

부산 북항 개발전후의 해수순환특성 수치모의

문영기* · 유창일** · 윤한삼***

* 부산항만공사, ** 부경대학교 해양공학과, *** 부경대학교 해양산업개발연구소

Numerical Simulation of the Sea Water Circulation Characteristics according to the development phases of Busan Port

Yeong Ki Moon* · Chang-Il Yoo** · Han Sam Yoon***

* Busan Port Authority, Busan, 600-755, Korea

** Dept. of ocean Engineering, Pukyong National University, Busan, 608-737, Korea

*** Research Center for Ocean Industrial Development, Pukyong National University, Busan, 608-737, Korea

요 약 : 본 연구에서는 부산 북항 재개발의 개발 단계별 해수순환 특성을 살펴보고, 이와 동시에 북항으로 유입되는 4개의 하천의 유량을 갈수기, 평수기, 홍수기로 나누어 각 시기별 하천유량의 유입이 북항의 해수순환에 어떠한 영향을 미치는지를 수치모의하고자 하였다. 결과적으로 부산 북항을 중심으로 한 해수유동 수치모의 시 건설 전과 후에 하천유량이 증가할수록 신선대 방향으로의 Flux가 증가하고 이는 건설 전·후와 상관없이 유동방향이 변하지 않기 때문인 것으로 사료된다. 또한 건설 이전의 홍수시 하천 조건에서의 해수교환율은 60%, 건설 전·후의 해수교환율은 하천유량조건과 관계없이 거의 같은 값으로 해수교환율이 증가하였다.

핵심용어 : 부산 북항, 해수순환, 수치모의, 해수교환율

ABSTRACT : This study aims to examine the the characteristics of the sea water circulation in related to the change of the water exchange rate according to the the development phases of Busan Port. To clarify the characteristics, the water exchange caused by construction of new-port and river discharge conditions was examined by the numerical experiments using the Lagrangian particle tracking model based on 2-D shallow water equation. This study deals with the change of flow field and water exchange after redevelopment using numerical simulation technique, based on the field observation and 4 rivers discharge flow. As a result of numerical simulation, Variation of current velocity in Busan North Port is almost nothing before and after construction. Water exchange of channel in area of redevelopment is a little. Futhermore, the tidal exchange had a tendency to be small both before and after redevelopment by 60 %.

KEY WORDS : Busan port, Sea water circulation, Numerical simulation, Water exchange ratio

1. 서 론

부산 북항은 과거 우리 나라 수출입화물을 원활하게 처리함으로써 경제 고도성장을 지원해 항만시설이었다. 그러나 도시 기능 팽창/확대로 인하여 부산 북항 외곽에 자성대, 감만, 신선대 부두 등 컨테이너 전용부두의 신설, 1995년 부산항 신항 개발 이후 시설이 노후되고 경쟁력이 떨어지는 부산북항 재래부두의 기능을 신항으로 이전하고 재개발을 하여야 한다는 의견이 대두되기 시작했다.

현재 2004년 부산북항 재개발사업에 대한 구체적 검토 이후 재개발시기와 방법, 개발방향 등의 논의와 여러 가지 행정절차가 진행되어 2008년 11월 국토해양부에서 사업시행자인 부산항

만공사(BPA)의 실시계획을 승인하고 BPA에서 작업장조성공사를 12월달에 착공하여 현재에 이르게 되었다.

특히 부산 북항 재개발사업은 초기 도심 기능회복과 지역경제 활성화를 목적으로 최적 기능을 위해 설계되었으나 최종적으로 부산 시민 및 관광객들의 접근성을 높이고 향후 부산의 새로운 이미지를 창출할 수 있는 친환경 친수공간의 필요성이 더 크게 대두되어 현재의 최종 마스터플랜이 완성되었다. Fig. 1은 현재의 부산항 항공사진 및 북항 재개발 계획의 조감도를 나타낸 것이다(부산항만공사, 2007).

부산 북항 재개발사업의 경우 우리나라 항만역사상 최초로 시도되는 항만재개발사업으로 그 의미가 매우 큰 사업이며 향후 추진될 항만재개발사업의 모델로서도 그 의미가 크다고 하겠다.

그러나 이러한 북항 재개발은 매립으로 인한 수질 악화와 개발로 인한 해안선 변화로 기존의 해양환경변화를 초래할 수 있

* 대표저자 : ykmoon@busanpa.com, 051-999-3000

*** 교신저자 : 정희원, yoonhans@pknu.ac.kr, 051)629-7375

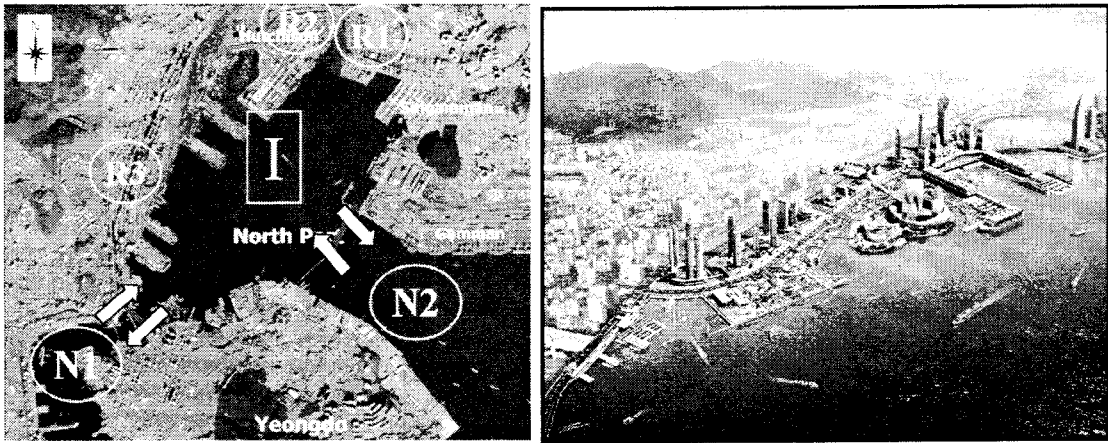


Fig. 1. Study area and location of installing current meter(St. 1 and St. 2) in left figure and redevelopment plan view of Busan North Port in right.

으며 이는 곧 생태계에 영향을 미쳐 부산 북항 주변해역의 해양생태계 변화를 초래할 것으로 예상된다. 따라서 부산 북항 재개발에 따른 연구가 아직은 미흡하기 때문에 이에 대한 고찰 및 연구를 지속적으로 추진되어야 할 필요성이 대두되고 있다.

따라서 본 연구에서는 부산 북항 재개발 지역의 건설전후의 매립단면에 대해서 해수유동 수치모형을 구축하고 건설전후의 주변 4개의 하천 유량을 갈수기, 평수기, 홍수기 유량 조건에 따른 부산 북항내의 해수순환의 변화특성을 수치모의를 통해 평가하고자 한다. 추가연구로는 북항으로 유입되는 조류의 관문이면서 좁은 협수로이고 선박의 통항이 잦은 영도대교 주변 해역에 대해서 현장유속관측 실시 및 협수로 수치모의를 실시함으로써 모형의 정도를 향상시키기 위한 기초적 연구를 수행하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 부산 북항의 재개발과 해수순환

부산 북항 재개발은 부산광역시 중구 및 동구 일원에 걸쳐 있는 연안·국제여객부두, 중앙부두 일원 및 제1~4부두에 걸친 지역을 재개발하는 사업이며, 사업면적은 1,424,000 m²으로 재개발 계획목표연도는 2020년이 된다. 북항은 신감만, 신선대 컨테이너 부두와 영도가 마주보는 중간에 위치하였으며, 자성대 부두와 나란히 남방파제로 유입되는 해수와 범선을 이루고 있는 형태이다. Fig. 2는 북항 재개발 마스터 플랜을 계획지구 별로 나타낸 그림이다(부산항만공사, 2007).

부산 북항 재개발 계획은 신항 개항에 따른 북항의 기능 정립, 여객터미널 확장, 원도심 발전 원동력 등이 필요하다는 취지하에 여건변화에 따른 항만재정비 필요성 대두, 사회환경 변화에 따른 워터프론트 개발압력 증대, 여객터미널 통합 필요, 주변지역과의 연계의 필요와 같은 사회적 배경들이 증가하면서 ㉠ 국제해양 관광거점으로 육성 ㉡ 유라시아의 관문 및 해륙교통의 요충지로 개발 ㉢ 친수공간 조성 ㉣ 항만재개발 모델 정립을 목적을 가지고 개발계획이 추진되고 있다.

특히 상술한 목적 중 ㉢의 친수공간 조성은 다른 목적의 근

간이 되는 사항으로서 관광거점과 교통의 요충지로서 시민 및 관광객의 접근성을 높이기 위해서는 필수적인 사항이다. 또한 항만재개발 모델의 정립을 위해서도 이러한 친수공간 확보는 반드시 이행되어야 하는 사항이다(조 등, 1999).

따라서 친수공간 조성의 가장 기본은 북항 주변의 수질을 향상시키고 이로 인해 해양생태계가 북항 주변에 자연스럽게 정착될 수 있도록 유도를 하는 것이다. 이에 육지로부터 오염물질이 포함될 가능성이 있는 하천수가 해수교환율에 어떠한 영향을 미칠지를 분석하는 연구도 필요하다(오 등, 2006).

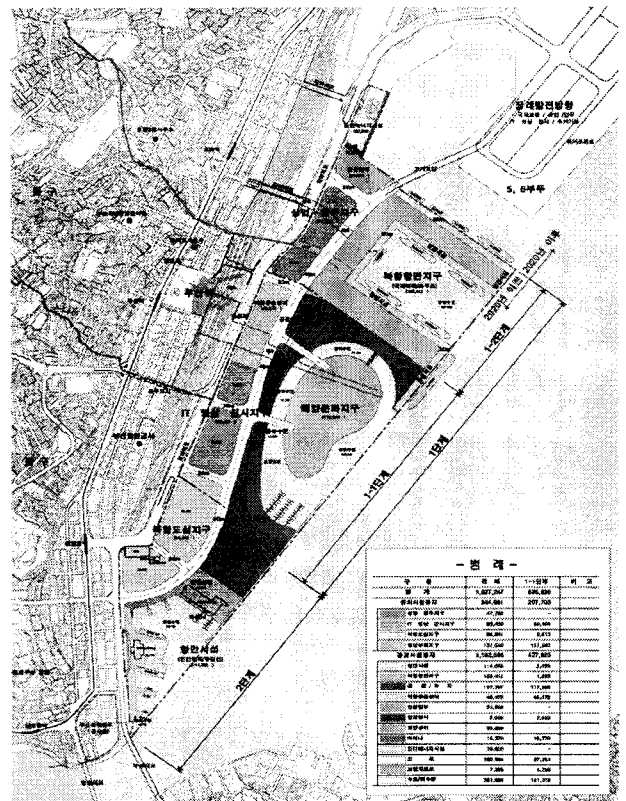


Fig. 2. Redevelopment detail plan view of Busan North Port.

2.2 단순 해수유동 수치모형 구축

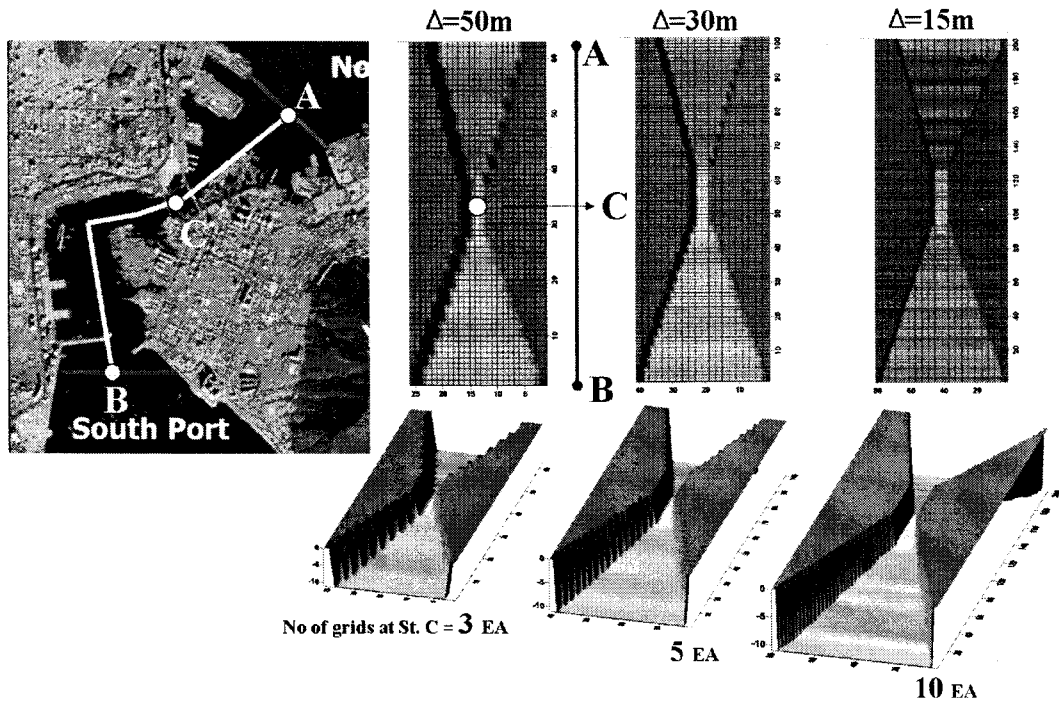


Fig. 3. Three study cases and grid system for check the effect of narrow channel.

대상해역인 부산 북항의 유동은 일정 수심을 나타내는 수역으로서 수심평균하여 적분한 2차원 모델에 의해 해역의 흐름특성을 비교적 유사하게 재현할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 2차원 단층모델을 적용하여 부산 북항의 해수유동장을 재현하고자 하였다. 특히, 부산 북항의 해수유동특성을 규명하기 위하여 수치모델을 구축하고, 현장관측으로부터 획득되어진 창·낙조류시의 주 흐름패턴과 와동특성, 항류특성의 재현성을 바탕으로 모형의 대상해역 적용성을 평가하였다. 구축되어진 모형을 바탕으로 가상의 실험 시나리오를 설정하여 수치모의하고 각 실험안별 부산 북항 해수교환율을 계산하였다. 사용되어진 모형은 문(2009)의 논문에 제시된 바와 같다.

2.3 영도 대교 협수로 수치모의

부산항은 영도대교의 협수로와 남방파제를 통하여 오류도 방파제로 통하는 두 개의 주요 해수 출입로가 있다. 특히, 영도대교는 남방파제 쪽과는 달리 수로가 매우 좁고 수심도 상대적으로 5~6 m로 작아서, 최강창낙조류시에 상당히 빠른 조류속을 보이는 곳이다. 이와 같은 협수로 해역을 수치모의하고자 할 경우 격자의 구성에 어려움이 따른다. 즉, 협수로의 격자 구성에 있어서 본 연구에서와 같이 단순모형의 정방격자를 사용하는 경우 1개 격자 간격의 길이에 따라서 협수로의 조류속 재현성이 크게 차이를 나타내기 때문이다. 이로 인해 협수로의 격자 구성이 폐쇄성 내만의 계산정도에 크게 영향을 미친다.

따라서 본 연구에서와 같이 단순 2차원 모형을 사용하는 경우에도 부산 북항의 경계에 해당하는 영도대교 지역의 협수로의 특성을 사전에 평가하여 실제 모형 구축시 최적의 격자 간격을 선정할 필요성이 요구되어진다.

이에 본 연구에서는 협수로를 Fig. 3과 같이 50, 30, 15 m의

임의 격자 간격에 대해 협수로 중앙부 및 주변부의 유속과 수위의 변화를 살펴보고자 하였다. 격자 간격 50 m인 경우 영도대교 중앙지점(C지점)에서의 격자수는 3개, 격자 간격 30 m인 경우 5개, 격자 간격 15 m인 경우 10개의 격자수가 포함되었다.

수치실험의 조건으로 해저지형은 영도대교와 남항 사이를 평행하게 펼쳐놓았다고 가정하여 관 오리피스와 같은 형상으로 단순화하였다. 또한 A와 B지점에 해당하는 외해 경계조건으로는 양쪽의 수위 진폭을 1 m로 하여 조위곡선은 cosine 함수를 사용하였으며, A의 위상값을 230°, B의 위상값을 233°로 약 3°의 위상차이를 주어서 계산을 수행하였다.

2.4 건설전후의 해수교환 특성

본 연구에서는 부산 북항 재개발에 따른 해수교환특성을 살펴보기 위해 입사추적실험을 통해 폐쇄성 내만인 부산 북항에 무하천 유량시 및 홍수하천유량 발생시의 하천유량조건에서의 수치입자의 이동양상을 살펴보고 시간에 따른 이동을 추적하고자 하였다. 사용되어진 모형은 문(2009)의 논문에 제시된 바와 같다. Fig. 4는 실험에 사용되어진 부산 북항 건설전후의 해안선 단면 및 수심도를 나타낸다.

수치실험에 적용된 평수기시 하천유량 조건으로 동천의 경우 1,001,881 m³/sec, 부산천은 21,056 m³/sec, 초량천은 682 m³/sec, 보수천은 114,527 m³/sec이며, 홍수기시 하천유량은 임의로 평수기시 하천유량의 3배에 해당하는 하천유량 조건을 적용하였다. 또한 Fig. 1의 좌측 그림에서 나타내 바와 같이 부산 북항에 대해서 대표단면을 설정하고 각 단면별 유량 flux를 산정함으로써 부산 북항의 해안선 단면 변화에 따른 해수교환특성을 개략적으로 살펴보고자 하였다. Fig. 1의 좌측 그림에서 N1과 N2라는 두 개의 수역과 북항을 포함하는 I 수역이 무하천,

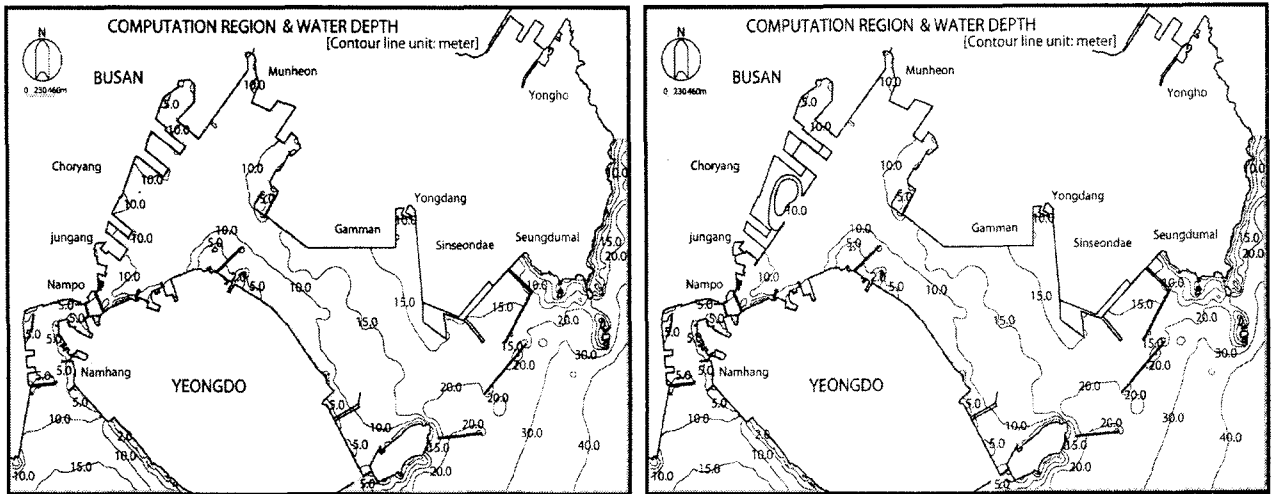


Fig. 4. Bottom topography of numerical simulation in present(left) and after construction(right).

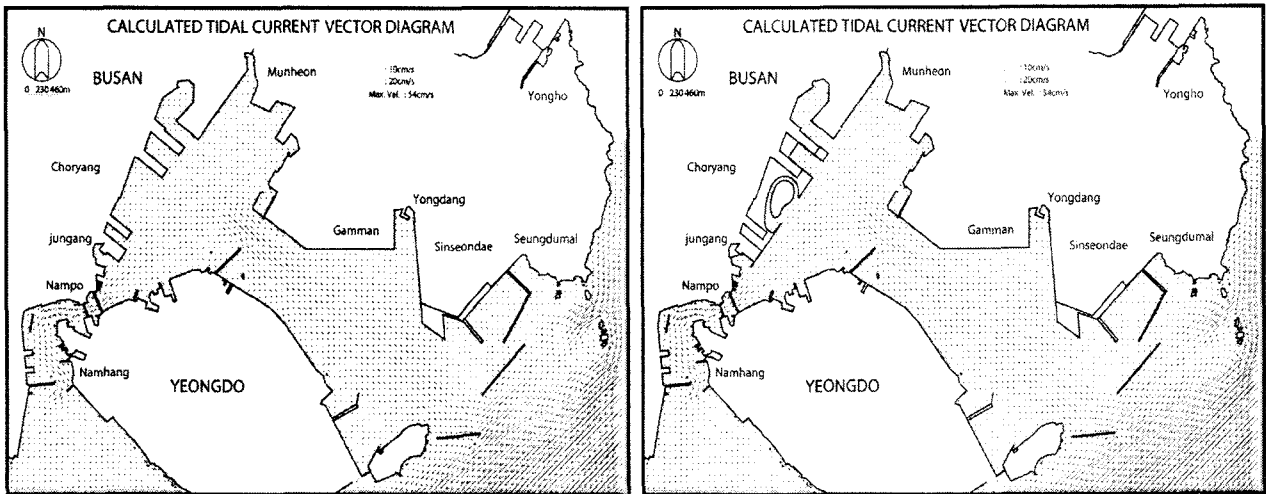


Fig. 5. Calculated flood tidal current pattern at spring tide in present(left) and after construction(right).

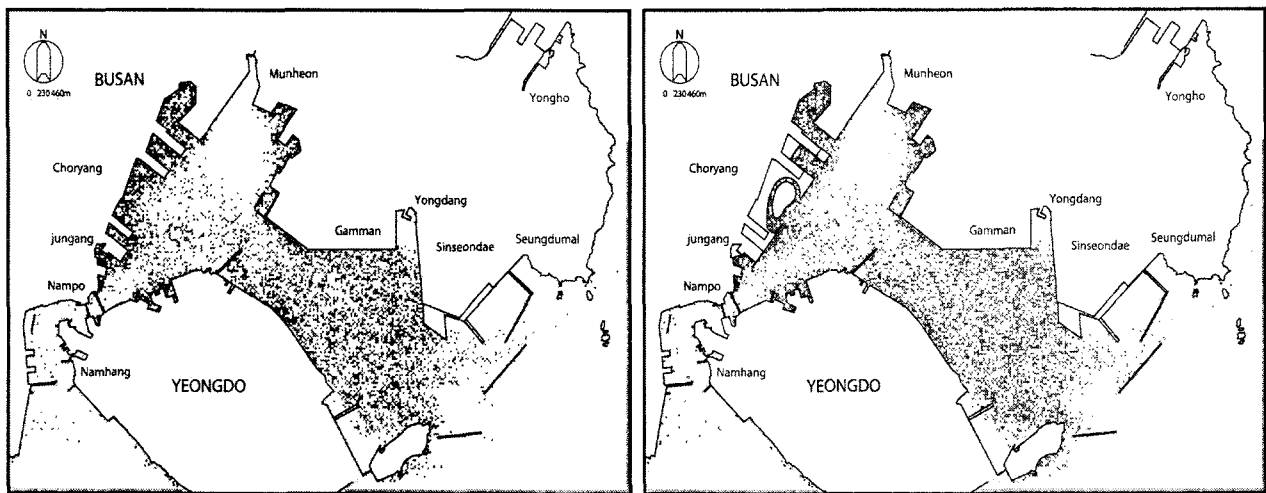


Fig. 6. Location of numerical particle with flood river flow after 15 day in present(left) and after construction(right).

평상시, 홍수시 하천 유량일 때 수피의 움직임이 어떻게 되는지를 계산하였으며, R1은 동천, R2는 부산천, R3는 초량천을 나타낸다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 영도 대교 협수로 수치모의 결과

영도 대교 협수로상에서 해수유동 현장 관측을 실시하여, 대조기일 때 영도대교의 최강창조류는 남향 방향으로 약 0.6 m/sec, 최강낙조류는 북향 방향으로 약 1.1 m/sec로 나타났으

며, 남방과제에서 15일간 관측된 결과에 의하면 최강창조류는 0.4 m/sec, 최강낙조류는 0.3 m/sec로 관측되었다.

또한 전술한 세 가지 임의 격자별로 구성되어진 모형에 경계조건을 입력하여 협수로 중앙부(C지점)에서 계산한 최대 유속값을 살펴보면 결과적으로 50, 30, 15 m 격자별로 최강유속값은 각각 58, 68, 81 cm/s로 격자 크기가 작을수록 유속이 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 계산 결과의 수위변화를 살펴보면 0.03~0.21 cm의 변동폭을 보였으며, 결과적으로 대상해역인 영도인근의 협수로를 계산할 경우 격자 간격 30 m로 계산하는 것이 가장 적합한 것으로 판단된다.

3.2 입자추적에 의한 해수교환

폐쇄성 해역에 대한 해수교환의 정도를 평가하는 방법은 여러 가지가 있으나 본 연구에서의 해수교환율은 임의 구역내 해수가 조류와 같은 해수유동작용에 수반하여 임의의 기간동안 얼마만큼 외해수로 대체하는가 하는 관점에서의 해수교환율을 의미한다. 이는 임의 구역내 해수는 외부역으로 유출된 양만큼 외해수로 채워진다는 발상에 기초한 것이다(박 등, 1998).

이와 같은 해수교환율은 대상구역의 수립자를 대변하는 표식입자의 거동예측 실험에 의하여 구할 수 있으며 이때 해수교환율은 초기 입자를 1로 하여 대상구역내 잔존 입자수가 얼마나 존재하는 지를 백분율로 환산한 것이다.

Fig. 6은 현상태에서의 부산 북항 건설전후 홍수하천 유량조건에서의 입자투하 15일 경과후의 입자분포 계산결과를 나타낸다. 결과적으로 Fig. 7과 같이 건설 이전의 하천 유량에 변화에 따른 해수교환율과 각 하천 유량별 건설 전·후의 해수교환율 변화를 도시하였다. 그림에서 살펴보면, 현재 상태에서 하천유량이 증가할수록 해수교환율이 증가하며 최대 60%까지 해수교환율이 산정되는 것으로 나타났다. 재개발 이후의 해수교환율 변화를 검토한 결과에 따르면 개발 이전이나 이후에 하천유량에 따른 해수교환율 차이는 매우 미미한 것으로 나타났다.

3.3 단면 유량 Net-flux 산정 결과

상술한 해수유동모형을 바탕으로 부산 북항내로 유입되는 하천 중 동천, 초량천, 부산천의 3 하천의 유량을 고려하여 부산 북항의 협수로에 해당하는 영도대교 및 남방과제의 두 대표 단면에 대해서 단면유량 Net-flux를 분석하고자 하였다.

Fig. 8과 Fig. 9는 건설 전·후의 해수유동 결과를 하천유량의 조건에 따라 유량 flux 변화량을 도시화한 것이다. Fig. 8에서 하천유량이 증가할수록 N2로 빠져나가는 수피가 많아지며, 상대적으로 N1으로 나가는 수피는 줄어든다. 이것은 N1 단면이 N2보다 상대적으로 수로가 많이 좁고 수심도 얕기 때문에 통수가 쉬운 N2방향으로 향하는 것이 계산에서도 나타났다. 따라서 하천유량이 증가하면서 N2방향의 flux가 N1보다 훨씬 많은 flux 변화를 보이므로 대부분의 홍수시 하천유량이 신선대 방향으로 흐를 것으로 판단된다.

Fig. 9는 건설 이후의 유량 flux 변화를 나타낸 결과인데, Fig. 8과 거의 같은 패턴을 보이며, 단지 유량 flux가 건설이전

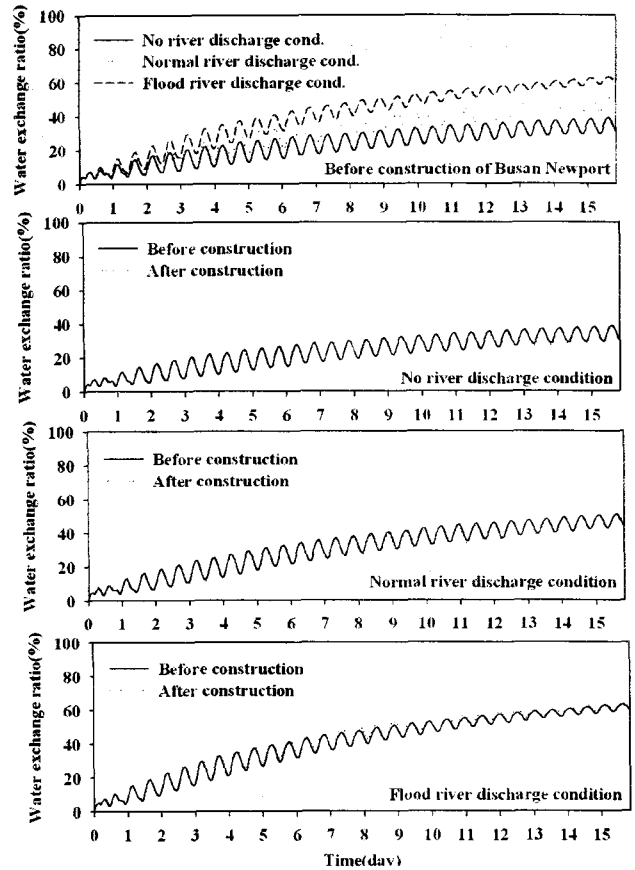


Fig. 7. Water exchange rate with and without river flow. 보다 상대적으로 약간 많은 것을 알 수 있다. 이것은 북항 재개발 이후 수역면적이 줄어들어 flux가 증가한 것으로 생각된다.

그러나 재개발 해역주변은 플릭스 변화가 극히 미미하였으며, 특히 재개발 지역내 수로의 해수유동은 극히 미약하여 초량천에서 유입되는 하천유량에 의한 힘으로 흐름이 결정될 것이며, 이마저 미약하면 육지로부터 오염물질이 북항내 호안 및 수로에 축적되어 생태환경 구축에 심각한 영향을 미칠 것으로 예상된다. 따라서 이 부분에 대한 면밀한 분석이 필요하며, 만약 자연적인 힘으로 해결되기 힘들 경우에는 수로의 유량을 인위적으로 조절할 수 있는 응용이 필요하다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 부산 북항 재개발의 개발 단계별 해수순환 특성을 살펴보고, 이와 동시에 북항으로 유입되는 4개의 하천의 유량을 갈수기, 평수기, 홍수기로 나누어 각 시기별 하천유량의 유입이 북항의 해수순환에 어떠한 영향을 미치는지를 수치모의하고자 하였다. 이를 위하여 북항으로 유입되는 조류의 관문인 영도대교와 영도 남방과제에서 유속관측을 실시하여 수치모델의 검증용 수행하였으며, 특히 영도대교의 협수로를 수치모의시 발생할 문제를 점검한 후 본 연구의 해수유동 및 입자추적 수치실험, 단면 유량 flux 수치실험을 실시한 결과는 다음과 같다.

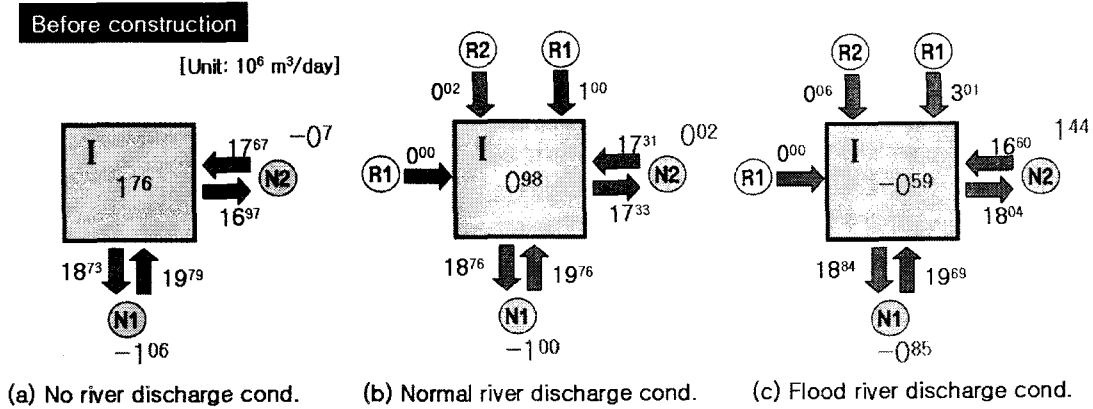


Fig. 8. Comparison of cross-section net-flux of sea water under the river discharge conditions before reconstruction of Busan port.

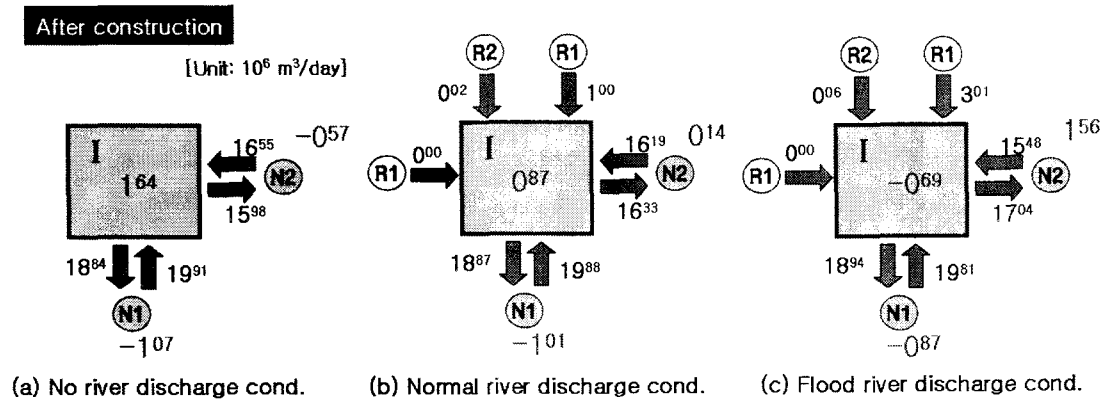


Fig. 9. Comparison of cross-section net-flux of sea water under the river discharge conditions after reconstruction of Busan port.

1) 해수유동 현장 관측을 실시하여, 대조기일 때 영도대교의 최강창조류는 남향 방향으로 약 0.6 m/sec, 최강낙조류는 북향 방향으로 약 1.1 m/sec로 나타났으며, 남방파제에서 15일간 관측된 결과에 의하면 최강창조류는 0.4 m/sec, 최강낙조류는 0.3 m/sec로 관측되었다.

2) 협수로 해수유동 수치모의시 격자간격에 따라 유속이 23 cm/sec 증가하고, 격자간격 50 m일 때 수위에서 격자 15 m일 때 수위 차는 최대 0.21 cm가 된다.

3) 부산 북항을 중심으로 한 해수유동 수치모의 시 건설 전과 후에 하천유량이 증가할수록 신시대 방향으로의 Flux가 증가하고 이는 건설 전·후와 상관없이 유동방향이 변하지 않기 때문인 것으로 사료된다.

4) 건설 이전의 홍수시 하천 조건에서의 해수교환율은 60%, 건설 전·후의 해수교환율은 하천유량조건과 관계없이 거의 같은 값으로 해수교환율이 증가하였다.

[2] 박병수, 류청로, 김종화(1998), 입자추적모형에 의한 내만에서의 해수 교환, 한국어업기술학회지, 제34권, 제4호, pp.410-418.

[3] 부산항만공사(2007), 부산항(북항) 재개발사업 마스터플랜 대안검토 종합보고서, p. 178.

[4] 오동훈, 이중우, 금동호, 전성환, 김강민(2006), 부산북항 재개발에 따른 유동장 및 해수교환 변화 모의, 한국항해항만학회지, 제30권, 제10호, pp.861-867.

[5] 조용수, 조은석, 이호수(1999), 부산북항에서의 도심형 워터프린트 개발방향에 관한 연구, 한국항만학회지, 제13권, 제2호, pp.351-363.

참 고 문 헌

[1] 문영기(2009), 부산 북항 개발단계별 해수순환특성에 관한 연구, 부경대학교 대학원 석사학위논문, p. 56.