한국소음진동공학회 2002년도 춘계학술대회논문집, pp. 53~63

차량 동력 전달계 진동 해석

2002. 5.

홍 동 표
(전북대학교 기계공학부)

차량 동력 전달계 진동 해석

전북대학교 기계공학부
홍동표

차량 동력 전달계의 진동 해석

- 동력 전달계 진동의 개요
- 동력 전달계 진동 가진원
- 동력 전달계 모델링
- 동력 전달계의 진동 해석
- 진동 저감 방법

I. 동력 전달계의 진동 개요

- 승차감에 대한 인식 변화
- 환경 규제 강화
- 자동차의 진동 소음 중요성 증대
- 자동차 시스템에 대한 구동계의 진동 소음 비중이 큼

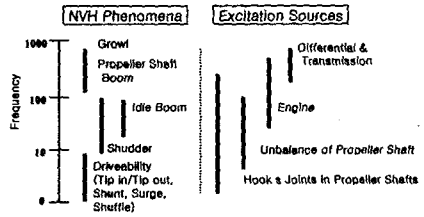
I. 동력 전달계의 진동 개요

1. 자동차의 진동 소음

▶ 현상별 기여도

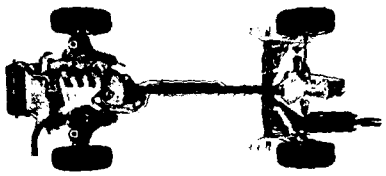
I. 동력 전달계의 진동 개요

2. 동력 전달계의 발생 진동 소음



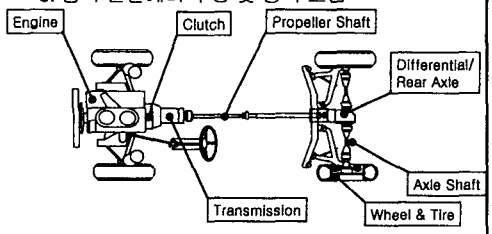
I. 동력 전달계의 진동 개요

3. 동력 전달계의 구성 및 동력 흐름



I. 동력 전달계의 진동 개요

3. 동력 전달계의 구성 및 동력 흐름



I. 동력 전달계의 진동 개요

4. 동력 전달계의 진동

- 관성과 강성을 갖는 회전 부품으로 구성
  - ☛ 비틀림 진동의 지배를 받는다.
- 동력 전달계 비틀림 진동과 연성된 차량의 진동 발생
  - ☛ Judder(Chatter), Tip in/ Tip Out....

I. 동력 전달계의 진동 개요

5. 동력 전달계의 진동 해석 내용

- 가진력의 종류 및 전달 경로
- 비틀림 진동의 발생 위치
- 비틀림 진동의 현상

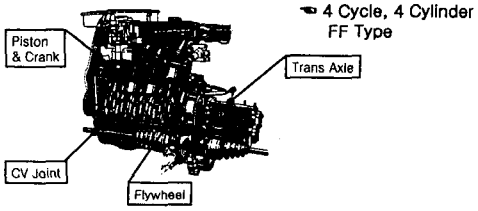
II. 동력 전달계의 진동 가진원

- 엔진 폭발력에 기인한 토크 변동
- 구동축의 교각 효과에 의한 각속도 변동

II. 동력 전달계의 진동 가진원

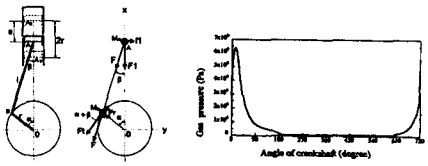
1. 엔진 폭발력에 의한 가진력

☛ 4 Cycle, 4 Cylinder FF Type



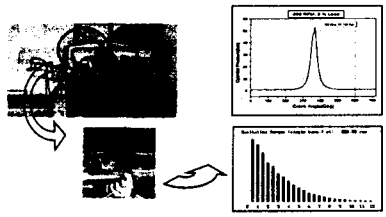
II. 동력 전달계의 진동 가진원

1-1. Single Cylinder 엔진 폭발력



II. 동력 전달계의 진동 가진원

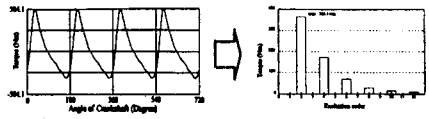
1-2. Single Cylinder 엔진 폭발력(실험결과)



II. 동력 전달계의 진동 가진원

1-3. 4 Cylinder 엔진 폭발력

☞ Fourier 급수로 표현

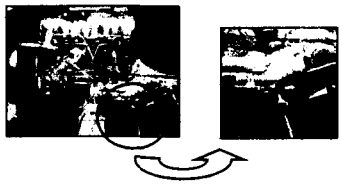


II. 동력 전달계의 진동 가진원

1-4. 엔진 폭발력에 의한 각속도변동
(4 Cylinder, 실험)

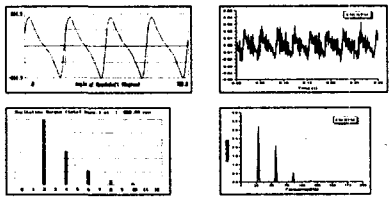
II. 동력 전달계의 진동 가진원

2. 플라이휠 토크 변동 측정



II. 동력 전달계의 진동 가진원

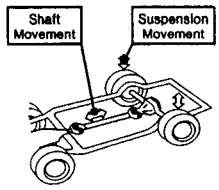
2-1. 수치해석 및 실험 결과



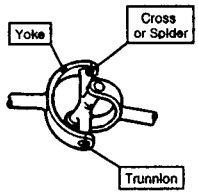
II. 동력 전달계의 진동 가진원

3. Propeller Shaft 의 가진력

☞ Propeller Shaft



☞ Universal Joint

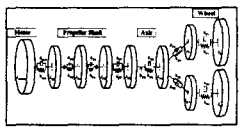


II. 동력 전달계의 진동 가진원

3-1. 실험 및 수치해석

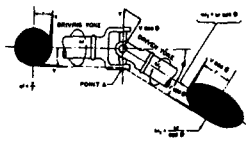
▷ Test Rig (Motor-P/Shaft-Axle)

▷ 10 D.O.F. Model



II. 동력 전달계의 진동 가진원

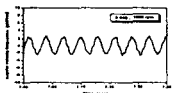
3-2. Propeller Shaft 의 교각 효과



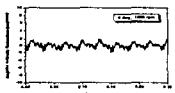
II. 동력 전달계의 진동 가진원

3-3. 교각 효과에 의한 각속도 변동

☛ Motor 구동시 교각 후방의 각속도 (1000 RPM, 6 Deg)



Simulation

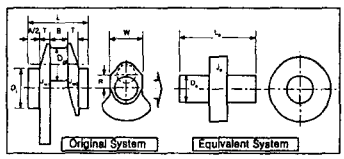


Experiments

III. 동력 전달계 모델링

1. Engine Model

▷ $J_c = J_r + J_{w1} + J_{w2} + J_j + J_{cp}$

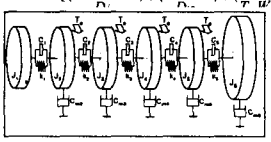


III. 동력 전달계 모델링

1-1. Engine Model

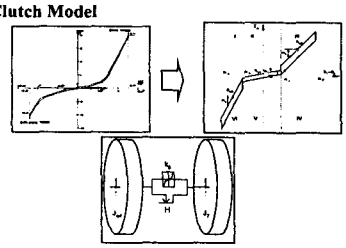
▷ $k = G\pi \frac{D^4}{32l}$

▷ $L_e = D^4\left[\left\{\frac{A+0.8\cdot T}{D_1^4}\right\}+\left\{\frac{0.75\cdot B}{D_2^4}\right\}+\left\{\frac{1.5\cdot R}{T\cdot W^3}\right\}\right]$



III. 동력 전달계 모델링

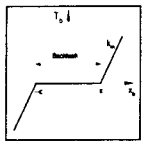
2. Clutch Model



III. 동력 전달계 모델링

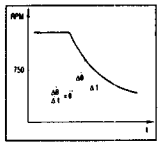
3. Transmission Model

▷ Backlash



$T_h = k_m \cdot R \cdot b(x_h, \varepsilon)$

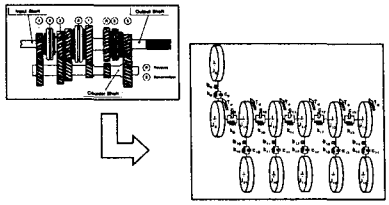
▷ Drag Torque



$T_J = J \cdot \ddot{\theta}$

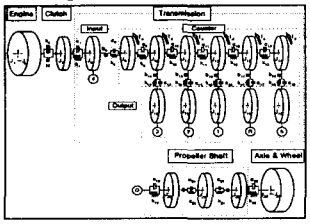
III. 동력 전달계 모델링

3-1. Transmission Model



III. 동력 전달계 모델링

4. 28 D.O.F. Equivalent Model



IV. 동력 전달계의 진동 해석

- ◯ 비틀림 진동 실험
- ◯ Simulation을 위한 비틀림 진동 모델
- ◯ 비틀림 진동 현상 해석

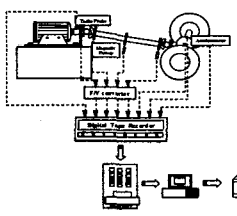
IV. 동력 전달계의 진동 해석

1-1. 비틀림 진동 실험

- ◯ 각속도, 각가속도의 변동 측정
  - ☛ 속도 센서 사용(Magnetic Pickup, Laser Sensor)
- ◯ 기준 속도와 비교
  - ☛ Taco Probe, Encorder 사용 (Order Tracking 등에 이용)

IV. 동력 전달계의 진동 해석

1-2. 실험 장치 구성



Pulse Signal

⇩

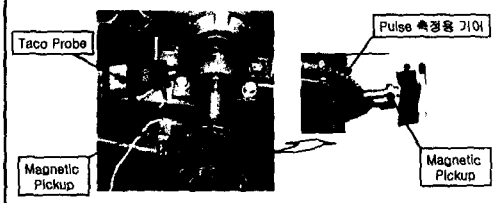
F/V Convertor

⇩

Voltage Signal

IV. 동력 전달계의 진동 해석

1-3. 실험 장치 설치 예



IV. 동력 전달계의 진동 해석

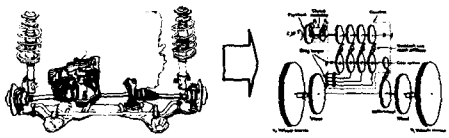
2-1. 동력 전달계 Simulation Model

- ◯ *Lumped Mass Model*
  - ☞ 관성을 갖는 집중질량이 강성과 감쇠에 의해 연결된 것으로 모델링.
- ◯ 엔진 가진력과 추진축 교각 효과를 가진력으로 입력
- ◯ 클러치 특성, 기어 백래쉬 등의 비선형 요소 포함.

IV. 동력 전달계의 진동 해석

2-2. 동력 전달계 Simulation Model 예

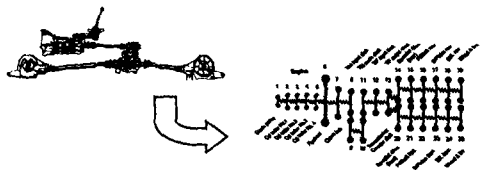
◯ 전륜 구동 차량(FF Type, 16 D.O.F.)



IV. 동력 전달계의 진동 해석

2-2. 동력 전달계 Simulation Model 예

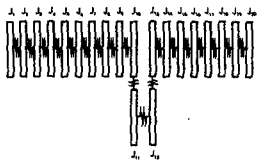
◯ 후륜 구동 차량(4WD Type, 25 D.O.F.)



IV. 동력 전달계의 진동 해석

3-1. 비틀림계 자유 진동 해석(5 ton Cargo)

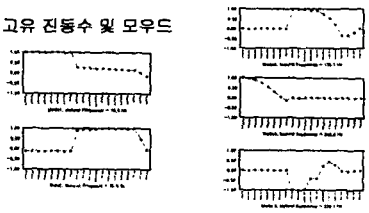
◯ 후륜 구동 차량 Model-20 D.O.F.



IV. 동력 전달계의 진동 해석

3-1. 비틀림계 자유 진동 해석

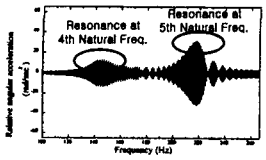
◯ 고유 진동수 및 모우드



IV. 동력 전달계의 진동 해석

3-2. 비틀림계 강제 진동 해석

◯ 4WD Engine RPM Sweep



IV. 동력 전달계의 진동 해석

3-3. 클러치 특성 해석

1) 클러치의 기능

◯ 동력의 차단 연결

◯ 원활한 동력 전달

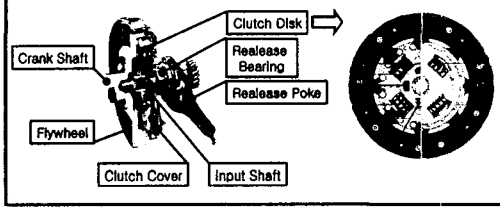
◯ 슬립에 의한 소모 에너지 흡수

◯ 진동의 완화

IV. 동력 전달계의 진동 해석

3-3. 클러치 특성

2) 클러치의 구조



IV. 동력 전달계의 진동 해석

3-3. 클러치 특성

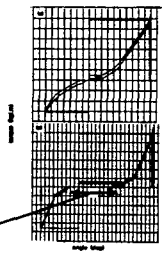
3) 클러치 토크 특성

(a) Main Damper Type

(b) Pre Damper Type

Stiffness K
Hysteresis H

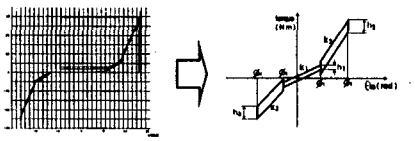
Pre Damper Region



IV. 동력 전달계의 진동 해석

3-3. 클러치 특성

4) 클러치 토크 특성 모델



IV. 동력 전달계의 진동 해석

3-3. 클러치 특성

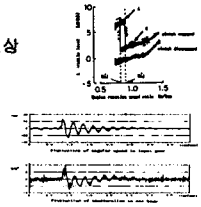
5) 클러치 특성과 연관된 현상

◯ Jumping

◯ Shuffle
(Tip in/ Tip out)

◯ Judder

◯ Rattle



IV. 동력 전달계의 진동 해석

3-4. Idle Rattle

1) Idle Rattle

- ◯ 가장 두드러진 구동계 비틀림 진동 현상
- ◯ 차량 정지, 중립 위치에서 발생
- ◯ Transmission 내부의 자유 기어 쌍의 충돌
- ◯ 기어 쌍의 관성, 변속기 내부의 드래그 토크, 클러치 토크 특성의 지배를 받는다.

IV. 동력 전달계의 진동 해석

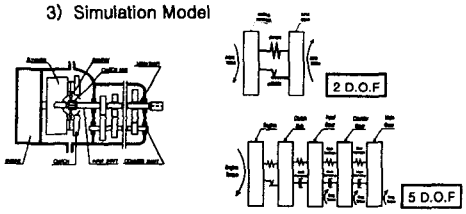
3-4. Idle Rattle

2) Idle Rattle Mechanism

IV. 동력 전달계의 진동 해석

3-4. Idle Rattle

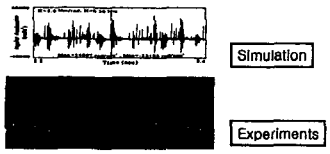
3) Simulation Model



IV. 동력 전달계의 진동 해석

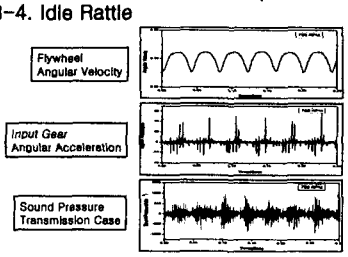
3-4. Idle Rattle

4) Results



IV. 동력 전달계의 진동 해석

3-4. Idle Rattle



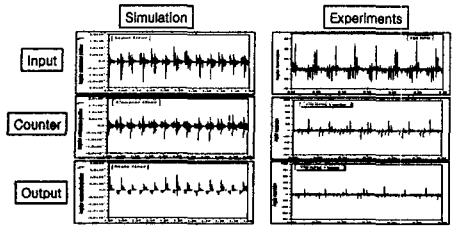
IV. 동력 전달계의 진동 해석

3-4. Idle Rattle

- ◯ 수치해석 및 실험
- ▷ 14 D.O.F. Equivalent Model
- ▷ ARLA Simul Ver.6.7 B
- ▷ 측정 장치

IV. 동력 전달계의 진동 해석

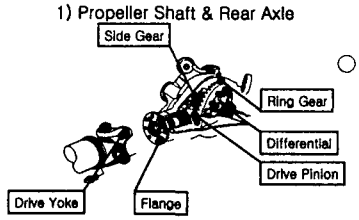
3-4. Idle Rattle - 수치해석 및 실험 결과(750 RPM)



IV. 동력 전달계의 진동 해석

3-5. Propeller Shaft & Rear Axle

1) Propeller Shaft & Rear Axle



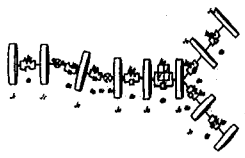
○ Axle은 Propeller Shaft에 의해 가진 된다

IV. 동력 전달계의 진동 해석

3-5. Propeller Shaft & Rear Axle

2) Modeling

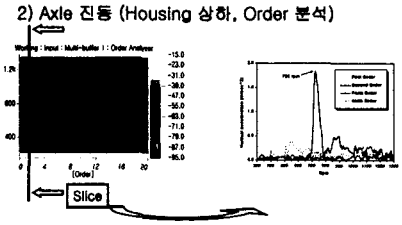
10 D.O.F Modeling(Motor Driving System)



IV. 동력 전달계의 진동 해석

3-5. Propeller Shaft & Rear Axle

2) Axle 진동 (Housing 상하, Order 분석)



V. 진동 저감 방법

○ 구동계 파라미터 튜닝

○ 구조 변경

○ 댐퍼 설치

○ 최적 설계

V. 진동 저감 방법

4-1. 구동계 파라미터 튜닝

○ 클러치 인자 설계

☞ 상반 조건을 갖는다.

○ 가장 경제적 방법

V. 진동 저감 방법

4-2. 구조 변경

- ◯ Pre Damper Type 클러치 사용
- ◯ Dual Mass Flywheel 사용
- ◯ 기어 관성 변경

V. 진동 저감 방법

4-3. 댐퍼 채용, 최적 설계

- ◯ Crank Shaft, Propeller Shaft에 장착
- ◯ 설계 단계에서 검토