



태풍내습시 연안역의 침수재해를 야기시키는 해일 · 파랑에 의한 월류 · 월파 특성

강 윤 구 >>

삼성물산(건설부문) 토목사업본부 항만팀
수석연구원

1. 서론

1.1 연안방재의 현실적 문제점

최근 들어 태풍 ‘루사’, ‘매미’ 등 대형태풍 내습으로 인해 대규모 재해가 발생하면서 연안에서의 재해방지를 위한 정부/지사체, 대학 및 연구소 등에서는 재해저감을 위해 관련 기초적 연구에서부터 조사 그리고 사전예방대책 수립 및 연안재해예방시스템 구축을 위해 많은 노력을 쏟고 있다. 정부에서는 2004년에 소방방재청을 신설하여 재해관련 업무 체계를 일원화하고 재해 예방활동을 강화하고 있고, 또한 학술차원에서는 한국방재학회를 중심으로 하는 방재를 위한 학술활동이 활발하게 이루어지고 있다. 이러한 노력의 결과 우리의 방재시스템은 선진국 수준에 상당히 접근해 가고 있다. 이러한 방재 대책은 크게 ‘하드’ 적인 측면과 ‘소프트’ 적 측면에서 접근하고 있다. 이들 대책에 대한 구체적 논의는 별도로

하고, 본고에서는 태풍내습시 연안에서 재해에 직면하게 될 현장의 입장에서 방재와 관련하여 직·간접적인 활동을 하고 있는 우리가 인식해야 할 현재의 몇가지 문제점과 이에 필요한 사항을 제시·논의하고자 한다. 다만 태풍내습시 연안에서의 재해도 여러가지 유형이 있지만 특히 연안역에서의 침수재해와 관련하여 논한다.

먼저 하드적인 측면에서는 주로 구조물을 통한 대책으로서 예를들면, 설계파에 대한 재검토를 통해 설계파를 상향조정하고 있으며(한국해양연구원, 2005), 해일에 대해서도 기존의 최대 규모의 태풍에 대해 다양한 진행경로 등을 가정한 시뮬레이션을 통해 발생할 수 있는 최대 해일고를 제시하고 있다. 또한 침수재해 발생과 관련하여 많은 전문가들은 재해방지를 위해서는 ‘발생 가능한 최대 해일보다는 더 높게 설계·시공을 해야 된다’고 강조한다. 그렇지만 호안이나 안벽을 높게 할수록 침수재해 방지에 만전을 기할 수는 있겠지만 현실적으로는 공사비용의 제약 때문에 적정선에서 타협하는 방식으로 설계가 이루어질 수 밖에 없다. 그렇기 때문에 연안역의 모든 구조물은 월류/월파를 어느정도 허용한 설계로 이루어지고 있으며, 설계외력 이상의 해일 및 파랑 내습시에는 어느 정도의 침수피해를 감수해야 하는 상황에 있음을 인식한 위에 재해저감에 대한 현실적인 논의가 이루어져야 할 것이다.

소프트적인 측면에서는, 예를들면, 수년전부터 '범람재해지도'에 대한 논의 및 작성이 이루어지고 있지만, 이는 하천에서의 수위상승에 의한 '범람'의 개념에서 접근하는 경향이 있는 것 같다. 하천에서의 범람은 유입수의 증가에 따른 수위상승으로 인한 경우가 대부분으로 수위상승의 상황을 쉽게 확인할 수 있고 비교적 정확하게 예측할 수 있다. 이에 반해 연안에서의 침수재해는 하천에서의 범람과 그 유형이 근본적으로 다르고 복잡적이기 때문에 사전 예측이나 대비가 쉽지 않는 것이 사실이다.

또한 최근에는 태풍해일 혹은 쓰나미에 의한 침수재해에 대비한 Hazard map 작성 등 좀더 진보된 방재지도 구축사업이 논의되고 있지만, 재해에 직면하게 될 현장의 입장에서는 별 도움이 되지 않을 수도 있다. 그 이유는 태풍내습시 어느 특정지역의 해일고가 '얼마'라고 할 경우 이 값의 물리적(현상)의 미가 무엇인지 충분히 이해할 수 있을까? 또한 여기에서 사용되고 있는 해일 등의 값은 이전에 발생한 최고치 이상의 값을 적용하고 있기 때문에 이러한 자료를 이용하여 해당지역에 침수가 발생할지에 대한 판단은 과연 가능할까에 대해 생각해보면 그렇게 긍정적이지만은 않을 것이다.

우리는 최근 기상예보가 간간히 빗나가는 사례를 접하고 있다. 아무리 뛰어난 장비와 예보시스템을 구축했다하더라도 특정/특수 상황에서는 '예보치'와 다른 결과가 발생할 수 있으나, 빗나가는 예보가 반복되면 결국 '양치기 늑대소년'이 되고 말 것이다. 이런 결과가 어떤 특정상황에서는 결국 대형 재해로 이어질 수 있음은 자명한 일이다. 연안지역의 태풍해일 혹은 쓰나미 내습에 대한 Hazard map 등에 의한 정보가 이러한 결과로 이어지는 일은 없어야 할 것이다.

최근의 태풍내습시마다 오히려 현장에서 관할 관청 중심의 피난유도 등 '사전대비'를 하거나, 개인적인 차원에서는 그간의 경험을 살려 '사전대비'를 하여 피해를 줄였다는 보도를 종종 접하고 있으며, 저자 또한 태풍재해 발생 후 재해현장에서 이러한 상

황을 실제 접하기도 했다. 즉 '자주적 대비'가 무엇보다도 중요하다는 것에 대해서는 많은 사람들의 공통된 인식이지만, 그 정도의 대응수준에 달하기까지는 수차례에 걸친 재해의 아픔을 경험했을 것이다.

그리고 또 하나의 문제는 태풍해일을 놓고서도 이에 대한 연구를 수행하는 해안·항만공학자들의 입장과 재해에 직면하게 될 지역민/관할 관청 담당자의 입장에서는 서로 관심의 대상이 다르다. 예를들면 현재 기상청 등에서 예보하는 해일 및 파랑은 대부분 육지에서 멀리 떨어져 있는 먼바다(Offshore)를 대상으로 하는 예측 값이며, 해안·항만공학자들은 태풍진행에 따라 그리고 연안역에 접근해 오면서 지형 및 수심의 영향을 받아 변하는 현상에 대한 예측과 그에 대한 기법개발 등에 대해 주로 관심을 가지고 있다. 물론 그러한 관심과 노력의 결과로부터 예측의 정확도는 상당한 수준에 달해 있다.

그렇지만 현장에서는 일부를 제외하고는 해상에서보다는 살고 있는 지역민/관할 관청 담당자의 입장에서는 거주지 주변에서 해일 혹은 파랑에 의해 해안의 호안/안벽 등의 구조물이 부서지지는 않을까 혹은 월류/월파에 의해 침수재해는 발생하지 않을까 하는 것에 관심이 있다. 실제 연안재해의 대부분은 이러한 곳에서 발생하고 있지만 연안재해관련 해안·항만공학자들의 대부분은 이 문제에 대해 관심은 있지만 아직 이렇다할 방안을 찾지 못하고 있고, 결국 재해발생 후 현장조사를 통한 자료 취합·분석 정도의 단계에 머물고 있는 것이 현실인 듯하다.

그리고 어떠한 예측모델 혹은 재해예방시스템이라 하더라도 이들에 내포된 제약사항(한계점)에 대해서도 충분한 인식이 필요할 것이다. 예를들면, 연안재해예방시스템을 구축을 위한 모니터링 시스템 구축은 비용의 제약상 연안의 한정적인 해역에만 구축·이용하기 때문에 이 시스템의 적용영역은 한정될 수밖에 없을 것이다. 그리고 태풍내습에 따른 해일추산에 대해서도 수치계산을 통해서 이루어지고 있는데 수치계산이 현상을 표현하는데 있어서의 한계점에 대한 이해도 필요할 것이다.

1.2 연구내용 및 목적

따라서 저자는 해안·항만공학자들도 태풍내습시 재해저감을 위해 우선 검토되어야 현실적인 문제가 무엇일가에 대해서 생각해야할 단계에 있다고 본다. 현장에서 '사전대비'의 주체는 결국 관할 지자체의 방재담당부서와 지역민이 될 것이며, 이들에게는 태풍 내습시 연안에서 침수재해를 야기하는 제 인자(현상)에 대한 실질적인 자료 및 정보가 필요할 것이다.

같은 만내일지라도 만내에서의 위치, 태풍의 진로, 태풍의 진행속도 등에 따라 해일고에 차이가 발생하기 때문에 태풍내습시 단순히 기상예보에만 의존하기 보다는 이를 바탕으로 해당지역에서 해일고가 어느 정도(정확한 값이 아니어도 좋다) 발생할지에 대한 감각이 있어야 스스로 대비하고자 하는 의식이 더욱 고취될 것이다.

이러한 상황에서 연안역의 태풍에 의한 침수 등의 재해를 받게 될 특정지역의 입장에서 재해에 대비하기 위해서는 예측의 정확도도 중요하지만 어떤 현상에 의해 침수재해가 발생할지에 대한 신속한 판단이 더 중요할 수 있다. 즉 연안의 특정 지역의 입장에서 침수재해에 신속히 대비하기 위해서는 연안에 접근한 해일 및 파랑 등이 호안 혹은 안벽을 월류/월파시에 어느 정도로 수위가 증가할지에 대한 개략적인 정보 혹은 지식이 필요할 것으로 판단된다. 태풍 규모 및 진로 등으로부터 예보된 해일 및 파랑의 정보 등을 통해 특정 해역 혹은 지역에서의 월류/월파시의 수위증가에 대한 기본적인 패턴과 이미지 파악이 무엇보다 중요할 것이다.

이에 본고에서는 태풍 매미 내습시 부산 및 마산을 중심으로 한 남동연안에서 해일 및 파랑에 의해 발생한 침수재해 상황에 대하여 지역주민들의 증언과 지반 측량자료 그리고 태풍해일 추산자료 등을 이용하여 이를 토대로 태풍해일 및 파랑에 의해 호안(혹은 안벽) 월류/월파시 수위증가 패턴에 대해 정리한 결과를 소개하고자 한다. 단, 이하의 내용은 강윤구(2005)의 내용을 약간 재편집한 내용이다.

2. 조사위치 및 조사방법

2.1 태풍 매미 개요

태풍 매미는 2003년 9월 6일 발생하여 11일 중심 기압 910hPa까지 강해진 후 그림 1에 나타난 경로를 따라 북동진 하여 12일 20시경 경남 사천에 상륙(당시 중심기압 950hPa)하여 동해안으로 빠져나갔다. 태풍 매미는 지금까지 한국에 내습한 태풍 중 태풍규모 및 재해규모 측면에서 각종 기록을 모두 갱신했을 정도로 많은 피해를 입혔다. 이와 관련한 피해현황에 대해서는 사단법인)한국수자원학회(2003)가 태풍 매미에 의한 각 지역별 피해상황을 특집으로 자세히 다루고 있기 때문에 자세한 내용은 여기를 참조하기 바란다.

2.2 조사위치 및 방법

현장조사는 9월 17일부터 21일까지 5일간 실시하였다. 조사위치는 그림 2에 나타난 바와 같이 마산만의 안쪽에 위치하는 마산어시장, 부산신항이 위치하는 안골만의 입구쪽(Angol 1)과 안쪽(Angol 2)의 2개지역, 명지-녹산 국가산업단지의 중간지역에 위치하는 신호지방산업단지(Shinho) 그리고 수영만

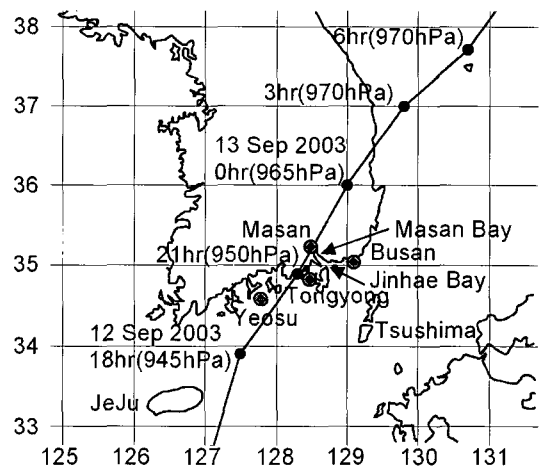


그림 1. Track and central pressure of Typhoon Maemi

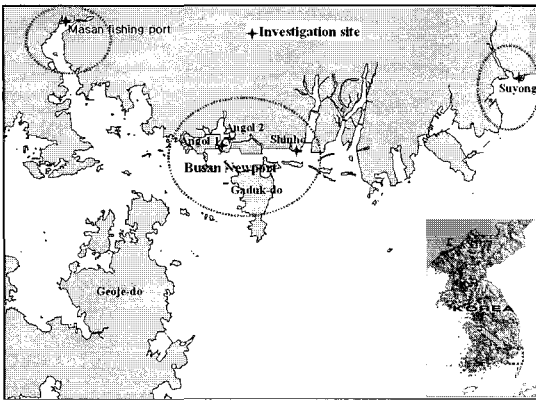


그림 2. Field survey location

동측 매립지의 리조트가 있는 곳(Suyong) 등 총 5개 지역에서 실시하였다.

조사는 현장답사(현지인 청취 및 목시) 형태로 이루어졌으며, 조사후 지반측량 자료가 입수된 곳은 이를 포함하여 정리하였다. 각 지역의 지반고는 마산과 신호는 실측자료이고, 수영은 매립 당시의 설계도면(부산시, 1983)의 값이다. 단, 안골은 조사당일의 조위를 참고로 한 개략적인 값이므로, 참고시 주의를 요한다. 각 조사지역의 지형적 특성은 수영과 신호지역은 비교적 큰 파랑이 호안에 직접 작용하는 곳이며, 마산과 안골지역은 파고가 비교적 작은 만내의 지역이다.

3. 재해상황 및 고찰

3.1 마산지역(마산 어시장)

그림 3은 마산 어시장 공판장에서의 태풍해일에 의한 침수상황을 조사하고 있는 장면이다. 마산만은 전면에 섬이 많아 파랑의 발달은 기대하기 어렵지만, 만이 좁고 길어 해일에 의해 수면이 크게 상승할 가능성이 높은 곳이다. 공판장 전면 안벽의 천단고는 대조기 만조시(D.L.+2.0m)보다 0.7-0.9m 정도 높으며, 공판장 내의 기둥에는 해일에 의한 침수흔적이 선명하게 남아 있으며, 모든 기둥에서 동일한

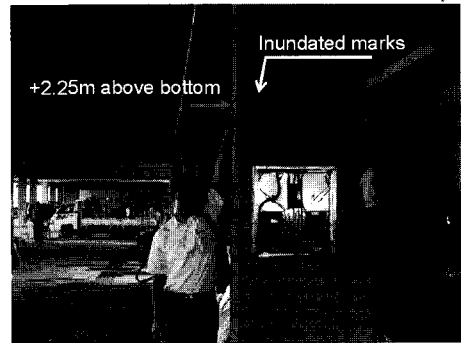
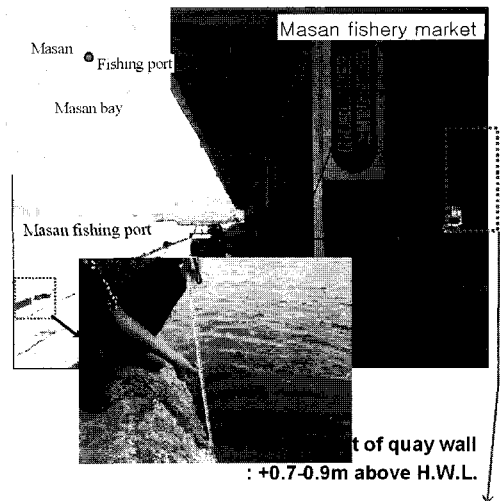


그림 3. Inundation at Masan fishery market

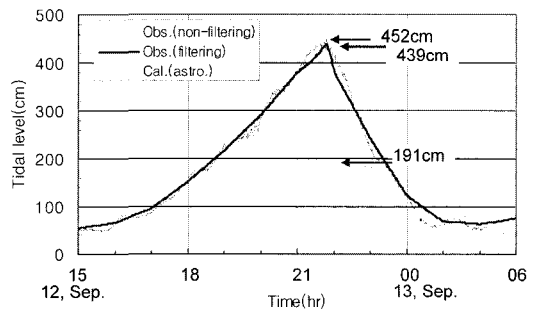


그림 4. Time variation of tidal level in Masan fishing port

높이(바닥으로부터 약 2.25m)에 침수흔적이 존재하고 있었다.

그림 4는 마산어항 전면에서 관측된 조위 및 예측치(천문조)를 나타낸 것이다. 그림 중의 'non-filtering'은 1분간격의 조위 관측치로서 마산만에서 발생하는 부진동이 포함된 것이

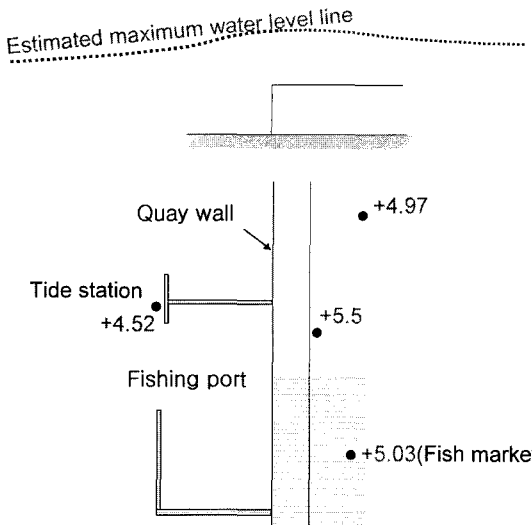


그림 5. Water Level around Masan fishing port

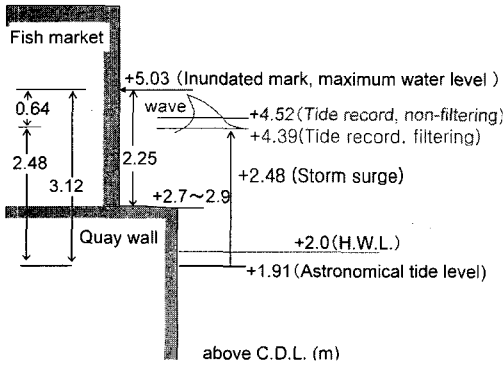


그림 6. Water level induced by overflow/overtopping at Masan fishing port

며, 'filtering'은 부진동을 제거한 값이다. 수위는 9월 12일 21:40경에 최대치에 달했다. 당일 계산조위(천문조)는 191cm이며, 수위는 부진동 포함시 452cm, 부진동 제거시 439cm까지 상승하였다.

그림 5는 그림 3의 어시장 공판장 주변의 태풍해일에 의한 침수상황을 조사한 결과로서 침수를 유발시킨 최대 수위를 나타낸 것이다. 공판장 주변에서도 침수고가 D.L.+5.0m 내외로 공판장에서와 대체로 비슷한 양상을 나타내고 있다.

그림 6은 조사결과 및 당시의 마산어항 검조기록을 중심으로 태풍해일에 의한 해일고 및 실제 침수(월류) 높이를 나타낸 그림이다. 태풍에 의한 해일은

일반적으로 만내 부진동을 제외한 조위로부터 산정하고 있기 때문에 이곳에서의 해일은 +2.48m이다. 육지 측의 침수는 기동에 남은 침수흔적으로부터 알 수 있듯이 해일 뿐만 아니라 만내 부진동이 포함된 파랑에 의한 높이까지 나타나기 때문에 이 곳에서의 수위상승은 +3.12m에 해당한다. 마산어항에서의 발생 파고가 그다지 크지 않은 것을 감안하면 이 값은 어느 정도 타당성이 있는 것으로 판단된다. 즉, 마산 어시장 공판장에서는 당일 조위(H.W.L.)보다 상승한 수위의 약 80% 정도가 해일에 의한 것임을 알 수 있다.

3.2 안골만 지역(안골1, 안골2)

그림 7은 안골만 지역에서의 조사위치와 각 지점의 침수상황을 나타내고 있다. 지점 A1은 안골만으로 진입하는 입구쪽이며, 지점 A2는 안골만의 안쪽에 위치하고 있다. 이 지역은 부산신항 개발을 위해 외해쪽에 방파제가 2개소 축조되어 있다. 안골만의 좌측은 준설토사 투기장 호안이 축조되어 있어서 지점 A1부근은 수로의 형태를 하고 있다.

먼저, 지점 A1의 배후에는 횃집이 다수 위치해 있으며, 태풍 매미내습시 피해상황을 현지인(한 횃집 주인)으로부터 청취한 내용을 정리한 것이다. 호안은 천단고가 대조기의 만조시보다 대략 1m정도 높은 상태로 되어 있으며, 대조기 만조시 호안 배후도로의 낮은 곳은 바닷물이 고인다고 한다. 해일에 의한 침수상황에 대해서는 당일 20시 30분에서 21시 경(만조 1시간-30분전) 우측차 뒷바퀴(그림 7(b) 중의 원안 자동차) 부근에서 월류한 해수가 0.5m까지 차올랐다고 증언하였다. 이 정도의 침수고는 대략 호안의 천단고에 해당한다. 이후 (현지인이 피난하였기 때문에 정확한 침수 높이는 확인할 수 없으나) 가게의 유리창이 파손되고 가게 내부까지 침수되었다. 즉, 이후 계속적으로 해일에 의한 수위상승이 발생했을 것이며, 수위상승은 최소 1m이상으로 추정할 수 있다.

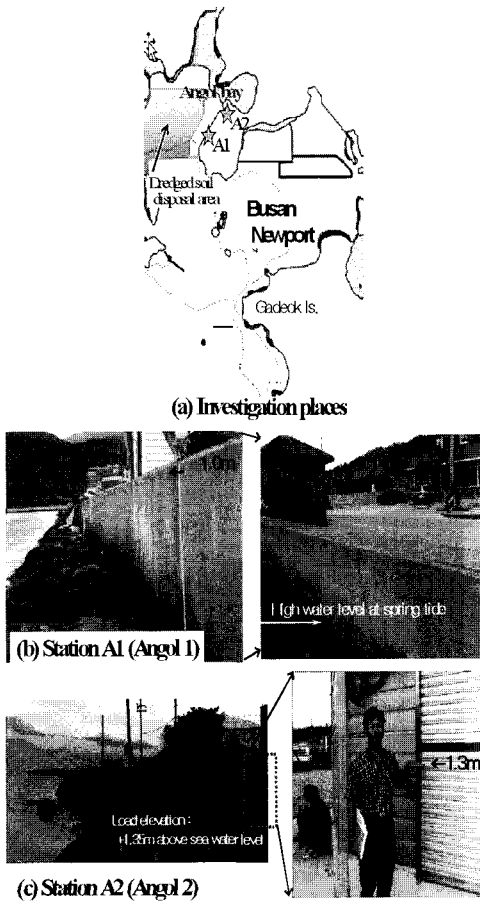


그림 7. Inundation around Angol Bay

다음으로 지점 A2에서는 주민의 증언과 도로변의 초목이 시들어 있는 것을 근거로 하여 정리한 것이다. 태풍 당일 침수흔적이 나타난 높이는 그림 7(c)의 우측 사진 중에 나타난 지점으로서 도로의 인도에서 1.3m정도의 높이이다. 조사 당일의 조위는 대략 1.3m정도로 추정되며, 해수면과 도로의 인도와의 고저차는 1.35m 정도였다. 이 지역의 태풍 당일의 천문조위(계산조위)를 D.L.+1.8m로 보면 태풍 당일 해일에 의한 침수 높이는 약 D.L.+3.95m 정도로 추정된다.

3.3 신호지방산업단지(신호)

신호지방산업단지는 그림 8에 나타난 바와 같이

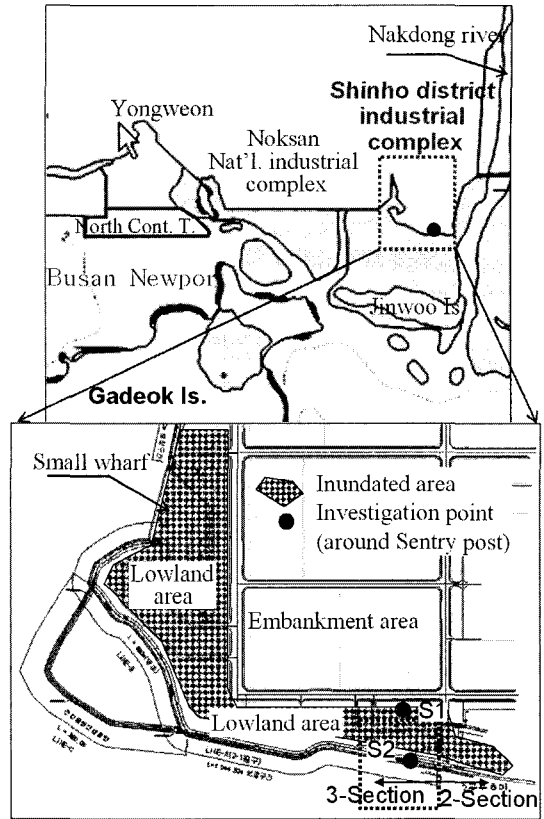


그림 8. Survey location around Shinho district industrial complex(Shinho)

동측에 낙동강 하구, 서측에 어선이 정박하는 물양장(저지대)이 있으며, 산업단지조성을 위해 바다 측에 호안이 축조되어 있다.

현장조사지점은 해안초소(향후 철거예정)가 위치한 곳으로 최근 이곳은 단지의 침수피해방지를 위하여 부산시가 기존 호안의 천단고를 0.5m 높이고자 정비 중에 있었으며, 태풍 때 내습당시는 2공구 호안이 정비 완료된 상태였다. 이 해안초소는 3공구 호안 바로 뒤에 위치하고 있으며, 2공구 호안까지는 100m 정도 떨어져 있다. 이곳은 외해 측에 위치한 진우도의 영향으로 입사파랑은 그다지 크지 않지만, 태풍해일 내습당시 해일·파랑의 직접적인 영향으로 단지 내의 저지대에서는 단층집 처마까지 물이 차올랐으며, 신호지방산업단지 조성공사 현장 직원(삼성

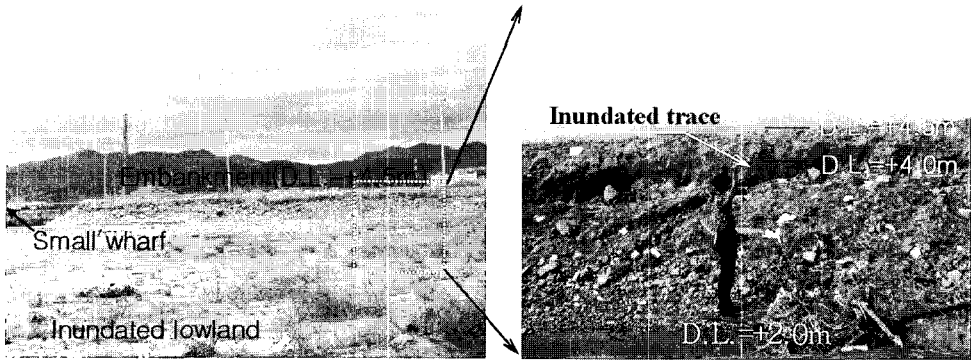


그림 9. Inundation at station S1

건설)들이 주민 구조활동을 벌였다고 한다.

그림 9는 해안초소 배후의 저지대 침수상황을 나타낸다. 침수원인은 후술할 호안에서의 월파(월류)와, 그림 8에서 보여준 서측의 물양장으로부터의 유입에 의한 것으로 판단된다. 이곳은 물이 차서 언덕에 패인 흔적이 선명하게 남아 있다. 이 패인 흔적(D.L.+4.0m)은 호안을 월류한 이후의 파랑작용에 의한 것으로 볼 수 있다(파고 작용).

그림 10은 해안초소에서 동측으로 바라 본 호안의 피해상황으로서 3공구 호안은 호안 천단부가 반파된 상태였다. 2공구 호안은 이미 천단고를 0.5m 정도 증고 및 보강한 상태였기 때문에 3공구 호안에 비해 피해는 작았지만, 호안의 전면사면에 부분적인 파손이 보였다. 단, 배후에 월파(월류)에 의한 흔적이 많이 보였던 점으로 미루어 이곳에서도 월파(월류)현

상이 발생한 것으로 추정된다.

그림 11은 해안초소 부근의 재해 상황과 태풍내습시 이 초소에 피신하여 당시의 월파(월류)상황을 직접 체험한 당사자(체험자)로부터 당시의 상황에 대해 청취하고 있는 모습이다. 체험자는 태풍내습 당일 20시부터 22.5시까지 2.5시간동안 피신하였다. 그 시간에는 이미 어두워졌고 공포감에 휩싸였던 상태에 있었기 때문에 파랑작용에 의한 수위가 어느 정도였는지는 명확하게 볼 수가 없었지만, 사진에서 보여준 바와 같이 초소는 해안 측이 벽체이고 측면이 트인 상태였기 때문에 초소 안에서의 수위의 변화에 대해서는 충분히 느낄 수 있었다고 한다. 사진 중의 수위는 주기적으로 초소 벽을 넘어 들어온 물이 배수된 상태의 수위(D.L.+5.35m)에 해당된다. 이로부터 월류(월파)에 의한 수위는 파손전의 호안

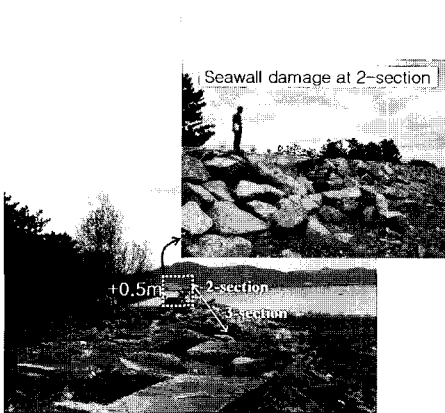


그림 10. Seawall damage at the east of station S21



그림 11. Overflow/overtopping water level at station S1 of seawall

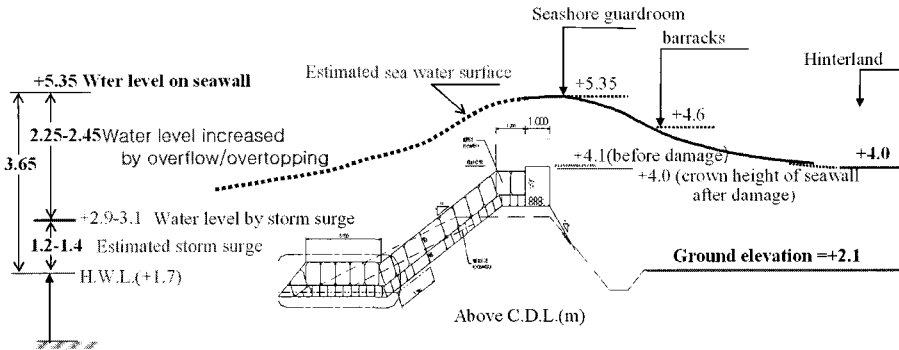


그림 12. Sketch on water level change induced by overflow/overtopping around seawall

천단고(D.L. +4.1m)보다 1.25m 높은 상태였던 것으로 추정할 수 있다.

또한 초소 뒤쪽에 있는 막사는 태풍당시에 방문이 잠겨있었는데, 나중에 확인한 결과 방안에 물이 찬 흔적이 선명히 남아 있었다고 한다. 이 때 방안에 물이 찬 높이는 방바닥(파손전의 호안 천단고와 비슷)에서 0.5m 높은 위치였다. 이런 상황으로부터 호안에서 10-15m정도 떨어져 있던 막사 위치에서의 침수 수위는 호안 천단고보다 0.5m 정도 높은 D.L. +4.6m 정도였을 것으로 추정된다.

이상의 상황을 종합하여 보면 신흥지방산업단지 호안에서 월류시의 수위, 호안의 천단고 및 초소를 측량한 지반고 자료를 바탕으로 호안 월류시의 수위 상태는 그림 12와 같이 도식화 할 수 있다. 이곳 전면 해역에서의 해일(조위편차)은 1.2-1.4m 정도(Kawai, et al., 2005)로 추산되기 때문에 호안에서의 수위는 해일에 의해 상승한 수위보다 2.25-2.45m 정도 더 상승한 것으로 추정할 수 있다. 즉, 이 곳에서는 당일 조위(H.W.L.)보다 상승한 수위 중에서 약 65% 정도가 파랑에 의해 발생했음을 알 수 있다.

3.4 부산 수영만 지역(수영)

그림 13은 수영만에서 태풍피해를 특히 많이 입은 수영만 동측의 매립지 호안주변의 모습을 나타내고 있다. 이 지역은 부산시가 수영만 동측을 매립하기

위하여 전면에 호안을 축조하여 조성한 곳으로 호안에서 20~30m 정도의 거리를 두고 콘도가 위치해 있고, 그 주변은 아직 공사 중에 있었으며, 당시 뉴스 보도 등을 통해서 많이 알려진 해상호텔이 인접해 있다.

당시의 피해상황을 살펴보면 D.L. +4.5m의 호안을 월파한 수괴에 의해 호안배후가 침수되었고, 특히 콘도 1층의 유리가 파손되었다. 또한 당시(20시경) 호안배후의 도로를 통행하던 차량이 2블록 정도 떨어진 내륙부까지 떠밀려 가는 등 주차하고 있던 차량 뿐만 아니라 인근 공사장의 사무실용 컨테이너가 떠밀려 가는 등의 피해가 발생했다. 또한 태풍에 의해 호안 전면부의 T.T.P 피복석의 천단고가 0.6m 정도 침하하였다(낚시하는 주민의 증언).

또한 태풍내습시의 해일 및 파랑 추산(Takayama, et al., 2004)에 의하면, 수영만 외해 측의 해일은 약 0.6m 정도, 파고는 6-7m(주기 15초)로 추정되고 있다. 이상의 상황을 바탕으로 당시의 월파상황에 대한 추정치를 그림 14에 나타내었다. 호안에서 월파(월류)에 의한 수위는 해일보다 7.5m 정도 더 상승한 것으로 추정된다. 여기서 파랑에 의한 쳐올림 높이는 한국항만협회(2000)의 '쳐올림 높이'에 의해 산정한 값이다. 즉, 이곳에서는 당일 조위(H.W.L.)보다 상승한 수위(8.15m) 중에서 파의 쳐올림에 의한 상승(7.53m) 비율이 약 90% 정도로서 대부분 파의 쳐올림에 의해서 수위가 증가했음을

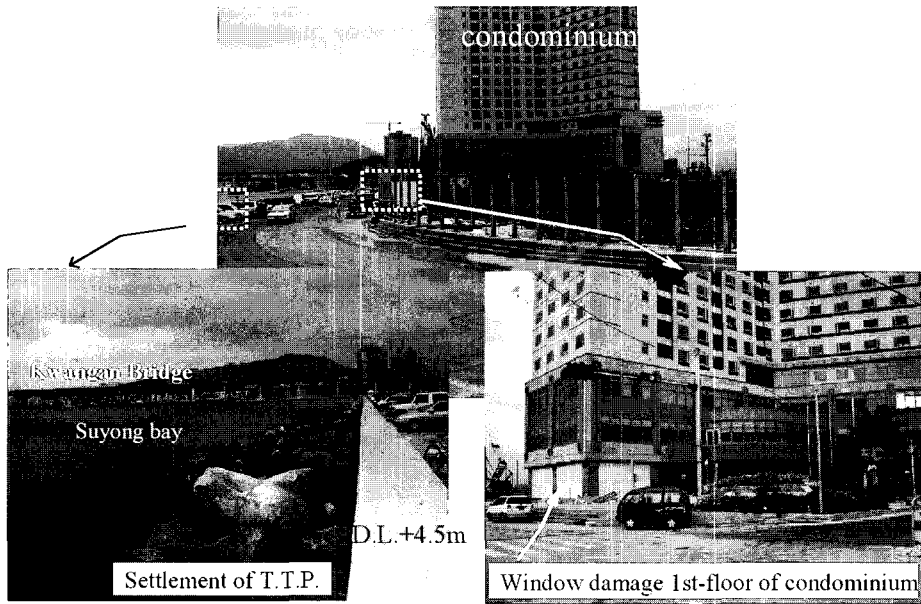


그림 13. Damage around Hana-condominium

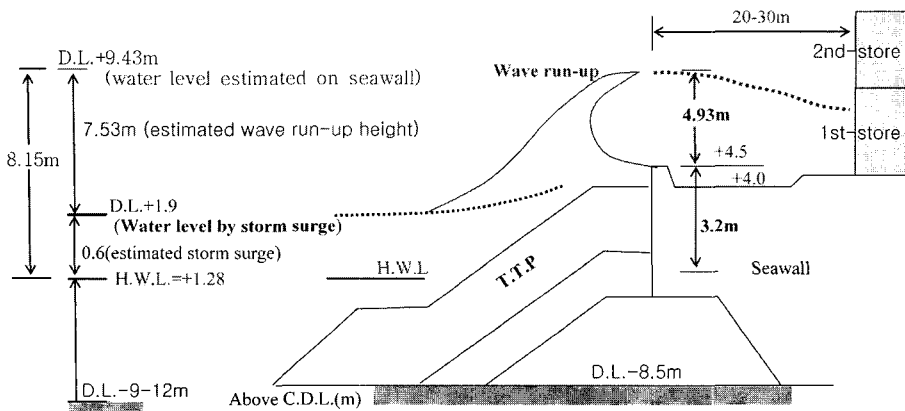


그림 14. Sketch on the water level change induced by wave overtopping around the seawall at Suyong bay

알 수 있다.

4. 태풍내습에 따른 호안(안벽)에서의 월류 패턴 및 특징

이상의 현장조사 지역에 대한 자료를 바탕으로 태

풍해일 내습시 호안 혹은 안벽부근에서 나타나는 월류(월파)에 의한 수위증가 현상을 종합하여 보면, 그림 15에 나타낸 바와 같이 두 가지 패턴으로 분류하여 그 특징을 정리하면 다음과 같다.

a) Type-A: 만내에 위치하여 파랑의 영향이 작은 호안(안벽)의 경우에서 나타나는 현상으로서, 마산 어시장, 안골 2의 지역이 여기에 해당한다. 이런 경

- 우에 나타나는 특징은 다음과 같이 요약할 수 있다.
- i) 호안(혹은 안벽)에서의 월류(월파)수위는 대부분 해일(조위편차)에 크게 영향을 받는다.
 - ii) 호안의 천단고가 낮은 경우에는 대규모 침수 피해를 동반한다.
 - iii) 특히 만 안쪽에서는 해일이 외해측에 비해 상당히 커진다.
 - iv) 현재 수치계산으로도 상당 수준까지의 예측이 가능해지고 있다.
 - v) 다만, 침수피해 저감을 위해서는 해일에 대한 정보 뿐만 아니라 부진동에 대한 정보가 추가로 필요하고, 파랑의 발생규모에 따라서는 발생파고에 대한 정보가 필요하다. 예를들면, 마산 어시장의 경우 당일 예보조위(천문조위)보다 상승한 수위 중에서 해일의 비율이 약 80% 정도이고, 나머지 20%는 부진동 및 파랑에 의한 것으로 나타났다.

b) Type-B: 호안에 파랑이 직접 작용하게 되는 개방형 해역에 위치한 호안(안벽)에서 나타는 현상으로서, 신호와 수영의 경우가 여기에 해당한다. 이런 경우에 나타나는 특징은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- i) 월류(월파)수위는 해일보다는 파랑에 의한 쳐 올림에 크게 영향을 받는다.
- ii) 파랑의 작용에 의해 구조물 파손이 발생할 수 있다.
- iii) 해일뿐만 아니라 파랑에 대한 정보가 중요시 된다. 예를들면, 신호의 경우 호안에서의 수위증가는 파랑에 의한 비율이 65% 정도이고, 나머지 35%정도가 해일에 의한 것으로 나타났다. 수영만의 호안에서는 수위증가의 90% 정도가 파랑에 의해 상승하였다.
- iv) 이런 경우, 월류(월파)시의 수위상승을 정확에 예측하기는 아직 어려운 상황에 있으며, 해일과 파랑을 동시 고려할 수 있는 수치계산 기법의 개발이 필요하다. 혹은 별도의 수위 상승고를 추산할 수 있는 간이 지표마련이 시급하다.

여기에서 제시한 태풍해일에 의한 수위증가 패턴은, 제한된 경우를 대상으로 정리한 결과이기 때문에 향후 보다 다양한 지역의 침수재해 기록을 종합하여 월류(월파) 패턴을 보다 세분화 하게 되면 침수 재해 저감에 실질적인 도움이 될 것으로 기대된다.

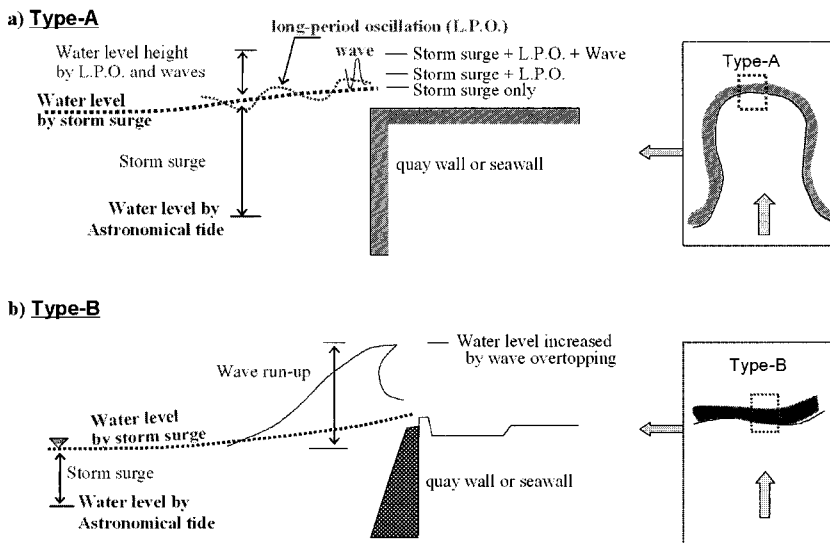


그림 15. Schematic representation of overflow/overlapping pattern on seawall/quay wall

5. 결론

태풍 발생 직후 마산만과 부산연안을 중심으로 한 재해현장을 방문하여 현지 주민들로부터 당시 상황을 청취하고, 필요에 따라서는 호안(안벽)의 지반고를 측량하는 방법으로 태풍 매미내습 당시의 해일에 의한 침수상황을 조사하였다.

조사지역은 마산 어시장과 같이 만 안쪽에 위치하여 파랑이 작은 지역과 수영만 리조트단지 호안부근과 같이 파랑이 직접 작용하는 개방형 지역으로 나눌 수 있다.

태풍 내습시 해일 및 고파랑이 호안이나 안벽을 월류(혹은 월파)할 때 발생하는 수위증가에 대하여 두 가지 패턴으로 나누어 고찰하였다. 하나는 만내에 위치하여 파랑의 영향이 작은 호안(안벽)의 경우에 나타나는 현상으로서 호안(혹은 안벽) 월류 수위는 대부분 해일(조위편차)에 영향을 받는다. 또 다른 하나의 패턴은 파랑이 호안(안벽)에 직접 작용하는 개방형 해역에 위치한 곳에서 나타나는 현상으로서 월파(월류) 수위는 해일(조위편차)에 비해 파랑의 쳐올림에 크게 영향을 받는 특징이 있다. 즉, 지금까지 태풍시의 침수재해에 대해서는 주로 해일(조위편차)

을 대상으로 논의하여 왔지만, 해일뿐만 아니라 부진동, 파랑(쳐오름)을 포함하여 지형적 특성을 고려한 복합적인 논의가 필요함을 알 수 있다.

본고에서는 호안/안벽에서의 수위증가 패턴에 대해 두 가지로 나누어 정리하였지만, 태풍시 침수재해 저감에 좀더 기여하기 위해서는 지금까지의 태풍 피해를 받았던 지역에서의 보다 많은 정보 수집을 통해 월류/월파시의 수위증가 패턴을 좀더 다양하게 다룰 필요가 있다. 예를들면 그림 16과 같이 지형/지역적 특성에 따라서 달라지는 α, β, γ 와 같은 값을 구하고 지표화시키기 위한 연구·검토가 필요하다고 판단된다. 아울러 본고에서 제시한 태풍해일에 의한 수위증가 패턴 및 입사파고 산정을 위한 조건설정은 태풍 매미의 제한된 경우를 대상으로 나타난 결과로 향후 보다 다양한 지역의 침수재해 기록을 종합하여 보완할 필요가 있다고 할 것이다.

한편 태풍해일 내습시 호안 월파(월류) 수위에 대한 기록이 흔하지 않는 상황에서 이번 조사에서는 실제 월파하는 수괴 속에서 월파(월류)수위가 어느 정도였는지를 직접 체험한 매우 가치 있는 자료를 확보하였다고 생각되며, 또한 본고의 내용이 태풍내

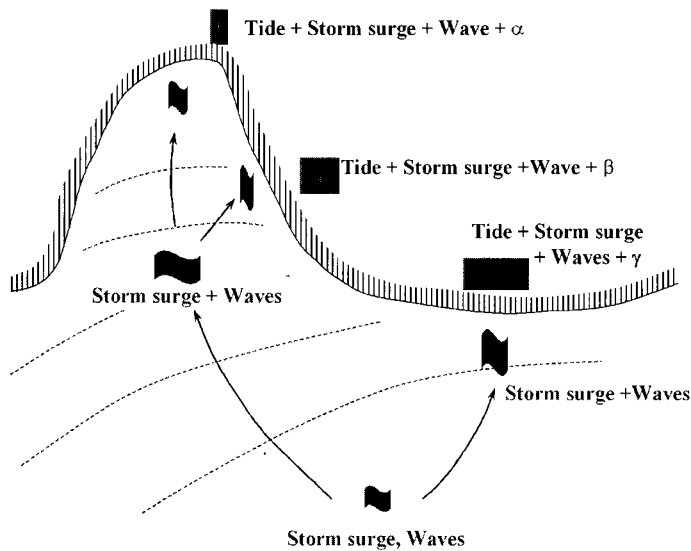


그림 16. Damage control key map for the storm surge and high waves by typhoon that consider topography characteristics

습시 연안지역에서 재해에 직면하게 될 입장에서 재해저감을 위해 i)재해발생 지역의 입장에서 필요한 정보는 무엇이며, ii)방재차원에서 침수(범람)지도 작성에 필요한 정보는 무엇이며, iii)그리고 현재 우리가 수립해 둔 대책 등이 완전할 수 없기 때문에 침수피해 저감을 위한 피드백이 필요하며 이를 위해 현장에서 지속적으로 수집해야 할 데이터는 무엇인지에 대한 검토에 도움이 되길 기대한다.

후 기

현장조사시 태풍해일에 의해 피해를 입고 어려운 상황에서도 당시의 상황에 대해 성실히 설명해주신 마산 어시장 공판장 관계자들, 마산항 건설사무소 관계자, 안골만 관계주민들, 수영만 한화콘도 주변 주민들, 그리고 신호지방산업단지 조성공사현장의 삼성물산(건설부문) 관계자 및 당시 태풍해일 속에서 용기를 잃지 않고 직접 체험하셨던 분들께 이 지면을 빌어 다시 한번 깊이 감사드리며, 본 자료가 향후 침수재해 방지를 위해 조금이나마 역할이 되기를 기대한다.

참고문헌

- 강운구(2005). 태풍 매미 내습시 해일·고파랑에 의한 호안·안벽에서의 수위증가 패턴 고찰, 한국해양공학회지, 제19권, 제6호, pp 22-29.
- 부산시 (1983). 수영만 매립보고서.
- 한국수자원학회 (2003). 특집 - 2003년 태풍 매미 홍수, 한국수자원학회지, 제 36권, 제 6호, pp 9-87.
- 한국항만협회 (2000). 항만 및 어항 설계기준, pp 102-107.
- 한국해양연구원(2005): 전해역 심해설계과 추정보고서, 302p.
- Kawai, H., Kim, D.S., Kang, Y.K., Tomita, T. and Hiraishi, T. (2005). Hindcasting of Storm Surge at Southeast Coast by Typhoon Maemi, J. of Ocean Engineering and Technology, Vol 19, No 2, pp 12-18.
- Takayama, T., Amamori, H., Kim, T.M., Mase, H, Kang, Y.K and Kawai, H. (2004). Characteristics of Storm Surge and Wave Disasters Caused by Typhoon 0314 (Maemi) in Korea, Annuals of Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., No 47A.(in Japanese)