

# 보의 폭기효과에 관한 현장조사

○ 안성식\* · 김진홍\*\* · 심명필\*\*\*

## 1. 서론

하천에 설치된 흐름 조절 구조물 중 치수 및 이수기능을 중요시한 보는 흐름을 차단시킴으로써 수질악화를 야기 시킨다. 따라서 보를 월류할 때 폭기에 의한 용존 산소를 증가시킴으로써 수질정화를 유도할 수 있는 방안을 고려하는 것이 바람직하다.

본 연구에서는 보의 형태에 따른 월류 흐름의 폭기 현상에 대해 현지 측정을 통해 검토하였다. 보의 상, 하류에서 실시한 용존산소 농도변화를 측정함으로써 보의 형태 및 수리량에 따른 폭기 효과와 이에 따른 산소전달효과에 대해 조사하였으며, 수질 정화에 효과적인 보의 형태를 선정하였다.

## 2. 대상지점의 선정 및 측정내용

현지측정의 대상 지점으로서 경기도 탄천의 계단형 보 3곳과 경기도 굴포천의 래브런스 보, 그리고 전라남도 곡성군과 구례군에 걸친 섬진강의 수중 보 3개소를 선정하였다. 탄천의 계단형 2단보와 1단보, 그리고 굴포천의 래브런스 보는 세 번에 걸친 현지 측정을 시행하였으며, 곡성군에 위치한 동산리 보, 침곡리 보, 구례군의 광평리 보의 수중 보 3개소에 대해서는 한번의 현지측정을 실시하였다. 탄천의 계단형 4단보의 경우에는 보의 좌·우측에 자동보 설치 공사로 인하여 수질 측정이 불가능한 관계로 3차 측정이 불가능하였다.

현지 측정은 각각의 조사 지점에 대하여 보의 상류와 하류에서 DO(용존산소)와 pH, 수온을 측정하고 물을 채수한다. 보의 길이를 측정하고 보의 월류 수심과 유속을 측정하여 월류 유량과 Froude수를 구하고, 채수한 물은 실험실에서 SS를 조사한다. 선정된 7가지 형태의 보에 대하여 계단형 4단 보를 No.1으로 시작하여 광평리 수중보까지를 No.7로 하여 보의 형상에 따른 폭기효과를 조사하였다.

다음의 표 1은 각 보에서의 수질 및 수리량의 측정 결과이다.

표 1 각 보의 수질 및 수리량 측정결과

수질 보	DO(mg/ℓ)		pH		SS(mg/ℓ)		수온(℃)		h (cm)	V (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)
	상류	하류	상류	하류	상류	하류	상류	하류			
No.1 (4월 21일)	8.47	8.86	7.98	8.14	6.83	5.63	15.9	15.9	5.43	0.382	2.961
No.1 (5월 6일)	8.01	8.54	8.23	8.25	0.5	1.17	16.8	16.6	6.80	0.625	3.663
No.2 (4월 21일)	8.19	8.41	7.8	8.09	6.8	3.33	15.9	15.7	7.30	0.554	2.168
No.2 (5월 6일)	8.84	9.05	8.04	8.01	0.7	0.5	16.4	16.4	12.83	0.621	4.265
No.2 (6월 28일)	7.61	7.83	7.51	7.74	5.76	5.02	20.2	17.8	7.50	0.481	1.934
No.3 (4월 21일)	8.87	8.97	8.49	8.40	8.97	6.53	19.1	18.9	6.83	0.337	2.004
No.3 (5월 6일)	8.83	8.96	8.52	8.43	0.73	0.57	16.5	16.6	11.20	0.505	2.905
No.3 (6월 28일)	8.1	8.34	8.42	8.47	7.18	5.94	18.4	17.8	8.37	0.635	2.466
No.4 (4월 21일)	1.18	1.84	7.41	7.36	1.44	1.29	16.4	16.4	68.01	0.441	4.648
No.4 (5월 6일)	0.64	1.61	7.44	7.48	1.13	1.03	18.6	18.8	63.67	0.383	3.783
No.5 (8월 2일)	7.64	7.69	8.29	8.37	3.16	3.02	26.1	26.4	23	0.423	44.712
No.6 (8월 2일)	7.71	7.80	8.40	8.49	3.07	2.89	25.9	26.0	12	0.761	14.611
No.7 (8월 2일)	7.61	7.68	8.52	8.55	3.12	3.01	25.2	25.1	10.8	0.394	15.998

\*정회원 · 중앙대학교 토목공학과 석사과정 · 031-670-4663 · (E-mail:ahnss77@post.cau.ac.kr)

\*\*정회원 · 중앙대학교 토목공학과 부교수 · 031-670-3355 · (E-mail:jinhkim@cau.ac.kr)

\*\*\*정회원 · 인하대학교 토목공학과 교수 · 032-860-7566 · (shim@inha.ac.kr)

표 1의 보의 수질 및 수리량 측정 결과에서 보여지는 바와 같이 래브린스 보의 경우 DO의 증가가 상대적으로 가장 크며, 계단형 보의 경우 계단수가 많을수록 상대적으로 DO의 증가효율이 높다는 것을 알 수 있다. 그러나 래브린스 보가 설치된 하천 수질은 측정 당일 그다지 좋지 않아 추후 보완 측정을 통해 DO의 증가효율을 분석하여야 할 것이다.

공기 혼입 이론의 입장에서 보았을 때 DO의 수치가 폭기효과를 비교적 잘 나타낸다고 할 수 있으며, 따라서 상기 결과를 통해 보에서의 폭기 현상에 의해 용존산소 증가효과를 파악할 수 있다.

### 3. 측정자료의 분석

보에서의 DO 증가 효율을 나타내기 위해서 무차원화된 산소전달효율( $E_{20}$ )을 계산하였다. 산소전달효율( $E_{20}$ )을 구하는 식은 다음과 같다 (Gulliver 등, 1990).

$$E = 1 - \frac{1}{r} = \frac{(C_d - C_u)}{(C_s - C_u)} \quad (1)$$

$$\frac{\ln(1 - E_T)}{\ln(1 - E_{20})} = 1 + \alpha(T - 20) + \beta(T - 20)^2 \quad (2)$$

여기서  $C_s$ ,  $C_u$ ,  $C_d$ 는 각각 DO의 포화농도 및 보의 상, 하류에서의 용존산소 농도로 정의된다.  $E_T$ 와  $E_{20}$ 은 각각 온도  $T$ 와 20℃에서의 산소전달효율이고,  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 상수로서 각각  $\alpha = 0.02103 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ,  $\beta = 8.621 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$ 이다.

현지측정을 통해, 그림 1과 2에서 보는 바와 같이 하천의 우안을 A, 중앙부를 B, 좌안을 C로 하여, 식 (1)과 (2)에 따라 구한 각 지점별 산소전달효율( $E_{20}$ )과 유속(V), 유량(Q), Froude 수(Fr)의 계산 결과는 표 2에 나타나 있다.

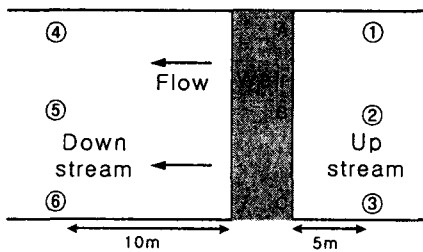


그림 1 계단형 보 및 수중보의 측정지점

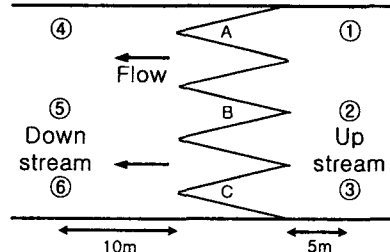


그림 2 래브린스 보의 측정지점

표 2를 근거로 정량적인 비교·검토를 하기 위해 결과치중 측정 오차를 발생시킨 자료를 일부 제외하여 보의 형태별로, 그림 3 ~ 그림 5는 계단형 보에서 수리량에 따른 산소전달효율을 나타낸 것이고 그림 6 ~ 그림 8은 래브린스 보에서 수리량에 따른 산소전달효율을 나타낸 것이며, 그림 9 ~ 그림 11은 수중 보에서의 수리량에 따른 산소전달효율을 나타낸 것이다.

그림 3 ~ 그림 11을 보면 산소전달효율은 흐름의 유속 및 유량과 Froude수의 증가에 따라 비례하여 증가함을 알 수 있다. 흐름의 유량 및 Froude수와 산소전달효율과의 상관성은 유속과 산소전달효율과의 상관성보다 비교적 높게 나타나고 있다.

기포 발생(혼입)은 구조물의 trailing edge에서 흐름의 분리에 의해 발생되며 흐름 방향과 더불어 기포가 성장한다(Henry, 1985). 이후 기포는 윗 방향으로 이동하면서 수면 근처에서 깨어진다. 기포가 깨어짐으로써 수중에는 많은 용존산소가 저장되고 이는 하천생태계 특히 어류의 서식에 중요한 영향을 미친다.

기포 발생은 주로 구조물의 모난 부분의 적하류부에서, 특히 수면차가 큰 곳에서 도수가 발생되면서 보다 더 많이 발생되고 있다(Chanson, 1993).

표 2 각 형태별 보에서 수리량에 따른 산소전달효율

보	측정일시	측정지점	$E_{20}$	V(m/s)	q(m <sup>3</sup> /s)	Fr	비고
No. 1 계단형 4단보	4월 21일	A	0.262	0.615	0.0721	0.936	
		B	0.339	0.579	0.0684	0.827	
		C	0.291	0.770	0.0840	0.904	
	5월 6일	A	0.250	0.609	0.0467	0.749	
		B	0.310	0.716	0.0565	0.763	
		C	0.372	0.551	0.0384	0.821	
No. 2 계단형 2단보	4월 21일	A	0.172	0.567	0.0329	0.752	
		B	0.201	0.463	0.0421	0.543	
		C	0.214	0.632	0.0550	0.684	
	5월 6일	A	0.223	0.671	0.0684	0.590	
		B	0.198	0.552	0.0501	0.519	
		C	0.217	0.640	0.0660	0.553	
	6월 28일	A	0.194	0.474	0.0322	0.581	
		B	0.207	0.482	0.0366	0.541	
		C	0.202	0.487	0.0394	0.564	
No. 3 계단형 1단보	4월 21일	A	0.164	0.458	0.0273	0.437	
		B	0.178	0.407	0.0323	0.502	
		C	0.082	0.145	0.0031	0.289	
	5월 6일	A	0.168	0.570	0.0747	0.503	
		B	0.148	0.454	0.0492	0.466	
		C	0.153	0.491	0.0440	0.477	
	6월 28일	A	0.179	0.619	0.0489	0.703	
		B	0.181	0.653	0.0601	0.688	
		C	0.190	0.633	0.0506	0.717	
No. 4 래브린스보	4월 21일	A	0.172	0.44	0.3124	0.167	
		B	0.198	0.51	0.3275	0.203	
		C	0.147	0.37	0.2543	0.143	
	5월 6일	A	0.141	0.26	0.1924	0.097	
		B	0.121	0.41	0.2583	0.165	
		C	0.065	0.48	0.2592	0.209	
No. 5 동산리 수중보	8월 2일	A	0.071	0.417	0.0831	0.279	
		B	0.095	0.421	0.0951	0.280	
		C	0.082	0.431	0.0849	0.286	
No. 6 침곡리 수중보	8월 2일	A	0.128	0.776	0.1063	0.669	
		B	0.108	0.758	0.0998	0.723	
		C	0.113	0.749	0.0968	0.718	
No. 7 광평리 수중보	5월 6일	A	0.077	0.391	0.0507	0.398	
		B	0.086	0.387	0.0627	0.329	
		C	0.069	0.404	0.0448	0.428	

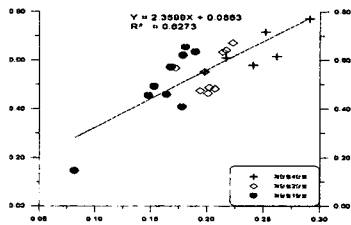


그림 3 계단형 보의 산소전달효율과 유속과의 관계

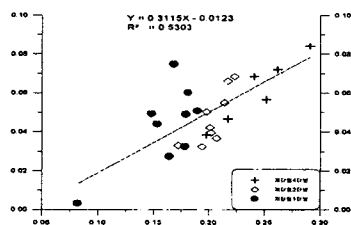


그림 4 계단형 보의 산소전달효율과 유량과의 관계

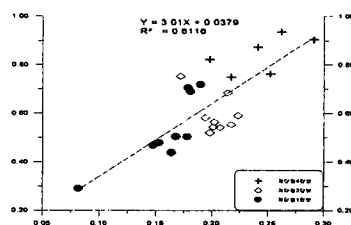


그림 5 계단형 보의 산소전달효율과 Froude 수와의 관계

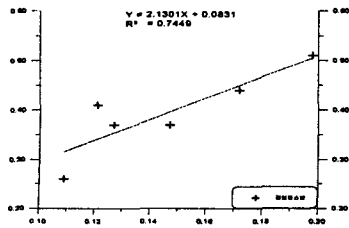


그림 6 래브린스 보의 산소전달 효율과 유속과의 관계

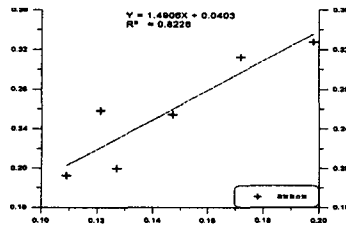


그림 7 래브린스 보의 산소전달 효율과 유량과의 관계

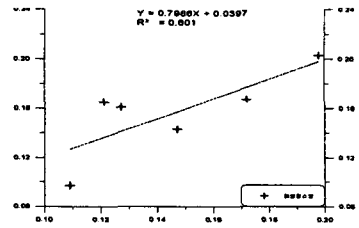


그림 8 래브린스 보의 산소전달 효율과 Froude 수와의 관계

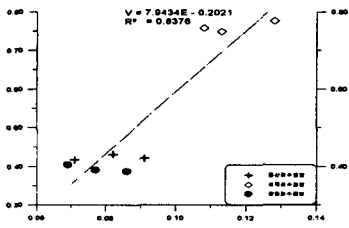


그림 9 수중 보의 산소전달효율과 유속과의 관계

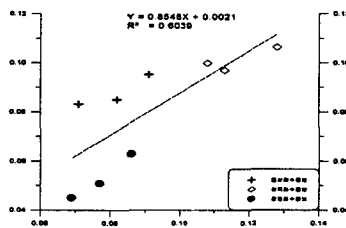


그림 10 수중 보의 산소전달효율과 유량과의 관계

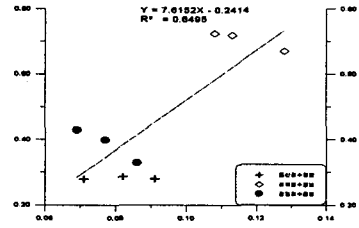


그림 11 수중 보의 산소전달효율과 Froude 수와의 관계

표 2를 보면 산소전달효율은 계단형 보의 경우 계단의 수에 비례하여 효율이 높게 나타나는 것으로 보여진다. 한편 비교적 산소전달효율이 높을 것으로 판단되었던 래브린스 보의 경우 보 상류 15m 지점에 가물막이를 설치하는 등 실험 외적인 요인에 의한 수질악화현상으로 인해 신뢰성 있는 측정치가 되지 못하였다.

또한 수중보의 경우 계단형 보나 래브린스 보에 비하여 산소전달효율이 많이 떨어지는 것을 알 수 있었으며 수중보 3개소 중 보 전 구간에 걸쳐 배수문이 설치되어 있는 침곡리 수중보의 경우 다른 2개소 수중보보다 산소전달 효율이 높은 것으로 보여진다.

#### 4. 요약 및 결론

보의 월류흐름에 의해 폭기 및 용존산소 증가 효과가 나타나는 것을 알 수 있었다. 래브린스보와 계단형 보가 수중보보다 비교적 폭기효과가 크며, 계단형 보의 경우에는 계단의 수가 많을수록 수중보의 경우 보 전 구간에 걸쳐 배수문이 설치되어 있을수록 폭기효과가 증가됨을 알 수 있었다. 따라서 흐름의 정체에 따른 수질악화를 방지하기 위해서는 보를 월류한 흐름을 폭기시켜 보의 용존산소 증가능력을 갖추어야 하며, 본 연구결과를 통해 볼 때 용존산소 증가에 효율적인 보는 계단형 보임을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 21C 프론티어 연구개발사업 '수자원의 지속적 확보기술개발' 연구용역 결과의 일부로서 지원해 주신 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단에 감사를 드립니다.

#### 참고 문헌

1. 유대영, 김성태, 우효섭(2001). "보의 형태에 따른 재폭기 효율 비교", 한국수자원학회학술발표회논문집, Vol.2, pp.807-812.
2. Gulliver, J.S., Thene, J.R., and Rindels, A.J.(1990). "Indexing gas transfer in self-aerated flows", *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, Vol.116, No.3, pp.503-523.