

단통형 댐퍼의 비선형 특성을 고려한 차량 동적 응답 분석

한양대학교 미래자동차공학과
4학년 이수명
지도교수: 민승재

연구 배경 / 목적

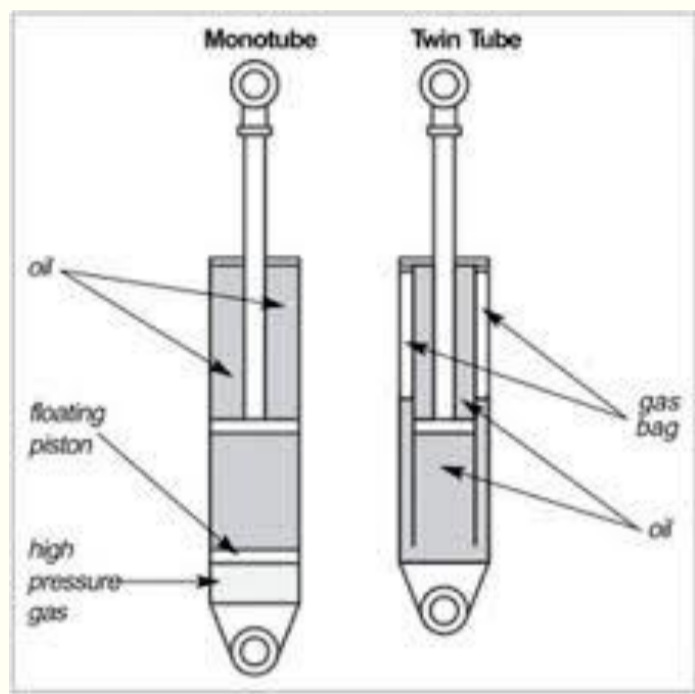
■ 연구 배경

- 단통형 댐퍼의 경우 복통형 댐퍼에 비해 가볍고, 유지 보수 및 가격 측면에 유리하기 때문에 저가형 차량에 주로 사용됨
- 댐퍼의 비선형 특성은 이론적 분석이 어려워 주로 실험 결과 기반으로 분석: 개념설계 단계에서 댐퍼 특성 반영 어려움

■ 연구 목적

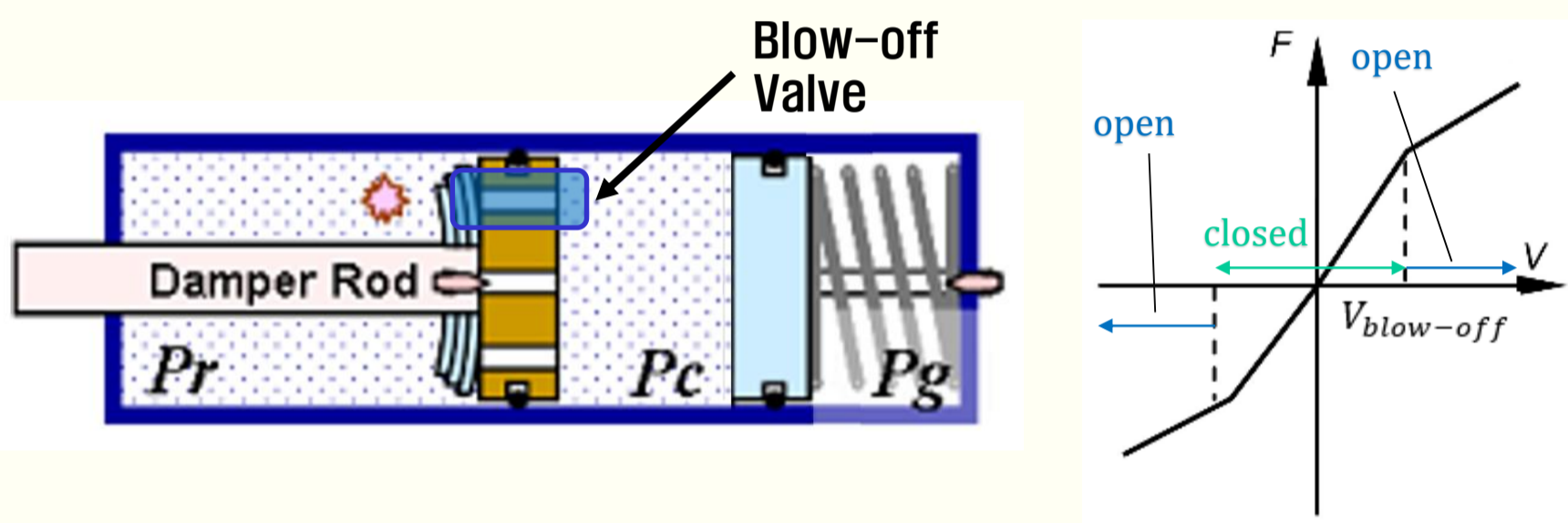
- 단통형 댐퍼에 대한 이론적 특성을 반영한 모델링 및 타당성 확인
- 댐퍼 내 설계인자 값 변화에 따른 차량 동적 응답 특성 분석

단통형 댐퍼 구성도

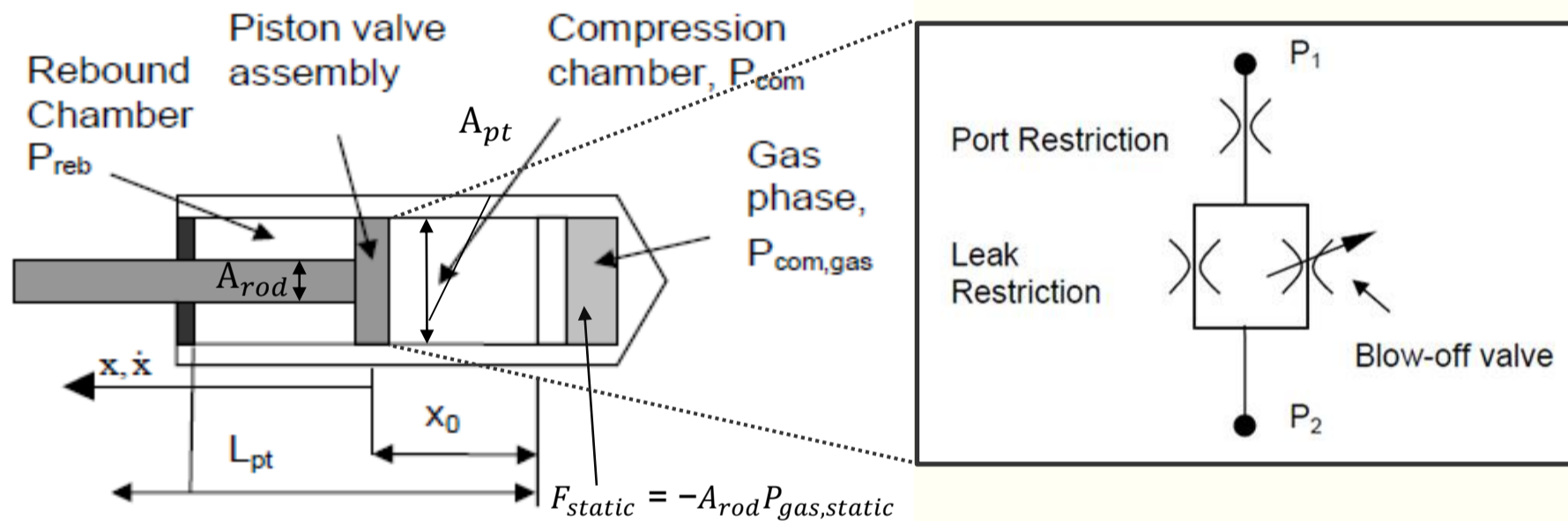


피스톤이 작동 시
→ Damper Force 발생
속도 ∝ Damper Force

피스톤 속도	저속	고속
Blow-off 밸브	열림	닫힘
⇒ Damping ratio 불연속 발생		



단통형 댐퍼 모델링



* Ref.: Adrian, S. and David, C., "The Influence of Damper Properties on Vehicle Dynamic Behaviour", SAE, 2002.

• Damper Force

$$F_{rebound} = F_{static} + \Delta p(A_{pt} - A_{rod}) + F_{friction}sgn\dot{x}$$

$$F_{compression} = F_{static} - \Delta p(A_{pt} - A_{rod}) + F_{friction}sgn\dot{x}$$

$$\Delta P_{tot} = \Delta P_{leak} + \Delta P_{port} \quad Q_{tot} = Q_{port} + Q_{blow-off}$$

$$\Delta P_{port} = K_{port}v^{1/4}Q_{port}^{7/4} \quad \Delta P_{port} = K_{port}v^{1/4}Q_{port}^{7/4}$$

• Blow 밸브가 닫혀 있을 때

$$Q_{blow-off} = 0 \text{ 이므로 } Q_{tot}|_{closed} = Q_{leak}$$

$$\therefore \Delta p_{tot}|_{open} = v^{1/4}(K_{leak}Q_{leak}|_{open}^{7/4} + K_{port}Q_{tot}|_{open}^{7/4})$$

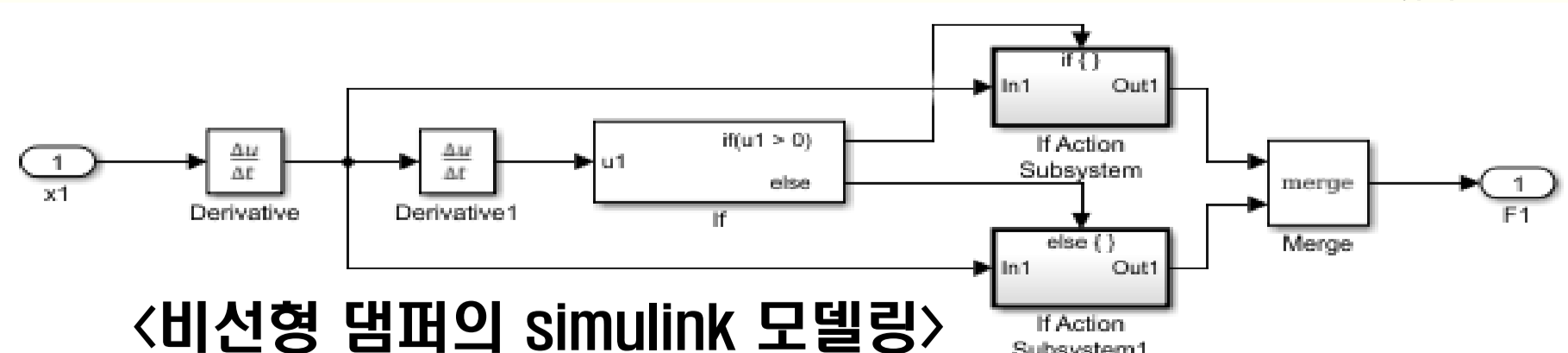
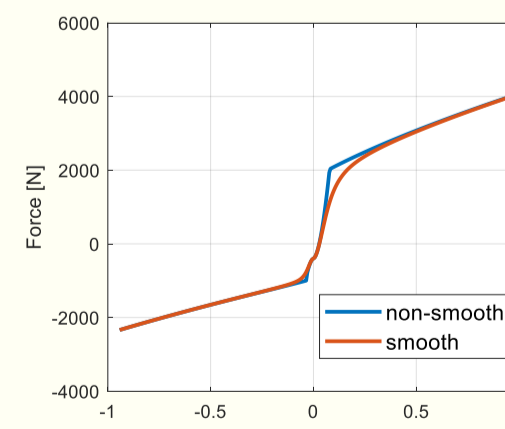
• Blow 밸브가 열려 있을 때

$$K_{spring}Q_{blow-off} = (\Delta P_{blow-off} - \Delta p_0)\sqrt{\Delta P_{blow-off}}$$

$$\therefore \Delta p_{tot}|_{open} = v^{1/4}(K_{leak}Q_{leak}|_{open}^{7/4} + K_{port}Q_{tot}|_{open}^{7/4})$$

• Smooth Transition

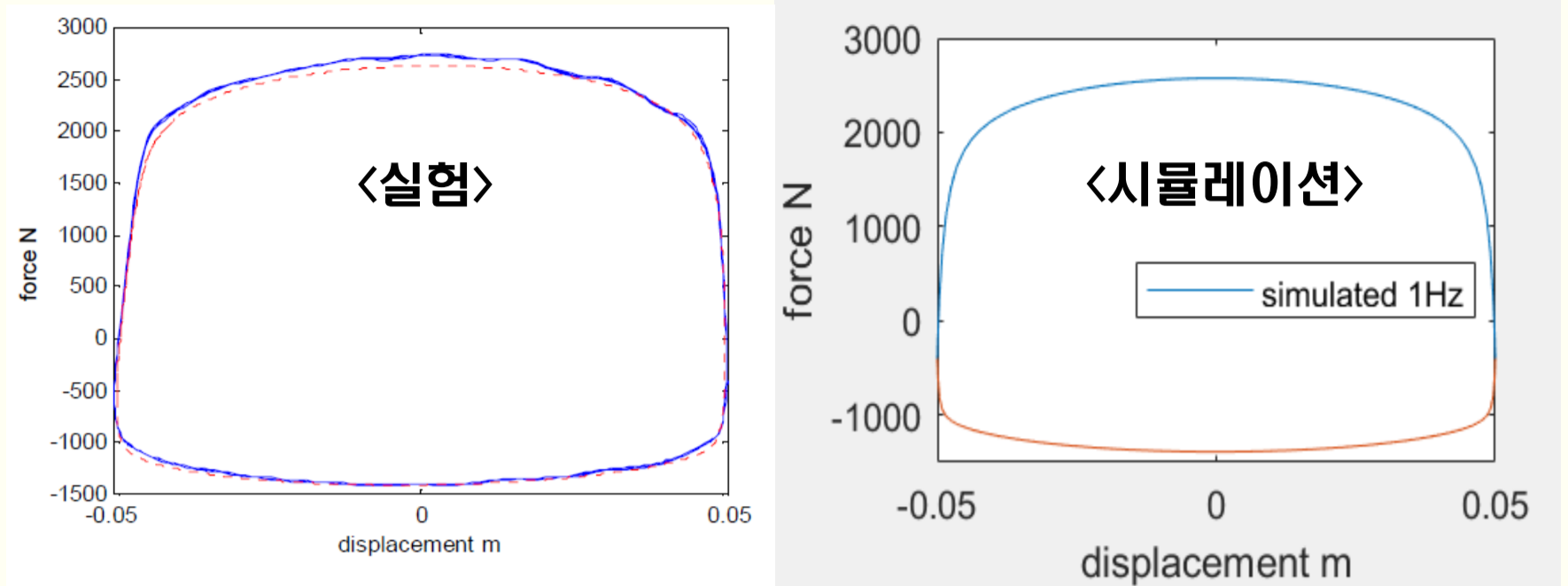
$$\Delta p_{smooth} = \frac{\Delta p_{tot}|_{open} \times \Delta p_{tot}|_{closed}}{\sqrt[2]{|\Delta p_{tot}|_{open}|^G + |\Delta p_{tot}|_{closed}|^G}}$$



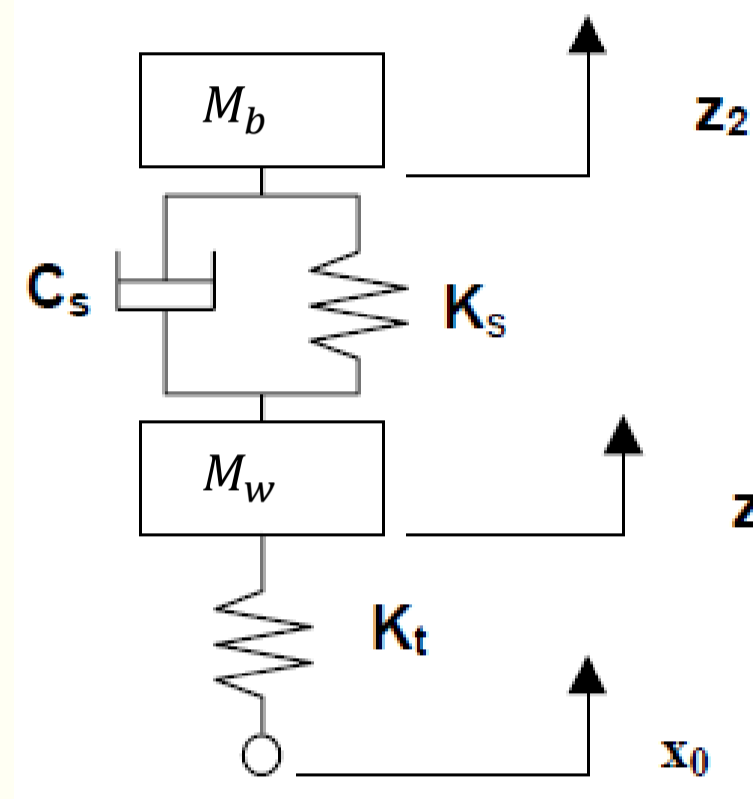
단통형 댐퍼 모델 타당성 확인

■ Damper Test

※ 실험 조건
댐퍼 모델의 비선형 특성을 검증하기 위해 주기적으로 피스톤 속도가 바뀌는 주파수 1Hz, 진폭 0.05의 sine wave 입력을 가함



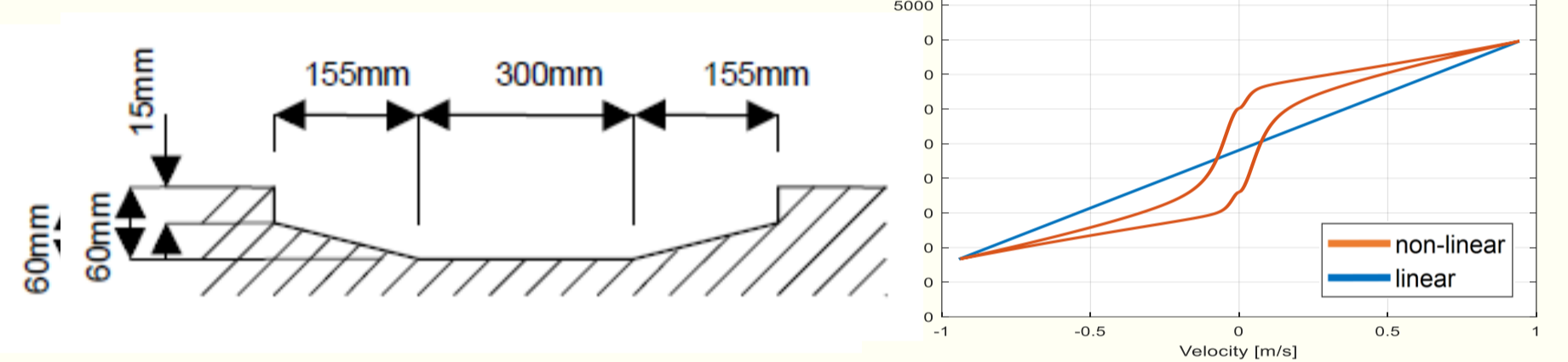
■ Quarter Car Simulation



Parameter	Magnitude	Units
M _w (휠 질량)	55.5	kg
M _b (차체 질량)	451.8	kg
K _t (타이어 강성)	250	kN/m
K _s (서스펜션 강성)	29.7	kN/m
C _s (댐핑 계수)	2622	Ns/m

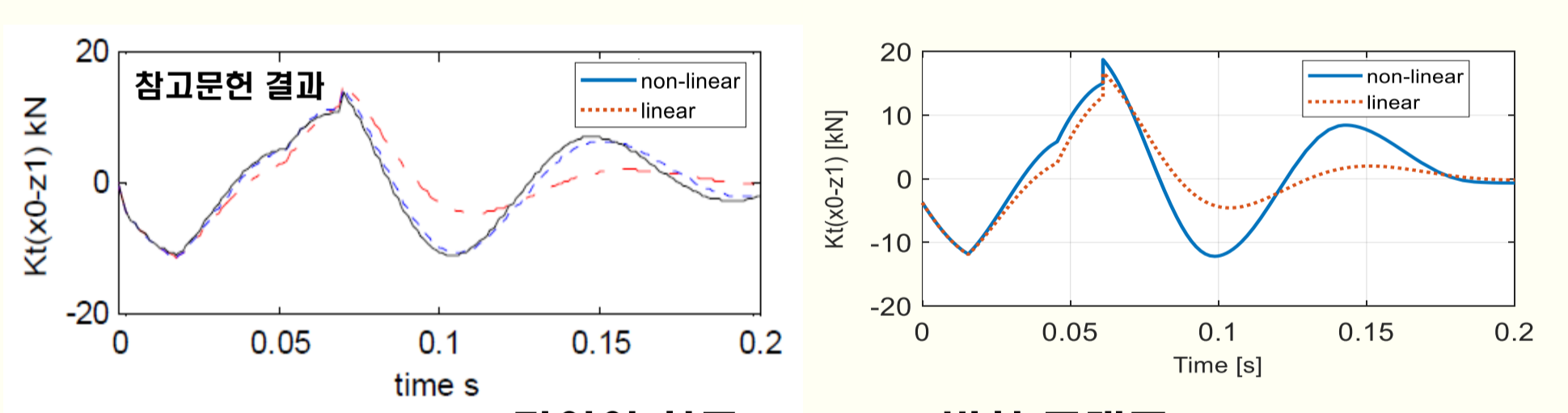
<모델 내 매개변수>

<Quarter car 모델>



<노면 형태>

<댐퍼 특성 비교>

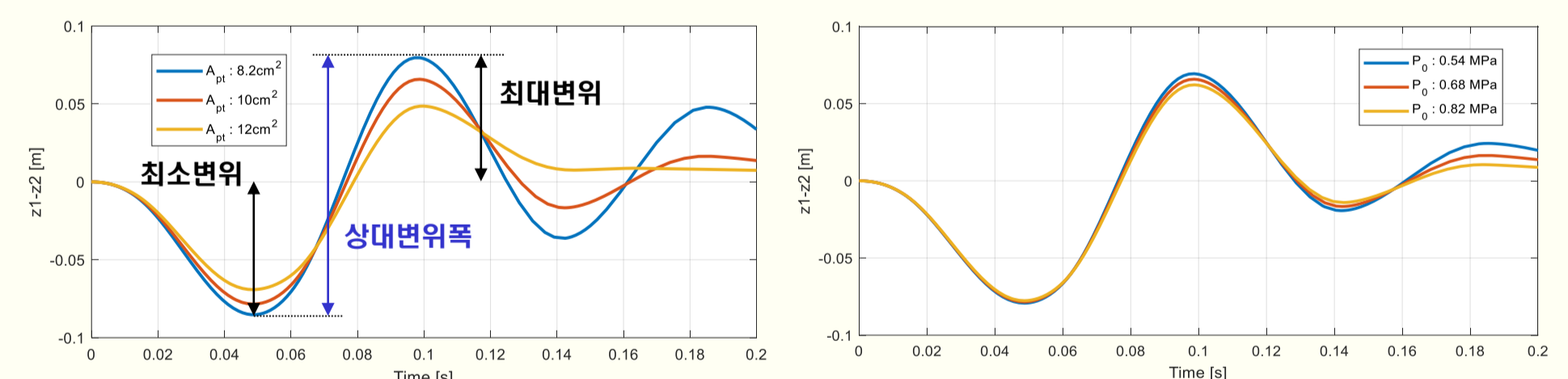


<타이어 하중(Kt(x0-z1)) 변화 그래프>

설계인자 영향도 분석

※ 시뮬레이션 조건

- ① 차속 10 m/s로 상기 노면 주행 시, 휠과 차체 간 상대 변위(z1-z2) 값 시뮬레이션
- ② 피스톤 면적과 Blow 밸브 개폐 시 압력 변동 시 최대 상대 변위 폭 영향도 분석



<피스톤 면적 변화에 따른 상대 변위>

<밸브 압력 변화에 따른 상대 변위>

A _{pt} [cm ²]	8.2	10	12
최대변위 [cm]	7.96	6.58	4.86
최소변위 [cm]	-8.52	-7.85	-6.92
상대변위폭 [cm]	16.48	14.43	11.78

ΔP ₀ [MPa]	0.54	0.68	0.82
최대변위 [cm]	6.94	6.58	6.22
최소변위 [cm]	-7.93	-7.85	-7.77
상대변위폭 [cm]	14.87	14.43	13.99

⇒ 피스톤 면적이 작을수록 최대 상대 변위 폭이 증가하며 밸브 압력의 경우 변화에 따른 영향도가 작음

결론

- 단통형 댐퍼의 비선형 특성을 고려한 모델링
- 실험과 시뮬레이션 결과 비교를 통해 개발 모델 타당성 확인
- 설계인자 변화에 따른 차량 동적 응답 영향도 분석

