



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년09월11일

(11) 등록번호 10-2155454

(24) 등록일자 2020년09월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B63G 8/00 (2006.01) G06F 30/00 (2020.01)(52) CPC특허분류
B63G 8/00 (2013.01)
G06F 30/20 (2020.01)

(21) 출원번호 10-2019-0078160

(22) 출원일자 2019년06월28일

심사청구일자 2019년06월28일

(56) 선행기술조사문헌
충남대학교 석사학위논문(2017.08.31.) 1부.*
JP58043892 A
JP07049277 B2
JP2830391 B2
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

충남대학교산학협력단

대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)

(72) 발명자

유원선

대전광역시 유성구 노은로426번길 15, 604동 100
2호

(74) 대리인

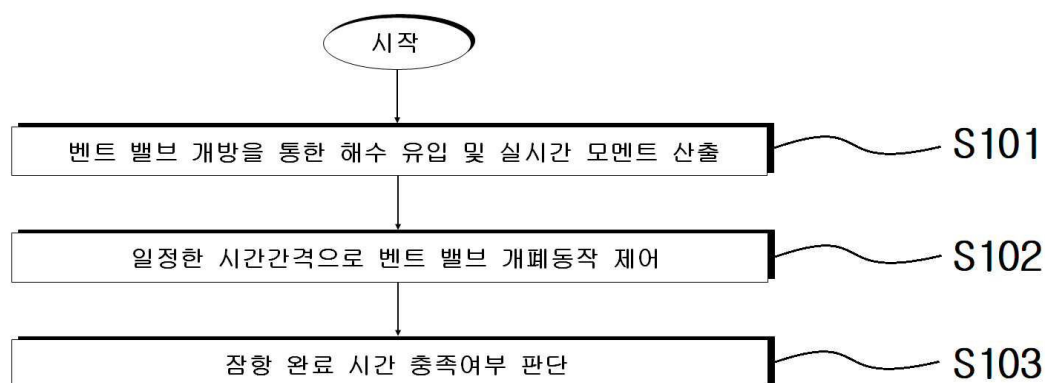
신동기

전체 청구항 수 : 총 3 항

심사관 : 박성우

(54) 발명의 명칭 **공압 밸브 조절 알고리즘을 이용한 잠수함의 잠항 시 자세 제어 시뮬레이션 방법****(57) 요약**

본 발명은 잠수함 잠항 시 함미부력탱크의 벤트 밸브의 개폐상태를 제어하여 충수시간이 지연되도록 함으로써, 함미트림이 발생되지 않고 평형 상태를 유지하면서 실시간 모멘트가 기준 모멘트를 유지하면서 중성부력상태에서의 모멘트에 도달하는지 여부와, 중성부력상태 도달 시간이 잠항 완료 시간을 충족하는지 여부를 정확히 시뮬레이션할 수 있는 공압 밸브 조절 알고리즘을 이용한 잠수함의 잠항 시 자세 제어 시뮬레이션 방법에 관한 것이다.

대표도 - 도1

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	10067156
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술평가관리원
연구사업명	산업기술혁신사업 산업핵심기술개발사업
연구과제명	조선소 생산성 향상을 위한 형상오차 측정 및 관리 시스템 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	삼인이엔에스(주)
연구기간	2016.07.01 ~ 2019.06.30

명세서

청구범위

청구항 1

잠수함의 수상 평형상태(Trim zero)에서 주 부력탱크에 마련된 벤트 밸브를 개방시켜 상기 주 부력탱크 내에 해수를 유입시키며 실시간 모멘트를 산출하는 단계;

잠수함이 수상 평형상태에서 중성부력상태에 도달하기까지 상기 실시간 모멘트가 기 설정된 기준 모멘트를 유지하면서 중성부력상태에서의 모멘트에 도달하도록, 상기 벤트 밸브의 개폐상태를 기 설정된 시간 간격으로 반복 제어하여 상기 주 부력탱크의 충수 지연을 발생시키는 단계; 및

잠수함이 수상 평형상태에서 중성부력상태에 도달하기까지의 시간이 기 설정된 잠항 완료 시간을 충족하는지 여부를 판단하는 단계;를 포함하되,

상기 잠수함이 수상 평형상태에서 중성부력상태에 도달하기까지 상기 실시간 모멘트가 기 설정된 기준 모멘트를 유지하면서 중성부력상태에서의 모멘트에 도달하도록, 상기 벤트 밸브의 개폐상태를 기 설정된 시간 간격으로 반복 제어하여 상기 주 부력탱크의 충수 지연을 발생시키는 단계는,

하기의 수학식 3을 통해 상기 기준 모멘트를 산출한 후, 함정의 계통 및 체계 시뮬레이션 모델링에 적용시키는 단계; 및

하기의 수학식 4 내지 6에 의해 결정되는 목적함수, 제약조건 및 설계변수를 상기 함정의 계통 및 체계 시뮬레이션 모델링에 적용시키는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는, 공압 밸브 조절 알고리즘을 이용한 잠수함의 잠항 시 자세 제어 시뮬레이션 방법.

[수학식 3]

$$M_{req} = [\{(M_f \cdot S_T)/t_T\} + \{((S_T - t_T)^2 \cdot M_f/t_T^2) - M_f\}] / 2$$

(여기에서, M_{req} 는 기준 모멘트, M_f 는 중성부력상태에서의 모멘트, S_T 는 함정의 계통 및 체계 시뮬레이션 모델링에서의 시뮬레이션 진행시간(simulation time(s)), t_T 는 충수 완료 시간(Target time(s))이다)

[수학식 4]

$$obj. : \frac{1}{2} (M_t(t + \Delta t) - M_{req}(t + \Delta t))^2$$

(여기에서, obj는 최소화 시킬 목적함수이다)

[수학식 5]

$$\begin{aligned} const. : M_t(t + \Delta t) - M_{req}(t + \Delta t) &< 0 \\ -5 &< \theta_t(t + \Delta t) \leq 0 \end{aligned}$$

(여기에서, const는 만족시켜야 하는 제약조건이다)

[수학식 6]

$$D.V. : x_i = \alpha_i$$

(여기에서, D.V는 조절이 가능한 설계변수이다)

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 주 부력탱크 내에 해수를 유입시키며 실시간 모멘트를 산출하는 단계는,

하기의 수학식 1을 통해 산출되는 값을 하기의 수학식 2에 적용하여 실시간 모멘트를 산출하는 것을 특징으로 하는, 공압 밸브 조절 알고리즘을 이용한 잠수함의 잠항 시 자세 제어 시뮬레이션 방법.

[수학식 1]

$$\Delta m_i = f_i \alpha_i \Delta t$$

(여기에서, Δm_i 는 Δt 시간동안 추가되는 부가질량(kg), f_i 는 i 번째 충수구를 통해 유입되는 해수의 유량(kg/s), α_i 는 i 번째 밸브 밸브의 개폐조절값(0~1)이다)

[수학식 2]

$$M_t(t + \Delta t) = \rho g \sum_{i=1}^{i=4} (m_i + \Delta m_i) l_i$$

(여기에서, M_t 는 실시간 모멘트, ρ 는 해수의 밀도(1.025 g/cm³), g 는 중력가속도(9.8m/s²), m_i 는 i 번째 주 부력탱크의 충수량(kg), l_i 는 함의 무게중심에서 i 번째 주 부력탱크 무게중심까지의 거리(m)이다)

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 잠수함이 수상 평형상태에서 중성부력상태에 도달하기까지 상기 실시간 모멘트가 기 설정된 기준 모멘트를 유지하면서 중성부력상태에서의 모멘트에 도달하도록, 상기 밸브 밸브의 개폐상태를 기 설정된 시간 간격으로 반복 제어하여 상기 주 부력탱크의 충수 지연을 발생시키는 단계는,

함수부력탱크의 밸브 밸브는 모두 개방시키고, 함미부력탱크의 밸브 밸브의 개방시간을 함수부력탱크의 밸브 밸브의 개방시간 대비 10초(s) 지연시키는 것을 특징으로 하는, 공압 밸브 조절 알고리즘을 이용한 잠수함의 잠항 시 자세 제어 시뮬레이션 방법.

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 공압 밸브 조절 알고리즘을 이용한 잠수함의 잠항 시 자세 제어 시뮬레이션 방법에 관한 것으로서,

보다 구체적으로는, 잠수함 잠항 시 함미부력탱크의 벤트 밸브의 개폐상태를 제어하여 충수시간이 지연되도록 함으로써, 함미트림이 발생되지 않고 평형 상태를 유지하면서 실시간 모멘트가 기준 모멘트를 유지하면서 중성 부력상태에서의 모멘트에 도달하는지 여부와, 중성부력상태 도달 시간이 잠항 완료 시간을 충족하는지 여부를 정확히 시뮬레이션할 수 있는 공압 밸브 조절 알고리즘을 이용한 잠수함의 잠항 시 자세 제어 시뮬레이션 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0003] 일반적으로, 해전에서 해군의 주력함으로 입증된 잠수함은 개발에 막대한 예산과 기간이 소요됨에 따라 정확한 성능예측과 시험평가가 필수적이다.
- [0004] 따라서, 잠수함 잠항 체계에 대하여 정확한 성능예측과 시험평가에 모델링 및 시뮬레이션을 활용하는 것에 대한 관심이 증가함에 따라 최근에는 미국 및 유럽뿐 아니라 국내에서도 M&S(Modeling & Simulation)에 대한 관심이 증가하였다. 잠수함은 외형 전체 체적의 부력과 같아지는 중성부력 상태까지 각 주 부력탱크에 해수 유입에 따른 중량 부가를 통해 잠항을 하게 된다. 각 주 부력 탱크(Main ballast tank)로 유입되는 해수의 양에 따라 잠수함은 잠항 중 다양한 자세를 가질 수 있다. 잠항 중 잠수함은 일반적으로 함수가 함미보다 낮은 -5도~ -10도 방향으로 잠항을 한다.
- [0005] 이때, 그 각도가 크거나 함미방향으로 잠항을 하게 될 경우 자세가 불안정하여 추진계통 등에 예기치 못한 손상을 입히므로 안전성 측면에서 좋지 않다. 따라서 조타수가 직접적으로 함수/미 잠항타를 이용하여 일정각도 이상의 트림을 가지게 되면 잠수함의 트림 각도를 조절하게 된다. 하지만 숙달된 조타수가 아닐 경우 여러 어려움이 발생하므로 조타수의 조종 없이 설정된 트림 각도를 넘지 않는 Carefree maneuvering 시스템 구축에 대한 관심도 커졌다
- [0006] 따라서, 조타수의 수동적인 잠항 각도 조절 및 숙련도에 의존하지 않으면서 잠항 시 함미트림을 방지함은 물론 평형 자세를 유지하기 위한 산술적 수치를 도출할 수 있는 또 다른 기술이 필요한 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0008] (특허문헌 0001) 한국공개특허 제10-2012-0089977호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 본 발명은 전술한 문제점을 해결하기 위한 것으로, 잠수함 잠항 시 함미부력탱크의 벤트 밸브의 개폐상태를 제어하여 충수시간이 지연되도록 함으로써, 함미트림이 발생되지 않고 평형 상태를 유지하면서 실시간 모멘트가 기준 모멘트를 유지하면서 중성부력상태에서의 모멘트에 도달하는지 여부와, 중성부력상태 도달 시간이 잠항 완료 시간을 충족하는지 여부를 정확히 시뮬레이션할 수 있는 공압 밸브 조절 알고리즘을 이용한 잠수함의 잠항 시 자세 제어 시뮬레이션 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

- [0011] 본 발명의 일 실시예에 따른 공압 밸브 조절 알고리즘을 이용한 잠수함의 잠항 시 자세 제어 시뮬레이션 방법은 잠수함의 수상 평형상태(Trim zero)에서 주 부력탱크에 마련된 벤트 밸브를 개방시켜 상기 주 부력탱크 내에 해수를 유입시키며 실시간 모멘트를 산출하는 단계, 잠수함이 수상 평형상태에서 중성부력상태에 도달하기까지 상기 실시간 모멘트가 기 설정된 기준 모멘트를 유지하면서 중성부력상태에서의 모멘트에 도달하도록, 상기 벤트 밸브의 개폐상태를 기 설정된 시간 간격으로 반복 제어하여 상기 주 부력탱크의 충수 지연을 발생시키는 단계 및 잠수함이 수상 평형상태에서 중성부력상태에 도달하기까지의 시간이 기 설정된 잠항 완료 시간을 충족하는지 여부를 판단하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0012] 일 실시예에서, 상기 주 부력탱크 내에 해수를 유입시키며 실시간 모멘트를 산출하는 단계는 하기의 수학식 1을 통해 산출되는 값을 하기의 수학식 2에 적용하여 실시간 모멘트를 산출하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0013] [수학식 1]

$$\Delta m_i = f_i \alpha_i \Delta t$$

[0014]

[0015] (여기에서, Δm_i 는 Δt 시간동안 추가되는 부가질량(kg), f_i 는 i 번째 충수구를 통해 유입되는 해수의 유량(kg/s), α_i 는 i 번째 벤트 밸브의 개폐조절값(0~1)이다)

[0016] [수학식 2]

$$M_t(t + \Delta t) = \rho g \sum_{i=1}^{i=4} (m_i + \Delta m_i) l_i$$

[0017]

[0018] (여기에서, M_t 는 실시간 모멘트, ρ 는 해수의 밀도(1.025 g/cm³), g 는 중력가속도(9.8m/s²), m_i 는 i 번째 주 부력탱크의 충수량(kg), l_i 는 함의 무게중심에서 i 번째 주 부력탱크 무게중심까지의 거리(m)이다)

[0019] 일 실시예에서, 상기 잠수함이 수상 평형상태에서 중성부력상태에 도달하기까지 상기 실시간 모멘트가 기 설정된 기준 모멘트를 유지하면서 중성부력상태에서의 모멘트에 도달하도록, 상기 벤트 밸브의 개폐상태를 기 설정된 시간 간격으로 반복 제어하여 상기 주 부력탱크의 충수 지연을 발생시키는 단계는 함수부력탱크의 벤트 밸브는 모두 개방시키고, 함미부력탱크의 벤트 밸브의 개방시간을 함수부력탱크의 벤트 밸브의 개방시간 대비 10초(s) 지연시키는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0020] 일 실시예에서, 상기 잠수함이 수상 평형상태에서 중성부력상태에 도달하기까지 상기 실시간 모멘트가 기 설정된 기준 모멘트를 유지하면서 중성부력상태에서의 모멘트에 도달하도록, 상기 벤트 밸브의 개폐상태를 기 설정된 시간 간격으로 반복 제어하여 상기 주 부력탱크의 충수 지연을 발생시키는 단계는 하기의 수학식 3을 통해 상기 기준 모멘트를 산출한 후, 함정의 계통 및 체계 시뮬레이션 모델링에 적용시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0021] [수학식 3]

$$M_{req} = \{[(M_f \cdot S_T)/t_T] + \{((S_T - t_T)^2 \cdot M_f/t_T^2) - M_f\}]/2$$

[0022]

[0023] (여기에서, M_{req} 는 기준 모멘트, M_f 는 중성부력상태에서의 모멘트, S_T 는 함정의 계통 및 체계 시뮬레이션 모델링에서의 시뮬레이션 진행시간(simulation time(s)), t_T 는 충수 완료 시간(Target time(s))이다)

[0024] 일 실시예에서, 상기 잠수함이 수상 평형상태에서 중성부력상태에 도달하기까지 상기 실시간 모멘트가 기 설정된 기준 모멘트를 유지하면서 중성부력상태에서의 모멘트에 도달하도록, 상기 벤트 밸브의 개폐상태를 기 설정된 시간 간격으로 반복 제어하여 상기 주 부력탱크의 충수 지연을 발생시키는 단계는 하기의 수학식 4 내지 6에 의해 결정되는 목적함수, 제약조건 및 설계변수를 상기 함정의 계통 및 체계 시뮬레이션 모델링에 적용시키는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0025] [수학식 4]

$$obj. : \frac{1}{2} (M_t(t + \Delta t) - M_{req}(t + \Delta t))^2$$

[0026]

[0027] (여기에서, obj는 최소화 시킬 목적함수이다)

[0029] [수학식 5]

$$\begin{aligned} const. : M_t(t + \Delta t) - M_{req}(t + \Delta t) < 0 \\ -5 < \theta_t(t + \Delta t) \leq 0 \end{aligned}$$

[0030]

[0031] (여기에서, const는 만족시켜야 하는 제약조건이다)

[0033] [수학식 6]

$$D.V. : x_i = \alpha_i$$

[0034]

[0035] (여기에서, D.V는 조절이 가능한 설계변수이다)

발명의 효과

[0037] 본 발명의 일 측면에 따르면, 잠수함 잠항 시 함미부력탱크의 벤트 밸브의 개폐상태를 제어하여 충수시간이 지연되도록 함으로써, 함미트림이 발생되지 않고 평형 상태를 유지하면서 실시간 모멘트가 기준 모멘트를 유지하면서 중성부력상태에서의 모멘트에 도달하는지 여부와, 중성부력상태 도달 시간이 잠항 완료 시간을 충족하는지 여부를 정확히 시뮬레이션할 수 있는 이점을 가진다.

[0038] 또한 본 발명의 일 측면에 따르면, 주 부력탱크만으로 모델링한 잠항 체계에 6자유도 운동이 반영된 조종운동모델과의 연동을 통해 성능을 예측할 수 있으며, 잠항 시 많은 문제를 야기하는 함미트림에 대한 해결방법과 더불어서 평형 자세 유지를 위한 중동요 최소화에 대해 시뮬레이션을 진행할 수 있는 이점을 가진다.

[0039] 또한 본 발명의 일 측면에 따르면, 입력값으로부터 정확한 시뮬레이션 결과가 도출될 수 있으므로 잠수함을 운용함에 있어 전문적인 운용 경험이 필요하지 않는 이점을 가진다.

도면의 간단한 설명

[0041] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 공압 밸브 조절 알고리즘을 이용한 잠수함의 잠항 시 자세 제어 시뮬레이션 방법을 일련의 순서대로 도시한 순서도이다.

도 2는 함미부력탱크의 벤트 밸브 개방 지연시간에 따른 함미트림각을 도시한 도면이다.

도 3은 도 1에 도시된 각 케이스 별 모멘트 곡선을 도시한 도면이다.

도 4는 함미부력탱크의 벤트 밸브 개방 지연시간을 달리 적용하였을 경우에 따른 트림각 변화를 도시한 도면이다.

도 5는 함미부력탱크의 벤트 밸브 개방 지연에 따른 충수량을 도시한 도면이다.

도 6은 공압 밸브 조절 알고리즘을 이용한 잠수함의 잠항 시 자세 제어 시뮬레이션을 통해 함수부력탱크 및 함미부력탱크 각각의 벤트 밸브 조절상태를 도시한 도면이다.

도 7은 도 3에 도시된 각 케이스 별 잠수함 자세를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0042] 이하, 본 발명의 이해를 돕기 위하여 바람직한 실시예를 제시한다. 그러나 하기의 실시예는 본 발명을 보다 쉽게 이해하기 위하여 제공되는 것일 뿐, 실시예에 의해 본 발명의 내용이 한정되는 것은 아니다.

[0044] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 공압 밸브 조절 알고리즘을 이용한 잠수함의 잠항 시 자세 제어 시뮬레이션 방법을 일련의 순서대로 도시한 순서도이다.

[0045] 도 1을 살펴보면, 본 발명의 일 실시예에 따른 공압 밸브 조절 알고리즘을 이용한 잠수함의 잠항 시 자세 제어 시뮬레이션 방법은 크게 잠수함의 수상 평형상태(Trim zero)에서 주 부력탱크에 마련된 벤트 밸브를 개방시켜 상기 주 부력탱크 내에 해수를 유입시키며 실시간 모멘트를 산출하는 단계(S101), 잠수함이 수상 평형상태에서 중성부력상태에 도달하기까지 상기 실시간 모멘트가 기 설정된 기준 모멘트를 유지하면서 중성부력상태에서의

모멘트에 도달하도록, 상기 벤트 밸브의 개폐상태를 기 설정된 시간 간격으로 반복 제어하여 상기 주 부력탱크의 충수 지연을 발생시키는 단계(S102) 및 잠수함이 수상 평형상태에서 중성부력상태에 도달하기까지의 시간이 기 설정된 잠항 완료 시간을 충족하는지 여부를 판단하는 단계(S103)를 포함하여 진행될 수 있다.

[0047] 일반적으로, 잠수함의 트림발생에 따른 모멘트는 주 부력탱크의 해수 유입을 고려한 하기의 참고 수학적식과 같이 표현될 수 있다.

[0048] [참고 수학적식]

$$M = \rho g \sum_{i=1}^{i=4} m_i l_i$$

[0049]

[0050] 여기에서, ρ 는 해수의 밀도(1.025 g/cm³), g 는 중력가속도(9.8m/s²), m_i 는 i 번째 주 부력탱크의 충수량(kg), l_i 는 함의 무게중심에서 i 번째 주 부력탱크 무게중심까지의 거리(m)를 나타낸다.

[0052] 참고 수학적식을 참고하면, 모멘트(M)는 l_i 및 m_i 의 영향을 받는다. 모멘트(M)는 수상 상태에서 해수가 유입되지 않는 상태이므로 0의 값을 가지며, 해수 유입에 따라 중성부력상태에서 각 잠수함 별 고유 모멘트를 가지면서 평형 자세를 가지게 된다. 하지만, m_i 는 주 부력탱크에 유입되는 해수 양을 조절하여 제어할 수 있지만, l_i 는 제어가 불가능하므로 일정한 고정값을 적용하게 된다.

[0053] 따라서, m_i 의 변화량, 즉 Δm_i (Δt 시간동안 추가되는 부가질량(kg))을 수학적식 1을 통해 살펴보면 다음과 같다.

[0055] [수학적식 1]

$$\Delta m_i = f_i \alpha_i \Delta t$$

[0056]

[0057] 여기에서, Δm_i 는 Δt 시간동안 추가되는 부가질량(kg), f_i 는 i 번째 충수구를 통해 유입되는 해수의 유량(kg/s), α_i 는 i 번째 벤트 밸브의 개폐조절값(0~1)을 의미한다.

[0058] 이러한 수학적식 1을 토대로 잠수함의 잠항에 따른 실시간 모멘트(M_t)를 구하는 식을 살펴보면 다음과 같다.

[0060] [수학적식 2]

$$M_t(t + \Delta t) = \rho g \sum_{i=1}^{i=4} (m_i + \Delta m_i) l_i$$

[0061]

[0062] (여기에서, M_t 는 실시간 모멘트, ρ 는 해수의 밀도(1.025 g/cm³), g 는 중력가속도(9.8m/s²), m_i 는 i 번째 주 부력탱크의 충수량(kg), l_i 는 함의 무게중심에서 i 번째 주 부력탱크 무게중심까지의 거리(m)이다)

[0064] 잠수함은 설계 시 잠항이 완료된 중성부력상태에서 평형 자세를 이루도록 설계된다.

[0065] 따라서, 본 발명에서는 중성부력상태에서 주 부력탱크의 체적차이에 의해 발생하는 모멘트를 중성부력상태에서의 모멘트(M_f)라 설정한다. 또한, 일정한 시간 별로 주 부력탱크의 벤트 밸브의 개폐상태를 조절함에 따라 주 부력탱크에 유입되는 해수의 양을 조절하여 산출되는 실시간 모멘트(M_t)(Current moment)가 모멘트(M_f)에 도달할때까지 함미트림이 발생하지 않으며 평형 상태를 유지하도록 하는 기준 모멘트(M_{req})를 유지하는 조건을 설정한다.

[0066] 즉, 실시간 모멘트(M_t)가 기준 모멘트(M_{req})를 유지 혹은 만족하면서 중성부력상태에서의 모멘트(M_f)에 도달하도록, 주 부력탱크의 벤트 밸브의 개폐상태를 일정한 시간 간격으로 반복하여 제어하게 된다.

[0067] 이때, 주 부력탱크의 벤트 밸브의 개폐상태를 제어한다는 의미는, 특히 함미부력탱크의 벤트 밸브의 개방 시간을 함수부력탱크의 벤트 밸브의 개방 시간보다 10초 정도 지연시킴을 의미할 수 있다.

[0068] 여기에서, 잠수함이 잠항 중 평형 자세를 유지하며 중성부력상태에서의 모멘트(M_f)에 최종적으로 도달하는 점에 대해서, 실시간 모멘트(M_t)가 기준 모멘트(M_{req})를 계속해서 유지하는지를 통해 산출할 수 있게 된다.

[0070] 상술한 수학적 식 1 및 수학적 식 2을 참고하였을 때, Δt 뒤에 추가될 모멘트의 크기는 벤트 밸브의 개폐조절값(α_i)에 의해 결정될 수 있다. 이때, 벤트 밸브의 개폐조절값(α_i)은 기준 모멘트(M_{req})에 따라 영향을 받게 되는데, 그에 따른 기준 모멘트는 하기의 수학적 식 3을 통해 산출할 수 있다. 또한, 산출된 기준 모멘트는 함정의 계통 및 체계 시뮬레이션 모델링에 적용시키게 된다.

[0072] [수학적 식 3]

$$M_{req} = [\{(M_f \cdot S_T)/t_T\} + \{((S_T - t_T)^2 \cdot M_f/t_T^2) - M_f\}] / 2$$

[0073]

[0074] (여기에서, M_{req} 는 기준 모멘트, M_f 는 중성부력상태에서의 모멘트, S_T 는 함정의 계통 및 체계 시뮬레이션 모델링에서의 시뮬레이션 진행시간(simulation time(s)), t_T 는 충수 완료 시간(Target time(s))이다)

[0076] 수학적 식 3을 살펴보면, 잠수함의 잠항에 따른 실시간 모멘트(M_t)는 매 시간 벤트 밸브의 개폐조절값(α_i)의 계산 값에 영향을 받기 때문에, 매시간 계산되는 벤트 밸브의 개폐조절값(α_i)을 함정의 계통 및 체계 시뮬레이션 모델링인 'SIMSMART' 모델에 적용시킴으로써, 시뮬레이션 상에 잠수함이 잠항 중 함미트림이 발생하지 않으면서 평형 자세를 유지하는지를 확인할 수 있게 된다.

[0077] 이때, 시뮬레이션 과정에서 하기의 수학적 식 4 내지 6에 의해 결정되는 목적함수, 제약조건 및 설계변수를 함정의 계통 및 체계 시뮬레이션 모델링에 적용할 수 있는데, 이를 살펴보면 다음과 같다.

[0078] [수학적 식 4]

$$obj. : \frac{1}{2} (M_t(t + \Delta t) - M_{req}(t + \Delta t))^2$$

[0079]

[0080] (여기에서, obj는 최소화 시킬 목적함수이다)

[0082] [수학적 식 5]

$$const. : M_t(t + \Delta t) - M_{req}(t + \Delta t) < 0 \\ -5 < \theta_t(t + \Delta t) \leq 0$$

[0083]

[0084] (여기에서, const는 만족시켜야 하는 제약조건이다)

[0086] [수학적 식 6]

$$D.V. : x_i = \alpha_i$$

[0087]

[0088] (여기에서, D.V는 조절이 가능한 설계변수이다)

[0090] 수학적 식 4는 목적함수를 함정의 계통 및 체계 시뮬레이션 모델링에 적용하여 잠수함의 평형 자세가 유지되도록 하는 수학적식이며, 이 과정을 통해 함미트림이 발생하지 않게 된다. 또한, 해당 시간에서의 함미트림각이 -5도 이내를 만족하도록 수학적 식 5와 같은 조건을 설정하였으며, 이때 벤트 밸브의 개폐조절값(α_i)을 수학적 식 6과 같이 설계변수로 설정하였다.

[0092] 이러한 시뮬레이션 모델링에 따른 시뮬레이션 결과를 도 2 내지 도 6을 통해 살펴보면 다음과 같다.

- [0093] 도 2는 함미부력탱크의 벤트 밸브 개방 지연시간에 따른 함미트림각을 도시한 도면이다.
- [0094] 도 2를 살펴보면, 먼저, 케이스 1(Case 1)은 잠수함의 안정성에 문제를 야기하는 함미트림이 발생하는 상황을 의미하고, 케이스 2(Case 2)는 이러한 함미트림을 해결하기 위하여 함미부력탱크의 벤트 밸브의 개폐 시간을 지연시킨 상황을 의미하고, 케이스 3-1(Case 1), 케이스 3-2(Case 3-2), 케이스 3-3(Case 3-3)은 함수부력탱크와 함미부력탱크 각각의 벤트 밸브의 개폐 시간을 지연시킨 상황을 각각 의미하게 된다.
- [0095] 잠수함이 수상상태에서 잠항을 할 때 함미트림이 발생한 케이스 1을 살펴보면, 최대 13도의 함미트림각이 발생되면서 유체 관성력에 영향을 받게 된다.
- [0096] 하지만, 케이스 2에서는 함미부력탱크의 벤트 밸브 개방 시간에 10초의 지연을 줌으로써, 10초 동안 함수부력탱크에만 충수가 이루어지므로, 함수트림각이 최대 -8도 크기로 발생되지만 함미트림은 발생되지 않음을 알 수 있다.
- [0097] 한편, 함수부력탱크와 함미부력탱크의 벤트 밸브 개방 시간에 지연을 준 케이스 3-1, 케이스 3-2, 케이스 3-3의 경우에는 케이스 1, 케이스 2와 비교하여 상대적으로 트림각도 변화가 적음을 알 수 있다. 이러한 점을 모멘트 곡선을 통해 살펴보면 다음과 같다.
- [0099] 도 3을 살펴보면, 케이스 1, 케이스 2와는 달리, 케이스 3-1, 케이스 3-2, 케이스 3-3의 경우에는 수상상태에서의 실시간 모멘트(M_t)가 중성부력상태에서의 모멘트(M_f)까지 도달하는데 최단 거리로 이동됨을 확인할 수 있다. 즉, 케이스 3-1, 케이스 3-2, 케이스 3-3에서는 시간 변화에 따라 매 순간 실시간 모멘트(M_t)가 기준 모멘트(M_{req})와 일치하기 위해서 각각의 함수부력탱크 및 함미부력탱크의 벤트 밸브에서의 개폐동작 제어가 적절히 이루어짐을 알 수 있다.
- [0100] 한편, 함수부력탱크 및 함미부력탱크의 벤트 밸브에서의 개방 지연 시, 지연 시간에 따라 트림각도가 달라지게 되는데, 이에 관해서는 도 4를 통해 살펴보기로 한다.
- [0101] 도 4는 함미부력탱크의 벤트 밸브 개방 지연시간을 달리 적용하였을 경우에 따른 트림각 변화를 도시한 도면이다.
- [0102] 도 4를 살펴보면, 벤트 밸브의 개방 지연시간이 5초인 경우에서의 트림각도 변화는 10초와 비교하였을 때 크지 않지만, 함 운영에 문제가되는 함미트림이 발생함을 알 수 있다.
- [0103] 벤트 밸브의 개방 지연시간이 10초인 경우, 함미트림이 발생하지는 않지만 일반적인 잠항각도(-5도 이내) 보다 큰 함수트림이 발생함을 알 수 있다.
- [0104] 따라서, 본 발명에서는 도 3에서와 같이 기준 모멘트(M_{req})를 설정함에 있어, 함수트림이 -5도 이내를 만족하면서도 함미트림이 발생하지 않도록 설정하게 된다. 한편, 운동에 영향을 미치는 각 잠수함의 특성에 따라 최적 타깃 모멘트의 곡선은 달라질 수 있다.
- [0106] 도 5는 함미부력탱크의 벤트 밸브 개방 지연에 따른 충수량을 도시한 도면이다.
- [0107] 도 5를 살펴보면, 벤트 밸브의 개폐 동작을 조절함에 있어, 잠수함이 수상 평형상태에서 중성부력상태에 도달하기까지 걸리는 시간이 잠항 완료 시간(예컨대, 45초)를 만족하는 것을 알 수 있다.
- [0109] 또한, 이러한 점을 벤트 밸브 입장에서 살펴보면 다음과 같다.
- [0110] 도 6은 공압 밸브 조절 알고리즘을 이용한 잠수함의 잠항 시 자세 제어 시뮬레이션을 통해 함수부력탱크 및 함미부력탱크 각각의 벤트 밸브 조절상태를 도시한 도면이다.
- [0111] 도 6을 살펴보면, 도 6은 상술한 케이스 3-1, 케이스 3-2, 케이스 3-3 중에서, 특히 도 6은 케이스 3-3의 경우에 벤트 밸브의 개폐 조절상태를 나타내고 있는데, 함미트림이 발생하지 않기 위해서는 함수부력탱크(MBT 3, 4)의 벤트 밸브는 100% 개방된 상태를 유지하고 함미부력탱크(MBT 1, 2)는 개폐 조절이 이루어지는 것을 확인할 수 있다.
- [0112] 이러한 시뮬레이션 결과에 따른 잠수함의 자세를 살펴보면 다음과 같다.
- [0114] 도 7은 도 3에 도시된 각 케이스 별 잠수함 자세를 도시한 도면이다.
- [0115] 도 7을 살펴보면, 먼저 케이스 1(잠수함의 안정성에 문제를 야기하는 함미트림이 발생하는 상황)의 경우, 함미

부력탱크가 함수부력탱크에 비해 충수가 빨리 진행됨에 따라 함미트림이 발생한 상태를 의미한다.

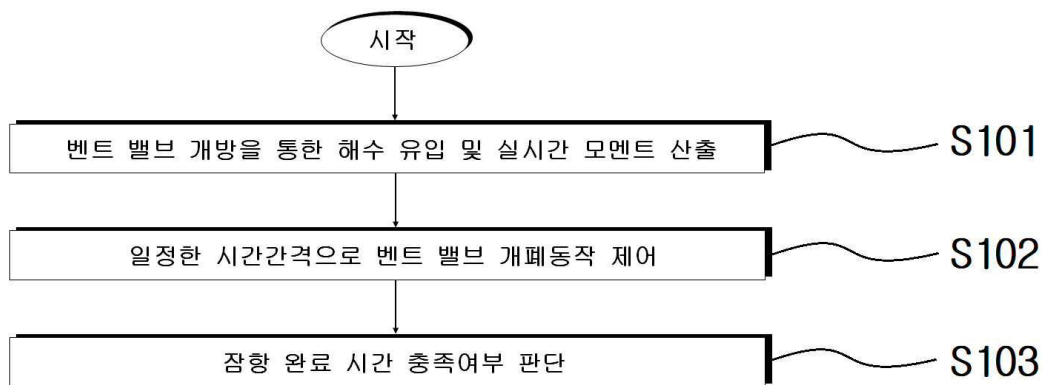
[0116] 케이스 2(함미부력탱크의 벤트 밸브의 개폐 시간을 지연시킨 상황)의 경우, 함미부력탱크 최상단 벤트 밸브의 개방 시간 지연으로 인해 초기에 충수가 함수부력탱크에만 적용됨에 따라 함미트림이 발생하지 않았지만 과도한 함수트림이 발생한 상태를 의미한다.

[0117] 그에 반하여, 케이스 3-3은 벤트 밸브의 개폐상태를 조절함으로써, 주 부력탱크에 충수가 기준 모멘트(M_{req})를 만족하는 평형 자세에 가까운 자세로 잠항하는 상태를 의미한다.

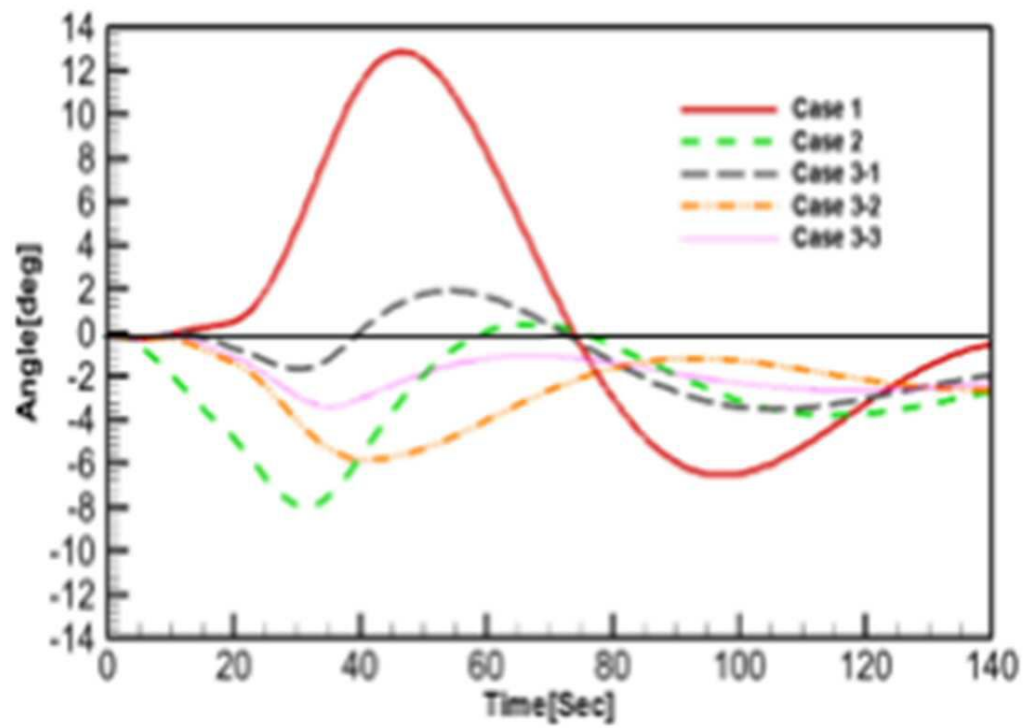
[0119] 살펴본 바와 같이, 본 발명에 따르면 잠수함 잠항 시 함미부력탱크의 벤트 밸브의 개폐상태를 제어하여 충수시간이 지연되도록 함으로써, 함미트림이 발생되지 않고 평형 상태를 유지하면서 실시간 모멘트가 기준 모멘트를 유지하면서 중성부력상태에서의 모멘트에 도달하는지 여부와, 중성부력상태 도달 시간이 잠항 완료 시간을 충족하는지 여부를 정확히 시뮬레이션할 수 있으며, 특히 주 부력탱크만으로 모델링한 잠항 체계에 6자유도 운동이 반영된 조종운동모델과의 연동을 통해 성능을 예측할 수 있으며, 잠항 시 많은 문제를 야기하는 함미트림에 대한 해결방법과 더불어서 평형 자세 유지를 위한 중동요 최소화에 대해 시뮬레이션을 진행할 수 있는 이점과 함께, 입력값으로부터 정확한 시뮬레이션 결과가 도출될 수 있으므로 잠수함을 운용함에 있어 전문적인 운용 경험 이 필요하지 않는 이점을 가질 수 있다.

도면

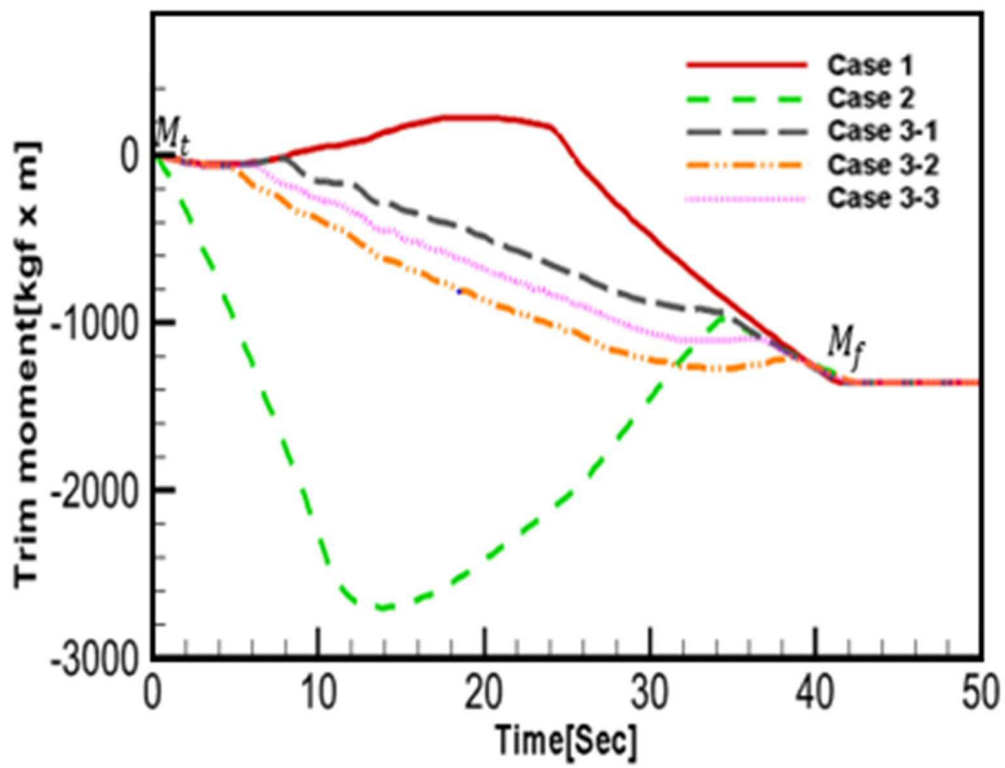
도면1



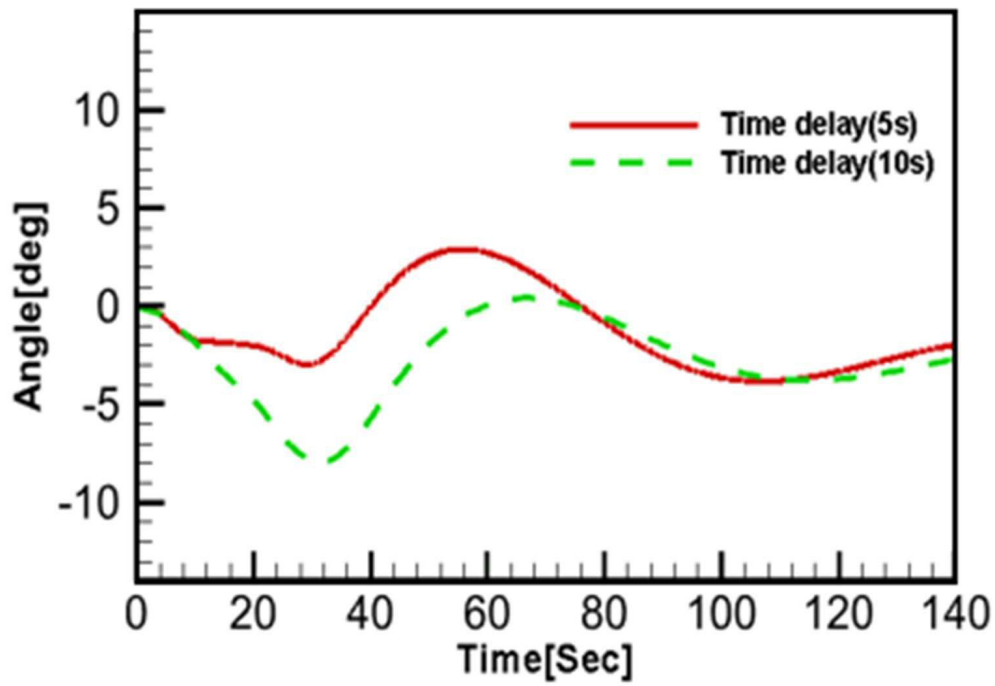
도면2



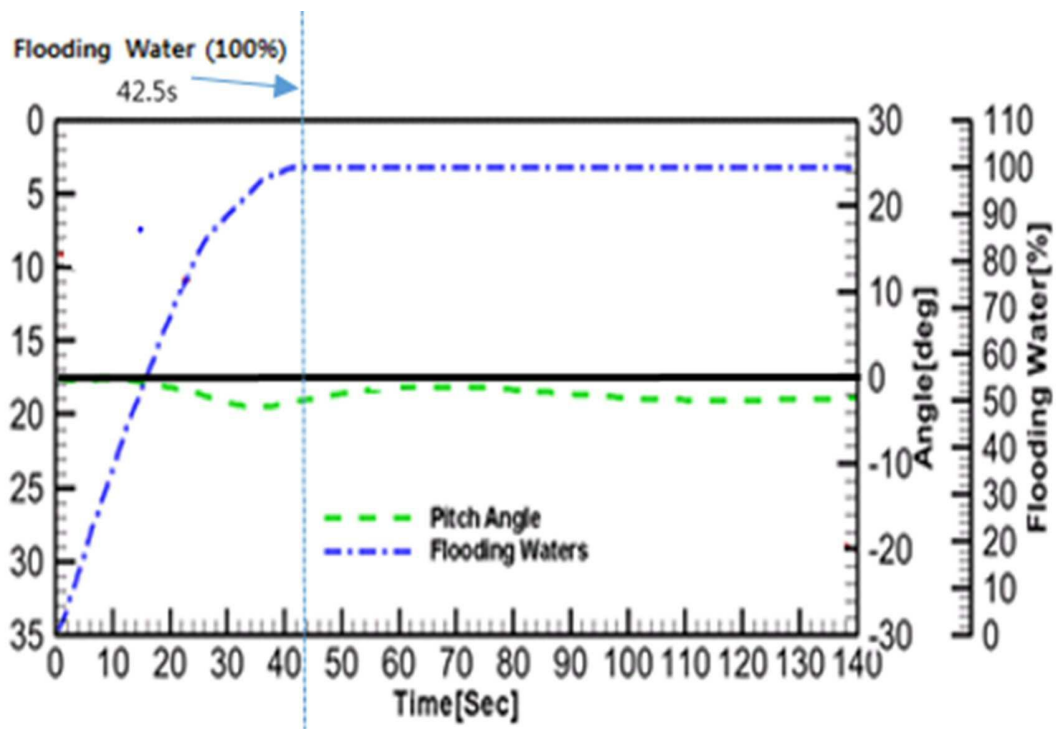
도면3



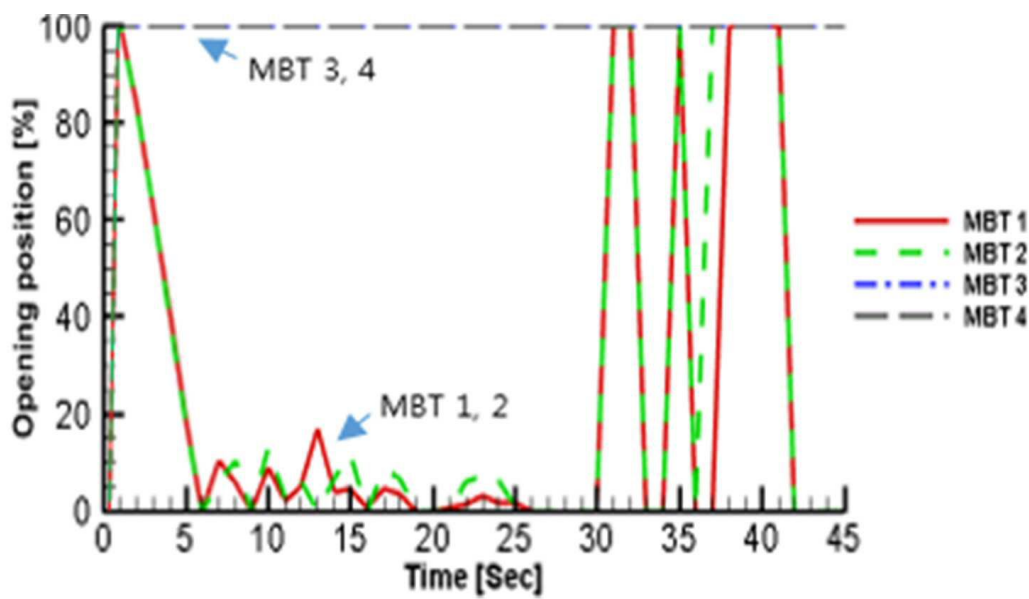
도면4



도면5



도면6



도면7

Submarine motion in simulator		
Case 1		trim by stern
Case 2		trim by head (-8~0°)
Case 3-3		trim by head (-3~0°)