

유수소통을 통한 태화강 적조해결 방안 연구

조 홍 제* / 윤 성 규**

A Study on Taehwa River Red Tide Solution through Stream Flow

Hong Je Cho** / Sung Kyu Yoon**

요약 : 최근 하수관거 매설과 하수종말처리장 등의 건설로 인해 도시하천의 수질이 크게 개선되고 있으나, 하·폐수 처리시설의 부족으로 하천으로 유입되는 다양한 오염물질은 수중생태계 교란과 적조를 발생시키고 있다. 울산 태화강의 하류부는 하폭이 크고 하상경사가 매우 완만한 감소하천으로써 갈·저수기에는 유속이 매우 느리게 된다. 게다가 약 1.2km 떨어져 있는 2개 교량의 전면기초로 된 교각보호공으로 인해 흐름이 정체되고 오염물질이 퇴적되어, 수년전부터 발생하고 있는 태화강 적조의 원인이 되거나 적조를 활성화 시키고 있다. 본 연구에서는 RMA2모형을 이용하여 두 교량의 교각을 독립기초로 개선하고 흐름을 소통시킬 수 있는 통수단면을 확보했을 때, 수리학적으로 개선될 수 있는 유속과 유량의 변화폭을 모의하였다. 그 결과 유속은 최대 약 103%, 유량은 최대 61% 증가하는 것으로 나타났다. 이는 적조를 직접 소멸시킬 수는 없으나 적조발생을 억제하거나 감소시킬 수 있으며, 오염물질의 퇴적을 막아 적조발생 원인을 근본적으로 제어할 수 있는 것으로 판단된다.

핵심용어 : 적조, RMA2모형, 태화강, 통수단면

Abstract : Recently, Water quality of urban river largely have gotten better by virtue of sewer pipe laying and sewage treatment plants construction. or the various contaminants which is flowed in into river have generated underwater ecosystem disturbance and red tide by lack of sewage and waste water disposal facilities. With tidal river, taehwa river of ulsan metropolitan city has large river width and gradual stream bed gradient at the dry and storage period. Moreover, the flow is paralyzed due to the bridge pier protection work, consist of the mat foundation which is about 1.2km from two bridge and the contaminant is accumulated. it is caused by of the red tide generated from the several years or it activates. In this study, When flow area is largest by changing independent footing of bridge pier of two bridges and using RMA2 model, we hydraulically analyzed a variable breadth of velocity and discharge. Consequently, flow rate increased the maximum 103%, discharge was exposed to increase the maximum 61%. Directly this cannot extinguish the red tide but suppresses the red tide occurrence or can reduce. And it is determined to prevent the depositioning of the contaminant and can control fundamentally the red tide occurrence cause.

Keywords : Red Tide, RMA2 Model, Taehwa River, Flow Area

1. 서 론

대도시를 통과하는 하천의 상황은 도시규모와 인구 및 인간 활동의 양식과 밀접한 관계를 이루면서 조절된다. 도시화는 하천의 수질악화와 수중

생태계 및 하상 퇴적물의 오염으로 수중환경 전체에 변화를 가져온다. 우리나라 대부분의 도시하천은 하수관거의 파괴나 퇴사에 의한 단면축소 같은 문제점과 오·폐수가 제대로 처리되지 못한 채 하천으로 유입되는 문제점을 가지고 있다. 이로

+ Corresponding author : hjcho@mail.ulsan.ac.kr

* 정희원 · 울산대학교 건설환경공학부 교수 · E-mail : hjcho@mail.ulsan.ac.kr

** 울산대학교 건설환경공학과 석사과정 · E-mail : ysk1028@nate.com

인해 도시하천의 오염은 급격히 증가되고 있으며, 도시하천 하류의 오염에 의한 부영양화 및 적조 등에 따른 환경 피해가 증가하는 추세에 있다.

울산 태화강은 십수년 전만해도 생활하수 등의 유입으로 냄새가 나고 접근이 불가능한 하천이었으나, 그동안 차집관거의 매설과 하수종말처리장의 건설로 비교적 맑고 깨끗한 물이 흐르는 생태하천이 되었다. 그런데 이러한 태화강에 2004년부터 주로 갈수기에 적조현상이 빈번히 발생하여 진정한 생태하천의 면모를 갖추지 못하고 있다. 주로 발생하는 적조생물은 무해한 크립토포나스(Cryptomonas)와 유글레나(Euglena)이나, 맑고 청정해야 할 강물이 검붉게 변함으로써 기존의 하수관거 차집시설이나 종말처리장 등 하수처리시설의 부실이나 관리소홀에 대한 문제점이 제기되어 왔다. 그동안 적조발생을 근원적으로 해결하기 위해 적조가 발생하지 않는 상류부에서 4만톤/일의 하천 복류수를 개발하였고, 6만톤/일 규모의 하수종말처리장을 건설하여 하천유지용수 확보를 확보하였다. 또 태화강으로 유입되는 지천과 하수구에 대한 우수토실 설치 및 하수구 정비를 통한 오염원 차단과 하류부에 퇴적된 오니준설 그리고 약품주입이나 음파 등을 이용한 물리·화학적 처리방법 등 다양한 노력을 기울여 왔으나 효과적인 성과를 이루지 못한 상태이다.

태화강 적조발생에 대한 원인분석에 따르면(조 등, 2011), 적조발생 전 10일~30일의 강우량에 의한 영양염류의 공급이 있어야 하고, 큰 조위차에 의한 바닷물의 유입과 흐름의 정체시에 적조가 활성화 되나 염분농도에는 무관한 것으로 나타났다. 반면에 BOD와 COD의 변화는 적조생물의 개체수 변화와 상관성이 높은 것으로 나타나 유기물의 농도에 관련성이 있으며, 이는 여전히 상류에 위치한 하수종말처리장의 처리수나 아직 처리되지 못하고 있는 공장지대의 하수 및 비점원오염원에 의해 오염물질이 지속적으로 유입되고 있음을 반증한다.

적조의 경우 기존에는 연안해역에서 많이 발생하였고, 많은 연구가 연안해역을 대상으로 이루어

어졌다(이 등, 2001; 이 등, 2006). 하지만 최근에는 형산강을 비롯한 하천 하류부에서도 적조가 빈번히 발생하고 있으나, 이에 대한 연구는 미흡한 실정이다(이, 2009).

태화강은 울산시가지 중심부를 지나 동해의 울산만으로 유입되는 하천으로, 하류부는 하폭이 평균 약 300m이고 하상경사는 약 1/2,000~1/4,000로서 매우 완만하고 울산만의 조수 간만의 차에 의해 강물의 염분이나 수위 및 유속이 주기적으로 변화를 일으키는 감조하천이다. 이러한 감조하천의 특성으로 인해 바닷물의 영향이 하류로부터 약 10km 상류에 위치한 삼호교까지 미치는 것으로 나타났다(건설교통부, 2007). 그런데 태화강 하류부에 위치한 태화교와 울산교는 교각의 보호를 위해 수중보와 같이 하폭 전체에 사석을 채운 전면기초가 설치되어 있으며, 이로 인해 갈수기나 저수시 또는 유량이 적을 때는 태화교와 울산교에 의해 흐름이 정체되는 현상이 하루 2차례씩 지속적으로 발생하고 있다. 더구나 태화강의 적조발생 위치를 살펴보면, 태화교 상류 지역 및 태화교와 울산교 사이 구간에서 주로 발생하고 있다. 이 구간은 하상경사가 완만하고, 태화교 및 울산교의 교각보호공으로 인해 흐름이 급격히 느려지며, 적조가 주로 발생하는 갈·저수기시에는 정체현상이 뚜렷하다. 이로 인해 상류에서 유입된 유기물이 퇴적되어 갈수기시 수온, 염분, 영양염류 등의 조건이 맞게 되면 적조가 활성화되는 것으로 판단된다.

본 연구에서는 2차원 수치모형인 RMA2 모형을 이용하여, 하천의 흐름을 방해하고 오염물질이나 영양물질 등의 퇴적을 유발하고 있는 태화교 및 울산교의 교각에 설치된 기존의 사석보호공을 독립기초로 교체하여 통수단면적을 확보하고 유속과 유량을 증대시킴으로써 흐름을 개선하며, 그로 인한 교각 사이의 퇴적물 제거 전·후의 흐름특성을 분석하여 우수소통을 통한 수리학적 방법으로 태화강 적조해결 가능성을 검토하였다.

2. 모의 기법

2.1 SMS 모형의 소개

SMS(Surface water Modeling System) 모형은 2차원 동수역학적 모형(hydrodynamic modeling)으로서 미국 육군공병단의 WES(Waterways Experiment Station)와 미 연방도로국이 연계하여 Brigham Young University의 EMRL(Environmental Modeling Research Laboratory)에서 개발하였으며, GFGEN 모형, RMA2 모형, RMA4 모형, SED2D 모형 등으로 구성되어 있다. 본 연구에서는 대상구간의 흐름특성을 분석하기 위하여 RMA2 모형을 사용하였다. 모형의 간략한 정보는 아래와 같으며, 자세한 모형의 설명은 참고문헌에 제시되어 있는 User's manual에 수록되어 있다 (EMRL, 2000).

2.2 RMA2 모형

하천 구간에서 자유표면, 상류흐름의 수평방향 유속성분과 수위를 계산하는 RMA2 모형은 3차원 Navier-Stokes 방정식을 수심방향으로 적분함으로써 유도된 2차원 천수방정식을 Galerkin의 가중잔차법(weighted residual method)에 의하여 하천의 흐름특성을 분석하는 유한요소 모형(finite element model)이다. RMA2 모형의 지배방정식은 (1)과 같은 수심에 대한 적분한 유체의 연속방정식 및 식 (2)와 식 (3)과 같은 2차원 운동량방정식이며, 이들 식들은 가중잔차법을 이용한 유한요소법에 의해 해석된다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left(\epsilon_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \epsilon_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$+ gh \left(\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{g\nu n^2}{(CMEh^{1/6})^2} + (u^2 + v^2)^{1/2}$$

$$- \zeta V_a^2 \cos \psi - 2h\omega v \sin \phi = 0$$

$$h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left(\epsilon_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \epsilon_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

$$+ gh \left(\frac{\partial a}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{g\nu n^2}{(CMEh^{1/6})^2} + (u^2 + v^2)^{1/2}$$

$$- \zeta V_a^2 \sin \psi - 2h\omega v \sin \phi = 0$$

여기서, x, y, t 는 좌표축과 시간, g 는 중력가속도, u, v 는 x, y 방향의 수심 평균유속, ρ 는 물의 밀도, h 는 수심, a 는 하상표고, ϵ_{xx} 는 x 방향으로의 법선 난류교환계수, ϵ_{xy} 는 x 방향으로의 접선 난류교환계수, ϵ_{yy} 는 y 방향으로의 법선 난류교환계수, ϵ_{yx} 는 y 방향으로의 접선 난류교환계수, n 은 Manning 조도계수, CME 는 SI 단위계 일 때 1.0, 영미식 단위계 일 때 1.486, ζ 는 경험적인 바람 전단응력계수, V_a 는 풍속, ψ 는 풍향, ω 는 지구의 각속도, ϕ 는 적용대상 구간의 평균위도이다.

3. 모형적용 및 결과분석

3.1 적조발생현황

태화강에서 2004년부터 발생하였던 적조현황은 표 1과 같다. 대부분 갈수기에 발생하였으나 2009년에는 풍수기인 여름에도 하천의 유량이 적을 때 적조가 발생한 사례도 있다. 분석결과 적조 발생 전 10일 또는 30일 선행강우량에 밀접한 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

3.2 대상유역 및 구간

본 연구의 대상구간은 그림1에 나타난 바와 같이 적조가 발생하는 태화교 상류지역 및 태화교와 울산교 사이 구간이 포함된 태화강 국가하천구간으로, 약 11.27km 구간을 선정하였다. 수위 및 유량자료는 삼호교에 설치된 삼호수위표(“태화강(지방하천)하천정비기본계획보고서(국토해양부,

2009)”)와 태화교에 설치된 울산수위표(“태화강하천정비기본계획보고서(건설교통부, 2007)”)자료를

이용하였으며, 그림 2의 조위 자료는 국립해양조사원의 울산조위관측소 자료를 이용하였다.

표 1. 적조발생현황

연도	발생 일일	AR ₃₀ (mm)	AR ₁₀ (mm)	P1-Q (m ³ /s)	TR ₁₀ (cm)	비고
2004	2/2	10.7	0.0	2.19	58	
2005	2/14	37.1	0.9	3.00	64	
	4/27	48.1	12.1	3.08	57	
	11/8	16.0	9.0	3.70	51	
	12/20	1.1	0.6	3.10	48	
2006	1/23	17.1	17.1	1.20	48	
	3/9	24.0	9.5	1.00	67	
	4/26	135.0	16.0	3.20	50	
	12/19	17.0	4.5	1.10	41	
2007	1/9	4.5	3.0	4.00	52	
2008	12/18	10.7	0.0	2.63	56	
2009	9/22	1.0	1.0	8.00	61	
	12/4	31.0	14.0	7.42	53	
2010	1/4	15.0	0.0	4.21	61	
	2/9	24.0	5.0	-	71	유량결측
	3/31	77.0	6.0	1.83	63	

* AR₃₀ : 30일선행강우량, AR₁₀ : 10일선행강우량

* P1-Q : P1지점 유량, TR₁₀ : 최대 일조위차(10일)



(a) 대상구간

(b) 삼호교 및 울산교

그림 1. 연구대상 지역

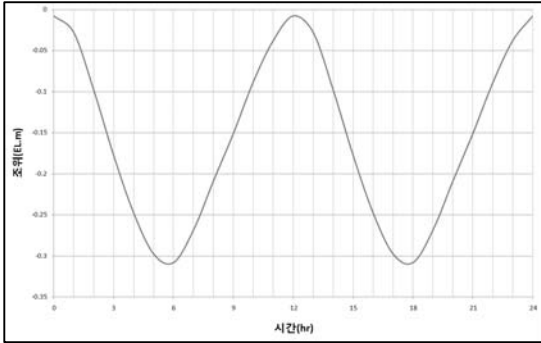


그림 2. 하류단 경계조건

3.2.1 난류확산계수

난류확산계수(turbulent exchange coefficient) ϵ 는 와점성(eddy viscosity) 계수라고도 하며, 대상 하천 구간에서의 적절한 난류확산계수를 선정하는 것은 모형을 검증하는데 있어서 중요한 요소 중에 하나이다. 본 연구에서는 대상구간에 알맞은 난류확산계수를 산정하기 위해 값을 변화시켜 적용한 결과, $3,000 N \cdot sec/m^2$ 값에서 가장 유사하게 나타났으며, 이 값을 대상구간의 난류확산계수

값으로 채택하였다.

3.2.2 조도계수

대상구간의 흐름특성을 모의하기 위해 2차원 RMA2에서 사용된 조도계수는 “태화강하천정비기본계획보고서(건설교통부, 2007)”에서 제시된 하상구간의 0.030을 적용하였다.

3.3 유한요소망(finite element mesh)

2차원 유한요소 해석을 수행하는데 있어 유한요소망(finite element mesh)을 구축하는 과정은 매우 중요하다. 본 연구에서 구축한 유한요소망은 총 9,378개의 절점과 총 27,978개의 요소망으로 구성되어지며, 교량지점 등 조밀한 요소망이 필요한 부분을 제외하고 대부분의 요소망을 사각형으로 구축하였다. 그림 3~그림 6은 연구지역의 유한요소망 및 지형구축을 나타낸다. 그림 5(b) 및 그림 6(b) 같이 태화교 및 울산교 단면의 경우 상·하류에 비해 퇴적이 심하게 나타난 것을 볼 수 있으며, 이로 인해 통수단면적이 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

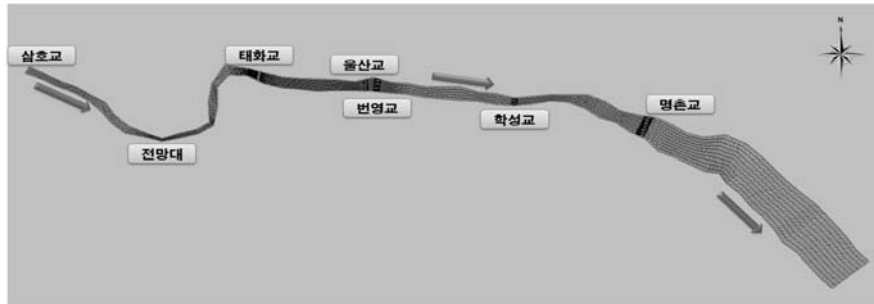


그림 3. 유한요소망

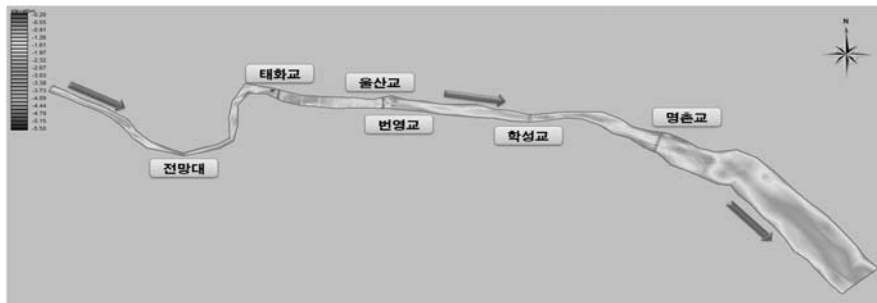
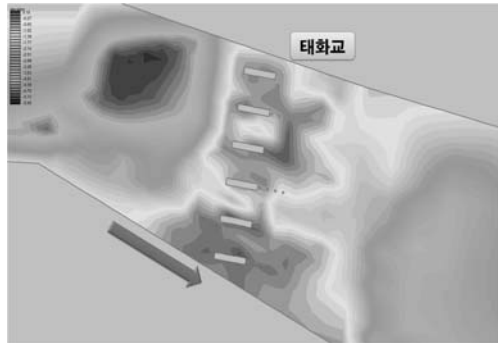


그림 4. 등수심선도



(a) 태화교 사진

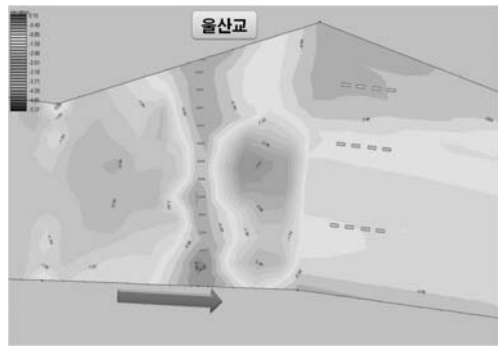


(b) 태화교 지형구축

그림 5. 현 상태 태화교 지점 지형구축



(a) 울산교 사진



(b) 울산교 지형구축

그림 6. 현 상태 울산교 지점 지형구축

3.4 결과분석

대상구간에 대해 유량크기에 따른 흐름특성을 모의하기 위하여 유한요소망을 구축한 후 RMA2 모형을 이용하여 2차원 수리분석을 실시하였다. 적조는 갈수기나 저수량 등 유량이 작을 때 주로 발생하고 있으므로 분석대상 유량은 갈수량 및 저수량을 선정하였다. 풍수기에는 기 발생되었던 적조도 자체적으로 소멸하거나 연안만 쪽으로 이동하여 소멸되는 것으로 확인되었다. 따라서 현 상태와 4가지의 CASE에 대한 분석을 실시하였으며, 세부내용은 표2와 같다. CASE 1과 CASE 2의 경우는 갈수량을 적용하였으며, CASE 3과 CASE 4의 경우에는 저수량을 적용하였다. 저수량에 대한 분석은 갈수량에 현재 울산시가 추진하고 있는 유지용수 확보방안에 계획된 유량이 더해

진 값이 대략 저수량에 가깝기 때문에 저수량에 대한 분석을 실시하였다. 모의시간은 감소하천인 점을 고려하여 조석간만 2회를 재현할 수 있도록 연속된 24시간을 택하였다.

표 2. CASE 조건

분 류	유량조건 (m ³ /s)	지형조건	
갈수기	Before	1.06	현 상태
	CASE1	1.06	태화교 단면 개선
	CASE2	1.06	태화교와 울산교 단면 개선
저수기	Before	2.44	현 상태
	CASE3	2.44	태화교 단면 개선
	CASE4	2.44	태화교와 울산교 단면 개선

3.4.1 유속변화 분석

유속변화의 경우 관측 지점 총 9개 지점에 대한 시간별 유속변화를 분석하였다. 그림 7은 유속 및 유량에 대한 분석지점을 나타내고, 표 3과 표 4는 모의시간 24시간 중 유속이 가장 커지는 모의시간 3시간과 8시간에 대한 유속변화를 비교한 것이다. 그림 8은 시간에 따른 주 분석 대상지점의 유속변화 결과를 나타낸다. 유속 값이 음(-)의 값을 나타내는 것은 조위변화에 따른 해수유입으로 흐름이 하류에서 상류로 역방향으로 진행되는 것을 의미한다. 분석결과 갈수량과 저수량의 유량의 크기가 작은 관계로 유속이 느려 변화의 폭은

크지 않으나 대체적으로 유속이 증가하는 것으로 나타났다. 갈수량에 대한 유속 변화폭은 CASE 1은 -4.14%~8.08%, CASE 2는 1.26%~14.09%의 변화를 보였다. CASE 1과 CASE 2를 현 상태와 비교한 결과 두 CASE 모두 현 상태보다 유속이 빨라지는 것을 알 수 있으며, 태화교와 울산교 단면 모두를 개선한 CASE 2가 CASE 1보다 유속이 더 빨라지는 것을 알 수 있다. 그리고 유지용수 확보 방안이 포함된 CASE 3과 CASE 4의 결과는 CASE 3은 2.58%~96.25%, CASE 4는 5.46%~102.41%의 변화를 보였으며, 갈수량과 마찬가지로 두 교량의 단면을 모두 개선한 CASE 4에서 가장 유속이 빠른 것으로 나타났다.



그림 7. 유속 및 유량 분석 지점

표 3. 모의시간 3hr의 유속변화 비교

	삼호교 부근	전망대	태화교 상류	태화교 하류	울산교 상류	울산교 하류	변영교 상류	명촌교 상류	태화강 하류
Before	0.01014	0.05270	0.02277	0.02112	0.04522	0.07795	0.07758	0.10364	0.03820
CASE1	0.01042	0.05661	0.02461	0.02024	0.04746	0.08138	0.07992	0.10608	0.03869
	2.74%	7.43%	8.08%	-4.14%	4.95%	4.40%	3.02%	2.36%	1.27%
CASE2	0.01062	0.05946	0.02598	0.02138	0.04924	0.08525	0.08283	0.10922	0.03930
	4.73%	12.84%	14.09%	1.26%	8.88%	9.38%	6.77%	5.39%	2.87%
CASE3	0.01999	0.06994	0.02698	0.02474	0.05014	0.08550	0.08275	0.10910	0.03929
	96.25%	31.51%	17.72%	17.37%	11.21%	9.86%	6.76%	5.53%	2.58%
CASE4	0.02061	0.07709	0.03028	0.02465	0.05422	0.09292	0.08809	0.11476	0.04039
	102.41%	44.71%	33.04%	19.36%	20.08%	19.48%	13.81%	11.00%	5.46%

표 4. 모의시간 8hr의 유속변화 비교

	삼호교 부근	전망대	태화교 상류	태화교 하류	울산교 상류	울산교 하류	번영교 상류	명촌교 상류	태화강 하류
Before	0.00679	-0.01180	-0.00916	-0.00885	-0.02464	-0.04643	-0.04960	-0.06970	-0.02779
CASE1	0.00636	-0.01967	-0.01201	-0.01016	-0.03004	-0.05236	-0.05342	-0.07375	-0.02858
	6.27%	66.67%	31.12%	14.78%	21.90%	12.76%	7.68%	5.81%	2.81%
CASE2	0.00591	-0.02772	-0.01478	-0.01241	-0.03257	-0.06203	0.06034	-0.08146	-0.03000
	12.86%	130.7%	61.36%	40.23%	32.17%	33.60%	21.65%	16.87%	8.09%
CASE3	0.01796	0.01810	-0.00285	-0.00330	-0.01673	-0.03374	-0.03956	-0.06011	-0.02608
	364.60%	-253.3%	-68.87%	-62.76%	-32.11%	-27.33%	-20.25%	-13.76%	-6.20%
CASE4	0.01694	0.00192	-0.00885	-0.00800	-0.02535	-0.04969	-0.05018	-0.07186	-0.02835
	349.59%	-116.2%	-3.39%	-9.60%	2.86%	7.02%	1.17%	3.10%	1.99%

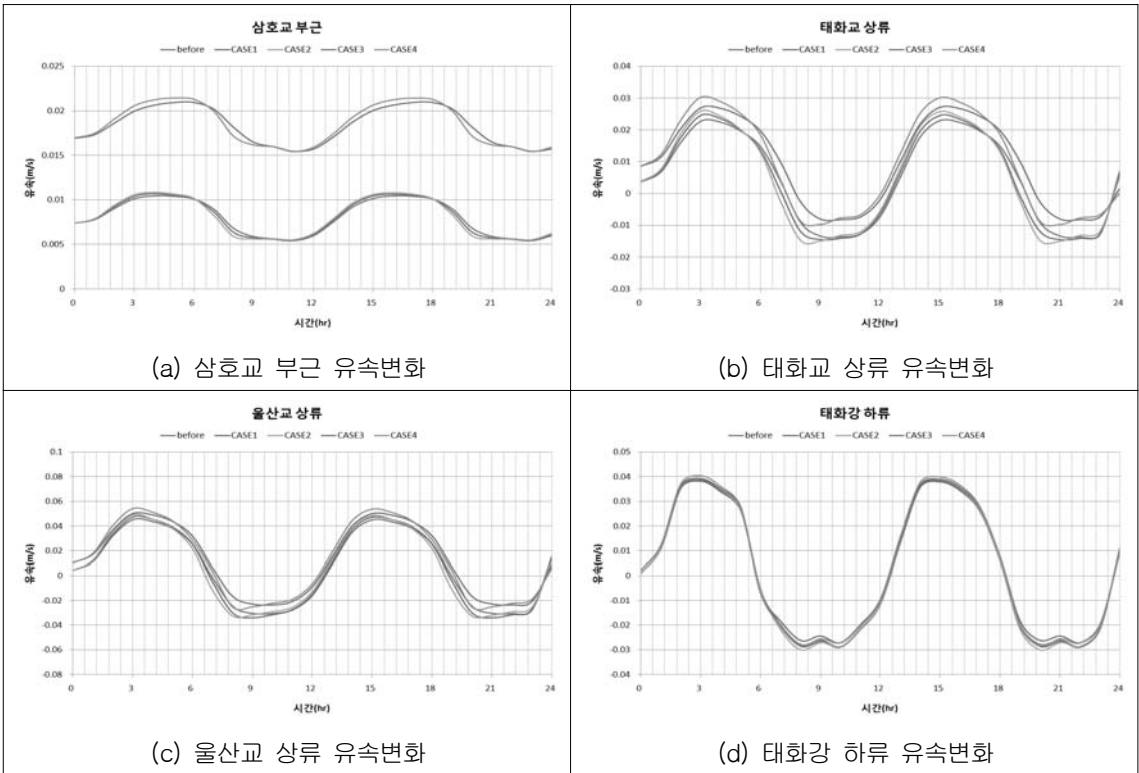


그림 8. 모의시간의 유속변화 결과

3.4.2 유량변화 분석

전절의 유속변화 분석 결과 3시간과 8시간일 때 유속은 순방향 흐름시 CASE 1에서는 최대

8.08%, CASE 2에서는 최대 14.09%, CASE 3에서는 최대 96.25%, CASE 4에서는 최대 102.41%의 증가를 보였으며, 역방향 흐름시 CASE 1에서는 최대 66.67%, CASE 2에서는 최

대 130.66%, CASE 3에서는 최대 164.60%, CASE 4에서는 최대 149.56%의 증가를 보였다. 유속이 증가되고 태화교 및 울산교의 단면 확대로 인해 통수능이 향상되면, 이로 인해 통과하는 유량도 증가된다. 따라서 단면변화에 따른 유량 변화를 분석하기 위해 태화교 및 울산교 단면을 상·하류로 나누어 분석하였다. 그 결과 태화교, 울산교 모두 통과하는 유량이 증가되는 것으로 나타났다. 태화교 단면의 경우 순방향 흐름시 CASE 1의 경우 최대 10.15%, CASE 2의 경우 최대

15.77%, CASE 3의 경우 최대 12.93%, CASE 4의 경우 최대 17.81%로 유량이 증가하는 것을 알 수 있다. 역방향 흐름도 마찬가지로 CASE 1의 경우 최대 30.92%, CASE 2의 경우 최대 61.04%, CASE 3의 경우 최대 30.92%, CASE 4의 경우 최대 61.04%로 증가하는 것을 알 수 있다. 즉 순방향, 역방향 모두 단면변화로 인해 소통이 원활해지는 것으로 판단된다. 표 5~표 8은 유량 변화를 나타내며, 그림 9~그림 12는 횡단면의 흐름변화를 나타낸다.

표 5. 모의시간 3hr의 유량변화 비교(갈수량)

	태화교 단면		울산교 단면	
	상류 단면	하류 단면	상류 단면	하류 단면
Before	6.37	6.55	9.87	9.87
CASE1	7.02	7.09	10.36	10.35
	10.15%	8.17%	4.90%	4.89%
CASE2	7.38	7.45	11.13	11.99
	15.77%	13.68%	12.72%	21.52%

표 6. 모의시간 3hr의 유량변화 비교(저수량)

	태화교 단면		울산교 단면	
	상류 단면	하류 단면	상류 단면	하류 단면
Before	7.79	7.66	10.93	10.91
CASE3	8.26	8.22	11.43	11.41
	6.07%	7.41%	4.63%	4.61%
CASE4	8.62	8.58	12.24	12.19
	10.66%	12.06%	12.00%	11.71%

표 7. 모의시간 8hr의 유량변화 비교(갈수량)

	태화교 단면		울산교 단면	
	상류 단면	하류 단면	상류 단면	하류 단면
Before	2.56	2.66	5.13	5.14
CASE1	3.35	3.44	5.84	5.84
	30.92%	29.17%	13.88%	13.58%
CASE2	4.12	4.22	7.13	7.12
	61.04%	58.48%	38.84%	38.42%

표 8. 모의시간 8hr의 유량변화 비교(저수량)

	태화교 단면		울산교 단면	
	상류 단면	하류 단면	상류 단면	하류 단면
Before	2.56	2.66	5.13	5.14
CASE3	3.35	3.43	6.06	5.84
	30.92%	28.97%	18.01%	13.58%
CASE4	4.12	4.22	7.13	7.12
	61.04%	58.49%	38.84%	38.42%

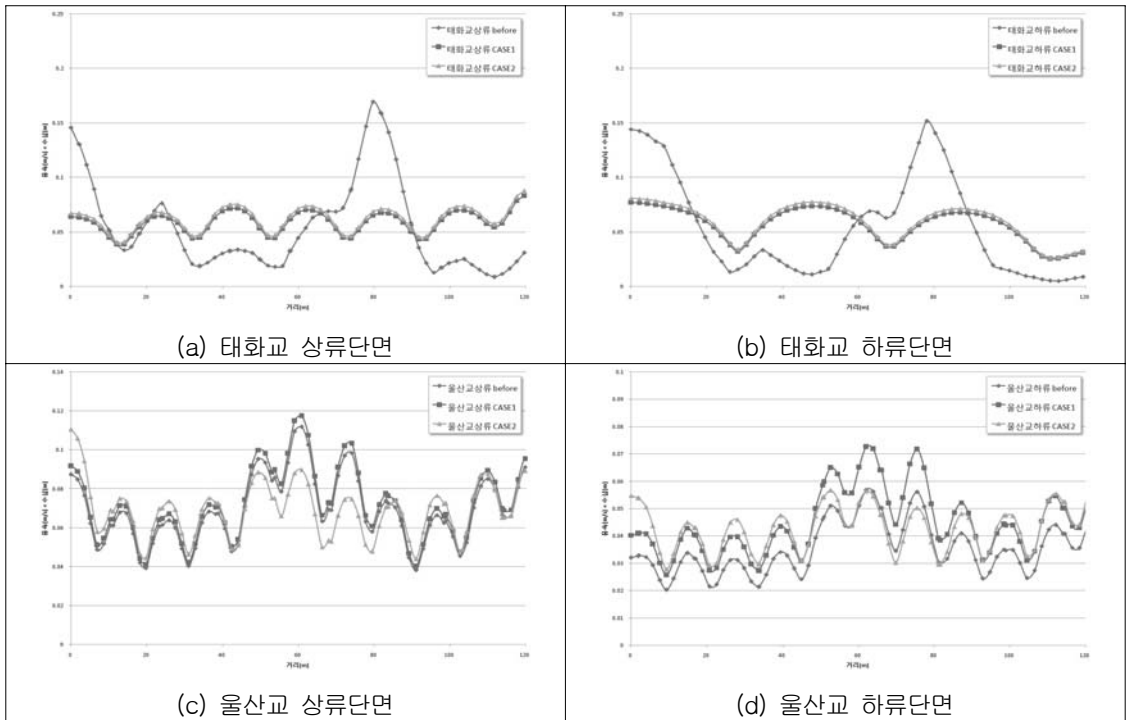


그림 9. 유량변화 결과_모의시간 3hr (갈수량)

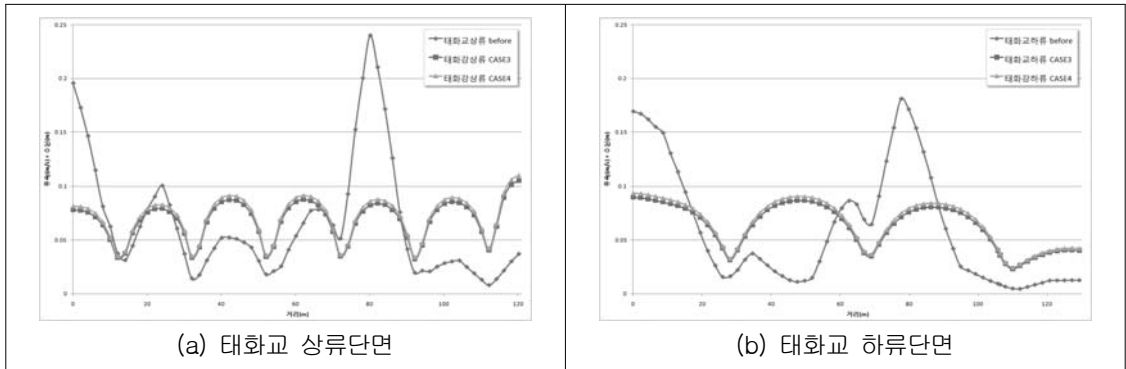


그림 10. 유량변화 결과_모의시간 3hr (저수량)

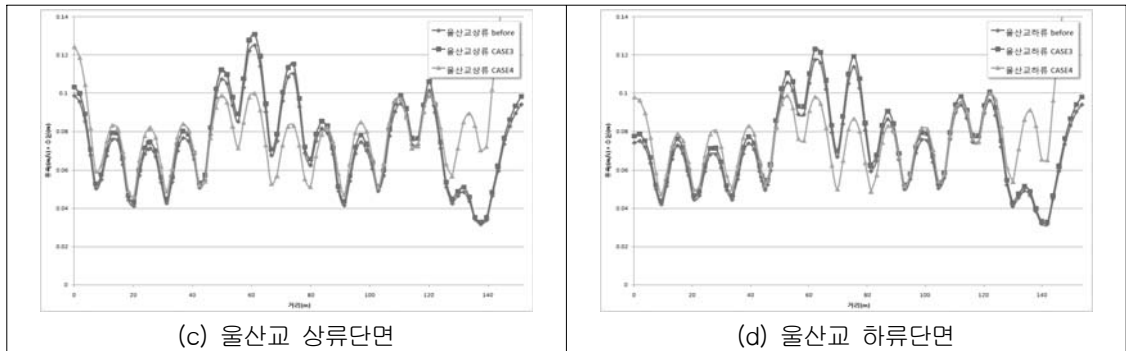


그림 10. 유량변화 결과_모의시간 3hr (저수량) (계속)

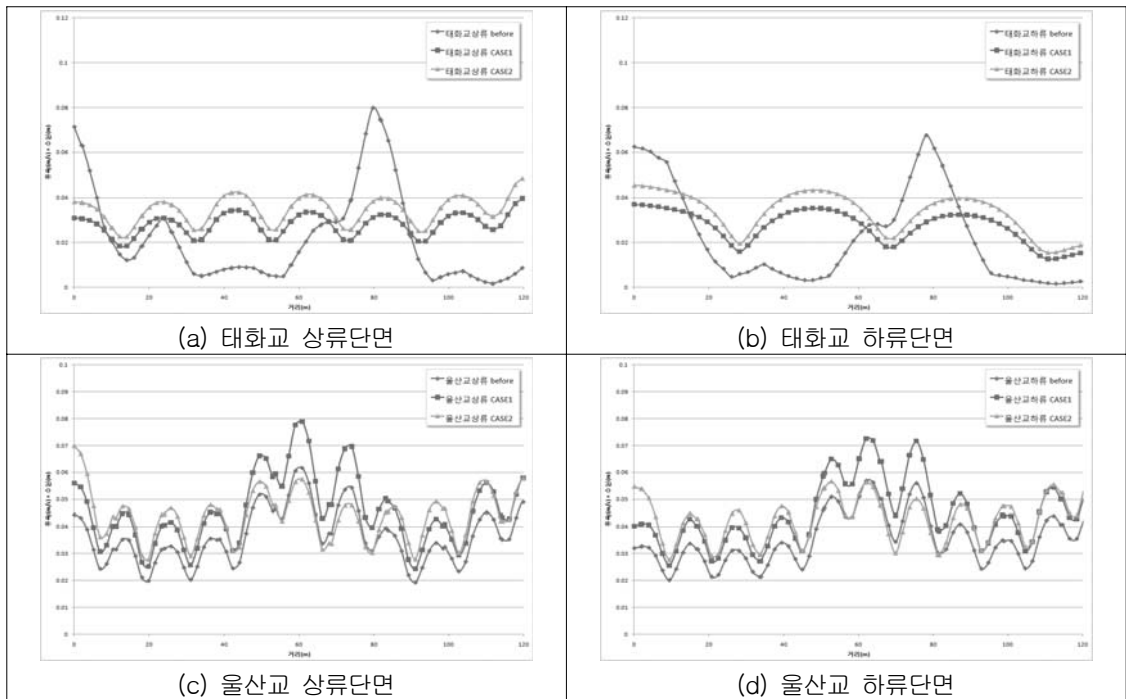


그림 11. 유량변화 결과_모의시간 8hr (갈수량)

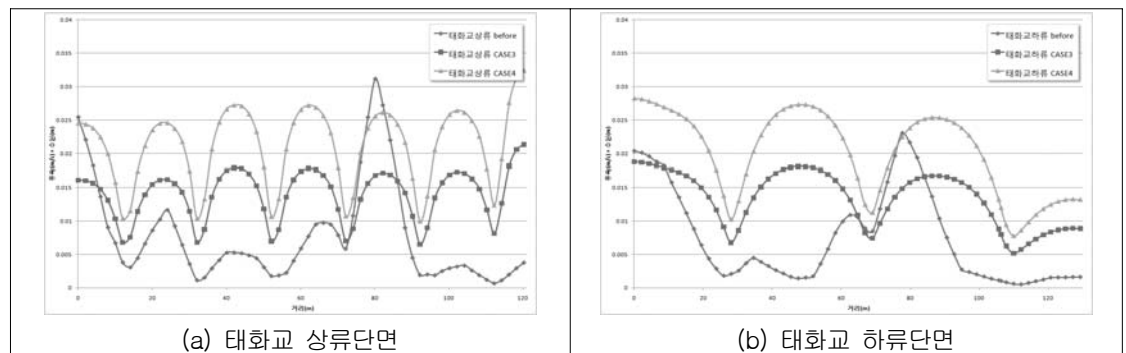


그림 12. 유량변화 결과_모의시간 8hr (저수량)

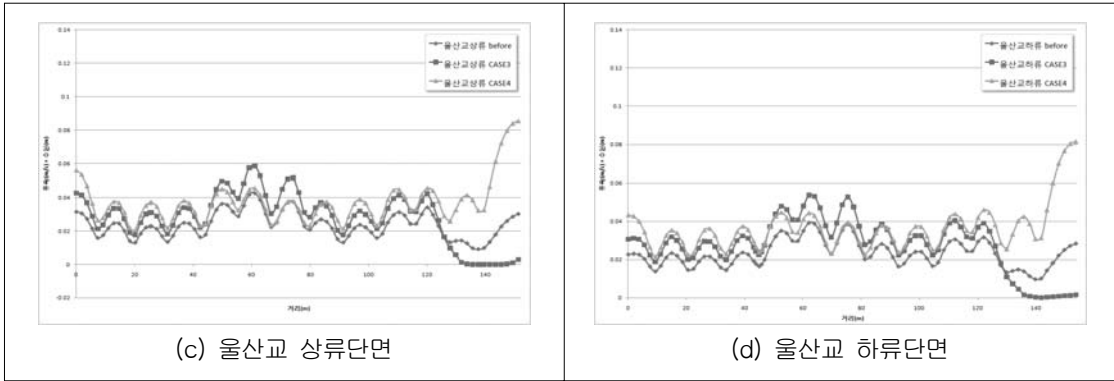


그림 12. 유량변화 결과_모의시간 8hr (저수량) (계속)

4. 결과분석

태화강에 적조가 발생하고 있는 구간이 태화강의 감조하천 구간인 중·하류부이다. 태화강은 하폭이 크고 하상경사가 매우 완만하여 갈수기에는 유속이 느려, 적조원인인 미생물이 존재하고 조건이 맞게 되면 적조가 활성화되고 있다. 논의한 바와 같이, 적조 발생지점 부근에 두 개의 교량에 대한 교각보호공이 하천에 설치된 보와 같이 전면기초로 이루어져 있어 유량이 작을 때 오염물질이 퇴적되고, 흐름이 정체되어 호소화된다.

따라서 교각보호공의 전면 개선으로 흐름을 활성화시켜 유속증대와 오염물질이 퇴적되지 않도록 하는 것이 적조발생의 원인 제어를 최대한 억제할 수 있을 것으로 기대된다.

이와 같은 관점에서 두 교량의 교각을 독립기초로 개선하고 흐름을 소통시킬 수 있는 통수단면을 확보했을 때, 수리학적 개선되는 유속 및 유량의 변화폭을 모의하였다. 그 결과 유속 및 유량이 증가하는 효과가 있는 것으로 나타났다.

5. 결 론

감조하천인 태화강 하류지역에서 발생하는 적조현상의 수리학적 개선방안을 검토하기 위해 RMA2 모형을 이용하여 적조발생의 원인으로 파악되는 두 교량의 교각보호공 개선효과를 검토하

였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 태화강을 가로질러 수중보와 유사한 전면기초로 되어 있는 2개의 교량의 교각보호공을 독립기초로 개선하고, 통수단면을 확보하는 경우 갈·저수시의 유속 및 유량이 각각 최대 약 103% 및 61% 증가하는 것으로 나타났다.
2. 증대되는 유속 및 유량이 발생된 적조를 소멸시키거나 적조발생을 근원적으로 차단할 수 있는 것은 아니지만, 적조발생 원인이나 발생된 적조를 저감시키는 효과가 울산광역시외의 기존 대안보다 큰 것으로 판단된다.
3. 통수단면 확보에 따른 흐름 개선효과는 유지용수 확보 및 오염원의 차단 등과 복합적으로 작용하여 적조발생을 효과적으로 제어할 수 있을 것으로 판단된다.
4. 유량이 비교적 많을 때는 단면개선에 따른 유속 및 유량 등의 변화가 작은 것으로 나타났으나, 오염물질의 하류이송으로 적조발생 원인을 제거할 수 있어 궁극적으로 적조발생을 저감시킬 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2011년 울산대학교 교내 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) 건설교통부, 부산지방국토관리청 (2007) **태화강하천정비기본계획(변경)**.
- 2) 국토해양부, 부산지방국토관리청 (2009) **태화강(지방하천)하천정비기본계획**.
- 3) 이영식, 이재성, 정래홍, 김성수, 고우진, 김귀영, 박종수. (2001). 광양만에서 식물플랑크톤 증식의 제한영양염, *한국해양학회지*, **6**(3), pp. 201-210
- 4) 이영식, 문성용. (2006). 가막만 소호해역에서 태풍 전후 수질 변동특성, *한국해양학회지*, **11**(3), pp. 117-123
- 5) 이창수. (2009). 형산강 하류 적조발생시 수질 및 수문학적 특성 검토, *한국환경과학회지*, **18**(10), pp. 1155-1162
- 6) 조홍제, 윤영배, 강호선, 윤성규. (2011). 태화강 하류의 적조발생특성, *대한상하수도학회지* **25**(4), pp. 453-462
- 7) Environmental Modeling Research Laboratory (2000) *SMS(Surface-water Modeling System) RMA-2 version 4.3 User's manual*. Brigham Young University.

- 논문접수일 : 2011년 07월 12일
- 심사의뢰일 : 2011년 07월 14일
- 심사완료일 : 2011년 08월 29일