



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0000233
(43) 공개일자 2011년01월03일

(51) Int. Cl.

E02F 9/20 (2006.01) *G01L 1/02* (2006.01)

F15B 21/08 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-0057640

(22) 출원일자 2009년06월26일

심사청구일자 2009년06월26일

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울 성북구 안암동5가 1

(72) 발명자

홍대희

경기도 안양시 동안구 평촌동 꿈마을 현대아파트
601동 101호

김기영

충청남도 천안시 서북구 쌍용3동 용암마을아파트
108동 304호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

송인호, 민영준, 최관락

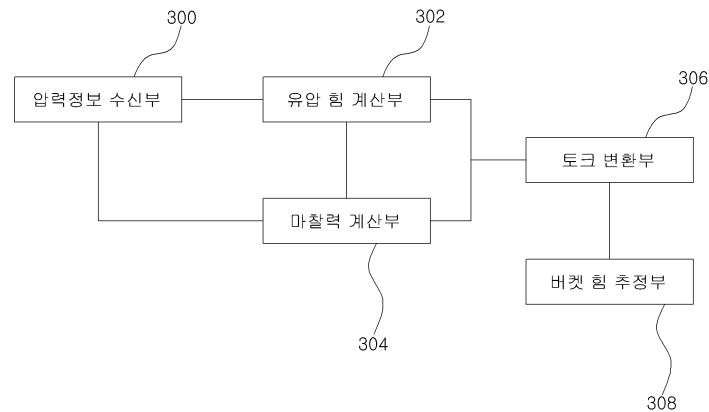
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 굴삭기 버켓 힘 추정 방법 및 시스템

(57) 요약

본 발명은 굴삭기의 버켓 힘 추정 방법 및 시스템을 개시한다. 본 발명은 굴삭기의 버켓 힘 추정 방법으로서, (a) 상기 굴삭기의 액츄에이터부 구동을 위한 유압 실린더에 설치된 압력 센서로부터 상기 유압 실린더의 피스톤 헤드측 챔버 압력(제1 압력)과 피스톤로드측 챔버 압력(제2 압력)을 수신하는 단계; (b) 상기 제1 압력 및 제2 압력의 차이를 이용하여 상기 유압 실린더에서의 힘을 측정하는 단계; (c) 상기 (b) 단계에서 측정된 힘을 링크 축의 토크로 변환하는 단계; 및 (d) 상기 변환된 토크를 이용하여 상기 버켓에 가해지는 힘을 추정하는 단계를 포함한다. 본 발명에 따르면 간단한 방식으로 버켓에 가해지는 힘을 추정할 수 있다.

대표도 - 도3



(72) 발명자

이창섭

경기도 고양시 일산서구 주엽동 문촌마을 기산아파트 606동 402호

장준현

서울특별시 강남구 일원본동 샘터마을아파트 11동 1306호

장달식

서울특별시 영등포구 문래동3가 국화아파트 1동 108호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 C106D101000107D020100220

부처명 한국건설교통기술평가원

연구관리전문기관

연구사업명 건설기술연구개발사업

연구과제명 굴삭 로봇 최적경로 생성 및 힘반향 기술개발

기여율

주관기관 전자부품연구원

연구기간 2008년08월29일~2009년06월28일

특허청구의 범위

청구항 1

굴삭기의 버켓 힘 추정 방법으로서,

- (a) 상기 굴삭기의 액츄에이터부 구동을 위한 유압 실린더에 설치된 압력 센서로부터 상기 유압 실린더의 피스톤헤드측 챔버 압력(제1 압력)과 피스톤로드측 챔버 압력(제2 압력)을 수신하는 단계;
- (b) 상기 제1 압력 및 제2 압력의 차이를 이용하여 상기 유압 실린더에서의 힘을 측정하는 단계;
- (c) 상기 (b) 단계에서 측정된 힘을 링크 축의 토크로 변환하는 단계; 및
- (d) 상기 변환된 토크를 이용하여 상기 버켓에 가해지는 힘을 추정하는 단계를 포함하는 버켓 힘 추정 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 압력 센서는 상기 유압 실린더의 상기 피스톤헤드측 챔버 및 피스톤로드측 챔버의 일면에 각각 설치되는 버켓 힘 추정 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 (b) 단계는,

- (b1) 상기 제1 압력, 상기 제2 압력, 상기 압력이 가해지는 상기 피스톤헤드측 면적 및 상기 피스톤로드측 면적을 이용하여 유압 힘을 계산하는 단계; 및
- (b2) 상기 제1 압력 및 제2 압력 차이에 따른 상기 유압 실린더 내부에서의 마찰력을 계산하는 단계를 포함하는 버켓 힘 추정 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 (b1) 단계는 하기의 수학적 식 1에 따라 계산되며,

[수학적 식 1]

$$F_{hydr} = A_1 p_1 - A_2 p_2$$

상기 (b2) 단계는 하기의 수학적 식 2 및 3에 따라 계산되는 버켓 힘 추정 방법.

[수학적 식 2]

$$M\dot{\kappa} = F_{hydr} - F_{friction}$$

[수학적 식 3]

$$F_{friction} = x_1 e^{x_2 v} + x_3 (p_1 - p_2) + x_4 p_2 + x_5 v$$

여기서, A_1, A_2 = 유압 실린더 내의 유압이 힘을 전달하는 면적

P_1, P_2 = 실린더 내의 압력(각 압력 센서에서 검출된 압력)

M 는 유압 실린더에서의 힘이고, $x_1, x_2, \dots, x_n$ = 미리 설정된 계수(Coefficients to be determined), v = 피스톤 속도(Cylinder length speed/piston speed)

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 (c) 단계는 상기 유압 실린더가 종류에 따라 서로 다른 알고리즘을 이용하여 상기 (b) 단계에서 측정된 힘을 토크를 변환하는 버켓 힘 추정 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 (d) 단계는,

라그랑제 역학 모델, 중력, 관성, 원심력 및 코리올리 효과 중 적어도 하나를 고려하여 상기 버켓에 가해지는 힘을 추정하는 버켓 힘 추정 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 (d) 단계는 하기의 수학식에 의해 상기 버켓에 가해지는 힘을 추정하는 버켓 힘 추정 방법.

$$F_{bucket_tip} = J^{-T} [G(\theta) - \tau], \quad \tau = net\ torque$$

여기서, G는 중력

청구항 8

제1항 및 제7항 중 어느 한 항에 따른 방법을 수행하는 프로그램이 기록된 컴퓨터 판독 가능한 기록매체.

청구항 9

버켓 힘 추정 시스템에 있어서,

굴삭기의 액츄에이터부 구동을 위한 유압 실린더에 설치되는 압력 센서; 및

상기 압력 센서로부터 검출된 상기 유압 실린더의 피스톤헤드측 챔버 압력(제1 압력)과 피스톤로드측 챔버 압력(제2 압력)의 차이를 이용하여 상기 버켓에 가해지는 힘을 추정하는 버켓 힘 추정 장치를 포함하는 버켓 힘 추정 시스템.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 압력 센서는 상기 유압 실린더의 상기 피스톤헤드측 챔버 및 피스톤로드측 챔버의 일면에 각각 설치되는 버켓 힘 추정 시스템.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 버켓 힘 추정 장치는,

상기 압력 차이에 따른 힘, 상기 압력 차이에 따른 마찰력을 계산하고, 상기 압력 차이에 따른 힘 및 마찰력을

이용하여 상기 유압 실린더에서의 힘을 계산하는 유압 실린더 힘 계산부;

상기 측정된 힘을 링크 축의 토크로 변환하는 토크 변환부; 및

상기 변환된 토크를 이용하여 상기 버킷에 가해지는 힘을 추정하는 버킷 힘 추정부를 포함하는 버킷 힘 추정 시스템.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 굴삭기 버킷 힘 추정 방법 및 시스템에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 고가의 센서를 구비하지 않더라도 굴삭기의 버킷이 가해지는 힘을 추정할 수 있는 방법 및 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 굴삭기는 주로 토사를 굴삭하는 장비로서, 토사 적재, 건물 기초 작업, 택지 조성 작업 및 화물 적재 등 다양한 작업을 할 수 있는 건설기계이다.

[0003] 일반적으로 굴삭기는 유압탱크에서 흡입된 압유가 메인펌프에서 토출되어 조이스틱레버의 조작에 따라 방향전환 밸브인 컨트롤밸브를 통해 굴삭기에 장착된 붐 실린더, 암 실린더, 버킷 실린더에 공급되어 액츄에이터부 즉, 붐, 암, 버킷 등을 작동시켜 원하는 작업을 할 수 있도록 구성된다.

[0004] 굴삭 환경은 매우 열악하고 위험하기 때문에 점차적으로 작업자의 수동 조작이 아닌 소정 제어 알고리즘을 이용하여 자동으로 제어되는 지능형 굴삭기에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

[0005] 원격 조종 굴삭기에 대한 연구에서부터 인공지능 무인 굴삭기까지 다양한 굴삭기에 대한 자동화 연구가 국내외에서 이루어지고 있다. 대부분의 이런 연구들에서는 버킷 끝에서 받는 힘 데이터들이 굴삭기 제어를 위해 요구된다.

[0006] 원격 조종 굴삭기의 경우, 효율적인 원격 조종을 위해서 버킷에서 받는 힘을 원격 조종자에게 전달하는 것이 필요하고, 인공지능 무인 굴삭기 경우에서도 현재 작업 환경에 따른 효율적이고 안전한 제어를 하기 위해 버킷에서 받는 힘 데이터가 필요하다.

[0007] 종래에는 많은 연구에서 힘 센서를 굴삭기에 설치하는 방법을 제안하고 있다.

[0008] 기존의 연구들을 보면 대부분 힘 센서를 암과 버킷 사이의 링크에, 또는 버킷 안쪽 등에 설치하였다. 하지만 다음과 같은 이유들로 인해 힘 센서를 사용하는 것은 그리 용이하지 않다.

[0009] 암과 버킷 사이의 링크에 힘 센서를 설치하는 것은 특별한 장치를 설계하여 장착하여야 하고, 굴삭기 암의 길이에 변화가 생기게 되어 굴삭기 운동 특성에 변화가 생길 수 있다. 버킷 안쪽에 힘 센서를 설치하는 경우에는 버킷 안쪽의 공간을 차지하게 되고, 정확하게 버킷이 받는 모든 힘을 측정하기 어렵다.

[0010] 또한 현재까지 제공되고 있는 힘 센서는 매우 고가이므로 상용화에 크게 걸림돌이 되고 있는 것이 사실이다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0011] 본 발명에서는 상기한 바와 같은 종래기술의 문제점을 해결하기 위해, 고가의 힘 센서 없이도 버킷에 가해지는 힘을 추정할 수 있는 방법 및 시스템을 제안하고자 한다.

과제 해결수단

[0012] 상기한 목적을 달성하기 위해 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따르면, 굴삭기의 버킷 힘 추정 방법으로서, (a) 상기 굴삭기의 액츄에이터부 구동을 위한 유압 실린더에 설치된 압력 센서로부터 상기 유압 실린더의 피스톤헤드측 챔버 압력(제1 압력)과 피스톤로드측 챔버 압력(제2 압력)을 수신하는 단계; (b) 상기 제1 압력 및 제2 압력의 차이를 이용하여 상기 유압 실린더에서의 힘을 측정하는 단계; (c) 상기 (b) 단계에서 측정된 힘을 링크

축의 토크로 변환하는 단계; 및 (d) 상기 변환된 토크를 이용하여 상기 버켓에 가해지는 힘을 추정하는 단계를 포함하는 버켓 힘 추정 방법이 제공된다.

[0013] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 상기한 방법을 수행하는 프로그램이 기록된 컴퓨터 판독 가능한 기록매체가 제공된다.

[0014] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 버켓 힘 추정 시스템에 있어서, 굴삭기의 액츄에이터부 구동을 위한 유압 실린더에 설치되는 압력 센서; 및 상기 압력 센서로부터 검출된 상기 유압 실린더의 피스톤헤드측 챔버 압력(제1 압력)과 피스톤로드측 챔버 압력(제2 압력)의 차이를 이용하여 상기 버켓에 가해지는 힘을 추정하는 버켓 힘 추정 장치를 포함하는 버켓 힘 추정 시스템이 제공된다.

효 과

[0015] 본 발명에 따르면, 저가의 압력 센서를 이용하여 버켓이 가해지는 힘을 추정하기 때문에 단가를 낮출 수 있는 장점이 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0016] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 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.

[0017] 이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부한 도면들을 참조하여 상세히 설명하기로 한다. 본 발명을 설명함에 있어 전체적인 이해를 용이하게 하기 위하여 도면 번호에 상관없이 동일한 수단에 대해서는 동일한 참조 번호를 사용하기로 한다.

[0018] 도 1은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 버켓 힘 추정 시스템이 장착된 굴삭기를 도시한 도면이다.

[0019] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 굴삭기의 유압 실린더(100 내지 104)에는 압력 센서(120 내지 124)가 설치되며, 압력 센서(120 내지 124)는 케이블을 통해 버켓 힘 추정 장치(130)에 연결될 수 있다.

[0020] 일반적인 굴삭기와 마찬가지로 본 발명에 따른 굴삭기는 붐(140), 암(142) 및 버켓(144)과 같은 굴삭 작업을 위한 액츄에이터부를 포함하며, 액츄에이터부는 유압 실린더(100 내지 104) 및 피스톤로드(110 내지 114)를 통해 구동된다.

[0021] 여기서 붐(140)은 굴삭기의 상부 선회체 프레임(150)에 설치되고, 붐 실린더(100) 및 붐 실린더(100)에 연결된 피스톤로드(110)에 의해 승강 및 하강 동작을 한다.

[0022] 암(142)은 붐(140)과 버켓(144)을 연결하는 것으로서, 디퍼 스틱이라고도 하며, 암 실린더(102) 및 피스톤로드(112)에 의해 굽히기 또는 펴기 동작을 한다.

[0023] 버켓(144)은 주로 굴삭 작업과 토사를 싣는 작업을 하며, 버켓 실린더(104) 및 피스톤로드(114)에 의해 오르리기 또는 펴기와 같은 동작을 한다.

[0024] 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따르면, 도 2에 도시된 바와 같이, 붐 실린더(100), 암 실린더(102) 및 버켓 실린더(104) 중 적어도 하나에 하나 이상의 압력 센서(120 내지 124)가 설치된다.

[0025] 우선 붐 실린더(100)를 예로 들어 설명한다.

[0026] 도 2에 도시된 바와 같이, 붐 실린더(100)는 피스톤헤드측 챔버(200)와 피스톤로드측 챔버(202)로 구획되며, 본 발명에 따른 하나의 압력 센서(120-1)는 피스톤헤드측 챔버(200)의 일면에 연결되며, 다른 하나의 압력 센서(120-2)는 피스톤로드측 챔버(202)의 일면에 연결된다. 이는 다른 암 실린더(102) 및 버켓 실린더(104)에 대해서도 마찬가지로 적용된다.

[0027] 버켓에 힘이 가해지는 경우, 붐 실린더(100) 내부의 압유의 공급 등으로 피스톤로드(204)가 움직이게 되며, 이때 각 압력 센서(120-1 내지 120-2)가 각 챔버 측에서의 압력을 검출한다.

[0028] 본 발명에 따른 버켓 힘 추정 장치(130)는 붐 실린더(100)에 대해 각 압력 센서(120-1 내지 120-2)에서 검출된

압력을 수신하고, 이를 이용하여 버켓 힘을 추정한다.

[0029] 바람직하게, 본 발명에 따른 버켓 힘 추정 장치(130)는 붐 실린더(100), 암 실린더(102) 및 버켓 실린더(104) 각각에서의 압력 정보를 이용하여 버켓 힘을 추정한다.

[0030] 도 3은 본 발명에 따른 버켓 힘 추정 장치의 블록도이다.

[0031] 도 3에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 버켓 힘 추정 장치는 압력 정보 수신부(300), 유압 힘 계산부(302), 마찰력 계산부(304), 토크 변환부(306) 및 버켓 힘 추정부(308)를 포함할 수 있다.

[0032] 압력 정보 수신부(300)에서 각 유압 실린더(100 내지 104)의 압력 센서(120 내지 124)로부터 검출된 압력 정보를 수신되는 경우, 유압 힘 계산부(302)는 하기의 수학적 식 1을 이용하여 각 유압 실린더(100 내지 104)에서의 유압 힘을 계산한다.

수학적 식 1

$$F_{hydraulic} = A_1 p_1 - A_2 p_2$$

[0033]

[0034] 여기서, A_1, A_2 = 유압 실린더 내의 유압이 힘을 전달하는 면적

[0035] P_1, P_2 = 실린더 내의 압력(각 압력 센서에서 검출된 압력)

[0036] 만일, 도 2에서, 피스톤헤드측 챔버의 면적을 A_1 , 피스톤로드측 챔버의 면적을 A_2 로 도시하였으나, 이는 챔버 내에서의 압력의 크기에 따라 달라질 수 있다.

[0037] 한편, 마찰력 계산부(304)는 압력 센서(120 내지 124)에서 검출된 압력 정보 및 미리 설정된 수학 모델을 이용하여 각 실린더 내에서의 마찰력을 계산한다.

[0038] 마찰력 계산부(304)는 Bonchis 모델을 기반으로 하기의 수학적 식 2 내지 3을 통해 마찰력을 계산할 수 있다.

수학적 식 2

$$M\dot{x} = F_{hydraulic} - F_{friction}$$

[0039]

수학적 식 3

$$F_{friction} = x_1 e^{x_2 v} + x_3 (p_1 - p_2) + x_4 p_2 + x_5 v$$

[0040]

[0041] 여기서, $M\dot{x}$ 는 유압 실린더에서의 힘이고, $x_1, x_2, \dots, x_5$ = 미리 설정된 계수(Coefficients to be determined), v = 피스톤 속도(Cylinder length speed/piston speed)

[0042] 본 발명에 따르면, 버켓(144)에 힘이 가해지는 경우, 유압 실린더(100 내지 104) 중 적어도 하나에 대해 압력 차이 및 마찰력 계산을 통한 유압 실린더에서의 힘이 측정된다.

[0043] 이에 따라 유압 힘 계산부(302) 및 마찰력 계산부(304)는 유압 실린더 힘 계산부로 통칭될 수 있다.

[0044] 토크 변환부(306)는 상기와 같이 측정된 유압 실린더에서의 힘을 액추에이터부(붐, 암 및 버켓)의 각 링크 축에 대한 토크로 변환한다.

[0045] 이때, 토크 변환부(306)는 붐, 암 및 버켓 각각의 서로 다른 기구학적 해석을 기반으로 토크 변환을 수행한다.

[0046] 도 4는 붐 실린더 길이 변화에 따른 붐의 기구학적 해석에 관한 도면이다.

[0047] 도 4에서, A 및 B는 붐 실린더(100)의 양 끝단, O_1 은 붐의 회전축, O_2 는 암과의 링크 축을 의미한다.

[0048] 도 4와 같은 기구학적 해석을 기반으로, 토크 변환부(306)는 붐 실린더(100)에서의 힘을 하기의 수학식 4를 이용하여 토크로 변환한다.

수학식 4

$$\begin{aligned}\theta_{1BA} &= \cos^{-1}\left(\frac{l_1^2 + r_{1B}^2 - r_{1A}^2}{2l_1r_{1B}}\right) \\ \theta_{r1} &= 2\pi + (\theta_{B12} - \theta_{1BA}) \\ p_{1B}^1 &= r_{1B}[\cos(\theta_{B12}) \quad \sin(\theta_{B12}) \quad 0]^T \\ f_{AB}^1 &= |f(1)|[\cos(\theta_{r1}) \quad \sin(\theta_{r1}) \quad 0]^T\end{aligned}$$

$$\tau_1 = (p_{1B}^1 \times f_{AB}^1) \cdot z_1$$

[0049]

[0050] l_1 = 붐 실린더 길이, r_{1B} = O_1 과 B사이의 길이, p_{1B}^1 = B와 O_1 사이의 위치벡터,

[0051] f_{AB}^1 = 붐 실린더가 내는 힘 벡터.

[0052] 한편, 도 5는 암 실린더 길이 변화에 따른 암의 기구학적 해석에 관한 도면이다.

[0053] 도 5에서, C 및 D는 암 실린더의 양 끝단, O_2 은 암의 회전축, O_3 는 버켓과의 링크 축을 의미한다.

[0054] 도 5와 같은 기구학적 해석을 기반으로, 토크 변환부(306)는 붐 실린더(100)에서의 힘을 하기의 수학식 5를 이용하여 토크로 변환한다.

수학식 5

$$\begin{aligned}\theta_{2DC} &= \cos^{-1}\left(\frac{l_2^2 + r_{2D}^2 - r_{2C}^2}{2l_2r_{2D}}\right) \\ \theta_{x_32D} &= \pi - \theta_{D23} \\ \theta_{r2} &= \pi - \theta_{2DC} - \theta_{x_32D} \\ p_{2D}^2 &= r_{2D}[\cos(\theta_{D23}) \quad \sin(\theta_{D23}) \quad 0]^T \\ f_{CD}^1 &= |f(2)|[\cos(\theta_{r2}) \quad \sin(\theta_{r2}) \quad 0]^T\end{aligned}$$

$$\tau_2 = (p_{2D}^2 \times f_{CD}^2) \cdot z_2$$

[0055]

[0056] l_2 = 암 실린더 길이, r_{2D} = O_2 와 D사이 길이, p_{2D}^2 = D와 O_2 사이의 위치벡터,

[0057] f_{CD}^1 = 암 실린더가 내는 힘 벡터.

[0058] 도 6 내지 7은 유압 실린더 길이 변화에 따른 버켓의 기구학적 해석에 관한 도면이다.

[0059] 도 6 내지 7에서, C 및 D는 압 실린더의 양 끝단, O_2 는 압의 회전축, O_3 은 버켓과의 링크 축을 의미한다.

[0060] 도 6 내지 7과 같은 기구학적 해석을 기반으로, 토크 변환부(306)는 붐 실린더(100)에서의 힘을 하기의 수학적 식 6을 이용하여 토크로 변환한다.

수학적 식 6

$$\begin{aligned} \theta_{EFH} &= \cos^{-1} \left(\frac{r_{EF}^2 + r_{FH}^2 - l_3^2}{2r_{EF}r_{FH}} \right) \\ \theta_{HF3} &= \pi - \theta_{DFE} - \theta_{EFH} \\ r_{3H} &= \sqrt{r_{3F}^2 + r_{FH}^2 - 2r_{3F}r_{FH} \cos(\theta_{HF3})} \\ \theta_{F3H} &= \cos^{-1} \left(\frac{r_{3EF}^2 + r_{3H}^2 - r_{FH}^2}{2r_{3F}r_{3H}} \right) \\ \theta_{H3G} &= \cos^{-1} \left(\frac{r_{3H}^2 + r_{3G}^2 - r_{GH}^2}{2r_{3H}r_{3G}} \right) \\ \theta_3 &= 3\pi - \theta_{F3H} - \theta_{H3G} - \theta_{G34} - \theta_{23D} \\ \theta_{33G} &= 2\pi - \theta_3 - \theta_{G34} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{if } \theta_3 + \theta_{G34} > 2\pi \\ \text{then } \theta_{3GH} &= \theta_{FGH} - \theta_{FG3} \\ \text{otherwise } \theta_{3GH} &= \theta_{FGH} - \theta_{FG3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_G &= \theta_{G34} - \theta_{3GH} \\ \theta_{3FG} &= \cos^{-1} \left(\frac{r_{3F}^2 + r_{FG}^2 - r_{3G}^2}{2r_{3F}r_{FG}} \right) \\ \theta_{HFG} &= \cos^{-1} \left(\frac{r_{FG}^2 + r_{FH}^2 - r_{GH}^2}{2r_{FG}r_{FH}} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{if } \theta_3 + \theta_{G34} > 2\pi \\ \text{then } \theta_{HF3} &= \theta_{HFG} - \theta_{3FG} \\ \text{otherwise } \theta_{HF3} &= \theta_{HFG} + \theta_{3FG} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_{3FH} &= \pi - \theta_{HF3} \\ \theta_F &= (\pi - \theta_{3FH} - \theta_{23D}) + \pi \\ \theta_{FHE} &= \cos^{-1} \left(\frac{r_{FH}^2 + l_3^2 - r_{EF}^2}{2r_{FH}l_3} \right) \\ \theta_{r3} &= -\theta_{23D} + \theta_{HF3} - \theta_{FHE} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{r3} \cos(\theta_{r3}) + f_F \cos(\theta_F) + f_G \cos(\theta_4 + \theta_G) &= 0 \\ f_{r3} \sin(\theta_{r3}) + f_F \sin(\theta_F) + f_G \sin(\theta_4 + \theta_G) &= 0 \\ \begin{bmatrix} f_F \\ f_G \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \cos(\theta_F) & \cos(\theta_4 + \theta_G) \\ \sin(\theta_F) & \sin(\theta_4 + \theta_G) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -f_{r3} \cos(\theta_{r3}) \\ -f_{r3} \sin(\theta_{r3}) \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p_{3G}^3 &= r_{3G} [\cos(\theta_{G34}) \quad \sin(\theta_{G34}) \quad 0]^T \\ f_G^3 &= f_G [\cos(\theta_G) \quad \sin(\theta_G) \quad 0]^T \end{aligned}$$

$$\tau_3 = (p_{3G}^3 \times f_G^3) \cdot Z_3$$

[0064] 여기서, O_4 는 버켓 끝점, l_3 는 버켓 실린더 길이, r_{EF} 는 E와 F사이 길이,

[0065] p_{3G}^2 는 G와 O_3 사이의 위치벡터, f_{r3}^2 는 버켓 실린더가 내는 힘 벡터, f_G^2 는 버켓 실린더가 버켓에 작용하는 힘 벡터.

[0066] 버켓 힘 추정부(308)는 상기와 같이 변환된 토크를 이용하여 버켓(144)에 가해지는 힘을 추정한다.

[0067] 본 발명에 따르면, 각 유압 실린더에 모두 압력 센서가 설치되는 경우, 버켓 힘 추정부(308)는 붐, 압 및 버켓 실린더(100 내지 104)에 대해 얻어진 토크를 라그랑주 역학 모델(Lagrangian Dynamic)에 대입하여 버켓 힘을 추정한다.

[0068] 보다 상세하게, 라그랑제 역학 모델은 하기의 수학적 식 7과 같이 운동에너지와 위치에너지를 차로 구할 수 있다.

수학적 식 7

$$L = K - U$$

$$K = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \dot{\mathbf{v}}_{ci}^T m_i \dot{\mathbf{v}}_{ci} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \dot{\boldsymbol{\omega}}_i^T I_i \dot{\boldsymbol{\omega}}_i$$

$$U = - \sum_{i=1}^n m_i \mathbf{g}^T \mathbf{p}_{o,ci}$$

[0069]

[0070] $\mathbf{v}_{ci}$ = translation velocity vector, $\boldsymbol{\omega}_i$ = rotational velocity vector,

[0071] $\mathbf{m}$ = mass matrix, $\mathbf{I}_i$ = inertia matrix, $\mathbf{g}$ = gravitational vector

[0072] $\mathbf{p}_{o,ci}$ = position vector of the center of masses

[0073] 상기한 수학적 식 7을 정리하여 미분하면, 하기의 수학적 식 8과 같이 토크에 관한 식으로 정리되며, 이를 관성, 중력, 원심력 및 코리올리 효과로 정리하고, 또한 이를 버킷에 가해지는 힘과 유압 실린더의 마찰력을 고려하여 정리하면 하기의 수학적 식 9와 같다.

수학적 식 8

$$\sum_{j=1}^n m_{ij} \ddot{\theta}_j + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \left(\frac{\partial M_{ij}}{\partial \theta_k} - \frac{1}{2} \frac{\partial M_{jk}}{\partial \theta_i} \right) \dot{\theta}_j \dot{\theta}_k - \sum_{j=1}^n m_j \mathbf{g}^T \mathbf{J}_{vj}^i = \tau_i$$

[0074]

수학적 식 9

$$M(\theta)(\ddot{\theta}) + V(\theta, \dot{\theta}) + G(\theta) = \tau$$

$$= J^T (F_{hydr} - F_{friction} - F_{bucket_tip})$$

[0075]

[0076] 일반적으로 유압식 굴삭기에 있어 높은 속도와 가속도를 필요로 하지 않고, 속도가 가속도가 작은 경우에는 관성, 원심력 및 코리올리 효과 등이 작다. 또한 흡에 의해 버킷에 주어지는 힘은 단순히 중력과 정적인 실린더

압력에 많은 영향을 받기 때문에 수학적 식 8에서 $G(\theta)$ 를 제외한 나머지 항들은 무시할 수 있으며, 이에 따라 수학적 식 10과 같은 자코비안 역행렬이 유도된다.

수학적 식 10

$$F_{bucket_tip} = J^{-T} [G(\theta) - \tau], \quad \tau = net\ torque$$

[0077]

[0078] 본 발명에 따른 버킷 힘 추정부(308)는 상기한 수학적 식 10를 이용하여 버킷에 가해진 힘을 추정한다.

[0079] 본 발명에 따르면, 버킷 힘 추정 장치(130)가 각 유압 실린더(100 내지 104)에 설치된 두 개의 압력 센서(120 내지 124)로부터 검출된 압력 정보를 이용하여 버킷 힘을 추정하게 되는데, 일반적으로 압력 센서는 종래의 힘

센서에 비해 매우 저가이므로 특히 지능형 굴삭기를 저가로 상용화할 수 있다.

[0080] 도 8은 본 발명에 따른 버켓 힘 추정 과정을 도시한 순서도이다.

[0081] 도 8을 참조하면, 유압 실린더에 설치된 2개의 압력 센서를 이용하여 피스톤헤드측 챔버 압력(제1 압력) 및 피스톤로드측 챔버 압력(제2 압력)을 측정한다(단계 800).

[0082] 이후, 버켓 힘 추정 장치는 제1 압력 및 제2 압력 차이에 따른 유압 힘을 계산한다(단계 802).

[0083] 전술한 바와 같이, 유압 힘은 제1 및 제2 압력과, 각 압력이 미치는 면적을 이용하여 계산될 수 있다.

[0084] 또한, 버켓 힘 추정 장치는 제1 압력 및 제2 압력을 이용하여 유압 실린더에서의 마찰력을 계산한다(단계 804).

[0085] 상기한 단계를 통해 유압 실린더에서의 힘이 측정될 수 있다.

[0086] 이처럼 측정된 유압 실린더에서의 힘을 링크 축에 대한 토크로 변환한다(단계 806).

[0087] 본 발명에 따른 버켓 힘 추정 장치(130)는 수학식 10 및 변환된 토크를 이용하여 버켓 힘을 추정한다(단계 808).

[0088] 상기한 본 발명의 바람직한 실시예는 예시의 목적을 위해 개시된 것이고, 본 발명에 대해 통상의 지식을 가진 당업자라면 본 발명의 사상과 범위 안에서 다양한 수정, 변경, 부가가 가능할 것이며, 이러한 수정, 변경 및 부가는 하기의 특허청구범위에 속하는 것으로 보아야 할 것이다.

도면의 간단한 설명

[0089] 도 1은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 버켓 힘 추정 시스템이 장착된 굴삭기를 도시한 도면.

[0090] 도 2는 본 발명에 따른 압력 센서의 설치 형태를 도시한 도면.

[0091] 도 3은 본 발명에 따른 버켓 힘 추정 장치의 블록도.

[0092] 도 4는 붐 실린더 길이 변화에 따른 붐의 기구학적 해석에 관한 도면.

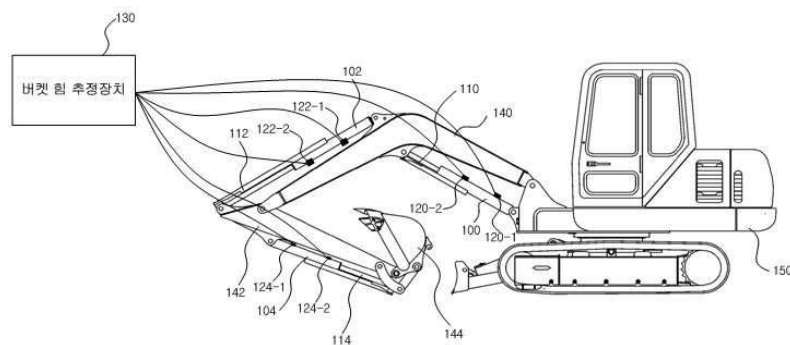
[0093] 도 5는 암 실린더 길이 변화에 따른 암의 기구학적 해석에 관한 도면.

[0094] 도 6 내지 7은 버켓 실린더 길이 변화에 따른 버켓의 기구학적 해석에 관한 도면.

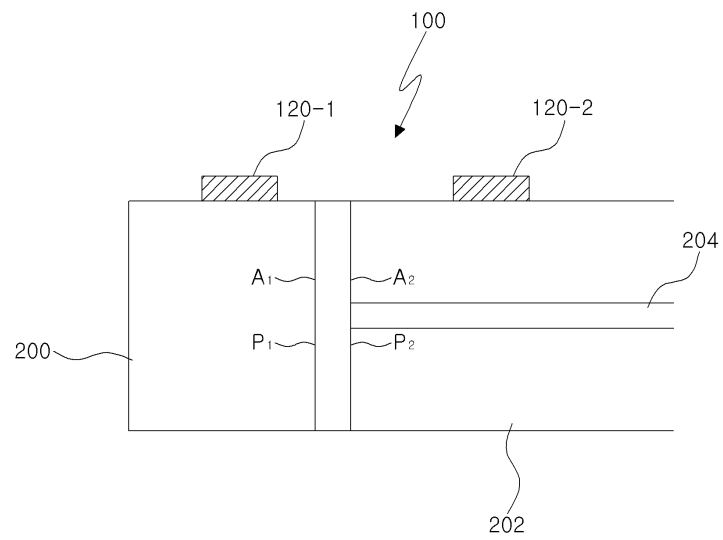
[0095] 도 8은 본 발명에 따른 버켓 힘 추정 과정을 도시한 순서도.

도면

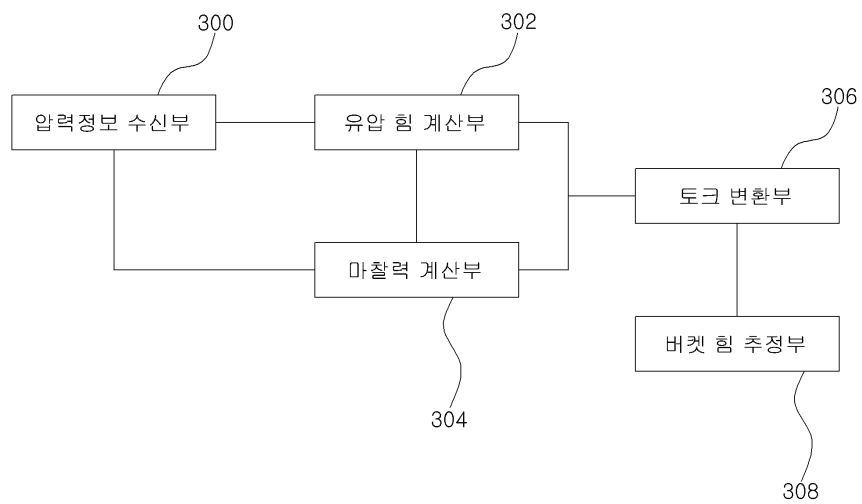
도면1



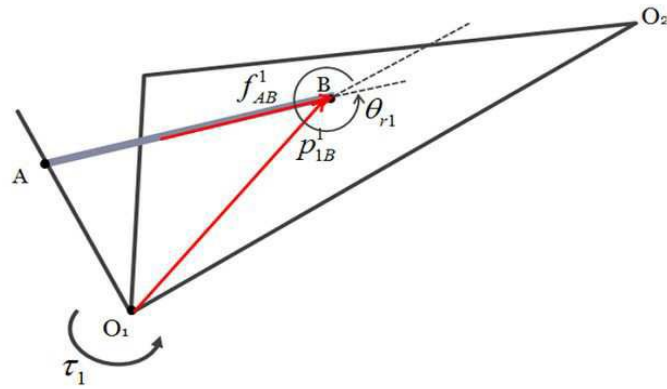
도면2



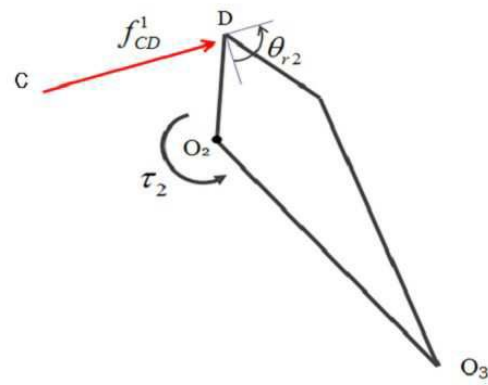
도면3



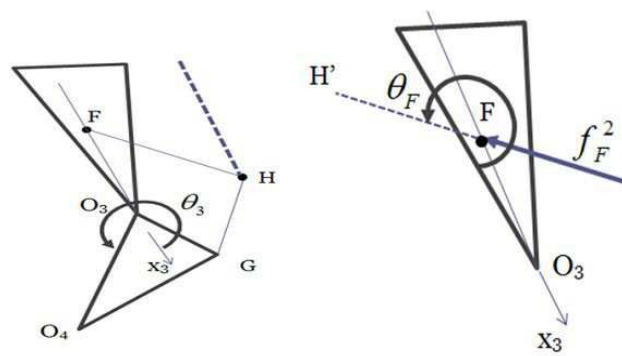
도면4



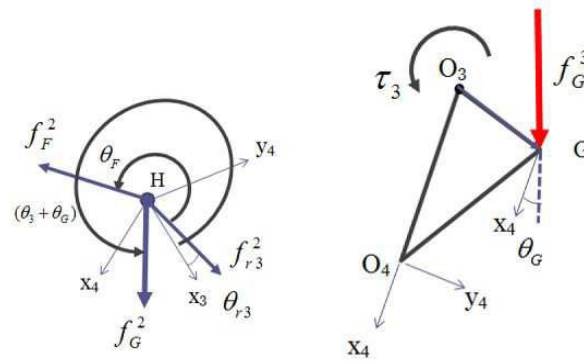
도면5



도면6



도면7



도면8

