

새우양식장인근 태양광공사에 따른 소음저감방안연구

오현택*† · 김영태** · 탁대호*** · 이대인*** · 김귀영***

*, *** 국립수산과학원 해양이용영향평가센터, ** 국립수산과학원 갯벌연구센터

Marine Environmental Impact Assessment on the Construction of Solar Plant near Shrimp Farms

Hyun-Taik Oh*† · Yeong-Tae Kim** · Dae-Ho Tac*** · Dae-In Lee*** · Gi-Young Kim***

*, *** Marine Environmental Impact Assessment Center, National Fisheries Research & Development Institute, Busan, 619-705, Korea

** Wetlands Research Center, National Fisheries R&D Institute

요 약 : 본 연구에서 순천만 일대 새우 양식장 부근에서 이뤄지는 태양광 발전에 따른 소음영향평가방법을 진단하였다. 순천만 폐양식장에 태양광 발전시설이 설치되는 경우, 임계거리 17미터 이내에 위치한 새우양식장 S₂와 S₃(15미터 이격)은 소음에 대한 저감대책을 수립하지 않은 상태로 작업할 경우에는 악영향이 나타날 수 있다. 소음 스트레스를 감소시키기 위해 방음 관벨을 설치할 시, 본 연구에서 고려한 공사장비 최저효율(Case A), 일반효율(Case B), 최고효율(Case C)에 대한 수중소음 환경목표기준을 만족하는 것으로 나타났다. 건설 장비에서 발생하는 대기 소음이 수중으로 전파될 경우, 보다 합리적인 계산을 통해 수중 소음도 예측과 함께 주변 양식장에 미치는 누적 영향에 대한 심도 있는 평가 및 대책 수립이 필요하다.

핵심용어 : 해양환경영향평가, 소음영향평가, 새우양식장, 순천만, 태양광발전

Abstract : To assess the noise stress of shrimp farms reasonably, we need a noise observation data underneath the waters first. But, it did not collect yet and airborne noise transfers to water noise wave using transition calculation. In case of construction of solar energy without noise stress protection wall, the threshold values (140 dB) from circumstance of underwater noise exceed within 17m at S₂ (15m away from source) and S₃ (15m away from source). Considering additional way to decrease the construction noise, all cases including minimum mode(Case A), general mode(Case B), and maximum mode(Case C) meet the guideline of underwater noise for fish farms. In case of the underwater noise could affect the fish farm, it is necessary to understand about farming species such as shrimp, monitoring of present states, and protection way under the construction.

Key Words : Marine environmental impact assessment, Underwater noise, Shrimp farms, Sunchun Bay, Solar energy construction

1. 개 요

우리나라는 미국, 중국, 일본, 인도에 이어 다섯 번째로 큰 원유수입국으로 국내 유전시설이 없어 거의 모든 원유를 수입에 의존하고 있다. 이러한 전력 수요를 충족시키기 위해서 화력과 수력 등을 혼합하여 사용하고 있다. 우리나라는 기후변화협약에 의거 온실가스 배출량을 획기적으로 줄여야 하는 처지이며, 이를 위해 규제 대응 등 대체에너지의 중요성이 재인식되면서 국가적으로 대체에너지 개발은 시급한 과제이다(Lee et al., 2012). 태양광발전은 무한정, 무공해의

태양에너지를 이용함으로써 연료비가 불필요하고 대기오염이나 폐기물 발생이 없다고 알려졌고, 태양 전지의 수명은 최소 20년 이상 길다. 이처럼 최근 기후변화 협약 및 신재생에너지 의무할당제 도입 등으로 태양광을 포함한 신재생에너지 발전량이 증가하고 있다(Kim et al., 2012a).

도로공사 및 시설건축이 해안가에서 진행됨에 따라 불가피하게 발생하는 소음과 진동으로 인한 피해를 보상받기 위한 절차가 다양하게 진행된다(Eo and Yoo, 2012). 해안가에 발전소가 들어서게 되면 공사로 인해 생태적으로 높은 가치를 보이는 지역이 훼손될 뿐만 아니라, 인근지역에서 양식어업을 위해 기르고 있는 어류 등이 큰 피해를 입을 수 있다(Kim et

† Corresponding Author : ohtek@korea.kr, 051-720-2962

al., 2009). 해안가 고속도로 건설로 인한 뱀장어 폐사가 발생해서 어민에게 보상이 전달되는 등 수중소음이 배경농도보다 커지거나, 환경기준을 초과한 경우 피해자는 소송을 통해 소음분쟁을 해결하고자 한다(EDC, 2011). 하지만, 밧파등이 아닌 일반 공사로 인해 발생하는 수중 소음으로 인한 해양 생명체에 대한 관리기준과 연구가 부재하여 사전에 피해를 예방할 수 방안은 전무하다(Lim et al., 2010). 특히, 양식어류는 기준치를 초과하는 소음으로 인해 폐사, 성장지연, 산란을 저하, 부화율 저하 등 복합적인 피해를 받게 되며, 양식장 환경, 수중 소음의 특성, 배경소음 등에 따라 피해의 양상이 달라진다(Wysocki et al., 2007; Davidson et al., 2009; Anderson et al., 2011).

최근 남해안에 위치한 폐염전이나 해상 양식장 부지공사를 통해 태양광 발전설비를 조성하는 사업이 진행 중이다(Hwang, 2012). 이를 통해 태양광 발전설비로부터 전력을 직접 생산 및 소비함으로써 지역사회에 원활한 전력을 공급할 수 있고, 국가 정책을 기여하고, 글로벌 녹색 경쟁력 제고에 노력할 수 있다는 장점이 있다(Nam and Kim, 2008). ‘국토의 계획 및 이용에 관한 법률’에 의거 관리용도지역에서 태양광 발전 사업이 이뤄지게 되는 경우, 법률 제6조 제2호에 의거 소규모 환경영향평가를 실시하도록 정해져 있으며, 공유수면 매립을 통해서 태양광 사업을 수행 시에도 해역이용협의 실시해야 한다. 이처럼, ‘연안관리법’ 제2조제3호에 따른 연안육역이 포함되는 사업의 경우에는 해양수산부장관의 의견을 들어야 하기에(Kim et al., 2009), 해역이용영향평가센터를 중심으로 폐염전과 해상 양식장에서 건설되는 태양광 발전 사업과 관련한 환경영향평가서에 대해서 사전 예방적 검토업무가 수행중이다.

특히 최근 건설되는 폐염전과 양식장내 발전설비와 양식장간의 이격거리가 충분하지 못함으로써 이해 당사자 간의 갈등 발생요인이 나타나고 있다. 이는 공사 중 발생하는 소음 및 진동으로 인해 양식 수산생물이 악영향을 받아 자원이 파괴되거나 고갈되는 것을 의미한다(Lee et al., 2012). 해역이용협의 및 영향평가 작성지침에는 수중 소음 및 진동과 관련된 평가항목 및 평가내용이 마련되어 있지 못하다. 따라서, 해역이용협의 시 소음에 따른 양식생물에 끼치는 영향에 대한 평가가 제대로 이뤄지지 못하고, 양식생물에 대한 이해부족 상태에서 협의서를 작성되고 있다. 이 때문에 현황 조사, 영향 예측, 저감 방안 및 사후관리 등의 해역이용협의단계에서 피해를 저감하기 힘든 실정이다(Lee et al., 2011). 본 연구에서는 전라남도 순천만 일대 새우 양식장 부근에서 이뤄지는 태양광 발전에 따른 소음영향평가 방법에 대한 연구를 수행하고자 한다. 이를 위해 필요한 현황 파악 방법, 소음 기준치 초과시 저감방안 대책 등을 살펴보았다.

2. 현 황

2.1 지역 개요

순천만은 고흥반도와 여수반도 사이에 위치한 만으로, 순천만의 습지는 관광자원과 생태자원으로서 그 가치가 무척 크다. 최근 순천만 습지에 크고 작은 태양광발전소가 들어서면서 사업자와 인근 주민, 어업인, 환경단체간의 마찰이 나타나고 있다. 태양광 발전소 건립은 신재생에너지 개발의 일환으로 환영할만한 일이지만, 부지 선정 시 적정성과 타당성을 신중하게 선택해야 대체에너지로서의 의미를 살릴 수 있다. 특히, 폐염전과 폐양식장을 활용한 소규모 태양광 발전소 허가로 인해 농게 등 갯벌생물 서식처와 물떼새 산란장이 파괴될 수 있으며, 인근에 위치한 새우양식장등이 공사 및 운영 시 환경적인 피해를 입을 수 있다(Kim et al., 2012b).

최근 순천만 태양광발전소 조성사업이 ‘전남 순천시 별량면’에 위치한 폐경작지, 폐염전, 새우양식장 지역에 위치함에 따라, 인근 양식장과 이격거리가 수십-수백 미터 밖에 되지 않아 공사에 따른 영향을 직접적으로 받게 된다. 특히, 소규모 발전소 건설시 장비운용 등으로 발생하는 소음은 인접한 새우양식장등에 피해를 발생시킬 수 있기에, 이에 대한 부정적 영향을 최소화할 수 있는 공정 조절 등의 대책마련에 대해 협의 시 고려하고 있다. 하지만 공사 시 소음이 해양생물에 미치는 영향을 평가할 수 있는 항목과 평가지침은 아직 마련되지 않은 실정이다. 본 연구에서는 태양광발전시설이 설치될 폐양식장을 선정했고, 이곳 주변에 위치한

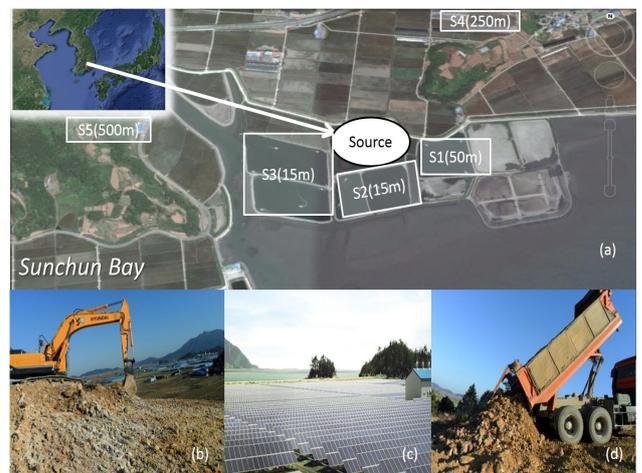


Fig. 1. Overview of study area. (a) The construction site of solar energy is located in Sunchun Bay, it is very close to the shrimp farms (S1: 50 m away, S2: 15 m away, S3: 15 m away), close to the animal farm (S4: 250 m away) and local community (S5: 500 m away). (b) Backhoe (1.0 m³ unit). (c) Overview of solar plant (d) Dump truck (15 ton unit).

새우양식장과 영향을 받을 수 있는 축사와 주변마을을 대상으로 소음영향평가방법을 살펴보고자 했다(Fig. 1.). 태양광 발전소가 건설된 폐양식장 지역은 주변의 소음, 진동원은 거의 없으며, 주변으로 난 도로를 이용하는 차량도 제한적이어서 공사 시 발생하는 소음만이 유일한 소음원으로 작용하고 있다. 발전소 인근의 동쪽 양식장은(S1) 50 m 이격해서 위치해 있으며, 남쪽과 서쪽 양식장은(S2, S3) 15미터 밖에 떨어져 있지 않고, 축사는(S4)는 250 m, 독립마을은(S5) 500 m 이격해 있다(Table 1).

Table 1. Sample stations for this study are located near the construction site of solar energy. Shrimp farms (S1, S2, S3) are very close and animal farms and house are far from 250 m and 500 m away. Noise source means the construction site

Station	Direction	Distance(m)	Coordinate(X)	Coordinate(Y)
Source	-	-	34° 50' 03.57"	127° 25' 13.15"
S1	East	50	34° 50' 02.82"	127° 25' 13.15"
S2	South	15	34° 49' 59.35"	127° 25' 13.86"
S3	West	15	34° 50' 00.74"	127° 25' 05.16"
S4	North-East	250	34° 50' 18.47"	127° 25' 23.64"
S5	West	500	34° 50' 07.10"	127° 24' 46.45"

2.2 목표기준 설정

사업지구 주변에 위치한 정온시설에 대하여 투입장비에 의한 소음·진동 영향 검토 시 문헌조사 및 법적 기준을 참고하여 환경목표기준을 설정하였다(Jang, 1996). 특히, 육상에서 측정할 수 있는 공중소음은 배출원과 영향을 받을 수 있는 대상에서 관측을 하거나, 전달거리의 원근에 따른 에너지 손실원리를 통해서 얻을 수 있다. 그리고, 공사 장비 운영 시 주거지역은 ‘소음진동관리법’에 의거 주간기준 65 dB 이하, 사육시설은 60 dB 이하로 정의하고 있다(Choung et al., 2012).

사업지구 주변 소음·진동 발생원은 공사시 작업 장비외에 인근도로에서 발생하는 것은 거의 없다. 정온시설에 대한 공사시의 예측소음도 및 가설방음판넬 등의 저감시설의 재원을 산출했다. 여기에 사용된 음원의 높이는 지상 1.2-1.5 m, 수음점은 1.5 m에 있는 것으로 가정했다(Table 4). 본 연구에서는 주간 공사만을 고려했으며, 주거지역은 인근 마을 1곳만을 대상으로 삼았고 환경목표기준은 주간 공사장 생활소음규제기준인 65 dB 이하를 적용했다. 합성소음도 산출식과 점음원 거리감쇠식에 의한 회절감쇠식을 적용하여 예측지역에서의 소음도를 예측하였다.

본 연구에서는 현황 파악 및 영향예측시 수중소음 측정기를 사용하지 않고, 환산식을 사용하여 해역이용협의단계에서 이뤄지는 개발사업에 대해 간접적인 방법을 사용했다. 수중소음에 대한 측정은 장비와 공간의 제약으로 인해, 전용 측정기인 Hydrophone을 사용하지 않고 육상 소음계로 공중소음을 측정한다 뒤 환산값을 더한다(Lim et al., 2010). 공중소음과 수중소음의 음압레벨(SPL; Sound Pressure Level)을 산출하면,

$$SPL_{Air} (dB) = 20 \log \left(\frac{P}{P_{ref.Air}} \right) \quad (1)$$

$$= 20 \log \left(\frac{P}{P_{\mu Pa}} \right) = 20 \log(P) - 26$$

$$SPL_{Water} (dB) = 20 \log \left(\frac{P}{P_{ref.Water}} \right) \quad (2)$$

$$= 20 \log \left(\frac{P}{1 \mu Pa} \right) = 20 \log(P)$$

여기서, SPL은 각각, P (측정음압, Pa), $P_{ref.Air}$ (대기 중 기준 음압, 20 μ Pa), $P_{ref.Water}$ (수중 기준음압, 1 μ Pa)이다. 공기와 물의 임피던스비는 약 3632이 되어 +36 dB만큼 차이가 추가로 발생하고(Simmonds et al., 2004), 일반적인 임피던스비 약 3600을 사용한다(Dickens et al., 2007). 이와 같이 공중소음과 수중소음의 차이는 62 dB이며, 이는 기준레벨에 의한 차이분 26 dB와 임피던스에 의한 차이분 36 dB를 합한 값이다(Lim et al., 2010). 이를 고려할 시 공중소음이 78 dB이면 수중소음은 140 dB에 해당한다고 여긴다(Simmonds et al., 2004)(Table 2). 이러한 임계치는 어류 특성 및 서식처 배경농도에 따라 다소 낮아지기도 한다(Vasconcelos et al., 2007; Slabbekoorn et al., 2010; Ross, 2013). 이와 별도로 소음에 의한 양식 수산생물의 피해를 고려할 시 평상시와의 차이가 15-20 dB에 해당하면 양식 어류의 폐사, 성장 지연, 산란율 저하, 부화율 저하의 피해를 받게 된다고 알려져 있다(Scholik and Yan, 2001; Hawkins and Popper, 2012; Wilcock et al., 2014). 미국의 해양포유동물보호법에서 정해진 수중소음기준은 충격소음의 경우 160 dB/uPa, 연속소음의 경우 120 dB/uPa 정도를 고려한다(Richardson et al., 2013).

Table 2. The threshold value and difference from circumstance of airborne noise for animal farm, vibration, and underwater noise in this study

Index(dB)	Air noise	Vibration	Underwater noise	Reference
Thresholds	50-60	55-60	140	(Simmonds, 2004)
Difference	15-20	15-20	15-20	(NEDRC, 2009)

2.3 영향 예측

공사 시 투입되는 장비에 의한 소음도 예측은 장비별 발생 소음도를 이용하여, 점음원 거리 감쇠 공식과 합성소음도 산출 공식을 적용하여 거리별로 예측 소음도를 산출하였다(Byun et al., 2008). 공사 시 투입되는 장비의 종류 선정은 몇 가지로 나뉘었다. 이 경우 투입장비 전체가 동일 장소에서 동시에 가동되지는 않기에, 시설물 인접지역에서 직접적인 소음영향이 예상되는 장비를 선정하고자 했다. 게다가, 장비의 경우 규격 당 발생소음의 차이가 나타나기에 태양열 발전소 건설에서 사용되는 일반적인 규모를 선정했다. 본 연구에서 설정한 장비별 기준 소음값은 백호우(backhoe, 1.0 m³) 73.4 dB, 불도저(bulldozer, 19 ton), 덤프트럭(dump truck, 15 ton), 크레인(crane, 40 ton)이다(Table 3). 굴삭기의 경우 ‘소음진동관리법’에 따르면 특정 공사의 사전신고대상 기계장비의 종류에 해당되어 1일 작업시간이 6시간을 초과할 경우에는 +5 dB하도록 되어있다. 투입장비는 공정을 고려하여 단기간에 끝낼 수 있도록 부지정지작업의 효율을 높이도록 했다. 선정된 장비는 백호우(backhoe), 불도저(bulldozer), 덤프트럭(dump truck), 크레인(crane)이며 최소효율(Case A), 일반효율(Case B), 최고효율(Case C)로 구분했고, 규격별 소음도는 관련 자료를 참고했다(Liu et al., 2013)(Table 3).

Table 3. The standard noise value of the tools for construction of solar energy in Case A(minimum loads), Case B(general loads), Case C(maximum loads)

Tool	Unit	Noise(dB)	Case A	Case B	Case C
Backhoe	1.0 m ³	73.4	1	2	2
Bulldozer	19 ton	73.1	1	1	2
Dump truck	15 ton	74.9	1	2	2
Crain	40 ton	70.1	1	1	1

합성소음도(SPL₀)는 아래 공식(3)에 따랐고, 장비 투입대수(A, B, C, D, N)와 장비별 소음도(SPL₁, SPL₂, SPL₃, SPL₄, SPL_N)는 세 가지 경우로 나눠서 각각 공사 시와 저감 방안을 마련한 뒤 차이값을 보고자 했다. 사용된 장비별 발생 소음도는 장비로부터 15 m 떨어진 지점에서 1대당 소음도에 해당한다.

$$SPL_0 = 10 \log \left(A \cdot 10^{\left(\frac{SPL_1}{10}\right)} + B \cdot 10^{\left(\frac{SPL_2}{10}\right)} + \dots + N \cdot 10^{\left(\frac{SPL_N}{10}\right)} \right) \quad (3)$$

그리고 소음원으로부터 일정거리 이격하여 측정되는 소음도(SPL)는 아래 공식(4)에 따라 점음원으로부터 거리감쇠공식을 활용했다(Kim et al., 2011). 즉, 소음원으로부터 15 m 떨어진 지점(r₀)에서의 합성소음도(SPL₀), 소음원에서 수음점까지의 거리(r), 소음원에서 측정지점까지의 거리(r₀)를 이용해 계산에 활용했다.

$$SPL = SPL_0 - 20 \log \left(\frac{r}{r_0} \right) \quad (4)$$

2.4 저감방안 예측

해역이용협의 시 합성 소음도에 대한 예측결과 공사 시 임계치를 초과하는 소음에 대해서는 적절한 저감 대책을 요구한다. 최저효율(Case A), 일반효율(Case B), 최고효율(Case C)로 공사 시 인접한 새우양식장은 피해 기준치를 초과하는 경우가 발생하기에, 공사 중 가설방음 판넬 설치를 통한 소음저감 방안이 고려된다. 이 경우 방음 판넬의 회절감쇠치를 계산하고, N값을 정점별로 계산하여 음원이 손실되어진 후에 남게 되는 최종 소음값을 얻을 수 있다(Shin et al., 2008; Kweon et al., 2009).

새우양식장의 회절감쇠치 인자값은 방음벽 높이(H_b), 수음점 높이(H₀), 소음원의 높이(H_s), 소음원과 방음벽간의 수평거리(L_{SB}), 방음벽과 수음원간의 수평거리(L_{SO})이다. 여기서 N(Fresnel Number)값은 세 곳에서 일반적인 상수값인 5.1을 사용했다(Tessendorf, 2001). 이를 통해 방음시설의 삽입손실치(dL_i)를 회절감쇠치(dL_d)와 투과손실치(TL)를 활용하여 아래 식(5)으로 계산할 수 있다. 이 경우 새우양식장 방음 판넬에 적용된 투과손실치는 가설방음 판넬을 보통의 상태로 접합한 경우에 해당하는 15 dB의 값을 사용했다(Yoon et al., 2006)(Table 4).

Table 4. The calculated values and constant value (N) in this study at the shrimp farms (S1:50 m away, S2: 15 m away, S3: 15 m away)

Index	H _b (m)	H ₀ (m)	H _s (m)	L _{SB} (m)	L _{SO} (m)	N	dL _d (dB)	TL (dB)	dL _i (dB)
S1	2.0	1.5	0.5	1.0	50	5.1	9.39	15.0	8.34
S2	2.0	1.5	0.5	1.0	15	5.1	9.35	15.0	8.30
S3	2.0	1.5	0.5	1.0	15	5.1	9.35	15.0	8.30

$$\Delta L_i = -10 \log \left(10^{-\frac{\Delta L_d}{10}} + 10^{-\frac{TL}{10}} \right) \quad (5)$$

3. 결 과

3.1 합성소음도 예측

각 공정별 공사 장비 가동으로 인한 합성 소음도는 토공과 포장공사 인근 새우양식장, 축산농가, 일반 민가지역에서 계산 되는 값을 중심으로 살펴봤다. 최소효율(Case A), 일반효율(Case B), 최대효율(Case C)로 구분하여 이격거리별로 소음도를 산출하여 발생한 소음값이 매질별로 기준값을 초과하는지를 살펴봤다. 본 연구에서는 수중소음의 오염도 기준으로 일반적으로 사용되는 140 dB을 임계값으로 택한 뒤 기준 여부를 살펴봤다.

장비를 최소한으로 사용한 경우(Case A)에 육상소음과 수중소음의 소음원값은 각각 79.2 dB, 141.2 dB를 보였다. 이격거리별로 소음 감소치를 추정한 결과 새우양식장이 초 근접한 경우를 제외하고는 경계치 이하를 보였고, 축산농가 및 일반지역에도 경계값 이하로 나타났다. 이 경우 수중 소음 140 dB의 임계거리는 17미터로 나타났으며, 대기 중 소음은 100 m 이내에서는 임계치 이하의 값을 보인다(Table 5).

일반적인 장비사용의 경우에는(Case B) 수중합성소음이 소음원에서 143.3 dB를 나타내어 이격거리 15 m 이하에서는 143.3 dB로 경계치 값을 상회하고 있었고, 이후 50미터를 초과하여 이격된 경우에는 132.9 dB를 보여 기준치 이하를 나타낸다. Case B는 수중 소음의 임계거리가 22 m였다.

장비를 최대한으로 사용하는 경우에(Case C) 소음원의 수중 소음값은 15미터까지 143.9 dB를 나타내어 인접 양식장 지역에서(S2, S3) 피해를 예측할 수 있었고, 임계거리 24 m 이후에는 거리별로 감소추세를 보이고 있어 동측에 위치한 양식장(S1)까지 직접적인 피해를 주장하는 데는 한계가 있다.

Table 5. The calculated value of SPL₀, SPL in Case A, B, C both airborne noise and underwater noise 15 m, 50 m, 100 m, 250 m, 500 m

Index	Material	SPL ₀ (dB)	SPL (dB)				
			15 m	50 m	100 m	250 m	500 m
Case A	Airborne	79.2	79.2	68.8	62.7	54.8	48.8
	Underwater	141.2	141.2	130.8	124.7	116.8	110.8
Case B	Airborne	81.3	81.3	70.9	64.9	56.9	50.9
	Underwater	143.8	143.3	132.9	126.9	118.9	112.9
Case C	Airborne	81.9	81.9	71.5	65.5	57.5	51.5
	Underwater	143.9	143.9	133.5	127.5	119.5	113.5

본 결과에서는 남측과 서측에 인접한 새우양식장은 (S2, S3) 모든 경우에 대해서 임계거리 이내에 위치하고 있어서 저감 대책을 수립하지 않은 상태로 작업을 할 경우에는 새우양식장에 악영향을 미치게 된다. 반면, 동측에 인접한 정점 S1은 임계거리가 최소사용(Case A), 일반사용(Case B), 최대사용(Case C)의 경우 각각의 경우에 대해서 17 m, 22 m, 24 m를 보이고 있어 현재의 기준으로 악영향을 판단하기는 어렵지만, 직간접적인 영향에 대비하여 이에 대한 적절한 저감 대책이 필요하다(Bart et al., 2001; Wysocki et al., 2007). 그리고 S4와 S5는 대기 중 소음이 임계치 이하를 보이고 있어 특별한 저감 방안 마련은 필요치 않다. 참고로, 해역이용협의 시 예측은 공사를 토공과 포장공으로 구분하는 경우가 있으나, 본 연구에서는 구분하지 않고 현실적으로 이용되는 장비조합을 사용했다.

3.2 피해 저감 예측

S1에 가설방음 판넬을 접합한 경우, 최소효율(Case A) 소음원값은 8.34 dB가 감소하여 육상과 수중 소음원값은 각각 70.86 dB, 132.86 dB를 보였다. 그리고 일반효율(Case B)과 최대효율(Case C)을 사용한 경우에 수중소음원값은 각각 132.45 dB, 135.56 dB를 나타낸다. 세 경우 모두 수중소음 임계치인 140 dB 이하를 나타낸다(Table 6).

S2에서 가설방음 판넬 사용 시 Case A, B, C에 대해 수중 소음값이 각각 132.9 dB, 132.5 dB, 135.6 dB로 나타났다. S3에서 동일 실험 시 Case A, B, C의 수중 소음값은 각각 132.9 dB, 132.5 dB, 135.6 dB로 나타났다. 이처럼 모든 경우에 있어 본 연구에서 기준으로 택한 임계값 140 dB 이하를 보였다. 가설방음 판넬을 설치할 경우 새우양식장 사육시설의 환경 목표기준을 만족하는 것으로 나타났다.

Table 6. The calculated value of SPL₀, SPL_{S1}, SPL_{S2}, and SPL_{S3} considered the decreased noise by noise absorbance wall

Index	Material	SPL ₀ (dB)	SPL _{S1} (dB) (dLi:8.34)	SPL _{S2} (dB) (dLi:8.30)	SPL _{S3} (dB) (dLi:8.30)
Case A	Airborne	79.2	70.86	70.9	70.9
	Underwater	141.2	132.86	132.9	132.9
Case B	Airborne	81.3	72.96	73.0	73.0
	Underwater	143.3	132.45	132.5	132.5
Case C	Airborne	81.9	73.56	73.6	73.6
	Underwater	143.9	135.56	135.6	135.6

미국의 경우, 수중소음이 해양포유류에 미치는 영향에 따라 한계값을 설정한 바 있고, 이 경우 *Level B harassment*는 이동, 호흡, 양육, 번식, 먹이 등을 포함한 행동적 변화를 일으킬 수 있는 한계값을 뜻한다. 이 값는 충격소음의 경우 160 dB, 연속소음은 120 dB를 고려하고 있어, 본 연구에서 정한 140 dB와 분명한 차이를 보인다(Buck, 1995; Daly and Harrison, 2012). 이러한 연속소음을 고려하면 각 상황별 임계거리가 보다 뚜렷한 차이를 갖는다. 즉, 120 dB을 한계값으로 설정하여 최저효율(Case A), 일반효율(Case B), 최고효율(Case C)시 한계거리를 계산하면 각각 173 m, 220 m, 235 m에 해당한다(Table 7). 한계값에 차이에 따라 인근 S1, S2, S3도 모두 임계기준값을 넘고 있다. 게다가 본 결과는 특정 공사의 사전신고대상 기계장비 가동에 따른 +5 dB(A)를 고려하지 않은 결과이다.

Table 7. The calculated distance of the noise thresholds from 140 dB and 120 dB

Index	140 dB	120 dB
Case A	17 m	173 m
Case B	22 m	220 m
Case C	24 m	235 m

4. 토 의

4.1 양식특성에 따른 공정관리

해역이용협의 및 영향평가제도는 해양을 이용하는 행위로 인해 예상되는 해양 환경 및 생태계, 그리고 주변양식생물에 미칠 수 있는 영향 요소들을 사전에 검토한다(Lee et al., 2013). 이를 통해 해양환경의 훼손을 막고, 오염 원인의 최소화를 유도하고자 한다. 본 연구에서 나타난 태양광 발전시설 건설 과정에서 발생하는 소음이 인근 새우 양식장에 악영향을 미칠 수 있다는 예측에 근거하여, 이를 사전에 차단하기 위해 방음 판넬을 설치하는 것으로 계획을 수립하고 있다. 하지만, 공사 시 발생하는 소음과 진동을 과학적, 기술적 방법으로 저감시키기 위해서는 ‘건설공사장 소음관리요령’ 등을 준수한 작업이 필요하다(Oh et al., 2010). 예로써, 일출 전과 일몰 후를 포함하는 조석 및 심야시간대와 같이 주변지역이 정온한 시간대에는 소음발생 기준을 엄격히 적용하도록 해야 한다. 이와 관련하여 사업자로 하여금 그 시간대에는 공사를 회피하거나, 작업 강도를 조절하도록 유도하는 지침 안이 마련되어야 할 것이다. 이때 장비 및 차량 이동 시의 소음 발생에 따른 제한 기준을 적용하되, 무리한 과적 운행이나 불필요한 고속운전 등 공회전을 방지해야 한다.

연구지역 인근 새우양식장에서 키워지는 흰다리새우는 성장단계별 적정수온을 갖고 있다(Phillips, 1995; Fast and Lester, 2013). 일반적으로, 종묘장에서 어미새우를 통해 성숙을 유도하는 겨울철을 지나, 순천만 새우양식장에는 4-6월 사이에 순천만 새우양식장에 종묘를 사육지에 입식한다. 그리고 약 120일-180일 동안 양성을 한 뒤, 그해 9-10월에는 시장으로 판매 된다(Hwang and Rhow, 2010). 순천만 주변 해역의 수온 및 염분 특성에 따른 적정 새우 양식 환경을 살펴보면 중간육성 단계의 수온은 18-32도에 해당하며 염도는 33 psu 에서 최적임이 연구된바 있다(Lee and Park, 2006). 이는 순천만 새우양식장에서 본격 육성을 하게 되는 6월부터 10월까지의 월평균 염분이 31.4-33.2 psu를 갖고, 월평균수온은 18-32도를 나타내고 있어 새우 성장에 적합한 범위를 보인다(Fig. 2).

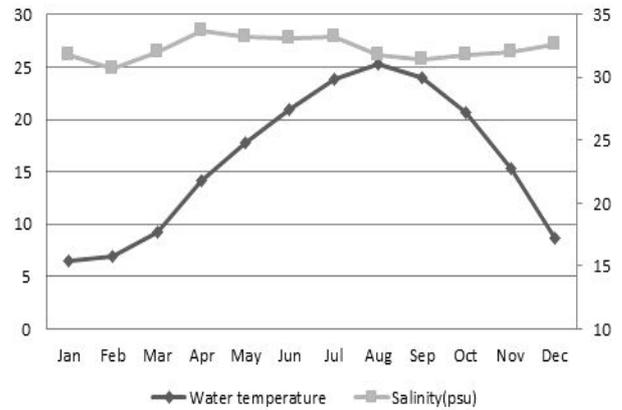


Fig. 2. The observed monthly sea water temperature(left axis, °) and salinity (right axis, psu) in Sunchun Bay.

태양광 공정관리 시 이러한 새우 양식특성을 고려할 필요가 있다. 소규모 환경영향평가대상인 태양광발전소 사업은 최대공정이 3개월을 넘기지 않고 있기에, 가급적 겨울철에 작업을 할 수 있도록 해야 하며, 수확 후 유히지 상태로 놓이는 11월 이후나 성숙을 유도하는 3월 이전에 작업을 하게 되면 어민을 포함한 인근주민과의 불필요한 마찰을 줄일 수 있다. 이처럼 공사 공정에 관련된 사항을 해역이용협의의 시의견제시를 할 필요가 있다.

4.2 제도 보완 및 정비

해양에서 이뤄지는 양식어업의 피해를 예측하기 위한 영향평가는 해황, 수질, 퇴적물 등에 한해서 이뤄져왔다. 2007년부터 해역이용영향평가센터가 전문검토기관으로 해양에서 이뤄지는 개발행위를 검토한 이래 해역 및 양식장 인근에서 이뤄진 태양광발전등은 최근 3년간 43건에 해당하며,

이는 2012년 4건, 2013년 25건, 2014년 14건에 달한다 (Table 8). 환경소음과 관련하여 해역이용협의 및 영향평가의 세부 항목으로 규정되어 있지 못하다. 이에 대해서 검토의견은 부정적인 영향을 최소화할 수 있는 방안에 대해서 원론적이거나 제한적인 범위에서 검토 의견이 제시되고 있다.

Table 8. The annual cases of coastal utilization consultation related to solar plant

Year	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
No.	1	3	3	1	6	4	25	14

우선 소음발생 현황을 파악하기 위해 사업예정지구 내 소음 발생원과 주변 양식장과의 이격거리에 따른 소음 강도, 즉 양식장 내 수중 소음에 대한 정량적인 측정 조사가 선행되어야(Le and Jeon, 2002). 이를 기반으로 소음예측모델을 활용하여 사업시행에 따른 소음영향을 예측한다(Oh et al., 2010). 이러한 결과를 바탕으로 소음목표기준과의 비교 검토를 통해 초과되는 정온시설을 대상으로 저감대책을 수립하고, 면밀한 사후 환경조사를 위한 계획수립이 요구된다 (Table 9).

Table 9. Matrix of noise stress assessment for marine environmental impact assessment

Index	Observation	Prediction	Reduction	Monitoring
Noise	Underwater noise	Synthesized noise	Decreased noise	Underwater noise
	Airborne noise	Noise parameters	Model parameters	Airborne noise
	Noise thresholds	Noise by gear	Efficiency of noise absorption wall	Noise thresholds
Fisheries Gear	Fisheries production	Death rate	Working period	Fisheries features
	Fisheries licenses	Birth rate	Training plan	
	Fisheries features	Reproduction rate		

소음 및 진동과 관련한 환경분쟁이 증가됨에 따라 소음 기준이 신설 및 강화되는 추세이다(Yoon and Go, 2011). 특히,

항공기 소음, 철도소음, 건설공사장 및 교통소음의 기준이 강화되었다. 개발 사업으로 인한 피해보상과 관련하여 가축 피해 및 인체에 미치는 피해기준도 연구를 통해 마련된바 있다(Kim et al., 2010). 하지만, 어류에 영향을 미치는 소음 및 진동 기준은 환경부에서 마련한 수중소음 140 dB/upa를 환경목표기준으로 사용하고 있는 현실이다. 국외에서 적용되고 있는 공사장도 및 생태적 습성을 고려한 평가방법이 더욱 합리적일 수 있으며, 향후 해양에서 측정방법 및 관련 기준을 마련할 필요가 있다. 대부분의 해양양식 어종의 생활사, 생리적 습성, 생식 특성을 고려한 상세 연구에 대해서는 구체적으로 보고된 사례가 미미하며, 환경목표기준이 세분화되어 있지 않다. 게다가, 소음과 진동으로 인한 양식생물의 피해는 정상상태와의 차이가 15-20 dB 이상일 때 발생한다고 알려져 있기에(Ahn et al., 2011), 현황측정 시 인근 양식장 수중 소음값을 확보한 뒤, 예측값과의 차이가 기준 이상으로 나타날 경우 적절한 저감 방안 마련이 필요하다 (Table 8). 그리고 소음 스트레스에 대한 임계치값과 함께 공사로 인해 유발되는 수중소음레벨의 변화에 대해서는 환경영향평가 시 고려되어야 할 사항이다. 연구보고에 의하면 양식어류 종별 특성이 상당히 작용하나 수중소음레벨의 변화정도가 21-30 dB이면 생산율이 10% 이상 감소하며, 변화의 정도가 클수록 감소율도 비례한다(Kim et al., 2012).

최근 고급 어종에 대한 수요 증가뿐만 아니라 해상에서 양식되는 어종이 다양화되고 있으며, 건설공사에 의한 소음 및 진동으로 인한 양식장과 건설 공사장과의 분쟁사건이 급격히 증가하고 있는 추세이다(Eom and Paek, 2009). 건설공사의 소음 및 진동이 인근 양식어업에 미치는 영향과, 이로 인해 발생한 분쟁사건의 신속한 해결과 현실적인 배상기준에 대한 연구도 거의 이뤄지지 않고 있다. 실제로 2011년 제주도 넓치양식장에서 제기한 인근 공사장 소음 및 진동으로 폐사되었다는 환경 분쟁 조정신청이 있었다. 이에 대해, 위원회에서는 「환경정책기본법」 제7조(오염원인자 책임원칙) 및 제44조(환경오염의 피해에 대한 무과실책임)에 따라 환경오염으로 인한 피해의 구제에 소요되는 비용을 부담하는 피해 배상의 책임이 있다고 판결한 바 있다. 하지만, 공사구간에 매우 인접해 있는 넓치 수조에 대해서 일부 배상이 이뤄지는데 그쳤고, 피해를 등이 구체적으로 추정되는 데는 한계가 있을 수밖에 없었다(EDC, 2011).

현실적으로 해양의 소음진동에 대한 연구가 제한적일 수밖에 없고, 소음원이 육상에 위치하고 있기에 육상 소음진동과 수중소음과의 상관도와 관련된 연구도 수행되고 있다. 주로, 육상과 수중의 소음진동을 동시에 측정하여 데이터를 분석하고, 이를 상관도 그래프로 작성하여 수식을 도출하는 실정이다. 이런 연구는 양식 어류의 감각능력 및 행동반경

을 고려하지 못하고 있다. 특히, 수중소음으로 인한 산란을 저하, 성장지연 및 폐사율 등 피해유형 등에 대한 인과관계에 대한 추가 연구가 필요하다.

4.3 효율적 운영 및 사후 관리방안제고

태양광 발전 시설 중 철제 파이프, 지지대, 모듈 등이 습기 뿐만 아니라 바다로부터 불어오는 해풍에 의한 염분 등에 노출되기 쉽다. 공사 및 운영 시 철제 자체 또는 용접부의 부식이 발생할 수 있기에, 구조물의 부식방지 대책이 필요하고 정기적인 유지 및 보수 계획안을 마련해야 한다(Park et al., 2012). 최근 염해로 인한 부식에 대비한 모듈사용을 통해 유지관리감소 및 발전량 증가에 기여할 수 있다. 설비 재질은 스테인리스 또는 아연도금을 사용하여 부식으로 인한 내구연한 감소 방지가 요구된다. 특히, 판넬 내부 염해 유입으로 인한 점점 불량 시에는 발전소의 가동을 즉시 중단할 필요가 있다.

본 태양광발전사업에서는 암반등에서 이뤄지는 발파등이 계획되어 있지 않아 직접적인 피해산정은 이뤄지지 않았다. 공사장비의 진동에 대한 저감 대책으로는 발생원 대책, 전파경로 대책 등으로 구분한다. 진동영향을 최소화하기 위해 저진동 장비 사용, 공정별 투입장비수를 최소한으로 줄여 시행해야 하고, 진동음이 발생이 큰 장비 투입 시 영향 반경 내 지역 주민에게 사전 공지 후 작업을 착수하는 조치가 필요하다.

사후관리조사의 경우, 양식장 인접지역에서 태양광발전 설비건설이 이뤄지는 것과 같이 해양환경피해가 발생할 우려가 있는 사업 및 수산자원피해 우려로 민원이 제기된 사업에 대해서 수행된다. 이에 따른 현지조사 시에는 해양환경영향 저감 방안을 기초로 세부조사표를 작성해야 하고, 중점검토사항으로 수중소음 및 이와 관련된 피해발생여부에 대해서 기록할 필요가 있다. 특히, 사업 수행에 따라 양식장 피해가 우려되거나 피해 발생 시에는 즉시 이행조치를 통해 양식어장의 피해가 발생하지 않도록 지도를 강화할 필요가 있다.

5. 결론

최근 건설되는 폐염전과 양식장 주변의 태양광 발전 설비와 양식장간의 이격거리가 충분하지 못함으로써 이해 당사자 간의 갈등 발생요인이 나타나고 있다. 특히, 발전소 건설 중 소음 및 진동으로 인한 양식 생물의 피해 사례가 보고되고 있다. 본 연구에서 순천만 일대 새우 양식장 부근에서 이뤄지는 태양광 발전에 따른 소음영향평가방법을 살펴봤다. 순천만 폐양식장에 태양광 발전시설이 설치되는 경우, 임계

거리 17미터 이내에 위치하는 새우양식장은 소음에 대한 저감 대책을 수립하지 않은 상태로 작업할 경우에는 악영향이 나타날 수 있다. 태양광시설의 개발행위에 따른 해역이용협의 시 필요한 현황 조사, 영향 예측, 저감 방안의 내용을 사례를 통해 살펴봤고, 합리적인 저감 방안을 계산했다. 건설 장비에서 발생하는 대기 소음이 수중으로 전파될 경우, 보다 합리적인 계산을 통해 수중 소음도 예측과 함께 주변 양식장에 미치는 누적 영향에 대한 심도 있는 평가 및 대책 수립이 필요하다. 더 나아가 양식장과의 이격거리 및 수산생물의 어종별 특성을 고려한 세부 수중 소음 및 진동 스트레스에 대한 기준안이 마련되어야 한다.

사사의 글

이 연구는 국립수산과학원의 “어장환경모니터링(RP-2015-ME-014)”과제의 일환으로 수행되었습니다. 연구자료를 확보하고 분석하는데 도움을 준 수과원 해역이용영향평가센터 연구진에게 감사드립니다.

References

- [1] Ahn, B. K., Y. J. Go, W. Rhee, J. S. Choi and C. S. Lee(2011), “Localization of Underwater Noise Sources Using TDOA (Time Difference of Arrival) Method”, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 48(2), pp. 121-127.
- [2] Anderson, P. A., I. K. Berzins, F. Fogarty, H. J. Hamlin and L. J. Guillette(2011), “Sound, Stress, and Seahorses: The Consequences of a Noisy Environment to Animal Health”, Aquaculture, 311(1), pp. 129-138.
- [3] Bart, A. N., J. Clark, J. Young and Y. Zohar(2001), “Underwater Ambient Noise Measurements in Aquaculture Systems: A Survey”, Aquacultural Engineering, 25(2), pp. 99-110.
- [4] Buck, E. H.(1995), “Acoustic Thermometry of Ocean Climate: Marine Mammal Issues”, In DTIC Document.
- [5] Byun, J. H., Y. J. Kim, Y. J. Kang, K. T. Kang, O. J. Kwon and J. C. Hong(2008), “The Mathematical Model on Crosstalk Effect of Airborne Noise Sources and Verification Based on Comparison between Transfer Path Analysis Methods”, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, 18(9), pp. 943-951.
- [6] Choung, T. R., Y. M. Park, J. H. Son, M. H. Cho, W. K. Hong and J. U. Song(2012), “A Study on Review of the Current Noise Impact Assessment for the Power Plant”,

- Korean Society of Environmental Impact Assessment, 21(6), pp. 941-949.
- [7] Daly, J. N. and J. Harrison(2012), "The Marine Mammal Protection Act: A Regulatory Approach to Identifying and Minimizing Acoustic-Related Impacts on Marine Mammals", In *The Effects of Noise on Aquatic Life*, pp. 537-539.
- [8] Davidson, J., J. Bebak and P. Mazik(2009), "The Effects of Aquaculture Production Noise on the Growth, Condition Factor, Feed Conversion, and Survival of Rainbow Trout, *Oncorhynchus Mykiss*", *Aquaculture*, 288(3), pp. 337-343.
- [9] Dickens, P., J. Smith and J. Wolfe(2007), "Improved precision in measurements of acoustic impedance spectra using resonance-free calibration loads and controlled error distribution", *Acoustical Society of America*, 121(3), pp. 1471-1481.
- [10] EDC(2011), "The Commission for Environment Dispute : Noise and Wave", <http://edc.me.go.kr>.
- [11] Eo, J. H. and H. H. Yoo(2012), "Characteristic Analysis of Urban Traffic Noise in Officially Notified Land Price Evaluation", *Journal of Korean Society for Geospatial Information System*, 20(1), pp. 101-107.
- [12] Eom, C. S. and J. H. Paek(2009), "Risk Index Model for Minimizing Environmental Disputes in Construction", *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(1), pp. 34-41.
- [13] Fast, A. W. and L. J. Lester(2013), *Marine Shrimp Culture: Principles and Practices*.
- [14] Hawkins, A. D. and A. N. Popper(2012), *The Effects of Noise on Aquatic Life*, Springer.
- [15] Hwang, K. I.(2012), "Measurement of Electric Power Consumption of Residences in Southeastern Fishing Village of Korea" *Journal of Korean Navigation and Port Research*, 36(6), pp. 501-506.
- [16] Hwang, S. D. and J. G. Rhow(2010), "Seasonal Variation in Species Composition of Estuarine Fauna Collected by a Stow Net in the Han River Estuary on the Mid-Western Coast of Korea", *The Sea*, 15(2), pp. 72-85.
- [17] Jang, C. H.(1996), "The Standard Explanation of Noise and Vibration during Construction", *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, 44(11), pp. 43-49.
- [18] Kim, G. Y., D. I. Lee, K. A. Jeon, K. H. Eom and Y. S. Woo(2009), "Diagnosis for Review of Statement and System Improvement of Consultation on the Coastal Area Utilization in Korea", *Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety*, 15(4), pp. 345-354.
- [19] Kim, S. C., K. S. Park and K. W. Kim(2010), "The Study on Affecting Subject Accomplishment by Noise", *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 29(1), pp. 121-128.
- [20] Kim, S. Y., S. H. Lee and J. O. Kim(2012a), "The Economic Evaluation of Renewable Energy Penetration Based on Grid Parity According to the Ratio of DC Power Supply", *The Transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers*, 61(1), pp. 16-21.
- [21] Kim, G. Y., D. I. Lee, K. A. Jeon, K. H. Eom and J. Yu(2012b), "Improvement for Marine Environmental Impact Assessment on the Development of Offshore Wind Power", *Journal of Environmental Impact Assessment*, 21(1), pp. 1-13.
- [22] Kweon, D. J., K. S. Koo and W. R. Lee(2009), "Development of the Soundproof Enclosure for Power Transformers", *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, 23(10), pp. 107-114.
- [23] Lee, B. K. and J. Y. Jeon(2002), "Evaluating the Vibrational Characteristics of Floor Impact Noise in Different Structural Elements of an Apartment House", *Korean Journal of Noise and Vibration Engineering*, pp. 351-351.
- [24] Lee, D. I., K. H. Eom and G. Y. Kim(2013), "An Effective Environmental Assessment for the Simple Statement of the Sea Area Utilization Consultation System", *Journal of Environmental Impact Assessment*, 22(3), pp. 255-264.
- [25] Lee, D. I., G. Y. Kim, K. A. Jeon, K. H. Eom, J. Yu, Y. T. Kim, J. H. Moon and M. J. Kam(2011), "An Application Status and Consideration of System Improvement on the Sea Area Utilization Conference and Impact Assessment", *Journal of the Korean Society for Marine Environment & Energy*, 14(4), pp. 239-248.
- [26] Lee, J. G., J. H. Yu, H. J. Kim and T. S. Jang(2012), "Trend in Research and Development Related to Motors and Permanent Magnets for Solving Rare-Earth Resources Problem", *Journal of the Korean Magnetics Society*, 22(2), pp. 58-65.
- [27] Lee, M. O. and I. H. Park(2006), "Physical Marine Environment at the North of Wando and Gogeuindo Receiving the Effluents from Land", *Journal of Environmental Science International*, 15(1), pp. 45-58.
- [28] Lim, D. K., Y. C. Shin, Y. B. Jun(2010), "A Study on the Establishment of Management Criteria for Underwater Noise", *Journal of Korean Society of Explosive and Blasting Engineering*, 28(2), pp. 119-132.

- [29] Liu, C., B. J. Ahn and S. K. Song(2013), "Development of Fence Design Using Augmented Reality: Case of the Construction Site, Geology Palace, Jilin University in China", *The Journal of the Korea Contents Association*, 13(10), pp. 82-91.
- [30] Nam, S. W. and D. S. Kim(2008), "A Study on Application of New & Renewable Energy for Environmental-Friendly Planning of Rural Villages-Analysis of Solar Energy Resources", *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers*, 50(3), pp. 105-112.
- [31] Oh, K. T., J. M. Ahn, J. S. Jeong, I. S. Jung and C. S. Lee(2010), "Checklist of Design Phase for Reducing the Noise and Vibration Occurring in Construction", *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, 11(3), pp. 55-63.
- [32] Park, J. W., M. J. Chae, G. Lee and M. Y. Cho(2012), "Test-Bed Development for Long-Term Monitoring of Small Bridge Asset Management", *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, 13(6), pp. 13-23.
- [33] Phillips, M. J.(1995), "Shrimp Culture and the Environment", In *Seminar-Workshop on Aquaculture Development in Southeast Asia*, Iloilo City, Philippines, 26-28 July, 1994, pp. 37-62. Aquaculture Department, Southeast Asian Fisheries Development Center.
- [34] Richardson, W. J., C. R. Greene Jr., C. I. Malme and D. H. Thomson(2013), *Marine Mammals and Noise*, Academic press. pp. 241-245.
- [35] Ross, D.(2013), *Mechanics of Underwater Noise*, Elsevier, pp. 5-15.
- [36] Scholik, A. R. and H. Y. Yan(2001), "Effects of Underwater Noise on Auditory Sensitivity of a Cyprinid Fish", *Hearing Research*, 152(1), pp. 17-24.
- [37] Shin, D. Y., Y. W. Park and H. J. Cha(2008), "A Case Study on Malfunction of OCGR and Inaccuracy of Watt-Hour Meter in Distributed Generation System", *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, 57(8), pp. 1349-1355.
- [38] Simmonds, M., S. Dolman and L. Weilgart(2004), "Oceans of Noise: A WDCS Science Report", *Whale and Dolphin Conservation Society*, pp. 23-36.
- [39] Slabbekoorn, H., N. Bouton, I. van Opzeeland, A. Coers, C. ten Cate and A. N. Popper(2010), "A Noisy Spring: The Impact of Globally Rising Underwater Sound Levels on Fish", *Trends in Ecology & Evolution*, 25(7), pp. 419-427.
- [40] Song, J. H., J. H. Yoon, Y. S. An, S. G. Kim, S. J. Lee and Y. K. Choung(2008), "Power Performance Characteristics of Transparent Thin-Film BIPV Module Depending on an Installation Angle", *Journal of the Korean Solar Energy Society*, 28(2), pp. 58-63.
- [41] Tessendorf, J.(2001), "Simulating Ocean Water", *Simulating Nature: Realistic and Interactive Techniques. SIGGRAPH*, 1(2), p. 5.
- [42] Vasconcelos, R. O., M. Clara P. Amorim and F. Ladich(2007), "Effects of Ship Noise on the Detectability of Communication Signals in the Lusitanian Toadfish", *Journal of Experimental Biology*, 210(12), pp. 2104-2112.
- [43] Wilcock, W. S. D., K. M. Stafford, R. K. Andrew and R. I. Odom(2014), "Sounds in the Ocean at 1-100 Hz", *Annual Review of Marine Science*, 6, pp. 117-140.
- [44] Wright, A. J., N. A. Soto, A. L. Baldwin, M. Bateson, C. M. Beale, C. Clark, T. Deak and et al.(2007), "Do Marine Mammals Experience Stress Related to Anthropogenic Noise?", *International Journal of Comparative Psychology*, 20(2), pp. 1-14.
- [45] Wysocki, L. E., J. W. Davidson, M. E. Smith, A. S. Frankel, W. T. Ellison, P. M. Mazik, A. N. Popper and J. Bebak(2007), "Effects of Aquaculture Production Noise on Hearing, Growth, and Disease Resistance of Rainbow Trout *Oncorhynchus Mykiss*", *Aquaculture*, 272(1), pp. 687-697.
- [46] Yoon, W. S. and S. S. Go(2011), "A Study on the Construction Cost Risk through Analyzing the Actual Cost of Public Apartment", *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, 12(6), pp. 65-78.
- [47] Yoon, J. W, Y. C. Kim, H. M. Kang, T. S. Jang and K. J. Lee(2006), "A Stud of Operation of Noise Wall and Management", *Korean Journal of Noise and Vibration Engineering*, pp. 335-338.

Received : 2015. 03. 16.

Revised : 2015. 04. 16. (1st)

: 2015. 04. 24. (2nd)

Accepted : 2015. 04. 27.