

축척에 따른 월파량 변화에 관한 실험적 연구

A Experimental Study on a change of wave overtopping volumea with a reduced scale

박현수* · 이상진** · 박상길***

Park, Hyun Soo · Lee, Sang Jin · Park, Sang Kil

요 지

최근 빈번하게 발생하는 기상이변현상의 하나로 발생한 제14호 태풍 “매미”는 한반도 남부지방을 통과하면서 강풍과 해일을 동반하여 해안에서는 해일이 발생하여 평균해수면의 상승과 파의 쳐올림(run up)에 의한 월파량(wave overtopping volume)으로 예상치 못한 침수피해가 속출하였다.

태풍으로 인한 주된 피해로써 특히, 침수피해는 이상고조로 인해 평균수위 상승이 만조와 겹침으로써 기존의 호안, 제방 등의 천단고를 넘어서 파의 쳐올림에 의한 월파량으로 호안 배후지의 침수피해가 발생하게 된다. 이러한 월파현상에서 월파량이 축척되면서 배후지에 축척된 수량에 의해 침수피해가 발생하는 근본적인 원인은 파의 쳐올림의 높이에 비해 호안의 제방 높이가 상대적으로 낮다는 데 있다. 우리나라 매립지의 지반고는 과거에 설계 시공한 인근 매립지의 지반고와 동일한 높이로 하고 있는 데 이러한 개념은 인근 지대와 동일조건을 부여하여 배후지에서 발생할 수 있는 여러 가지 문제점을 해결할 수 있는 장점이 많지만, 이런 설계방법은 해안공학적인 측면이 강조되어 설계되었다기보다 사회 경제적 측면을 강조하여 설계되어 왔기 때문에 이번과 같은 태풍에 대한 방재대책이 될 수 없었던 것이다. 따라서 원만한 방재대책이 수립되기 위해서는 과거의 설계방법을 탈피하여 현지조건을 정확하게 조사한 후 이를 근거로 하는 설계가 요구된다.

본 연구는 해안공학적인 측면에 중점을 두고 수행하였다. 첫째로, 태풍 제14호 “매미”의 현황을 파악하여 조석현황과 이상고조, 파고추정의 범위를 결정한다. 또, 부산지방의 피해현장을 조사하여 피해의 유사성을 밝힌다. 둘째로, 송도 매립지 호안 전면에서의 월파현상과 월파량을 검토한다. 셋째로, 대체블록에 대해 간략 계산을 통해 유동성을 검토하였다.

이와 같은 연구과정을 통해 태풍이 내습했을 때 호안 배후지내의 월파량 현상을 2차원 수리모형실험을 통해 재현시켜 검토하고, 월파량을 평가기준으로 축척모형을 해안수리학적인 측면에서 검증하였다. 본 2차원 수리모형실험에서 재현시킨 월파량이 현실적으로 어느 정도의 월파량이 되는지는 계산에 의한 방법으로만 추정할 수 있으며, 여기서는 2차원 수리모형실험을 실시했던 자료를 이용하여 현재까지 알려진 방법으로 몇 가지 경우 즉, 현실적으로 일어날 가능성이 있는 최악의 경우에 대해 계산한 결과, 동일조건에서 축척이 적을수록 추정 월파량이 많음을 알 수 있었다. 이것은 태풍이 내습하여 현실적으로 발생했던 월파량이 더욱 많았음을 유추할 수 있다. 또한, 태풍과 같은 자연재해, 특히 월파량에 대해 취약한 구조를 가진 호안의 경우 여러 가지 대안 중 인공쇄파대(artificial reef)와 같은 완충지대를 갖는 호안을 축조함으로써 월파량을 감소시키는 대안으로 제시하고자 한다. 본 연구 수행을 통해 태풍 내습시 발생 가능한 자연재해에 대한 사전 방지를 목적으로 태풍피해의 원인을 제시하고 이를 해결하여 현재의 방재대책이 항구적인 방재대책으로 전환될 수 있는 방안 마련의 기초 자료로 활용되기를 기대한다.

핵심용어 : 수리모형실험, 파의 쳐올림, 월파량, 인공쇄파대

* 정회원 · 부산대학교 토목공학과 석사과정, 부산광역시도시개발공사 (hspark@pusan.ac.kr)
** 정회원 · 부산대학교 토목공학박사 (jiny@pusan.ac.kr)
*** 정회원 · 부산대학교 토목공학과 교수 (sakpark@pusan.ac.kr)

1. 서론

제14호 태풍 “매미”가 한반도 남부지방을 통과하면서 많은 피해를 남기고 갔다. 이번 태풍은 자연재해를 발생시킬 수 있는 위력적인 태풍이었다.

본 연구의 목적은 송도 매립지 호안의 월파랑 검토를 통해 태풍“매미”와 같은 위력을 가진 태풍이 내습했을 때 피해원인을 근본적인 차원에서 조사하여 태풍으로부터 발생하는 자연재해를 사전에 방지하기 위해 이번 태풍으로 인한 피해의 원인을 제시하고 이를 해결하여 방재대책이 항구적인 방재대책으로 전환될 수 있는 기본계획을 하는 데 기초자료로 활용하고자 하는데 있다.

2. 2차원 수리모형실험

2.1 실험목적

본 2차원 수리모형실험은 태풍 제14호인 매미가 내습했을 때 송도호안의 배후지내의 월파랑 현상을 재현시켜 월파랑을 축척모형을 통해 해안수리학적인 측면에서 검토하고자 하는 데 있다.

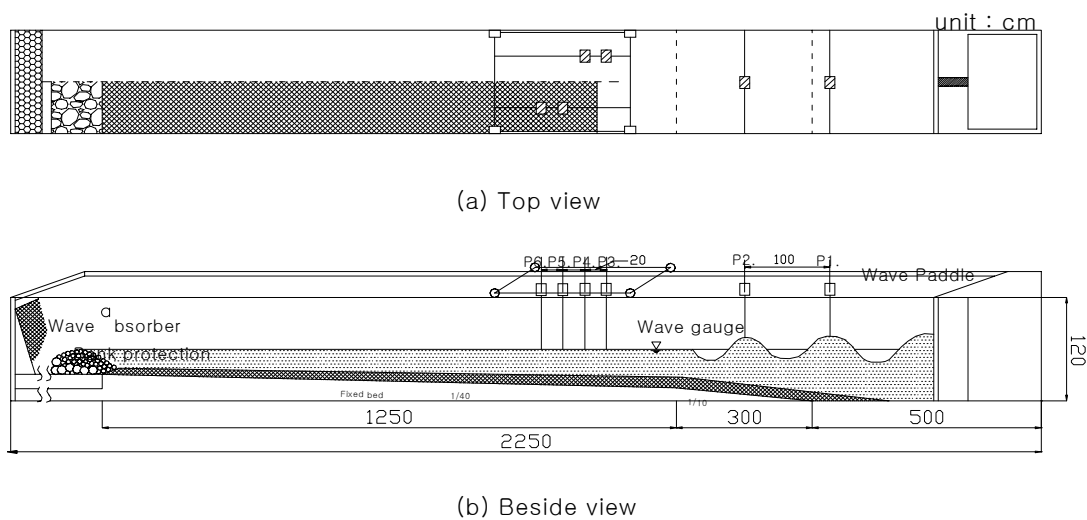
2.2 수리실험의 조파수조

송도호안의 단면에 대한 입사파랑 및 월파랑 측정은 부산대학교 토목공학과 수리 실험실에 있는 2차원 조파 수조에서 실시했으며, 수조의 제원은 <그림2-1>과 같다. 이번 실험에서는 파고계를 P2지점에 설치하여 이지점의 파고를 태풍시의 내습파고를 수리실험을 실시하였다.

수조의 길이 : 22.5m

수조의 높이 : 1.2m

수조의 폭 : 0.6m



<그림 2-1> 2차원 조파 수조의 단면도

본 과업에서는 2차원 조파수조의 가운데에 격벽을 설치하고 수조폭의 반인 30cm를 취하여 2차원 수리실험을 실시했다. 해저경사는 대상으로 하는 송도 매립지 전면의 해저경사를 모델로 1/50을 사용했다. 파고측정 위치(P1)와 호안 구조물 설치지점 등을 <그림 4-1>에 표시하였다.

2.3 모형축척

2차원 수리실험을 실시하기 위해서 모형축척을 결정해야 한다. 축척은 수조의 규모와 해상조건을 염두에 두고 기하학적 상사법칙을 적용하여 결정되었다. 제1실험인 1/30, 제2실험인 1/40, 제3실험인 1/50로 모형축척을 결정 하였다. 이는 태풍에 대한 모든 조건을 재현하기 위한 것으로 실제 호안의 충분한 상황을 설명하기 위한 것이다. 이들 모형을 만들기 위해서 사용한 길이의 차원은 $l_m = S \cdot l_p$ 이며, 시간의 차원은 $t_m = \sqrt{S} \cdot t_p$ 이다.

2.4 수리실험

수리모형실험은 파랑이 처음에 발생된 4파 정도는 통과를 시키고 5파에서부터 9파까지를 호안을 넘어오는 전랑을 용기에 수거하여 메스실린드에 넣어서 유량을 측정하였다. 월파랑의 누수량을 줄이기 위해 호안의 천단고에 비닐 테이프를 바르고 파고가 부딪쳐 올라오는 월파랑을 완벽하게 차단하기 위하여 비닐을 상단에 씌워서 월파랑이 분산되는 양을 방지하였다. 월파랑 측정시 오차를 없애기 위해 3회 측정하여 평균을 월파랑으로 결정하였다.

3. 월파랑 분석

3.1 월파랑

3.1.1 월파의 현상과 정의

파랑이 해안제방이나 호안에 부딪쳐서 발생하는 파랑의 쳐올림 높이(run-up of waves)는 구조물의 천단고를 결정하는 중요한 인자이다. 그러나 파랑의 쳐올림 현상은 파랑의 특성, 제방의 형상과 설치위치, 해저지형, 바람의 유무 등 여러 가지 인자에 지배되어서 복잡하게 변화한다. 수평면과 일정한 각을 이루는 균일한 경사의 해저에 직립제 혹은 경사제 호안을 설치한 경우와 같이 비교적 단순한 상황이라도 파랑의 쳐올림 높이는 파랑이 호안전면에서 쇄파하는 경우와 쇄파하지 않는 경우에 따라서 서로 다르다. 파랑의 쳐올림 높이가 제방이나 호안의 높이보다 높을 경우 해수는 마루를 넘어서 육상으로 유입된다. 이때의 유입량을 월파랑이라고 한다. 제방 1m 당 1파가 유입되는 월파랑을 $Q(m^3/\text{파} \cdot m)$ 로 표시하고, 또는 단위폭당 1초당 월파랑을 $q(m^3/\text{sec} \cdot m)$ 로 나타내고 있다. 특히 후자의 경우를 월파유량이라고 한다. 구조물의 형상이 비교적 단순한 경우, 파랑의 쳐올림 높이 및 월파랑을 기존의 실험에 의한 산정도표를 이용해 구할 수 있다. 이와 같은 산정도표는 해저경사, 환산심해파고, 전면수심 및 천단고를 매개변수로 하여 소파공이나 根固工이 설치되어 있지 않은 단순한 형태의 직립호안을 대상으로 작성되어 있다. 그외의 경우는 파랑의 쳐올림 높이 및 월파랑에 대한 산정도표를 작성하는 것이 사실상 불가능하다. 따라서 신뢰할 수 있는 월파랑을 구하기 위해서는 반드시 수리모형 실험을 실시해야만 한다.

3.1.2 허용 월파량

월파량의 평가기준은 여러가지 관점에서 평가되지만 경우에 따라 월파량이 달라지는 복잡한 현상이 있기 때문에 여기서는 일반화하여 널리 이용하고 있는 미국의 'shore protection manual', 일본의 '항만시설의 기술상의 기준', 한국의 '항만 및 어항설계기준' 을 사용하였다.

이들 기준서들은 대부분이 항만의 구조물을 설계할때 허용 월파량을 가지고 평가하고 있다. 일반적으로 해안에 축조된 호안만으로 호안의 천단고를 높게 설치하여도 내습하여 오는 파를 완전히 차단하여 완벽한 월파량을 방지하기는 매우 어렵다. 아울러 내습파량을 완전히 차단하여 월파량을 완전히 차단하기 위하여 천단고를 높이게 되면 거대한 호안 구조물이 축조되어야 하므로 과다설계가 되어서 경제적인 측면에서 많은 비용이 소요된다. 그리고 동시에 해안에 축조된 거대구조물은 시야를 차단시켜 자연이 인간에게 제공하는 천혜의 조망권을 앗아가 버린다. 이런 이유로 일본에서는 기존의 높은 호안을 없애고, 자연이 제공하는 특권을 인간에게 되돌리기 위해 기존의 호안 전면에 인위적으로 수심을 얕게 하는 구조물을 설치하여 해안에 대한 친수성을 높이는 방향으로의 해안정비를 시도하고 있다. 이런 관점에서 허용 월파량의 평가개념이 정립되었으며 허용 월파량의 평가기준은 배후지의 이용상황 등의 조건에 따라서 설정되어 있다. 즉 태풍이 내습할 때 어느 정도의 월파를 허용한다는 개념에는 호안의 높이를 될 수 있는 한 낮게 하여 해안에서 바다를 바라볼 수 있는 조망권을 시민이 갖도록 하려는 의도가 내재되어 있다. 특히 이번 태풍과 같이 해일과 만조시각이 동시에 만날 수 있는 조건은 확률적으로 거의 발생하지 않다. 하지만 동시에 발생하였기 때문에 이것을 염두해 두고 모든 설계를 하는 것은 비경제적으로 지적하고 있다. 월파량에 대한 허용치는 배후지의 이용관점과 호안의 방재능력에 따라 그 값이 다르며 완벽하게 시공된 호안이라도 장시간 파랑에 노출되어 있으면 직립부나 비탈면 피복재의 파괴는 피할 수 없게 된다. 福田(HUKUDA)가 제안한 배후지의 이용상황에 대한 허용 월파량(90%와 50% 안전한계 월파량)과, 습田(GODA)가 제안한 구조물의 파괴수준에 대한 허용 월파량(피해한계 월파량)을 참고할 수 있다.

본 실험에서 대상으로 하고 있는 부산 송도매립지는 도심속에 있기 때문에 주택지 이상의 월파량 평가기준을 적용해야 한다. 배후지의 이용상황에 대해서는 福田(HUKUDA)의 보행자도로와 자동차도로로서 福田의 허용월파량인 90%와 50% 안전한계 월파량을 중심으로 비교 검토하기로 한다. 구조물의 파괴수준에 대해서는 습田(GODA)의 피해한계 월파량 중 가장 하한치인 천단에 피복공이 없는 제방을 기준으로 설정하였다.

3.2 월파량 계산

수리모형실험에서 재현시킨 월파량이 현실적으로 어느 정도의 월파량이 되는지는 계산에 의한 방법으로만 추정할 수 있다. 여기서는 수리모형실험을 실시했던 자료를 이용하여 현재까지 알려진 방법으로 몇 가지의 경우에 대해서만 계산해 보기로 한다. 계산에 사용된 실험 경우는 해일이 0.9m의 경우로 주기15초 한정했고, 파고는 각각의 축척에서 가장 크게 발생시켰던 경우와 실제파고 5m의 경우로 한정시켜 계산을 실시하여 <표 3-1>과 같이 정리하였다. 즉, 현실적으로 일어날 가능성이 가능했던 최악의 경우만을 계산하였다.

<표 3-1> 수리실험에 의한 추정 월파량

모형 축척	조위 (해일)	내습 파고	모형 실험유량 ($\times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$)	실제 계산유량 ($\times 10^4 \text{m}^3/\text{s}$)
1/30	H.H.W.L +0.9m	5.1m	9.3	8.2
1/40	H.H.W.L +0.9m	5.4m	7.7	2.2
		6.6m	14.0	4.4
1/50	H.H.W.L +0.9m	5.2m	2.5	1.7
		10m	19.0	7.6

4. 결 론

4.1 축척에 따른 월파량 변화

계산을 실시한 경우는 <표 3-1>에 의하면 동일조건에서 축척이 적을수록 추정 월파량이 많음을 알 수 있다. 이것은 태풍이 내습하여 현실적으로 발생했던 월파량이 더욱 많았음을 유추할 수 있다.

4.2 월파에 대한 호안의 개선방향

송도 매립지 호안은 현 상태로서는 매미와 같은 태풍에는 월파량을 감소시킬 수는 없기 때문에 적절한 대안이 요구된다. 여러가지 대안이 있을 수 있지만 인공쇄파대(artificial reef)와 같은 완충지대를 호안 전면에 축조하므로 월파량을 감소시킬 수 있는 대안으로 제시할 수 있다.

감 사 의 글

본 연구의 실험 및 논문 정리와 지도를 위해 아낌없는 격려와 지원을 해주신 저의 가장 존경하는 은사님, 부산대학교 토목공학과 박상길 교수님에게 감사의 마음을 전해 드리며, 직장생활과 대학원 생활로 인해 좀 더 많은 시간을 함께 하지 못한 사랑하는 나의 아내 경아와 이제 생후 막 7개월이 된 사랑하는 나의 딸 진서에게 미안함과 고마움의 마음을 함께 하고자 합니다.

참 고 문 헌

1. 박상길, “월파특성에 따른 월파량 산정모델”, 부산대학교, 1987.
2. 박상길, “민락동 공유수면 매립공사 수치 및 수리모형실험”, 1995.
3. 강주복, “수리학”, 구미서관, pp. 618-631, 1996. 2.
4. 김성모, “경사호안 월파량 산정에 관한 연구”, 1997. 2.