

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2011-0087449 (43) 공개일자 2011년08월03일
(51) Int. Cl. <i>F16F 15/02</i> (2006.01) <i>F16F 15/00</i> (2006.01) <i>G05B 19/00</i> (2006.01) (21) 출원번호 10-2010-0006870 (22) 출원일자 2010년01월26일 심사청구일자 2010년01월26일	(71) 출원인 조선대학교산학협력단 광주광역시 동구 서석동 375 조선대학교 내 (72) 발명자 성윤경 광주광역시 동구 서석동 375 장인성 광주광역시 서구 풍암동 주은모아 아파트 103동 1003호 (74) 대리인 황주명, 성정현, 위병갑	

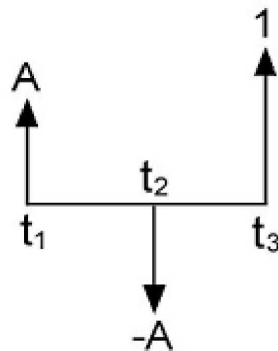
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 과도 변위 및 잔류 진동 저감을 위한 입력 성형 방법

(57) 요약

본 발명은 과도기 변위 및 잔류 진동 방지 방법에 관한 것으로, 유연 시스템에 음의 입력 성형 기법을 적용함에 있어 마지막 입력의 크기를 유연 시스템 구동기의 최고 속도로 설정함으로써 목표거리에 도달하는 시간을 단축하고 힘 모멘트 발생을 저감하는 입력 성형 제어 방법 및 장치에 관한 것이다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

과도 변위 및 잔류 진동 방지 방법으로서,
식 (a)의 입력 성형 신호를 생성하는 단계;

$$\begin{bmatrix} A \\ t_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & -A & 1 \\ 0 & t_2 & t_3 \end{bmatrix} \quad (a)$$

상기에서,

$$A \text{는 입력의 크기, } t_2 = \frac{1}{\omega} \cos^{-1}\left(\frac{2A^2-1}{2A^2}\right), \quad t_3 = \frac{1}{\omega} \cos^{-1}\left(-\frac{1}{2A}\right),$$

상기 입력 성형 신호를 스텝 신호와 컨벌루션하여 제어 신호를 생성하는 단계; 및
상기 제어 신호를 이송 장치의 구동부에 인가하는 단계를 포함하는 과도 변위 및 잔류 진동 방지 방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,
 $0 < A < 1$ 인 것을 특징으로 하는 과도 변위 및 잔류 진동 방지 방법.

청구항 3

제 1항에 있어서,
 $0.5 < A < 1.0$ 인 것을 특징으로 하는 과도 변위 및 잔류 진동 방지 방법.

청구항 4

과도 변위 및 잔류 진동 방지 방법으로서,
식 (a)의 입력 성형 신호를 생성하는 단계;

$$\begin{bmatrix} A \\ t_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & -A & 1 & -1 & A & -A \\ 0 & t_2 & t_3 & t_4 & t_5 & t_6 \end{bmatrix} \quad (a)$$

상기에서,

A는 입력의 크기,

$$t_2 = \frac{1}{\omega} \cos^{-1}\left(\frac{2A^2-1}{2A^2}\right), \quad t_3 = \frac{1}{\omega} \cos^{-1}\left(-\frac{1}{2A}\right),$$

$$t_4 = \frac{xd - 2At_2}{V_{\max}} + t_3 \quad (\text{이때 } xd \text{는 이동거리, } V_{\max} \text{는 시스템 구동기의 최대속도}),$$

$$t_5 = t_4 + t_3 - t_2, \quad t_6 = t_5 + t_2,$$

상기 입력 성형 신호를 스텝 신호와 컨벌루션하여 제어 신호를 생성하는 단계; 및
상기 제어 신호를 이송 장치의 구동부에 인가하는 단계를 포함하는 과도 변위 및 잔류 진동 방지 방법.

청구항 5

제 4항에 있어서,

$0 < A < 1$ 인 것을 특징으로 하는 과도 변위 및 잔류 진동 방지 방법.

청구항 6

제 4항에 있어서,

$0.5 < A < 1.0$ 인 것을 특징으로 하는 과도 변위 및 잔류 진동 방지 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 과도기 변위 및 잔류 진동 방지 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게 본 발명은 마지막 입력의 크기를 유연 시스템 구동기의 최고 속도로 설정하여 목표거리에 도달하는 시간을 단축하고 휨 모멘트 발생을 저감하는 입력 성형 제어 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 최근 산업용 이송계는 경량화, 고속화를 추구하고 있다. 기계의 경량화, 고속화는 기계의 구동에 필요한 에너지의 절감과 생산성 향상이라는 장점을 얻게 되지만 시스템의 유연화로 인해 출발 또는 정지시에 과도한 잔류진동(Residual Vibration)을 발생시킨다. 특히 감쇠가 크지 않은 시스템에서는 잔류 진동 문제가 심각하게 발생할 수 있다. 잔류진동을 억제하기 위한 연구들이 수행되었는데 그 중 입력 성형 기법(Input Shaping Method)이 주요 수단으로 떠오르고 있다.

[0003] 입력 성형 기법은 유연한 시스템(Flexible System)에서 발생하는 잔류진동을 억제하기 위한 명령생성(Command Generation) 기법이다. 기준명령(Reference Command)을 시스템의 진동특성에 의해 결정되는 입력성형기(Input Shaper)와 컨볼루션(Convolution)하여 생성된 성형명령(Shaped Command)을 시스템에 인가하여 잔류진동을 제거하는 기법이다.

[0004] Singer와 Seering은 1990년에 시스템의 임펄스 응답을 이용하여 입력 성형 기법을 개발하였다(N. C. Singer and W. P. Seering, "Preshaping command inputs to reduce system vibration," *ASME journal of Dynamic System, Measurement and Control*, vol. 112, pp.76-82, 1990). 이 방식은 연속된 임펄스가 시스템에 가해지면 각각의 임펄스 응답이 서로 중첩되어 잔류 진동이 서로 상쇄되는 현상을 이용하였다. 이렇게 얻어진 임펄스 열을 주어진 입력과 컨볼루션 적분하여 시스템의 기준입력으로 가한다.

[0005] 하지만 이 기법을 사용하게 되면 경우 기준입력에 시간 지연이 발생하게 되며, 다중 입출력 시스템에 적용할 경우에는 진동모드의 개수가 많아질수록 시간지연 역시 더욱 커지게 된다는 문제가 있었다.

[0006] Rappole 등은 1993년에 임펄스열 중에 음의 크기를 갖는 임펄스를 포함한 임펄스열을 사용함으로써, Singer가 제안한 입력 성형 기법의 단점인 응답시간의 지연을 보완하여 임의의 시간 내에 진동의 제거가 가능함을 보였다(B. W. Rappole, N. C. Singer, and W. P. Seering, "Input shaping with negative sequences for reducing vibrations in flexible structure," *Proceedings of the American Control Conference*, San Francisco, CA, pp.2695-2699, 1993).

[0007] 대표적인 네거티브 입력 성형 기법으로는 마지막에 더 작은 임펄스 진폭을 이용함으로써 과도기 변위를 제한하는 변형된 단일 진폭 제로 진동(MUM-ZV) 기법과, 최대 과도기 변위가 특정 수준 이하로 남을 수 있도록 보장하기 위해 상기 MUM-ZV 기법의 마지막 임펄스와 동일한 진폭을 갖도록 설계된 스케일드 단일 진폭 제로 진동(UM-ZV) 기법이 있다.

[0008] 그러나 MUM-ZV 입력 성형 기법에서는 마지막 입력의 크기가 시스템 구동기의 최대속도 보다 작은 값을 갖기 때문에 시작에서 정지까지의 동작(start-stop motion)을 위한 명령(commands) 설계 시 목표거리까지 가는데 많은 시간이 소요된다. 또한 급격한 과도 변위 발생 및 감소로 인해 유연 시스템에 큰 휨 모멘트(bending moment)를 발생시킨다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명은 상기 종래 기술의 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로, 본 발명의 목적은 유연 시스템에 있어서 과도변위를 효과적으로 제한하면서도 목표거리에 도달하는 시간을 단축할 뿐만 아니라 휨 모멘트 발생을 저감할 수 있는 입력 성형 기법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제를 달성하기 위하여, 본 발명의 첫 번째 측면은 과도 변위 및 잔류 진동 방지 방법으로서,

[0011] 식 (a)의 입력 성형 신호를 생성하는 단계;

$$[0012] \begin{bmatrix} A \\ t_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & -A & 1 \\ 0 & t_2 & t_3 \end{bmatrix} \quad (a)$$

[0013] 상기에서,

$$[0014] A \text{는 입력의 크기, } t_2 = \frac{1}{\omega} \cos^{-1}\left(\frac{2A^2-1}{2A^2}\right), \quad t_3 = \frac{1}{\omega} \cos^{-1}\left(-\frac{1}{2A}\right),$$

[0015] 상기 입력 성형 신호를 스텝 신호와 컨벌루션하여 제어 신호를 생성하는 단계; 및,

[0016] 상기 제어 신호를 이송 장치의 구동부에 인가하는 단계를 포함하는 방법을 제공한다.

[0017] 또한, 과도 변위 및 잔류 진동 방지 방법으로서, 과도 변위 및 잔류 진동 방지 방법으로서,

[0018] 식 (a)의 입력 성형 신호를 생성하는 단계;

$$[0019] \begin{bmatrix} A \\ t_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & -A & 1 & -1 & A & -A \\ 0 & t_2 & t_3 & t_4 & t_5 & t_6 \end{bmatrix} \quad (a)$$

[0020] 상기에서,

$$[0021] A \text{는 입력의 크기, } t_2 = \frac{1}{\omega} \cos^{-1}\left(\frac{2A^2-1}{2A^2}\right), \quad t_3 = \frac{1}{\omega} \cos^{-1}\left(-\frac{1}{2A}\right),$$

$$[0022] t_4 = \frac{xd-2At_2}{V_{\max}} + t_3 \quad (\text{이때 } xd \text{는 이동거리, } V_{\max} \text{는 시스템 구동기의 최대속도}),$$

$$[0023] t_5 = t_4 + t_3 - t_2, \quad t_6 = t_5 + t_2 \quad \text{이고,}$$

[0024] 상기 입력 성형 신호를 스텝 신호와 컨벌루션하여 제어 신호를 생성하는 단계; 및,

[0025] 상기 제어 신호를 이송 장치의 구동부에 인가하는 단계를 포함하는 방법을 제공한다.

발명의 효과

[0026] 본 발명의 과도 변위 저감을 위한 입력 성형 방법에 따르면 기존의 입력 성형 기법에 비하여 목표거리에 도달하는 시간을 단축할 뿐만 아니라 휨 모멘트 발생을 저감할 수 있는 장점을 갖는다.

[0027] 또한, 본 발명의 과도 변위 저감을 위한 입력 성형 방법에 따르면 크레인 후크 또는 우주선의 시작에서 정지까지의 운동에 있어서 과도 변위 및 잔류 진동을 현저하게 방지할 수 있는 장점을 갖는다.

도면의 간단한 설명

- [0028] 도 1은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 시작하는 동작(start motion)을 위한 입력 성형 제어기인 고속 변위 제한 제로 진동(High-speed Deflection Limiting Zero Vibration; HDL-ZV) 입력 성형기를 나타낸 도면이다.
- 도 2a는 본 발명의 일 실시예에 따른 시작에서 정지까지의 동작(start-stop motion)을 위한 입력 성형 제어기인 HDL-ZV2 입력 성형 제어기를 나타낸 도면이고, 도 2b는 상기 HDL-ZV2 입력 성형 제어기를 이용하여 기준입력으로 성형 명령을 생성하는 과정을 나타낸 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 입력 성형 제어기에 있어서 변위 제한값(D_{lim})에 따른 속도 프로파일을 나타낸 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 입력 성형 제어기에 있어서 변위 제한값(D_{lim})에 따라 입력시간 t_2 와 t_3 의 변화를 나타낸 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 입력 성형 제어기에 있어서 입력의 크기(A)와 이동 거리(xd)에 따른 펄스 지속시간(t_4)간의 관계를 나타낸 도면이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 입력 성형 제어기에 있어서 입력의 크기(A)에 따른 페이로드의 위치와의 관계를 나타낸 도면이다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 입력 성형 제어기에 있어서 입력의 크기(A)에 따른 과도변위의 관계를 나타낸 도면이다.
- 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 입력 성형 제어기에 있어서 주파수와 입력의 크기에 대한 과도변위와의 관계를 나타낸 도면이다.
- 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 입력 성형 제어기(HDL-ZV2)와 기존의 입력성형제어기(MUM-ZV2)의 강인성을 대비한 도면이다.
- 도 10 및 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 입력 성형 제어기와 기존의 입력 성형 제어기의 성능, 특히 속도에 따른 과도변위의 크기를 대비한 도면이다.
- 도 12 및 도 13은 속도를 0.2m/s로 설정했을 때의 변위 제한값(D_{lim})을 각각 0.4 및 0.3으로 제한했을 때, 본 발명의 일 실시예에 따른 입력 성형 제어기(HDL-ZV)와 기존의 입력 성형 제어기(MUM-ZV)의 과도변위의 크기를 확대 비교한 도면이다.
- 도 14는 시작에서 정지까지의 동작(start-stop motion)을 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 입력 성형 제어기(HDL-ZV2)와 기존의 입력 성형 제어기(MUM-ZV2)의 성능, 특히 이동 거리(xd)에 대해 각 입력 성형 제어가 끝나는 시간(t_6)을 대비한 도면이다.
- 도 15는 실험속도가 0.2m/s일 때 본 발명의 일 실시예에 따른 입력 성형 제어기(HDL-ZV2)와 기존의 입력 성형 제어기(MUM-ZV2)의 성능, 특히 펄스 지속시간(tp)과 변위 제한값(deflection limit value)에 따른 과도변위 값을 대비한 도면이다.
- 도 16은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 입력 성형 제어기와 입력성형제어를 실행하지 않은 경우의 잔류진동 저감 성능을 비교한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0029] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 기술되는 바람직한 실시예를 통하여 본 발명을 당업자가 용이하게 이해하고 재현할 수 있도록 상세하게 기술하기로 한다.
- [0030] 본 발명 실시예들을 설명함에 있어 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명 실시예들의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다.
- [0031] 본 발명의 명세서 전반에 걸쳐 사용되는 용어들은 본 발명 실시예에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서, 사용자 또는 운영자의 의도, 관례 등에 따라 충분히 변형될 수 있는 사항이므로, 이 용어들의 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

[0032] 도 1은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 시작하는 동작(start motion)을 위한 입력 성형 제어기인 고속 변위 제한 제로 진동(High-speed Deflection Limiting Zero Vibration; HDL-ZV) 입력 성형기를 나타낸 도면이다.

[0033] 도 1에 도시된 바와 같이 본 발의 일 실시예에 따른 HDL-ZV입력 성형 제어기는 3개의 임펄스를 갖는 입력성형기이다. 이때의 입력의 크기와 입력 시간은 하기 수학식 1과 같다.

$$[A_i] = \begin{bmatrix} A & -A & 1 \\ 0 & t_2 & t_3 \end{bmatrix} \quad \text{[수학식 1]}$$

[0035] 이때, 상기 수학식1에서 A는 0이 아니다. 만일 A가 1이면 기존의 입력 성형 제어 기법인 단일 진폭 제로 진동(UM-ZV) 성형기와 동일하게 된다. 본 발명의 바람직한 실시예에서 상기 A는 $0 < A < 1$ 을 만족한다.

[0036] 또한, 상기 수학식1에서 입력시간 t_2 와 t_3 는 잔류진동조건을 만족하기 위하여 하기 수학식2 및 수학식3을 만족하여야 한다.

$$\sum_{i=1}^n A_i e^{-\xi\omega(t_n-t_i)} \sin(t_i\omega\sqrt{1-\xi^2}) = 0 \quad \text{[수학식 2]}$$

$$\sum_{i=1}^n A_i e^{-\xi\omega(t_n-t_i)} \cos(t_i\omega\sqrt{1-\xi^2}) = 0 \quad \text{[수학식 3]}$$

[0039] 상기 수학식2 및 수학식3에 본 발명의 일 실시예에 따른 입력 성형기의 입력의 크기를 대입하면 하기와 같은 수학식4 및 수학식5를 얻을 수 있다.

$$A - A\cos(\omega t_2) + \cos(\omega t_3) = 0 \quad \text{[수학식 4]}$$

$$-A\sin(\omega t_2) + \sin(\omega t_3) = 0 \quad \text{[수학식 5]}$$

[0042] 상기 수학식4 및 수학식5로부터 본 발명의 일 실시예에 따른 입력 성형기의 입력시간인 t_2 와 t_3 를 다음과 같이 계산해낼 수 있다.

$$t_2 = \frac{1}{\omega} \cos^{-1}\left(\frac{2A^2-1}{2A^2}\right) \quad \text{[수학식 6]}$$

$$t_3 = \frac{1}{\omega} \cos^{-1}\left(-\frac{1}{2A}\right) \quad \text{[수학식 7]}$$

[0045] 도 2a는 본 발명의 일 실시예에 따른 시작에서 정지까지의 동작(start-stop motion)을 위한 입력 성형 제어기인 HDL-ZV2 입력 성형 제어기를 나타낸 도면이고, 도2b는 상기 HDL-ZV2 입력 성형 제어기를 이용하여 기준입력으로 성형 명령을 생성하는 과정을 나타낸 도면이다.

[0046] 도 2a에 도시된 바와 같이 본 발의 일 실시예에 따른 HDL-ZV2입력 성형 제어기는 6개의 임펄스를 갖는 입력성형기이다. 이때의 입력의 크기와 입력 시간은 하기 수학식 8과 같다.

$$[A_i] = \begin{bmatrix} A & -A & 1 & -1 & A & -A \\ 0 & t_2 & t_3 & t_4 & t_5 & t_6 \end{bmatrix} \quad \text{[수학식 8]}$$

[0048] 이때, 상기 수학식1에서 A는 0이 아니다. 만일 A가 1이면 기존의 입력 성형 제어 기법인 단일 진폭 제로 진동(UM-ZV2) 성형기와 동일하게 된다. 본 발명의 바람직한 실시예에서 상기 A는 $0 < A < 1$ 을 만족한다.

[0049] 또한, 상기 수학식8에서 입력시간 t_2 와 t_3 는 상기 수학식6 및 수학식7과 같이 계산할 수 있다.

[0050] 이때, 이동 거리(xd)를 위한 입력시간 t_4 는 하기 수학식9로 결정된다. 이때 $V_{\max}$ 값은 시스템 구동기의 최대속도이다.

$$t_4 = \frac{xd - 2At_2}{V_{\max}} + t_3 \quad \text{[수학식 9]}$$

나머지 입력시간은 출발 동작(start motion)을 위한 상기 HDL-ZV 입력 성형 제어기에 대응하여 하기 수학식9 및 수학식10에 의하여 결정된다.

$$t_5 = t_4 + t_3 - t_2 \quad \text{[수학식 9]}$$

$$t_6 = t_5 + t_2 \quad \text{[수학식 10]}$$

도 3은 변위 제한값(D_{lim})에 따른 본 발명의 실시예에 따른 입력 성형 제어기의 속도 프로파일을 나타낸 도면이다. D_{lim} 은 변위 제한을 위한 값으로 본 실시예에서 $D_{lim}=A/2$ 로 설정될 수 있다. 도3으로부터 본 발명의 일 실시예에 따른 HDL-ZV2 입력 성형 제어기의 속도 프로파일이 D_{lim} 이 감소함에 따라 처음 및 마지막 입력의 크기가 감소함을 알 수 있다. 특히, D_{lim} 값이 0.25 이하인 경우에는 두 개의 입력 크기의 합이 다른 하나의 입력 크기보다 작아 입력 성형 제어 이론을 적용할 수 없는 경우로 잔류 진동 저감 성능이 감소함을 알 수 있다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 입력 성형 제어기에 있어서 변위 제한값(D_{lim})에 따라 입력시간 t_2 와 t_3 의 변화를 나타낸 도면이다. 도4로부터 D_{lim} 이 증가할수록 t_2 와 t_3 가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 즉, 과도변위를 많이 제어할수록 정상상태에 도달되는 시간이 지연됨을 알 수 있다. 특히, D_{lim} 값이 0.5 이상인 경우에는 시스템 구동기의 최대 속도와 동일하게 됨을 알 수 있다.

따라서 도 3 및 도 4로부터 과도변위 제한과 정상상태 도달시간 단축이라는 두 가지 상충하는 요구 조건에 적절한 비중을 두어 입력 성형 제어기를 설계할 필요가 있음을 알 수 있다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 입력 성형 제어기에 있어서 입력의 크기(A)와 이동 거리(xd)에 따른 펄스 지속시간(t_4)간의 관계를 나타낸 도면이다. 본 발명에 따른 HDL-ZV2 입력 성형 제어기에 있어서 이동 거리가 증가함에 따라 t_4 가 증가하고, A가 감소함에 따라 t_4 가 증가하지만 이동 거리(move distance)에 비해 미세하게 증가함을 알 수 있다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 입력 성형 제어기에 있어서 입력의 크기(A)에 따른 페이로드의 위치와의 관계를 나타낸 도면이다. 도6으로부터 본 발명에 따른 HDL-ZV2 입력 성형 제어기에 있어서, 입력 성형 제어가 완료된 정상상태에서는 잔류진동이 발생되지 않음을 확인할 수 있다. 따라서 입력의 크기 A의 값이 작을수록 정상상태에 도달하는 시간이 지연됨을 확인할 수 있다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 입력 성형 제어기에 있어서 입력의 크기(A)에 따른 과도변위의 관계를 나타낸 도면이다. 도7로부터 입력 성형 제어기를 실행함으로써 과도변위가 많이 감소하였을 뿐만 아니라, A값에 따라 과도변위가 더욱 감소하는 것을 확인할 수 있다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 입력 성형 제어기에 있어서 주파수와 입력의 크기에 대한 과도변위와의 관계를 나타낸 도면이다. 본 발명에 따른 HDL-ZV 입력 성형 제어기의 A값이 작고 케이블의 길이의 함수인 주파수가 클수록 과도변위의 발생이 저감됨을 알 수 있다.

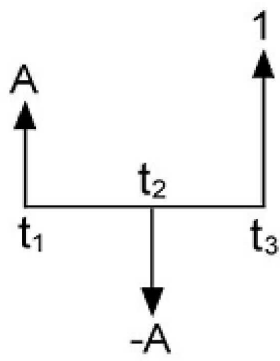
도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 입력 성형 제어기(HDL-ZV2)와 기존의 입력성형제어기(MUM-ZV2; Modified Unit Magnitude Zero Vibration 2)의 강인성을 대비한 도면이다. 이를 위하여 각 입력 성형 제어기를 이동거리(xd)에 대하여 5% 둔감도(Insensitivity)로 측정하였다. 상기 도9로부터 본 발명의 일 실시예에 따른 입력 성형 제어기의 강인성이 기존의 MUM-ZV2 입력 성형 제어기와 동일하다는 것을 확인할 수 있다.

도 10 및 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 입력 성형 제어기와 기존의 입력 성형 제어기의 성능, 특히 속도에 따른 과도변위의 크기를 대비한 도면이다. 실험 속도는 0.05m/s에서 0.3m/s까지 설정하였다. 상기 도면으로부터 UM-ZV, MUM-ZV와 HDL-ZV 입력 성형 제어기 모두 속도가 증가함에 따라 과도변위 크기가 증가함을 확인할 수 있다. 특히, 도10에서 D_{lim} 이 0.4일 때 결과 과도변위를 제한한 MUM-ZV는 과도변위를 제한하지 않은 UM-ZV보다 과도변위가 17% 제한되었고, 본 발명에 따른 HDL-ZV 입력 성형 제어기를 통해서도 과도변위가 15% 제한되었다.

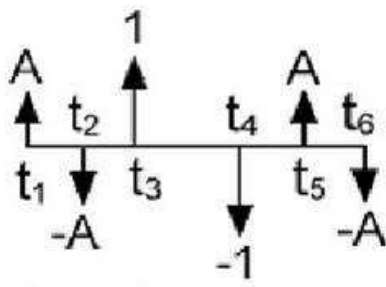
- [0064] 또한, 도 11에서 D_{lim} 이 0.3일 때 과도변위를 제한한 기존의 MUM-ZV 입력 성형 제어기는 과도변위를 제한하지 않은 UM-ZV보다 과도변위를 31% 제한하였으며, 본 발명에 따른 HDL-ZV 입력 성형 제어기는 과도변위를 30% 제한하였다.
- [0065] 상기 도 10 및 도 11로부터 과도변위를 제한하지 않은 기존의 입력 성형 제어기 보다 과도변위를 제한할 목적으로 개발된 입력 성형 제어기의 과도변위 제한 성능을 우수함을 확인할 수 있으며, 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 HDL-ZV 입력 성형 제어기가 기존의 과도변위 제한 입력 성형 제어기보다 과도변위 제한 성능에 있어 큰 성능 저하는 없음을 확인할 수 있다.
- [0066] 도 12 및 도 13은 속도를 0.2m/s로 설정했을 때의 변위 제한값(D_{lim})을 각각 0.4 및 0.3으로 제한했을 때, 본 발명의 일 실시예에 따른 입력 성형 제어기(HDL-ZV)와 기존의 입력 성형 제어기(MUM-ZV)의 과도변위의 크기를 확대 비교한 도면이다. 상기 도 12 및 도 13으로부터 기존의 입력 성형 제어기(MUM-ZV)의 과도변위는 급격한 기울기를 포함하여 나타난다. 여기에서 급격한 기울기는 유연시스템에 큰 휨 모멘트(bending moment)를 발생시키는 원인이 되며 시스템에 충격을 가해 수명을 단축시킨다. 이에 반해 본 발명에 따른 입력 성형 제어기 휨 모멘트의 발생을 저감하는 것을 확인할 수 있다.
- [0067] 도 14는 시작에서 정지까지의 동작(start-stop motion)을 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 입력 성형 제어기(HDL-ZV2)와 기존의 입력 성형 제어기(MUM-ZV2)의 성능, 특히 이동 거리(xd)에 대해 각 입력 성형 제어가 끝나는 시간(t_6)을 대비한 도면이다. 상기 도 14에 도시된 바와 같이 수치 시뮬레이션 결과 본 발명에 따른 입력 성형 제어기는 목표거리에 도달하는 시간이 기존 입력 성형 제어기 보다 단축되었다.
- [0068] 도 15는 실험속도가 0.2m/s일 때 본 발명의 일 실시예에 따른 입력 성형 제어기(HDL-ZV2)와 기존의 입력 성형 제어기(MUM-ZV2)의 성능, 특히 펄스 지속시간(tp)과 변위 제한값(deflection limit value)에 따른 과도변위 값을 대비한 도면이다. 상기 도 15에 도시된 바와 같이 펄스 지속시간(tp)과는 무관하게 전체 구간에서 변위 제한값에 따라 과도변위가 감소하는 것을 확인할 수 있다.
- [0069] 도 16은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 입력 성형 제어기와 입력성형제어를 실행하지 않은 경우의 잔류진동 저감 성능을 비교한 도면이다. 상기 도16으로부터 본 발명에 따른 입력 성형 제어기가 잔류 진동을 저감시키는 것을 확인할 수 있다.
- [0070] 본 발명에 따른 과도 변위 저감을 위한 입력 성형 제어 방법은 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로서 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록장치를 포함한다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체의 예로는 ROM, RAM, CD-ROM, 자기 테이프, 플로피디스크 및 광 데이터 저장장치 등이 있으며, 또한 캐리어 웨이브(예를 들어 인터넷을 통한 전송)의 형태로 구현되는 것도 포함한다. 또한 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로 저장되고 실행될 수 있다.
- [0071] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나, 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

도면

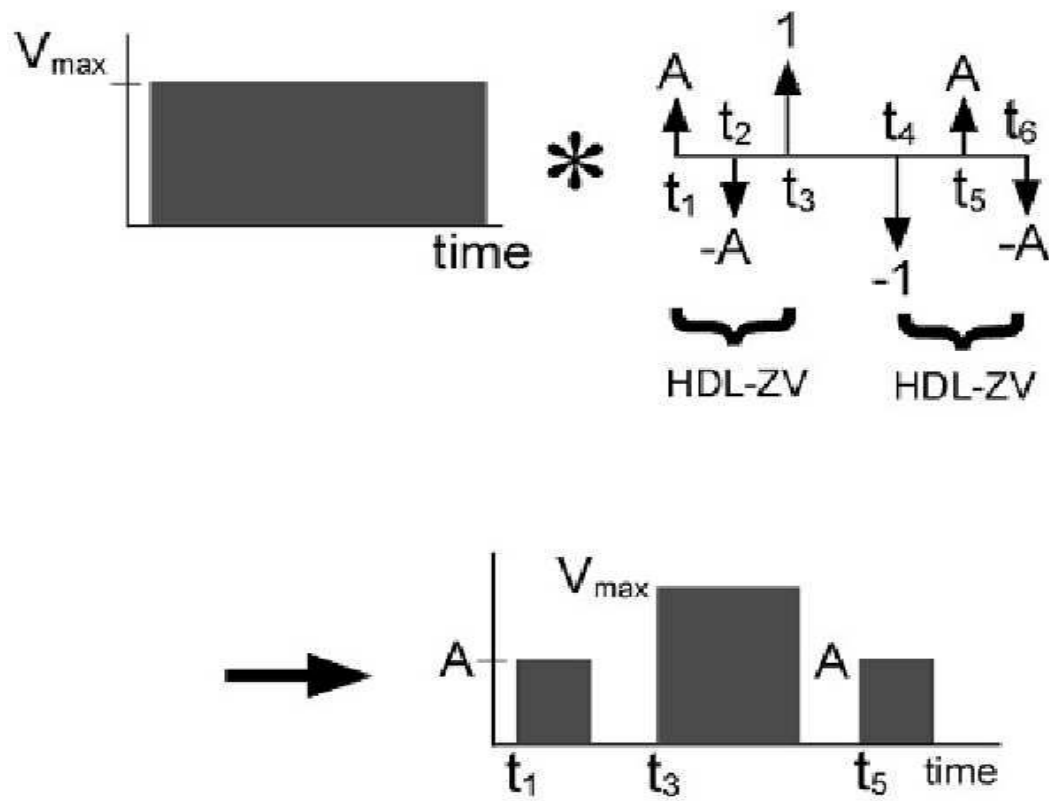
도면1



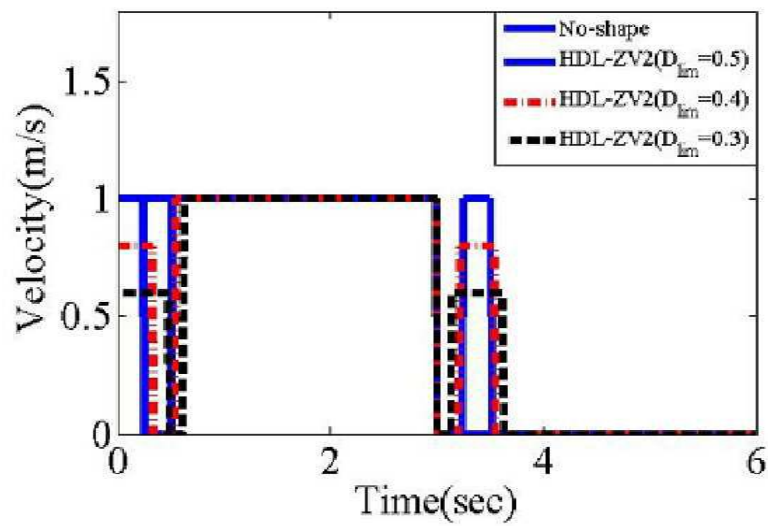
도면2a



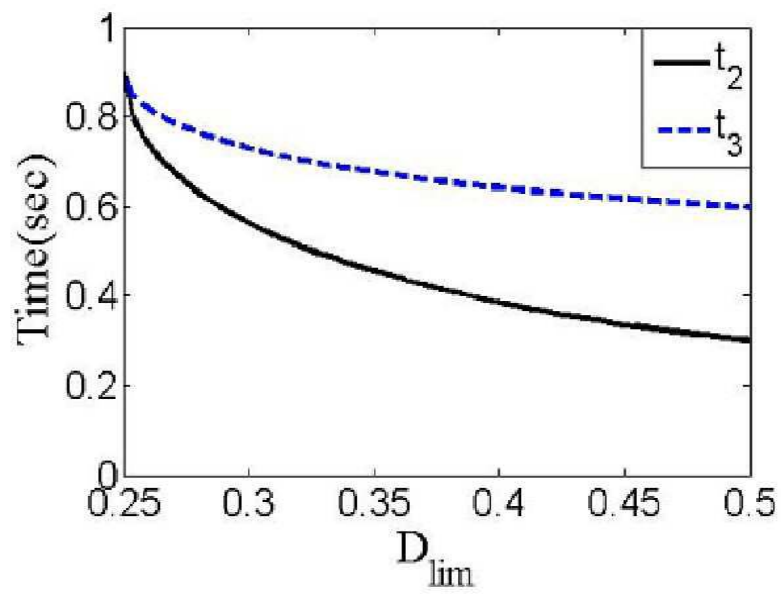
도면2b



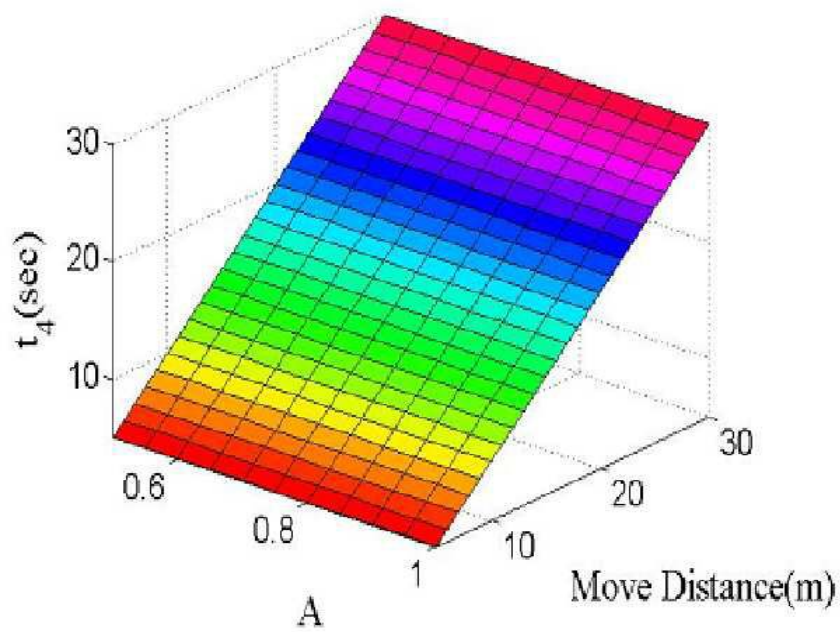
도면3



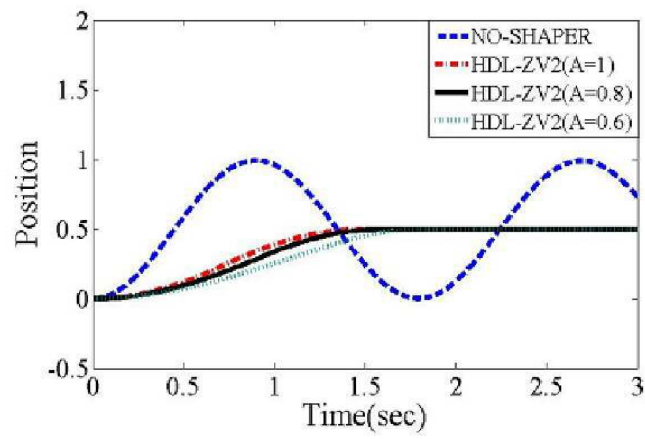
도면4



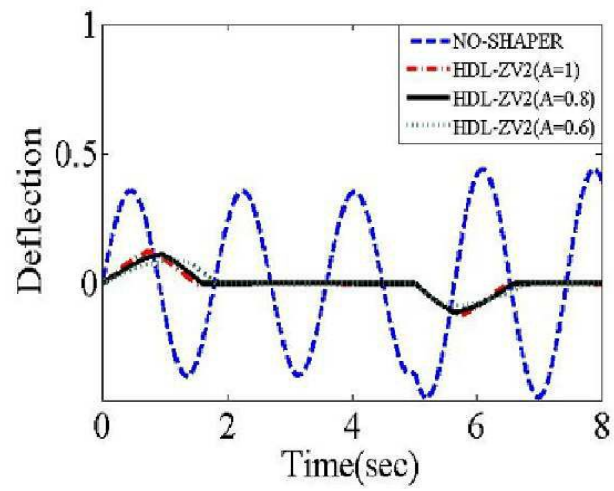
도면5



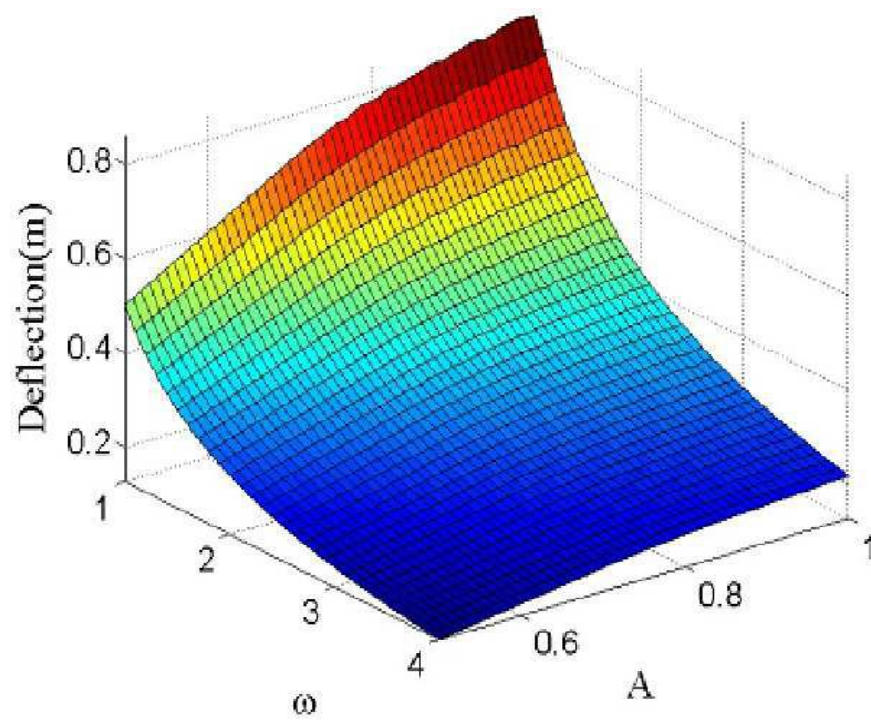
도면6



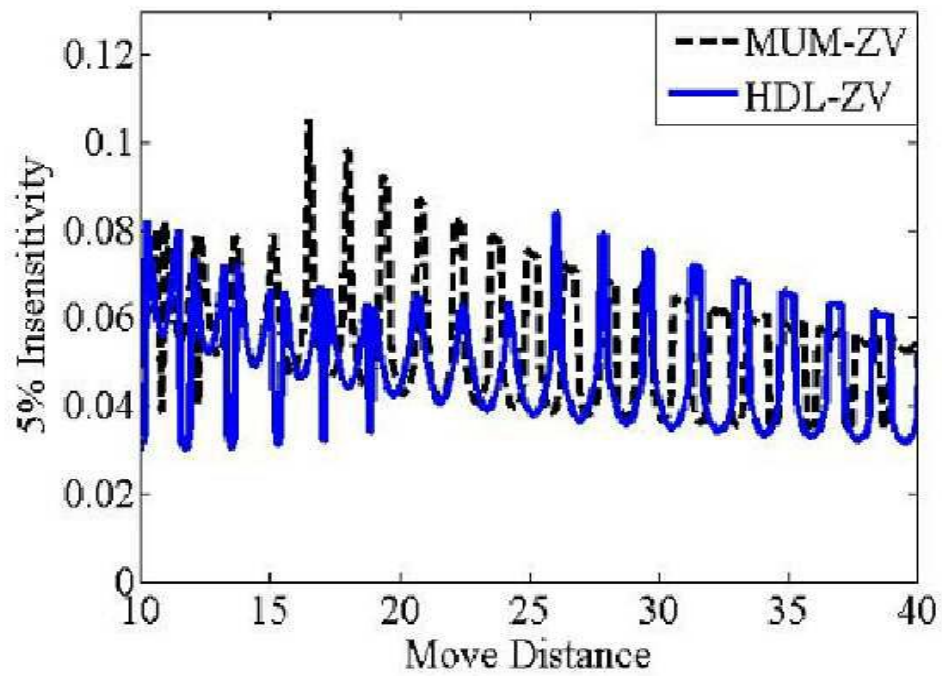
도면7



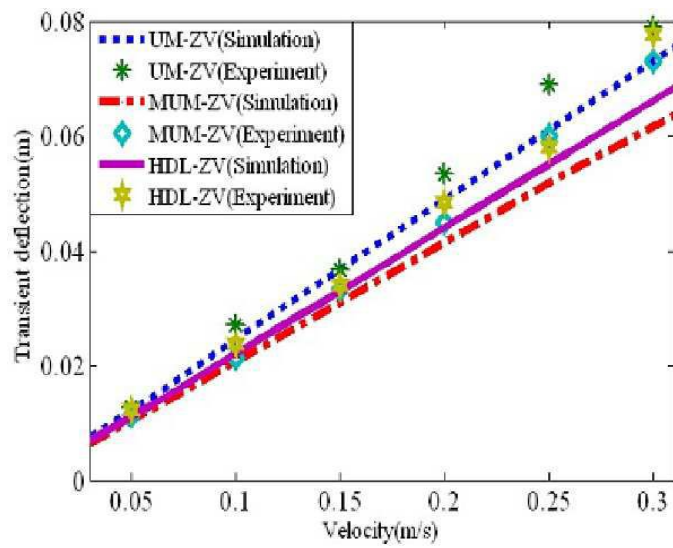
도면8



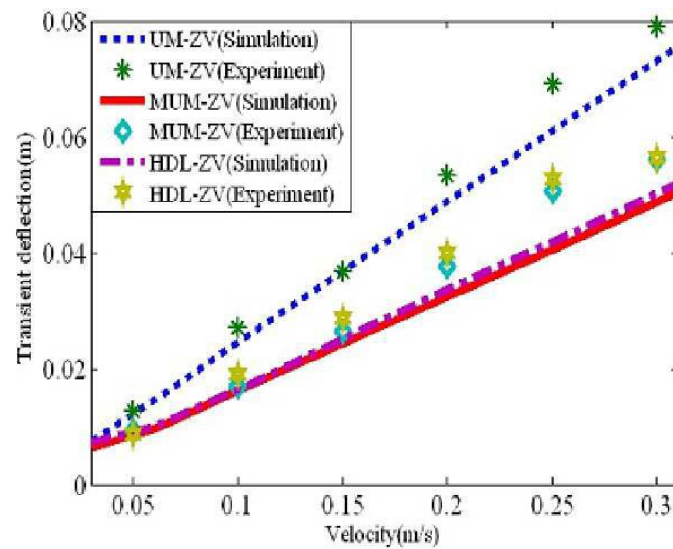
도면9



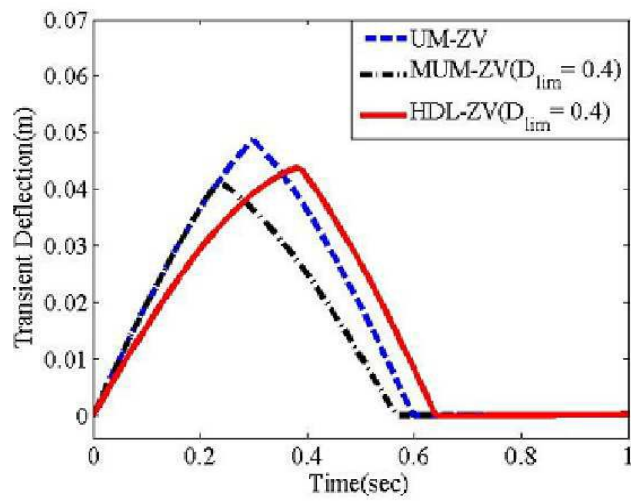
도면10



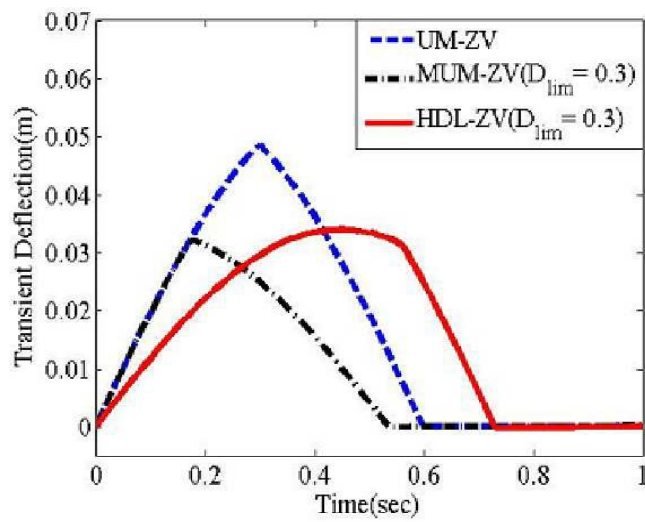
도면11



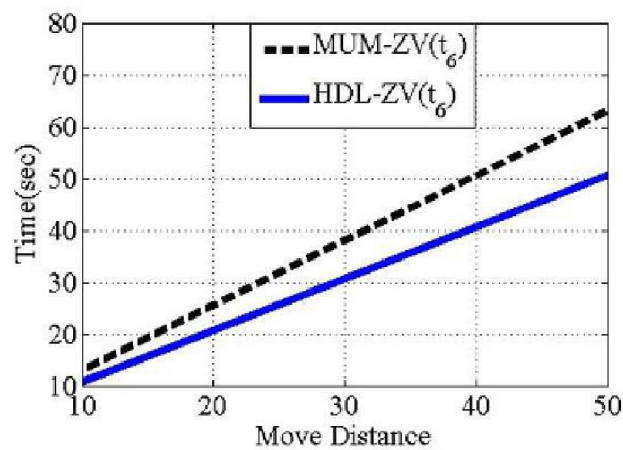
도면12



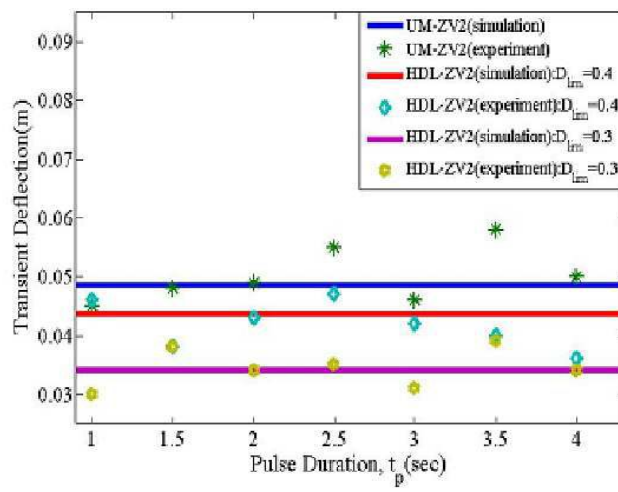
도면13



도면14



도면15



도면16

