

A-jack을 이용한 자연형 낙차공 공법개발

김진홍* · 우효섭**

1. 서론

하상안정을 목적으로 설치되는 기존의 낙차공은 콘크리트 구조물로서 하천생태 서식에 불리하며, 하상의 부등침하 및 구조물 바닥으로 형성되는 침투류에 따른 구조물의 바닥과 하상의 공극발생으로 인한 구조물의 훼손 등이 우려된다.

A-jack을 이용한 낙차공은 구조물에 공극이 형성되어 하천생태 서식에 긍정적인 영향을 미치며, 구조물 자체의 유연성으로 부등침하가 발생되어도 대처가능하여 자연형 낙차공이라고 할 수 있다.

본 연구는 기존 낙차공의 단점을 보완하는 A-jack을 이용한 자연형 낙차공을 수리실험을 통해 공법을 개발하고자 한다.

2. 수리실험

낙차공의 형태를 결정하기 위해 적정 축척으로 모형틀을 제작하여 수리실험이 실시되었다. 수리실험을 위한 전제조건으로 다음의 3가지를 선정하였다. 즉,

- 흐름의 유속에 대응되어야 한다.
- 하상세굴 및 양안침식이 발생되지 않아야 한다.
- 생태계를 배려해야 한다.

그림 1은 실험에 사용된 여러 낙차공의 형태를 나타내고 있다 (Thornton et. al., 2002). 고안된 낙차공의 형태는 다음과 같다.

- ① 직선형 낙차공 ; 하천의 횡단 방향으로 일직선 형태이며 계단은 단수인 형태.
- ② 다단계 직선형 낙차공 ; 일직선 형태이되 계단 수가 복수인(일반적으로 3~4단) 형태.
- ③ 완경사형 낙차공 ; 일직선 형태이되 계단 형태가 아닌 완경사 평면 형태.
- ④ 저낙차 V형 낙차공 ; 일직선 형태가 아닌 V형 낙차공이며, 낙차고가 그리 높지 않은 형태.
- ⑤ 고낙차 V형 낙차공 ; 낙차고가 비교적 높은 V형 낙차공.

V형 낙차공은 꼭지점이 흐름의 상류방향으로 향하는 형태(vertex point upstream)와 흐름의 하류방향으로 향하는 형태(vertex point downstream)로 구분하여 실시되었다.



① 직선형



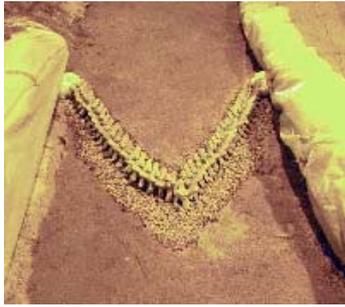
② 다단계 직선형



③ 완경사형

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

**우효섭 · 한국건설기술연구원 연구위원 · 031-9100-554(E-mail:hswoo@kict.re.kr)



④ 저낙차 V형
(vertex point downstream)



⑤ 고낙차 V형
(vertex point upstream)

↓ flow

그림 1. 낙차공의 여러 형태

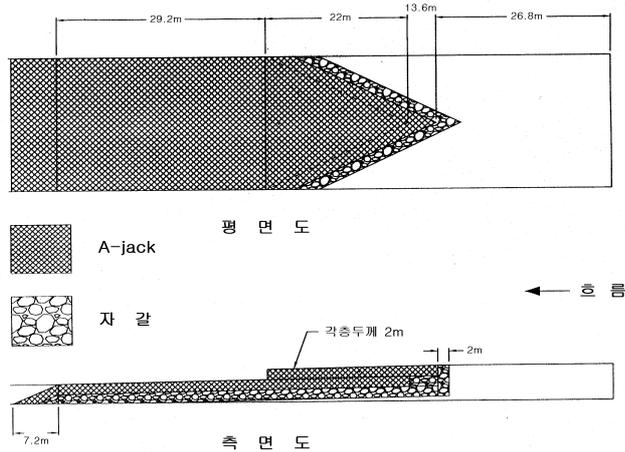
수리실험 결과, 직선형 ①과 다단계 직선형 ② 및 완경사형 ③은 에너지 감세 효과가 없어 흐름의 소류력에 의해 하류부에서 하상세굴이 발생되었다. V형 낙차공 ④는 흐름이 양안으로 양분되므로 양안 제방측에 세굴이 발생되었다. 한편 V형 낙차공 ⑤의 경우 흐름은 중앙부에 집중되나, 중앙부에 설치된 호상공에 의해 세굴방지를 도모할 수 있었다. 또한 낙차공의 계단수가 많을수록 흐름의 에너지를 줄일 수 있어 효과적이었으며, 따라서 수리학적 안정성을 고려할 때 V형 낙차공 ⑤의 형태가 가장 바람직하였다.

3. 낙차공의 형태 개발

상기 수리실험 결과를 바탕으로 본 연구에서는 다음과 같은 3가지 형태를 계획하였다.

- 제 1안

- 하천 하상 및 상류부에 자갈 포설
- 자갈 포설층의 두께는 2m
- 자갈층 상부에 V형 A-jack 낙차공 및 호상공 설치 (두께 ; 각각 2m)
- 낙차공 단수는 현지 하천의 경사를 고려하여 결정하되, 각 단의 두께는 2m로 결정



제 1 안

그림 2. 낙차공 형태 (제1안)

- 제 2안

- 제 1안과 형태는 같으나 상부에 낙차공 1단 추가 (1단 두께 ; 2m)

- 상부의 낙차공은 기존 하상보다 2m 높게 설치하여 흐름의 유속감세 도모
 - ← 장기적으로 낙차공 상류부에 토사퇴적을 유도하여 하상경사를 완만하게 처리
- 하천 하상 및 상류부에 자갈 포설 (두께 ; 2m)
- 자갈층 상부에 V형 A-jack 낙차공 및 호상공 설치 (두께 ; 각각 2m)
- 낙차공 단수는 현지 하천의 경사를 고려하여 결정하되, 각 단의 두께는 2m로 결정

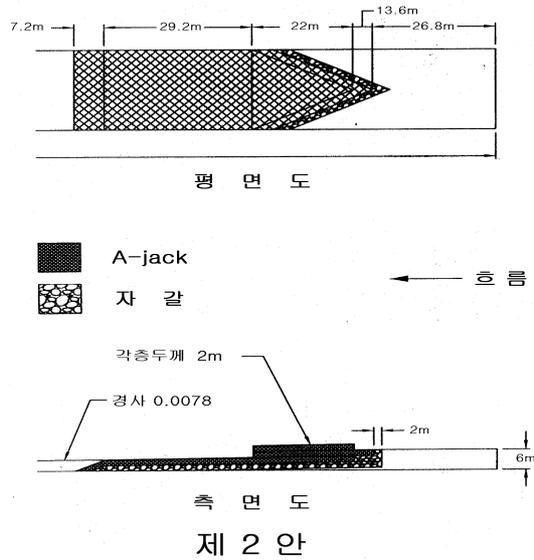


그림 3. 낙차공 형태 (제2안)

- 제 3안

- 낙차공 하류부의 호상공을 pool의 형태로 취하여 도수발생 및 흐름의 에너지 감세 도모
- 따라서 1, 2안보다는 낙차공 하류부의 세굴방지 효과가 크다
- 도수 발생에 따른 난류 및 와류 발생으로 장기적인 관점에서 수리적 불안정성 발생 우려
- 추후 대상하천의 현지여건을 고려하여 적정 방안 선정

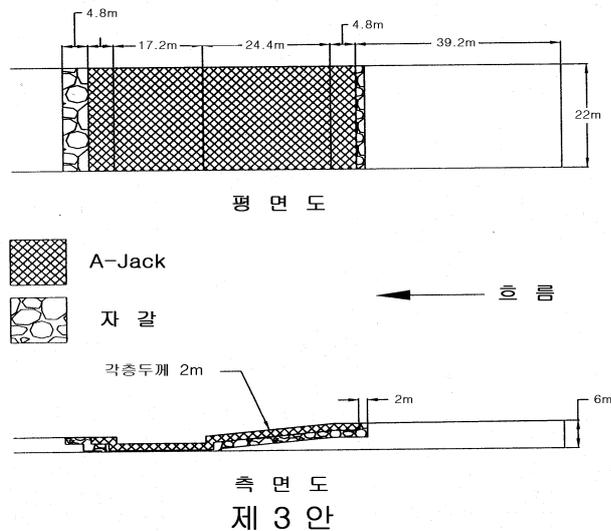


그림 4. 낙차공 형태 (제3안)

4. 낙차공 공법 개발

상기 3가지 안 중, 비교적 에너지 감세에 효율적인 형태는 제 2안으로 판단된다. 그러나 이들 형태는 낙차공 하류부가 평면 환경사형으로서 에너지 감세를 고려할 때 계단형보다는 비효율적임을 알 수 있다. 따라서 그림 5와 같이 하류부의 형상을 계단형으로 수정함으로써 에너지 감세 효과를 충분히 발휘하도록 낙차공 형태를 보완하였다.

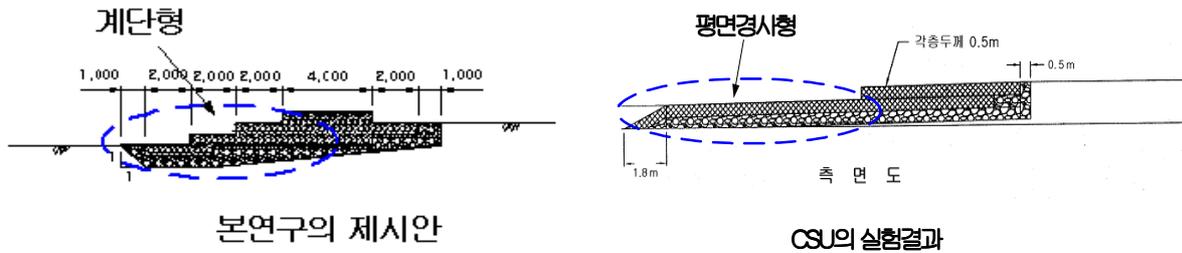


그림 5. 낙차공의 적정 형태 개발

한편 하류부의 형상을 계단형으로 하면 에너지 감세뿐만 아니라 수질정화 효과도 기대할 수 있다. 즉, 하류부에서의 흐름은 자유낙하(free-falling nappe)와 도수가 발생됨으로써 에너지 감세와 함께 폭기에 의한 수중 용존산소가 증대되며, 휘발성유기물질(VOC)이 제거됨으로써 수질정화도 기대된다.

그림 6은 상기 사항을 고려하여 하천 폭이 3m일 경우 작성된 낙차공 설치도면이다.

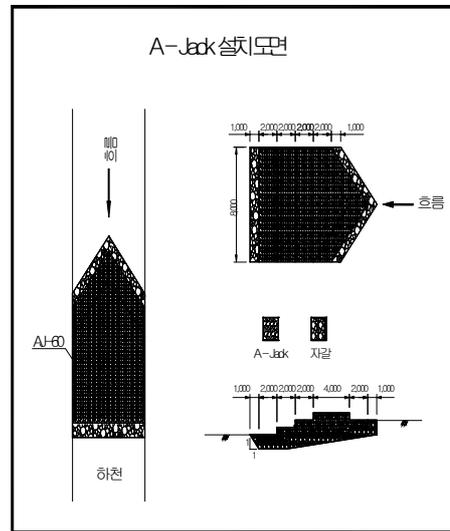


그림 6. 낙차공 설치 도면

5. 설치지점 선정 및 시공방안

낙차공의 설치지점으로서는 다음과 같은 지점을 선정하였다. 즉, 하상경사는 3% 이하이며, 하상재료는 자갈 또는 호박돌로 형성된 지점이고, 모래하천의 경우 하상을 자갈로 하여 기초 처리한 후 낙차공을 설치하도록 제안하였다. 또한 하도 폭은 30m 이하이어야 하고 (만약 하도 폭이 30m 이상인 경우 낙차공은 V형을 중첩하여 W형으로 설치하는 것이 효율적이다.) 직선 구간이 바람직하며, 하천 최심부와 양안과의 횡단 경사는 1:5 이하인 지점으로 제안하였다.

낙차공 시공은 흐름이 없는 건조 상태를 유지하여야 하며, 이를 위해 필요시 가물막이를 설치하여야 한다. 시공은 A-jack 2개를 직각방향으로 서로 맞물려 1set를 형성하여 설치하며, 이 경우 길이 1m 시공의 경우 길이 방향으로 평균 3set가 필요하다.

설치는 먼저 하상을 잘 정리한 후, 하상 및 상류부에 두께 2m의 자갈을 포설하고, 자갈층 상부에 V형 낙차공 및 호상공을 두께 2m로 하여 각각 설치한다. 상부의 낙차공은 기존 하상보다 2m 높게 설치하여 흐름의 유속감세를 도모하며, 장기적으로 낙차공 상류부에 토사퇴적을 유도하여 하상경사를 완만하게 처리함으로써 낙차공의 접근유속을 줄이도록 한다. 낙차공 계단 수는 현지 하천의 경사를 고려하여 결정하되, 각 단의 두께는 2m로 결정한다.

6. 요약 및 결론

A-jack을 이용한 낙차공 개발은 본 연구가 처음이라 할 수 있다. 기존의 콘크리트 낙차공은 생물 서식기능이 없으나, 본 연구에서 개발된 자연형 낙차공은 소형화된 테트라포트 형식으로 구조적으로 안정하며 공극을 갖춘 A-jack의 특성을 활용함으로써 생물 다양성 창출면에서 우수하며, 하상세굴 방지라는 기존의 낙차공의 치수기능을 유지하면서 생물 서식기능을 보완하는 자연형 낙차공이다.

또한 낙차공의 공극을 유지케 하여 생물서식 공간을 확보하면서, 공극에 토사가 퇴적되고 토사 충전에 따른 식생활착 및 다양한 생물상 창출이 가능하여 환경 측면에서 우수한 환경친화적인 공법이라 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 환경기술개발 사업 '하천생태 기능복원을 위한 핵심기술 개발' 연구용역 결과의 일부로서 (주)지해산업개발과 함께 진행하였으며, 본 연구를 지원해 주신 환경부에 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. 유대영, 김성태, 우효섭(2001). "보의 형태에 따른 재폭기 효율 비교", 한국수자원학회학술발표회논문집, Vol.2, pp.807-812.
2. 지해산업개발주식회사(2003). 지해 침식방지 시스템 환경 및 생태보존.
3. 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.
4. Thornton, C.I., Robeson, M.D., Bitner C.J., and Lipscomb C.M.(2002). *A-Jacks low drop grade control structure design*: Project Report, Engineering Research Center, Colorado State University, pp.25-87.