



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0118723
(43) 공개일자 2012년10월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 19/00 (2011.01) G06F 17/50 (2006.01)
G06F 9/455 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-0036266
(22) 출원일자 2011년04월19일
심사청구일자 2011년04월19일

(71) 출원인
주식회사 신호시스템
경기도 성남시 중원구 둔촌대로 464, 중일아인스
프라즈 2층 (상대원동)
고려대학교 산학협력단
서울 성북구 안암동5가 1
(72) 발명자
이규원
경기도 성남시 분당구 정자일로 30, 137동 501호
(금곡동, 청솔마을)
(74) 대리인
김수진, 강귀용

전체 청구항 수 : 총 5 항

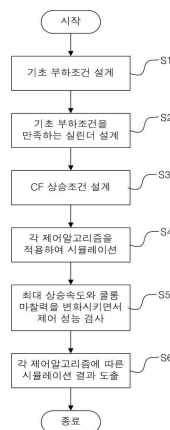
(54) 발명의 명칭 건설공장과 크라이밍 유압로봇의 시뮬레이션 방법

(57) 요약

본 발명은 건설공장과 크라이밍 유압로봇의 시뮬레이션 방법에 관한 것으로서, 특히, 건물 한 층의 높이, 건설공장(CF) 내 크레인 및 부하를 포함한 CF 구조체의 총 질량과 크기를 설정하는 기초부하조건 설계단계; 편하중을 고려하여 실린더의 최대 설계하중, 최대 쿨롱 마찰력, 펌프의 공급 압력을 설정한 후 상기 기초부하조건 설계단계에 부합하는 실린더를 설계하는 실린더 설계단계; 실제 건설현장 조건을 고려하여 CF 내 편중에 의한 부하 작용력, 및 횡방향의 풍속, CF의 무게중심 위치, CF의 평균상승속도, CF의 한 단계 상승 행정 거리 및 시간을 설정하는 CF상승조건 설계단계; 및 상기 단계가 완료되면, 상기 CF와 크라이밍 유압로봇의 매트랩(MATLAB) 모델을 사용하여 시뮬링크(SIMULINK) 환경에서 시뮬레이션하는 시뮬레이션 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

따라서, 본 발명은 실제 건설 현장, CF 구조체 및 크라이밍 유압로봇 시스템의 부하 조건에서 크라이밍 유압로봇에 개별제어 알고리즘과 동기제어 알고리즘을 각각 적용한 시뮬레이션을 수행함으로써 각 동기제어 성능을 정확히 예측할 수 있고, 실제 건설 현장에서 CF 구조체의 상승 행정시 CF 구조체에 의한 편하중과 강풍 등에 의한 편하중 등에 의해 CF 구조체에 불균형이 발생되지 않고 수평을 유지하도록 할 수 있다.

대표도 - 도2



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 06첨단융합 D01

부처명 국토해양부

연구사업명 첨단융합건설기술개발사업

연구과제명 크라이밍 유압로봇 및 상하이동 구동유닛 개발

주관기관 고려대학교, (주)두산건설, 주식회사 신호시스템

연구기간 2006.12.29 ~ 2011.10.28

특허청구의 범위

청구항 1

건물 한 층의 높이, 건설공장(CF) 내 크레인 및 부하를 포함한 CF 구조체의 총 질량과 크기를 설정하는 기초부하조건 설계단계;

편하중을 고려하여 실린더의 최대 설계하중, 최대 쿨롱 마찰력, 펌프의 공급 압력을 설정한 후 상기 기초부하조건 설계단계에 부합하는 실린더를 설계하는 실린더 설계단계;

실제 건설현장 조건을 고려하여 CF 내 편중에 의한 부하 작용력, 및 횡방향의 풍속, CF의 무게중심 위치, CF의 평균상승속도, CF의 한 단계 상승 행정 거리 및 시간을 설정하는 CF상승조건 설계단계; 및

상기 단계가 완료되면, 상기 CF와 크라이밍 유압로봇의 매트랩(MATLAB) 모델을 사용하여 시뮬링크(SIMULINK) 환경에서 시뮬레이션하는 시뮬레이션 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 건설공장과 크라이밍 유압로봇의 시뮬레이션 방법

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 시뮬레이션 단계는 개별제어 알고리즘, 평균오차기준 동기제어 알고리즘, 순차적 교차식 동기제어 알고리즘을 각각 적용하여 추적 제어와 동기제어 성능을 검사하는 제어 알고리즘 검사단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 건설공장과 크라이밍 유압로봇의 시뮬레이션 방법

청구항 3

제 2 항에 있어서, 상기 제어알고리즘 검사단계에서는 최대 상승속도와 쿨롱 마찰력을 변화시키면서 각 제어알고리즘의 제어 성능을 검사하는 것을 특징으로 하는 건설공장과 크라이밍 유압로봇의 시뮬레이션 방법

청구항 4

제 2 항에 있어서, 상기 제어알고리즘 검사단계에서는 각 유압 로봇에 독립적으로 기준경로를 추적하도록 개별 제어 알고리즘을 적용하는 단계, 및 각 유압로봇에 가해지는 부하가 균일해지도록 각 유압로봇의 운동을 동기화하는 평균오차기준 동기제어 알고리즘 또는 순차적 교차식 동기제어 알고리즘을 적용하는 단계로 이루어진 것을 특징으로 하는 건설공장과 크라이밍 유압로봇의 시뮬레이션 방법

청구항 5

제 4 항에 있어서, 상기 개별제어 알고리즘은 슬라이딩 모드 제어 알고리즘인 것을 특징으로 하는 건설공장과 크라이밍 유압로봇의 시뮬레이션 방법

명세서

기술 분야

[0001]

본 발명은 건설공장과 크라이밍 유압로봇의 시뮬레이션 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 실제 건설 현장, CF 구조체 및 크라이밍 유압로봇 시스템의 부하 조건에서 크라이밍 유압로봇에 개별제어 알고리즘과 동기제어 알고리즘을 각각 적용한 시뮬레이션을 수행함으로써 각 동기제어 성능을 정확히 예측할 수 있는 건설공장과 크라이밍 유압로봇의 시뮬레이션 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

자동화 건축이란 인력보다는 기계화된 장비를 이용하여 건축물을 시공하는 것을 말하며, 구체적으로 기계화된 장비 센서를 부착하여 사람이 일정한 방법, 규격, 시간을 입력하면 기계가 계속 같은 일을 반복적으로 수행하면서 건축물을 완성해 가는 것을 말한다.

- [0003] 여기서 기계화된 장비는 곧 작업로봇으로서, 상기 자동화 건축 기술과 첨단 로봇 기술을 융합한 고층건물 구조체의 전자동 시스템은 로봇과 크레인을 일체형으로 제작하여 건설공장(Construction Factory, 이하 CF라고 함) 내부에 설치함으로써 건설 인력의 절감뿐만 아니라 균일한 시공품질의 확보가 가능해지고, 나아가 공사기간의 단축효과로 인한 원가절감 등의 효과가 기대된다.
- [0004] 고층 건물 구조체의 자동화 시공을 위하여 외력에 강인하면서도 경량인 CF 구조체와 이를 상승시키기 위한 크라이밍 유압로봇 및 구동 유닛 시스템이 필요하다.
- [0005] 도 1은 일반적인 자동화 건축 시스템의 구성이 도시된 도면으로서, 건축물의 중심에 설계되는 코어(1), 볼팅 로봇을 포함하는 볼팅로봇 시스템(2), 볼팅로봇 주행레일, CF 구동장치 및 로봇레일을 포함한 CF 구조체(3), 및 볼팅 로봇과 CF를 상승시키는 크라이밍 유압로봇 시스템(4), 유압레일로 구성된다.
- [0006] 상기 코어(1)는 엘리베이터, 계단 등의 공용 부분이 한 곳에 집중되도록 설계된 부분으로 건축물을 수직으로 관통하면서 보통 전단벽으로 둘러싸이도록 시공되는 부분이며, 자동화 건축 방법은 코어(1)가 일부 또는 전부 시공된 후에 적용된다.
- [0007] 또한, 상기 CF는 볼팅 로봇의 작업 공간일 뿐 아니라 볼팅 로봇을 보호하고 전천후 작업이 가능하도록 하며, 선시공된 코어월에 지지되어 안전하게 건물이 시공될 수 있도록 구축되어야 하고, 한 층의 시공이 완료되면 크라이밍 유압로봇 시스템(4)에 의해 CF 구조체(3)가 상승되어 다음 층을 시공할 수 있도록 하는 이동형 건설공장이자다.
- [0008] 상기 CF 구조체(3)는 수백 톤의 무게가 있으며, 보통 10~20개의 유압로봇에 의해 상승되는데, 상승 행정은 한 층을 여러 단계로 나뉘어 CF 상승, 유지, 유압로봇 기반 상승 및 고정, CF 재상승 순으로 이루어진다. 이때, 상승 행정 과정에서 CF 구조체의 수평을 유지하는 것이 가장 중요하며, 이를 위해 모든 유압로봇의 운동을 동기화하는 것이 필요하다.
- [0009] 그리고, 상기 크라이밍 유압로봇 시스템(4)은 크게 기계장치와 유압장치로 구성되는데, 상기 기계장치는 CF의 하중을 지지하고 상승시키는 역할로서 유압실린더, 상승 크라이밍 유닛, 하강 크라이밍 유닛, 가이드 레일 등으로 이루어지고, 상기 유압장치는 유압 실린더에 유압을 공급하여 유압실린더가 CF를 상승시킬 수 있도록 동력을 발생시키는 부분으로서, 유압탱크, 유압펌프 및 각종 제어밸브 등으로 이루어진다.
- [0010] 이러한 크라이밍 유압로봇 시스템(4)의 구동은 자동화 건축 시스템의 중요한 공정 중 하나이며, 동기제어 실패로 인한 안전사고는 대형 사고로 이어질 가능성이 있어 동기제어에 대한 사전 검증은 반드시 필요하다.
- [0011] 즉, 각 유압로봇에 CF내 크레인 이동에 따른 편하중과 풍압에 의한 편하중 등 비대칭적인 부하가 가하여진 경우에는 유압로봇들의 동기제어 성능이 현저히 저하되는 문제점이 있다.
- [0012] 또한, 상기 크라이밍 유압로봇의 동기제어를 차단할 경우에, CF 상승 및 정지간에 CF가 기울어져 파손될 위험이 있고, 실제 구조물에서 CF의 하중이 CF 부재 자체와 유압로봇 시스템에 편하중으로 장시간 작용할 경우에 각 부재의 파괴로 이어질 수 있는 문제점이 있다.
- [0013] 한편, 상기 크라이밍 유압로봇 시스템의 동기제어를 위해 다양한 동기제어 알고리즘을 적용하는 경우에, 직접

크라이밍 유압로봇 시스템에 적용하게 되면 검토에 필요한 자료와 기준을 찾는 데 많은 시간이 소요되어 건설 현장의 상황 변화에 따라 실시간으로 CF와 크라이밍 유압 로봇의 동기 제어 성능을 재검토하는 데 많은 어려움이 있다.

[0014] 따라서, 컴퓨터를 이용하여 실제 건설 현장과 동일한 조건에서 크라이밍 유압로봇 시스템에 적합한 동기제어 알고리즘을 적용한 시뮬레이션을 통해 각 동기제어 성능을 정확히 예측할 수 있는 시뮬레이션 방법이 절실히 요구된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0015] 따라서 본 발명의 목적은 컴퓨터를 이용하여 실제 건설 현장과 동일한 조건에서 크라이밍 유압로봇 시스템에 적합한 개별제어 알고리즘과 동기제어 알고리즘을 적용한 시뮬레이션을 수행함으로써 각 동기제어 성능을 정확히 예측할 수 있고, 실제 크라이밍 유압로봇의 동기제어에 적용하였을 경우에 CF 구조체의 상승 행정시 CF 구조체에 의한 편하중과 강풍 등에 의한 편하중 등에 의해 CF 구조체에 불균형이 발생되지 않고 수평을 유지하도록 할 수 있는 건설공장과 크라이밍 유압로봇의 시뮬레이션 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0016] 상술한 본 발명의 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 건설공장과 크라이밍 유압로봇의 시뮬레이션 방법은, 건물 한 층의 높이, 건설공장(CF) 내 크레인 및 부하를 포함한 CF 구조체의 총 질량과 크기를 설정하는 기초부하조건 설계단계; 편하중을 고려하여 실린더의 최대 설계하중, 최대 쿨롱 마찰력, 펌프의 공급 압력을 설정한 후 상기 기초부하조건 설계단계에 부합하는 실린더를 설계하는 실린더 설계단계; 실제 건설현장 조건을 고려하여 CF 내 편중에 의한 부하 작용력, 및 횡방향의 풍속, CF의 무게중심 위치, CF의 평균상승속도, CF의 한 단계 상승 행정 거리 및 시간을 설정하는 CF상승조건 설계단계; 및 상기 단계가 완료되면, 상기 CF와 크라이밍 유압로봇의 매트랩(MATLAB) 모델을 사용하여 시뮬링크(SIMULINK) 환경에서 시뮬레이션하는 시뮬레이션 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0017] 이때, 상기 시뮬레이션 단계는, 개별제어 알고리즘, 평균오차기준 동기제어 알고리즘, 순차적 교차식 동기제어 알고리즘을 각각 적용하여 추적 제어와 동기제어 성능을 검사하는 제어 알고리즘 검사단계를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0018] 여기서, 상기 제어알고리즘 검사단계에서는 최대 상승속도와 쿨롱 마찰력을 변화시키면서 각 제어알고리즘의 제어 성능을 검사하는 것을 특징으로 한다.

[0019] 한편, 상기 제어알고리즘 검사단계에서는, 각 유압 로봇에 독립적으로 기준경로를 추적하도록 개별제어 알고리즘을 적용하는 단계, 및 각 유압로봇에 가해지는 부하가 균일해지도록 각 유압로봇의 운동을 동기화하는 평균오차기준 동기제어 알고리즘 또는 순차적 교차식 동기제어 알고리즘을 적용하는 단계로 이루어진 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0020] 본 발명에 따른 건설공장과 크라이밍 유압로봇의 시뮬레이션 방법은 실제 건설 현장, CF 구조체 및 크라이밍 유압로봇 시스템의 부하 조건에서 크라이밍 유압로봇에 적합한 개별제어 알고리즘과 동기제어 알고리즘을 적용한 시뮬레이션을 수행함으로써 각 동기제어 성능을 정확히 예측할 수 있고, 실제 크라이밍 유압로봇의 동기제어에

적용하였을 경우에 CF 구조체의 상승 행정시 CF 구조체에 의한 편하중과 강풍 등에 의한 편하중 등에 의해 CF 구조체에 불균형이 발생되지 않고 수평을 유지하도록 할 수 있는 효과가 있다.

[0021] 또한, 본 발명은 각 유압로봇에 기준경로를 추적하도록 하는 개별 제어 방식에 순차적 교차식 동기 제어 알고리즘 또는 평균오차기준 동기 제어 알고리즘을 추가함으로써 개별제어만을 적용한 경우에 비해 동기오차가 현격히 감소함을 확인함으로써 실제 크라이밍 유압로봇 시스템의 동기제어시 각 유압로봇에 가하여진 부하에 상당한 불균형이 발생하더라도 유압로봇들의 동기제어 성능이 현저히 저하되는 현상을 해소할 수 있는 효과도 있다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은 일반적인 자동화 건축 시스템의 구성이 도시된 도면
 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 건설공장과 크라이밍 유압로봇의 시뮬레이션 방법의 순서도
 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 건설공장과 크라이밍 유압로봇의 매틀랩 모델을 사용한 시뮬링크 블록선도
 도 4는 본 발명의 실시예에 적용되는 낮은 최대상승속도에서 기준속도 및 가속도 프로파일을 나타낸 모습
 도 5는 발명의 실시예에 적용되는 높은 최대상승속도에서 기준속도 및 가속도 프로파일을 나타낸 모습
 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 개별 제어 알고리즘을 적용한 경우에 유압로봇의 과도응답 특성이 도시된 그래프
 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 평균오차기준 동기제어 알고리즘을 적용한 경우에 유압로봇의 과도응답 특성이 도시된 그래프
 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 순차식 동기제어 알고리즘을 적용한 경우에 유압로봇의 과도응답 특성이 도시된 그래프
 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 순차적 교차식 동기제어 알고리즘을 적용한 경우에 유압로봇3의 과도응답 특성이 도시된 그래프
 도 10은 본 발명의 실시예에 따른 순차적 교차식 동기제어 알고리즘을 적용한 경우에 CF 가이드 레일과의 클롱마찰이 유압로봇3의 과도응답에 미치는 영향이 도시된 그래프

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 각 도면을 설명하면서 유사한 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다.

[0024] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0025] 이하, 첨부한 도면들을 참조하여, 본 발명의 바람직한 실시예를 보다 상세하게 설명하고자 한다.

[0026] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 건설공장과 크라이밍 유압로봇의 시뮬레이션 방법의 순서도이고, 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 건설공장과 크라이밍 유압로봇의 매틀랩 모델을 사용한 시뮬링크 블록선도이다.

- [0027] 도 2 및 도 3을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 건설공장과 크라이밍 유압로봇의 시뮬레이션 방법은, 먼저 기초부하조건을 설계하기 위해 건물 한 층의 높이를 4m로 가정하고, CF 내 크레인 및 부하의 질량을 100,000Kg으로 가정하여 크레인을 포함한 CF 구조체의 총 질량을 400,000Kg으로, CF 구조체의 크기는 27m × 11m × 9m(가로×세로×높이)로 설정한다.(S1 참조)
- [0028] 이때 도 2에서 signal1은 기준 가속도 프로파일, s는 변위, PID는 PID 제어, SMC1~4는 , Subsystem1~4는 을 각각 나타낸다.
- [0029] 그리고 편하중이 가장 많이 작용하는 실린더 1개조에 걸리는 최대 설계하중 $(F_{cyl})_{d_{\text{을}}}$ 175,000Kgf로 설정하고, 최대 쿨롱마찰력을 최대 설계하중의 20%로 가정하며, 펌프의 공급압력은 210bar로 설정한 후에 상기 기초부하조건을 만족하도록 실린더를 설계한다.(S2 참조)
- [0030] 실제 건설현장 조건을 고려하여, CF내 로보틱 크레인 등의 편중에 의해 CF 바닥 중심으로부터 가로, 세로 10m, 5m 떨어진 지점($l_a=5m$, $l_b=10m$)에 의 부하가 작용하고 있는 동시에 횡 방향(x 방향)으로 풍속 30m/s의 바람이 일정하게 부는 경우를 가정한다. 그리고, CF 구조체는 상부보다 하부에 무게가 집중되어 있어 CF의 기구학적 중심보다 무게중심이 1.5 m 아래에 위치한다고 가정하여 l_c 값(= 1.5 m)로 설정한다.
- [0031] 또한, CF의 평균상승속도를 $5 \times 10^{-3} m/s$ 로, CF의 한 단계 상승행정을 0.5 m로 가정하여 한 단계 행정시간을 100초로 설정하고, 최대 상승속도는 $8.33 \times 10^{-3} m/s$ 로 설정한다. 여기서, 상기 평균상승속도는 유압로봇이 목표위치까지 상승한 높이를 실제 목표위치에 도달할 때까지 걸린 시간으로 나눈 것을 의미하고, 최대 상승속도는 상승행정 중 가속이 끝난 후 일정속도를 유지할 때의 속도를 의미한다.(S3 참조)
- [0032] 도 4는 본 발명의 실시예에 적용되는 낮은 최대상승속도에서 기준속도 및 가속도 프로파일을 나타내고, 도 5는 발명의 실시예에 적용되는 높은 최대상승속도에서 기준속도 및 가속도 프로파일을 나타낸다.
- [0033] 도 4 및 도 5를 참고하면, 대용량인 CF의 관성에 의한 영향을 줄이기 위해 가속도의 변화를 완만하게 하고, 기준경로 상 목표위치에 도달 탈하는 시간과 실제로 로봇이 목표위치에 도달하는 시간 사이 드웰(dwell) 시간을 20초 두어 정상상태 오차를 제거한다.
- [0034] 한편, 상기 기초부하조건, 실린더 설계조건, CF 상승조건에서 상기 CF와 크라이밍 유압로봇의 매틀랩(MATLAB) 모델을 사용하여 시뮬링크(SIMULINK) 환경에서 시뮬레이션한다.
- [0035] 이때, 각 유압 로봇에 독립적으로 기준경로를 추적하도록 개별제어 알고리즘을 적용하고, 각 유압로봇에 가해지는 부하가 균일해지도록 각 유압로봇의 운동을 동기화하는 평균오차기준 동기제어 알고리즘 또는 순차적 교차식 동기제어 알고리즘을 적용하여 추적 제어와 동기제어 성능을 검사하는 제어알고리즘 검사 단계를 수행한다.(S4 참조)
- [0036] 이때, 상기 개별제어 알고리즘은 각 유압로봇이 독립적으로 기준경로를 추적하도록 슬라이딩모드 제어 알고리즘

을 사용한다. 대용량의 부하를 지지하는 유압로봇들이 외부영향에 능동적으로 대처하기 위해서 불확실성에 대한 강인한 제어성능이 요구된다. 슬라이딩모드 제어 알고리즘은 시스템의 파라미터가 변하거나 불확실한 모델을 가진 시스템, 또는 외란이 존재하는 비선형 불확실 시스템의 정밀한 제어를 위한 효과적인 제어방법이다.

[0037] 또한, 상기 제어알고리즘 검사단계에서는 최대 상승속도와 쿨롱 마찰력을 변화시키면서 최대상승속도와 쿨롱마찰력이 제어성능에 미치는 영향을 살펴본다.(S5 참조)

[0038] 이때, 상기 최대 상승속도가 제어 성능에 미치는 영향을 살펴보기 위해, 도 5에 도시된 바와 같이 평균상승속도는 $5 \times 10^{-3} m/s$ 유지한 채 최대 상승속도를 기준조건인 $8.33 \times 10^{-3} m/s$ 보다 빠르게 $10 \times 10^{-3} m/s$ 로 설정한다.

[0039] 또한, 상기 쿨롱마찰력이 제어 성능에 미치는 영향을 조사하기 위해 최대 쿨롱마찰력을 최대 설계하중의 10%, 15%, 20%로 각각 가정하여 시뮬레이션한다.

[0040] 한편, 도 6 내지 도 10에 도시된 바와 같이 각각의 제어 알고리즘을 적용한 시뮬레이션 결과, 즉 제어성능을 도출한다.(S6 참조)

[0041] 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 개별 제어 알고리즘을 적용한 경우에 유압로봇의 과도응답 특성이 도시된 그래프이고, 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 평균오차기준 동기제어 알고리즘을 적용한 경우에 유압로봇의 과도응답 특성이 도시된 그래프이며, 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 순차식 동기제어 알고리즘을 적용한 경우에 유압로봇의 과도응답 특성이 도시된 그래프이고, 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 순차적 교차식 동기제어 알고리즘을 적용한 경우에 유압로봇3의 과도응답 특성이 도시된 그래프이며, 도 10은 본 발명의 실시예에 따른 순차적 교차식 동기제어 알고리즘을 적용한 경우에 CF 가이드 레일과의 쿨롱 마찰이 유압로봇3의 과도응답에 미치는 영향이 도시된 그래프이다.

[0042] 도 6 내지 도 8은 100,000Kgf의 편하중과 30m/s의 풍압이 작용할 때 개별제어, 순차적 교차식 동기제어와 평균오차기준 동기제어를 각각 적용한 경우의 제어성능을 보여주고 있다.

[0043] 도 6의 (a), 도 7의 (a), 도 8의 (a)에 나타나 있듯이, 위치추적 성능은 세 경우에 모두 우수해 보이지만 이를 확대하여 보면 성능면에서 차이가 난다. 즉, 동기제어를 적용하였을 때 각 유압로봇들의 추적오차 (도 6의 (c), 도 7의 (c), 도 8의 (c)참조)는 개별제어를 적용하였을 때에 비해 추적오차가 평균화되는 경향이 나타났으며, 결과적으로 동기오차 (도 6의 (d), 도 7의 (d), 도 8의 (d)참조)가 현격히 감소함을 알 수 있다.

[0044] 모든 경우에서 최대 추적오차는 편하중이 가장 많이 작용한 유압로봇3에서 발생하였으며, 최대 동기오차는 유압로봇3과 대각선 반대편의 유압로봇2와의 사이에서 발생하였다.

[0045] 또한, 순차적 교차식 동기제어를 적용하였을 때 평균오차기준 동기제어를 적용하였을 때에 비해 추적오차는 크게 차이가 나지 않았지만 동기오차는 더 작게 나타남을 알 수 있다.

[0046] 도 9에서는 동일한 평균상승속도에서 최대 상승속도를 $8.33 \times 10^{-3} m/s$ (기준조건)과 $10 \times 10^{-3} m/s$ 로 각각

설정하였을 때 유압로봇3의 추적오차와 동기오차를 보여주고 있다.

- [0047] 도 9에 나타나 있듯이, 최대 상승속도가 낮은 속도 프로파일을 사용하였을 때 높게 설정된 때에 비해 동기오차는 거의 차이가 없었지만 추적오차는 더 작게 나타남을 알 수 있다.
- [0048] 도 10에서는 최대 쿨롱마찰력을 최대 설계하중의 10%, 15%, 20%로 각각 가정하였을 때 유압로봇3의 추적오차와 동기오차를 보여주고 있다. 도 10에 도시된 바와 같이 쿨롱마찰력이 추적오차에 미치는 영향은 크지 않았으나 동기오차는 쿨롱마찰력에 비례하여 증가함을 알 수 있다.
- [0049] 이와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 건설공장과 크라이밍 유압로봇의 시뮬레이션 방법은 고층 건물 시공자동화에 사용되는 대용량의 다중 크라이밍 유압로봇 시스템에 기본적으로 개별 제어를 사용하여 기준경로를 추적하도록 하고, 동시에 각 유압로봇의 운동을 동기화하는 순차적 교차식 동기제어 알고리즘과 평균오차기준 동기제어 알고리즘을 사용하도록 하여 맷랩 시뮬링크 환경에서 시뮬레이션하는 방식이다.
- [0050] 상기 시뮬레이션 결과, 도 6 내지 도 10을 참고하여 각각의 동기제어 알고리즘을 사용하여 동기제어 성능을 고찰하고, 개별적으로 슬라이딩모드 제어만을 한 경우와 비교하여 아래와 같은 결론을 얻었다.
- [0051] 1) 동기제어 알고리즘을 적용하였을 때 각 유압로봇들의 추적오차는 개별제어를 적용하였을 때에 비해 추적오차가 평준화되는 경향이 나타났으며 결과적으로 동기오차가 현격히 감소하였다.
- [0052] 2) 순차적 교차식 동기제어 알고리즘을 적용하였을 때 평균오차기준 동기제어를 적용하였을 때에 비해 추적오차는 크게 차이가 나지 않았지만 동기오차는 더 작게 나타남을 알 수 있었다.
- [0053] 3) 최대 추적오차는 편하중이 가장 많이 작용한 유압로봇에서 발생하였으며 최대 동기오차는 편하중이 가장 많이 작용한 유압로봇과 대각선 반대편의 유압로봇 사이에서 발생하였다.
- [0054] 4) 쿨롱마찰력이 추적오차에 미치는 영향은 크지 않았으나 동기오차는 쿨롱마찰력에 비례하여 증가하였다.
- [0055] 5) 상승속도가 낮게 설정된 기준속도 프로파일을 사용하였을 때 높게 설정된 때에 비해 동기오차는 거의 차이가 없지만 추적오차는 더 작게 나타났다.
- [0056] 6) 다중 크라이밍 유압로봇의 상승행정시 기준경로의 추적성능보다 동기제어 성능이 더 중요하며, CF의 로봇 크레인과 강풍에 의한 심한 편하중 상태에서도 동기제어 알고리즘을 적용함으로써 최대 동기오차를 0.03mm 이내로 제어할 수 있었다.
- [0057] 결과적으로, 본 발명의 건설공장과 크라이밍 유압로봇의 시뮬레이션 방법은 개별 제어만으로도 각 유압로봇의 부하가 균일한 경우 비교적 우수한 추적제어와 동기제어 성능을 얻을 수 있지만, 각 유압로봇에 CF 내 크레인 이동에 따른 편하중과 풍압에 의한 편하중 등 비대칭적인 부하가 가하여진 경우에는 유압로봇들의 동기제어 성능이 현저히 저하되므로, 이런 단점을 보완하기 위해 개별제어 알고리즘에 순차적 교차식 동기제어 알고리즘 또는 평균오차기준 동기제어 알고리즘을 추가함으로써 실제 건설 현장에서 CF 구조체의 상승 행정시 CF 구조체에 의한 편하중과 강풍 등에 의한 편하중 등에 의해 CF 구조체에 불균형이 발생되지 않고 수평을 유지하도록 할 수

있다.

[0058] 이상 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

산업상 이용가능성

[0059] 본 발명은 건설공장과 크라이밍 유압로봇의 시뮬레이션 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 실제 건설 현장, CF 구조체 및 크라이밍 유압로봇 시스템의 부하 조건에서 크라이밍 유압로봇에 개별제어 알고리즘과 동기제어 알고리즘을 각각 적용한 시뮬레이션을 수행함으로써 각 동기제어 성능을 정확히 예측할 수 있고, 그로 인해 실제 건설현장에서 각 유압로봇에 기준경로를 추적하도록 하는 슬라이딩 모드 제어 방식에 순차적 교차식 동기 제어 알고리즘 또는 평균오차기준 동기 제어 알고리즘을 추가함으로써 크라이밍 유압로봇 시스템의 동기제어시 각 유압로봇에 가하여진 부하에 상당한 불균형이 발생하더라도 유압로봇들의 동기제어 성능이 현저히 저하되는 현상을 해소할 수 있는 건설공장과 크라이밍 유압로봇의 시뮬레이션 방법에 관한 것이다.

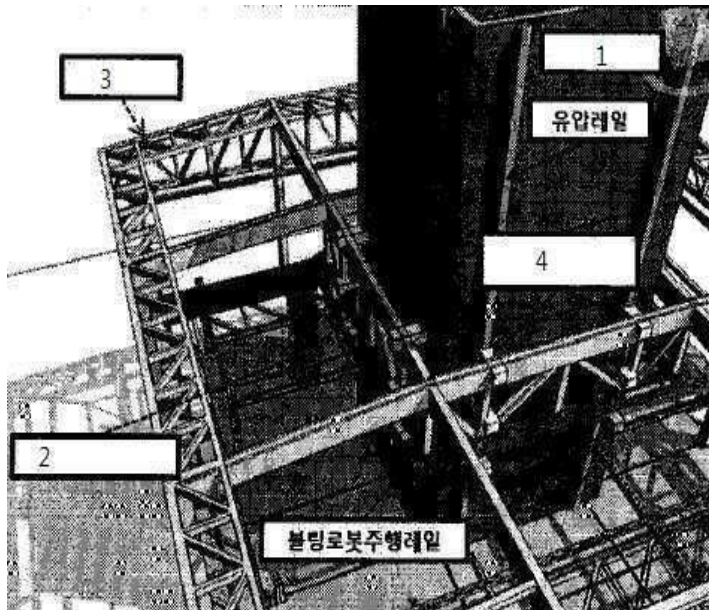
부호의 설명

[0060] <도면의 주요부분에 대한 부호의 설명>

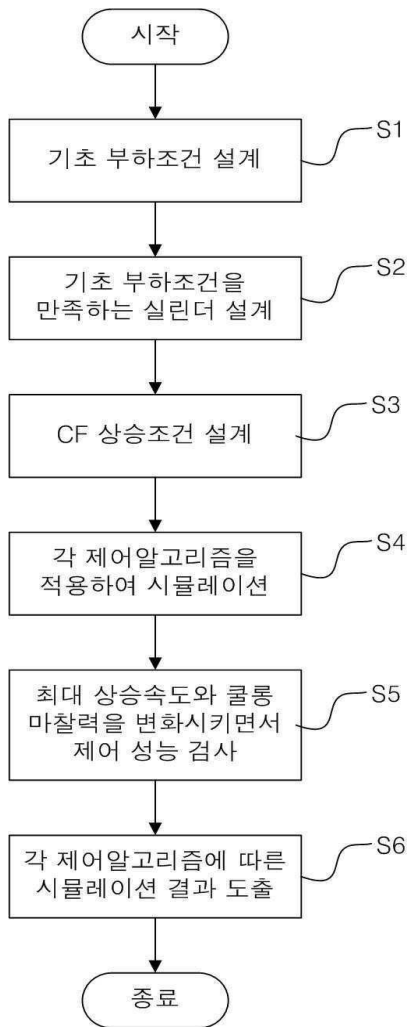
- | | |
|------------|-------------------|
| 1 : 코어 | 2 : 볼팅로봇 시스템 |
| 3 : CF 구조체 | 4 : 크라이밍 유압로봇 시스템 |

도면

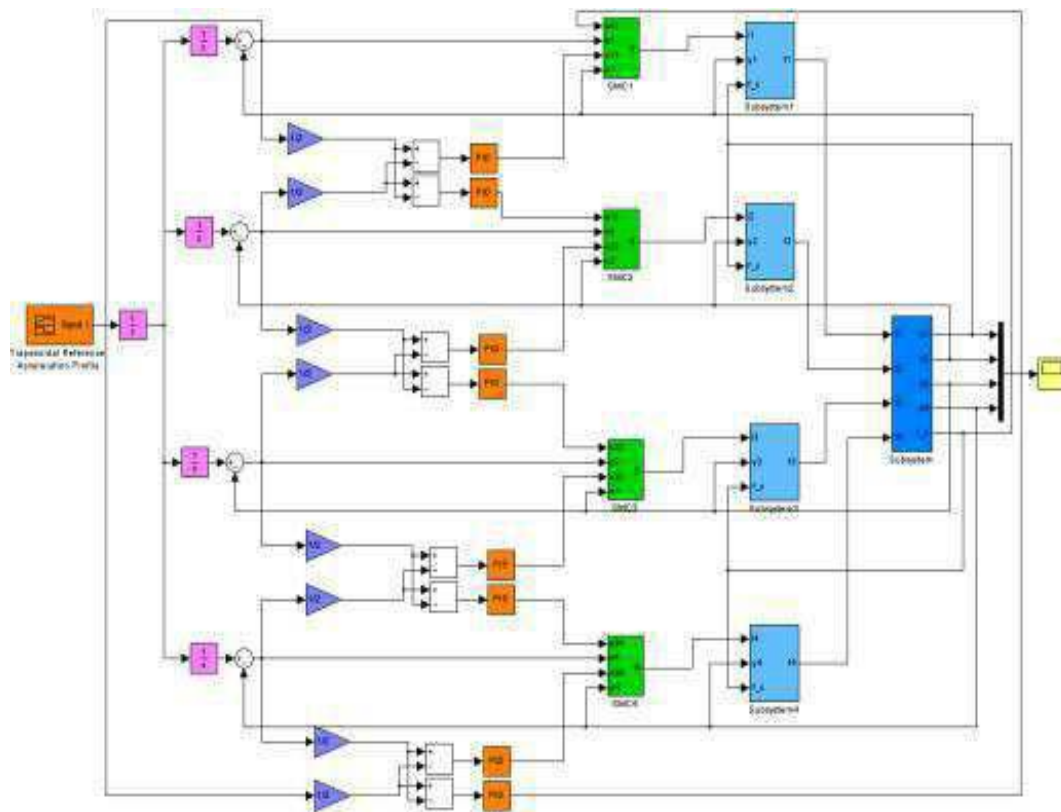
도면1



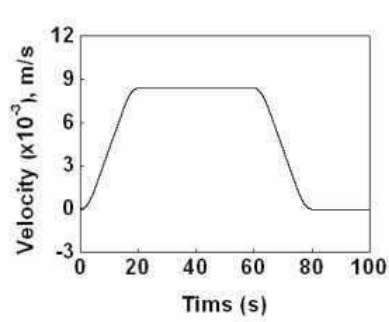
도면2



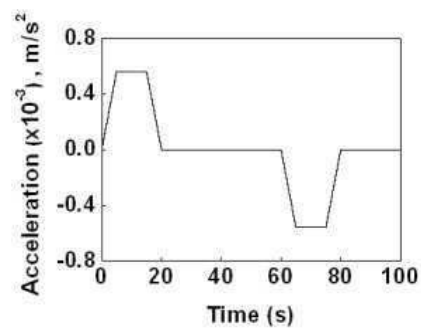
도면3



도면4

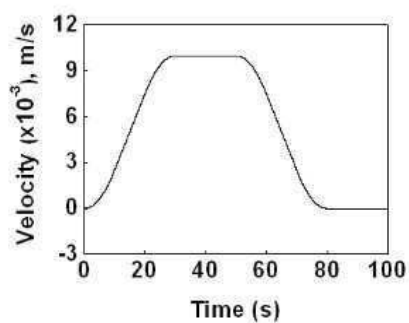


(a) 속도

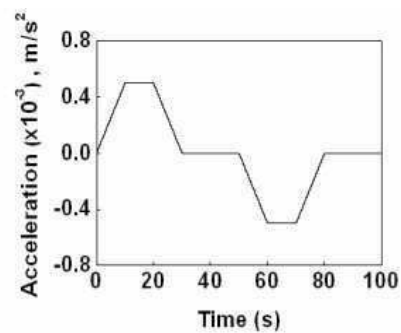


(b) 가속도

도면5

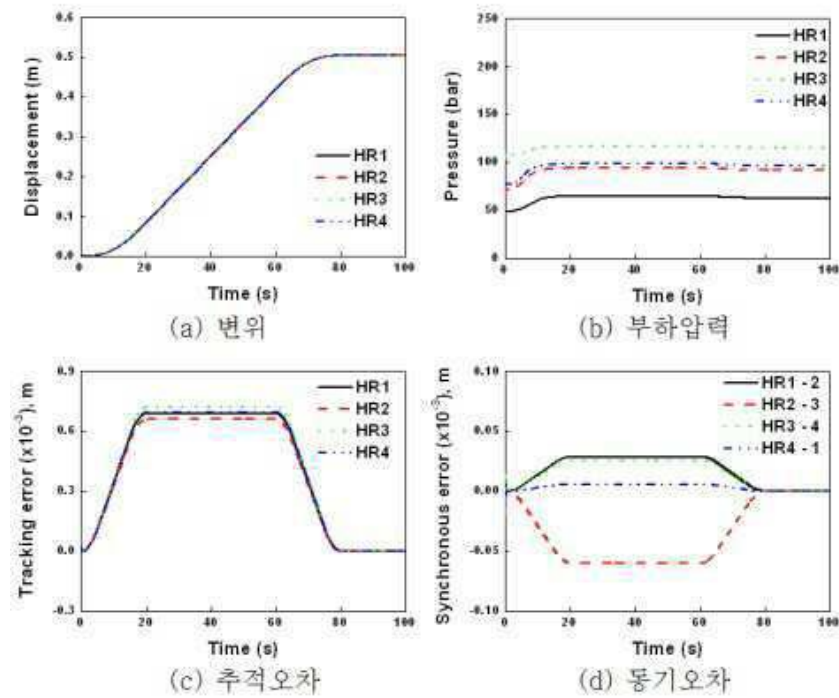


(a) 속도

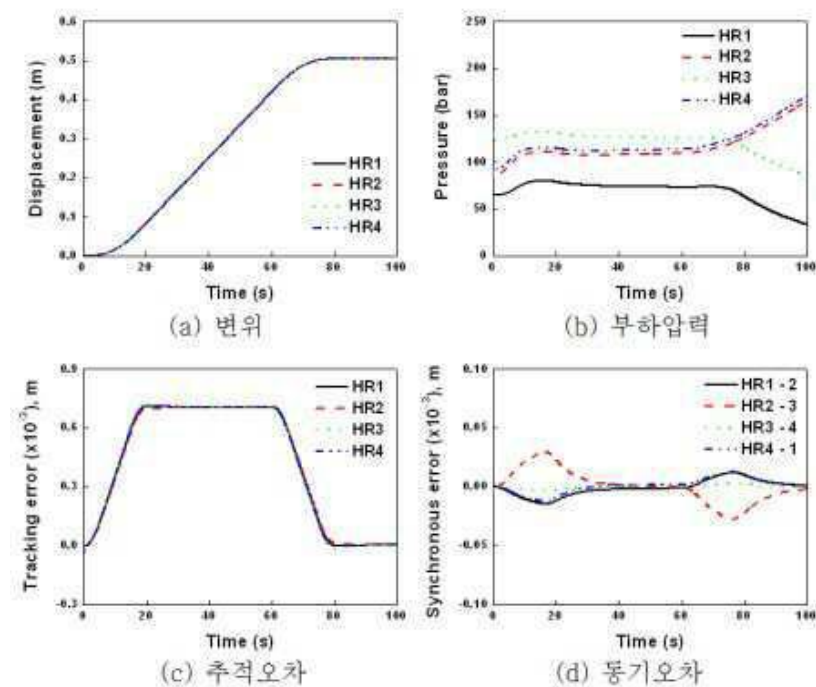


(b) 가속도

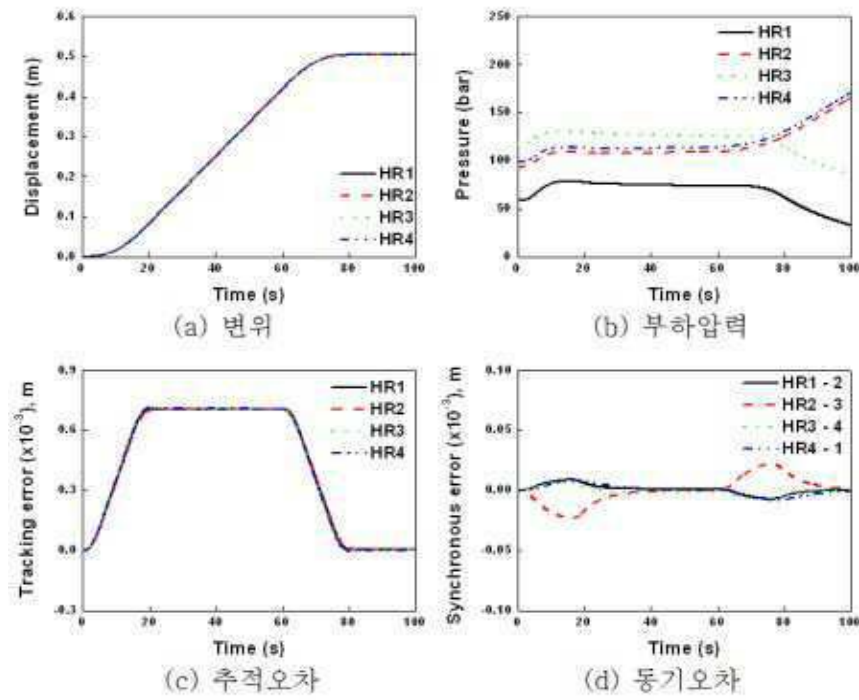
도면6



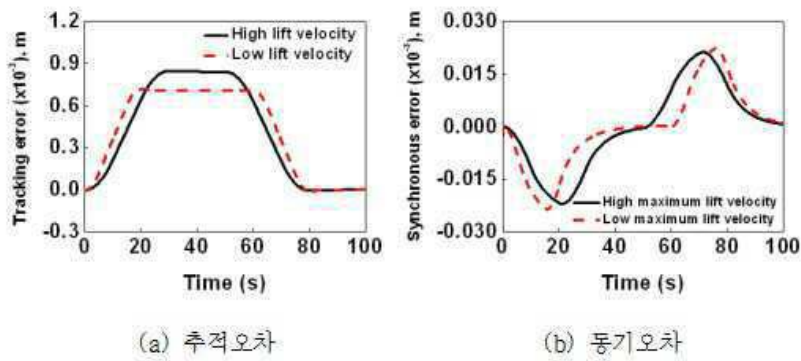
도면7



도면8



도면9



도면10

