



오염물질의 해양방류 기술(Ⅲ)

서일원 (서울대학교 토목공학과 교수)

이재형, 김창시 ((주)대우 항만단지 설계팀)

이대수, 강금석 (한국전력공사 전력연구원)

제 1 편 : 부력제트 및 확산관 이론
제 2 편 : 온배수 및 하수 확산에 관한 수치모델
제 3 편 : 온배수 확산관의 설계 및 시공
제 4 편 : 하수 확산관의 설계 및 시공
제 5 편 : 해양 방류관로의 일반 설계
제 6 편 : 확산관을 이용한 CO ₂ 해양방류

수 있는 바와 같이 각 발전소에서 해안으로 방류되는 온배수량은 중소 하천의 유량정도로 매우 크고 대부분 표층방류 기법을 이용하여 해안으로 방류하고 있다. 따라서 이 온배수들이 갖고 있는 열량이 주변 수체에 특별한 처리과정이 없이 방류되고 있는 실정이며 이에 따라 온배수에 의한 환경영향이 심각한 문제로 대두되기 시작하였다. 해외의 경우 온배수에 의한 환경오염문제를 해결하기 위하여 온배수 규제기준을 제정하여 이를 시행하고 있으며 (전력연구원, 1998), 이 기준을 만족시키기 위하여 온배수확산관을 설치할 것을 권장하고 있다.

제 3 편 온배수 확산관의 설계 및 시공

1. 서 론

본 강좌의 제1편에서는 확산관 설계의 기초가 되는 부력제트 및 확산관이론(buoyant jet and diffuser theory)에 대하여 기술하였고, 제2편에서는 제1편의 이론을 바탕으로 구성된 수치모형에 관한 내용을 소개하였다. 제3편에서는 원자력발전소 및 화력발전소에서 사용되는 온배수확산관(thermal diffuser)에 대한 설계이론 및 외국의 시공사례를 소개하고자 한다.

Table 1.은 국내의 화력발전소 및 원자력발전소의 현황을 정리한 것이다. 이 자료로부터 알

Table 1. 국내의 화력 및 원자력발전소의 온배수 방류현황

발전소명	설비용량 (MW)	온배수량 (m ³ /sec)	조류속 (m/sec)	방류구조물
삼천포화력	560×6기	132.34	0.30 - 0.60	콘크리트 개거
보령화력	500×6기	155.05	0.35 - 2.57	콘크리트 암거
서천화력	200×2기	14.92	0.44	강관
인천화력	250×2기, 325×2기	36.60	1.50 - 2.00	콘크리트 개거
평택화력	350×4기	49.20	1.55 - 1.60	콘크리트 개거
울산화력 1, 2, 3호	200×3기	21.67	0.60 - 1.00	콘크리트 암거
울산화력 4, 5, 6호	400×3기	45.00	0.68	콘크리트 암거
영동화력	125×1기, 200×1기	9.72	0.39	콘크리트 개거
여수화력	200×1기, 300×1기	20.43	0.39	콘크리트 개거
영남화력	200×2기	14.80	0.60 - 1.00	콘크리트 개거
호남화력	280×2기	20.33	1.20	콘크리트 암거
서울화력	137×1기, 250×1기	12.43		강관 (하천)
고리원자력	587×1기, 650×1기 950×2기	200.50	0.20 - 0.40	콘크리트2련암거
월성원자력	679×2기, 700×2기	171.20	0.20 - 0.50	콘크리트2련암거
영광원자력	950×6기	390.00	0.30 - 0.40	콘크리트 BOX
울진원자력	950×4기, 1,300×2기	400.00	0.13 - 0.20	콘크리트2련암거

2. 온배수 확산관

2.1 온배수 확산관의 특성

온배수의 방류를 위해 사용되는 온배수확산관의 경우는 하수의 처리를 위해 사용되는 하수확산관(sewage diffuser)과 비교하여 다음과 같은 특성을 가진다. 첫째, 발전소에서 발전후 방류되는 온배수는 일반적으로 주변수보다 약 7~12℃ 정도 높고, 확산관을 이용하여 이 초과온도를 1℃ 이내로 감소시키기 위해서 요구되는 회석률은 약 10정도이며 이를 만족시키기 위해 일반적으로 수심 30m 내외의 천해영역에 확산관을 설치한다(Harleman, 1975). 둘째, 방류수와 주변수의 상대적인 밀도차가 약 0.3% 정도로 부력의 효과가 하수확산관의 경우에 비하여 매우 작은 편이다. 셋째, 온배수확산관의 경우는 방류수심이 얕고, 방류수심에 비해 확산관의 길이가 길며 방류유량이 커서 방류구 주위에서 방류수가 수심전체에 걸쳐 재순환되면서 완전혼합이 이루어지는 매우 불안정한 흐름양상을 나타낸다(Holley and Jirka, 1986). 따라서 하수확산관의 근역해석은 일반적인 부력제트이론(Fischer et al., 1979)을 사용하여 해석이 가능한 반면, 온배수확산관은 부력제트이론을 적용하지 못하고 천해확산관 이론(Jirka, 1982)을 적용해야 한다.

다공확산관을 이용하여 온배수를 방류할 때의 혼합 거동의 양상은 크게 2가지로 분류하여 살펴볼 수 있는데 이는 근역(near field)에서의 혼합거동과 원역(far field)에서의 혼합거동으로 나누어 살펴볼 수 있다. 근역에서의 혼합거동은 확산관의 형태, 주변해저의 지형, 제트류의 부력 및 방류특성에 의해 크게 지배받는다. 즉, 방류구에서 분사된 제트는 먼저 주변수의 유입을 촉진시켜 방류유속이 감소함과 동시에 초과수온이 감소하게 된다. 그리고 방류각과 부력에 의해 제트의 궤적은 수표면을 향하게 된다. 수표면에 도달하게 되면서 흐름은 수표면을 따라서 횡방향으로 이송·확산이 일어난다. 여기서 흐름의 안정성이 근역의 회석률을 결정하는 중요한 요소가 된다. 흐름이 불안정하게 되면 이미 혼합이 이루어진 물이 다시 제트에 재유입됨으로써 초기회석률이 낮아진다. 부력의

영향이 작고 초기 운동량이 지배적인 영향을 미치는 온배수확산관 근역의 불안정한 흐름형태는 본 강좌의 제1편을 참고하기 바란다.

2.2 온배수확산관의 종류 및 회석률

발전소의 온배수를 방류하기 위해 일반적으로 사용되는 확산관의 형태는 주변수의 흐름방향과 확산관 축 및 제트의 방류 방향과의 관계에 따라 크게 네가지로 구분할 수 있다. Table 2.는 이 네가지 형태의 온배수확산관에 대한 개략도와 장단점 및 적용된 발전소를 정리한 것이며 적용된 발전소 대부분이 해안으로 온배수를 방류하고 있다. 본 강좌의 제2편에서 소개된 수치모형중에서 온배수확산관에 의한 방류구 근역의 회석률을 가장 다양하게 모의할 수 있는 모형은 CORMIX2 모형임을 설명하였다. 온배수확산관에 의한 방류구 근역에서의 혼합거동은 확산관의 기하학적 형태, 주변수 조건, 그리고 방류수 조건에 따라 매우 다양한 양상을 띄게된다. 온배수확산관의 형태에 관계없이 초기회석률 및 방류수의 궤적 등 혼합거동을 예측할 수 있는 일반적인 수학적 모형의 개발은 근역 거동이 복잡하고 관계된 인자들이 너무 많기 때문에 불가능하다. 따라서 각 확산관형태별로 개별적인 이론적, 실험적 연구를 통해 천해확산관 이론이 정립되어왔으며(Harleman and Stolzenbach, 1972; Jirka, 1982). 현재까지 밝혀진 천해확산관 이론을 체계적으로 정립하여 수치모형을 구성한 것이 CORMIX2 모형(Akar and Jirka, 1991)인 것이다. Table 3.은 CORMIX2 모형에서 온배수확산관 근역에서의 회석률을 산정하기 위하여 적용되는 천해확산관 이론을 확산관 형태별로 요약 정리한 것이다. Fig 1.은 CORMIX2 모형을 이용하여 계산된 확산관 근역에서의 초과수온의 평면분포를 나타낸 것이다. 이 경우는 길이 183m의 TEE형 확산관을 이용하여 수심 15m에서, 초과수온(ΔT)이 7℃이며 92.3m³/s의 유량을 갖는 온배수를 방류할 때의 온도분포를 보여 주고 있으며, 확산관 근처 300m 이내에서 초과수온의 대부분이 회석됨을 알 수 있다.

Table 2. 온배수확산관의 종류 및 장단점(서일원, 1996)

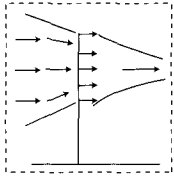
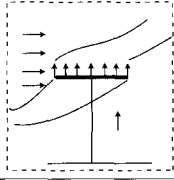
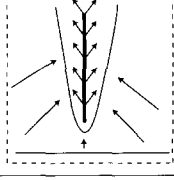
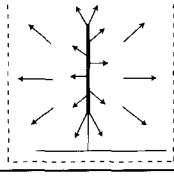
확산관 형태	개 략 도	장 점	단 점	적용 발전소
공류형 확산관 (Coflowing Diffuser)		<ul style="list-style-type: none"> • 흐름의 유속이 거의 없는 해역 혹은 조류의 방향이 일방향인 경우 가장 효과적인 형태. 	<ul style="list-style-type: none"> • 조류가 양방향인 경우는 희석효과가 작음. • 외해 방향으로 모멘텀이 발생하지 않아서 해안선으로 방류수의 재순환 발생 가능. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fitzpatrick - Zion - Browns Ferry
TEE형 확산관 (Tee Diffuser)		<ul style="list-style-type: none"> • 흐름이 없거나 유속이 작은 경우 효과적. • 외해방향으로 모멘텀 발생. 	<ul style="list-style-type: none"> • 조류속이 큰 경우 희석효과가 작음. • 큰 유도흐름을 발생. • 공급관로의 길이가 다소 길어짐. 	
축방향 확산관 (Staged Diffuser)		<ul style="list-style-type: none"> • 조류의 방향에 관계없이 대칭적인 흐름을 발생. • 외해방향으로 모멘텀 발생. 	<ul style="list-style-type: none"> • 큰 유도흐름을 발생. 	<ul style="list-style-type: none"> - San Onofre - Perry
양방향 확산관 (Alternating Diffuser)		<ul style="list-style-type: none"> • 조류의 방향에 관계없이 대칭적인 흐름을 발생. • 유도흐름이 가장 작음. • 방류 유속이 크지 않아도 됨. 	<ul style="list-style-type: none"> • 확산관 길이가 다소 길어지는 단점이 있음. • 외해 방향으로 모멘텀이 발생하지 않음. 	<ul style="list-style-type: none"> - Shoreham - North Port

Table 3. CORMIX2 모형에서 근역 희석을 예측식 (Akar and Jirka, 1991)

Diffuser type / Ambient current	Unidirectional diffuser		
	Coflowing diffuser	Tee diffuser	
	MU2	MU3	MU4
Stagnant current ($M^* = 0$)	$\sqrt{\frac{H}{2B}}$	$\sqrt{\frac{H}{2B}}$	-
Weak current ($0.0 < M^* < 0.1$)	$\frac{1}{2} \frac{H \sin \gamma}{(l_m l_q)^{1/2}} + \frac{1}{2} \left(\frac{H^2 \sin^2 \gamma + 2Hl_m}{l_m l_q} \right)^{1/2}$	$\left(\frac{1}{2} \frac{H \sin \gamma}{(l_m l_q)^{1/2}} + \frac{1}{2} \left(\frac{H^2 \sin^2 \gamma + 2Hl_m}{l_m l_q} \right)^{1/2} \right) \cdot r_s$	-
Strong current ($0.1 < M^* < 1.0$)	$\frac{1}{2} \frac{H \sin \gamma}{(l_m l_q)^{1/2}} + \frac{1}{2} \left(\frac{H^2 \sin^2 \gamma + 2Hl_m}{l_m l_q} \right)^{1/2}$	-	$\frac{1}{2} \frac{H \sin \gamma}{(l_m l_q)^{1/2}} + \frac{1}{2} \left(\frac{H^2 \sin^2 \gamma + 2Hl_m}{l_m l_q} \right)^{1/2} \cdot r_s \cdot r_c$
Very strong current ($M^* > 1.0$)	$\frac{1}{2} \frac{H \sin \gamma}{(l_m l_q)^{1/2}} + \frac{1}{2} \left(\frac{H^2 \sin^2 \gamma + 2Hl_m}{l_m l_q} \right)^{1/2}$	-	$\frac{1}{2} \frac{H \sin \gamma}{(l_m l_q)^{1/2}} + \frac{1}{2} \left(\frac{H^2 \sin^2 \gamma + 2Hl_m}{l_m l_q} \right)^{1/2} \cdot r_s \cdot r_c$

Table 3. Continued

Diffuser type Ambient current	Staged diffuser		
	Coflowing diffuser	Coflowing diffuser	Tee diffuser
	MU2	MU3	MU4
Stagnant current ($M^* = 0$)	0.5H	-	0.5H
Weak current ($0.0 < M^* < 0.1$)	$\frac{0.5H(l_m l_q)^{1/2} - \cos \gamma}{(l_m l_q)^{1/2}}$	-	$\frac{0.5H(l_m l_q)^{1/2} - \cos \gamma}{(l_m l_q)^{1/2}}$
Strong current ($0.1 < M^* < 1.0$)	-	$0.67 \left(\frac{H}{l_q} \right)^{1/2} \left[1 + \frac{2.23H \sin^2 \gamma}{l_m} \right]^{1/2}$	$\frac{0.5H(l_m l_q)^{1/2} - \cos \gamma}{(l_m l_q)^{1/2}}$
Very strong current ($M^* > 1.0$)	-	$0.67 \left(\frac{H}{l_q} \right)^{1/2} \left[1 + \frac{2.23H \sin^2 \gamma}{l_m} \right]^{1/2}$	$\frac{0.5H(l_m l_q)^{1/2} - \cos \gamma}{(l_m l_q)^{1/2}}$

Table 3. Continued

Diffuser type Ambient current	Alternating diffuser			
	Coflowing diffuser		Tee diffuser	
	MU8		MU9	
	unstable near field zone	upstream spreading	density current developing along parallel diffuser line	upstream spreading
Stagnant current ($M^* = 0$)	$H \sqrt{\frac{0.25g_o'}{U_o B}}$	$0.76 \left(\frac{H^{5/3}}{L_M^{2/3} L_Q} \right)$	$H \sqrt{\frac{0.25g_o'}{U_o B}}$	$0.76 \left(\frac{H^{5/3}}{L_M^{2/3} L_Q} \right)$
Weak current ($0.0 < M^* < 0.1$)	$H \left(\frac{0.25l_m l_M \sin^2 \gamma}{l_M L_m L_q} \right)^{1/2}$	$0.76 \left(\frac{H^{5/3}}{L_M^{2/3} L_Q} \right)$	$H \left(\frac{0.25l_m l_M \sin^2 \gamma}{l_M L_m L_q} \right)^{1/2}$	$0.76 \left(\frac{H^{5/3}}{L_M^{2/3} L_Q} \right)$
Strong current ($0.1 < M^* < 1.0$)	$H \left(\frac{0.25l_m l_M \sin^2 \gamma}{l_M L_m L_q} \right)^{1/2}$	$0.76 \left(\frac{H^{5/3}}{L_M^{2/3} L_Q} \right)$	$H \left(\frac{0.25l_m l_M \sin^2 \gamma}{l_M L_m L_q} \right)^{1/2}$	$0.76 \left(\frac{H^{5/3}}{L_M^{2/3} L_Q} \right)$
Very strong current ($M^* > 1.0$)	$H \left(\frac{0.25l_m l_M \sin^2 \gamma}{l_M L_m L_q} \right)^{1/2}$	$0.76 \left(\frac{H^{5/3}}{L_M^{2/3} L_Q} \right)$	$H \left(\frac{0.25l_m l_M \sin^2 \gamma}{l_M L_m L_q} \right)^{1/2}$	$0.76 \left(\frac{H^{5/3}}{L_M^{2/3} L_Q} \right)$

(주) : 1) $M = U_o^2 H / U_o^2 B$

2) $\gamma_s = 1 - \exp\left(-3.22 \frac{x_s}{L_D}\right)$ for $\frac{x_s}{L_D} \leq 1$

3) $\gamma_c = \left(1 + \frac{5H \cos^2 \gamma}{l_m}\right)$

4) $g_o' = \frac{\Delta \rho_o}{\rho_a} g$

5) $H, U_o, \dot{U}_o, B, \gamma$ = 방류수심, 방류유속, 주변수 유속, 부력, 확산관 축과 주변수 방향과 이루는 각도

6) Length Scales는 Akar and Jirka(1991) 참조.

2.3 온배수확산관의 설계

2.3.1 설계요소

해양 온배수확산관 설계시 고려하여야 할 사항은

크게 희석을 극대화할 수 있는 기능확보와 시공 및 유지관리에 관련된 것들로 구분할 수 있다. 먼저 확산관은 방류수와 주변수의 특성, 확산관의 형태에 따른 혼합특성 등을 고려하여 주변 수역에 미치는 환경적

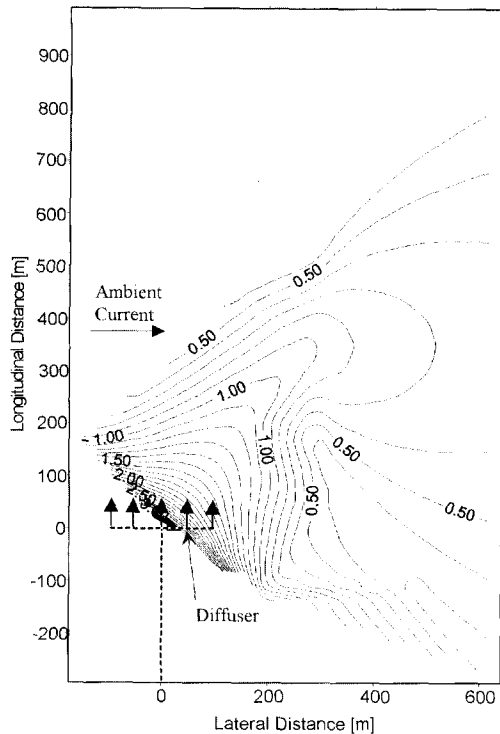


Fig. 1. 확산관 근역에서의 초과수온 분포(평면)

악영향을 최소화하고 최대한의 희석 및 혼합효과를 유도할 수 있도록 설계하여야 한다. 또한 자연환경과 시공능력, 공사재료, 시공설비, 시공조건, 공사비, 보상비 및 유지관리비 등을 고려하여 경제적이고 합리적인 시공 및 유지관리 방안을 수립하여야 한다.

해안·해양의 다양한 수리학적 조건과 확산관의 종류 및 기하학적 형태에 따라서 방류구 주위의 초기 혼합과정은 매우 다양한 형상과 양태를 나타낸다. 또한 원자력 발전소로부터 방류되는 온배수의 유량 및 방류수의 특성, 특히 방류수의 온도 및 밀도 등은 방류구 인근의 흐름 안정성에 큰 영향을 끼치는 인자이다. 온배수의 초기확산에 영향을 미치는 인자들을 분류하면 다음과 같다.

- 확산관의 기하학적 형태 (Diffuser Geometries)
: 확산관의 위치, 형태 및 길이, 방류 port의 갯수, 간격 및 높이
- 주변수 조건 (Ambient Conditions) : 주변수 유속 및 방향, 주변수 수심, 주변수 밀도구조

- 방류수 조건 (Process Conditions) : 방류유량, 방류수 온도, 방류수 밀도

확산관의 설계시 상기 인자들과 더불어 고려해야 할 사항은 법적규제기준(legal mixing zone)으로 국내의 경우 온배수가 방류되는 해역의 온배수 규제기준이 정량적으로 수립되어 있지 않으나, 환경 선진국에서는 이에 대한 기준이 정립되어 확산관의 계획 및 설계에 중요한 요소로 작용되고 있다. 따라서 주어진 주변수 조건 및 방류수 조건하에서 최적의 온배수 방류시스템을 설계할 때는 온배수의 초기 혼합과정에 영향을 미치는 인자들을 적절히 조합하여 최적의 방류시스템을 도출하여야 한다. 일반적으로 해저에 설치되는 관로의 설치비용이 총 공사비에서 차지하는 비중은 상당히 크다. 또한 관로의 길이가 길어 운영 기간중 에너지 손실을 보상하고, 높은 방류유속을 유지하기 위한 유지관리비 또한 부가적인 비용이 된다. 따라서 확산관의 설치에 따른 공사비와 환경영향의 범위간에 적절한 절충(trade-off)을 통해서 온배수 방류시스템의 계획과 설계가 이루어져야 한다. 환경영향은 온배수 방류에 따른 온도 초과상승구역의 존재로 발생되는 환경 영향과 확산관에 의한 유도흐름으로 인한 문제점을 포함한다. 온배수의 법적규제기준의 평가와 규제사항으로 흔히 사용되는 초과온도, ΔT_{max} 는 통상 수표면에서의 값으로 정의되고, 근역 열혼합구역(near-field thermal mixing zone)으로 불리는 작은 예외지역을 둔다. 설계 실무에서는 초과 온도 제약조건이 주요 설계조건으로 현재까지 취급되어져 왔으나 최근 들어 총체적이고 생태학적으로 의미가 있는 온도 영향의 평가에 관심이 집중되고 있다. 다음은 초과온도와 관련하여 최근 관심이 집중되고 있는 규제항목이다.

- 수표면적-수온상승 관계
- 체적-수온상승 관계
- 수온상승-노출시간 관계
- 해저 수온상승
- 해안선의 수온상승
- 취수구로의 온배수 귀환영향

이러한 사항들은 확산관의 설계뿐 만 아니라 위치

선정에도 중요한 고려요소로 취급되는 추세로, 확산관에 의한 주변 해역의 생태계 및 수질 등 환경변화 및 그 영향을 평가하기 위한 환경영향평가를 법규에 준하여 시행하여야 한다. 한편 확산관의 방류에 의한 유속장과 주변 해양 지형의 변화에 대하여는 관심이 비교적 덜 집중되고 있는데, 이러한 환경변화는 특히 대규모 시설의 경우 그 양상이 뚜렷하고 확산관의 형태에 많이 의존한다. 따라서 온배수 방출에 따른 영향 및 방류시스템의 효율성의 평가는 다음과 같은 관점에서 평가되어야 한다.

- 법적혼합구역의 범위 및 형태
- 온배수 방출에 따른 해저의 악영향
- 온배수의 수표면 노출
- 해안선으로의 온배수 재순환
- 취수구에 대한 온도영향

2.3.2 설계절차

온배수확산관은 해양 환경의 구조물로서 그 기능을 다하고 주변 수역의 수질 등 환경 요구조건에 부합할 수 있도록 설계하여야 한다. 따라서 그 과정이 단순하지 않고, 각 단계에서 관련 사항들을 세밀히 분석, 평가하여 설계에 반영하여야 한다.

해양 온배수확산관을 설계할 때 각 단계에서 고려하여야 할 설계요소들은 다음과 같다.

- 부지 및 노선 선정
- 확산관 형식 결정
- 방류 관로 수리계산
- 회석 및 혼합(mixing) 특성 분석
- 확산관 설계
- 관로 설계
- 관로 지지설비 설계
- 시공 계획 수립
- 유지 관리 계획 수립

일반적으로 설계는 타당성조사(feasibility study), 예비설계(predesign), 기본설계(preliminary design), 실시설

계(final design)의 네 가지 단계로 나누어 수행된다. 각 단계에서는 위에서 서술한 설계요소들을 검토하여 점차 그 내용들을 추가·보완하여 실시설계 단계에서는 실제 공사에 적용할 수 있는 상세한 시공 계획을 수립하고 공사 시방규정을 작성하게 된다. 해양방류온배수확산관의 일반적인 설계과정과 각 단계에서 검토하여야 할 주요 사항들을 나타낸 것이 Fig. 2이다.

부지 및 관로의 노선, 확산관의 형태 및 제원을 결정하려면 먼저 예비 부지 주변의 지형, 기상 및 파랑, 해류와 수온, 염도 또는 밀도 등 해양 물리학적 요소, 수질 및 표사(부유사), 생태계 조사 등 환경적 특성, 해저 지질 및 토질 등을 조사하여야 한다. 확산관 및 도수관의 노선을 선정할 때는 해저 지형과 해저 토양 및 지질을 검토하여야 하며, 수리모형 실험 또는 수치모의에 의하여 온배수의 회석 및 혼합 특성 분석하고 수리계산에 의하여 확산관의 제원(형식, 관경, 방류공의 크기, 수량 등)을 결정하는데, 예비 또는 기본설계 단계에서 확산관의 길이를 개략적으로 추정하는 식은 다음 Table 4와 같고, 다공확산관의 설계 절차 및 각 단계에서 고려하여야 할 요소들은 Fig. 3과 같다.

도수관 및 연직 유도관, 방류공을 포함한 확산관의 제원이 결정되면 적절한 재질의 관을 선정한 후 이들 관로의 제작, 조립, 운반, 설치 등 시공에 관련된 사항들을 구체적으로 검토하여 제시하고, 유지 관리에 관한 지침들을 작성하는 단계로 진행한다. 해양 온배수 확산관으로 사용할 수 있는 관으로는 철근 콘크리트

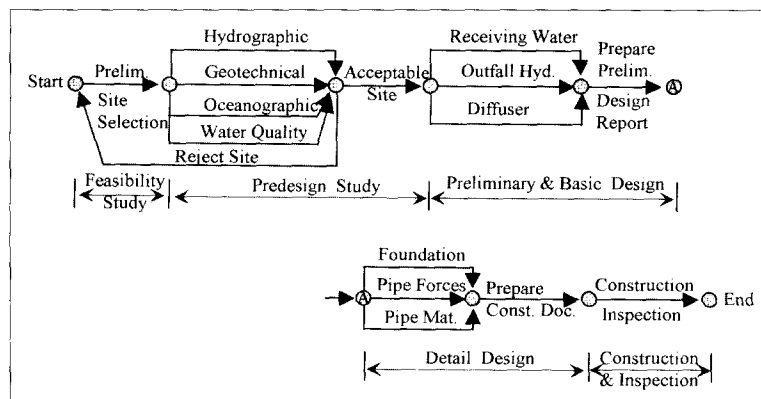


Fig. 2 해양방류시설 설계절차

Table 4. 확산관 형태별 확산관 길이 추정식(정체수역의 경우)
(Adams and Stolzenbach, 1977)

확산관 형태	소요 길이	L : 확산관 길이 ΔT ₀ : T ₀ - T _a ΔT _{max} : 온배수 규제기준 T _a : 주변수 수온 T ₀ : 방류수 수온 H ₀ : 방류 수심 u ₀ : 방류 유속 V : 주변수 유속 F _H : 밀도 Froude 수(=0.15~0.20) μ ^{1/2} : 1.0~1.5 g ₀ : 유효중력가속도
Coflowing Diffuser	$L_c = \left(\frac{\Delta T_0}{\Delta T_{max}} \right)^2 2 \frac{Q_0}{H_0 u_0}$	
Tee Diffuser	$L_t = \left(\frac{\Delta T_0}{\Delta T_{max}} \right)^2 2 \frac{Q_0}{H_0 u_0}$	
Staged Diffuser	$L_s = \left(\frac{\Delta T_0}{\Delta T_{max}} \right)^2 (2.28I^{1/2})^2 \frac{Q_0}{H_0 u_0}$	
Alternating Diffuser	$L_a = \left(\frac{\Delta T_0}{\Delta T_{max}} \right)^{3/2} \frac{Q_0}{H_0^{3/2} \mu^{1/2}}$	

도관 및 방류공은 외력에 대하여 충분히 그 형태와 기능을 유지할 수 있는 재질과 구조로 설계하여야 하며, 해저 바닥의 세굴 및 퇴적 등으로 파손되거나 매몰되지 않도록 설계하여야 한다. 또한 해안에 설치된 온배수확산관은 해수 및 바닥의 침전물에 의한 부식에 노출되어 있으므로 관

로의 내구기간 동안 유지할 수 있는 충분한 방식 처리를 하여야 한다.

3. 온배수 확산관의 시공 및 시공사례

온배수확산관의 시공에서 가장 중요한 특징은 해양 환경에서의 작업이므로 대단히 위험하고, 기상 및 해양 조건에 따라 공사 기간의 제한이 많고, 대형의 해상 작업용 장비들이 투입된다는 것이다. 따라서 설계 단계에서는 작업 조건 및 자재 수급 상황, 장비의 조합 및 근로자의 숙련도 등을 고려하여 가장 경제적이고 합리적인 공정계획을 수립하여야 하고, 시공 단계에서는 이러한 공정계획을 바탕으로 현장조건과 비교, 검토하여 공사계획을 별도로 작성하고 그 진행 및 완성도를 확인하여야 한다. 온배수확산관의 시공에서 가장 중요한 것은 적절한 공법의 선정과 장비의 투입이다. 즉, 관로의 제작 또는 조립, 굴착과 되메움, 관로의 매설 또는 거치, 관로 보호공 등 구체적인 공종에 대하여 가장 신속하고 안전하며 시공성을 확보할 수 있는 공법을 선정하여야 하고, 계획 공정에 따라 적절한 장비가 투입되어야 합리적이고 경제적인 시공을 도모할 수 있다. 관로의 제작 또는 조립은 대개 육상에서 이루어지며, 이들을 소정의 계획된 위치까지 운반하여 거치하게 되는데, 이때 적용할 수 있는 관로의 운반 또는 예인 방법에 대한 내용은 Table 5.와 Fig. 4에 설명되어있다. Table 6.은 현재 운영 중인 외국의 수중 다공확산관에 대한 개요를 정리한 것이다. 여기에서 온배수확산관과 도수관의 길이가 대단히 긴 것을 알 수 있고, 따라서 시공을 좌우하는 것은 관로

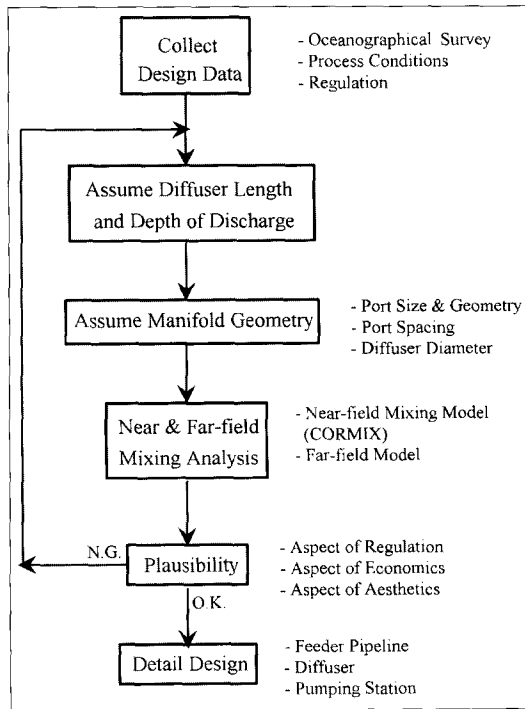


Fig. 3 다공확산관의 설계절차

관, PC관, 강관, 고강도 폴리에틸렌관 및 기타 주철 또는 연철관 등이 있는데, 재료비, 내구성, 내식성, 가요성, 수밀성, 시공 및 유지관리의 난이도 등을 검토하여 결정하여야 한다. 일반적으로 강관이 온배수확산관으로 가장 적절한 것으로 평가되어 외국에서 일반적으로 이용되고 있다. 도수관 및 확산관은 외부 충격 및 지장물로부터 보호하고 관로의 안전을 위해 해저에 매설하거나 바닥에 설치한 후 사석 등으로 관로를 보호하는 방법을 사용한다. 특히 노출되는 연직 유

Table 5. 부설방법에 따른 특성비교

구 분	해저예항법	부유예항법	부설선법
작업 방법	육상의 파이프 야드상에서 제작된 긴 파이프를 바다의 예선용 바지(해상고정) 또는 對岸 원치에 의해 해저를 예항하여 부설하는 공법	육상 또는 해상에서 제작한 긴 파이프를 띄운 상태로 부설위치까지 예항하고, 접합대선상에서 해저관을 부상시켜서 해상용접하여 침설.	작업선상에서 해저관과 단관을 용접접합하고, 그 때마다 작업선을 이동시키면서 침설하여 가는 방법.
파이프야드	관로의 연장선상에 긴 파이프의 제작 및 예항을 위한 공간 및 기재가 필요. 또한 진수시설이 필요.	관로의 연장상이 아니라도 좋으나 긴 파이프의 제작 및 예항진수를 위한 공간 또는 기재가 필요.	강관 저장야드 이외의 육상야드는 불필요.
주위조건	해저조건 이외에는 그 다지 영향이 없다. 기상의 변화에 대한 적응성이 크고 작업중단 가능.	비교적 정온한 일기가 요구됨. 기상의 급격한 변화에 대한 적응성이 적고, 작업중단은 가능하나 어렵다.	주위 조건에는 거의 영향을 받지 않음. 기상변화에 대한 적응성이 크고, 작업중단 가능.
사용기재	대형 예항설비	용접대선 이외에 특수설비는 필요치 않다. 많은 선박을 필요로 함.	특별 장비를 갖춘 부설선을 필요로 한다. 많은 선박은 필요치 않음.
관중량의 조절	해저와의 마찰력을 작게하고, 예항력을 적게하기 위하여, 관의 수중중량을 작게한다.	해면에서부터 해저에 강관이 원활하게 구부러질 수 있도록 관의 수중중량을 작게 조절.	부설선에서 부터 해저에 강관이 원활하게 구부러질 수 있도록 조절.
적용범위	- 파이프야드, 해저조건이 허용하는 곳에서는 제법 대형공사에도 가능. - 복잡한 관로나 대규모 공사에는 부적당. - 해상조건이 나쁜 곳에서도 가능(풍파, 조류).	- 소규모 작업에 대해서는 경제성이 있음. - 복잡한 관로도 가능. - 조용한 해상조건을 기대할 수 있는 곳에서 적합. - 악천후의 빈도가 높을 경우, 작업이 매회마다 구분되므로 작업일지만 선정하면 비교적 안전.	- 비교적 장대한 해저관에 적합. - 복잡한 관로에는 부적당.

Table 6. 외국의 온배수 확산관 시공사례

Power Plant	Cooling Water		Ambient Cond.	Diffuser Characteristics							
	Flow rate (m ³ /s)	Temp. Rise (°C)	Water Depth (m)	Offshore Dist. (m)	Length (m)	No. of Ports	Port Spacing (m)	Jet Disch. Vel. (m/s)	Port Orientation		Port Dia. (m)
									Hor.	Ver.	
Jamesport	114.4	10	4.9-16.7	610	1,434	123	77@7.6 46@15.2	4.57	log dist.	10	0.51
Shoreham	37.4	11	3.7-6.1	488	1,158	66	26@15.2 40@19.5	3.65	normal to pipe	0	0.44
Northport	40.5	12	7.9-12.8	872	975	100	32@30.5	3.96	nor. & 45 to pipe	22.5	0.36
San Onofre	52.5	11.1	12	1065(U3) 1830(U2)	768	63	12.2	4.0	alternating, 25	20	0.52

를 설치하는 공정임을 알 수 있다. 즉, 장거리인 대구경 관로의 제작 및 운반, 부설 또는 매설 공정과 관련된 장비 및 인력동원 계획, 자재 수급계획 등을 가장 면밀히 검토하여 수립하여야 경제적이고 안전하며 확실한 시공을 확보할 수 있다.

4. 결 론

미국을 비롯한 선진 외국에서 발전소의 온배수 배출을 위해 사용하고 있는 온배수확산관은 국내의 경우 현재까지 적용 사례가 없었다. 최근 들어 발전소 부지의 부족에 따른 발전소의 단지화, 신형 원전개발

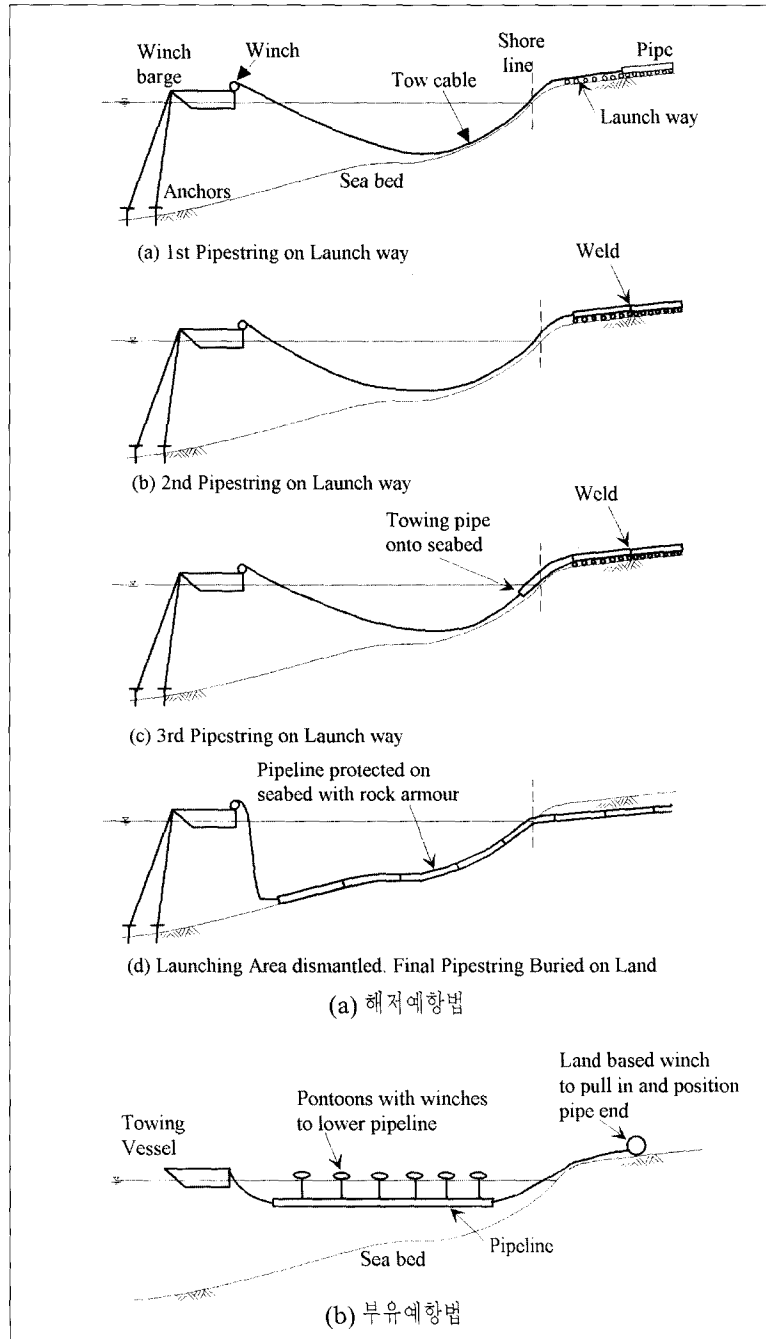


Fig. 4. 해저관로의 시공법 : (a) 해저예항법 (b) 부유예항법

과 냉각수 사용량의 증가로 인하여 발생하는 온배수
 량의 증가, 발전소 인근 해양 환경에 대한 관심 고조

등으로 인하여 온배수의 능동적 처리방식인 온배수화
 산관에 대한 적용성이 검토되고 있다(전력연구원,

1998). 온배수확산관에 대한 국내의 연구는 시작 단계이고 이에 대한 설계 및 시공 경험 또한 일천한 수준이다. 향후 온배수확산관에 대한 기초적 이해를 높

히기 위한 연구 개발사업과 설계 능력 향상을 위한 지속적인 노력이 요망되는 바이다. ●

〈참고 문헌〉

서일원 (1996). 원자력발전소 온배수 방류시스템 설계기법 개발을 위한 연구 최종보고서, 한국전력공사.
전력연구원(1998). 발전소 온배수 침출방류기술 연구 중간보고서.
Adams, E.E., and Stolzenbach, K.D.,(1977).
"Comparison of alternative diffuser designs for the discharge of heated water into shallow receiving water." Proc. Conf. on Waste Heat Management and Utilization, Vol. I, 1977, Miami Beach, Fla.
Akar, P.J. and Jirka, G.H., (1991). CORMIX2 : An expert system for hydrodynamic mixing zone analysis of convenient and toxic multiport diffuser discharges, Environmental Research Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency, Athens, Georgia, 30613-0801.

Fischer, H.B., List, E.J., and Brooks, N.H. (1979).
Mixing in Inland and Coastal Waters. Chap. 9 and 10, Academic Press, NY.
Harleman, D.R.F. (1975). "Heat Disposal in Water Environment." J. of Hyd. Eng., Proc. of the ASCE, 101(9), 1120-1138.
Harleman, D.R.F., and Stolzenbach, K.D. (1972).
"Fluid Mechanics of Heat Disposal from Power Generation." Ann. Rev. Fluid Mech., 4, 7-32.
Holley, E.R., and Jirka, G.H. (1986). Mixing in Rivers. Tech. Rep. E-86-11, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss.,
Jirka, G.H. (1982). "Multiport Diffusers for Heat Disposal: A Summary." J. of Hyd. Div., ASCE, 108(12).