

환기 및 소방용 복합댐퍼의 설계인자에 관한 연구 A Study on the Design Factors of Complex Damper for Ventilation and Fire Protection

이동명

Dong-Myung Lee

경민대학교 소방행정학과
(2011. 4. 25. 접수/2011. 8. 12. 채택)

요 약

본 연구에서는 환기 및 소방용 복합댐퍼의 개발을 위한 기초 연구의 일환으로 복합댐퍼의 설계인자에 관한 연구를 수행하였다. 본 연구는 복합댐퍼의 프로세스와 운동 메커니즘, 기구 모델링을 바탕으로 복합댐퍼의 설계 및 해석이론을 제시하였고, 설계 및 해석이론을 바탕으로 한 운동해석 시뮬레이션을 통해 복합댐퍼의 각 요소를 설계할 수 있는 엔지니어링 데이터 구축과 원천기술을 확립하였다. 따라서 본 연구를 통해 환기 및 소방용 복합댐퍼 개발에 폭넓게 응용할 수 있는 결과를 얻었다. 본 연구를 바탕으로 복합댐퍼가 개발되면 환기풍도로부터 유입되는 연기제어와 기술적 대책을 마련할 수 있을 것으로 본다.

ABSTRACT

This study carried out the design and analysis of complex damper as basis study for development of complex damper for ventilation and fire protection. This study established design and analysis theory of complex damper based on process, kinematics mechanism and mechanism modelling of complex damper. And this study established engineering data construction and a source technology that can design each element of complex damper through motion analysis simulation based on design and analysis theory. Therefore, it got result that can apply comprehensively in development of complex damper for ventilation and fire protection from this study. Also, it sees that can ready control means and technological countermeasure of smoke to developed of complex damper with this study.

Key words : Multi function complex damper, Ventilation, Fire protection, Smoke control, Motion analysis

1. 서 론

인구의 증가에 따른 도시의 과밀화와 건축기술의 발달로 건축물은 대형화와 (초)고층화, 인텔리전트화 되어가고 있고, 또한 하나의 건축물에 점포, 음식점, 사무실 등의 복합용도로 사용되어가고 있다. 경제적인 급성장과 국민생활의 질적인 향상과 더불어 건축물도 인명안전을 위해 우수한 소방시스템을 구축하도록 의무화하고는 있지만 화재의 위험에 노출되어 있는 실정이다.

2009년 소방방재청 화재연감에 따르면 화재로 인한 재산과 인명피해는 전년 대비 각각 10.5%와 54.2% 증가한 것으로 나타났다. 특히 주거지역의 화재는 전체 화재 중 24.8%로 이중 공동주택의 화재가 39%,

사망은 30%에 육박하는 것으로 나타났다. 이것은 생활공간의 다양화와 (초)고층건축물이나 대단위 건축물이 등장하면서부터 발생한 것이라고 판단된다.

건물 화재로부터 발생하는 연기가 인명안전에 매우 위험한 요소로 작용하는 근본적인 이유는 화염이나 연소직후의 가스보다 위험도는 낮지만, 연기가 인명위험의 가장 중대한 원인이 되는 것은 화염에 비해 건물 내에서 확산되는 속도가 매우 빠르기 때문이다.

우리나라도 인구의 도시 집중화로 인해 인구밀도가 높아 감에 따라 공동주택의 건축물이 복잡·대형화·초고층화되어가고 있는 시점에서 이에 따른 공동주택의 화재 시 연기에 대한 대책이 시급하며, 소방안전을 도모하기 위해 연기의 제어수단과 기술적인 대책의 강구가 절실하다 하겠다. 그 대책 중의 하나로서 국내 건축법^{1,2)}과 NFPA³⁾ 등의 관련규정에서는 환기·난방 및

냉방시설의 풍도가 방화구획을 관통하는 경우, 그 관통부분 또는 이에 근접한 부분에 설치하는 방화방연댐퍼를 예로 들 수 있다. 그러나 기존 공동주택에서 주방이나 화장실의 환기를 위해 사용되는 환기풍도가 방화구획을 관통하여 수직배기풍도에 연결되어 있음에도 불구하고 방화방연기능의 댐퍼가 설치되어있지 않고, 화장실과 주방 후드에는 냄새 제거를 위한 팬(fan)만 설치되어 있기 때문에 화재 시 연기를 다른 공간으로 확산시킬 염려가 있다. 또한 공동주택의 주방 및 화장실 배기는 옥상에 설치된 자연환기방식의 팬(ventilator)에 의하기 때문에 주방의 음식물 냄새나 화장실의 냄새가 세대로 역류되거나 실내외의 온도차로 발생하는 굴뚝효과에 의한 역풍 현상으로 생활에 불편함을 초래하고 있다. 화재발생 시 연기이동력(굴뚝효과, 부력, 팽창, 바람 등)에 의해 화장실이나 주방 후드의 환기풍도를 통해 화기를 다른 공간으로 역류시켜 화재를 확대시키거나 연기 또한 다른 공간으로 침입·확산시켜 재실자나 거주자에 대한 피난안전성을 위협하고 있기 때문에 인명피해를 가중시키는 결과를 초래할 수 있다.

본 연구에서는 화재 시 공동주택의 연기 및 화염에 대한 방재대책의 제어수단과 기술적인 대책의 일환으로 화장실의 냄새 및 주방의 음식물 냄새의 역류나 역풍방지는 물론 화재발생시 화장실이나 주방 후드의 환기풍도를 통해 화기가 다른 공간으로 옮겨가 화재구역이 확대되거나 연기가 다른 공간으로 침입확산되는 것을 방지하고 피난안전성을 확보하여 인명과 재산피해를 최소화할 수 있는 환기 및 소방용 복합 댐퍼를 개발하기 위해 앞선 주제로 연구하였다.

2. 설계 및 해석이론

2.1 복합댐퍼의 프로세스

복합댐퍼의 프로세스는 평상시에는 환기모드로 작동되다가 화재 시에는 화재모드의 상태로 바뀌도록 하였다. 이때 댐퍼날개는 환기모드일 때 90° 고정·개방되어 주방 및 화장실의 냄새 등을 수직덕트를 통해 배출하도록 하였고, 화재모드일 때는 화재층의 화열이나 연기 등이 다른 공간으로 침입·확산되는 것을 막기 위해 자동으로 닫히는 구조를 가지도록 하였다.

이상의 프로세스를 구현하기 위해 다기능 복합댐퍼를 Figure 1과 같이 댐퍼부(날개 등), 구동장치, 액추에이터, 컨트롤러 등으로 구성하였고, 댐퍼날개는 회전운동을 적용하여 개폐되도록 하였다.

Figure 1에 나타난 바와 같이, 환기모드 일 때 댐퍼날개는 액추에이터로부터 기어에 전달되는 회전력에

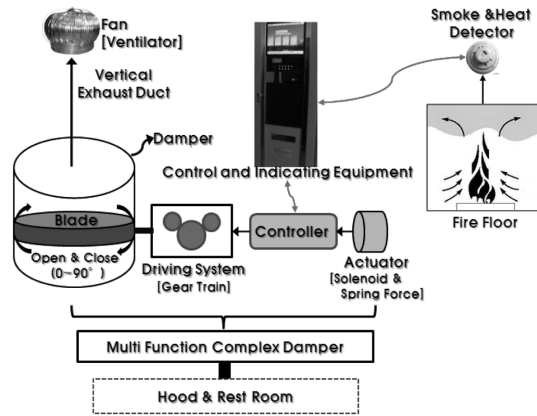


Figure 1. Process of complex damper.

의해 90° 고정·개방되어 주방 및 화장실의 냄새 등을 수직덕트를 통해 배출하게 되고, 화재모드일 때는 연기감지거나 열감지 센서에 의해 신호를 감지하여 수신기로 신호가 전달되고, 수신기에 전달된 신호는 복합댐퍼의 컨트롤러와 연동되어 전달되면 동력 차단기어에 의해 액추에이터의 동력이 차단되어 환기를 위해 고정·개방되어있던 날개는 날개가 개방될 때 기어의 회전력에 의해 저장된 스프링의 탄성에너지에 의해 화재시 전원이 차단되더라도 무동력으로 댐퍼날개를 자동으로 닫게 함으로서 화열이나 연기 등이 다른 공간으로 침입확산되는 것을 막을 수 있게 된다.

2.2 기류 및 연기의 이동력

환기모드일 때 화장실의 냄새 및 주방의 음식물 냄새의 역류는 건물의 실내외 온도차에 의한 굴뚝효과의 영향이 일반적으로 가장 크고,⁵⁾ 화재모드일 때 연기의 침입·확산은 연기이동력(굴뚝효과, 부력, 바람 등)에 의존된다.⁶⁾ 화재모드일 때 굴뚝효과에 의해 증대된 압력은 화재 및 연기확산뿐만 아니라 출입문의 개폐나 저층부의 외기 침입 등으로 피난안전성에 치명적인 문제를 발생시킨다.⁷⁾ 기류 및 연기이동에 영향을 주는 굴뚝효과 ΔP_{so} 는 식(1), 부력 ΔP_{fo} 은 식(2), 바람에 의한 영향 P_w 은 식(3)과 같다.

$$\Delta P_{so} = 3460 \left[\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_s} \right] h \quad (1)$$

여기서 ΔP_{so} = 굴뚝효과에 의한 압력차(Pa)
 T_o = 실외 절대온도(K)
 T_s = 실내 절대온도(K)
 h = 중성면으로부터의 거리(m)

$$\Delta P_{f_0} = 3460 \left[\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_f} \right] h \quad (2)$$

여기서 ΔP_{f_0} = 부력에 의한 압력차(Pa)
 T_0 = 외부 절대온도(K)
 T_f = 화재실 내부 가스의 절대온도(K)
 h = 중성면으로부터의 거리(m)

$$P_w = \frac{1}{2} (C_{w1} - C_{w2}) \rho_0 V^2 \quad (3)$$

여기서 $C_{w1,2}$ = 압력계수
 ρ_0 = 외부 공기밀도(kg/m³)
 V = 풍속(m/sec)

2.3 복합댐퍼의 기구학

Figure 2에 나타난 바와 같이 복합댐퍼의 날개의 개폐는 기어 회전체⁸⁾에 의한 운동방법을 선택하였다. 이때 댐퍼의 날개는 액추에이터로부터 구동장치에 전달되면 기어 회전체의 회전대우에 의해 회전운동으로 개폐하게 된다. Figure 2에서 단위시간 t에 대해 댐퍼날개가 개폐되는 각도를 θ 라고 할 때, 구동장치와 댐퍼날개에 발생하는 각속도 ω (rad/sec)와 각가속도 α (rad/sec²), 각운동량 M_ω (N·m)은 식(4)~(6)과 같이 정의할 수 있다. 식(6)에서 r은 회전체의 반경(m)을 의하고, I는 회전체의 관성모멘트(kg·m²)를 의미한다. 식(4)~(6)에서 구해지는 각속도와 각가속도, 각운동량의 값은 복합댐퍼의 각 요소(댐퍼날개, 구동장치의 기어 등)를 설계하는데 필요한 엔지니어링 데이터로 사용하게 된다.

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

$$\alpha = \frac{\omega}{t} \quad (5)$$

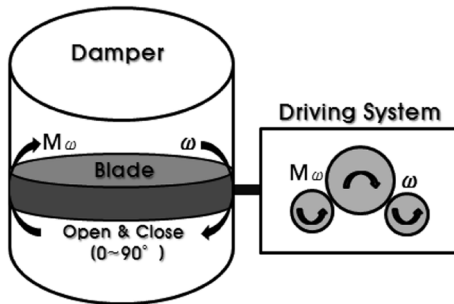
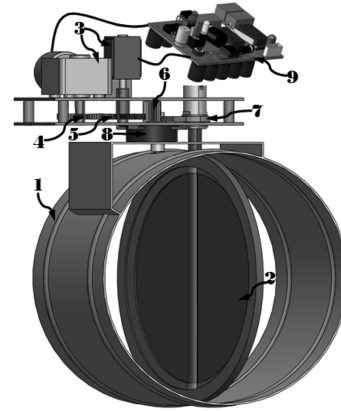


Figure 2. Rotation motion of complex damper.



1	Body	4	Driving Gear	7	Sector Gear
2	Blade	5	Moving Gear	8	Spiral Spring
3	Actuators	6	Idle Gear	9	Controller

Figure 3. Modeling of complex damper.

$$M_\omega = mr^2\omega = I\omega \quad (6)$$

2.4 복합댐퍼의 모델링

‘2.1 다기능 복합댐퍼의 프로세스’와 ‘2.3 다기능 복합댐퍼의 기구학’의 이론을 바탕으로 환기와 화재용 복합댐퍼로서 기능과 역할을 할 수 있도록 각 요소를 Figure 3과 같이 모델링하였다.

Figure 3에서 환기모드일 때는 ‘컨트롤러 → 액추에이터의 동력 → 드라이빙 기어 → 이동 기어 → 아이들 기어(스파이럴 스프링에 탄성에너지 저장) → 섹터 기어 → 댐퍼날개 90° 고정·개방 → 수직다트 → 팬’의 순서로 작동되어 냄새 등을 배출하게 되고, 화재모드일 때는 ‘연기감지기나 열감지 센서에 의한 신호감지 → 수신기 → 컨트롤러 → 동력 차단용 이동기어 → 액추에이터 동력차단 → 스프이럴 스프링의 탄성 에너지 → 개방된 날개 폐쇄’가 이루어져 화열이나 연기 등이 다른 공간으로 침입·확산되는 것을 막을 수 있다. 따라서 기어의 회전력에 의해 저장된 스프링의 탄성에너지에 의해 댐퍼날개를 폐쇄시키므로 화재시 전원이 차단되더라도 무동력으로 댐퍼날개를 자동으로 닫을 수 있는 특징을 가진다.

3. 해석결과 및 고찰

3.1 해석 모델링 및 해석조건

복합댐퍼의 설계에 필요한 엔지니어링 데이터는 복합댐퍼의 운동해석 시뮬레이션으로부터 구하였다. 운동해석 시뮬레이션은 Figure 3의 모델링을 이용하였고,

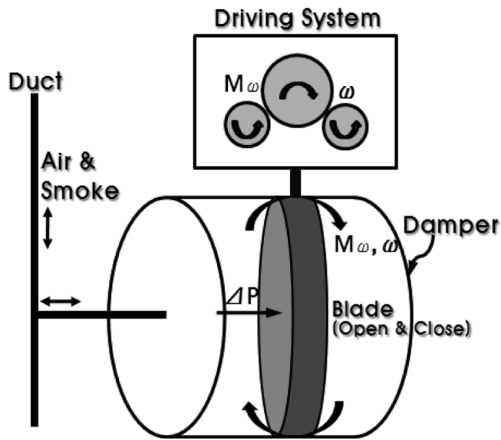


Figure 4. Analysis modeling of complex damper.

운동해석 모델을 간략히 나타내면 Figure 4와 같다. Figure 4에서 환기모드와 화재모드에서 기류 및 연기의 이동력은 댐퍼날개의 압력으로 작용하고 작용된 압력은 구동장치와 댐퍼날개의 각운동량 $M\omega$ 으로 나타나게 된다.

운동해석에서 액추에이터에 의해 댐퍼날개가 개방되는 환기모드 시간을 3초로 설정하였고, 화재 시 액추에이터로부터 동력을 차단시키기 위한 이동 기어의 상승시간은 2초, 댐퍼날개의 폐쇄시간은 3초로 설정하였으며, 다시 정상상태로 복귀시키기 위한 이동 기어의 하강시간을 2초로 설정하여 복합댐퍼의 운동시간을 10초로 설정하였다. Figure 4에서 댐퍼날개에 작용하는 압력(ΔP)은 185 m의 공동주택에 $T_0 = 2^\circ\text{C}$, $T_s = -18^\circ\text{C}$ 일 때 중성면을 건물높이의 중간 높이라고 가정하고 최상층에 작용하는 굴뚝효과를 계산하였고, 부력은 플래쉬 오버가 일어나기 직전의 값을 적용하였으며, 풍압은 $C_{w1} = 0.8$, $C_{w2} = -0.8$, $\rho_0 = 1.2$, $V = 11.2$ 라고 가정하여 계산하면 Table 1과 같다.

Table 1. Conditions of Motion Analysis

Contents	Values
Time of motion analysis	10 sec
Hight of neutral plane	92.5 m
Smoke temperature T	600~800 °C
Stack effect ΔP_{so}	160 Pa
Buoyancy ΔP_{fo}	50 Pa
Wind pressure P_w	120 Pa
Damper size ψ	100 A

3.2 운동해석 및 고찰

복합댐퍼의 최적설계에 필요한 중요한 인자는 역기류와 연기 이동력에 대응할 수 있는 각 기구의 구조적인 역할과 댐퍼날개 및 구동장치의 구동력 즉, 댐퍼날개를 개방하는 데 필요한 구동장치의 구동력과 댐퍼날개의 개폐력을 결정하는 것이다. 복합댐퍼의 운동해석은 해석조건에서 설명한 바와 같이 환기모드와 화재모드를 동시에 시뮬레이션하였고, 시뮬레이션을 통해 각 요소의 기구적인 간섭을 해소하였다. 환기모드와 화재모드에서 기류 및 연기의 이동력이 댐퍼날개에 압력이 Table 1과 같이 작용할 때 각 요소의 운동해석 시뮬레이션 결과는 Figure 5~12와 같다. Figure 5~12에서 3~5초 사이의 값이 일정하게 나타난 부분은 동력 차단용 이동 기어가 구동장치의 기어열(gear train)에서 이탈되어 동력전달이 되지 않는 상태를 의미한다.

Figure 5는 액추에이터로부터 동력이 전달되어 댐퍼날개를 개방시킬 때 운동해석 시간동안 드라이빙 기어의 각변위를 나타낸 것이며, 드라이빙 기어기 약 173.9° 회전하면 댐퍼날개는 90° 열리게 되고, 이들 기어의 이

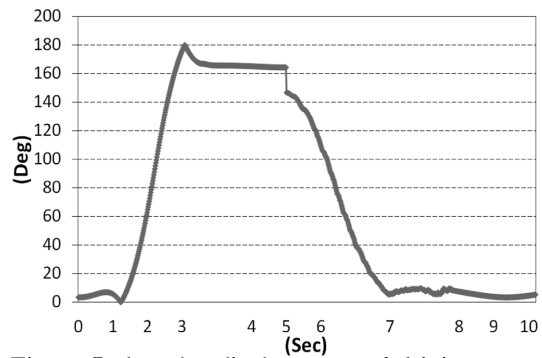


Figure 5. Angular displacement of driving gear.

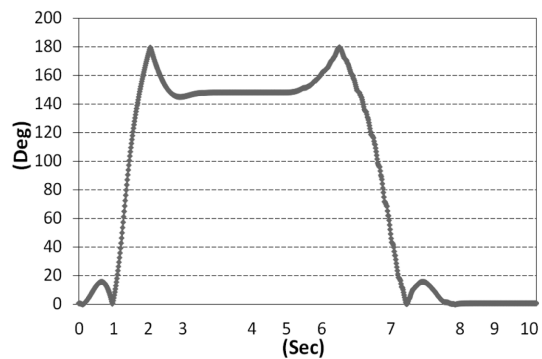


Figure 6. Angular displacement of sector gear.

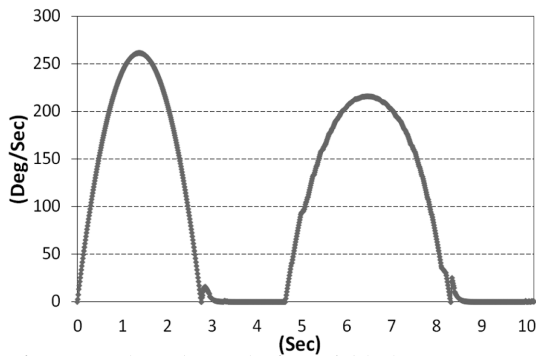


Figure 7. Angular velocity of blade.

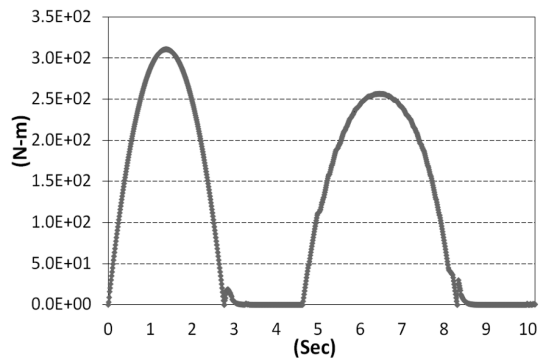


Figure 9. Angular momentum of idle gear.

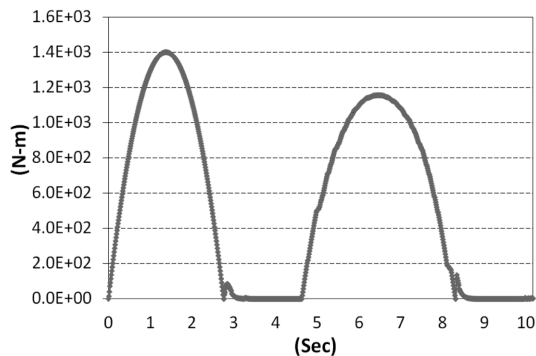


Figure 8. Angular momentum of driving and moving gear.

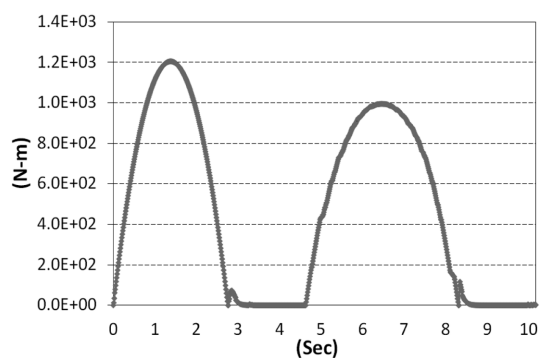


Figure 10. Angular momentum of sector gear.

수 비 $i = 1/1.65$ 이다. Figure 6은 섹터 기어의 각변위를 나타낸 것이며, 90° 개방된 댐퍼날개가 화재시 완전히 닫히려면 섹터 기어는 173.9° 를 회전해야 함을 의미한다.

Figure 7은 섹터 기어의 각변위에 따른 댐퍼날개의 각속도를 나타낸 것이며, 이들 각속도 값과 Figure 8~11의 각운동량 값을 식(6)에 대입하면 각 기어의 크기(모듈, 압력각 등)를 결정할 수 있다. 댐퍼날개의 최대 각속도는 개방과 폐쇄 시 각각 261.5(약 1.5초)와 216(약 6.5초)이 된다.

Figure 8~11은 구동장치의 각 기어와 댐퍼날개의 각운동량을 나타낸 것이며, 각운동량의 형상은 Figure 7의 각속도와 같은 유형을 나타내고 있다. 이것은 구동장치의 기어의 전달력을 통해 댐퍼날개가 개폐되기 때문이며, 기어나 댐퍼날개의 회전체 반경에 따라 각운동량의 크기만 다를 뿐이다.

Figure 8은 드라이빙 기어와 이동 기어의 각운동량을 나타낸 것이며, 드라이빙 기어와 이동 기어는 회전 방향을 바꾸는 데 이용됨으로 기어의 크기를 같게 설정하였다. 이들 기어의 최대 각운동량은 댐퍼날개의 개

방과 폐쇄 시 각각 1,400(약 1.5초)과 1,156(약 6.5초)이 된다.

Figure 9는 아이들 기어의 각운동량을 나타낸 것이며, 기어의 최대 각운동량은 댐퍼날개의 개방과 폐쇄 시 각각 310.4(약 1.5초)와 256.4(약 6.5초)가 된다. 아이들 기어의 각운동량은 화재 시 댐퍼날개를 무동력으로 닫는 데 필요한 스파이럴 스프링의 탄성에너지로 바뀌게 된다. 따라서 아이들 기어의 각운동량을 탄성에너지로 변환하면 스파이럴 스프링의 크기(코일 수, 외경 등)를 결정할 수 있다.

Figure 10은 섹터 기어의 각운동량을 나타낸 것이며, 섹터 기어는 댐퍼날개를 개폐시키는 필요한 개폐력을 댐퍼날개에 직접적으로 전달하는 기어이다. 섹터 기어의 최대 각운동량은 댐퍼날개의 개방과 폐쇄 시 각각 1,203.7(약 1.5초)과 994(약 6.5초)가 된다.

Figure 11은 댐퍼날개의 각운동량을 나타낸 것이며, 댐퍼날개에 작용하는 최대 각운동량은 댐퍼날개의 개방과 폐쇄 시 각각 $1.74E+5$ (약 1.5초)와 $1.44E+5$ (약 6.5초)가 된다. Figure 12는 댐퍼날개가 개폐될 때 댐퍼몸

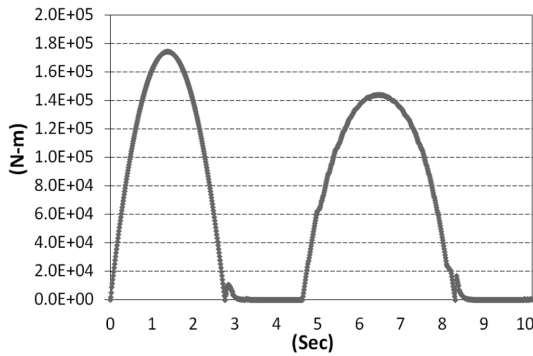


Figure 11. Angular momentum of damper blade.

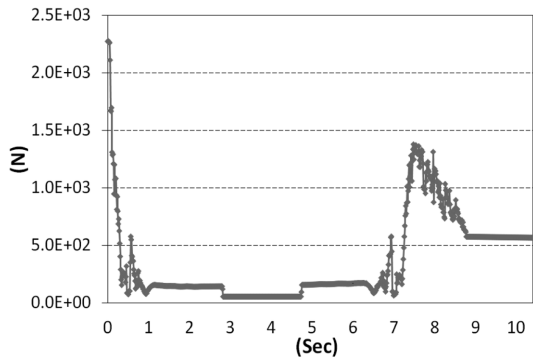


Figure 12. Contact load of damper body and blade.

체와의 마찰에 의해 발생하는 접촉하중(마찰력)이며, 최대 접촉하중은 댐퍼날개의 개방과 폐쇄 시 각각 2,276(약 0.2초)와 1,377(약 7.9초)가 된다. 접촉하중은 댐퍼날개가 열리기 시작하는 초기 즉, 댐퍼의 실링체와 몸체가 가장 많이 접촉하고 있는 시점과 댐퍼날개가 거의 완전히 닫히려는 순간이 가장 큼을 알 수 있다. 따라서 구동장치의 각 기어와 댐퍼날개를 설계할 때 반드시 Figure 12의 접촉하중을 추가로 적용하여 설계하여야 한다. 또한 접촉하중을 줄이는 것이 액추에이터의 크기를 줄일 수 있고, 이를 위해 댐퍼날개에 부착되는 실링체는 고온에도 견딜 수 있고 윤활성이 우수한 실리콘 종류를 택하는 것이 바람직할 것이다.

이상의 운동해석으로부터 얻어진 각운동량 및 접촉하중의 결과와 식(4)~(6)을 이용하면 복합댐퍼의 각 요소의 기구를 설계할 수 있는 설계인자(댐퍼날개의 두께, 모터의 용량 및 기어의 모듈과 이수 등)를 결정할 수 있다. 추가적으로 구동장치 각 기어의 접촉하중은 제작회사의 사양에 따른다.

4. 결 론

복합댐퍼의 프로세스와 기구학적 메커니즘 및 기구 모델링을 바탕으로 복합댐퍼의 설계 및 해석이론을 제시하였고, 설계 및 해석이론을 바탕으로 한 댐퍼의 운동해석 시뮬레이션을 통해 복합댐퍼의 각 요소의 기구를 설계할 수 있는 결과를 얻었다.

따라서 본 연구의 결과를 응용한다면 다양한 크기나 형태의 복합댐퍼 개발에도 쉽게 응용할 수 있고, 또한 향후 본 연구를 바탕으로 복합댐퍼가 개발되면 환기풍도의 기류 및 연기의 제어와 기술적 대책을 마련할 수 있을 것으로 본다.

참고문헌

1. 건축법, “건축물의 설비기준 등에 관한 규칙”, 국토해양부(2009).
2. 건축법, “건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙”, 국토해양부(2009).
3. NFPA 96, “Standard for Ventilation Control and Fire Protection of Commercial Cooking Operations” (2009).
4. Matt Lombard, “Solidworks 2009 Bible”, Wiley Publishing, Inc.(2009).
5. 박진철, “공동주택의 환기설비”, 설비저널, Vol.35, No.5, pp.3-5(2006).
6. 이동명, “제연공학”, 성안당, pp.134-155(2009).
7. 이동명, “제연구역 출입문의 자동폐쇄장치 운동해석에 관한 연구”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.24, No.3, pp.106-112(2010).
8. 강명순, 손명환, 기구학, 동명사, pp.15-94(1981).