

체인-스프라켓 메커니즘을 갖는 에스컬레이터에서 기어박스 백래시로 인한 이상진동에 관한 연구

A study on vibration characteristics caused by backlash of gearbox in escalator with chain-sprocket drive mechanism

권이석* 박선용** 서종호** 홍성욱*** 박노길****

Yi-Sug Kwon, Seon-Ryong Park, Jong-Ho Suh, Seong-Wook Hong and No-Gill Park

Key Words : Escalator(에스컬레이터), Chain-Sprocket(체인-스프라켓), Gearbox(기어박스), Backlash(백래시), Driving Chain(구동체인), Modeling(모델링), Ride Comfort(승차감)

ABSTRACT

This paper presents an improved escalator dynamic model so as to reflect the experimental observation on the pseudo-resonance affected by load applied. The experimental evidence reveals that backlash of gearbox as well as sag of driving chain are most critical factors to the pseudo-resonance in escalators. The dynamic model effectively reflects vibration characteristics measured in real escalators with respect to different conditions of driving chain and the number of passengers. For validation of the dynamic model developed, numerical results from the model are compared with experimental results. The developed model and its simulation results are used rigorously for the design of escalator systems in enhancing the ride comfort.

1. 서론

체인-스프라켓 구동부에 의해 작동되는 에스컬레이터는 그 기어물림에 의한 가진력으로부터 자유로울 수 없고 또한 동력을 전달하고 속도를 제어하기 위한 기어박스의 기어물림에 의한 가진력으로도 자유로울 수 없다. 에스컬레이터와 그와 유사한 시스템의 진동에 영향을 주는 가장 주된 원인은 체인-스프라켓 구동부에 의한 기어물림에 의한 것으로, 지금까지 승차감을 개선하기 위하여 주로 체인-스프라켓 구동부에 국한된 연구 및 그 구조 개선 방안이 이루어져왔다.⁽¹⁻⁵⁾ 이러한 연구에서는 에스컬레이터가 아래 방향으로 운행할 때 특정 탑승인원 수에서 진동의 크기가 갑자기 커지는 공진 현상에 대해서 정확한 원인 및 그 실질적인 개선 방안을 제안하지 못하였다. 강규웅 등⁽⁶⁾과 임수영 등⁽⁷⁾은 이러한 진동 현상의 발생 원인으로, 구동체인의 동특성이 가장 큰 영향을 주는

것으로 제안하였으나 진동에 민감한 것으로 사료되는 기어박스의 동특성은 고려하지 않았다.

Takuro 등⁽⁸⁾은 체인-스프라켓 구동부에 의해 작동되는 CT 촬영 의료장비에서 베드가 아래 방향으로 운행할 때 특정 각도에서 진동의 크기가 갑자기 커지는 공진 현상에 대해서 기어박스의 백래시를 그 원인으로 정의하고 있다. 그러나 기어박스의 동특성은 고려하지 않았으며 다만, 공진 현상의 개선 방안으로 기어박스 및 그 백래시를 제외한 체인-스프라켓 구동부에 국한된 연구 및 그 진동 개선 방안을 연구하였다.

본 연구에서는 에스컬레이터에서 발생하는 공진 현상을 재현하기 위한 목적으로 구동체인의 동특성 뿐만 아니라 기어박스의 동특성을 에스컬레이터 모델링에 적용하는 방법에 대하여 논의하였다. 그리고 기어박스의 동특성이 공진 현상에 직접적이고 중요한 영향을 주는 것을 제안된 모델의 결과로 확인하였다. 기어박스의 백래시 특성을 고려한 모델을 통하여 구동체인의 동특성 변경과 승차 인원의 변경에 따른 공진 조건에서의 실제 측정된 진동 현상을 대변하였다. 또한 기어박스의 백래시 변경을 통한 검증 실험을 통하여 모델링을 실험적으로 검토하였고 실험 결과와 비교함으로써 모델의 신뢰성을 검증하였다.

* LG-OTIS, 부산대학교 기계공학부 대학원
E-mail : iskweon@otis.co.kr
Tel : (055) 269-4761, Fax : (055) 285-6103

** LG-OTIS

*** 금오공과대학교 기계공학부

**** 부산대학교 기계공학부

2. 에스컬레이터의 구조 및 공진 특성

2.1 에스컬레이터의 구조

Fig. 1 은 모델링 대상인 에스컬레이터의 기본적인 구조를 보여주고 있다. 에스컬레이터는 탑승을 위한 스텝이 체인 전동 방식으로 이송되며 스텝체인을 구동하기 위한 구동체인부와 스텝의 귀환부인 하부 구동부 등이 있다. 모델링의 에스컬레이터는 스텝체인을 구동하는 스프라켓의 잇수가 15 개이며 이로 인하여 자체적인 가진력이 존재하여 일정한 수준의 진동이 발생한다. 이에 따른 물림주파수는 3.65Hz 로 승차감에 영향을 주는 저주파 대역에 존재한다.⁽⁷⁾

에스컬레이터 내부에는 동력을 전달하고 속도를 제어하기 위한 기어박스가 설치되어 있다. 기어박스는 2 단의 헬리컬기어로 구성되어 있으며 1, 2 단은 각각 3.9 과 5.1 의 감속비를 가지며 총 감속비는 20 이다. 각 단의 기어는 일반적으로 각각 약 0.3mm 의 백래시를 가지며 총 백래시는 0.35mm 이다. 백래시를 결정하는 요소로는 각 기어의 결치기 이두께, 치직각 압력각 및 헬릭스각 그리고 기어간의 중심거리 및 물림피치경이 있다.

2.2 에스컬레이터의 공진 현상 고찰

에스컬레이터의 진동은 스텝에서 측정하며 승차 구간 중 경사 부분에서의 진동을 측정한다.⁽⁷⁾ 공진 시 진동만을 측정할 경우에는 3 명의 승객 질량에 해당하는 1800N 의 더미 질량체를 스텝에 올려둔 상태에서 에스컬레이터를 아래방향으로 운행하면서 진동을 측정한다.⁽⁷⁾

Fig. 2 는 백화점에서 운행 중인 에스컬레이터가 위 방향으로 운행할 때와, 아래방향으로 운행할 때 승객 질량을 변경하면서 측정한 스텝 가속도를 보여주고 있다. 공진이 발생하는 3 명 승차 조건(1800N)에서 가장 큰 진동 크기를 갖는 것을 알 수 있다. 또한 위 방향으로 운행 시, 그리고 아래 방향으로 운행 시 공진 조건 외에서 측정한 진동에서는 3.65Hz 성분과 그 고조파 성분인 7.3Hz 와 10.95Hz 성분이 비슷한 크기로 존재하는 것을 알 수 있다. 그러나 공진 조건에서는 3.65Hz 외의 성분의 크기가 줄어드는 경향이 나타난다.

에스컬레이터의 공진 현상은 에스컬레이터가 아래방향으로 운행 시에만 나타난다. 이 현상은 주행저항과 밀접한 관계가 있으며 주로 핸드레일부 및 스텝부에서 발생하는 주행저항이 승객이 탑승하여 발생하는 부하와 상쇄되어 일종의 무부하 조건일 때 발생한다.⁽⁷⁾ 위 방향으로 운행되는 경우

구동체인의 장력이 일정하게 유지되고 기어박스내의 헬리컬 기어 치들이 연속적인 접촉을 한다. 그러나 아래 방향으로 운행 시 무부하 조건이 될 때 구동체인의 장력이 최소화되고 기어박스의 백래시에 의하여 기어 치들의 불연속적인 접촉이 발생한다. 이 때 구동체인 강성 및 기어 치들의 접촉 강성은 급격히 작아진다.

Takuro 등⁽⁸⁾은 체인-스프라켓 구동부에 의해 작동되는 CT 촬영 의료장비의 베드가 아래방향으로 운행할 때 특정 각도에서 진동의 크기가 갑자기 커지는 공진 현상이 발생한다고 하였다. 이러한 공진 현상은 의료장비 시스템에서 발생하는 주행저항이 환자의 질량에 의해 발생하는 부하와 상쇄되어 발생하는 것으로 정의하고 있다. CT 촬영 의료장비에서의 공진 현상은 에스컬레이터에서의 공진 현상과 원리적으로 동일하다고 할 수 있다. 일반적으로 기어박스로 인하여 시스템의 진동이 증가되는 것으로는 체인-스프라켓의 물림주파수보다 상대적으로 고주파 성분인 기어의 맞물림 성분 및 그 고조파 성분에 의한 영향으로만 알려져 있다.

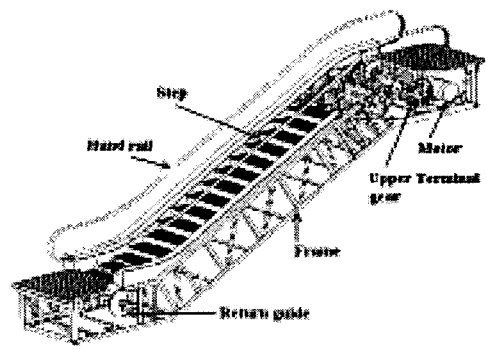
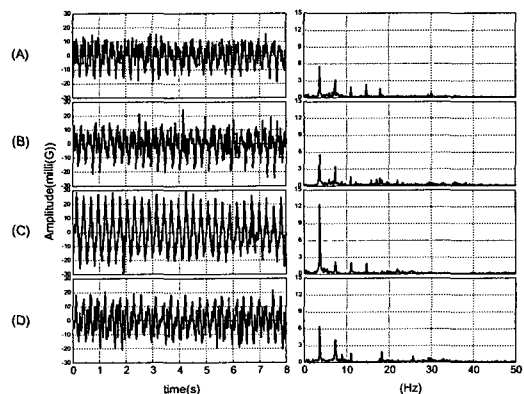


Fig. 1 Configuration of a typical escalator



- (A) Vibration in up direction(600N)
- (B) Vibration in down direction(600N)
- (C) Vibration in down direction(1800N)
- (D) Vibration in down direction(3000N)

Fig. 2 Typical acceleration signals of escalator step

그러나 Takuro 등⁽⁸⁾은 체인-스프라켓 메커니즘에 있어서 기어박스의 기어 물림 주파수 성분에 의한 진동 증가보다 기어박스의 백래시가 체인-스프라켓의 물림 주파수 성분의 크기를 급격히 증가시키는 원인이라고 분석하였다.

3. 동적 모델링

Fig. 3 는 에스컬레이터의 전체적인 동적 모델링의 개략적인 구성을 보여주고 있다. 크게 스텝 체인부와 상부 구동부 그리고 하부 구동부로 구성되어 있다.

3.1 스텝 및 스텝 체인부⁽⁶⁾

스텝과 스텝체인의 질량을 합쳐서 해당 위치에서의 집중질량으로 하였고 스텝체인 링크부의 강성을 선형 스프링으로 다음과 같이 모델링 하였다.

$$M_e = m_{step} + m_{roller} \times 6 + m_{chain_link} \times 6 \quad (1)$$

$$K_{sc} = k_{chain_link} \times 2/3 \quad (2)$$

M_e : 체인 유닛의 질량

K_{sc} : 체인 유닛의 강성계수

m_{step} : 스텝 한 개의 질량

m_{roller} : 체인 롤러 한 개의 질량

m_{chain_link} : 체인링크 한 개의 질량

k_{chain_link} : 체인링크 한 개의 강성계수

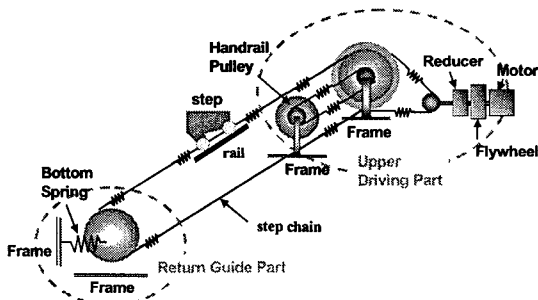


Fig. 3 Schematic vibration model for escalator

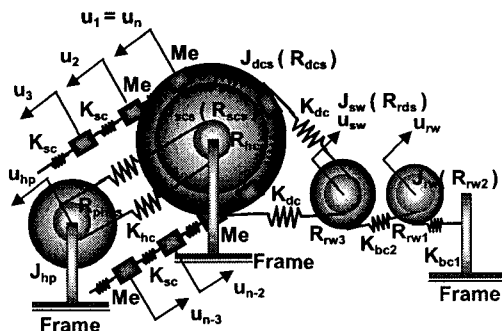


Fig. 4 Schematic vibration model for upper sprocket and driving units

3.2 상부 구동부

Fig. 4 는 상부 구동부의 동적 모델링의 구성도를 보여주고 있다. Fig. 4 를 통하여 다음과 같이 운동방정식을 유도할 수 있다.

$$\frac{J_{ut}}{R_{scs}^2} \ddot{u}_1 + 2 \left(K_{sc} + K_{dc} \left(\frac{R_{dcs}}{R_{scs}} \right)^2 + K_{hc} \left(\frac{R_{hcs}}{R_{scs}} \right)^2 \right) u_1 - K_{sc} u_2 - K_{sc} u_{n-1} - 2 \frac{R_{dcs}}{R_{scs}} K_{dc} u_{sw} - 2 \frac{R_{hcs}}{R_{scs}} K_{hc} u_{hp} = F(t) \quad (3)$$

$$J_{ut} = J_{step} \times 4 + J_{scs} \times 2 + J_{dcs} \quad (4)$$

$$\frac{J_{sw}}{R_{dcs}^2} \ddot{u}_{sw} + \left(\left(\frac{R_{rw3}}{R_{dcs}} \right)^2 K_{bc2} + 2K_{dc} \right) u_{sw} - \left(\frac{R_{rw2} R_{rw3}}{R_{dcs}^2} \right) K_{bc2} u_{rw} - 2 \frac{R_{dcs}}{R_{scs}} K_{dc} u_1 = 0 \quad (5)$$

$$\frac{J_{rw}}{R_{rw2}^2} \ddot{u}_{rw} + \left(\frac{R_{rw1}}{R_{rw2}} K_{bc1} + \frac{R_{rw2}}{R_{dcs}} K_{bc2} \right) u_{rw} - \left(\frac{R_{rw2} R_{rw3}}{R_{dcs}^2} \right) K_{bc2} u_{sw} = 0 \quad (6)$$

$$F(t) = \frac{n}{2} M_e 2\pi f \Delta V \sin(2\pi f t) \quad (7)$$

$$\Delta V = V (1 - \cos(\frac{\pi}{N})) \quad (8)$$

$$\frac{J_{hp}}{R_{hcs}^2} \ddot{u}_{hp} + 2K_{hc} u_{hp} - 2K_{hc} \frac{R_{dcs}}{R_{scs}} u_1 = 0 \quad (9)$$

$$M_e \ddot{u}_2 - K_{sc} u_1 + 2K_{sc} u_2 - K_{sc} u_3 = 0 \quad (10)$$

$$M_e \ddot{u}_{n-1} - K_{sc} u_n + 2K_{sc} u_{n-1} - K_{sc} u_{n-2} = 0 \quad (11)$$

여기서 n 은 스텝의 개수이며 사용된 변수는 다음과 같다.

- J_{ut} : 상부 스프라켓의 관성모멘트
- J_{step} : 상부 스프라켓에 위치한 스텝 한 개의 관성모멘트
- J_{scs} : 스텝체인 스프라켓의 관성모멘트
- J_{dcs} : 스텝체인 스프라켓의 관성모멘트
- J_{hp} : 핸드레일 풀리 관성모멘트
- J_{sw} : 기어박스 3 단축 관성모멘트
- J_{rw} : 기어박스 2 단 축 관성모멘트
- K_{dc} : 구동체인 등가강성계수
- K_{hc} : 핸드레일 구동체인 강성계수
- K_{bc1} : 기어박스 1 단 기어와 2 단 기어와의 강성
- K_{bc2} : 기어박스 2 단 기어와 3 단 기어와의 강성
- R_{dcs} : 상부 구동체인 스프라켓의 반지름
- R_{scs} : 스텝체인 스프라켓의 반지름
- R_{hcs} : 핸드레일 구동체인 스프라켓의 반지름
- R_{dcs} : 구동체인 스프라켓의 반지름
- R_{rw1} : 기어박스 2 단 gear 의 반지름
- R_{rw2} : 기어박스 2 단 pinion 의 반지름
- R_{rw3} : 기어박스 3 단 gear 의 반지름
- u_n : n 번 스텝의 변위
- u_{hp} : 핸드레일 풀리의 변위
- u_{sw} : 기어박스 3 단축 스프라켓의 변위
- u_{rw} : 기어박스 2 단 축 기어의 변위
- f : 체인-스프라켓 가짐에 기인한 주파수(3.65Hz)

ΔV : 체인-스프라켓에 의한 속도 변동량
 V : 스텝의 운행 속도
 N : 스프라켓 잇수

3.3 하부 구동부

Fig. 5 는 하부 구동부의 동적 모델링의 구성도를 보여주고 있다. 하부 구동부에 진입된 스텝들과 하부 구동부 사이에 접촉상태가 유지된다는 가정과 하부 구동부를 돌아가는 스텝들에 의해서 하부 구동부에 걸리는 모멘트 평형조건으로부터 다음 식을 유도하였다.

$$u_a = \frac{1}{2}u_j + \frac{1}{2}u_{j+2} + \eta \quad (12)$$

$$u_b = \frac{1}{2}u_j + \frac{1}{2}u_{j+2} - \eta \quad (13)$$

$$M_e \ddot{u}_j - K_{sc}u_{j-1} + \frac{3}{2}K_{sc}u_j - K_{sc}\eta - \frac{1}{2}K_{sc}u_{j+1} = 0 \quad (14)$$

$$M_{br} \ddot{\eta} - K_{sc}u_j + (K_{br} + 2K_{sc})\eta + K_{sc}u_{j+2} = 0 \quad (15)$$

$$M_e \ddot{u}_{j+2} - \frac{1}{2}K_{sc}u_j + K_{sc}\eta + \frac{3}{2}K_{sc}u_{j+2} - K_{sc}u_{j+3} = 0 \quad (16)$$

여기서 K_{br} 는 하부 구동부에 고정되어 있는 스프링의 강성계수이다.

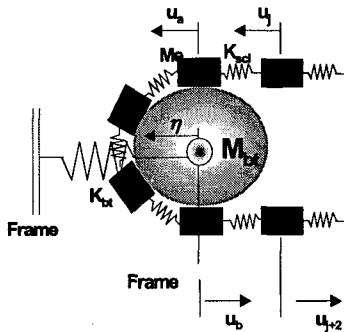


Fig. 5 Schematic vibration model for lower guide

3.4 구동 체인과 기어 박스

에스컬레이터가 위 방향으로 운행 시 구동체인이 한 쪽 방향으로 장력이 가해지는 것과는 달리 아래 방향으로 운행 시에는 구동체인의 장력이 승객 인원수에 따라 변화한다. 장력의 변화에 따른 구동체인의 강성을 다음과 같이 표현하였다. 또한 구동체인의 처짐량에 따른 추가적인 강성 변화를 반영하기 위하여 처짐량 계수를 적용하였다. 여기서 K_0 을 제외한 변수들은 공진 조건에서의 진동실험 결과와 비교하여 그 값을 추론하였다.

$$K_{dc} = K_0 \left[1 - \alpha c_{sag} \exp\left\{-\frac{(x-n_p)^2}{\beta}\right\} \right] \quad (17)$$

K_0 : 위 방향으로 운행될 때 구동체인의 강성계수
 α : 강성 감소계수 ($0.5 < \alpha < 1$)

c_{sag} : 구동체인의 처짐량계수 ($0.1 < c_{sag} < 1$)
 n_p : 주행저항계수 (탑승인원수로 평가)
 x : 승객의 수
 β : 부하 영향 범위계수

여기서, c_{sag} 는 실제 조건에서 임의로 조정 가능한 구동체인의 처짐량을 반영한 값이며 구동체인의 처짐량에 등가되는 값을 갖는다.

구동체인의 경우와 마찬가지로 에스컬레이터가 위 방향으로 운행될 때 기어박스의 기어 치들은 연속적인 접촉을 한다. 그러나 에스컬레이터가 아래 방향으로 운행될 때 승객의 인원수에 따라 기어 치들의 백래시에 의하여 불연속 접촉을 한다. 이러한 불연속 접촉으로 인한 강성 변화를 수식화하기 위해 기어박스의 치강성을 아래와 같은 식으로 표현하였다. 여기서 K_{bc2} 는 K_{bc1} 과 동일한 값을 갖는다고 가정 하였다.

$$K_{bc1} = K_{bc0} \left[1 - \alpha c_{gap} \exp\left\{-\frac{(x-n_p)^2}{\beta}\right\} \right] \quad (18)$$

K_{bc0} : 연속 접촉 시 기어치 강성계수
 c_{gap} : 기어박스의 백래시계수 ($0.01 < c_{gap} < 1$)

여기서 연속 접촉 시 K_{bc0} 는 피치, 피치 직경, 기어 모듈, 잇수, 압력각 및 치폭을 고려하여 도출하였다.⁽⁹⁾

3.5 전역 운동방정식의 구성

에스컬레이터 전체 구조에 대한 운동 방정식은 앞에서 정의한 요소 운동 방정식을 조합하여 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$[M]\ddot{u} + [C]\dot{u} + [K]u = \{F\} \quad (19)$$

4. 해석 결과

모델링의 신뢰성을 평가하기 위하여 승객 부하를 적용한 조건에서의 해석 결과를 실제로 측정된 가속도의 3.65Hz 성분과 비교하였다. 해석에서는 정상 상태 응답 결과 중 에스컬레이터의 직선부 중간에 위치한 스텝의 가속도를 구하였다. 구동체인의 처짐량과 기어박스의 총 백래시는 일반적인 설계 조건인 10mm 와 0.35mm 로 각각 적용하였다. Fig. 6 은 에스컬레이터가 아래 방향으로 운행 시 모델에 의한 해석 및 실험에 의해서 얻은 스텝의 가속도 성분 중 3.65Hz 성분의 크기를 보여주고

있다. 3 명의 승객의 승차 조건인 1800N 이 스텝에 적용되었을 때 스텝에서 가장 큰 진동 크기인 12mg 가 발생함을 알 수 있다. 승차 부하에 따른 해석 결과의 전체적인 경향이 실험 결과와 일치함을 확인하였다.

4.1 백래시의 변경에 따른 공진 시 진동 평가
구동체인의 처짐량을 10mm 로 고정된 상태에서 기어박스의 총 백래시를 1.0, 0.35, 0.3, 0.2, 0.15 및 0.1mm 의 6 단계로 변경하여 해석하였다.

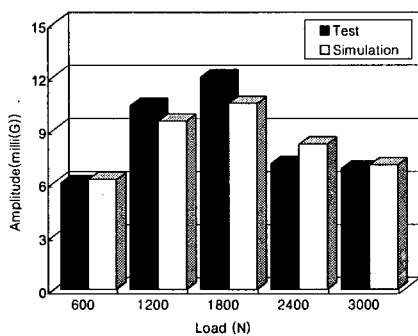


Fig. 6 Comparison of vibration levels(3.65Hz) with respect to passengers' load

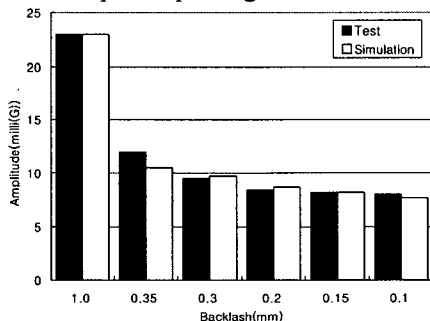


Fig. 7 Comparison of vibration levels(3.65Hz) with respect to gear box backlash

Fig. 7 은 공진 조건에서 해석과 실험에서 얻은 가속도의 3.65Hz 성분의 크기를 보여주고 있다. 백래시가 증가할 수록 공진 조건에서의 3.65Hz 성분이 증가함을 알 수 있으며 백래시가 1mm 인 경우 그 크기가 20mg 이상임을 알 수 있다. 이러한 결과를 근거로 기어박스의 백래시가 에스컬레이터의 공진에 큰 영향을 주고 결과적으로 스텝 진동을 증가시킨다는 것을 확인하였다. 일반적으로 3.65Hz 성분이 8mg 이하일때 일반 승객은 에스컬레이터의 진동을 느끼지 못한다는 실험 결과를 근거로 할 때 백래시를 0.2mm 이하로 설계하는 것이 바람직한 것으로 분석되었다. 동일 조건에서 백래시를 변경하면서 실제 측정된 스텝의 가속도의 3.65Hz 성분과 유사한 경향을 보여주고 있다.

4.2 백래시와 구동체인의 처짐량 변경에 따른 공진 시 진동 평가

4. 1 절에서의 6 단계의 백래시 조건과 5, 10, 15 및 20mm 의 4 단계의 구동체인 처짐량을 조합하여 해석하였다. Fig. 8 은 공진 조건에서의 3.65Hz 성분의 크기를 보여주고 있다. 백래시와 구동체인 처짐량이 증가할 수록 에스컬레이터 스텝의 가속도의 크기가 지속적으로 증가함을 알 수 있다. 또한 에스컬레이터의 공진에 있어서는 구동체인의 처짐량보다 기어박스의 백래시가 에스컬레이터 진동에 더 큰 영향이 있음을 확인하였다. 그러나 백래시를 0.2mm 이하로 설계하여 적용하더라도 구동체인의 처짐량이 15mm 이상일 경우 3.65Hz 성분의 크기가 8mg 를 초과하므로 승차감에 문제가 생길 수 있다. 따라서 일정한 승차감을 유지하기 위해서는 주기적인 구동체인의 보수가 필요하다. Fig 9 에서와 같이 동일 조건에서 실제 측정된 스텝의 가속도의 3.65Hz 성분과 유사한 경향을 보여주고 있다.

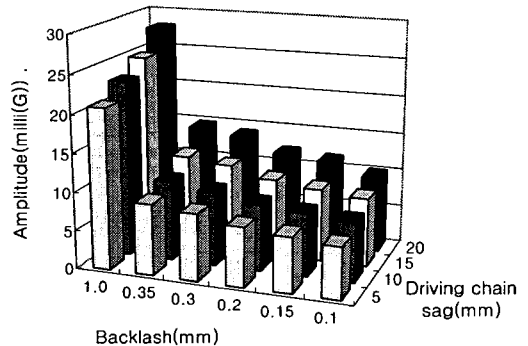


Fig. 8 Vibration levels(3.65Hz) with respect to driving chain sag and gear box backlash.

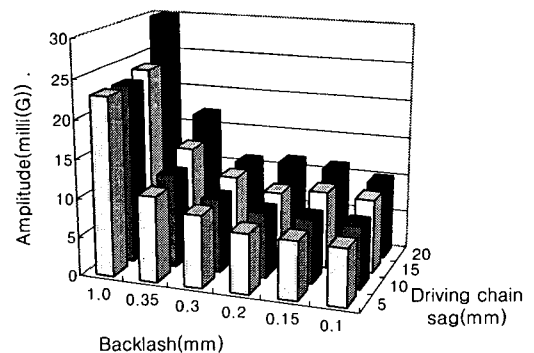


Fig. 9 Vibration levels(3.65Hz) with respect to driving chain sag and gear box backlash(test)

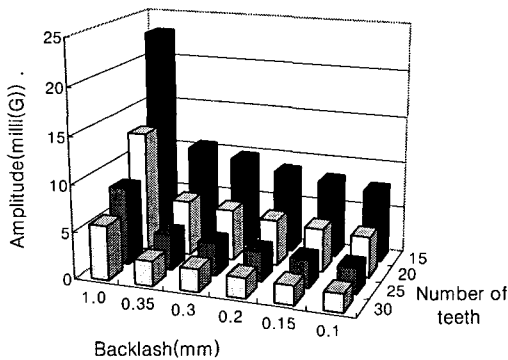


Fig. 10 Vibration levels(3.65Hz) with respect to the number of sprocket teeth and gear box backlash

4.3 백래시와 스프라켓 잇수 변경에 따른 공진 시 진동 평가

6 단계의 백래시와 15, 20, 25 및 30 개의 4 단계의 체인-스프라켓 잇수를 조합하여 해석을 하였다. 일반적으로 스프라켓의 잇수의 차이에 따라 에스컬레이터의 종류가 구분되며 이와 같은 이유로 에스컬레이터마다 진동의 크기가 각각 다르며 공진 현상 역시 큰 차이가 나타난다. 잇수에 따른 속도 변동을 및 그에 따른 가진성분의 크기는 식(7)과 (8)에 의해서 도출하였다. 단, 가진 주파수는 동일하다고 가정하였다. Fig. 10 는 백래시 및 잇수 변화에 따른 해석 결과를 보여주고 있다.

백래시가 클수록 그리고 스프라켓 잇수가 적을수록 공진 조건에서 스텝 가속도의 3.65Hz 의 크기가 최대가 됨을 알 수 있다. 백래시가 크더라도 잇수가 많으면, 즉 속도변동율이 작으면 스텝의 가속도가 크게 증가하지 않음을 알 수 있다. 체인-스프라켓의 잇수가 25 개 이상이면 기어박스의 백래시가 일반적인 수준인 0.35mm 일 때에도 공진 조건에서의 3.65Hz 성분의 크기가 5mg 이하로 유지됨을 확인하였다. 따라서 기어박스의 백래시는 에스컬레이터의 종류에 따라 또는 체인-스프라켓의 잇수에 따라 다르게 설정할 필요가 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 에스컬레이터의 공진 현상의 원인을 규명하기 위한 동적 모델을 구축하였다. 구동체인의 처짐에 의한 동특성 뿐만 아니라 기어박스 백래시의 동특성도 반영하여 보다 현실적인 에스컬레이터의 공진 현상을 재현하였다. 구동체인의 동특성뿐만 아니라 기어박스의 동특성이 공진 현상에 직접적이고 중요한 영향을 주는 것을 제안된 모델의 결과로 확인하였다. 기어박스 백래시 변경을 통한 검증 실험을 통하여 모델링을 실험적

으로 검토하였고 실험 결과와 비교함으로써 모델의 신뢰성을 검증하였다. 해석 결과를 통하여 에스컬레이터의 공진 조건에서 양호한 진동 수준을 확보하기 위한 개선안을 다음과 같이 제안하였다.

- 1) 현 에스컬레이터에서의 기어박스의 총 백래시가 0.2mm 이하로의 설계가 필요하다.
- 2) 구동체인의 처짐량은 15mm 미만으로 관리될 수 있도록 주기적인 관리가 필요하다.
- 3) 잇수가 25 개 이상인 공공용 에스컬레이터의 경우에는 기어박스의 백래시를 현 기준으로 적용하며 특별한 관리항목이 필요하지 않다.

참고문헌

- (1) 권이석, 박선용, 김성대, 서장원, 김석관, 이종원, 1996, "다구찌기법을 이용한 에스컬레이터의 소음 저감에 관한 연구," 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집, pp142-147.
- (2) Kwon, Y.S. and Park, C.J., 1998, "Dynamic Characteristics Analysis of an Escalator Using Computational Dynamics Program," Proc. of DETC98 ASME Design Engineering Technique Conference, No.DETC98/MECH-5813.
- (3) Park, C.J., Kwon, Y.S. and Park, T.W., 1999, "Computational Modeling and Vibration Reduction of an Escalator System Using Robust Design," Int. J. of Computer Modeling and Simulation in Engineering, 4(4), pp.255-259.
- (4) Kong, L., Sabbaghan, M., 1996, "Design of an engagement guiding mechanism for roller chain drives," Engineering Systems Design and Analysis, Volume 6, ASME, 191~198.
- (5) Chen. C.K., and Freudenstein, F., 1988, "Towards A More Exact Kinematics of Roller Chain Drives," Trans. ASME, Journal of Mechanism, Transmissions and Automatic Design, Vol.110, pp. 269~275.
- (6) 강규웅, 권이석, 홍성욱, 2000, "에스컬레이터의 구조적 진동 : (I) 동적 모델링", 한국소음진동공학회지/제 10 권, 제 4 호, pp. 692~701.
- (7) 임수영, 권이석, 박선용, 홍성욱, 2000, "에스컬레이터의 구조적 진동 : (II) 분석 및 대책", 한국소음진동공학회지/제 10 권, 제 5 호, pp. 820~830.
- (8) Takuro H., Yoshinori I., Hideaki T., Masato N. and Hideo T., 1993, "Periodic Shock Pulses Occurring in a Roller Chain Driving System with a Reduction Gear," JSME, 59-567, pp. 3255~3260.
- (9) Park, N.G., 1987, "An Analytical Investigation of Geared System Dynamics Containing Spur and Helical Gears," Ph. D Dissertation, Mechanical Engineering Dept., North Carolina State University, Raleigh, NC., Aug.