

수제설계 요소기술 개발을 위한 사례조사

A Case Study for Elementary Design-Technique Development of Groyne

조 현 국*, 김 민 철*, 장 심*, 김 현 정*, 손 광 익**

Hyon Kook Cho, Min Cheol Kim, Zhang Xin, Hyun Jung Kim, Kwang Ik Son

요 지

최근 전 세계적 이상기후로 인한 가뭄 또는 집중호우에 따른 하천의 건천화 및 홍수범람은 국가의 인명 및 재산에 상당한 피해를 야기 시키고 있으며 이로 인한 하천환경의 급격한 변화는 생태파괴의 주된 원인이 되고 있다. 따라서 제방의 안정성을 확보하며 유로를 제어할 뿐만 아니라 퇴적 및 세굴 등에 의한 하상고의 변화를 최적화할 수 있는 기법이 요구되는 실정이다. 이와 같은 제방과 하도의 안정성 확보를 위한 구조적 대책으로 수제가 많이 알려져 있으나 국내에서는 제한적인 연구와 극히 소수의 수제설치가 시도되었을 뿐 실용화를 위한 요소기술 개발이 부족한 실정이다.

본 연구에서는 국내외의 수제 실내실험 및 설치사례조사를 통하여 각 국가의 친환경적 하천관리 방안에 관한 수제설치 형태 및 기법을 검토하였다. 본 연구에서는 국내의 연구 및 설치사례조사는 물론 유럽, 미주 및 아시아의 수제 실내실험 및 설치사례조사와 수제설치에 따른 수리학적 변화 양상 및 설계가이드라인에 관한 자료를 검토하였다.

사례분석을 통해 축적된 자료를 통하여 수제 설치에 따른 개선효과 및 수제의 형태·기법에 따른 수리학적 영향을 검토하였으며 향후 국내 하천별 특성에 적합한 수제형태를 검토하였다. 이상의 검토과정을 통해 수제의 지배 인자를 도출함으로써 각 인자의 영향을 정량화 할 수 있는 지속 가능한 수제설계 요소기술 개발을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

핵심용어: 수제, 요소설계기술, 하도관리, 생태보존, 친환경, 홍수방어

1. 서 론

최근 5년간 (2002~2006) 집중호우 및 홍수범람으로 인한 연평균 피해는 침수면적 26,757.17ha, 수리시설 파괴 1,122개소, 그로인한 피해액 약 580억원 등으로 집계되었으며 이상기후로 인한 집중호우 빈도 증가에 따른 잦은 홍수범람으로 그 피해액이 지난 5년 전보다 약 1.4배 이상 늘어난 것으로 조사되었다.(국가재난정보센터) 이중에서도 홍수 시 제방침식으로 인해 발생하는 피해가 전체 피해액의 70.2%로 가장 심각한 수준임을 알 수 있다.(2003~2007, 통계연보)

이와 같은 피해를 최소화하기 위해서 제방의 안정성 확보 뿐 아니라 퇴적 및 세굴 등에 의한 하상고의 변화를 최적화 할 수 있는 기법으로 수제를 도입하고자 하며 설계요소기술 개발에 앞서

* 정희원 · 영남대학교 건설시스템공학부 토목공학전공 석사과정

**정희원 · 영남대학교 건설시스템공학부 토목공학전공 교수 · E-mail : kison@ynu.ac.kr

선진 수제설계기술을 보유한 국가의 가이드라인, 실내실험 및 실제 설치사례조사를 통해 지속가능한 수제설계 요소기술 개발을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 국외의 기술개발 동향

2.1 일본

가까운 나라 일본은 수제설치에 관한 다양한 사례들을 보유하고 있으며 최근에는 하천의 수리학적 개선 효과 뿐만 아니라 환경적인 개선효과를 동시에 고려한 설계기술이 개발되고 있다. 특히 일본 국토교통성 하천국의 ‘아름다운 산과 하천을 지키는 재해복구 기본방침’에 따르면 수제는 하안 침식 방지를 도모하는 방법으로써 하폭이 넓은 하천에서 유수의 방향을 조절하여 하안의 침식 방지를 기대할 수 있는 구조물로 설명하고 있으며 재해로 파괴된 호안을 수제와 함께 복원하여 홍수방어의 역할을 할 뿐만 아니라 수제두부의 세굴을 이용하여 하천 환경의 보전 및 복원에 다양한 기능을 하는 구조물로 설명하고 있다.

하천의 수리·환경적 우수개선 사례로 2005년 일본토목학회 디자인상을 수상한 일본의 코요시강(子吉川)의 사례를 살펴보면 설계 초부터 이차원 유황해석을 실시하여 설치 전·후의 흐름 상황을 공학적으로 예측하며 설계가 전개되었으며 수제를 시공함에 있어서도 주변의 환경을 고려하여 대형 크레인을 이용하였다.

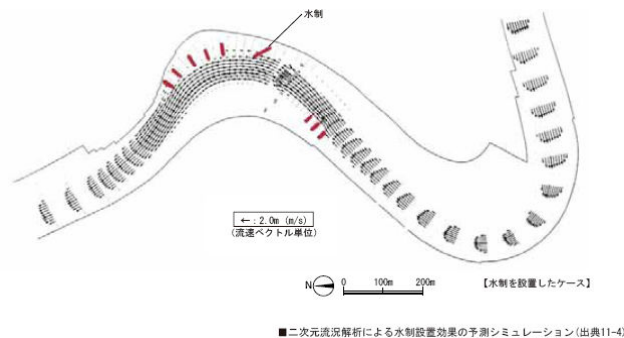


그림 1. 이차원 유황해석(일본국토교통성, 2008)

2.2 중국

하천 정비를 위해 오랜기간 동안 수제를 이용해온 중국은 다양한 설치사례 분석 및 실내실험을 통해 수제설계 기술에 관한 이론이 잘 정립되어 있다. 특히‘항도정치공정기술규범(航道整治工程技术规范)’에 따르면 선박운행을 위한 수제 설치시 수제의 횡단면 경사, 수제 두부 설계 및 천단부의 폭, 수제와 호안의 연결부에 관한 설계 기준들을 제시하고 있으며 중국 해양출판사에서 발간된 ‘수제수리학’에는 수제에 관한 연구결과 및 실험 자료들을 토대로 각 인자에 관한 그림 및 관계식들을 자세하게 설명하고 있다. 목차를 살펴보면 1장- 수제연구 내용, 2장- 수제가 유수흐름에 미치는 영향, 3장- 재순환 영역의 크기, 4장- 수제의 길이·높이·거리, 5장- 수제의 국부수두손실, 6장- 월류수제의 영향, 7장- 월류수제 군의 국부수두 손실, 8장- 세굴, 9장- 수제 모델링 기법으로 정리되어 있다.

중국의 수제설치사례로 1975년 후아이강 60~95m 구간에 투과수제 8기를 배치하여 수제와 수

제 사이에 토사퇴적을 유도하였을 뿐만 아니라 이를 통해 하안보호 및 선박운행을 위한 수심확보의 목적을 달성하였다.

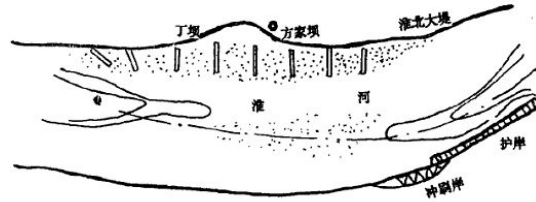


그림 2. 후아이강의 수제 배치 개략도(중국안휘성 교통국, 1975)

2.3 미국

미국은 수제의 한 형태인 베인에 관한 연구가 활발히 이뤄지고 있는데 1980년대 초 미국 아이오와 대학 수리연구실(IIHR)에서 Odgaard에 의해 처음 연구가 시작되었다. 초기 연구는 만곡부에서 토사퇴적을 유도하여 세굴로 인한 제방붕괴를 보호하고자 연구를 수행하였으며 제방보호 방법으로는 베인을 설치함으로써 인해 발생하는 2차류를 이용하여 양안에 토사 퇴적을 유도하도록 하였다. 이후 연구에서는 베인 설치로 인해 발생하는 세굴을 이용하여 발전소의 취수구에서 토사퇴적을 저감시키는 연구(Electric Power Research Institute, EPRI)와 베인 설치 시 주요 인자를 변화시킴에 따라 발생하는 세굴 영역에 대한 연구가 진행되었다. (Fredrick Marelus)

베인 설치사례를 살펴보면 Nishnabotna River의 경우 베인 설치 후 약 50%의 하상 횡단경사가 감소되었으며 제방 근처의 유속을 10~20% 감소시켜 제방보호에 긍정적인 역할을 하였다.(Odgaard) 그림 4 는 Cedar River의 예상 및 실제 설치 전·후에 관한 모습을 보여주고 있다.

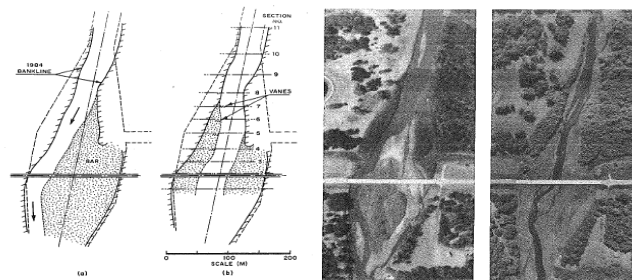


그림 3. 예상 설치 전·후 및 실제 설치 전('84년)·후('89년) (IIHR, 1991b)

2.4 호주

호주 빅토리아 주에서는 '수로 안정화를 위한 가이드라인'을 발간하여 수제설치를 위한 구체적인 현장조사 방법 및 각 인자별 가이드라인을 제시하고 있으며 특이한 점은 아래와 같이 부유물의 충격에너지를 고려한 수제안정성에 관한 추천 값도 구체적으로 제시하고 있다. 그러나 가이드라인이 공식적인 규칙으로 설계자에게 제시되는 것이 아니라 실제현장의 구체적인 사전조사와 설계자의 감각을 바탕으로 수제를 설계하는 것을 더욱 중요시하고 있다.

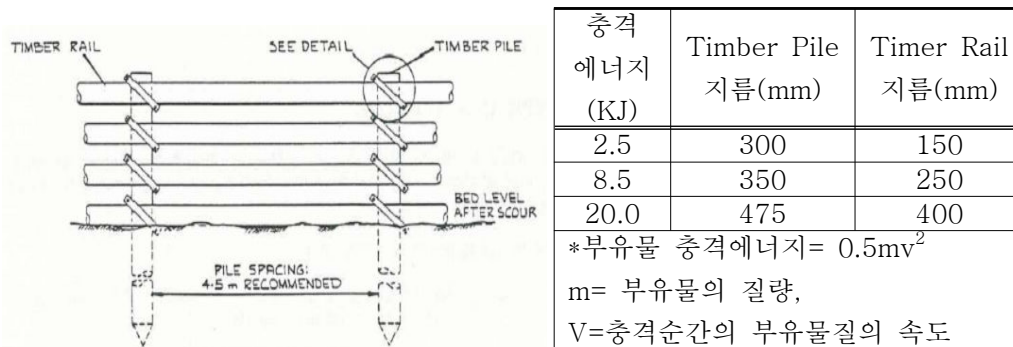


그림 4. Timber Pile & Timer Rail 지름 선정(목재 말뚝 수제인 경우)

2.5 유럽

네덜란드는 1980년대부터 치수목적의 수제가 Waal강을 비롯한 다수 하천에 설치되었으며 주운과 수상교통 등 이수목적의 하천 정비사업에도 수제공이 적용되고 있다. 특히 네덜란드 델프트 기술대학(TU Delft)에서 ‘하천 수제의 형태동역학’을 발간하여 수제에 관한 전반적인 이론들을 정리하고 있다. 목차를 정리하면 아래와 같다.

- 제1장 소개: 배경 및 연구목적, - 제2장 배경자료: 수제를 이용한 하천정비 / 네덜란드의 수제 / 수제 주변 흐름 / 주운효과, - 제3장 고정상 수로실험, - 제4장 이동상 수로실험, - 제5장 소규모 작용의 조합: 돌출 수제 / 수중 수제 / 높이가 낮은 수제의 효과, - 제6장 수제가 설치된 하천의 수치모의: 적정성 검토 / Delft-3D 기술 / 수치모의 / 영역관측의 질적 비교·분석, - 제7장 대규모 형태 - 사례조사: 조직적 체계 / 형태학적 모델링 / 수제역과 주수로 간 유사이동의 효과 / 낮은 높이의 수제, - 제8장 결론 및 추천 값, - 부록: 이동상 수로실험의 결과: 유속 / 부유사 / 하상높이 / PIV 측정기법

이밖에도 스위스 쥐리히주 ‘Sihl강’에 홍수로 인한 피해방지를 위해 거석을 이용한 여러개의 수제가 설치되었고 독일의 경우에는 다년간 축적된 수제관련 수리실험을 바탕으로 Elbe강에 수제를 설치하여 지속적인 현장모니터링을 실시하고 있다.

3. 국내 기술개발 동향 및 설계인자 분석

국내에서는 국립건설시험소(1987)에서 하천 만곡부 제방 세굴방지를 위한 실내실험으로 수제를 이용하였으며 건설기술연구원(2003)에서는 ‘다가능하천설계기준사업’의 일환으로 수제실내실험을 실시하여 수제 설치각도에 따른 수제 주변 세굴규모를 파악하는 연구를 비롯하여 투과율, 수제길이, 경사수제, 월류수제 등 인자별 수제 주변 세굴 및 퇴적, 흐름특성에 관한 기초적인 실험이 수행되었다.

국외의 수제인자에 관한 논문들을 살펴보면 특히 수제의 길이와 간격, 수제의 높이, 설치각도, 투과율에 관한 연구가 많이 진행되고 있다. 각 논문들을 살펴보면 일반적으로 수제의 간격은 수제 길이의 2~3배를 제시하고 있으며 수제의 높이에 관해 불투과수제일 경우 홍수위의 0.5m 이상 월류하지 않도록 설계하고 투과수제일 경우는 수제의 높이는 제방 높이의 1/3~2/3 값(Australia, 1991)을 추천하고 있다. 또한 수제의 설치각도에 있어서는 제방보호를 위한 제방근부 세굴방지 및 생태서식처 제공을 위한 수제두부의 세굴유발 등 각 목적에 따라 각기 다른 추천 값을 제시하

고 있으며 각 연구자 마다 실험범위 및 세굴측정 방법이 상이하여 다양한 추천 값이 제시되고 있다. 투과율에 관해서도 많은 연구가 이뤄지고 있는데 일반적으로 투과율 증가에 따라 세굴 및 퇴적이 감소하는 경향을 보였으며 미연방도로국(FHWA, 1985)은 만곡부와 직선부에서 투과율을 각각 35%, 50%로 할 것을 추천 값으로 제시하고 있다.

베인의 각도는 초기 연구부터 지금까지 가장 활발하게 연구가 진행되고 있는 설계인자이며 베인의 각도에 따라 세굴과 퇴적의 방향 및 크기가 다르게 형성된다. 베인을 이용한 제방보호가 목적인 초기 연구에서는 베인의 각도가 10~17°일 때 2차류 흐름을 지속적으로 감소시키며 이 때의 각도를 제방보호를 위한 최적의 각도라 언급하고 있다.(Odgaard, 1983) 90년대의 연구에선 40°가 가장 큰 2차류 흐름을 발생시키는 각도로 언급하고 있으며(Odgaard, 1998) 2000년대에 들어와서는 유사의 퇴적 방향조절을 위한 최적의 각도가 30°라 언급하고 있다.(Soon-Keat Tan, 2005)

4. 결 론

국내 하천설계 기준·해설(2005)에 따르면 수제의 일반적인 사항 및 설계, 시공, 재료에 관하여 설명하고 있으나 국외의 경험공식이나 사례를 그대로 인용하고 있는 실정이며 기 실시된 실내실험사례 또한 인자에 관한 분석을 실시하였으나 실제 하천설계 기술에 적용하기는 부족한 실정이다. 또한 국내 수제 설치 사례가 적어 수제 설치에 따른 변화양상을 관찰하기도 힘든 실정이다. 따라서 하천지형의 특징(하천 폭, 구배, 하상경사), 수제의 특징(수제길이, 형태, 각도), 흐름 조건(유량, 유속, 수심), 유사특성(비중, 입도분포) 등 각 인자에 관한 실험 및 모델링 기술 개발을 통해 구체적이고 실질적인 추천 값들이 제시되고 이를 통해 실제설치사례에 대한 모니터링 및 검토가 지속적으로 실시된다면 친환경적 수제설계기술 개발을 위한 가이드라인이 작성될 수 있을 것이다.

감 사 의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 한국건설기술연구원(2003). 다기능 하천 설계기준 사업, pp.95-139
2. A. Jacob Odgaard, Yalin Wang(1991). Sediment Management with Submerged Vanes 2 : Applications, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 117, No. 3, pp. 284-302
3. Standing Committee on rivers and Catchments, Victoria, Australia(1991), Guidelines For Stabilising Waterways, Ch4-Retards and Groynes
4. Mohamed F.M.Yossef(2005). Morphodynamics of rivers with groynes, Delft Hydraulics Select Series, No. 7/2005. ISBN 90-407-2607-8.
5. 中华人民共和国 交通部(2004). 《航道整治工程技术规范》항도정치규획설계규범(312-2003)
6. 日本國土交通省 國土技術定策綜合研究所(2008), 景観デザイン規範事例集(河川編), pp. 42-45
7. 日本國土交通省(2006), 美しい山河を守る災害復旧基本方針, pp. 48-49