



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권으로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

이 학 박 사 학 위 논 문

외해가두리를 이용한 돌돔 시험 양식과
적정사료공급을 위한 기반 연구



2007년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

해 양 산 업 공 학 협 동 과 정

김 경 민

이학박사 학위논문

외해가두리를 이용한 돌돔 시험 양식과
적정사료공급을 위한 기반 연구

지도교수 조 재 윤

이 논문을 이학박사 학위논문으로 제출함

2007년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

해 양 산 업 공 학 협 동 과 정

김 경 민

김경민의 이학박사 학위논문을 인준함

2007년 2월 일



주 심 수 산 학 박 사 노 섬
위 원 수 산 학 박 사 이 정 의
위 원 영 양 학 박 사 배 승 철
위 원 이 학 박 사 이 영 돈
위 원 이 학 박 사 조 재 윤

목 차

목 차	i
영문요약(Abstract)	v
표 목차(List of table)	viii
그림 목차(List of figures)	xi
 I. 서 론	 1
1. 연구 배경	1
2. 연구 필요성	2
3. 연구 목표	5
 II. 재료 및 방법	
1. 외해가두리 시스템 특징 및 설치	
1.1. 시설물 구조	7
1.2. 시설 설치	9
1.2.1. 장소 선정 및 환경특성	9
1.2.2. 구조물 조립 및 설치	12
1.3. 안정성 평가	16
2. 외해가두리에서의 돌돔 시험 양식	
2.1. 대상종 선정	16
2.1.1. 선정 기준	16
2.1.1. 돌돔의 생리 생태적 특징	18
2.2. 시험 양식 관리	19
2.2.1. 시험어	19

2.2.2. 시험사료 설계 및 제조	19
2.2.3. 어체측정 및 성분분석	23
2.2.4. 배합사료 공급 및 사육관리	23
2.3. 가두리 설치 전후의 환경변화	24
2.3.1. 해류 조사	24
2.3.2. 해양 환경 조사 정점	24
2.3.3. 수온, 염분, DO 및 COD 조사	24
2.3.4. 저서동물	26
2.4. 양식 경쟁력 평가	26
2.4.1. 시장유통 돌돔의 상품가치	26
2.4.2. 육질평가	27
3. 돌돔 사육관리를 위한 적정 사료공급체계	
3.1. 성장단계별 수온에 따른 최대 섭취량	27
3.1.1. 시험어	27
3.1.2. 시험구 설정	28
3.2. 수온별, 성장 단계별 배합사료 적정 공급율	28
3.2.1. 시험어	28
3.2.2. 시험구 설정	29
3.3. 수온별, 성장 단계별 배합사료 적정 공급횟수	30
3.3.1. 시험어	31
3.3.2. 시험구 설정	31
3.4. 배합사료 공급 제한 영향 조사	31
3.4.1. 시험어	32
3.4.2. 시험구 설정	32
3.5. 배합사료 공급 제한 영향 조사	32

III. 결 과

1. 외해가두리 시스템 설치 및 안정성 평가

1.1. 조류 영향에 대한 안전성 34

1.2. 태풍 영향에 대한 안전성 34

2. 외해가두리에서의 돌돔 시험 양식

2.1. 시험양식 결과 36

2.1.1. 가두리별 수용 돌돔의 성장 및 생존율 36

2.1.2. 월별 성장 36

2.1.3. 내장 성분 변화 38

2.2. 배합사료 공급 및 사육관리 38

2.2.1. 사료효율 및 일일사료섭취율 43

2.2.2. 배합사료 공급일수 분석 44

2.2.3. 종묘 입식 및 사료공급 방법 등 사육관리 44

2.2.4. 외해가두리 돌돔에 대한 육안관찰 조사 47

2.3. 가두리 설치 전후의 환경변화 47

2.3.1. 해류 변화 47

2.3.2. 수온, 염분, DO 및 COD 50

2.3.3. 저서동물 55

2.4. 양식 경쟁력 평가 59

2.4.1. 시장유통 돌돔의 상품가치 평가 59

2.4.2. 육질평가 59

3. 돌돔 사육관리를 위한 적정 사료공급체계

3.1. 성장단계별 수온에 따른 최대 섭취량 63

3.2. 수온별, 성장 단계별 배합사료 적정 공급율 68

3.2.1. 수온 15.0℃에서의 적정 공급율	68
3.2.2. 수온 22.5℃에서의 적정 공급율	72
3.2.2. 수온 25.5℃에서의 적정 공급율	77
3.3. 수온별, 성장 단계별 배합사료 적정 공급횟수	81
3.3.1. 수온 15.0℃에서의 적정 공급횟수	81
3.3.2. 수온 22.5℃에서의 적정 공급횟수	81
3.4. 배합사료 공급 제한 영향 조사 결과	85
3.4.1. 사료공급 제한이 성장에 미치는 영향	85
3.4.2. 사료공급 제한 일수에 따른 전어체 분석 결과	85
IV. 고찰	92
V. 요약	99
감사의 글	101
참고문헌	102

*Offshore Aquaculture Trial and Optimum Feeding Schedule of Parrot Fish, *Oplegnathus fasciatus**

Kyong-Min KIM

Department of Interdisciplinary Program of Ocean Industrial Engineering,
Graduate School, Pukyong National University

Abstract

The Korean finfish culture industry has faced with the difficulties of water pollution, typhoons and red tides in coastal areas, along with competition of large amount of imported foreign fisheries products. To challenge and overcome these difficulties, the culture industry should shift the current paradigm of the land based flow through system and the inshore cage culture system to the recirculating system on land and/or to the environmentally friendly offshore cage culture system in open sea.

This study was conducted to investigate the possibility of offshore aquaculture in Korea by installing submerged net-cages and applying suitable feeding technology such as optimal feeding rate and feeding frequency, and feed intake rate on parrot fish, (*Oplegnathus fasciatus*) under various water temperature conditions.

Three offshore cages (Ocean Spar^R 3000) developed by National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) in the U.S.A. were installed (at 4.5 km from coast) of southeastern Jeju island. Stability and security of the

cage were checked along with the growth of parrot fish. The cage system withstood strong ocean and tidal currents flowing up to 2 knots and two typhoons, Nabi in 2005 and Ewiniar in 2006.

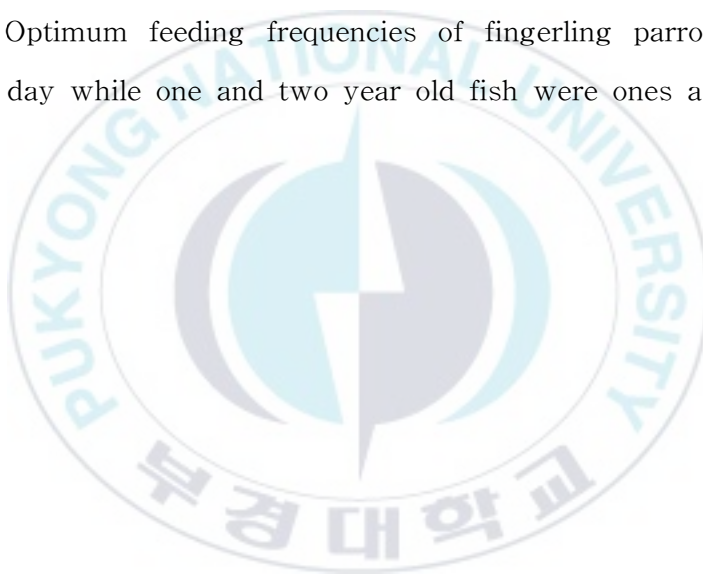
Parrot fish groups, average body weight of 4.6 g, 9.5 g and 124 g were stocked in each of three offshore cages on July 8, 2005. After 7 months from stocking, the groups of fish grew up to 131.3 g, 189.6 g and 357.7 g, respectively. Survival rates were relatively high (92.0%~98.5%) compare to inshore cage culture and land based tank culture system.

The rate of daily feed intake of parrot fish of different body weight groups (10-30 g, 40-60 g, 70-120 g, 130-240 g, 250-480 g, and more than 480 g) were investigated under six water temperature conditions (15.1°C, 19.2°C, 22.5°C, 23.0°C, 24.7°C, and 26.5°C) in a series of 300 L tanks. The rates of daily feed intake per body weight of the smallest fish group (10-30 g body weight) were 2.24% at 15.1°C and 6.04% at 26.5°C. The rates of daily feed intake of fish sized 40-60 g body weight group were 1.14% and 3.85% at 15.1°C and 26.5°C, respectively. But the rates of daily feed intake of bigger fish (250-480 g body weight) were 0.48% and 2.06% at 15.1°C and 26.5°C, respectively.

To investigate the optimum feeding rate and feeding frequencies for maximum growth and feed efficiencies, fingerlings (mean body weight: 19.4 g, 21.8 g and 62.7 g) and one- and two-year old parrot fish (mean body weight: 90.1 g, 115.0 g, 341.7 g and 344.7 g) were stocked and tested under various water temperature conditions. Optimum feeding rates of fingerlings (62.7 g) and two-year old fish (344.7 g) at 15.0°C were 1.61% and 0.28% of body weight per day, respectively. Optimum feeding

rates of fingerlings (21.8 g) and one-year old fish (115.0 g) at 22.5°C were 2.21% and 1.11% of body weight per day, respectively. Optimum feeding rates of fingerlings (19.4 g), one-year old fish (90.1 g) and two-year old fish (341.7 g) at 25.5°C were 3.40% (95% of satiation), 1.67% and 1.38% of body weight per day, respectively.

Feeding for offshore aquaculture cage might be restricted by severe weather conditions if automatic feeding system is not installed. Optimum feeding frequencies were not affected by water temperature but ages of parrot fish. Optimum feeding frequencies of fingerling parrot fish were two times a day while one and two year old fish were ones a day.



List of table

- Table 1. Comparison of monthly water temperatures in two adjacent coasts of offshore cage culture site
- Table 2. Working process for offshore cage installment
- Table 3. Total scores of primary and secondly criteria for selecting suitable culture fish species among 8 selected fish by the 5 point scale
- Table 4. Initial number and sizes of parrot fish stocked in the three offshore cages
- Table 5. Composition and proximate analyses of the experimental diet for the parrot fish culture in offshore cage (dry matter basis)
- Table 6. Results of observation of offshore cages after installation and two typhoons
- Table 7. Growth and survival of parrot fish cultured at three offshore cages
- Table 8. Monthly growth and survival of two groups parrot fish reared in the offshore cage
- Table 9. Results of growth and efficiencies of feed of parrot fish reared in offshore cages (Jul. 8. 2005 ~Feb. 22. 2006)
- Table 10. Observation results of parrot fish during the first stage of cultivation in offshore cages
- Table 11. Composition of benthic organisms collected around offshore cage culture site¹
- Table 12. Comparisons of market price of parrot fish cultured in the offshore cage and land based tank system
- Table 13. Palatability test scores of the muscles of parrot fish from wild and offshore cage
- Table 14. Size of palatability test panel for the muscles of parrot fish from wild and offshore cage
- Table 15. Distribution of the panel with the best score for each evaluation parameter of the muscles of parrot fish from wild and offshore cage

- Table 16. Comparison of growth, feed efficiency and maximum feed intake for six different weight group's of parrot fish fed satiation level under the seven different water temperature conditions
- Table 17. Weight gain, feed efficiency and feed intake for parrot fish (body weight: 10 to 30 g) under the six different water temperature conditions
- Table 18. Weight gain, feed efficiency and feed intake for parrot fish (body weight: 70 to 120 g) under the six different water temperature conditions
- Table 19. Weight gain, feed efficiency and feed intake for parrot fish (body weight: 250 to 480 g) under the six different water temperature conditions
- Table 20. Growth performance of juvenile parrot fish fed diets with various feeding rates for 6 weeks (mean water temperature: 14.8°C).
- Table 21. Proximate composition of whole body of juvenile parrot fish fed diets with the various feeding rates for 6 weeks (mean water temperature: 14.8°C)
- Table 22. Growth performance of two-year old parrot fish fed diet with the various feeding rates for 6 weeks (mean water temperature: 15.1°C)
- Table 23. Growth performance of juvenile parrot fish fed diet with the various feeding rates for 7 weeks(mean water temperature: 23.1°C)
- Table 24. Growth performance of one-year old parrot fish fed diet with the various feeding rates for 8 weeks (mean water temperature: 22.3°C)
- Table 25. Growth performance of juvenile parrot fish fed diet with the various feeding rates for 4 weeks (mean water temperature: 25.5°C)
- Table 26. Growth performance of juvenile parrot fish fed diet with the various feeding rates for 6 weeks (mean water temperature: 26.7°C)

- Table 27. Growth performance of two-years old parrot fish fed diet with the various feeding rates for 6 weeks (mean water temperature: 26.7°C)
- Table 28. Growth performance of juvenile parrot fish fed diet with the various feeding frequencies for 6 weeks (mean water temperature: 14.8°C)
- Table 29. Growth performance of two-years old parrot fish fed diet with the various feeding frequencies for 8 weeks (mean water temperature: 15.1°C)
- Table 30. Growth performance of juvenile parrot fish fed diet with the various feeding frequencies for 7 weeks (mean water temperature: 23.1°C)
- Table 31. Growth performance of one-year old parrot fish fed diet with the various feeding frequencies for 8 weeks (mean water temperature: 22.3°C)
- Table 32. Effect of starvation on growth of juvenile parrot fish under 20.4°C condition
- Table 33. Effect of starvation on growth of two-year old parrot fish under 20.4°C condition
- Table 34. Proximate analyses of whole body of juvenile parrot fish (20.2~21.3 g) by starvation days per week under 20.4°C condition¹
- Table 35. Proximate analyses of whole body composition of two-years old parrot fish (300.5~314.6 g) by starvation days per week under 20.4°C condition¹
- Table 36. Estimated daily optimum feeding rate (% body wt. per day) for 3 size groups of parrot fish with the water temperatures

List of figure

- Figure 1. Schematic diagram of offshore cage installed at offshore of southeastern Jeju island.
- Figure 2. Vertical view of offshore cage (Ocean Spar^R 3000) installed at offshore of southeastern Jeju island.
- Figure 3. Station of offshore cage aquaculture site. A black square indicates the culture site.
- Figure 4. The PCR image of virus infection tests of parrot fish before stocking in the offshore cages.
- Figure 5. Measuring points for the test of environmental factors of the offshore cage culture site in Jeju island.
- Figure 6. Changes of average moisture, crude protein and lipid contents in the intestine of parrot fish from October 2005 to February 2006.
- Figure 7. Percentage of feeding frequencies affected by weather conditions around offshore cage culture sites from July to December, 2005.
- Figure 8. Schematic diagram of fish stocking procedure using siphoning hoses from work boat.
- Figure 9. Direction and velocity of water current measured by ADCP at the 30 m below the water surface.
- Figure 10. Movement trace of water current board for measuring flow velocity at the offshore cage culture site.
- Figure 11. Directions of currents measured with ADCP at various water depths.

Figure 12. Fluctuation of water temperatures at various depth of offshore cage culture site in February and June.

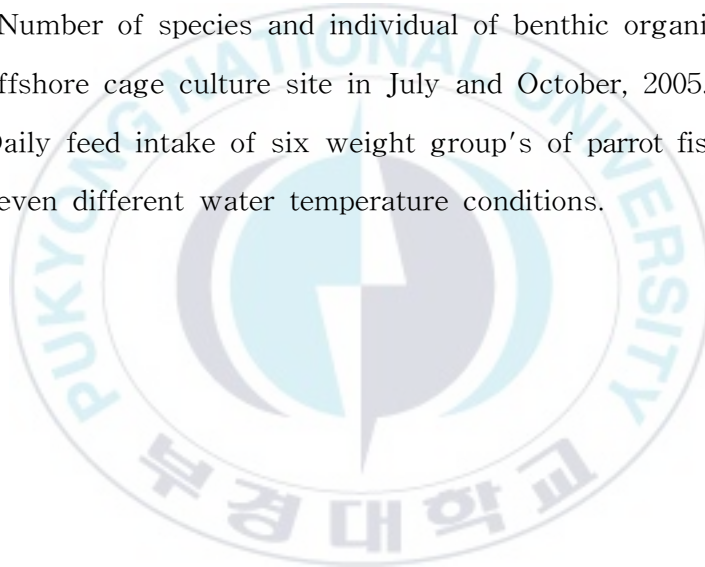
Figure 13. Vertical profile of water temperature (-●-) and salinity (-▲-) in and around offshore cage culture site in July 2005.

Figure 14. Comparison of dissolved oxygen measured at various water depth around offshore cage culture site in July and October 2005.

Figure 15. Comparison of COD concentration at various water depth around offshore cage culture site in July and October 2005.

Figure 16. Number of species and individual of benthic organism at offshore cage culture site in July and October, 2005.

Figure 17. Daily feed intake of six weight group's of parrot fish under the seven different water temperature conditions.



I. 서 론

1. 연구 배경

인간이 고대 생활에서 조개와 물고기를 이용하여 왔다는 점은 패총을 비롯한 수렵도 등의 역사자료로 널리 알려진 사실이다. 그리고 수산물이 저지방 고단백 식품으로 건강이나 수명연장에 효과가 있다는 과학적 증거가 제시되면서부터 소비가 급속도로 증가되고 있다. 그러나 이제까지 무한대의 자원으로 평가 받아왔던 수산업은 어획도구의 발달로 무차별 남획되면서 자연자원의 회복이 한계에 도달하였고, 각 연안국에 EEZ 설정으로 근해 어업관리권이 각 연안국에 예속되면서 어업생산량도 한계를 드러내고 있다. FAO (2006)에 따르면 2004년 세계 수산물 생산량은 155.8백만 톤이었으며, 이중 양식으로 59.4백만 톤 생산되어 비율이 약 38%를 차지하고 있는 것으로 보고되었다. New (1999)에 의하면 세계적으로 수산식품 소비 수요는 계속 증가하는 반면에 어분 및 어유 생산용 어류를 제외한 어류, 갑각류, 연체동물 등 수산물의 세계 어업생산고가 6,000만 톤에 머물 것으로 예상하면서, 21세기에도 환경오염과 남획으로 그 생산량은 증가되지 않을 것으로 추정하였다. 이와 같이 어업생산량이 2000년 이후 증가되지 않는 것에 비해 양식생산량은 지난 10년 동안 약 250%가 증가하면서 수산물공급에 양식의 중요성이 더욱 커지고 있다.

이와 더불어 미래의 전략적 식량 보급을 위해 현재의 육상양식은 생물에 적합한 사육환경을 경제적으로 조성하기 위한 고밀도 순환여과양식 방법까지 발전을 계속하고 있다. 그러나 해수면을 이용하는 양식은 시설물의 안전성 등 생물외적 요인들로 인해 기술개발과 이용면적 확대에 제한이 많고, 매년 강해지는 태풍은 매우 심각한 피해를 발생시키고 있어서, 2003년도 시설과 생물 피해 금액이 각각 1,265억원 및 4,000억원에 달했다.(해양수산부, 2004).

또한 바다를 이용하는 주체가 과거 그 지역 주민이나 수산업관련자 중심에서 현재 모든 국민이 중심이 되는 체계로 전환되고 있다. 즉 친환경 양식에 대한 요구와 안전한 식품에 대한 수요가 국민 중심으로 급격히 변화하고 있다. 그러므로 친환경적인 양식은 연안에 허가면적 기준치를 준수하고 육상 유입 오염원 저감과 오염원의 과학적 정화뿐 만 아니라, 수산동식물의 양식 시설물에 의한 환경오염을 최소화하는 노력이 필요한 실정이다. 이에 따라 육상 활용의 경우는 순환여과양식 방법에 대한 기술 정립이 필요하고, 해상은 연안에서 떨어진 외해의 중·저층을 이용한 형태의 외해가두리 양식 개발이 유일한 대안으로 인식하고 있다.

2. 연구 필요성

최근 들어 국내 양식업은 인건비 상승, 계절별 과잉생산 및 주변국 양식 어류의 무차별 수입 등에 의한 가격 폭락으로 도산 위기에 직면하고 있다. 이러한 현재의 양식산업에 활로를 개척하고 경쟁력을 강화하기 위해서는 수질이 양호한 외해에서 고품질 어류의 안정적 생산이 필요하다. 현재 우리나라의 해상 양식은 풍파에 의한 시설물을 유지할 수 있는 기술 부족으로 연안에 집중됨으로써 연안환경 오염의 주범으로 부각되고 있으며, 항해 및 조망권 침해 등에 의한 지역주민과의 마찰도 심각하다. 또한 지방자치가 강화되면서 레저와 관광을 겸한 연안구역 활용이 활발해질 것으로 예상되는 미래는 더욱 수중 노출 시설물에 대한 주민과의 마찰이 거세질 것으로 전망되어 진다. 그러나 국민들에게 품질이 우수하고 안정적인 수산물 공급을 위해서 가두리양식은 수산업에 있어서 쉽게 포기할 수 없는 중요한 양식방법 중의 하나이며, 수입수산물의 저가공세에도 불구하고 어가소득 향상과 풍요로운 어촌을 위해서 경쟁력 있는 어류 양식산업으로 발전할 수 있어야 할 것이다.

그러므로 태풍 등에 견디면서 고급 해산어류를 양식할 수 있는 외해양식 시설을 개발 보급하고, 외해가두리 양식 대상종 선정에 비롯한 사육생물 관리 방안, 생물수확과 가공처리 방안, 시설물의 점검 및 지속적 안정성 확보 방법에 등에 대한 폭넓은 연구가 요구된다. 또한 외해가두리에 의한 환경영향을 조사하여 환경 부하에 과도하지 않은 외해가두리 운영 지침을 설정함으로써 외해가두리 양식이 수산업이 처한 당면한 문제를 극복하고 국제적인 경쟁력을 가질 수 있는 고부가가치 산업으로 육성 발전 될 수 있도록 노력해야 할 것이다. 이 때문에 외해나 공해를 이용한 전천후 가두리 양식시설 개발 및 구조 개선이 필요한 시점이라 할 수 있다. 즉, 자연재해에 견딜 수 있는 외해가두리 개발은 태풍이나 폭풍에 의한 시설물 손괴와 사육생물 유실 등 경제적 손실도 극복할 수 있을 것이다. 그래서 정부차원의 대규모 투자가 이루어진 노르웨이, 스웨덴, 영국, 미국에서는 외해를 효율적으로 이용하기 위한 노력이 적극 경주되었고, 그 중 노르웨이는 Sintef사에서 일정계류에 의한 가두리 설계 방법 및 TLC (Tension Leg Cage)에 관한 연구가 진행되었고, 미국에서는 NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration 주관으로 Sea Station 모델을 개발하여 상용화를 위한 연구(Fredriksson *et al.*, 2002)를 하고 있다. 그러나 우리나라에서 시설 개발은 외해를 이용하기 위해 과거 가두리에서 일부 개량된 형태로 발달하였고, 최근에 들어 태풍, 연안오염 등 환경의 영향에 따른 피해가 상승하면서 과학적인 접근이 수행되어 파주력 산정(정진호 외, 1996), 유체력(김태호 외, 2002) 및 운동응답 해석(이창호, 2001) 등이 이루어졌을 뿐 새로운 모델 개발을 위한 연구는 일부 진행되고 있는 정도이다.

외해가두리 시설 개발과 더불어 효율적 이용과 경제적인 양식산업을 지속시키기 위해서는 외해가두리에 대한 제작, 설치의 표준화를 통한 저렴한 시설단가 유지, 소요인력의 감축 유도 방향뿐 만 아니라, 외해가두리를 이용한

시험 양식을 통하여 사육생물의 성장과 수확물에 대한 상품성, 시설설치 및 생산원가의 비교 검토를 통한 경제성 분석을 실시하고 외해가두리 양식이 성장산업으로 발전할 수 있을지 여부를 검토할 필요가 있다. 외해가두리를 이용한 대상종 탐색, 양식경쟁력의 평가, 시설물 및 사육생물 관리 운영방법에 관한 연구는 아직까지 미흡할 뿐만 아니라 경제적 효과에 대한 분석이 이루어지지 않은 실정이므로 세계적인 경쟁력을 확보하기 위해서는 현재 상용화된 모델을 도입하여 우리나라 해역에서 생물 적응성, 시설 안전성 및 경제성 검토가 필요할 것이다. 그래서 우선 근년에 미국 하와이 및 푸에르토리코 등지에 시설되어 고부가가치를 창출하고 있는 모델을 도입하여 우리나라 해역 여건에 부합되는지에 대한 검토가 필요하였다.

외해가두리 시험양식을 통하여 외해양식 시설물이 태풍 등 환경 재해에 안전하고 안정적으로 생물 사육이 가능한 기술로 정착된다면, 양식 생산 기술이나 종묘생산 기술, 사료 및 자재 등 양식관련 인프라로 볼 때 우리나라의 양식산업은 세계적인 경쟁력을 갖출 수 있을 것이다. 또한 외해가두리 양식에 대한 적절한 연구는 금후 추진되는 외해가두리 양식단지 등의 설치 운용에 있어서 문제없이 할 수 있도록 기술수준을 발전시킬 수 있을 것이며, 경제에 미치는 파급효과 또한 상당할 것으로 기대된다.

또한, 외해가두리 양식산업이 성공을 이루기 위해서는 시설의 안전성과 더불어 생산원가 절감을 통한 경제적 이익을 창출시키기 위한 노력이 필요하다. 생산원가를 결정하는 중요한 요인인 사료는 조피볼락 가두리에서는 경영비에 약 35%~40%를 차지하고 있으며, 넙치 육상양식의 경우도 18%~20%가 사료비로 지출된다(해양수산부, 2003). 공급되는 배합사료의 양, 사료효율 등은 인건비, 감가상각비, 종묘구입비와 더불어 외해가두리 양식의 경제적인 손익분기점을 결정하는 주요 요소이다. 그러므로 양식산업에서 사료의 적정 공급은 양식사업 성패를 가름 할 만큼 중요한 요소이며, 사료유실에 의한 환

경오염 방지를 위해서도 양식과정에서 확실히 지켜야 할 요소인 것이다. 외해가두리에 대한 관리적 측면에서 배합사료 공급방법에 대한 연구는 반드시 선행되어야 하나 아직까지 시험 양식 대상종인 돌돔의 사료공급에 대한 연구는 전무한 실정이다. 외해가두리 양식의 경우는 전량 배합사료에 의한 양식이 수행되어야 하는 만큼 사료공급체계의 조기구축이 필요하다. 배합사료 공급 관리를 위해서는 수온에 따른 대상종의 크기별 적정 공급량을 우선 계산하여 사료의 유실 방지와 사료효율을 최대화 시킬 수 있는 사료공급체제를 구축 할 필요가 있을 것이다.

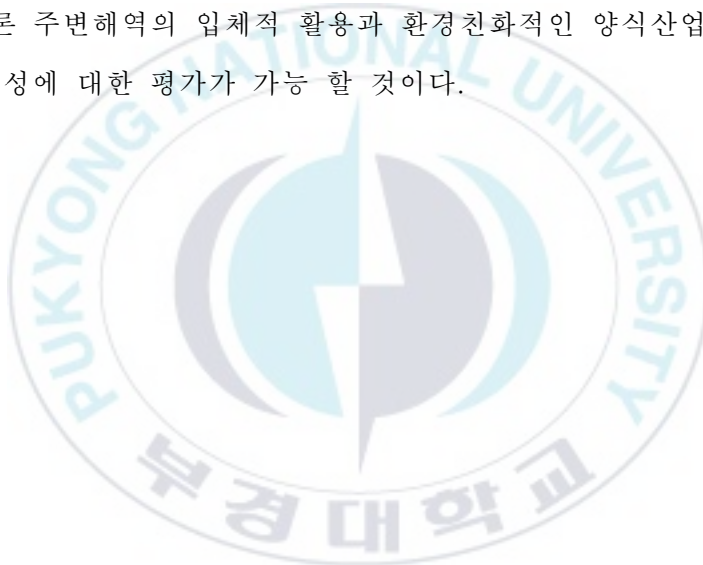
3. 연구 목표

우리나라에서 외해가두리를 이용한 양식 대상종 개발이나 양식경쟁력을 평가하고 시설물 및 사육생물을 관리 운영하는 방법에 관한 연구는 아직까지 시행된 적이 없으며, 세계적으로도 국가정책의 일환으로 일부 국가에서 적극적인 노력을 경주하고 있기는 하나 제반여건을 고려할 때 아직까지는 초기 개발단계라 할 수 있을 것이다. 바다를 이용한 연안 양식 생산성 향상과 양식장에 의한 연안환경 문제 해결 필요성을 동시에 갖고 있는 우리나라에서 축적된 해산어 양식 노하우를 바탕으로 양식어종에 적합한 가두리 개발과 더불어 실용화 된 국외 제품을 도입하여 현지화시킴과 동시에 관리방법을 제도화시켜야 하는 것이다.

이 같은 필요에 따라 이번 연구는 외해가두리 양식이 우리나라에 적합성 여부를 판단하기 위하여 강력한 태풍, 허리케인에 견디는 시설을 도입하여 제주연안에 설치한 이후 안전성을 검토하고, 외해가두리를 이용한 시험 생산을 통하여 산업으로의 성장 가능성을 분석하고자 한다. 또한 외해가두리가

환경에 미치는 영향을 조사하여 환경친화적인 양식을 유도하고자 하며, 대상종에 대한 사료공급 프로그램을 조기에 확립하여 수중유실 사료에 의한 오염방지와 경제적인 양식을 유도 정착시키고자 노력하였다.

이번 연구를 통하여 외해가두리 양식에 대한 관리체계를 확립하고 국내의 환경과 양식생물에 알맞게 실용화시킴으로써 고품질의 해산어류를 안정적으로 생산할 수 있는 방안을 마련할 수 있을 것이며, 현재 개발 초기단계인 외해가두리 양식을 조기에 정착시킬 수 있는 기초 자료로 활용이 가능할 것이다. 이를 바탕으로 우리나라 양식산업이 한 단계 도약할 수 있는 기반을 마련함은 물론 주변해역의 입체적 활용과 환경친화적인 양식산업으로 패러다임 전환 가능성에 대한 평가가 가능할 것이다.



II. 재료 및 방법

1. 외해가두리 시스템 특징 및 설치

1.1. 시설물 구조

외해가두리 양식 시험에 사용된 가두리의 전체구조를 Figure 1에 나타내었다. 전체적인 모양은 다이아몬드 또는 주판알 모양을 하고 있는데, 중심에 높이 15 m의 기둥(spar)이 존재하고 기둥을 반등분하는 지점에서 지름 25 m의 원주(rim)가 위치하는 형태로 구성되어 있다. 가두리 한 개의 용적은 3,000 m³로 제주도 300여 곳(제주도, 2006)에 분포하고 있는 보통규모의 육상 양식장 1개소의 수면적과 유사한 규모이다. 본 실험에 이용된 외해가두리의 주요 부분을 보면, spar, rim, 앵커, ballast weight 및 그물 등으로 나누어 볼 수 있다.

Spar는 직경 90 cm, 길이 7.5 m의 아연파이프 2개를 용접하여 이루어진 형태로써, 기둥역할을 하면서 공기의 주입과 배출로 부상과 침강 작업을 수행할 수 있도록 상단부에 밸브장치가 있다. spar의 상단부에는 작업대가 있고 하단부에는 harvest cone이 있어서 이곳에 그물을 걸착시켜 당겼을 때 그물이 충분히 전개되도록 되어 있다. harvest cone은 그물의 팽창을 조절할 수 있는 조임 장치가 부착되어 있고, 폐사체가 하단부 바닥에 모이게 한 후 부상력을 이용하여 그 폐사체를 제거함으로써 상어, 물개 등 대형동물이 가두리 근처로 유집되면서 사육중인 어종에 스트레스와 시설물의 파손을 방지하도록 설계되었다.

Rim은 직경 200 mm, 길이 6 m의 아연파이프 12개를 연결하여 12각형으로 만든 후 spar가 중앙에 위치하도록 되어있으며, 그물을 당겨서 매었을 때 다이아몬드모양을 형성하여 그물이 가두리 용적을 유지하도록 되어있다. 연결된 각각의 rim에는 개별적으로 공기를 주입하여 조류나 파도의 영향에 의한

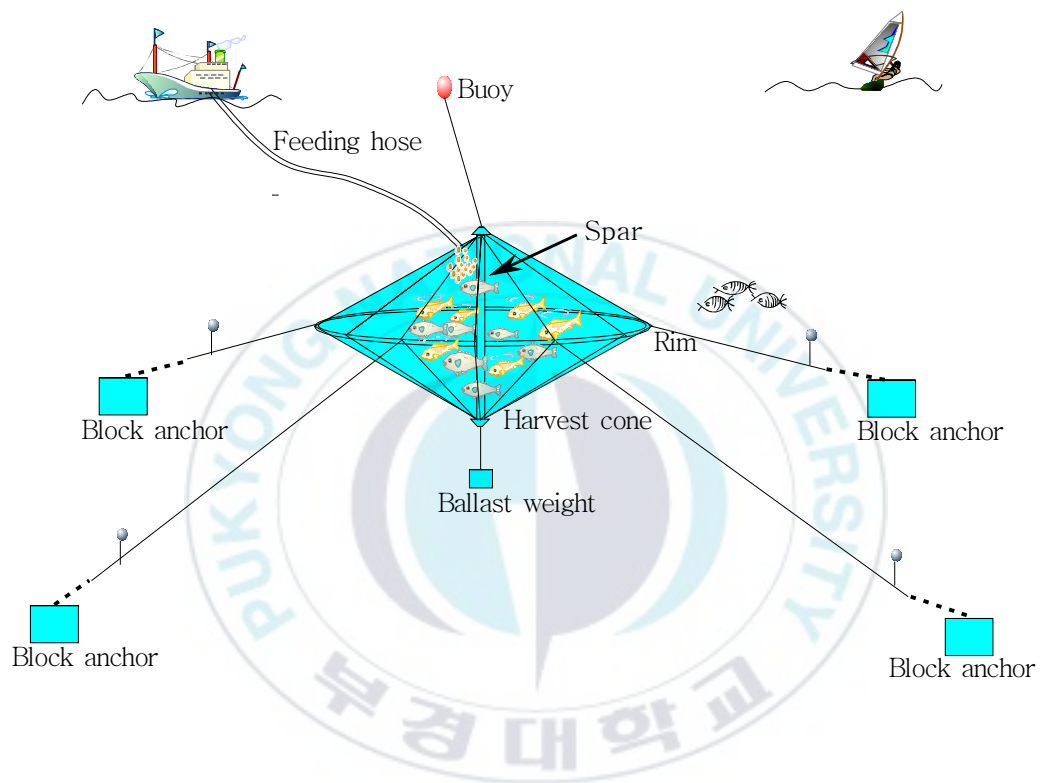


Figure 1. Schematic diagram of offshore cage installed at offshore of southeastern Jeju island.

쏟림 현상으로 한쪽 기우림을 방지하는 수평자의 역할과 동서남북 네 방향의 앵커와 연결되는 로프가 rim에 걸착되도록 설계되어 가두리를 고정하는 역할을 하고 있다.

앵커는 바닥의 구성 재질에 따라 달라질 수 있으나, 이번 연구에서는 시설장소의 저질입자가 작은 세사(1 mm 이하)보다 굵은 사질과 낮은 암반이 산재해 있는 바닥이어서 블록 앵커로 설치하였다. 블록앵커는 3.3×3.3×1.0 m의 27톤 콘크리트 블록 구조물을 제작하여 사용하였으며, 블록앵커와 Rim의 연결은 체인과 70 mm 로프를 사용하였다(Figure 2).

Ballast weight는 15톤의 사각 콘크리트 재질로 되어있으며, spar에 직경 32 mm 체인으로 연결되어 가두리 설치 수층을 결정하는 역할을 할 뿐만 아니라 spar가 수직으로 될 때 균형추의 역할을 하고 있다.

그물은 무결절 망으로 제조되었으며, 1가닥에 인장강도가 150 kg (그물코 3.5 cm는 75 kg) 강도를 유지할 수 있도록 제작되었고, 그물코의 크기는 가두리 1개는 3.5 cm, 나머지 2개는 4.2 cm이다. 또한 고강도 그물에는 12라인의 로프가 중간에 있어서 spar의 양끝과 rim의 12각형 각 연결부위가 서로 묶여서 고정하는 역할을 하고 있다.

1.2. 시설 설치

1.2.1 장소 선정 및 환경특성

외해가두리는 Figure 3에 나타난 바와 같이 제주 남동부 해안으로 표선리 해안가에서 직선으로 약 4.5 km 해역을 선정하여 설치를 시작하였다. 2005년도 시험어업을 승인 받아서 4월 시설을 도입하고 육상조립 및 수중 설치 작업을 진행하였다.

외해가두리 시험 수역(허가면적: 10 ha)의 특징은 수심이 조석에 따라 3~8~50 m가 유지되는 지역으로 저질은 굵은 사질로 구성되어있고 주변부에

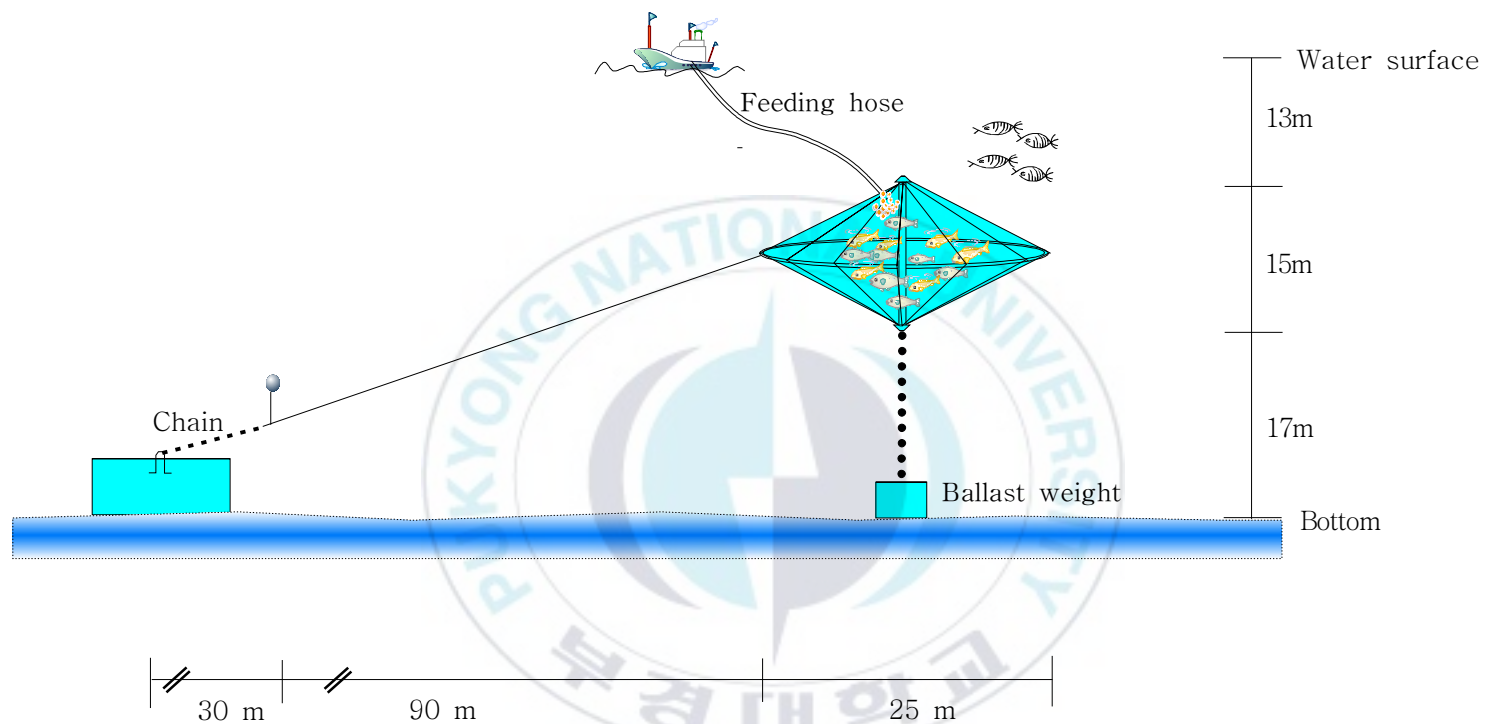


Figure 2. Vertical view of offshore cage (Ocean Spar^R 3000) installed at offshore of southeastern Jeju island.

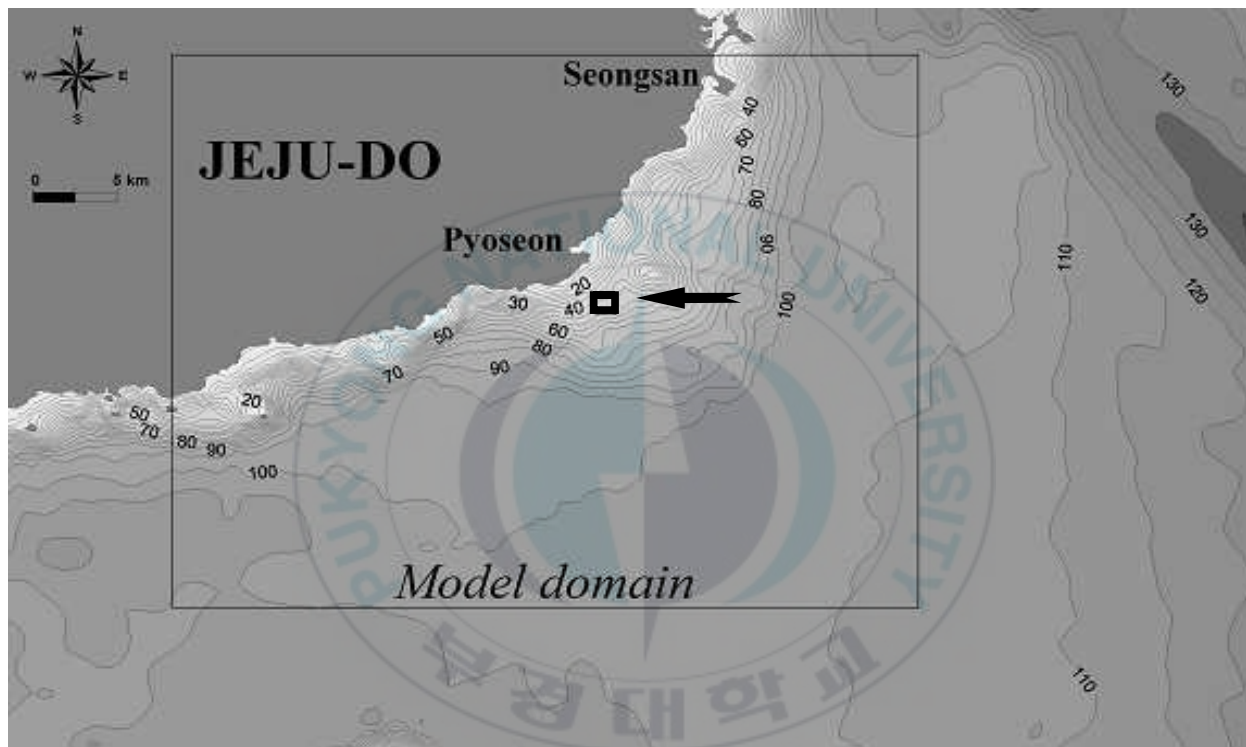


Figure 3. Station of offshore cage aquaculture site. A black square indicates the culture site.

는 낮은 암반이 산재해 있다. 가두리 안전성에 가장 영향을 미치는 해양조건인 조류는 계절에 따라 차이가 있었다. 사전 조사에서는 조류가 0.6~1.4 노트 (E-W)이었고, 수온은 연중 15~26℃, 염분 32~35‰를 유지하는 것으로 조사 (국립해양조사원, 2004)된 해역이다.

외해가두리 시설수역으로서 대상종의 탐색이나 사육생물의 관리를 위해서는 시설지역에 대한 환경, 특히 외양성의 지역을 감안 할 경우 다른 환경조건보다 수온에 대한 사전 검토가 필요하다. 그래서 시설예정지 인근인 우도와 서귀포를 조사지점으로 하여 조사(국립수산물과학원, 2002)된 결과를 보면 (Table 1), 최저수온의 경우는 2월과 3월에 나타나고 있는데 우도지역은 월평균수온이 3월에 13.9℃로 가장 낮은 반면, 서귀포는 2월에 14.1℃로 가장 낮게 나타났다. 월별 최고수온은 우도, 서귀포에서 8월에 24.4℃와 25.5℃로 기록되었다. 시설수역이 두 수역의 중간에 위치하고 있으므로 두 수역과 비슷한 수온 분포이거나 두 수역의 수온범위 안에 드는 환경 조건일 것으로 예상하여 적정 대상종 결정에 활용하였다.

1.2.2 구조물 조립 및 설치

외해가두리 제작 및 설치작업은 여섯 공정으로 진행되었다(Table 2). 즉 앵커의 제작 및 시설수역 투입, 기둥인 spar 용접, rim 조립, 수중작업인 spar와 rim 그리고 그물의 결속, 시설수역 이송 및 앵커연결과 시설 안전성 점검으로 나눌 수 있다.

첫째 앵커의 제작 및 시설수역 투입과정을 보면, 먼저 육상에서 3.3×3.3×1.0 m에 콘크리트 블록을 제작하였다. 제작과정은 직경 16 mm 철근을 30 cm 간격으로 입체적으로 넣고, 블록고정용 고리를 철근에 용접하여 레미콘을 타설 하였는데, 기포에 의해 블록 내부로 해수가 침투하거나 균열 발생을 방지하기 위하여 진공기 사용을 철저히 하였다. 자연조건에서 천천히 10일 이상 양생시킨 후 바지선을 이용하여 시설수역에 투입하고 다시 가두리

Table 1. Comparison of monthly water temperatures in two adjacent coasts of offshore cage culture site
(National Fisheries Research & Development Institute, 2002)

Area	Year	Monthly average water temperature (°C)											
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
U-do	1967~2000	15.2	14.2	13.9	14.5	15.9	18.2	21.6	24.4	23.5	20.9	18.5	16.6
Seoguipo	1962~1989	15.2	14.1	14.2	14.9	16.7	19.3	22.0	25.5	24.4	22.1	19.4	17.1

Table 2. Working process for offshore cage installment

Working process	Work scheme	Others
Anchor manufacture	Mould cast form Arrange steel rods Connect anchor rings Concrete work	Dimensions of anchor: 3.3×3.3×1 m (27 ton) Reinforcing steel rod: dia. 16 mm
Spar welding	Spar support setting Welding Test	Welding: 3 times Coating: zinc galvanizing
Rim assembling	Connect 12 Rims on beach	
Connection of spar, rim and net	Connect Ballast Weight to Spar Raise Spar by regulation of compressed air in Spar Unfold net by hand winch Connect Spar to Rim with net lines Unfold net by dropping Harvest Cone Fix Harvest Cone and Spar with volts	Ballast Weight: 15 tones
Towing to culture site and connect with anchor	Tow to culture site by boat Connect with four anchor lines Install Ballast Weight on the bottom	Length of Ballast Weight chain: 17 m
Check the stability of cage system	Check net damage while working Check volt tightening Check anchor lines	Observation for cage installation: longer than two weeks

조립이 완료되는 동안 물속에서 서서히 굳을 수 있도록 하였다.

둘째 spar의 용접은 2등분으로 제작되어 도입된 spar를 작업대 위에서 원주가 일치되도록 맞춘 후 용접을 3회 실시하였다. 용접이 끝나고 spar 내부에 공기를 집어넣어 테스트를 실시하였으며 이후 아연을 녹여서 용접부위가 완전 피복되도록 하였다.

셋째 rim의 조립은 표선해수욕장의 잔잔한 수면위에서 이루어 졌다. rim이 갖고 있는 자체 부력을 이용하여 수면에 띄우고 스패너를 이용하여 조립작업을 하였다. 일차로 조립이 완료된 rim은 수면에 띄운 상태에서 하루 이상 경과하여 볼트 상태를 확인하고 다시 조임 작업을 실시하였다.

넷째 spar와 rim 및 그물의 결속 작업은 사전 설치된 수심 25 m 지점의 앵커에 선박을 이용하여 spar와 rim을 끌고 이송하여 실시하였다. 구조물이 조류나 파도의 영향으로 크게 유동되지 않도록 앵커에 고정하고, spar에는 ballast weight를 짧게 묶어 공기압에 의해 부상침강이 가능하도록 하였다. spar가 rim의 중앙에 위치하고 수직으로 서도록 한 다음에 spar의 상부 작업대에 그물을 고정하였고 고정된 그물을 핸드 윈치를 이용하여 수면에 전개하고 그물의 중간 중간에 있는 로프들과 rim을 연결하였다. 그물 하단부의 로프는 harvest con에 묶고 harvest con을 낙하시켜 spar의 하단부와 harvest con이 연결되도록 볼트로 고정하였으며 볼트를 잡아당겨 그물이 팽팽하도록 하였다.

다섯째 모양을 갖춘 외해가두리 시설물은 선박을 이용하여 시험 시설지역으로 이송하였다. 방위각을 이용하여 정확히 투하되었던 블록앵커와 운반한 rim을 직경 70 mm 로프로 연결하였다.

끝으로 spar와 ballast weight가 연결된 체인길이를 조절하여 외해가두리 설치 수층에 정확히 위치하도록 하였다. 완성된 외해가두리 시설물은 2주간 수중에서 뒤틀림이나 한쪽 쏠림, 볼트결속 풀림 현상 등에 대한 안전성을 파악하여 보강함으로써 시설설치를 완료하였다.

1.3. 안전성 평가

외해가두리 시설의 안전성 평가를 위해서 잠수조사를 실시하였다. 조류에 의한 영향은 2005년 6월부터 계속하여 1주일 간격으로, 태풍에 대한 영향은 제주 연안을 통과한 태풍 Nabi와 Ewiniar가 지나간 후에 집중적으로 잠수조사를 실시하여 네트 상태, Spar의 뒤틀림, Rim과 Harvest cone의 볼트상태, 앵커라인 인장 정도 등을 육안과 장비로 조사하였다.

2. 외해가두리에서의 돌돔 시험 양식

2.1. 대상종 선정

2.1.1. 선정 기준

세계 여러 나라에서는 cobia (*Rachycentron canadum*), moi (*Polydactylus sexilis*), seabass (*Atractoscion nobilis*), mahimahi (*Coryphaena hippurus*) 등의 어종을 외해가두리 시설에서 사육하여 생산함으로써 가두리 대상종으로 자리를 잡아가고 있다. 그러나 이상의 종들은 우리나라의 수온 환경에 따른 서식조건 차이로 적정 성장에 적합하지 않을 뿐더러 소비시장 측면에 있어서도 아직까지 생소한 어종이어서 이번 외해가두리 시험 대상종으로 선정하지 않았다.

또한 외해가두리 양식 시설물이 Figure 1 및 2에서와 같이 15~30 m 중층에 위치하고 있으며, 다이아몬드 모양을 하고 있어서 대상종 선정에서 서식생태 특성이 일부 제한 요소로 작용할 것으로 예상된다. 제주도 연안의 연중 수온에 성장이 꾸준히 유지되고 조류에 의한 어체 쏠림이나 경사진 그물에 영향을 받지 않는 어종 등을 선정하기 위하여 아래와 같은 생태적 적합성, 경제성, 사회성 등의 선정조건으로 대상종을 선정하였다(Table 3).

- A. 우리나라 주변 해역의 중층 수온에 성장과 생존이 가능한가?
- B. 경사진 그물 바닥으로 인하여 피해를 입지 않을 것인가?

Table 3. Total scores of primary and secondly criteria for selecting suitable culture fish species among 8 selected fish by the 5 point scale

		Red sea bream	Flounder	Parrot fish	Groupers	Mackerel	Tuna	Cobia	Mahimahi
Primary criteria	Total scores	23	20	24	22	22	14	14	14
	A. Suitability for Jeju site	5	5	4	4	4	?	3	4
	B. Adaptability for offshore cage	5	2	5	5	5	4	5	5
	C. Market demand	5	5	5	3	5	5	4	3
	D. Social recognition	5	3	5	5	4	5	2	2
	E. Economical efficiency	3	5	5	5	4	?	?	?
Secondary criteria	Total scores	14	-	13	8	9	8	-	-
	A. Assurance of seedlings	5	-	5	1	2	2	-	-
	B. Whether assorted feed is developed	5	-	4	2	2	1	-	-
	C. Competition with other culture techniques	4	-	4	5	5	5	-	-

※ 5: Best, 4: good, 3: average, 2: worse, 1: worst

C. 대량생산으로 소비의 수요 창출이 가능한가?

D. 현재의 사회적인 인식으로 소비가 가능한가?

E. 시설 투자비 및 운영 경비 환수가 가능한 종인가?

이와 같은 조건으로 선정된 종들은 현재까지 많이 알려진 참돔, 돌돔, 능성어, 고등어, 참치 등의 어종이었다. 이 종들을 대상으로 다시 종묘 확보, 외해가두리 양식 시설에 적합성 및 국내 기존 양식업자와의 중복성 등에 대한 2차 검증을 실시하였다.

A. 가두리에 수용 할 만큼의 종묘확보가 가능한가?

B. 배합사료 개발이 되어있거나, 배합사료로 사육한 결과가 있는가?

C. 현재 국내에서 양식되는 어종으로 일반 양식업자와 중복되는 정도?

등으로 평가를 실시하였으며, 이런 여러 조건에서 최고의 평가를 받은 참돔과 돌돔 중에 외해가두리 양식의 경쟁력 확보를 위해 고가의 가격경쟁력을 갖춘 돌돔을 외해가두리 시험 양식 대상종으로 선정하였다. 돌돔 수확을 연안 가두리에서 출하되는 시기를 지양한다면 수요자들에게 연중 공급할 수 있을 것이라는 시장 경제적 측면의 이점뿐만 아니라 현재의 양식업자와 마찰 요소도 크게 발생하지 않을 것으로 판단하여 대상종으로 선정하였다. 또한 돌돔에 대한 가두리 및 육상양식 방법, 종묘수급 등 관련 제반 여건이 발달해 있어서 다른 대상종에 앞서 최적의 조건을 갖추고 있는 것으로 판단되었다.

2.1.2. 돌돔의 생리 생태적 특징

돌돔은 과거부터 능성어류와 더불어 최고가로 판매되는 고급어종이며, 정(1986)등의 형태 생태적 특징을 보면 체형은 방추형이나 체고가 크게 측편된 형태이다. 미성어는 연한 회색 바탕에 7줄의 흑색 가로띠가 있으며 비늘은 매우 작은 빗비늘이고 성장은 전장 약 40 cm내외까지 성장한다. 우리나라의 남부해안에서 동중국해까지 분포하며, 연안에서 주로 어획되는 어종으로 산란 시기는 6~8월로 알려져 있다.

2.2. 시험 양식 관리

2.2.1. 시험어

외해가두리에 수용한 돌돔은 2004년산과 2005년산 돌돔으로 가두리에 수용하기 이전인 5월부터 육상수조를 이용하여 사육하였다(Table 4). 시험 어류의 방양시 크기는 2005년산 및 2004년산의 전장 각각 5.9 ± 0.4 cm, 6.3 ± 0.5 cm와 17.7 ± 1.5 cm이었고, 체중은 4.6 ± 0.8 g, 9.5 ± 1.2 g 및 124.0 ± 32.0 g이었던 것을 선별하여 외해가두리 3개에 입식하였다. 2005년산 돌돔은 1번과 2번 2개 수조에 분리 수용하였고, 2004년산 돌돔은 3번 수조에 입식하여 시험 양식을 실시하였다.

외해가두리 시험 양식을 위한 입식어의 크기와 질병의 감염을 알아보기 위하여 세균성 질병 및 기생충에 의한 감염여부를 조사하였으나 검출되지 않았다. 입식용 돌돔에 대한 VNN, VHS, Birna-virus, Irido-virus 등 바이러스 감염을 조사한 결과 Figure 4와 같다. PCR로 유전자 증폭 결과 Irido-virus에 대하여 일부개체에서 marker가 나타나 바이러스 감염이 조사되었다. 그러나 새롭게 돌돔 종묘를 대량 구입하고 짧은 시간 내 대체하기가 어려워 시험 양식을 계속 진행하였다.

2.2.2. 시험사료 설계 및 제조

시험사료는 기존에 수행된 돌돔의 영양 요구에 관한 연구 결과(강 등, 1998; 강 등, 1999)를 토대로 하여 설계하였다(Table 5). 사료의 원료로는 대량생산 및 소비가 예상되므로 시판사료에 주로 사용되고 있는 원료들을 사용하였다. 단백질원으로는 북양어분, 대두박, 콘글루텐밀 및 오징어 분말을 사용하여 사료의 단백질 함량이 48%가 되도록 조절하였고, 지질원으로는 어유를 사용하여 13%(강 등, 1998; 김 등, 2003)의 함량이 되도록 하였으며, 탄수

Table 4. Initial number and sizes of parrot fish stocked in the three offshore cages

Cage No.	No. fish (thousand)	Average size				Seed production date
		Total length (cm)	Body length (cm)	Body height (cm)	Body weight (g)	
1	550	5.9±0.4	5.2±0.4	2.8±0.2	4.6±0.8	Mar. 2005
2	75	6.3±0.5	5.3±0.4	2.8±0.3	9.5±1.2	Mar. 2005
3	80	17.7±1.5	15.2±1.3	7.4±0.7	124.0±32.0	Mar. 2004

Table 5. Composition and proximate analyses of the experimental diet for the parrot fish culture in offshore cage (dry matter basis)

Ingredients	Percentage (%)
White fish meal	51.3
Dehulled soybean meal	8.0
Corn gluten meal	6.0
Squid liver powder	10.0
Wheat flour	8.4
Corn starch	1.0
Beer yeast	1.0
Fish oil & Lecithin	8.4
Krill meal	1.0
Kelp meal	1.5
Vitamins mix. ¹	1.7
Minerals mix. ²	1.7
Attractants	0.5
<i>Proximate analysis</i>	
Crude protein (% DM)	48.0
Crude lipid (% DM)	13.1
Crude ash (% DM)	12.9
Gross energy (kcal/kg DM)	3993

¹Contains (as mg/kg diet) : ascorbic acid, 300; DL-calcium pantothenate, 150 ; choline bitartrate, 3000; inositol, 150; menadione, 6; niacin, 150; pyridoxine · HCl, 15; riboflavin, 30; thiamine mononitrate, 15; DL- α -tocopherol acetate, 201; retinyl acetate, 6; biotin, 1.5; folic acid, 5.4; B₁₂, 0.06

²Contains (as mg/kg diet) : NaCl, 437.4; MgSO₄ · 7H₂O, 1379.8; NaH₂P₄ · 2H₂O, 877.8; Ca(H₂PO₄)₂ · 2H₂O, 1366.7; KH₂PO₄, 2414; ZnSO₄ · 7H₂O, 226.4; Fe-Citrate, 299; Ca-lactate, 3004; MnSO₄, 0.016; FeSO₄, 0.0378; CuSO₄, 0.00033; Calcium iodate, 0.0006; MgO, 0.00135; NaSeO₃, 0.00025

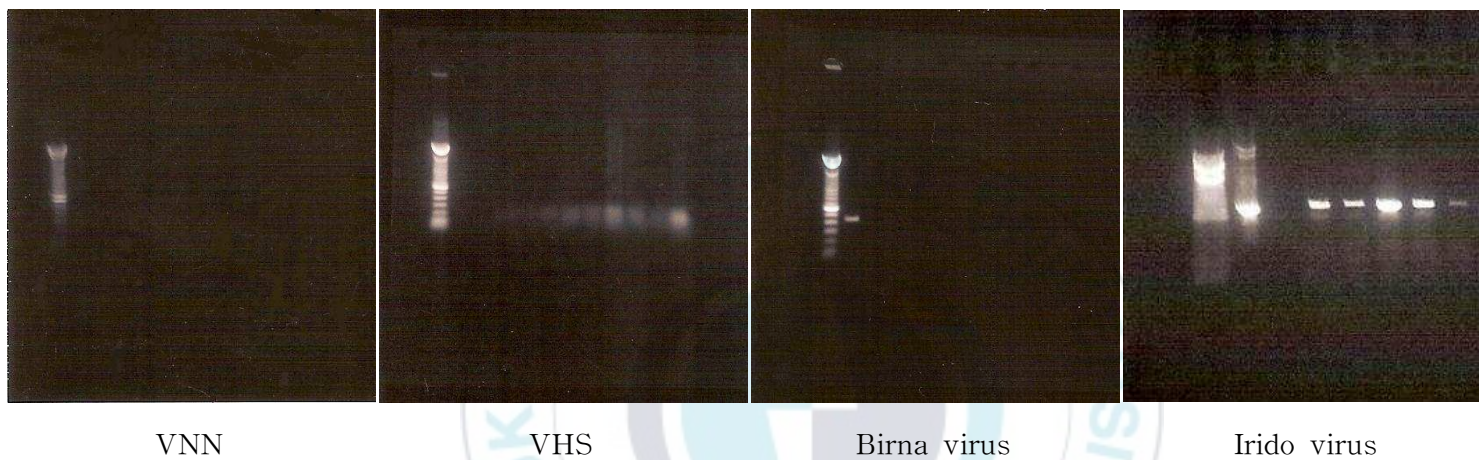


Figure 4. The PCR image of virus infection tests of parrot fish before stocking in the offshore cages.

화물원으로 소맥분과 옥수수전분, 해조분말(원 등, 2004) 및 비타민(Xiaojie *et al.*, 2003) 혼합물 등을 첨가제로 사용하였다. 이렇게 설계된 배합사료는 (주)수협사료에 의뢰하여 침강형태의 배합사료로 제조하였다.

2.2.3. 어체측정 및 성분분석

외해가두리에서 사육중인 돌돔의 어체 측정은 매월 실시하였는데, 성장 조사를 위하여 돌돔을 가두리 내에서 뜰채를 이용하거나 낚시를 이용하여 포획한 후에 실내로 이송하여 전장, 체장, 체중 등을 mm, g 단위까지 측정하였다. 체중은 가두리에서 배합사료를 섭취했으므로 개복을 실시하여 내장의 배합사료를 제거한 다음 개체 중량을 측정하였다.

외해가두리 수용 돌돔의 수온 변화에 따른 어체성분의 변화와 빠른 조류가 어체에 미치는 영향을 알아보기 위하여 체성분 조성 변화 조사의 일환으로 내장 내 성분함량의 변화를 관찰하였다. 매월 5, 6마리의 돌돔에서 내장을 수거한 후에 배합사료를 제외하고 성분분석을 실시하였다. 시료의 수분은 105℃의 dry oven에서 6시간 동안 건조 후 측정하였으며, 조단백질(N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (VAP500T/TT125, Gerhard)을 사용하여 분석하였다. 조지방은 ether로 추출하여 측정하였고, 조회분은 회화로(550℃)에서 4시간 동안 태운 후 측정하였다.

2.2.4. 배합사료 공급 및 사육관리

2005년 7월 8일 외해가두리에 배합사료를 공급하기 시작하여 2006년 2월 22일 출하할 때까지 가두리별 배합사료 공급량을 측정하여 사료효율, 일일공급율을 분석하였다. 또한 2005년 7월 8일부터 12월 31일까지 배합사료 공급 가능했던 날과 불가능했던 날수를 계산하였다.

돌돔을 외해가두리에 수용하고 가두리 내의 유영행동, 사료섭취 행동을 매주 잠수 관찰하였다.

2.3. 가두리 설치 전후의 환경 변화

2.3.1 해류 변화

외해가두리 시설지역인 표선리 연안에 대한 해류 변화를 측정하기 위하여 가로세로 1×1 m의 측류판을 2005년 6월 15일과 16일 이틀간 정오에 수심 2 m와 20 m 수역에 투하하여 2시간 동안 시간변화에 따른 이동사항을 DGPS로 기록하여 측류판의 이동궤적과 측류 속도를 측정하였다. 또한 RCM 9Mk II 유속계를 양식장 아래 수심 30 m에 26시간동안 계류시켜서 시설지역 저층의 유속을 관측하였다. 그리고 ADCP를 수심 50 m에 설치하고 2005년 7월 20일에서 8월 2일까지 14일 동안 층별 해류를 조사하였다.

2.3.2. 해양 환경 조사 정점

해류 특성을 고려하여 가두리 설치 수역을 중심으로 동쪽과 북쪽 방향으로 각각 4개 정점씩 총 9개 정점에 대하여 실시하였다(Figure 5).

2.3.3. 수온, 염분, DO 및 COD 조사

수온, 염분도, DO의 측정은 외해가두리를 중심으로 동쪽과 북쪽방향으로 100 m, 200 m와 동쪽 500 m 정점을 정하고 7월과 10월에 수질측정기(CTD, SeaBird-19)를 이용하여 수층별로 측정하였다. 또한 수층별 수온은 자동계측기를 이용하여 3, 4일 동안 수심 13 m, 23 m, 33 m에서 10분 간격으로 측정하였다. COD 측정을 위해 같은 정점에서 표층, 중층 및 저층 해수를 채수하여 실험실로 운반하였다. COD 측정은 해양환경공정시험방법(해양수산부, 2002)에 의거 300 ml 둥근플라스크에 시료 25 ml를 넣고 20% 수산화나트륨 용액 1 ml를 넣어 알카리성으로 한 후에 0.025N 과망산간칼륨 용액 10 ml를 넣어 60분간 가열하고 10% 요오드화칼륨용액 1 ml를 넣어 식힌다.

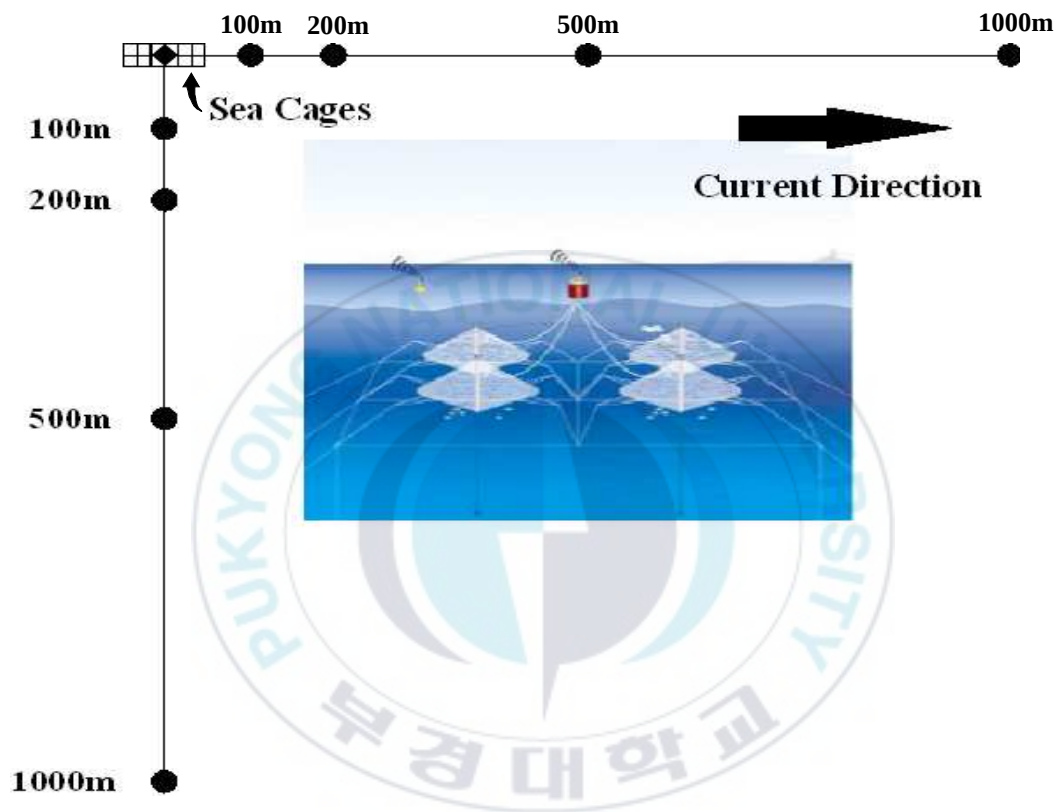


Figure 5. Measuring points for the test of environmental factors of the offshore cage culture site in Jeju island.

이후 황산용액 5 ml를 넣어 요오드를 지시약으로 녹말지시약 2 ml를 넣고 0.025N 티오황산나트륨으로 무색이 될 때까지 적정하는 방법으로 COD를 측정하였다.

2.3.4. 저서동물

외해가두리 시험 양식 정점을 비롯하여 이곳에서 동쪽으로 100 m, 200 m, 500 m와 북쪽으로 100 m, 200 m 정점에서 각각 3회씩 채내기(Smith-McIntyre grab, 0.025 m²)로 퇴적물을 인양하여 저서동물의 종 조성 및 분포 특성을 파악하였다.

2.4. 양식 경쟁력 평가

2.4.1. 시장유통 돌돔의 상품가치

외해가두리 생산 돌돔이 출하를 시작한 2006년 2월과 3월에 유통업자가 육상양식장에서 출하한 돌돔과 외해가두리에서 출하한 돌돔에 대하여 결정한 가격을 비교하여 상품가치를 평가하였다.

2.4.2. 육질평가

2006년 8월 23일 외해가두리에서 생산된 350 g 돌돔과 자연산 600 g 돌돔을 사용하여 70명의 일반 평가위원을 대상으로 향(냄새), 섹택, 맛, 질감(씹힘), 전체적인 느낌 등 항목에 대한 평가를 실시하였다. 평가는 두 종류의 돌돔을 즉살시키고 미공개 상태에서 식탁위에 생선회를 준비하였을 때, 평가위원 각자의 취향에 따라 항목별 점수로 평가하도록 하였다. 평가는 개인적인 기호도에 따라 아주 좋다: 5점, 좋다: 4점, 보통: 3점, 싫다: 2점, 아주 싫다: 1점으로 점수를 매기게 하였다.

평가위원의 평가 결과 외해가두리 생산 돌돔과 자연산 돌돔에 대한 평가

에서 항목별로 동점이 아닌 비교우위 점수에 대한 분석을 실시하였다.

또한 비교대상 돌돔에서 5개의 평가항목 중 최상점인 아주 좋다(5점)를 평가한 인원을 분석하였으며, 비교 우위 총점 평가자들의 항목별 최고점 부여 상태를 분석하였다.

3. 돌돔 사육관리를 위한 적정 사료공급체계

3.1. 성장단계별 수온에 따른 최대 섭취량

시험 대상종에 대한 배합사료 적정 공급량을 산출하기 위하여 각 단계별로 각 수온에 맞춰 시험을 수행하는 것은 사실상 불가능한 일이다. 수온의 변화를 일정하게 유지하기도 힘들뿐 만 아니라 동일한 시기에 시험어를 각 성장단계별로 확보하는 것과 양호한 건강상태를 유지하는 것은 더욱 어렵다. 그래서 수온변화가 적은 2주 동안 돌돔의 각 성장단계에서 최대한으로 먹는 양을 조사하고, 수온에 따른 적정 공급을 시험을 통하여 나타난 결과를 대입하면 대상종에 대한 일일 적정 배합사료 공급량 계산이 가능하므로 이를 배합사료 공급표로 활용할 수 있을 것이다.

돌돔의 성장 단계를 처음 10~30 g, 40~60 g, 70~120 g, 130~240 g, 250~480 g, 480 g이상 단위로 구분하였다. 개체 체중이 배수 증가하는 체중을 기준으로 정하여 각 단계별로 수온에 따른 배합사료 공급 체계 확립을 위한 시험구로 설정하였다. 수온범위는 돌돔의 성장범위 내에서 저수온과 고수온 시기에 적정공급율과 공급횟수를 조사하였고, 약 2~3℃편차의 수온단위로 구분하여 수온별 성장단계별 최대 섭취량을 조사하였다.

3.1.1. 시험어

시험어는 2004년산, 2005년산, 2006년산 돌돔을 사용하였다. 실내 수조에서 순치 사육 중이던 돌돔과 배합사료 적정 공급을 실험을 종료한 일부 시험

어 중에서 10~30 g, 40~60 g, 70~120 g, 130~240 g, 250~480 g, 480 g 이상 등 해당범위에 비슷한 크기의 돌돔을 선별하여 수온별, 성장단계별 배합사료 최대 섭취량을 조사하였다.

3.1.2. 시험구 설정

시험구는 연안 수온자료를 바탕으로 연중 계획된 수온이 해당되는 시기에 위의 설정 성장단계 중 해당 시험어가 존재하는 경우 시험구를 설정하였다. 설정된 시험구별 매일 배합사료를 2회(09:00, 17:00) 최대로 공급하여 일일 섭취량을 계산하였고, 2주간의 공급량을 누적 계산하여 평균값으로 최대 섭취량을 산정하였으며, 3반복의 시험구 중 최대 섭취량을 나타내는 수조를 선택하여 값을 정하였다. 수조별 수용 마릿수는 성장단계에 따라 10~30 g은 50마리, 70~120 g은 20마리, 300 g 이상은 10마리 범위를 기준으로 수용하여 시험하였다.

수온에 따라 2005년 10월부터 2006년 9월 중에 여섯 차례에 걸쳐 2주 간격으로 시험을 실시하였다. 사육기간 동안의 평균수온은 15.1℃, 16.0℃, 19.2℃, 22.5℃, 24.7℃ 및 26.5℃이었다.

3.2. 수온별, 성장 단계별 배합사료 적정 공급율

돌돔의 경우 우리나라 남부지역을 중심으로 제주연안과 남해안의 동부지역에 분포하면서 23℃이상의 높은 수온을 선호하는 경향이 있으나, 제주연안의 연중 수온 분포를 고려하여 수온을 15.0℃, 22.5℃ 그리고 25.5℃이상으로 설정하여 돌돔의 수온별 적정 배합사료 공급율을 조사하였다. 평균 중량 20 g, 60 g, 90 g, 115 g, 350 g 등의 돌돔 치어, 1년어 및 2년어를 사용하여 적정 공급량을 조사하였다.

3.2.1. 시험어

수온 15.0℃에서의 적정 공급율을 구명하기 위하여 시험어는 2004년산 돌돔과 2005년산 돌돔을 사용하였다. 외해가두리에 입식하기 위하여 육상수조에서 사육 중이던 치어와 미성어의 일부를 제주수산연구소 시험포의 시험수조에서 순치 사육하였으며, 체중 60 g의 돌돔 치어와 체중 350 g의 돌돔 2년어를 사용하였다.

수온 22.5℃에서의 적정 공급율 시험어는 20 g과 115 g 내외의 돌돔을 선별하여 2005년 5월과 9월에 배합사료 적정 공급량을 조사하였다.

수온 25.5℃ 이상에서의 적정 공급율 시험어는 2004년산, 2005년산과 2006년산 돌돔을 사용하였다. 2005년과 2006년 외해가두리에 입식 돌돔 중 수조에 순치된 20 g, 90 g, 350 g 내외의 돌돔을 선별하여 고수온기인 2006년 8월과 9월에 배합사료 적정 공급량을 조사하였다.

3.2.2. 시험구 설정

시험구는 수온 15℃ 전후의 저수온기에 배합사료의 적정 공급율 시험을 위하여 배합사료 공급비율을 일정한 간격으로 조절하여 시험구를 설정하였다. 돌돔 60 g 치어는 먼저 어체중에 1.93%(만복 섭취량)를 기준으로 0.16%씩 감소하는 시험구를 설정하여 어체중에 각각 1.77%, 1.61%, 1.45% 및 1.29%로 공급하였고, 350 g 2년어는 어체중에 0.34%(만복 섭취량), 0.32%, 0.30%, 0.28%, 0.26%를 공급하여 시험을 실시하였다. 당년어인 돌돔 60 g 치어는 수조 당 30마리씩, 2년생 350 g 돌돔은 10마리씩 수용하여 시험을 시작하였다. 체중 60 g의 돌돔 치어는 2005년 12월 3일부터 2006년 1월 15일까지 6주간 실시하였고, 체중 350 g의 돌돔 2년어는 2006년 3월 13일부터 5월 11일까지 8주간 시험을 실시하였다. 시험기간 동안 평균수온은 각각 15.1℃, 14.8℃이었다.

수온 22.5℃ 전후에 있어서도 일정간격에 사료 공급비율을 정하여 실시하

었는데, 돌돔 20 g 치어는 어체중에 2.34%(만복 섭취량)를 기준으로 0.10%씩 감소한 비율을 기준으로 각각 2.24%, 2.14%, 2.04% 및 1.94%를 공급하였고, 115 g 1년어에서는 어체중에 1.12%(만복 섭취량)를 기준으로 0.05%씩 감소하는 1.07%, 1.02%, 0.97% 및 0.92%로 공급하였다. 20 g과 115 g의 돌돔을 300 ℓ 수조 당 각각 40마리, 25마리씩 수용하여 시험을 시작하였다. 체중 20 g의 돌돔 치어는 2005년 9월 21일부터 2006년 11월 5일까지 7주간 실시하였고, 체중 115 g의 돌돔은 2005년 5월 25일부터 7월 30일까지 8주간 시험을 실시하였다. 사육기간 동안의 평균수온은 각각 23.1℃, 22.3℃이었다.

고온기인 수온 25.5℃ 이상에서도 시험어 어체중에 대한 일정비율 간격을 정하여 적정 공급을 시험을 실시하였다. 돌돔 20 g 치어에서는 어체중의 3.82%(만복 섭취량)를 기준으로 0.20%씩 감소하는 3.62%, 3.42%, 3.22% 및 3.02%를 공급하여 적정공급을 시험을 하였고, 90 g 1년어는 어체중에 1.87%(만복 섭취량)를 기준으로 1.77%, 1.67% 및 1.57%를 공급하였으며, 350 g의 2년어는 어체중에 1.58%(만복 섭취량)를 기준으로 1.48%, 1.38% 및 1.28%를 공급하여 적정공급율을 조사하였다. 성장 단계에 따라 20 g, 90 g, 350 g의 돌돔에 대하여 수조 당 각각 30마리, 25마리, 7마리씩 수용하여 시험을 시작하였다. 체중 20 g의 돌돔 치어는 2006년 9월 6일부터 2006년 10월 2일까지 4주간 시험을 실시하였고, 체중 90 g과 350 g의 돌돔은 2006년 8월 21일부터 9월 30일까지 6주간 실시하였다. 수온별 적정 공급율을 알아보기 위한 시험에 있어서 각 시험구는 3반복으로 설정하였다.

3.3. 수온별, 성장 단계별 배합사료 적정 공급횟수

외해가두리에서 대상종 양식 시험과정 중 설치해역에 파도영향으로 매일 배합사료를 공급하는 것은 사실상 불가능한 일이었으며, 공급가능한 날에도 하루에 2회 공급은 매우 어려운 실정이었다. 그러나 자동공급기에 의한 배합사료 공급은 앞으로 외해가두리 양식 관리방안에서 불가피한 위치를 차지하

므로 사료자동공급기 활용에 적합한 배합사료 일일 적정 공급횟수를 구명하기 위해 수온별 사료공급횟수를 조사하였다.

3.3.1. 시험어

수온 15.0℃에서의 적정 공급횟수를 구명하기 위하여 시험어는 2004년산과 2005년산 돌돔을 사용하였다. 체중 60 g 내외의 당년어와 340 g 내외의 돌돔 2년어를 대상으로 저수온기 배합사료 적정 공급횟수를 조사하였다.

수온 22.5℃에서의 적정 공급횟수 시험어는 20 g, 120 g의 돌돔을 선별하여 배합사료 적정 공급횟수를 조사하였다.

3.3.2. 시험구 설정

수온 15℃ 전후의 저수온기에 배합사료의 적정 공급횟수와 수온 22.5℃ 전후에 적정 공급횟수를 알아보기 위하여 매일 1회 최대 포식량에 도달하도록 공급하는 시험구와 2회, 3회 최대 포식량에 도달하도록 공급하는 시험구를 설정하였다. 수온 15℃에서 당년어인 돌돔 60 g 치어는 수조 당 30마리씩, 2년생 350 g의 돌돔 미성어는 10마리씩 수용하여 시험을 시작하였다. 당년어인 60 g 돌돔은 2005년 12월 2일부터 2006년 1월 15일까지 6주간 사육하였고, 2년어인 350 g 돌돔은 2006년 3월 13일부터 5월 10일까지 8주간 사육하였다. 사육기간 동안 평균수온은 60 g과 350 g 돌돔 시험구는 각각 평균 15.1℃, 14.8℃이었다.

수온 22.5℃에서는 20 g, 115 g의 돌돔에 대하여 수조 당 각각 30마리, 25마리씩 수용하여 시험을 시작하였다. 체중 20 g의 돌돔 치어는 2005년 9월 21일부터 2005년 11월 5일까지 7주간 사육하였고, 체중 120 g의 돌돔은 2005년 6월 25일부터 7월 31일까지 6주간 사육하였다. 사육기간 동안의 평균수온은 각각 23.1℃, 22.3℃이었다. 적정 공급횟수 시험의 경우도 모든 시험구는 3반복으로 설정하였다.

3.4. 배합사료 공급 제한 영향 조사

외해가두리 시험양식 결과 현 시점까지 가장 큰 문제점은 매일 일정량에 배합사료를 공급할 수 없다는 점이었다. 특히 일일배합사료섭취량이 체중의 2~4%를 넘어야 하는 당년어에도 외해가두리 시험 양식에서는 1%이하의 배합사료를 섭취하는 것으로 나타나고 있었다. 그래서 배합사료 공급제한이 돌돔 성장에 미치는 영향을 알아보기로 동일 수온 등 환경조건에서 기상악화에 따라 배합사료를 매주 4~5일 공급하고, 2~3일은 공급하지 못하는 날이 반복되는 것을 가정하여 반복적인 공급 제한이 돌돔에 미치는 영향에 대해 조사하였다.

3.4.1. 시험어

시험어는 외해가두리에서 시험 양식 중인 돌돔과 동일한 체중의 20 g, 300 g 내외 것을 실내 수조에서 순치하여 사용하였다.

3.4.2. 시험구 설정

시험구는 1주일 중 사료를 공급하지 않은 날수를 각각 4일, 3일, 2일 및 1일로 다르게 설정하였다. 4일 공급제한 시험구는 1주일 중에 처음 3일간은 사료를 공급하고 이후 4일은 공급 중단하는 주기를 반복하였고, 3일 공급제한구는 1주일 중에 4일 공급 후 3일간, 2일 공급제한구는 2일간, 1일 공급제한구는 1일 동안 사료 공급을 중단하여, 사료 공급제한 일수가 돌돔에 미치는 영향을 조사하였다. 설정된 시험구에 사료 공급은 1일 2회(09:00, 17:00)에 거쳐 시험어가 충분히 섭취하도록 하였다.

3.5. 사육관리, 시험사료, 어체측정, 성분분석 및 통계처리

시험에 사용된 시험수조는 pp(Polypropylene) 재질의 300 L 원형 수조를 사용하였으며, 사육수와 사육방법은 고압모래여과기로 여과한 물을 이용하여 유수식 사육을 실시하였다. 사육해수는 외해가두리 지역의 좋은 환경조건을 감안하여 수조 내 해수 교환율이 매일 40회전 이상 가능하도록 6 L/분 이상 주수 하였다. 시험기간 동안 평균 수온을 산정하여 시험수온으로 하였다. 시험어에 사료공급과 더불어 사료공급수조 내 배설물 제거를 위하여 매일 오전 사료 공급 약 1시간 후에 사육수의 일부를 교환하였다.

시험사료는 외해가두리 시험 양식에 사용한 사료와 동일한 것(Table 5)을 사용하였다.

어체 측정은 실험종료 전 24시간 절식 시킨 후에 MS-222 (100 ppm)로 마취시켜 각 수조에 수용된 시험어 전체의 무게를 측정하였으며, 생존율, 증중율, 일간성장률, 일일사료섭취율, 단백질전환효율을 조사하였다.

시험 종료 후 시험어의 일반성분 변화를 알아보기 위하여 성분분석을 실시하였다. 시료의 수분은 105℃의 dry oven에서 6시간 동안 건조 후 측정하였으며, 조단백질(N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (VAP500T/TT125, Gerhard)을 사용하여 분석하였다. 조지방은 ether로 추출하여 측정하였고, 조회분은 회화로(550℃)에서 4시간 동안 태운 후 측정하였다.

시험 결과의 통계처리는 SPSS program을 사용하여 One-way ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 검정하였다.

III. 결 과

1. 외해가두리 시스템 설치 및 안전성 평가

1.1. 조류 영향에 대한 안전성

조류 관측 자료에 의하면 최대 유속이 112 cm/sec로 해류에 의한 유속보다 조석의 영향에 의한 것으로 나타나고 있다. 시설물의 안전성 평가를 위하여 2005년 5월 27일 시설설치를 완료하고 8월 30일까지 잠수부에 의한 육안 조사 및 실측조사를 실시한 결과를 Table 6에 나타내었다. 블록앵커의 이동과 Spar 및 Rim의 뒤틀림, 그물손상 등에 관하여 이상 여부를 확인한 결과 거의 모든 주요 시설물이 기존의 시설 기준에 적합하게 유지되었으나 블록앵커와 Rim을 연결하고 있는 직경 70 mm(장력: 26.5톤)의 앵커라인이 약 23.5% 늘어난 것을 확인하고 시설물의 안전을 위하여 앵커라인을 이중으로 추가 설치하여 시설의 안전성을 확보하였다.

1.1. 태풍 영향에 대한 안전성

시설물 설치 후 제주 지역을 거쳐 간 태풍 중에 파고가 약 6~8 m 형성된 태풍을 기준으로 시설물의 이상 유무에 대하여 확인 검토를 실시하였다. 2005년 9월의 Nabi와 2006년 8월의 Ewiniar가 제주지역을 지나가면서 4, 5일 동안 파고 5~8m의 높은 파도가 계속해서 외해가두리 시설물에 영향을 미쳤다. 태풍직후 잠수조사를 통하여 시설물과 사육생물에 대한 안전성을 조사한 결과(Table 6) 가두리 본체는 전혀 문제가 없었으나 수면위에 설치된 직경 60 cm의 야간부의(5개)는 dia. 24 mm의 로프와 함께 전부 소실되었다. 태풍의 영향에 있어서도 수심 15 m에서 30 m사이에 설치된 대형구조물에 커다란 영향을 미치지 못하고 있어서 시설물의 안전성은 확보된 것으로 평가할 수 있었다.

Table 6. Results of observation of offshore cages after installation and two typhoons

Parameter	Items observed	Results
Water current	Net damage Wedding troubles of Spar Volt condition of rims and Harvest cone Break or loosening of anchor lines Movement of block anchor	Anchor line of 70 mm (tension: 26.5 tones) was extended by 23.5%
Typhoon Nabi (Sep. 2005)	Net damage Wedding troubles of Spar Volt condition of rims and Harvest cone Break or loosening of anchor lines Movement of block anchor	Five buoys connected with ropes (ø 24mm) were disappeared No extension of anchor lines
Typhoon Ewiniar (Aug. 2006)	Net damage Wedding troubles of Spar Volt condition of rims and Harvest cone Break or loosening of anchor lines Movement of block anchor	Two buoys were disappeared 0.1% of culturing fish were dead

2. 외해가두리에서의 돌돔 시험 양식

2.1. 시험 양식 결과

2005년 5월과 6월에 가두리 시설과 시설물의 안전성 검토를 마치고 7월에 돌돔을 가두리에 수용하여 사육하였다. 외해가두리 양식시설을 제주도 표선면 해역에 설치하고 대상종으로 돌돔을 선정하여 성장과 생존, 상품성, 사료 효율 및 사육관리 등을 조사하였다.

2.1.1. 가두리별 수용 돌돔의 성장 및 생존율

외해가두리에서 4.6 ± 0.8 g, 9.5 ± 1.2 g, 124.0 ± 32.0 g의 돌돔 치어 및 1년어를 2005년 7월 외해가두리 3개에 입식하고 2006년 2월까지 사육한 결과를 Table 7에 나타내었다. 수온상승기인 7월에 수용한 돌돔은 2006년 출하가 이루어졌고, Cage 별 돌돔 수용밀도를 조절하기 위하여 서로 혼합이 필요하였다. 이듬해 2월까지 약 8개월 동안 돌돔은 131.3 ± 33.6 g, 189.6 ± 57.6 g, 357.7 ± 77.9 g로 성장하였다. 사육기간 동안 생존율은 64.0~92.8%로 나타났다. 생존율이 가두리에 따라 차이가 나는 것은 종묘입식과정에서 발생한 유실과 폐사에 의한 것이었다. 외해가두리 양식방법이 세계적으로 새롭게 시도되는 양식방법이며 또한 수중의 중층을 이용하고 있어서 처음 종묘입식과정에서 문제점이 발생한 것이다. 특히 돌돔의 습성 및 체형특성으로 인해 외해가두리 시설물의 여러 틈새에서 돌돔 종묘 유실이 발생하였고, 아직까지 정확한 작업방법이 확립되거나 검증되지 않은 방법인 선상에서 호스를 이용하여 1년어를 수용하는 과정에서 호스 내 산소 부족에 의한 폐사가 다량 발생하여 생존율이 저조하게 나타났다.

2.1.2. 월별 성장

외해가두리 3조 중 당년생 치어가 수용된 1번 가두리와 1년생 미성어가

Table 7. Growth and survival of parrot fish cultured at three offshore cages

Cage No.	Initial			Final			Survival (%)
	Date	No. fish (thousand)	Mean weight (g)	Date	No. fish (thousand)	Mean weight (g)	
1	Jul. 6. 2005	550	4.6±0.8	Feb. 22. 2006	510	131.3±33.6	92.7
2	Jul. 7. 2005	75	9.5±1.2	Feb. 22. 2006	48*	189.6±57.6	64.0*
3	Jul. 7. 2005	80	124.0±32.0	Feb. 22. 2006	64**	357.7±77.9	80.0**

* Escaped through opening loosely tied harvest cone with net (around 25 thousand).

** Suffocated during siphoning to cage (around 15 thousand).

수용 된 3번 가두리에 대하여 매월 성장도 측정 결과를 Table 8에 나타내었다. 월별성장 측정 결과 2005년 7월 8일 외해가두리에 입식된 평균체중 4.6 ± 0.8 g의 당년생 돌돔은 그해 12월까지 전장, 체고 및 체폭이 각각 16.0 ± 1.0 , 6.9 ± 0.5 , 2.7 ± 0.3 cm로 성장하였고 체중은 101.0 ± 22.4 g으로 성장하였다. 평균체중 124.0 ± 32.0 g의 2004년산 돌돔은 전장, 체고, 체폭 및 체중이 각각 24.6 ± 1.7 , 9.4 ± 1.0 , 4.0 ± 0.4 cm와 357.7 ± 77.9 g까지 성장하였다. 초기 대상종 입식과정에서의 폐사 및 유실개체를 제외하고 가두리내 폐사체를 기준으로 생존율을 조사한 결과 치어와 1년어는 각각 92.0%와 98.5%의 높은 생존율을 나타내었다. 2006년 2월 수온 상승이 예상되어서 가두리별 밀도 조정이 불가피하여 가두리끼리 혼합이 이루어지고 출하가 시작되었으므로 성장조사를 마무리 하였다.

2.1.3. 내장 성분 변화

외해가두리에 수용된 돌돔 중 미성어(1년어)에 대하여 내장 전체를 추출하고 성분을 분석한 결과를 Figure 6에 나타내었다. 2005년 10월에 내장의 일반성분은 수분 42.00%, 조단백질 7.07%, 조지질 46.06%였으나 수온 하강과 비례하여 내장 내에 수분함량과 조단백질 함량은 줄어들어 이듬해 2월에는 각각 27.78%와 4.32%로 떨어졌다. 조지질은 수온하강에 따라 점차 높아지는 반비례 현상을 보였으며 11월, 12월과 2006년 2월에 각각 57.46%, 60.36%, 67.17%로 나타났다.

2.2. 배합사료 공급 및 사육관리

2.2.1. 사료효율 및 일일사료섭취율

2005년 7월에 돌돔을 외해가두리에 입식하고 11월까지 성장 및 사료공급량에 의한 사료효율 및 섭취율을 Table 9에 나타내었다. 측정기간 동안 돌돔 치어 평균체중 4.6 ± 0.8 g과 9.5 ± 1.2 g되는 돌돔치어의 사료효율은 각각 103.7%

Table 8. Monthly growth and survival of two groups parrot fish reared in the offshore cage

Date	Juvenile group(cage 1)				One-year group(cage 3)			
	TL (cm)	BH (cm)	BW (g)	Survival (%)	TL (cm)	BH (cm)	BW (g)	Survival (%)
Jul. 7. 2005	5.9±0.4	–	4.6±0.8	100	17.7±1.5	–	124.0±32.0	100
Sep. 13. 2005	11.9±0.9	5.0±0.5	41.1±10.6	99.1	21.5±1.2	8.6±0.4	236.7±32.1	100
Oct. 19. 2005	12.2±1.2	5.1±0.4	43.8±11.3	98.5	24.6±1.1	9.5±0.5	248.8±40.7	100
Nov. 21. 2005	15.0±1.9	6.4±0.8	92.8±30.6	97.8	25.4±2.3	9.8±1.0	327.5±104.2	99.5
Dec. 23. 2005	16.0±1.0	6.9±0.5	101.0±22.4	95.2	24.6±1.7	9.4±1.0	309.5±93.9	99.4
Jan. 20. 2006	16.7±1.9	7.1±0.9	120.4±41.3	93.1	25.8±1.8	9.9±0.8	333.0±77.8	99.0
Feb. 22. 2006	17.3±1.6	7.4±0.7	131.3±33.6	92.0	26.1±1.8	10.2±0.7	357.7±77.9	98.5

※ TL: Total length, BH: Body height, BW: Body weight

Table 9. Results of growth and efficiencies of feed of parrot fish reared in offshore cages (Jul. 8. 2005 ~Feb. 22. 2006)

Cage No.	Specific growth rate(%) ¹	Feed efficiency (%) ²	Daily feed intake(%) ³	Daily protein intake(%) ⁴	Daily lipid intake(%) ⁵	Protein efficiency ratio ⁶
1	0.554	103.7	0.694	0.33	0.09	2.151
2	0.426	89.4	0.741	0.36	0.10	1.855
3	0.168	37.4	0.951	0.46	0.12	0.775

¹ $(\log_e \text{ final weight.} - \log_e \text{ initial weight.}) \times 100/\text{days}$

² $(\text{Wet weight gain}/\text{dry feed intake}) \times 100$

³ $\text{Feed intake (dry matter)} \times 100/(\text{initial fish wt.} + \text{final fish wt.} + \text{dead fish wt.})/ 2 \times \text{days fed}]$

⁴ $\text{Protein intake (dry matter)} \times 100/(\text{initial fish wt.} + \text{final fish wt.} + \text{dead fish wt.})/ 2 \times \text{days fed}]$

⁵ $\text{Lipid intake (dry matter)} \times 100/(\text{initial fish wt.} + \text{final fish wt.} + \text{dead fish wt.})/ 2 \times \text{days fed}]$

⁶ $\text{Wet weight gain}/\text{protein fed}$

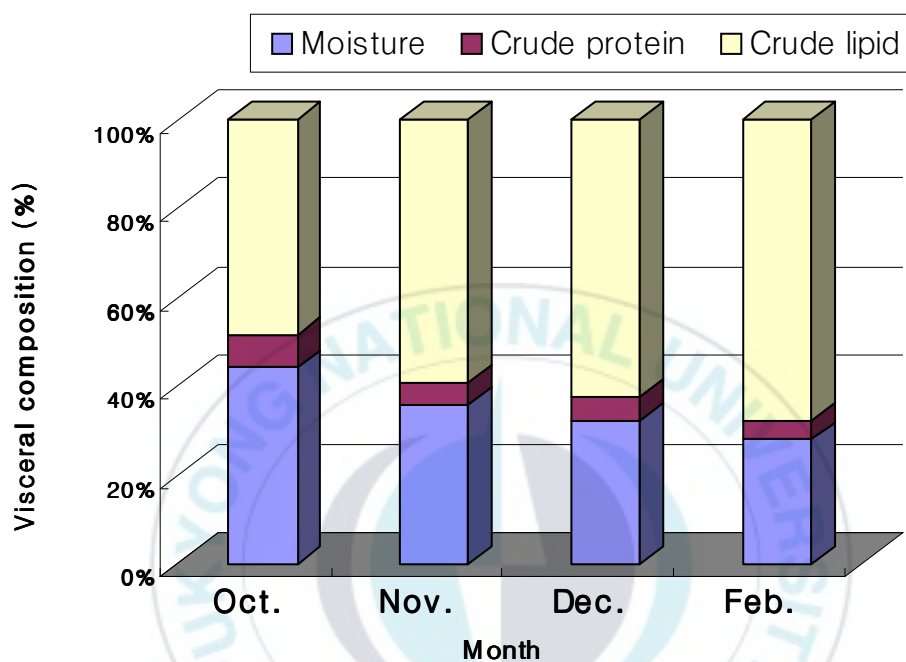


Figure 6. Changes of average moisture, crude protein and lipid contents in the intestine of parrot fish from October 2005 to February 2006.

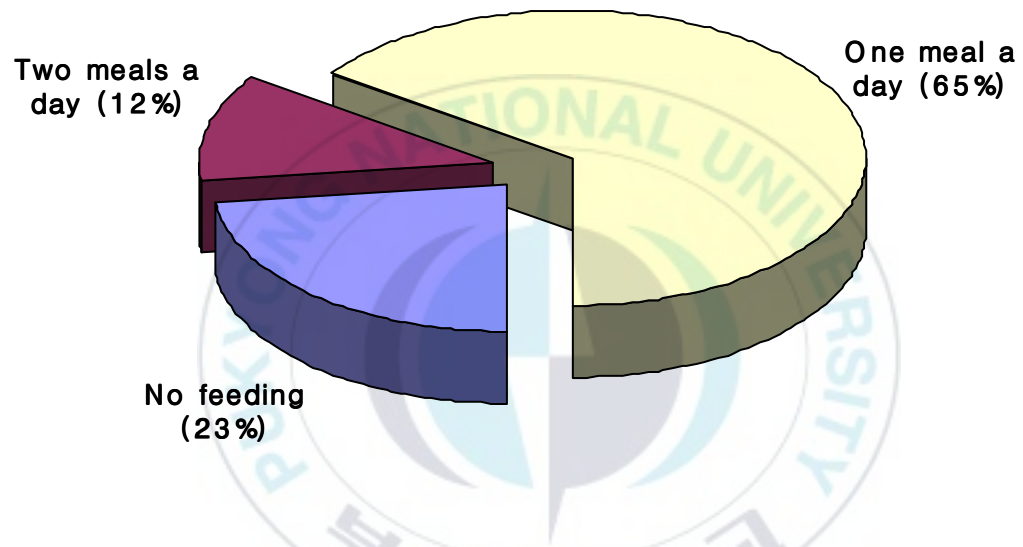


Figure 7. Percentage of feeding frequencies affected by weather conditions around offshore cage culture sites from July to December, 2005.

와 89.4%였고, 돌돔 1년어의 사료효율은 37.4%였다. 일간성장율은 돌돔 치어의 경우 0.554%와 0.426%였고, 1년어는 0.168%이었다. 일일사료섭취율도 치어는 0.694%와 0.741%, 1년어는 0.951%이었다.

2.2.2. 배합사료 공급일수 분석

외해가두리에 돌돔을 수용하여 시험 양식을 2005년 7월부터 실시하는 동안 제주연안의 높은 파도에 의하여 배합사료를 매일 정상적으로 공급하기가 힘들었다. 특히 가두리 시설이 설치된 표선면 지역은 북동풍, 동풍에 의해 파도가 심한 지역이어서 현재의 시험양식에서 배합사료를 매일 최대량을 공급하는 것은 사실상 불가능한 실정이었다. 수온이 16℃ 이하로 내려가기 이전인 2005년 12월까지 배합사료 공급이 가능한 날을 조사한 결과 Figure 7과 같이 나타났다. 하루에 한번도 배합사료를 공급하지 못한 날이 41일로 약 23%를 차지하였다. 그러나 정상적인 사료 공급체계라 볼 수 있는 1일 2회 공급은 21일(12%)에 지나지 않았다. 돌돔이 배합사료 섭취가 활발하고 성장이 빠른 수온 23℃ 이상 기간인 9월 하순까지에는 북동풍이나 동풍의 영향으로 큰 파도가 형성되는 날이 많아서 전 시험기간 중 배합사료를 공급할 수 없는 날이 39%나 되었고, 하루 2회 공급 가능한 날은 10%에 불과 하였다.

배합사료의 공급은 어류양식에서 성장, 생존, 생산원가의 산출 및 계획적인 생산체계 구축 등 생물 관리적 측면과 경제적 측면 모두에서 중요한 역할을 차지하는 요소로 양식의 성패를 좌우할 만큼 영향을 미치는 요소이다. 그러나 외해가두리 시험 양식에서는 2005년 7월부터 12월까지 총 178일 중에 하루에 2회 배합사료 공급이 가능하였던 날이 21일에 지나지 않았다. 전혀 배합사료를 공급하지 못한 날짜도 41로 나타나고 있었다. 돌돔치어기는 적정 배합사료 공급이 1일 2회의 필요한 시기임을 감안하여 자동공급기의 개발 보급 등의 대책 마련이 시급한 것으로 나타났다.

2.2.4. 종묘 입식과 사료 공급 및 사육관리

시험어 입식은 해수면에서 수심 15 m 아래에 외해가두리 상부 꼭지 점이 위치하므로 종묘의 입식을 위해서는 약 수심 20 m에 있는 지퍼를 통하거나 상부의 투입구를 통해 입식해야 한다. 시험 양식을 위하여 돌돔치어를 Figure 8과 같이 호스를 이용하여 수중에 있는 가두리로 해수와 함께 수용하였다. 수용과정에서 미성어의 경우는 펌프로 밀어내는 물을 거슬러 오르는 힘이 있는 단계이므로 호스 내에서 질식에 의한 폐사개체가 발생하였다. 폐사를 방지하기 위하여 그물을 사용하여 수용하는 방법을 시도하기도 하였으나 잠수노동력의 과다 투입과 소량씩 반복 입식이 이루어져 수중가두리 입식 방법으로는 적절치 않았고, 투입호스의 구경을 125 mm를 200 mm로 교체하여 강제로 수용하는 방법을 사용하였다.

배합사료 공급은 선박을 이용하였다. 초기에는 선박에서 다이버가 20 kg의 배합사료 포대를 직접 들고 들어가 가두리 위에서 서서히 떨어뜨려 돌돔이 섭취하도록 하였으나 잠수시간의 한계에 따른 시간적 제약과 조류에 의해 유실량이 증가하여 호스를 이용하는 방법으로 개선하였다. 선박에서 배합사료와 해수를 혼합하여 수중펌프를 이용하여 가두리 안으로 배합사료를 공급하였는데 가두리 내에서 배합사료의 분산을 유도하기 위하여 호스의 여러 곳에서 배합사료가 떨어지도록 간이 시설을 만들어 배합사료를 공급하기도 하였다.

외해가두리 그물에 부착하여 조류 소통을 방해하는 부착생물을 보면, 초기에는 규조의 부착이 관찰되었으나 돌돔 수용과 함께 소멸되었고 수온 상승기에 히드라 종류가 부착하였으나 겨울철 수온 하강과 더불어 거의 소멸되었다. 현재 시험 Site에서 가두리 그물에 대한 청소는 당분간 필요치 않을 것으로 판단되었다.

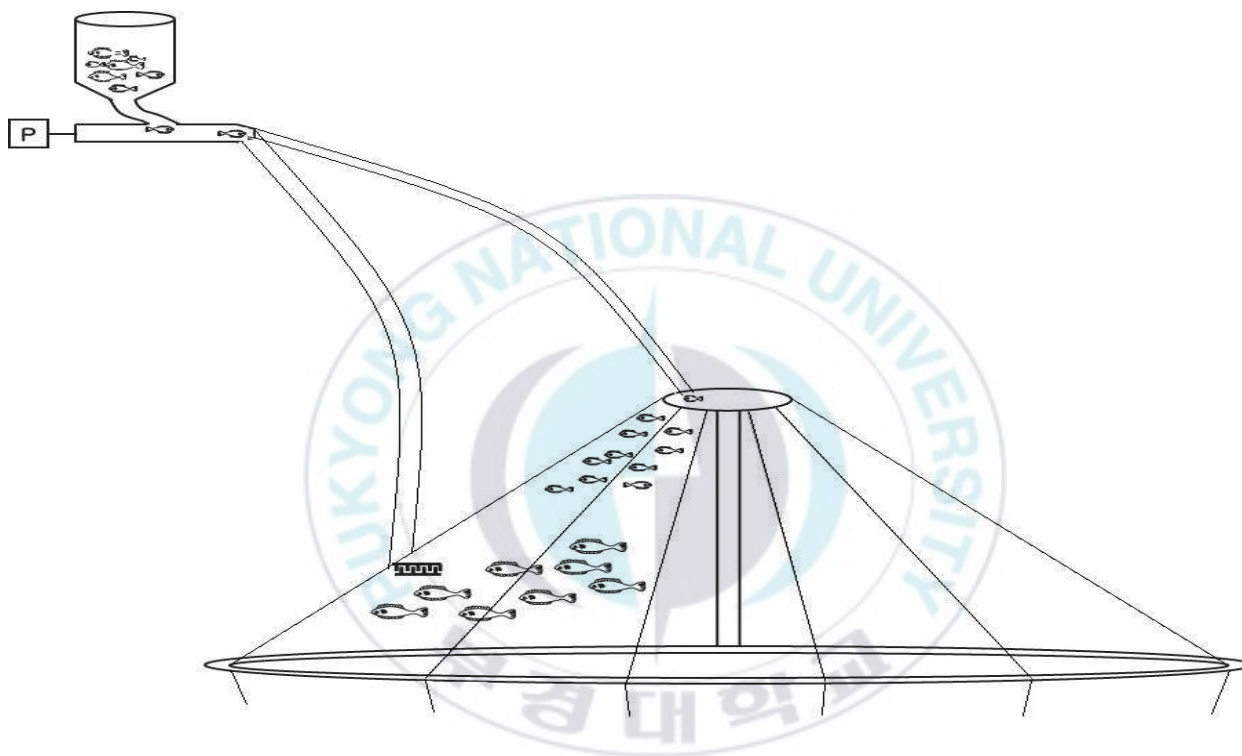


Figure 8. Schematic diagram of fish stocking procedure using siphoning hoses from work boat.

Table 10. Observation results of parrot fish during the first stage of cultivation in offshore cages

Date	Eloped days after stocking	Total length (cm)	Manly observation content
July 7, 2005	Just after examination	5.9±0.4	Struggle to water current, hide under the harvest cone and behind spar Schooling within the cage Stuck on net when while strong water flow
July 15	7 days		Weak or strong schooling accordingly flow speed No active feeding
July 23	15 days		Its were quick moved around the spar It was show the schooling of group and group was distributed with maintenance interval in the whole of cage
August 15	After 1 month		Active feeding Distribute and swim around whole cage Feeding started at 5 point water pump
September 13	After 2 months	11.9±0.9	Its were far separate divers with lookout the approach of divers Feeding was strongly activity Follow around divers
October 21	After 3 months	12.2±1.2	A part of fish showed yellow body color Feeding action was composed Its were familiar to divers as its were near approach divers A lost fish showed
December 22	After 5 months	16.0±1.9 24.6±1.7(one-year old)	Fish showed yellow body color Keep away or hide from divers schooling around cage bottom (One-year old) Sensitive to moise and shadow

2.2.5. 외해가두리 돌돔에 대한 육안관찰 조사

외해가두리에 돌돔을 수용하여 사육하면서 돌돔의 유영행동을 육안으로 관찰한 내용을 Table 10에 나타내었다. 가두리에 수용한 직후에 돌돔은 조류의 흐름에 적응하지 못하고 은신처를 찾아 급하게 유영하다가 15일 후부터 조류에 적응하는 모습을 보였다. 배합사료 섭취도 15일경부터 적극적으로 하였으나 다이버나 주변의 움직임에 놀라서 도망가는 행동은 계속되었다. 가두리 수용 1개월 후에는 어느 정도 가두리에 적응한 모습이었고, 다이버의 처음 행동에만 놀라 움직일 뿐 계속되는 행동에는 반응속도가 둔화되었다. 수용 3개월 후에는 체표 면에서 노란색의 광택이 나고 다이버에 대한 경계행동도 거의 없어졌다. 그러나 다시 5개월이 지나 가두리에 적응이 된 후에 오히려 소리나 행동에 더욱 민감해져서 자연산 돌돔과 같이 다이버를 피해서 멀리 도망가는 행동을 보였다.

2.3. 가두리 설치 전후의 환경 변화

2.3.1 해류 변화

외해가두리 시설지역인 표선리 연안에 대한 해류변화를 관측한 결과 하루 2회의 창·낙조류가 뚜렷하였고 주 흐름방향은 Figure 9와 같이 남서-북동방향인 것으로 나타났다. 외해가두리의 경우 시설 안전도 및 설계 상황에서 가장 중점적으로 고려되는 요소가 태풍 등 강풍에 의한 파고와 해당해역의 조류 유속인데 시험연구지의 경우 유속이 외해가두리의 입지조건으로써는 빠른 편으로 1차 RCM9 MkII를 이용하여 관측한 결과 관측기간 중 최대유속은 6월 16일 07시경 약 112 cm/s로 2노트 이상의 유속을 나타냈다. 측류판 추적 실험결과는 6월 15일 표층에서 약 26.5~49.0 cm/s (평균 35 cm/s), 중층은 약 11.5~23.0 cm/s (평균 14.3 cm/s)의 속도로 북북동 방향으로 진행하였다 (Figure 10).

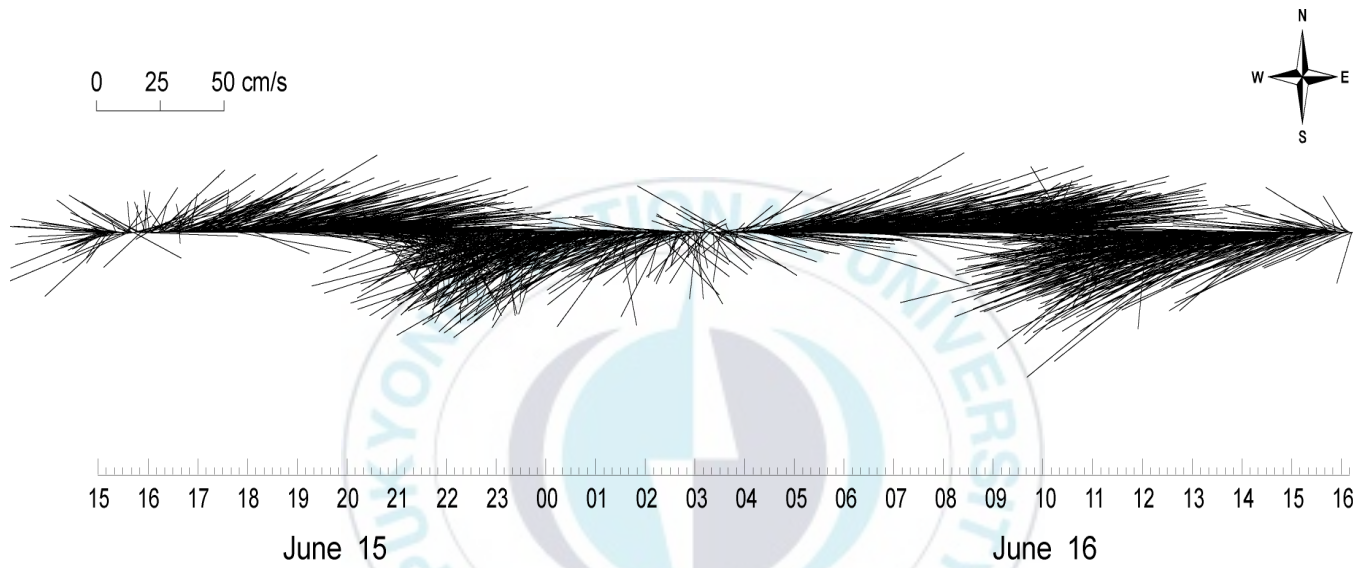


Figure 9. Direction and velocity of water current measured by ADCP at the 30 m below the water surface.

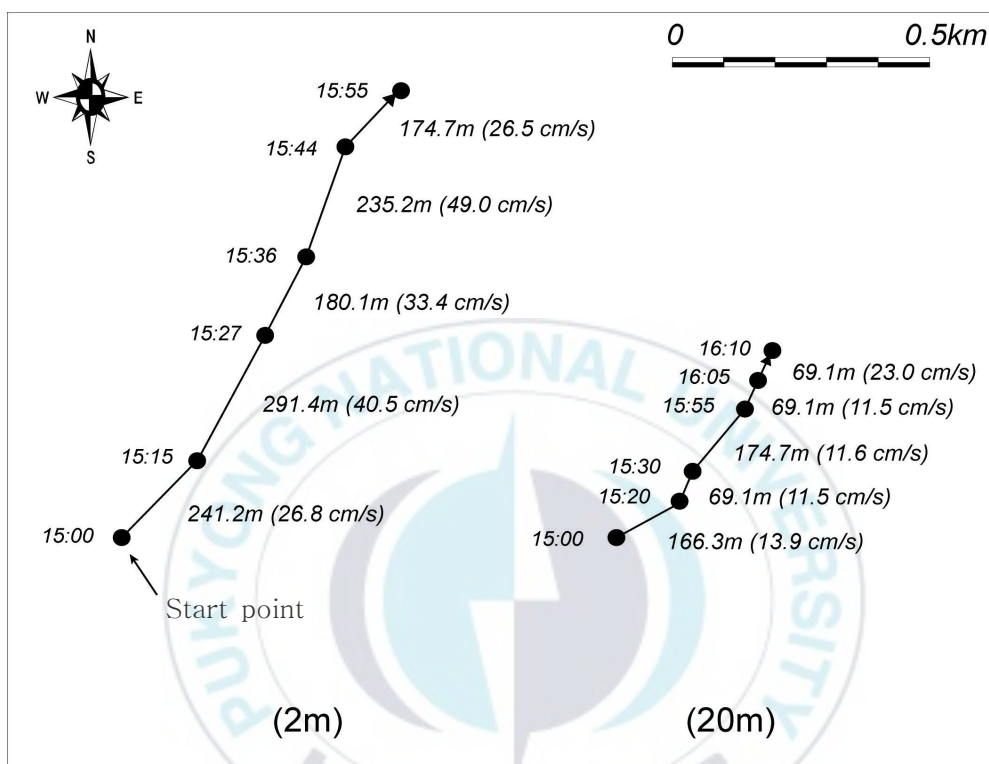


Figure 10. Movement trace of water current board for measuring flow velocity at the offshore cage culture site.

도입된 외해가두리 설계 안전성에 비하여 유속이 상대적으로 강한 것으로 나타나면서 ADCP를 이용하여 14일간 층별로 조류 측정을 실시한 2차 관측의 결과 최강유속은 약 98 cm/s로 1차 관측 시의 112 cm/s 비해 작았으며 1m/s (약 2 노트)의 달하는 강한 유속은 일시적으로 출현하였을 뿐 지속성을 보이지는 않았다(Figure 11). 즉 외해가두리 해역의 해수유동특성을 간략히 요약해보면 최대유속의 범위는 표층에서 발생하였고 약 60~70 cm/s였다. 가두리 시설물이 설치되어 있는 수심 25 m 부근은 약 50~60 cm/s 범위로 나타났으며, 기상요인이나 해류의 영향에 의해 불규칙적으로 1 m/s 전후의 강한 유속이 출현하는 것으로 보였다.

2.3.2. 수온, 염분, DO 및 COD

수층 간 수온을 2006년 2월 18일부터 20일까지 3일 동안과 6월 7일부터 10일까지 4일 동안에 10분 간격으로 측정한 결과를 Figure 12에 나타내었다. 2월에는 수온 13.6℃~15.2℃이었으며, 수층별로 13 m, 23 m, 33 m의 평균수온은 각각 14.7℃, 14.6℃와 14.5℃로 나타났으나 순간적으로는 33 m 수층이 13 m 층에 비하여 0.5℃ 정도 낮게 형성되었다. 6월에는 15.8℃~19.2℃로 나타나 급격한 상승과 하강이 이루어지고 있으며 수층별 평균수온은 13 m와 33 m에서 17.7℃와 17.2℃로 나타나 0.5℃의 수온차를 나타내었다. 순간적으로는 1.8℃의 수온차이를 나타내기도 하였다.

CTD를 이용한 수온과 염분의 수직프로파일을 Figure 13에 나타내었다. 수온은 가두리 양식장 200 m 반경 내에서 표층은 23.0℃, 저층에서는 16.0℃까지의 분포를 보여주었고 염분은 표층 31‰에서 저층 34.5‰까지의 분포를 보였다. 7월에는 20 m 부근에서 수온 약층과 염분 약층이 생성되었다.

DO 농도 분포는 Figure 14에 나타내었다. 외해가두리 설치 전 표층의 경우 8.23 ± 0.40 mg/ℓ 이었고, 설치 후 8.67 ± 0.72 mg/ℓ 로 큰 차이를 보이지 않았다. 하지만 가두리 양식장 인근의 DO는 타 지역의 DO에 비해 낮은

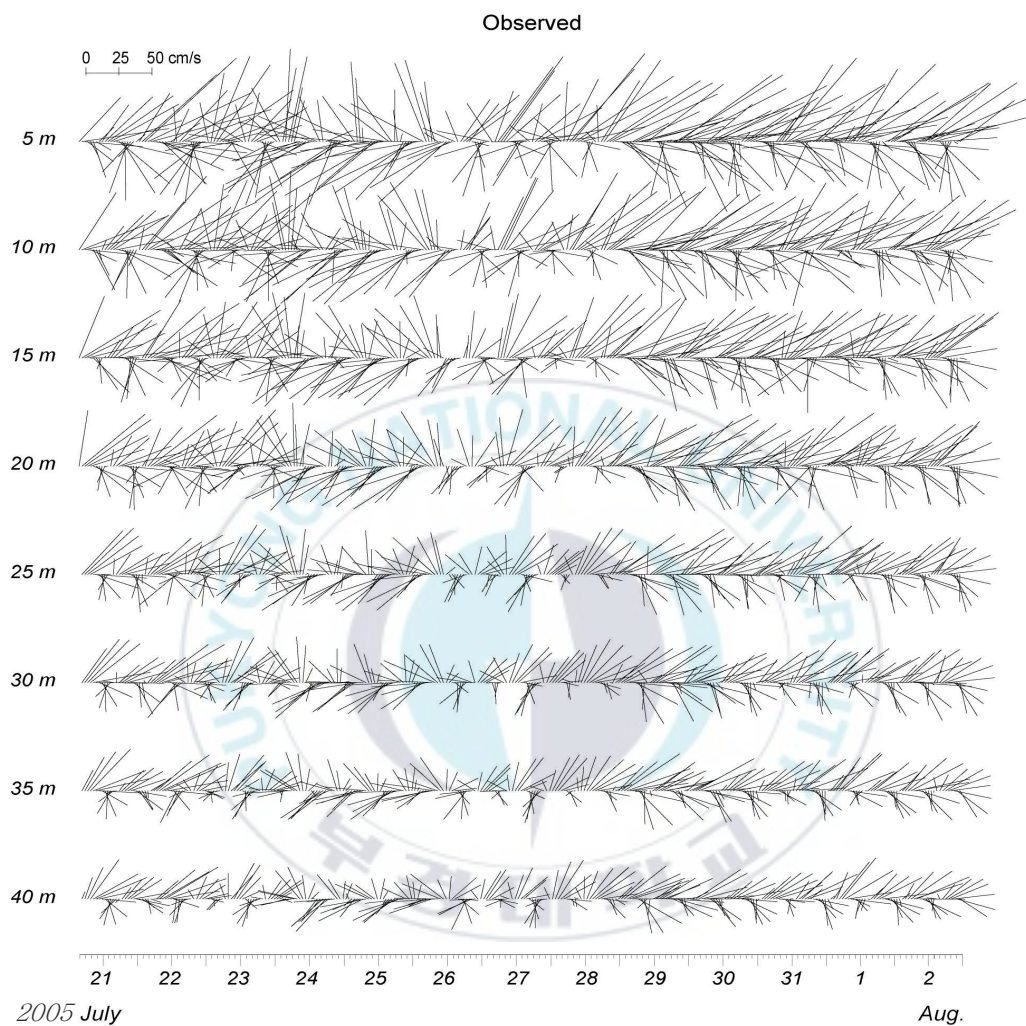


Figure 11. Directions of currents measured with ADCP at various water depths.

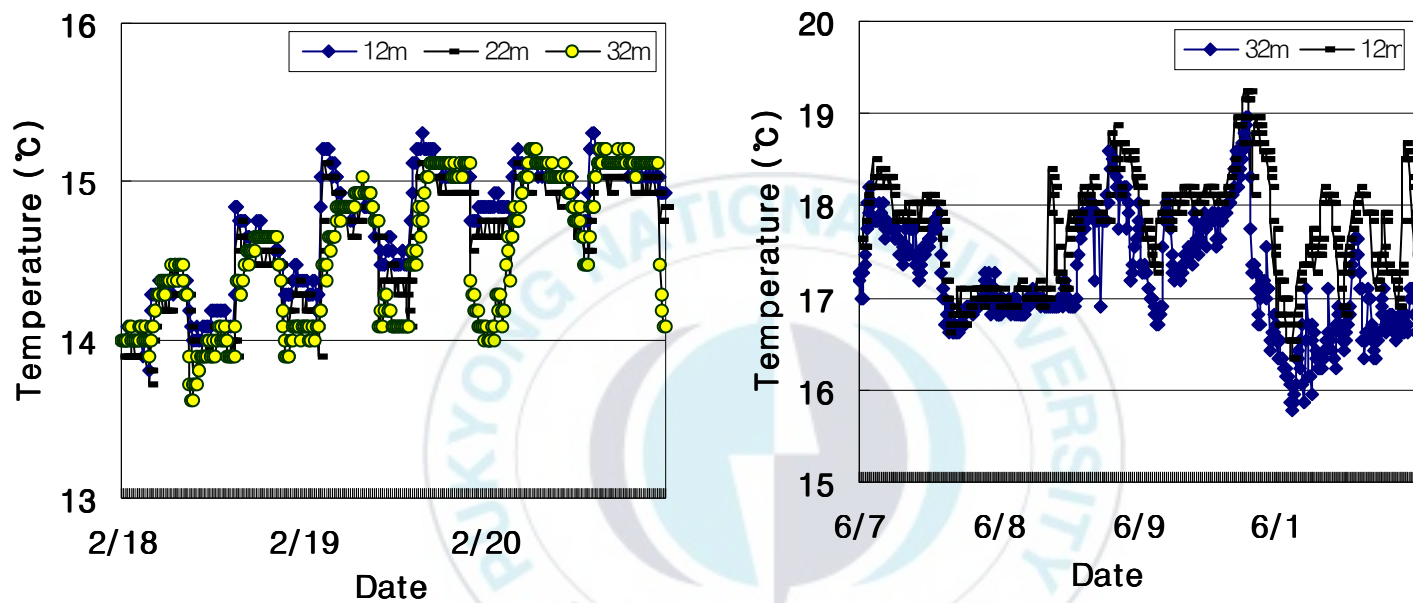


Figure 12. Fluctuation of water temperatures at various depth of offshore cage culture site in February and June.

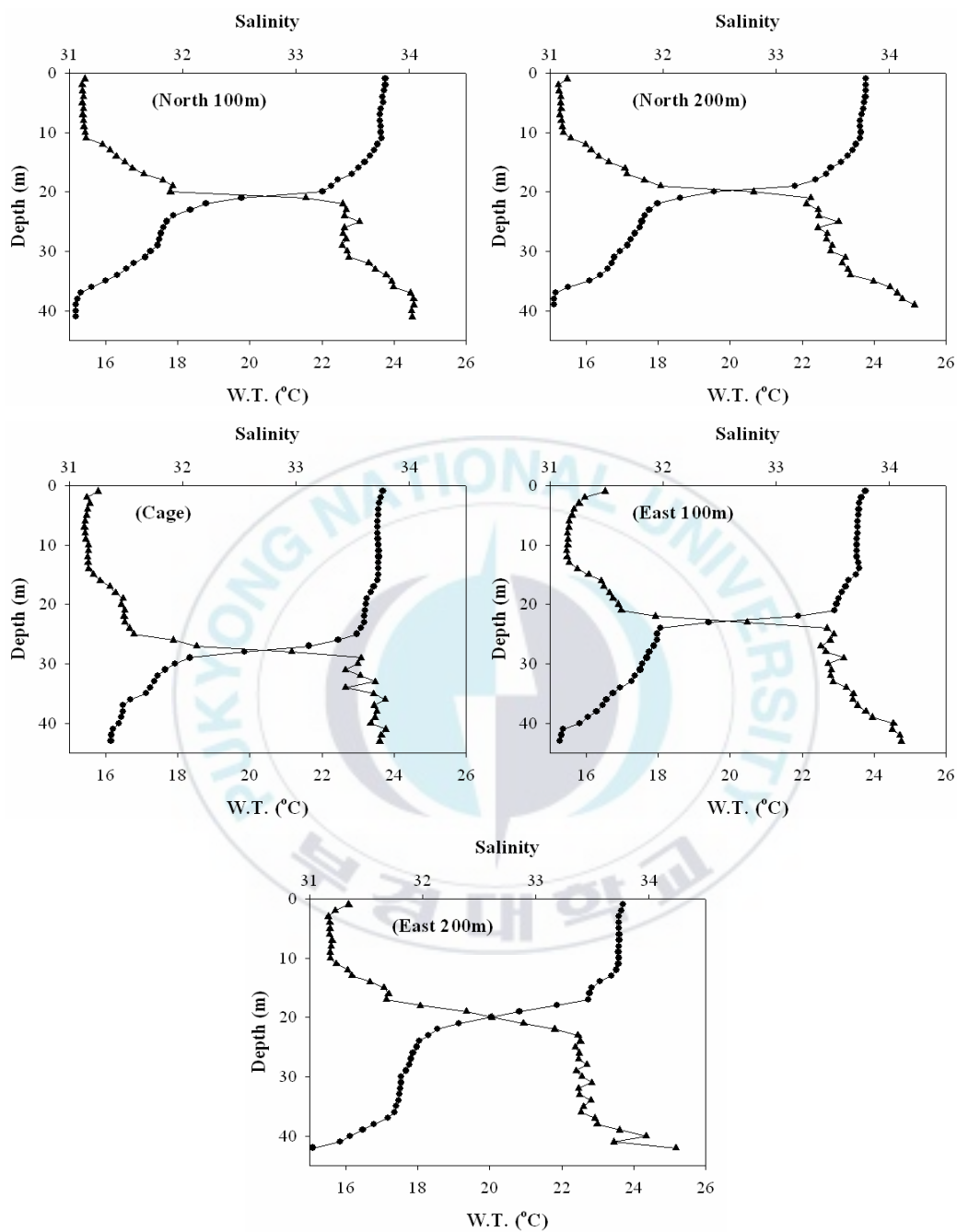


Figure 13. Vertical profile of water temperature (—●—) and salinity (—▲—) in and around offshore cage culture site in July 2005.

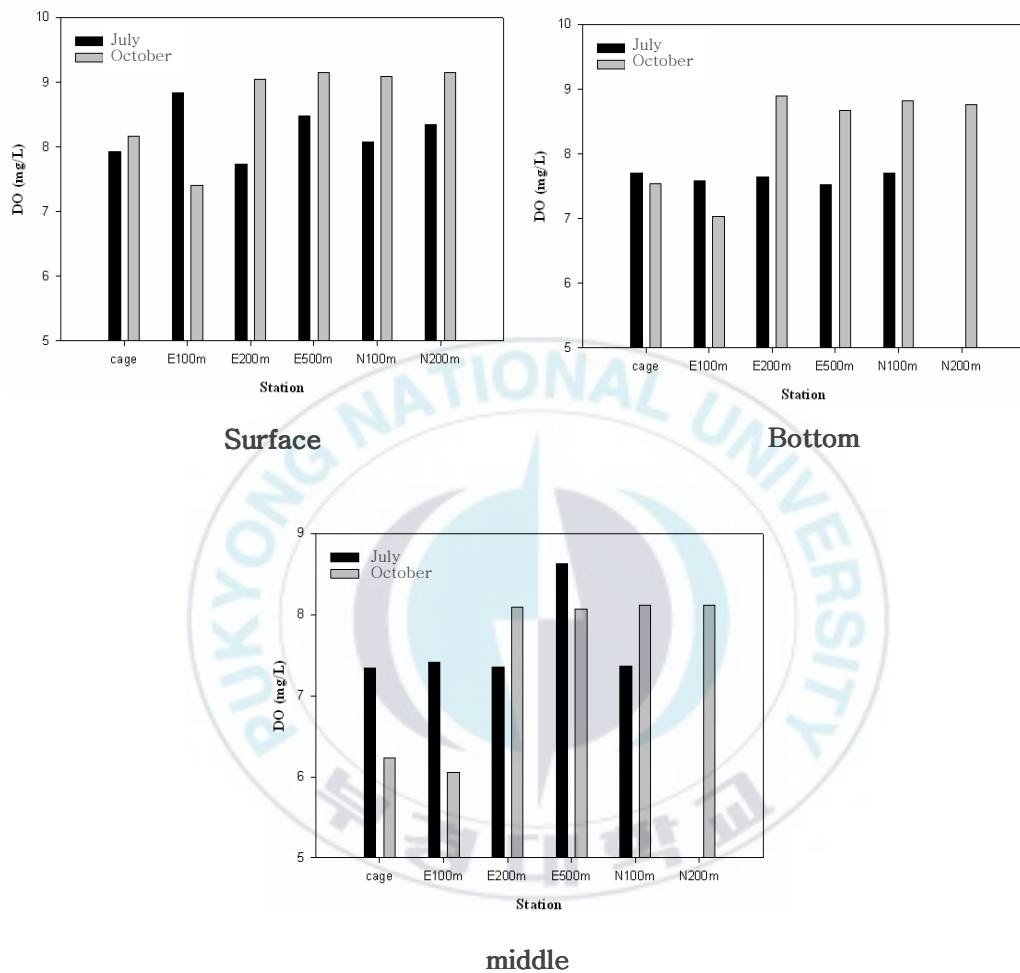


Figure 14. Comparison of dissolved oxygen measured at various water depth around offshore cage culture site in July and October 2005.

농도를 보여주었다. 저층의 경우, 설치 전 $7.62 \pm 0.08 \text{ mg}/\ell$ 이었고, 설치 후 $7.45 \pm 1.01 \text{ mg}/\ell$ 로 설치 전·후의 큰 농도차를 보였으며 그 영향은 100 m 까지 영향을 받는 것으로 나타났다.

COD 농도 분포는 Figure 15에 나타내었다. 설치 전 표층의 경우 $1.65 \pm 0.87 \text{ mg}/\ell$ 이었고, 설치 후 $0.44 \pm 0.12 \text{ mg}/\ell$ 로 큰 차이를 보여 주었다. 저층의 경우, 설치 전 $1.27 \pm 0.57 \text{ mg}/\ell$ 이었고, 설치 후 $0.44 \pm 0.23 \text{ mg}/\ell$ 로 설치 전·후의 큰 농도차를 보였다. 설치 전 지점별 농도가 규칙성이 떨어지는 반면 설치 후의 지점별 농도는 양식장에서부터 큰 값으로 시작하여 200 m까지 작아지는 경향을 보여주고 있다.

2.3.3. 저서동물

7월 저서동물군집은 다모류가 51%를 차지하여 가장 우점하는 분류군이었으며, 그 다음으로 갑각류가 전체의 42%를 차지하여 두 분류군이 전체의 93%를 차지하는 것으로 나타났다. 10월에도 다모류가 전체의 51%를 차지하여 가장 우점하는 분류군이었으며, 갑각류도 전체의 30%를 차지하는 것으로 나타났다. 극피동물은 7월에 비해 밀도가 큰 폭으로 증가하였다(Table 11). 7월 총 44종의 다모류가 출현하였으며, 평균 출현 종수는 17종이었다. 출현 종수는 가두리로부터 500 m 지점이 23종으로 가장 높았으며, 가두리 바로 아래가 14종으로 가장 낮았다(Figure 16). 10월에는 총 68종이 출현하였으며, 평균 출현 종수는 30종이었다. 가두리로부터 거리에 따른 종수의 분포는 7월과 마찬가지로 500 m 정점이 다른 정점들에 비해 높은 것으로 나타났다. 7월 저서동물군집의 평균밀도는 83 개체/ 0.25 m^2 이며, 최대밀도는 가두리로부터 500 m 지점에서 나타났다. 10월에는 평균 밀도가 506 개체/ 0.25 m^2 이었으며, 가두리로부터 200 m와 500 m 지점이 다른 정점들에 비해 높은 밀도를 기록하였다. 가두리 주변 저서동물군집은 7월에 비해 10월에 종수는 2배, 밀도는 6배 정도 증가하였다.

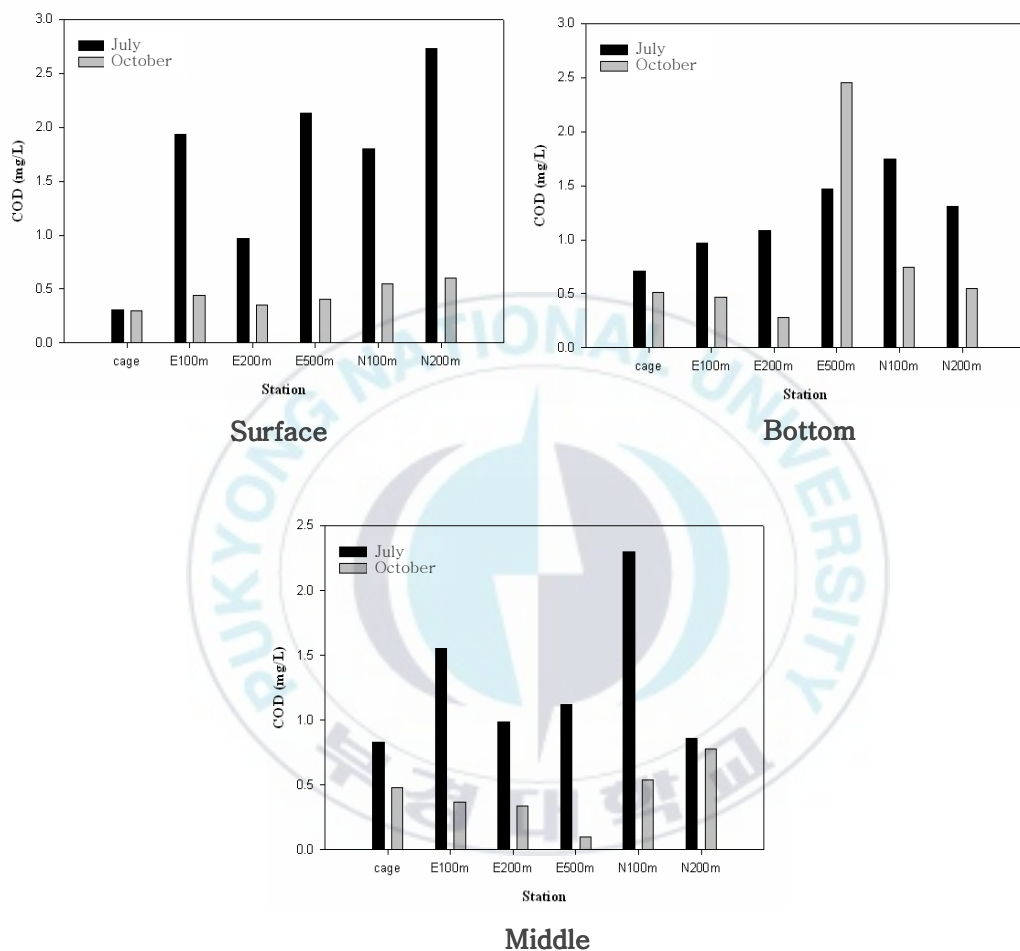


Figure 15. Comparison of COD concentration at various water depth around offshore cage culture site in July and October 2005.

Table 11. Composition of benthic organisms collected around offshore cage culture site¹

	July 2005						October 2005					
	0 m	10 m	100 m	200 m	500 m	Total	0 m	10 m	100 m	200 m	500 m	Total
Polychaete	28	28	26	27	100	209	239	111	225	380	323	1,278
Crustacea	21	49	53	13	36	172	94	169	110	183	180	736
Mollusca	1					1		2	6	12	13	33
Echinoderm		1	3		2	6	108	18	43	88	167	424
Nemathelminth	3		2		6	11	7	1	5	28	8	49
Others	1	2	9	1		13	1		1		7	9
Total	54	80	93	41	144	412	449	301	390	691	698	2,529

¹ Values are (mean of) the number of organism in an area of 0.25 m².

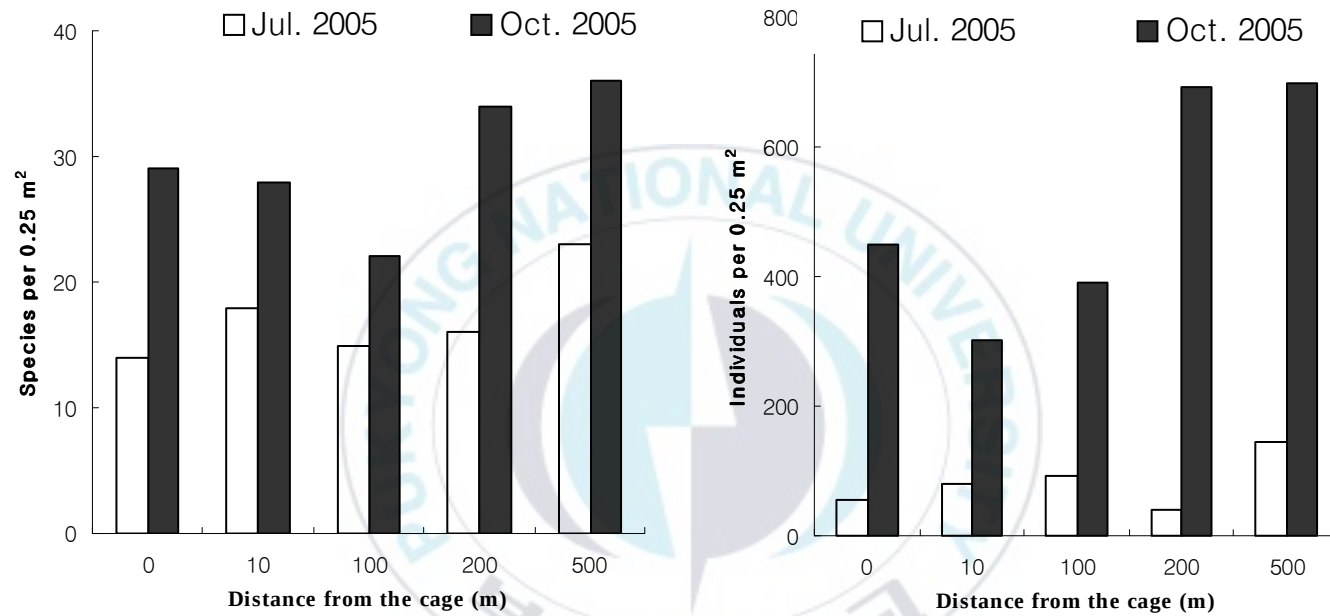


Figure 16. Number of species and individual of benthic organism at offshore cage culture site in July and October, 2005.

2.4. 양식 경쟁력 평가

2.4.1. 시장유통 돌돔의 상품가치 평가

외해가두리에서 시험양식을 통해 생산된 돌돔을 2006년 2월부터 3월 사이에 시장에 출하하고 그 결과를 Table 12에 나타내었다. 우리나라에 있어서 3월에서 7월까지의 자연산 돌돔의 어획이 부진하고, 연안가두리에서 생산된 돌돔의 출하도 끝마친 상태이므로 유통을 시작할 때 시장에 유통되는 돌돔의 대부분은 육상양식장에서 생산된 경우이거나 일부 일본 등지에서 수입되어 시장을 형성하고 있는 상태였다. 이때 외해가두리에서 생산된 돌돔을 유통시킨 결과 육상양식장에서 생산된 300 g 이하 돌돔은 kg 당 18,000~19,000원, 300~450 g 돌돔은 21,000~22,000원의 가격이 형성되었으나, 외해가두리에서 생산된 돌돔은 300 g내외에서 22,000~24,000원이 형성되어 외해가두리산 돌돔이 상품품질에서 높게 평가되었다. 자연산의 경우는 어획이 되지 않아서 가격이 형성되지 않고 있었으며, 수입산 돌돔의 경우는 크기가 큰 개체들이 수입되어 600~700 g의 돌돔이 kg 당 40,000~45,000원, 800 g 이상이 60,000원 정도에 가격이 형성되었다. 시장에서의 상품가치를 가격형성 기준으로 볼 때 육상양식장에 비하여 외해가두리에서 생산된 돌돔이 판매가의 10%내외에 해당하는 kg 당 평균 약 2,000원 정도 높은 값을 형성하고 있어서 높은 가치를 인정받았다.

2.4.2. 육질평가

외해가두리 대상종에 대한 품질을 알아보기 위하여 자연산 돌돔과 외해가두리에서 사육 중인 돌돔에 대한 육질평가를 개인별 미감분석을 통하여 실시하고 결과를 Table 13, 14 및 15에 나타내었다. 평가위원 총 70명을 대상으로 2006년 8월 23일에 약 600 g 내외의 자연산 돌돔과 350 g 내외의 외해가두리 생산 돌돔을 미공개 상태에서 테이블에 생선회를 동시에 준비하였을 때,

Table 12. Comparisons of market price of parrot fish cultured in the offshore cage and land based tank system

Date	Observed market price (₩/kg) for parrot fish	
	Offshore cage	Land based tank
Feb. 15. 2006	22,800	19,500
Mar. 4.	22,300	20,000
Mar. 7.	22,500	20,000
Mar. 8.	22,000	—
Mar. 17.	22,000	19,500
Mar. 20.	22,000	—
Mar. 21.	22,000	20,000
Mar. 25.	22,500	—
Mar. 26.	22,500	—
Mar. 27.	22,500	20,500
Mar. 30.	24,000	—
Average price	22,464	19,917

Table 13. Palatability test scores of the muscles of parrot fish from wild and offshore cage

Origin of fish	Flavor	Color	Taste	Texture	Overall acceptability	Average
Wild	3.9	4.01	4.03	4.00	4.09	4.00
Offshore cage	3.81	9.97	4.01	4.03	3.98	3.96

Table 14. Size of palatability test panel for the muscles of parrot fish from wild and offshore cage

(Unit: person)

Experiment	Flavor	Color	Taste	Texture	Overall acceptability
Wild	18	27	26	28	28
Offshore cage	12	24	26	31	24

Table 15. Distribution of the panel with the best score for each evaluation parameter of the muscles of parrot fish from wild and offshore cage

(Unit: person)

Experiment	The sum total	Flavor	Color	Taste	Texture	Overall acceptability
Wild	100	15	23	19	22	21
Offshore cage	92	11	18	22	24	17

평가위원 각자의 취향에 따라 향(냄새), 선택, 맛, 질감(씹힘), 전체적인 느낌 등 5개 항목을 평가하도록 하였다. 평가는 개인적인 기호도에 따라 아주 좋다: 5점, 좋다: 4점, 보통: 3점, 싫다: 2점, 아주 싫다: 1점으로 점수를 매기게 하였는데 종합평점에서 자연산과 외해가두리산이 각각 5점 만점에 4.00점과 3.96점으로 차이가 나타나지 않았으며, 비교대상이 자연산의 큰 돌돔임을 감안할 경우는 외해가두리산이 오히려 높게 평가되었다.

2.4.2.1. 평가항목별 비교우위 분석

각각의 평가항목에 대한 평가결과를 Table 14에 나타내었다. 평가위원 70명의 평가결과 향(냄새), 선택, 맛, 질감(씹힘), 전체적인 느낌 등 5개 모든 평가항목 중에 한개 항목 이상에서 자연산과 가두리산 중에 차이를 느껴서 비교우위에 있다고 선택한 인원을 항목별 누계로 분석한 결과 자연산을 선택한 인원이 44명, 가두리산이 40명 이었다. 각 항목별로는 자연산과 가두리산에 대한 기호도에서 차이가 약간 발생하였는데, 질감에서는 가두리산을 높게 평가하였고 그 외 다른 항목에서는 자연산이 약간 앞섰다. 평가단이 전체적인 느낌 항목에서 자연산을 높게 평가한 것은 맛과 질감보다는 향에 의해서 전체적인 평가를 하고 있음을 알 수 있었다.

2.4.2.2. 평가항목별 최고품질 평가 분석

평가항목 중 최고품질로 아주 좋다(5점)를 평가한 모든 항목에 누계 인원은 자연산 돌돔이 100명이었고, 가두리산 돌돔이 92명이었다(Table 15). 아주 좋다는 평가를 내린 경우 자연산의 경우는 향과 선택에서 많은 인원이 분포하였고, 가두리산은 맛과 질감에서 많았으나 항목별 비교우위 분석에서와 같이 전체적인 느낌은 향과 선택에 의하여 결정하고 있음을 알 수 있었다.

또한 개인별 총점에서 자연산을 높게 평가한 35명 중 향(냄새), 선택, 맛, 질감(씹힘), 전체적인 느낌 등 각 항목에 대하여 아주 좋다(5점)를 준 인원은

각각 9, 14, 17, 16 및 15명 이었고, 가두리산을 높게 평가한 31명 중 각 항목에 대해 아주 좋다(5점)을 준 인원은 9, 14, 18, 21 및 16명으로 나타나서 가두리산에 대해서는 맛과 질감에 대한 개인적인 기호가 뚜렷하게 나타났다.

3. 돌돔 사육관리를 위한 적정 사료공급체계

3.1. 성장단계별 수온에 따른 최대 섭취량

평균수온 15.1℃, 16.0℃, 19.2℃, 22.5℃, 23.0℃, 24.7℃ 및 26.5℃의 조건에서 어체 크기가 다른 돌돔을 대상으로 배합사료를 1일 2회에 걸쳐 만복으로 공급하고 최대 섭취율을 조사하였다.

치어기에 해당하는 크기인 체중 10~30 g 돌돔의 증체율, 사료효율 및 일일사료섭취율을 Table 16, 17 그리고 Figure 17에 나타내었다. 수온 상승에 따라 증체율이 증가하는 것으로 나타나고 있으며 사료효율은 수온에 의한 영향보다는 같은 수온에서 어체중의 증가에 따라 감소하고 있는 것을 볼 수 있었다. 일일사료섭취율은 10~30 g의 돌돔에서 평균수온 15.1℃일때 2.24%였으나 수온상승과 더불어 증가하여 24.7℃와 26.5℃에서는 6.04%, 4.39%로 나타났다. 24.7℃에서 일일사료섭취율이 가장 높게 나타난 것은 사육환경이나 사육생물의 수조 적응도가 다른 시험에서 보다 뛰어났기 때문으로 판단되며, 체중 10~30 g 돌돔에서 수온과 최대 섭취량과의 상관관계를 다항식으로 계산하였을 때 $Y=0.025X^2+0.323X+1.6651$ 로 나타났다.

체중 70~120 g 범위의 돌돔에 대한 동일 수온에서 증체율, 사료효율 및 최고 일일사료섭취율을 Table 16, 18 및 Figure 17에 나타내었다. 증체율은 수온 상승에 따라 증가하고 있으나 7.1%에서 28.3%의 범위를 나타내고 있어서 10~30 g 돌돔의 26.8%에서 64.4%의 증체율에 비해서는 낮은 값을 나타내었다. 각 수온별 성장단계에 따라서도 감소하는 경향이였다. 최고 일일사료섭취율은 15.1℃일 때 1.14%였으나 수온상승과 더불어 증가하여 24.7℃와

Table 16. Comparison of growth, feed efficiency and maximum feed intake for six different weight group's of parrot fish fed satiation level under the seven different water temperature conditions

Temperature (℃)		Fish weight group					
		10~30 g	40~60 g	70~120 g	130~240 g	250~480 g	Over 480 g
15.1℃	Initial weight (g/fish)	29.3	53.8	120.1	–	294.5	483.2
	Weight gain (%) ¹	45.2	18.1	7.1	–	1.7	–0.3
	Feed efficiency (%) ²	136.7 ^a	68.7 ^b	50.1 ^b	–	20.2 ^c	–6.1 ^d
	Daily feed intake (%) ³	2.24 ^a	2.01 ^b	1.14 ^c	–	0.71 ^d	0.52 ^e
	Maximum feed intake (%)	2.31	2.12	1.16	–	0.81	0.55
16.0℃	Initial weight (g/fish)	–	56.4	85.8	212.6	356.8	–
	Weight gain (%) ¹	–	11.7	11.5	7.5	6.0	–
	Feed efficiency (%) ²	–	85.8 ^{ab}	92.5 ^a	91.4 ^a	106.2 ^a	–
	Daily feed intake (%) ³	–	1.16 ^a	1.07 ^a	0.81 ^b	0.48 ^c	–
	Maximum feed intake (%)	–	1.21	1.09	0.99	0.53	–
19.2℃	Initial weight (g/fish)	10.5	67.4	–	137.7	390.8	–
	Weight gain (%) ¹	26.8	22.8	–	19.9	7.1	–
	Feed efficiency (%) ²	94.0 ^a	90.3 ^a	–	94.5 ^a	62.2 ^b	–
	Daily feed intake (%) ³	2.29 ^a	2.06 ^b	–	1.75 ^c	0.99 ^b	–
	Maximum feed intake (%)	2.40	2.13	–	1.84	1.06	–
22.5℃	Initial weight (g/fish)	20.8	62.4	110.9	–	361.6	669.1
	Weight gain (%) ¹	47.7	27.3	11.3	–	7.6	0.6
	Feed efficiency (%) ²	87.2 ^a	81.5 ^a	64.8 ^b	–	45.6 ^c	4.5 ^d
	Daily feed intake (%) ³	3.58 ^a	2.46 ^b	1.47 ^c	–	1.30 ^c	0.80 ^d
	Maximum feed intake (%)	3.72	2.58	1.56	–	1.34	0.87

Table 16. Continued

Temperature (°C)		Fish weight group					
		10~30 g	40~60 g	70~120 g	130~240 g	250~480 g	Over 480 g
23.0°C	Initial weight (g/fish)	14.5	–	80.6	132.9	367.4	–
	Weight gain (%) ¹	44.5	–	28.3	19.5	11.2	–
	Feed efficiency (%) ²	100.8 ^a	–	104.5 ^a	94.2 ^a	60.2 ^b	–
	Daily feed intake (%) ³	3.28 ^a	–	2.16 ^b	1.72 ^c	1.59 ^c	–
	Maximum feed intake (%)	3.36	–	2.24	1.81	1.70	–
24.7°C	Initial weight (g/fish)	28.0	–	118.4	170.5	–	–
	Weight gain (%) ¹	64.4	–	27.7	19.6	–	–
	Feed efficiency (%) ²	73.3 ^a	–	59.0 ^b	58.1 ^b	–	–
	Daily feed intake (%) ³	6.04 ^a	–	3.75 ^b	3.06 ^b	–	–
	Maximum feed intake (%)	6.24	–	3.87	3.12	–	–
26.5°C	Initial weight (g/fish)	22.1	–	106.2	–	376.2	–
	Weight gain (%) ¹	59.6	–	25.1	–	15.5	–
	Feed efficiency (%) ²	95.1 ^a	–	88.7 ^a	–	63.5 ^b	–
	Daily feed intake (%) ³	4.39 ^a	–	2.29 ^b	–	2.06 ^b	–
	Maximum feed intake (%)	4.46	–	2.43	–	2.17	–

¹ (Final weight – initial weight) × 100/initial weight.

² (Wet weight gain/dry feed intake) × 100

³ Feed intake (dry matter) × 100/(initial fish wet weight + final fish wet weight + dead fish wet weight)/ 2×days fed]

Table 17. Weight gain, feed efficiency and feed intake for parrot fish (body weight: 10 to 30 g) under the six different water temperature conditions

Mean water temperature (℃)	Date(D/M/Y)	Weigh gain (%) ¹	Feed efficiency (%) ²	Daily feed intake (%) ³	Maximum feed intake (%)
15.1	02/12/05 ~ 26/12/05	45.2	136.7	2.24	2.31
19.2	13/06/06 ~ 28/06/06	26.8	94.0	2.29	2.40
22.5	11/10/05 ~ 24/10/05	47.7	87.2	3.58	3.72
23.0	25/07/06 ~ 07/08/06	44.5	100.8	3.28	3.36
24.7	18/09/06 ~ 30/09/06	64.4	73.3	6.04	6.24
26.5	05/09/06 ~ 16/09/06	59.6	95.1	4.39	4.46

¹ (Final weight - initial weight) × 100/initial weight.

² (Wet weight gain/dry feed intake) × 100

³ Feed intake (dry matter) × 100/[(initial fish wet weight + final fish wet weight + dead fish wet weight)/ 2×days fed]

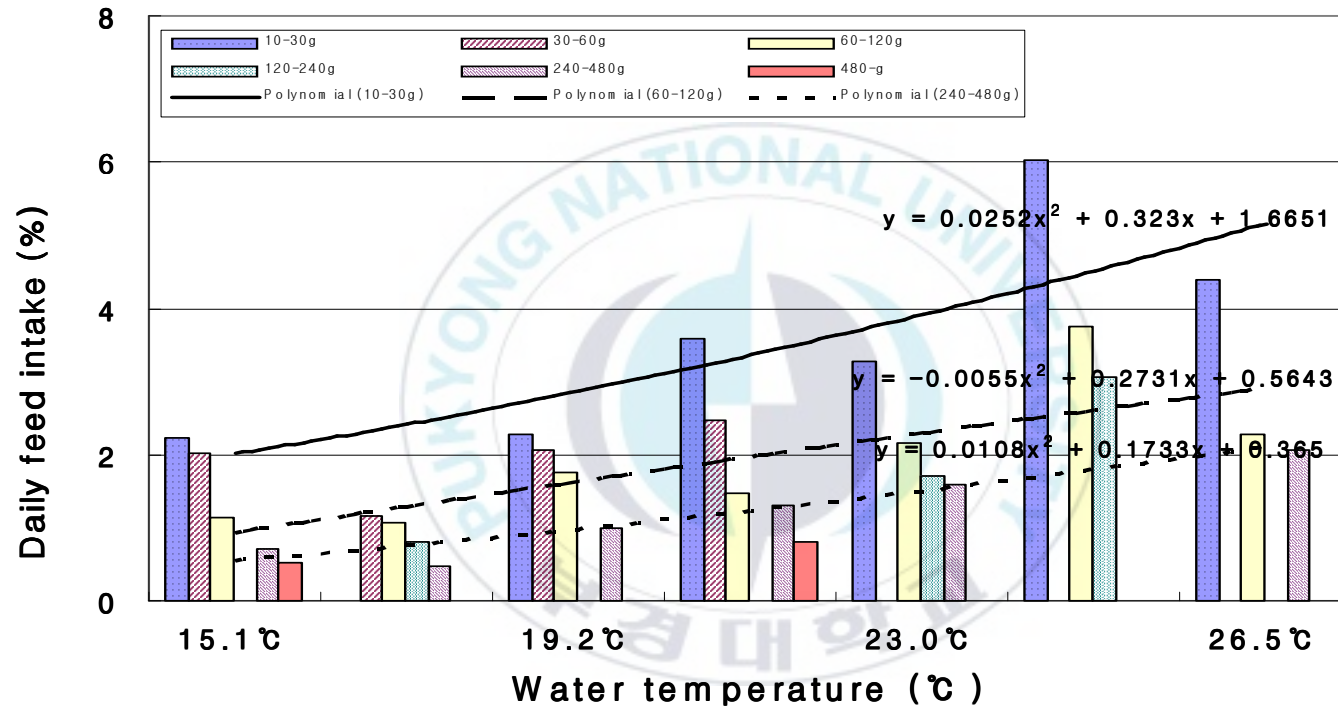


Figure 17. Daily feed intake of six weight group's of parrot fish under the seven different water temperature conditions.

26.5℃에서는 각각 3.75%와 2.29%로 증가하였고, 관계식은 $Y=-0.0055X^2+0.2731X+0.5643$ 이었다.

출하 가능 크기인 체중 240~480 g 돌돔에 대한 증체율, 사료효율 및 최고 일일사료섭취율을 Table 16, 19 및 Figure 17에 나타내었다. 증중율은 이전 크기 결과와 마찬가지로 수온의 상승에 비례하여, 성장단계의 증가에 반비례하게 나타났으나 수온 값에 따른 증체율은 더욱 감소하여 15.1℃, 16.0℃, 19.2℃, 22.5℃, 23.0℃ 및 26.5℃ 온도에서 각각 1.7%, 6.0%, 7.1%, 7.6%, 11.2% 및 15.5%로 나타났다. 일일사료섭취율도 수온상승에 비례하여 증가하고 있으며 0.48%에서 2.06% 범위로 나타났다. 일일사료섭취율이 어체중의 1% 이상으로 증가하기 위해서는 수온이 19℃ 이상 상승해야 하는 것으로 나타났다으며, 수온과의 관계식은 $Y=0.0108X^2+0.1733X+0.365$ 로 계산되었다.

3.2. 수온별, 성장 단계별 배합사료 적정 공급율

3.2.1. 수온 15℃에서의 적정 공급율

돌돔 60 g내외의 당년어에 대하여 2005년 12월 3일에서 2006년 1월 15일까지 사료 공급율을 다르게 설정하여, 매일 어체중의 1.93%를 공급하는 시험구(만복공급 시험구)와 1.77%, 1.61%, 1.45% 및 1.27%를 공급하는 시험구로 나누어 6주간의 사육실험 후, 생존율, 증체율, 일일사료섭취율, 사료효율 및 단백질 전환효율을 계산하여 Table 20에 나타내었다. 생존율은 시험기간 동안 폐사 개체가 발생하지 않았고, 증중율은 어체중의 1.93%공급구, 1.77%공급구 및 1.61% 공급구간에는 차이가 없었으나, 어체중의 1.45% 이하 공급구에서는 증중율이 감소하였다. 사료효율 및 단백질전환효율은 사료공급율이 감소함에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 어체중의 1.61% 이하 공급구는 1.93% 및 1.77% 공급구에 비하여 유의하게 높았다. 사육시험을 종료하고 시험어의 어체성분을 분석한 결과, 전 어체의 수분, 단백질, 지방 및 회분함량은 모든 시험구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다(Table 21).

Table 18. Weight gain, feed efficiency and feed intake for parrot fish (body weight: 70 to 120 g) under the six different water temperature conditions

Mean water temperature (°C)	Date	Weight gain (%) ¹	Feed efficiency (%) ²	Daily feed intake (%) ³	Maximum feed intake (%)
15.1	02/12/05 ~ 26/12/05	7.1	50.1	1.14	1.16
16.0	02/05/06 ~ 12/05/06	11.5	92.5	1.07	1.09
22.5	11/10/05 ~ 24/10/05	11.3	64.8	1.47	1.56
23.0	25/07/06 ~ 07/08/06	28.3	104.5	2.16	2.24
24.7	18/09/06 ~ 30/09/06	27.7	59.0	3.75	3.87
26.5	05/09/06 ~ 16/09/06	25.1	88.7	2.29	2.43

¹ (Final weight - initial weight) × 100/initial weight.

² (Wet weight gain/dry feed intake) × 100

³ Feed intake (dry matter) × 100/(initial fish wet weight + final fish wet weight + dead fish wet weight)/ 2×days fed]

Table 19. Weight gain, feed efficiency and feed intake for parrot fish (body weight: 250 to 480 g) under the six different water temperature conditions

Mean water temperature (°C)	Date	Weight gain (%) ¹	Feed efficiency (%) ²	Daily feed intake (%) ³	Maximum feed intake (%)
15.1	02/12/05 ~ 26/12/05	1.7	20.2	0.71	0.81
16.0	02/05/06 ~ 12/05/06	6.0	106.2	0.48	0.53
19.2	13/06/06 ~ 28/06/06	7.1	62.2	0.99	1.06
22.5	11/10/05 ~ 24/10/05	7.6	45.6	1.30	1.34
23.0	25/07/06 ~ 07/08/06	11.2	60.2	1.59	1.70
26.5	05/09/06 ~ 16/09/06	15.5	63.5	2.06	2.17

¹ (Final weight - initial weight) × 100/initial weight.

² (Wet weight gain/dry feed intake) × 100

³ Feed intake (dry matter) × 100/(initial fish wet weight + final fish wet weight+ dead fish wet weight)/ 2×days fed]

Table 20. Growth performance of juvenile parrot fish fed diets with various feeding rates for 6 weeks (mean water temperature: 14.8°C). Values are means of triplicated experimental groups. The different superscripts in the same rows are significantly different (P<0.05)

	Feeding rate (% body weight day ⁻¹)					Pooled
	1.93	1.77	1.61	1.45	1.29	SEM ¹
Initial body weight (g/fish)	62.6	62.5	62.7	62.6	62.9	0.01
Weight gain (%) ²	28.7 ^{ab}	28.0 ^{abc}	29.1 ^a	25.7 ^{bc}	24.7 ^c	0.54
Specific growth rate (%) ³	0.43	0.40	0.43	0.40	0.40	0.01
Daily feed intake (%) ⁴	1.93 ^a	1.76 ^b	1.60 ^c	1.50 ^d	1.27 ^f	0.05
Feed efficiency (%) ⁵	30.9 ^b	31.7 ^b	37.7 ^a	37.9 ^a	43.4 ^a	1.20
Protein efficiency ratio ⁶	0.64 ^b	0.66 ^b	0.78 ^a	0.79 ^a	0.90 ^a	0.02
Survival (%)	100	100	100	100	100	0.00

¹ Pooled standard error of mean: SD/√n , n = 3 replicated tanks of fish per feeding rate treatments.

² (Final weight - initial weight) × 100/initial weight.

³ (log_e final weight. - log_e initial weight.) × 100/days

⁴ Feed intake (dry matter) × 100/(initial fish wet weight + final fish wet weight + dead fish wet weight)/ 2×days fed]

⁵ (Wet weight gain/dry feed intake) × 100

⁶ Wet weight gain/protein fed

Table 21. Proximate composition of whole body of juvenile parrot fish fed diets with the various feeding rates for 6 weeks (mean water temperature: 14.8°C)¹.

	Feeding rate (% body weight day ⁻¹)					Pooled
	1.93	1.77	1.61	1.45	1.29	SEM
Moisture (%)	65.6	66.5	65.1	65.6	66.1	0.18
Crude protein (%)	15.7	16.1	16.3	15.9	15.8	0.11
Crude lipid (%)	13.1	13.3	13.2	13.2	12.8	0.15
Ash (%)	2.1	1.8	2.2	1.9	2.1	0.17

¹ Values are means of triplicate groups.

평균체중 350 g의 돌돔 2년어에 대하여 2006년 3월 13일부터 5월 11일까지 8주간 어체중의 0.34% (만복공급 시험구), 0.32%, 0.30%, 0.28% 및 0.26%를 공급하면서 8주간의 사육 시험 후의 생존율, 증체율, 일일사료섭취율, 사료효율 및 단백질 효율을 조사하여 Table 22에 나타내었다. 사육기간 동안 모든 시험구의 생존율은 100%였다. 증체율, 일간성장율, 사료효율 및 단백질 효율은 모든 시험구 간에 유의한 차이가 없었다. 어체의 일반성분 역시 시험구 간에 차이가 없었다.

3.2.2. 수온 22.5℃에서의 적정 공급율

평균 체중 20g의 돌돔 당년어에 대하여 2005년 9월 21일부터 9월 30일까지 7주간 어체중의 2.34% (최대포식량 공급 시험구), 2.24%, 2.14%, 2.04% 및 1.94%를 공급하면서 7주간 사육 시험한 후에 생존율, 증체율, 사료효율 등을 조사하여 Table 23에 나타내었다. 생존율은 모든 시험구에서 98%이상으로 통계적인 차이가 없었다. 증체율은 어체중의 2.34% 공급구와 2.24% 공급구 간에는 유의한 차이가 없었으나, 2.14% 이하 공급구부터는 공급을 감소에 비례하여 감소하였다. 사료효율은 어체중의 2.04% 이상 공급구 간에는 차이가 없었으나 1.94% 공급구는 2.34% 공급구보다 유의하게 낮았다. 사료효율 및 단백질효율은 모든 시험구 간에 차이가 없었다.

평균체중 115 g의 1년생 돌돔에 대하여 2005년 5월 25일부터 7월 30일까지 어체중의 1.12% (최대포식량 공급 시험구), 1.07%, 1.02%, 0.97% 및 0.92%를 공급하면서 8주간 사육한 후, 생존율, 증중율, 사료효율 등을 조사하여 Table 24에 나타내었다. 생존율에 따른 시험구간 차이는 없었으며, 증중율은 어체중의 0.97%이상 공급구 간에는 차이가 나타나지 않았으나, 어체중의 0.92% 공급구는 최대포식량 공급구보다 유의하게 낮았다. 사료효율 및 단백질진환효율은 모든 시험구간에 차이가 없었다.

Table 22. Growth performance of two-year old parrot fish fed diet with the various feeding rates for 6 weeks (mean water temperature: 15.1°C). Values are means of triplicated groups. The different superscripts in the same rows are significantly different (P<0.05)

	Feeding rate (% body weight day ⁻¹)					Pooled
	0.34	0.32	0.30	0.28	0.26	SEM ¹
Initial body weight (g/fish)	345.4	344.4	343.7	345.7	343.9	0.79
Weight gain (%) ²	10.1	6.6	8.0	10.2	7.3	0.71
Specific growth rate (%) ³	0.07	0.05	0.06	0.07	0.05	0.00
Daily feed intake (%) ⁴	0.34 ^a	0.33 ^{ab}	0.30 ^{bc}	0.27 ^c	0.27 ^c	0.01
Feed efficiency (%) ⁵	46.1	33.0	43.6	59.8	44.0	3.62
Protein efficiency ratio ⁶	0.96	0.69	0.90	1.24	0.91	0.08
Survival (%)	100	100	100	100	100	0.00

¹ Pooled standard error of mean: SD/ $\sqrt{n}$, n = 3 replicated tanks of fish per feeding rate treatments.

² (Final weight - initial weight) $\times$ 100/initial weight.

³ (log_e final weight. - log_e initial weight.) $\times$ 100/days

⁴ Feed intake (dry matter) $\times$ 100/(initial fish wet weight + final fish wet weight + dead fish wet weight)/ 2 $\times$ days fed]

⁵ (Wet weight gain/dry feed intake) $\times$ 100

⁶ Wet weight gain/protein fed

Table 23. Growth performance of juvenile parrot fish fed diet with the various feeding rates for 7 weeks(mean water temperature: 23.1℃). Values are means of triplicated groups. The different superscripts in the same rows are significantly different (P<0.05)

	Feeding rate (% body weight day ⁻¹)					Pooled
	2.34	2.24	2.14	2.04	1.94	SEM ¹
Initial body weight (g/fish)	19.2	19.6	19.3	19.6	19.4	0.15
Weight gain (%) ²	219.4 ^a	206.9 ^a	189.1 ^b	166.2 ^c	142.7 ^d	6.63
Specific growth rate (%) ³	1.12 ^a	1.08 ^a	1.02 ^b	0.94 ^c	0.86 ^d	0.02
Daily feed intake (%) ⁴	2.34 ^a	2.21 ^b	2.13 ^c	2.08 ^c	1.92 ^d	0.03
Feed efficiency (%) ⁵	98.8 ^{ab}	101.2 ^a	101.5 ^a	97.1 ^{ab}	95.0 ^b	0.76
Protein efficiency ratio ⁶	2.05 ^{ab}	2.10 ^a	2.11 ^a	2.01 ^{ab}	1.97 ^b	0.02
Survival (%)	97.1	98.3	100	100	98.3	0.50

¹ Pooled standard error of mean: SD/ $\sqrt{n}$, n = 3 replicated tanks of fish per feeding rate treatments.

² (Final weight - initial weight) $\times$ 100/initial weight.

³ (log_e final weight. - log_e initial weight.) $\times$ 100/days

⁴ Feed intake (dry matter) $\times$ 100/(initial fish wet weight + final fish wet weight + dead fish wet weight)/ 2 $\times$ days fed]

⁵ (Wet weight gain/dry feed intake) $\times$ 100

⁶ Wet weight gain/protein fed

Table 24. Growth performance of one-year old parrot fish fed diet with the various feeding rates for 8 weeks (mean water temperature: 22.3°C). Values are means of triplicated groups. The different superscripts in the same rows are significantly different (P<0.05)

	Feeding rate (% body weight day ⁻¹)					Pooled
	1.12	1.07	1.02	0.97	0.92	SEM ¹
Initial body weight (g/fish)	110.4	117.8	117.8	115.3	113.6	1.72
Weight gain (%) ²	82.4 ^a	74.3 ^{ab}	73.2 ^{ab}	76.6 ^{ab}	61.3 ^b	2.87
Specific growth rate (%) ³	0.39 ^a	0.37 ^{ab}	0.37 ^{ab}	0.36 ^{ab}	0.31 ^b	0.01
Daily feed intake (%) ⁴	1.12 ^a	1.08 ^a	1.02 ^b	0.94 ^c	0.93 ^c	0.02
Feed efficiency (%) ⁵	70.2	71.4	69.2	71.1	70.6	1.13
Protein efficiency ratio ⁶	1.46	1.48	1.44	1.48	1.47	0.02
Survival (%)	97.9	98.7	92	93.3	100	1.46

¹ Pooled standard error of mean: $SD/\sqrt{n}$, $n = 3$ replicated tanks of fish per feeding rate treatments.

² (Final weight - initial weight) $\times$ 100/initial weight.

³ $(\log_e \text{ final weight.} - \log_e \text{ initial weight.}) \times 100/\text{days}$

⁴ Feed intake (dry matter) $\times$ 100/(initial fish wet weight + final fish wet weight + dead fish wet weight)/ 2 $\times$ days fed]

⁵ (Wet weight gain/dry feed intake) $\times$ 100

⁶ Wet weight gain/protein fed

3.2.3. 수온 25.5℃ 이상에서 적정 공급율

평균체중 20 g의 돌돔 당년어를 대상으로 2006년 9월 6일부터 10월 2일까지 4주간 어체중의 3.82%(최대포식량 공급 시험구), 3.60%, 3.40%, 3.20% 및 3.00%를 공급하면서 생존율, 증체율, 사료효율 등을 조사하여 Table 25에 나타내었다. 시험기간 동안 폐사개체는 발생하지 않았으며, 증체율은 어체중의 3.82% 공급구에서 가장 높게 나타났으나 3.40% 공급구와는 차이가 없었으며 공급율이 감소할수록 증체율도 감소하였다. 사료효율은 3.00% 공급구가 가장 높았으나 3.82% 공급구를 제외한 시험구와 차이는 나타나지 않았다. 일일사료섭취율은 어체중의 3.60% 공급구 섭취가 부진하여 3.40% 공급구와 차이가 나타나지 않았으나 이를 제외한 시험구간에는 뚜렷한 차이를 나타내었다.

평균체중 90 g의 돌돔 1년어에 대하여 2006년 8월 21일부터 9월 30일까지 6주간 어체중의 1.87%(최대포식량 공급 시험구), 1.77%, 1.67% 및 1.57%로 배합사료를 공급하며 생존율, 증체율, 사료효율 등을 조사하여 Table 26에 나타내었다. 생존율은 한 수조에서만 폐사가 약 10%정도 진행되었으나 시험구간 유의한 차이는 없었으며, 증체율은 어체중의 1.87% 공급구가 가장 높게 나타났으나 1.77%, 1.67% 시험구와는 차이가 없었으며, 그 이하 공급구에서는 유의하게 감소하였다. 사료효율은 시험구별로 차이가 나타나지 않았다. 일일사료섭취율은 전반적으로 낮게 나타났는데 실험에 사용된 실험어가 외부기생충에 감염되어 치료가 진행되었기 때문인 것으로 예상된다.

평균체중 350 g의 돌돔 2년어를 대상으로 2006년 8월 21일부터 9월 30일까지 6주간 어체중의 1.58% (최대포식량 공급 시험구), 1.48%, 1.38% 및 1.28%로 배합사료를 공급하며 생존율, 증체율, 사료효율 등을 조사하여 Table 27에 나타내었다. 생존율은 차이가 없었고, 증체율은 1.38% 이상 시험구간에 차이는 없었으나 어체중의 1.28% 시험구보다는 높게 나타났다. 사료효율 및 단백질전환효율은 배합사료 공급율에 따라 차이가 없었으나 일일사료섭취율은 공급량이 작아질수록 낮은 값을 나타내었다.

Table 25. Growth performance of juvenile parrot fish fed diet with the various feeding rates for 4 weeks (mean water temperature: 25.5°C). Values are means of triplicated groups. The different superscripts in the same rows are significantly different (P<0.05)

	Feeding rate (% body weight day ⁻¹)					Pooled
	3.82	3.62	3.42	3.22	3.02	SEM ¹
Initial body weight (g/fish)	22.1	21.9	21.8	21.8	21.6	0.09
Weight gain (%) ²	149.7 ^a	138.7 ^{ab}	129.9 ^{bc}	123.6 ^c	121.5 ^c	3.09
Specific growth rate (%) ³	1.60 ^a	1.50 ^b	1.43 ^{bc}	1.37 ^c	1.37 ^c	0.03
Daily feed intake (%) ⁴	3.82 ^a	3.40 ^b	3.36 ^b	3.23 ^c	3.06 ^d	0.07
Feed efficiency (%) ⁵	89.7 ^b	96.4 ^{ab}	93.6 ^{ab}	94.6 ^{ab}	98.7 ^a	1.01
Protein efficiency ratio ⁶	1.86 ^b	2.00 ^{ab}	1.94 ^{ab}	1.96 ^{ab}	2.05 ^a	0.02
Survival (%)	100	100	100	100	100	0.00

¹ Pooled standard error of mean: $SD/\sqrt{n}$, $n = 3$ replicated tanks of fish per feeding rate treatments.

² (Final weight - initial weight) $\times$ 100/initial weight.

³ ($\log_e$ final weight. - $\log_e$ initial weight.) $\times$ 100/days

⁴ Feed intake (dry matter) $\times$ 100/[(initial fish wet weight + final fish wet weight + dead fish wet weight)/ 2 $\times$ days fed]

⁵ (Wet weight gain/dry feed intake) $\times$ 100

⁶ Wet weight gain/protein fed

Table 26. Growth performance of juvenile parrot fish fed diet with the various feeding rates for 6 weeks (mean water temperature: 26.7°C). Values are means of triplicated groups. The different superscripts in the same rows are significantly different (P<0.05)

	Feeding rate (% body weight day ⁻¹)				Pooled SEM ¹
	1.87	1.77	1.67	1.57	
Initial body weight (g/fish)	89.7	89.4	89.4	91.5	0.51
Weight gain (%) ²	90.4 ^a	83.3 ^a	77.6 ^{ab}	65.6 ^b	2.98
Specific growth rate (%) ³	0.70 ^a	0.66 ^a	0.62 ^{ab}	0.55 ^b	0.02
Daily feed intake (%) ⁴	1.87 ^a	1.73 ^b	1.68 ^{bc}	1.56 ^d	0.03
Feed efficiency (%) ⁵	83.5	84.8	83.4	79.4	2.02
Protein efficiency ratio ⁶	1.73	1.76	1.73	1.65	0.04
Survival (%)	100	100	100	96	0.80

¹ Pooled standard error of mean: $SD/\sqrt{n}$, n = 3 replicated tanks of fish per feeding rate treatments.

² (Final weight - initial weight) × 100/initial weight.

³ (log_e final weight. - log_e initial weight.) × 100/days

⁴ Feed intake (dry matter) × 100/[(initial fish wet weight + final fish wet weight + dead fish wet weight)/ 2×days fed]

⁵ (Wet weight gain/dry feed intake) × 100

⁶ Wet weight gain/protein fed

Table 27. Growth performance of two-years old parrot fish fed diet with the various feeding rates for 6 weeks (mean water temperature: 26.7°C). Values are means of triplicated groups. The different superscripts in the same rows are significantly different (P<0.05)

	Feeding rate (% body weight day ⁻¹)				Pooled
	1.58	1.48	1.38	1.28	SEM ¹
Initial body weight (g/fish)	343.9	340.9	341.4	339.2	1.72
Weight gain (%) ²	44.7 ^a	39.9 ^{ab}	32.2 ^b	31.9 ^b	1.63
Specific growth rate (%) ³	0.40 ^a	0.36 ^{ab}	0.30 ^b	0.30 ^b	0.05
Daily feed intake (%) ⁴	1.58 ^a	1.47 ^b	1.38 ^c	1.28 ^d	0.11
Feed efficiency (%) ⁵	58.0	56.4	50.7	53.5	1.44
Protein efficiency ratio ⁶	1.20	1.17	1.05	1.11	0.03
Survival (%)	100	100	100	100	0.00

¹ Pooled standard error of mean: SD/ $\sqrt{n}$, n = 3 replicated tanks of fish per feeding rate treatments.

² (Final weight - initial weight) $\times$ 100/initial weight.

³ (log_e final weight. - log_e initial weight.) $\times$ 100/days

⁴ Feed intake (dry matter) $\times$ 100/(initial fish wet weight + final fish wet weight + dead fish wet weight)/ 2 $\times$ days fed]

⁵ (Wet weight gain/dry feed intake) $\times$ 100

⁶ Wet weight gain/protein fed

3.3. 수온별, 성장단계별 배합사료 적정 공급횟수

3.3.1. 수온 15℃에서의 적정 공급횟수

돌돔 60 g의 당년어를 2005년 12월 2일부터 2006년 1월 15일까지 6주 동안 평균수온 14.8℃에서 사료공급 횟수를 1일 1회, 1일 2회, 1일 3회로 달리 하여 사육시험한 후의 생존율, 증체율, 사료효율, 일일사료섭취율, 일간성장율, 단백질전환효율을 Table 28에 나타내었다. 시험구 간 생존율에 차이는 없었으며, 증체율은 1일 2회와 3회 공급구 간에는 각각 28.7%와 27.9%로 유의차가 없었으나 1회 공급구는 25.0%로 가장 낮은 수치를 나타내었다. 그러나 일간성장율에 있어서는 모든 시험구 간에 차이가 없는 것으로 나타났다. 사료효율은 하루 1회 공급구가 64.9%로 가장 높았고 공급횟수가 증가하면서 유의적으로 낮은 값을 나타내어 각각 54.2%와 46.0%였다. 일일사료섭취율과 단백질전환효율은 공급횟수 증가에 따라 유의적인 증가추세를 나타내었다.

평균체중 346 g의 돌돔 2년어를 2006년 3월 13일부터 5월 10일까지 8주 동안 평균 수온 15.1℃에서 사료공급 횟수를 1일 1회, 1일 2회 및 1일 3회로 달리하여 사육시험한 후에 결과를 Table 29에 나타내었다. 생존율, 증체율, 일일사료섭취율, 일간성장율, 단백질전환효율 모두 각 실험구간에 유의적인 차가 나타나지 않았다.

3.3.2. 수온 22.5℃에서의 적정 공급횟수

평균체중 19 g의 돌돔 치어를 2005년 9월 21일부터 2005년 11월 5일까지 7주 동안 평균수온 23.1℃에서 사료공급 횟수를 1일 1회, 1일 2회 및 1일 3회로 달리하여 사육시험한 후에 결과를 Table 30에 나타내었다. 생존율은 차이가 없었으며, 증체율은 3회 공급구가 231.3%로 가장 높았으나 2회와는 차이가 없었고, 1회 공급구는 134.9%로 낮은 값을 나타내었다. 사료효율은 1일 1

Table 28. Growth performance of juvenile parrot fish fed diet with the various feeding frequencies for 6 weeks (mean water temperature: 14.8°C). Values are means of triplicated groups. The different superscripts in the same rows are significantly different (P<0.05)

	Feeding frequency			Pooled SEM ¹
	One meal a day	Two meals a day	Three meals a day	
Initial body weight (g/fish)	62.6	62.6	62.5	0.15
Weight gain (%) ²	25.0 ^b	27.9 ^a	28.7 ^{ab}	0.75
Specific growth rate (%) ³	0.40	0.43	0.43	0.01
Daily feed intake (%) ⁴	0.82 ^c	1.10 ^b	1.26 ^a	0.07
Feed efficiency (%) ⁵	64.9 ^a	54.2 ^b	46.0 ^c	2.86
Protein efficiency ratio ⁶	1.35 ^a	1.12 ^b	0.96 ^c	0.06
Survival (%)	100	100	98.9	0.37

¹ Pooled standard error of mean: $SD/\sqrt{n}$, n = 3 replicated tanks of fish per feeding rate treatments.

² (Final weight - initial weight) $\times$ 100/initial weight.

³ ($\log_e$ final weight. - $\log_e$ initial weight.) $\times$ 100/days

⁴ Feed intake (dry matter) $\times$ 100/(initial fish wet weight + final fish wet weight + dead fish wet weight)/ 2 $\times$ days fed]

⁵ (Wet weight gain/dry feed intake) $\times$ 100

⁶ Wet weight gain/protein fed

Table 29. Growth performance of two-years old parrot fish fed diet with the various feeding frequencies for 8 weeks (mean water temperature: 15.1°C). Values are means of triplicated groups. The different superscripts in the same rows are significantly different (P<0.05)

	Feeding frequency			Pooled SEM ¹
	One meal a day	Two meals a day	Three meals a day	
Initial body weight (g/fish)	345.3	345.4	347.5	0.96
Weight gain (%) ²	10.5	10.1	10.5	1.39
Specific growth rate (%) ³	0.07	0.07	0.07	0.01
Daily feed intake (%) ⁴	0.33	0.34	0.41	0.02
Feed efficiency (%) ⁵	50.8	46.1	41.3	5.18
Protein efficiency ratio ⁶	1.05	0.96	0.86	0.11
Survival (%)	100	100	100	0.00

¹ Pooled standard error of mean: $SD/\sqrt{n}$, $n = 3$ replicated tanks of fish per feeding rate treatments.

² $(\text{Final weight} - \text{initial weight}) \times 100/\text{initial weight}$.

³ $(\log_e \text{ final weight.} - \log_e \text{ initial weight.}) \times 100/\text{days}$

⁴ $\text{Feed intake (dry matter)} \times 100/[(\text{initial fish wet weight} + \text{final fish wet weight} + \text{dead fish wet weight})/ 2 \times \text{days fed}]$

⁵ $(\text{Wet weight gain}/\text{dry feed intake}) \times 100$

⁶ $\text{Wet weight gain}/\text{protein fed}$

Table 30. Growth performance of juvenile parrot fish fed diet with the various feeding frequencies for 7 weeks (mean water temperature: 23.1°C). Values are means of triplicated groups. The different superscripts in the same rows are significantly different (P<0.05)

	Feeding frequency			Pooled SEM ¹
	One meal a day	Two meals a day	Three meals a day	
Initial body weight (g/fish)	19.7	19.2	19.6	0.28
Weight gain (%) ²	134.9 ^b	219.4 ^a	231.3 ^a	15.54
Specific growth rate (%) ³	0.82 ^b	1.12 ^a	1.16 ^a	0.05
Daily feed intake (%) ⁴	1.81 ^c	2.34 ^b	2.58 ^a	0.11
Feed efficiency (%) ⁵	95.9 ^a	98.8 ^a	91.4 ^b	1.23
Protein efficiency ratio ⁶	1.99 ^a	2.05 ^a	1.90 ^b	0.02
Survival (%)	97.5	97.1	98.3	0.84

¹ Pooled standard error of mean: $SD/\sqrt{n}$, $n = 3$ replicated tanks of fish per feeding rate treatments.

² $(\text{Final weight} - \text{initial weight}) \times 100/\text{initial weight}$.

³ $(\log_e \text{ final weight.} - \log_e \text{ initial weight.}) \times 100/\text{days}$

⁴ $\text{Feed intake (dry matter)} \times 100/[(\text{initial fish wet weight} + \text{final fish wet weight} + \text{dead fish wet weight})/ 2 \times \text{days fed}]$

⁵ $(\text{Wet weight gain}/\text{dry feed intake}) \times 100$

⁶ $\text{Wet weight gain}/\text{protein fed}$

회 및 2회 공급구가 3회 공급구보다 높게 나타났다. 일일사료섭취율은 1회, 2회, 3회 각각 1.81%, 2.34% 및 2.58%로 차이를 나타났다. 단백질전환효율은 1회, 2회 공급구가 3회에 공급구에 비하여 높게 나타났다.

평균체중 115 g의 돌돔 1년어를 2005년 5월 25일부터 2005년 7월 31일까지 8주간 평균수온 21.8℃에서 사료공급 횟수를 1일 1회, 1일 2회 및 1일 3회로 달리하여 사육실험한 후에 결과를 Table 31에 나타내었다. 수온 22℃ 내외에서도 15℃와 마찬가지로 돌돔의 배합사료 공급횟수에 따른 증체율, 사료효율 등 모든 항목에서 실험구간 유의적인 차이가 없었다.

3.5. 배합사료 공급 제한 영향 조사 결과

3.5.1. 공급 제한이 성장에 미치는 영향

평균수온 20.4℃에서 20 g과 300 g 돌돔을 대상으로 2005년 10월 11일부터 12월 3일까지 8주 동안 배합사료 공급제한 일수를 달리하여 사육 시험한 결과를 Table 32와 33에 각각 나타내었다. 사육기간 동안 두 시험 모두에서 생존율은 100%로 폐사개체는 발생하지 않았다. 증체율은 치어와 1년어 모두 공급 제한 일수가 1일에서 4일로 증가함에 따라서 감소하였으며, 2일 공급제한 시험구는 1일 공급제한구와 유의한 차이를 보이지 않았으나, 3일 및 4일 공급제한구는 1일 공급제한구에 비하여 낮았다. 일일사료섭취율은 배합사료 공급제한 일수가 증가함에 따라 감소하였으나, 사료효율은 및 단백질효율은 차이를 보이지 않았다.

3.5.2. 공급제한 일수에 따른 전어체 분석결과

매주 1일에서 2일, 3일 및 4일동안 배합사료 공급제한 일수를 달리하여 8주간의 사육시험 종료 후, 돌돔 치어와 2년어의 어체성분 분석결과를 Table 34과 35에 각각 나타내었다. 돌돔치어에 있어서는 수분과 조지질 함량은 실험구간에 차이를 나타내었다. 수분 함량은 공급제한 일수가 증가함에 따라서

Table 31. Growth performance of one-year old parrot fish fed diet with the various feeding frequencies for 8 weeks (mean water temperature: 22.3°C). Values are means of triplicated groups. The different superscripts in the same rows are significantly different (P<0.05)

	Feeding frequency			Pooled SEM ²
	One meal a day	Two meals a day	Three meals a day	
Initial body weight (g/fish)	119.7	120.9	110.4	2.88
Weight gain (%) ²	65.1	70.1	82.4	3.90
Specific growth rate (%) ³	0.33	0.35	0.39	0.01
Daily feed intake (%) ⁴	1.05	1.22	1.25	0.04
Feed efficiency (%) ⁵	68.1	64.8	70.2	1.29
Protein efficiency ratio ⁶	1.41	1.34	1.46	0.03
Survival (%)	98.3	100	97.9	0.83

¹ Pooled standard error of mean: $SD/\sqrt{n}$, $n = 3$ replicated tanks of fish per feeding rate treatments.

² $(\text{Final weight} - \text{initial weight}) \times 100/\text{initial weight}$.

³ $(\log_e \text{final weight.} - \log_e \text{initial weight.}) \times 100/\text{days}$

⁴ $\text{Feed intake (dry matter)} \times 100/[(\text{initial fish wet weight} + \text{final fish wet weight} + \text{dead fish wet weight})/ 2 \times \text{days fed}]$

⁵ $(\text{Wet weight gain}/\text{dry feed intake}) \times 100$

⁶ $\text{Wet weight gain}/\text{protein fed}$

Table 32. Effect of starvation on growth of juvenile parrot fish under 20.4°C condition. Values are means of triplicated groups. The different superscripts in the same rows are significantly different (P<0.05)

	Number of days without feeding per week				Pooled SEM ¹
	One	Two	Three	Four	
Initial weight (g/fish)	21.0	21.3	20.3	20.2	0.37
Weight gain (%) ²	241.6 ^a	202.7 ^{ab}	171.9 ^{bc}	122.8 ^c	14.73
Specific growth rate (%) ³	1.00 ^a	0.91 ^{ab}	0.82 ^b	0.66 ^c	0.04
Daily feed intake (%) ⁴	2.37 ^a	2.17 ^b	1.92 ^c	1.59 ^d	0.09
Feed efficiency (%) ⁵	86.5	87.6	90.8	90.5	2.02
Protein efficiency ratio ⁶	1.79	1.82	1.88	1.88	0.04
Survival (%)	100	100	100	100	0.00

¹ Pooled standard error of mean: $SD/\sqrt{n}$, $n = 3$ replicated tanks of fish per feeding rate treatments.

² (Final weight - initial weight) $\times$ 100/initial weight.

³ ($\log_e$ final weight. - $\log_e$ initial weight.) $\times$ 100/days

⁴ Feed intake (dry matter) $\times$ 100/(initial fish wet weight + final fish wet weight + dead fish wet weight)/ 2 $\times$ days fed]

⁵ (Wet weight gain/dry feed intake) $\times$ 100

⁶ Wet weight gain/protein fed

Table 33. Effect of starvation on growth of two-year old parrot fish under 20.4°C condition. Values are means of triplicated groups. The different superscripts in the same rows are significantly different (P<0.05)

	Number of days without feeding per week				Pooled
	One	Two	Three	Four	SEM ¹
Initial weight (g/fish)	300.5	311.3	310.1	314.6	0.37
Weight gain (%) ²	34.0 ^a	26.7 ^{ab}	18.3 ^{bc}	10.1 ^c	14.73
Specific growth rate (%) ³	0.24 ^a	0.19 ^{ab}	0.14 ^{bc}	0.08 ^c	0.04
Daily feed intake (%) ⁴	0.91 ^a	0.78 ^b	0.66 ^c	0.56 ^c	0.09
Feed efficiency (%) ⁵	59.7	57.3	48.5	28.3	2.02
Protein efficiency ratio ⁶	1.24	1.19	1.01	0.59	0.04
Survival (%)	100	100	100	100	0.00

¹ Pooled standard error of mean: $SD/\sqrt{n}$, $n = 3$ replicated tanks of fish per feeding rate treatments.

² (Final weight - initial weight) $\times$ 100/initial weight.

³ ($\log_e$ final weight. - $\log_e$ initial weight.) $\times$ 100/days

⁴ Feed intake (dry matter) $\times$ 100/(initial fish wet weight + final fish wet weight + dead fish wet weight)/ 2 $\times$ days fed]

⁵ (Wet weight gain/dry feed intake) $\times$ 100

⁶ Wet weight gain/protein fed

Table 34. Proximate analyses of whole body of juvenile parrot fish (20.2~21.3 g) by starvation days per week under 20.4°C condition¹

	Number of days without feeding per week				Pooled
	One	Two	Three	Four	SEM
Moisture (%)	66.6 ^b	67.0 ^b	68.2 ^{ab}	69.0 ^a	0.36
Crude protein (%)	13.2	13.2	13.4	15.8	1.02
Crude lipid (%)	12.6 ^a	12.7 ^a	11.0 ^b	10.3 ^b	0.35
Ash (%)	4.1	3.9	4.6	4.7	0.19

¹ Values are means of triplicate groups.

Table 35. Proximate analyses of whole body composition of two-year old parrot fish (300.5~314.6 g) by starvation days per week under 20.4°C condition¹

	Number of days without feeding per week				Pooled SEM
	One	Two	Three	Four	
Moisture (%)	62.0	62.0	62.2	62.1	0.31
Crude protein (%)	17.2	17.4	17.1	17.1	0.13
Crude lipid (%)	16.9	16.7	15.4	16.4	0.37
Ash (%)	3.8	4.0	3.9	3.6	0.15

¹ Values are means of triplicate groups.

증가하는 경향을 보였다. 4일 공급제한구는 1일과 2일 공급제한구에 비해 높은 수분 함량을 보였다. 이에 반하여 지질함량은 공급제한 일수가 증가함에 따라서 감소하는 경향을 보였는데, 3일과 4일 동안 배합사료를 공급하지 않은 시험구는 1일과 2일 공급제한구 보다 유의하게 낮았다. 단백질과 회분함량은 모든 시험구 간에 차이가 없었다.

돌돔 1년어의 경우는 전어체 분석결과 수분, 조단백질, 조지질, 회분의 모든 항목에서 시험구 간에 차이가 나타나지 않았다.



IV. 고찰

노르웨이와 미국 같은 세계 선진 각국에서는 어업자원이 한계에 도달한 것으로 판단됨에 따라, 외해를 이용한 양식산업에 대한 연구를 90년대 중반 본격적으로 수행하기 시작하였다(Charles E. Helsley, 1997). 미국 국립해양대기청에서는 시험에 사용된 Ocean Spar를 개발하였고, 노르웨이의 SINTEF사에서도 자사제품을 개발하였다. 또한 세계 선진 각국에서는 외해가두리에 대하여 양식시험(I *et al.*, 2004; Michael and William, 2006; Matthew *et al.*, 2006)과 외해가두리가 환경에 미치는 영향(Tony *et al.*, 2000; Molina *et al.*, 2001; Felipe and Benjamin, 2004) 등에 대한 연구를 진행하고 있다. 우리나라에서도 환경 보호에 대한 국민들의 인식이 고조되고, 연안가두리의 피해가 증대되어 외해를 이용한 양식으로의 전환이 시급하였으므로 외해가두리 시설을 도입하여 새로운 양식 모델을 수립하고 국내 환경조건 및 대상종 사육에 적합한지 여부와 경제성을 조기에 점검하고 판단해야 할 필요성이 고조되고 있다. 따라서 이 연구 결과는 이러한 외해가두리의 실체와 우리나라에서 양식산업으로 개발하기 위한 판단기준이 될 것이다.

외해가두리를 제주도 서귀포시 표선리 연안에서 직선으로 약 4.5 km 지점에 2005년 5월에서 6월사이 설치를 완료하고, 약 15일 동안의 가두리 안착기간을 거쳐 7월 6~8일 대상종 돌돔에 대한 시험 양식을 실시하였다. 외해가두리 양식이 산업으로 안정적 기반을 마련하기 위해서는 첫째 외해가두리 시설물이 태풍이나 조류 등의 자연조건에 안전할 수 있는냐?, 둘째 가두리에 수용된 대상종이 성장, 생존율 및 건강도 등이 적절한가?, 셋째 시설비, 경비, 판매금액 등 경제적인 면에서 수익을 창출 할 수 있을 것인가? 하는 점(이 등, 2006)에 대한 검토가 선행 돼야 할 것이다. 특히 제주도의 경우는 매년 3~4개의 태풍이 직간접적으로 영향을 미치고 있어서 현재까지 연안가두리 시설이 불가능한 가장 큰 원인이었다. 그러므로 태풍에 의한 시설물의 안전

성 확보는 외해가두리 양식의 성공적 수행을 위해서는 가장 중요한 요소인 것이다. 제주도에 미치는 태풍의 영향으로부터 안정적인 때 비로소 외해가두리 시설물이 우리나라에서 사용가능여부가 결정 날 수 있을 것이다. 그래서 안전성은 조류와 태풍에 대한 시설물의 손상과 생물의 폐사여부에 의하여 판단하였다. 대만에서는 외해가두리에서 cobia를 양식하면서 태풍과 조류의 영향에 의하여 폐사가 나타났고, 육질이 저하되는 것으로 보고되었으나(I *et al.*, 2004), 본 실험에서는 태풍 파도의 영향에 의하여 수표면의 표시 부이와 부이를 묶었던 dia. 24 mm 로프의 유실은 관찰되었으나 생물이나 시설물에 피해는 관찰되지 않았다. 또한 조류에 대한 안전성은 2 노트의 강한 조류에 일부 앵커라인이 약 23.5%정도 늘어난 것으로 확인되었으나, 대상종에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 또한, 생산된 돌돔에 대한 육질평가에서는 강한 조류가 전혀 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

외해가두리 시험 양식 대상종으로 돌돔을 선정하여 수행하였다. 외해가두리 3개에 각각 4.6 g, 9.5 g, 124 g의 돌돔을 수용하고 2005년 7월부터 2006년 2월 출하 전까지 생존율 및 성장을 보면 8개월 동안 생존율은 92.0~98.5%로 나타났고 성장은 각각 131.3 g, 189.6 g 및 357.7 g로 나타났다. 생존율은 어종 및 사육환경에 따라 차이가 나타날 수 있으나 외해가두리에서 대구를 18개월 동안 사육하여 92%의 생존율(Michael, 2006)을 보고하고 있고, cobia를 수용밀도에 따라 7 g 치어를 m³ 당 125마리, 250, 370, 500마리로 하였을 때 생존율이 각각 97.8%, 97.8%, 96.0%, 95.2%로 보고(I *et al.*, 2004)하고 있어서 돌돔 시험양식에서 나타난 92.0%, 98.5%와 비슷한 경향이였다. 태평양 날가지숭어(Pacific threadfin)는 85 g 이상크기에서는 생존율이 99%로 높게 나타났으나 15 g에서는 65%로 나타나 낮은 생존율이 생산원가를 높이는 요소로 작용(Lotus *et al.*, 2003)하고 있었다.

사료가 어류의 체내대사 및 성장에 가장 큰 영향을 미치는 요인(Smith, 1935; Brown, 1957)이나 현재와 같이 다이버에 의하여 배합사료를 공급하는

경우는 설치 해역의 기상상태에 따라 배합사료를 제대로 공급할 수 있는 날이 한정되고 있으므로 돌돔의 성장에 영향을 미칠 것으로 예상되었다. 특히 시설 지역에는 동풍과 북동풍에 의해 높은 파도를 형성하는데 주로 여름철 많이 발생하고 있어서 돌돔의 성장이 양호한 고수온기에 기상여건으로 배합사료를 공급할 수 없는 경우가 종종 발생하여 실내수조에서 그 영향을 조사한 결과 일주일에 3일 이상 반복적으로 배합사료를 공급하지 못 할 경우 성장이 떨어지는 것으로 나타났다. 그러나 툼라피아에서 일주일에 굶긴 날에 따라 성장에 차이(Yan *et al.*, 2000)가 나는 것과는 달리 평상시 배합사료 공급이 적절할 경우 파도에 의하여 하루, 이틀 배합사료 공급이 중단되어도 큰 영향을 미치지 않는 것으로 외해가두리 대상어종으로 돌돔이 적합하다고 할 수 있을 것 같다.

외해가두리 시험양식에서 현재까지 사육관리의 주체는 전문 다이버이므로 생산원가에서 인건비의 부담이 상승하고 있다. 그러나 다이버의 숙련도에 따라 사육관리의 질, 일처리 능력이 달라지므로(Wendy *et al.*, 2005) 숙련된 다이버의 고용은 자동먹이공급기의 도입과 사육관리 및 통제 시스템이 갖추어지기 이전까지는 외해가두리 양식에서 필연적인 요소로 작용될 것으로 생각된다.

양식 대상종에 적합한 사료공급체계가 확립되어 있지 않을 경우에는 사료가 부족 또는 과잉으로 공급되기 쉽다(Lee *et al.*, 2000). 사료의 과잉 공급은 어체 내 사료의 비효율적인 이용으로 사료 유실을 초래하고, 이로 인해 경제적 손실과 수질오염원을 증가시킬 수 있다. 또한, 사료를 부족하게 공급하는 것은 어류의 최대 성장에 필요한 영양소 요구를 만족 시키지 못하므로, 어류의 최대 성장과 높은 효율을 얻을 수 있는 적정 사료공급량과 횟수를 결정하는 것은 양식생산성의 향상과 수질오염 감소 및 경제적 양식경영을 위해 매우 중요한 요소이다.

사료공급체계 설정을 위한 적정 사료 공급율과 공급횟수에 관한 연구는 타

어종에서는 많이 수행되었지만(Andrews and Page, 1975; Chua and Teng, 1978; Jobling, 1982; Fam, 1997; Deng *et al.*, 2003; Eroldogan *et al.*, 2004), 돌돔의 경우에 아직까지 사료공급에 관한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 그래서 이번 연구는 사육수온 및 어체 크기별로 사료 공급을 및 공급횟수에 관한 11종류의 사육실험을 통하여 돌돔 사육시 적합한 사료공급체계를 설정하는데 기초적인 자료를 제공하고자 수행하였다.

첫 번째 실험은 수온에 따른 돌돔 크기별 배합사료의 최대 섭취율을 조사하기 위하여 체중 10~30, 40~60, 70~120, 130~240, 250~480, 480 g 이상 등 돌돔의 성장단계를 설정하고 수온 15~26℃에서 2주씩 사육하며 더 이상 사료를 섭취하지 않는 최대 섭취량을 측정하였다. 실험 결과, 최대 사료 섭취율(어체중에 대한 %)은 어체중이 증가함에 따라 감소하였으며, 사육수온이 증가함에 따라서는 증가하는 경향을 보였는데, 이러한 결과는 기존에 타 어종에서 보고된 연구결과와 유사한 경향을 나타내었다(Iwata *et al.* 1994). 최대 섭취량을 바탕으로 수온과의 관계식을 계산하고 적정 공급을 실험을 대입하여 적정 일일사료 공급량을 Table 36과 같이 얻을 수 있었다. 외해가두리를 이용한 돌돔 사육 시, 이 실험의 사육수온에 따른 어체 크기별 최대 섭취율 자료를 토대로 작성된 사료공급표를 적용시킨다면 더욱 효율적인 사료공급을 할 수 있을 것으로 판단된다.

두 번째로 사료공급율에 관한 시험은 수온범위에 따라 15.0℃, 22.5℃내외와 25.5℃ 이상에서 배합사료 공급량이 돌돔에 미치는 영향을 조사하기 위하여 사료공급량을 어체중에 따른 일정비율로 감소된 값의 배합사료를 공급하며 사육시험을 하였다. 시험 결과, 사육수온 조건 모두에서 일반적으로 사료공급율이 증가함에 따라서 성장이 증가하는 경향을 보였다. 저수온기에 돌돔 60 g 치어 사육시에는 어체중의 1.61% (만복의 90%) 공급이 적합하였으며, 350 g 2년어의 경우에는 0.28%(만복의 80%)가 적합하였다. 평균수온 22.5℃의 경우, 돌돔 20 g 치어에는 어체중의 2.24% 공급이 적합하였으며, 120 g

Table 12. Comparisons of market price of parrot fish cultured in the offshore cage and land based tank system

Date	Observed market price (₩/kg) for parrot fish	
	Offshore cage	Land based tank
Feb. 15. 2006	22,800	19,500
Mar. 4.	22,300	20,000
Mar. 7.	22,500	20,000
Mar. 8.	22,000	—
Mar. 17.	22,000	19,500
Mar. 20.	22,000	—
Mar. 21.	22,000	20,000
Mar. 25.	22,500	—
Mar. 26.	22,500	—
Mar. 27.	22,500	20,500
Mar. 30.	24,000	—
Average price	22,464	19,917

1년어(육성)에는 어체중의 0.97%가 적합하였다. 25.5℃ 이상의 경우, 돌돔 20 g 치어에는 어체중의 3.40%를, 90 g 1년어와 350 g 2년어는 각각 어체중의 1.67%와 1.38%를 공급하는 것이, 즉 만복의 90% 정도 공급하는 것이 적합하였다. 사료공급율에 따른 돌돔의 사료효율은 수온 조건 모두에서 치어는 제한공급구가 만복공급구에 비하여 높은 경향을 보였으나, 115 g 이상 돌돔에서는 만복공급구와 제한공급구 간에 차이가 없었다. 이번 실험에서 제한공급구에 비해 만복공급구의 증중량이 높은 경향을 보였는데, 이는 사료의 공급율이 증가할수록 어류의 성장이 증가한다는 타 어종의 연구결과(De Silva *et al.*, 1986; Hung and Lutes, 1987; Xiao-Jun and Ruyung, 1992; Adebayo *et al.*, 2000; Ng *et al.*, 2000; Mihelakakis *et al.*, 2002)와 유사한 경향을 보였으며, 사료의 공급율이 증가할수록 사료효율이 낮아진다고 보고된 타어종의 연구결과(Sedgwick, 1979; Mills and McCloud, 1983; Clark *et al.*, 1990; Hung *et al.*, 1993; Mihelakakis *et al.*, 2002)와 유사하였다.

사료의 적정 공급율은 어종, 어체의 크기 및 사육수온과 같은 사육환경 등에 따라 달라질 수 있기 때문에(Brett, 1979; Ng *et al.*, 2000; Fiogbe and Kestemont, 2003) 이에 대한 신중한 고려가 필요하며, 본 시험에서도 시험어의 크기 및 사육수온에 따라서 적정사료 공급율이 다르게 나타났다. 그러나 본 실험에 사용된 돌돔과는 달리, 조피볼락 치어의 적정 사료 공급은 최대포식량의 70-85%로 보고되어져(Lee, 1997) 어종에 따라서 적정 사료 공급율에 차이가 있음을 보였다. 이는 대상 어종의 식성 및 소화기관의 구조나 소화효소 활성 등에 따른 차이에 의한 것으로 판단된다.

이번 실험에서 돌돔 치어의 경우 만복공급구는 제한공급구에 비하여 사료효율이 감소하는 경향을 보였으나 성장에서는 어체중에 대한 공급량을 환산하였을 때 최대포식량의 95% 혹은 90% 공급구와 차이를 보이지 않았는데, 이는 더 이상 먹지 않을 때까지 사료를 공급한 최대표식공급구의 경우 과잉으로 사료가 공급된 것으로 판단된다. 이렇게 과다한 사료공급은 경제적으로

나 인력적인 면에서 불이익과 수질오염원의 증가를 초래할 것이다.

세 번째로 사료 공급횟수에 관한 실험은 15℃와 22℃에 배합사료 공급횟수가 돌돔에 미치는 영향을 조사하기 위하여 1일 1회, 1일 2회 및 1일 3회 사료를 반복 공급하며 사육시험을 하였다. 시험 결과, 저수온기와 적수온기 모두에서 돌돔의 최대성장을 위해서는 치어는 1일 2회 사료공급이 적합하였으나, 115 g 이상에서는 1일 1회 공급이 적합하였다. 양식어의 최대성장을 위한 적정사료 공급횟수는 어종, 어체의 크기, 사육조건 및 사료조성에 따라 달라질 수 있다고 보고하였다(Wang *et al.*, 1998; Marian *et al.*, 1982). 이번 시험에서도 어체의 크기가 증감함에 따라서 적정사료 공급횟수가 감소하였으며, 이는 타 어종에 결과와 일치하였다. 그리고 돌돔 치어(평균체중 20 g)의 적정사료공급 횟수가 1일 2회인 반면, 조피볼락(평균체중 25 g)의 경우 적정사료공급횟수가 1일 1회 혹은 2일 1회인 것으로 보고되어(Lee *et al.*, 1996), 어체의 크기가 유사할지라도 어종에 따른 적정사료 공급횟수에 차이를 보였다.

이 실험에서 사료공급횟수가 증가할수록 사료효율은 낮아지는 경향을 보였는데, 이는 장내의 소화 및 흡수속도 등이 달라지거나, 흡수된 영양소의 성장으로의 이용차이에 의한 것으로 판단되나(Lee *et al.*, 1996), 금후 상세한 검토가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

이상의 연구결과들을 종합하여 보면, 사료의 공급을 및 공급횟수는 돌돔의 성장 및 사료효율에 영향을 미쳤고, 경제적, 환경적인 측면을 고려한다면 돌돔 사육 시에 치어는 1일 2회, 육성어 및 성어는 1일 1회 공급하는 것이 적합하며, 더 이상 사료를 섭취하지 않는 반복 공급보다는 어체크기 및 수온에 따라서 상이하였으나 반복에 대한 비율로 환산하였을 때 최대포식량의 80%~95% 공급하는 것이 바람직하였다.

V. 요약

우리나라의 해산어류양식은 연안환경의 오염과 태풍, 적조 등에 의한 자연재해, 인접국가에서 저가로 수입되는 수산물의 증가로 현재 많은 어려움에 봉착해 있다. 그러나 고급 식량공급원으로서 양식업의 중요성은 전 세계적으로 강조되고 있고, 각국간의 FTA 협정체결로 세계 어느 나라와도 무한 경쟁이 예고되고 있어서 경제성과 환경친화적인 면을 고려 할 때 우리나라 해산어류 양식산업도 순환여과식 양식과 환경에 기반을 둔 외해 양식 개발 등으로 패러다임을 전환 할 시점에 이르렀다.

이 연구는 이미 외국에서 시설물 안전성이 입증되었으며 제품으로 상용화되어 있는 외해가두리 시설물(Ocean Spar^R)을 도입 설치하여 시설물의 안전성과 경제성을 분석하고 국내에서 적용 가능성을 검토하기 위해 수행하였다.

또한 시험 양식 대상종으로 선정된 돌돔에 대한 배합사료 공급방안을 마련함으로써 환경기반의 외해양식 산업화를 위한 기초 자료를 제공하고 자 시험 연구하였다.

외해가두리 시설물은 미국 NOAA 자금으로 개발된 제품을 선정하여 제주 동남부 연안에서 직선으로 약 4.5 km 떨어진 곳에 설치하고 시설물 안전성을 분석하였다. 지형학적 환경특성에 의하여 시설지역에서 매우 강하게 북동-남서 방향으로 흐르는 조류에 대해서도 안전성이 확인되었으며, 2005년과 2006년 발생한 태풍 Nabi와 Ewiniar의 영향에도 시설물이 안전하게 유지되었다.

외해가두리를 이용하여 돌돔을 대상으로 시험 양식을 실시한 결과, 평균 체중 4.6 g, 9.5 g, 124 g의 돌돔을 2005년 7월 8일 수용하고 2006년 2월 22일까지 각각 131.3 g, 189.6 g, 357.7 g으로 성장하였다. 생존율은 초기 입식과정에서의 유실과 폐사를 제외하고 92.0%~98.5%로 높게 나타났다. 그러나 외해가두리 양식이 성공적으로 발전하기 위해서는 배합사료 무공급 일수를

최소화시키는 것이 유리하므로 제주연안의 파도 영향을 고려할 때 일정 규모의 파도에서 배합사료 공급이 가능하도록 자동공급시스템을 이용하는 것이 선결사항으로 분석되었다.

외해가두리에서 생산된 돌돔에 대한 상품성은 시장 형성 가격을 비롯하여 육질평가에서도 자연산 돌돔과 차이 없이 높게 나타났다.

외해가두리 시험양식 대상종으로 선정된 돌돔에 대하여 성장단계를 체중에 따라 10~30 g, 40~60 g, 70~120g, 130~240, 250~480 g, 480 g 이상으로 나누고, 평균수온 15.1℃, 16.0℃, 19.2℃, 22.5℃, 23.0℃, 24.7℃ 및 26.5℃에서 최대 반복 섭취량을 구하였을 때 10~30 g 돌돔의 일일사료섭취율은 15.1℃에서 어체중의 2.24%였으나 수온 증가와 더불어 증가하여 6.04%까지 섭취하였다. 40~60 g의 돌돔은 일일섭취율이 15.1℃일 때 어체중의 1.14%를 섭취하였으나, 고수온기일 때는 3.85%까지 섭취하였다. 체중 250~480 g 돌돔의 일일사료섭취율은 15.1℃에서 어체중의 0.48%, 26.5℃에서 2.06% 섭취하였다.

돌돔에 대하여 수온 15.0℃, 22.5℃ 및 25.5℃이상에서 치어, 1년어 및 2년어에 대한 적정 배합사료 공급량을 조사한 결과, 15.0℃에서 평균체중 60 g 돌돔은 어체중의 1.61%였고, 350 g 돌돔은 0.28%에서 증중율이 높게 나타났다. 22.5℃에서 20 g 돌돔은 어체중의 2.24%이상 공급구에서 증중율에 차이가 없었고, 125 g 돌돔의 경우는 0.92% 공급이 적절하였다. 수온 25.5℃이상에서 20 g 돌돔은 어체중의 3.40%를, 90 g 돌돔은 어체중의 1.67%를, 350 g 돌돔은 어체중의 1.38%를 공급하였을 때 성장차이가 나지 않았다.

적정한 배합사료 공급량을 산출하고 하루에 적정 공급횟수를 조사한 결과 수온에 따른 차이는 크게 나타나지 않았고, 성장단계에 따라서는 치어기 돌돔은 하루에 2회 이상 공급하는 것이 적절하며 1년어와 2년어는 하루 1회 공급이 적절하였다.

감사의 글

이 논문이 완성되기까지 항상 아낌없는 지도와 인생에 가르침으로 저의 본보기가 되어주셨던 조재운 교수님과 노섬 교수님께 우선 감사를 드립니다. 바쁘신 중에도 부족한 논문을 정성껏 다듬어 주신 배승철 교수님, 이영돈 교수님께도 감사를 드리며, 자상한 충고와 가르침을 주셨던 이정희 소장님께도 존경과 감사의 마음을 전합니다. 항상 지도와 격려를 아끼지 않으셨던 김인배 교수님과 고 변충규 교수님, 제자를 위하여 항상 열심이셨던 허성범 교수님과 장영진 교수님을 비롯한 김창훈 교수님, 김동수 교수님께도 감사드립니다.

여러 해에 걸쳐 어려운 여건 속에서도 학교를 다닐 수 있도록 후원하여 주신 국립수산물연구원 박덕배 원장님을 비롯하여 직원 여러분들께도 감사의 말씀을 드립니다. 우선 모든 선·후배님을 기명하지 못한 점 대단히 송구함을 말씀드리며, 처음 외해가두리 양식과 관련하여 연구를 시작하며 많은 분들이 우려의 말씀을 아끼지 않았는데도 할 수 있다고 믿어주신 김윤 전소장님을 비롯하여 강용진, 김경길 센터장님, 박민우, 한석중 팀장님께 감사드리며, 항상 조언을 아끼지 않은 손맹현, 홍정표 연구관님, 김성연, 임한규 박사님께도 감사의 마음을 전합니다. 외해가두리에 두려움 없이 도전하고 투자를 아끼지 않은 양준봉, 이윤길 사장님을 비롯한 배경왕 과장님 또한 감사합니다.

이 연구를 수행함에 있어서 헌신적인 도움을 주신 김재우, 김경덕 박사님과 험난한 해상에서 환경조사에 애쓰신 정래홍, 이원찬, 오현택 박사님, 현장에서 같이 고생한 정성재, 신종근 박사님께도 진심으로 고마움을 전하며, 제주연구소 문태석, 최영민 연구관님, 이창훈, 양문호, 윤장택, 조성환, 정민민, 유준택, 구준호 박사님들과 김영희, 변숙녀, 고광철, 김태수님, 그리고 선박에 강정욱, 강승주, 김인식, 조재만, 김동주, 강홍수 등 직원 여러분에게도 감사를 드립니다. 그리고 항상 곁에서 실험과정과 자료 정리를 성의껏 도와 준 최영웅 박사님을 비롯하여 제두, 윤성, 근현, 성태, 이기표, 황옥분, 허정숙 님 등 시험포 직원 여러분에게도 고마움을 전합니다. 논문이 완성되기까지 끊임없이 협조해준 김강웅, 최세민, 남명모 박사님을 비롯한 사료연구센터 직원 여러분과도 기쁨을 같이하고 싶습니다. 빠른 물살을 헤치며 생사를 같이한 김인환, 오경남님과 신제균 선장님께 특히 고마움을 전합니다.

부족한 자식을 위해 이제까지 보살피 주신 부모님과 어려운 여건에서도 동생에게 모든 것을 양보하셨던 형님·형수님들과 누님·매형들께 감사의 말씀 전하고 장인 장모님을 비롯한 처갓집 식구들과도 기쁨을 같이 하고자 합니다. 그리고 항상 할 수 있다는 믿음을 준 마누라 사랑하고, 지환아! 지수야! 즐겁고 진실하게 열심히 살자!

참고문헌

- Adebayo, O. T., A. M. Balogun and O. A. Fagbenro, 2000. Effects of feeding rate on growth, body composition and economic performance of juvenile clariid catfish hybrid ($\varnothing$ *Clarias gariepinus* $\times$ σ *Heterobranchus bidorsalis*). Journal of Aquaculture in the Tropics 15, 109~117.
- Andrews, J. W. and J. W. Page, 1975. The effects of frequency of feeding on culture of catfish. Transaction of American Fisheries Society 104, 317~321.
- Brett, J. R., 1979. Environmental factors and growth. In: Hoar, W. S., D. J. Randall and J. R. Brett (Eds.), Fish Physiology. Bioenergetics and Growth, vol. 8. Academic Press, New York, USA, pp. 599~675.
- Brown, M. E., 1957. Experimental studies on growth. In: M. E. Brown(Ed.), The Physiology of Fishes. Vol. I. Academic Press, New York, pp. 361~400.
- Charles E. H., 1997. Open ocean aquaculture, Proceedings of an international conference, pp. 3~10.
- Chua, T.-E. and S.-K. Teng, 1978. Effects of feeding frequency on the growth of young estuary groupers, *Epinephelus tauvina* (Forsk.), cultured in floating net-cages. Aquaculture 14, 31~47.
- Clark, J. H., W. O. Watanabe and D. H. Eranst, 1990. Effect of feeding rate on growth and feed conversion of florida red tilapia reared in reared in floating marine cages. Journal of World Aquaculture Society 21, 16~24.

- De Silva, S. S., R. M. Gunasekera and C. Keembiyahetty, 1986. Optimum ration and feeding frequency in *Oreochromis niloticus* young. In: Maclean, J. L., L. B. Hosillos, and L. V. Hosillos (Eds.), The first Asian Fisheries Forum. Asian Fisheries Society Manila Philippines pp. 559~564.
- Dong-Fang Dong, S. Koshio, S. Yokoyama, S. C. Bai, Q. Shao, Y. Cui, and S. S. O. Hung, 2003. Effects of feeding rate on growth performance of White sturgeon(*Acipenser transmontanus*) larvae. Aquaculture 217, 589~598.
- Eroldogan, O. T. M. Kumlu and M. Aktas, 2004. Optimum feeding rates for European sea bass *Dicentrarchus labrax* L. reared in seawater and freshwater. Aquaculture 231, 501~515.
- Fam, S., 1997. Food and feeding requirements of juvenile striped wolffish (*Anarhichas lupus*). MSc thesis, Memorial University of Newfoundland, St. John's.
- FAO, 2006. FISHSTAT Plus statistic database
- Felipe A.-Gimenez and G. G. Benjamin, 2004. Assessment of some chemical parameters in marine sediments exposed to offshore cage fish farming influence: a pilot study, Aquaculture 242, 283~296.
- Fiogbe, E. D. and P. Kestemont, 2003. Optimum ration for Eurasian perch *Perca fluviatilis* L. reared at its optimum growing temperature. Aquaculture 216, 243~252.
- Fredriksson W. David, M. R. S., J. D. I., I. Tsukrov and B. Celikkol, 2002. Fish cage and mooring system dynamics using physical and numerical models with field measurements, Aquaculture engineering 25, 1~30.

- Hung, S. S. O. and P. B. Lutes, 1987. Optimum feeding rate of hatchery-produced juvenile white surgeon (*Acipenser transmontanus*) at 20°C. *Aquaculture* 65, 307~317.
- Hung, S. S. O., F. S. Conte and E. K. Hallen, 1993. Effects of feeding rates on growth, body composition and nutrient metabolism in striped bass (*Morone saxatilis*) fingerlings. *Aquaculture* 112, 349~361.
- I C. L., T.-S. H., W.-S. T., C.-M. H., S.-L. Chang and E. M. Leano, 2004. Cobia culture in Taiwan: current status and problems, *Aquaculture*, 237, 155~165.
- Iwata, N., K. Kikuchi,, H. Honda, M. Kiyono and H. Kurokura, 1994. Effects of temperature on the growth of Japanese flounder. *Fisheries-Sci.* 60, 527~531.
- Jobling, M., 1982. Some observations on the effects of feeding frequency on the food intake and growth of plaice, *Pleuronectes platessa* L. *Journal of Fish Biology* 20, 431~444.
- Lee, S.-M., 1997. Effects of feeding rates on growth, feed efficiency and body composition of the juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Korean Journal of Animal Nutrition Feed* 21, 327~334.
- Lee. S.-M., S.-H Kim, I.-G. Jeon, S.-M. Kim and Y. J. Chang, 1996. Effects of feeding frequency on growth, feed efficiency and body composition of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*), *Korean aquaculture society* 9, 385-394
- Lotus E. K., P. Leung and A. C. Ostrowski, 2003. Economics of offshore aquaculture of Pacific threadfin(*Polydactylus sexfilis*) in Hawaii, *Aquaculture* 223, 63~87.

- Marian, M. P., A. G. Ponniah and M. Narayanan, 1982. Effect of feeding frequency on surfacing activity and growth in the air-breathing fish, *Heteropneustes fossilis*. *Aquaculture* 26, 237~244.
- Matthew J. R., A. Kenneth Jr. Webb and G. J. Holt, 2006. Growth and survival of juvenile cobia, *Rachycentron canadum*, at different salinities in a recirculating aquaculture system, *Aquaculture* 253, 398~407.
- Michael D. C. and W. H. Howell, 2006. Preliminary information on cod and haddock production in submerged cages off the coast of New Hampshire, USA, *ICES Journal of Marine science*, 63, 385~392.
- Mihelakakis, A., C. Tsolkas and T. Yoshimatsu, 2002. Optimization of feeding rate of hatchery-produced juvenile gilthead sea bream *Sparus aurata*. *Journal of World Aquaculture Society* 33, 169~175.
- Mills, B. J. and P. I. McCloud, 1983. Effects of stocking and feeding rates on experimental pond production of the crayfish *Cherax desiructor* Clark (Decapoda: Paratacidae). *Aquaculture* 34, 51~72.
- Molina D. L., G. L. C., J. M. V. Martin and L. R. Robaina, 2001. A comparative study of sediments under a marine cage farm at Gran Canaria Island(Spain). Preliminary results, *Aquaculture* 192, 225~231.
- Ng, W. K., K. S. Lu, R. Hashim and A. Ali, 2000. Effects of feeding rate on growth, feed utilization and body composition of a tropical bagrid catfish. *Aquaculture International* 8, 19~29.
- Sedgwick, R. W., 1979. Effects of ration size and feeding frequency on growth and food conversion of juvenile *Penaeus merguensis* de Man. *Aquaculture* 16, 279~298.
- S.J. Cox and A.J.T. Cheyne, 2000. Assessing safety culture in offshore environments, *Safety Science*, 34, 111~129.

- Smith, H. W., 1935. Metabolism of the lung fish. II. Effects of feeding on me a on the metabolic rate. Journal of Cellular and Comparative Physiology 6, 335~349.
- Tony K. McGhie, C. M. Crawford, I. M. Mitchell and D. O'Brien, 2000. The degradation of fish-cage waste in sediments during fallowing, Aquaculture 187, 351~366.
- Wang, N., R. S. Hayward and D. B. Noltie, 1998. Effect of feeding frequency on food consumption, growth, size variation, and feeding pattern of age-0 hybrid sunfish. Aquaculture 165, 261~267.
- Wendy A., C. John, M. Jennie, R. John, W. Stephen, T. Claire and L. M. Osman, 2005. Safety culture and accident risk control: Perceptions of professional divers and offshore workers, Safety Science 43, 131~145.
- Xiaojie W., K.-W. Kim, S. C. Bai, M.-D. Huh and B.-Y. Cho, 2003. Effects of the different levels of dietary vitamin C on growth and tissue ascorbic acid changes in parrot fish(*Oplegnathus fasciatus*), Aquaculture 215, 203~211.
- Xiao-Jun, X. and S. Ruyung, 1992. The bioenergetics of the southern catfish (*Scoththalmus maximus*). Aquaculture 217, 547~558.
- Yan W., Y. Cui, Y. Yang and F. Cai, 2000. Compensatory growth in hybrid tilapia, *Oreochromis mossambicus*×*O. niloticus*, reared in seawater, Aquaculture 189, 101~108.
- 강용진, 이상민, 황형규, 배승철, 1998. 돌돔사료의 적정 단백질 및 지질 함량, 한국양식학회지 11(1) 1~10.
- 강용진, 이상민, 양상근, 배승철, 1999. 돌돔사료의 대체 단백질원으로서 육분, 혈분 및 대두박의 효과, 한국양식학회지 12(3), 205~212.
- 국립수산물과학원, 2002. 연안정지 해양관측 성적, 예문사, pp. 305~352.

- 국립해양조사원, 2003. 조류도(제주도 동부), 서지 제 622호, 인쇄정보협동조합
- 김중현, 이상민, 백재민, 조재권, 김동수, 2003. 사료지질 및 한방제 첨가가 돌
돔의 성장에 미치는 영향, 한국수산학회지 36(2), 113~119.
- 김태호, 김창길, 김호상, 백철인, 류청로, 2002. 가두리시설이 파랑과 흐름에
의해 받는 유체력 특성, 한국어업기술학회지 38(3), 190~196.
- 원경미, 김병기, 박수일, 유병서, 2004. Kelp(*Ascophyllum nodosum*) meal 첨
가사료가 돌돔(*Oplegnathus fasciatus*)의 성장과 비특이적 면역반응에 미
치는 영향, 한국수산학회지 37(4), 275~280.
- 이정의, 김경민, 이원찬, Jim Zhang, 정성재, Mike Cremer, Bridget Owen,
2006. 외해가두리 양식기술개발 및 산업화를 위한 국제심포지엄, 제주수
산연구소, pp. 123~142.
- 이창호, 2001. 이간영역에서 인장계류식 해양구조물의 비선형 운동응답해석,
한국어업기술학회지, 37(4), 313~320.
- 정문기, 1986. 한국어도보, 일지사, 372~373.
- 정진호, 류청로, 김종규, 1996. 계류기초의 파주력 산정에 관한 연구, 한국어
업기술학회지 32(2), 132~147.
- 제주도, 2006. 해양수산현황, 해양수산본부, pp. 40~43.
- 해양수산부, 2002. 해양환경공정시험방법, 해양수산부, pp. 37~39.
- 해양수산부, 2003. 주요양식품종 어가별 소득자료집, 해양수산부, pp. 177~
184.
- 해양수산부, 2004. 수산업동향에 관한 연차보고서, 해양수산부, pp. 64~65.