

원자력발전 온배수 영향에 대한 해수질 환경조사 지침 연구

박용철* · 김성준 · 김은수¹ · 이희준¹ · 이효진 · 김동화

인하대학교 해양학과
¹한국해양연구원

A Study on Seawater Quality Criteria and Assessment of Thermal Discharge from Nuclear Power Plant

YONG CHUL PARK*, SUNG JUN KIM, EUN SOO KIM¹, HEE JUN LEE¹, HYO JIN LEE AND DONG HWA KIM

Department of Oceanography, Inha University, Incheon 402-751, Korea

¹Korea Ocean Research & Development Institute, Ansan 426-744 Korea

원자력발전소의 온배수 배출에 따른 주변해역의 해양환경변화는 온배수의 수온상승에 의한 해수질의 생지화학적 변화가 상호 연관되어 나타나게 된다. 지금까지 우리나라에서 수행된 여러 원전 온배수 관련 해양환경 영향범위 산정 문제는 항상 객관적 논리와 정량화된 근거자료의 미비나 부재로 인해 당사자간의 소모적인 논란과 파행적 피해 보상 진행으로 귀결되어온 바 있다. 이러한 문제는 해양환경 피해영향평가 조사가 용역조사기관에 따라 각각 달리 수행되어 동일하고 표준화된 지침에 의하여 객관성을 보장하지 못하였기 때문에 초래한 현상으로 사료된다. 국내에서 2002년부터 2004년까지 수행된 17개 조사보고서를 검토한 결과 이에 대한 보다 근본적인 원인은 우선 해수질 조사항목에서부터 그 적정성과 유의성에 대한 검증이 충분치 못한 상황에서 용역조사기관 재량에 따라 결정 수행되었기 때문으로 생각된다. 더구나 결과해석에 있어서 온배수에 의한 인과관계를 정량적이거나 객관화된 피해근거를 규명하지 못하고 애매모호한 경우가 많았으며 경우에 따라 불명확하거나 비객관적인 해석으로 인하여 이해당사자간의 합리적인 합의를 도출할 수 없었기 때문으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 이러한 관행적 문제점을 개선하고 보다 명확한 피해영향평가를 도출하기위해 객관화되고 정량적인 온배수에 의한 해양환경 영향평가가 이루어질 수 있도록 모든 이해당사자와 전문가, 학계 그리고 용역수행기관이 합의할 수 있는 표준지침을 토의하고 제시하고자 하였다.

Impact of thermal discharge of nuclear power plant on marine environment is naturally reflected in biogeochemical changes of seawater. Until now, many investigation activities and reports of impact analysis of marine environment were occasionally inadequate to provide sufficient justification in resolving controversial conflict of interests related with thermal discharge of nuclear power plant. From the scrutinized examination of recent 17 reports published in Korea between 2002 and 2004, the most apparent issue was inadequacy of sampling design and absence of significance of many measured parameters. In many cases, lack of statistical interpretation of raw data incurred subjective or ambiguous assessment results, which failed in deducing mutual concurrence between the parties of interest. In overall all, the main reasons for impairing integrity of previous reports seem to be inconsistency of environmental investigation procedures between research institutions, inadequate sampling design at the discretion of institutions and lack of objectivity of impact assessment based on statistical interpretation. Therefore, the primary goal of this study is to (1) discuss the known issues on previous routine practice of seawater quality assessment procedures, and to (2) provide improved investigation procedures and rational standard criteria strictly based on statistical analysis for the better seawater quality assessment, which could be supported by scientific community, public agency, investigation institution and the other parties of interest.

Keywords: Seawater Quality Criteria, Nuclear Power Plant, Thermal Discharge

*Corresponding author: yongpark@inha.ac.kr

서론

원자력발전소의 온배수 배출에 따른 주변해역의 해양환경변화는 온배수의 수온상승에 의한 물리적 요인 변화와 함께 해수질의 생지화학적 변화가 상호 연계되어 나타나게 된다. 원자력발전소의 온배수 배출에 의한 주변해역의 해수질 환경변화는 수온상승에 따른 수질항목의 1차적인 생지화학적 특성변화와 온배수시스템 운영과정에서 발생하는 2차적인 수질변화를 포함한다. 일차적인 수질변화라고 함은 수온상승요인에 좌우되는 화학인자들의 변화로서 용존산소 포화농도 감소, 유기물질의 생지화학적 산화 및 전환속도의 상승, 그리고 중금속의 부유물질 흡착정도의 증가 등이다. 이차적인 수질변화는 온배수시스템 가동시 수반되는 생물사체 유기물의 증가와 방오물질(anti-fouling agents)의 첨가 등에 의하여 일어난다. 이 때 발생하는 생물사체기원의 유기물은 대부분의 온배수 방출구 주변에 높은 유기물 농도증가와 함께 유기물 거품을 형성하며 해수중의 중금속과 착화된 후 방류구 주변에 퇴적되기도 한다.

이러한 일차적 그리고 이차적인 수질변화 요인은 방류구 주변에서 복합적인 생지화학적 수질변화 양상으로 나타나는데 가장 중요한 것은 이러한 온배수 영향권 해역의 수질변화가 취수구해역 및 주변 비영향해역과 비교할 때 명확히 객관적이고 정량적으로 규명될 수 있어야 한다.

지금까지 원전 온배수와 관련하여 온배수의 확산과 온배수로 인한 어업피해 및 주변 해역에 미치는 영향 등에 관한 많은 연구를 수행하였으며(한국전력공사, 1995; 서울대학교, 1998; 부경대학교, 2000; 한국해양연구원, 1997, 2002, 2006; 한국해양연구원과 부경대학교, 2002), 온배수의 영향을 최소화하기 위한 온배수 저감 방안으로 방수로 연장, 희석 방류, 다공분류관, 방류계 또는 냉각탑 설치 등의 다양한 저감 방안에 대해 평가와 분석을 수행하였다(한국전력공사, 1994; 한국전력기술주식회사, 1997; 한국수력원자력

(주), 2001). 그러나 현실적으로 해양환경요인의 생지화학적인 조사항목을 모두 필수적으로 수행하기에는 어려움이 있을 뿐만 아니라 항목의 유의성 유·무가 반드시 검증되어야 함으로 효율적이고 객관적인 온배수 피해범위를 산정하기 위하여는 피해영향조사의 사안과 다양한 해양환경에 따라 기준이 될 수 있는 조사방법 및 조사항목들이 신중한 검토를 거쳐 선정되어야 할 것이다.

지금까지 우리나라에서 수행된 여러 원전 온배수 관련 해양환경 영향범위 산정 문제는 항상 객관적 논리와 정량화된 근거자료의 미비나 부재로 인해 당사자간의 소모적인 논란과 과형적 피해 보상 진행으로 귀결되어온 바 있다. 이러한 문제는 해양환경 피해 영향평가 조사가 용역조사기관에 따라 각각 달리 수행되어 동일하고 표준화된 지침에 의하여 객관성을 보장하지 못하였기 때문에 초래한 현상으로 사료된다. 이에 대한 보다 근본적인 원인은 우선 조사항목에서부터 그 적정성과 유의성 검증 없이 용역조사기관에 따라 결정 진행되었고 더구나 결과해석에 있어서 온배수에 의한 인과관계를 정량적이거나 객관화된 피해근거를 규명하지 못하고 자료나열식의 경우가 많았으며 심한 경우에는 주관적이고 인위적인 해석에 의하여 이해당사자간의 합리적인 합의를 도출할 수 없었기 때문으로 판단된다. 따라서 앞으로는 이러한 관행적 문제점을 개선하고 보다 진실에 가까운 피해영향평가를 도출하기 위해 객관화되고 정량적인 온배수에 의한 해양환경 영향평가가 이루어질 수 있도록 모든 이해당사자와 전문가, 학계 그리고 용역수행기관이 합의할 수 있는 표준지침의 수립이 국가적으로 절실히 필요한 상황이다.

이를 위하여 현재까지의 기존보고서의 해양수질관련 항목을 검토하여 기존의 조사항목의 적정성과 수질변화영향에 대한 정량화 여부 등을 파악하는 것은 조사결과 해석의 객관성 및 피해영향판단의 근거가 될 수 있기 때문에 매우 중요하다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 기존 조사항목의 적정성과 피해영향판단의 유의성을 검증하고 문제점을 파악하여, 차후 원자력발전 온배수의

Table 1. The List of investigation activities and reports

목록 번호	제 목	발간 연월	발행기관	보고서 식별부호
1	日本 福島 原電團地 濘排水 調査 綜合 報告書	1996. 3	日本 福島縣 濘排水 調査 管理 委員會	J1996
2	고리원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서	2002. 3	한국전력공사 전력연구원	S02.109
3	고리원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서	2003. 3	한국전력공사 전력연구원	S03.095
4	고리원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서	2004. 3	한국전력공사 전력연구원	S04.137
5	영광원자력발전소 4 개호기 가동에 따른 온배수 영향 실측조사 보고서	1998. 6	한국전력공사 영광원자력본부	KU1998
6	영광원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서	2002. 3	한국전력공사 전력연구원	S02.112
7	영광 5,6 호기 건설 및 가동에 따른 광역해역조사 (중간보고서)	2002. 6	한국해양연구원	KO2002
8	영광원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서	2003. 3	한국전력공사 전력연구원	S03.098
9	영광원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서	2004. 3	한국전력공사 전력연구원	S04.136
10	월성원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서	2002. 3	한국전력공사 전력연구원	S02.110
11	월성원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서	2003. 3	한국전력공사 전력연구원	S03.096
12	월성원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서	2004. 3	한국전력공사 전력연구원	S04.138
13	울진원전 4 개호기 가동에 따른 온배수 영향 및 어업피해조사	2002. 5	한국해양연구원 (부경대학교)	KP2002
14	울진원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서	2002. 3	한국전력공사 전력연구원	S02.111
15	울진원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서	2003. 3	한국전력공사 전력연구원	S03.097
16	울진원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서	2004. 3	한국전력공사 전력연구원	S04.139
17	영덕원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서	2002. 3	한국전력공사 전력연구원	S02.113
18	영덕원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서	2003. 3	한국전력공사 전력연구원	S03.099

환경영향평가에 있어서 적정항목에 대하여 객관적 정량화가 가능하고 피해판단에 판단근거 제시가 가능할 수 있도록 조사방법 및 분석방법의 표준지침을 도출하고자 하였다.

기존보고서 분석

본 연구에 참고한 원자력발전소 온배수 관련 기존 보고서는 우리나라에서 1998년부터 2004년까지 실시된 17개 원자력발전소 온배수 피해영향보고서와 참고적으로 1996년의 일본 복도원전단지 온배수조사 종합보고서를 포함한 총 18개 보고서이다(Table 1).

우리나라 원자력발전소 온배수 관련 조사보고서는 서해안 천심해역인 영광원전의 보고서 5종 그리고 상대적으로 수심이 깊은 동해안 고리, 영덕, 울진, 월성원전의 보고서 12종으로 구분할 수 있다.

조사정점 및 조사해역 범위

기존보고서의 조사정점 개수 및 해역범위 그리고 참고정점의 유·무를 분석한 결과는 Table 2에 나타난 바와 같다. 조사정점 개수는 실질 조사용역기관에 따라 최소 9개에서 42개까지 큰 폭의 차이를 보이고 있는데, 대체로 동해안에 위치한 원전의 경우 수심과 해수혼합을 고려한 이유에서 인지 정점의 개수가 10개 이내로 나타났다. 그러나 동일한 용역조사기관으로 구성된 조사보고서의 경우, 서해안 영광해역에서도 동해안에 위치한 원전해역과 마찬가지로 10개의 정점만을 조사하였을 뿐만 아니라 측정항목 및 현장조사 방법도 거의 동일하여 해역에 대한 조사계획(sampling design)이 일률적이고 관행적으로 이루어진 문제점을 내포하고 있다.

한편 수심별 조사는 대부분 표층 위주로 조사가 되어 있거나 극히 일부분의 정점에서만 2-3개의 수심에서 조사가 진행되었다. 특히 동해안의 경우 2002년과 2003년의 경우 모든 조사에서 표층조사만 실시하다가 2004년의 경우에는 10개정점 중 2-3개 정점에서 표, 중, 저층의 수심별 조사가 진행된 점은 일관성과 자료대비 균

거의 결여로 판단된다. 서해안(영광원전)과 같이 천심해역에서의 광역조사 경우 주변 해안지형에 따라 온배수 영향과 기타 간석지의 열수지 또는 주변 하천 등에 의한 영향을 구별하기 위하여서는 예상 구역별로 면밀하게 계획된 수심별 조사가 실시되어야 객관성을 유지할 수 있을 것으로 판단된다. 물론 온배수의 영향은 주로 표층을 통하여 나타나지만 생지화학적 과정을 통하여 용존태에서 입자태로 전환될 수 있는 화학종이 존재하기 때문에 동, 서해안을 막론하고 수심별 조사는 필요하였던 것으로 사료된다.

조사범위 또한 용역조사기관에 따라 6 km에서 20 km까지 큰 차이를 보이고 있다. 조사해역에서 정점 배치의 경우 영광원전 해역의 경우 여러 개의 평행한 조사기선을 선정하여 비교적 광역조사가 이루어지도록 하였고 동해안의 경우에는 방사형으로 배치하여 해역환경에 따른 조사계획의 차별화를 볼 수 있었으나, 특정 용역조사기관이 수행한 보고서의 경우 동해안과 서해안을 불문하고 조사정점 10개와 8 km의 조사범위에 일률적으로 동일하게 국한하여 물리적 지리적 해역환경에 따른 차이와 환경변화 영향을 제대로 파악하기 어려웠을 것으로 보인다. 사전 조사에 의한 근거 없이 다양한 해양환경에서 조사해역 범위가 일률적이고 관행적으로 8 km로 정해진 것은 다소 문제의 여지가 있는 것으로 생각된다. 그러나 상당수 보고서에서 참고정점(reference station)을 선정하여 온배수에 의한 해수질 영향정도를 비교하려 했던 점은 훌륭하다. 따라서 일률적으로 8 km로 대조구 정점을 선정하기 보다는 각 해역환경에 따라 예상되는 온배수 확산 방향의 수직방향으로 충분한 거리를 두도록 조정하여 대조구 정점을 선정하는 것이 가장 바람직하다.

조사시기 및 조사방법

조사시기는 대부분 연 4회를 기본으로 이루어졌다. 동해안의 경우는 조석변화가 크지 않으나 서해안 영광원전의 경우 조석의 영

Table 2. The status of sampling design of previous reports

보고서 식별번호	해역	조사정점 개수	수심별 조사	조사해역 범위 (km)	참고정점 유무
S02.109	고리 (2002. 3)	10	표층	8	유
S03.095	고리 (2003. 3)	10	표층	8	유
S04.137	고리 (2004. 3)	10	표층(7개 정점) 표, 5 m, 저(3개 정점)	8	유
KU1998	영광 (1998. 6)	16-25 (계절에 따라 변화)	표, 10 m, 저층	14 (폭: 5)	무
S02.112	영광 (2002. 3)	10	표층	8	유
KO2002	영광 (2002. 6)	42	표층	20	무
S03.098	영광 (2003. 3)	10	표층	8	유
S04.136	영광 (2004. 3)	10	표층(8개 정점) 표, 저(2개 정점)	8	유
S02.110	월성 (2002. 3)	10	표층	8	유
S03.096	월성 (2003. 3)	10	표층	8	유
S04.138	월성 (2004. 3)	10	표층(7개 정점) 표, 10 m, 저(3개 정점)	8	유
KP2002	울진 (2002. 5)	10	표층	8	유
S02.111	울진 (2002. 3)	10	표층	8	유
S03.097	울진 (2003. 3)	10	표층	8	유
S04.139	울진 (2004. 3)	10	표층(7개 정점) 표, 중, 저(3개 정점)	8	유
S02.113	영덕 (2002. 3)	10	표층	8	유
S03.099	영덕 (2003. 3)	9	표층	6	무

향이 화학종의 분산 분포에 영향을 주기 때문에 이를 파악할 수 있는 주요 적정 정점에서 고정점 연속관측이 필요하다. 그러나 영광원전 온배수 보고서의 경우 5개의 보고서 중 1개(KO2002)의 보고서에서 만이 동계에 해수질 고정점 연속관측을 실시하였다. 따라서 차후에 영광원전 해역 조사 경우에는 해수질 고정점 연속관측이 실시되어야 할 것으로 사료된다.

한편 해수질 시료의 대표성과 신뢰도를 위하여 복수의 반복시료를 채수하여야 하나, 모든 조사보고서에서 현장 해수질 시료채취시 단일 시료채취만 실시한 것으로 나타났다. 해수질 분석은 현장상황과 보관과정 그리고 실험실 기기분석과정 등 순차적 여러 단계의 과정을 거치기 때문에 최종 해수질 분석결과에 이르기까지 우연적 그리고 인위적 오류가 내재할 수 있다. 따라서 최대한의 분석치 오류를 줄여 온배수와 해수질 오염의 진실한 인과관계를 객관적, 정량적으로 규명하기 위해서는 복수의 시료채취 분석이 강화되어야 할 것이다. 이러한 점에 있어서 피해사실규명의 근본이 되는 조사보고서는 오히려 논리를 중시하는 일반 학술논문보다 더 까다롭다고도 볼 수 있으며 그 분석결과에 대해 책임의식이 강조되어야 한다.

조사항목의 적정성 및 유의성

보고서에 나타난 조사해역은 Table 3에 나타난 바와 같이 조사항목은 총 30가지로 우리나라 해수질 등급기준 고시 항목을 대체로 포함하고 있다. 그러나 용역을 의뢰받은 조사기관에 따라 조사항목 수가 다소 상이하게 나타나고 있다. 해수질 조사항목에서 수온과 염분은 해수질 분석결과 해석 또는 필요시 보정을 위하여 이용되는 참고 항목이므로 해수질 항목으로 인정되지는 않는다.

기존보고서 검토결과 용존산소와 부유물질, 영양염류 일부, 중금속 일부 등 8개 항목을 제외하고 대부분 나머지 22개 조사항목이 온배수의 영향을 보이지 않는 조사항목으로 나타났다. 그나마 유의성이 있는 조사항목마저도 기관에 따라 영향 유무의 차이를 보이고 있다. 이러한 원인은 온배수에 의한 수질변화를 제대로 표

현하지 못한 sampling design 의 오류가 가장 큰 것으로 판단되며 그 이외에 분석의 오류 또는 지역적인 차이도 그 원인이 될 가능성이 있다. 특히 Table 3에 나타난 바와 같이 동일 용역조사기관이 수행한 보고서(S02.109 - S04.138)에서 온배수 영향과 아무 상관관계가 없으며 단지 염분과 상관관계가 높은 보전성 성분인 B(붕소)가 천편일률적으로 조사되어있는 것은 그 측정 근거를 이해하기 어려운 점이 있다. 또한 일부 조사(Table 3, KO2002)에서 측정된 U(우라늄) 및 Sr(스트론튬) 항목은 원전사고의 경우이나 포함될 조사항목으로 온배수의 피해영향과는 관계가 없는 부적절한 항목으로 판단된다.

조사자료의 해석부분에 있어서 단순한 농도자료의 언급에 불과한 경우가 대부분으로 온배수의 인과관계를 정량적으로 명확히 규명하고 있지 않으며 부분적으로는 해석의 오류도 나타나 피해영향판단의 객관성이 결여된 경우도 있다. 심한 경우 일부 측정항목(Table 3, TR; 투명도, OCI; 염소)은 보고서 본문에 전혀 온배수와 상관관계 여부에 대한 언급이 결여되어 있었다. 결과해석에 있어서 특히 중요한 문제점은 일부 보고서(고리 S02.109와 S03.095, 영광 KO2002, 울진 KP2002)의 경우 용존산소포화율과 영양염류 항목에 있어서 실제 자료와는 달리 반대로 해석하거나 통계적으로 유의성을 찾을 수 없는 비 객관적인 결론을 도출한 경우도 일부 나타나고 있다(Table 3).

현재 우리나라에서 시행되고 있는 해양환경공정시험방법(1998)에도 모든 해수질 분석치는 QA를 위하여 반드시 검출한계 및 검정과정(검정식, 상관관계 계수) 여부를 첨부하도록 지침하고 있으나, 모든 조사보고서에서 이를 생략하거나 누락되어 있어 분석치의 신뢰도 저하에 대한 우려가 있다. 그 일례로 유독 동해안 월성원전(2002) 조사보고서에 나타난 11월의 모든 시료에서 아질산-질소 농도가 20 - 30 µM로 암모니아-질소의 농도 3 - 4 µM보다 모두 높게 나타났는데 이러한 현상은 용존산소 및 다른 여타 항목이 산화환경을 지시하는 상황에서 도저히 존재할 수 없는 결과가

Table 3. Test of significance of measured parameters (O denotes significant; X, insignificant; ?, no data interpretation; △: interpretation error)

보고서	수온	염분	pH	DO	DO%	COD	TOC	POC	TR	SS	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻	Si	Chl	B	Ca	Mg	OC	Cd	Cu	Cr	Fe	Hg	Ni	Pb	Sr	U	Zn
고리 S02.109			X	X					?	X	X	X	X	△	X			X			?		X	X	X					
고리 S03.095			X	X					?	X	X	X	△	X	△			X			?		X	X	X					
고리 S04.137			X	X					?	X	X	X	X	X	X			X			?		X	X	X					
영광 S02.112			X	X					?	O	X	X	X	X	X			X			?		X	X	X					
영광 S03.098			X	X					?	O	X	X	X	X	X			X			?		X	X	X					
영광 S04.136			X	X					?	X	X	X	X	X	X			X			?		X	X	X					
영덕 S02.113			X	X					?	X	X	X	X	X	X			X			?		X	X	X					
영덕 S03.099			X	X					?	X	X	X	X	X	X			X			?		X	X	X					
울진 S02.111			X	X					?	X	X	X	X	X	X			X			?		X	X	X					
울진 S03.097			X	X					?	X	X	X	X	X	X			X			?		X	X	X					
울진 S04.139			X	X					?	X	X	X	X	X	X			X			?		X	X	X					
월성 S02.110			X	X					?	X	X	X	X	X	X			X			?		X	X	X					
월성 S03.096			X	X					?	X	X	X	X	O	X			X			?		X	X	X					
월성 S04.138			X	X					?	X	X	X	X	O	X			X			?		X	X	X					
일본 J1996			X	O					?	O	X	X	X	X			O													
영광 KU1998			X	O						O	?	?	?	?			?													
영광 KO2002			X	O						O		△	△	△				?	X			O	X	X	O		X	O	X	X
울진 KP2002			X	O	△	X			X	?	O	X	X	X	X		O					O	X	X		X	X	X		

며 만일 자료검정을 제대로 확인하였다면 자료의 오류 여부를 파악하여 문제점을 미연에 방지할 수 있었을 것으로 판단된다. 이러한 문제는 용역조사 수행기관의 QA와 전반적인 보고서 신뢰도에 심각한 손상을 줄 수 있다.

문제점 분석 및 제시방안

따라서 새로운 지침서에 포함될 피해영향판단을 위한 해수질 항목은 다음과 같이 피해영향과의 관련도와 조사항목의 유의성 여부를 차후 세밀히 검증하여 분류한 후 선정되어야 할 것이다. 현재 나타난 문제점을 토대로 제시될 수 있는 내용은 다음과 같다.

- 기존보고서에 유의성이 나타난 항목은 유지한다. (예: 용존산소, 포화율, 유기물, 부유물질, 영양염류, 일부 중금속 등)
- 기존조사보고서에 피해영향과 관련성이 없거나 유의성이 전혀 없는 항목은 과감히 삭제 또는 축소한다. (B, U, Sr 및 일부 중금속류)
- 피해영향의 가능성이 있으나 잘 나타나지 않은 항목은 sampling design의 강화 및 통계검정을 통한 결과해석의 객관화/정량화의 표현을 명확히 하도록 규정한다(예: 일부 영양염류, 잔류염소, 일부 중금속류).
- 온배수의 직간접적인 영향에 의하여 수질변화가 나타나는 특정항목은 필요시 용역조사기관이 용역발주자와 협의 하에 추가할 수 있도록 한다.
- 사전에 조사해역의 조사계획(Sampling design)을 반드시 수행하도록 한다.

조사방법의 표준지침

해수질 조사방법 표준화 및 조사내용 작성지침의 주요 골격은 다음과 같다.

- 우선 온배수와 인과관계가 뚜렷한 유의성 항목에 치중함
- 용역조사기관별 통일된 조사방법 및 사용기기 규정 강화
- 해수질 화학인자들 상호간의 종합적이고 정량적인 해석방법 규정 반영
- 배수구 주변에 중점적으로 나타나는 현상을 파악할 수 있도록 현장 시공간적인 정점배치 및 sampling design 방법의 지침 강화

조사항목

기존의 보고서에 나타난 수온과 염분 항목을 제외한 28개 항목 중, 온배수 영향 유의성 여부 검토 결과와 일반적으로 온배수에 의한 영향이 나타날 수 있는 항목을 고려하여 대폭 축소된 조사항목 선정 결과는 다음과 같다. 조사항목의 분석지침은 해양수산부 고시 해양환경공정시험방법을 기준으로 하되 잔류염소는 해양환경공정시험방법에 고시되어있지 않기 때문에 ASTM의 DPD 분석방법(ASTM, 1997)에 의한다.

- 일반수질: 잔류염소, pH, 용존산소 및 포화율
- 영양염류: 질소계 영양염류(암모니아, 아질산염, 질산염), 인산염, 규산염
- 중금속(Cu, Cr, Pb, Zn): 용존 중금속
- 유기물: COD 및 유기탄소

조사범위 및 조사방법

(가) 조사해역의 사전 조사계획(Sampling design) 수립 근거 제출: 사전에 조사해역의 개략적인 지형적, 물리적 환경을 기존보고서 또는 예비 수치모델을 통하여 근거로 수립되어야 하고 필요시

사전조사에 의하여 파악한 후, 각 해수질 조사항목의 변화폭이 정량적이고 객관적으로 표현되고 해석될 수 있도록 각 해역환경에 따라 조사정점과 조사범위를 결정하도록 한다. 용역 조사기관은 이 사전 조사계획 부분을 조사보고서에 반드시 반영하여 조사범위 및 정점배치의 근거로 제출하여야 한다.

(나) 조사범위: 조사범위는 용역시작 직후 시행된 사전 조사계획에서 나타난 온배수의 물리적 예상 영향범위보다 커야 한다.

(다) 분석항목의 통계검정자료 제출: 모든 실험실분석 또는 현장분석 항목은 상호검정(Intercalibration) 또는 분석 통계검정자료(검출한계, 검정관계식 도표, 검정관계 상관관계도)를 각 항목별로 부록에 첨부하여야 한다.

(라) 해역환경에 따른 전반적인 정점배치: 수심, 조석, 해류, 해안지형 등의 해역환경변수에 따라 해수질 채취 정점 수와 간격을 정한다. 예를 들어 조류 및 해류의 영향이 크지 않을 해역의 경우 전반적인 정점배치는 방사형, 또는 조류 및 해류가 큰 해역의 경우 온배수구를 중심으로 유향에 따라 기선, 격자망으로 할 수 있다. 해수채취 수심 간격은 수심이 10 m 이내일 경우 표층과 저층, 그리고 수심이 10 m 이상일 경우 표층, 10 m, 저층으로 한다.

(마) 취수구 및 배수구 주변 정점배치: 어떠한 해역환경일 경우라도 취수구 및 온배수구의 최접근 지점을 중심으로 각각 3개 이상의 기선형 조사정점을 100 - 200 m 간격으로 세밀하게 집중 배치한다.

(바) 참고정점: 해안선에 직각방향으로 사전조사에 의한 온배수 예상범위의 2배 이상 거리에 최소한 1개 이상의 참고정점을 배치하여야 하며, 주변으로부터 해수질 오염원이 없는 곳이어야 한다.

(사) 조사결과는 반드시 통계적인 유의성 검정(ANOVA test 또는 다변량통계분석 등)을 통하여 온배수 영향 유무와 최종 영향범위를 정량적으로 제시하여야 한다.

(3) 조사시기 및 빈도

현장조사는 동계, 춘계, 하계, 추계를 기본으로 최소한 4계절 실시하여야 하며 조석간만의 차가 큰 해역(서해안)의 경우 최소 2회 이상 대조기 및 소조기에 조석주기(25시간) 동안 취수구 및 배수구 주변해역에서 해수질 고정점 동시 연속관측을 하여야 한다.

해수질 영향범위 평가방안

온배수에 의한 해양환경은 크게 해수질 환경요인과 부유물질을 포함한 해양퇴적물 환경요인으로 크게 나눌 수 있다. 일차적인 온배수에 의한 영향은 취수구에 흡입된 해수중의 화학종이 온도상승에 따라 입자태의 용해가 지화학적으로 가속되는 과정이 있으며 환원가가 높은 유기물의 경우 미생물학적인 산화 분해과정에 따라 상태변이가 촉진되는 생화학적 과정이 있다. 지화학적 과정은 대체로 생화학적과정보다 반응속도가 느리기 때문에 온배수에 의한 대부분의 화학종 변화는 생화학적 변화에 의한다고 볼 수 있다. 그러나 해수중의 일부 용존 중금속은 지화학적 과정이지만 온배수구 방출시 유기물 또는 부유물질에 의하여 흡착되어 짧은 시간 내에 상태변이를 일으키는 경우도 있다. 특히 취수구 스크린 망목보다 작아 취수구에 흡입된 미세 동식물은 냉각관내의 고압과 빠른 유속 그리고 냉각시스템 내부 고온의 방열핀에 충돌하여 상당부분의 생체조직이 파괴되어 미세한 사체 유기체설물과 용존 유기물의 증가가 온배수구에 나타날 수 있다. 이러한 유기물이 해

역으로 방출될 경우 방출외류에 의하여 일부분은 유기거품을 형성하게 되며 실제로 대부분의 온배수구 주변에 거품이 발생하는 것을 관찰할 수 있다. 부유물질과 중금속 등이 이러한 유기거품에 착화될 경우 유기거품의 flocculation 과정에 의하여 유기금속 입자의 형태로 온배수구 주변해역에 침전하여 이차적으로 해양퇴적물에 축적될 수 있다.

이러한 과정들은 연쇄적이고 상호 연관적으로 이루어지기 때문에 해수질과 같은 용존태 환경과 퇴적물과 같은 입자태 환경의 영향범위는 동시에 해양환경에서의 정량적 농도증감의 형태로 나타나게 된다. 또한 취수 및 온배수에 의한 해양환경의 생화학학적 변화과정 이외에도 냉각관 재질로부터 중금속이 미량이나마 용출될 수 있으며 특히 냉각관의 방오(anti-fouling)를 위하여 통상적으로 처리하는 염소주입은 온배수 주변해역에 온배수에 따른 잔류 염소의 농가증가로 나타나기도 한다. 이러한 온배수에 의한 해양환경 영향범위는 해수질과 해양퇴적물의 모든 조사 및 분석자료가 정량적으로 종합 해석될 때 온배수에 의한 인과관계를 유기적이고 객관적으로 규명할 수 있다. 따라서 표준화된 조사방법 및 분석방법에 의하여 획득된 다양한 해양환경 자료는 반드시 애매 모호한 자료 나열에 그치지거나 자의적인 해석에 의한 소모적인 논란이 일어나지 않도록 객관화된 통계처리방법에 처리되어야만 온배수에 의한 피해영향 범위 결정과 피해 유무 근거로 이용될 수 있다.

해양환경 자료해석의 통계처리방법은 여러 가지가 있으나 우리나라 대부분의 용역조사기관이 보편적으로 수행할 수 있고 다양한 과학분야에서 객관적 활용성이 검증된 다변량자료분석기법(multivariate data analysis)이 가장 바람직하다. 다변량자료분석기법도 여러 가지가 있으나 요인분석(factor analysis)이나 집괴분석(cluster analysis)을 이용하여 조사정점에 대하여 환경분석 항목자료를 변수로 하면 영향범위에 정점의 grouping이 가능하며 또한 온배수에 의한 주요 영향인자들을 중요도에 따라 순차적으로 구할 수 있다. 이때 요인분석에 의하여 구해진 주요 영향요인 중 1위에서 5위까지의 해양환경 항목을 온배수구를 중심으로 정량적 contour map을 도시하게 되면 해양환경적인 면에서의 영향범위를 가장 객관적으로 파악할 수 있다. 이로부터 구해진 영향범위내의 농도기울기에 따라 구해진 경사값과 배경농도 이상으로 증가된 농도차이 값은 피해정도의 가중치로 이용할 수 있다. 이 때, 각각의 주요 요인들에 의하여 구해진 영향범위와 가중치 중 가장 최대의 값을 해양환경적 가중치와 영향범위로 정하며 해양생태계 분야와 해양물리 분야의 결과가 종합될 경우 최종 피해범위는 각 분야의 전체집합 개념으로 정할 수 있을 것이다. 이러한 가중치 부여방식의 통계적 정량해석은 온배수에 의하여 해양환경변화의 차등적 피행영향 인과관계를 가장 잘 반영할 수 있을 뿐만 아니라 기존에 관행적으로 피해영향 범위에 산정에 있어서 단순 온도차이(1°C) 이상 해역을 모두 동일한 피해범위로 인정하는 관행적 방법의 논란과 난제를 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국해양학회의 연구비 지원을 받아 수행하였으며 총괄연구책임자인 충남대 노영재 교수님과 한국해양연구원 이재학 박사님께 감사를 드립니다.

참고문헌

- 김영환, 2000. 발전소 온배수와 해양생태계. 전파과학사.
- 김영환, 안중관, 이재일, 엄희문, 동해안 울진원전의 온배수 방출이 주변 해조군집에 미치는 영향. 한국조류학회지, 19: 257-270.
- 부경대학교 해양과학공동연구소, 2000. 영광원자력 발전소 온배수 저감시설 축조에 따른 인근해역에 미치는 예상 피해영향 검토 보고서.
- 이종화, 1998. 해양오염. 신평문화사.
- 서울대학교 해양연구소, 1998. 월성 2,3,4호기 온배수가 주변 생태계 및 양식장에 미치는 영향평가 최종보고서.
- 심재형, 여환구, 1994. 한국연안해역에 있어서 온배수 배출의 생태학적영향. IV. 고리원자력발전소 부근 해역 일차생산자의 생물량과 생산력. 한국환경생물학회지, 11: 124-130.
- (주)지오시스시스템리서처, 2003. 영광원자력발전소 온배수 영향 저감시설 설치에 따른 주변해역 수온분포 조사 및 평가.
- 충북대학교, 2002. 원전 온배수 문제 종합대응방안 수립을 위한 연구.
- 한국수력원자력(주), 2001. 구시포어항 사업지연에 따른 영광원전 온배수 저감방안 검토 보고서.
- 한국수력원자력(주), 2002. 울진원전 4개호기 가동에 따른 온배수 영향 및 어업피해조사.
- 한국수력원자력(주), 2004. 영광원자력발전소 온배수영향 저감시설 설치에 따른 주변해역 수온분포 조사 및 평가 국제기술회의.
- 한국수력원자력(주), 2006. 심층방류에 따른 해양생태계 변화 분석 및 평가.
- 한국전력공사, 1990. 발전소 온배수 확산에 관한 3차원 수치 모델 연구.
- 한국전력공사, 1994. 원자력발전소의온배수 영향 저감연구 -월성원전-.
- 한국전력공사, 1995. 영광원자력발전소 1,2,3,4호기 온배수로 인한 어업피해조사 최종보고서.
- 한국전력공사, 1996. 원자력발전소 주변 환경조사 및 평가보고서.
- 한국전력공사, 1996. 원자력발전소의 온배수 영향 저감방안 연구 최종보고서.
- 한국전력공사, 1998. 영광원자력발전소 4개호기 가동에 따른 온배수 영향 실측조사 보고서.
- 한국전력공사, 1999. 발전소 온배수 심층방류기술 연구 최종보고서.
- 한국전력공사, 2002. 고리원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서.
- 한국전력공사, 2002. 영광원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서.
- 한국전력공사, 2002. 영덕원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서.
- 한국전력공사, 2002. 울진원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서.
- 한국전력공사, 2002. 월성원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서.
- 한국전력공사, 2003. 고리원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서.
- 한국전력공사, 2003. 영광원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서.
- 한국전력공사, 2003. 영덕원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서.
- 한국전력공사, 2003. 울진원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및

- 평가보고서.
- 한국전력공사, 2003. 월성원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서.
- 한국전력공사, 2004. 고리원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서.
- 한국전력공사, 2004. 영광원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서.
- 한국전력공사, 2004. 울진원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서.
- 한국전력공사, 2004. 월성원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서.
- 한국전력공사, 2005. 고리원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서.
- 한국전력공사, 2005. 월성원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서.
- 한국전력기술공사(주), 1997. 영광원자력발전소 온배수 저감방안 보고서(방류제 및 냉각탑 설치방안 타당성 검토).
- 한국전력기술공사(주), 1999. 영광원자력발전소 4개호기 가동에 따른 온배수 영향 실측 조사 보고서.
- 한국해양연구원, 군산대학교, 1996. 영광원자력발전소 4개호기 가동에 따른 온배수 영향.
- 한국해양연구원, 1997. 월성 원자력 발전소 2,3,4호기의 온배수가 양식장에 미치는 영향.
- 한국해양연구원, 2000. 보령화력발전소 주변 해역 온배수 영향조사.
- 한국해양연구원, 부경대학교, 2002. 울진 원전 4개호기 가동에 따른 온배수 영향 및 어업피해조사.
- 한국해양연구원, 2002. 영광 5,6호기 건설 및 가동에 따른 광역해역조사.
- 한국해양연구원, 2006. 월성원전 4개호기 가동에 따른 온배수 영향 및 어업피해조사 용역.
- 해양수산부, 2005. 해양환경공정시험방법.
- 日本 福島縣 溫排水調査管理委員會, 1996. 日本 福島 原電團地 溫排水調査 綜合報告書.
- 度邊 競, 1990. 海面養殖と養魚場環境. 日本水産學シリーズ 82, 恒星社厚生閣. 日本福島縣溫排水調査管理委員會, 1996. 溫排水調査 綜合報告書.
- ASTM, 1997. Annual Book of ASTM Standards. Section 4. Construction. Vol. 04.08, ASTM, West Conshohocken, 970pp.
- Carver, R.E., 1971. Procedure in Sedimentary Petrology. Interscience Publisher, New York, 635pp.
- Folk, R.L., 1968. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill's, Austin, Texas, 170pp.
- Shepard, F.P., 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. Journal of Sedimentary petrology, 24: 151-158.
- Syvitski, J.P.M., 1991. Principles, methods, and Application of Particle Size Analysis. Cambridge University Press, Cambridge, 368pp.