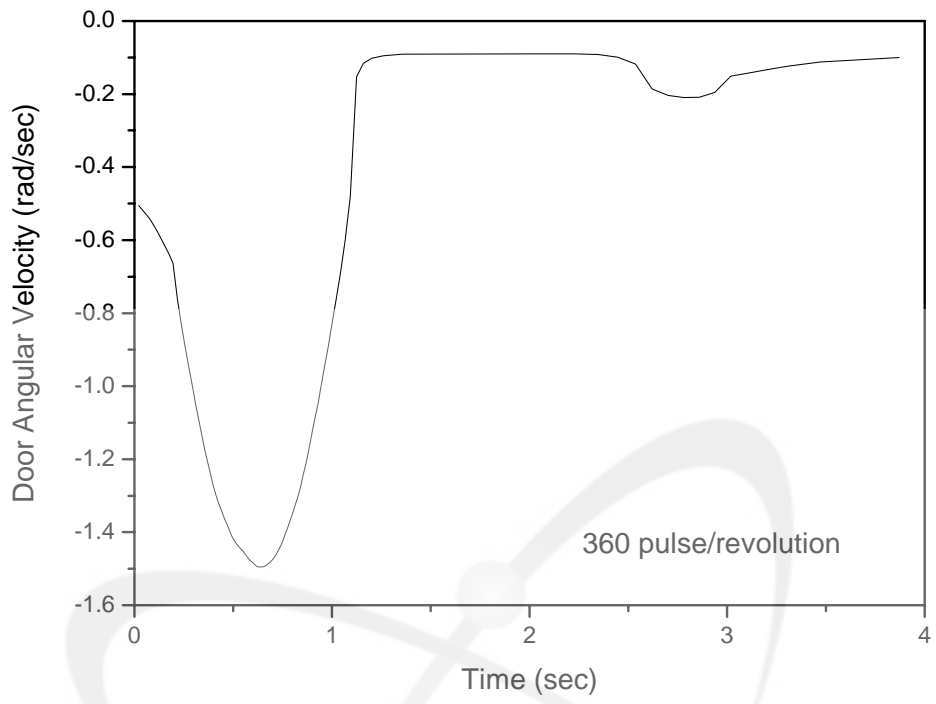


그림 3.25 시간에 따른 도어의 닫힘속도

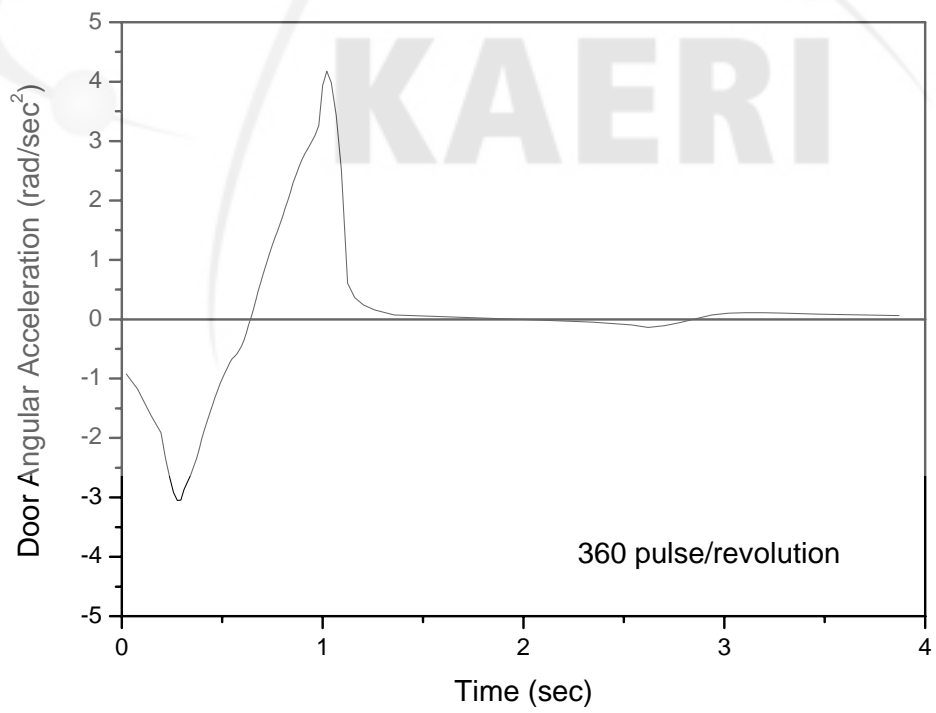


그림 3.26 시간에 따른 도어의 각가속도

문이 닫힐 때까지 90도 회전하고, 본 실험에 사용한 엔코더가 360 pulses/revolution의 분해능을 가진 것을 감안하면 90개의 펄스신호가 발생한다. 본 실험에서는 89개의 펄스신호를 얻었다. 그림 3.24를 보면 도어가 시간에 따라 어떠한 위치에 있으며, 어떤 거동을 하는 지 명확히 알 수 있다. 즉, 도어가 초기에는 빠른 속도로 닫히다가 약간 멈춘 후 다시 닫히는 것을 확인할 수 있다.

그림 3.24의 도어 닫힘거동을 시간에 따라 미분하면 도어의 닫힘속도 $[\dot{\theta}(t)]$ 를 그림 3.25와 같이 얻을 수 있다. 그림 3.25는 주어진 시간에서 5개의 도어 위치값을 최소자승법(least-square-fitting method)을 이용하여 선형식으로 근사한 후 그 기울기를 닫힘속도로 계산한 것이다. 이와 같은 방법을 이용하여 시간에 따른 미분에 의한 오차를 줄일 수 있었다. 그림 3.25를 보면 문이 열린 상태에서 문을 놓으면, 초기에 도어의 속도가 점차 증가 및 감소하다가 약 1.2초 정도에서 도어의 속도가 최소가 되며, 문이 완전히 닫히기 직전인 2.5초 부근에서 다시 속도가 증가하는 것을 알 수 있다. 그림 3.25에서 도어의 닫힘속도가 음수인 것은 도어의 좌표축을 열리는 방향을 양의 방향을 정했기 때문이다.

그림 3.25의 도어 닫힘속도를 시간에 따라 미분하면 도어의 각가속도 $[\ddot{\theta}(t)]$ 를 그림 3.26과 같이 얻을 수 있다. 그림 3.26은 주어진 시간에서 5개의 도어 닫힘속도를 최소자승법(least-square-fitting method)을 이용하여 선형식으로 근사한 후 그 기울기를 각가속도로 계산한 것이다.

도어의 닫힘력은 식(3.25)와 같이 도어의 관성모멘트와 각속도의 곱으로 표현할 수 있다.

$$\tau = I\alpha = I \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (3.25)$$

식(3.25)에서  $\tau$ 는 도어의 닫힘력(N·m),  $I$ 는 관성모멘트(kg·m<sup>2</sup>),  $\alpha$ 는 각가속도(rad/sec<sup>2</sup>),  $\theta$ 는 도어의 각도(rad)를 각각 나타낸다. 즉, 식(3.1)에 의하면, 도어의 각도에 따른 닫힘력은 도어의 각가속도를 이용하여 구할 수 있다.

그림 3.27은 그림 3.26의 각가속도 측정결과와, 식(3.25)를 이용하여 계산한 도어의 시간에 따른 닫힘력을 나타낸 것이다. 관성모멘트는 17.3kg·m<sup>2</sup> 값을 사용하였다. 그림 3.27을 보면, 도어가 열려진 초기상태에서 정지해 있으므로 도어가 닫힘에 따라 도어가 닫히는 방향(-부호)으로 힘이 작용하다가, 도어 속도가 감소하면서 도어에 반대방향(+부호)으로 힘이 작용하는 것을 알 수 있다. 초기 도어의 운동은 비틀림 스프링 상수에 의한 복원력이 주를 이루며, 문의

속도가 빨라짐에 따라 유압회로가 작동하여 유압회로 내 저항력이 우세해 지는 것이다. 본 실험에서는 79도에서  $-53\text{N}\cdot\text{m}$ , 25도에서  $72\text{N}\cdot\text{m}$ 의 최대 닫힘력이 나타났다.

그림 3.27과 같이 도어가 닫힐 경우 도어는 매우 동적인(dynamic) 거동을 나타낸다. 즉, 도어클로저 내부의 스프링의 복원력과 유압회로의 도어속도에 따른 저항력의 차이가 도어의 운동을 결정하는 것이다. 기존의 표준화된 KS F2806 시험법은 도어를 천천히 닫으면서 힘 측정 센서를 문에 부착하여 측정하는 정적인(static) 측정법이라 할 수 있다. 즉, 기존 측정법은 도어클로저 내 스프링 복원력이 주를 이루는 상황에서의 닫힘력을 측정한다고 할 수 있다. 그림 3.27에서 KS F2806 방법으로 측정된 도어의 닫힘력은 실제 도어의 닫힘조건에서의 닫힘력과 큰 차이를 보이고 있다. 따라서 이러한 방법은 동적인 거동을 보이는 도어클로저의 성능을 정확히 평가하는데 한계가 있다. 본 연구에서 개발한 도어의 닫힘거동, 닫힘속도, 닫힘력을 측정하는 기법은 도어클로저의 성능을 정확히 평가할 수 있는 중요한 도구가 될 것이다.

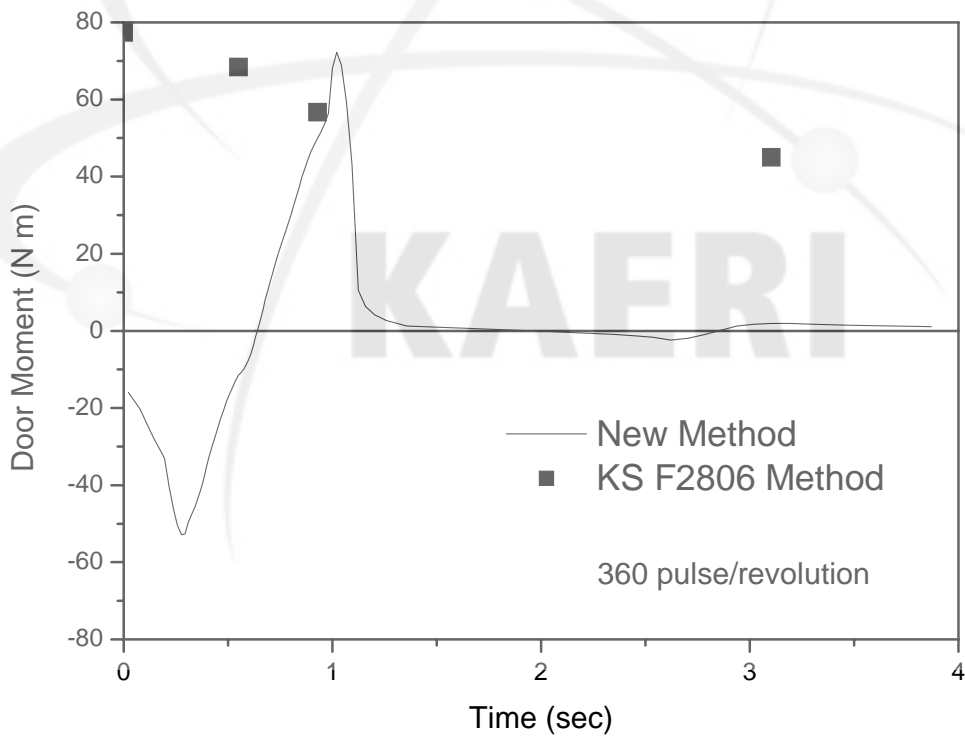


그림 3.27 시간에 따른 도어의 닫힘력

#### 4. 대형 도어클로저의 유압 작동 메커니즘 분석 및 실증 실험

도어클로저 내 유압회로 해석 결과와 각도에 따른 도어거동, 단힘속도 및 단힘력 측정 결과를 바탕으로 유압회로 내 작동 메커니즘을 분석하고, 이를 대형 도어클로저 설계에 적용하였다.

##### 가. 시작품 제작

대형 도어클로저의 설계에 따른 시작품을 제작하고, 성능시험을 수행하였다. 각 시작품의 제작목표, 사양 및 용도는 표3.6과 같다.

표 3.6 시작품 제작 목표, 사양 및 용도

시작품 번호	목표	사양	용도
1	기초자료생성	소형 도어내장형 도어클로저 부품기준제작	기존 부품의 적용성 평가
2	단힘력 증가 방안	유로와 유량제어봉의 간극조절 (I)	유로와 유량제어봉 간의 간극조절 영향 평가
3		유로와 유량제어봉의 간극조절 (I)	
4		작동유 변경	작동유 영향 평가
5	최적화 방안	최적 탄성부재 (I), 간극, 작동유	탄성부재 특성 및 최적화 평가
6		최적 탄성부재 (II), 간극, 작동유	

대형 도어클로저 시작품의 전체 조립도는 그림 3.25와 같다.

그림 3.29-38은 최종 6차 시작품에 대한 하우징 및 샤프트, 상부캡, 실린더 헤드, 조정볼트, 유압조절 막대, SCREW, 실린더, 장력 조절체의 구조를 나타낸다. 각 부분의 재질 및 규격은 다음과 같다.

- 하우징 재질 및 구조 : STKM11A, 외경 38mm, 길이 560mm, 원통형
- 샤프트 재질 및 구조 : SCM415, 외경 14mm, 길이 500mm, 원봉형
- 상부캡 재질 : S45C
- 실린더 헤드 재질 : SMF4030

- 조정볼트 재질 : SMF4030
- 유압조절 막대 재질 : SMF4030
- SCREW 재질 : S 20C
- 실린더 재질 : STKM11A
- 실린더 구조 : 외경 33.8mm, 길이 98.2mm, 원통형
- 하부캡 재질 : STKM11A
- 하부캡 구조 : 외경 30mm, 길이 13mm, 원통형
- 스프링 재료두께 : □6.5×6.0mm
- 스프링 총길이 : 200mm
- 스프링 권수 : 25 1/2
- 스프링 감김 방향 : 왼쪽
- 장력 조절체 재질 : SCM415

힌지의 구조는 그림 3.39와 같다. 힌지는 문과 문틀을 연결하는 역할을 하며, 문틀 상부 힌지, 도어 상부 힌지, 도어 하부 힌지, 문틀 하부 힌지로 나뉜다.

그림 3.40은 제작된 6차 시작용품의 분해부품의 사진이다.

도어내장형 도어클로저 시작용품을 장착하여 성능검사를 수행하기 위해 도어클로저 장착용 시험도어 및 힌지를 제작하였다. 시험도어는 하중 60 kgf, 치수 0.93m×2.0m×0.04m, 회전저항 0.05kgf·m, 힌지축에서 손잡이까지 거리 0.9m로서 성능검사 기준을 만족하도록 하였다.

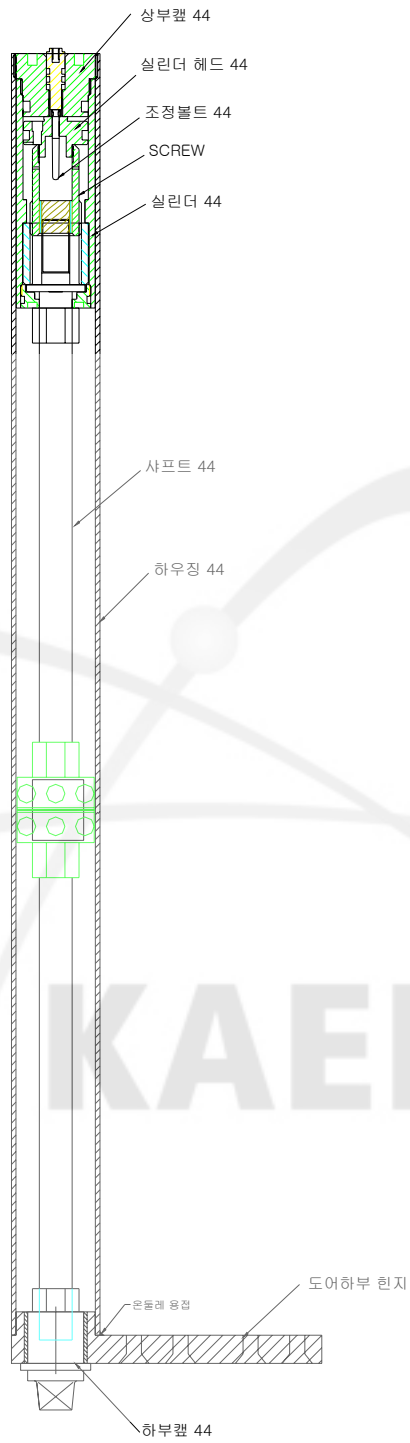


그림 3.28 대형 도어클로저 시작용 조립도

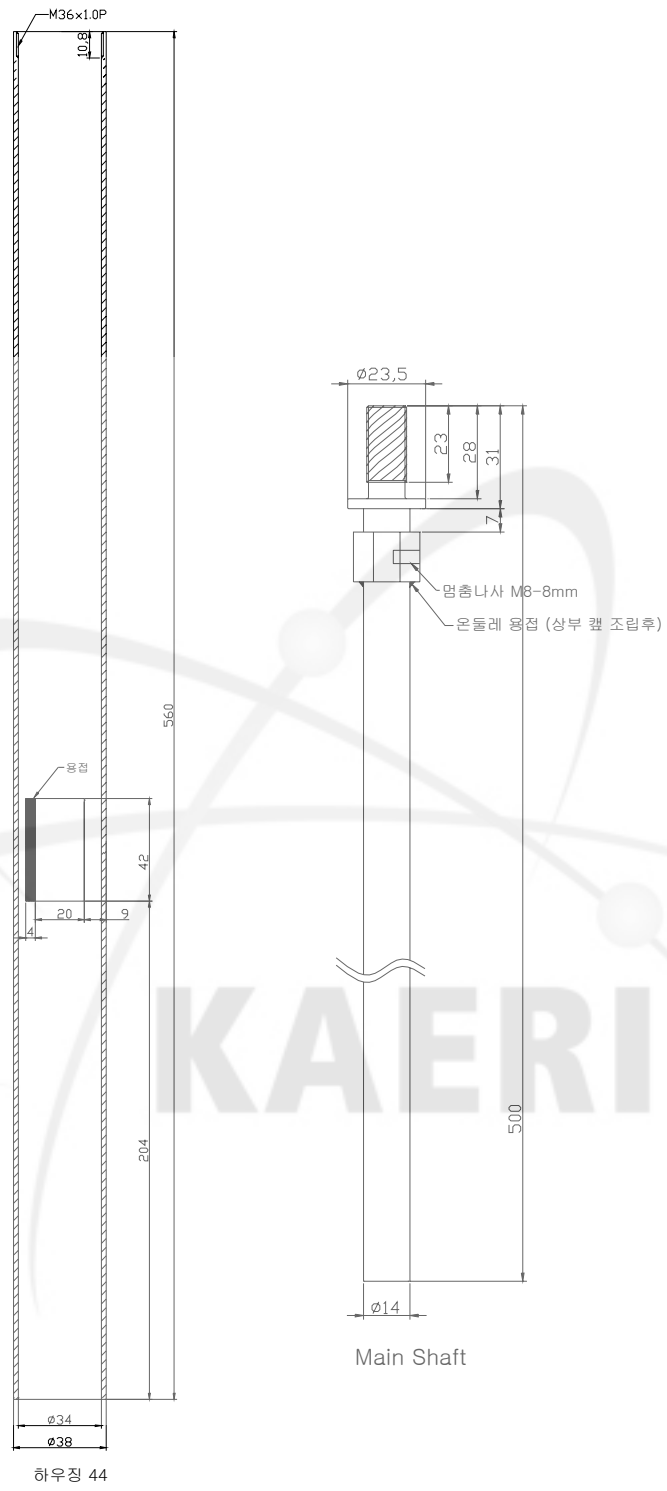


그림 3.29 하우징 및 샤프트



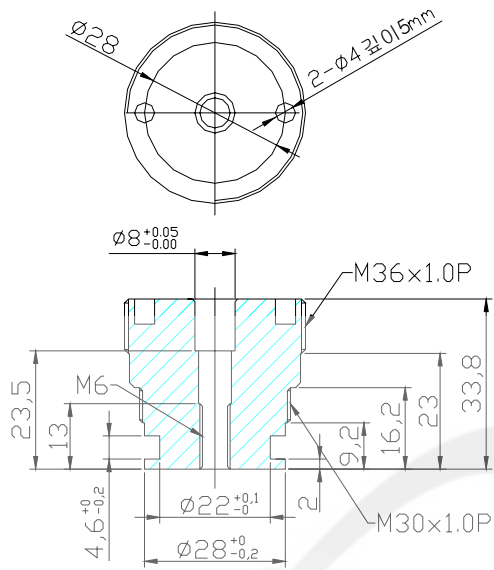


그림 3.30 상부캡

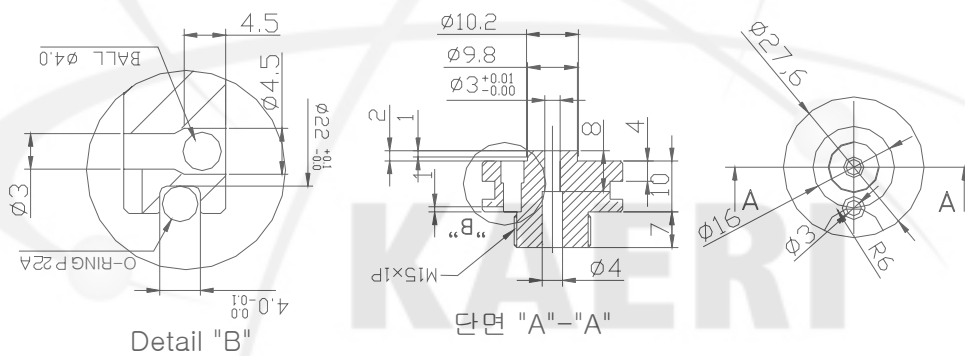


그림 3.31 실린더 헤드

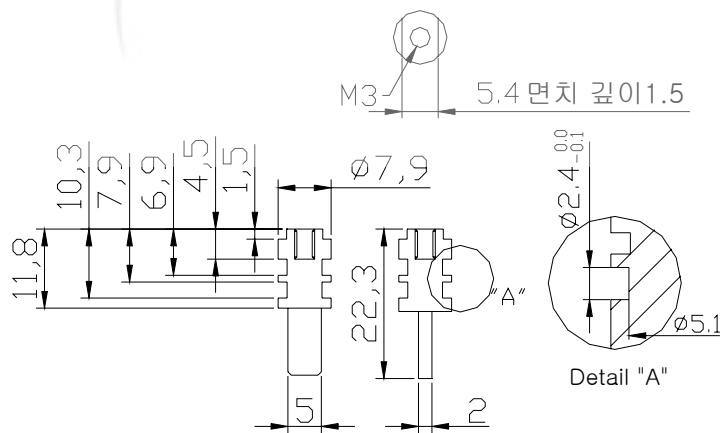


그림 3.32 조정볼트

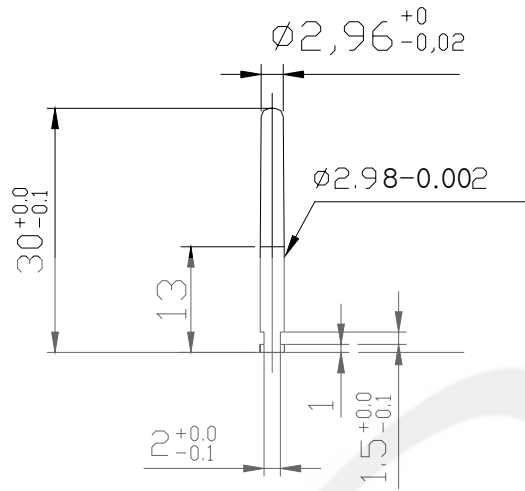
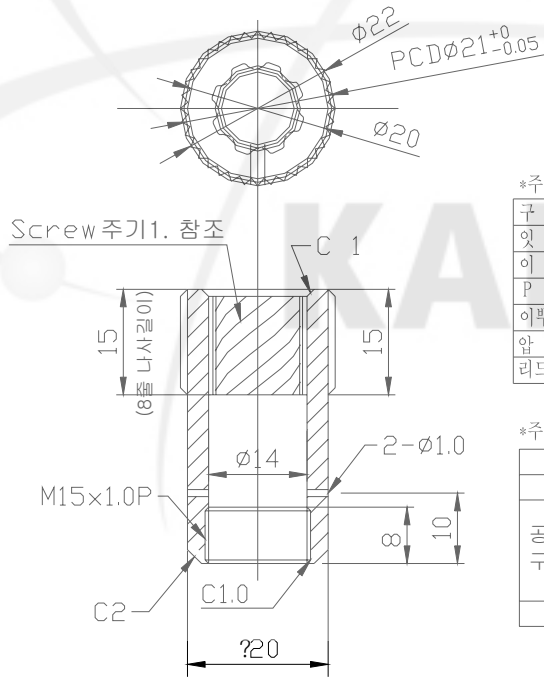


그림 3.33 유압제어봉



\*주 기 1.

구 분	A	B
잇 수	8 (왼나사)	8 (오른나사)
이 끝 원	φ11.288	φ11.288
P C D	φ12.144	φ12.144
이뿌리원	φ13.384	φ13.384
압 력 각	25°	25°
리드거리	32	32

\*주 기 2.

세레이션요목표		
기어 치형	표준	
구 영	치형	병치
	모듈	0.58
	잇수	36
	피치원경	φ21
압력각	20°	

그림 3.34 Screw

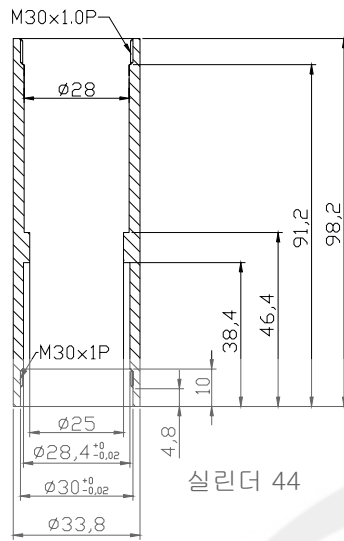


그림 3.35 실린더

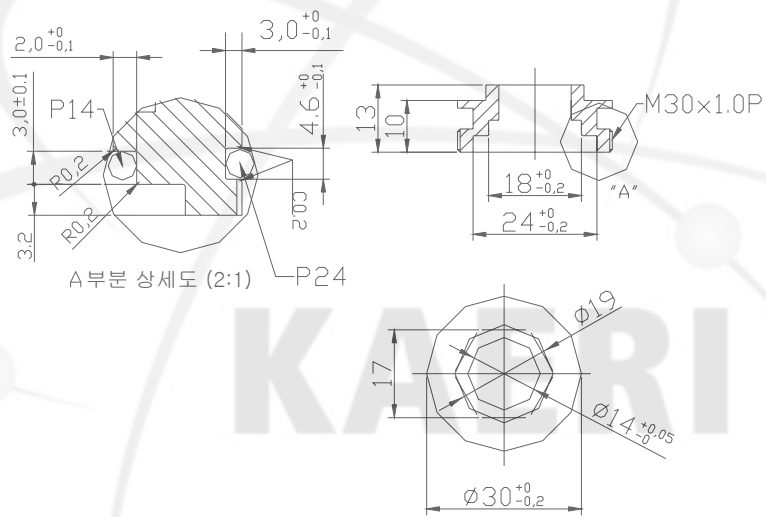


그림 3.36 하부캡

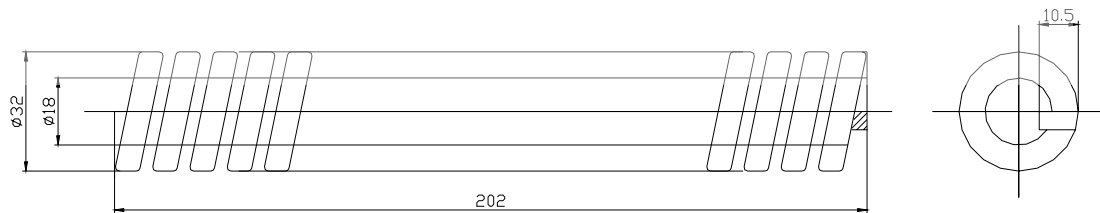


그림 3.37 비틀림 스프링

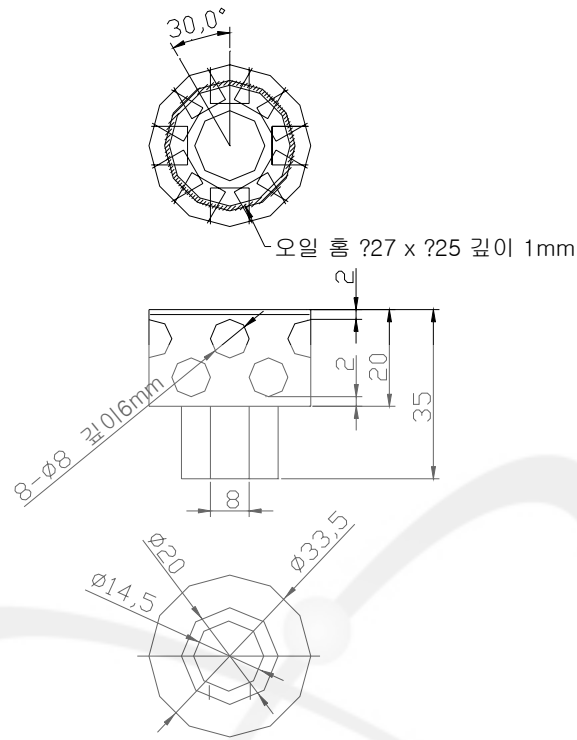


그림 3.38 장력 조절체

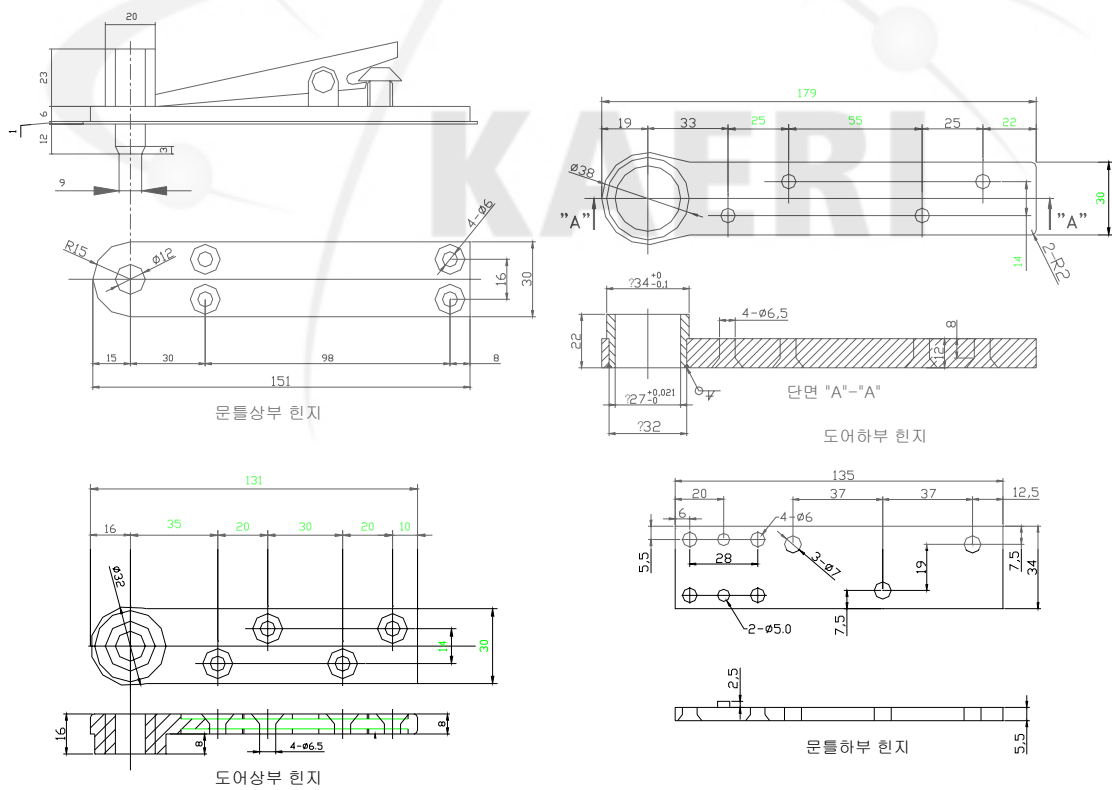


그림 3.39 힌지



그림 3.40 6차 시작품 분해도(사진)

## 나. 시작품 성능시험 방법

도어클로저 시작품에 대한 성능시험은 한국산업규격 KS F2806 “플로어 힌지 및 도어클로저의 여닫기 시험 방법”(산업표준심의회 심의, 2002년 12월 19일 개정, 한국표준협회 발행)을 따라 도어의 열림력, 단힘력, 단힘속도를 시험방법을 정하여 수행하였다. 내구성 시험은 지난 2006년도 산학연 공동기술개발 사업을 통해 제작된 내구성 시험장치를 개조하여 수행하였다.

### 1) 열림력 시험 방법

- ① 완전히 닫힌 상태의 시험용 도어에서 용수철 저울을 천천히 당긴다. (속도: 1°/sec)
- ② 시험용 도어가 열림각도  $5 \pm 1^\circ$  를 통과할 때의 열림력을 읽는다.
  - 측정된 값의 기록단위는 N·m로 환산한다.
  - 도어클로저의 속도조정밸브는 전부 열어 놓은 상태에서 상온에서 시험 실시.
  - 측정은 3회 연속하여 실시하고, 그 평균치를 취함.

- 열림력 측정은 시험용 도어의 손잡이쪽, 또한 하단에서 위로 900mm 인 위치에 용수철 저울을 걸고, 용수철 저울을 시험용 도어의 수직으로 하여 측정.
- 시험용 도어의 임의의 열림 각도에서의 회전 저항은 0.1kgf·m(0.981 N·m) 이하일 것.

## 2) 단힘력 시험 방법

- ① 시험용 도어를 열림각도 약 20° 정도에서 천천히 닫는다. (속도: 1°/sec)
- ② 시험용 도어가 열림각도 5±1° 를 통과할 때의 단힘력을 읽는다.
  - 계측된 값의 기록 단위는 N·m로 환산한다.
  - 속도조정밸브는 전부 열어 놓은 상태에서 상온에서 시험 실시.
  - 측정은 3회 연속하여 실시하고, 그 평균치를 취함.
  - 단힘력 측정은 시험용 도어의 손잡이쪽, 또한 하단에서 위로 900mm 인 위치에
  - 용수철 저울을 걸고, 용수철 저울을 시험용 도어의 수직으로 하여 측정.
  - 시험용 도어의 임의의 열림각도에서의 회전 저항은 0.1kgf·m(0.981 N·m)이하일 것.

## 3) 단힘속도 측정 시험 방법

### 최대시간 시험

- ① 시험용 도어의 열림각도를 약 70°에서 완전히 닫힐 때까지의 최소 속도로 조정한다.
- ② 닫히는 소요시간을 3회 이상 연속 실시하여, 그 평균값을 초단위로 기록한다.
- ③ 최대시간 셋팅 : 조정 밸브를 조였을 때 20초 이상.

### 최소시간 시험

- ① 시험용 도어의 열림각도를 약 70°에서 완전히 닫힐 때까지의 최대 속도로 조정한다.
- ② 닫히는 소요시간을 3회 이상 연속 실시하여, 그 평균값을 초단위로 기록한다.
- ③ 최소시간 셋팅 : 조정 밸브를 완전히 열었을 때 3초 이하.

### 적정시간 시험

- ① 시험용 도어의 열림 각도를 약 70°에서 완전히 닫힐 때까지의 적정 속도로 조정한다.
- ② 닫히는 소요시간을 3회 이상 연속 실시하여, 그 평균값을 초단위로 기록한다.
- ③ 최대 단힘 시간 셋팅 : 조정 밸브를 닫히게 조절하였을 때 20초 이상.

- 닫힘 속도는 닫힘 시간으로 대체하여 측정.
- 시험실시 때의 대기온도는 상온(5~25℃)일 것.
- 시험은 "최대시간", "최소시간", "적정시간"에 대해서, KS F2806 시험 방법으로 실시.
- 완전 닫힘은 도어가 완전히 레칭 동작을 완료한 상태를 말함.

#### 4) 내구성 측정 시험 방법

- ① 시험용 도어의 닫힘속도를 통상의 적정한 속도(4~8초)로 맞춘다.
- ② 완전 닫힘에서 열림각도 70° 이상까지의 소요시간은 약 2~6초로 하고, 닫힘은 시험체의 닫힘력에 의하며, 연속 반복하여 여닫기를 실시한다.
- ③ 시험용 도어를 열때는 전동기, 실린더 등의 동력에 의하게 한다.
- ④ 개폐횟수는 문이 닫힌 상태에서 "연다" -> "닫힌다" 를 1회로 한다.
- ⑤ 10만회를 기준횟수로 하며, 기준횟수로 2회(20만회)를[혹은 3회(30만회)] 실시한다.
- ⑥ 도어 시험용 지그는 KS F 2806에 준한다.
  - 시험 후 그 성능에 현저한 변화가 없을 것.
  - 구성 부품의 파손이나 극심한 마모가 없을 것.
  - 시험 중 및 시험 후 기름의 누유가 없을 것.

#### 다. 시작품 성능시험 결과

표 3.7은 1차-6차 시작품의 성능검사 중 발생한 현상과 그 원인 및 개선사항에 대해 정리한 것이다. 1차부터 4차 시작품까지는 도어클로져 성능 및 내구성 면에서 문제점을 나타냈으며, 이를 유압회로 설계기법 및 시작품 성능시험 결과를 종합하여 개선사항을 도출하였다.

표 3.8은 1차 - 6차 시작품의 성능평가 결과이다. 5차, 6차 시작품에서 본 연구에서 제안한 목표치를 만족하는 성능시험 결과를 얻었다. 특히 6차 시작품의 경우 한국건자재 시험연구원에 의뢰하여 객관적인 성능평가를 실시한 결과이다. 그림 3.41은 한국건자재 시험연구원에서 시행한 6차시작품의 성능시험 성적서이다.

표 3.7 시작품 성능검사 시 발생현상, 원인, 및 개선사항

구 분	발생 현상	원인 및 개선사항
1차	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 스프링 압 조절량 부족(장력조절 3칸 이상 조절 불가).</li> <li>- 실린더 상부 캡 파손.</li> <li>- Shaft의 Boss 부위 상부캡 과부하 발생.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 스프링 고리 및 힌지핀 스프링 연결부 스프링 탈락.</li> <li>- 상부캡 치수 부족으로 강한 외압시 파손.</li> <li>- 베어링 미사용 예정이었으나 추가 부품 필요.</li> </ul>
2차	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 속도 제어 불량.</li> <li>- 하우징 장력고정핀 부위 변형 발생.</li> <li>- 스프링 동력 증가 전달 미흡.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 피스톤 헤드의 유압 제어봉 통과부위 치수 변경(8mm →10mm).</li> <li>- 장력 고정핀 부위 치수 변경(22mm →20mm).</li> <li>- 스프링 동력 전달을 향상 시키기 위해 Shaft 다줄 치수 변화 (8N → 9N 및 외경 Ø12 → Ø14).</li> </ul>
3차	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 내구성 시험 중 도어 하부 힌지의 변형 발생.</li> <li>- 단힘압력 조절시 스프링 Setting 간극 범위가 큼.</li> <li>- 부품간 내마모성 증가.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 도어 하부 힌지 보강 및 길이 변화 (131mm →179mm).</li> <li>- 장력 조절체의 Hole 간격 줄임 및 조절체 두께변화 및 하우징 길이 변화 (45도→30도).</li> <li>- 장력 조절체의 윤활성 증가를 위해 Oil hole 가공 공정 삽입.</li> </ul>
4차	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 단힘력 증가에 따른 하우징 장력 고정핀 부위 변형 발생.</li> <li>- 탄성 부재(스프링) 압력 조절시 중 방향 길이 변화로 부하 발생.</li> <li>- 강한 외압 작용시 spring back 현상 발생.</li> <li>- 부품간 윤활 및 내마모성 증가.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 보강대 용접.</li> <li>- 스프링 장력 조절체 Spec'변경.</li> <li>- 피스톤 헤드의 O-ring 간극 허용차 큼. 간극 조정 (4.6mm → 4.0mm).</li> <li>- 피스톤의 재질 변경으로 내구 및 윤활성 증가 (S45C → 분말소결합금 함유 상태).</li> </ul>



표 3.7 시작품 성능검사 시 발생현상, 원인, 및 개선사항(계속)

구 분	발생 현상	원인 및 개선사항
5차	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 유압제어 시 속도 패턴 조절양 작음.</li> <li>- 탄성부재의 내구성 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 속도 조정 볼트의 길이 변화로 제어봉 간극 조절량 증가 및 하부캡, 하우징 길이 변화.</li> <li>- 탄성 부재의 안정적 내구성 증가를 위해 재질 변경(SWC → SWP).</li> </ul>
6차	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 유압 조절볼트의 빠짐 현상발생.</li> <li>- 저온시 닫힘 속도 느려짐.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 닫힘속도 증가를 위해 조절볼트 완전 풀림 후 급격한 작용시 조절볼트 빠짐 현상으로 조절볼트 2단으로 분리 제작.</li> <li>- 유압유의 변경 온도변화 민감도를 낮추기 위해 점도 변경 (Fuch사 DCO46 → DCO 68로 변경).</li> </ul>

표 3.8 시작품 성능 평가 결과 요약표

구 분	1차	2차	3차	4차	5차	6차	목표치
내구성 (회)	5,275	23,521	52,000	92,324	100,000	100,000	100,000
열립력 (N·m)	112	89	82	73	59	57.2	60이하
닫힘력 (N·m)	35	38	40.5	46	50	52.1	40이상



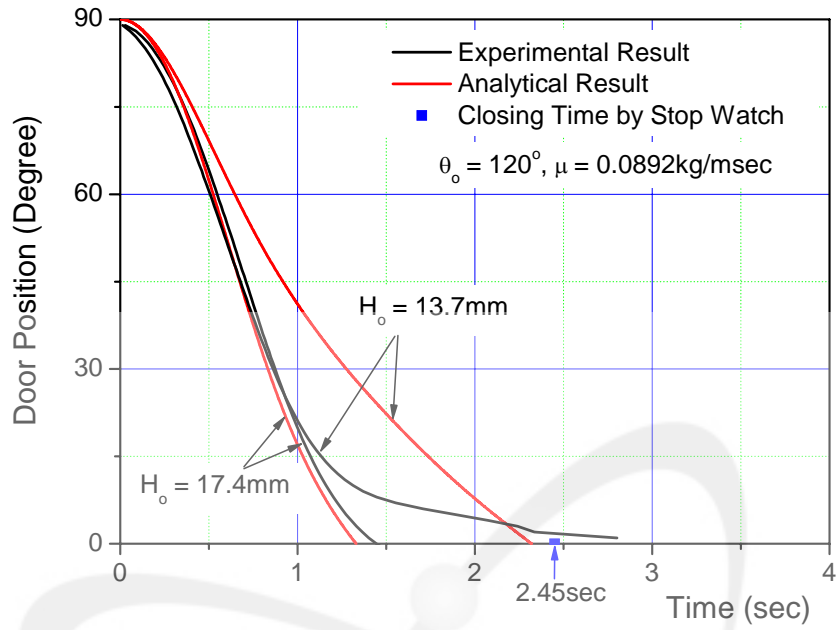
## 라. 도어 닫힘거동 해석 및 실험결과의 비교

5차, 6차 시작품에 대해 본 연구에서 개발한 도어 닫힘거동 해석 및 실험방법을 적용하여 그 결과를 비교하였다. 5차 및 6차 시작품은 제3장 2절 2항 다에서 기술한 바와 같이 가변형 유압제어봉을 가진 유압회로로 구성되어 있다. 유압회로의 관점에서 5차 및 6차 시작품은 작동유의 점도(5차:  $0.0892\text{kg/m} \cdot \text{sec}$ , 6차:  $0.138\text{kg/m} \cdot \text{sec}$ )에 있어서 차이가 있다. 도어클로저 유압회로 및 스프링에 대한 해석 및 실험조건은 표 3.3, 그림 3.11과 같으며, 스프링의 선각도는 120도였다. 실험은 표 3.5의 5000pulse/revolution을 가진 E40H10-5000-3-T-5 엔코더를 이용하였으며, DAS의 sample rate는 5000S/s 였다.

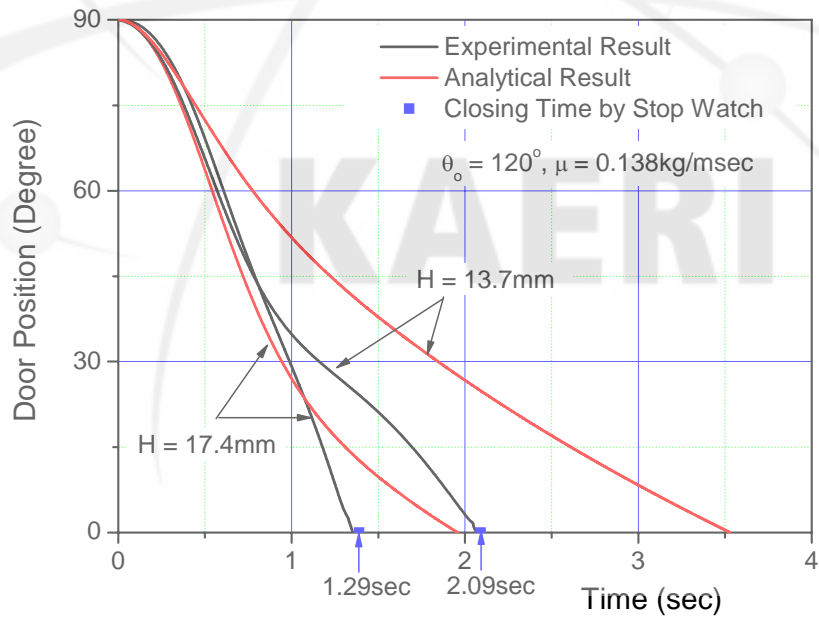
그림 3.42는 도어 닫힘거동 해석 및 실험결과를 유압제어봉 상부와 피스톤바디 상부의 높이 차이( $H_0$ )에 따라 비교한 것이다. 본 연구에서 개발한 실험방법을 통하여 도어의 시간에 따른 닫힘거동을 성공적으로 측정할 수 있었다. 본 연구에서 개발한 측정방법과 초시계를 이용한 도어의 닫힘 시간을 비교해 보면, 그림 3.42와 같이 두 값이 비교적 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 초시계를 이용한 도어의 닫힘시간은 3회 평균을 통해 구한 것으로, 사람의 인지능력에 좌우하므로, 그 편차가 약  $\pm 0.5\text{sec}$  정도로 다소 심하였다. 본 도어 닫힘거동 측정에서 문이 완전히 닫히는 순간에는 다소 오차가 존재하였다. 이는 문이 문틀에 부딪히면서 진동할 수 있는데 이때 엔코더의 신호가 역방향을 구분할 수 없기 때문이다. 따라서 이와 같은 오차요인을 개선하는 일이 필요하다.

그림 3.42에서 실험결과와 해석결과를 비교해 보면, 도어 유압제어봉이 상부로 빠져있을 때, 즉, 유압회로 내 유압제어봉과 피스톤바디의 간극이 넓을 때( $H_0 = 17.4\text{mm}$ ), 계산결과가 도어의 닫힘거동을 비교적 잘 예측하는 것을 알 수 있다. 그러나 유압제어봉이 상부로 빠져있는 거리가 작을 때( $H_0 = 13.7\text{mm}$ )는 해석결과가 실제 실험결과 보다 더 늦게 도어가 닫히는 것으로 예측하였다. 즉, 도어클로저의 유압회로에 의한 속도 감쇄가 해석에서 예측한 것보다 더 늦게 나타났다. 이와 같은 차이는 유압제어봉의 가공오차, 유압회로의 조립오차, 온도에 따른 작동유의 점도 차이, 작동유의 압축성, 해석에 사용된 가정(정상상태, 완전발달 유동)에 기인한 것으로 생각된다.

전반적으로 해석 및 실험결과를 통해 도어클로저 거동에 대한 개선된 정보를 얻을 수 있었다. 또한 실험과의 오차에도 불구하고, 개발된 해석 방법이 피스톤바디와 유압제어봉의 제원, 작동유 선정 등과 같은 유압회로 설계에 있어서 유용한 도구임을 확인하였다. 앞으로 해석 및 실험의 오차요인 개선을 위한 지속적인 연구가 필요하다.



(a) 5차시작품



(b) 6차시작품

그림 3.42 도어 닫힘거동 해석 및 실험결과의 비교

## 제 4 장 결 론

본 연구를 통하여 출입문 자동폐쇄장치(도어클로저) 내 유압회로 설계 기술을 개발하였다.

도어클로저를 도어의 열림 각도에 따라 비틀림 스프링에 의한 힘(torsion spring force)과 유압회로 내의 저항력(damping force)의 차이가 도어의 닫힘 가속도로 나타나는 시스템으로 모델링하여, 도어 닫힘 시 운동방정식 정립 및 해석하였다. 즉, 도어클로저를 spring-damper system으로 모델링하고, 이를 해석하였다.

도어클로저 유압회로 내 유압제어봉과 피스톤바디 사이의 작동유 거동을 모델링하고, 이를 이론 및 상용 전산해석 코드를 이용하여 해석하였다. 즉, 작동유의 거동을 Couette-Poiseuille 유동으로 가정하여, 유체 운동방정식을 세우고, 이를 이론적으로 해석하였다. 또한 상용전산해석코드인 Fluent를 이용하여 유압회로 내의 압력분포 및 작동유 유동을 해석하였다. 이를 통해 도어클로저 시스템 해석의 입력자료인 damping coefficient를 제공하였다. 결론적으로 유압회로 내 유압제어봉과 피스톤 바디의 구조, 작동유 선정 등 유압회로 설계에 관한 기술을 확립하였다.

도어 닫힘거동에 관한 해석결과를 검증하고, 실제 도어클로저의 설계에 응용 및 평가하기 위해 도어의 시간에 따른 닫힘거동, 닫힘력 및 닫힘속도를 측정하는 기법을 개발하였다. 즉, 엔코더를 이용한 도어 닫힘거동 측정장치를 개발하여, 도어 닫힘시 도어의 거동을 시간에 따라 계측할 수 있는 시스템을 구축하였다. 시간에 따른 도어 닫힘거동 측정결과를 바탕으로 도어의 닫힘속도, 닫힘력을 구하고, 이를 통해 도어클로저의 성능을 실질적으로 평가할 수 있도록 하였다.

개발된 유압회로 해석기술 및 도어클로저 거동 측정기법을 적용하여 6개의 대형 도어클로저 시작품을 제작하여 그 성능을 평가하였다. 최종 시작품의 성능을 한국건자재 시험연구원에 의뢰하여 공인받았다. 최종 개발된 시작품은 열림력, 닫힘력, 내구성 면에서 모두 개발 목표치를 만족하였으며, 외국의 유사 도어클로저와 비교하여도 우수한 성능을 나타냈다.

## 서 지 정 보 양 식

<b>수행기관보고서번호</b>						위탁기관보고서번호		표준보고서번호		INIS 주제코드	
KAERI/TR-3785/2009											
제목 / 부제						출입문 자동폐쇄장치 내 유압회로 해석에 관한 연구					
연구책임자 및 부서명 (AR,TR 등의 경우 주저자)						하광순 (열수력안전연구부)					
연구자 및 부서명						김종태, 김환열 (열수력안전연구부)					
출판지		대전		발행기관		한국원자력연구원		발행년		2009. 11.	
페이지		p. 56		도표		있음(○), 없음( )		크기		A4	
참고사항											
공개여부		공개(○), 비공개( )				보고서종류		기술보고서			
비밀여부		대외비( ), — 급비밀									
연구위탁기관						계약번호					
초록 (15-20줄내외)											
<p>본 연구를 통하여 출입문 자동폐쇄장치(도어클로저) 내 유압회로 설계 기술을 개발하였다.</p> <p>도어클로저를 도어의 열림 각도에 따라 비틀림 스프링에 의한 힘(torsion spring force) 과 유압회로 내의 저항력(damping force)의 차이가 도어의 단힘 가속도로 나타나는 시스템으로 모델링하여, 도어 단힘 시 운동방정식 정립 및 해석하였다. 즉, 도어클로저를 spring-damper system으로 모델링하고, 이를 해석하였다.</p> <p>도어클로저 유압회로 내 유압제어봉과 피스톤바디 사이의 작동유 거동을 모델링하고, 이를 이론 및 상용 전산해석 코드를 이용하여 해석하였다. 즉, 작동유의 거동을 Couette-Poiseuille 유동으로 가정하여, 유체 운동방정식을 세우고, 이를 이론적으로 해석하였다. 또한 상용전산해석코드인 Fluent를 이용하여 유압회로 내의 압력분포 및 작동유 유동을 해석하였다. 이를 통해 도어클로저 시스템 해석의 입력자료인 damping coefficient를 제공하였다. 결론적으로 유압회로 내 유압제어봉과 피스톤 바디의 구조, 작동유 선정 등 유압회로 설계에 관한 기술을 확립하였다.</p> <p>도어 단힘거동에 관한 해석결과를 검증하고, 실제 도어클로저의 설계에 응용 및 평가하기 위해 도어의 시간에 따른 단힘거동, 단힘력 및 단힘속도를 측정하는 기법을 개발하였다. 즉, 엔코더를 이용한 도어 단힘거동 측정장치를 개발하여, 도어 단힘시 도어의 거동을 시간에 따라 계측할 수 있는 시스템을 구축하였다. 시간에 따른 도어 단힘거동 측정결과를 바탕으로 도어의 단힘속도, 단힘력을 구하고, 이를 통해 도어클로저의 성능을 실질적으로 평가할 수 있도록 하였다.</p>											
주제명키워드 (10단어내외)						도어클로저, 오토힌지, 실용화, 자동단힘, 방화문, 암레스					

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET

Performing Org. Report No.		Sponsoring Org. Report No.		Standard Report No.		INIS Subject Code	
KAERI/TR-3785/2009							
Title / Subtitle		A Study on the Modeling of the Oil Damper in an Auto-Door Hinge					
Main Author		Kwang-Soon Ha (Thermal Hydraulic Safety Research Division)					
Researcher and Department		Jongtae Kim, Hwan-Yeol Kim (Thermal Hydraulic Safety Research Division)					
Publication Place	Daejeon	Publisher	KAERI		Publication Date	2009. 11.	
Page	p. 56	Fig. & Tab.	Yes( <input type="radio"/> ), No ( <input type="radio"/> )		Size	A4	
Note							
Open	Open( <input type="radio"/> ), Closed( <input type="radio"/> )						
Classified	Restricted( <input type="checkbox"/> ), Class Document		Report Type		Technical Report		
Sponsoring Org.				Contract No.			
Abstract		<p>An auto-door hinge, which is one of the automatic door-closing apparatuses, has been widely used to prevent fire propagations in living or commercial buildings. The auto-door hinge consists of a spring to accumulate power for closing a door and an oil damper to control door-closing velocity. To predict and optimize the temporal door behavior during the door-closing period, the auto-door closing system was modeled as a second order-damping system. And a damping coefficient of the oil damper was also theoretically modeled by analyzing Newtonian, incompressible, viscous flow through an oil passage between a oil control rod and a oil piston body. The temporal door behaviors during the door-closing period were predicted with respect to the gap distance of the oil passage, oil viscosity, and pre-compressing of the spring.</p> <p>Temporal door behavior measurement method using an encoder system was also developed to validate the modelling on the oil damping system. As using the developed test apparatus, the temporal door position, velocity, and rotational torque were measured, and the modelling method was evaluated.</p>					
Subject Keywords (About 10 Words)		Door Closure, Auto-hinge, Commercialization, Auto-closing, Fire Door, Armless					