

11. 海洋放流 시스템의 最適設計에 關한 研究

항만·운송공학과 김지연
지도교수 이종우

연안수역은 인간을 포함한 생태계의 정주, 발전 및 생존에 필요한 다양하고 생산적인 서식처를 포용할 뿐만아니라 세계인구의 절반 이상이 해안에서 60Km 이내에 살고 있다는 점에서 해양 및 연안자원의 관리 대책이 제시되지 않을 경우 수자원 환경의 오염 뿐만아니라 인간생활의 황폐화를 가져올 수도 있다.

우리나라는 지방자치제도 시행 이후 임해산업입지와 배후 연안도시의 증가로 인한 도시하수, 공장폐수 등과 하천으로부터 유출되는 하수, 임해 발전소로부터 방출되는 온배수 등이 급증하고 있으며 이로 인해 연안 수질환경도 급격히 악화되고 있다. 광양만의 광양공단, 울산만의 각종 중공업단지, 영일만의 맘모스 포항공단 등에서는 불가피하게 어떤 형식으로든 막대한 오염물질을 배출하고 있으며 부산, 인천 등 기존의 대규모 항들도 주변 연안개발의 가속화로 광범위한 해양오염이 발생되고 있다.

지금까지 우리나라의 하수처리는 유기물 제거를 주목적으로 한 활성슬러지 공법에 의존하여 왔다. 그러나 질소와 인 등의 영양염에 의한 하천과 호소 및 해양의 부영양화 문제가 심각하게 대두되어 1996년부터 배출수 허용기준에 질소와 인의 기준을 추가하여 시행하고 있다. 그러나 기존 하수처리장의 시설부족과 예산 및 부지확보 문제 등으로 인해 3차 고도 처리시설의 도입이 늦어지고 있으며 질소와 인의 제거 기술 또한 정립되지 못한 상태이다. 이러한 문제를 해결하는 방안으로 기존의 2차 처리수를 해양방류관을 통해 희석과 확산이 용이한 심해에 방류하는 방법을 제시할 수 있다. 특히, 우리나라의 동해안은 수심여건이 좋고 태평양에 접해있기 때문에 심해 해양방류에 좋은 여건을 갖추고 있다고 본다.

본 연구는 표면방류, 해안선방류, 심해수중방류 등으로 대별되는 해양방류방법들 중 비교적 수질환경에 영향이 적은 수중방류를 중심으로 한 해양방류시스템(ocean outfall system)의 최적설계 방안을 연구하였다. 특히 방류량의 증가에 따라 초기희석을 최대화하기 위해 주변수 조건, 확산관 조건, 방류조건 등 다양한 파라메타의 적용에 의해 최적설계인자의 도출을 시도하였다.

또한 다양한 수질환경의 변화를 규명하고 개선하기 위해 연안 해수유동 및 오염물질의 확산현상에 대한 연구도 중요하므로 기존의 연구에서 간과되고 있는 해양방류의 초기희석에 따른 농도변화를 고려함으로써 보다 현실적인 오염물 확산 수치실험에 기여할 것으로 생각되며 2001년에 완공될 녹산하수처리장 및 2011년의 부산 중앙하수처리장 등 장래 설치될 국내의 주요 오폐수 해양방류시스템의 설계에 보다 합리적이며 경제적인 모델기법을 제공함으로써 이 지역의 연안수질환경의 보호에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

민감도의 분석은 주변유속별, 수심별, 유량별, 방류수 농도별, 확산관의 길이별, 방류각도별, 방류공 직경별, 방류공의 개수별, 방류공의 간격별, 방류공의 높이별, 확산관 형태별로 각각 역할과 거울, 단일 및 다공확산관에 대한 실험을 통하여 수행하였다. 또한 운영과정에서 발생할 수 있는 방류량의 가동률(50%와 100%)에 따른 거동변화를 고려하였다. 희석률, 하수장 두께, 플룸의 상승고가 그 비교대상이며 실험결과 비교적 희석률이나 플룸의 거동 및 형태에 양(+) 혹은 (-)의 효과를 미치는 설계인자를 구할 수 있었다.

주변수 조건 중 하나인 주변유속은 조류속도 0.3m/sec를 기점으로 하여 이전에는 회석에는 크게 기여하며 하수장 두께에도 영향을 미치지만 이후에는 회석에 미치는 영향이 거의 없는 것으로 나타났다. 방류수심도 회석에 양(+)의 효과를 주는 주변수 조건이 되며 방류수심의 증가가 플룸의 상승고 증가와 같은 추이를 보였다. 특히 이러한 증가는 밀도성층화된 여름보다 겨울에 더 두드러지며 적용되는 밀도값 특히 현장의 밀도성층화가 회석에 미치는 효과가 대단히 중요함을 의미한다. 따라서 주변수 조건, 나아가 방류지점의 선정이 방류시스템을 계획하는데 가장 선행되어야 하는 결정인자이다. 같은 수심여건이라도 조류속도가 빠른 지점을 선정하는 것이 바람직하다. 방류지점의 선정 및 배치는 플룸의 회석 및 혼합영역을 충분히 확보한다는 점에서 방류시스템의 가장 중요한 제원이 되므로 우선 목표회석을 충족하면서 이어 경제적인 지점을 선정하는 것이 필요하다. 방류수 조건인 방류량의 증가는 일정유량까지는 회석에 반비례한다. 방류량은 방류공의 직경, 방류공의 개수 등과 관련하여 방류유속, 즉 프루드 수를 결정하며 일정 방류유속의 범위 내에서만 회석을 변화시킬 수 있음을 보여준다. 즉 방류량에 따라 목표회석에 적절한 방류공의 크기를 결정할 수 있음을 뜻한다. 방류속도는 주변수 속도와 결합되어 플룸의 재성층화, 재순환 등을 유발하기도 하므로 방류구 주위의 흐름을 안정성도 고려해야 될 부분이다. 방류관 조건에서 확산관의 길이는 회석에 양(+)의 효과를 주며 플룸의 병합에 따라 하수장의 형태를 크게 변화시킨다. 따라서 방류지점이 연안에 가까이 있는 경우에는 확산관의 길이를 증가시켜 오염범위를 줄일 수도 있다. 수평방류각도는 일반적으로 15° 정도가 권유되나 실험결과 대부분의 경우에 12°가 회석의 효과가 좋고 15°가 넘어서면 플룸의 좌우병합이 빨라져서 플룸이 충분히 성장할 수 없으므로 오히려 회석이 떨어진다.

다공확산관에서 방류공의 직경, 개수 등은 방류량에 따라 프루드 수가 달라지며, 이 프루드 수는 방류지점이 연안에 가까이 있을 경우에 회석을 뿐만 아니라 플룸의 형태, 수직혼합의 양상 등을 조절할 수 있는 인자이다. 방류공 사이의 간격이 증가할수록 회석률은 감소하고 하수장의 두께는 증가하는데 이는 방류공 간격이 클수록 확산관의 길이방향의 병합이 상층부에서 발생하기 때문이다. 같은 방류공의 개수라면 방류공이 가까이 있을수록 회석의 효과도 좋으며 플룸이 수면에 떠오르는 것도 줄일 수 있다. 방류공의 높이는 회석에 미치는 영향은 미약하지만 방류구 주변의 하상부착에 의한 관로 세굴을 막는 수단이 될 수 있다. 확산관 형태별로는 양방향으로 취하는 축방향확산관이 회석에 가장 효과적인 것으로 나타났다. 이는 조류방향을 일정하게 두었을 때의 결과이므로 현장의 조류방향이 가변적이거나 다양하게 나타날 경우에는 또다른 형태의 확산관을 고려하여야 한다. 이상의 방류인자별 민감도에 관한 결과는 방류관의 최적설계에 사용될 수 있을 뿐만 아니라 하수장의 국지적인 문제를 해결하거나 흐름의 안정성을 유도하는데에도 사용될 수 있다. 또한 단일확산관의 결과는 다공확산관에서 단일 방류공으로부터의 플룸의 개별적인 거동을 추적하는데 응용할 수 있다.

현장에 적용한 결과, 단일확산관의 경우에는 모든 임의설치점에서 회석률이 하수확산관의 회석률 기준인 100을 만족하지 못한다. 그러나, 다공확산관의 경우에는 Station에 따라 회석률이 최고치가 다르고 회석률 기준 이상의 효과를 나타내기도 하며 확산관의 기하학적 형상 등 확산관 설계조건에 따라 회석률의 변화가 크게 나타났다. 해안선 방류 및 해안선에 인접한 방류(Station A, B)의 경우는 회석률이 100 미만이며, 설계조건이 변경됨에 따라 회석률이 100 이상인 경우도 있으나 수직적, 수평적으로 광범위하게 플룸이 형성되므로 인해 연안의 생태계에 큰 영향을 미친다는 점에서 불합리한 방류지점이며, 해안선에서 각각 1km, 3km 떨어진 방류지점(Station C, D)에서는 대부분의 경우에 회석률이 100 이상으로 높게 나타났다. 단 겨울에 빠른 방류속도와 해저면과 해수면의 밀도가 균질함에 의해 발생하는 불안정한 플룸이나 수면에 플룸

이 포착되는 경우에는 방류공 사이의 간격, 배치각도 등을 변경하여 방류공 주변의 흐름장을 변화시켜서 근역플룸이 수면보다 더 아래에 포착할 기회를 주는 것이 필요하다고 볼 수 있다.

또한 이러한 초기회석 이후 방류수의 농도변화를 원역의 확산실험에 도입함으로써 보다 현실적인 수질오염예측에 대한 대안을 제시하였다. 근역회석의 효과를 포함하여 부산중앙하수처리장 계획에서 처리수의 해양방류에 따른 오염확산 시뮬레이션을 실시한 결과, 근역회석을 배제한 점원의 오염장 계산이 실제 오염장과 많은 차이를 내포함을 알아내었다. 근역혼합 후 플룸의 농도차, 즉 회석이 커질수록 수직적, 수평적으로 농도가 방류지점에 비해 크게 감소하므로 오염물 확산의 수치실험에서는 오염물의 근역혼합후 회석값이 적용되어야 보다 현실적인 모의가 될 수 있다. 일반적인 수치실험에서 사용되는 유한요소격자의 규모에 따른 회석값의 변화도 또한 고려되어야만 오염확산장에 대한 과잉예측을 배제할 수 있다. 즉, 수치해석시 오염물의 초기거동을 포함시키지 않으면 오염장의 확산에 대한 정확한 예측이 이루어 질 수 없음을 발견하였다.

