



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0004792
(43) 공개일자 2011년01월14일

(51) Int. Cl.

B66C 13/18 (2006.01) B66C 23/64 (2006.01)

B66C 13/06 (2006.01) B66C 23/53 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2010-0065120

(22) 출원일자 2010년07월07일

심사청구일자 2010년07월07일

(30) 우선권주장

10 2009 032 269.8 2009년07월08일 독일(DE)

(71) 출원인

리브헤르-베르크 넨징 게엠베하

오스트리아 넨징 에이-6710 닥터-한츠-리브헤르-스트라쎄 1

(72) 발명자

클라우스 쉬나이더

독일 88145 헤르가츠, 운터레스 모아스 8

올리버 자보르니

독일 70186 슈투트가르트, 슈타른벡 40

제바슈티안 퀴힐러

독일 71034 비블링엔, 쿨름바허 슈트라쎄 46

(74) 대리인

특허법인 원진

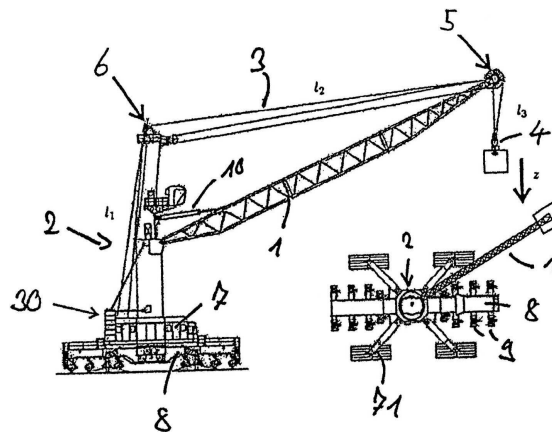
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 크레인의 호이스팅 기어를 제어하기 위한 크레인 제어장치

(57) 요약

본 발명은 호이스팅 기어의 제어시에 호이스트 로프의 탄력성에 의거하여 진동 다이내믹스를 고려하고 호이스팅 기어의 적절한 제어에 의해 진동 다이내믹스를 감소시키는, 크레인의 호이스팅 기어를 제어하기 위한 크레인 제어장치에 관한 것이다.

대표도 - 도2



특허청구의 범위

청구항 1

호이스팅 기어(hoisting gear)의 제어시 호이스트 로프(hoist rope)의 탄력성에 의거하여 진동 다이내믹스(oscillation dynamics)를 고려하고 상기 호이스팅 기어의 적절한 제어에 의해 그 진동 다이내믹스를 감소시키는 것을 특징으로 하는 크레인의 호이스팅 기어를 제어하기 위한 크레인 제어장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 호이스팅 기어의 구동속도는 오버슈트(overshoot)를 제한하기 위해 최대 허용 구동속도로 제한되는 것을 특징으로 하는 크레인의 호이스팅 기어를 제어하기 위한 크레인 제어장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 호이스팅 기어의 최대 허용 구동속도는 크레인 데이터를 참조하여 동역학적으로 결정되는 것을 특징으로 하는 크레인의 호이스팅 기어를 제어하기 위한 크레인 제어장치.

청구항 4

제2항 또는 제3항에 있어서,

상기 호이스팅 기어의 최대 허용된 구동속도는 당시 측정된 권상력(hoisting force)에 따라 결정되고 및/또는 로프 길이에 따라 결정되는 것을 특징으로 하는 크레인의 호이스팅 기어를 제어하기 위한 크레인 제어장치.

청구항 5

제2항 또는 제4항에 있어서,

상기 호이스팅 기어의 최대 허용 구동속도는 하물, 로프 및 호이스팅 기어의 시스템의 진동 다이내믹스를 설명하는 물리적 모델에 의거하여 결정되는 것을 특징으로 하는 크레인의 호이스팅 기어를 제어하기 위한 크레인 제어장치.

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 크레인 제어장치가 제어 거동을 결정하는 상황인식시스템을 갖는 것을 특징으로 하는 크레인의 호이스팅 기어를 제어하기 위한 크레인 제어장치.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 상황인식시스템은, 오버슈트를 피하기 위해 호이스팅 기어의 구동속도를 제한하는 권상 상태(lifting state)를 인식하되, 이 상황인식시스템은 유리하게는 지면에 놓여진 하물을 들어올릴 때 권상 상태를 인식하는 것을 특징으로 하는 크레인의 호이스팅 기어를 제어하기 위한 크레인 제어장치.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 상황인식시스템은, 상기 호이스팅 기어의 구동속도를 릴리스(release)하는 릴리스 상태(release state)를 인식하되, 이 릴리스 상태는 유리하게는 하물을 들어올려 크레인 로프에서 자유롭게 매달려 있을 때 인식되는 것을 특징으로 하는 크레인의 호이스팅 기어를 제어하기 위한 크레인 제어장치.

청구항 9

제6항에 있어서,

상기 상황인식시스템은, 하물을 내려놓을 때 로프가 불필요하게 너무 많이 풀어지는 것을 방지하기 위해 상기 호이스팅 기어의 구동속도를 제한하는 권하 상태(setting down state)를 인식하는 것을 특징으로 하는 크레인의 호이스팅 기어를 제어하기 위한 크레인 제어장치.

청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 하물의 원하는 호이스팅 운동은, 상기 호이스팅 기어를 제어하기 위해 제어 파라미터가 계산되는 입력 변수로서 기능하며, 자연 진동을 감소시키기 위해 상기 제어 파라미터의 계산시에 상기 호이스트 로프의 탄력성에 기인하는 진동 다이내믹스가 고려되는 것을 특징으로 하는 크레인의 호이스팅 기어를 제어하기 위한 크레인 제어장치.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 호이스팅 기어는 유압적으로 구동되고 상기 제어 파라미터의 계산시에 유압 유체의 압축성에 기인하는 상기 진동 다이내믹스가 고려되는 것을 특징으로 하는 크레인의 호이스팅 기어를 제어하기 위한 크레인 제어장치.

청구항 12

제10항 또는 제11항에 있어서,

상기 호이스트 로프의 변화가능한 로프 길이 및/또는 측정된 권상력이 상기 제어 파라미터의 계산에 이용되는 것을 특징으로 하는 크레인의 호이스팅 기어를 제어하기 위한 크레인 제어장치.

청구항 13

제10항 내지 제12항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 호이스팅 기어의 제어는 상기 호이스팅 기어의 제어 파라미터에 따라 하물의 호이스팅 운동을 설명하는 크레인의 물리적 모델에 의거되며, 상기 호이스팅 기어의 제어는 유리하게는 상기 물리적 모델의 반전(inversion)에 의거되는 것을 특징으로 하는 크레인의 호이스팅 기어를 제어하기 위한 크레인 제어장치.

청구항 14

제1항 내지 제13항에 따른 크레인 제어장치에 의해 크레인의 호이스팅 기어를 제어하기 위한 방법으로서, 상기 호이스팅 기어의 제어시에 호이스트 로프의 탄력성에 의거하여 진동 다이내믹스를 고려하고 상기 호이스팅 기어의 적절한 제어에 의해 진동 다이내믹스를 감소시키는 것을 특징으로 하는 크레인의 호이스팅 기어를 제어하기 위한 방법.

청구항 15

제1항 내지 제13항 중 어느 한 항에 따른 크레인 제어장치를 갖는 크레인.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 크레인의 호이스팅 기어(hoisting gear)를 제어하기 위한 크레인 제어장치에 관한 것이다. 이 점에 있어서 특히, 이 크레인 제어장치는 입력요소들을 사용하여, 특히 핸드 레버(hand lever)들을 사용하여 오퍼레이터(operator)에 의해 입력된 입력 신호로부터 크레인의 호이스팅 기어에 대한 제어신호를 결정하는 전자 크레인 제어장치이다.

[0002] 크레인에 의해 하물을 들어올릴 때, 로프(rope)에 작용하고 또한 그 하물의 무게로 인해 크레인에 작용하는 정하중(靜荷重, static load)에 더하여, 다른 동하중(動荷重, dynamic load)이 하물의 이동에 의해 생긴다. 이러

한 동하중을 받아들이 수 있도록 하기 위해, 크레인 구조는 상대적으로 더 안정하게 되어야 하고 또는 최대 정하중은 그에 따라 감소되어야 한다.

[0003] 알려진 크레인 제어장치에 있어서, 오퍼레이터는 핸드 레버들의 작동에 의해 자유롭게 다루어지는 호이스팅 기어의 속도를 결정한다. 그에 따른 작동시, 크레인의 상대적으로 안정한(그리고 너무 값 비싼) 구축에 의해 고려될 필요가 있는 실질적인 동하중이 발생할 수 있다.

발명의 내용

[0004] 본 발명의 목적은 개선된 크레인 제어장치를 제공하는데 있다.

[0005] 상기 목적은 본 발명에 따라 청구항 1에 따른 크레인 제어장치에 의해 충족된다. 그래서 본 발명은 호이스팅 기어의 제어시 호이스트 로프(hoist rope)의 탄력성에 의거하여 진동 다이내믹스(oscillation dynamics)를 고려하고 또한 호이스팅 기어의 적절한 제어에 의해 진동 다이내믹스를 감소시키거나 감소시키는, 크레인의 호이스팅 기어를 제어하기 위한 크레인 제어장치를 제공한다. 이 점에서 특히, 하물과 로프의 시스템의 진동 다이내믹스가 고려된다. 더 유리하게는, 호이스팅 기어 및/또는 크레인 구조물 또한 고려될 수 있다. 이에 의해, 본 발명에 따른 크레인 제어장치를 사용함으로써 크레인 구조물과 로프에 작용하는 동하중을 감소시키는 것이 가능하다. 이에 의해, 크레인 구조물은 상대적으로 더 경량으로 구축될 수 있거나 더 높은 정하중으로 작동될 수 있다. 이 점에서 특히, 본 발명에 따른 크레인 제어장치는 하물, 로프 및 호이스팅 기어의 시스템의 진동 다이내믹스를 고려함으로써 크레인 구조물에 작용하는 권상력(hosting force)을 최대 허용값으로 제한할 수 있다.

[0006] 유리하게는, 본 발명에 따른 크레인 제어장치는 호이스트 로프의 탄력성에 의거하여 진동 다이내믹스를 고려하지만, 크레인 구조물이 지지되는 지지구역의 가능한 이동은 호이스팅 기어의 제어시에 고려하지 않는 진동 감소 작동을 포함한다. 그러므로, 이 제어장치는 진동 감소 작동시에 정상 지지구역(stationary support region)을 갖는다. 그러므로, 본 발명에 따른 제어장치는 호이스트 로프 및/또는 호이스팅 기어 및/또는 크레인 구조물에 기인하여 발생하는 진동을 고려해야 한다. 대조적으로, 예를 들면 파형 운동(wave movement) 때문에 해상 크레인(floating crane)에 발생하는 것 같은 지지구역의 이동은 진동 감소 작동시에 고려하지 않아도 된다. 따라서, 크레인 제어장치는 실질적으로 더 간단하게 설계될 수 있다.

[0007] 이 점에서, 본 발명에 따른 크레인 제어장치는 어떤 크레인에 사용될 수 있는데, 그 크레인 구조물은 권상 중에, 고정 위치 지지구역, 특히 지면에 실제 지지된다. 그러나, 본 발명에 따른 크레인 제어장치는 해상 크레인과 함께 사용될 수도 있지만, 진동 감소 작동시에 부체(浮體, floating body)의 이동을 고려하지 않는다. 만약 크레인 제어장치가 액티브 히브 보상(active heave compensation)을 지닌 작동모드를 가지면, 진동 감소 작동이 어떠한 동시적인 액티브 히브 보상 작동 없이 일어날 수 있다.

[0008] 더 유리하게는, 본 발명에 따른 방법은 수송 및 모바일(mobile) 크레인과 함께 사용될 수 있다. 이 점에서 유리하게는, 이 크레인은 서로 다른 권상 위치(hoisting location)에서 지지될 수 있는 지지수단을 갖는다. 더 유리하게는, 이 방법은 하버 크레인(harbor crane), 특히 모바일 하버 크레인, 크롤러(crawler) 장착 크레인, 모바일 크레인 등과 함께 사용된다.

[0009] 이 점에서, 본 발명에 따른 크레인의 호이스팅 기어는 유압식(hydraulically)으로 구동될 수 있다. 유리하게는, 구동은 전기모터를 통해 가능하다.

[0010] 이 점에서 유리하게는, 본 발명에 따른 크레인 제어장치는 입력요소들을 사용하여, 특히 핸드 레버들을 사용하여 오퍼레이터에 의해 입력된 입력신호로부터 크레인의 호이스팅 기어에 대한 제어신호를 결정하는데, 호이스트 로프의 탄력성에 의거되는 하물, 로프 및 호이스팅 기어의 시스템의 진동 다이내믹스가 로프와 크레인 구조물에 작용하는 동적인 힘(dynamic force)을 제한하는 제어신호의 결정시에 고려된다. 대안적으로 또는 부가적으로, 크레인 제어장치는 원하는 권상운동(hoisting movement)을 미리 결정하는 자동화 시스템을 가질 수 있다.

[0011] 이 점에서, 호이스팅 기어의 구동속도는 적어도 하나의 작동 상태(operating phase)에서, 특히 하물의 권상(lifting) 및/또는 권하(setting down) 중에 오버슈트(overshoot)를 제한하기 위해 최대 허용 구동속도로 제한되는 것이 유리하다. 이 점에서, 최대 허용 구동속도는, 크레인 제어장치가 호이스팅 기어를 정지시키도록 영(zero)과 같게 될 수 있다. 그러나, 크레인 제어장치는, 권상 운동이 방해되지 않도록 그 구동속도를 영보다 큰 속도로 제한하는 것이 유리하다.

[0012] 본 발명은 정하중을 넘어서는 권상력의 오버슈트를 특정 양으로 제한하는 것을 가능하게 한다. 이 점에서 유리하게는, 오버슈트는 붐(boom) 위치에 의존하는 최대 하중의 고정계수(fixed factor)로 제한된다.

- [0013] 이 점에서 유리하게는, 구동속도의 제한 또는 진동 다이내믹스의 고려는 하물, 호이스트 로프 및 호이스트 윈치(hoist winch)의 시스템의 동하중에 특히 관련되는 이러한 작동 상태에서 적어도 발생한다. 이 점에서 특히, 구동속도가 특정 작동 상태에서 제한될 뿐이지만, 불필요하게 오퍼레이터를 제약하지 않기 위해 다른 작동 상태에서 릴리스(release)되는 구성이 제공될 수 있다. 이 점에서, 구동속도가 하물의 권상 및/또는 권하 중에 제한될 뿐이고 다른 방법으로 릴리스되는 구성이 제공될 수 있다.
- [0014] 더 유리하게는, 구동속도가 최대 허용 구동속도 이하인 한, 입력신호를 참조하여 호이스팅 기어의 구동속도를 결정하는 구성이 제공된다. 오퍼레이터의 입력신호로부터 결정된 구동속도가 최대 허용된 구동속도 이상이었을 때에만, 구동속도를 최대 허용 구동속도로 제한한다. 그러므로, 오퍼레이터가 최대 허용 구동속도를 초과하지 않는 한, 오퍼레이터는 공지된 크레인 제어장치로 호이스팅 기어를 자유롭게 제어할 수 있다.
- [0015] 이 점에서 유리하게는, 크레인 제어장치는 크레인 데이터를 참조하여 호이스팅 기어의 최대 허용 구동속도를 동역학적으로 결정한다. 그러므로, 일정한 최대 허용 구동속도가 미리 결정되지 않지만, 오히려 상황을 참조하여 그때에 매 경우마다 결정된다. 이에 의해, 최대 허용 구동속도는 각각의 권상 상황에 일정하게 맞추어질 수 있다. 이는, 호이스팅 기어의 구동속도가 불필요하게 높은 양까지 제한될 필요가 없다는 이점을 갖는다.
- [0016] 이 점에서, 크레인의 반경은 최대 허용 구동속도에 포함되는 것이 유리하다. 이어서, 크레인의 반경은 크레인 구조물을 들어올릴 수 있는 최대 힘과 이에 따라 최대 허용된 동적인 힘을 결정한다. 만약 크레인이 수평방향의 기복축(luffing axis)을 중심으로 기복될 수 있는 범이면, 범의 기복각(luffing angle)은 최대 허용 구동속도의 결정으로 취해진다.
- [0017] 더 유리한 방식으로, 호이스팅 기어의 최대 허용 구동속도는 그때에 측정된 권상력에 따라 결정된다. 이는 권상력의 오버슈팅을 최대 허용 정적(static) 권상력의 특정 값으로 제한하는 것을 가능하게 한다. 이 점에서 유리하게는, 최대 허용 구동속도는 권상력이 증가함에 따라 떨어진다. 특히 유리하게는, 최대 허용 구동속도는 그때에 측정된 권상력의 제곱근(root)에 반비례한다. 이 점에서, 권상력은 하물 질량 센서(load mass sensor)를 통해 측정될 수 있다.
- [0018] 더 유리한 방식으로, 호이스팅 기어의 최대 허용 구동속도는 로프 길이에 따라 결정된다. 이 점에서, 로프 길이는 호이스트 로프의 강성과 그에 따라 하물, 로프 및 호이스트 윈치의 시스템의 동역학에 영향을 미친다. 이 점에서, 로프 길이는 호이스팅 기어 운동의 측정 또는 호이스팅 기어의 제어 데이터를 통해 결정되는 것이 유리하다.
- [0019] 더 유리한 방식으로, 로프와 크레인의 구조에 의존하는 특정 상수(specific constant)는 최대 허용 구동속도의 계산에 이용된다.
- [0020] 이 점에서, 호이스팅 기어의 최대 허용 구동속도는 하물, 로프 및 호이스팅 기어의 시스템의 진동 다이내믹스를 설명하는 물리적 모델에 의거하여 결정되는 것이 유리하다. 이에 의해, 최대 허용 구동속도의 정밀한 제한을 달성하는 것이 가능하다. 더구나, 크레인 제어장치는 다른 크레인 모델에 더 간단하게 적용될 수 있다.
- [0021] 크레인 로프와 크레인의 동하중이 리프트(lift)의 서로 다른 상태에서 크게 다르므로, 크레인 제어장치가 서로 다른 상태에서 각각의 매칭(matching) 제어 프로그램으로 제어되는 경우 이점이 있다.
- [0022] 그러므로, 본 발명에 따른 크레인 제어장치는, 크레인 제어장치가 제어 거동을 결정하는 것과 관련하여 상황인식시스템(situation recognition system)을 갖는다. 이 점에서 특히, 본 발명에 따른 크레인 제어장치는 상황인식시스템과 관련하여 크레인 제어장치의 제어 거동을 결정하는 유한상태기계(finite state machine)를 갖는다. 특히 유리하게는, 그것은 이산 사건(discrete event)을 인식하고 이러한 상태들에서 호이스팅 기어에 대한 각각의 미리 설정된 제어 프로그램을 실행하는 유한상태기계이다.
- [0023] 유리하게는, 상황인식시스템은, 호이스팅 기어의 구동속도가 오버슈트를 피하기 위해 제한되는 리프팅(lifting) 상태를 인식한다. 이를 위해, 이 점에서 유리하게는, 유한상태기계는, 호이스팅 기어의 구동속도가 오버슈트를 피하기 위해 제한되는 리프팅 상태를 갖는다. 로프와 크레인에 걸리는 최대 동하중은 리프팅에 의해 발생하므로, 호이스팅 기어의 구동속도가 본 발명에 따라 오버슈트를 피하기 위해 이 상태에서 제한되는 것이 중요하다.
- [0024] 이 점에서, 상황인식시스템이 지면에 놓여 있는 하물을 들어올리는 지를 인식할 때 리프팅 상태로 변화가 이루어진다. 하물이 지면에 놓여 있는 한, 호이스트 로프는 먼저, 하물이 지면에서 벗어나서 들어올려질 때까지 호이스트 로프의 감김에 의해 장력을 갖게 된다. 이러한 상태 중에, 호이스팅 기어의 구동속도는 하물의 들어올림 후에 하중의 오버슈트를 피하기 위해 제한된다.

- [0025] 이 점에서 유리하게는, 상황인식시스템은, 측정된 권상력의 변화가 모니터링된다는 리프팅 상태를 인식한다. 이 점에서, 권상력의 도함수(derivative)는 상황 인식에 이용되는 것이 유리하다. 이 점에서 특히, 시간에 따른 권상력의 도함수가 미리 결정된 최소값을 초과하는지를 조사할 수 있다. 또한, 권상력의 절대값은 상황 인식에 이용될 수 있다. 이 점에서, 그때에 측정된 권상력과 하물의 정적 무게(static weight)에 의해 유일하게 결정되는 최종 결정된 정적 권상력 사이의 차가 고려되는 것이 유리하다. 이 점에서, 이러한 차가 특정의 미리 설정된 값(preset value)을 초과하는 지를 조사할 수 있다. 권상력의 절대값이 고려되기도 하므로, 하물이 후크(hook)에 자유롭게 매달리고 너무 큰 오버슈트를 가질 위험이 없더라도 리프팅 상태가 검출되는 것을 방지할 수 있다.
- [0026] 더 유리한 방식으로, 상황인식시스템은 호이스팅 기어의 구동속도가 릴리스되는 릴리스 상태(release state)를 인식하는데, 이 릴리스 상태는 유리하게는, 하물이 들어 올려져 크레인 로프에 자유롭게 매달려 있을 때 인식된다. 유리하게는, 유한상태기계는, 이 목적을 위해 호이스팅 기의 구동속도가 릴리스되는 릴리스 상태를 갖는다. 이는, 오퍼레이터가 권상력의 오버슈트를 예측할 필요가 없는 작동 상태에서 본 발명에 따른 크레인 제어장치에 의해 제약되지 않음을 가능하게 한다. 이러한 상태에서, 호이스팅 기어는 오히려, 호이스팅 기어의 구동속도를 제한하는 크레인 제어장치 없이 오퍼레이터에 의해 자유롭게 작동될 수 있다.
- [0027] 이 점에서, 상황인식시스템이 하물을 들어올려 크레인 로프에 자유롭게 매달았음을 인식할 때 릴리스 상태로의 변화가 이루어진다. 이러한 상황에서는, 크리티컬 다이내믹스(critical dynamics)가 전혀 예측되지 않으므로 오퍼레이터는 호이스팅 기구를 자유롭게 작동시킬 수 있다.
- [0028] 이 점에서, 호이스팅 기어의 운동에 관한 데이터는 하물을 들어올렸는지를 인식하는 상황인식시스템에 이용된다. 이 점에서 특히, 상황인식시스템은, 호이스팅 기어가 하물을 지면에서 들어올리기 위해 충분한 로프를 다 감았을 때 로프의 스트레칭 거동(stretching behavior)에 관한 데이터 및 측정된 권상력으로부터 결정한다.
- [0029] 더 유리한 방식으로, 상황인식시스템은, 하물을 내려놓을때 로프가 불필요하게 너무 많이 풀어지는 것을 피하기 위해 호이스팅 기어의 구동속도를 제한하는 권하상태(setting down state)를 인식한다. 이 목적을 위해 유한상태기계는, 하물을 내려놓을때 로프가 불필요하게 너무 많이 풀리는 것을 피하기 위해 호이스팅 기어의 구동속도를 제한하는 권하상태를 갖는 것이 유리하다. 하물을 내려놓을때 크레인 구조물의 안정성에 대하여 제한이 있을 필요는 없다. 그러나, 크레인 오퍼레이터가 하물을 지면 상에 내려놓을때 슬랙 로프(slack rope)가 너무 많이 풀어지는 것을 피하기 위해, 본 발명에 따른 크레인 제어장치는 이러한 상황에 관여한다.
- [0030] 본 발명에 따른 크레인 제어장치의 앞서 설명한 실시형태들은 하물을 들어올리거나 내려놓는 어느 쪽의 상태에서 호이스팅 기어의 제어에 실질적으로 관여한다. 이는, 최대 다이내믹스 효과가 이러한 상태에서 발생하여 속도의 제한, 특히 속도의 하물 의존 제약에 의해 오버슈트를 효과적으로 줄일 수 있다는 고려에 기초한 것이다. 하물이 크레인 후크에 자유롭게 매달리지만, 앞서 제시한 제어장치는 제한 방식(limiting manner)에 관여하지 않고, 즉 예외적인 상황에서 제한 방식에 관여할 뿐이다.
- [0031] 본 발명은 하물이 크레인 로프에 자유롭게 매달리는 상태 동안에 유리하게 이용되는 또 다른 제어 변형물(control variant)을 포함한다. 이러한 상태에서, 크레인 제어장치는 크레인 구조물과 로프에 대해 마찬가지로 변형될 수 있는 크레인 구조물 및/또는 로프의 자연 진동(natural oscillation)을 피하는데 사용된다.
- [0032] 이 점에서, 본 발명은, 하물의 원하는 리프팅 운동이 호이스팅 기어를 제어하기 위한 제어 파라미터의 계산에 기초하여 입력변수로서 기능하는 크레인 제어장치를 포함한다. 이 점에서, 본 발명에 따른 크레인 제어장치는 제어 파라미터의 계산시에 호이스팅 로프의 탄력성에 기인하여 일어나는 진동 다이내믹스를 고려한다. 이에 의해, 하물과 로프의 시스템의 자연 진동이 감소된다. 하물의 원하는 리프팅 운동이 본 발명에 따른 크레인 제어장치의 입력변수로서 기능하는 자동화 시스템 및/또는 오퍼레이터의 입력신호로부터 먼저 발생된다. 이어서, 자연 진동을 감소하기 위해 호이스팅 기어를 제어하기 위한 제어 파라미터가 이 입력변수에 기초하여 그리고 진동 다이내믹스를 고려하면서 계산된다.
- [0033] 이 점에서, 호이스팅 로프의 탄력성에 더하여, 제어 파라미터의 계산시에 유압 유체(hydraulic fluid)의 압축성에 의거하여 호이스팅 기어의 진동 다이내믹스가 고려되는 것이 유리하다. 이러한 인자는 크레인 구조물에 걸리는 스트레인(strain)에 미치는 하물, 로프 및 호이스팅 기어의 시스템의 자연 진동을 야기시킬 수도 있다.
- [0034] 유리하게는, 호이스팅 로프의 변화가능한 로프 길이는 제어 파라미터의 계산시에 고려된다. 호이스팅 로프의 로프 길이는 로프의 강성 및 그에 따른 그 다이내믹스에 영향을 미친다. 더 유리한 방식으로, 측정된 권상력

또는 그로부터 결정된 하중 로프에 매달린 하물의 무게가 제어 파라미터의 계산에 이용된다. 이 점에서, 하중 로프에 매달린 하물의 무게는 하물, 호이스팅 기어 및 호이스트 로프의 시스템의 동역학에 영향을 미친다.

[0035] 이 점에서 유리하게는, 호이스팅 기어의 제어는 호이스팅 기어의 제어 파라미터에 따라 하물의 리프팅 운동을 설명하는 물리적 모델에 의거하여 실시된다. 이에 의해, 매우 양호한 진동 감쇠가 달성될 수 있다. 또한, 물리적 모델을 사용하면, 다른 크레인들에 대해 본 발명에 따른 크레인 제어장치의 신속한 매칭이 가능하다. 이 점에서 특히, 이러한 매칭은 간단한 계산과 크레인의 데이터에 기초하여 실시될 수 있다. 이 점에서, 물리적 모델은 크레인에 대한 고정 위치의 지지장소를 추정한다.

[0036] 이 점에서 유리하게는, 호이스팅 기어의 제어는 물리적 모델의 반전(inversion)에 기초하여 실시된다. 호이스팅 기어의 제어 파라미터는 물리적 모델의 반전에 의해 제어장치의 입력변수로서 사용될 수 있는 하물의 리프팅 운동에 따라 얻어진다.

[0037] 본 발명에 따른 크레인 제어장치에 대한 2가지 변형물을 결합하는 것을 더 생각할 수 있다. 이 점에서 특히, 호이스팅 기어의 속도 제한은, 유한상태기계가 리프팅 상태에 있을 때 실시될 있고 호이스팅 기어의 제어는, 유한상태기계가 릴리스 상태로 변경하였을 때 원하는 리프팅 운동에 기초하여 실시될 수 있다.

[0038] 또한, 본 발명은 크레인 제어장치에 의해 크레인의 호이스팅 기어를 제어하기 위한 방법으로서, 호이스트 로프의 탄력성에 의거하여 하물, 로프 및 호이스팅 기어의 시스템의 진동 다이내믹스가 호이스팅 기어의 제어시에 고려되며 또한 호이스팅 기어의 적절한 제어에 의해 크레인 제어장치에 의해 감소되거나 감쇠되는 방식의 방법을 포함한다. 이 점에서 특히, 호이스팅 기어의 제어는 위에서 제시하였던 바와 같은 본 발명에 따른 크레인 제어장치에 의해 실시된다.

[0039] 또한, 본 발명은 위에서 제시하였던 바와 같은 크레인 제어장치를 갖는 크레인을 포함한다.

도면의 간단한 설명

[0040] 도 1은 본 발명에 따른 크레인 제어장치를 사용하고 또한 이를 사용하지 않고 하물의 권상시에 호이스팅 기어의 힘 측정 축에서의 오버슈트를 나타낸 도면.

도 2는 본 발명에 따른 크레인 제어장치를 사용한 크레인의 제1 실시형태를 나타낸 도면.

도 3은 리프팅 상태 중에 호이스팅 기어의 구동속도의 제한과 본 발명에 따른 상황인식시스템을 갖는 본 발명에 따른 크레인 제어장치의 제1 실시형태의 개략도.

도 4는 제1 실시형태의 유한상태기계의 개략도.

도 5는 제1 실시형태에 따른 크레인 제어장치를 사용하고 또한 이를 사용하지 않고 하물의 권상시에 호이스팅 기어의 구동속도를 나타낸 도면.

도 6은 제1 실시형태에 따른 본 발명의 크레인 제어장치를 사용하고 또한 이를 사용하지 않고 도 5에 나타낸 호이스팅 기어의 제어시에 발생하는 권상력(lifting force)을 나타낸 도면.

도 7은 호이스팅 기어의 유압구동부의 개략도.

도 8은 하물, 로프 및 호이스팅 기어의 시스템에 대한 제2 실시형태에 사용되는 물리적 모델의 개략도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0041] 이하, 실시형태들과 도면을 참조하여 본 발명을 더 상세히 설명한다.

[0042] 도 2에는, 본 발명에 따른 크레인 제어장치의 실시형태가 도시되어 있다. 이 점에서, 크레인은 수평 기복축을 중심으로 기복 가능하게 타워(2)에 피벗식으로 연결되는 붐(1)을 갖는다. 이 점에서, 기복면(luffing plane)에서 붐(1)의 상하 기복을 위해 붐(1)과 타워(2) 사이에 피벗식으로 연결되는 유압실린더(10)가 설치되어 있다. 타워(2)는 회전 수직축을 중심으로 회전 가능하게 배치되어 있다. 이를 위해 타워(2)는 슬루잉 기어(slewing gear)를 통해 언더캐리지(undercarriage)(8)에 대해 회전될 수 있는 상부구조물(superstructure)(7) 상에 배치되어 있다. 이 점에서, 본 실시형태는 언더캐리지(8)가 주행기어(traveling gear)(9)를 구비한 모바일 크레인이다. 이 크레인은 권상 위치에서 지지부재(71)를 통해 지지될 수 있다.

[0043] 이 점에서, 하물의 리프팅은, 하물수용부재(load receiving element)(4), 이 경우에는 크레인 후크가 배치되

어 있는 호이스트 로프(3)를 통해 실시된다. 이 점에서, 호이스트 로프(3)는 붐 선단(5) 뿐만 아니라 타워 피크(peak)(6)에 있는 풀리 블록(pulley block)을 통해 상부구조물의 호이스팅 기어(30)로 안내되고 호이스트 로프의 길이는 그것을 통해 변화될 수 있다. 이 점에서, 호이스팅 기어(30)는 호이스트 윈치로서 만들어진다.

[0044] 본 발명에 따라, 크레인 제어장치는 호이스트 로프의 탄력성에 기인하여 진동을 감소시키기 위해 호이스팅 기어의 제어시에 하물, 호이스트 로프 및 호이스팅 기어의 시스템의 동역학을 고려한다.

[0045] 본 발명에 따른 크레인 제어장치로 실행되는 제어방법의 제1 실시형태에 대하여는 다음과 같이 더 상세히 설명한다.

[0046] 1. 제1 실시형태에 대한 소개

[0047] DIN EN 13001-2 및 DIN EN 14985에 따라, 호이스팅 기어의 힘 측정 축에서 최대 오버슈트가 보장될 수 있다면, 회전식 붐 크레인의 철골 구조(steel construction)가 줄어들 수 있다. 이 점에서, 최대 허용된 반경 의존 권상력은 지면으로부터 하물을 들어올릴 때 다이내믹 오버슈트에 의해 p 배 값(p -fold value)만큼 초과될 수도 있다. 이러한 최대 오버슈트를 보장하기 위해, 자동화 호이스팅 시스템이 사용될 수 있다.

[0048] 도 1은 p 배 값만큼 최대 오버슈트를 보장하는 자동화 호이스팅 시스템을 사용하고 또한 자동화 호이스팅 시스템을 사용하지 않고 하물을 들어올릴 때의 측정된 권상력을 나타낸 것이다. 다음에 설명하는 자동화 호이스팅 시스템은, 지면에서 하물을 들어올릴 때 호이스팅 기어에서의 최대 허용된 반경 의존 최대힘이 p 배 값 이상만큼 초과되지 않는다는 것을 보장한다. 또한, 여기에서 설명한 자동화 호이스팅 시스템은 지면에 하물을 내려놓을 때 호이스팅 기어 속도를 감소시킨다. 따라서, 크레인 오퍼레이터는 하물을 지면에 내려놓는 것을 설정할 때 슬랙 로프가 너무 많이 풀어지는 것을 피할 필요가 있다.

[0049] 2. 제1 실시형태에서의 크레인 모델

[0050] 이하에, 자동화 호이스팅 시스템의 개발을 위한 제1 실시형태에 사용되는 크레인 모델에 대하여 설명한다. 도 2는 하버 모바일 크레인의 완전한 구조를 나타낸 것이다. 질량이 m_l 인 하물은 하물권상수단(load take-up means)에 의해 크레인에 의해 들어 올려져 전체 길이가 l_r 인 로프를 통해 호이스트 윈치에 연결된다. 로프는 붐 헤드와 타워에 있는 각각의 하나의 디플렉션 풀리(deflection pulley)를 통해 하물권상수단으로부터 편향된다. 이 점에서, 주목해야 할 점은, 로프가 붐 헤드에 의해 호이스트 윈치측으로 직접 편향되는 것이 아니라, 오히려 붐 헤드에 의해 타워측으로 편향되고, 다시 붐으로 편향되고 나서 타워를 통해 호이스트 윈치로 편향된다는 것이다(도 2 참조). 따라서, 전체 로프 길이는 다음과 같다.

$$[0051] \quad l_r(t) = l_1(t) + 3l_2(t) + l_3(t), \quad (1)$$

[0052] 여기서, l_1 , l_2 , 그리고 l_3 는 호이스트 윈치에서 타워까지, 타워에서 붐 헤드까지, 그리고 붐 헤드에서 하물권상수단까지의 일부 길이이다. 이제, 크레인이 하물의 권상시에 스프링 질량 댐퍼(spring mass damper)처럼 거동한다고 가정한다. 하물의 권상시에 크레인의 전체 스프링 강성도(spring stiffness)는 로프의 스프링 강성도와 크레인의 스프링 강성도(타워, 붐 등의 편향)로 구성된다. 로프의 스프링 강성도는 다음과 같다.

$$[0053] \quad c_r = \frac{E_r A_r}{l_r} \quad (2)$$

[0054] 여기서, E_r 및 A_r 은 로프의 탄성력의 모듈러스(modulus) 및 단면적이다. n_r 패러렐 로프(parallel rope)가 하버 모바일 크레인에서 하중을 들어올리므로(도 2 참조), 로프의 스프링 강성도 C_{rope} 는 다음과 같다.

$$[0055] \quad C_{rope} = n_r c_r. \quad (3)$$

[0056] 전체 스프링 강성도의 계산을 위해 크레인과 로프의 강성도가 다음과 같이 직렬로 연결되어 있다고 가정한다.

$$c_{total} = \frac{c_{crane} c_{rope}}{c_{crane} + c_{rope}}. \quad (4)$$

[0058] 3. 제1 실시형태에서의 자동화 호이스팅 시스템

[0059] 여기에 제시한 자동화 호이스팅 시스템은 이산 사건과 함께 하물의 권상을 검출해야 하는 유한상태기계에 기초된 것이다. 하물이 들어 올려지자 마자, 호이스팅 속도는 미리 설정된 값으로 감소되어야 하고 다이내믹 권상력의 최대 오버슈트는 보장되어야 한다. 일단 하물이 지면에서 완전하게 들어 올려지면, 호이스팅 기어 속도는 자동화 호이스팅 시스템에 의해 다시 릴리스되어야 한다. 또한, 자동화 호이스팅 시스템은 하물의 권하를 검출해야 하고 마찬가지로 호이스팅 기어 속도를 감소시켜야 한다. 호이스팅 기어는 여기서 권하에 이어서 다시 릴리스되어야 한다.

[0060] 자동화 호이스팅 시스템의 구성은 도 3에 도시되어 있다. 블록 "v_{up}, v_{down} 사전 설정" 내에서, 하물 권상과 하물 권하를 위한 허용된 최대 속도는 계산되거나 미리 설정된다. 정확한 계산에 대하여는 다음의 단락에서 설명한다. 하물이 지면에서 들어 올려지는지 또는 지면에 내려 놓는지 또는 크레인이 정상작동모드에 있는지가 블록 "상황 인식"에서 검출된다. 그때의 상황에 기초하여, 대응하는 원하는 속도 v_{des}가 선택된다. 이 결정은 상술한 바와 같이, 이산 사건과 함께 유한상태기계에 기초된다.

[0061] 다음의 설명에서 주목해야 할 점은, 하물 이동의 z축이 아래쪽으로 향해져 있다는 것이다(도 2 참조). 이에 의해, 하물은 양(positive)의 호이스팅 기어 속도 v_{hg} 만큼 내려 놓여지고 음(negative)의 호이스팅 기어 속도 v_{hg} 만큼 들어 올려진다.

[0062] 3.1 V_{up}, V_{down} 사전 설정

[0063] 이 블록 내에서, 지면으로부터 하물을 들어올릴 때의 최대 허용 호이스트속도 v_{up}가 계산된다. 이 속도는, 그때에 측정된 권상력 F_l, 반경에 의존한 최대 허용 호이스트 하물(radius-dependent maximum permitted hoist load) M_{max}, 그리고 총 스프링 강성도 c_{total}에 의존한다. 계산을 위해, 지면으로부터 들어 올려진 직후의 하물의 권상 운동은 일정한 권상 운동과, 중첩된 진동(superimposed oscillation)으로 이루어지는 것으로 가정한다. 이에 따라, 진동은 비감쇠 스프링질량계(non-damped spring-mass system)로 표현된다. 따라서 측정된 권상력은, 다음과 같이 산출된다.

$$F_l = F_{const} + F_{dyn}, \quad (5)$$

[0065] 여기서, F_{const} = m_lg는 중력가속도를 기초로 한 일정한 하중힘(load force)이다. 동적 권상력 F_{dyn}은 스프링질량계 진동자(spring-mass oscillator)의 동적 스프링 힘(dynamic spring force)에 의해 표현된다.

$$F_{dyn} = m_l \ddot{z}_{dyn}, \quad (6)$$

[0067] 여기서, $\ddot{z}_{dyn}$ 은 (중력에 의한 가속도가 없는) 하물의 가속도이다. 비감쇠 스프링질량계 시스템의 미분 방정식은 다음과 같다.

$$m_l \ddot{z}_{dyn} + c_{total} z_{dyn} = 0. \quad (7)$$

[0069] 식 (7)의 초기 조건은 다음과 같이 산출된다.

$$z_{dyn}(0) = 0, \quad (8)$$

[0071] 단, F_{dyn}(0) = m_l $\ddot{z}_{dyn}(0)$ = -c_{total} z_{dyn}(0) = 0 그리고,

$$\dot{z}_{dyn}(0) = -v_{up}, \quad (9)$$

[0073] 이며,

[0074] 속도 V_{up} 를 갖는 하물은 지면으로부터 들어 올려져야 한다(z 축은 하향으로 향하는 양의 방향이다). 식(7)의 일반 해(general solution)는 다음과 같이 주어진다.

[0075]
$$z(t) = A \sin(\omega t) + B \cos(\omega t) \quad (10)$$

[0076] 계수 A 및 B는 초기 조건식 (8) 및 (9)에 의해 계산되며, 다음과 같이 산출된다.

[0077]
$$A = -\frac{v_{up}}{\omega}, \quad (11)$$

[0078]
$$B = 0 \quad (12)$$

[0079] 여기서, $\omega = \sqrt{\frac{c_{total}}{m_l}}$ 이다. 그러므로, 동적인 힘(dynamic force)의 시간 전개식(time development)은,

[0080]
$$F_{dyn}(t) = m_l v_{up} \omega \sin(\omega t) \quad (13)$$

[0081] 로 산출되며, 따라서,

[0082]
$$\max(F_{dyn}(t)) = m_l v_{up} \sqrt{\frac{c_{total}}{m_l}}, \quad (14)$$

[0083] 이다.

[0084] 단, $-1 \leq \sin(\omega t) \leq 1$ 이다. 이하에서 권상력의 최대 오버슈트는 $pm_{max}g$ 와 같아야 하며; 그로써 권상시의 최대 허용 호이스팅 속도가 산출된다.

[0085]
$$pm_{max}g = m_l v_{up} \sqrt{\frac{c_{total}}{m_l}}, \quad (15)$$

[0086]
$$v_{up} = \frac{pm_{max}g}{\sqrt{c_{total}m_l}}. \quad (16)$$

[0087] 이어서, 권상 중(하물이 아직 올려지지 않음)의 당시의 권상하중(hoisting load) m_l 은 측정된 하중힘에 의해 계산될 수 있다. 이 점에서 시간에 맞추기 위해, 아직 어떠한 동적인 힘 F_{dyn} 도 존재하지 않는다. 이는 호이스팅 기어 로프의 이른바 인장동작 동안에 적용되며,

[0088]
$$F_l = F_{const} \quad (17)$$

[0089] 따라서,

[0090]
$$m_l = \frac{F_l}{g}. \quad (18)$$

[0091] 이다.

[0092] 아울러, 하물 권하시의 최대 허용 호이스팅 기어 속도 V_{down} 는 이 블록 내에서 사전 설정된다. 이 값은, 표준들로 인한 어떠한 제한도 관찰되지 않으므로 상수값(constant value)으로 선정된다. 상기 속도의 감속은 오로지 슬랙 로프의 안전성을 제공해야 한다.

[0093] 3.2 상황 인식

[0094] 이 블록에서는, 상응하는 소정의 속도가, 이산 사건을 갖는 유한상태기계를 이용하여 그 시간에서의 상황을 기초로 선택된다. 여기서 사용되는 유한상태기계는 도 4에 도시된다. 개별 상태에서 연관된 변환(transition) 및 작용은 이하에서 설명된다. 개별 변수들은 표 1에 정리되어 있다.

[0095] 3.2.1 일반적인 계산

[0096] 이 절에서 설명된 계산은 각각의 상태에서 독립적으로 실행된다. 다음으로, 측정된 하물 질량 m_i 은, 동적인 힘을 무시하면서 힘 측정을 통해 측정된 후크에서의 하물 질량임을 알 수 있는데, 즉 $m_i = F_i / g$ 이다.

[0097] $\dot{F}_i$ 의 계산:

[0098] 그 시간에서 측정된 권상력의 시간 미분(time derivation)이다.

[0099] Δm_{up} 의 계산:

[0100] 이것은, 이하에 $m_{0,up}$ 로 표시되는 측정 신호의 최종 국부 최소치(local minimum)에서의 측정된 하물 질량과 비교하여 측정된 하물 질량의 절대차(absolute difference)이다. 아울러, 유한상태기계 내에서 변환(2)이 이루어질 때 $m_{0,up}$ 가 갱신된다($m_{0,down} = m_i$). 이는 하물이 지면으로부터 들어 올려지는 하물 권상 후에 검출되는 경우이다.

[0101] Δm_{down} 의 계산:

[0102] 이것은, 이하에 $m_{0,down}$ 로 표시되는 측정된 신호의 최종 국부 최대치에서의 측정된 하물 질량과 비교하여 측정된 하물 질량의 절대차이다. 아울러, 유한상태기계에서 변환(6)이 이루어질 때 $m_{0,down}$ 가 갱신된다 ($m_{0,down} = m_i$) 이는 하물의 권하 후 다시 호이스팅 기어가 해제되는 경우이다.

[0103] $\Delta m_{up,det}$ 의 계산:

[0104] 이것은 하물 권상의 검출이 가능하도록 Δm_{up} 으로 초과되어야 하는 한계치(threshold value)이다. 이 한계치는 각각의 크레인 타입과 최종 국부 최소치 $m_{0,up}$ 에서의 측정 신호에 의존한다.

[0105] $\Delta m_{down,det}$ 의 계산:

[0106] 이것은 하물 권하의 검출이 가능하도록 Δm_{down} 만큼 아래로 떨어져야 하는 한계치이다. 이 한계치는 각각의 크레인의 타입과 최종 국부 최대치 $m_{0,down}$ 에서의 측정 신호에 의존한다.

[0107] $\dot{F}_{tresh}$ 의 계산:

[0108] 이것은, 가능한 하물 권상을 검출하기 위해 $\dot{F}_i$ 만큼 초과되어야 하는 한계치이다. 이 한계치는 각각의 크레인 타입, 총 스프링 강성도 C_{total} , 힘 측정 축에서의 허용 오버슈트 p , 그리고, $\frac{m_i}{m_{max}}$ 의 비에 의존하며, 여기서 m_{max} 는 반경에 의존한 최대 허용 권상하중이다.

[0109] 3.2.2 상태들의 상세

[0110] 상태 I (호이스팅 기어의 해제)

[0111] 이 상태 내에서, 호이스팅 기어가 해제되어 표준방식으로 작동된다. 이 상태에서 시스템은 초기화(크레인의 시

동) 후에 가동된다.

상태 I 로의 진입시의 작용 및 계산:

$$\Delta l = 0$$

상태 I 로 유지될 때의 작용 및 계산:

이 상태 내에서 핸드레버가 해제되므로,

$$v_{des} = v_{hl}$$

를 적용한다.

상태 II (권상)

시스템은 하물이 들어 올려지는 것이 검출된 후의 상태에 있다. 이 상태로의 변환이 이루어질 때, l_0 및 m_0 은 l_{rel} 및 m_1 로 초기화된다. l_{rel} 은 미터로 환산된 호이스트 윈치의 각도 송신기의 상대치이고, m_1 은 그 시간에 측정된 하물 질량이다.

상태 II 로 유지될 때의 작용 및 계산:

시스템이 이 상태로 되자마자, l_0 에 대해 감겨진 로프 길이와 권상 Δl_{raise} 를 위해 이론적으로 요구되는 로프길이에 대한 계산이 각 시간단계마다 행해진다.

$$\Delta l = l_0 - l_{rel}$$

$$\Delta l_{raise} = \frac{(m_l - m_0 + m_{safety})g}{c_{total}}$$

이 점에 있어서, m_{safety} 는 이 상태가 정지되기 전에 필요 이상의 로프가 권취되도록 하는 안전계수(safety factor)이다.

제어신호를 계산함에 있어서 이 상태에서 두 경우는 구별되어야 한다. 당시의 핸드레버 속도 v_{hl} 와 권상시의 최대 허용 호이스팅 기어 속도 $v_{up}(16)$ 는 이들 경우를 구별하는데 사용된다. 이점에 있어서, 음의 l 가 권상을 나타내고, 양의 l 가 권하를 나타냄이 이해된다.

상기 두 경우는:

$$1. (v_{hl} < v_{up})$$

이 경우에, 핸드레버 속도는 허용범위를 벗어나며, 따라서

$$v_{des} = v_{up}$$

가 적용된다.

$$2. (v_{hl} > v_{up})$$

이 경우에, 핸드레버 속도는 허용범위 내에 있으며, 따라서

$$v_{des} = v_{hl}$$

가 적용된다.

상태 III (권하)

[0135] 시스템은 하물의 권하가 검출되자마자 이 상태로 들어온다. 이 상태로의 변환이 이루어질 때 l_0 가 l_{rel} 로 초기화된다.

[0136] **상태Ⅲ으로 유지될 때의 작용 및 계산:**

[0137] 시스템이 이 상태로 되자마자, l_0 에 대해 풀려진 로프길이의 계산이 매시간단계마다 행해진다.

[0138]
$$\Delta l = l_0 - l_{rel}.$$

[0139] 제어신호의 계산시 이 상태에서 두 경우는 구별되어야 한다. 그 시점의 핸드레버 속도 v_{hl} 와, 하물 권하시의 최대 허용 호이스팅 기어 속도 v_{down} 는 이들 경우를 구별시키는데 사용된다. 이 점에 있어서 음의 l 는 권상을 나타내고, 양의 l 는 권하를 나타내는 것임에 주목해야 한다. 두 경우는:

[0140] 1. ($v_{hl} > v_{down}$)

[0141] 이 경우, 핸드레버 속도는 허용범위를 벗어나며, 따라서

[0142]
$$v_{des} = v_{down}.$$

[0143] 을 적용한다.

[0144] 2. ($v_{hl} < v_{down}$)

[0145] 이 경우, 핸드레버 속도는 허용범위내이며, 따라서

[0146]
$$v_{des} = v_{hl}.$$

[0147] 을 적용한다.

[0148] 3.2.3 변환의 상세

[0149] 다음으로 그 시점 측정된 원치 속도 v_{hg} 는 다음과 같이 정의됨을 알 수 있다:

[0150] 음의 v_{hg} 는 원치가 권상 작동 중임을 의미하고;

[0151] 양의 v_{hg} 는 원치가 권하 작동 중임을 의미한다.

[0152] 변환1:

[0153] "호이스팅 기어의 해제" 상태에서 지면으로부터 하물의 권상이 검출되자마자 활성화된다. 다음의 사건은 이 변환을 활성화시킨다:

[0154]
$$(\dot{F}_l > \dot{F}_{thresh}) \& \& (\Delta m_{up} > \Delta m_{up, det}) \& \& (v_{hg} < 0)$$

[0155] 이 변환이 이루어졌을 때 다음의 계산들이 실행된다.:

[0156]
$$l_0 = l_{rel}$$

[0156]
$$m_0 = m_l$$

[0157] 변환2:

[0158] 하물 권상시 호이스트 원치가 하강동작을 실행하자마자 활성화된다. 그리고, 상대적으로 권취된 로프 길이 Δl 가 다시 완전히 풀려졌다. 그러므로, 시스템은 하물의 권상이 검출되기 전에 다시 시작상태에 있게 된다. 다음의

사건은 이 변환을 활성화시킨다:

[0159] $(v_{hg} > 0) \& \& (\Delta l < 0)$

[0160] 이 변환이 이루어졌을 때 다음의 계산들이 실행된다:

[0161] $m_0 = 0$

[0162] **변환3:**

[0163] 하물이 지면으로부터 들어 올려져 지면으로부터 하물이 권상되는 것이 검출되자마자 활성화된다. 다음의 사건은 이 변환을 활성화한다:

[0164] $\Delta l > \Delta l_{raise}$

[0165] 이 변환이 이루어질 때 다음의 계산이 실행된다:

[0166] $m_0 = 0$

[0167] 아울러, 이 변환이 이루어질 때, 당시 측정된 하물의 질량 m_l 에 대한 Δm_{up} 의 계산을 위해 $m_{0,up}$ 이 설정된다(3.2.1 참조)

[0168] **변환4:**

[0169] "권상"상태에서, 하물의 권하가 검출되거나 측정된 하물이 하물 테이크업 수단(load take-up means)의 특정 공허 중량(empty weight) 이하로 떨어지자마자 활성화된다. 다음의 사건은 이 변환을 활성화시킨다.

[0170] $(v_{hg} > 0) \& \& ((\Delta m_{down} < \Delta m_{down,det}) \parallel (m_l < m_{empty}))$

[0171] 다음의 계산은 이 변환이 이루어질 때 실행된다.

[0172] $l_0 = l_{rel}$

[0172] $m_0 = 0$

[0173] **변환5:**

[0174] "호이스팅 기어의 해제" 상태에서 지면으로부터의 하물 권상이 검출되자마자 활성화된다.

[0175] 다음의 사건은 이 변환을 활성화한다:

[0176] $(\dot{F}_l > \dot{F}_{resh}) \& \& (\Delta m_{up} > \Delta m_{up,det}) \& \& (v_{hg} < 0)$

[0177] 다음의 계산들은 이 변환이 이루어질 때 실행된다.

[0178] $l_0 = l_{rel}$

[0178] $m_0 = m_l$

[0179] **변환6:**

[0180] 상대적인 권취 로프 길이 Δl 가 다시 시작상태로 되는(변환7이 이루어지기 전) "하물 권하" 상태에 있음이 검출되자마자 활성화된다. 다음의 사건은 이 변환을 활성화한다:

[0181] $\Delta l > 0$

[0182] 이 변환이 이루어질 때, 당시 측정된 하물 질량 m_l 에 대한 Δm_{down} 의 계산을 위해 $m_{0,down}$ 설정된다 (3.2.1 참조).

[0183] **변환7:**

[0184] "호이스팅 기어의 해제"의 상태에서, 하물의 권하가 검출되거나, 측정된 하물이 하물 테이크업 수단의 특정 공허 중량 이하로 떨어지자마자 활성화된다. 다음의 사건은 이 변환을 활성화한다:

[0185]
$$(v_{hg} > 0) \& \& ((\Delta m_{down} < \Delta m_{down, det}) \parallel (m_l < m_{empty}))$$

[0186] 다음의 계산들은 이 변환이 이루어질 때 실행된다:

[0187]
$$l_0 = l_{rel}$$

[0188] 4. 제1 실시형태에 따른 크레인 제어의 결과

[0189] 측정의 결과들은, 도 5 및 도 6의, 60톤의 하물이 슬랙 로프와 함께 지면으로부터 권상되는 예에 의해 제시된다. 각 경우의 도면들은, 본 발명의 제1 실시형태에 의한 자동 호이스트 시스템을 갖춘 경우와 갖추지 않은 경우의 측정치를 포함한다.

표 1

[0190] 자동화 호이스팅 시스템에서의 변수들에 대한 설명

변수명	설명
V_{des}	호이스팅 기어 컨트롤부로 전송되는 요구 속도. 양의 값은 권상에 대응하고, 음의 값은 권하에 대응한다.
V_{up}	권상의 계산된 허용 절대속도. 식(16)에 따라 계산이 행해진다.
V_{down}	권하시의 사전설정 허용 절대속도
V_{hl}	핸드레버에 의해 사전설정된 요구 속도
F_l	힘 측정 축을 통해 측정된 N 단위의 호이스팅 기어의 힘
F_{const}	N단위의 호이스팅기어 스트랜드(strand)에서의 일정한 힘 부분
F_{dyn}	N단위의 호이스팅기어 스트랜드에서의 동적인 힘 부분
m_l	동적인 힘을 무시하면서 힘 측정 축을 통해 측정된 후크에서의 하물 질량으로, $m_l = F_l / g$ 적용된다.
$\dot{F}_l$	N/s단위의 F_l 의 시간 미분
Δm_{up}	kg단위의 측정치 m_l 의 국부 최소치에 대한 m_l 의 절대차
$m_{0,up}$	kg단위의 m_l 의 측정 신호에서의 최종 국부 최소치
Δm_{down}	kg단위의 측정치 m_l 의 국부 최대치에 대한 m_l 의 절대차
$m_{0,down}$	kg단위의 m_l 의 측정 신호에서의 최종 국부 최대치
$\Delta m_{up, det}$	가능한 하물 권상을 검출하기 위해 Δm_{up} 만큼 아래로 떨어져야 할 kg단위의 한계값
$\Delta m_{down, det}$	가능한 하물 권하를 검출하기 위해 Δm_{down} 만큼 아래로 떨어져야 할 kg단위의 한계값
m_{max}	Kg단위의, 반경에 의존한 허용 최대 하물
F_{max}	N단위의, 반경에 의존한 허용 최대 하중, $F_{max} = m_{max} g$ 을 적용한다.
$\dot{F}_{tresh}$	하물의 권상을 검출하기 위해 $\dot{F}_l$ 만큼 초과해야 하는 한계치
Δl	하물의 권상 또는 하물 권하의 검출 후의 상대적인 로프 길이. $\Delta l = l_0 - l_{rel}$ 를 적용한다.
l_0	상대적인 로프길이 Δl 의 계산을 위한 시작값. 변환1, 4, 5, 7이 이루어질 때 활성화됨.

m_0	Kg단위의 하물 권상 검출시에 측정된 하물 질량 m_1 . 이론적인 로프길이를 리프팅의 Δl_{ab} 까지 계산하기 위해 요구된다.
m_{safety}	kg단위로 Δl_{raise} 의 계산시의 안전계수
Δl_{raise}	하물 권상 검출된 후의 하물의 권상까지의 m단위의 이론적인 로프길이
v_{hg}	m/s단위로 윈치에서 측정된 호이스팅 기어 속도. 양의 값은 권하에 대응하고 음의 값은 권상에 대응한다.
m_{empty}	Kg단위의 하물 테이크업 수단의 공허 중량
l_{rel}	호이스트 윈치에서 상대적 증분 변환기에 의해 측정된 m단위의 상대적인 로프길이

5. 제2 실시형태에 대한 소개

다음으로, 본 발명에 의한 크레인 제어에서 실행된 제어방법에 대한 제2 실시형태가 제시되며, 여기서 유압유체의 압축성 및 하물의 탄력성에 의거한, 호이스팅 기어, 호이스트로프 및 하물의 시스템의 동역학이 고려된다.

도 7은 호이스팅 기어의 유압시스템의 개념도를 나타낸다. 여기서 또한, 다양한 토출펌프(delivery pump, 26)를 구동하는 예컨대, 디젤엔진이나 전동모터(25)가 제공된다. 이 다양한 토출펌프(26)는 유압모터(27)를 구비한 유압회로를 형성하고 이를 구동한다. 이점에 있어서, 유압모터(27)는 또한, 다양한 용량의 모터로 만들어진다. 대안적으로, 또한, 고정형 배기량 모터(fixed displacement motor)도 사용된다. 그런 다음 유압모터(27)를 통해 호이스트 윈치가 구동된다.

제2 실시형태에 설명되는 호이스트 윈치, 하물 로프(3) 및 하물의 시스템의 동역학에 의한 물리적 모델이 도 8에 도시되어 있다. 이 점에 있어서, 하물 로프 및 하물을 포함하는 시스템은, 스프링 상수 C 및 감쇠상수(damping constant, D)를 갖는 감쇠 진자 시스템(damped spring pendulum system)으로 간주된다. 이 점에 있어서, 호이스트 로프 L의 길이는 스프링 상수 C에 산입되고, 측정값들을 참조로 결정되거나 또는 호이스트 윈치의 제어를 기초로 하여 계산된다. 아울러, 하물 질량 센서를 통해 측정된 하물의 질량 M이 제어된다.

또한, 제2 실시형태는, 도 2에 도시된 바와 같이, 항만의 이동형 크레인의 제어용으로 사용된다. 붐(boom), 타워 및 호이스트 윈치는 이에 대응하는 구동수단들을 통해 작동된다. 크레인의 호이스트 윈치를 작동시키는 유압 구동수단들은 유압시스템 및/또는 호이스트 로프의 자연적인 역학관계로 인해 자연 진동을 생성한다. 초래되는 힘의 진동들은, 로프들 및 전체 크레인 구조의 장기 피로(long-term fatigue)에 영향을 미쳐, 유지보수의 횟수 증가를 초래한다. 그러므로 본 발명에 의하면, 크레인의 수평, 회전 및 호이스트 이동들에 의해 초래되는 자연 진동을 억제하여, 이에 의해 뮐러 다이어그램(Wöhler diagram) 내의 부하 사이클(load cycle)들을 줄이도록 제어규칙(control rule)이 제공된다. 논리적으로 부하 사이클의 저감은 크레인 구조물의 사용기간(service life)을 증가시킨다.

제2 실시형태의 제어 규칙의 도출(derivation)에서 피드백(feedback)들은 회피되어야 하는데, 이들 피드백에는 산업용 응용프로그램에서의 특정의 안전요구사항을 만족시키기 위한 센서신호들이 요구되고, 그로 인해 높은 비용문제들이 생긴다.

그러므로, 피드백이 없는 순수한 피드포워드(feedforward) 컨트롤러의 설계가 요구된다. 시스템 동역학을 반전시키는 편평도 기반(flatness-based)의 피드포워드 컨트롤러는 호이스팅 기어를 위한 담화(discourse)의 범위 내에서 얻어진다.

6. 호이스트 윈치

본 실시형태에서 제시된 크레인의 호이스트 윈치는 유압적으로 작동되는 로터리 모터(rotary motor)에 의해 구동된다. 호이스트 윈치를 위한 동적 모델과 제어규칙은 다음의 섹션에서 유도된다.

6.1 동적 모델

권상력이 직접적으로 유효하중(payload) 이동에 의해 영향을 받게 되므로, 유효하중 이동의 다이내믹스가 고려되어야 한다. 도 2에 도시된 바와 같이, 질량 m_1 을 갖는 유효하중은 후크에 매달려, 길이 l_r 의 로프를 이용하여 크레인에 의해 들어 올려지거나 내려진다. 로프는 붐의 끝단과 타워에서 편향 풀리(deflection pulley)에 의해 편향된다. 그렇지만, 로프는 붐의 선단으로부터 호이스트 윈치로 곧바로 편향되지 않으며, 오히려 붐의 끝단으

로부터 타워로, 그 뒷부분으로부터 붐의 끝단, 그리고 그런 다음 타워를 거쳐 호이스트 윈치로 편향된다(도 2 참조). 그러므로, 전체 로프 길이는 다음과 같이 주어진다.

$$l_r = l_1 + 3l_2 + l_3 \quad (38)$$

여기서, l_1 , l_2 그리고, l_3 의 각각은, 호이스트 윈치로부터 타워까지의 부분길이, 타워로부터 붐의 끝단까지의 부분길이, 그리고 붐의 끝단으로부터 후크까지의 부분길이이다. 호이스트 윈치, 로프 그리고 유효하중으로 이루어지는 크레인의 호이스트 시스템은 다음과 같이 스프링-질량계 감쇠 시스템으로 간주되고, 도 8에 도시된다. 뉴턴-오일러법을 사용하여 유효하중의 운동방정식을 산출한다

$$m_l \ddot{z}_p = m_l g - \underbrace{\left(c_{rope} (\dot{z}_p - r_w \dot{\varphi}_w) + d (\dot{z}_p - r_w \dot{\varphi}_w) \right)}_{F_r}, \quad z_p(0) = z_{p0}, \dot{z}_p(0) = 0$$

(39)

여기서, g 는 중력상수, c_{rope} 은 스프링 상수, d 는 감쇠상수, r_w 는 호이스트 윈치의 반경, φ_w 은 호이스트 윈치의 각도, $\dot{\varphi}_w$ 는 각속도, z_p 은 유효하중의 위치, $\dot{z}_p$ 은 유효하중의 속도, 그리고 $\ddot{z}_p$ 은 유효하중의 가속도이다.

로프 길이는 l_r 은, 다음 식에 의해 주어진다.

$$l_r(t) = r_w \varphi_w(t) \quad (40)$$

여기서,

$$\varphi_w(0) = \varphi_{w0} = \frac{l_1(0) + 3l_2(0) + l_3(0)}{r_w} \quad (41)$$

이다.

길이 l_r 의 로프의 스프링 상수 c_r 는 후크의 법칙에 의해 주어지며, 다음과 같이 기술될 수 있다.

$$c_r = \frac{E_r A_r}{l_r} \quad (42)$$

여기서, E_r 및 A_r 은 각각, 탄성계수이고, 로프의 부분적인 면적수이다. 크레인의 호이스팅 기어의 스프링 상수가:

$$c_{rope} = n_r c_r$$

(43)

로 주어지도록, 크레인은 n_r 의 수평로프들(도 2 참조)을 갖는다.

감쇠상수 d 는 무차원의 감쇠율 D 의 도움으로 주어질 수 있다.

$$d = 2D\sqrt{cm_l} \quad (44)$$

호이스트 윈치의 회전동작(rotational motion)을 위한 미분방정식은 뉴턴-오일러법에 따라 다음과 같이 계산된다.

$$(J_w + i_w^2 J_m) \ddot{\varphi}_w = i_w D_m \Delta p_w + r_w F_r, \quad \varphi_w(0) = \varphi_{w0}, \dot{\varphi}_w(0) = 0 \quad (45)$$

여기서, J_w 및 J_m 은 각각 윈치 또는 모터의 관성모멘트이고, i_w 는 모터 및 윈치 사이의 기어비이고, Δp_w 는 모터의 각각의 고압챔버와 저압챔버 간의 압력차이이며, D_m 은 유압모터의 용량(displacement)이고 F_r 은 식 39에서 주어진 스프링 힘(spring force)이다. 호이스트 윈치의 각도를 위한 초기상태 φ_{w0} 는 식(41)에 의해 주어진다. 호이스트 윈치용의 유압회로는 도 7에 도시된다. 모터의 상기 두 압력챔버 사이의 압력차 Δp_w 는 내부적인 또는

외부적인 누설이 없다는 가정하에 압력 상승 방정식(pressure build-up equation)에 의해 설명된다. 아울러, 모터 각도 ϕ_w 로 인한 미소한 부피변화는 이하에서 무시된다. 그러므로, 상기 두 압력챔버 내의 부피는 상수로 간주되고 V_m 으로 지정된다. 이러한 가정들의 도움으로, 압력 증가 방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$\Delta \dot{p}_w = \frac{4}{V_m \beta} (q_w - D_m i_w \dot{\phi}_w), \quad \Delta p_w(0) = \Delta p_{w0} \quad (46)$$

여기서, β 는 오일의 압축률(compressibility)이다. 오일 처리율(oil throughput) q_w 은 펌프각에 의해 사전설정되고, 다음과 같이 주어진다.

$$q_w = K_w u_w \quad (47)$$

여기서, u_w 과 K_w 은 각각 펌프각의 제어 전류이고, 그 비율계수(proportionality factor)이다.

6.2 제어법칙

호이스트 윈치의 동적 모델은 이하에서 편평도 기반 피드포워드 컨트롤러를 설계하기 위해 상태공간(state space)으로 변형된다. 제어규칙의 미분계산에서는 감쇠를 무시하고, 따라서, $D = 0$ 을 적용한다. 크레인의 호이스팅 기어의 상태벡터(state vector)는 $\mathbf{x} = [\phi_w, \dot{\phi}_w, z_p, \dot{z}_p, \Delta p_w]^T$ 으로 정의된다. 그러므로 식(39), 식(40), 식(43), 식(45) 그리고 식(47)로 이루어지는 동적 모델은 1차 미분방정식으로 기술되고, 그 시스템은 다음과 같이 주어진다.:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}) + \mathbf{g}(\mathbf{x})u, \quad y = h(\mathbf{x}), \quad \mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0, \quad t \geq 0 \quad (48)$$

여기서,

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} x_2 \\ \frac{1}{J_w + I_w^2 J_m} \left(i_w D_m x_5 + r_w \left(\frac{E_r A_r n_r}{r_w x_1} (x_3 - r_w x_1) \right) \right) \\ x_4 \\ g - \frac{E_r A_r n_r}{r_w x_1 m_l} (x_3 - r_w x_1) \\ \frac{-4 D_m i_w x_2}{V_m \beta} \end{bmatrix} \quad (49)$$

$$\mathbf{g}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{4 K_w}{V_m \beta} \end{bmatrix} \quad (50)$$

$$h(\mathbf{x}) = x_3 \quad (51)$$

그리고, $u = u_w$ 이다.

시스템 출력치에 대한 상대도(relative degree) r 은 편평도 기반 피드포워드 컨트롤러의 설계를 위한 시스템의 차수(order) n 과 동일하여야 한다. 그러므로, 관찰된 시스템(48)의 상대도는 다음과 같이 고찰된다. 시스템 출력치에 대한 상대도는 다음과 같은 상태식들에 의해 정해진다:

$$\begin{aligned} L_g^i L_f^i h(\mathbf{x}) &= 0 \quad \forall i = 0, \dots, r-2 \\ L_g L_f^{r-1} h(\mathbf{x}) &\neq 0 \quad \forall \mathbf{x} \in \mathbb{R}^n \end{aligned} \quad (52)$$

[0235] 연산자 L_f 및 L_g 는 각각 벡터영역 $\mathbf{f}$ 및 $\mathbf{g}$ 에 따른 리 도함수(Lie derivative)를 나타낸다. 식(52)의 사용으로 $r = n = 5$ 를 산출하는데, 따라서, 식(49), 식(50), 그리고 식(51)과 함께 시스템의 식(48)은 균일하고(flat), $D = 0$ 으로 되도록 편평도 기반의 피드포워드 컨트롤러가 설계될 수 있다.

[0236] 시스템 출력의 식(51)과 그 도함수들은 시스템 동역학을 반전시키는 데에 사용된다. 도함수들은 리 도함수에 의해 주어지며, 그 도함수는 다음과 같다.

[0237]
$$\mathbf{y} = \mathbf{h}(\mathbf{x}) \quad (53)$$

[0238]
$$\dot{\mathbf{y}} = \frac{\partial \mathbf{h}(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} \frac{\partial \mathbf{x}}{\partial t} = L_f \mathbf{h}(\mathbf{x}) + \underbrace{L_g \mathbf{h}(\mathbf{x})}_{=0} \mathbf{u} \quad (54)$$

[0239]
$$\ddot{\mathbf{y}} = \frac{\partial L_f \mathbf{h}(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} \frac{\partial \mathbf{x}}{\partial t} = L_f^2 \mathbf{h}(\mathbf{x}) + \underbrace{L_g L_f \mathbf{h}(\mathbf{x})}_{=0} \mathbf{u} \quad (55)$$

[0240]
$$\dddot{\mathbf{y}} = \frac{\partial L_f^2 \mathbf{h}(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} \frac{\partial \mathbf{x}}{\partial t} = L_f^3 \mathbf{h}(\mathbf{x}) + \underbrace{L_g L_f^2 \mathbf{h}(\mathbf{x})}_{=0} \mathbf{u} \quad (56)$$

[0241]
$$\overset{(4)}{\mathbf{y}} = \frac{\partial L_f^3 \mathbf{h}(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} \frac{\partial \mathbf{x}}{\partial t} = L_f^4 \mathbf{h}(\mathbf{x}) + \underbrace{L_g L_f^3 \mathbf{h}(\mathbf{x})}_{=0} \mathbf{u} \quad (57)$$

[0242]
$$\overset{(5)}{\mathbf{y}} = \frac{\partial L_f^4 \mathbf{h}(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} \frac{\partial \mathbf{x}}{\partial t} = L_f^5 \mathbf{h}(\mathbf{x}) + L_g L_f^4 \mathbf{h}(\mathbf{x}) \mathbf{u} \quad (58)$$

[0243] 시스템 출력치에 종속되는 상태식들과 그 도함수들은 식(53), 식(54), 식(55), 식(56), 그리고 식(57)으로부터 비롯되며, 다음과 같이 기술될 수 있다.:

[0244]
$$x_1 = \frac{A_r E_r n_r \gamma}{r_w (g m_l + A_r E_r n_r - m_l \ddot{\gamma})} \quad (59)$$

[0245]
$$x_2 = x_2(\gamma, \dot{\gamma}, \ddot{\gamma}, \ddot{\gamma}) \quad (60)$$

[0246]
$$x_3 = \gamma \quad (61)$$

[0247]
$$x_4 = \ddot{\gamma} \quad (62)$$

[0248]
$$x_5 = x_5 \left(\gamma, \dot{\gamma}, \ddot{\gamma}, \ddot{\gamma}, \overset{(4)}{\gamma}, \overset{(5)}{\gamma} \right) \quad (63)$$

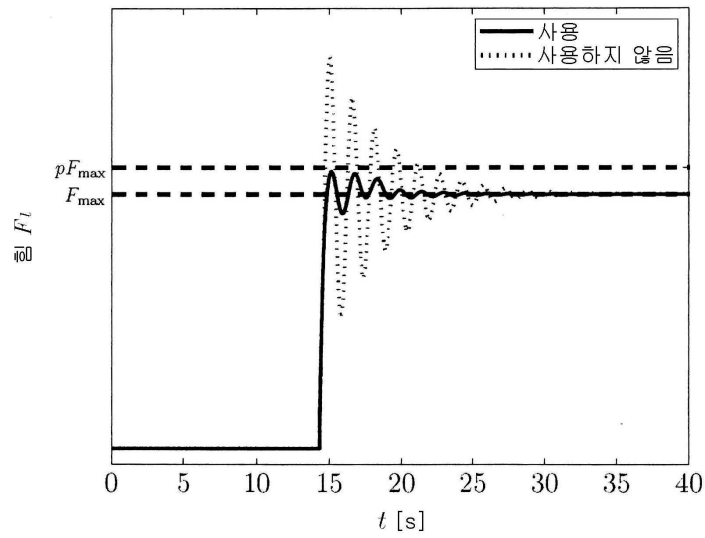
[0249] 시스템 입력치 u 를 넣고 식(58)을 풀면, 식(59), 식(60), 식(61), 식(62) 그리고 식(63)을 사용할 때, 호이스팅 기어용의 편평도 기반의 피드포워드 컨트롤러를 위한 제어규칙이 생성된다.

[0250]
$$\mathbf{u}_w = f \left(\gamma, \dot{\gamma}, \ddot{\gamma}, \ddot{\gamma}, \overset{(4)}{\gamma}, \overset{(5)}{\gamma} \right) \quad (64)$$

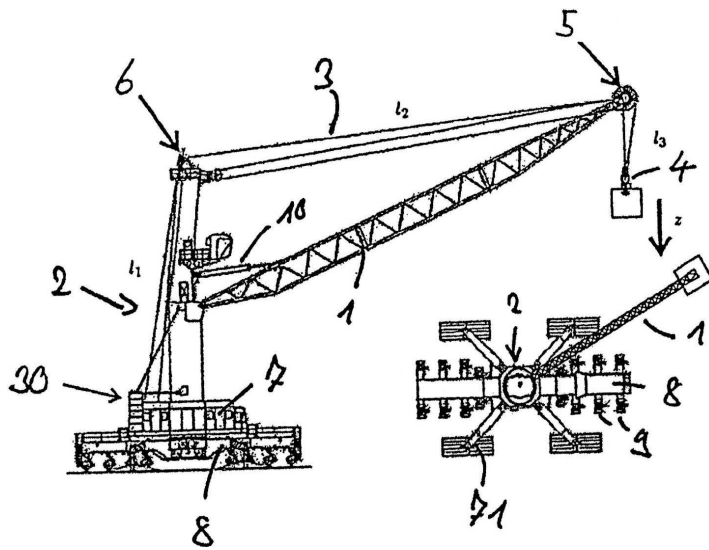
[0251] 이 식은 시스템 동역학을 반전시킨다. 참조신호 γ^* 및 그 도함수들은 크레인 작동자의 핸드레버 신호로부터의 수리적 궤도(numerical trajectory)의 생성에 의해 얻어진다.

도면

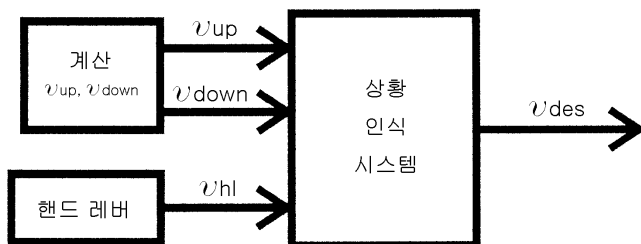
도면1



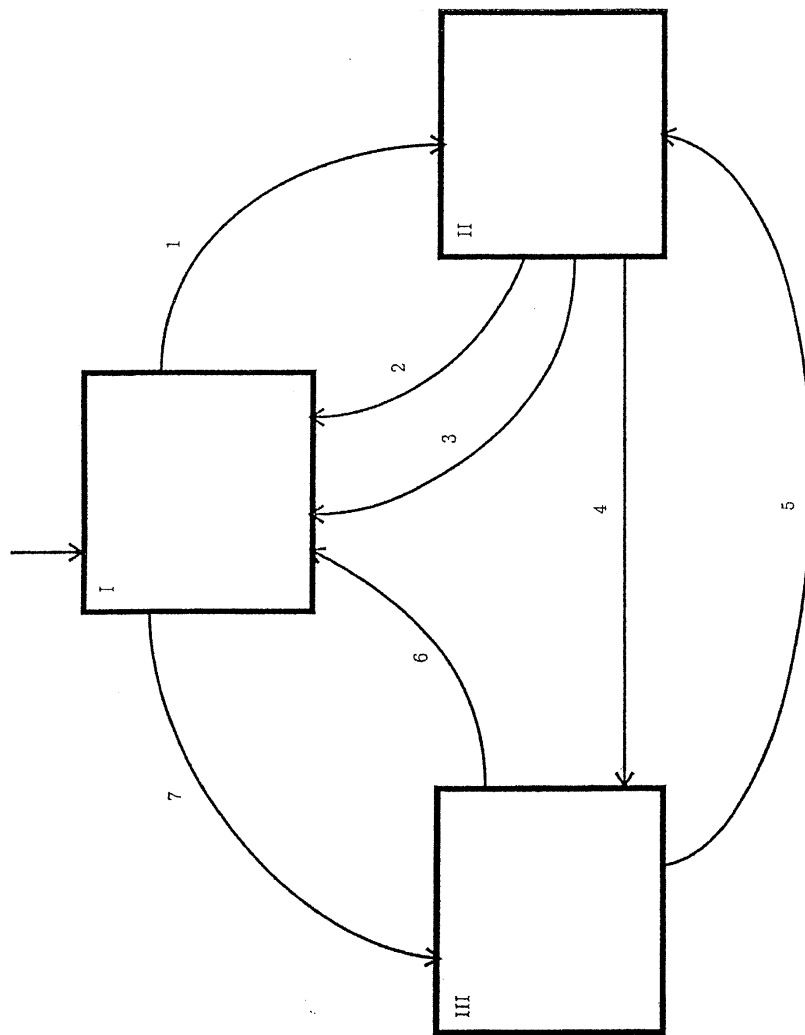
도면2



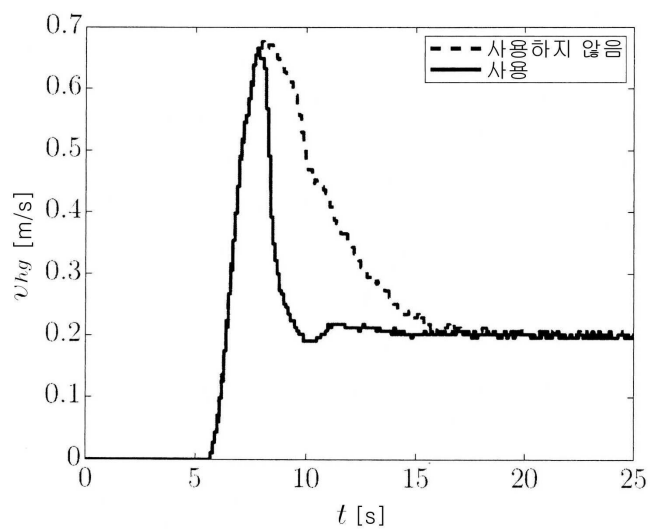
도면3



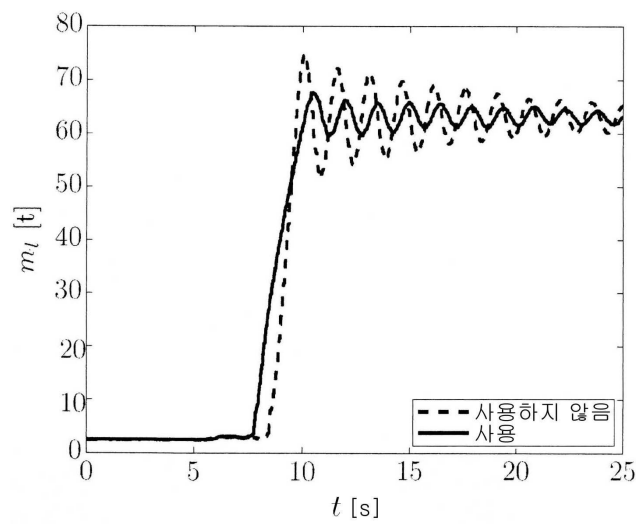
도면4



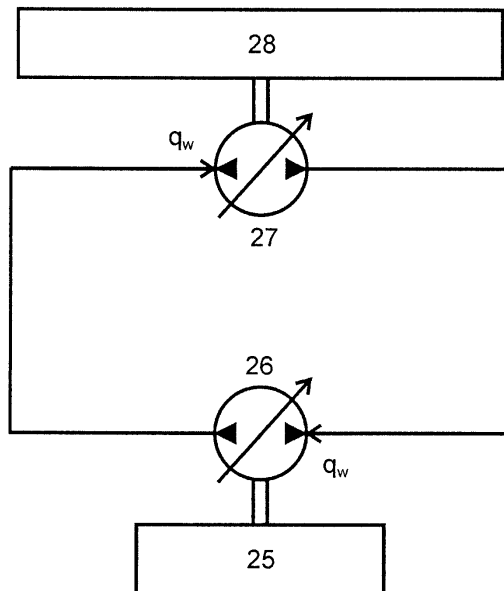
도면5



도면6



도면7



도면8

