

강원도 하천호안공법 개선방안

Improvement of River Revetment in Kangwon

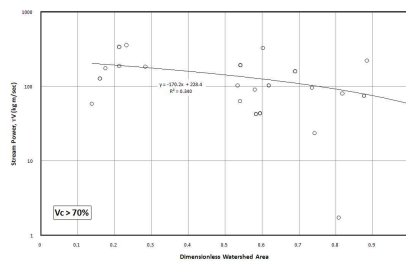
박상덕¹⁾ / 최한규²⁾ / 최종인³⁾ / 최흥식⁴⁾ / 홍종선⁵⁾

Park, Sang Deog / Choi, Han Kyu / Choi, Heung Sik / Choi, Jong In / Hong, Jong Sun

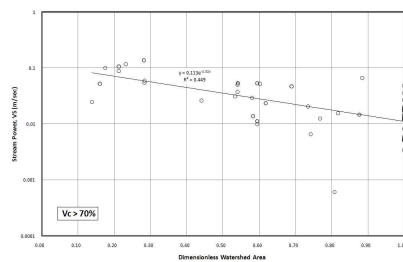
요 지

강원도의 약 89%가 산지로 되어 있기 때문에 강원지역 주민의 거주지는 대부분 홍수 피해를 강하게 받는 계곡이나 하천변에 잡고 있으며 매년 반복되는 홍수의 피해 위험이 높다. 따라서 홍수 시 생활공간을 보호하기 위한 제방의 안전성을 확보하는 것은 강원도의 하천관리에서 가장 중요한 점이다. 호안공법은 일반적으로 하천의 생태계나 경관적인 측면에서 부정적인 경우가 많은 인공시설물이기 때문에 최근에는 자연과 어울리는 친자연형 호안공법을 추구한다. 본 연구는 강원도 내 1개 국가하천 6개 지점, 214개 지방하천 2,760개 지점에 대한 하천 호안공법의 종류, 식생상태, 하천특성, 호안파괴 특성 등을 조사하고 하천호안공법 적용 하천특성과 호안공법, 식생 등의 관계를 분석하여 강원도형 호안공법 개발의 기초자료를 제공하는 데 목적이 있다. 강원도에 설치된 호안공법은 망태형, 붙임형, 블록형, 쌓기형, 옹벽형으로 구분할 수 있으며, 영동지역은 망태형 25%, 옹벽형 20.1%, 블록형 18.3%를 차지하고 있으나 영서지역 하천은 쌓기형 32.9%, 망태형 19.2%, 옹벽형 16.6%를 나타내고 있다. 두 지역에서 옹벽이 16%이상을 차지하는 것은 하천경사가 급하고 만곡 수층부가 많아 홍수 시 구조적인 안정성이 큰 옹벽을 통한 호안보호에 따른 것으로 판단된다. 옹벽을 제외하면 하천평면이 호안공법 선택에 큰 영향을 미치지 않은 것으로 보이며 오히려 하천경사나 하천재료 특성이 반영된 것으로 판단된다. 호안파괴의 원인은 홍수 시 하상의 세굴이다. 그러나 옹벽호안은 국부적인 하상세굴에도 콘크리트 구조특성으로 쉽게 파괴되지는 않는 것으로 판단된다. 보 하류지점에 설치된 돌망태 호안은 하상저하와 보에 의한 유향변동으로 발생한 강한 수층현상에 의해 파괴되는 것으로 조사되었다.

호안의 식생 활착은 블록형, 망태형, 쌓기형 호안의 순으로 양호한 것으로 나타났다. 망태형이나 쌓기형 호안은 영동지역보다는 영서지역에서 높은 식생 피복도를 나타냈으며, 이는 하천의 경사와 호안의 침수빈도와 관계가 큰 것으로 판단된다. 식생블록형 호안은 지역 구분 없이 식생피복도가 높고 하천경사나 재료특성에도 불구하고 강원도의 하천호안공법으로 우수한 기능을 한다. 시급히 식생을 도입하고자 하는 경우 식생블록형 호안이 추천되며 호안공의 안정성과 식생의 다양성 측면에서는 망태형 호안공법이 추천된다.



τV 와 무차원 유역면적



SV 와 무차원 유역면적

핵심용어 : 호안공법, 돌망태, 식생호안블록, 돌붙임, 돌쌓기, 옹벽

- 1) 정희원 · 강릉대학교 토목공학과 교수 · E-mail : sdpark@kangnung.ac.kr
- 2) 정희원 · 강원대학교 토목공학과 교수 · E-mail : hankuy@kangwon.ac.kr
- 3) 정희원 · 강원대학교 토목공학과 교수 · E-mail : jichoi@kangwon.ac.kr
- 4) 정희원 · 상지대학교 토목공학과 교수 · E-mail : hsikchoi@sangji.ac.kr
- 5) 정희원 · 강릉대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail : hjsuny@naver.com

1. 서론

강원도는 약 89%가 산지로 되어 있고 지역 주민의 대부분이 하천변에 삶의 터전을 잡고 있기 때문에 매년 반복되는 홍수에 의한 피해 위험이 높다. 따라서 홍수 시 생활공간을 보호하기 위한 제방의 안전성을 확보하는 것은 강원도의 하천관리에서 가장 중요한 점이다. 강원도 하천에는 제방 보호를 위해서 현재 다양한 호안공법들이 설치되었다. 호안공법은 일반적으로 하천의 생태계나 경관적인 측면에서 부정적인 경우가 많은 인공시설물이기 때문에 최근에는 자연과 어울리는 친자연형 호안공법을 추구한다. 본 연구는 강원도 내 5개 국가하천과 258개 지방하천 중에 강원북부 접경지역 하천과 유역면적 10km²이상인 총 215개 하천의 2,766지점에 대한 하천 호안공법의 종류, 식생상태, 하천특성, 호안과피 특성을 조사하고 하천호안공법을 적용한 하천의 특성과 호안공법, 식생, 경관 등과의 관계를 분석하여 강원도형 호안공법 개발의 기초자료를 제공하는 데 목적이 있다.

표 1. 하천호안 전수조사

구분	지정하천	호안조사		비고
		하천	지점(개소)	
국가하천	5	1	6	
지방하천	258	214	2,760	지방1급 : 5개 하천 220개 지점 지방2급: 209개 하천 2,540개 지점 조사구간 총연장 2,915.48km
계	263	215	2,766	

2. 강원도의 호안공법 특성

2.1 호안공법 분류 및 특성

강원도의 호안공법은 일반적으로 돌쌓기(쌓기형), 돌망태(망태형), 돌붙임(붙임형), 식생블록을 포함한 콘크리트 블록(블록형), 옹벽(옹벽형)으로 이루어져 있다. 치수안정성에 중점을 둔 옹벽의 경우 호우 시 제방 보호기능이 탁월하지만 식생 활착이 거의 이루어지지 않으며, 장기간에 걸친 넝쿨식물로 인한 식생 활착이 대부분이기 때문에 식생에 의한 자연형 수변경관 형성에 어려움이 있다. 돌망태 호안공법은 강원도에서 가장 많이 사용하는 호안공법 중 하나로 침수빈도와 하천 상태에 따라 다양한 식생분포를 나타낸다. 즉 침수빈도가 적은 지역에서는 돌망태 호안에는 식생이 거의 도입되지 않고 침수빈도가 높은 하류지역에서는 식생이 도입되어 호안을 모두 덮어버리는 경우가 많았다. 또한 돌망태 호안공법은 보 등의 하천구조물 하류나 하천 만곡지역 수충부에서 홍수시 하상저하 또는 국부세굴에 따라 파괴된 사례가 조사되었다. 2006년 7월 집중호우에 따른 홍수피해 이후 평창지역 하천에는 우리나라에서 개발된 대부분의 식생호안블록들이 설치되었다. 식생호안블록은 시공이 간편하고 식생 활착에 유리하지만 수충부와 하상세굴에 약하기 때문에 비교적 만곡 내측호안이나 직선구간 하천으로서 하상이 비교적 안정된 지역에 설치된 것을 알 수 있다. 돌붙임 공법은 식생 활착과 호안보호기능이 비교적 우수하나 돌붙임을 위한 재료로서 콘크리트로 틈새를 메우는 경우가 많아 식생활착이 불가능한 것이 다수 조사되었다.

2.2 영동과 영서지역 호안공법 비교

강원도의 하천은 상류는 급하고 중하류는 완만한 영동지역과 비교적 고지대 산지에 자리한 영서지역으로 구분된다. 하천 호안이 하천의 지역적인 특성을 반영하는 것으로 볼 수 있으며 영동지역은 망태형 25%, 옹벽형 20.1%, 블록형이 18.3%를 차지하고 있으나 영서지역 하천은 쌓기형 32.9%, 망태형 19.2%, 옹벽형이

16.6%를 나타내고 있다. 호안설치 지점에서 대안에 호안이 설치되지 않은 지점은 영동에서 20.7%이고 영서 지역에서는 22.5%를 차지하였다. 두 지역 모두 옹벽이 16%이상을 차지하는 것은 하천경사가 급하고 만곡 수층부가 많아 홍수 시 구조적인 안정성이 큰 옹벽을 통한 호안보호에 따른 것으로 판단된다. 옹벽을 제외하면 하천 평면이 호안공법 선택에 큰 영향을 미치지 않은 것으로 보이며 오히려 하천경사나 하천재료 특성이 반영된 것으로 판단된다. 망태형은 영동지역, 쌓기형은 영서지역에서 점유율이 큰 것으로 조사되었다.

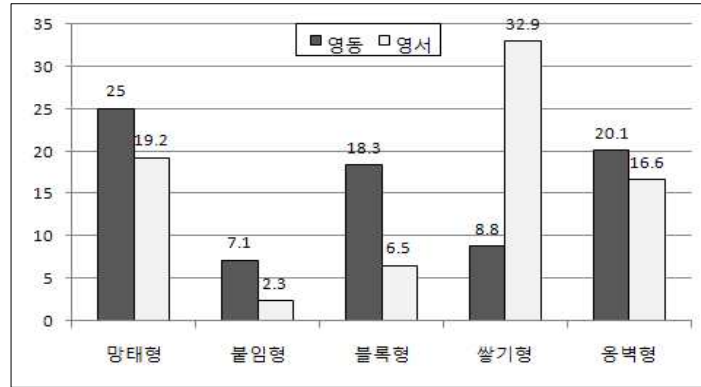


그림 3. 영동-영서에 따른 적용 호안공법 분류

3. 호안공법의 수리특성

3.1 호안의 식생도입 및 변화

식생은 호안공법을 시공한 후 경과년수와 침수빈도에 따라 달라진다. 특히 콘크리트 블록을 제외한 공법의 경우 호안공이 호안의 토사를 전부 덮고 있는 경우가 대부분이기 때문에 식생이 활착하기 위해서는 일정한 시간이 필요하다. 또한 적당한 정도의 침수가 발생하여 공법 상부에 토사가 퇴적되면서 식생이 자랄 수 있는 조건을 갖추게 된다. 이러한 이유로 현재 일부 호안공법에는 공법 상부에 토사를 인위적으로 포설하는 등의 추가적인 작업을 하는 경우가 빈번하다. 본 연구에서는 호안공법 시공 후 호안의 식생 도입 여부와 장단기적인 피복도 변화를 조사한 결과 표 2와 같고 호안공법별 우점종은 표3과 같다.

표 2. 호안공법별 식생의 도입 및 변화

호안공법	호안 침수빈도	식생 도입		식생피복도	
		단기	장기	단기	장기
망태형	대	L	B	L~W	G
	소	W~U	N~L	W~U	N~W
붙임형	대	W	N~W	W~U	G~W
	소	U	L~W	U	L~W
블록형	대	N	B	N~L	G
	소	L~U	B~L	N~W	N
쌓기형	대	W	N~W	W~U	G~W
	소	U	L~W	U	L~W
옹벽형	대	U	U	U	L~W
	소	U	U	U	W

B : 매우양호, G : 양호, N : 보통, L : 낮음, W : 매우 낮음, U : 불가

표 3. 호안공법 별 식생의 우점종

구분	피복도(%)	제1우점종수	제2우점종수	우점변화종수
망태형	30이하	33	32	2
	30-70	32	19	5
	70이상	30	17	6
불입형	30이하	8	5	3
	30-70	5	6	3
	70이상	4	2	2
블록형	30이하	4	4	4
	30-70	11	7	5
	70이상	16	15	9
쌓기형	30이하	29	29	12
	30-70	15	6	3
	70이상	16	13	6
옹벽형	30이하	15	13	5
	30-70	17	8	4
	70이상	15	10	4

3.2 식생 피복도별 호안공법과 하천수리

호안공법별 수리분석을 위하여 유역면적을 하천특성으로 고려하고, 수리특성으로는 하상에 작용하는 단위 면적당 유수의 힘을 나타내는 Bagnold 유수력(stream power)과 유수의 단위중량당 위치에너지 소비율을 나타내는 Yang의 단위유수력(unit stream power)을 사용하였다. 하천의 수리특성, 호안공법, 식생피복 간의 관계를 조사하였으며 그림 2와 3은 각각 영동과 영서지역에서 Bagnold의 유수력과 망태형 호안의 피복도 관계를 나타낸 것이다. 여기서 알 수 있듯이 망태형 호안은 영서지역보다 영동지역에서 피복도가 작고 유수력이 100이상인 경우를 비교하면 영동지역은 30%미만의 피복도를 나타내나 영서지역에서는 피복도가 작은 것부터 큰 것까지 고르게 분포하였다. 이는 유수력이 큰 경우 영서지역 하천의 호안 침수빈도가 영동지역보다 크기 때문인 것으로 판단된다.

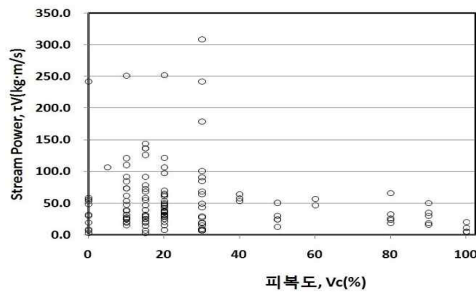


그림 4. 영동지역 망태형 호안공법의 유수력과 피복도

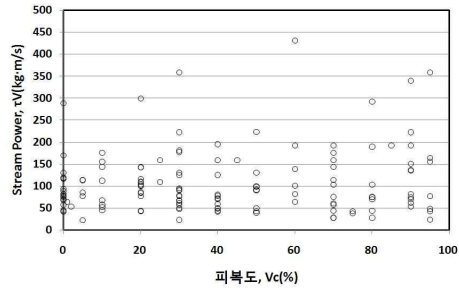


그림 5. 영동지역 망태형 호안공법의 유수력과 피복도

불입형 호안은 $Vc-dwA-sP$ 관계, 즉, 호안식생 피복도(Vegetation Coverage)-무차원 유역면적(Dimensionless Watershed Area)-유수력(Stream Power)의 관계가 거의 없는 것으로 판단된다. 블록형 호안에서 $Vc-dwA-sP$ 의 관계는 식생피복도가 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났다. 이는 블록형 호안의 대부분이 식생호안블록을 지향하고 있기 때문에 하천의 자연성보다 인위적인 식생도입 요인이 크게 작용하기 때문인 것으로 판단된다. 쌓기형 호안에서는 식생피복도가 70%이상일 때는 무차원 유역면적과 유수력 간의 관계가 있고 그 이하 피복도에서는 거의 관계가 없는 것으로 나타났다. 또한 옹벽호안에서 $Vc-dwA-sP$ 의 관계는 거의 없는 것을 알 수 있다. 옹벽호안에 식생이 도입된 경우는 대부분 옹벽 상하부에 번무한 식생이나 덩굴식물 등이 영향을 미치고 있기 때문에 하천의 수리이하학적인 영향이 매우 미미한 것으로 판단된다. 그림 4와 5는 망태형 호안에서 식생피복도가 70%인 경우 Bagnold의 유수력-무차원 유역면적, Yang의 단위

유수력-무차원 유역면적의 관계를 나타낸 것이다.

표 4. 호안공법별 Vc-dwA-sP의 결정계수

공법구분		Vc-dwA-sP의 결정계수		
		피복도 70%이상	피복도 30~70%	피복도 30%이하
망태형	B	0.3400	0.2760	0.0106
	Y	0.4490	0.3180	0.0060
붙임형	B	0.2857 ¹⁾	0.6039 ²⁾	0.0310
	Y	0.3785 ¹⁾	0.8819 ²⁾	0.0160
블록형	B	0.1863	0.0647	0.4093
	Y	0.1862	0.0792	0.2647
쌓기형	B	0.1999	0.0020	0.0244
	Y	0.3172	0.0016	0.0414
옹벽형	B	0.0086	0.0006	0.0542
	Y	0.0153	0.0489	0.0576

B : Bagnolds의 유수력, Y : Yang의 단위유수력

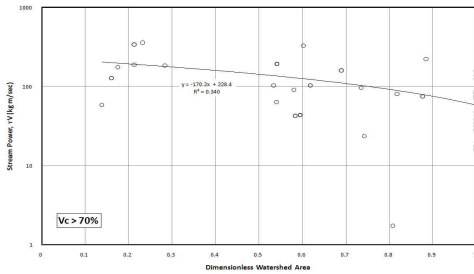


그림 4. τV 와 무차원 유역면적

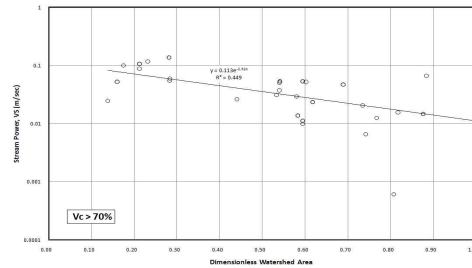


그림 5. SV와 무차원 유역면적

4. 호안공법 개선방안

강원도 하천에 설치되어 있는 호안공법의 문제점과 그 개선방안을 정리하면 표 5와 같다.

표 5. 호안공법별 문제점 개선방안

구분	문제점	개선방안
망태형	<ul style="list-style-type: none"> 호안 하부의 하상세굴에 취약하다. 침수빈도가 낮고 하상재료가 큰 경우 식생도입이 높다. 	<ul style="list-style-type: none"> 호안머리보호공의 깊이를 충분히 크게 하고 보다 더 큰 직경의 돌을 망태에 투입하여 포설한다. 식생도입을 촉진하기 위하여 망태위에 적당량의 토사를 포설한다.
붙임형	<ul style="list-style-type: none"> 식생도입이 매우 낮고 식생의 다양성이 낮다. 호안 및 하상의 세굴에 대한 안정성성이 낮다. 	<ul style="list-style-type: none"> 식생도입을 촉진하기 위하여 호안 상단부나 하단부에 덩굴식물을 식재한다. 호안이나 하상의 세굴위험이 큰 만곡부수층부나 보하류 호안설치는 피한다.
블록형	<ul style="list-style-type: none"> 호안 및 하상의 세굴에 대한 안정성이 낮다. 식생의 다양성이 낮고 식생호안블록이 아닌 경우 식생도입이 높다. 	<ul style="list-style-type: none"> 호안이나 하상의 세굴위험이 큰 지역을 피한다. 식생호안블록을 설치하되 식생은 설치지역 하천변에 자생하는 식생을 선정한다.
쌓기형	<ul style="list-style-type: none"> 호안식생 도입이 낮고 식생의 다양성이 낮다. 호안 및 하상의 세굴에 대한 안정성성이 낮다. 	<ul style="list-style-type: none"> 식생도입을 촉진하기 위하여 호안 상단부나 하단부에 덩굴식물을 식재한다. 호안이나 하상의 세굴위험이 큰 만곡부수층부나 보하류 호안설치는 피한다.
옹벽형	<ul style="list-style-type: none"> 호안식생 도입이 매우 낮고 식생의 다양성이 낮다. 	<ul style="list-style-type: none"> 식생도입을 촉진하기 위하여 호안 상단부나 하단부에 덩굴식물을 식재한다.

5. 결론

강원지역 하천에 대한 호안공법 조사결과 호안공법이 갖는 인위성을 식생피복으로 줄여줄 수는 있으나 지역과 호안공법 및 설치 후 경과년수에 크게 영향을 받는 것으로 판단된다. 호안의 식생 활착은 블록형, 돌망형, 쌓기형 호안의 순으로 양호한 것으로 나타났다. 망태형이나 쌓기형 호안은 영동지역보다는 영서지역에서 식생피복도가 양호하였으며, 이는 하천경사와 호안의 침수빈도에 관계가 큰 것으로 판단된다. 블록형 호안은 영동과 영서지역의 구분 없이 식생피복도가 높아 하천경사가 크고 하상재료가 큰 점에도 불구하고 하천호안 공법으로 우수한 기능을 하는 것으로 판단되며, 식생을 조기에 도입하고자 하는 경우 식생블록형 호안이 추천되며 호안공의 안정성과 식생의 다양성 측면에서는 돌망태 호안공법이 추천된다. 본 연구는 강원도 하천의 호안공법 파괴사례를 조사하고 호안 설치지점의 하천특성 및 호안공법과 관련하여 식생 및 하천수리 측면에서 강원지역 하천에 적합한 호안공법 선정기법을 제시하고자 하였으나 조사기간 중 호안의 파괴사례가 매우 작았다. 따라서 향후 홍수에 따른 호안피해 발생시 이를 지속적으로 수집하여 하천수리특성과 연계하여 분석하고자 한다.

감 사 의 글

본 연구는 “강원도형 하천호안공법 개선방안 연구”에 의해 이루어졌으며 강원도의 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 박상덕, 2006년 7월 장마에 의한 강원산간지역 홍수재해 특성과 대책, 한국수자원학회지 Vol. 39, No.8, pp.38-45, 2006.
2. 환경부, 사람과 생물이 어우러지는 자연환경 보전, 복원, 창조기술의 개발-국내 연건에 맞는 자연형 하천 공법의 개발(2권), 한국건설기술연구원, 제3차년도 연차보고서, 1999.
3. Chang, H. H., Fluvial Processes in River Engineering, Krieger Pub. Co. 2002.
4. Gurnel A. and G. Petts, Changing River Channels, John Wiley & Sons Ltd. 1995.
5. Harper, D. M. and A. J. D. Ferguson, The Ecological Basis for River Management, John Wiley & Sons, 1995.
6. Hickin, E. J. River Geomorphology, John Wiley & Sons, 1995.
7. Petersen, M. S., River Engineering, Prentice-Hall, 1986.
8. Yang C. T, Sediment Transport -Theory and Practice, Prentice-Hall, 1996.