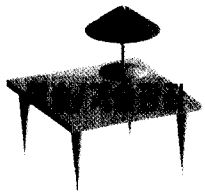


오염물질의 해양방류 기술(Ⅴ)

서 일 원 (서울대학교 토목공학과 교수)
이 재 형 · 김 창 시 ((주)대우 항만단지 설계팀)

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

제 5 편
해양 방류관로의 일반 설계

1. 서 론

이 강좌의 본 제5편은 온배수확산관에 대한 설계 및 시공(제3편)과 하수확산관에 대한 설계 및 시공(제4편)의 종합편이라 할 수 있다. 본 편에서는 해양 방류관로의 설계과정에 대한 전반적인 내용을 기술하고자 한다.

2. 해양방류관로의 설계

2.1 방류관로의 노선결정

온배수(하수) 방류 지점은 플랜트에서 가까운 곳으로 선정하고 도수관의 부설거리를 가장 짧게 되도록 시점과 종점을 직선으로 연결하는 노선을 선정하는 것이 가장 경제적이나, 기존의 시설물이나 해상교통을 배려하여 안전한 노선을 선정한다. 도수관이 안전하게 유지될 수 있는 평면 및 종단형상을 갖는 노선을 선정함에 있어 고려하여야 할 사항들은 다음과 같다.

- 기존 시설물의 현황과 장래계획
- 해상교통과 해수면이용
- 해양의 물리적, 환경적 특성

해양의 물리적 조건은 도수관 부설후의 안정성, 매설깊이의 결정 및 부설방식 등 시공에 있어 매우 중요한 것으로, 해저의 지형, 해저의 지질, 파랑, 조류, 바람 등을 고려하여 설계하고, 기상을 고려하여 시공계획을 수립하여야 한다. 방류관로는 일정한 하향 경사를 유지한 지형을 따라 설치하는 것이 바람직하다. 관로경사가 일정치 않을 경우 낮은 지점에서 침전물이 퇴적하고, 높은 지점에서는 공기가 축적될 수 있는데, 이러한 관로 안의 침전물과 공기는 방류관로의 수리적 능력을 감소시키므로 이를 제거하려면 관로는 방류지점으로 갈수록 일정하게 낮아지는 지형을 이용할 필요가 있는 것이다. 확산관 설치 지역의 지반경사에 대한 일정한 기준은 없으나, 방류공의 위치가 동일하면 각 방류공의 방류량을 균등하게 유지하는데 유리하기 때문에 편평하거나 비교적 완만한 경사를 가진 지역을 선정하는 것이 합리적이다. 가파른 경사지역에 확산관을 설치하면 각 방류공의 방류량 등 확산관의 수리특성이 동일하지 않을 뿐만 아니라, 방류량이 작을 경우 일부 방류공에서는 전혀 방류되지 않는 현상이 발생할 수도 있다.

천해에서의 시공은 파도가 잔잔한 기간으로 제한된다. 그 기간 중에도 산발적인 폭풍이 발생하면 공정을 중단하여야 한다. 특히 쇄파구역에서 폭풍, 해일 등이

발생하면 공사중인 관로와 건설장비의 손상은 더욱 커져 큰 피해가 발생하므로, 쇄파작용이 최소인 지점에 방류관로를 계획하여야 한다. 일반적으로 갑 또는 곶 부근, 또는 바다로 튀어나온 지역들은 파도의 반사작용으로 파랑에너지가 집중되는 지역이므로 부지 선정 대상에서 제외하여야 하고, 해안으로부터 약 300m 이상까지 쇄파 현상이 존재하는 지역은 시공이 곤란하므로 가능한 피하여야 한다. 급경사 해저 절벽을 가진 해안선들은 쇄파구역이 좁아 관로를 빠르게 설치할 수 있기 때문에 방류관로 부지로서 보다 바람직한 경우가 될 수도 있다.

2.2 확산관 설계

확산관 설계에서는 확산관의 형태와 설치 위치, 도수관 및 확산관의 크기 및 길이, 연직유도관과 방류공의 형상 및 직경을 결정한다. 도수관 및 확산관, 연직유도관 또는 방류공의 크기와 간격은 일련의 복잡하고 반복적인 혼합특성 계산과 수리계산을 통하여 결정된다. 이 과정에서 적용되는 기초적인 물리적 요소들은 다음과 같다.

- 설계유량
- 관경
- 관로경사
- 관 재질에 따른 마찰저항
- 방류수의 밀도
- 유입수체의 밀도
- 방류수심
- 작용 수두(operating head)

확산관의 설계유량은 해양으로 방류되는 온배수 및 하수의 양에 따라 결정된다. 방류량은 하루 동안 또는 주중, 계절별로 다를 수 있으므로 이러한 변동을 고려하여 설계유량을 설정하여야 한다. 설계유량은 최대 방류량 뿐만 아니라 최소인 경우도 고려하여야 한다. 유량이 작을 경우는 해수가 확산관 내로 역류할 수 있고, 일부는 방류되지 못하여 확산관 전체에 대하여 균등한 희석을 촉진할 수 없기 때문에 이러한 경우에 대한 수리검토가 필요하다. 확산관은 가능한 중력흐름이 되도록 설계하여야 한다. 그러나 육상의 방류지점과 확산관 사이의 수두가 작아 설계유량을 중력흐름으로 보낼 수 없거나 소요 유속을 만족하지 못한다면 펌프장을 설치하여 압력흐름으로 방류하는 방법을 고려하여야 한다. 그러나, 펌프에 의한 방류는 펌프장 건설, 유지관리 및 동력의 사용 등으로 비용이 증가하므로 방류단을 변경하였을 때 소요되는 공사비와 각 시설의 유지관리 및 운영에 소요되는 비용을 고려하여 대안을 비교, 검토할 필요가 있다.

1) 확산관의 위치

온배수 및 하수를 방류하기 위하여 설치되는 확산관은 방류에 따른 방류구 인근역의 고온, 고농도역을 줄이고 이에 따른 악영향을 최소화하도록 확산관의 위치를 선정해야한다. 확산관 위치 선정시 고려사항은 다음과 같다.

- 냉각수 취수구의 온도상승
- 인근 어장 및 수산업 관련 지역에 대한 영향
- 법적규제기준

확산관에 의한 희석률은 방류구 인근지역의 해양수리학적 조건에 많은 영향을 받게되며 특히 주변수의 유속과 방향 그리고 수표면으로부터 방류공까지의 수심에 밀접한 관련이 있다. 이런 이유로 인해 확산관은 근역의 희석률을 증가시키고 해안선으로 재순환되는 시간을 길게 하기 위하여 수심이 가능한 깊은 곳에 설치할 것을 권장한다.

2) 확산관의 형태

확산관의 형태는 방류공의 배치형태와 확산관 축의 조류방향에 대한 상대적인 각도에 따라 분류되며 그 형태의 조합은 다양하다. 그러나 어떤 형태의 확산관이 가장 바람직한 것인가를 일률적으로 결정할 수 있는 기준은 없고 해역의 해양수리학적 조건 및 지형조건에 따라 최적 확산관형태는 달라지는 것이 일반적이며 선박의 항행과 어로작업에 의해 영향을 받기도

한다. 확산관의 방향은 해역의 조류 방향에 따라 결정하며, 조류의 방향이 해안과 평행하거나 직각인 경우, 또는 조류방향이 다양한 경우에 따라 확산관의 방향을 적절히 배치하여야 한다. 일반적으로는 희석을 최대화하기 위하여 주 조류(net currents)방향에 직각으로 설치하는 것이 원칙이나, 해역의 조건과 혼합특성, 경제성 및 시공성을 고려하여 이를 변형하기도 한다. 조류방향이 교차하는 경우에는 변형형태인 Y자 형태의 확산관을 채택하여 확산관이 조류방향에 대하여 직각을 유지할 기회를 많이 주기도 한다. 표준적인 다공확산관의 형태와 각 확산관 형태별 장단점은 본 강좌의 제3편 Table 2를 참조하기 바란다.

3) 도수관과 확산관의 길이

도수관과 확산관의 길이는 수리학적으로는 소정의 희석률을 얻기 위해 요구되는 희석률과 수심에 밀접한 관련이 있고, 구조적인 측면에서는 방류공의 수와 이들의 간격에 밀접한 관련이 있다. T형 확산관의 경우는 다른 형태의 확산관에 비해 도수관의 길이가 근역의 초기 혼합에 미치는 영향이 크다. T형 확산관의 경우 도수관의 길이는 확산관 길이만큼을 취해야 초기희석률에 대한 해안선의 영향을 작게 할 수 있다(Lee, 1984). 일반적으로 확산관이 길면 길수록 희석률은 커진다. 그러나 확산관이 조류의 방향과 평행하고 조류속이 큰 경우는 오히려 희석률이 떨어지는 경향을 보인다. 일반적으로 주어진 조건이 동일할 경우, 근역에서 같은 희석률을 얻기 위해서 요구되어지는 확산관의 길이는 양방향확산관의 경우가 축방향확산관 및 공류형확산관에 비해 비교적 크다(본 강좌의 제3편 Table 4 참조).

4) 확산관의 직경

확산관의 크기는 확산관의 형태와 방류시스템의 운영방법에 따라 달라지고 방류량, 사용하는 관의 재질, 관내 토사, 공기, 유입해수를 고려하여 결정한다. 관내 유속이 작거나 유속이 영인 경우 해수가 관내로 유입되고 이렇게 해수가 유입되면 관내 토사침전과 잡초 성장을 초래하게 된다. 방류가 이루어지고 있는 동안에는 방류공의 Froude수를 1이상 유지하면 해수의 침입을 막을 수 있다(Brooks, 1960). 방류시스템에서 방출되는 일유량은 일정하지가 않다. 관의 크기는 최대유량의 시작점에서 침전물을 세척할 수 있도록 결정되어야 한다. 방류수가 관로에 유입되기 전 모든 공기는 배출되어야 한다. 방류가 이루어지는 동안 유입되는 경우는 여러 경우가 있을 수 있으나 특히 관이 부분적으로 차있는 경우와 흐름이 사류인 경우 공기유입이 심하다. 또한 방류수가 부분적으로 관에 차 있다가 만관으로 바뀌는 천이영역에서 공기 유입이 이루어지기도 하며 또한 자유수면으로 방류수가 유입되는 격실이 존재하는 경우 항상 공기혼입이 발생한다. 육상펌프에서의 누출부와 잘못 설계된 펌프 취수구에서 공기를 동반한 와류는 공기/물 혼합체의 흐름을 유발시키기도 한다. 관내에 존재하는 공기는 관의 통수능력을 감소시키고 수중 관로의 자중을 감소시키며 수격작용의 효과를 증가시킨다. 이러한 모든 영향은 바람직하지 못하며 근본적으로 공기 혼입을 방지해야 한다. 이것이 불가능한 경우, 관내의 유속은 공기 밸브 혹은 통풍장치가 설치된 지점까지 공기를 수송시킬 수 있을 만큼 커야 한다.

처리장이 가동을 중지하고 있는 동안에 확산관내에는 해수로 가득 차 있게 되고 가동시점에서 이 해수는 관내에서 제거되어야 한다. 확산관이 해저 바닥 위에 설치되어져 있는 경우 해수의 배출은 가장 밑에 위치한 방류공에서의 압력차에 의존하게 되며 관경을 결정하는 주된 요소는 이 해수 배출속도가 된다. 해저의 변동과 큰 파력으로 인해 해저 바닥에 설치하지 못하는 경우 일반적으로 연직유도관(riser)이 설치된다. 이러한 확산관의 경우, 방류가 이루어지지 않는 기간은 해수가 관로 내로 유입된다. 이 해수의 제거는 방류수의 유속을 세굴속도보다 크게 함으로써 가능해진다.

5) 방류공

방류공은 확산관의 관벽에 구멍을 뚫어 제작하거나, 확산관의 상단에 상향의 튜브를 붙여 이를 방류공으로 활용하기도 한다. 또한 확산관의 상단에 확산관보다 상대적으로 작은 직경의 연직유도관을 부착하고

그 상단에 임의의 방향의 방류공을 부착할 수도 있다. 이런 형식의 방류공은 관로가 바닥의 퇴적에 의해 메워지는 것을 방지하거나, 파랑에 의한 확산관의 파손을 방지하기 위하여 확산관을 해저에 매설할 때 사용한다. 요즈음에는 하나의 연직유도관의 상단에 여러 방향으로 방류하는 형식이 사용되고 있다. 방류공의 방류방향은 주변수와 방류수의 특성, 확산관의 기하학적인 특성을 고려한 혼합특성 분석에서 함께 결정되는데 상향으로 약 20°이상을 유지하는 것이 희석효과를 증대시킬 수 있다. 방류공은 매끈한 종구 형태이어야 하며 구멍폐쇄가 일어나지 않을 만큼 충분히 커야 한다. 또한 조개류와 잡초 성장에 저항성이 있는 재질로 만들어야 한다. 연직유도관 또는 방류공이 바닥 위로 노출되어 있으면 외부의 충격력에 대하여 취약하므로 이를 보호하는 방법을 활용하거나 연직유도관 또는 방류공을 연성의 관을 이용하기도 한다.

방류공의 수와 크기는 목표하는 희석률, 각 방류공의 방류량의 균등분배 확보, 해수 침입과 방출, 그리고 침전물에 대한 세굴속도와 관련되어 결정되어야 한다. 주어진 유량에 대하여 방류공의 단면적과 방류유속간에는 반비례 관계가 성립한다. 즉 방류공의 단면적이 작을수록 방류유속이 커지고 결과적으로 큰 운동량을 갖게된다. 일반적으로 큰 방류유속은 근역의 희석률을 극대화시키는 이점을 갖으나 바람직하지 않은 흐름형태를 근역에서 발생시키기도 한다. 실제 설계에서 방류유속은 3~8 m/sec의 범위를 갖는 것이 보통이다. 큰 방류유속을 얻기 위해서는 펌프시설이 과도하게 되고, 방류유속이 0.5 m/sec보다 작은 경우는 확산관 혹은 도수관내에 토사의 침전이 발생하는 문제점이 발생한다. 가장 간단한 경우로서 확산관이 해저 위에 위치하고 확산관의 가장 낮은 위치에 방류공이 있는 경우, 확산관의 직경은 세굴속도에 의해 결정된다. 확산관의 직경이 결정되면 방류공의 크기를 시행착오적으로 선정할 수 있다. 희석률을 고려하여 방류공의 크기를 결정할 수 있는데, 목표 최소희석률(target minimum dilution)이 정해지면 방류공의 크기와 확산관의 Froude수는 정지 주변수일 경우 부력제트에 대한 Cederwall(1971)의 식을 이용하여 결정된다.

$$\frac{S}{Fr_0} = 0.54\left(\frac{0.38z}{Fr_0 d_p} + 0.66\right)^{1.666} \quad \text{for } \frac{z}{d_p} > 0.5\,Fr_0 \tag{1}$$

$$\frac{S}{Fr_0} = 0.54\left(\frac{z}{d_p Fr_0}\right)^{7/16} \quad \text{for } \frac{z}{d_p} < 0.5\,Fr_0 \tag{2}$$

여기서,

S = 희석률

Fr_0 = 방류 Froude수

d_p = 방류공의 직경

z = 연직 위치이다.

그러나 주변수에 흐름이 존재하거나 밀도성층이 존재하는 경우는 이러한 경우에 대한 확산관의 거동을 모의할 수 있는 수치모형을 이용하여 방류공의 크기와 확산관의 Froude수를 결정해야 한다(Muellenhoff 등, 1985). 해수의 역류방지와 각 방류공에서의 유량의 균등분배를 위해 요구되는 방류공 크기에 대하여 Grace(1978)가 제안한 범위는 다음과 같다.

$$0.5 < \sum_{i}^{A} \frac{a_i}{A} < 0.7 \tag{3}$$

여기서,

A = 확산관의 단면적

ai = i번째 방류공의 단면적

n = 임의 확산관 단면 위치 하류에 위치한 방류공의 개수이다.

방류공간의 간격은 확산관의 전체길이를 결정하는 중요한 요소가 된다. 방류공간의 간격이 넓을수록 초기희석률은 좋아지고 고온역의 범위를 줄일 수 있으나 저온역의 범위는 상대적으로 커진다. 따라서 방류공 간격에 따른 초기온도 상승역의 범위와 경제성을 고려하여 시행착오적으로 방류공 간격을 결정하는 것이 바람직하다. 확산관 길이와 방류유속 등 다른 설계

조건이 결정된 경우, 방류공의 간격이 전체적인 희석률에 미치는 영향은 작다. 그러나 방류공의 간격은 각 방류공로부터 발생되는 제트의 병합(merging) 과정에 중요한 역할을 하며 따라서 방류공 인접부근의 초기혼합에 영향을 미친다. 보통 병합은 방류공들간 거리의 3~5배 거리에서 발생되는 것으로 알려져 있다.

방류공의 높이는 동역학적으로 중요한 요소가 아니다. 그러나 음의 부력류(negatively buoyant flow)의 경우, 방류공의 높이는 하상부착 이전의 초기혼합에 중요한 역할을 한다. 일반적으로 수심이 깊은 경우, 방류공 높이와 수심의 비는 초기혼합에 영향을 끼치며, 가로흐름이 존재하는 경우 방류공의 높이는 방류수 흐름의 안정성에 영향을 준다. 방류공을 설계할 때는 해역의 해저 토사의 표류 현상도 고려하여야 한다. 즉 저유량이 방류되는 동안 해저 물질의 이동으로 방류공이 메워지는 것을 방지하기 위하여 해저로부터 충분한 높이에 설치하여야 한다. 한편, 방류구 근처에서의 방류수의 운동량이 커 교란된 주변수의 흐름으로 바닥이 세굴되는 것을 막기 위해서도 방류 위치는 바닥으로부터 일정한 높이 이상이어야 한다.

2.3 관로의 수리해석

초기 희석조건을 만족하는 확산관의 예비설계가 되고나면 다기관(manifold)에 대한 수리학적 해석이 수행된다. 이 단계에서는 확산관의 방류공의 크기 분포가 균등한 방류가 이루어지도록 조절되어지고 방류공의 크기 분포와 확산관의 마찰에 영향을 받는 펌핑수두를 최소화시키는 단계이다. 확산관이 기본적으로 갖추어야할 수리적 조건들은 다음과 같다.

- 각 방류공의 유량은 같아야 한다.
- 확산관내의 퇴적을 방지하기 위해서 적정한 유속이 유지되어야 한다.
- 해수침입(Seawater intrusion)이 발생치 않도록 모든 방류공은 만관으로 방류되도록 해야 한다.
- 펌핑에너지를 최소화하기 위하여 손실수두가 작아야 한다.
- 확산관의 검사 및 청소를 위한 유지관리시설을 설치하여야 한다.

이러한 확산관의 수리적 요구사항을 반영하여 일반적으로 사용되는 확산관은 다음과 같은 특징을 갖는다.

- 확산관의 직경은 끝으로 갈수록 단계적으로 작아진다.
- 방류공의 직경은 비교적 작아서 임의 단면의 하류에 위치한 방류공의 단면적의 합은 그 단면의 단면적에 비해 작다.
- 방류공의 단면은 종구형태로 설치한다.
- 확산관의 끝단에는 수세(flushing) 목적으로 flap gate를 설치한다.

확산관 및 방류공 수리계산은 소기의 목적하는 희석률과 적정제원을 찾기위하여 반복적인 작업을 요한다. Fig.1은 다공확산관의 수리해석 절차를 나타낸 것이고, Fig.2는 반복적인 수리해석과정을 손쉽게 해석할 수 있도록 수리해석절차에 따라 Microsoft Excel

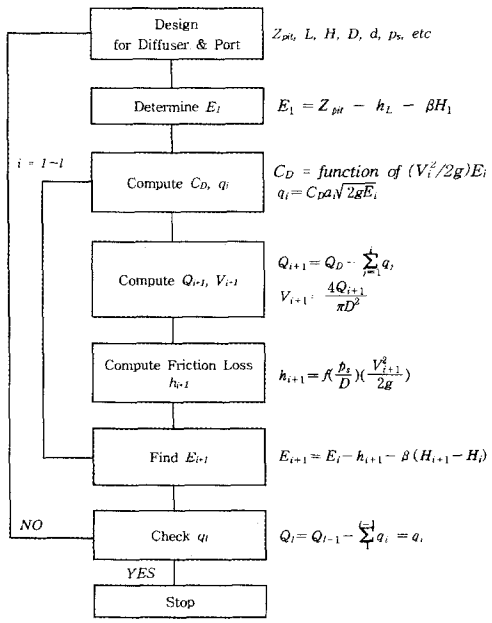
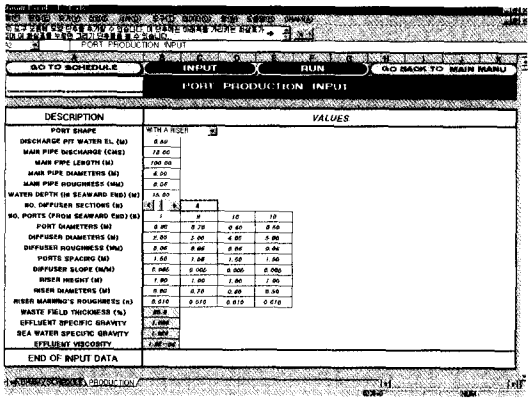
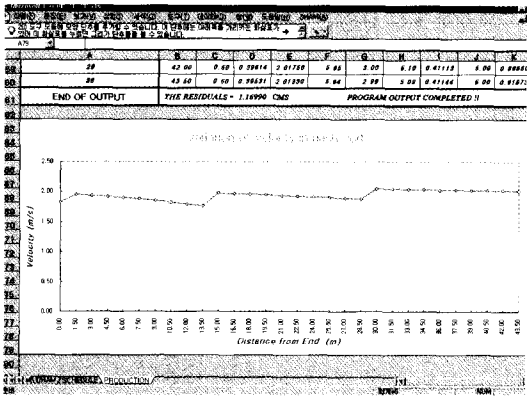


Fig. 1 다공확산관 수리해석 흐름도



(a) 설계자료 입력화면 예



(b) 확산관 내 유속분포 결과 예

Fig. 2 수리해석 전산모형에 의한 확산관의 해석예

에서 제공되는 Visual Basic을 이용하여 GUI방식으로 작성된 수리해석프로그램의 입출력화면을 예시한 것이다.

2.4 관로의 안정성

해양방류관로는 다음과 같은 파괴형태에 대하여 안전하도록 설계되어야 한다.

- 초과상태응력(excessive yielding)
- 좌굴(buckling)
- 파쇄(brittle fracture)
- 중량피복의 과다한 손 · 망실
- 부설안정성(inplace stability)의 상실
- 연성파쇄(ductile fracture)의 전파

위의 파괴형태에 대한 안전도가 다음의 두 가지 설계조건에 따른 허용응력(변형)과 관련지어 검토되어져야 한다.

- 운용중의 관로 시스템
- 부설중인 관로 시스템

1) 운용중의 관로

관로는 제반 파괴형태에 대한 최소안전률을 가져야 한다. 다른 구조물, 관로 등에 너무 가까운 곳은 피해야 하며, 부득이한 경우에는 관로를 clamp나 support등으로 고정시켜 주어야 한다. 관로가 다른 관로와 교차될 경우에는 두 관로 사이의 최소거리를 0.3m 이상 유지하는 것이 바람직하다. 방호가 필요한 지역에서는 다음 방법으로 또는 몇 개의 방법을 조합하여 사용함으로써 방호할 수 있다.

- 콘크리트 피복
- 매설(burial)
- 되메움(backfilling)
- 기타 기계적인 방호(mechanical protection)

2) 부설중인 관로

부설중인 관로에 대하여는 부설공법에 따라, 부설후의 기능이나 안전도에 영향을 주는 손상정도 또는 위험한 부설이나 수리작업에 따르는 손상정도를 충분히 고려하여 강도를 결정해야 한다. 관로에대한 부설해석 결과 계획된 부설장비로는 안전한 부설작업이 불가능하다고 판명되는 경우는 관로를 부설장비에 맞추어 수정해야 한다. 다음과 같은 부설단계 및 기술에 대해서 검토해야 한다.

- 부설작업의 개시
- 정규 부설작업시
- 관의 방기 및 회수시
- 부설의 마무리 작업
- 해저면 예인(bottom pull)
- spool on
- tie-in
- straightening

• 굴착(trenching)
• 되메움(backfill)

상기 부설단계 또는 기술에 있어서 다음의 파괴 또는 손상형태에 대해 최소안전률을 갖도록 해야 한다.

• 항복강도(yielding)
• 국부좌굴(local buckling)
• 피로의 영향(fatigue effect)
• 중량피복에 대한 과다손실

2.5 관로지지설비/보호시설

부설중인 관로에 대하여는 부설공법에 따라, 부설후의 기능이나 안전도에 영향을 주는 손상정도 또는 위험한 부설이나 수리작업에 따르는 손상정도를 충분히 고려하여 강도를 결정해야 한다. 관로설계 그 자체는 토질 조건에 좌우된다. 사용될 관의 종류는 관로 전 길이에 걸쳐 설치할 수 있는 지지 시설의 수량 및 지지시설 형식에 따라 달라진다. 이음 간격이 작은 관들은 침하가 과도한 경우 사용할 수 없으나, 상당한 침하에 견딜 수 있는 관들도 있다. 관 내부에 토사가 퇴적되면 관의 침하를 증대시킬 수 있고, 관 하부의 세굴 및 침식은 지지부를 유실시킬 수 있으므로 해저의 토질 조건을 면밀히 검토해야 한다. 해양방류관로의 지지 역시 육상 위의 관로처럼 연속 지지할 필요가 있다. 그러나, 관을 수중의 암반 위에 설치하면 연속 지지시설이 필요 없으며, 이 경우 관들은 암반 위에 두 지점의 실질적인 경간을 가질 수 있다. 또한 자갈류의 토사에서도 마찬가지이다. 해양 바닥물질의 변화(연안 표류)와 퇴적 등은 관로의 상부 또는 측면에 작용하는 하중을 상당히 변화시킬 수 있다. 더욱이 쇄파지역을 관통하는 방류관로에서 해안선 윤곽의 계절적 변화는 관로 위의 해저 물질의 세굴과 퇴적을 반복시키므로 이를 설계에 반영하여야 한다. 방류시설 설계에 이용할 수 있는 여러 가지 관로지지 설비들을 Fig.3에 나타내었다.

Fig.4, 5, 6은 미국 보스턴항의 Clean Water Project의 일환으로 시행되고 있는 하수 해양방류관로의 시공과 관련된 사진들로서 확산관과 연직유도관, 확산관 헤트, 그리고 연직유도관 시공을 위한 바지에 대한 전경이다.

3. 결 론

온배수 확산관 및 하수확산관은 배출된 오염물질이

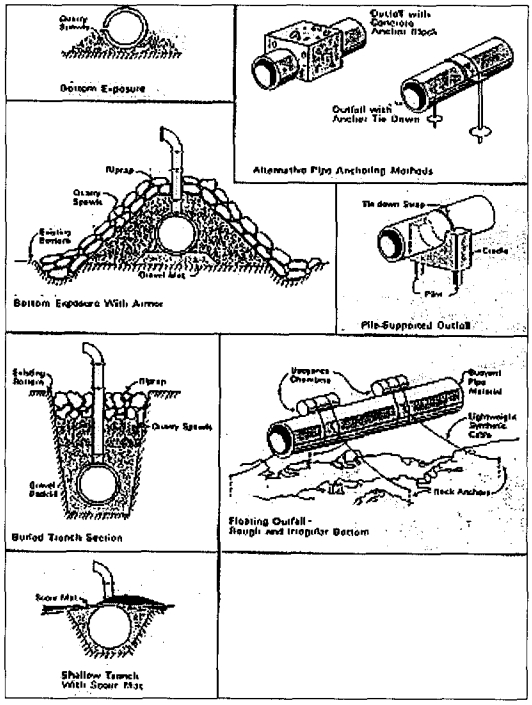


Fig. 3 관로지지설비 작용예(Layton, 1976)

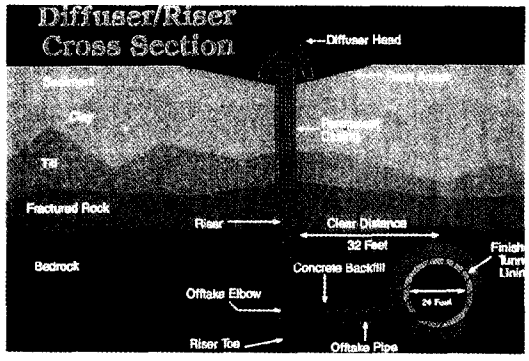


Fig. 4 확산관/연직유도관 사례
(Boston Outfall, MWRA, 1996)

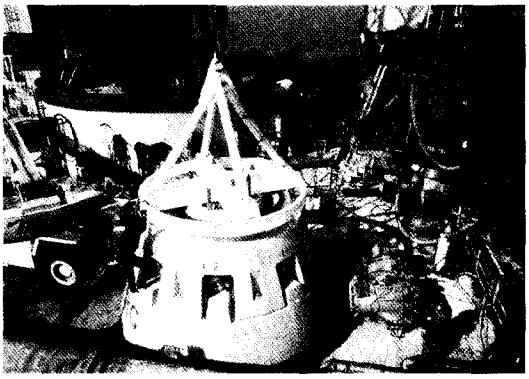


Fig. 5 방사형 방류공
(Boston Outfall, MWRA, 1996)

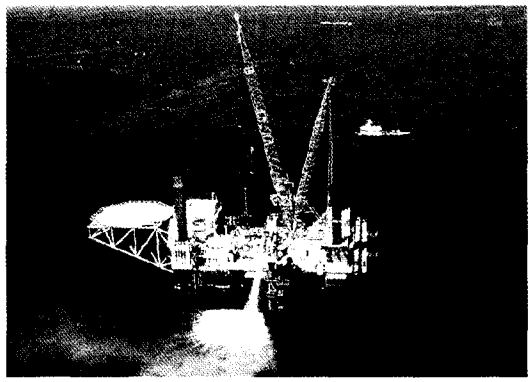


Fig. 6 연직유도관 시공을 위한 Barge
(Boston Outfall, MWRA, 1996)

해양생태계 및 해양환경에 미치는 악영향을 최소화시키기 위해 개발된 능동적 제어방안이라 할 수 있다. 해양환경의 중요성이 강조되어가는 시점에서 이 분야에 대한 과감한 투자와 연구개발이 향후 기대된다.

〈참고문헌〉

Brooks, N.H. (1960). "Diffusion of Sewage Effluent in an Ocean Current," In Proc. First Int. Conference on Waste Disposal in the Marine Environment, University of California, E. A. Pearson (Ed.), Pergamon Press, New York, pp246-267.

Grace, R.A. (1978). Marine Outfall Systems Planning, Design, and Construction, Prentice-Hall., Inc.

Layton, J.A. (1976). "Design Procedures for Ocean Outfalls." Coastal Engineering-1976, Chap. 167.

Lee, J.H.W. (1984). "Boundary Effects on a Submerged Jet Group," J. of Hydraulic Research, Vol. 22, No. 4.

Massachusetts Water Resources Agency (1996). Boston Harbour Clean-Up Project.

Muellenhoff, W.P., Soldate, Jr., A.M., Baumgartner, D.J., Schuldt, M.D., Davis, L.R., and Frick, W.E. (1985). Initial Mixing Characteristics of Municipal Ocean Discharges, Vol. I Procedures and Applications. EPA 630/3-85-073a, Marine Operation Division: 301(h) Program, Office of Marine and Estuarine Protection, Washington, D.C.