



Original Article

진하 해변 인근 육상 양식장의 모래 유입량 추정에 관한 연구

윤한삼^{1,†} · 전용호² · 김종화³

¹부경대학교 생태공학과

²연안수공학연구소

³부경대학교 해양생산시스템관리학부

Estimation of Sand Inflow Into Fish Farms Inland from Jinha Beach

Han-Sam Yoon^{1,†}, Yong-Ho Jeon², and Jong-Hwa Kim³

¹Department of Ecological Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

²Coastal Hydro-Engineering Institute, Busan 48039, Korea

³Division of Marine Production System Management, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

요 약

본 연구에서는 진하 해변 인근의 육상 양식장별 취수구(펌프)를 통해 해양 내습 파랑 조건에서 유입되는 모래량을 추정하고자 하였다. 이를 위해 연안표사 산정식을 이용하여 해저 펌프를 통해 육상 양식장으로 유입되는 모래 유입량을 산정하는 프로세스를 개발 하였다. 본 연구를 통해 얻어진 결과는 다음과 같다. (1) 진하 해변 인근의 해저 모래가 취수구를 통해 육상 양식장으로 유입되는 것을 현장에서 확인할 수 있었다. (2) 해양파랑 내습시 연안표사가 정상적인 양식장 펌프 가동시, 취배수를 통해 진하 해변 인근 양식장으로 유입되는 4개 양식장의 평균 모래 유입량은 Savage 식에 의하면 4.450 m³/day, Sato식에 의하면 2.465 m³/day에 해당하는 것으로 추정된다. 본 연구에서 산정된 결과는 다수의 가정에 근거하여 도출된 결과로서 모래 유입량에 대한 정량적 평가에는 많은 한계를 가지고 있다. 하지만 진하 해변 인근 양식장의 해수 공급 시설 개선점 도출 및 인근 해변 모래의 유입 정도 및 피해 저감을 위한 방안을 모색하는데 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract – This study estimated the amount of sand inflow from the oceanic wave environment of Jinha Beach through the intake submarine pump into nearby fish farms inland, to develop a simplified model to calculate the amount of sand inflow into these fish farms using the longshore sediment transport rate formula. The results can be summarized as follows. Seabed sand from Jinha Beach flowed into the inland fish farms through the submarine pump. When the pump was operating normally, the average sand inflow into the four inland fish farms was estimated using the longshore sediment transport rate formula for an oceanic wave environment. The rate was 4.450 m³/day according to the Savage equation and 2.465 m³/day according to the Sato formula. The results are based on several assumptions and there are limitations to the quantitative evaluation of sand inflow. However, it can be used as basic data to calculate the degree of inflow from sandy beaches, reduce damage, and improve the seawater supply to inland fish farms.

Key words: Jinha beach(진하 해변), Inland fish farms(육상 양식장), Sea sand(바다 모래), Longshore sediment(연안표사), Inflow(유입), Simplified model(단순모델)

1. 서 론

본 연구의 대상 지역인 울산광역시 서생면 진하리의 진하 해변 주변은 회야댐 건설 이후 회야강의 유량 감소로 인해 하구폐색이 진행되어 어선 출입이 용이치 않게 되었다. 이를 개선하기 위해 2004년 1월 총 연장 156 m의 진하 방사제(도류제) 축조, 이후 정기적 준

설 및 양변이 시행되고 있으나 하구폐색과 해변 침식이 지속적으로 발생되고 있는 실정이다(Kim *et al.*[2008]).

Min *et al.*[1994]은 해변변형 수치예측실험을 통해 입사파향별로 진하 해변 명선도 인근 및 회야강 하구부에서의 침식 및 퇴적 현상을 예측하였는데, E계열 파랑입사시 회야강 하구부에서 퇴적현상이, ESE계열 파랑입사시 명선도 및 진하 해변에서 침식현상이 발생한다고 주장하였다. 또한 Kang[2006]은 항공사진을 통해 진하 방파제

[†]Corresponding author: yoonhans@pknu.ac.kr

완공 이전의 상황과 비교하여 하구폐색은 감소하였으나, 중앙 방사체에 톱볼로 형성, 진하 해빈 남측의 침식, 진하 해빈 전체 침식 등 이상 현상을 확인할 수 있었다. 또한 최근 촬영한 사진 자료와 주민 설문을 통해 회야강 하구폐색은 진하방과제를 둘러싸고 현재에도 계속 진행 중이고, 매년 상당기간 정기적인 준설이 이루어지고 있으며 준설된 표시는 중앙 방사체 북측 구간과 진하 해빈 구간의 양빈에 사용된다고 주장하였다. Hwang *et al.*[2014]의 연구에 따르면 하구 폐색은 도류제 완공과 함께 완화되는 듯하였으나 하구에서 외해로 벗어난 지역에 토사의 퇴적은 계속되고 있으며, 북측 해안선의 침식 현상은 완화된 반면 남측 해안선의 침식이 급속히 진행되고 있다고 주장하였다.

최근 진하 해빈 인근 육상 양식장 4곳에서 물고기 집단폐사가 발생하고 어민들은 물고기 폐사 원인을 15년째 이어지고 있는 준설 및 양빈에 따른 영향으로 주장하면서 지자체와 갈등을 겪고 있다(경상일보, 2016.05.02.). Fig. 1은 진하 해빈 인근 육상 양식장 1곳(St.2 업체)에서 발생한 모래 유입에 따른 피해 사례와 수조내 모래를 제거하는 장면을 보여주고 있다.

일반적으로 어류 양식장내의 부유 고형물과 용해된 영양물은 미습식 먹이, 대변을 생성하는 어류의 신진 대사, 외부 공급수로부터의 흐름으로 옮겨진 고형물, 미세 조류 및 박테리아의 성장 등으로 구분할 수 있다(Simon and Bergheim[2000], Ackefors and Enell[1990]). 따라서 본 연구의 대상 해역인 진하 해빈 인근 육상 양식장과 같은 경우에도 인근 해상에서 펌프를 통해 유입되는 모래가 육상 양식장의 수조 바닥에 침전되어 영향을 미칠 가능성이 있다고 판단된다.

특히 최근 정부 및 지자체의 연안개발 공공사업 등으로 인해 진하

해빈 인근 양식장과 같이 실제 현장에서 하구 준설 및 해빈 양빈에 따른 피해 또는 이해당사자 간에 갈등이 발생하고 있으나 양식장 수조내로의 해상 유입 모래로 인한 피해와 관련하여 연구 성과를 찾아보기는 어려운 실정이며, 그에 대한 과학적 해석방법이나 정량적 또는 정성적 평가 결과조차 찾아보기 힘든 것이 사실이다. 하지만 진하 해빈 인근 육상 양식장과 같이 연안지역 개인이용자의 피해를 저감시키기 위한 요구가 증대되고 있으며 이에 대한 정성평가에 대한 중요성이 강조되고 있는 것 또한 현실이기도 하다.

따라서 본 연구에서는 연안표사량 산정식을 이용하여 진하 해빈 인근의 해저 펌프를 통해 육상 양식장으로 유입되는 모래 유입량을 산정하는 프로세스를 개발하고자 하였다. 모래 유입량 산정 방법은 본 연구 기간 동안 최대 파랑이 내습한 상황에서의 유의파고 및 주기를 사용하여 연안표사량을 산정하고 임의 해수량 속에 포함된 표사가 모두 취수구를 통해 양식장으로 유입된다는 가정하에 모래 유입량을 산정하고자 하였다. 최종적으로 본 연구결과는 진하 해빈 인근 육상 양식장을 대상으로 해수 공급 시설 현황 및 문제점을 분석하고 인근 해빈 모래의 유입 정도 및 피해 저감을 위한 방안을 모색하는데 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 모래 유입량 산정 개념

심해에서 발생한 파랑은 수심이 얇은 천해역으로 전파해 감에 따라 해저 마찰 및 수심의 영향(천수 변형), 쇄파에 의한 에너지 소산(쇄파변형), 지형 및 구조물에 의한 회절 및 굴절현상 등 파랑의 변



Fig. 1. Removing sea sand from an inland fish farm (St.2 Corp.).

형이 발생하게 된다. 파가 파장의 1/2에 해당하는 수심에 도달할 때, 파의 밑 부분은 해저바닥과 부딪치면서 저항을 받게 되며, 이 마찰 저항은 파 운동을 방해하며, 파의 모양을 변형시킨다. 또한 해저 바닥 퇴적물 및 침전물의 이동 및 교란을 일으키게 된다. 이에 해당하는 수심을 파랑 작용 한계심도(wave base)라 하며 해수면의 파동 작용에 의해서 해수면 아래의 물질이 해파의 운동 때문에 교란될 수 있는 최대 깊이를 말한다. 보통 파장의 1/2 깊이가 된다.

본 연구대상인 육상 양식장 4곳의 해수 취배수 시설(pipe)은 수심 약 10m에 설치되어 있다. 이는 해양 파랑 작용에 의해서 발생되어진 파랑 작용 한계심도보다 낮은 수심에 위치함에 따라서 Fig. 2와 같이 임의 파랑 작용에 따라서 취배수 시설을 통해 모래 유입이 발생할 수 있음을 알 수 있다.

하지만 양식장 파이프가 위치하는 정점에서의 모래 유입량을 산정하기 위해서는 일정한 가정이 요구된다. 첫째, 진해 해변의 표사 이동하는 해저 면적을 어떻게 산정할 것인가? 둘째, 파랑 작용에 따라서 수심별로 연안표사량이 다른 부분을 어떻게 반영할 것인가? 셋째, 양식장 펌프는 주변 얼마나 되는 영역(기본 유입 면적)에 해당하는 표사를 유입할 것인가? 넷째, 양식장 펌프로 유입되는 표사는 기

본 유입 면적에 포함되는 표사를 전부 또는 일부 즉, 몇 %에 해당하는 표사를 유입할 것인가? 등이다. 즉, 너무 많은 변수들에 의해서 파이프를 통해서 모래 유입량을 산정하기란 그리 쉬운 일이 아니라는 것을 알 수 있다.

일반적으로 육상 해수양식장 모래 유입량을 정밀하게 추정하는 조사 방법에는 크게 2가지로 구분할 수 있다. 양식장의 수조내에 일정 조사 기간 동안 퇴적된 모래량을 직접 수집하여 그 총량을 평가하는 직접적인 방법과 일정 기간 동안의 펌프 가동상황에서 해수 취수구를 통해 유입되는 모래량을 채취하여 월간 또는 연간의 모래 유입량으로 추정하는 간접적인 방법이라 할 수 있다. 전술한 2가지 방법 중 어떤 것을 선택하고 현장여건이나 외력조건을 적정하게 측정할 수 있는가는 육상 양식장 영향 규명 및 피해 저감 대책수립 차원에서 중요한 문제가 아닐 수 없다. 하지만 상술한 조사 방법은 장기간의 조사기간이 요구되고 양식장별 펌프 규모 및 가동 상황, 양식 어종의 생리 특성, 어업인의 유지관리 패턴 등 다양한 요인들이 변수가 될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 보다 간략화한 단순 모델을 개발하고자 하였다. 이를 정리하면 Fig. 3과 같이 나타낼 수 있다. 모래 유입량 산정과정은 크게 양식장별 시설 현황 및 해양 내습 파랑 등 자료 수집,

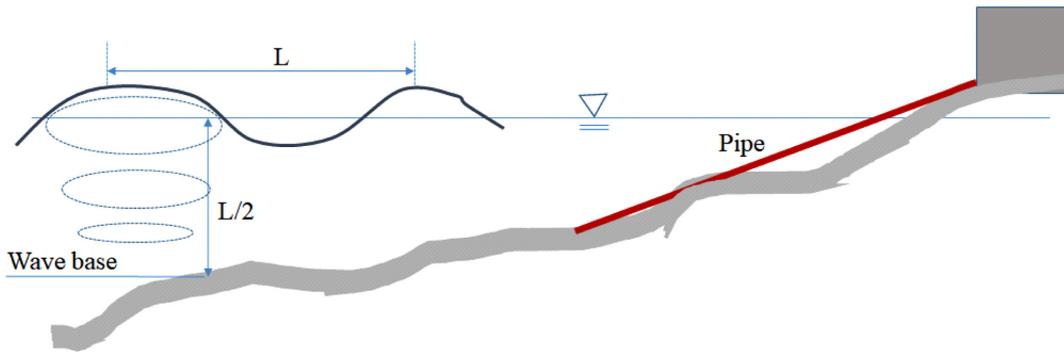


Fig. 2. Inflow of sand into inland fish farms via the action of ocean waves.

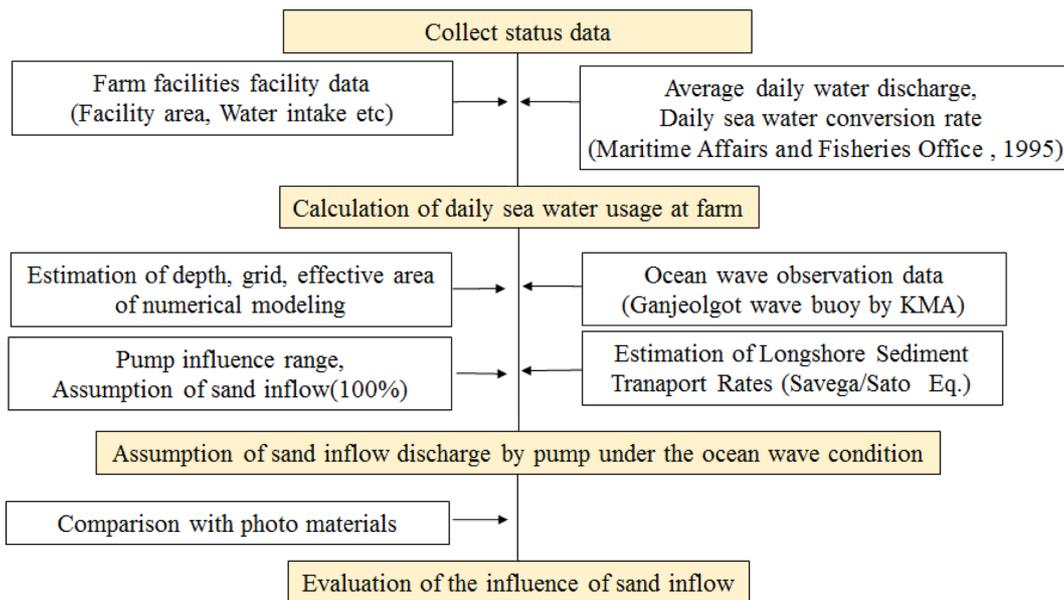


Fig. 3. Method used for estimating the sand inflow into inland fish farms adjacent to Jinha Beach.

육상 양식장별 해수 사용량 산정, 파랑 내습 조건하에서 모래 유입량 산정, 현장 검토의 단계로 구분할 수 있다.

2.2 육상 양식장

본 연구에서는 진하 해빈 인근에 위치한 육상 양식장 4곳(St.1~St.4)을 연구대상으로 선정하였다. 육상 양식장은 인근 연안바다에서 해저 파이프를 통해 해수를 취수하여 양식어류를 육상수조에서 양식하고 있다. 각 육상 양식장의 현황 및 파이프를 통한 해수 취수 현황은 Table 1과 같다. 4곳 육상 양식장의 실제 생산시설로서 시설면적(A)에 대한 수조 점용 면적(B)은 평균 70.4%(=B/A), 취수구의 길이와 취수관의 규모는 양식장의 규모에 따라 다르지만 조사대상인 4개 양식장의 경우 모두 취수관 $\Phi 250$ mm 또는 $\Phi 300$ mm의 철제강관(백관)을 사용하여 외해로부터 50~270 m 정도 나가서 취수를 하는 형태를 나타내었다.

2.3 해양파랑 내습

해양파랑에 대한 자료는 최근 진하 해빈에서 시행된 준설공사 및

양빈 기간 동안(2015년 11월 13일~2016년 1월 31일, 80일) 인근 기상청 간절곶 파고부이 자료로부터 살펴보았다. 그 결과는 Fig. 5와 같다. 공사기간중 인근 간절곶 파고부이에서 관측된 최대파고(H_{max})는 2015년 11월 18일 14:00시에 4.5 m가 관측되었고 이때 유의파고는 3.3 m, 주기는 8.3 sec이었다. 파고 3 m이상 발생한 일수는 공사기간 80일중에 6일이었다. 또한 파고는 작으나 주기가 10 sec 이상의 너울성 파랑이 내습한 경우는 총 2회가 관측되었는데 2015년 11월 28일과 2016년 1월 21일이었다.

결과적으로 공사기간 80일중 최대 파고의 평균치는 1.18 m, 유의 파고의 평균치는 0.87 m, 평균파고의 평균치는 0.55 m, 파랑 주기의 평균치는 6.36 sec인 것으로 조사되었다. 파랑 주기의 평균치를 바탕으로 천해 장파 파장은 약 63 m($L=1.56T^2$)이었다. 파랑에 의해 해저면이 이동할 수 있는 이동한계수심(Wave base)은 약 31.5 m 이었다. 따라서 Fig. 2와 같이 4개 육상 양식장 취배수 시설물 설치 수심이 약 10 m이내임을 감안하면 파랑 주기 8.3 sec의 파랑내습에도 해저면의 모래이동에 의해 파이프를 통해 모래 유입이 가능함을 알 수 있다.

Table 1. Current status of the inland fish farms and calculated daily seawater usage

Corp.	Facility Area (A, m ²)	Water tank (B, m ²)	B/A (%)	Intake facility of pipe		
				Diameter (mm)	Length (m)	Number (EA)
St.1	3,923.0	3,097.0	78.9	$\Phi 300$	170	2
St.2	10,038.09	6,836.2	68.1	$\Phi 300$	170	11
St.3	4,048.18	2,733.12	67.5	$\Phi 250$	50	5
St.4	583.16	428.8	73.5	$\Phi 250$	270	8
Sum	18,592.43	13,095.12	70.4%		660	26
Ave.		3,273.76			165	6.5

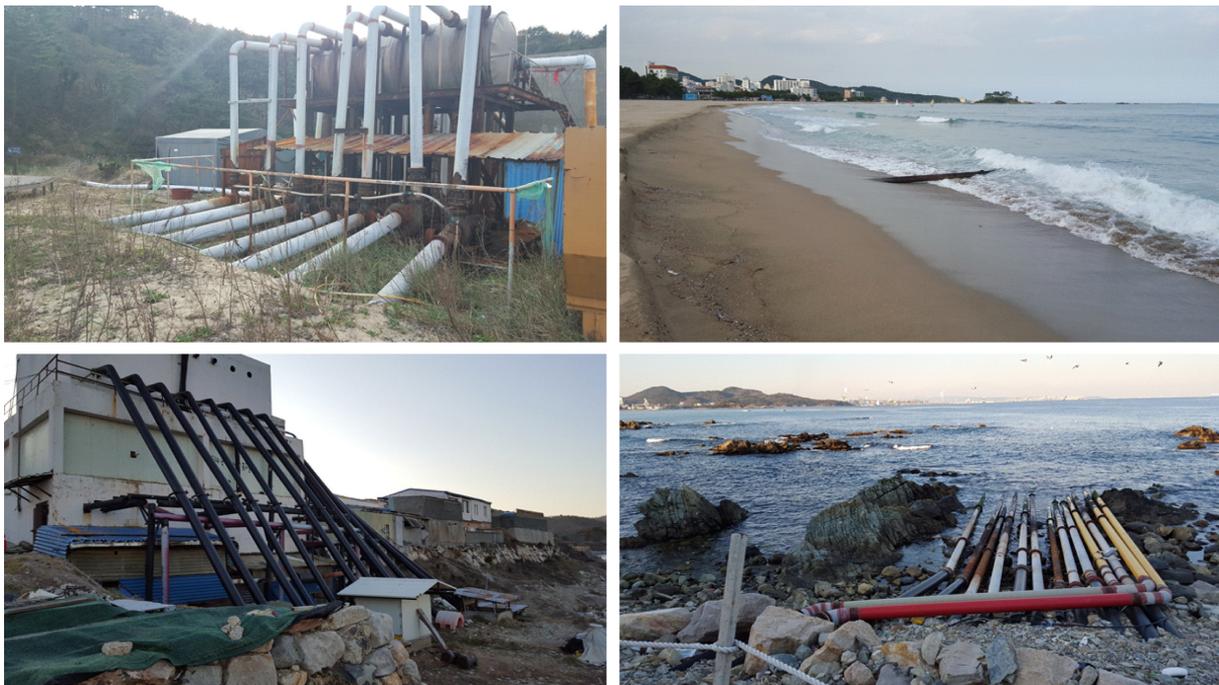
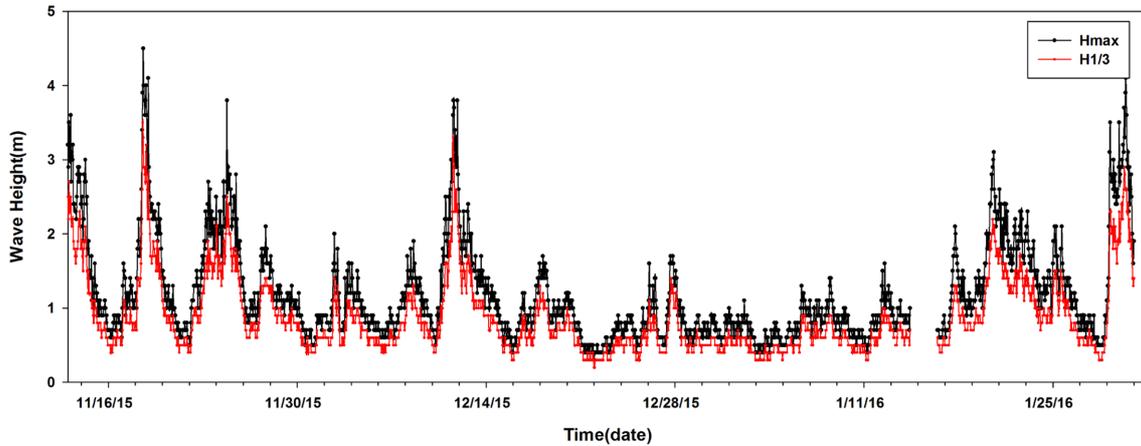
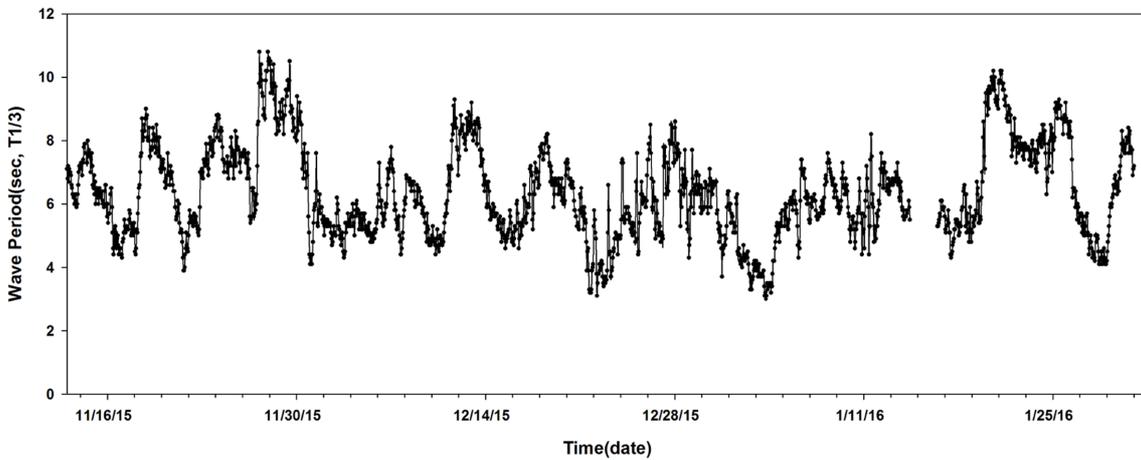


Fig. 4. The pump and pipes used for seawater intake by the inland fish farms (St.1~St.4 Corp.).



(a) Significant and maximum wave height($H_{1/3}$ and H_{max})



(b) Significant wave period($T_{1/3}$)

Fig. 5. Occurrence of ocean waves during dredging work at Jinha Beach.

2.4 연안표사량 산정 방법

일반적으로 연안표사량(longshore sediment transport rate)은 방사제나 방파제 등의 구조물 주변의 퇴적 토사량이나 항내의 매몰량을 측정하거나, 해안선 변형의 원인을 파악하기 위하여 추정하는데 사용된다. 하지만 이는 수심 측량의 정도 및 범위, 파에너지의 추정 정도, 저질 입경의 영향 등 다양한 요소에 의해서 한계를 가지며 (Kim[1993]) 파랑, 해안선 변화 또는 해안 단면 변화, 해저질에 대한 기초 조사 등 장기간에 걸쳐 자료의 축적으로부터 산출되는 결과물이기도 하다.

연안표사량을 지배하는 인자는 매우 많다. 본 연구에서는 파랑 수송에너지의 총량과의 관계를 이용한 다음 식(1)을 적용하였다 (Kim[1993]).

$$Q_i = \alpha E_i^n \tag{1}$$

여기서, Q_i 는 어느 기간내의 연안표사량, E_i 는 Q 와 같은 기간내에 쇄파선 부근에 있어서 해안선 단위폭당 수송된 파랑에너지의 해안선 방향성분, α , n 은 계수이다. 양식장 주변의 연안표사량 산정에 사용가능한 산정식은 Kim[1993]에 의해 제시된 Savege[1959] 또는

Sato[1966]식을 적용하였다. Savage 식은 저질입경이 중사 정도의 외해에 접한 해안에, Sato 식은 비교적 입경이 큰 내해에 접한 해안에 적합할 것으로 알려져 있다(Sunamura and Horikawa[1972]).

또한 단위파봉폭당 파랑 에너지는 미소진폭파 이론(Dean and Dalrymple[1991])에 의한 아래 식으로 계산된다.

$$W_b = \frac{n_a w_o H_o^2 L_o}{8T} \tag{2}$$

여기서, W_b 는 외해에서 단위시간 및 단위파봉폭당 수송되는 파랑 에너지, n_a 는 외해 임의 수심에서의 파속과 균속도의 비, w_o 는 해수의 단위체적중량(1.03 t/m^3), H_o , L_o 및 T 는 외해에서의 파고, 파장 및 주기이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 양식장 해수 사용량 추정

본 연구대상인 육상 양식장 4곳의 수조 점유 면적과 수위 조건을 가정하여 전체 4개 양식장의 해수 사용량을 추정하였다. 그 결과는

Table 2와 같다. 4개 양식장의 수조 점유 면적(B)은 13,095.12 m² 이었으며, 실제 수조내의 해수량은 저면에서 40 cm로 물의 수위로 계산한 경우 평균 1,309.5 m³, 70 cm인 경우 평균 2,291.65 m³ 이었다.

실제 양식장별 정확한 취수량을 산정하기 위해서는 조사 대상 육상 양식장별 펌프 규모, 시설 대수를 비롯하여 어류의 산소소모량이 가장 많은 여름철과 수온이 최저가 되는 겨울철의 수조내 취수량이 상이하므로 계절에 따른 취수 정도를 장기간 평가하는 것이 요구된다.

본 연구에서는 Ministry of Marine Affairs and Fisheries[1995]의 「육상 양식장 배출수 처리 방법에 관한 연구」의 제주 지역 육상 양식장 8개소에 대한 조사 결과를 바탕으로 개략적인 추정치를 살펴보고자 하였다.

결과적으로 제주 지역 양식장의 경우 양수기의 사용기간에 따라 또한 간·만조에 따른 수위의 변화, 양식장의 실 양정고(pumping head) 등에 따라 양수량은 실제와 계산상에 상당한 차이를 보인다고 할 수 있다. 실제 소규모 양식장의 일반해수 양수능력은 1일 7,152 m³, 대규모 양식장에서는 48,960 m³을 양수할 수 있는 것으로 나타났다. 하지만 기존 문헌 조사자료에서 제시된 해수의 평균 양수량은 20,624.4 m³/day이다. 또한 사육수조의 환수율에 대해서는 8개 조사 대상 전체 양식장의 일간 환수율의 범위는 5.3~18.8회의 범위였으며 체중 100 g이내의 치어를 사육하는 수조에서는 5.3~11.7회, 대형 어류를 사육하는 수조에서는 6.9~18.8회의 환수율을 보였다. 결과적으로 평균 일간 환수율은 12.2회였다.

일반적으로 양수기(펌프)의 규모는 소규모 업체에서는 15~30 Hp, 대규모의 양식장에서는 40~125 Hp의 양수기 규모를 가지는 것으로 조사된 바 있다. 보유하고 있는 양수기의 대수는 양식장의 규모와 사용펌프의 규모에 따라 다르고 보통 5~25대까지 설치되어 있지만 양수기의 실제 사용할 수 있는 시설대수는 2~8대로서 비상시를 대비하거나, 과다한 가동을 방지하기 위한 예비양수기를 보유하고 있는 것으로 조사된 바 있다. 본 연구대상 육상 양식장의 4곳의 양수기 평균대수는 Table 1에 제시된 바와 같이 6.5개이다.

따라서 상술한 기존 문헌의 육상 양식장 해수 평균 양수량 20,624.4 m³/day을 바탕으로 연구 조사 대상 4개 육상 양식장의 수위를 70 cm로 가정하여 1일 해수 환수율을 계산하여 보면 20,624.4 m³/day ÷ 2,291.65 m³=8.99회/day에 해당하는 것으로 계산되었다(이는 제주 해역의 12.2회보다는 적은 수치이다).

결과적으로 전술한 1일 해수 환수율을 고려하여 진하 해변 인근

조사대상 육상 양식장별 1일 해수 사용량을 산정하면 Table 2와 같이 산정되며 4개 양식장의 1일 해수 사용량은 82,407.74 m³/day로 추정된다.

3.2 연안표사량 산정 결과

본 대상 해역의 해저질 조사 결과에 따르면 해저질의 중앙입경(d_{50})은 2012년 6월에 -1.94~7.42φ(0.006~3.840 mm), 퇴적상은 연안 정점에서 모래(S), 실트질사(zS), 니질사(mS)의 분포를, 외해 정점에서 실트질사(zS), 니질사(mS), M(펄), 사질니(sM), gM(역질니), gmS(역니질사)의 분포를 나타내었다. 또한 2013년 1월의 경우 중앙입경(d_{50})은 -1.04~6.88φ(0.009~2.058 mm), 퇴적상은 연안 정점에서 모래(S), 실트질사(zS), 약역질사((g)S), Z(실트)의 분포를, 외해 정점에서 약역질사((g)S), sZ(사질실트), gM(역질니), zS(실트질사), gmS(역니질사)의 분포로 나타났다. 즉, 양식장이 위치하는 해역의 해저질은 대체적으로 모래(S), 실트질사(zS)로 이루어져 있으며 중앙입경은 0.137 mm로 판단된다.

연안표사량에 사용된 파랑자료는 최근 준설/양빈 공사가 진행된 2015년 11월 18일 14:00시에 대상해역 주변 간질곳에서 관측된 파랑 자료(유의파고 3.3 m, 주기 8.3 sec)를, 해저경사는 tanθ=1/20로 가정하였다.

$$W_b = \frac{n_s W_o H_o^2 L_o}{8T} = \frac{0.5 \times 1.03 \times 3.3^2 \times 63}{8 \times 8.3} = 5.32(t \cdot m/m \cdot sec) \quad (3)$$

또한 쇄파수심 4.62 m에서의 파랑 수송에너지의 연안방향성분(W)과 조사 기간동안 파고 3.0m이상의 파랑이 연속적으로 작용한 11시간 동안의 파랑에너지 성분(E_i)은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \therefore W_i &= K_r^2 \cdot W_b \cdot \sin\alpha_b \cdot \cos\alpha_b \\ &= (0.95)^2 \times 5.32 \times \sin 20 \times \cos 20 \approx 1.54(t \cdot m/m \cdot sec) \end{aligned} \quad (4)$$

$$E_i = W_i \times 11 \times 3600 = 61, 107.1(t \cdot m/m) \quad (5)$$

따라서 연안표사량은 아래와 같이 계산된다.

Savege[1959]의 식 적용:

$$Q_i = 0.217E_i = 0.217 \times 61, 107.1 \approx 13, 260(m^3) \quad (6)$$

Sato[1966]의 식 적용:

$$Q_i = 0.12E_i = 0.12 \times 61, 107.1 \approx 7, 333(m^3) \quad (7)$$

Table 2. The rate of sea sand inflow to inland fish farms near Jinha Beach

Corp.	Seawater usage (m ³)		Daily seawater usage (D, m ³ /day) (=C×8.99 times※)
	(Water Level 40 cm) (=B×0.4 cm)	(Water Level 70 cm) (C=B×0.7 cm)	
St.1	1,238.8	2,167.9	19,489.42
St.2	2,734.5	4,785.3	43,019.85
St.3	1,093.2	1,913.2	17,199.67
St.4	171.5	300.2	2,698.80
Sum	5,238	9,166.6	82,407.74
Ave.	1,309.5	2,291.65	20,601.94

※Ministry of Marine Affairs and Fisheries (1995)

Table 3. The results of inflowing sea sand in inland fish farms of Jinha beach sand

Corp.	Seawater usage (C, m ³) (Water level 70 cm)	Daily seawater usage (D, m ³ /day) (=C×8.99 times)	Exchange rate of seawater for 1 grid (F=D/6,250 m ³)	Inflowing Sea Sand (m ³ /day)	
				Savege Eq. (=F*1.35)	Sato Eq. (=F*0.748)
St.1	2,167.9	19,489.42	3.118	4.209	2.332
St.2	4,785.3	43,019.85	6.883	9.292	5.148
St.3	1,913.2	17,199.67	2.752	3.715	2.058
St.4	300.2	2,698.80	0.432	0.583	0.323
Sum	9,166.6	82,407.74	13.185	17.799	9.861
Ave.	2,291.65	20,601.94	3.296	4.450	2.465

3.3 육상 양식장 모래 유입량 산정

본 연구에서는 수심자료 즉, 수치해도에서 파랑 작용 한계수심(wave base)으로 산정된 수심 31.5 m 이내를 25×25 m 격자로 개수를 산출한 결과, 약 9,800개임을 알 수 있었다. 따라서 연안표사량이 발생하는 유효 면적을 6,125,000 m²으로 가정하였다. 수심별 연안표사량을 고려하기 위해서는 직접 현장관측을 통해 정확한 산정이 요구되지만 이점은 현실적으로 불가하므로 동일하게 취급하는 것으로 가정하였다.

결과적으로 1격자 25×25 m의 면적에 해당하는 연안표사량은 Savege 식을 적용할 경우 13,260/9,800=1.35 m³ 이었다. Sato 식을 적용할 경우 7,333/9,800=0.748 m³ 이었다. 그리고 1개 격자(25×25 m)와 수심 10m에 해당하는 수괴내에 포함된 표사가 양식장 펌프의 영향범위로, 유입율은 최대 약조건을 반영하여 100% 유입되는 것으로 가정하였다. 따라서 양식장 펌프가 위치하는 수심 10 m 지점에서 25×25×10 m³=6,250 m³의 해수량에 포함되는 표사량은 앞서 산정된 Savege 식에 의해 1.35 m³, Sato 식에 의해 0.748 m³이라 할 수 있다.

이상의 결과를 바탕으로 조사대상 육상 양식장별 펌프를 통해 유입되는 모래량을 추정된 결과는 Table 3과 같다. 추정 결과는 2015년 11월 18일 당시 파랑내습에 따른 결과로서 양식장이 펌프를 정상 가동하였을 경우에 대한 산정결과라고 할 수 있다. 결과적으로 4개 양식장의 평균 모래 유입량은 Savege 식에 의하면 4.450 m³/day, Sato식에 의하면 2.465 m³/day에 해당한다.

현재 도출된 결과가 산정과정에서 변수로 주어지는 다양한 요소들을 일정한 조건으로 가정한 상황이므로 현장의 결과와 일치한다고 할 수 없다. 하지만 Fig. 1의 사진속의 양식장 모래 청소 과정에서 제거된 모래량을 St.2 업체의 현장 담당자로부터 의견을 수렴하여 유사한 값(고파랑 내습후 양식장 청소 모래는 1톤 트럭(적재용량 9.43 m³)의 약 1/3이라고 함)을 가진다는 것을 확인할 수 있었다. 향후 여기서 제시된 산정결과는 앞서 서술한 바와 같이 연안표사량을 직접적으로 현장조사를 통해 얻어지는 결과와 검증하는 과정이 요구된다.

4. 결 론

본 연구에서는 진하 해변 인근의 육상 양식장별 취수구(펌프)를 통해 해양 내습 파랑 조건에서 유입되는 모래량을 추정하고자 하였

다. 이를 위해 연안표사 산정식을 이용하여 해저 펌프를 통해 육상 양식장으로 유입되는 모래 유입량을 산정하는 프로세스를 개발하였다. 본 연구를 통해 얻어진 결과는 다음과 같다.

(1) 진하 해변 인근의 해저 모래가 취수구를 통해 육상 양식장으로 유입되어 직·간접적으로 영향을 미치는 것을 현장에서 확인할 수 있었다.

(2) 해양파랑 내습시 연안표사가 정상적인 양식장 펌프 가동시, 취배수를 통해 진하 해변 인근 양식장으로 유입되는 4개 양식장의 평균 모래 유입량은 Savege 식에 의하면 4.450 m³/day, Sato식에 의하면 2.465 m³/day에 해당하는 것으로 추정된다.

한편, 본 연구는 육상 양식장의 해상 모래 유입량 추정에 대한 기초 해석 방법으로 중요한 자료가 될 수 있으며, 육상 양식장 모래 유입에 따른 영향 규명을 위한 기존 관련 연구들과 차별적인 접근을 시도하였다고 평가할 수 있다. 아울러 제시된 모래 유입 프로세스는 해안공학적인 차원에서도 현재의 연안표사량 산정식을 적용하여 현장 문제점 및 대책 수립을 모색한다는 측면에서 향후 다양한 현장에서 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 최종적으로 본 연구 결과는 진하 해변 인근 양식장의 해수 공급 시설 개선점 도출 및 인근 해변 모래의 유입 정도 및 피해 저감 방안을 모색하는데 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

하지만 본 연구에서 산정된 결과는 다수의 가정에 근거하여 도출된 결과로서 모래 유입량에 대한 정량적 평가에는 많은 한계가 있다. 따라서 보다 정확한 평가를 위해서는 양식장별 펌프 규모 및 가동 상황, 양식 어종의 생리 특성, 어업인의 양식장 유지관리 패턴 등 다양한 요인들이 변수로서 조사될 필요성이 있다.

후 기

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2016년: C-D-2016-1294) 지원을 받아 수행하였습니다.

References

- [1] Ackefors, H. and Enell, M., 1990, "Discharge of nutrients from Swedish fish farming to adjacent sea areas", *Ambio*, 119, 28-35.
- [2] Dean, R.G. and Dalrymple, R.A., 1991, "Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists", World Scientific, Singapore.

- [3] Hwang, C.S., Choi, C.U. and Choi, J.S., 2014, "Shoreline Changes Interpreted from Multi-Temporal Aerial Photographs and High Resolution Satellite Images. A Case Study in Jinha Beach", *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 30, No. 5, 607-616.
- [4] Kang, K.H., 2006, "Coastline evolution analysis and forecast in Jin-Ha beach", Ulsan University Master's thesis, 1-50.
- [5] Kim, N.H., 1993, *Coastal Engineering* (by Kiyoshi Horikawa), Cheong Moon Gak.
- [6] Kim, S.D., Kang, K.H. and Park, H.S., 2008, "Coastline Evolution Analysis and Forecast due to the Construction of Groin at Heoya-River Mouth Area", *J. Ocean Eng. Technol.*, Vol. 22, No. 2, 28-33.
- [7] Min, B.H., Min, I.K. and Lee, D.S., 1994, "A Study on the Topography Change of Hyeya River and Jinha Beach", *J. Ocean Eng. Technol.*, Vol. 8, No. 1, 84-95.
- [8] Ministry of Marine Affairs and Fisheries, 1995, Research about how to treat inland aquaculture effluent water, 17-27.
- [9] Sato, S. and Tanaka, N., 1966, "Field investigation on sand drift at Port Kashima facing the Pacific Ocean", *Proc. 10th International Conf. on Coastal Eng.*, ASCE, Tokyo, Vol. 1, 595-614.
- [10] Savage, R. P., 1959, "Laboratory Study of the Effect of Groins on the Rate of Littoral Transport: Equipment Development and Initial Tests", U.S. Army Corps of Engineers, Beach Erosion Board, Technical Memorandum No. 114.
- [11] Simon J.C. and Bergheim, A., 2000, "Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems", *Aquacultural Engineering*, 22, 33-56.
- [12] Sunamura, T. and Horikawa, K., 1972. Improved for inferring the direction of littoral drift from grain-size properties of beach sands. Annual Report of the Engineering Research Institute, Faculty of Engineering, Tokyo, 31, 61-68.
- [13] The Kyungsang Ilbo, 2016.05.02, <http://www.ksilbo.co.kr/>.

Received 10 July 2017

Revised 16 August 2017

Accepted 17 August 2017