

전복(*Haliotis discus hannai*) 치패용 배합사료 내 미역(*Undaria pinnatifida*) 대체원으로써 구멍갈파래(*Ulva australis*)와 김(*Porphyra tenera*) 부산물의 대체 효과

김준 · 정성목 · 배진호 · 김민기 · 김기승¹ · 허상우^{2*}

국립수산과학원 사료연구센터, ¹국립수산과학원 동해수산연구소, ²국립수산과학원 연구협력과

Replacing *Undaria pinnatifida* with *Ulva australis* and Laver *Porphyra tenera* By-products in Abalone Diet: Effects on Growth and Body Composition in Juvenile Abalone *Haliotis discus hannai*

June Kim, Seong-Mok Jeong, Jinho Bae, Min-Gi Kim, Gi-Seung Kim¹ and Sang-Woo Hur^{2*}

Aquafeed Research Center, National Institute of Fisheries Science, Pohang 37517, Republic of Korea

¹East Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Gangneung 25435, Republic of Korea

²Research Cooperation Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Republic of Korea

This study investigated the effects of replacing *Undaria pinnatifida* with a combination of *U. australis* and laver by-product (LB) in the formulated diets of juvenile abalone *Haliotis discus hannai*. The experimental diets replaced 25%, 50%, 75% and 100% of the *U. pinnatifida* in the control diet with a 1:1 mixture of *U. australis* and LB (UL25, UL50, UL75 and UL100). Juvenile abalones (initial weight: 0.7 g) were reared in 15 flow-through rearing system tanks for 15 weeks. The survival rate was not significantly different among the experimental diets ($P>0.05$). However, weight gain and specific growth rate were significantly higher in abalones fed the UL50 and UL75 diets than in those fed the control and UL25 diets ($P<0.05$), with no significant differences from UL100 ($P>0.05$). Shell growth and the ratio of soft body weight to total weight of abalones did not differ significantly among the experimental diets ($P>0.05$). In conclusion, *U. pinnatifida* can be completely replaced with a combination of *U. australis* and LB in formulated diets for juvenile abalones without compromising growth. The highest growth was observed at the 75% replacement level, demonstrating the potential of *U. australis* and LB as sustainable alternative feed ingredients in abalone aquaculture.

Keywords: *Undaria pinnatifida*, Laver by-product, *Porphyra tenera*, Abalone, *Ulva australis*

서론

전복(*Haliotis discus hannai*)은 고부가가치 수산물로, 한국, 중국, 일본 등 동아시아 국가에서 주요 양식 대상 종으로 널리 양식되고 있다. 특히 한국에서는 2024년 기준 전복 생산량이 23,352톤, 생산액은 약 4,862억원으로 보고되었으며, 이는 전체 패류 생산 금액의 약 48.1%에 해당한다(KOSIS, 2025). 이처럼 전복은 국내 수산 양식 산업에서 산업적·경제적 비중이 높

은 대표 품종으로 자리 잡고 있으며, 수요의 증가와 함께 효율적인 사육 기술 및 사료 개발이 중요한 과제로 대두되고 있다. 전복 양식에서는 미역(*Undaria pinnatifida*)과 다시마(*Saccharina japonica*) 등의 해조류 분말이 전복 치패용 배합사료 내 주요 원료로 사용되고 있다. 그러나 이러한 해조류 분말은 계절적 생산에 크게 의존하고 있어 공급이 불안정하며, 최근 원료 가격 상승으로 인해 해조류 분말을 대체할 수 있는 지속가능한 대체원료의 개발이 시급한 실정이다. 특히, 다양한 해조류 및 해조류

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2721 Fax: +82. 51. 720. 2727

E-mail address: maverickhur@korea.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2026.0043>

Korean J Fish Aquat Sci 59(1), 43-49, February 2026

Received 9 December 2025; Revised 19 January 2026; Accepted 28 January 2026

저자 직위: 김준(연구원), 정성목(연구원), 배진호(연구원), 김민기(연구원), 김기승(주무관), 허상우(연구원)

가공 부산물을 활용한 대체 사료 원료에 대한 연구는 비용 절감 뿐만 아니라, 자원 재활용과 환경 부담 저감 측면에서도 긍정적인 효과가 있다(Mulvaney et al., 2013; Kim et al., 2016, 2024; Ansary et al., 2019a; Hur et al., 2023; Jeong et al., 2023). 여러 연구에 따르면, 단일 해조류보다는 다양한 해조류를 혼합한 급이 방식이 전복의 성장, 사료 섭취율, 소화 효율, 생존율 등에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Naidoo et al., 2006; Robertson-Andersson et al., 2011; Viera et al., 2011; Yu et al., 2014; Ansary et al., 2019b).

구멍갈파래(*Ulva australis*)는 전 세계 해안에 분포하는 일년생 녹조류로, 특히 제주 해안에서는 과도한 번식으로 인해 구멍갈파래 수거와 처리에 투입되는 예산은 연간 약 10억원에 달하고 있으며 녹조류의 대량 부착, 저산소증 유발, 황화수소 발생 등의 문제를 일으켜 연안 생태계 및 양식업에 악영향을 주고 있다(Shin and Seo, 2025). 그러나 구멍갈파래는 단백질과 미네랄이 풍부하고 소화 이용성이 높아 전복 치패용 배합사료에 적용 가능성이 높다. 또한 면역 조절, 항암, 항염증 및 항산화 효과가 보고된 황산다당류(ulvan)를 함유하고 있어 전복의 생리적 기능 개선에 기여할 수 있다(Ponce et al., 2020; Nagahawatta et al., 2023; Pradhan et al., 2023).

한편, 김(*Porphyra tenera*)은 국내 해조류 생산량의 약 30% 이상을 차지하는 주요 품종이며(KOSIS, 2025), 마른 김을 생산하는 가공 과정에서 불량품 및 잔여물(부스러기) 등 다량의 부산물(laver by-product)이 발생한다. 이러한 김 부산물은 적절히 처리되지 않을 경우 일부 해안 지역으로 유입되어 환경 관리 측면에서 문제가 될 수 있다. 그러나 김부산물은 외형적 품질 기준에는 부합하지 않으나 영양학적 가치는 유지되어 사료 원료로 활용 가능한 자원이다. 김은 식이섬유와 미네랄이 풍부하며, 미역이나 다시마와 같은 다른 해조류에 비해 상대적으로 높은 단백질 함량을 가지고 있다(Mok et al., 2011). 또한, 홍조류인 김은 polyphenol, carotenoid, tocopherol, phlorotannin, fucoxanthin과 같은 다양한 무기질과 유기물질이 함유되어 있어 항산화제의 풍부한 원천으로 알려져 있으며 주요 탄수화물인 isofloridoside와 floridoside 같은 다량의 유리당이 함유되어 있어 전복 사료 내 기능성 원료로의 활용 가능성이 제시되고 있다(Chanda et al., 2010; Lee et al., 2021).

이 연구에서는 전복 치패용 배합사료 내 미역분말을 구멍갈파래와 김 부산물의 혼합분으로 대체할 경우, 두 해조류 원료에 함유된 기능성 다당류의 상호 작용에 의해 대체 수준에 따라 전복의 성장 성과가 유지되거나 향상될 가능성을 검토하였다. 이에 본 연구의 목적은 전복 치패용 배합사료 내 미역분말을 구멍갈파래와 김 부산물의 혼합분으로 대체하였을 때 전복의 성장 및 가식부 일반성분에 미치는 영향을 평가하고, 이를 통해 해조류 자원의 효율적 활용과 전복 배합사료의 지속 가능성을 탐색하는 데 있다.

재료 및 방법

실험사료 조성 및 일반성분

전복 치패용 실험사료 조성표 및 일반성분 분석 결과는 Table 1에 나타내었다. 실험사료 제조에 사용한 구멍갈파래는 제주도 해역에서 수거한 후, 전라남도 완도군에서 세척 및 자연건조 후 분쇄하여 사료 원료로 사용하였다. 김 부산물은 부산광역시 기장군 소재의 양식장에서 수거된 폐기 김을 자연건조 및 분쇄하여 원료로 사용하였다. 이 연구에 사용된 구멍갈파래 및 김 부산물의 일반성분 조성은 Table 1에 나타냈으며, 두 원료 모두 전복 사료 원료로 활용 가능한 수준의 영양성분을 함유하고 있는 것으로 나타났다. 대조구 사료는 어분(10%), 콘글루텐(15%), 대두박(25%)을 주요 단백질원으로, 소맥분(11.3%)과 텍스트린(1.6%)을 주요 탄수화물원으로 사용하였으며, 주요 지질원으로 어유(1.1%)를 사용하였다. 대조구 사료에는 미역분말을

Table 1. Ingredient and chemical composition of the experimental diets (% , DM basis)

	Experimental diets				
	Con	UL25	UL50	UL75	UL100
Ingredients (%)					
Fish meal	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
<i>Undaria pinnatifida</i>	30.00	22.50	15.00	7.50	-
<i>Ulva australis</i>	-	3.75	7.50	11.25	15.00
Laver by-product	-	3.75	7.50	11.25	15.00
Corn gluten	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Soybean meal	25.00	25.50	26.00	26.50	27.00
Wheat flour	11.30	10.70	10.10	9.50	8.90
Dextrin	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60
Vitamin mix	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Mineral mix	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Choline	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Calcium carbonate	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
CMC	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Fish oil	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50
Nutrients (% , DM)					
Dry matter	94.08	94.03	95.51	93.93	95.31
Crude protein	40.20	40.51	40.69	41.22	41.91
Crude lipid	3.74	3.95	3.98	4.00	3.97
Ash	17.78	18.23	18.22	19.27	18.64

^a*U. pinnatifida* (crude protein: 20.04%, crude lipid: 2.54%, and ash: 29.93%). ^b*U. australis* (crude protein: 17.32%, crude lipid: 0.29%, and ash: 30.88%). ^cLaver by-product (crude protein: 34.09%, crude lipid: 0.96%, and ash: 11.68%). ^dVitamin mix (Aquabest-V; Feedbest Co. Ltd., Cheonan, Korea). ^eMineral mix (Aquabest-M; Feedbest Co. Ltd., Cheonan, Korea).

30% 함유하였으며, 이를 구멍갈파래와 김의 1:1 혼합분으로 각각 25%, 50%, 75%, 100% 대체한 실험사료(UL25%, UL50%, UL75%, UL100%)를 제조하였다. 모든 사료원료와 물은 1:1의 비율로 첨가한 후, vertical mixer (HYVM-1214; Hanyoung Co., Hanam, Korea)를 이용하여 균일하게 혼합하였다. 혼합된 사료는 2 mm의 두께로 펠릿화(pelleting)한 후 1×1 cm 크기로 절단하여, 50°C 농산물용 건조기(SHI-300; Shinhanil Electric Co. Ltd., Gwangju, Korea)에서 5시간 동안 건조시킨 뒤 -25°C 냉동고에 보관하였다.

실험동물 사육관리

이 실험에 사용된 전복 치패는 전라남도 해양수산과학원 수산종자연구소의 협조를 받아 국립수산물연구원 사료연구센터로 이송한 후 사용하였다. 전복 치패는 1톤 FRP (fiber reinforced plastic) 사각수조에서 2주간 순치 및 예비사육을 실시하였다. 평균 체중이 0.7 g인 전복 치패를 각 시험구당 80마리씩 20 L 유수식 사각수조에 3반복 처리로 총 15개 수조에 분배하였다. 사육 수조 내 유속은 여과수 순환 및 폭기 장치를 통해 완만한 수준으로 유지하여, 전복 치패의 부착 및 정상적인 섭이에 영향을 미치지 않도록 관리하였다. 사육실험은 자연광주기 조건에서 총 15주간 실시하였으며, 평균 수온은 $21.9 \pm 4.4^\circ\text{C}$ 였다. 사료 공급량은 4주 간격으로 전복 치패의 전체 체중을 측정 후 이를 기준으로 전체 체중대비 약 2% 수준으로 산정하였다. 사료는 매일 16:00에 공급하였으며, 매일 09:00에 사육 수조를 청소하고 전복 치패의 건강 상태를 점검하였다.

전복 성장 측정

15주간의 사육 실험 종료 후, 각 수조별로 생존한 모든 전복을 대상으로 증체량(weight gain), 일일성장률(specific growth rate, SGR)을 산출하였다. 또한, 각 수조별로 전복 20마리를 무작위로 선정하여 성장 관련 지표인 각장(shell length), 각폭(shell width), 각고(shell height), 가식부 무게(soft body weight) 및 전중량 대비 가식부 비율을 측정하였다. 성장 관련 지표 측정은 디지털 버니어캘리퍼(digital vernier caliper, CD-P15S; Mitutoyo Corporation, Kawasaki, Japan)를 사용하여 수행하였다.

실험 사료 및 전복 가식부 일반성분 분석

실험 사료 원료, 실험 사료 및 전복 가식부의 일반성분 분석을 실시하였다. 전복 가식부는 실험 종료 후 각 수조별로 전복을 20마리씩 무작위로 샘플링하여 분석하였다. 분석항목은 수분, 조단백질, 조지방, 조회분으로, AOAC (1990) 방법에 따라 수행되었다. 수분은 상압가열건조법(135°C, 2시간), 조지방(에테르 추출법), 조단백질은 질소정량법(N×6.25) Automatic Kjeldahl (Kjeldahl 8400; FOSS, Hillerød, Denmark)를 사용하여 분석하였으며, 조회분은 직접회화법(600°C, 6시간)으로 분석하였다.

통계 분석

모든 데이터는 SPSS version 24.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 사용하여 통계 분석을 수행하였다. 각 측정 항목은 One-way ANOVA를 실시한 후, 유의한 차이가 있을 경우 Duncan's multiple range test를 이용하여 사후 검정을 실시하였다. 실험 데이터는 평균 ± 표준편차로 표기하였으며, $P < 0.05$ 를 유의 수준으로 설정하여 유의성을 판단하였다. 또한 미역분말에 대한 구멍갈파래와 김 부산물분의 최적 대체율을 추정하기 위하여 SAS software (version 9.3; SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 이용하여 SGR 자료에 대한 broken-line 회귀분석을 실시하였다.

결과 및 고찰

실험사료를 15주간 공급한 전복의 성장결과를 Table 2에 나타내었다. 전복의 생존율은 98.75–99.58%의 범위로 모든 실험구에서 높은 생존율을 보였으며, 실험구간 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다($P > 0.05$). 전복의 체중증가(weight gain)와 SGR은 UL50 및 UL75 실험구에서 UL25와 Con보다 유의적으로 높은 값이 나타났으며($P < 0.05$), UL100과는 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P > 0.05$).

SGR에 대한 broken-line 회귀분석 결과, 미역분말을 구멍갈파래와 김 부산물의 혼합분으로 대체하였을 때 최적 대체율은 54.6%로 나타났다(Fig. 1). 그러나 broken-line 모델에 의해 산출된 최적 대체율을 초과하는 대체 수준인 75% 및 100% 대체 실험구에서도 성장 저하는 관찰되지 않았다. 이는 구멍갈파래와 김 부산물의 혼합분을 이용하여 미역분말을 최대 100%까지

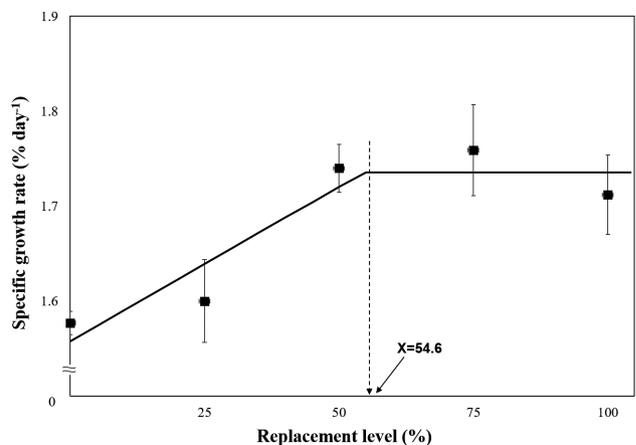


Fig. 1. Broken-line regression analysis of specific growth rate (SGR) in juvenile abalone *Haliotis discus hannai* fed diets in which *Undaria pinnatifida* was replaced with combined *Ulva australis* and laver by-product. The broken-line model was described as $\text{SGR} = 1.5575 + 0.00326X$ ($X \leq 54.60$) and $\text{SGR} = 1.735$ ($X > 54.60$), indicating an optimal replacement level of 54.6%.

대체하더라도 전복의 성장에 부정적인 영향을 미치지 않음을 시사한다. 따라서 영양학적 관점에서의 최적 대체율은 약 55% 수준으로 평가되지만, 사료 원료의 수급 안정성 및 경제성을 고려할 경우 최대 100%까지의 대체도 실질적으로 가능할 것으로 판단된다.

본 연구에서 UL50 및 UL75 실험구에서 상대적으로 우수한 성장 성과가 나타난 것은, 해당 대체 수준에서 구멍갈파래와 김 부산물에 함유된 기능성 성분이 전복의 소화 생리 및 장 기능에 긍정적으로 작용했기 때문으로 해석될 수 있다. 구멍갈파래 (*Ulva* spp.)는 수용성 다당류를 풍부하게 함유하고 있어 소화 효율을 향상시키고 장 점막 기능을 강화하는 것으로 보고된 바 있으며, 이러한 특성은 전복과 같은 초식성 또는 잡식성 연체동물의 성장에 유리하게 작용될 수 있다(Holdt and Kraan, 2011; Kim et al., 2011; Yaich et al., 2011). 또한 김 부산물에 함유된 porphyrin은 수용성 식이섬유로서 장 점막의 두께 및 기능을 향상시키고, 항산화 및 면역 조절 기능을 통해 생리적 스트레스 완화에 기여하는 것으로 알려져 있다(Nunn and Holdt, 1957; Kim et al., 2005; Mok et al., 2011; Lee et al., 2021; Malairaj et al., 2023; Subbiah et al., 2023). 이 연구에서 50–70% 대체 수준에서 관찰된 상대적으로 높은 성장 반응은 이러한 기능성 성분 간의 복합적인 작용 효과가 발현된 결과로 판단된다.

반면, 미역분말을 100% 대체한 실험구에서도 성장 저하는 관찰되지 않았으나, broken-line 분석 결과에서 나타난 바와 같이 성장 반응의 추가적인 증가는 제한적인 것으로 나타났다. 이는 고대체 수준에서도 기본적인 영양 공급과 기능성 효과는 유지되었으나, 특정 기능성 성분의 과잉 또는 영양 조성 변화로 인해 성장 촉진 효과가 더 이상 증가하지 않았기 때문으로 해석될 수 있다. 이러한 결과는 미역분말의 완전 대체가 전복 성장 유지 측면에서는 가능하나, 성장 효율 극대화 측면에서는 50–70% 대체 수준이 가장 효과적임을 시사한다.

미이용 해조류 및 해양 부산물을 사료 원료로 활용하는 것은 환경친화적이면서 양식 생산 비용을 절감할 수 있는 효과적인 방안 중 하나이다. 국내 전복 사료에 사용되는 기존 해조류 분말은 원료 수급 및 가격 변동성이 존재하는 반면, 구멍갈파래와 같은 미이용 해조류는 상대적으로 낮은 비용으로 확보될 가능성이 보고되고 있다(NIFS, 2025). 전복 사료내 해조류 및 어분을 대체하기 위해 구멍갈파래, 팽생이모자반, 멩게 피낭, 김 부산물, 참치부산물, 다시마부산물 등 다양한 미이용 해조류 및 해양 부산물을 활용한 결과가 보고된 바 있다(Jung et al., 2016; Kim et al., 2016; Lee et al., 2017, 2018; Choi et al., 2018; Jang et al., 2018; Baek et al., 2019; Jeong et al., 2020; Hur et al., 2023, 2025).

Table 2. Survival (%), weight gain (g/abalone) and specific growth rate (SGR) of abalone fed the experimental diets substituting *Undaria pinnatifida* with combined *Ulva australis* and laver by-product for 15 weeks

Experimental diets	Initial weight (g/abalone)	Final weight (g/abalone)	Survival (%)	Weight gain (g/abalone)	SGR ¹ (%/day)
Control	0.70±0.002 ^{ns}	3.65±0.043 ^b	99.17±0.833 ^{ns}	2.95±0.043 ^c	1.58±0.012 ^c
UL25	0.70±0.001	3.75±0.175 ^b	98.75±0.000	3.05±0.173 ^{bc}	1.60±0.044 ^{bc}
UL50	0.70±0.001	4.34±0.113 ^a	99.58±0.417	3.64±0.113 ^a	1.74±0.025 ^a
UL75	0.70±0.004	4.46±0.239 ^a	99.58±0.417	3.76±0.237 ^a	1.76±0.048 ^a
UL100	0.70±0.001	4.23±0.186 ^a	99.58±0.417	3.53±0.186 ^{ab}	1.71±0.042 ^{ab}
P-value	0.609	0.014	0.699	0.019	0.016

¹Specific growth rate (SGR)=[(Ln (Wf)-Ln (Wi))/days of feeding]×100, where Ln (Wf) = natural log of the final mean weight of abalone and Ln (Wi) = natural log of the initial mean weight of abalone. ^{ns}Not significant (P>0.05). Values (means of triplicate ± SE) in the same column sharing the same superscript letter are not significantly different (P>0.05).

Table 3. Shell length (mm), shell width (mm), shell height (mm), soft body weight (g) and ratio of soft body to total weight of abalone fed the experimental diets substituting *Undaria pinnatifida* with combined *Ulva australis* and laver by-product for 15 weeks

Experimental diets	Shell length (mm)	Shell width (mm)	Shell height (mm)	Soft body weight (g)	Soft body weight/total weight
Control	30.23±0.256 ^{ns}	20.70±0.180 ^{ns}	5.96±0.200 ^{ns}	2.49±0.110 ^{ns}	0.69±0.002 ^{ns}
UL25	31.39±0.715	22.39±0.705	6.36±0.128	2.70±0.129	0.69±0.003
UL50	32.32±0.222	22.11±0.195	6.40±0.066	3.02±0.087	0.70±0.005
UL75	32.07±0.646	22.10±0.482	6.49±0.189	3.01±0.169	0.69±0.003
UL100	31.55±0.353	21.71±0.236	6.45±0.036	2.96±0.134	0.70±0.005
P-value	0.085	0.448	0.121	0.061	0.158

^{ns}Not significant (P>0.05). Values (means of triplicate±SE) in the same column sharing the same superscript letter are not significantly different (P>0.05).

Table 4. Proximate composition (% of wet basis) of abalone fed the experimental diets substituting *Undaria pinnatifida* with combined *Ulva australis* and laver by-product for 15 weeks

Experimental diets	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Ash
Control	78.37±0.18 ^{ns}	14.80±0.34 ^{ns}	1.24±0.08 ^{ns}	2.33±0.07 ^{ns}
UL25	78.18±0.39	14.99±0.32	1.11±0.08	2.20±0.03
UL50	78.23±0.46	14.86±0.34	1.26±0.02	2.20±0.04
UL75	78.75±0.07	14.51±0.13	1.28±0.03	2.24±0.01
UL100	78.92±0.15	14.61±0.27	1.12±0.06	2.31±0.02
P-value	0.350	0.780	0.197	0.117

^{ns}Not significant ($P>0.05$). Values (means of triplicate±SE) in the same column sharing the same superscript letter are not significantly different ($P>0.05$).

Kim et al. (2024)은 6주간의 사육실험에서 전복 사료내 미역을 김 부산물로 전량 대체하였을 때, 성장률에 유의적인 차이가 없다고 보고하였다. 또한 Ansary et al. (2019a)와 Hur et al. (2025)의 연구결과에 따르면, 전복(*Haliotis discus*) 치패용 배합사료 내 미역을 각각 20%와 30% 함유시 구멍갈파래로 전량 대체가 가능하였으며, 각각 미역의 60%와 50% 대체시 가장 높은 성장 결과가 나타났다. 또한 전복 치패용 배합사료에서 미역을 20% 함유시, 구멍갈파래와 팽생이모자반의 혼합분으로 전량 대체하였을 때 가장 우수한 성장이 나타났다(Ansary et al., 2019b).

전복의 각장, 각폭, 각고, 가식부 무게 및 가식부 비율을 Table 3에 나타내었다. 각장, 각폭, 각고, 전복의 가식부 무게 및 가식부 비율은 모든 실험구간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 이는 대체 원료가 전복의 외형 발달에 부정적인 영향을 주지 않고 형태학적 지표가 안정적으로 유지되었음을 의미하며, 이러한 결과는 선행 연구들과 유사한 결과를 나타내었다(Ansary et al., 2019a, 2019b, 2019c; Baek et al., 2019; Jeong et al., 2020).

전복의 사육실험 종료 시 전복 가식부의 일반성분 분석 결과는 Table 4에 나타내었다. 전복 가식부의 수분(78.18–78.92%), 조단백질(14.51–14.99%), 조지질(1.11–1.28%), 회분(2.20–2.33%)범위에서 측정되었으며, 모든 항목에서 실험구간에 유의적인 차이는 나타나지 않았다($P>0.05$). 본 연구와 유사하게 Ansary et al. (2019a, 2019c)은 전복의 사료내 미역을 구멍갈파래와 팽생이모자반으로 각각 대체하여도 전복의 가식부의 화학적 조성에 유의적인 영향을 미치지 않았다고 보고하였다. 반면, Jang et al. (2018)은 전복 사료 내 멧게피낭으로 해조류(미역, 다시마)를 대체한 실험사료는 전복 가식부의 화학적 조성에 유의적인 영향을 미친다고 보고하여, 사료 원료의 종류와 조성에 따른 영향을 고려해야 할 필요성이 있을 것으로 사료된다.

결과적으로, 이 연구는 전복 배합사료에서 미역을 구멍갈파래와 김 부산물의 혼합분으로 전량 대체가 가능하며, 특히 50%와 75% 대체시 가장 우수한 성장 효과가 나타났다. 본 연구는 미이용 해조류인 구멍갈파래와 김 부산물이 전복 치패용 배합

사료에서 기존 미역분말을 대체할 수 있는 잠재적 사료 원료를 확인하였으며, 이는 해양 부산물 자원의 효율적 활용과 지속 가능한 전복 사료 개발에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 이 연구는 15주 단기 실험으로 수행되었으며, 향후에는 장기 사육 및 고온, 저온 환경 스트레스 하에서의 성장성과 건강지표 평가가 요구된다. 또한 아미노산 및 지방산 조성 분석, 구멍갈파래와 김 부산물의 혼합 비율 최적화, 수중안정성 평가, 소화율 시험 등을 통해 보다 구체적인 적용 가능성 확인이 필요할 것으로 사료된다.

사 사

이 논문은 2026 국립수산물과학원 지속가능한 친환경 배합사료 생산기술 및 품질관리 연구(R2026038)에 의해 수행되었습니다.

References

- Ansary MWR, Jeong HS, Lee KW, Kim PY, Kim J, Yun A, Cho SH and Kim T. 2019a. Dietary substitution effect of *Ulva australis* for *Undaria pinnatifida* on growth, body composition and air exposure of juvenile abalone, *Haliotis discus* (Reeve 1846). *J Appl Phycol* 31, 1467-1474. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1654-4>.
- Ansary MWR, Baek SI, Jeong HS, Lee KW, Cho SH, Kim HS and Jwa MS. 2019b. Substitution effect of the combined fouling macroalgae *Ulva australis* and *Sargassum horneri* for *Undaria pinnatifida* in formulated diets on growth and body composition of juvenile abalone (*Haliotis discus*, Reeve 1846) subjected to air exposure stressor. *J Appl Phycol* 31, 3245-3254. <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01812-x>.
- Ansary MWR, Jeong HS, Lee KW, Kim HS, Kim J, Yun A, Cho SH, Kim PY and Kim T. 2019c. The effect of substituting *Undaria pinnatifida* in formulated feeds with *Sargassum horneri* on growth and body composition of juvenile abalone (*Haliotis discus*, Reeve 1846). *J Appl Phycol* 31, 2125-

2132. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1672-2>.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods of Analysis (15th edn). AOAC, Arlington, VA, U.S.A.
- Baek SI, Kim PY, Jeong HS, Ansary MWR, Lee KW, Cho SH, Kim HS and Byun SG. 2019. The effect of dietary substitution of *Undaria pinnatifida* with carrot leaf by-product on the growth and soft body composition of juvenile abalone (*Haliotis discus*, Reeve 1846). *J Appl Phycol* 31, 3235-3243. <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01796-8>.
- Chanda S, Dave R, Kaneria M and Nagani K. 2010. Seaweeds: A novel, untapped source of drugs from sea to combat infectious diseases. In: Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology. Méndez-Vilas A, ed. Formatex Research Center, Badajoz, Spain, 473-480.
- Choi DG, Kim J, Yun A, Cho SH, Jeong HS, Lee KW, Kim HS, Kim PY and Ha MS. 2018. Dietary substitution effect of fish meal with tunic meal of sea squirt, *Halocynthia roretzi*, Drasche on growth and soft body composition of juvenile abalone, *Haliotis discus*, Reeve 1846. *J World Aquacult Soc* 49, 1095-1104. <https://doi.org/10.1111/jwas.12537>.
- Holdt SL and Kraan S. 2011. Bioactive compounds in seaweed: Functional food applications and legislation. *J Appl Phycol* 23, 543-597. <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9632-5>
- Hur SW, Cadangin J, Bae J, Jeong SM, Kim J, Min BH and Choi YH. 2025. Replacement of dietary *Undaria pinnatifida* meal with *Ulva australis* or *Saccharina japonica* by-product on the growth performance and body composition of Pacific abalone *Haliotis discus hannai*. *J Shellfish Res* 44, 271-279. <https://doi.org/10.2983/035.044.0210>.
- Hur SW, Cadangin J, Lee S, Lee JH, Park SJ, Jang WJ and Choi YH. 2023. Dietary replacement of *Undaria pinnatifida* by *Sargassum horneri* in feed formulation for abalone *Haliotis discus hannai*: Effect on growth, gut microbiota and taste sensory profile. *Front Mar Sci* 10, 1053240. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1053240>.
- Jang B, Kim PY, Kim HS, Lee KW, Kim HJ, Choi DG, Cho SH, Min B, Kim K and Han H. 2018. Substitution effect of sea tangle (*Laminaria japonica*) with tunic of sea squirt (*Halocynthia roretzi*) in diet on growth and carcass composition of juvenile abalone (*Haliotis discus*, Reeve 1846). *Aquac Nutr* 24, 586-593. <https://doi.org/10.1111/anu.12593>.
- Jeong HS, Cho SH and Lee KW. 2020. Dietary substitution effect of *Undaria pinnatifida* with onion extract by-product on growth, chemical composition and air exposure stress of juvenile abalone (*Haliotis discus*, Reeve 1846). *Aquaculture* 529, 735718. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735718>.
- Jeong SM, Gunathilaka BE, Khosravi S, Cho MU, Kwak I, Han YS and Lee SM. 2023. Effects of *Sargassum horneri* as a substitute for *Undaria pinnatifida* in high plant protein diet for juvenile Pacific abalone (*Haliotis discus discus*, Reeve 1846). *Aquac Rep* 30, 101607. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101607>.
- Jung W, Kim HS, Lee KW, Kim YE, Choi DK, Jang B, Cho SH, Choi CY, Kim B and Joo Y. 2016. Growth and body composition effects of tuna byproduct meal substituted for fish meal in the diet of juvenile abalone, *Haliotis discus*. *J World Aquacult Soc* 47, 74-81. <https://doi.org/10.1111/jwas.12255>.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2025. Fisheries Production Statistics. Retrieved from <https://kosis.kr/index/index.do> on Oct 18, 2025.
- Kim J, Kim KW, Jeong SM, Bae J, Hwang IK, Kim SK and Hur SW. 2024. Effects of dietary substitution of *Undaria pinnatifida* with laver *Porphyra tenera* by-product on juvenile abalone *Haliotis discus hannai*. *Korean J Fish Aquat Sci* 57, 349-354. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2024.0349>.
- Kim JD, Yoon YH, Shin TS, Kim MY, Byun HS, Oh SJ and Seo HJ. 2011. Bioethanol production from seaweed *Ulva pertusa* for environmental application. *KSBB J* 26, 317-322. <https://doi.org/10.7841/ksbbj.2011.26.4.317>.
- Kim SJ, Ma SJ and Jang YS. 2005. Extraction and quality characteristics of porphyran from laver (*Porphyra yezoensis*) waste. *Korean J Food Cult* 20, 446-450. <https://db.koreascholar.com/Article/Detail/253669>.
- Kim YE, Myung SH, Kim HS, Jung WG, Cho SH, Jwa MS, Kim PY, Kim MK, Park M and Kim BH. 2016. Effect of dietary substitution of sea tangle (*Laminaria japonica*) with rice bran on growth and body composition of juvenile abalone (*Haliotis discus*). *Aquac Res* 47, 1202-1208. <https://doi.org/10.1111/are.12577>.
- Lee CW, Ahn YT, Zhao R, Kim YS, Park SM, Jung DH, Kim JK, Kim HW, Kim SC and An WG. 2021. Inhibitory effects of *Porphyra tenera* extract on oxidation and inflammatory responses. *Evid Based Complement Alternat Med* 2021, 6650037. <https://doi.org/10.1155/2021/6650037>.
- Lee KW, Kim HS, Choi DG, Jang BI, Yun A, Cho SH, Min B, Kim K and Han H. 2017. Effects of substitution of fish meal (FM) and macroalgae (MA) with soybean meal and rice bran in a commercial juvenile abalone (*Haliotis discus hannai*) diet on growth performance. *Turk J Fish Aquat Sci* 17, 519-526. <https://doi.org/10.1111/are.12577>.
- Lee KW, Kim HS, Kim PY, Jeong HS, Kim J, Yun A and Cho SH. 2018. Substitution effect of white radish (*Raphanus sativus* L.) by-product and tunic of sea squirt (*Halocynthia roretzi*, von Drasche) for *Undaria pinnatifida* in feed of abalone (*Haliotis discus*, Reeve 1846). *Fish Aquat Sci* 21, 10. <https://doi.org/10.1186/s41240-018-0089-9>.
- Malairaj S, Veeraperumal S, Yao W, Subramanian M, Tan K, Zhong S and Cheong KL. 2023. Porphyran from *Porphyra haitanensis* enhances intestinal barrier function and regulates gut microbiota composition. *Mar Drugs* 21, 265. <https://doi.org/10.3390/md21050265>.

- Mok JS, Lee TS, Son KT, Song KC, Kwon JY, Lee KJ and Kim JH. 2011. Proximate composition and mineral content of laver *Porphyra yezoensis* from the Korean coast. Korean J Fish Aquat Sci 44, 554-559. <https://doi.org/10.5657/kfas.2011.0554>.
- Mulvaney WJ, Winberg PC and Adams L. 2013. Comparison of macroalgal (*Ulva* and *Grateloupia* spp.) and formulated terrestrial feed on the growth and condition of juvenile abalone. J Appl Phycol 25, 815-824. <https://doi.org/10.1007/s10811-013-9998-2>.
- Nagahawatta DP, Liyanage NM, Jayawardena TU, Yang F, Jayawardena HHACK, Kurera MJMS, Wang F, Fu X and Jeon YJ. 2023. Functions and values of sulfated polysaccharides from seaweed. Algae 38, 217-240. <https://doi.org/10.4490/algae.2023.38.12.1>.
- Naidoo K, Maneveldt G, Ruck K and Bolton JJ. 2006. A comparison of various seaweed-based diets and formulated feed on growth rate of abalone in a land-based aquaculture system. J Appl Phycol 18, 437-443. <https://doi.org/10.1007/s10811-006-9045-7>.
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2025. Driving the Industrialization of Unused Seaweed-based Feeds for Juvenile Abalone. Retrieved from <https://www.nifs.go.kr/> Dec 2, 2025.
- Nunn JR and von Holdt MM. 1957. Red-seaweed polysaccharides. Part II. *Porphyra capensis* and the separation of D- and L-galactose by crystallisation. J Chem Soc 1957, 1094-1097. <https://doi.org/10.1039/JR9570001094>.
- Ponce M, Zuasti E, Anguís V and Fernández-Díaz C. 2020. Effects of the sulfated polysaccharide ulvan from *Ulva ohnoi* on the modulation of the immune response in Senegalese sole (*Solea senegalensis*). Fish Shellfish Immunol 100, 27-40. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.02.054>.
- Pradhan B, Bhuyan PP and Ki JS. 2023. Immunomodulatory, antioxidant, anticancer, and pharmacokinetic activity of Ulvan, a seaweed-derived sulfated polysaccharide: An updated comprehensive review. Mar Drugs 21, 300. <https://doi.org/10.3390/md21050300>.
- Robertson-Andersson DV, Maneveldt GW and Naidoo K. 2011. Effects of wild and farm-grown macroalgae on the growth of juvenile South African abalone *Haliotis midae* Linnaeus. Afr J Aquat Sci 36, 331-337. <https://doi.org/10.2989/16085914.2011.636910>.
- Shin H and Seo JK. 2025. Evaluation of *in vitro* rumen fermentation characteristics for the utilization of marine bioresource, *Ulva australis* Areschoug as a forage. J Korea Acad -Ind Cooper Soc 26, 492-499. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2025.26.2.492>.
- Subbiah V, Xie C, Dunshea FR, Barrow CJ and Suleria HA. 2023. The quest for phenolic compounds from seaweed: Nutrition, biological activities and applications. Food Rev Int 39, 5786-5813. <https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2094406>.
- Viera MP, De Vicoze GC, Gómez-Pinchetti JL, Bilbao A, Fernandez-Palacios H and Izquierdo MS. 2011. Comparative performances of juvenile abalone (*Haliotis tuberculata coccinea* Reeve) fed enriched vs non-enriched macroalgae: Effect on growth and body composition. Aquaculture 319, 423-429. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.07.024>.
- Yaich H, Garna H, Besbes S, Paquot M, Blecker C and Attia H. 2011. Chemical composition and functional properties of *Ulva lactuca* seaweed collected in Tunisia. Food Chem 128, 895-901. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.114>.
- Yu SN, Duan ZL, Huang B, Wang YL, Wang XB, Li Y and Qiu Y. 2014. Effects of different diet combinations on the growth of juvenile abalone (*Haliotis asinina* Linnaeus). Anim Feed Sci Technol 194, 106-112. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.04.018>.