

낙동강 본류의 하천수질 보전을 위한 필요유량 산정

○김선미*, 김규호**, 김영주***

1. 서 론

본 연구에서는 낙동강 본류 하도 구간에서 하천수질 보전을 위한 유량을 산정한다. 이를 위해 낙동강 본류 구간 주요 지점의 수질 변화 특성을 알아보고, 1997년에 동시에 측정된 수질과 유량 자료를 이용하여 수질예측모형을 보정 및 검증하며, 장래 연도(1997, 2001, 2006, 2011년)별 수질예측을 위해 오염원에 따른 오염부하량을 추정한다. 이 자료를 바탕으로 수질예측모형을 이용하여 장래 수질을 예측하고 구간별로 설정된 목표 수질 기준을 만족하기 위한 필요유량을 산정한다.

2. 본 론

2.1 본류 주요 지점별 수질 변화 특성

환경부에서 측정한 최근 10년간의 낙동강 본류의 연평균 BOD 농도 변화를 나타낸 그림 1을

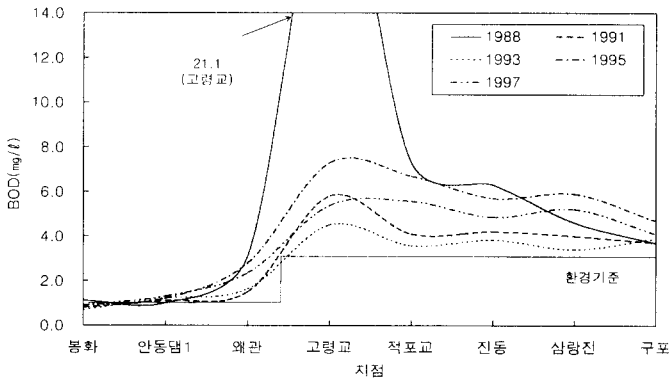


그림 1. 낙동강 본류 주요지점의 연평균 BOD변화

보면, 왜관지점(금호강 합류전)하류에서는 환경 기준을 초과한다. 금호강 합류후에 위치한 고령교 지점의 경우, BOD 농도가 1988년에 약 21mg / l의 농도를 보이다 그 이후 점차 감소하여 1993년에 약 5mg / l를 나타냈으나, 1995년에는 약 7.8mg / l로 다시 상승하였는데, 이는 1994년말과 1995년 봄에 발생한 극심한 가뭄의 영향에 따른 것으로 판단된다. 고령교이후 지점에 대해서는 BOD 농도가 1991년 이후 큰 변화를 보이지 않고 있다.

* 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 연구원
** 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 선임연구원
*** 경북대학교 환경공학과 교수

2.2 갈수기 수질 및 유량 측정

수질예측을 위해 선정된 QUAL2E 모형의 매개변수 보정과 검증을 위해 본류와 지류를 포함한 16개 지점에서 수온, DO, pH, BOD, COD_{Mn}, SS, TN, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N, TP, 그리고 PO₄-P 등의 수질 항목과 유량을 4회('97년 4월, 5월, 8월, 그리고 9월의 갈수기)에 걸쳐 동시에 실측하였다. 측정 결과 대체적으로 BOD 농도를 기준으로 중상류 사벌-구미 구간이 II 등급(3mg / ℓ 이하), 금호강 합류전 구미-왜관 지점 구간이 III 등급(6mg / ℓ 이하), 금호강 합류후-황강 합류후 적포교 지점 구간이 III~IV 등급(8mg / ℓ 이하), 그리고 적포교 하류 구간이 III~IV 등급(8mg / ℓ 이하)으로 각각 나타났다.

2.3 연도별 오염부하량 산정

(1) 배수 구역 및 오염원 조사

오염부하량 산정을 위해 낙동강 유역을 총 9개의 대권역과 대구권을 포함한 총 31개의 소권역으로 구분하였다. 총 31개의 소권역 중 낙동강 유역에서 오염부하가 가장 큰 대구권은 다시 금호강의 배수구역인 남천, 신천, 북부, 달서천 및 낙동강 본류 배수구역인 5개 권역으로 세분하였으며, 배수 구역별로 인구, 산업, 축산 및 토지이용 등의 오염원을 조사하였다. 배출원별 오염물질 원단위는 낙동강 유역의 인구, 산업, 축산 및 토지이용 등의 오염원과 오염부하 원단위는 최근에 낙동강 유역에서 적용된 것을 적용하였다. 오염물질 배출원의 조성 변환 추정은 다음과 같다.

① 인구 : 각 배수구역의 장래 인구추정은 낙동강환경관리청의 「낙동강 유역 오염원분포 현황 보고서(1995)」, 대구광역시의 「대구지역 수질개선 중기계획보고서(1995)」 및 해당시군 통계연보상의 인구자료를 이용하였는데, 연평균 인구증가율을 도출하고 이를 장래 인구추정에 적용하였다.

② 산업체 : 1997년 현재 낙동강 유역 중 대구권에는 대구염색단지를 포함하여 6개의 산업단지, 달성권 및 고령권에는 각각 4개 및 2개의 산업단지가 조성되어 있다. 1998년까지는 대구권 및 달성권에서 각각 대구과학단지 및 구지단지가 조성될 예정이며, 2001년까지는 검단단지(확장) 및 위천산업단지가 조성될 계획이다.

③ 축산 : 1998년부터 2011년까지의 가축 사육 두수는 사실상 장래 추정자료가 없고, 과거 자료의 변화 추이가 불규칙적이어서 추정이 불가능하기 때문에 가축 두수는 1997년 현재의 수치가 변하지 않는다고 가정하였다.

④ 토지이용 : 토지이용의 변화 예측에 있어서도 1998년부터 2011년까지의 토지 이용별 면적은 장래 추정자료가 없고, 추정이 불확실하여 1995년 자료를 그대로 이용하였다.

각 소비수 구역별로 환경기초시설의 증설 및 보완 계획을 대구지방환경청 자료 및 대구시의 자료를 토대로 목표 년도별로 하수종말처리장, 분뇨종말처리장, 산업폐수종말처리장 및 축산폐수처리장별로 각각 조사하였다.

(2) 오염물질 총발생 부하량 산정

발생 부하량은 앞에서 설정한 오염원 원단위에 오염원 발생량을 곱해 산정한다. 이에 따라 산정된 총폐수 발생량, BOD 발생부하량, TN 발생부하량 및 TP 발생부하량은 표 1에 나타난 바와 같다.

표 1. 낙동강 유역의 총발생부하량 산정 결과

구 분	1997년	2001년	2006년	2011년
총 폐수발생량 (m ³ /day)	2,545,969	3,145,660	3,421,393	3,693,565
BOD 발생부하량 (kg/day)	958,419	969,162	979,714	990,016
TN 발생부하량 (kg/day)	381,685	388,745	394,271	398,385
TP 발생부하량 (kg/day)	56,832	57,721	58,090	59,547

(3) 오염물질 배출(삭감)부하량

오염물질 배출부하량은 발생부하량에서 하수종말처리장, 분뇨종말처리장, 산업폐수 종말처리장 및 축산폐수 종말처리장 등 환경기초시설에 의한 오염부하 감소량을 빼고 산정한다. 배출부하량 산정시 발생된 폐수가 처리되지 않고 그대로 배출될 때에는 미처리 배출부하로, 처리시설에 유입되어 처리되어 배출될 때는 처리 배출부하로 보았다. 배출부하량 산정 결과는 표 2와 같다.

표 2. 낙동강 유역의 배출부하량 산정 결과(단위 : kg/day)

1997년			2001년			2006년			2011년		
BOD	TN	TP	BOD	TN	TP	BOD	TN	TP	BOD	TN	TP
573,697	189,034	41,175	493,177	191,377	38,800	500,126	194,362	39,267	510,924	194,921	39,505

(4) 유달률 및 유달부하량 산정

유달부하량이란 오염 발생원에서 오염부하가 처리시설에 의해 삭감되어 배출된 부하가 배수 유역에 유하하면서 미생물에 의한 유기물 분해, 흡착 및 침전과정 등을 통하여 줄어든 후 대상하천에 도달하는 부하량을 말한다. 낙동강 유역의 배출 부하량과 실측 유량 및 수질을 이용하여 유달률을 산정한 결과, 본류 구간의 BOD 유달률은 11.89%, TN은 37.36%, 그리고 TP는 8.29%로 추정되었으며, 이를 이용한 유달부하량 산정 결과는 표 3과 같다.

표 3. 낙동강 유역의 유달부하량 산정 결과(단위 : kg/day)

1997년			2001년			2006년			2011년		
BOD	TN	TP	BOD	TN	TP	BOD	TN	TP	BOD	TN	TP
25,610	43,373	2,841	21,995	43,902	2,677	22,305	44,586	2,709	22,787	44,715	2,726

2.4 수질예측모형의 입력 자료 구성

(1) 수질 예측 구간 설정

하도 구간 구분은 대체적으로 수리 또는 지형 특성을 위주로 분할하였고, 생물학적·화학적 분해 속도 등이 일정하고 모형의 매개변수 보정에 이용할 수 있는 수질과 유량 측정 자료가 비교적 충분한 지점 및 지류 합류 지점 등을 중심으로 구분하였다. 낙동강 본류에 대한 수질예측 유로 연장은 약 342km(안동 조정지댐~하구둑)이며, 소구간 요소는 하도 길이 2km 간격으로 설정하였다.

(2) 연도별 목표 수질

환경부에서 설정한 BOD 기준의 하천 수질 환경 기준(환경부, 1996)을 이용하여 구간 및 연도별로 목표 수질을 설정하였으며, 1997년 이후 낙동강 본류에 대한 목표 수질은 금호강 합류 이후 구간은 II 등급이고, 나머지 상류 구간은 I 등급이다.

(3) 입력자료 구성

조도계수는 「낙동강 하천정비 기본계획(I,II,III)(건설부, 1983, 1991, 1993)」을 참고로 조사하였으며, 대략 0.023 ~ 0.027의 범위를 가진다. 수리입력 계수는 각 구간별 평균 유속과 수심 산정 시 유량계수법을 사용하였으며, 각 구간별 유량계수를 결정하기 위해 수위-유량 회귀식과 유속-유량 회귀식을 작성하였다. 회귀식은 낙동강유역 홍수량측정조사 보고서(건설교통부 낙동강홍수통제소, 1995)와 한국건설기술연구원 데이터베이스의 수위관측소별 유속, 유량, 수위 자료 중 유량이 300m³/sec 이하에 해당하는 자료를 입력하여 작성하였다. 낙동강 유역 중 중상류에 위치한 낙동 수위관측소 지점에 대한 수위-유량 회귀곡선 및 유속-유량 회귀곡선은 그림 2와 같다.

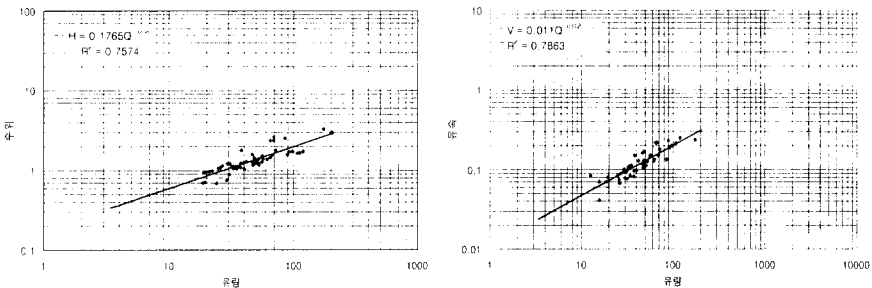


그림 2. 낙동 수위관측소 지점의 유량-유속, 유량-수위 회귀 곡선식

취수장의 위치 및 취수량은 소구간 요소별로 조사하였다. 실제 모의에 사용된 취수허가량에 회귀율을 고려하였으며, 회귀율은 생공용수는 80%가 농업용수는 35%가 해당 지점에서 취수되고 다시 그 자리로 회귀된다고 가정하였다. 즉 하천에서 취수된 물 중 생공용수는 20%, 농업용수는 65%가 소모되는 이수소모량이 된다. 단지 광역상수도에 의해 유역에서 취수되어 유역 밖에서 사용되는 취수량은 모두가 취수되어 소모되는 것으로 보았다.

2.5 수질을 고려한 필요유량 산정

(1) 모형의 보정 및 검증

갈수기의 4회 수질 및 유량 측정 자료 중 보정은 1, 2, 3차 자료, 검증은 4차 자료를 이용하였으며, 시행착오법을 이용하여 매개변수를 보정하였다. 보정 및 검증 결과 실측치와 계산치가 비교적 잘 맞아들었으며, 인과 질소에 비해 BOD가 잘 일치하였다. 그림 3은 수질 항목 중 BOD 농도에 대한 보정과 검증 결과를 나타낸 것이다.

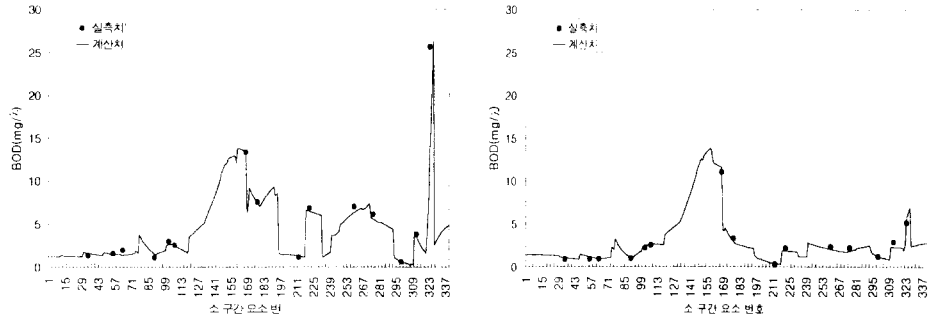


그림 3. BOD 농도에 대한 매개변수 보정 및 검증 결과

(2) 수질 예측

수질을 고려한 필요유량은 BOD를 기준으로 산정하였으며, 앞에서 추정한 유달부하량을 이용하여 연도별 수질을 예측한다. 수질은 연도별로 환경기초시설 고려시(환경기초시설의 증설 및 보완 계획을 고려할 경우)에 대해서만 예측하였다. 수질 예측 구간 중 각 구간의 최상류 구간은 뚜렷한 오염원 증가가 없기 때문에 목표 년도별로 수질 변화가 없을 것으로 보고 현행 수질(필요유량 산정시는 목표 수질 방류를 기준으로 함)을 사용하였다. 수질 예측 결과 그림 4와 같이 BOD 농도는 금호강 합류

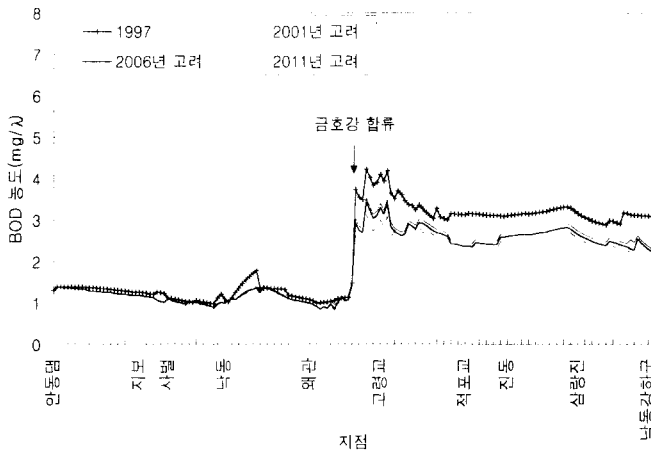


그림 4. 낙동강 본류의 BOD 농도 예측 결과

된 구간은 고령교 구간임을 알 수 있다(TN과 TP도 비슷한 양상을 보임). 이러한 현상은 과거 환경부 수질 자료를 바탕으로 작성한 그림 1에서도 확인할 수 있다.

(3) 필요유량 산정

하천수질 보전을 위한 필요유량은 하도의 취수 허가량을 기준으로 환경기초 시설 고려시에 대해 산정하였으며, 그 결과는 표 4와 같다. 필요유량 산정 결과, 낙동 지점까지는 1997년에 51.0m³/sec의 유량이 최상류에서 유입되어야 목표 수질을 만족할 수 있는 것으로 나타났으나, 2001년부터 2011년까지는 환경기초시설이 계획대로 확충된다면 평균갈수량만 유입되어도 목표 수질을 만족할 수 있는 것으로 나타났다. 한편, 2001년부터 2011년까지 구미 지점구간부터는 최상류에서 평균갈수량 이상이 유입되어야 목표 수질을 만족할 수 있으나, 하도 구간에서 취수가 발생하므로 사실상 지점 유량은 평균갈수량 보다 적게 필요한 것으로 나타났다.

표 4. BOD를 기준으로 산정한 필요유량

하천	대 표 지 점	1997년			2001년			2006년			2011년		
		최상류 유량	지점 유량	BOD 농도	최상류 유량	지점 유량	BOD 농도	최상류 유량	지점 유량	BOD 농도	최상류 유량	지점 유량	BOD 농도
분류	지 보	51.0	44.0	0.96	19.0	12.0	0.83	19.0	12.0	0.85	19.0	12.0	0.84
	사 별	51.0	42.0	0.83	19.0	10.0	0.82	19.0	10.0	0.83	19.0	10.0	0.81
	낙 동	51.0	41.0	0.82	19.0	9.0	0.86	19.0	9.0	0.82	19.0	9.0	0.80
	구 미	58.0	44.0	0.97	35.0	21.0	0.96	37.0	23.0	0.96	39.0	25.0	0.96
	왜 관	58.0	44.0	0.88	35.0	21.0	0.85	37.0	23.0	0.86	39.0	25.0	0.86
	고령교	59.0	52.0	2.38	41.0	43.0	1.94	45.0	47.0	2.31	54.0	55.0	2.51
	적포교	59.0	52.0	1.25	41.0	44.0	1.61	45.0	49.0	1.44	54.0	58.0	1.68
	진 동	59.0	50.0	1.24	41.0	42.0	1.15	45.0	47.0	1.32	54.0	56.0	1.50
	삼랑진	59.0	35.0	1.55	41.0	27.0	1.15	45.0	32.0	1.31	54.0	42.0	1.48

【주】 최상류 BOD농도는 목표수질등급을 만족한 상태에서 방류된다고 가정함, 단위:유량- m^3/sec , 농도- mg/l

3. 결 론

(1) 생활, 산업, 축산 및 대지, 논, 밭, 임야 같은 토지 이용 등의 오염원 조성 변화에 따른 연도별 발생부하량, 배출부하량, 그리고 유달부하량을 산정하여 장래 연도별 수질 예측 모형의 입력 자료로 활용하였다.

(2) 연도별 수질 예측은 주로 BOD와 질소 및 인 순환계에 대해 예측하였으며, 실측자료를 이용한 모형의 매개변수 보정과 검증은 실측치와 계산치가 비교적 잘 맞아 들어가는 것으로 나타났다.

(3) 수질 예측 결과, BOD, TN, TP 모두 금호강 합류이후(약 170km 지점) 농도가 급격히 증가하였으며, 수질이 가장 악화된 구간은 고령교 구간임을 알 수 있었다.

(4) 낙동강 분류 구역의 하천수질 보전을 위한 필요 유량은 대부분의 지점에 걸쳐 1997년에는 35.0~52.0 m^3/sec 으로 나타났으며, 환경기초시설이 계획대로 확충될 경우 2001년에는 9.0~44.0 m^3/sec , 2006년에는 9.0~49.0 m^3/sec , 그리고 2011년에는 9.0~58.0 m^3/sec 의 범위를 보여 1997년 현재에 비해 필요 유량이 적은 것(특히 왜관 구간까지는 현저한 감소를 보임)으로 나타났다.

4. 참고문헌

건설교통부 낙동강홍수통제소((1995), 낙동강구역 홍수량측정조사 보고서.

건설부(1983, 1991, 1993), 낙동강 하천정비 기본계획.

경북대학교 환경과학연구소(1997), 낙동강 구역 하천 수질보전을 위한 수질조사.

낙동강환경관리청(1995), 낙동강 구역 오염원 분포 현황 보고서.

대구광역시(1995), 대구지역 수질개선 중기계획 보고서.

건설교통부 부산지방국토관리청(1997), 낙동강 수계 하천수 사용실태 조사 및 하천 유지유량 산정 보고서.

환경부(1996), 환경통계연감.