

近域特性이 考慮된 水深積分模型을 利用한 表層溫排水模擬
Surface Heat Water Simulation Using Depth-Integrated Model
Incorporating Near Field Characteristics

徐承源* · 金德鎬**

Seung Won Suh* and Deok Ho Kim**

요 지 : 표층으로 방류되는 온배수의 거동을 효율적으로 해석하기 위하여 실시된 본 연구에서는 근역의 특성을 전문가 기법이 응용된 CORMIX3로부터 주변수 유동장의 변화를 고려하여 도출하였고, 이 결과를 원역모형인 2차원의 유한요소모형에 patch 형태로 격자체계상에 위치시킨 후 Gaussian puff 개념을 도입하여 해석하였다. 실제의 임해발전소를 대상으로 하여 4회에 걸쳐 관측된 현장자료를 분석하여 연직 및 수평적인 표층온수의 방출특성을 면밀히 살펴보고, 본 연구에서 제시한 방법을 적용하여 측정치와 비교한 결과 근역에서 뿐만 아니라 원역에서도 본 방법에 의하여 계산된 결과가 관측치와 거의 일치되는 매우 만족스러운 결과를 얻을 수 있었다. 배출구 인근의 근역을 10 m 내외로 이산화한 유한요소모형과 근역특성이 결합되어 초기 제모멘텀과 주변 유동장에 의하여 매우 불규칙한 온배수의 분포특성이 전역에 걸쳐 해석됨으로써 본 연구에서 제시한 방법이 온배수확산 거동해석에 경제적으로 적용되어질 수 있다.

Abstract □ Efforts are concentrated onto effective simulation of surface discharged heat water in two-dimensional depth-averaged finite element model using Gaussian puff algorithm incorporating near-field characteristics as patches computed from CORMIX3 with ambient flow variations. Concise analyses of horizontal and vertical temperature distributions are made for real coastal power plant discharges through four field observations and the results from this proposed method are in good agreements with observations in far-field as well as near-field. Thus, this method can simulate the heat dispersion effectively for the whole region since the complex jet momentum characteristics and ambient flows are easily represented in 10 meters of finite element discretization around a discharging point.

1. 서 론

표층방류된 온배수의 확산은 초기 제모멘텀과 주변 수유동의 영향으로 불규칙하게 변화되어 매우 복잡하므로 이에 대한 효율적인 해석방법으로 수치모형을 이용한 시도가 활발히 전개되고 있다. 그러나 온배수의 기작특성이 상이한 근역과 원역을 함께 만족시키면서 해석하기는 어렵다. 따라서 이런 이유 때문에 CORMIX3와 같이 기존에 연구되었던 대부분의 수치모형은 두 영역중 하나에 중점을 두어 근역의 해석에 치중하고 상대적으로 다른 영역을 무시하거나 단순화

해서 모의하였다.

점증하는 전력수요를 충족하기 위하여 통상산업부와 한국전력이 1995년말 밝힌 바에 따르면 2010년까지 총 46조 5천억을 투자해 원자력발전 19기, 화력발전 74기 등 총 122기의 신규건설이 계획되고 있으나, 또다른 한편으로 기 가동중인 임해발전소 인근에서는 온배수의 방출 때문에 지역주민과의 민원이 끊이지 않고 있다. 온배수의 방출이 주변해역에 영향을 미치는 것은 발전기 터빈의 냉각계통을 통과한 냉각수가 대체로 주변 해수보다 높은 온도로 방출되어 양식어장이나 어로에 부정적인 환경을 제공함으로써 나타난다. 이러

*군산대학교 해양공학과 (Department of Ocean Engineering, Korea Maritime University, Kunsan, Chonbuk, Korea)
**한국전력기술(주) 환경기술처 (Department of Environmental Technology, KOPEC, Yongin, Kyunggi, Korea)

한 분쟁은 발전소 배출구에서 수 Km 떨어진 곳에서의 영향유무가 관건이 되므로 근역의 확산기작을 이해하는데 주력하기보다는 원역에서의 확산-이송을 이해하는 것이 도움이 된다.

그러나 기본적으로 근역에서의 충분한 이해가 원역에서의 운배수를 해석하는데 직접적으로 영향을 미치지 때문에 관심이 원역에 집중된다 하더라도 근역에서의 특성을 정확히 모의해야만 한다. 그러므로 근역역을 동시에 만족하면서 해석할 수 있는 3차원의 모형이 최선의 해석도구임에 틀림없을 것이나 여러 어려운 점들 때문에 아직까지도 활발히 실용적으로 이용되지는 못하고 있다. 따라서 실용적으로 수심적분된 2차원의 원역모델이 비교적 용이하게 원역에서의 운배수 이동기작을 설명하는 것으로 인식되고 적용되고 있다. 그렇지만 문제는 수치모형화 방법상 균일 격자를 이용하는 유한차분법에서 계산의 효율성 때문에 전역에 대해 세격자를 취하지 못하고 근역의 범위보다도 훨씬 큰 수백 m의 격자체계를 운용하거나 가변격자체계를 이용하더라도 수십 m를 최소격자로 정의함으로써 최소 수 m 정도로 이산화해야만 변동이 심한 스모멘텀을 이해할 수 있는 근역에서의 기작을 충분히 설명하지 못하였다. 근본적으로는 아무리 세격자를 이용하더라도 원역모형에서는 근역의 현상을 재현한다는 것은 곤란하므로 가변격자를 이용하는 유한요소모형에서도 초기 방출된 온도가 급격히 감소되는 제 현상을 만족스럽게 재현하지 못했었다.

80년대 초부터 2차원의 유한요소전역모형인 CAFE와 DISPER를 이용하여 운배수 확산을 이해하는 연구가 시도되었고(Kaufman 과 Adams, 1981), 국내 해양연구소에서 이 모형을 이용하여 1982년도에 영광원전 주위에 적용한 바 있다. Adams는 이후 1987년도에 동일한 임해발전소의 운배수 확산을 다른 모형인 TEA 및 ELA를 이용하여 해석한 바 있다.(Adams, 1987) 이들의 연구는 기 연구된 실험실 혹은 현장자료로부터 수립한 관계를 적용하여 Fig. 1과 같이 운배수 방출구 전면의 근역역을 반경 300 m 내외의 반원형으로 형상화된 근역과 원역의 경계를 설정하고 이 내부에는 실험자료로부터 미리 설정된(계산된) 근역의 특성을 대입한 후 원역이 시작되는 이 반원형의 경계에서 이산화된 절점과 요소로부터 계산을 진행하였다. 표층방류된 점을 감안하여 부력의 영향을 받는 초기 혼합수심을 정의하고 방출된 온수가 이 영역내에서 완전히 혼

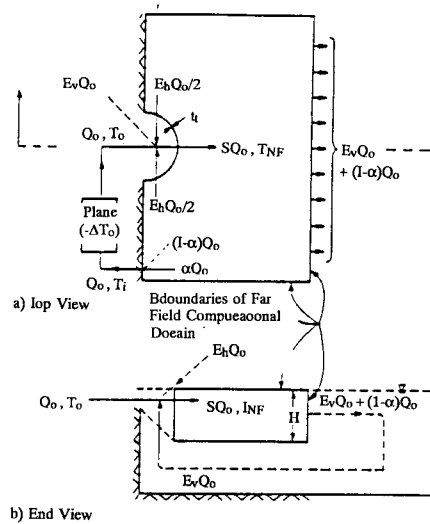


Fig. 1. Semi-circled near-field region (after Kaufman and Adams, 1981).

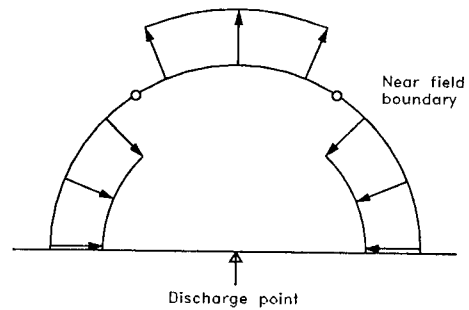


Fig. 2. Discharge distribution along semi-circled near-field boundary (after Kaufman and Adams, 1981).

합되었다고 가정하였다. Adams등이 시도한 연구의 접근은 2차원 전역모형을 이용하여 비교적 효율적으로 온수의 확산특성을 해석할 수 있는 방법상의 효시로써 중요성을 부여할 수 있을 것이다.

그러나 이들의 연구에서 계산의 영역으로 삭제한 반원형은 반경이 300 m 정도로서 균일하게 취해졌기 때문에 실제에서 원역의 확산기작에 영향을 미치는 근역의 운동 및 기작이 너무 단순하게 처리된 단점이 있다. 또한 확산모형의 입력으로 이용되는 해수유동을 모의하는데 있어 이렇게 제외된 반원형상이 가상의 고정경계로 인식되어 실제 방출된 제의 특성을 표현하지 못하고 비현실적인 유동장을 유발하였다. 비현실적인 면을 줄이기 위하여 Fig. 2에서 처럼 제의 분류를 방출구 전면에 수개의 절점에 대해 인위적으로 위치시키고 질량보존을 만족시키도록 양측면에 유입류를 강제적으

로 설정하였는데, 주변수의 유동이 미약할 때는 제분 출과 이로 인한 주변수의 연행이 묘사될 수 있으나, 유동장이 강할 때는 잘못 재현될 수 있고 결과적으로 원역에서의 온배수 확산기작에 직접적으로 영향을 끼쳐 잘 못된 온배수 확산을 제공할 수 있다.

본 연구에서의 접근방법은 Adams가 제안하였던 것과 같이 근역과 원역을 분리 결합하여 해석하고자 하나 앞서 서술된 비현실적인 유동장을 제공할 수 있는 반원형상으로 도려낸 근역의 경계를 없애고, 대신에 실제 배출구의 특성을 연구하였던 서와 김(1995)이 제시한 근역의 경계인 200 - 300 m 이내에서는 보다 세밀하게 이산화한 10 m 내외의 요소를 이용하며, 근역의 특성은 특성길이 l_o 를 이용해서 주변수 유동장의 변화에 따라 전문가 기법이 도입되어 능동적으로 계산되는 CORMIX3 모형을 실행하여 상세히 해석한다. 계산은 임해발전소로부터 방류된 온배수 확산과 비교하여 본 연구에서 제안한 방법의 향후 활용성을 모색한다. 이와 같이 시도되는 새로운 접근방법은 앞서 지적한 바와 같이 기존 대부분의 모형이 어느 한 영역에 비중을 두어 다른 영역을 상대적으로 등한시한 이유가 length scale의 차이에 기인된 것이므로, 본 연구에서 제안하는 특성길이모형을 이용하여 근역과 원역을 결합 해석하는 것이 더욱 자연스러운 결과를 나타낼 수 있다.

2. 표층방류된 수온의 연직구조와 근역특성

표층으로 방류된 온배수의 특성을 파악하기 위해서는 배출구 주변의 다수의 정점에서 관측한 수심별 수온의 형태가 중요하며 이로부터 근역의 특성을 이해할 수 있다.

본 연구에서 선정한 임해발전소는 천수만 내에 위치한 보령 화력발전소로서 현재 500MW급 6기가 가동 중에 있다. 천수만은 지형적인 특성상 바람 등의 외적인 영향을 거의 받지 않고 전적으로 만 입구에서의 조석에 의해 내부순환이 결정되는데 만내의 수심도 20 m~30 m 정도로서 대체로 일정하여 배출된 온배수가 성층화되지 않으며 조간대의 영향을 크게 받지 않는다.

온배수 방출량은 계절에 따라 발전용량에 따라 다소 달라지나 설계용량인 500MW당 초과수온 7°C의 13cms에 버금가는 양이 배출된다. 수온의 연직구조와

근역특성을 이해하기 위하여 현장관측이 실시되었던 4회의 배출량 및 수온은 이미 전회의 연구(서와 김, 1995)에 제시되었다. 냉각기를 통과한 온수는 표층으로 15 m×5 m의 콘크리트 박스를 통하여 배출된다.

방출된 온배수의 계절적인 분포변화를 살펴기 위하여 Fig. 3에서 보는 바와 같이 다수의 정점에서 수심별 수온을 관측하였다. 수온의 평면적인 분포는 전회의 연구(서와 김, 1995)에 도시되고 있어 본고에서는 생략하고, 연직적인 분포를 초과수온으로 변환 도시하여 Fig. 3에 정점도와 함께 표현하였다. 여기서는 조사된 정점을 배출구로부터 직선적으로 떨어진 거리별로 표현하였다.

주변 조류속이 강할 때 측정하였던 1,2회 관측시는 방류초기에 100 m 내외에서 방출초기의 제영향으로 약 8~10 m의 비교적 두터운 혼합수심을 보이던 것이 배출구로부터 거리가 멀어짐에 따라 부력의 영향을 받아 표층으로 부상되어 점차 혼합수심이 얇아진다. 대체적으로 배출구로부터 약 300 m 정도 유하된 이후에는 수온의 연직구조가 급격히 깨어지고 수심에 대한 수온의 연직온도구배가 둔화됨을 알 수 있다. 약 800 m 이후에는 수심 전층에 걸쳐 수온의 변화가 뚜렷이 나타나지 않는다. 상대적으로 주변 조류속이 약하였던 소조시인 3, 4회의 플룸성향을 띄우던 관측성과를 분석하면 배출구 인근의 100 m 내외에서는 약 7~8 m의 일정한 혼합수심이 유하거리가 증가하면서 연직혼합이 활발하게 나타나 혼합수심이 점차 두터워지고 수심에 대한 온도구배가 완만해진다.

연직혼합이 진행되는 경향은 배출구 인근 주변 조류속이 약할 때 활성화적으로 나타나는데 이와 같은 현상은 주변 조류속의 변화에 의한 난류혼합에 기인된 것으로 설명하기는 불충분하며 온배수 배출 특성에 따라 달라진다. 배출 특성을 객관적으로 표현할 수 있는 것이 국부적인 혹은 배출 유량이 고려된 밀도 후로드수 (local or discharge densimetric Froude number)이며 다음의 Table 1에 표현된 F_o' 이며

$$F_o' = \frac{u_o}{\sqrt{g_o l_o}} \quad (1)$$

이고, 여기서 특성길이

$$l_o = \sqrt{b_o h_o} \quad (2)$$

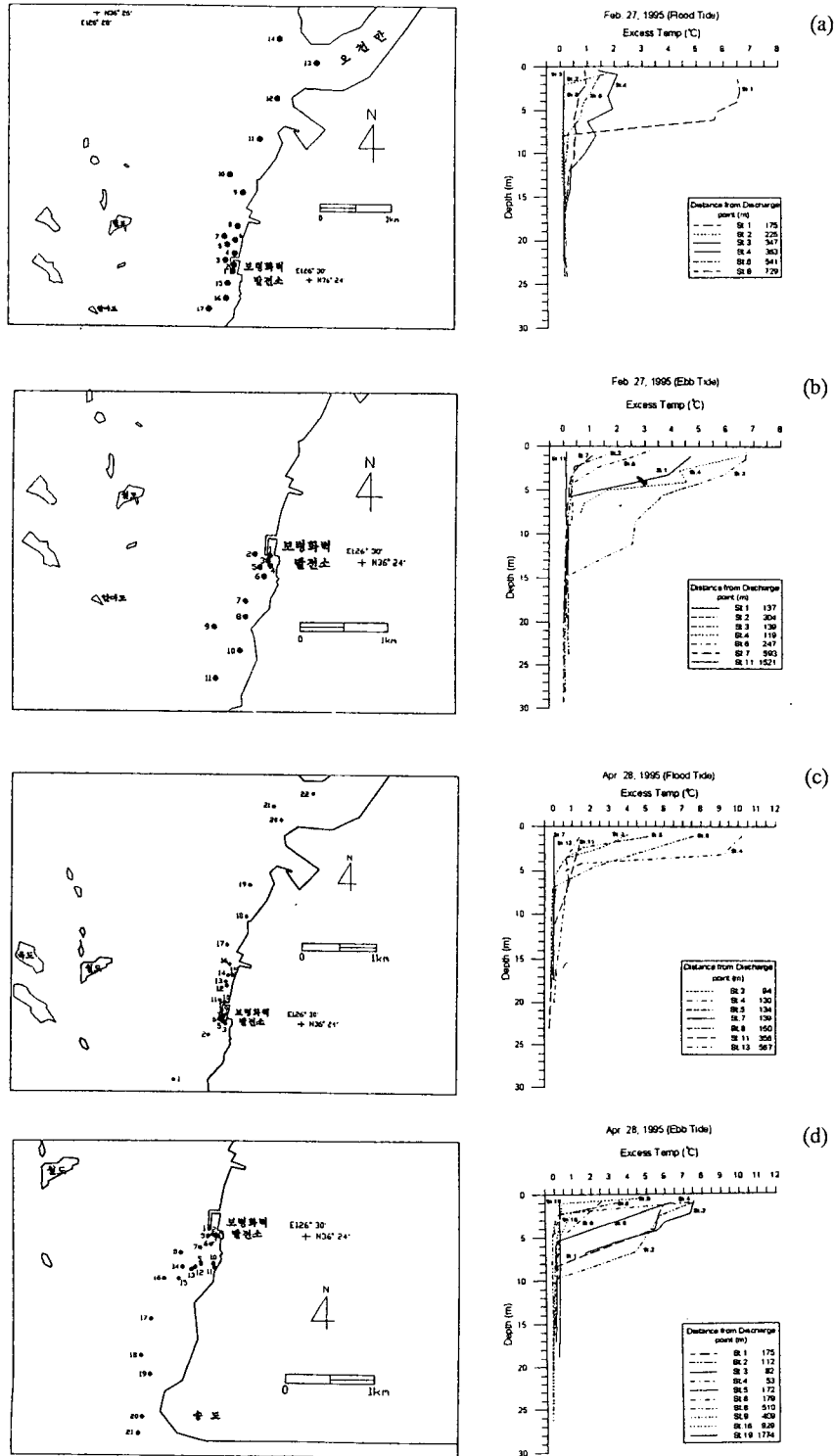


Fig. 3. Sampling stations and vertical temperature distributions near Boryong power plant at each observation (a) 1st flood tide (b) 1st ebb tide (c) 2nd flood tide (d) 2nd ebb tide.

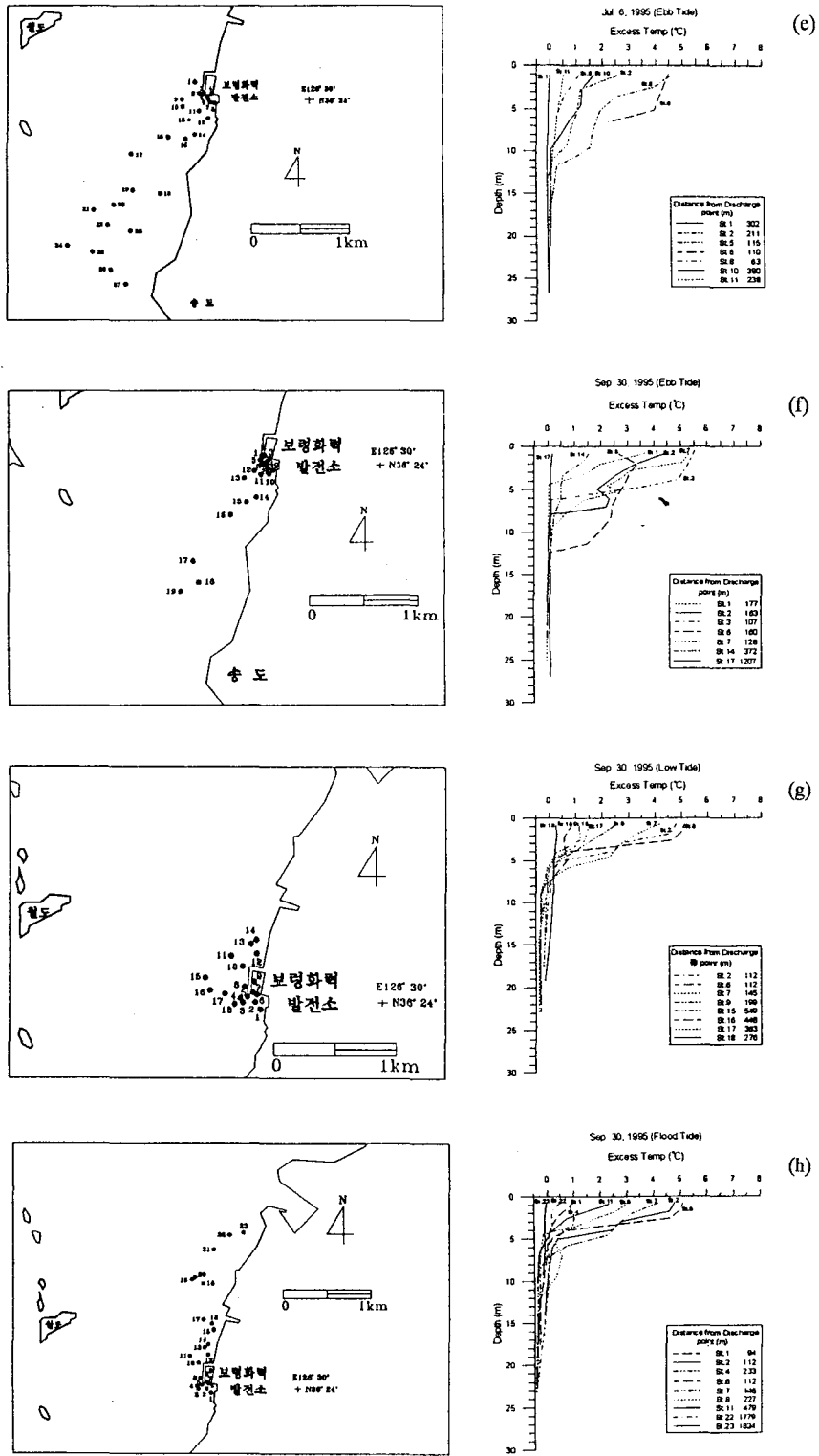


Fig. 3. (Continued). Sampling stations and vertical temperature distributions near Boryong power plant at each observation (e) 3rd ebb tide (f) 4th ebb tide (g) 4th low tide (h) 4th flood tide.

이며,

$$g'_o = \frac{\rho_a - \rho}{\rho_a} g \quad (3)$$

로서 ρ_a 는 주변수 밀도를, ρ 는 배출수 밀도를 나타낸다. 본 조사에서 분석한 결과에 의하면 $F'_o < 2.4$ 에서는 표층으로 부상하는 형태를 보이고 $F'_o > 4.7$ 에서는 연직 혼합이 확실적으로 있었음을 보인다. 이러한 관계는 부력유출량으로 정의되는 $B = g'_o Q$ 의 값이 각 관측시에 각각 1.43, 1.43, 1.87 및 $2.03 \times 10^{-2} \text{m}^4/\text{s}^3$ 으로 커짐에 따라 혼합수심이 점차 두터워지고 수심에 대한 온도구배가 완만해지고 있는 것을 알 수 있다. 특성길이와 밀도후로드수가 관계되어 정의된 최대 혼합수심 및 거리는 Jirka 등.(1981)에 의하면 $h_{\max} \approx 0.42 l_o F'_o$ 및 $x_{\max} \approx 15 l_o F'_o$ 로써 본 고에서 고찰한 1, 2회의 근역에서 관측된 결과와 부합되는 결과를 제공하고, CORMIX3를 이용하여 산출한 근역의 경계에서의 혼합수심이 5.0~8.6 m 임을 보인다. Table 1에는 이 값들 이외에 아래첨자 NFR로 표현된 CORMIX3의 결과와 관측한 결과를 도시하여 이로부터 추론한 특성이 배출특성을 표현하는 파

라메타와 함께 세로 칸의 그룹별로 수록되었다.

3. 근역결과와 원역모형 결합

수온의 연직구조 및 분포 고찰을 통해서 배출구로부터 200~300 m 정도 내외의 근역에서는 확연한 수온 성층이 나타나지만 800 m 정도를 유하한 이후에는 전층에 걸쳐 수온의 변화가 크게 나타나지 않고 배경수온보다 약간 높은 분포를 보이고 있다. 따라서 전회의 연구에서 고찰하였던 온배수의 평면적인 분포와 함께 이번에 제시한 연직적인 구조를 통하여 보듯이 그 특성이 상이하므로 서론부에서 언급하였던 것과 같이 온배수 해석을 효과적으로 실시하기 위해 근역과 원역으로 구분하여 해석한 후 적절히 결합하는 것이 바람직하다.

3.1 결합방법

근역의 결과를 원역모형에 표현하는 방법에는 몇 가지 방법이 고려될 수 있는데 Zhang(1995)과 같이 부력이 없는 경우에 입자를 추적하는 방법, 그리고 기존연

Table 1. Observed characteristics of discharged heat water (in 2nd grouped column).

	Heat Flux Q	Effluent Velocity u_o	Ambient Density ρ_a	Effluent Density ρ_o	Reduced g g'	Buoyant Flux $g'Q$	Density Froude Number F'_o	Max Mixing Depth h_{\max}	Max Mixing Length x_{\max}	Length Scale l_o
	(m^2/s)	(m/s)	(kg/m^3)	(kg/m^3)	(m/s^2)	(m^4/s^3)		(m)	(m)	(m)
1st	73	0.97	1023.7	1021.7	0.0196	0.0143	2.36	8.6	307	8.66
2nd	65	0.87	1023.0	1020.7	0.0220	0.0143	1.98	7.2	257	8.66
3rd	156	2.08	1020.8	1019.6	0.0120	0.0187	6.45	23.5	838	8.66
4th	130	1.73	1020.7	1019.1	0.0156	0.0203	4.72	17.2	613	8.66

Temp. at NFR C_{NFR} ($^{\circ}\text{C}$)	Dilution at NFR S_{NFR}	Distance to NFR X_{NFR} (m)	Mixing Depth h_{NFR} (m)	Observed NFR Depth h_{NFR}^o (m)	Observed Distance to NFR X_{NFR}^o (m)
2.78	2.5	86	6.0	7.5	160
4.91	2.2	73	5.1	7.5	160
1.38	3.2	258	5.8	7.5	135
1.65	3.4	90	16.3	5.0	145

Maximum jet depths and distances are estimated from the results of Kaufman and Adams(1981).
The 3rd grouped column are from CORMIX3 NFR (near-field region) values.
The final grouped column are from observed data.

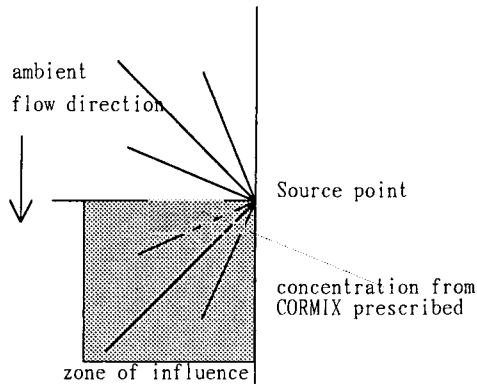


Fig. 4. Patches on finite elements with near-field characteristics.

구에서 고찰하였던 Kaufman 과 Adams가 제시하였던 것과 같은 단순한 방법 등이 있다. 공학적인 해석의 목적으로 수심적분된 2차원의 원역모형을 이용하는 경우는 근역의 특성을 원역모형에 반영시키는 단순접합 (simple welding) 방법이 효과적인 방법으로 고려될 수 있다. 문제는 여하히 근역의 제 특성을 표현할 것인가가 관건이다.

본 연구에서는 Fig. 4에 형상화한 것처럼 주변흐름을 고려하고 배출구로부터 방류된 온배수의 근역특성을 전문가 기법이 응용된 CORMIX3를 실행한 결과를 patch 형태로 근역내에 위치시켜 원역모형내에 결합시키는 방법이 제시되었다.

효과적으로 유한요소영역내에 이러한 patch를 위치시키는 것이 최대의 문제가 되는데 적용방법은 유한요소 격자체계상에서 주변수 유동의 크기와 방향을 고려하여 특성길이모형을 이용한 근역에서 미리 계산된 근역의 경계, 평균회석률, 혼합수심, 혼합거리, 회석된 수 온도의 제반 값을 계산이 진행되는 때 시간단계에 설정한다. 이런 특성이 근역에서 세격자로 이산화된 몇 개의 요소에 중첩되어 포함되므로 실제로는 후술되는 원역모형에서 patch의 물리적인 면을 고려한 puff의 개념을 도입하여 인근 절점에서의 값으로 표현한 후 계산을 진행한다. 이때의 puff는 Fig. 5에서와 같이 방출 초기의 source가 시간이 경과되면서 제중심선을 따라 수평 및 연직방향으로 변화되는 것을 Gaussian distribution으로 가정하여 인근의 절점들에 해석적으로 분포시키는 방법이다. 이 방법은 Baptista(1987)가 유한요소절점에 위치한 source의 크기가 너무 작아 인근 절점들이 적절히 보간 되어지지 못할 때 최소한 수개의

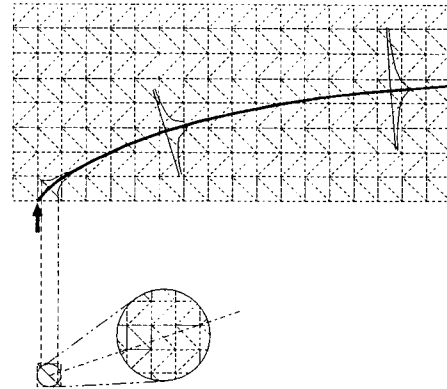


Fig. 5. Gaussian puff for patches on near-field elements.

요소에 이 source가 충분히 확산되도록 시간경과를 고려하여 해석하는 것을 제안하였다. 원역모형의 시간적분방법으로 음해법을 이용한다면 CFL 안정조건에 구애받지 않으므로 1조석주기를 단지 몇 번 정도의 시간 단계로 구분한 후 그 값을 대입하면 되므로 계산상으로 매우 유리하다. 실제적인 계산의 진행은 매 시간단계에서 CORMIX3를 통하여 미리 계산된 값들이 근역의 경계 내에 정의되고, 근역의 특성이 고려된 중간역 및 원역에서는 puff 개념이 도입되어 계산이 외해로 주변수 유동과 함께 진행된다. 따라서 이러한 표현을 이용하면 실제 방출된 온배수의 제이 제중심선을 따라 분포되는 것이 이와 유사하므로 적절히 온배수의 확산 및 이동을 모의할 수 있는 것으로 인식될 수 있다.

3.2 원역모형과 주변수유동 모의

원역에서의 온배수 확산을 모의하기 위하여 본 연구에서 선정된 모형은 수심적분된 2차원의 유한요소모형이며 계산의 정도와 효율이 증진된 연산자 분리기법이 응용된 모형(ELA)으로 서(1993)가 연안역의 부유사확산을 모의하는데 적용한 바 있다. 기본적으로는 부유사와 온배수의 확산과정이 동일 기본식으로 설명되어 공히 적용되나 침강으로 인한 부유사의 소멸과 수표면에서의 열교환으로 인한 열손실만 계산시 고려하면 된다. 상세한 식의 전개는 서(1993)의 논문에 있으므로 본고에서는 생략한다.

온배수확산의 구동에 필요한 주변수 유동자료는 수동역학모형으로부터 구할 수 있는데 확산모형과 연계하여 적용할 수 있도록 역시 수심적분된 2차원의 유한요소모형(TEANL)을 적용한다. 모형은 조화유한요소

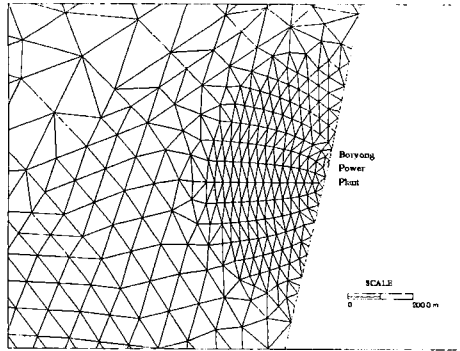


Fig. 6. Radial finite element discretization in front of discharge point.

기법을 응용한 것으로 비선형의 수심적분된 Navier-Stokes 방정식을 기본식으로 하여 선형보간함수가 적용되었으며 조화기법이 적용되어 시간적분에 있어 매우 유리하고 장기간의 연안수동역학모의 및 이의 결과를 이용하는 연안오염모의 등에 적합하다. 이미 이 모형은 방조제축조시의 영향해석에 적용된 바 있으므로 (서, 1994) 본고에서는 식의 유도 및 전개과정은 생략한다.

수치모형의 적용을 위한 이산화작업에서 전영역용 수동역학 모의시는 2232개의 요소와 1239개의 절점으로 분할하였으며 온배수의 방출제를 모의할 수 있도록 배출구 앞에서는 배출구의 폭과 같은 15 m로 이산화하였고 최대는 3200 m 정도로 이산화 하여 광역과 협역의 동시성을 만족하도록 하였다. 이렇게 세격자로 이산화를 하였어도 온수방출량을 모의하는 제 흐름에서 부력의 효과는 본 수동역학모형에 반영되지 않은 비흡한 점이 없지는 않으나 방출구 지점에서의 제 효과와 주변수 연행이 모의될 수 있다. 온수가 방출구로

부터 제 분사로 나오는 형상을 자연스럽게 묘사하기 위하여 방출구를 중심으로 Fig. 6에서처럼 방사상으로 이산화를 하였는데 이러한 이산화는 Raithby(1988)가 3차원적인 온수방출을 모의하며 접근하였던 것과 유사하다. 온배수 모의시는 2차보간함수가 적용된 6절점 삼각형 요소를 적용하여 방출구 인근에서 10 m 이내로 이산화를 실시하였다. 수동역학모형을 구동하기 위한 조건으로는 본 연구대상 해역의 조석형태수가 0.20으로써 반일주조가 우세하기 때문에 친수만 입구에서의 조석중 반일주조인 주태음 및 주태양반일주조의 진폭과 지각을 입력으로 이용하였다. 해수유동 모형을 구동하기 위해서는 기본적인 입력자료로서 대상해역의 지형과 수심자료가 필요한데 본 연구에서는 이들의 자료를 교통부 수로국에서 1993년에 간행한 해도 322번으로부터 Digitizer를 이용하여 자동 입력하였다.

3.3 수치실험 및 비교검토

해수유동의 개방경계로 설정한 곳은 온배수 방출지점으로부터 충분히 멀리 떨어진 지점으로써 이 곳의 경계에서는 내부의 온배수 확산이 영향을 받지 않는 온도 (0°C)를 취하였고, 최초 계산시작 단계의 배경 온도도 역시 0°C로 하였다. 확산에 영향을 미치는 평면적인 확산계수는 10~20 m²/sec 을 취하였는데 이 값은 이 일대 해역에 대하여 부표추적 등의 방법을 통하여 획득한 값이다. puff 확산계수도 10 m²/sec 을 취하였다. Table 2에는 근역의 특성을 CORMIX3 모형을 이용하여 주변흐름에 따라 계산된 자료가 수록되어있고 이들 값이 수심적분된 원역모형에 patch형태로 입력되어 계산된다.

총 4회에 걸친 실제해역에서의 온배수 확산의 결과

Table 2. Model input data from near-field model, CORMIX3 for the 1st observation.

Ambient Velocity U _a (m/s)	C _{NFR} °C	Location of NFR		Mixing depth h _{NFR} (m)	Dilution rate S _{NFR}
		Jet Centerline X(m)	Offshore Y(m)		
0.1	1.93	880	640	3.25	7.2
0.3	0.98	154	114	19.0	7.0
0.5	2.47	152	52	14.0	5.6
0.7	3.59	98	25	10.5	3.9
0.9	4.20	73	18	8.7	3.3
1.1	4.80	56	14	7.5	2.9
1.3	5.36	45	11	6.5	2.6

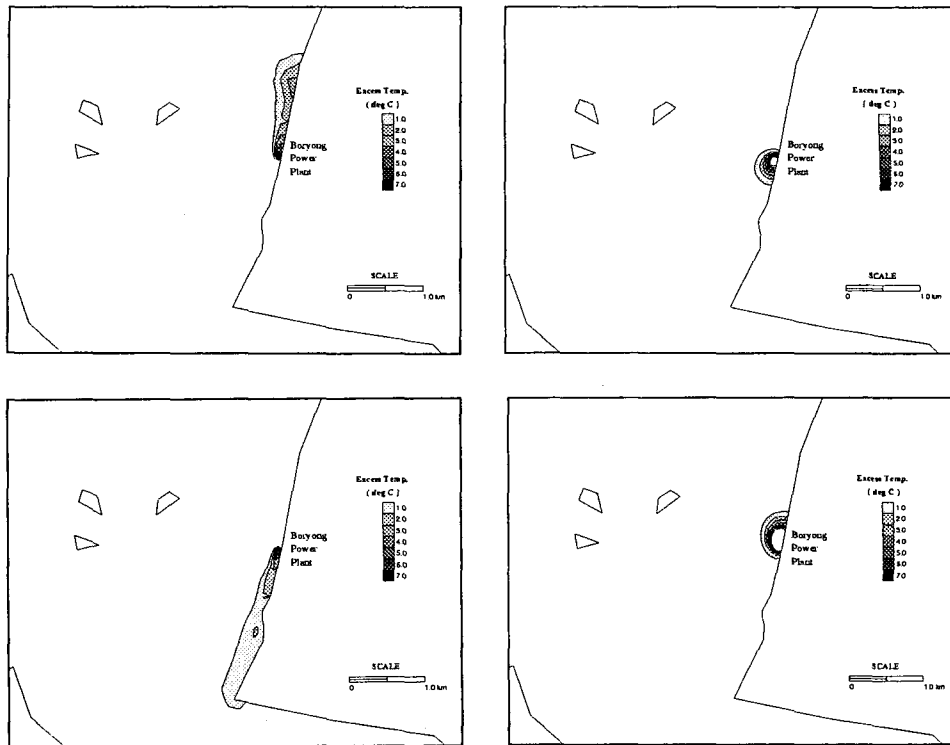


Fig. 7. Computed excessive isotherms at (a) flood (b) high (c) ebb (d) low tide.

를 앞에서 살펴보았듯이 관측시점에 따라 다소의 차이는 있으나 전반적으로 온배수는 주변 조류속에 지대한 영향을 받고 있는데, 그 중에서 모형검증에 적합한 경우로써 부력유출량이 $0.0143 \text{ m}^3/\text{s}$, $F_0 = 2.36$ 인 제1회 측정하였던 대조시에 관측한 자료를 이용하였다. 이 경우는 주변 조류속이 창낙조시 변화되는 양상을 확연히 나타내고 있으며, 이로 인한 온배수도 남북방향으로 확산됨을 비교적 잘 보여주고 있다.

실험결과 1°C 상승역이 창조시에는 배출구로부터 연안을 따라 약 1.2 Km 까지 분포되고 낙조시는 약 2 Km 하류인 송도부근까지 확산되는 것으로 나타났다 (Fig. 7). 그러나 저조 및 고조등의 계류시는 약 400 m 이내에서 플룸의 특성을 띠고 배출구 인근에서만 분포되어 있다. 본 연구에서 제시한 방법에 의한 결과와 전회의 연구에서 CORMIX3 만을 적용하여 해석한 결과와 비교하면 CORMIX3는 원역에서 현장관측치보다 범위가 작게 해석되는 경향이 있으나, 본 원역모형에서는 근역뿐만 아니라 원역에서도 만족스럽게 관측치와 일치되는 결과가 나타나고 원역에서 다소 관측치보다 높은 값이 나타났다. 전반적으로 전회의 연구에서

표현하였던 평면적인 온배수 확산 그림과 비교하면 매우 잘 일치하고 있음을 알 수 있으며, 본 모형이 효과적으로 근역 및 원역에서의 온배수 확산 경향을 매우 잘 예측할 수 있는 것으로 판단된다.

4. 결 론

온배수를 방출하는 입해발전소의 주변 온수의 거동을 경제적으로 해석하기 위하여 실시된 본 연구에서는 근역의 특성을 고려한 수심적분된 원역모형을 이용하여 해석하였으며, 근역특성은 전문가 기법이 응용된 CORMIX3로부터 주변수 유동장의 변화를 고려하여 도출하였고, 이 결과를 원역모형인 2차원의 유한요소 모형에 patch 형태로 유한요소 격자체계상에 위치시킨 후 온수의 분포가 중심선을 따라 수평 및 수직방향으로 분포되는 것이 정규분포를 이룬다고 가정하여 Gaussian puff 개념을 도입하여 해석하였다. 천수만 내에 위치한 보령화력발전소를 대상으로 하여 4회에 걸쳐 관측된 현장자료를 분석하여 연직 및 수평적인 표층온수의 방출특성을 면밀히 살펴보고 배출구로부터

200~300 m 정도 내외의 근역에서는 확연한 수온 성층이 나타나지만 800 m 정도를 유하한 이후에는 전층에 걸쳐 수온의 변화가 크게 나타나지 않고 배경수온보다 약간 높은 분포를 보이고 있음을 알 수 있었고, 본 연구에서 제시한 방법을 측정치와 비교하여 근역에서 뿐만 아니라 원역에서도 매우 만족스러운 결과를 얻을 수 있었다.

연안의 발전소로부터 방출된 온수는 초기 체모멘텀과 주변 유동장에 의하여 매우 불규칙하게 변화되는데 배출구 인근에서 10 m 내외로 이산화탄 유한요소모형과 근역특성이 조화되어 온배수의 분포특성이 전역에 걸쳐 해석됨으로써 본 연구에서 제시한 방법이 향후 다른 임해발전소 온수확산 거동해석에 효율적으로 적용되어질 수 있을 것이다.

謝 辭

본 연구는 한국과학재단의 지원으로 수행중인 핵심전분과제(951-1201-011-2)의 일부 결과이며, 한국전력기술(주)로부터 현장관측 등 일부를 지원 받아 수행한 것으로 심심한 사의를 표한다.

참고문헌

- 서승원, 1993. 2차원 Eulerian-Lagrangian 모형을 이용한 연안해역의 확산 해석, 한국해양·해양공학회지, **5(3)**, pp. 173-181.
- 서승원, 1994. 방조제 축조 영향해석에서의 유한요소모형, 한국해양·해양공학회지, **6(2)**, pp. 196-204.
- 서승원, 김덕호, 1995. 천해역에서의 표층온배수 확산해석, 한국해양·해양공학회지, **7(4)**, pp. 340-345.
- Adams, E.E. and Cosler, D.J., 1987. Predicting circulation and dispersion near coastal power plants: Applications using models TEA and ELA, *Energy Laboratory Report No. MIT-EL 87-008*.
- Baptista, A.E., Adams, E.E. and Stolzenbach, K.D., 1984. The solution of the 2-d unsteady convective diffusion equation by the combined use of the FE method and the method of characteristics, *Report 296*, R.M. Parsons Laboratory, MIT.
- Jirka, G.H., Adams, E.E. and Stolzenbach, K.D., 1981. Buoyant surface jets, *J. of Hydraulics Division, ASCE*, **107(HY11)**, pp. 1467-1487.
- Kaufam, J.T. and Adams, E.E., 1981. Coupled near and far field thermal plume analysis using finite element techniques, *Energy Laboratory Report No. MIT-EL 81-036*.
- Raithby, G.D., Elliot, R.V. and Hutchinson, B.R., 1988. Prediction of three-dimensional thermal discharge flows, *J. of Hydraulics Division, ASCE*, **114(HY7)**, pp. 720-737.
- Zhang, X.Y., 1995. Ocean outfall modeling: Interfacing near and far field models with particle tracking method, Ph.D. Thesis, MIT.
- 서승원, 1993. 2차원 Eulerian-Lagrangian 모형을 이용한 연안해역의 확산 해석, 한국해양·해양공학회지, **5(3)**, pp. 173-181.