

해양방류에 관한 모형의 비교연구

Comparison of Model Predictions on Ocean Outfalls

정 용 태* / 조 익 준* / 장 영 룰* / 박 치 홍*

Chung, Yong Tai / Cho, Ik Joon / Jang, Young Ryul / Park, Chi Hong

Abstract

Field and laboratory studies of the near field behavior of the San Francisco ocean outfall were reported. The data sets cover broad ranges of discharge conditions and oceanic conditions, and are associated with a typical type of outfall discharges with multiport diffusers. The laboratory data sets were obtained in density-stratified towing tanks to replicate the field tests. Model studies of wastefield behavior using these data sets were predicted by the mathematical models UM, UDKHDEN, RSB, and CORMIX2 for minimum dilution, the height to top of wastefield, and wastefield thickness. In this paper, the results are discussed and compared measurements with mathematical model predictions. The hydraulic model studies reproduced the major features observed in the field. It also afforded considerable insight into the mechanics of mixing of multiport risers which could have been obtained neither from the field test nor the mathematical models.

Keywords: ocean outfall, dilution, diffuser

요 지

샌프란시스코 해양방류의 근영역거동에 대한 현장 및 실험연구는 유량조건과 해양조건을 만족하는 것으로 다공 확산관에 의한 해양방류의 전형적인 유형이라 할 수 있다. 특히 실험자료들은 현장시험을 모의한 밀도층을 갖는 견인수조로부터 얻어진 것이다. 이들 자료를 이용한 폐수영역거동의 모형연구는 최소희석률, 최종희석높이 및 희석두께를 수리 및 수학적 모형인 UM모형, UDKHDEN모형, RSB모형과 CORMIX모형을 이용한 예측치와 실측치를 비교 분석하였다. 수리모형연구는 현장에서 관측된 주요현상들을 재현할 수 있었다. 또한 현장시험이나 수학적모형으로부터 얻을 수 없는 다공확산관의 혼합기구를 관찰할 수 있다.

핵심용어 : 해양방류, 희석, 확산관

* 순천청암대학 환경관리과 조교수

Assistant Prof., Dept. of Envir. Management, Sunchun Chongam College, Sunchun, Chonnam 540-260, Korea

1. 서 론

1.1 연구개요

최근에 선진국의 많은 해안도시들은 해양방류 확산관을 이용하여 그 지역의 하폐수를 해양으로 방류하고 있다. 해양방류로 인한 환경학적인 영향은 적절한 해양방류 구조물의 설계에 의해 최소화할 수 있다. 해안수질의 효율적인 개선은 방류수원의 조절과 폐수처리를 조합한 해양방류를 통해 실현될 수 있다(National Research Council, 1993).

하폐수처리장으로부터 전형적인 해양방류는 Fig. 1에 설명된 바와 같다. 폐수는 확산관의 각 단면에 따라 규칙적인 간격을 갖는 포트제열을 통한 부력제로서 수평으로 방출된다. 이들 난류부력제는 오염물질의 농도를 빠르게 감소시키면서 주변수와 혼합된다. 해안 방류구의 주변수는 종종 밀도층 즉, 수심에 따라 증가하는 밀도를 갖는다. 방류수의 밀도는 주변수보다 가볍고, 플룸부상은 부력에 의해 주변수의 밀도와 동일한 곳까지 이르게 된다. 이들 방류수가 수평으로 확산됨으로써 측면퍼짐이 형성되는 곳을 중립부력(neutral buoyancy), 혹은 퍼짐수준(spreading level)영역이라 한다. 성층화 정도에 따라 수평 퍼짐층이 수중으로 잠기게 되어 수표면에서는 볼 수 없게 된다. 방류수의 밀도가 균일하거나 주변수의 성층화 정도가 약하면 플룸은 표면이나 수표면을 따라 퍼지게 된다.

선진국의 경우 하·폐수종말처리장이나 발전소의 처리수 및 온수는 해양방류 구조물을 통해 방류되고 있으며, 해양방류에 관한 수학적 모형이 개발되어 적용되는 경우가 많다. 그러나 국내의 경우는 해양방류 구

조물에 대한 설계 및 시공기술의 개발이 미비하여 아직까지 방류시스템을 이용한 처리수 및 온수의 방류는 미미한 실정이다. 따라서 방류수에 의한 공공수역의 환경오염을 최소화할 수 있는 방류시스템의 연구·개발이 절대 필요한 시점이라 하겠다.

본 연구의 목적은 해양방류 구조물의 설계 및 시공시 이용되고 있는 미국 EPA의 모형에 의한 예측치와 실제로 운영되고 있는 해양방류시설의 실측치를 비교 평가함으로써 최적의 수학적 모형을 제시하는 데 있다.

2. 수리 및 수학적 해석모형

해양방류거동의 해석을 위한 수리 및 수학적 모형인 UM(updated merge)모형, UDKHDEN모형, RSB모형과 CORMIX(Cornell Mixing Zone Expert System)모형이 본 연구에 이용된다. 이들 모형은 연행모형과 반경험모형으로 분류된다. UM모형과 UDKHDEN모형은 연행모형이고, RSB모형과 CORMIX모형은 실험자료를 이용한 반경험모형이다.

2.1 UM과 UDKHDEN모형

UM모형과 UDKHDEN모형은 부력제의 궤적에 따른 적분법을 이용하는 질량변환과 유동방정식의 해인 연행형이다. UM모형은 Lagrangian모형과 시간합수를 이용하고, UDKHDEN모형은 Eulerian모형과 거리합수를 이용한다.

UM모형은 질량보존, 운동량, 그리고 에너지의 Lagrangian식에 기초를 두고 있으며, 투영면적연행(the projected area entrainment)가정(Frick, 1984)과 Taylor 연행가정에 US EPA초기회석모형인 UMERGE모형을 개선, 발전시킨 모형으로 Winiarski

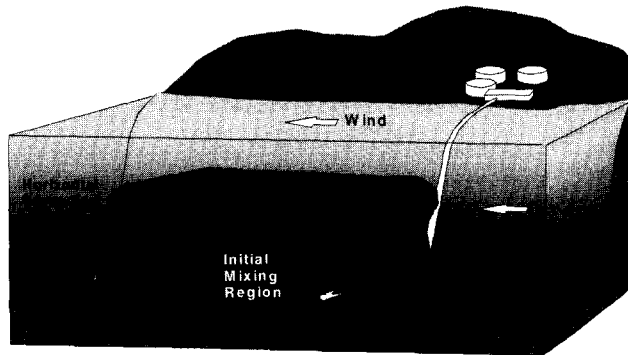


Fig. 1. Typical Behavior of Wastewater Discharged from an Ocean Outfall (Roberts, 1996).

와 Frick(1976)은 대기와 담수에 적용하였고, Teeter와 Baumgartner(1979)는 해양에 적용한 바 있다.

UM모형은 플룸계적에 따른 희석을 각 시간별로 계산하는 데 플룸계적이 굴절되어 중심이 플룸의 횡단면 중심과 일치하지 않을 때 이를 반영하지 않으며, 플룸계적의 반경이 플룸의 반경보다 작을 때 즉, 플룸이 중첩되는 부분이 발생될 때 초기희석을 계산을 중단하는 단점이 있다. UM모형은 단일확산관 혹은 다공확산관에 적용이 가능한 것으로 최소희석과 최종폐수영역높이는 중심선에 따른 농도와 플룸깊이로부터 계산된다.

UDKHDEN모형은 성층화된 밀도층과 주변류에 대한 입의의 입사각을 갖는 단일확산관이나 다공확산관에 적용이 가능한 3차원 Eulerian적분모형으로 주변류방향은 확산관축에 대해 45°에서 135°까지 변할 수 있고, 주변류유속은 수심에 따라 변할 수 있다. 연행량은 플룸크기, 초과유속, 국부푸르드수와 주변유속 등의 함수로부터 계산한다. 플룸이 병합되면 플룸들은 축대칭으로 가정하지 않고 주변수를 연행하는 표면적을 감소시켜 연행함수는 수정되고 병합된 플룸들은 일정한 간격으로 일직선위에 있다고 가정되며 양단효과는 무시한다. UDKHDEN모형은 플룸이 수표면이나 최대부상고에 이를 때 끝나며, 중심선의 최소희석 S_m 과 평균흐름률희석 S_{fa} 의 비로 1.74을 가정하고, 최종폐수영역의 예측높이는 트랩핑레벨(trapping level)에서 산정된다.

2.2 RSB와 CORMIX모형

RSB모형과 CORMIX모형은 길이축적, 차원해석과 실험에 기초를 둔 반경험적인 방정식으로부터 초기희석을 예측하는 길이축적모형으로 체적흐름률, 운동량흐름률, 부력흐름률, 주변수의 유속과 밀도층 등 플룸계적을 통해 주어진 변수들을 이용하여 접근해석으로 특성길이를 계산하고 이를 이용하여 흐름을 구역화한 다음 혼합거동특성을 계산한다.

RSB모형은 수중다공확산관의 실험에 기초를 두고 개발된 모형으로 입의의 유속과 방향을 가진 주변류가 있는 성층화된 밀도수역에서 부력력의 병합거동과 폐수영역의 최소희석을, 최종폐수영역의 부상높이와 폐수영역두께 등을 계산하거나(Roberts 등, 1989a; b; c), 희석과 폐수영역의 특성은 실험결과 등의 기존자료를 이용하여 내삽 또는 외삽한다. 이 때 평균흐름률희석은 최소희석을 계산하여 1.15배를 취한다. 실험장치는 확산관을 따라 균일한 간격으로 설치된 각각의 연직부상

관의 상단에 양방향으로 포트가 설치되어 양면으로 방류되고, 방류수의 방향은 확산관의 방향에 대해 입의의 각도를 갖는다. 선형밀도분포를 기초로 하였지만 최종폐수확립영역에서 포트위치까지 비선형 밀도분포에 대한 해를 얻을 수 있다. 실험인자인 포트간격, 포트직경, 젤분류속도, 주변류속도, 주변류방향과 밀도분포 등의 범위는 해안으로 방류되는 하수가 전형적인 확산관을 표현할 수 있게 선택한다.

RSB모형에 이용되는 입력자료와 파일은 UM모형과 동일하지만 대기의 열전달함수를 고려하지 못하므로 수표면에 닿은 이후의 결과 중 특히 온도에 관해서 주의해야 할 필요가 있다. 이 모형은 실험에 기초한 모형이므로 근본적으로 많은 제약이 있다. 우선, 주변수의 밀도분포는 안정상태로서 수심방향으로의 밀도가 작게되거나 한 수심의 밀도가 같아도 안되며, 방류량은 일정하여야 한다. 폐수영역은 3차원으로 모의되나, 선형플룸으로 근사화된다. 또한 일방향 확산관과 축방향 확산관에 대해서는 적절히 모의할 수 없는 단점이 있다.

CORMIX모형은 미국 EPA의 지원을 받아 Cornell대학에서 개발된 모형으로 방류형태에 따라 3개의 부모모형으로 구성되어 있는 데, CORMIX1모형 및 CORMIX2모형은 각각 수중 단일확산관 및 수중 다공확산관에 의해 방류될 때 초기희석과정을 모의하는 프로그램이며, 암거나 수로 등을 이용한 표층방류에 의해 폐수영역의 거동을 모의하는 것을 CORMIX3모형이라 한다(Jirka와 Hinton, 1992).

본 연구에 이용된 모형은 CORMIX2모형으로 방류수의 특성인 방류포트의 직경과 간격을 무시하고, 2차원 슬롯방류의 개념을 기초로 확산관의 단위길이당 흐름률 변수들로 특성길이를 계산하여 방류수의 혼합특성을 계산하는 데, 예측된 초기희석률은 플룸의 중심선에서의 희석률이다. 주요입력자료는 해역의 해양수리학적 자료, 확산관의 제원, 방류수의 특성과 법적혼합구역자료 등이 있다. CORMIX2모형은 방류시스템의 기하학적 형태에 따른 방류 수원 부근의 혼합거동을 예측하는 데 주안점을 두고 개발되었기 때문에, 기 개발된 수치모형들에 비하여 방류 수원 부근에서 발생하는 복잡한 흐름상황을 보다 정확하게 설명할 수 있다. 특히, 단면경계에서의 상호작용, 오염물질의 하상부착, 성층화된 밀도영역인 경우 발생하는 내부성층현상, 가로흐름이 작을 경우에 방류구 상류방향으로 오염물이 확산되는 상류침투과정 등을 묘사할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 확산관의 기하학적 변화에 따른 오염물질의

회석과정을 쉽게 예측할 수 있어, 최적의 확산관을 설계하는 데 유용하게 이용할 수 있다.

CORMIX2모형은 하천, 호소 및 해안 등 대부분의 수계에 적용할 수 있도록 개발되었으나 단면경계는 일직선으로 가정하고, 수심이 일정하다고 가정해야하는 문제점이 있어 방류구 주위에 방파제와 같은 구조물 등이 있는 경우와 방류구로부터 멀리 떨어진 구역에서의 오염확산을 예측할 경우에는 결과에 대한 신중한 검토가 필요하다. 또한 T형 확산관의 회석률 산정식이 확산관에 의한 방류수의 운동량에 비해 주변수의 운동량이 지배적인 경우에는 실측치에 비해 과소 평가되는 경향이 있다.

3. 관측자료

3.1 현장측정

샌프란시스코 해양방류는 건천호름과 우천호름에 대해 복합하수관을 이용한 처리시설로서 수중확산관과 방류지점 및 주변류 유속계의 위치는 Fig. 2에 도시한 바와 같이 Lake Merced 부근의 샌프란시스코 Peninsula의 서쪽 태평양해안으로 방류된다. 육지로부터 해양방류확산관의 길이는 약 6,400 m(21,000 ft)이고, 수심 22.9 m(75 ft)지점에서 방류된다. 건천호름의 경우에는 수중 확산관의 길이가 약 183 m(600 ft)이

고, 8개의 포트를 갖춘 연직 부상관은 3.66 m(12 ft)의 간격으로 설치되었다. 우천호름의 경우는 수중 확산관의 길이가 약 922 m(3,024 ft)이고, 연직 부상관은 11.0 m(36 ft)의 간격으로 85개가 있다. 방류구조물의 설계도에 대한 자세한 내용은 Isaacson 등(1983)과 Roberts(1980)를 참조할 수 있다.

건천방류시의 설계유량은 8.10 m³/s(185 mgd)이지만 대부분의 하수계통이 수중 해양방류구까지 연결된 것이 아니므로 평균건천호름은 약 1.17 m³/s(27 mgd)이다. 작은 유량으로 인해 대부분의 부상관을 개방을 하지 않지만, 적절한 노즐푸워드수를 유지하기 위해서는 21개의 양방향 연직 부상관을 열어야 한다. 각 지점에서의 주변류는 매우 작은 편류(drift current)와 겹치는 조류의 진폭에 따라 좌우되고, 여름에는 수표면과 해저간에 0.002 g/cc(2 σ_t)의 밀도차로 인한 방류구위치에서의 밀도층이 형성된다.

CH2M Hill(1989)에 의한 현장시험은 방류수에 추적자인 플루오르화물 로다민(fluorescent Rhodamine) WT색소를 추가하였으며, 추가비율은 약 10 ppm의 정규농도를 유지되었다. 3 개의 보트를 이용해 해양에서의 폐수영역을 수집하였으며, 해수밀도와 색소농도의 연직분포를 얻기 위해 온도계 및 전도도탐침을 이용하였다. 주변류속도의 범위는 4~27 cm/sec이고, 수심에 따른 밀도의 범위는 0.0005~0.001 g/cc(0.5~1.0 σ_t)

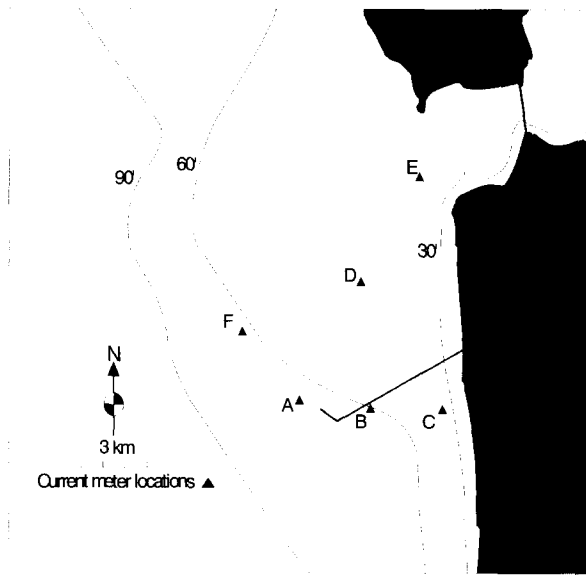


Fig. 2. San Francisco Ocean Outfall.

단위였다. 최소희석률은 약 115로부터 1000보다 훨씬 큰 값의 범위로 나타났다. 폐수영역의 부상고는 5.5~23.0 m(표면)이고, 폐수영역의 두께는 10~15 m이다. 수평퍼짐과 혼합은 연직 부상관간의 간격이 넓은 경우에도 측면으로 균일한 폐수영역이 발생된다. 주변흐름에 있어서, 플룸은 각 포트 또한 첫번째로 각 연직 부상관으로부터 단일플룸으로 합병(merge)된다. 이들 플룸들은 하류방향으로 일소(swept)되어 합치게 되고, 궁극적으로 측면으로 균일한 분포를 갖게 된다. 합병길이는 주변흐름의 속도가 증가함에 따라 증가한다. 현장 시험결과에 대한 자세한 내용은 CH2M Hill(1989)과 Roberts(1989)의 연구물에 나타나 있다.

3.2 수리모형측정

샌프란시스코 방류시설의 실시설계에 대한 물리적

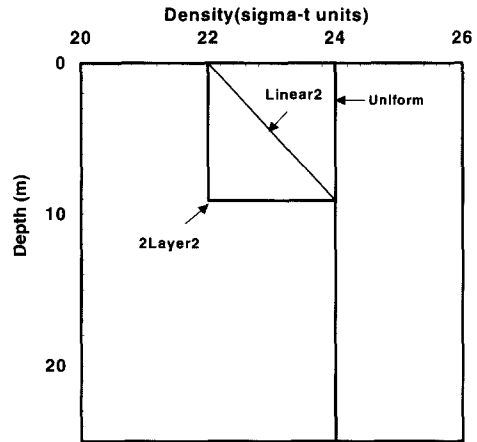


Fig. 3. Idealized Density Profiles (Isacson et al., 1983)

Table 1. Summary of Experimental Parameter(Isacson et al., 1983).

Run Number	Total Discharge (m ³ /s)	Effluent Density (g/cc)	Number of Total Ports	Port Spacing (m)	Port Depth (m)	Current Speed (cm/s)	Ambient Density Profile	Port Diameter (m)	Diffuser Length (m)	Current direction (degrees)
Wet Weather Outfall										
V-19	17.54	1.000	124	14.63	12.8	0	uniform	0.254	907.04	90
V-15	17.54	1.000	124	14.63	12.8	12.9	uniform	0.254	907.04	90
V-18	17.54	1.000	124	14.63	12.8	25.7	uniform	0.254	907.04	90
V-21	17.54	1.000	124	14.63	12.8	0	2-Layer2	0.254	907.04	90
V-16	26.32	1.000	124	14.63	12.8	0	uniform	0.254	907.04	90
V-20	26.32	1.000	124	14.63	12.8	12.9	uniform	0.254	907.04	90
V-17	26.32	1.000	124	14.63	12.8	25.7	uniform	0.254	907.04	90
Dry Weather Outfall										
T-2	0.66	1.000	50	7.32	24.38	0	uniform	0.135	182.87	90
T-4	0.66	1.000	50	7.32	24.38	0	linear2	0.135	182.87	90
T-13	0.66	1.000	50	7.32	24.38	25.7	linear2	0.135	182.87	90
T-9	0.66	1.000	50	7.32	24.38	0	2-Layer2	0.135	182.87	90
T-11	0.66	1.000	50	7.32	24.38	25.7	2-Layer2	0.135	182.87	90
T-7	1.67	1.000	50	7.32	24.38	0	uniform	0.135	182.87	90
T-5	1.67	1.000	50	7.32	24.38	25.7	uniform	0.135	182.87	90
T-3	1.67	1.000	50	7.32	24.38	0	linear2	0.135	182.87	90
T-12	1.67	1.000	50	7.32	24.38	25.7	linear2	0.135	182.87	90
T-8	1.67	1.000	50	7.32	24.38	0	2-Layer2	0.135	182.87	90
T-10	1.67	1.000	50	7.32	24.38	25.7	2-Layer2	0.135	182.87	90
T-15	1.67	1.000	50	3.66	24.38	0	uniform	0.135	91.44	90
T-18	1.67	1.000	50	3.66	24.38	25.7	uniform	0.135	91.44	90
T-17	1.67	1.000	50	3.66	24.38	0	2-Layer2	0.135	91.44	90
T-19	1.67	1.000	50	3.66	24.38	25.7	2-Layer2	0.135	91.44	90
T-21	1.67	1.000	100	3.66	24.38	0	uniform	0.094	182.87	90
T-22	1.67	1.000	100	3.66	24.38	25.7	uniform	0.094	182.87	90
T-20	1.67	1.000	100	3.66	24.38	0	2-Layer2	0.094	182.87	90
T-23	1.67	1.000	100	3.66	24.38	25.7	2-Layer2	0.094	182.87	90

모형실험은 Isaacson 등(1983)이 실시한 바 있으며, Roberts와 Wilson(1990)은 부상관에 뚜껑을 씌워 모형실험을 한 바 있다. 본 논문에서는 자료확보가 가능한 Isaacson 등(1983)의 결과를 이용하기로 한다. 이들이 사용한 실험수조의 깊이는 0.61 m, 폭 0.61 m이고, 수조의 길이가 10.7 m인 플룸에서 행하였다. 또한 확산관에 직각을 이룬 주변류에 대한 실험만을 하였으며, Fig. 3에서 도시한 바와 같이 주변수에 있어서 서로 다른 세가지의 밀도분포에 대해 실험하였다. 해양주변류의 유속은 0.0, 12.9, 그리고 25.7 cm/s이다. 이들의 결과는 Table 1에 요약하였다.

4. 모형적용과 비교분석

본 연구에 적용된 수리 및 수학적인 모형 즉, RSB는 Roberts 등(1989a; b; c)에 의해 제시된 것으로 합병플룸(merging plumes)의 실험적 연구에 기초를

두고 있다. 이는 밀도분포가 최종폐수영역(the top of the wastefield)까지 선형이라고 가정하였으며, 연직 부상관의 상단에 T형 노즐을 설치하여 실험하였다. 연직 부상관의 간격은 수중확산관의 길이에 대한 포트수로 결정된 평균간격을 의미하고, 평균흐름틀회색은 최소회색률에 1.15배한 값을 취한다. UDKHDEN모형의 경우는 RSB모형에 이용된 입력자료와 동일하며, 이때 평균포트간격은 프로그램에 의해 자동으로 변환된다. 최소회색률은 예측된 평균회색률을 1.74로 나눈 값을 취한다. 최종폐수영역의 부상고는 최대부상이 발생한 다음의 위치인 트래핑레벨에서의 값을 취한다. UM모형의 입력자료에 있어서 밀도단위에 대하여 주의할 필요가 있으며, 최소회색률은 중심선에 따른 농도를 플룸이 합병되기 시작하는 지점의 농도로 나눈 값이고, 최종폐수영역의 부상고는 합병되기 시작하는 플룸깊이에 의해 계산되며, 폐수영역의 두께는 합병되기 시작하

Table 2. Comparison of Measurements and Mathematical Models.

Run Number	Minimum Dilution, S_m					Height to Top, $Z_e(m)$					Wastefield Thickness, $h_e(m)$				
	Measured	RSB	DKH	UM	CMX	Measured	RSB	DKH	UM	CMX	Measured	RSB	DKH	UM	CMX
Wet Weather Outfall															
V-19	38	37	29	25	13	12.8	12.8	13.2	14.6	11.6	6.1	9.6	8.4	3.9	1.2
V-15	50	54	101	46	110	12.8	12.8	12.7	13.7	12.8	7.4	11.4	19.1	7.9	10.1
V-18	89	95	179	118	180	12.8	12.8	12.7	13.0	12.8	8.1	11.4	21.6	10.4	12.6
V-21	27	30	29	19	9	12.8	9.6	13.2	14.5	8.9	7.4	7.2	8.4	5.7	0.9
V-16	35	31	26	21	11	12.8	12.8	12.8	14.8	11.6	8.3	9.6	9.1	6.0	1.2
V-20	40	41	76	27	79	12.8	12.8	12.9	14.0	12.8	7.5	11.4	20.2	8.1	9.1
V-17	64	73	132	46	122	12.8	12.8	12.1	13.2	12.8	7.3	11.4	21.9	10.8	12.4
Dry Weather Outfall															
T-2	238	197	119	150	213	24.4	24.4	24.8	15.6	21.8	7.1	18.3	7.1	5.8	2.8
T-4	131	132	83	119	-	14.4	18.2	8.3	12.4	-	9.0	13.7	5.6	10.7	-
T-13	464	619	1071	763	-	14.0	16.4	9.0	13.1	-	9.3	15.6	25.5	23.1	-
T-9	121	99	119	103	31	16.2	15.0	24.8	4.5	9.0	10.8	11.2	7.1	13.4	0.8
T-11	226	549	1752	763	711	16.9	15.3	24.1	13.1	9.8	11.6	14.5	41.9	23.1	9.7
T-7	138	106	70	91	211	24.4	24.4	24.8	15.7	21.8	9.7	18.3	7.4	6.3	2.8
T-5	233	417	726	312	1739	11.2	24.4	23.6	13.2	24.4	10.8	21.7	42.2	23.1	24.4
T-3	104	81	52	79	-	15.2	19.6	7.9	14.3	-	11.5	14.7	6.3	11.4	-
T-12	193	267	458	312	-	15.1	17.6	9.0	13.2	-	16.8	15.6	27.2	23.1	-
T-8	85	61	70	67	18	16.7	15.1	24.8	8.9	9.0	15.4	11.3	7.4	8.3	0.8
T-10	198	216	734	312	285	19.1	15.1	24.7	13.2	9.8	15.4	13.4	44.3	23.1	9.7
T-15	99	76	40	61	75	24.4	24.4	24.6	15.7	21.6	14.1	18.3	6.6	5.9	2.8
T-18	303	229	379	166	367	24.4	24.4	22.9	13.5	24.4	16.1	19.9	41.2	23.2	22.9
T-17	70	49	40	46	18	14.8	15.5	24.6	10.1	9.0	9.7	16.6	6.6	9.1	0.8
T-19	201	138	379	166	146	19.1	15.3	22.9	13.5	9.8	13.8	13.7	41.2	23.2	9.6
T-21	169	123	63	94	116	24.4	24.4	24.1	15.5	21.6	14.7	18.3	6.4	5.8	2.8
T-22	641	477	747	325	713	22.4	24.4	24.1	13.3	24.4	16.8	20.5	44.0	23.8	23.8
T-20	86	73	63	69	28	18.9	15.1	24.1	17.3	9.0	13.8	11.3	6.4	10.0	0.8
T-23	200	286	747	325	285	24.4	15.5	24.1	13.3	9.8	11.6	13.8	44.0	23.8	9.7

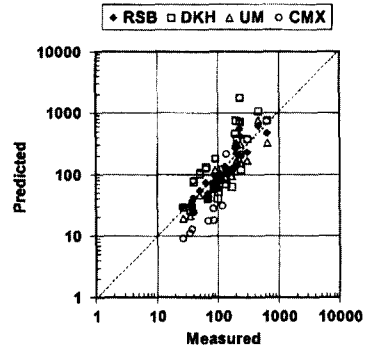
는 지점의 플룸직경을 취한다. CORMIX모형의 경우 입력자료는 해양수리학적 인자, 확산관의 제원, 방류수의 특성과 합리적인 혼합구역자료 등이 필요하다. 최소 회석률은 단일포트인 경우는 평균회석률을 1.7로 나눈 값이고, 다중포트의 경우는 1.3으로 나눈 값을 취한다. CORMIX모형은 4 가지의 밀도분포유형만을 고려하여 개발되었기 때문에 본 연구의 두 번째 밀도분포 (linear2)는 적용할 수 없었으며, 하상으로부터 밀도가 변하는 지점까지의 거리가 수심의 0.4배~0.9배인 경우에 적용할 수 있는 단점이 있다.

샌프란시스코 방류시설에 대한 수학적인 모형시험결과는 Table 2에 비교되었다. 해양방류의 실측치와 모형에 의한 예측치간의 관계는 Fig. 4(a, b, c)에 도시한 바와 같이 최소회석률에 대한 비교결과 RSB와 UM모형의 경우는 오차범위가 7 %로 이는 각 연직부상관에 대해 플룸합병이 야기시키는 회석에 의해서 감소되는 것으로 사료되며, UDKHDEN과 CORMIX2모형의 경우는 이산됨을 알 수 있었다. 폐수영역의 최종 높이에 대한 분석결과 RSB와 CORMIX2는 각각 5 %, 20 %정도 과소평가된 반면에 UDKHDEN과 UM은 실측치에 대하여 각각 16 %와 14 % 정도 과대평가됨을 알 수 있었다. 폐수영역두께에 대한 분석결과 실측치에 대해 과소평가되는 CORMIX2를 제외하고는 모두 과대평가됨을 알 수 있었다.

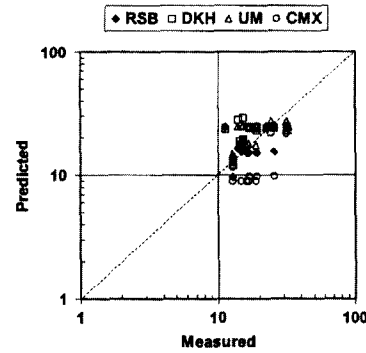
5. 결 론

현장시험조건은 변화가 크고 불확실하기 때문에 수리모형과 현장시험간의 관계를 직접 비교한다는 것은 어려운 일이다. 예를 들어 현장조건과 유사한 조건하에서 얻어진 밀도분포도는 큰 차이를 나타낼 수 있고, 해양에서 연직분포도를 얻기 위해 30여분의 시간이 요구된다. 이렇게 지체되는 시간동안 주변흐름과 밀도층이 크게 변할 수도 있다. 더욱이 모형과 현장시험의 복잡한 비교결과들은 유량의 변화와 관에 있어서 분산이 초래하는 방류수에 있어서 실제색소농도가 불확실하거나 해수가 포트를 통하여 역류될 수 있다.

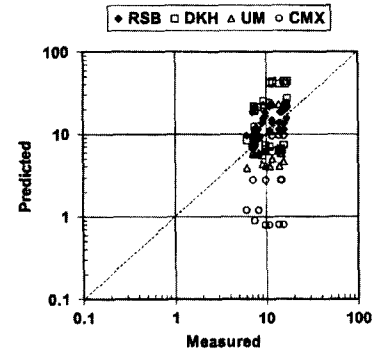
이러한 문제점에도 불구하고 실측치와 잘 일치된 예측치를 보이는 수리 및 수학적인 모형은 RSB와 UM으로 나타났으며, 최소회석률에 대한 실측치와 예측치간의 비교결과 RSB와 UM모형의 경우는 오차범위가 7 %로 이는 각 연직 부상관에 대해 플룸합병이 야기시키는 회석에 의해 감소되는 것으로 사료되며, UDKHDEN과 CORMIX2모형의 경우는 이산됨을 알 수 있었다. 폐수



a) Minimum Dilution.



b) Height to Top.



c) Wastefield Thickness.

Fig. 4. Comparison of Measured and Predicted Values from San Francisco Outfall.

영역의 최종높이에 대한 분석결과 RSB와 CORMIX2는 각각 5 %, 20 % 정도 과소평가된 반면에 UDKHDEN과 UM은 실측치에 대하여 각각 16 %와 14 % 정도 과대평가됨을 알 수 있었다. 폐수영역두께에 대한 분석결

과 실측치에 대해 과소평가되는 CORMIX2를 제외하고는 모두 과대평가됨을 알 수 있었다.

수리모형연구는 현장에 있어서 관측된 주요형상들이 재현될 수 있다. 현장시험이나 수학적 모형들로부터 얻어질 수 없는 다공 연직 부상관의 혼합역학에 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 1998년도 순천청암대학의 학술진흥연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드리며, 또한 논문 자료의 제공과 지도를 아끼지 않은 조오지아공대의 Roberts박사께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- CH2M Hill (1989). *Wastefield transport and bacteriological compliance studies of the San Francisco ocean outfalls*. CH2M Hill, Emoryville, California.
- Frick, W.E. (1984). "Non-empirical closure of the plume equations." *Atmospheric Environment*, Vol. 18, No. 4, pp. 653-662.
- Isaacson, M.S., Koh, R.C.Y., and Brooks, N.H. (1983). "Plume dilution for diffusers with multiple risers." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 109, No. 2, pp. 199-220.
- Jirka, G.H., and Hinton, S.W. (1992). *User's guide to the Cornell mixing zone expert system (CORMIX)*. Technical Bull. No. 624, Nat. Council for Air and Stream Improvement, Medford, Massachusetts.
- National Research Council (1993). *Managing wastewater in coastal urban areas*. National Academy Press, Washington, D.C.
- Roberts, P.J.W. (1980). "Ocean outfall dilution: Effects of currents." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 106, No. HY5, pp. 769-782.
- Roberts, P.J.W. (1989). *Dilution hydraulic model study for the Boston wastewater outfall*. Report Number SCEGIT 89-101, School of Civil Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta.
- Roberts, P.J.W. (1996). "Sea outfalls." *Environmental Hydraulics*. Edited by Singh, V.P., and Hager, W.H., Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 63-110.
- Roberts, P.J.W., and Wilson, D. (1990). "Field and model study of ocean outfalls." *Proc. 1990 National Conference on Hydraulic Engineering*, San Diego, July 30-Aug. 3, Edited by Chang, H., ASCE, New York.
- Roberts, P.J.W., Snyder, W.H., and Baumgartner, D.J. (1989a). "Ocean outfalls. I: Submerged wastefield formation." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 115, No. 1, pp. 1-25.
- Roberts, P.J.W., Snyder, W.H., and Baumgartner, D.J. (1989b). "Ocean outfalls. II: Spatial evolution of submerged wastefield." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 115, No. 1, pp. 26-48.
- Roberts, P.J.W., Snyder, W.H., and Baumgartner, D.J. (1989c). "Ocean outfalls. III: Effect of diffuser design on submerged wastefield." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 115, No. 1, pp. 49-70.
- Teeter, AM., and Baumgartner, D.J. (1979). *Prediction of initial mixing for municipal ocean discharges*. CERL Publ. 043, U.S. Environmental Protection Agency, Environmental Protection Laboratory, Corvallis, Oregon.
- Winiarski, L.D., and Frick, W.E. (1976). *Cooling tower plume model*. U.S. Environmental Protection Agency, Ecological Research Series, EPA-600/3-76-100, Corvallis, Oregon.

(논문번호:98-039/접수:1998.07.09/심사완료:1998.09.15)