어항의 설계파 산정

최 병 호 / 성균관대학교 토목공학과 교수

머리말

우리나라의 경제규모가 급속한 성장을 함에 따라 어항의 설계, 건설, 유지 및 환경보호에 대한 관심이 높아져 가고 있다.

해양수산부가 발족되어 대소항만 및 연안시설물에 대한 현대적인 설계기준 및 해양재해에 대한 방호체제가 선정되어야 함에도 불구하고 아직도 미흡한 실정이다. 80년대 말에 수행된 우리나라 해안전역의 심해파 및 천해파산정결과는 70년후반에 안수한 교수가 산정한 설계파추정에 진일보시킨 것이나 선진해양국을 지향하는 우리의 현 시점에서 볼 때 재평가가 필요한데 지난 10여년에 걸쳐 해파산정에 관한 연구와 방법이 많은 진전이 있었기 때문이다.

해파의 실용적 예보는 1942년 영국 해군 C. T. Suthons와 당시 미 육군 항공대 해양과의 W. H. Munk에 의해 노르만디, 버마, 일본 침공을 위해 상륙지점의 해파를 산정하는데서부터 비롯하였다. (Bates, 1949). Munk는 당시 스크립스 해양연구소의 Sverdrup 소장과 같이 반경험적 파라메터화된 해파예보법을 제안하였으며 후에 Bretschneider는 Florida주의 오키초비호수의 관측자료를 보완시켜 SMB법 (1958)을 제안하였는데 1970년에는 수정된 SMB법이 제안되었다. 이와 더불어Wilson은 이동하는 풍역(태풍)에 의한 해파산정도표를 1955년 제시한 이래 1961, 1965년에 걸쳐 수정방법을 제시하였다.

일본에는 Sakamoto와 Ijima가 유사한 예보도표를 1960년에 제시한 이래 Ijima는 이를 1967-70년 기간에 보완하였다. 이러한 파라메터형 해파모형과는 별도로 해파의 스펙트럼연구가 영국에서 1948년 Peason, Barber, Ursell에 의해 시작한 이후 미국에서는 소위 Spectrum법 해파추정법(P-N-J 법)이 1955년 뉴욕대학의 기상해양학과의 Pierson, Neumann과 James에 의해 제시되었다(Pierson, Neumann과 James, 1955).

후자의 방법은 에너지 평형방정식에 근거한 프랑스기상청의 DSA-1(1948), DSA-

5(1965)모형을 걸쳐 2, 3세대 해파모형으로 발전하게 되었는데 국제해파모델링그룹이 제안하는 WAM모형(1988)이 잘 알려진 공개된 3세대해파 모형이다.

초기의 컴퓨터능력의 문제가 점차 해결됨에 따라 세계각국은 이 모형을 대기모형의 예보된 해상풍을 입력으로한 해파 예보모형으로 채택하고 있는데 미국해군, 미국해양대기국의 국가환경예보센터(National Center for Environment Prediction), 일본기상협회등과 국제적인 기상, 해양예보업무를 서비스하는 업체들이 있다.

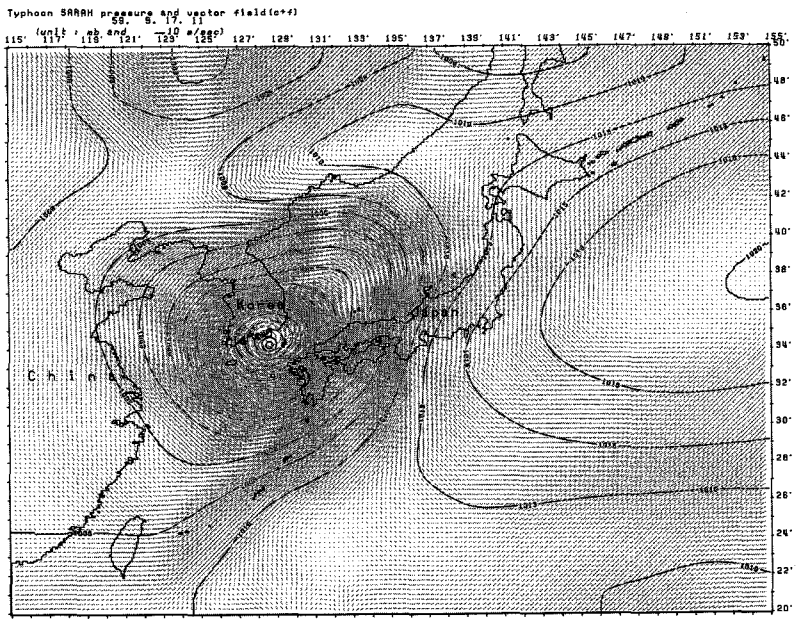
WAM모형의 과도한 산정시간을 줄이기 위해서 영국의 POL (Proudman Ocean-ographic, Laboratory) 및 일본 기상협회와 중국 국가해양국 제일해양연구소는 개선된 알고리즘을 채택한 모형을 운용하고 있다.

본 글에서는 과거에 추정된 우리나라 연해역의 설계파의 문제점과 WAM모형을 우리나라 서·남해역에 적용한 초기결과를 제시함으로써 우리나라 연해의 설계파의 재평가를 통한 개선방법에 대해 설명하고저 한다.

해상풍 데이터베이스

태풍의 예상경로와 태풍역의 자세한 3차원적 바람장을 대기예보모형으로 예측하는 일은 아직도 어려운 과업이며 과거의 일기도(천기도)로 부터 태풍바람장을 신뢰성있게 산정하는 일 역시 용이한 과업이 아니다.

미국의 국가환경예보센터(NCEP)는 전구적인 바람자료를 2.5°격자상에서 과거 40여년의 1일 2회 산정자료를 제공하고 있으며 영국 Reading에 위치한 ECMWF (European Center for Medium Range Weather Forecasting)역시 과거 수십년 자료를 1일 2회산정자료를 1° 격자상에서 제공하고 있다. 한양대학의 나정렬 교수 역시 1일 2회 인쇄천기도(일본기상청)를 디지타이징 시켜 생성된 근년의 자료를 CD-Rom으로 제공한다. 또한 미국 우주항공국의 제트추진연구소 역시 인공위성의 산란계(Scatterometer)에 의한 근년의 풍속자



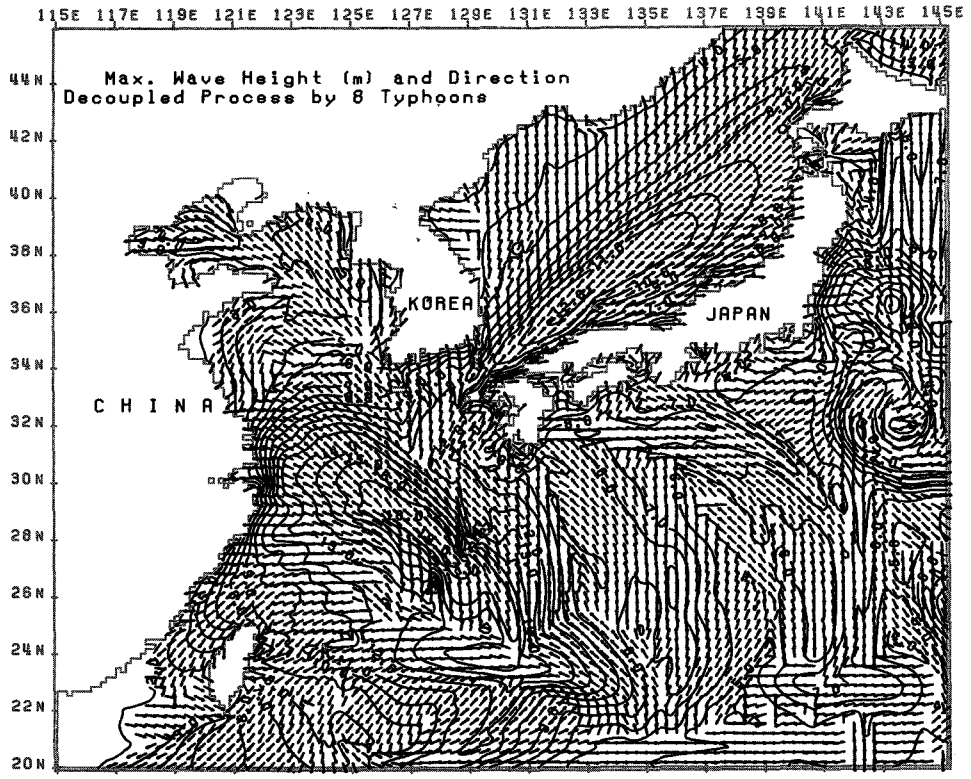
〈그림 1〉 태풍의 바람장데이타베이스에 의해 제시된 1959년 사라호 태풍의 해면기압 및 바람장

료를 제공하고 있다.

그러나 이 모든 자료들이 과거 수십년에 한반도주위를 통과한 태풍의 자세한 바람장을 제공하기에는 부족한 자료들이다.

성균관대학에서는 양질의 천기도(1일 4회이상)가 보관된 일본기상협회에 의뢰하여 과거의 주요태풍(1956-1995년 기간)을 49개 선정하여 격자점 자료(Grid Point Value)의 해변기압, 해수온도, 대기온도 데이터를 생성하였다. 이 생성된 6시간자료는 다시 태풍경도를 따라 시공적으로 보간하여 1시간 간격으로 경도 1/12도, 위도 1/12도의 격자값으로 해양시뮬레이션을 위한 방대한 데이터베이스를 만들었다. 이 기본기상데이터의 저장용량은 매 태풍 평균 1기가바이트로서 기상입력자료 데이터만 약 50기가바이트의 자료가 생성되었는데 〈그림 1〉은 생성된 바람장의 일례를 보여준다.

이 바람장의 특징은 한국근해권역의 바람이 해변기압, 해수온도, 기온을 입력으로 하는 해양경계층 모형으로 산정되고 태풍역부분은 모수화된 태풍역의 바람장을 삽입(embedding)시킨 결과로서 과거의 모수화된 태풍모형에 의해 동심원으로 제시되는 기압장과 바람장을 산정하는 방법에서 탈피하여 진일보시킨 접근이다.



〈그림2〉 8개 태풍시뮬레이션에 의한 복합과정이 고려되지 않은 최대유의파고분포

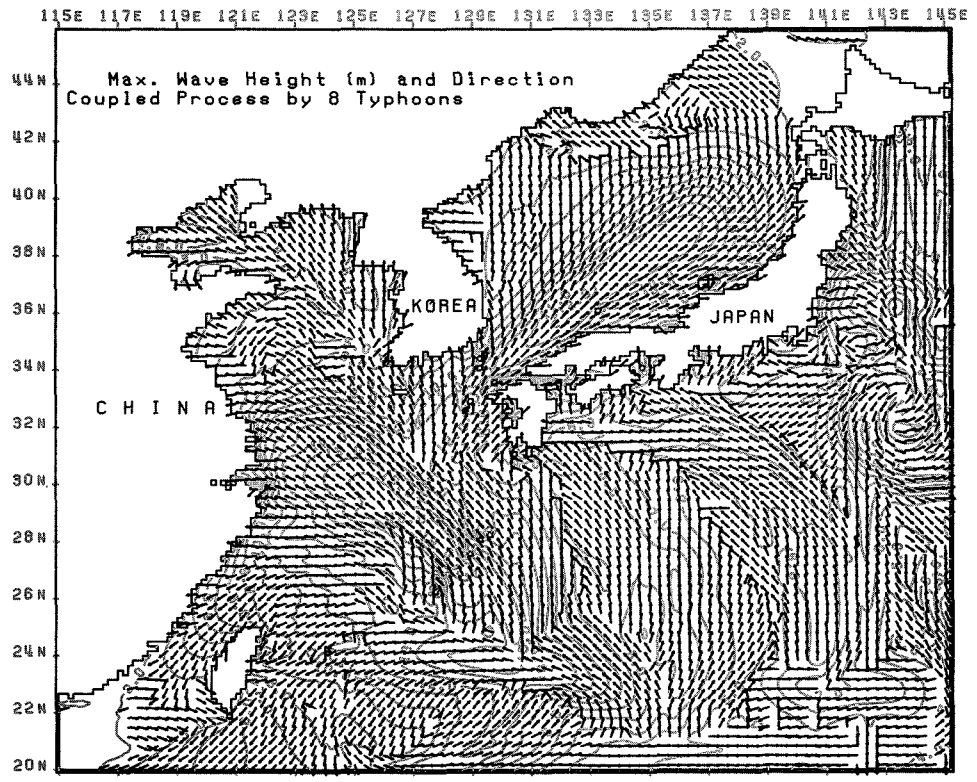
해파시뮬레이션

3세대 해파모형의 장점은 전세대의 해파모형보다 개선된 물리과정에 입각한 모형이며 무엇보다도 해파의 스펙트럼 형태를 미리 규정할 필요가 없어 빠르게 변화되는 바람장에 신축성있게 대응할 수 있다는 점과 전세대의 모형과 달리 구면격자체계 역시 수용할 수 있다는 점이다.

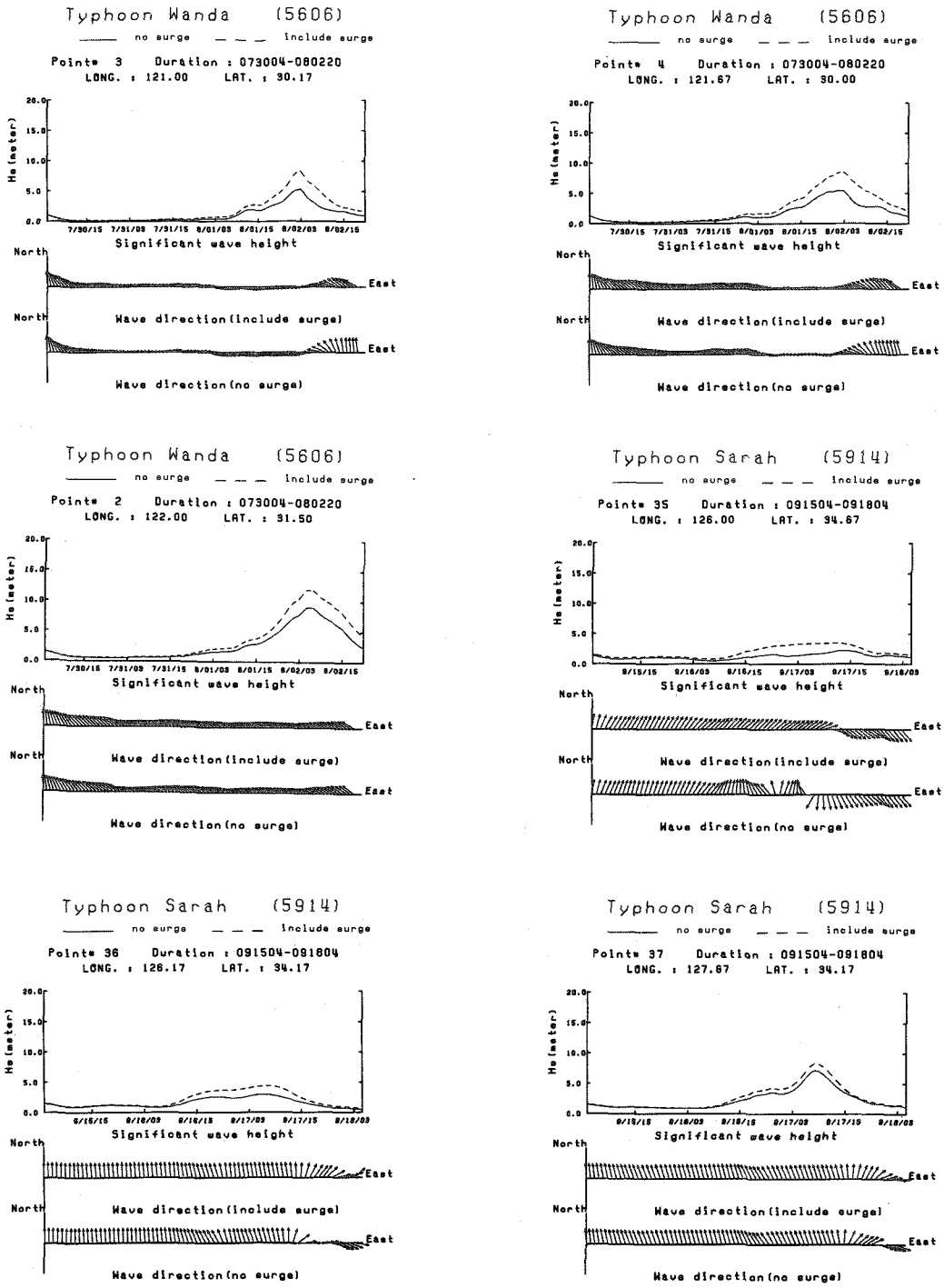
1988년의 수산청 심해파추정보고서에 채택된 해파모형은 거리간격이 큰 직교좌표계를 취함으로써 실제 지리표와의 거리오차가 수십 Km에 달하는 근본적인 단점이 있으며 태풍의 바람장 역시 단순화된 동심원적 분포를 취하므로 광역의 해파시뮬레이션으로 부적합하다.

우리의 관심은 우리나라 주변해역의 신뢰성있는 설계해파의 추정에 있다. 우리나라의 주변해역중 서·남해는 수심이 얕은 해역과 높은 조차, 강조류로 특성지워진다. 따라서 태풍이 내습하면 해수위가 변화하는 해일이 발생하고 이 해일과 조석은 복합되어 높은 수위와 강한 유속장을 형성한다. 따라서 이러한 수위변화와 강한 유속장이 해파시뮬레이션에 반드시 고려되어야 하는 기본적인 해양물리과정임에도 불구하고 누락되어 왔다.

본 글에서는 과학기술처가 지원하는 해상·연안 재해 대응 기술개발연구사업(96-98년 기간)으로 수행하는 연안구조물을 포함한 해안방어(coastal



〈그림 3〉 8개 태풍시뮬레이션에 의한 복합과정이 고려된 최대유의파고분포



〈그림 4〉 사라호태풍 및 완다호태풍경과시 산정된 해파로 #2, 3, 4는 중국 장강하구해역이며 #35, 36, 37은 한반도 남서단해역으로 복합과정이 고려된 해파산정은 점선으로 제시되고 있다.

defence)상황을 평가하는 과정에서 전술한 49개 태풍 중에서 서, 남해에 큰 영향을 준 8개 태풍의 실시간 조석해일 시뮬레이션의 매시간 산정수위 및 유속장을 3세대 WAM 모형에 기상자료와 더불어 입력시켜 해파시뮬레이션을 수행한 초기결과를 제시한다.

〈그림 2〉는 종전과 같은 접근방법인 해파시뮬레이션의 결과로서 8개태풍에 의한 최대유의파고의 분포이며 〈그림 3〉은 조석-해일-해파의 복합과정(coupled process)이 고려된 시뮬레이션에 의한 8개 태풍에 의한 최대유의파고분포이다. 〈그림 4〉는 조석이 큰 해역에서의 조석해일의 영향이 고려된 경우와 종전의 기상입력만에 의한 해상산정결과 유의파 시계열의 예시로서 두 결과의 상당한 차가 있음을 제시하는데 이러한 복합과정이 조석이 큰 육붕해전역에서 일어나고 있다. 아마도 세계적으로 이러한 강도가 높은 뚜렷한 복합현상이 일어나는 해역은 우리나라의 서, 남해역과 중국 장강, 항주만 해역일 것이다. 이러한 복합물리과정의 기상부이에 의한 현장관측시도는 80년도 중반에 국제협력연구로서 시도된 바 있으나 성공적이지 못하였다.

이와같이 광역해파모형의 결과인 심해조건의 해파산정결과는 천해파모형의 경계입력조건으로 이용되는데 기존의 심해파산정결과는 지역적으로 과소수정된 결과가 입력되어 해안, 항만 및 어항의 설계파산정에 큰 영향을 주게 된다.

천해의 파랑전파

이제까지의 우리나라에서 주로 적용하는 천해파산정방법은 파라메터화된 심해파 해파모형 또는 전술된 1, 2세대 조석, 해일, 해파의 복합과정이 고려되지 않은 광역해파모형에 의한 심해파추정결과로부터 파선방정식 또는 완경사방정식에 근거한 해파산정모형(타원형, 포물형, 쌍곡형)또는 Boussinesq방정식에 근거한 모형에 의해 산정하거나 또는 여전히 간단히 파라메터화된 천해파 해파산정도표를 이용하는 것이었다. 현업 설계자들이 아직도 아산항, 광양항과 같은 대규모 항만의 설계파산정에 있어 해도상에서 임의방향의 취송거리를 선정하여 실제 바람장의 상황은 고려않고 S-M-B 천해파 도표로서 수시간에 결과를 도출하기도 하는 해안시설물의 안전설계에 소홀한 현실이다.

실제 바람장은 해안의 지형효과에 의해 바람장이 복잡하게 변화되나 이를 과도하게 단순화시키고 있다. 또한 완경사방정식모형들도 모형경계에서의 해파가 변형되는 것만을 중점적으로 다루어 내역에서의 바람에너지입력에 의한 해파에너지의 증가를 고려하지 못하는데 우리나라 해안의 태풍상황의 해파수정이 역시 미흡한 실정이다. 국제적으로 이러한 부분의 접근은 wave action balance방정식에 근거한 바람, 해저효과, 해류의 영향까지 고려된 제 3세대 WAM모형의 천해역version인 SWAN (Simulation Waves Nearshore)이 공개적으로 제공되기 시작하여 진일보된 천해파산정의 계기가 되고 있다.

맺음말

우리나라 주변해역과 해안에서의 해파산정을 최근에 국제적으로 널리 시도되기 시작하는 접근방법에 의해 재평가해야 될 단계가 되었음을 본 글에서 강조하였는데 1990-1999년 기간을 국제연합이 제정한 자연재해경감의 10년(International Decade for Natural Disaster Reduction)으로 선진 해양국이 되기 위한 최소한의 노력을 기울일 시점이다.