



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0055210
(43) 공개일자 2025년04월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A01K 61/95 (2017.01) A01K 61/85 (2017.01)
A01K 63/00 (2017.01) G01G 17/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
A01K 61/95 (2017.01)
A01K 61/85 (2017.01)
(21) 출원번호 10-2023-0138739
(22) 출원일자 2023년10월17일
심사청구일자 2023년10월17일

(71) 출원인
국립부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 용소로 45, 부경대학교내 (대연동)
(72) 발명자
박정환
경상남도 고성군 하일면 동화3길 63, 301호 (관사동)
이영훈
부산광역시 남구 유엔평화로28번길 26-8, 101호 (대연동, 해오름)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
남건필, 정지향, 차상윤

전체 청구항 수 : 총 17 항

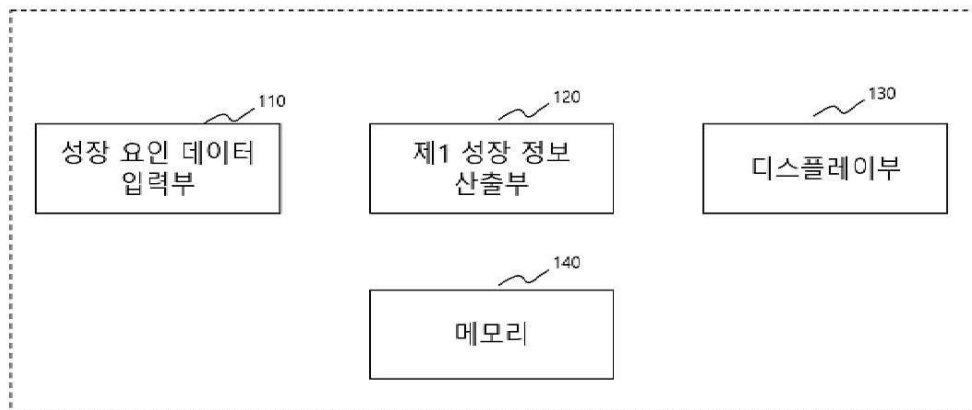
(54) 발명의 명칭 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치 및 어류 성장 예측 방법

(57) 요약

본 발명은 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치 및 어류 성장 예측 방법에 관한 것으로, 본 발명에 따른 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치는 성장 예측 대상 어류의 최초 평균 체중(Wi), 최종 평균 체중(Wf), 총 공급 사료(F), 사육기간(D)을 입력받는 성장 요인 데이터 입력부, 상기 성장 요인 데이터 입력부를 통해 입력 받은 데이터를 변동 성장 모델에 적용하여, 상기 변동 성장 모델에 따른 상기 성장 예측 대상 어류의 성장 정보를 산출하는 제1 성장 정보 산출부 및 상기 제1 성장 정보 산출부에서 산출된 성장 정보를 화면에 출력하는 디스플레이부를 포함한다.

대표도 - 도1

100



(52) CPC특허분류

A01K 63/006 (2013.01)

G01G 17/00 (2013.01)

(72) 발명자

김지수

강원특별자치도 강릉시 교동광장로 138-12, 312동
202호 (교동, 교동주공3단지아파트)

박건우

부산광역시 연제구 거제천로 233 (거제동, 거제동
월드메르디앙아파트)

이재만

경상남도 창원시 마산합포구 가포순환로 33, 111동
1302호 (월영동, 마린애시앙부영)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711193452

과제번호 2021-0-00225-003

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 정보통신기획평가원

연구사업명 ICT융합산업혁신기술개발사업

연구과제명 최적의 수산 양식 설계·운영을 위한 디지털 아쿠아 트윈 핵심 플랫폼 기술 개발

기 여 율 100/100

과제수행기관명 한국전자통신연구원

연구기간 2023.01.01 ~ 2023.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

성장 예측 대상 어류의 최초 평균 체중(Wi), 최종 평균 체중(Wf), 총 공급 사료(F), 사육기간(D)을 입력받는 성장 요인 데이터 입력부;

상기 성장 요인 데이터 입력부를 통해 입력받은 데이터를 변동 성장 모델에 적용하여, 상기 변동 성장 모델에 따른 상기 성장 예측 대상 어류의 성장 정보를 산출하는 제1 성장 정보 산출부; 및

상기 제1 성장 정보 산출부에서 산출된 성장 정보를 화면에 출력하는 디스플레이부를 포함하는 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 제1 성장 정보 산출부는

총 공급 사료(F) 변수를 포함하는 변동 일간 성장률(SGR, Specific Growth Rate) 모델을 기초로 일간 성장률(SGR) 값을 산출하는 것을 특징으로 하는 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 변동 일간 성장률(SGR) 모델은

하기 수학적 식 5에 해당하는 것을 특징으로 하는 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치.

[수학적 식 5]

$$SGR = \frac{100 \circ \text{Ln}\left(\frac{F}{FC \circ W_i} + 1\right)}{D}$$

여기에서, Ln()은 로그함수, FC = F/WG = F/(Wf - Wi)

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 성장 요인 데이터 입력부는

최초 평균 체중(Wi), 최종 평균 체중(Wf), 총 공급 사료(F), 사육기간(D)을 입력받고,

상기 제1 성장 정보 산출부는

사육기간(D) 변수를 포함하는 변동 사료 계수(FC) 모델을 기초로 사료 계수(FC) 값을 산출하는 것을 특징으로 하는 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 변동 사료 계수(FC) 모델은

하기 수학적 식 7에 해당하는 것을 특징으로 하는 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치.

[수학적 식 7]

$$FC = \frac{F}{\left[\text{Exp}\left(\frac{SGR \circ D}{100}\right) - 1 \right] \circ W_i}$$

여기에서, Exp()은 지수함수, $SGR = (\ln(W_f) - \ln(W_i)) \times 100 / D$

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 성장 요인 데이터 입력부는

최초 평균 체중(W_i), 최종 평균 체중(W_f), 총 공급 사료(F), 평균 수온(T), 사육기간(D)을 입력받고,

상기 제1 성장 정보 산출부는

총 공급 사료(F) 변수를 포함하는 변동 수온 의존 성장(TGC, Thermal unit Growth Coefficient) 모델을 기초로 수온 의존 성장 계수(TGC) 값을 산출하는 것을 특징으로 하는 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 변동 수온 의존 성장(TGC) 모델은

하기 수학적 식 12에 해당하는 것을 특징으로 하는 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치.

[수학적 식 12]

$$TGC = \left[\left(\frac{F}{FC \circ W_i} + 1 \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right] \times \frac{1000 \circ W_i^{\frac{1}{3}}}{T \circ D}$$

여기에서, $FC = F/WG = F/(W_f - W_i)$

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 성장 요인 데이터 입력부는

최초 평균 체중(W_i), 최종 평균 체중(W_f), 총 공급 사료(F), 평균 수온(T), 사육기간(D)을 입력받고,

상기 제1 성장 정보 산출부는

사육기간(D) 및 평균 수온(T) 변수를 포함하는 변동 사료 계수(FC) 모델을 기초로 사료 계수(FC) 값을 산출하는 것을 특징으로 하는 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 변동 사료 계수(FC) 모델은

하기 수학적 식 13에 해당하는 것을 특징으로 하는 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치.

[수학적 식 13]

$$FC = \frac{F}{\left[\left(\frac{TGC \circ T \circ D}{1000 \circ W_i^{\frac{1}{3}}} + 1 \right)^3 - 1 \right] \circ W_i}$$

여기에서, $TGC = (W_f^{1/3} - W_i^{1/3}) \times 1000 / (T \times D)$

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치는

기존 성장 모델에 따른 상기 성장 예측 대상 어류의 성장 정보를 산출하는 제2 성장 정보 산출부; 및

상기 제1 성장 정보 산출부에서 산출된 제1 성장 정보와 상기 제2 성장 정보 산출부에서 산출된 제2 성장 정보를 비교하여 상기 변동 성장 모델의 신뢰도를 검증하는 검증부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치.

청구항 11

제10항에 있어서, 상기 검증부는

상기 제1 성장 정보와 상기 제2 성장 정보의 일치율이 기 설정된 제1 문턱 값과 기 설정된 제2 문턱 값 사이인 경우, 상기 변동 성장 모델의 신뢰도가 있는 것으로 판정하는 것을 특징으로 하는 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치.

청구항 12

성장 요인 데이터 입력부가 성장 예측 대상 어류에 대한 성장 요인 데이터를 입력받는 단계;

제1 성장 정보 산출부가 상기 성장 요인 데이터를 통해 입력받은 데이터를 변동 성장 모델에 적용하여, 상기 변동 성장 모델에 따른 상기 성장 예측 대상 어류의 제1 성장 정보를 산출하는 단계; 및

디스플레이부가 상기 제1 성장 정보 산출부에서 산출된 성장 정보를 화면에 출력하는 단계를 포함하는 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

제2 성장 정보 산출부가 기존 성장 모델에 따른 상기 성장 예측 대상 어류의 제2 성장 정보를 산출하는 단계; 및

검증부가 상기 제1 성장 정보 산출부에서 산출된 제1 성장 정보와 상기 제2 성장 정보 산출부에서 산출된 제2 성장 정보를 비교하여 상기 변동 성장 모델의 신뢰도를 검증하는 단계를 더 포함하는 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 방법.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 성장 요인 데이터를 입력받는 단계는 최초 평균 체중(W_i), 최종 평균 체중(W_f), 총 공급 사료(F), 사육기간(D)을 입력받고,

상기 제1 성장 정보를 산출하는 단계는 총 공급 사료(F) 변수를 포함하는 변동 일간 성장률(SGR, Specific Growth Rate) 모델을 기초로 일간 성장률(SGR) 값을 산출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 방법.

청구항 15

제12항에 있어서,

상기 성장 요인 데이터를 입력받는 단계는 최초 평균 체중(W_i), 최종 평균 체중(W_f), 총 공급 사료(F), 사육기간(D)을 입력받고,

상기 제1 성장 정보를 산출하는 단계는 사육기간(D) 변수를 포함하는 변동 사료 계수(FC) 모델을 기초로 사료 계수(FC) 값을 산출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 방법.

청구항 16

제12항에 있어서,

상기 성장 요인 데이터를 입력받는 단계는 최초 평균 체중(W_i), 최종 평균 체중(W_f), 총 공급 사료(F), 평균 수온(T), 사육기간(D)을 입력받고,

상기 제1 성장 정보를 산출하는 단계는 총 공급 사료(F) 변수를 포함하는 변동 수온 의존 성장(TGC, Thermal unit Growth Coefficient) 모델을 기초로 수온 의존 성장 계수(TGC) 값을 산출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 방법.

청구항 17

제12항에 있어서,

상기 성장 요인 데이터를 입력받는 단계는 최초 평균 체중(W_i), 최종 평균 체중(W_f), 총 공급 사료(F), 평균 수온(T), 사육기간(D)을 입력받고,

상기 제1 성장 정보를 산출하는 단계는 사육기간(D) 및 평균 수온(T) 변수를 포함하는 변동 사료 계수(FC) 모델을 기초로 사료 계수(FC) 값을 산출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 어류에 대한 변동 성장 모델을 기반으로 어류의 성장을 예측하는 장치 및 성장을 예측하는 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 어류의 성장에 영향을 주는 사료공급량, 사육 기간, 수온 요인 등을 복합적으로 고려한 변동 성장 모델을 이용하여 보다 정확하게 어류의 성장을 예측할 수 있는 어류 성장 예측 장치 및 어류 성장 예측 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 세계 인구와 동물성 단백질 소비 증가로 수산물의 수요가 급증하고 있다. 어류를 포획하는 어업은 기후 변화와 무분별한 남획으로 생산량이 한계점에 도달했다. 이로 인해 양식업은 현재 전 세계에서 가장 빠르게 성장하고 있는 식품 생산 부문이며 미래 식량 안보에 기여하는 핵심 산업이다. 양식업은 단백질의 중요한 원천을 제공할 뿐만 아니라 양식장 주변 서식지 복원 및 야생 개체군 보충과 같은 자연 생태계에도 기여할 수 있다. 하지만 집약적인 양식업의 발전과 함께 양식 노폐물의 증가가 양식장 내부의 생산성과 주변 수중 생태계에 영향을 줄 수 있다는 우려가 제기되고 있다. 더불어 병원체 전파, 항생제 내성 증가, 생사로 생산을 위한 수산 자원 남획, 외래종의 도입 등의 문제가 동반된다. 따라서 양식 산업이 사회적 및 환경적으로 지속가능성을 확보하기 위한 노력이 필요하다.
- [0003] 이에 집약적인 어류 생산과 환경 지속 가능성이 양립할 수 있는 순환여과양식 시스템(Recirculating aquaculture system, RAS)에 대한 관심과 중요성이 증가하고 있다. RAS는 양식장에서 배출되는 이화학·생물학적 노폐물에 의해 오염된 물을 양식 생물이 살 수 있도록 처리하여 재사용하는 시스템이다. RAS는 물 사용을 줄이고, 노폐물 처리 및 재활용, 폐쇄적인 환경으로 위생적인 질병 관리 및 생물학적 오염 제어가 가능하며 어류가 성장하는데 가장 적합한 환경을 일정하게 유지해 줄 수 있다.
- [0004] 수온은 어류의 성장과 신진대사, 본질적으로 사료 섭취에 영향을 미치는 가장 중요한 환경 요인 중의 하나이다. RAS에서는 이런 수온을 일정하게 유지해 줄 수 있어 어류의 활발한 사료 섭취로 최적의 성장을 가능하게 한다. 또 이런 최적의 성장과 양식장 운영 비용을 줄이기 위해 시기 적절하게 사료를 공급하는 Adaptive feeding system(적응형 급이 시스템)이 도입되고 있다. 이처럼 RAS는 외부 환경에 미치는 영향이 적어 현재 양식 산업의 문제점인 외부 환경오염을 최소화하며, 동시에 내부 환경을 조절하여 어류 성장에 최적의 환경을 조성해 지속가능하며 경제적인 미래 양식 산업에 필수적인 기술이 접목된 시스템이다.
- [0005] 성장은 시간이 흐르면서 하나의 생물 체계가 조화를 이뤄 점진적으로 생체량이 증가하는 것으로 정의한다. 나이에 따라 생물의 크기가 변화하는 성장은 수많은 과정을 통합하고 어류의 생활사를 형성하는 가장 기본적인면서 중요한 생물학적 과정의 총합이다. 어류의 성장은 사료 섭취와 동물의 조직 내 영양소의 흡수가 일어나면서 발생하는 일련의 행동학적 및 생리학적 과정의 결과물로서 매우 복잡한 과정을 수반한다. 어류의 성별, 나이, 사육 밀도, 수온, 용존 산소 이외의 다른 수질 요인들은 어류의 성장에 영향을 주지만 주로 사료의 품질과 섭취가 가장 많은 영향을 준다. 어류의 성장은 양식업에서 경제적 이익과 관련하여 가장 중요한 영향을 미치는 요소이다. 따라서 대부분의 양식 현장 조건의 경우, 각기 다른 환경조건에서 실질적인 어류의 증중량, 사료 섭취율, 성장 효율 측정을 통한 성장 예측과 모니터링 방안을 개발하는 것은 필수적인 요소이다. 일반적으로 어류의 성장을 모니터링하고 예측하기 위한 모델로서는 생리학적 과정의 최종 결과물인 가시적인 성장량 기준으로 성장을 예측하는 Growth Model과 사료 공급과 에너지 수지를 기준으로 성장을 예측하는 Bioenergetic Model로 크게 나눌 수 있다. 양식 산업에서 주로 어류의 성장을 Growth Model인 Absolute/Relative growth rate model (절대/상대 성장률 모델) 및 Specific growth rate (SGR, 일간 성장률)을 사용하여 나타낸다. 각각은 크기와 시간 사이의 특정 관계를 가정하고 성장을 수치화한 표현이다.
- [0006] 어류의 성장 효율을 극대화하고 양식장의 경제성을 향상시키기 위해 최선의 방안으로 주로 성장 속도와 사료 섭취량에 근거한 수학적 모델을 이용한다. 성장 속도에 근거한 Specific growth rate (SGR, 일간 성장률) 모델은 가장 보편적인 성장 측정 방법의 하나이며, 어류의 단위 체중당 일간 성장률로 표현한다. 또 다른 성장 속도에 기반을 둔 Thermal unit growth coefficient (TGC, 수온 의존 성장)은 수온 변수를 추가하여 SGR 모델을 보정한 성장 모델 식이다. 사료 섭취량과 증중량에 근거한 Feed coefficient(FC, 사료 계수) 총 사료 섭취량을 증중량으로 나눈 값으로 사료 효율(Feed efficiency)과 역수 관계이다. FC 모델은 사료 비용 절감과 환경 영향을 통해 양식 지속 가능성을 개선하는데 주요 관심 대상이다.
- [0007] 앞서 언급한 성장 모델들은 현재 양식 산업에서 주로 사용되고 있지만 각각의 모델은 어류 성장에 중요한 요인 변수들이 모두 반영되어 있지 않다. 따라서 단일 성장 모델로 성장을 예측하는 것은 한계점이 존재한다.
- [0008] 예를 들어, SGR 모델은 어체중이 기하급수적으로 증가한다고 가정하고 있다. 또 성장 속도를 근거로 한 SGR 모델은 어체의 중량 및 길이, 사육 기간은 수식에 적용되어 있으나 어류의 성장에 있어 가장 중요한 요소 중 하나인 사료 섭취량에 대한 정보는 포함되어 있지 않다. 일반적으로 SGR 모델은 사료가 반복 공급이 된다고 가정한다. 그러나 사육 기간 중 사료 공급을 중단하거나 사료 공급량이 조절되는 경우, 기존의 SGR 모델에 의한 어체 크기 또는 생산 기간 예측이 부정확할 수 있다. 특히 반복 공급의 개념은 사료 공급자에 따라 매우 달라, SGR

모델에 의한 예측은 사료 투입량에 따른 성장 속도의 변화 수준을 반영하기 어렵다.

[0009] TGC 모델은 SGR 모델 식에 사용되는 변수에 수온이라는 변수가 추가되며 SGR 모델과 비교하여 어류의 실제 성장 패턴에 대한 더 정확한 정보를 제공할 수 있다. 그러나 TGC 모델은 SGR 모델과 마찬가지로 사료 요구량이 포함 되어 있지 않다. 어류는 변온동물로서 대사량 및 사료 섭취량이 수온에 크게 영향을 받는다. 이 모델은 이런 영향을 반영하지 않고 SGR 모델을 보정할 수 있는 장점이 있으나, 수온이라는 변수가 정해져 있어 다양한 환경 조건에서 성장을 비교하는데 편향적일 수 있다.

[0010] FC 모델은 반대로 사료 섭취량과 어체의 증중량만을 고려하여 사육 기간을 반영하지 못한다. 또 어류 사육에서는 개별 어체가 섭취한 사료량을 정확하게 측정할 수 없다는 불확실한 점이 존재한다. 정확도가 떨어짐에도 불구하고 FC는 성장과 뚜렷한 음의 상관관계를 가지며, 공급 사료량 대비 증중량만을 알 수 있는 상대적인 지표로 실제 어류의 성장과 상태를 파악하는데 한계가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0012] (특허문헌 0001) 한국 등록특허공보 10-2493984(2023.01.26)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0013] 본 발명은 어류의 성장에 영향을 주는 사료공급량, 사육 기간, 수온 요인 등을 복합적으로 고려한 변동 성장 모델을 이용하여 보다 정확하게 어류의 성장을 예측할 수 있는 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치 및 어류 성장 예측 방법을 제공한다.

[0014] 본 발명은 기존의 성장 모델을 보완하여 특정 종 또는 연구에 적합한 다중 성장 모델을 이용한 어류의 성장을 예측할 수 있는 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치 및 어류 성장 예측 방법을 제공한다.

[0015] 본 발명은 양식장 현장에서 어류가 실제로 문제없이 제대로 사육 및 관리되고 있는지 확인할 수 있는 기준과 범위를 제시할 수 있는 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치 및 어류 성장 예측 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0017] 본 발명에 따른 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치는 성장 예측 대상 어류의 최초 평균 체중(Wi), 최종 평균 체중(Wf), 총 공급 사료(F), 사육기간(D)을 입력받는 성장 요인 데이터 입력부, 상기 성장 요인 데이터 입력부를 통해 입력받은 데이터를 변동 성장 모델에 적용하여, 상기 변동 성장 모델에 따른 상기 성장 예측 대상 어류의 성장 정보를 산출하는 제1 성장 정보 산출부 및 상기 제1 성장 정보 산출부에서 산출된 성장 정보를 화면에 출력하는 디스플레이부를 포함한다.

[0018] 일 실시예에서, 상기 제1 성장 정보 산출부는 총 공급 사료(F) 변수를 포함하는 변동 일간 성장률(SGR, Specific Growth Rate) 모델을 기초로 일간 성장률(SGR) 값을 산출할 수 있다.

[0019] 일 실시예에서, 상기 변동 일간 성장률(SGR) 모델은 하기 수학적 식 5에 해당할 수 있다.

[0020] [수학적 식 5]

$$SGR = \frac{100 \circ \text{Ln}\left(\frac{F}{FC \circ W_i} + 1\right)}{D}$$

[0021]

[0022] 여기에서, $\text{Ln}()$ 은 로그함수, $FC = F/WG = F/(W_f - W_i)$

[0023] 일 실시예에서, 상기 성장 요인 데이터 입력부는 최초 평균 체중(W_i), 최종 평균 체중(W_f), 총 공급 사료(F), 사육기간(D)을 입력받고, 상기 제1 성장 정보 산출부는 사육기간(D) 변수를 포함하는 변동 사료 계수(FC) 모델을 기초로 사료 계수(FC) 값을 산출할 수 있다.

[0024] 일 실시예에서, 상기 변동 사료 계수(FC) 모델은 하기 수학식 7에 해당할 수 있다.

[0025] [수학식 7]

$$FC = \frac{F}{\left[\text{Exp}\left(\frac{SGR \circ D}{100}\right) - 1 \right] \circ W_i}$$

[0026]

[0027] 여기에서, $\text{Exp}()$ 은 지수함수, $SGR = (\text{Ln}(W_f) - \text{Ln}(W_i)) \times 100 / D$

[0028] 일 실시예에서, 상기 성장 요인 데이터 입력부는 최초 평균 체중(W_i), 최종 평균 체중(W_f), 총 공급 사료(F), 평균 수온(T), 사육기간(D)을 입력받고, 상기 제1 성장 정보 산출부는 총 공급 사료(F) 변수를 포함하는 변동 수온 의존 성장(TGC , Thermal unit Growth Coefficient) 모델을 기초로 수온 의존 성장 계수(TGC) 값을 산출할 수 있다.

[0029] 일 실시예에서, 상기 변동 수온 의존 성장(TGC) 모델은 하기 수학식 12에 해당할 수 있다.

[0030] [수학식 12]

$$TGC = \left[\left(\frac{F}{FC \circ W_i} + 1 \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right] \times \frac{1000 \circ W_i^{\frac{1}{3}}}{T \circ D}$$

[0031]

[0032] 여기에서, $FC = F/WG = F/(W_f - W_i)$

[0033] 일 실시예에서, 상기 성장 요인 데이터 입력부는 최초 평균 체중(W_i), 최종 평균 체중(W_f), 총 공급 사료(F), 평균 수온(T), 사육기간(D)을 입력받고, 상기 제1 성장 정보 산출부는 사육기간(D) 및 평균 수온(T) 변수를 포함하는 변동 사료 계수(FC) 모델을 기초로 사료 계수(FC) 값을 산출할 수 있다.

[0034] 일 실시예에서, 상기 변동 사료 계수(FC) 모델은 하기 수학식 13에 해당할 수 있다.

[0035] [수학식 13]

$$FC = \frac{F}{\left[\left(\frac{TGC \circ T \circ D}{1000 \circ W_i^{\frac{1}{3}}} + 1 \right)^3 - 1 \right] \circ W_i}$$

[0036]

[0037] 여기에서, $TGC = (W_f^{1/3} - W_i^{1/3}) \times 1000 / (T \times D)$

[0038] 일 실시예에서, 상기 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치는 기존 성장 모델에 따른 상기 성장 예측 대상 어류의 성장 정보를 산출하는 제2 성장 정보 산출부 및 상기 제1 성장 정보 산출부에서 산출된 제1 성장 정보와 상기 제2 성장 정보 산출부에서 산출된 제2 성장 정보를 비교하여 상기 변동 성장 모델의 신뢰도를 검증하

는 검증부를 더 포함할 수 있다.

- [0039] 일 실시예에서, 상기 검증부는 상기 제1 성장 정보와 상기 제2 성장 정보의 일치율이 기 설정된 제1 문턱 값과 기 설정된 제2 문턱 값 사이인 경우, 상기 변동 성장 모델의 신뢰도가 있는 것으로 판정할 수 있다.
- [0040] 본 발명에 따른 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 방법은 성장 요인 데이터 입력부가 성장 예측 대상 어류에 대한 성장 요인 데이터를 입력받는 단계, 제1 성장 정보 산출부가 상기 성장 요인 데이터 입력부를 통해 입력받은 데이터를 변동 성장 모델에 적용하여, 상기 변동 성장 모델에 따른 상기 성장 예측 대상 어류의 제1 성장 정보를 산출하는 단계 및 디스플레이부가 상기 제1 성장 정보 산출부에서 산출된 성장 정보를 화면에 출력하는 단계를 포함한다.
- [0041] 일 실시예에서, 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 방법은 제2 성장 정보 산출부가 기존 성장 모델에 따른 상기 성장 예측 대상 어류의 제2 성장 정보를 산출하는 단계 및 검증부가 상기 제1 성장 정보 산출부에서 산출된 제1 성장 정보와 상기 제2 성장 정보 산출부에서 산출된 제2 성장 정보를 비교하여 상기 변동 성장 모델의 신뢰도를 검증하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0042] 일 실시예에서, 상기 성장 요인 데이터를 입력받는 단계는 최초 평균 체중(Wi), 최종 평균 체중(Wf), 총 공급 사료(F), 사육기간(D)을 입력받고, 상기 제1 성장 정보를 산출하는 단계는 총 공급 사료(F) 변수를 포함하는 변동 일간 성장률(SGR, Specific Growth Rate) 모델을 기초로 일간 성장률(SGR) 값을 산출하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0043] 일 실시예에서, 상기 성장 요인 데이터를 입력받는 단계는 최초 평균 체중(Wi), 최종 평균 체중(Wf), 총 공급 사료(F), 사육기간(D)을 입력받고, 상기 제1 성장 정보를 산출하는 단계는 사육기간(D) 변수를 포함하는 변동 사료 계수(FC) 모델을 기초로 사료 계수(FC) 값을 산출하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0044] 일 실시예에서, 상기 성장 요인 데이터를 입력받는 단계는 최초 평균 체중(Wi), 최종 평균 체중(Wf), 총 공급 사료(F), 평균 수온(T), 사육기간(D)을 입력받고, 상기 제1 성장 정보를 산출하는 단계는 총 공급 사료(F) 변수를 포함하는 변동 수온 의존 성장(TGC, Thermal unit Growth Coefficient) 모델을 기초로 수온 의존 성장 계수(TGC) 값을 산출하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0045] 일 실시예에서, 상기 성장 요인 데이터를 입력받는 단계는 최초 평균 체중(Wi), 최종 평균 체중(Wf), 총 공급 사료(F), 평균 수온(T), 사육기간(D)을 입력받고, 상기 제1 성장 정보를 산출하는 단계는 사육기간(D) 및 평균 수온(T) 변수를 포함하는 변동 사료 계수(FC) 모델을 기초로 사료 계수(FC) 값을 산출하는 단계를 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0047] 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명에 따른 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치 및 어류 성장 예측 방법은 어류의 성장에 영향을 주는 사료공급량, 사육 기간, 수온 요인 등을 복합적으로 고려한 변동 성장 모델을 이용하여 보다 정확하게 어류의 성장을 예측할 수 있다.
- [0048] 본 발명에 따른 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치 및 어류 성장 예측 방법은 기존의 성장 모델을 보완하여 특정 종 또는 연구에 적합한 다중 성장 모델을 이용한 어류의 성장을 예측할 수 있다.
- [0049] 본 발명에 따른 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치 및 어류 성장 예측 방법은 양식장 현장에서 어류가 실제로 문제없이 제대로 사육 및 관리되고 있는지 확인할 수 있는 기준과 범위를 제시할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0051] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치의 구성을 나타내는 도면
 도 2는 해수 순환여과식 사육 시스템(RAS, Recirculating Aquaculture System)을 도식화하여 나타낸 도면
 도 3은 4개의 실험 그룹에 대한 각각 다른 사료 공급률(feeding rate)을 정리한 표
 도 4는 8주간의 어류 사육 기간 동안 각 실험 그룹에 대한 수질 분석 결과를 나타내는 도면

도 5는 8주간의 어류 사육을 마치고 측정한 각 실험 그룹별 성장 결과(총 중량, 사육 밀도, SGR 및 TGC)를 나타내는 도면

도 6은 8주간의 어류 사육을 마치고 측정한 각 실험 그룹별 변동 일간 성장률(Variation SGR) 값을 나타내는 도면

도 7은 각 실험 그룹별 기존 일간 성장률 모델 값(actual SGR)과 변동 일간 성장률 모델 값(Prediction SGR)을 비교한 도면

도 8은 8주간의 어류 사육을 마치고 측정한 각 실험 그룹별 변동 수온 의존 성장 계수(Variation TGC) 값을 나타내는 도면

도 9는 각 실험 그룹별 기존 수온 의존 성장 계수 모델 값(actual TGC)과 변동 수온 의존 성장 계수 모델 값(Prediction TGC)을 비교한 도면

도 10은 8주간의 어류 사육을 마치고 측정한 각 실험 그룹별 변동 사료 계수(FC) 값을 나타내는 도면

도 11은 각 실험 그룹별 기존 사료 계수 모델 값(actual FC)과 변동 사료 계수 모델 값(Prediction FC)을 비교한 도면

도 12는 각 실험 그룹별 기존 성장 모델 값과 변동 성장 모델 값 사이의 일치율을 비교한 도면

도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 방법을 설명하는 흐름도

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0052] 이하, 본 발명에 따른 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치 및 어류 성장 예측 방법을 실시하기 위한 구체적인 내용을 설명하면 다음과 같다.

[0054] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치의 구성을 나타내는 도면이다.

[0055] 도 1을 참조하면, 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치(100)는 성장 요인 데이터 입력부(110), 제1 성장 정보 산출부(120), 디스플레이부(130) 및 메모리(140)를 포함한다.

[0056] 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치(100)는 대상 어류의 성장에 영향을 주는 사료공급량, 사육 기간, 수온 요인 등을 복합적으로 고려한 변동 성장 모델을 이용하여 대상 어류의 성장을 예측한다.

[0057] 성장 요인 데이터 입력부(110)는 성장 예측 대상 어류에 대한 성장 요인 데이터를 입력받는다. 예를 들어, 성장 요인 데이터는 최초 평균 체중(Wi), 최종 평균 체중(Wf), 총 공급 사료(F), 평균 수온(T) 및 사육기간(D) 가운데 적어도 하나 이상을 포함할 수 있다. 입력받는 성장 요인 데이터는 성장 모델의 종류에 따라 달라질 수 있다.

[0058] 일 실시예에서, 성장 요인 데이터 입력부(110)는 사용자의 제어에 따라 성장 요인 데이터를 입력받을 수 있다. 다른 실시예에서, 성장 요인 데이터 입력부(110)는 사용자의 제어에 따라 메모리(140)에 저장된 성장 요인 데이터를 읽어 올 수도 있다. 메모리(140)에는 사용자의 제어에 따라 입력받은 성장 요인 데이터 또는 양식장에서 센서를 통해 측정된 성장 요인 데이터가 데이터베이스로 미리 저장될 수 있다. 예를 들어, 메모리(140)에는 사용자에게 의해 직접 측정된 어류의 최초 평균 체중(Wi), 최종 평균 체중(Wf), 총 공급 사료(F), 평균 수온(T) 및 사육기간(D)이 미리 저장될 수 있다. 또는, 메모리(140)에는 양식장의 영상 센서를 통해 촬영된 대상 어류의 사이즈에 대응하여 산출된 최초 평균 체중(Wi) 및 최종 평균 체중(Wf), Adaptive feeding system (적응형 급이 시스템)에서 측정된 총 공급 사료(F), 온도 센서를 통해 측정된 양식장의 평균 수온(T) 및 시계를 통해 산출된 양식장에서의 사육기간(D))이 자동으로 측정되어 미리 저장될 수 있다.

[0059] 제1 성장 정보 산출부(120)는 성장 요인 데이터 입력부(110)를 통해 입력받은 데이터를 변동 성장 모델에 적용하여, 변동 성장 모델에 따른 성장 예측 대상 어류의 성장 정보를 산출한다.

[0060] 변동 성장 모델은 다음과 같이 산출될 수 있다.

[0061] SGR 모델의 변수는 최종 평균 체중(Wf), 최초 평균 체중(Wi) 및 사육 기간 (D)이며 Wf과 Wi에 log 함수를 적용한 식으로 하기 수학식 1과 같이 정의될 수 있다. FC 모델의 변수는 최종 평균 체중(Wf), 최초 평균 체중(Wi)

및 총 공급 사료량 (F)으로 F를 증중량으로 나눈 식으로 하기 수학적 3과 같이 정의될 수 있다. TGC 모델은 최종 평균 체중(Wf), 최초 평균 체중(Wi) 및 사육 기간(D)에 평균 수온(T) 변수가 추가되었다. TGC 모델은 하기 수학적 10으로 정의될 수 있다.

[0062] SGR, TGC, FC 세 모델의 식의 공통 변수는 최종 평균 체중(Wf), 최초 평균 체중(Wi)이며, SGR과 TGC 모델 식은 총 공급 사료량(F) 그리고 FC 모델 식은 사육 기간 (D), 평균 수온(T)이 변수로 포함되지 않는다.

[0063] 총 공급 사료(F) 변수가 포함된 변동 SGR 모델을 만들기 위해 우선 SGR 모델과 FC 모델의 공통 변수인 Wf/Wi을 좌항으로 보낸 뒤 식을 전개할 수 있다. 하기 수학적 2는 Wf/Wi을 좌항으로 보낸 SGR 모델을 산출하는 과정을 나타내며, 하기 수학적 4는 Wf/Wi을 좌항으로 보낸 FC 모델을 산출하는 과정을 나타낸다.

[0064] [수학적 1]

$$SGR = \frac{\ln W_f - \ln W_i}{D} \times 100$$

[0065]

[0066] 여기에서, Ln()은 로그함수, Wi는 최초 평균 체중, Wf는 최종 평균 체중, D는 사육기간을 나타낸다.

[0067] [수학적 2]

$$SGR = \frac{\ln W_f - \ln W_i}{D} \times 100$$

$$\Rightarrow \ln W_f - \ln W_i = \frac{SGR \circ D}{100}$$

$$\Rightarrow \ln \left(\frac{W_f}{W_i} \right) = \frac{SGR \circ D}{100}$$

$$\frac{W_f}{W_i} = \text{Exp} \left(\frac{SGR \circ D}{100} \right)$$

[0068]

[0070] [수학적 3]

$$FC = \frac{F}{WG} = \frac{F}{W_f - W_i}$$

[0071]

[0072] 여기에서, F는 총 공급 사료량, WG는 증중량(Wf - Wi)을 나타낸다.

[0073] [수학식 4]

$$FC = \frac{F}{WG} = \frac{F}{W_f - W_i}$$

$$\Rightarrow W_f - W_i = \frac{F}{FC}$$

$$\Rightarrow \frac{W_f}{W_i} - \frac{W_i}{W_i} = \frac{F}{FC \circ W_i}$$

$$\frac{W_f}{W_i} = \frac{F}{FC \circ W_i} + 1$$

[0074]

[0075] SGR 모델을 전개한 수학식 2와 FC 모델을 전개한 수학식 4의 W_f/W_i 의 우항들을 결합하면 총 공급 사료량(F) 변수를 포함하는 변동 SGR 모델(수학식 5)을 산출할 수 있으며, 수학식 6은 총 공급 사료량(F) 변수를 포함하는 변동 SGR 모델을 산출하는 과정을 나타낸다.

[0076] [수학식 5]

$$SGR = \frac{100 \circ \text{Ln}\left(\frac{F}{FC \circ W_i} + 1\right)}{D}$$

[0077]

[0078] [수학식 6]

$$\frac{SGR \circ D}{100} = \text{Ln}\left(\frac{F}{FC \circ W_i} + 1\right)$$

$$\Rightarrow SGR = \frac{100 \circ \text{Ln}\left(\frac{F}{FC \circ W_i} + 1\right)}{D}$$

[0079]

[0080] 또한, SGR 모델을 전개한 수학식 2와 FC 모델을 전개한 수학식 4의 W_f/W_i 의 우항들을 결합하면, 사육 기간(D)

변수를 포함하는 변동 FC 모델(수학식 7) 및 사육 기간(D) 변수가 포함된 총 공급 사료량(F) 예측 모델인 수학식 8과 같은 변동 모델을 산출할 수 있다. 수학식 9는 사육 기간(D) 변수를 포함하는 변동 FC 모델 및 사육 기간(D) 변수가 포함된 총 공급 사료량(F) 예측 모델을 산출하는 과정을 나타낸다.

[수학식 7]

$$FC = \frac{F}{\left[\text{Exp}\left(\frac{SGR \circ D}{100}\right) - 1 \right] \circ W_i}$$

[수학식 8]

$$F = \left[\text{Exp}\left(\frac{SGR \circ D}{100}\right) - 1 \right] \circ W_i \circ FC$$

[수학식 9]

$$\frac{F}{FC \circ W_i} = \text{Exp}\left(\frac{SGR \circ D}{100}\right) - 1$$

$$\Rightarrow FC = \frac{F}{\left[\text{Exp}\left(\frac{SGR \circ D}{100}\right) - 1 \right] \circ W_i}$$

$$\Rightarrow F = \left[\text{Exp}\left(\frac{SGR \circ D}{100}\right) - 1 \right] \circ W_i \circ FC$$

TGC 모델은 하기 수학식 10으로 정의될 수 있다. 총 공급 사료(F) 변수가 포함된 변동 TGC 모델을 만들기 위해 우선 TGC와 FC 모델의 공통 변수인 Wf/Wi을 좌항으로 보낸 뒤 식을 전개할 수 있다. 하기 수학식 11은 Wf/Wi을 좌항으로 보낸 TGC 모델을 산출하는 과정을 나타낸다.

[수학식 10]

$$TGC = \frac{W_f^{\frac{1}{3}} - W_i^{\frac{1}{3}}}{T \circ D} \times 1000$$

여기에서, Wi는 최초 평균 체중, Wf는 최종 평균 체중, T는 평균 수온, D는 사육기간을 나타낸다.

[0091] [수학식 11]

$$\begin{aligned}
 TGC &= \frac{W_f^{\frac{1}{3}} - W_i^{\frac{1}{3}}}{T \circ D} \times 1000 \\
 \Rightarrow W_f^{\frac{1}{3}} - W_i^{\frac{1}{3}} &= \frac{TGC \circ T \circ D}{1000} \\
 \Rightarrow \frac{W_f^{\frac{1}{3}}}{W_i^{\frac{1}{3}}} - \frac{W_i^{\frac{1}{3}}}{W_i^{\frac{1}{3}}} &= \frac{TGC \circ T \circ D}{1000 \circ W_i^{\frac{1}{3}}} \\
 \Rightarrow \left(\frac{W_f}{W_i} \right)^{\frac{1}{3}} &= \frac{TGC \circ T \circ D}{1000 \circ W_i^{\frac{1}{3}}} + 1 \\
 \Rightarrow \frac{W_f}{W_i} &= \left(\frac{TGC \circ T \circ D}{1000 \circ W_i^{\frac{1}{3}}} + 1 \right)^3
 \end{aligned}$$

[0092]

[0093] FC 모델을 전개한 수학식 4와 TGC 모델을 전개한 수학식 11의 W_f/W_i 의 우항들을 결합하면, 총 공급 사료량(F) 변수를 포함하는 변동 TGC 모델(수학식 12), 사육 기간(D) 변수와 평균 수온(T) 변수가 포함된 변동 FC 모델(수학식 13), 사육 기간(D) 변수와 평균 수온(T) 변수를 포함하는 총 공급 사료량(F) 예측 모델(수학식 14) 및 총 공급 사료량(F) 변수를 포함하는 평균 수온(T) 예측 모델(수학식 15)을 산출할 수 있다. 수학식 16은 FC 모델을 전개한 수학식 4와 TGC 모델을 전개한 수학식 11의 W_f/W_i 의 우항들을 결합하여, 총 공급 사료량(F) 변수를 포함하는 변동 TGC 모델(수학식 12), 사육 기간(D) 변수와 평균 수온(T) 변수가 포함된 변동 FC 모델(수학식 13), 사육 기간(D) 변수와 평균 수온(T) 변수를 포함하는 총 공급 사료량(F) 예측 모델(수학식 14) 및 총 공급 사료량(F) 변수를 포함하는 평균 수온(T) 예측 모델(수학식 15)을 산출하는 과정을 나타낸다.

[0094] [수학식 12]

$$TGC = \left[\left(\frac{F}{FC \circ W_i} + 1 \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right] \times \frac{1000 \circ W_i^{\frac{1}{3}}}{T \circ D}$$

[0095]

[0096] [수학식 13]

$$FC = \frac{F}{\left[\left(\frac{TGC \circ T \circ D}{1000 \circ W_i^{\frac{1}{3}}} + 1 \right)^3 - 1 \right] \circ W_i}$$

[0097]

[0098] [수학식 14]

$$F = FC \circ \left[\left(\frac{TGC \circ T \circ D}{1000 \circ W_i^{\frac{1}{3}}} \right) - 1 \right] \circ W_i$$

[0099]

[0100] [수학식 15]

$$T = \left(\frac{F}{FC \circ W_i} + 1 \right) \circ \left(\frac{1000 \circ W_i^{\frac{1}{3}}}{TGC \circ D} \right)$$

[0101]

[0102] [수학식 16]

$$\begin{aligned} \left(\frac{TGC \circ T \circ D}{1000 \circ W_i^{\frac{1}{3}}} + 1 \right)^3 &= \frac{F}{FC \circ W_i} + 1 \\ \Rightarrow TGC &= \left[\left(\frac{F}{FC \circ W_i} + 1 \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right] \times \frac{1000 \circ W_i^{\frac{1}{3}}}{T \circ D} \\ \Rightarrow FC &= \frac{F}{\left[\left(\frac{TGC \circ T \circ D}{1000 \circ W_i^{\frac{1}{3}}} + 1 \right)^3 - 1 \right] \circ W_i} \\ \Rightarrow F &= FC \circ \left[\left(\frac{TGC \circ T \circ D}{1000 \circ W_i^{\frac{1}{3}}} + 1 \right)^3 - 1 \right] \circ W_i \\ \Rightarrow T &= \left(\frac{F}{FC \circ W_i} + 1 \right) \circ \left(\frac{1000 \circ W_i^{\frac{1}{3}}}{TGC \circ D} \right) \end{aligned}$$

[0103]

[0105] 다시 도 1을 참조하면, 제1 성장 정보 산출부(120)는 성장 요인 데이터 입력부(110)를 통해 입력받은 최초 평균 체중(Wi), 최종 평균 체중(Wf), 총 공급 사료(F), 사육기간(D) 값을 총 공급 사료(F) 변수를 포함하는 변동 일간 성장률(SGR, Specific Growth Rate) 모델에 적용하여 일간 성장률(SGR) 값을 산출할 수 있다.

[0106] 총 공급 사료(F) 변수를 포함하는 변동 일간 성장률(SGR, Specific Growth Rate) 모델은 수학식 5로 나타낼 수 있다.

[0107] [수학식 5]

$$SGR = \frac{100 \circ \text{Ln} \left(\frac{F}{FC \circ W_i} + 1 \right)}{D}$$

[0108]

[0109] 여기에서, $\text{Ln}()$ 은 로그함수, $\text{FC} = \text{F}/\text{WG} = \text{F}/(\text{Wf} - \text{Wi})$ 를 나타낸다.

[0111] 다른 실시예에서, 제1 성장 정보 산출부(120)는 성장 요인 데이터 입력부(110)를 통해 입력받은 최초 평균 체중(Wi), 최종 평균 체중(Wf), 총 공급 사료(F), 사육기간(D) 값을 사육기간(D) 변수를 포함하는 변동 사료 계수(FC) 모델에 적용하여 사료 계수(FC) 값을 산출할 수 있다.

[0112] 사육기간(D) 변수를 포함하는 변동 사료 계수(FC) 모델은 수학적 식 7로 나타낼 수 있다.

[0113] [수학적 식 7]

$$\text{FC} = \frac{\text{F}}{\left[\text{Exp}\left(\frac{\text{SGR} \circ \text{D}}{100}\right) - 1 \right] \circ \text{W}_i}$$

[0114]

[0115] 여기에서, $\text{Exp}()$ 은 지수함수, $\text{SGR} = (\text{Ln}(\text{Wf}) - \text{Ln}(\text{Wi})) \times 100 / \text{D}$ 를 나타낸다.

[0116] 다른 실시예에서, 제1 성장 정보 산출부(120)는 성장 요인 데이터 입력부(110)를 통해 입력받은 최초 평균 체중(Wi), 최종 평균 체중(Wf), 총 공급 사료(F), 평균 수온(T), 사육기간(D) 값을 총 공급 사료(F) 변수를 포함하는 변동 수온 의존 성장(TGC , Thermal unit Growth Coefficient) 모델에 적용하여 수온 의존 성장 계수(TGC) 값을 산출할 수 있다.

[0117] 총 공급 사료(F) 변수를 포함하는 변동 수온 의존 성장(TGC) 모델은 수학적 식 12로 나타낼 수 있다.

[0118] [수학적 식 12]

$$\text{TGC} = \left[\left(\frac{\text{F}}{\text{FC} \circ \text{W}_i} + 1 \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right] \times \frac{1000 \circ \text{W}_i^{\frac{1}{3}}}{\text{T} \circ \text{D}}$$

[0119]

[0120] 여기에서, $\text{FC} = \text{F}/\text{WG} = \text{F}/(\text{Wf} - \text{Wi})$ 를 나타낸다.

[0121] 다른 실시예에서, 제1 성장 정보 산출부(120)는 성장 요인 데이터 입력부(110)를 통해 입력받은 최초 평균 체중(Wi), 최종 평균 체중(Wf), 총 공급 사료(F), 평균 수온(T), 사육기간(D) 값을 사육기간(D) 및 평균 수온(T) 변수를 포함하는 변동 사료 계수(FC) 모델에 적용하여 사료 계수(FC) 값을 산출할 수 있다.

[0122] 사육기간(D) 및 평균 수온(T) 변수를 포함하는 변동 사료 계수(FC) 모델은 수학적 식 13으로 나타낼 수 있다.

[0123] [수학적 식 13]

$$\text{FC} = \frac{\text{F}}{\left[\left(\frac{\text{TGC} \circ \text{T} \circ \text{D}}{1000 \circ \text{W}_i^{\frac{1}{3}}} + 1 \right)^3 - 1 \right] \circ \text{W}_i}$$

[0124]

[0125] 여기에서, $\text{TGC} = (\text{Wf}^{\frac{1}{3}} - \text{Wi}^{\frac{1}{3}}) \times 1000 / (\text{T} \times \text{D})$ 를 나타낸다.

[0127] 디스플레이부(130)는 제1 성장 정보 산출부(120)에서 산출된 성장 정보를 화면에 출력한다. 예를 들어, 디스플레이

레이부(130)는 제1 성장 정보 산출부(120)에서 산출된 성장 정보 값(예를 들어, 일간 성장률(SGR) 값, 사료 계수(FC) 값 또는 수온 의존 성장 계수(TGC) 값)를 화면에 디스플레이할 수 있다.

[0128] 메모리(140)는 성장 요인 데이터 값, 변동 성장 모델(예를 들어, 변동 일간 성장률(SGR) 모델, 변동 사료 계수(FC) 모델, 변동 수온 의존 성장(TGC) 모델 등) 산출 알고리즘 데이터, 시스템 운영 데이터 등을 저장할 수 있다.

[0129] 일 실시예에서, 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치(100)는 비교 대상 성장 모델을 기초로 성장 예측 대상 어류의 성장 정보를 산출하는 제2 성장 정보 산출부(미도시) 및 제1 성장 정보 산출부(120)에서 산출된 제1 성장 정보와 제2 성장 정보 산출부에서 산출된 제2 성장 정보를 비교하여 변동 성장 모델의 신뢰도를 검증하는 검증부(미도시)를 더 포함할 수 있다. 예를 들어, 제2 성장 정보 산출부는 성장 요인 데이터 입력부(110)를 통해 입력받은 데이터를 변동 성장 모델이 아닌 기존 성장 모델(기존 SGR 모델, 기존 FC 모델, 기존 수온 의존 성장(TGC) 모델)에 적용하여 제2 성장 정보를 산출할 수 있다. 예를 들어, 기존 SGR 모델은 수학적 식 1, 기존 FC 모델은 수학적 식 3, 기존 수온 의존 성장(TGC) 모델은 수학적 식 10으로 나타낼 수 있다. 디스플레이부(130)는 제1 성장 정보 산출부(120)에서 산출된 제1 성장 정보와 제2 성장 정보 산출부에서 산출된 제2 성장 정보를 화면에 출력할 수 있다.

[0130] 검증부는 제1 성장 정보와 제2 성장 정보의 일치율(제2 성장 정보 값/제1 성장 정보 값)이 기 설정된 제1 문턱 값(예를 들어, 0.9)과 기 설정된 제2 문턱 값(예를 들어, 1.1) 사이인 경우, 변동 성장 모델의 신뢰도가 있는 것으로 판정할 수 있다. 예를 들어, 기존 모델 값과 변동 모델 값을 비교하여 일치율이 특정 기준 범위 내에 있는 경우, 현장에서 실제로 어류가 정상적인 성장을 하고 있는 것으로 확인할 수 있다. 즉, 기존 모델 값과 변동 모델 값을 비교한 일치율은 실제로 어류가 정상적인 성장을 하고 있는지 확인할 수 있는 척도로 이용할 수 있다.

[0132] 도 2 내지 도 12는 실제 어류 사육 실험을 통해 변동 성장 모델을 검증한 예를 설명하는 도면이다. 이하에서는 도 2의 사육 시스템을 통해 무지개 송어를 대상으로 실증 사육 실험을 진행한 과정을 설명하기로 한다.

[0134] 도 2는 해수 순환여과식 사육 시스템(RAS, Recirculating Aquaculture System)을 도식화하여 나타낸 도면이다.

[0135] 도 2를 참조하면, 해수 순환여과식 사육 시스템(RAS)(200)은 수조(210), 드럼필터(220), 냉각기(230), 생물학적 여과조(240), 저수조(250), 펌프(260), 순수산소발생기(270), UV 살균기(280) 및 용해기(290)를 포함한다.

[0136] 실험 예에서 사용된 해수 순환여과식 사육 시스템(200)은 둥근 정사각형 수조(210)(110×110×100 cm) 12개, 드럼필터(220)(0.55Kw), 생물학적 여과조(240)(110×110×100 cm) 2개, 저수조(250)(110×110×100 cm) 1개, 디지털 유량계(Flowmeter) 1개, UV 살균기(280)(40W) 2개, 냉각기(230)(1.5HP) 3개, 순수산소발생기(270)(0.48Kw) 1개를 포함한다.

[0137] 사육 수조(210)는 수조 내 중앙 배출구 쪽으로 경사지게 하여 고형물이 원활하게 배출될 수 있도록 구성되었다. 수조 내 수위봉 아래쪽은 타공을 형성하여 수조 하부의 고형물이 배출되도록 구성되었고, 수위봉 위쪽도 타공을 형성하여 유막과 부유 고형물을 제거할 수 있도록 물이 빠져나가도록 구성되었다. 또한 이중 배수관을 포함하여 수위를 조절할 수 있도록 구성되었다. 사육 중 무지개 송어가 수조 밖으로 뛰어나가는 것을 방지하기 위해 전체 사육 수조 그물망(망목 크기 2×2 cm)으로 덮었다.

[0138] 드럼 필터(220)는 사육 수조(210)에서 배출수에 포함되어 배출되는 고형물을 제거한다. 드럼 필터(220)는 일정 수위를 넘으면 자동으로 역세 동작을 수행하는 드럼 필터를 사용하였다. 드럼 필터(220)는 공극의 크기가 80 μm 인 스테인리스 망목을 포함하며, 스테인리스 망목의 고형물을 제거하는데 사용되는 역세수는 드럼 필터(220) 내의 고형물이 걸러진 물을 펌프를 이용해 다시 재사용하였다.

[0139] 생물학적 여과조(240)의 크기는 사육 시스템(200)의 규모에 맞도록 구현 예에 따라 다르게 제작될 수 있다. 생물학적 여과조(240) 내 여과 매질의 충전율은 50% 정도로 구현될 수 있으며, 여과 매질의 숙성과 유지를 위해 생물학적 여과조(240) 내 하부에 에어 라인을 만들어 공기를 주입(폭기)할 수 있도록 구현될 수 있다. 일 실시예에서, 생물학적 여과조(240) 내 여과 매질은 하기 표 1과 같은 특징을 갖는 여과 매질로 구현될 수 있다.

[0140] [표 1]

Table 1. Characteristics of bio media

Media	Kaldnes K1
Type	Flat cylinder
Material	High density polyethylene
Density	0.92~0.95 g·cm ⁻²
Diameter	10.0±0.2 mm
Height	7.0±0.1 mm
Specific surface area (m ² /m ³)	500±50 m ² ·m ⁻³

[0141]

[0142] 사용자는 디지털 유량계를 통해 사육 시스템(200)의 전체 유량을 조절할 수 있고, 각 수조(210)마다 구비된 볼 밸브(Ball valve)를 이용하여 각 수조의 유량을 동일하게 맞출 수 있다. 각 수조(210)에서 배출된 배출수는 UV 살균기(280)를 통해 살균하여 다시 수조 내로 유입하여 유입수로 활용할 수 있다. 순수산소발생기(270)는 에어 라인을 통해 산소원과 연결될 수 있고, 솔레노이드 밸브를 이용하여 용해기(290)에 공급되는 산소량을 조절할 수 있다. 저수조(250)에는 각 냉각기(230)에 배출수를 공급하는 각각의 펌프가 구비될 수 있고, 냉각기(230)를 통해 냉각된 물은 다시 저수조(250)로 유입된 후 펌프(260)를 통해 UV 살균기(280)로 유입될 수 있다.

[0144] 해수 순환여과식 사육 시스템(200)으로 운반된 대상 어류(무지개 송어)는 수송 전, 후 3일간 절식하였다. 사료 공급물에 따른 FC와 SGR, TGC의 상관관계 변동 모델을 검증하기 위해 각 사육 수조마다 127마리의 무지개 송어를 수송했다. 대상 어류는 4개의 실험 그룹(Treatment1 ~ Treatment 4)으로 나누어 3반복하여 반복 사료량 기준으로 실험 그룹별 다른 비율의 사료량을 공급하였다. 도 3은 4개의 실험 그룹에 대한 각각 다른 사료 공급물(feeding rate)을 정리한 표이다.

[0145] 실험 시작을 기준으로 2주 경과 시점마다 전체 실험 그룹 반복 급여를 하여 반복 기준을 다시 정하였다. 실험에 이용된 무지개 송어는 평균 체중 50±13g, 전장 16±1.9cm로 실험조건에 적합한 무지개 송어를 선별하였다. 실험 기간동안 광주기는 12L:12D (08:00-20:00, 20:00-08:00)로 유지하였으며, 사육 수온은 냉각기로 적정 수온 유지해 주었고, 수조에는 중탄산을 넣어 적정 pH를 유지해주었다. 사료는 시판 무지개 송어용 배합 사료를 오전 10:00, 오후 17:00에 반복으로 2회 공급하였으며, 무지개 송어가 먹지 않고 남은 사료는 회수하여 건조 후, 총 공급한 사료량에서 제외하였다.

[0146] 총 실험 기간은 8주이고 실험 종료 시 각 실험구별 50마리를 무작위로 선별하여 개별 개체 중량 및 전장, FC, SGR, TGC, 비만도(codition factor), 생존율을 측정하였다. 측정 시에는 측정 전, 후를 포함하여 3일간 절식하였다. SGR, FC, TGC는 각각 상기 수학적 1, 수학적 3, 수학적 10을 이용하여 계산하였고, 비만도(Condition factor)는 $(Wf/Lf^3) \times 100$, 생존율(Survival rate)(%)은 $(Nf/Ni) \times 100$ 을 통해 계산하였다. 여기에서, Wf는 최종 평균 체중, Lf는 최종 평균 체장, Ni는 최초 마릿수, Nf는 최종 마릿수를 나타낸다.

[0148] 도 4는 8주간의 어류 사육 기간 동안 각 실험 그룹에 대한 수질 분석 결과를 나타내는 도면이다.

[0149] 어류 사육 기간 동안 각 실험 그룹이 포함된 수조에 대해 수온(Temperature), 용존산소(Dissolved oxyzen, DO), pH, 총 암모니아성 질소(Total ammonia nitrogen, TAN), 아질산성 질소(Nitrite nitrogen, NO2-N), 질산성 질소(Nitrate nitrogen, NO3-N), 탁도 (Turbidity), 총 유기탄소(Total organic carbon, TOC), 총 부유 고

형물(Total suspended solids, TSS)을 측정하였다. 용존산소, pH, 수온은 1일 3회(10:00, 14:00, 19:00) 휴대용 다항목 수질 측정기(AM70)를 이용하여 측정하였다. 총 암모니아성 질소, 아질산성 질소는 1~주는 주 2회(화요일, 금요일) 5~주는 주 1회(화요일) 측정하였다. 질산성 질소, 탁도, 총 유기 탄소, 총 부유 고형물은 1~4주는 주 1회(수요일) 5~주는 2주에 1회(수요일) 측정하였다.

[0150] TAN와 NO₂-N는 각각 Salicylate method(Hach method 8155)와 Diazotization(Hach method 8507)을 이용하여 분광광도계(DR 900)로 흡광도를 측정하였다. NO₃-N는 Cadimium Reduction Method(Hach Method 8093), Turbidity는 Absorptometric Method(HaCH Method 8237), Total organic carbon은 Direct TNT Method(Hach method 10129)에 따라 분광광도계(DR 900)를 이용하여 측정하였다. Total suspended solids는 해수 공정시험기준에 따라 측정하였다.

[0151] 총 8주간 무지개 송어 사육 기간 동안의 수질 분석 결과 수온, 용존산소, NO₂-N, NO₃-N, TSS, TOC는 실험 구간별 유의미한 차이가 없었다 ($p>0.05$). pH에서 Treatment 1구간은 Treatment 2, Treatment 3, Treatment 4, 저수조 구간과 유의미한 차이가 있었다($p<0.05$). 하지만 모든 실험 그룹에서 무지개 송어 사육환경에 적합한 pH 범위 6.7~이내로 유지하여 어류에게 미치는 영향이 없을 것으로 판단된다. TAN에서 구간별 유의미한 차이가 있었으나($p<0.05$), 어류의 성장에 영향을 주지 않는 정도 범위 안에 포함돼 정상 수준을 유지하였다. NO₃-N, turbidity, TOC, TSS의 항목들은 각각 실험 기간이 경과하면서 순환여과 양식 시스템에서 점차적으로 축적되는 흐름을 보였다. 이는 시스템 내 어류 성장에 최적의 환경을 일정하게 유지하기 위해 RAS 환경에서 자연스러운 현상이며 축적되는 수준이 어류 성장에 저해되지 않는 범위 안 수치를 유지하였다.

[0153] 도 5는 8주간의 어류 사육을 마치고 측정한 각 실험 그룹별 성장 결과(총 중량, 사육 밀도, SGR 및 TGC)를 나타내는 도면이다.

[0154] 도 5를 참조하면, 총 8주간의 무지개 송어 사육을 마치고 측정한 각 실험 구간별 성장 결과인 총 중량, 사육 밀도, SGR, TGC는 Treatment 1, Treatment 2, Treatment 3, Treatment 4 구간별로 유의미한 차이가 있는 것을 확인할 수 있다($p<0.05$). 사료 공급률이 높은 실험 구간 순으로 수치가 높았으며, SGR과 TGC에서 Treatment 3, Treatment 4 구간은 Treatment 1, Treatment 2 구간에 비해 상대적으로 수치가 낮았다. 비만도에서 Treatment 1 구간과 Treatment 2, Treatment 3, Treatment 4 구간 사이에 유의미하게 차이가 있었고 Treatment 2, Treatment 3, Treatment 4 구간 사이에서는 유의미한 차이가 없었다($p>0.05$). Treatment 1 구간에서 가장 수치가 높았다. FC에선 Treatment 4 구간은 Treatment 1, Treatment 2, Treatment 3 구간과 유의미한 차이가 있었지만($p<0.05$) Treatment 1, Treatment 2, Treatment 3 구간 사이에선 유의미한 차이가 없었다($p>0.05$). 하지만 Treatment 4 구간에서 가장 수치가 높아 사료계수와 역수 관계인 사료 효율이 가장 좋지 못했다. 생존율은 모든 구간에서 유의미한 차이가 없었다($p>0.05$).

[0156] 도 6은 8주간의 어류 사육을 마치고 측정한 각 실험 그룹별 변동 일간 성장률(Variation SGR) 값을 나타내는 도면이고, 도 7은 각 실험 그룹별 기준 일간 성장률 모델 값(actual SGR)과 변동 일간 성장률 모델 값(Prediction SGR)을 비교한 도면이다.

[0157] 도 6을 참조하면, 변동 SGR 모델의 값이 Treatment 1, Treatment 2, Treatment 3, Treatment 4 구간별로 유의미한 차이가 있는 것을 확인할 수 있다($p<0.05$). 사료 공급률이 높은 실험 그룹일수록 수치가 높은 것을 확인할 수 있다.

[0158] 도 8은 8주간의 어류 사육을 마치고 측정한 각 실험 그룹별 변동 수온 의존 성장 계수(Variation TGC) 값을 나타내는 도면이고, 도 9는 각 실험 그룹별 기준 수온 의존 성장 계수 모델 값(actual TGC)과 변동 수온 의존 성장 계수 모델 값(Prediction TGC)을 비교한 도면이다.

[0159] 도 8을 참조하면, 변동 TGC 모델의 값이 Treatment 1, Treatment 2, Treatment 3, Treatment 4 구간별로 유의미한 차이가 있는 것을 확인할 수 있다($p<0.05$). 사료 공급률이 높은 실험 그룹일수록 수치가 높은 것을 확인할 수 있다.

[0160] 도 10은 8주간의 어류 사육을 마치고 측정한 각 실험 그룹별 변동 사료 계수(FC) 값을 나타내는 도면이고, 도 11은 각 실험 그룹별 기준 사료 계수 모델 값(actual FC)과 변동 사료 계수 모델 값(Prediction FC)을 비교한 도면이다.

- [0161] 도 10을 참조하면, 변동 FC 모델의 값은 Treatment 1, Treatment 2, Treatment 3, Treatment 4 구간별로 유의미한 차이가 없는 것을 확인할 수 있다($p>0.05$).
- [0162] 도 12는 각 실험 그룹별 기존 성장 모델 값과 변동 성장 모델 값 사이의 일치율을 비교한 도면이다.
- [0163] 도 12를 참조하면, 기존 SGR 모델의 값(aSGR)과 변동 SGR 모델의 값(pSGR)의 일치율은 1.01(Treatment 3), 1.04(Treatment 1), 0.96(Treatment 2), 1.27(Treatment 4) 순으로 높은 것을 확인할 수 있다. 기존 TGC 모델의 값(aTGC)과 변동 TGC 모델의 값(pTGC)의 일치율은 1.00(Treatment 1), 0.96(Treatment 3), 0.88(Treatment 2), 1.18(Treatment 4) 순으로 높은 것을 확인할 수 있다. Treatment 3과 4 그룹에서 기존 모델의 값과 변동 모델의 값이 일치율이 낮은 것으로 나타났으며, 해당 그룹에서 투입된 사료량에 비해 변동 모델의 값이 일치율이 기 설정된 값보다 낮아 예측 성장물의 범위를 벗어난 것으로 추정할 수 있다.
- [0164] SGR 모델과 결합된 변동 FC 모델(수학식 7)의 값(pFCs)과 기존 FC 모델의 값(aFC)의 일치율은 0.98(Treatment 1), 1.03 ± 0.06 (Treatment 3), 1.04(Treatment 4), 1.07(Treatment 2) 순으로 높은 것을 확인할 수 있다. TGC 모델과 결합된 변동 FC 모델(수학식 13)의 값(pFCt)과 기존 FC 모델 값(aFC)의 일치율은 SGR 모델과 결합된 변동 FC 모델의 값(pFCs)과 기존 FC 모델의 값(aFC) 사이의 일치율과 같았다.
- [0166] 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 방법을 설명하는 흐름도이다.
- [0167] 도 13을 참조하면, 성장 요인 데이터 입력부(110)는 성장 예측 대상 어류에 대한 성장 요인 데이터를 입력받는다(단계 S1310). 예를 들어, 성장 요인 데이터는 최초 평균 체중(Wi), 최종 평균 체중(Wf), 총 공급 사료(F), 평균 수온(T) 및 사육기간(D) 가운데 적어도 하나 이상을 포함할 수 있다. 입력받는 성장 요인 데이터는 성장 모델의 종류에 따라 달라질 수 있다.
- [0168] 일 실시예에서, 성장 요인 데이터 입력부(110)는 사용자의 제어에 따라 성장 요인 데이터를 입력받을 수 있다. 다른 실시예에서, 성장 요인 데이터 입력부(110)는 사용자의 제어에 따라 메모리(140)에 저장된 성장 요인 데이터를 읽어 올 수도 있다.
- [0169] 제1 성장 정보 산출부(120)는 성장 요인 데이터 입력부(11)를 통해 입력받은 데이터를 변동 성장 모델에 적용하여, 변동 성장 모델에 따른 성장 예측 대상 어류의 제1 성장 정보를 산출한다(단계 S1320).
- [0170] 일 실시예에서, 성장 요인 데이터 입력부(11)는 최초 평균 체중(Wi), 최종 평균 체중(Wf), 총 공급 사료(F), 사육기간(D)을 입력받고, 제1 성장 정보 산출부(120)는 총 공급 사료(F) 변수를 포함하는 변동 일간 성장률(SGR, Specific Growth Rate) 모델을 기초로 일간 성장률(SGR) 값을 산출할 수 있다. 일 실시예에서, 총 공급 사료(F) 변수를 포함하는 변동 일간 성장률(SGR,) 모델은 수학식 5로 나타낼 수 있다.
- [0171] 다른 실시예에서, 성장 요인 데이터 입력부(11)는 최초 평균 체중(Wi), 최종 평균 체중(Wf), 총 공급 사료(F), 사육기간(D)을 입력받고, 제1 성장 정보 산출부(120)는 사육기간(D) 변수를 포함하는 변동 사료 계수(FC) 모델을 기초로 사료 계수(FC) 값을 산출할 수 있다. 일 실시예에서, 사육기간(D) 변수를 포함하는 변동 사료 계수(FC) 모델은 수학식 7 또는 수학식 13으로 나타낼 수 있다.
- [0172] 다른 실시예에서, 성장 요인 데이터 입력부(11)는 최초 평균 체중(Wi), 최종 평균 체중(Wf), 총 공급 사료(F), 사육기간(D)을 입력받고, 제1 성장 정보 산출부(120)는 총 공급 사료(F) 변수를 포함하는 변동 수온 의존 성장(TGC, Thermal unit Growth Coefficient) 모델을 기초로 수온 의존 성장 계수(TGC) 값을 산출할 수 있다. 일 실시예에서, 총 공급 사료(F) 변수를 포함하는 변동 수온 의존 성장(TGC) 모델은 수학식 12로 나타낼 수 있다.
- [0173] 디스플레이부(130)는 제1 성장 정보 산출부(120)에서 산출된 성장 정보를 화면에 출력한다(단계 S1330).
- [0174] 일 실시예에서, 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 방법은 제2 성장 정보 산출부(미도시)가 기존 성장 모델에 따른 성장 예측 대상 어류의 제2 성장 정보를 산출하는 단계 및 검증부(미도시)가 제1 성장 정보 산출부(120)에서 산출된 제1 성장 정보(값)와 제2 성장 정보 산출부에서 산출된 제2 성장 정보(값)를 비교하여 변동 성장 모델의 신뢰도를 검증하는 단계를 더 포함할 수도 있다.
- [0175] 예를 들어, 검증부는 제1 성장 정보와 제2 성장 정보의 일치율(제2 성장 정보 값/제1 성장 정보 값)이 기 설정된 제1 문턱 값(예를 들어, 0.9)과 기 설정된 제2 문턱 값(예를 들어, 1.1) 사이인 경우, 제1 성장 정보 산출부(120)의 변동 성장 모델의 신뢰도가 있는 것으로 판정할 수 있다. 일 실시예에서, 서로 다른 조건에서 산출된 제1 성장 정보 및 제2 성장 정보의 일치율과 제1 문턱 값, 제2 문턱 값을 기초로 검증부는 변동 성장 모델의 신

되도가 있는 조건을 산출할 수도 있다. 예를 들어, 검증부는 제1 문턱 값과 제2 문턱 값 사이의 일치율을 갖는 사육 조건들을 수집하여 해당 조건들을 변동 성장 모델과 연계하여 해당 모델에 대해 신뢰도가 있는 조건으로 산출할 수 있다.

[0177] 도 1 내지 도 13을 통해 설명된 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치 및 어류 성장 예측 방법은 컴퓨터에 의해 실행 가능한 명령어를 포함하는 기록 매체의 형태로도 구현될 수도 있다.

[0178] 이상 본 발명의 실시예로 설명하였으나 본 발명의 기술적 사상이 상기 실시예로 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범주에서 다양한 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치 및 어류 성장 예측 방법으로 구현할 수 있다.

부호의 설명

[0180] 100 : 변동 성장 모델 기반의 어류 성장 예측 장치

110 : 성장 요인 데이터 입력부

120 : 제1 성장 정보 산출부

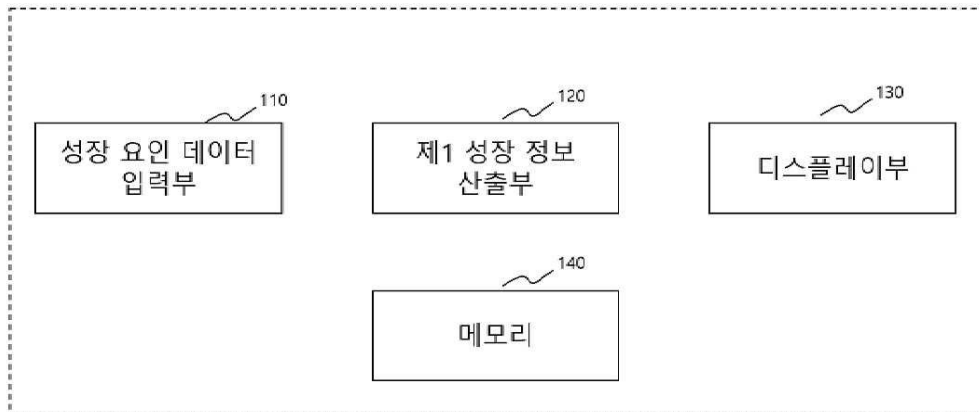
130 : 디스플레이부

140 : 메모리

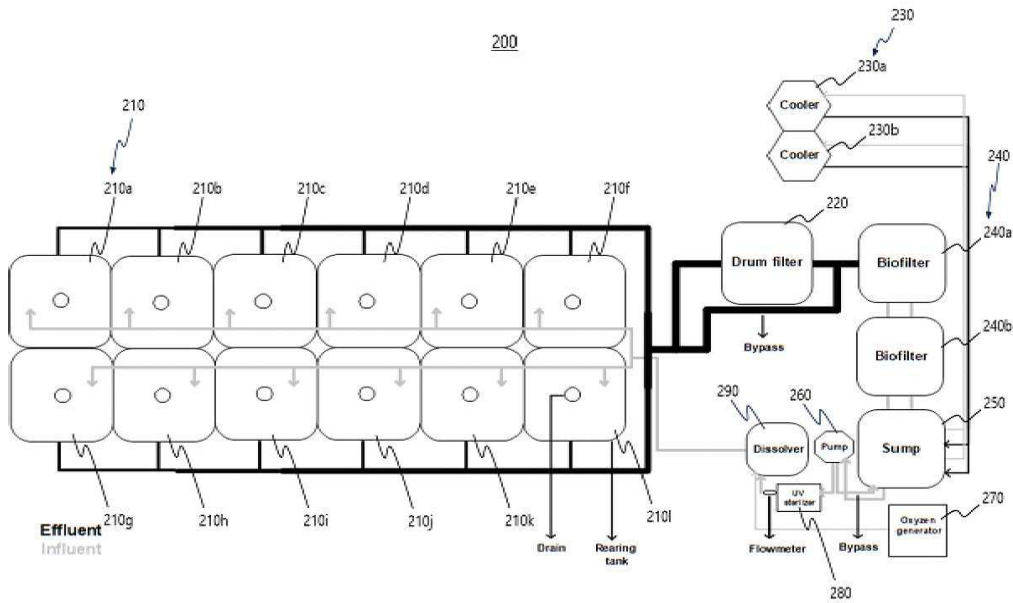
도면

도면1

100



도면2



도면3

Difference in feeding rate by experimental group

	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4
Feeding rate (%)	100	80	60	40

도면4

Water quality in the experimental in four different feeding rate for eight weeks at recirculating aquaculture system

Parameter	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4	Sump	P value
Temperature (°C)	17.5±0.3 ^{ab}	17.5±0.3 ^{ab}	17.5±0.3 ^{ab}	17.5±0.3 ^a	17.5±0.3 ^b	0.213
Dissolved oxygen (mg/L)	11.4±1.7	11.4±1.7	11.4±1.8	11.4±1.8	11.4±1.7	0.832
pH	7.34±0.23 ^b	7.36±0.23 ^a	7.36±0.23 ^a	7.36±0.24 ^a	7.35±0.23 ^{ab}	0.034
TAN (mg/L)	0.61±0.23 ^a	0.58±0.23 ^b	0.61±0.24 ^a	0.57±0.23 ^b	0.56±0.25 ^b	0.000
NO ₂ -N (mg/L)	0.26±0.06	0.27±0.06	0.26±0.06	0.27±0.05	0.27±0.04	0.682
NO ₃ -N (mg/L)	55.6±15.3	51.8±14.5	51.3±14.9	49.9±14.03	52.7±9.6	0.300
Turbidity (FAU)	13.9±4.2	13.8±4.7	14.5±6.4	14.8±4.1	15.0±4.1	0.168
TOC (mg/L)	11.2±5.1 ^{ab}	11.1±4.1 ^{ab}	12.0±5.1 ^a	10.3±3.4 ^b	10.8±3.7 ^{ab}	0.196
TSS (mg/L)	5.72±1.75 ^a	5.47±1.31 ^a	5.53±1.36 ^a	5.72±1.51 ^a	5.08±1.43 ^b	0.017

도면5

Growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared in four different feeding rate for eight weeks at recirculating aquaculture system

Parameter	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4	P value
Initial total biomass (kg)	6.47±0.10	6.44±0.03	6.48±0.10	6.42±0.08	0.740
Final total biomass (kg)	22.7±0.6a	20.7±1.2b	16.3±0.6c	11.7±0.6d	0.000
Initial stocking density (kg/m ³)	9.52±0.15	9.47±0.04	9.53±0.14	9.44±0.11	0.740
Final stocking density (kg/m ³)	33.3±0.9a	30.4±1.7b	24.0±0.9c	17.2±0.9d	0.000
Total feed amount (kg)	16.4±0.0a	13.4±0.0b	10.3±0.0c	7.2±0.0d	0.000
Feed coefficient, aFC	1.02±0.03b	0.94±0.07b	1.04±0.05b	1.37±0.14a	0.001
Specific growth rate, aSGR (%/ady)	2.33±0.06a	2.00±0.08b	1.68±0.04c	1.35±0.08d	0.000
Thermal unit growth coefficient, aTGC	2.05±0.07a	1.70±0.08b	1.38±0.04c	1.08±0.07d	0.000
Condition factor	1.22±0.02a	1.15±0.03b	1.13±0.03b	1.15±0.03b	0.015
Survival rate (%)	99.0±1.7	96.3±3.3	94.7±2.5	92.8±5.7	0.263

(a : Actual)

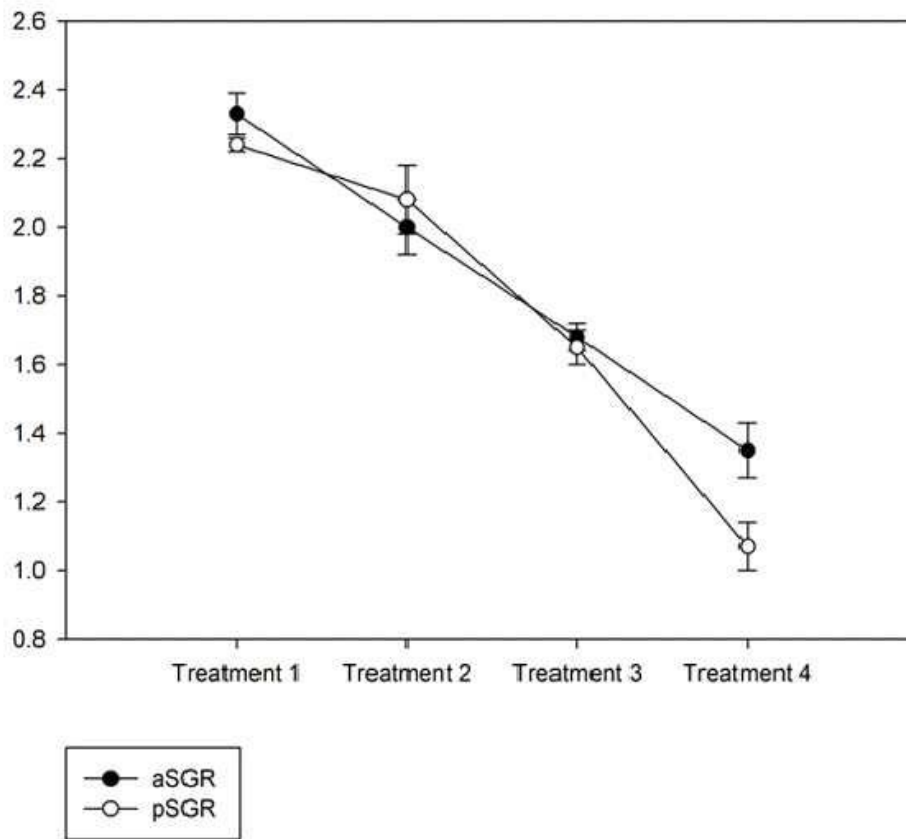
도면6

Variation SGR (Specific growth rate) model of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared in four different feeding rate for eight weeks at recirculating aquaculture system

Parameter	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4	P value
Wi (g)	50	50	50	50	-
F (kg)	16.4±0.0a	11.3±0.0b	10.3±0.0c	7.2±0.0d	0.000
aFC	1.02±0.03b	0.94±0.07b	1.04±0.05b	1.37±0.14a	0.001
D (day)	56	56	56	56	-
pSGR (%/day)	2.24±0.02a	2.08±0.10b	1.65±0.05c	1.07±0.07d	0.000

(p : Prediction)

도면7



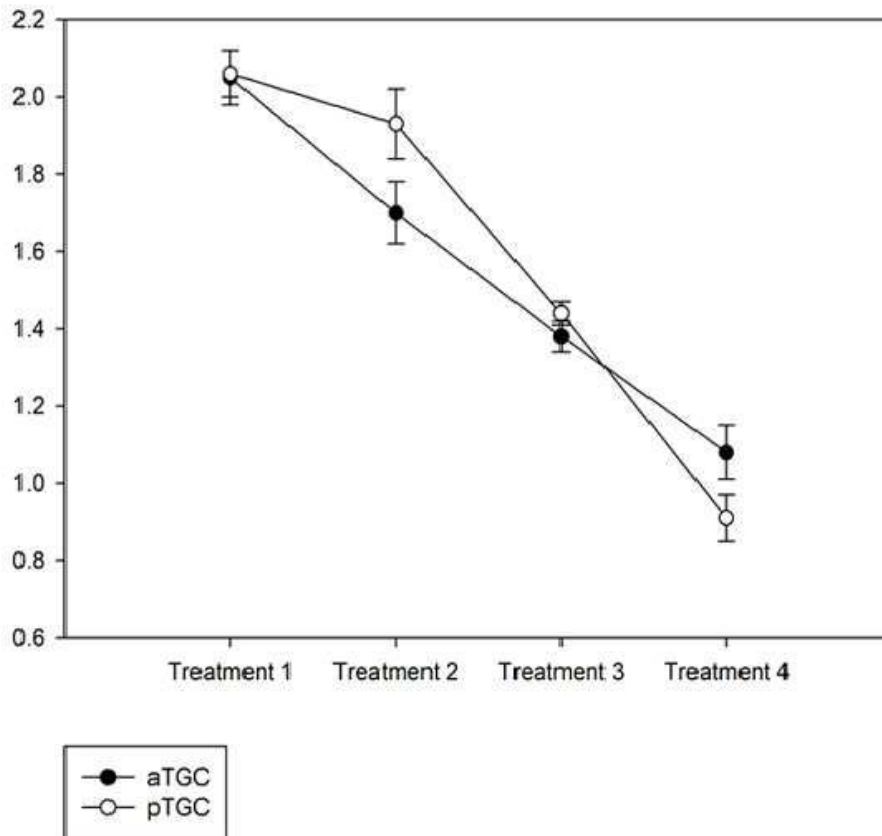
Comparison of the actual SGR model and prediction SGR model in four different feeding rate.

도면8

Variation TGC (Thermal unit growth coefficient) model of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared in four different feeding rate for eight weeks at recirculating aquaculture system

Parameter	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4	P value
Wi (g)	50	50	50	50	-
F (kg)	16.4±0.0 ^a	11.3±0.0 ^b	10.3±0.0 ^c	7.2±0.0 ^d	0.000
aFC	1.02±0.03 ^b	0.94±0.07 ^b	1.04±0.05 ^b	1.37±0.14 ^c	0.001
D (day)	56	56	56	56	-
T (°C)	17.5±0.0	17.5±0.0	17.5±0.0	17.5±0.0	0.802
pTGC	2.06±0.06 ^a	1.93±0.09 ^b	1.44±0.03 ^c	0.91±0.06 ^d	0.000

도면9



Comparison of the actual TGC model and prediction TGC model in four different feeding rate.

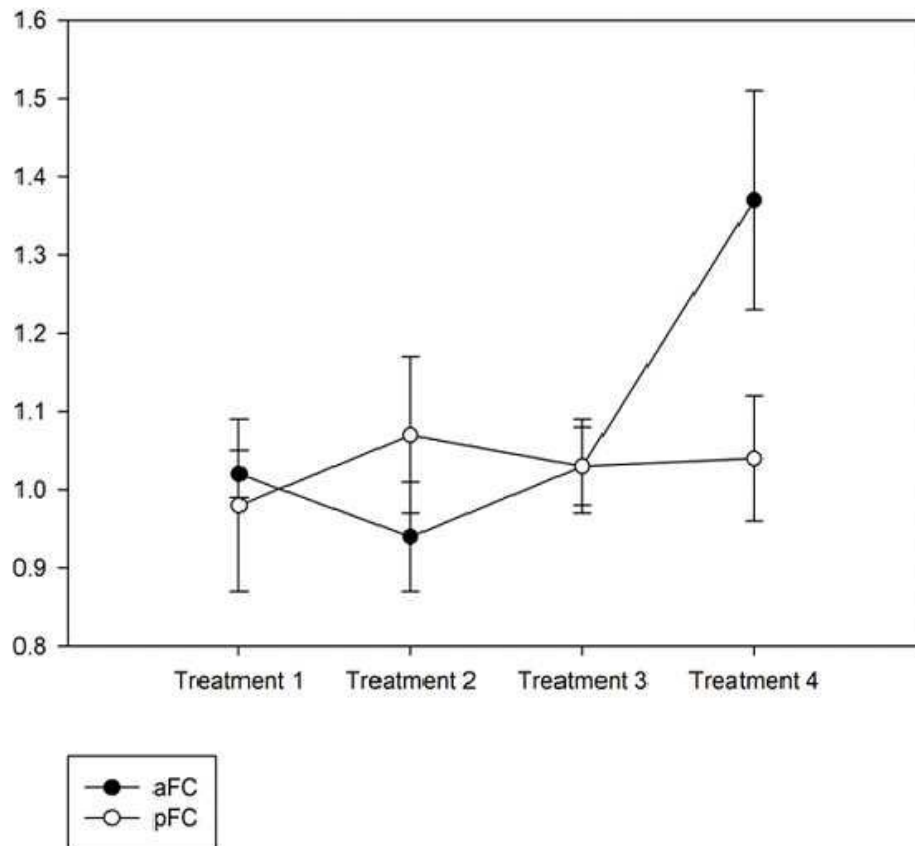
도면10

Variation EC (Feed coefficient) model of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared in four different feeding rate for eight weeks at recirculating aquaculture system

Parameter	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4	P value
Wi (g)	50	50	50	50	-
F (kg)	16.4±0.0 ^b	11.3±0.0 ^b	10.3±0.0 ^c	7.2±0.0 ^d	0.000
aTGC	2.05±0.07 ^a	1.70±0.08 ^b	1.38±0.04 ^c	1.08±0.07 ^d	0.000
D (day)	56	56	56	56	-
T (°C)	17.5±0.0	17.5±0.0	17.5±0.0	17.5±0.0	0.802
pFCs	0.98±0.11	1.07±0.10	1.03±0.06	1.04±0.08	0.672
pFC _T	0.98±0.11	1.07±0.10	1.03±0.06	1.04±0.08	0.672

(S : SGR, T : TGC)

도면11



Comparison of the actual FC model and prediction FC model in four different feeding rate.

도면12

Concordance between actual model and prediction model of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared in four different feeding rate for eight weeks at recirculating aquaculture system.

Parameter	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4	P value
aSGR/pSGR	1.04±0.02 ^b	0.96±0.06 ^b	1.01±0.02 ^b	1.27±0.17 ^a	0.012
aTGC/pTGC	1.00±0.06 ^b	0.88±0.06 ^b	0.96±0.01 ^b	1.18±0.15 ^a	0.014
aFC/pFC _s	1.04±0.10 ^b	0.88±0.10 ^b	1.00±0.03 ^b	1.32±0.26 ^a	0.031
aFC/pFC _r	1.04±0.10 ^b	0.88±0.10 ^b	1.00±0.03 ^b	1.32±0.26 ^a	0.031

도면13

