

해수도수에 따른 동천 수질개선 효과 모의 분석

최종욱^{1†} · 유은희¹ · 김주인¹ · 권기원¹ · 손태석² · 신현석²

¹환경조사과

²부산대학교 토목공학과

Simulation of Water Quality in Case of Flowing Sea Water into the Dong Stream in Busan

Jong-Wook Choi^{1†}, Eun-Hee Yu¹, Ju-In Kim¹, Ki-Won Kwon¹, Tae-Seok Shon², Hyun-Seok Shin²

¹Environmental Research Division

²Department of Civil Engineering, Busan National University

Abstract

The volume of induced flow and distribution of its volume and water quality were simulated to find out optimum condition for improving water quality of Dong stream in Busan. The results of this study were as follows.

1. The optimum volume of induced flow showed 50,000t/d in simulation of hydraulic profile for improving water quality of Dong stream.
2. In 50,000t/d of induced flow, the distribution of its volume was effectively revealed in the flow of 30,000t/d at Kangmoo bridge, 10,000t/d at Bum 4 bridge and 10,000t/d at Bum 3 bridge for improving water quality.
3. In the result of DO and COD simulation with optimum condition, the water quality of Dong stream is better improved in spring and winter season than in summer and fall season. And water quality is more effectively improved in period of high flow rate than in that of low flow rate of Dong stream.
4. In water quality simulation with elevation level of water, the elevation level of water influence to improve water quality in the upper region of Dong stream, but that of water does not influence in the lower region of Dong stream.

Key Words : Dong stream, Induced flow, Water quality, Simulation, Optimum volume

서 론

동천은 백양산 선암사를 발원하여 서면을 경유하여 북항입구로 유입되는 하천으로 중상류의 대부분 복개(분류 57.7%, 지천 99%)되어 하천 기능 수행이 미흡하고 하류는 하상구배가 낮아 오염물질의 침전이 쉽게 일어나고 있다. 조수간만에 의해 평소 바닷물이 광무교까지 올라오는 감조하천인 동천은 4개의 지천을 가지고 있으며 유로연장은 20.46km, 유역면적은 30.60km²의 하천이다¹⁾.

2004년도 동천환경개선을 위한 기본을 수립하여 간조시 하상 바닥이 드러나 보이는 환경을 개선하기 위한 유지용수 확보를 위해 가동보를 설치하고 확보된 하천수를 정

화하기 위한 수질정화장치의 설치가동하고, 지하철역사 지하수를 유지용수로 이용하고, 하수 오염원의 하천 유입 차단을 위하여 복개 내부의 하수관거를 정비하고, 하상에 퇴적된 오염물을 준설을 통해 제거하고, 도로변 녹지대 조성 등의 친수공간을 만들기 위하여 많은 노력을 하고 있다. 이러한 결과로 과거 10년 전 광무교의 BOD가 50mg/L 이상 되었던 것이 2007년도에는 11.5mg/L로 수질이 개선되고 있다는 가시적인 효과로 나타났다²⁾.

그러나 비가 오면 합류식 하수관거에서 월류되어 하천으로 들어오는 하수의 차단이 어렵고, 감조하천으로 유입된 오염원의 정체가 심하고, 복개 내부에서 오염원의 유입 통제가 확실히 되지 않는 동천의 여건상 현재의 개선사업

† Corresponding author. E-mail: jwchoi59@empal.com
Tel: +82-51-758-6123, Fax: +82-51-753-1424

으로는 수질 개선의 한계성이 있기 때문에 부산광역시에서는 온천천과 같이 맑은 물을 통수시켜 단기간에 효과적으로 동천 수질을 개선시킬 방안으로 세가지 방법을 고려하고 있는데 첫 번째로 낙동강 원수도수 방안은 안정적인 유입량을 확보한다는 장점은 있으나 통수 거리가 멀기 때문에 공사비가 약 150억원 정도 소요되고 수자원공사와의 협의가 먼저 이루어져야하는 단점이 있고, 두 번째 방안인 수영하수처리장의 방류수 재이용은 일정 유입량의 확보는 쉬우나 방류수의 고도처리가 필요하여 공사비가 약 119억원 정도 소요되고, 세 번째는 동천 하류 북항의 해수를 도수하는 방안으로 바닷물이 수시로 들어오는 감소하천의 특성상 가능성은 있으나 해수도수 사례가 전무하다는 약점이 있는 반면에 미복개구간의 수질개선 효과를 낼 수 있고 소요예산도 약 55억원으로 통수가 가능하다는 분석을 내놓고 있다³⁾.

상대적으로 적은 예산으로 수질개선 효과를 빨리 낼 수 있는 해수도수는 동천 하류 북항에서 수질이 양호한 해수를 도수하여 동천 본류 구간에 방류시킴으로 하천의 수질을 개선하는 방법으로 동천이 감소하천이라는 특성상 해수를 도수하여 유지용수로 활용할 경우 저질 개선과 수질 개선효과를 기대할 수 있고, 하천수의 해수화에 따른 해양성 생물상이 강화되는 장점도 있다.

본 연구에서는 동천 해수 도수에 의한 수질 개선 효과를 분석하기 위하여 DO와 COD를 중심으로 모의 시나리오를 설정하여 방류할 최적 유량을 선정하고, 선정된 유량으로 더욱 효율적인 수질 개선 효과를 가져올 수 있는 분배유량을 산정하였고, 최적 유량과 최적 분배유량으로 계절별 수질 개선 효과와 유황별 수질 개선 효과를 분석하였으며 수리모형은 HEC-LAS와 RMA2를 이용하였고 수질모형은 RMA4를 이용하였다.

재료 및 방법

유황 현황

동천의 유황은 기존의 SWAT 모형을 이용하여 광무교 지점에서 유황을 산정하였다. 사용된 자료는 2002년부터 2007년까지의 5년간 모의 자료를 이용하여 유황곡선을 생성하였으며 생성된 유황곡선을 이용하여 산정된 광무교 지점의 유황 및 계절별 유량은 Table 1과 같다.

Table1. Flow rate of Kwangmoo bridge in Dong stream

	유황별(cms)	계절별(cms)	
풍수량(Q95)	0.573	봄	0.843
평수량(Q185)	0.245	여름	1.500
저수량(Q275)	0.094	가을	0.541
갈수량(Q355)	0.025	겨울	0.158

수질 현황

1998년 1월부터 2007년 12월까지 동천의 광무교, 범4호교, 범일교 지점에서 측정된 수질자료는 Fig. 1과 같다. 수질의 변동 형태를 보면 2002년 1월 기점으로 차이를 보이기 때문에 본 연구에서는 최근 동천 수질 상태를 반영하기 위하여 2002년 1월부터 2007년 12월까지의 수질자료를 모의에 적용하였다.

2002년에서 2007년까지 년도별 광무교, 범4호교, 범일교 지점에서 수질항목별 측정결과는 Table 2와 같다. 광무교 지점에서의 DO는 3.6~4.6ppm의 분포로 평균은 3.9ppm이었고 BOD는 11.5~16.2ppm의 분포로 평균은 13.6ppm이었고 COD는 11.6~14.4ppm의 분포로 평균은 12.5ppm을 나타내었다.

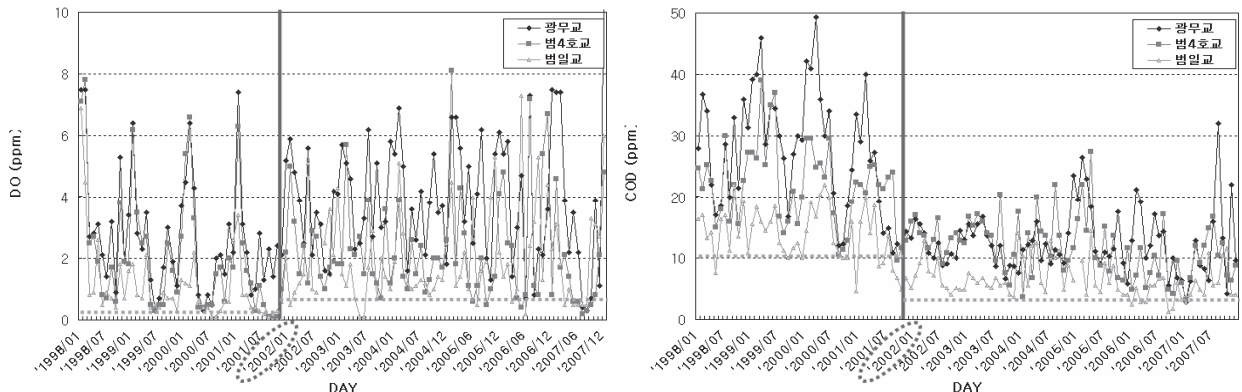


Fig. 1. Monthly variation of DO and COD in Dong stream(1998. 1~2007.12)

Table 2. Yearly variation of water quality in Dong stream(2002~2007)

광무교								
년	수온 (°C)	pH	DO(mg/L)	BOD(mg/L)	COD(mg/L)	SS(mg/L)	총질소(mg/L)	총인(mg/L)
2002	16.8	7.5	3.6	13.9	12.1	10.0	12.8	1.5
2003	16.8	7.5	4.1	12.3	11.6	12.5	11.0	1.0
2004	17.7	7.4	3.7	14.4	12.6	9.3	13.4	1.0
2005	15.8	7.5	4.6	16.2	14.4	14.5	13.0	0.9
2006	14.9	7.2	3.7	14.5	12.4	14.2	9.8	0.8
2007	15.4	7.4	3.6	11.5	11.9	9.3	6.0	0.3
평균	16.0	7.4	3.9	13.6	12.5	11.8	10.9	0.9
표준편차	1.1	0.1	0.4	1.6	0.9	2.2	2.6	0.4
범4호교								
년	수온 (°C)	pH	DO(mg/L)	BOD(mg/L)	COD(mg/L)	SS(mg/L)	총질소(mg/L)	총인(mg/L)
2002	17.3	7.4	2.2	17.0	13.2	12.6	10.0	1.2
2003	17.2	7.4	2.4	17.0	13.7	13.4	10.1	1.0
2004	18.1	7.2	1.9	15.1	12.3	15.7	9.3	0.8
2005	16.9	7.3	2.4	20.7	13.4	25.6	9.0	0.7
2006	15.9	7.2	2.8	9.4	8.0	14.0	4.9	0.4
2007	16.9	7.4	1.6	9.6	10.0	9.0	3.5	0.3
평균	17.0	7.3	2.0	15.0	11.8	14.9	7.7	0.7
표준편차	0.7	0.1	0.6	4.1	2.1	5.2	2.6	0.3
범일교								
년	수온 (°C)	pH	DO(mg/L)	BOD(mg/L)	COD(mg/L)	SS(mg/L)	총질소(mg/L)	총인(mg/L)
2002	16.7	7.3	2.0	8.2	7.0	8.1	4.7	0.5
2003	16.7	7.4	1.3	6.7	6.5	6.1	4.3	0.4
2004	17.3	7.1	1.7	8.3	8.7	13.3	4.9	0.4
2005	17.2	7.3	2.3	7.8	6.9	9.0	4.3	0.4
2006	16.0	7.4	2.7	3.9	4.2	9.8	2.3	0.2
2007	16.9	7.4	1.8	5.3	6.2	6.9	2.6	0.2
평균	16.7	7.3	1.9	6.5	6.4	8.6	3.7	0.4
표준편차	0.4	0.1	0.5	1.7	1.5	2.4	1.1	0.1

취수지점 수질 현황

해수도수의 취수지점 선정을 위하여 2007년 12월부터 2008년 11월까지 북항 하류 4개 지점에 대한 수질 측정을 실시하였고 수리 분석 및 수질 자료 분석을 결과 Fig. 2와 같이 부두교량 P1 지점을 취수지점으로 선정하였다. 북항 하류부의 수리 분석 결과로 하천 내의 주흐름이 좌안으로 치우쳐 형성되어 하구로 빠져 나가므로, 우안 쪽인 부두교량 P1 지점은 상류의 흐름 영향을 비교적 적게 받고 하구 해안의 흐름 영향 역시 적게 받는다. 취수지점별 수질측정 결과인 Table 3에서 계절별, 오염원별로 수질을 비교할 때 P1 지점의 수질은 평균 수질에 근접하면서 타 지점에 보다 취수 여건이 양호하므로 취수지점을 부두교량 P1으로 선정하였고, 모의시 부두교량 P1 지점의 심층수를 도수하는 것으로 모의하였다.

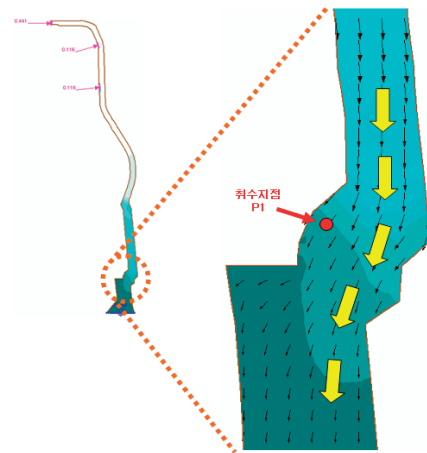


Fig. 2. Schematic of Intake point of sea water

Table 3. Seasonal variation of DO and COD at intake points of sea water(2007.12~2008.11)

		봄	여름	가을	겨울
DO	부두교량 P1	7.7	6.2	5.5	8.5
	부두교량 P2	7.7	5.9	5.6	8.6
	폐교각1	7.9	6.6	5.4	8.6
	폐교각2	8.1	6.7	5.8	8.7
	평균	7.8	6.4	5.6	8.6
	표준편차	0.2	0.3	0.2	0.1
COD	부두교량 P1	1.6	2.2	0.9	0.8
	부두교량 P2	1.6	2.2	0.8	1.6
	폐교각1	1.7	1.9	1.1	0.4
	폐교각2	1.6	2.7	1.2	0.4
	평균	1.6	2.2	1.0	0.8
	표준편차	0.1	0.3	0.2	0.6

Table 5. Hydraulic characteristics of each segment before and after flowing of sea water in Dong stream

구간		도수전		도수후		증감	
		수심	유속	수심	유속	수심	유속
1	광무교~범3호교	0.40	0.06	0.41	0.13	0.01	0.07
2	범3호교~범일교	1.21	0.0	1.21	0.01	0.00	0.01
3	범일교~북향입구	2.04	0.0	2.04	0.01	0.00	0.01

결과 및 고찰

해수 도수에 따른 수리 및 수질 모의 분석

유량 및 수심 변화

동천에서의 용수 공급시 동천 본류에서의 수리특성 변화를 분석하기 위하여 HEC-RAS 1차원 모형을 이용하여 도수 전후의 하천에서의 유속 및 수심 변화를 모의 하였다.

도수전 후의 변화 상태를 파악하기 위하여 동천에서의 조위는 평균해면으로 유황은 저수량으로 수위 및 유량 조건을 통일하였으며, 광무교 지점에서의 유량을 50,000t/day으로 도수하여 비교 하였다. 또한 동천 본류의 구간을 Table 4와 같이 I구간: 광무교~범 3호교, II구간: 범3호교~범1교, III구간: 범1교~하구의 총 3개 구간으로 구분하여 상류, 중류, 하류³⁾에서의 유속 및 수심 변화를 분석하였다.

Table 4. Segment of Dong stream

구간	하천단면	지점
I	No.55~35.6	광무교~범3호교
II	No.35.6~16.8	범3호교~범1교
III	No.16.8~0	범1교~동천 하구

모의 결과는 Table 5와 같이 동천의 수심은 도수 전후의 변화가 상류, 중류, 하류 모두에서 거의 발생하지 않았으나 광무교 지점부터 도수후 수심이 조금 깊어지는 변화

가 발생함을 알 수 있었다. 유속의 경우 범3호교 이하 중하류 구간에 대해서는 유속의 변화가 거의 발생하지 않았으나 I구간인 광무교~범3호교 구간에서는 유속 변화가 조금 나타남을 볼 수 있었다. 따라서 50,000t/day 유량의 방류로 인한 동천내에서의 수리특성의 변화는 크게 발생하지 않고 있음을 볼 수 있었다.

최적 유량 모의

RMA4^{4,5,6,7)} 모형을 통해 최적 해수용수공급 유량 선정을 위한 모의를 실행하였으며 모의에 사용된 유황은 저수량을 이용하였고 동천 본류와 도수해수 수질은 년 중 가장 나쁜 수질을 이용하였다. 광무교 상류 북개중점에 30,000t/day, 50,000t/day, 60,000t/day를 일괄 방류할 경우 DO와 COD 변화에 대한 모의 결과는 Fig. 3, 4와 같다. 30,000t/day을 방류하였을 경우에는 범일교 지점까지 하천수질등급 II등급(약간 좋음)을 보였으나 50,000t/day 방류시에는 동천교 하류까지 하천수질등급 II등급(약간 좋음)의 결과를 보였다. 60,000t/day을 방류하였을 경우는 범일교 하류 지점까지 하천수질등급 II등급(약간 좋음)인 결과를 보였고 하구 구간에 수질개선효과를 보였다. 동천 본류 구간의 수질 목표가 하천수질등급 II등급(약간 좋음)인 것을 고려할 때 50,000t/day 방류시와 60,000t/day 방류시 수질의 차이를 크게 나비 않으므로 최적 해수용수 공급 유량은 50,000t/day로 산정하였다.

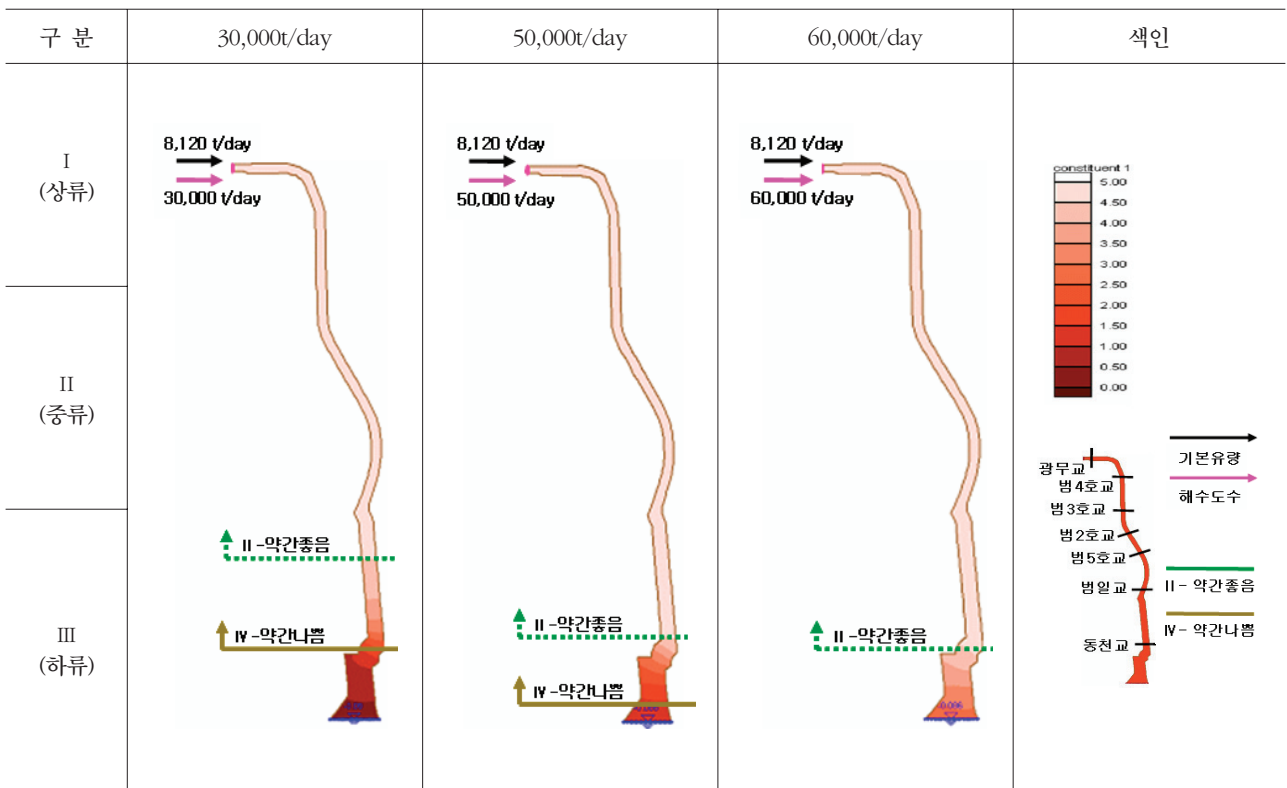


Fig. 3. Result of DO simulation with flow rate of sea water

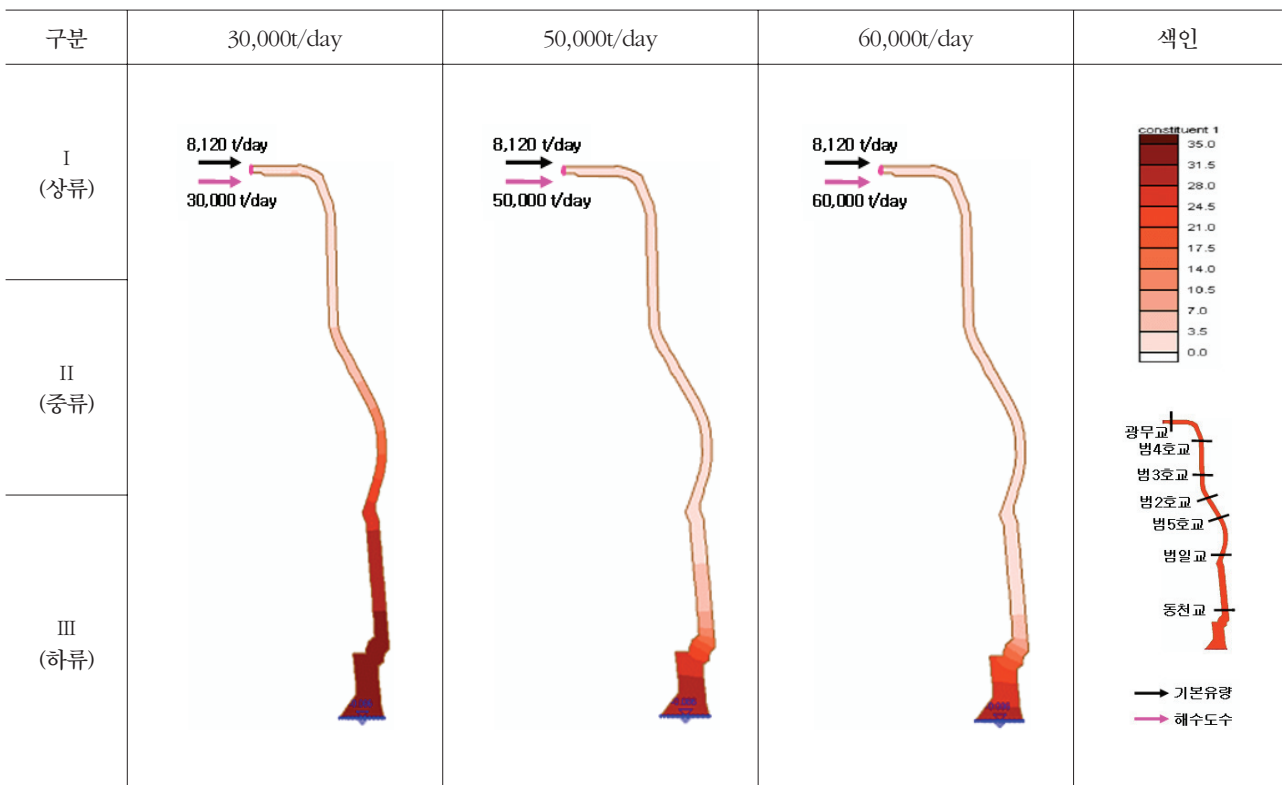


Fig. 4. Result of COD simulation with flow rate of sea water

최적 유량 분배 모의

모의에 사용된 기초자료는 최적 용수유량모의시와 사용된 자료와 동일하게 사용하였으며 결과는 Fig. 4, 5와 같다. 광무교 상류에서 50,000t/day를 방류한 경우 범3호교까지 수질개선효과가 크게 나타나다 범 3호교 이후부터는 그 변화되는 변화율이 작아짐을 볼 수 있다. 광무교에서 30,000 t/day, 범3호교에서 20,000t/day를 방류한 결과 범 3호교 하류지역에서의 수질 개선효과는 개선되었으나 범3호교 상류지역에서의 개선 효과가 50,000t/day보다 좋지 못하였다. 따라서 이러한 수질 변화 양상을 반영하여 광무교에서 30,000t/day 범4호교에서 10,000t/day, 범3호교에서 10,000t/day를 방류하는것이 가장 큰 효과를 나타냄을 볼 수 있었다. 따라서 최적 해수용수공급 유량 분배는 광무교 상류에서 30,000t/day, 범4호교에서 10,000t/day, 범3호교에서 10,000t/day를 분배하여 방류하는 것으로 나타났다.

수질개선효과 모의

수질개선효과 모의에 사용한 유황은 광무교 지점의 계절별 유황을 사용하였고 수질은 계절별로 가장 나쁜 월 수질을 사용하였고 동천 하구 해안 조위는 대조평균 만조위 50.3cm, 평균해면 -8.6cm, 평균간조위는 -48.6cm로 사용하였다. 최적유량으로 선정된 50,000t/day를 광무교 상류 북계중점 30,000t/day, 범4호교 10,000t/day, 범3호교 10,000t/day에 계절별 유량을 더하여 방류하여 계절별 수질개선효과를 모의하였고 그 결과는 Fig. 7~14와 같다. 봄은 타계절에 비하여 기본유량은 적으나 동천 본류 수질 상태가 양호하고 도수하는 해수의 수질도 양호하여 도수 시작

24시간 후의 결과를 보면 대조평균만조위일 때 범5호교까지, 평균간조위일 때 범일교까지 하천수질등급이 II등급(약간좋음)으로 나타났다. 여름은 동천 본류의 수질이 가장 나빠지는 계절이고 도수하는 해수의 수질 역시 타 계절에 비해 나쁜 상황이나, 해수 도수 24시간 후의 결과에서 대조평균만조위일 때 범2호교까지, 평균간조위일 때 범5호교와 범일교 중간 지점까지 하천수질등급이 거의 II등급(약간좋음)에 가까운 수질개선효과를 보였다. 가을은 동천 본류의 수질과 도수하는 해수의 수질이 여름보다 조금 좋은 상황이나 유량이 적은 이유로 유수가 원활하지 않아 해수 도수 24시간 후의 결과에서 대조평균만조위일 때 범3호교와 범2호교 중간 구간, 평균간조위일 때 범5호교까지 하천수질등급 II등급(약간좋음)에 가까운 결과를 얻었다. 실제 가을이 여름보다는 좋은 수질을 보이거나 모의시 입력한 수질자료가 각 계절의 가장 나쁜 월 수질을 선택하여 입력하여서 여름에 가까운 수질 자료가 선택되어진 결과 때문인 것으로 보인다. 겨울은 대조평균만조위일 때 범2호교, 평균간조위일 때 범5호교까지 하천수질등급 II등급(약간좋음)인 수질개선효과를 보였다. 동천 본류 구간과 도수한 해수의 수질은 비슷한 범위 비교하면 기본 유량이 봄에 비해 적은 이유로 원활한 유수가 이루어지지 않아 오염물의 이송, 확산 효과가 감소하여 봄보다 수질개선효과가 떨어진 것으로 보인다. 계절별로 수질개선효과를 분석한 결과 조위에 의한 영향은 미미하나, 동천 본류 구간의 수질과 도수하는 해수의 수질, 각 계절의 유량에 따라 수질개선효과가 달라지는 것을 보였다.

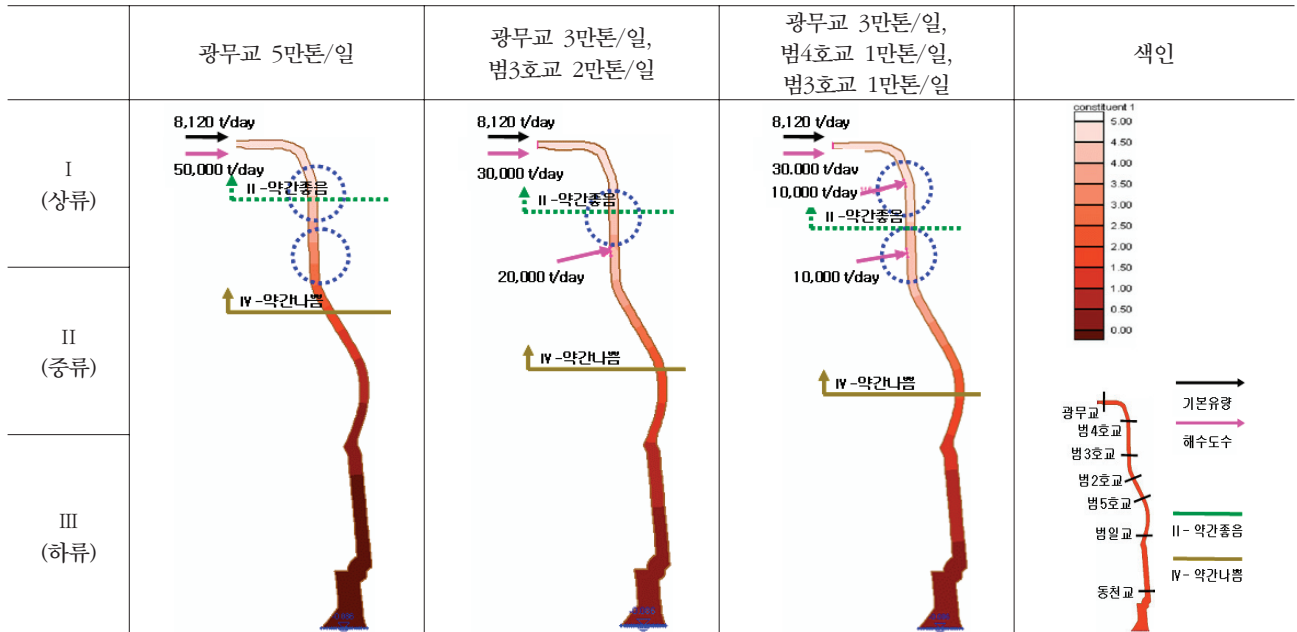


Fig. 5. Result of DO simulation with distribution of sea water flow rate

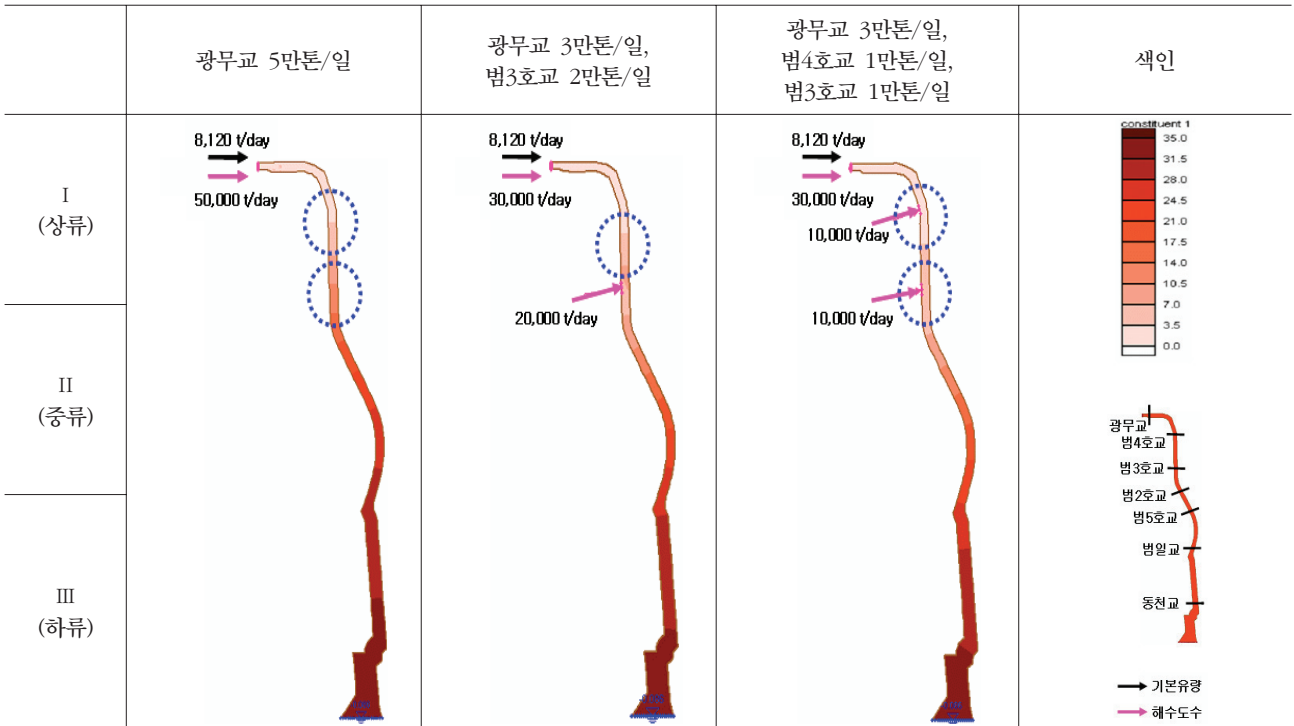


Fig. 6. Result of COD simulation with distribution of sea water flow rate

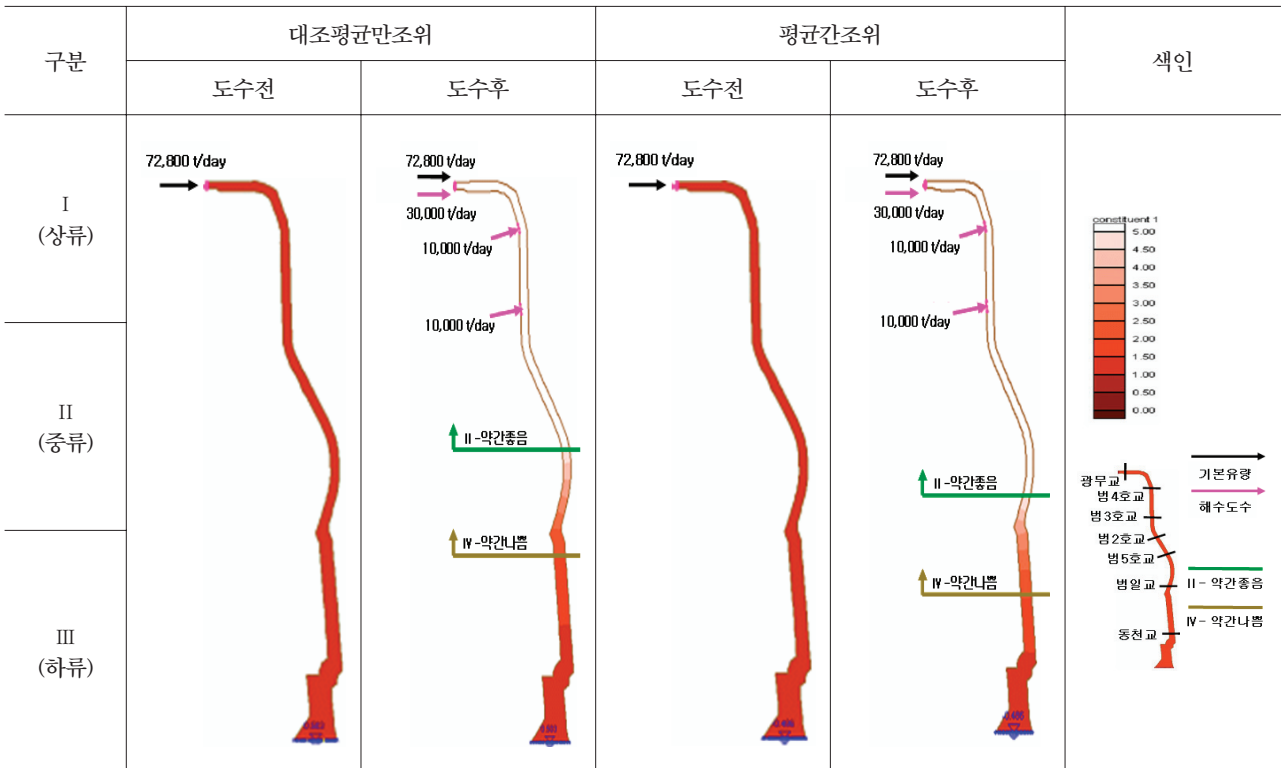


Fig. 7. Simulation of DO concentration in spring season

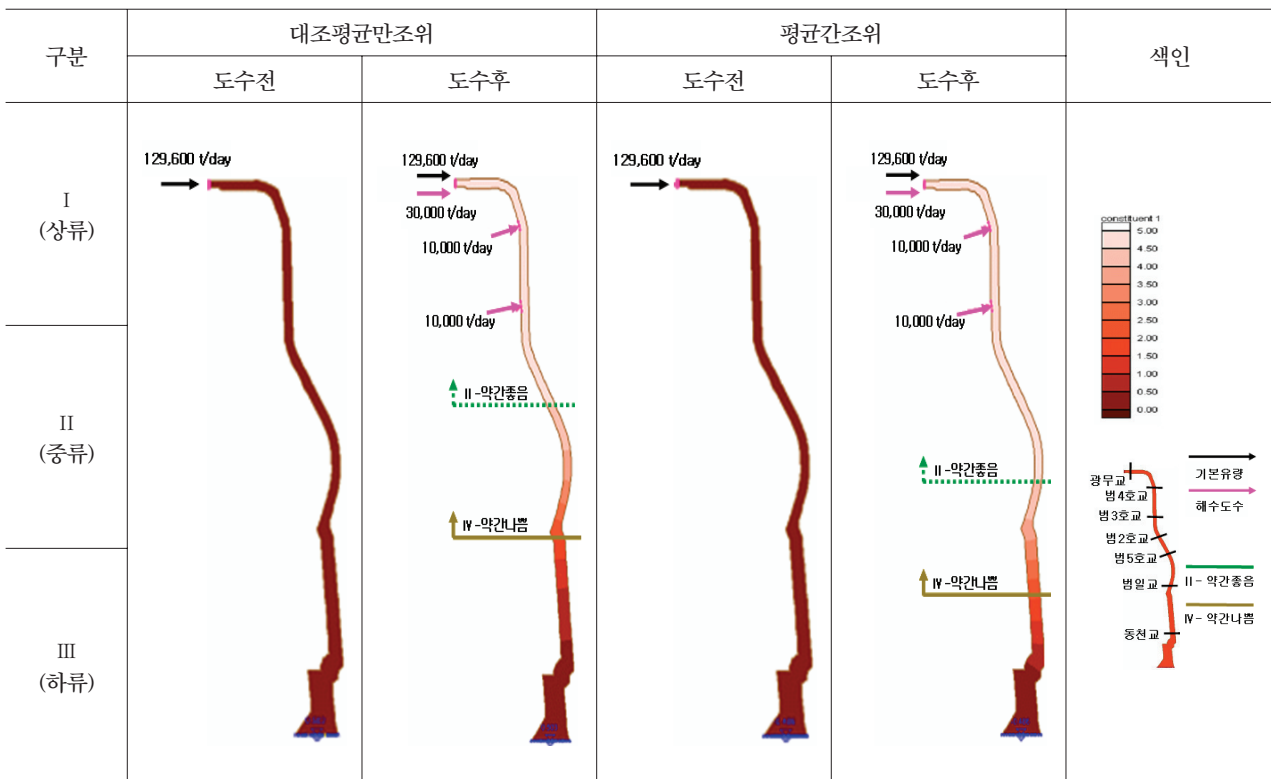


Fig. 8. Simulation of DO concentration in summer season

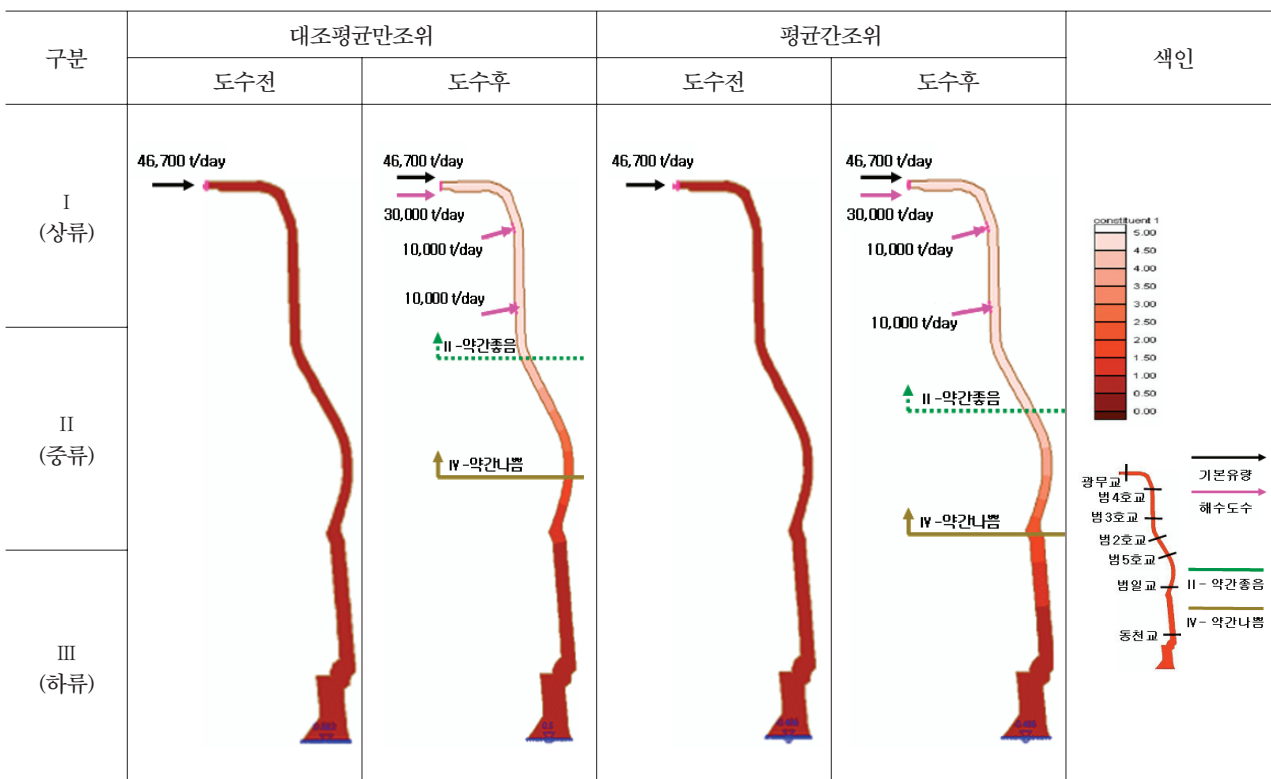


Fig. 9. Simulation of DO concentration in fall season

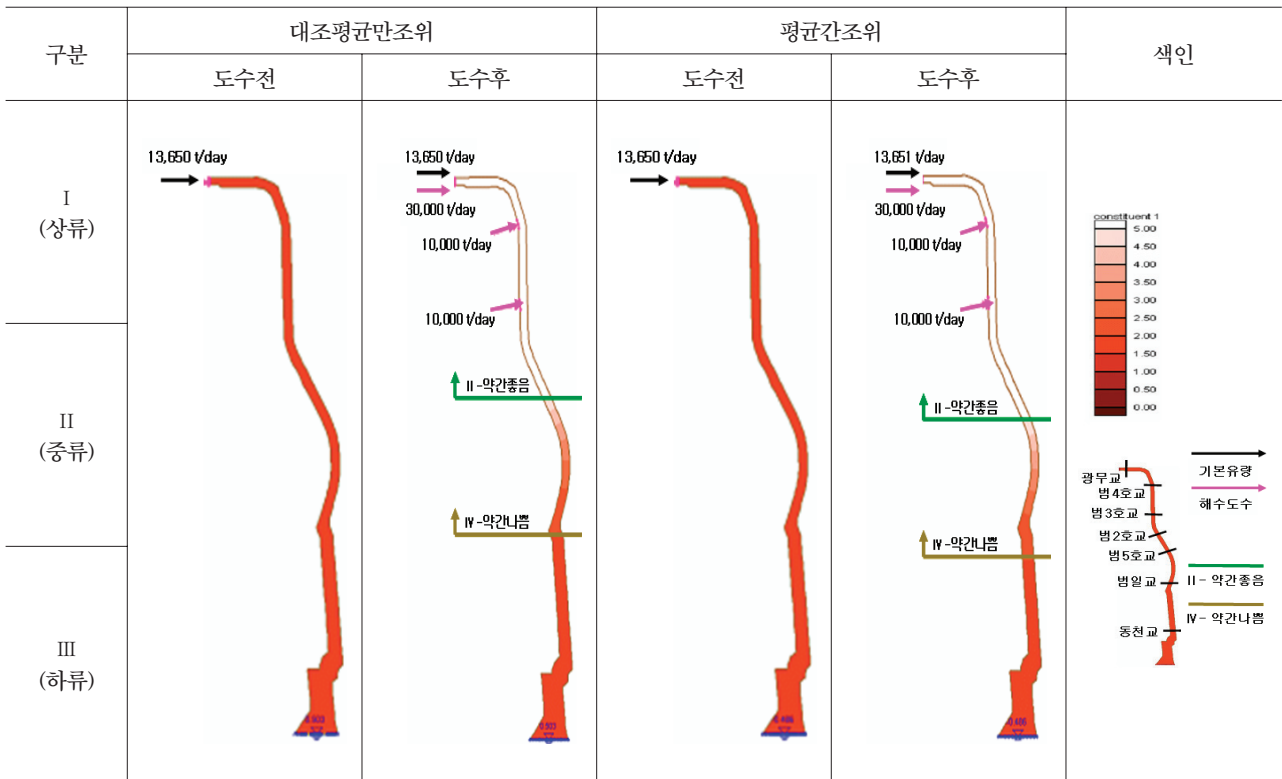


Fig. 10. Simulation of DO concentration in winter season

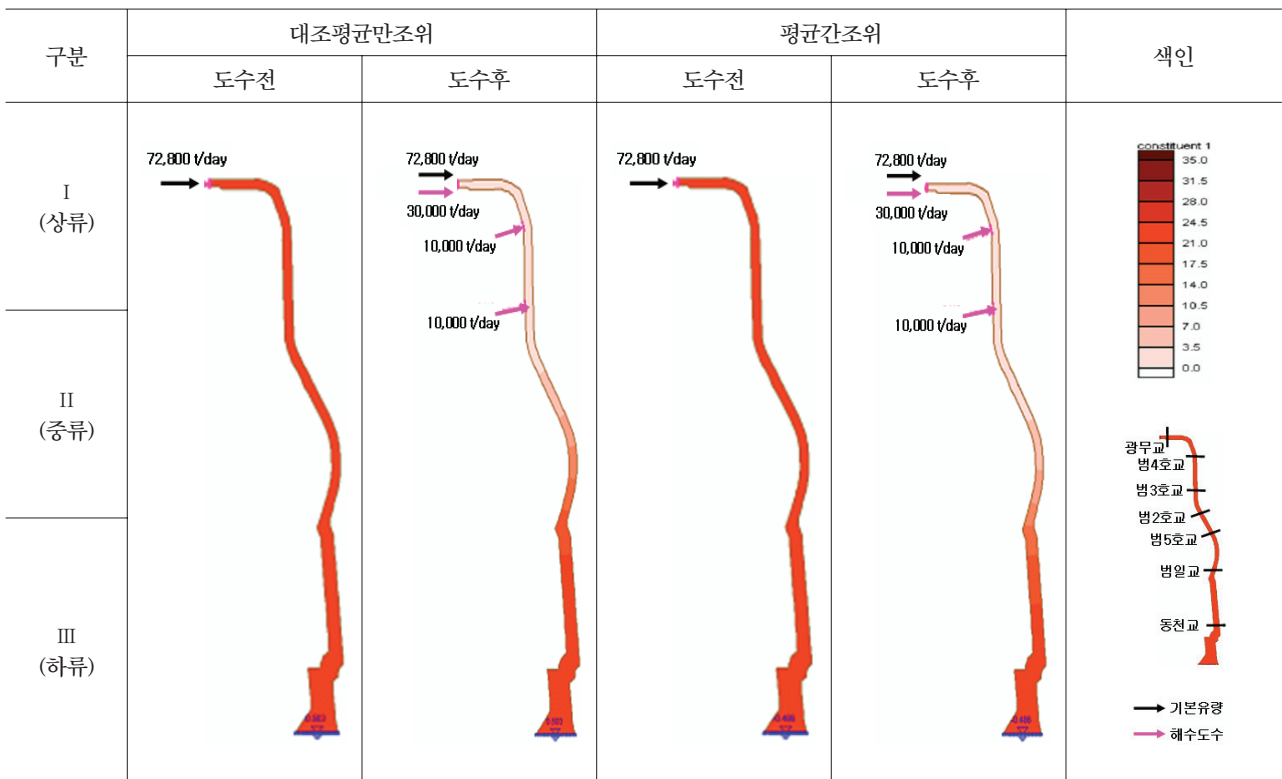


Fig. 11. Simulation of COD concentration in spring season

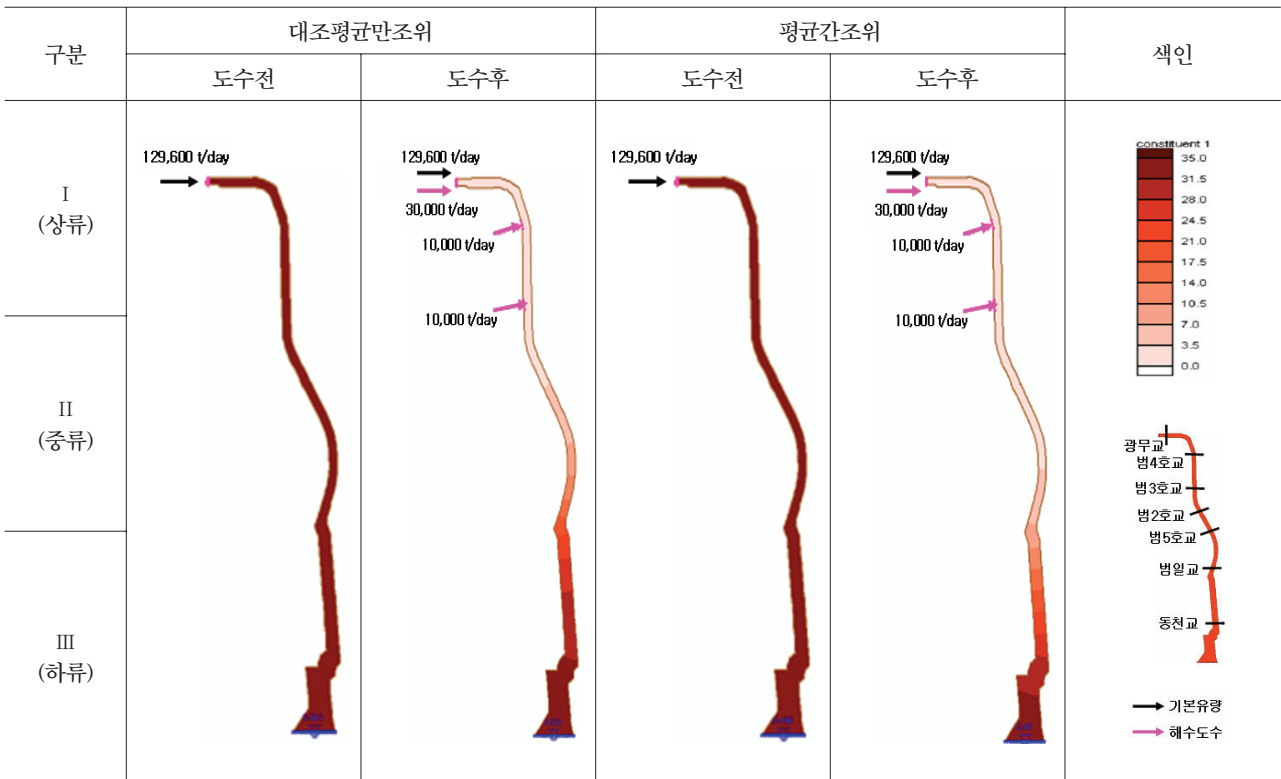


Fig. 12. Simulation of COD concentration in summer season

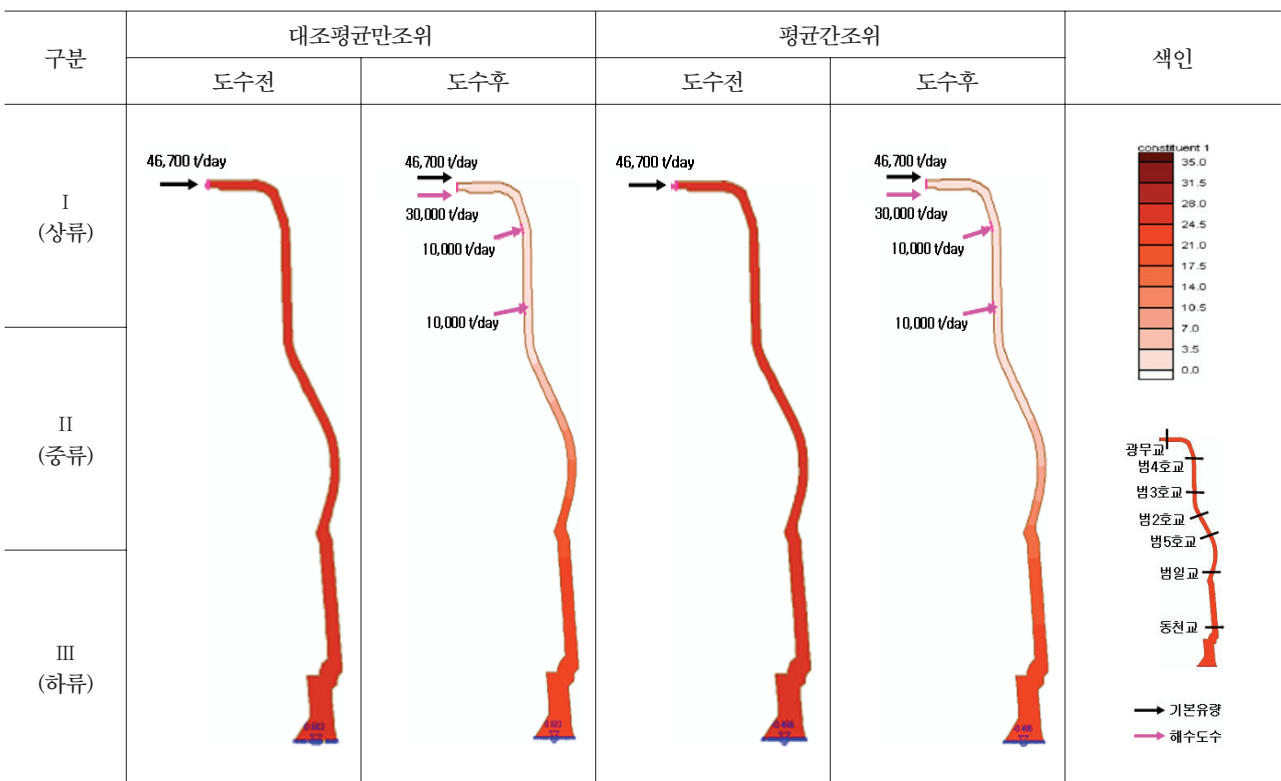


Fig. 13. Simulation of COD concentration in fall season

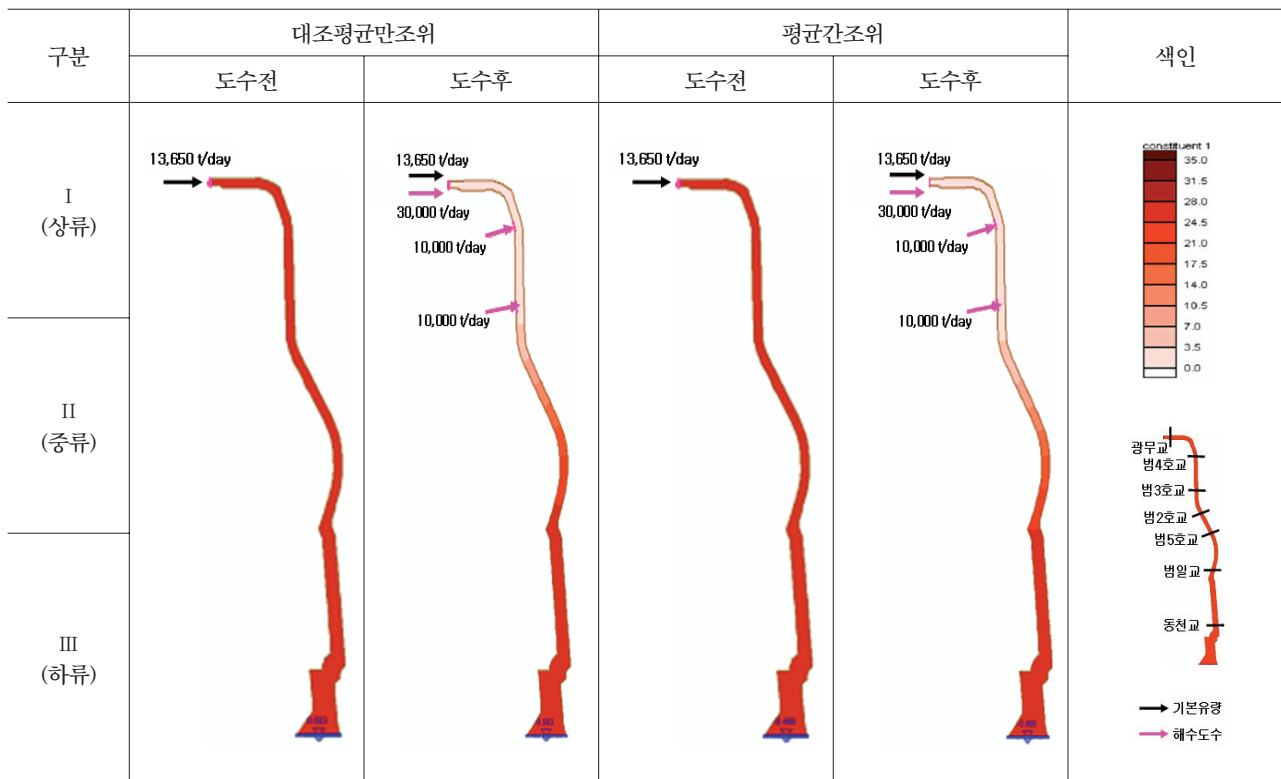


Fig. 14. Simulation of COD concentration in winter season

유황별 수질개선효과 모의

유황별에 따른 동천의 수질개선 효과를 보기위한 모의를 수행하였고 결과는 Fig. 15~26과 같다. 조위의 변화에 따른 각 수질의 변화를 예측하기 위하여 조위는 대조평균만조위, 평균해면, 평균간조위로 구분하여 모의 하였다. DO의 경우 풍수량(Q95)의 경우가 다른 유황 조건들에 비해서 개선 효과가 가장 큼을 볼 수 있었다. 범일교 지점에

대하여 대조평균만조위, 24시간 경과후 DO 농도를 비교하였을 때 풍수량의 경우 초기값 0.1에서 4.7로 평수량의 경우 0.7에서 4.2, 저수량의 경우 0.1에서 1.1, 갈수량의 경우 0.5에서 1.8로 높아지는 것을 확인할 수 있었으며 특히 풍수량의 경우 가장 농도가 개선됨을 확인할 수 있었다. 이는 하천수질 조건에 유황 조건이 조위 조건 보다 크게 영향을 미침을 보여주는 것이다.

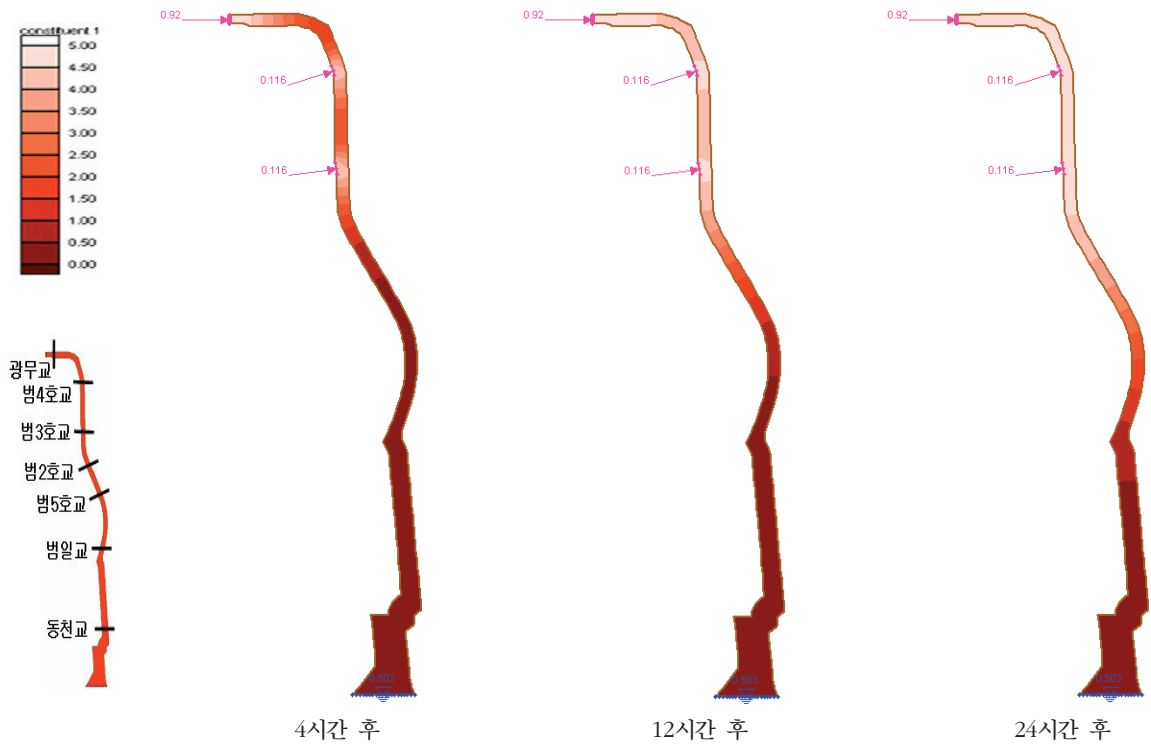


Fig. 15. Simulation of DO concentration in high flow rate with full tide

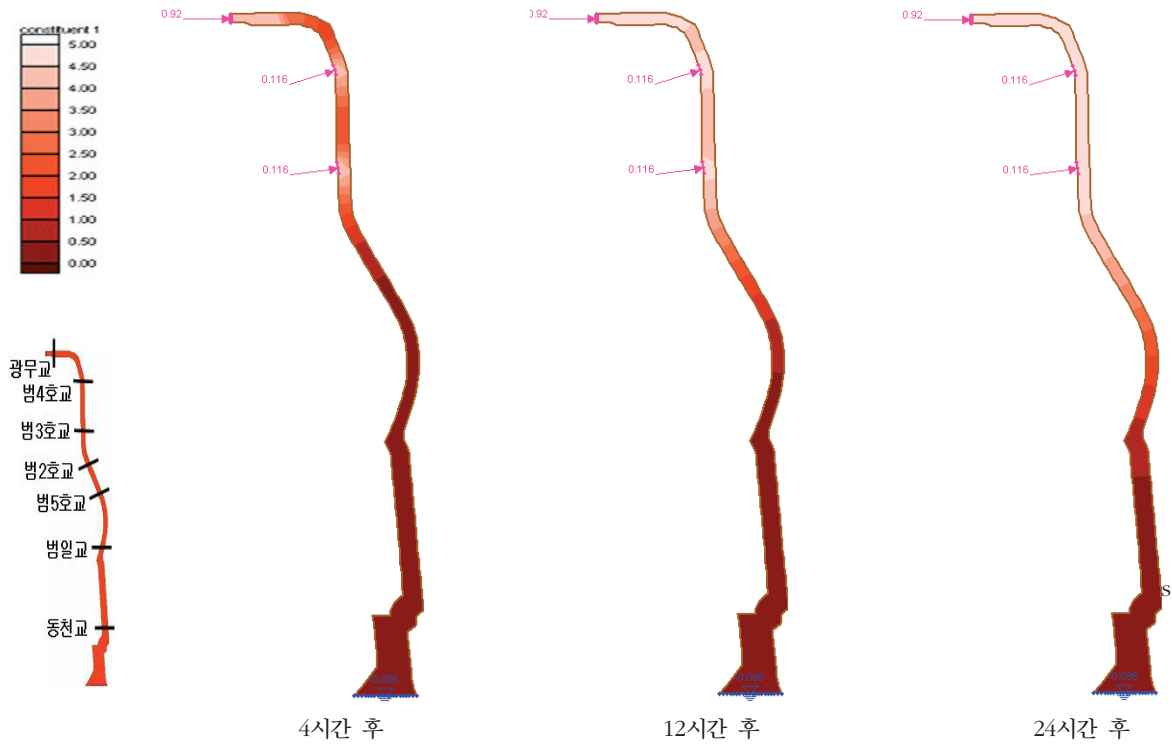


Fig. 16. Simulation of DO concentration in high flow rate with average elevation level

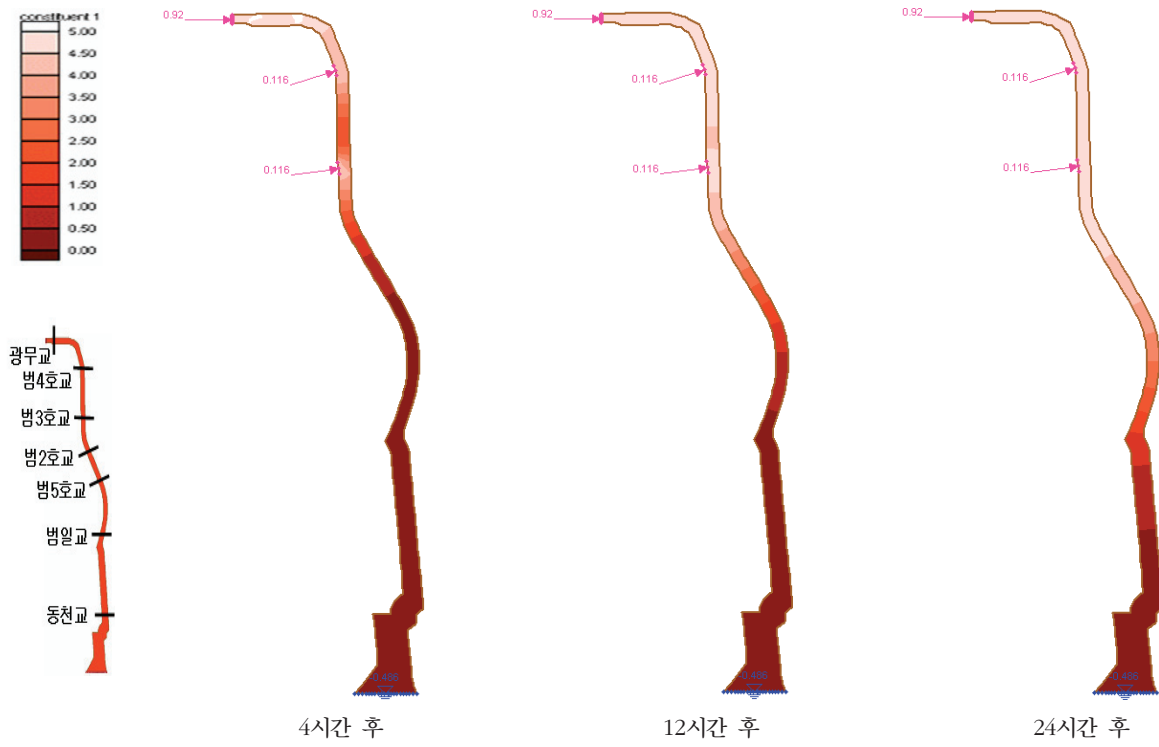


Fig. 17. Simulation of DO concentration in high flow rate with ebb tide

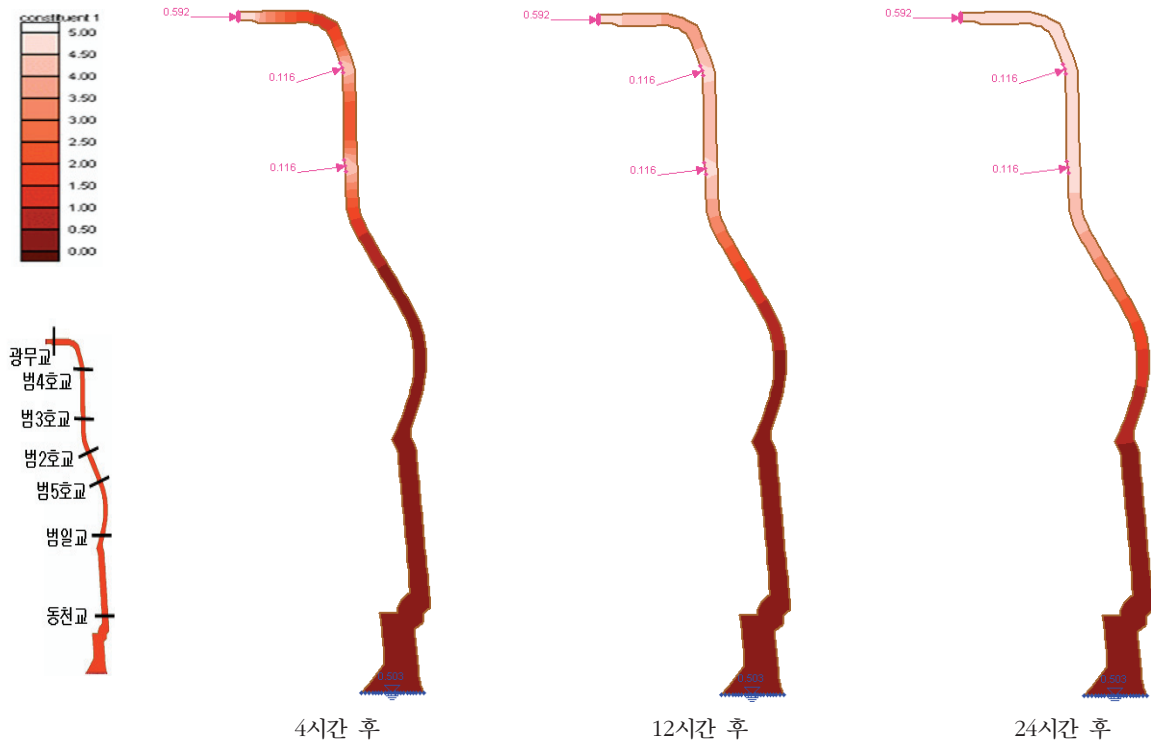


Fig. 18. Simulation of DO concentration in average flow rate with full tide

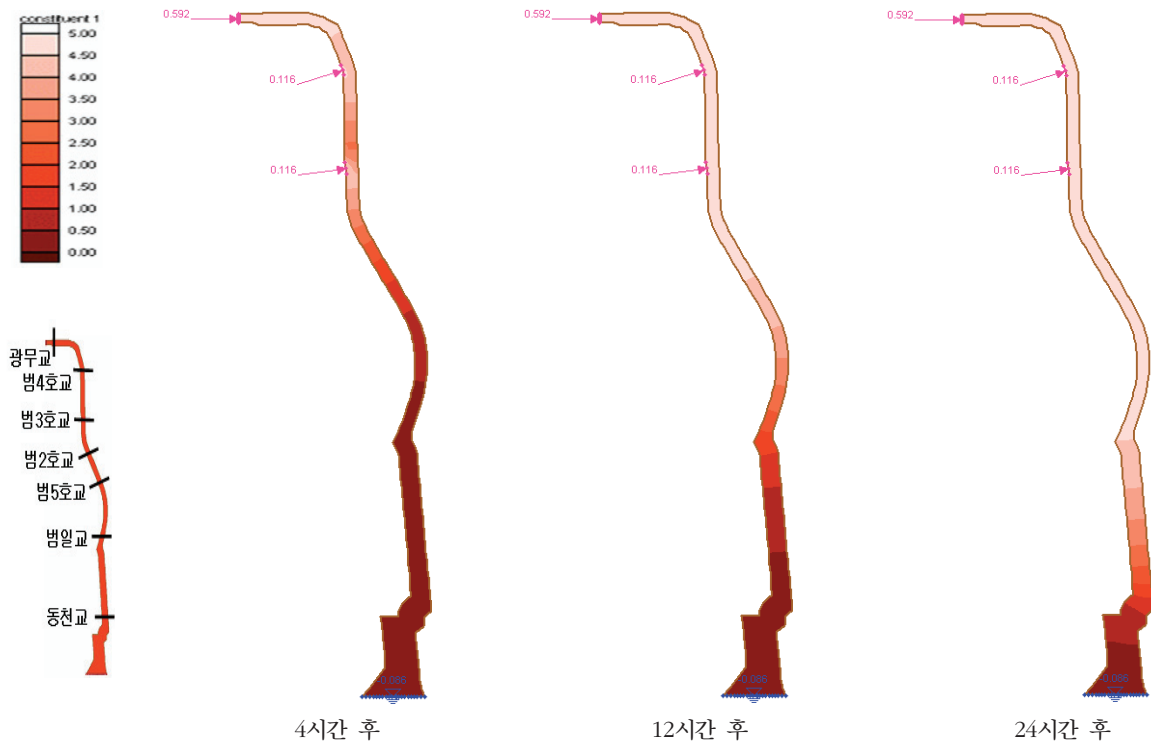


Fig. 19. Simulation of DO concentration in average flow rate with average elevation level

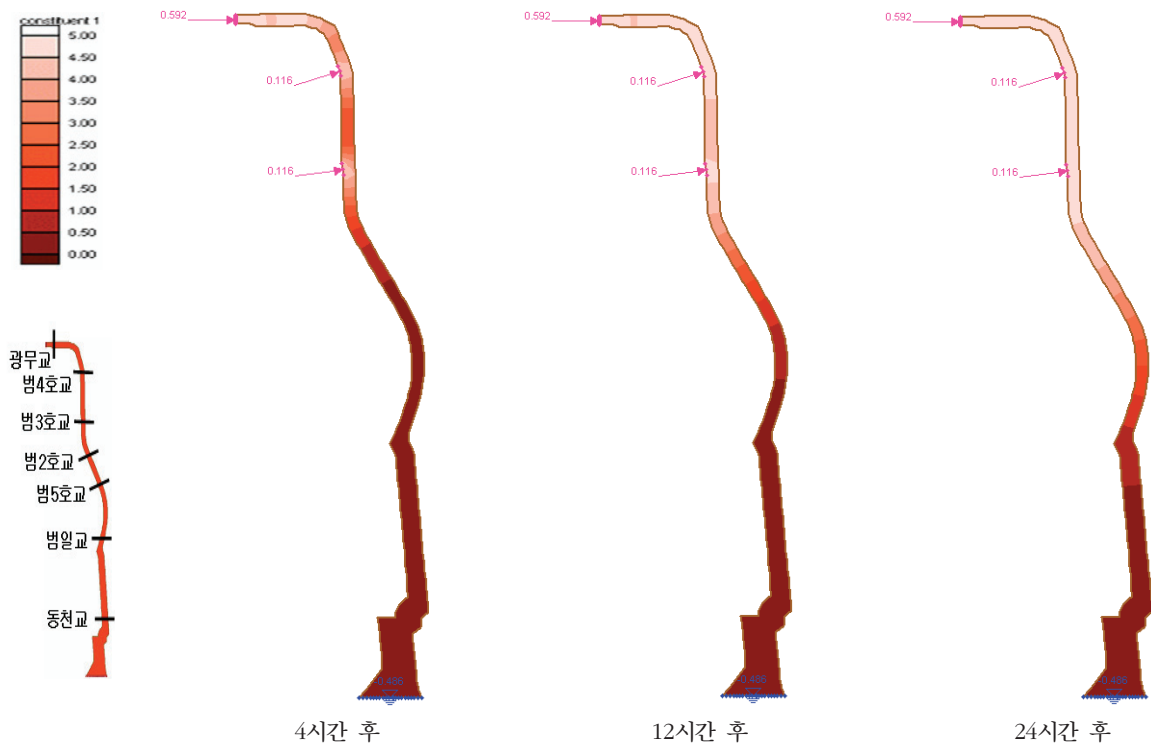


Fig. 20. Simulation of DO concentration in average flow rate with ebb tide

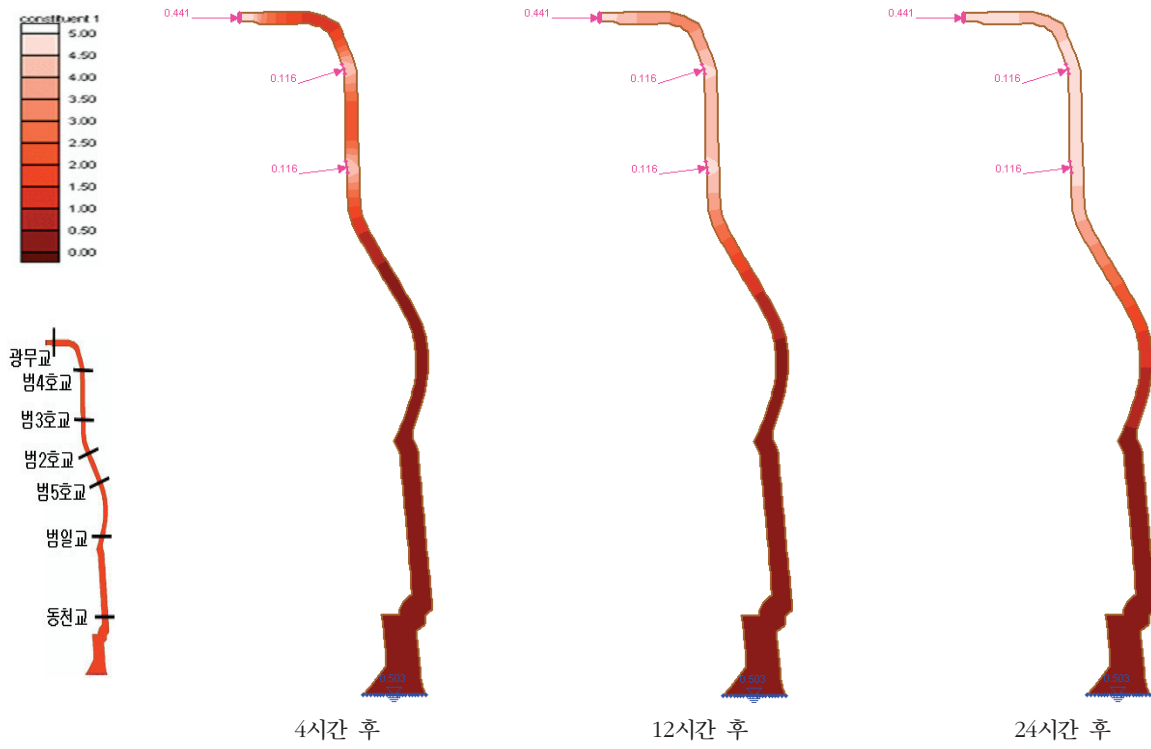


Fig. 21. Simulation of DO concentration in low flow rate with full tide

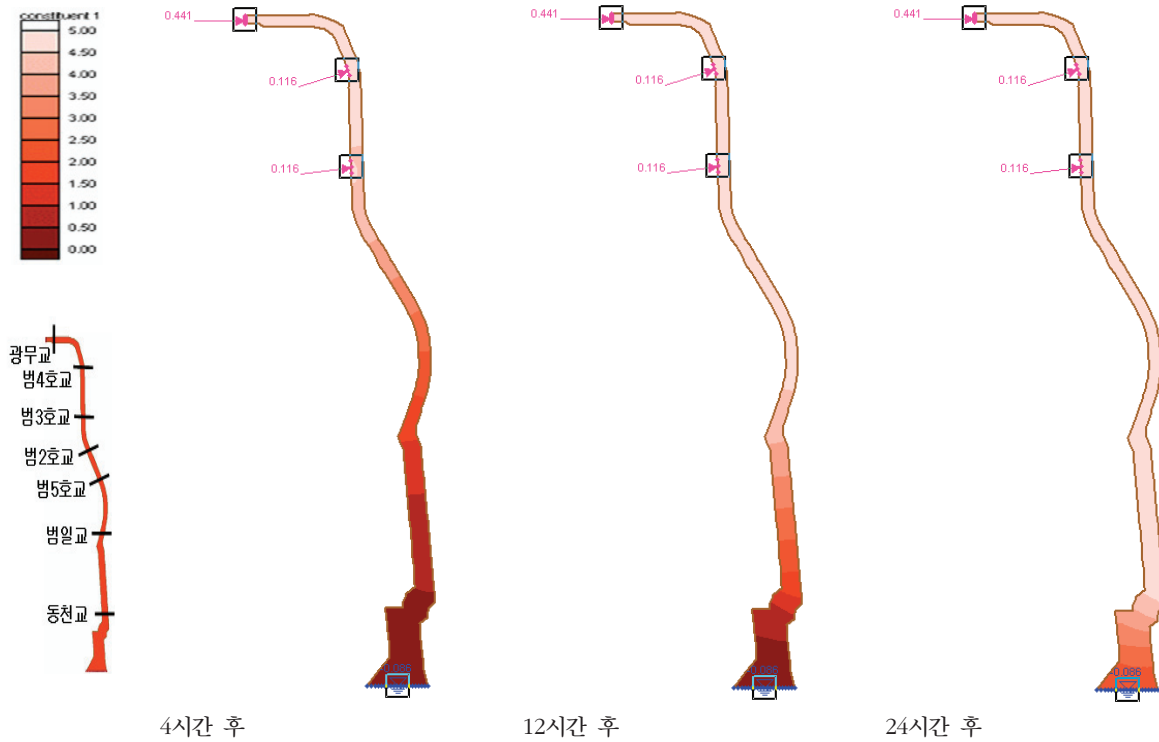


Fig. 22. Simulation of DO concentration in low flow rate with average elevation level

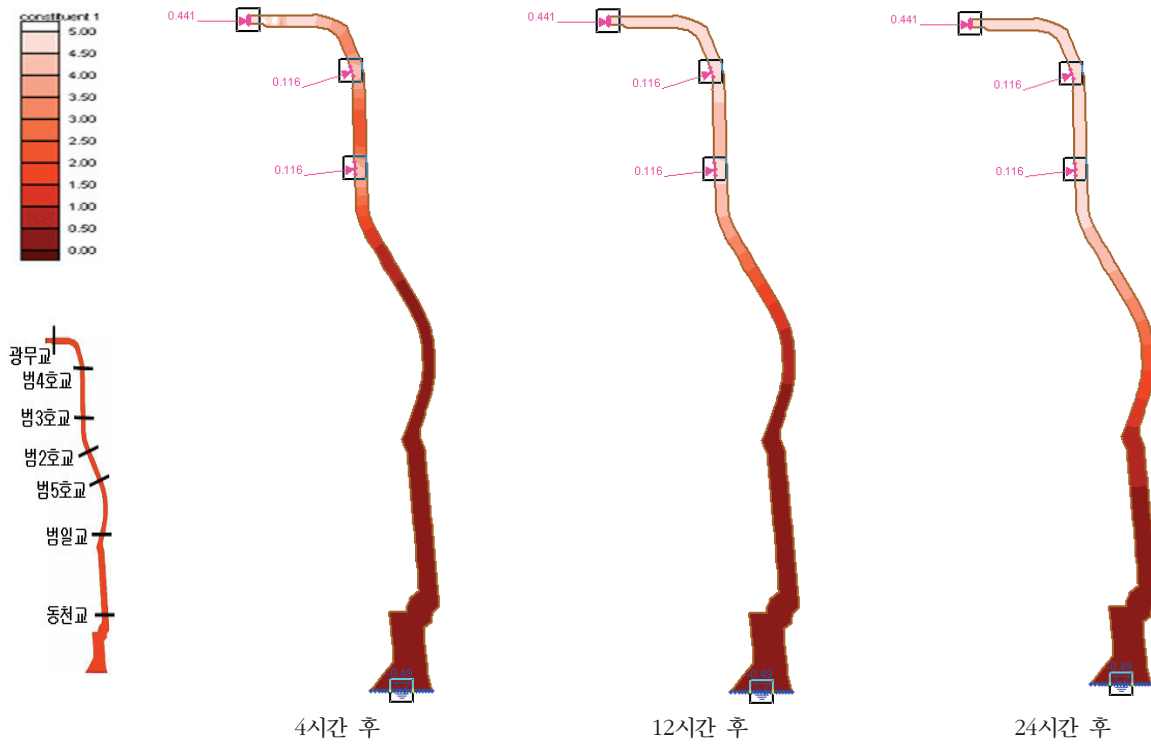


Fig. 23. Simulation of DO concentration in low flow rate with ebb tide

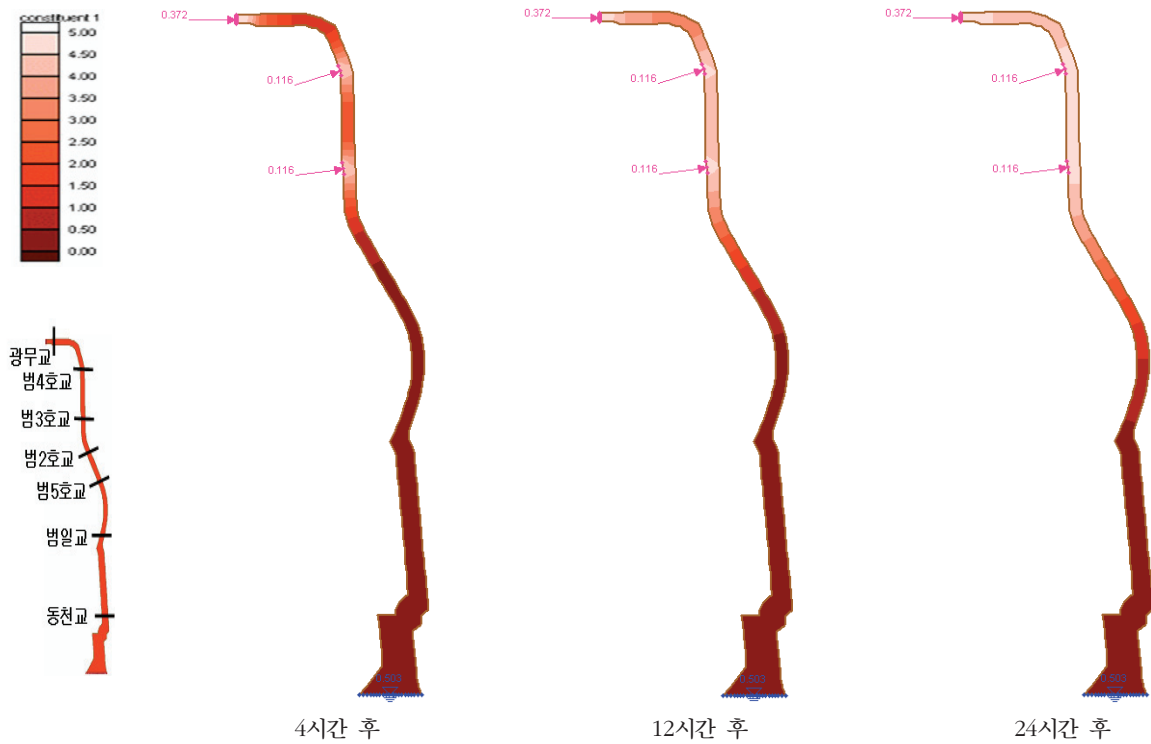


Fig. 24. Simulation of DO concentration in droughty flow rate with full tide

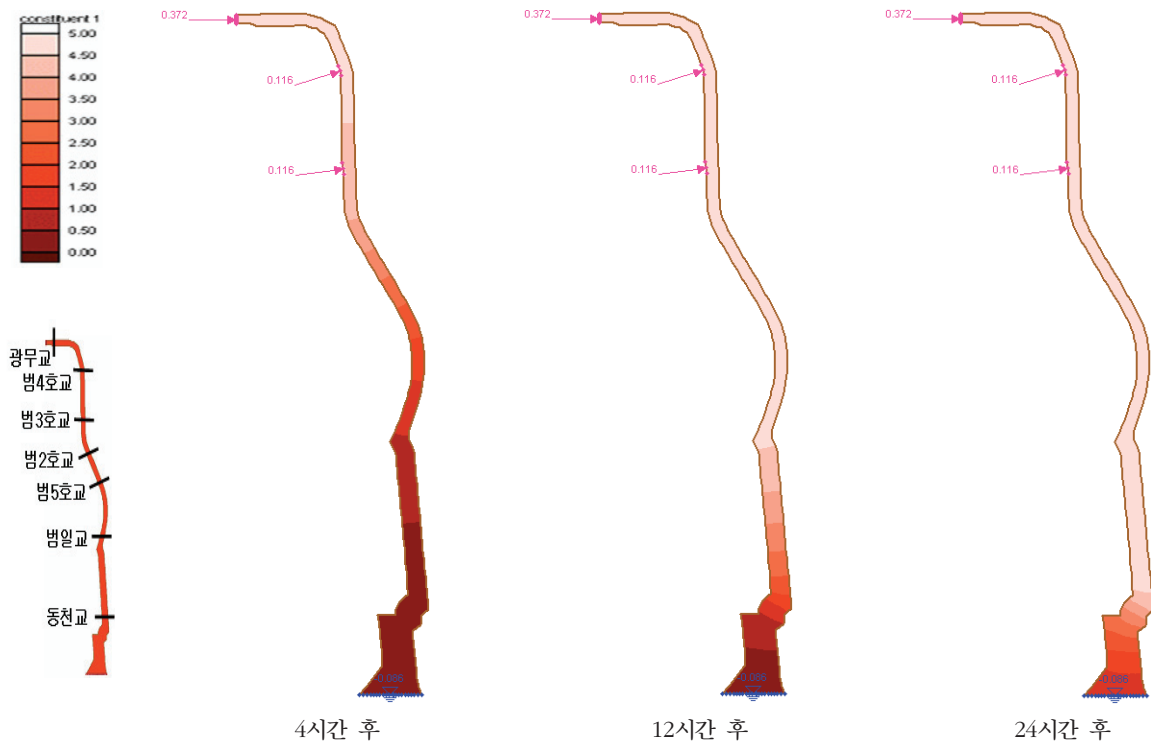


Fig. 25. Simulation of DO concentration in droughty flow rate with average elevation level

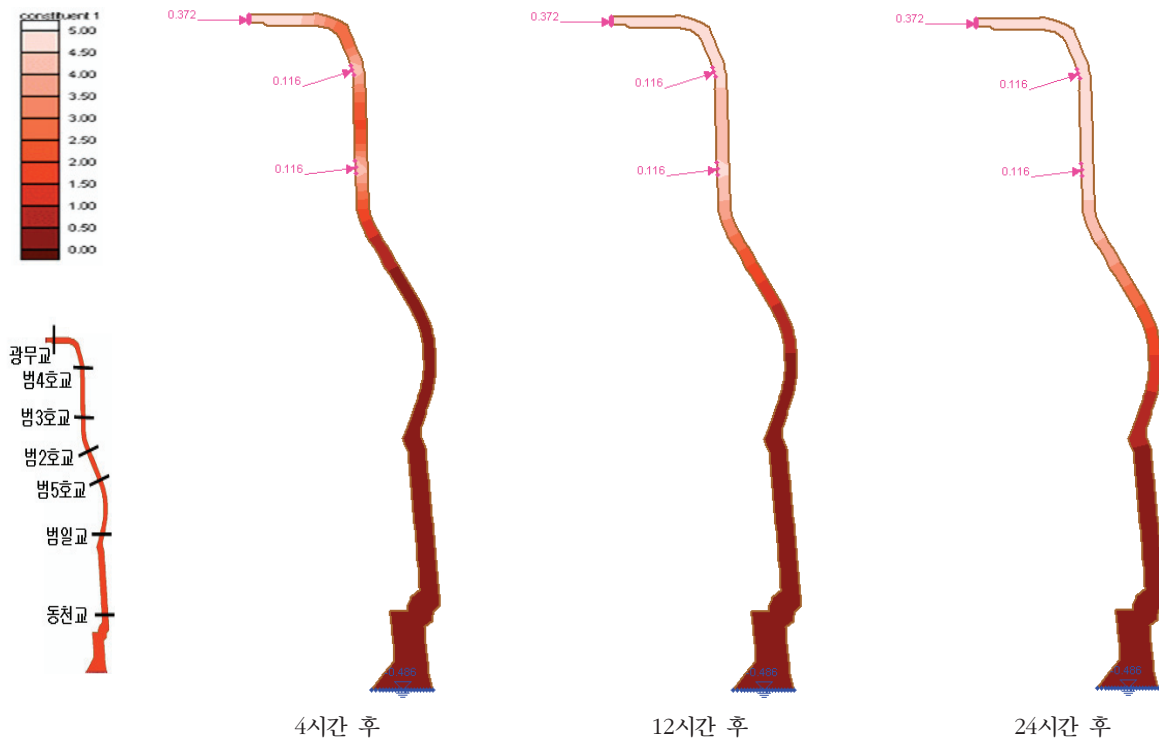


Fig. 26. Simulation of DO concentration in droughty flow rate with ebb tide

결 론

동천 해수도수 최적 해수용수 공급 유량과 유량 분배에 대한 모의 분석결과와 해수도수에 의한 수질개선효과 수질 모의 분석결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 최적 해수용수 공급 유량 시뮬레이션 결과는 광무교 상류 복개종점에서 50,000t/day를 방류하는 것이 수질개선효과가 가장 뚜렷한 것으로 나타났다.
2. 최적 해수용수 공급 유량 분배는 광무교의 50,000t/day를 광무교 상류 복개종점에서 30,000t/day, 범4호교에서 10,000t/day, 범3호교에서 10,000t/day으로 분배하여 방류하는 것이 가장 효율적인 것으로 나타났다.
3. 최적 해수용수 공급과 분배시 계절별 수질은 해수의 수질과 본류의 수질이 좋게 나타나는 봄과 겨울이 여름과 가을에 비해 상대적으로 수질이 양호하게 나타났다.
4. 유황별 수질변동은 유량이 풍부한 풍수량에서 가장 좋은 수질개선효과를 보였으나 유량이 적은 갈수량으로 갈수록 수질개선효과가 감소되는 양상을 보였다.
5. 조위의 영향에 따른 수질은 동천 상류부인 범3호교까지

는 다소 영향이 있으나 하류부로 갈수록 영향은 미미하였고, 방류시간이 길어질수록 동천 본류 구간 내 수질이 도수하는 해수의 수질로 수렴하는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 부산광역시, 동천하천정비기본계획 보고서(2006).
2. 최종욱. 강성원, 윤나나, 박정옥, 서윤하, 권기원. 동천 환경실태조사연구, 제17-1권, p76-86(2007).
3. 부산광역시, 동천 수질개선 및 종합정비계획 보고서(2007).
4. 유재홍, 김형준, 남궁돈, 조용식. 2차원 수치모형을 이용한 한강의 조위영향 분석, 대한토목학회, 정기학술발표회 논문집, p1867-1871(2005)
5. 정용태, 이용환. RMA2모형에 의한 동천하류부에서의 흐름특성연구, 한국환경관리학회지, 제6권, 제3호(2000)
6. 신동석. RMA2모형을 이용한 한강본류 유속예측 한국농공학회 추계학술대회(1995)
7. 성기준. 하천 수질모형의 비교분석에 관한 연구, 서울대 석사논문(1993)