

## 발전소 온배수에 의한 해양물리학적 평가기법 개선방안 연구

김명원<sup>\*,\*\*</sup> · 조광우<sup>\*\*</sup> · 맹준호<sup>\*\*</sup> · 강태순<sup>\*\*\*</sup> · 김종규<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup> 전남대학교 해양공학과  
<sup>\*\*</sup> 한국환경정책·평가연구원  
<sup>\*\*\*</sup> (주)지오시스템리서치

# Improvement Plan of Ocean Physics Assessment Technique for Power Plant Thermal Effluent

Myeong-Won Kim<sup>\*,\*\*</sup>, Gwang-Woo Jo<sup>\*\*</sup>, Jun-Ho Maeng<sup>\*\*</sup>, Tae-Soon Kang<sup>\*\*\*</sup>, Jongkyu Kim<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>Department of Ocean Engineering, Chonnam National University, Yeosu, Korea

<sup>\*\*</sup>Korea Environment Institute, Seoul, Korea

<sup>\*\*\*</sup>GeoSystem Research Corp, Gunpo, Korea

**KEY WORDS:** Environmental impact assessment 환경영향평가, Power plants 발전소, Thermal effluent 온배수, Diffusion areas 확산역

**ABSTRACT:** This research analyzed the current situation and problems with an environmental impact assessment to provide a rational ocean physics assessment technique for power plant thermal effluent. This research also tried to create an improvement plan for heated effluent diffusion impact assessment by examining the reporting regulations for environmental impact assessment, national and international evaluation guidelines, etc. In the case of evaluating the oceanographic impact of heated effluent discharged from power plants, a pre-investigation is necessary before a full-scale presentence investigation, to accurately predict and minimize power plant construction effects on the surrounding environments. Before this presentence investigation, moreover, an integrated presentence plan, which agrees with the business plan, effect prediction, and post-investigation, needs to be established. A sufficient summit investigation must be made, which considers climate changes, and new and additional power plant construction. For accurate long-term oceanic environmental change prediction, the credibility of effect prediction must be elevated by presenting an evaluation method that is categorized by numerical organization models, verification methods, result presentation, and other things. Furthermore, unproductive conflicts between the people involved in heated effluent evaluation should be reduced by these improvement plans.

### 1. 서 론

우리나라 연안해역은 산업사회의 급성장에 따라 부족한 자원과 공간을 확보하기 위해 무분별한 인공구조물 및 각종 매립공사로 인해 발생하는 오염물질 유입, 그리고 입해 발전소로부터 방류되는 온배수로 인하여 생태계 변화가 야기되고 있다. 이와 같은 심각한 해양환경 변화에 대하여 많은 연구자들이 연안해역의 해수유동 및 수질환경 변화를 규명하기 위해 활발한 연구가 이루어지고 있다. 특히, 연안으로 유입되는 대량의 담수와 온배수가 연안해역의 해양환경에 미치는 영향을 정확히 파악하기 위한 조사방법, 수치모형실험을 통한 예측방법에 대한 연구가 지속되어 왔다(Kim, 2006).

연안해역의 해수유동은 조석에 의한 조류, 외양역을 흐르는

해류, 하천 유출수, 밀도류, 바람에 의한 취송류 등에 의해 지배되며 복잡한 해안선 및 해저지형 등에 의하여 비정상적인 유동 특성을 나타낸다. 특히 해수와 담수가 교차하는 해역은 밀도차에 의한 성층화 현상이 해수유동과 해수중의 염분과 오염물질 등의 이동과 확산에 중요한 역할을 한다. 담수가 유입되는 연안해역은 고염수의 주위수 속에 저염수인 담수가 확산되는 동역학적인 구조인 하천 플룸의 거동에 대한 이해가 요구되며, 하천 플룸은 방출수의 운동량과 부력, Coriolis force, 지형, 조석, 바람 등의 복잡한 영향을 받는다(Kim, 2006).

연안해역으로 유입되는 대량의 방류수중 하나인 온배수는 발전설비 냉각 등의 목적으로 사용한 후 주변해역의 수온보다 높은 상태에서 배수구를 통하여 다시 방류되는 유출수를 의미한다. 이러한 온배수는 주변해역에 방류되어 확산, 이류 등의 과

Received 25 March 2014, revised 16 May 2014, accepted 22 May 2014

Corresponding author Jongkyu Kim: +82-61-659-7155, kimjk@chonnam.ac.kr

© 2014, The Korean Society of Ocean Engineers

정을 거치면서 희석되는데, 일정 부분은 주변해역의 수온을 상승시키는 데 기여하고 있어 이 부분이 해양환경에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(KHNPC, 2012).

이러한 온배수는 주변해역의 물리적 특성을 변화시킬 뿐만 아니라 해수의 열 균형을 파괴시켜 주변 환경 및 생태계에 부정적인 영향을 초래하며, 발전소의 가동 중단 시 갑자기 수온을 떨어뜨려 해양생물에 막대한 피해를 유발할 수 있다. 또한 한번 순환된 온배수를 다시 취수하는 경우 상승한 온도로 인해 냉각기능의 부진을 초래하기도 한다(KHNPC, 2006b). 이러한 이유로 온배수로 인한 발전소 취·배수구 주변해역의 수온공간분포 및 연직구조 변화, 수질변화, 생태계변화는 끊임없는 민원발생을 야기하고 있으며, 더욱이 어민피해 보상으로 소요되는 사회적·경제적 손실은 매우 크다 할 수 있다.

따라서 발전소 건설 시 온배수 배출로 인한 주변 해양의 영향에 대하여 환경영향평가 등의 관련된 조사가 수행되어 왔다. 그동안 대부분의 환경영향평가는 온배수에 의한 수온분포변화 산정, 수온변화에 따른 생태환경변화 산정 및 이에 따른 환경영향을 평가하였으며, 그중 수온분포 변화의 산정이 가장 기본적인 판단 요소로 작용되어 왔다. 즉 해수특성을 나타내는 수온과 수온분포를 결정짓는 해수유동의 조사와 해석이 가장 필수적인 항목에 포함되어 있다.

이러한 조사와 영향평가에도 불구하고 최종결과에 따른 이의제기와 민원이 지속되고 있는 실정이다. 또한 신규 발전소 건설 및 기존호기 계속운전 등과 관련하여 환경영향평가, 해역이용협의 시 온배수 영향범위 산출과 관련하여 검토기관의 지속적인 보완 요구 등이 제기되고 있는 실정이다(KHNPC, 2012). 이러한 상황의 가장 큰 이유는 조사, 예측방법에 대한 평가기법이 정립되어있지 않아 연구자들의 결과에 대한 객관성을 뒷받침할 근거가 부족하기 때문이다. 이는 관측자료에 대한 사항뿐만 아니라, 온배수 확산예측 모델링의 과정과 결과 해석의 과정도 마찬가지다.

우리나라의 발전시설은 계속적으로 증가하고 있으며, 국가 에너지 수급정책과 관련하여 이러한 경향은 앞으로도 지속될 것이다. 결과적으로 향후 신규 발전시설 건설에 따른 온배수 영향에 의한 환경영향평가 등 검토기관의 인허가와 관련하여 조사, 예측 평가가 계속 필요할 것이며, 객관적인 조사지침에 근거하지 않은 조사, 예측, 평가는 과거의 사례에서 보듯이 이의제기, 민원발생, 검토기관의 보완요구가 지속될 것으로 예상된다.

본 연구에서는 연안해역으로 방류되는 발전소 온배수 배출로 인한 확산범위를 객관적이고 과학적인 방법을 통하여 산정하기 위해 객관적 평가기법 및 개선방안을 마련하는 것을 목적으로 하고 있으며, 객관적 지침에 의한 온배수 확산 예측평가는 이해당사자 간의 비생산적인 논쟁을 피하여 시간적·경제적 낭비를 최소화할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 연구목적 및 필요성

연안해역으로 유입되는 온배수로 인한 주변해역의 수온변화는 환경영향평가의 중점평가대상으로 과거에는 사용 수치모델

과 주관적인 검증방법 등에 따라 결과의 불확실성이 높아 이해당사자 간에 논쟁의 빌미를 제공하여 왔다(KHNPC, 2012). 따라서 온배수 예측평가에 대한 보다 개선된 과학적이고 객관적인 결과의 제시가 요구되는 시점이다.

온배수는 주변 수역과 동식물상에 심각한 문제를 초래하고 있으며, 배수관 주변의 Fouling effect 제어를 위해 처리하는 Chloride 성분의 해수 중 유출에 의한 해양생물의 영향 및 오염현황 조사의 필요성이 대두되고 있다. 이러한 피해영향에 미치는 몇 가지 물리적 성질을 내포하고 있다. 첫째 방류된 온배수는 주변 수역의 온도를 변화시키고, 배출시 바닥에서의 강한 제트류로 인하여 배출구 주변의 해수흐름을 변화시킬 수 있다. 이에 따라 배출구 주변의 와류(Eddy)형태의 복잡한 해수흐름은 해저면 변화 특히, 배수구 주변의 심각한 수중침식을 유발하기 때문이다. 둘째 온배수는 주변해역에 비해 밀도가 낮아 배출된 후에 부력이 증가하여 열적 성층(Thermal stratification)과 때로는 화학 성층(Chemical stratification)을 일으켜 수역 깊은 곳에서 자연적인 밀도에 의하여 유발되는 물의 흐름을 변화시킬 수 있다. 이러한 모든 변화의 정도는 발전시설의 설계와 가동 그리고 주변 수역의 수문학적 및 지리적 성질 등 다양한 요인들에 의하여 좌우된다(KHNPC, 2012).

온배수 확산예측 수단으로 사용되는 수치모델은 각기 고유한 방정식과 수치해석 방법을 사용함으로써 서로 다른 예측결과를 도출해 낼 가능성이 있으며, 동일한 모델이라 하더라도 입력자료나 모델의 구성 및 검증방법 등에 따라 결과가 상이할 수 있어 그동안 이해당사자 간에 논쟁의 빌미를 제공하여 왔을 뿐만 아니라, 복잡한 수치모델의 사용으로 신뢰성 검증에 있어 전문가를 제외한 인허가 기관이나 제3자의 검토가 사실상 어려운 실정이다. 또한 발전시설에서 배출되는 온배수 확산예측에 관한 모델구성 및 검증방안이 정립되지 않아 발전소 건설을 위한 평가 시마다 관련사항에 대한 보완요구가 계속되고 있다.

온배수 영향조사의 경우 수온분포의 조사만을 본다면 충분한 수량의 수온 관측기기를 이용하여 연속적으로 감시하는 것이 수온분포변화 파악의 좋은 방법이지만, 이는 경제적인 측면을 고려할 때 실현가능한 방법이 아닌 것으로 사료된다.

과거에는 조사 또는 온배수 수치모델링 단독으로 온배수 영향조사를 실시하였으나, 최근에는 조사와 수치모델링을 서로 결합하여 보다 종합적인 방법을 통해 온배수 영향조사를 실시하고 있다. 하지만 객관화된 평가기법이 없어 연구결과에 대한 객관성이 부족한 실정이다.

본 연구에서는 발전소 온배수 영향조사 과정상 문제점을 평가하고 그에 따른 대안으로서 온배수 영향조사의 객관적 평가기법을 제시하여 관측과 온배수 수치모델링을 상호 보완하여 보다 과학적이고 객관적인 해양환경영향 평가기법을 도출하고자 한다.

## 3. 현황 및 문제점

환경영향평가의 목적은 다양한 개발사업이 환경에 미치는 영향을 사업시행 이전에 예측·평가하여, 개발행위가 환경에 미

치는 악영향을 최소화하기 위한 저감방안을 마련하는 것이라 할 수 있다. 환경영향평가는 현황조사, 영향예측·평가, 저감방안 수립, 사후관리의 구성요소로 되어 있으며 이들 요소의 제과정은 상호·유기적으로 연계되어 있다. 이들 요소들의 유기적인 연계성이 합리적으로 이루어지지 않은 경우 환경평가가 의도하는 목적을 달성하지 못하는 경우가 많다.

더불어 환경영향평가 단계에서 개발사업에 따른 환경적 현황 조사가 구체적으로 이루어지고 과학적인 영향예측을 통해 실효성 있는 저감방안을 수립한다 하더라도, 이것이 개발사업의 공사 시 혹은 운영 시 적절히 반영될 수 있도록 점검하고 관리를 하지 않으면 환경영향평가의 실효성 및 전문성은 저하될 수밖에 없다. 이에 따라 환경영향평가 협의 시 제시된 환경영향에 대한 예측 및 저감방안 수립이 적절하게 이루어졌는지를 파악하고 공사 시와 운영 시 발생할 수 있는 예상치 못한 환경피해 방지를 위한 사후관리 대책이 필수적이라 할 수 있다.

본 연구와 같이 인위적 개발로 인한 간섭이 해양환경에 미치는 영향을 평가하는 작업은 해양의 자연 변동성과 관련 지식 및 정보 부족 등으로 어려운 과제이다. 그러나 기존의 지식과 경험이 축약되어 있는 환경평가과정을 조사·분석하는 것은 평가기법 도출을 위한 출발점이라 할 수 있다.

본 절에서는 기존 환경영향평가서 현황을 정리한 후 평가기법 정립을 위한 문제점을 정리하였다.

3.1 평가서별 현황

연안 방류수(온배수) 유입 평가와 관련된 기존 10개 환경영향평가서별 현황을 검토하여 평가서별 조사항목을 포함한 세부항

목에 대한 현황을 파악하였다(Table 1).

기존 평가서의 해양물리분야에 대한 조사내용과 해수유동 및 온배수 확산 수치모델링의 내용에 대하여 상호 비교·검토하고 각 분야별 문제점을 파악하여 평가기법에 대한 개선방안을 도출하고자 한다.

3.1.1 해양물리분야 조사 현황

해양물리분야 조사는 조석, 조류, 수온, 염분, 해양저질(침·퇴적 분야), 부표추적, 인공위성 관측, 파랑관측으로 구분하여 항목별 현황을 정리하였다(Table 2). 그 결과 조석관측은 2개 평가서를 제외한 8개 평가서에서 1개 정점 이상 조위관측을 하였으며, 관측이 되지 않은 평가서는 기존자료를 인용하여 대상해역의 조석특성 및 수치모형실험의 검증자료로 활용하였다.

조류관측은 단기 또는 장기관측으로 구분하여 조사를 하였으며, 1개 정점 이상에서 관측이 수행되었다.

대상해역의 조류특성을 정확히 분석하기 위해서는 4계절 층별 장기관측이 병행되어야 하나, 2개 평가서에서는 단기관측 또는 일정 수심에 유속계를 계류하여 1개층에서 관측이 수행되었다.

연속수온관측은 단기 또는 장기관측으로 구분하여 조사를 하였다. 연속수온 관측은 대상해역의 계절특성을 고려할 수 있도록 4계절 관측 및 층별 장기관측이 병행되어야 하나, 1개 평가서에서는 관측이 수행되지 않았으며, 관측된 자료는 대상해역의 수온분포 특성 및 온배수 확산 수치모형실험의 검증자료로 사용되었다.

공간수온·염분관측은 비교현황에 제시한 평가서 모두 넓은 해역에 걸쳐 20개 정점 이상에서 공간관측을 수행하였으며, 4개

Table 1 Contents of environmental impact assessment reports

No.	Environmental Impact Assessment Report	Project Implementation Period	Year of Publication	Client
1	Construction of 1, 2 Units in Shingori Nuclear Power Plant(KHNPC, 2002a)	2001 ~ 2002	2002.2	Korea Hydro & Nuclear Power Co.
2	Construction of 3, 4 Units in Shingori Nuclear Power Plant(KHNPC, 2006a)	2004 ~ 2005	2006.7	
3	Construction of 1, 2 Units in Shinuljin Nuclear Power Plant(KHNPC, 2008)	2006 ~ 2007	2008.2	
4	Construction of 1, 2 Units in Shinweolsung Nuclear Power Plant(KHNPC, 2002b)	2001	2002.9	Korea South Power Co.
5	Construction of 5, 6 Units in Youngkwang Nuclear Power Plant(KSPC, 1994)	1991 ~ 1992	1994.11	
6	Construction of 5, 6 Units in Youngheung Thermal Power Plant(KSEPC, 2009)	2007	2009.4	Korea South-East Power Co.
7	Construction of Combined Cycle 5, 6 Units In Posco-Power Plant(PPC, 2007)	2006	2007.11	Posco-Power
8	Construction of 7, 8 Units in Hadong Thermal Power Plant(KSPC, 2003)	2002	2003.11	Korea South Power Co.
9	Construction of Combined Cycle 3, 4 Units In GS BuGok(GS EPSC, 2007)	2007	2007.12	GS EPS
10	Construction of 9, 10 Units in Dangjin Thermal Power Plant(KEWPC, 2008)	2007	2008	Korea East-West Power Co.

**Table 2** Status of marine research compared of environmental impact assessment reports

Item			①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	
O c c e a n  p h y s i c a l	Tide(30day)		1 (4)	1 (4)	2 (4)	-	2 (1)	4 (1)	-	1 (1)	1 (1)	3 (2)	
	Tidal current	Short term	Surface	-	-	-	-	-	2 (4)	-	-	-	-
			Differential	1 (4)	-	-	-	-	-	2 (4)	1 (2)	-	-
	Long term	Surface	1 (4)	3 (4)	3 (4)	3 (3)	2 (2)	-	-	-	1 (2)	1 (1)	2 (3)
			Differential	-	2 (4)	3 (4)	2 (4)	-	-	-	-	1 (1)	-
	Temperature	Consec utively	Short term	Surface	-	-	-	2 (1)	4 (1)	-	8 (2)	1 (2)	-
				Differential	-	-	-	-	2 (1)	-	-	-	-
		Long term	Surface	1 (4)	3 (4)	3 (4)	-	-	-	1 (4)	-	-	4 (2)
				Differential	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Salinity	Spatial (Sur/Mid/Bot)	Flood	47 (4)	40 (4)	66 (4)	40 (4)	5 (2)	42 (4)	30 (4)	20 (2)	39 (1)	25 (2)
			Ebb	47 (4)	40 (4)	66 (4)	40 (4)	5 (2)	42 (4)	30 (4)	20 (2)	39 (1)	25 (2)
		Spatial (Sur/Mid/Bot)	Flood	47 (4)	40 (4)	66 (4)	40 (4)	5 (2)	42 (4)	30 (4)	20 (2)	39 (1)	25 (2)
			Ebb	47 (4)	40 (4)	66 (4)	40 (4)	5 (2)	42 (4)	30 (4)	20 (2)	39 (1)	25 (2)
	Sediment		14 (5)	20 (4)	11 (4)	22 (4)	15 (4)	17 (3)	-	10 (4)	19 (1)	13 (4)	
Buoy tracking		2 (2)	1 (4)	-	3 (2)	1 (2)	1 (4)	-	-	3 (2)	3 (1)		
Satellite photograph		-	2	1	-	2	2	-	-	-	-		
Wave		-	-	-	1 (2)	-	2 (1)	-	-	-	-		

※ short-term : less than 15days, long-term : more than 15days, ( ) : for seasons, layer : surface/middle/bottom

평가서를 제외한 모든 평가서에서 계절특성을 고려한 4계절 관측이 수행되었다.

해양저질 관측은 대상해역을 중심으로 10개 이상의 정점에서 평가서 작성 시 조사가 수행되었으며, 부표추적관측은 일부 평가서를 제외한 7개 평가서에서 1개 정점 이상 조사를 실시하였다.

항공사진 및 인공위성 영상분석은 3개 평가서 작성시 수행되었으며, 분석된 자료는 온배수 확산실험 시 특정 조사의 공간분포 결과와 비교/검토 자료로 활용되었다.

파랑관측은 대상해역의 파랑전파 특성을 분석하기 위해 관측되었으나, 2개 평가서를 제외한 대부분의 평가서에서는 파랑관측은 수행되지 않았다.

**3.1.2 수치모델 평가 현황**

수치모델은 10개 평가서에 제시된 내용을 모델구성, 실험조건, 모델검증, 결과제시로 구분하여 각 항목별 세부내용을 정리하였다.

모델구성은 각 평가서별 사용모델, 계산영역, 계산시간, 시간

간격, 실험안, 격자체계로 구분하여 비교하였다. 평가서별 사용모델은 사업유형 및 대상해역에 따라 다르나, 일반적으로 VIMS(Virginia institute of marine science)에서 개발한 EFDC (Environmental fluid dynamic computer code)를 가장 많이 사용하였다. 각 평가서별 실험안은 1개 평가서를 제외한 모든 평가서에서 대상해역의 계절특성을 고려한 4계절 실험을 수행하였다.

실험조건은 각 평가서별 경계조건, 초기조건, 해양-대기 열교환으로 구분하여 비교·검토하였다. 해수위 경계조건은 조석조화상수 또는 해수위 시계열로 구분되며, 1개 평가서를 제외한 9개 평가서에서 조석조화상수를 경계자료로 사용하였다. 수온 경계조건은 평균수온 또는 관측수온 시계열로 구분되어지며, 연속수온관측 시계열 자료 유무에 따라 시계열 자료 또는 평균수온 자료를 경계자료로 사용하였다. 하천경계조건은 대상해역의 하천유입으로 해양환경에 영향을 주는 경우 하천유량을 시계열 조건으로 입력하였다. 수치모델 실험 시 초기조건은 해수위, 수온, 염분 조건으로 구분되며, 일부 평가서를 제외한 비교

대상 평가서 모두 해수위와 수온을 초기조건으로 고려하였다.

모델검증은 3개(해수위, 해조류, 수온) 항목으로 구분하여 각 항목별 검증방법을 세부적으로 구분하여 비교하였다. 해수위 검증은 일반적으로 관측자료와 모델자료의 조석조화상수 또는 분석된 조화상수를 재합성하여 시계열로 비교하는 방법이 있으며, 일부 평가서를 제외한 비교대상 평가서 모두 시계열 검증과정을 수행하였다. 해조류 검증은 해수위 검증과 마찬가지로 조석조화상수 또는 분석된 조화상수를 재합성하여 시계열로 비교하는 방법이 있으며, 대상해역이 해류의 영향을 크게 받을 경우 잔차류 크기를 비교 검토해야 한다. 일부 평가서를 제외한 비교대상 평가서 모두 층별 또는 표층 시계열 검증과정을 수행하였으며, 잔차류 검증을 일부 평가서에서만 검증과정을 수행하였다. 수온검증은 연속관측 시계열 자료 검증 및 특정 조시에 수온 공간분포를 검증하는 방법이 있으며, 항공기 또는 인공위성 관측자료 유무에 따라 수치모델 결과와 비교 검토하는 방법이 있다. 비교대상 평가서 중 관측자료의 유무에 따라 시계열 또는 인공위성 관측자료와 비교·검증 과정을 수행하였다.

결과제시는 해수유동, 온배수 확산실험으로 구분하여 각 항목별 결과제시 방법을 세부화하여 비교하였다. 해수유동 결과는 조위분포, 유속벡터, 최강유속분포, 유속변화, 잔차류 벡터로 구분할 수 있으며, 대상해역의 특성에 따라 해수유동 결과를 다르게 나타내고 있다. 온배수 확산결과는 최대확산범위, 조시별 확산범위, 초과수온기준으로 구분할 수 있으며, 대상해역의 특성 및 실험안에 따라 실험결과를 다르게 나타내고 있다.

3.2 문제점

10개 비교대상 평가서 현황분석 내용 및 보완내용을 토대로 환경영향평가서 문제점을 분석하고 분석된 내용을 통한 평가기법에 대한 객관적 방안을 제시하고자 한다.

3.2.1 현황조사(해양물리분야)

해양물리분야는 조사항목의 분석결과 제시에 대한 보완내용

이 가장 많이 제기되었으며, 관측정점에 대한 문제제기는 비교적 적은 것으로 나타났다. 특히, 동해안에 위치한 발전소 평가서 보완내용을 살펴보면 잔차류 분석결과에 대한 문제가 제기되었으며 계절별 유동특성을 상세히 기술하도록 명시하고 있다. 그 외 조사범위 설정을 위한 사전조사에 대한 필요성과 분야별 조사시기, 조사범위, 조사항목 등의 일관성 및 동시성에 대한 필요성을 제기하였다.

3.2.2 영향예측(수치모델)

환경영향평가서 해양환경분야 수치모델에 관하여 제기된 보완내용 및 문제제기 내용은 모델구축, 모델검증, 결과제시, 기타 의견으로 구분하여 중복된 내용을 중심으로 문제점을 정리하였다(Table 3).

수치모델 구축의 주요 보완내용은 모델의 계산영역, 격자해상도, 수직분해능, 외력조건으로 나눌 수 있으며, 수치모델 실험시 온배수 확산특성을 고려한 수직분해능에 대한 지적사항이 가장 많이 제기되었다. 온배수 특성을 충분히 재현하기에는 부족한 수평 및 수직해상도를 구성함으로써 영향범위를 명확히 예측할 수 없다는 것이 주요 내용이었으며, 그 외 환경영향 범위를 예측하기에는 협소한 수치모델 계산영역 설정에 대한 지적사항 및 외력조건 설정에 대한 기준안이 마련되지 않아 평가서마다 각기 다른 조건으로 영향예측 실험을 수행한 것으로 나타났다.

수치모델 검증의 주요 보완내용은 해수위, 해조류, 수온자료의 검증 유무 및 검증방법에 대한 내용으로 구분할 수 있으며, 비교대상 평가서의 지적사항 중 해조류 검증 및 잔차류 유속검증에 대한 내용이 가장 많이 제기되었다.

그 외 다수의 평가서에서 원격탐사(인공위성, 항공사진) 자료와 온배수 확산 수치모형실험의 비교·검증에 대한 필요성이 제기되었다. 특히, 필수검증 항목 및 검증방법에 대한 기준안이 정립되지 않아 평가서마다 각기 다른 방법으로 검증을 수행한 것으로 나타났다. 이로 인하여 모델결과에 대한 신뢰성 및 전문

Table 3 Status of key complementary numerical model environmental impact assessment reports

Items		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	Total
Model construction	Calculation domain	●		●								2
	Grid spacing								●		●	2
	Layers		●	●		●	●		●	●		6
	External force condition	●	●	●								3
Model validation	Tide											-
	Tidal current (residual flow)	●	●			●		●	●	●	●	7
	Temperature	●	●						●	●	●	5
Result presentation	Tide										●	1
	water circulation							●		●		2
		●				●			●	●		4
	Thermal effluent diffusion		●		●	●	●	●	●	●	●	8
	●	●	●				●			●	5	

성이 다소 떨어지는 것으로 나타났다.

제시는 해수유동, 온배수 확산실험 결과에 대한 각 항목별로 세분화할 수 있으며, 해수유동 결과는 일부 평가서에서 잔차류 크기의 결과 제시에 대한 문제를 제기하였다. 온배수 확산실험 결과는 일부 평가서를 제외한 비교대상 평가서 모두 최대확산 범위에 대한 문제가 가장 많이 제기되었다.

#### 4. 국내·외 환경영향평가

온배수에 의한 해양환경영향 평가기법에 대한 객관적인 방안을 마련하기 위하여 온배수 관련 국내·외 환경영향평가 지침을 검토하였다. 국내 사례로는 환경부의 사업유형별 환경영향평가서 작성을 위한 환경영향평가서 작성 가이드라인(MOE, 2009)과 한국해양학회에서 제시한 원전 온배수 관련 어업손실 평가를 위한 해양조사 표준지침(KSO and KSFAS, 2006)을 검토하였다. 국외 사례로는 미국 및 일본의 발전소 건설에 따른 환경영향평가 관련 규제지침 등에 대하여 검토하였다.

##### 4.1 국내 온배수 관련 환경영향평가

###### 4.1.1 기존 환경영향평가 가이드라인(MOE, 2009)

환경영향의 합리적 예측평가를 위한 기법연구(KEI, 2002)에서는 환경영향평가 검토 시 가장 큰 문제점으로 평가자에 따라 조사항목, 조사방법, 영향예측 방법, 저감방안들이 서로 상이하다는 점을 지적하였고, 이에 대한 가장 큰 원인은 평가서 작성 지침서가 없기 때문이라고 언급하면서, 해양환경에 대한 정확한 현황과 과학과 해양환경에 미치는 영향을 보다 정확하게 예측·평가하고 이에 근거하여 가장 적절한 저감대책을 수립하기 위한 목적으로 해양환경영향평가의 문제점을 분석하여 이를 토대로 개선방안을 제시하였다.

환경성평가제도 관련 규정·지침에서는 사전환경성검토 및 환경영향평가로 구성되는데, 환경영향평가서의 지침에 “사업유형별 환경영향평가서 작성을 위한 환경영향평가서 작성 가이드라인”을 별책으로 제시하였다. 이 보고서는 평가항목별 공통사항과 사업유형별 가이드라인으로 구성되는데, 평가항목별 공통사항에서는 환경영향평가 항목 중 환경영향평가 대상사업의 개별 특성과 큰 상관없이 모든 평가 대상사업에 공통적으로 적용할 수 있는 평가내용을 정리하였다. 사업유형별 가이드라인에서는 발전소 건설 및 온배수 관련 내용을 포함한 17개 분야 74개 평가대상 사업 중 각 분야에서 평가가 자주 이루어지는 사업을 대상으로 각 사업의 특성을 고려하여 평가내용을 정리하였고, 사업에 대한 이해도를 높이고자 개발사업의 입지특성과 사업특성 그리고 주요 검토 내용도 함께 제시하고 있다. 각 사업별 주요 검토사항은 대상사업 자체의 특성, 사업 입지의 특성 그리고 환경부의 검토의견을 바탕으로 작성되었다.

기존 환경영향평가 가이드라인은 현황조사와 영향예측 부분에 대해서 각각 해양물리, 해양 동식물상, 해양수질 및 저질로 세분하여 각각에 대하여 조사항목, 조사범위, 조사방법으로 구분하여 가이드라인을 제시하였으나, 조사범위, 조사정점 수 등을 구체화하지 않고 개략적인 내용만을 기술하고 있으며 조사

항목에 대한 필요성 및 방법에 대한 내용은 제시하지 않고 있다. 다만 기존 가이드라인에서는 해양환경에 대하여 중점 검토 사항에 대한 내용을 수록하고 있다.

###### 4.1.2 해양학회 가이드라인

해양학회 가이드라인은 온배수 어업손실편가 시 온배수 확산 평가만을 대상으로 하고 있으며, 기존 어업손실보상 관련 보고서 내용을 대상으로 해양물리조사 및 온배수 수치모델에 대하여 보고서들의 문제점을 분석한 후 해양조사와 수치모델에 대한 가이드라인을 제시하고 있다.

해양학회 가이드라인의 경우 해양물리 조사항목에 대한 필요성, 조사방법, 영향예측 시 모델특성에 따른 조건 및 내용, 세부 조건에 대한 적용방식, 수치모델 결과에 대한 분석항목 및 분석방법에 대한 내용을 개략적으로 제시함으로써 해양물리 조사 및 온배수 확산 수치모델의 일반적인 가이드라인으로는 기존 환경영향평가 가이드라인보다 개선되었다. 하지만 조사항목, 조사범위, 조사정점 수 등에 대한 내용은 구체화하지 않고 있으며 있다.

##### 4.2 국외 온배수 관련 환경영향평가

미국(Shoemaker, et. al., 2005)과 일본(NISA, 2007)의 발전소 온배수 관련 환경영향평가와 관련된 기존 가이드라인, 온배수 조사사례 및 가이드라인을 검토하였다.

국외의 경우 공통적으로 발전소 건설로 인한 환경영향의 예측 및 평가를 적절하고 효과적으로 수행하기 위해 현황조사에 앞서 기존문헌, 탐문 및 예측에 의한 사전조사(사전 수치모델링 포함)를 하고, 그 결과를 근거로 하여 적절한 현황조사 계획을 수립하고 있다. 현황조사 기간은 원칙적으로 1년간, 기존자료 등은 가급적 최근 자료 사용을 권장하고 있으며 조사시기, 조사범위, 조사지역 등은 항목 간 공통성을 가질 수 있도록 명시하고 있다. 발전설비 증설의 경우, 이미 운전하고 있는 기존 설치의 영향범위와 정도를 파악할 수 있도록 누적영향(공간적)을 고려하도록 명시하고 있으며 발전소 온배수에 대한 환경수용자(생태계)의 영향과 관련 온배수 확산 정도, 지속시간, 가역성과 비가역성 등 생태계의 민감도나 중요성에 따라서 평가하도록 하고 있다.

온배수에 의한 해양수질, 생태계 영향인자 및 발전소 구조물로 인한 주변 지역의 지형변화(침퇴적) 인자를 조사항목에 포함하고 있으며, 저감방안 도출 시에는 잠재적인 온배수 영향을 줄이거나 피할 수 있는 조치를 포함하고 있다.

영향예측의 경우 미국과 일본에서는 온배수 배출(표층 및 수중) 및 거동 특성을 고려한 예측모델을 구성하고 있다. 특히, 일본의 경우 근역(Near field) 확산모형의 경우 수리모형을 적극 권장하고 있으며, 원역(Far field) 3차원 온배수 수치모델과 병행하여 검토하도록 하고 있다. 수치모델 예측기간은 발전소가 가동되는 전체 기간에 대해서 실시하고, 기후변화로 인한 온배수의 잠재적 영향에 대해서도 평가하고 있다. 또한 배수지점 전면의 해역에 대한 해수면 상승 효과도 고려하고 있다.

미국의 가이드라인의 경우 온배수의 배수방식이나 해역의 유

동특성을 고려하여 적절한 예측방법을 적용하도록 권장하고 있으며 발전소 온배수로 인한 온배수 확산예측, 해양수질 및 생태계 영향을 정량적으로 예측하여 평가하며, 파랑 및 해빈류에 의한 영향을 고려하여 연안역 온배수 확산범위를 예측하여 평가하도록 하고 있다. 수치모델 예측을 통해서 온배수 양과 열 부하를 줄일 수 있는 가능성과 대안을 명시하고 있다.

일본의 가이드라인의 경우 현황조사 항목에 대한 조사방법, 결과제시 방법 등을 상세히 기술하고 있으며, 영향예측 시 수리모델에 대한 구축 및 수행방법에 대한 내용을 상세히 기술하고 있다.

### 5. 기존 환경영향평가 방법에 대한 개선방안

국내·외 환경영향평가 관련 규정 및 가이드라인 검토 결과와 국내 온배수 관련 환경영향평가서 현황 및 문제점에 대하여 각 분야별 사전조사, 현황조사, 영향예측으로 구분하여 개선방안을 제시하고자 한다.

#### 5.1 사전조사

국의 사례에서도 찾아볼 수 있듯이 발전소 건설로 인한 주변 환경에 미치는 영향을 정확히 예측하고, 영향을 최소화하기 위해서는 본격적인 현황조사에 앞서 사전조사를 하는 것이 중요할 것으로 판단된다. 즉, 기존의 문헌자료에 대한 조사 및 청문 조사를 통해 사전조사를 하고 이를 토대로 적절한 현황조사 계획을 수립하는 것이 바람직한 방법이다. 사전조사는 발전소 계획 개요, 발전소 입지특성 조사, 해양생태계 현황, 어업실태 및 지역사회의 환경적 민감도, 온배수 확산 범위 등으로 구분하여 사전조사를 수행하여야 할 것이다.

#### 5.2 현황조사

현황조사 시 사업계획, 영향예측, 사후조사와 연계하여 항목별 통합적인 현황조사 계획을 수립하는 것이 중요하다. 해양환경에 영향을 미칠 것으로 예상되는 해역을 포함하고, 동시에 사전 예측 모델링 등을 통하여 조사지역, 조사시점, 조사범위 등을 선정하고 선정근거를 명확하고 구체적으로 제시해야 하며, 대상사업의 종류, 규모 및 지역의 환경적 특성을 고려하여 조사항목을 선정하여야 한다. 기후변화와 발전소 신규건설 및 추가 증설을 고려하여 충분한 조사정점을 선정해야 하며, 조사정점 선정 시에는 명확한 선정기준을 제시하고, 각 항목별 분석방법을 상세히 기술한다. 특히 우리나라의 경우 발전소가 일정지역에 집중적으로 건설되거나 추가되는 실정이므로 추가 건설할 경우 기존의 발전소 온배수와 누적영향을 반드시 고려하여 현황조사 및 분석을 수행되어야 한다. 또한 해양환경에 계절적 변동 특성을 충분히 파악할 수 있도록 4계절 관측을 수행하여야 한다. 결과제시는 계절별 해역 특성 및 기존자료와 비교하여 운영에 따른 영향분석을 평가 및 제시하여야 한다.

#### 5.3 영향예측

영향예측은 해양생태계 변화, 해양수질 변화 등의 예측 규명

을 고려하여 예측범위를 선정하고 신규부지에 발전소를 건설하는 경우에는 CORMIX(Cornell mixing zone expert system), 대격자 3차원 해수유동모델 등 사전 예비 모델링을 통하여 영향범위를 개략적으로 예측하도록 하여야 한다. 개략적인 영향범위를 산정한 후 현황조사 영역 및 예측범위를 산정하는 것이 바람직하다. 수중배수 방식에 대한 엄밀한 예측을 위해서는 배수구 인근(Near field)에서는 Non-hydrostatic 모델, 온배수의 표층확산이 주로 발생하는 원역(Far field)에서는 Hydrostatic 모델을 적용하는 2-way nesting 모델을 적용하거나, 수리모델과 수치모델을 결합하여 사용해야 할 것이다.

수온의 연직구조를 재현하기 위하여 충분한 해상도를 유지해야 하며, 밀도성층 등이 잘 재현될 수 있도록 수치모델을 구성하는 것이 중요하다.

모델구성은 해역특성 및 실제현상을 잘 반영할 수 있는 수치모델을 적용해야 하며, 충분한 수평·수직해상도를 갖는 수직격자망 구축이 필요하다. 동일한 실험조건에서 수직격자 크기에 따른 민감도 분석결과 수직층 개수에 따른 확산범위는 수직층을 많이 나눌수록 확산범위가 증가하는 것으로 나타나며, 수직층 5개를 기준으로 수직층 10개와 비교 시 수온증가 범위가 점차 증가하다가 10개층에서 20개층까지의 온배수 확산범위는 크게 변화하지 않은 것으로 나타난다(Fig. 1). 조밀한 수직층 설정 시 수평적 확산범위를 정확히 모의할 수 있지만 계산시간 및 효율적인 수치모의를 위해서는 모델계산영역의 수심 및 해역별 특성을 고려하여 수직층을 설정해야 할 것으로 사료된다.

외해경계조건의 경우 우리나라 해역 특성에 따라 비조석성분이 우세한 동해안의 경우 해수위(조석+비조석)를 외해경계조건으로 설정하는 것을 권장하고, 조석성분이 우세한 서남해 해역의 경우 조석성분만을 적용해도 무방할 것으로 판단되며 해역별 특성에 따라 해수위, 수온 등 실험조건에 대한 설정 기준안을 마련하고, 기상자료 분석을 통한 해양-대기 열교환 특성을 고려하도록 하여야 한다.

모델검증은 사업규모 및 해역별 특성을 고려한 필수검증항목 및 방법에 대한 기준안을 마련하고, 검증항목별 관측결과와 모델결과의 비교방법, 검증정도에 대한 기준안이 필요할 것으로 판단된다. 해수위 검증의 경우 조화분석 등의 기법을 통하여 필터링하지 않은 관측값과 모델값을 정량적으로 비교하여 시계열 그림 및 RMSE(Root mean square error) 등의 방법으로 검증이 필요하며, 해조류의 경우 해수위와 동일하게 필터링 기법을 적

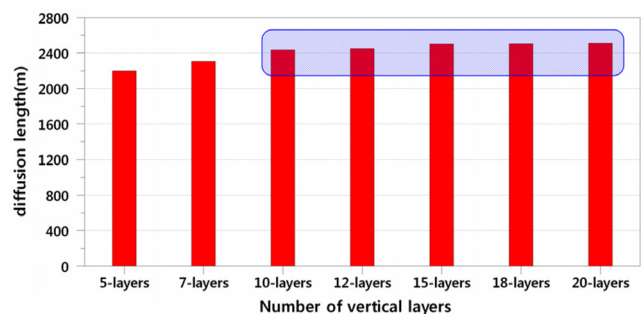


Fig. 1 Sensitivity analysis for vertical grid resolution

용하지 않은 관측값과 모델값을 정량적으로 비교하고 필터링을 통한 비교 시에는 조류성분과 해류성분(잔차류)으로 구분하여 각 항목에 대하여 정량적인 검증결과를 제시할 필요가 있다. 수온의 경우 연속수온관측자료와의 시계열 비교 및 RMSE 오차를 구하여 정량적인 비교가 필요하다.

결과제시는 각 항목별(유동변화, 확산범위, 출현율 등) 결과에 대한 기준안을 마련하여 신뢰성과 객관성을 확보하기 위하여 구체적인 검토가 필요하다. 유동변화의 경우 발전소 가동 전후의 고·저조 분포도를 제시하고 대조시, 소조기의 최강 창/낙 조류 또는 남·북향류 벡터도, 최강유속 및 평균유속의 변화도를 제시할 필요가 있다. 확산범위의 경우 계절별 온배수 최대확산범위와 이를 중첩하여 연간 최대확산범위를 각 수층별로 제시하고 초과수온 단면분포도를 각 조사별로 작성하여 제시할 필요가 있다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 발전소 온배수에 의한 환경영향평가 시 해양 물리분야에서 야기되는 문제점 및 보완내용을 분석하고 국·내외 사례조사를 통하여 평가기법에 대한 개선방안을 논의하였다.

국내의 환경영향평가서 및 평가의견에 근거하여, 주요 지적사항 및 보완의견을 요약하면, 조사항목, 조사시기 및 조사정점수 등의 일관성, 동시성 부족 그리고 계절조사 누락, 조사항목에 대한 변화양상 분석결과 제시 미흡, 영향정도의 정량화 및 특성 제시 미흡 등으로 압축할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 보다 구체적인 평가지침이 마련되어 개선해 가야 할 것으로 판단된다.

해외의 경우 발전소 온배수 현황조사 계획 시 발전소 건설로 인한 주변 환경에 미치는 영향을 정확히 예측하고 최소화하기 위해서 본격적인 현황조사 이전에 사전조사를 권장하고 있으며, 사전조사 시 기존의 문헌자료뿐만 아니라 청문조사, 사전 예측 모델링 등을 통하여 적절한 현황조사 계획을 수립하고 있다. 따라서 이러한 사전조사 사례를 기반으로 국내 발전소 온배수 관련 환경영향평가 시 사전조사 부분을 반영하여 개선하여야 할 것이다.

국내 발전소의 경우 기후변화와 발전소 신규건설 및 추가증설을 충분히 고려하지 않고 조사정점을 선정하고 있으나, 해외의 경우 기후변화에 따른 해수면 상승과 발전소 신규건설 시 기존의 발전소 온배수 영향 등을 충분히 고려하여 조사정점 및 영향예측을 하고 있다.

영향예측은 장기적인 해양환경의 변화 등을 예측 규명하기 위해 수치모델의 구성, 검증방법, 결과제시 등으로 구분하여 관련 평가기법을 제시함으로써 예측결과에 대한 신뢰성과 타당성을 향상시킬 필요가 있다.

이상의 결론은 발전소 온배수에 의한 해양환경영향을 평가하는데 있어서 기존의 평가방법 및 관련 규정의 개선방안을 제시함으로써 온배수 평가 시 발생하는 이해당사자 간의 비생산적인 논쟁이 최소화되기를 기대하며 국내 온배수 환경영향평가 시 지적되었던 문제점들을 보다 근본적으로 해결해 나갈 수 있

을 것으로 사료된다.

향후 연구를 통해서 개선방안에 대한 구체적이면서 정량화된 해양물리조사(조석, 조류, 수온, 염분, 파랑 등)와 영향예측(모델 구축, 검증, 결과제시 등)의 연구 결과를 통해 제시될 예정이다.

## 후 기

본 연구는 한국환경정책·평가연구원 수탁과제 “원전 온배수 확산 예측평가 및 사후환경영향조사 개선방안 연구(한국수력원자력주식회사, 2012)”의 지원으로 수행되었습니다.

## References

- Kim, M.W., 2006. Tidal Current Characteristics of Seonjin River Estuary using the POM. MS Thesis, Chonam National University.
- Posco-Power, 2007. Environmental Impact Assessment Report for Construction of Combined Cycle 5, 6 Units In Posco-Power Plant.
- Korea South-East Power Co., Ltd, 2009. Environmental Impact Assessment Report for Construction of 5, 6 Units in Youngheung Thermal Power Plant.
- Korea South Power Co., Ltd, 1994. Environmental Impact Assessment Report for Construction of 5, 6 Units in Youngkwang Nuclear Power Plant.
- Korea South Power Co., Ltd, 2003. Environmental Impact Assessment Report for Construction of 7, 8 Units in Hadong Thermal Power Plant.
- Korea East-West Power Co., Ltd, 2008. Environmental Impact Assessment Report for Construction of 9, 10 Units in Dangjin Thermal Power Plant.
- Korea Hydro & Nuclear Power Co. (KHNP), 2002a. Environmental Impact Assessment Report for Construction of 1, 2 Units in Shingori Nuclear Power Plant.
- Korea Hydro & Nuclear Power Co. (KHNP), 2002b. Environmental Impact Assessment Report for Construction of 1, 2 Units in Shinweolsung Nuclear Power Plant.
- Korea Hydro & Nuclear Power Co. (KHNP), 2006a. Environmental Impact Assessment Report for Construction of 3, 4 Units in Shingori Nuclear Power Plant.
- Korea Hydro & Nuclear Power Co. (KHNP), 2006b. Analysis to Evaluate of Marine Ecosystem by The Deep Discharge At Power Plants.
- Korea Hydro & Nuclear Power Co. (KHNP), 2008. Environmental Impact Assessment Report for Construction of 1, 2 Units in Shinuljin Nuclear Power Plant.
- Korea Hydro & Nuclear Power Co. (KHNP), 2012. The Study on Improvement of Assessment in Prediction of Thermal Discharge Diffusion and Post-Investigation of Environmental



- Impact for Nuclear Power Plant.
- The Korean Society of Oceanography(KSO), The Korean Society of Fisheries and Aquatic Science(KSFAS), 2006. Marine Survey Reporting Standards for Loss Estimation in the Coastal Fishery by Thermal Effluent.
- Korea Environment Institute(KEI), 2002. A study on Reasonable Estimation and Assessment Method of Environmental Impact.
- Ministry Of Environment (MOE), 2009. A Study on Different Types of Assessment Reports for the Investigation of Guideline for Environmental Impact Assessment Report.
- GS EPS, 2007. Environmental Impact Assessment Report for Construction of Combined Cycle 3, 4 Units In GS BuGok.
- Shoemaker, L., Dai, T., Koenig, J., Hantush, M., 2005. TMDL Model Evaluation and Research Needs. EPA/600/R-05/149. Cincinnati, Ohio: U.S. EPA, National Risk Management Research Laboratory. Available at: <[www.epa.gov/ORD/NRMRL/pubs/600r05149/600r05149.pdf](http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/pubs/600r05149/600r05149.pdf)> [Accessed 28 December 2005].
- Nuclear and Industrial Safety Agency(NISA), 2007. Guide of environmental impact assessment in accordance with the power plant.