

우리나라 주요 항만해역의 효율적인 수로측량 개선방안에 관한 연구

우양호† · 조동오†† · 김태균*

†, †† 한국해양대학교 국제해양문제연구소 조교수

*한국대학교 해사수송과학부 조교수

요 약 : 이 연구의 목적은 우리나라 해상교통 안전확보를 위하여 전국 주요 항만 해역에 대한 수로측량의 긴급성과 중요성의 기준을 객관적으로 마련해 보는 것이다. 즉 전국의 관할 항만 해역별로 중요성과 위험성, 다양한 이용 고객들 수요의 긴급성과 중요성 등을 고려하여, 수로측량 우선순위(survey priorities)를 설정하고 객관적이고 합리적인 모델을 만들어 보는 것이다. 이를 위해 항만해역 수로측량의 변천과 현황, 기존의 문제점을 살펴보고, 문헌연구와 해외의 해양선진국 수로측량 사례를 통하여 잠정기준을 도출하였다. 그리고 이를 전문가 설문조사 및 분석을 통해 우선순위를 도출하였다. 그 결과 우리나라 주요 항만해역의 수로측량 우선순위로는 해저지형 변화, 해상교통량, 기존 수로측량 실적, 이해당사자/이용자의 요구, 해양사고, 해양환경 및 생태자원 보존 등으로 나타났다. 결론적으로 본 연구는 우리나라에서 향후 수로측량을 보다 과학적이고 체계적인 방법으로 수행하기 위한 모델을 만들어보고, 여러 정책적 제안을 하였다.

핵심용어 : 항만해역, 수로측량, 해양사고, 해저지형변화, 수로측량 우선순위

1. 연구의 배경 및 목적

- ◆ **국제 무역의 증가에 따른 지속적인 예상운송 수요의 증가**
 - > 전세계 국제무역의 80% 이상, 우리나라 99.7% 이상
 - > 선박의 고속화 및 대형화로 인한 치열한 중심항만 경쟁
- ◆ **선박 통행량의 증가로 인한 선박 사고율의 증가**
 - > 2001년 해양사고 건수: 610건
 - > 2010년 해양사고 건수: 737건
 - > 연평균 약 2%씩 사고율 증가 - 최근 10년간 평균 해양사고 건수는 632건
- ◆ **해양조사 서비스 수요의 증가**
 - > 선박안전항해 확보
 - > 국방지원 및 해양 치안유지
 - > 해양레저스포츠 정착지원
 - > 해양과학기술 개발 및 저탄소 녹색 에너지개발을 위한 정보 제공 등
- ◆ **해양조사 업무의 중요성 부각**
 - > 최신 측량 정보 제공을 통한 선박 안전항해 확보
 - > 부족한 해양조사 장비 및 전문인력의 효율적인 활용방안의 필요성 대두
- ◆ **연구의 목적**
 - > 해상교통안전 확보와 수로정보 이용 고객들의 만족도 향상, 그리고 급증하는 해양관련 서비스 수요를 충족시키기 위한 과학적인 수로측량 방안 도출
 - > 숙련된 전문가를 통한 항만 해역별 해저지형 변화, 해상교통량, 해양사고 및 이용자 요구사항 등 수로측량의 긴급성 및 중요성 등을 고려한 수로측량 우선순위(Survey Priority) 및 주기설정 등 위한 모델 수립

2. 우리나라 항만해역 수로측량의 현황 및 문제점

년도별 수로측량 현황 분석

- **1980년대**
 - 수로입출통행 운송 및 선박의 항해 안전 목적으로
 - 불통항이 많은 부산 및 인천항 등을 중심으로 주요 항로와 항만에서만 이루어짐
- **1990년**
 - 연안 주요 항로와 항만에 대한 1차 측량 완료
 - 해상교통량 증가 및 신항만 개발에 따른 해양 변동
 - 정비측량이 완료된 46개 1·2종 항만 : 3~12년 간격의 일정한 주기설정
 - 연평균 5~6개항 대상 지속적 보완 측량 실시
- **이후 측정 항만의 경우 정비측량 주기의 단축필요성과 정밀 해저측량의 필요성 대두**
- **2003년 1단계 조정**
 - 주요항만 정비측량 주기 단축
 - 해도 정보의 신속한 연행과 유지
 - 측량주기 1~8년 대폭 단축
- **2004년 이후(주기재조정)**
 - 주요 4개항 추가(광양, 평택, 목포, 울산항) : 매년 수로측량 실시(8개항으로 확대)
 - 대형 선박의 입출항 빈도가 높은 28개 무역항 → 우선 수로측량 시행
- **2007년**
 - 교통시설 특별외계 지원으로 주요 항만 무역항(28개항), 연안항(24개항)에 대한 최신장비를 활용한 정밀 수로측량 실시

† 종신회원 woo8425@hanmail.net, oceancho@gmail.com

† 교신저자 종신회원 teddykim48@hhu.ac.kr

2-1. 항만해역 수로측량주기 재설정 필요성 대두

우리나라 무역항 수로측량 주기분석

항만유형	항만종류	항만주기(A)	수로측량 실적 및 기준	실적 수로측량 주기(B)	(A)-(B)
국 내 항 만	물동량 1위	1년	2003년(물동량), 2006년, 2007년, 2010년	2~3년(총 3년)	-1년
	부산항	1년	2002년, 2006년, 2007년, 2010년	2~4년(총 3년)	-1년
	인천항	1년	2002년, 2006년, 2007년, 2010년	2~4년(총 3년)	-1년
	수원항	1년	2007년, 2012년	5년	-4년
	대전항	1년	2007년, 2012년	5년	-4년
	경남항	1년	2006년, 2009년, 2007년, 2010년, 2010년	1~2년	-4년
	부산항	1년	2000년, 2006년, 2007년, 2012년	1~6년(총 5년)	-1년
	고령항	1년	2009년, [2011년 계획]	(총 3년 이후)	-1년
	홍도항	2년	2004년, 2006년, 2006년, 2007년, 2010년	1~2년(총 3년)	-1년
	마산항	2년	2001년, 2003년, 2006년, 2009년	2~3년(총 3년)	-1년
국 외 항 만	물동량 1위	5년	2012년	-	-5년
	마산항	5년	1999년, 2006년, 2009년	4~6년(총 4년)	1년
	연수항	5년	1999년, 2007년, 2009년	2~10년(총 5년)	3년
	부산항	5년	2008년(물동량), 2006년(물동량), 2007년(물동량), 2010년(물동량)	1~4년(총 3년)	3년

주: (A) 국내 항만은 현행 실적주기보다 실적 수로측량 주기(B)가 길면(짧으면) 몇 년 차이이며, (B) 국내 항만은 실적주기보다 수로측량 주기가 짧으면 (A)-(B)는 양(음)의 값을 의미함.

2-3. 현행 항만해역 수로측량의 문제점

◆ 문제점 1: 현행 항만 수로측량 주기는 설정한 정량적인 근거가 명확하지 않음.

- 출입항 선박의 규모와 교통량 및 물동량 등의 분석 부족
- 항만해역에 대한 부분측량으로 퇴적 상황 등의 파악이 어려움
- 예) 군산항, 장항항의 경우 항내 퇴적이 빠르게 진행 됨으로 최소한 반기별로 출몰 및 고시측량이 병행이 필요하나 이에 따르지 못함
- 항만별, 해역별 특성을 고려한 측량주기 설정이 필요하나 대량항만 위주임

◆ 문제점 2: 현 국공영항조사원의 예산, 장비 및 인력 부족으로 인하여 정해진 주기대로 이행 되기는 어려운 실정임

◆ 효율적인 항만해역 수로측량 주기설정 방안 대두

- ① 보다 정량적인 방법에 의한 새로운 수로측량 주기의 설정 필요
- ② 항만별, 해역별 특성을 고려한, 그리고 주어진 수로측량 예산 및 장비와 인력을 감안한 효율적으로 (efficient) 수로측량을 수행할 수 있는 방안 도출 필요

2-2. 항만해역 수로측량주기 재설정 필요성 대두

우리나라 지방관리항 수로측량 주기분석

항만유형	항만종류	항만주기(A)	수로측량 실적 및 기준	실적 수로측량 주기(B)	(A)-(B)
국 내 항 만	경주항	5년	2003년, 2006년, 2011년	2~5년(총 3년)	-3년
	서천항	5년	-	-	-5년
	보령항	5년	2006년, 2010년	5년	0년
	당진항	5년	2008년, 2009년	4년	1년
	홍도항	5년	2007년, 2010년	5년	0년
	삼천포항	5년	1999년, 2006년, 2011년	2~7년(총 5년)	0년
	물동량 1위	5년	2006년, 2011년	5년	0년
	고령항	5년	2004년, 2009년	5년	0년
	천안항	5년	2004년, 2009년	5년	0년
	장항항	5년	1999년, 2004년, 2009년	5년	0년
국 외 항 만	러블항	5년	2012년	-	-5년
	연안항	5년	2001년, 2003년, 2009년	2~6년(총 5년)	-1년
	순천항	5년	2008년, 2010년	7년	-3년
	순천항	5년	2004년, 2010년	5년	-1년
	삼천포항	5년	2008년, 2007년, 2010년	2~5년(총 3년)	0년
	고산항	5년	2011년	-	-5년
	서귀포항	5년	2007년, 2011년	4년	1년

주: (A) 국내 항만은 현행 실적주기보다 실적 수로측량 주기(B)가 길면(짧으면) 몇 년 차이이며, (B) 국내 항만은 실적주기보다 수로측량 주기가 짧으면 (A)-(B)는 양(음)의 값을 의미함.

3. 해외 항만해역 수로측량 현황 및 시사점

◆ 국내외 해양국가들의 수로측량 우선순위 설정 현황

국가	미국 ¹⁾	미국	캐나다	호주	영국
해양조사 기관	국립해양조사원	NOAA	Canadian Hydrographic Service (CHS)	Australian Hydrographic Service (AHS)	
우선순위 결정	NOAA Hydrographic Survey Priorities (NHSP)			HYDROSCHEME	
우선순위 설정요소	<ul style="list-style-type: none"> -인위적으로 수심변화가 심한 지역 -선박 항로가 많이 오가는 지역 -인위적 개질 등 퇴적 변화가 심한 지역 -특정 목적으로 인한 계획변화 가능성 지역 -해양환경 등 경제적 중요지역 -해양법에 대한 이중차 요구가 많은 지역 -해양환경 및 대지질환경 변화가 심한 지역 	<ul style="list-style-type: none"> -선박교통량 증가 -수로측량 실적(년도, 장비, 측정 결과 등) -선박의 경우 출몰 횟수 -자연적 또는 인위적 항내 퇴적물 증가 -해양조사자로부터의 요구 (토공사, USSC, 해상개발 등) 	<ul style="list-style-type: none"> -해양사고 발생률 -어항의 생산성 -항만 운영 효율성 -자원 관리 -항내 퇴적물 증가 -해양조사자로부터의 요구 (토공사, USSC, 해상개발 등) 	<ul style="list-style-type: none"> -선박교통량 및 항내 퇴적물 -항내 퇴적물 -선박의 경우 출몰 횟수 -항내 퇴적물 -항내 퇴적물 -항내 퇴적물 -항내 퇴적물 -항내 퇴적물 	<ul style="list-style-type: none"> -해양사고 발생 -선박의 경우 출몰 횟수 -항내 퇴적물 -항내 퇴적물 -항내 퇴적물 -항내 퇴적물 -항내 퇴적물
우선순위 적용(항만)	<ul style="list-style-type: none"> -1순위 연구지역 -2순위 연구지역 -3순위 연구지역 	<ul style="list-style-type: none"> -방호항역지역 -최우선 해양지역 -우선순위 1-5지역 	<ul style="list-style-type: none"> -고위험 해양지역 -중위험 해양지역 -저위험 해양지역 	<ul style="list-style-type: none"> -상위권, 최상 및 환경 중요 해역에 따라, HIGH, MEDIUM, LOW 	
우선순위 설정목적	<ul style="list-style-type: none"> -항내 안전성 확보 -해양환경 등 개발 -해양연구 목적 	<ul style="list-style-type: none"> -안전항역 확보 및 항내 안전성 확보 -항내 안전, 위생, 기타 환경적 등 선상활동 지원 -해양연구 및 해양 개발 목적 	<ul style="list-style-type: none"> -해양교통의 안전성 확보 -항내 안전성 확보 -항내 안전성 확보 -항내 안전성 확보 	<ul style="list-style-type: none"> -상위권 목적 -중위권 목적 -하위권 목적 	

주: 1) 해양조사원, 해양조사원, 고령항, 함안항, 양주항, 양양항, 2007. 12. 29. 경제선 내보출.

우리나라 무역항 연안항 수로측량 주기분석 결과

- > 현행 항만해역 수로측량이 시행되고 있는 실적은 정해진 수로측량 주기와 상이함.
- > 2004년 2단계 수로측량 주기조정 이후의 기준에 의하면:
 - ① 무역항: 수로측량 실적은 주기보다 다소 늦게 (국가관리항-평균 1.1년, 지방관리항 -0.7년)
 - ② 연안항: 정해진 수로측량 주기보다 더 빨리 (평균 2.5년) 행하여지고 있음.
- ◆ 무역항의 현행 수로측량 주기는 1년~6년으로 빠른 주기를 가지고 있지만, **실제 해양항만 전체의 수로측량을 정해진 주기에 맞게 시행하기에는 불가능함**.
 - 대형 항만 중심의 빠른 측량 주기설정으로 동시 대규모 측량이 어려움
 - 현재, 1년 주기의 8개 대형 항만의 경우 매년 전면적 동시측량 실시 무리가 따름
- ◆ 그리고 연안항의 경우는 실제 수로측량 주기가 빠르다 할지라도, 정해진 수로측량 주기로 시행이 되지 않음.
- ◆ 즉, 현재의 수로측량 현실과 상황에 맞게 "새로운 수로측량 주기"가 설정되어야 함.

4. 설문 조사를 통한 항만해역 수로측량 우선순위 설정 기준 정립

◆ 국내외 문헌조사를 통한 기준 도출

- ① 해상 교통량
- ② 해양사고율
- ③ 수로측량 실적자료
- ④ 해저지형 변화 및 수심변화
- ⑤ 이해당사자의 요구
- ⑥ 해저 위험성 또는 장애물의 존재 가능성
- ⑦ 해양환경 및 생태계 보존지역

◆ 국내외 문헌조사 및 전문가 집단 회의를 통한 기준 도출

1. 해저지형 변화 요소: 항만이 지리적으로 강 아구에 위치하여 퇴적을 유발, 인공적인 해상시설물 건설, 매립 및 콘실 등으로 수심변화가 심한 경우
2. 해상교통량 요소: 항만에 컨테이너선, 화물선, 여객선, 어선 등의 통행량이 많은 경우
3. 해양사고 요소: 선박 해양사고의 발생빈도가 많고, 해저에 침선, 암초 등이 있는 경우
4. 기존 수로측량 실적 요소: 과거 수로측량의 실적, 데이터가 적거나 경선이 오래된 경우
5. 해양환경 및 생태계 보존 요소: 자연환경이 수리하고 해양 생물보존의 가치가 높은 경우
6. 이해당사자 및 이용자의 요구 요소: 항만이용자(고려한 해운/물류/수산/건설기업과 선주단체, 어선 및 어선단체, 해상안전전문가, 정책담당자의 의견수렴

- ◆ 항만관리의 3가지 분류 요소: 무역항 (국가관리항), 무역항 (지방관리항), 연안항

4. 설문조사를 통한 항만해역 수로측량 우선순위 설정기준

조사과정과 방법

- 조사대상기관(국립해양조사원, 지방해양안전청, 한국조선사업회, 한국해양조사협회, 항만공사, 지방자치단체, 기타 민간업체 등)에 대하여 할당표본(quota sampling) → 총 91명이 응답
- 설문지를 우편과 이메일로 송부/회수, 이메일(E-mail) 조사도 동시에 병행

분석결과

기존 수로정보의 이용빈도: "가외 해일" 28.6% "월 1회~2회" 28.6%
최소 주 단위 이상으로 자주 이용.

기존 수로정보의 만족도: "만족한다" 46.2% "보통" 29.7%로 나타나 만족도가 높은 편임.
평균 만족도점수는 5점 만점에 3.567로 높은 수준.

기존 수로정보의 정확성(유용성): 가장 큰 장점(유용성)은 여러 가지 수로관련 정보를 한꺼번에 제공하는 "종류(연계성) 정확(유용성)"

기존 수로정보의 가장 큰 단점(아르함)은 "최신성(데이터) 부족"임으로 최신성>종류성>정확성>보완성 순으로 개선 필요.

기존 수로정보의 전문가들은 "수심 및 조류 정보"를 가장 중요하게 실려볼 필요 항목 >해상교류>해저장애물>해당시설물>해안선 및 해저지형 정보 순으로 개선.

4. 설문조사를 통한 항만해역 수로측량 우선순위 설정기준

국가관리항, 지방관리항, 연안항의 가중치와 측량주기

항목	측량주기 최소값	측량주기 최대값	측량주기 평균연수 (년)	표준 편차
국가관리항	1.00	6.00	2.2088	1.1881
지방관리항	1.00	7.00	2.8646	1.3297
연안항	1.00	8.00	3.4091	1.5134

- 항후 수로정보의 보완요소
→ 항후 수로정보의 주요 보완요소는 수심 및 조류 정보, 해저지형 및 퇴적물 정보 등이었음.
- 항후 측량사업의 보완요소
→ 항후 전국 주요항만해역(57개소)의 수로측량사업의 보완요소는 크게 "조사 기간과 정보생산 시기 조정", "정보제공 방식 및 서비스 강화", "인력/예산과 장비의 확충" 등 3가지로 이슈로 파악.

4. 설문조사를 통한 항만해역 수로측량 우선순위 설정기준

항만해역 수로측량의 우선기준과 가중치

가중치 점수 합계 "10"이 되도록 할당하여 우선식 답변

<항만해역 수로측량의 우선기준>

- 해저지형 변화: 항만이 지리적으로 강 하구에 위치하여 퇴적물 유입, 인공적인 항상시설물 건설, 매립 및 준설 등으로 수심변화가 심한 경우
- 해상환경 및 생태적용 보존: 자연환경이 수려하고 해양 생물보존의 가치가 높은 경우
- 해상교통량: 항만에 편대어선, 화물선, 여객선, 어선 등이 총항량이 많은 경우
- 인해당사자/이용자의 요구: 항만이용자(고객)인 해운업체/수출/건설기업과 선주단체, 어선단체, 전문기관/학연망에서의 의견수렴이 필요한 경우
- 해상사고: 선박 해상사고의 발생빈도가 많고, 해역에 접근, 안전 등이 있는 경우
- 기존 수로측량 실적: 과거 수로측량 실적, 데이터가 적거나 정산이 어려운 경우

항목	우선순위	가중치
해저지형 변화	1위	3.2857
해상교통량	2위	1.7253
기존 수로측량 실적	3위	1.6254
이해당사자/이용자의 요구	4위	1.2747
해상사고	5위	1.2088
해상환경 및 생태적용 보존	6위	0.8901

5. 항만해역 수로측량 우선순위 설정을 위한 모형 (Model)

모형(model) 개발의 목적

> 한정된 수로 및 해양측량 장비와 인력의 효율적인 (또는 최적의) 관리 (efficient or optimized management)를 통한 우리나라 관할 항만해역의 총항량은 선박의 안전항해의 확보

항만해역 수로측량 우선순위 설정 모형(Model)

$$Score_z = P_k \left[\sum_i^6 w_i L_i \right]$$

단, $P_k = k$ 번째 관리항별 가중치; $k=1, 2, 3$ (국가관리항, 지방관리항, 연안항)
 $w_i = i$ 번째 수로측량 우선순위 설정 기준의 가중치; $i=1, 2, 3, \dots, 6$
 $L_i = i$ 번째 수로측량 우선순위 설정 기준의 실적치; $i=1, 2, 3, \dots, 6$
 $Score_z = z$ 번째 항만의 수로측량 우선순위 설정 값; $z=1, 2, 3, \dots, 57$

4. 설문조사를 통한 항만해역 수로측량 우선순위 설정기준

국가관리항, 지방관리항, 연안항의 가중치와 측량주기

가중치 점수 합계 "10"이 되도록 할당하여 우선식 답변

<국가관리항, 지방관리항, 연안항의 해설>

- 국가관리항(14개): 부산, 울산, 인천, 광역경제권, 경인, 영남, 경상, 충청, 목포, 평양, 여수, 부산, 목포, 목포
- 지방관리항(17개): 서울, 하동, 보령, 덕안, 삼도, 삼천포, 통영, 고천, 옥포, 장승포, 진해, 속초, 육개, 삼척, 포산, 해주, 서귀포
- 연안 항(26개): 용기포, 연평도, 대천, 비연, 송원, 대곡산도, 풍도, 평록, 갈취, 죽왕포, 신대, 녹동산, 거문도, 나로도, 중적, 부안남, 구룡포, 우도, 포항, 주문진, 주자, 예월, 함평, 죽곡, 영선포, 강구

항목	가중치 최소값	가중치 최대값	가중치 평균	가중치 순위
우역항 (국가관리항)	1.00	7.00	4.7802	1위
우역항 (지방관리항)	1.00	6.00	2.8790	2위
연안항	1.00	6.00	2.2198	3위

6. 결론

- 국내외 환경변화에 따른 국가전략 변화, 다른 정부부처의 요청, 항만 개발 및 물동량 변화에 따른 항만 중요도 변화, 해수면상승 및 해양물리 변화 등에 의하여 항만해역 수로측량주기의 재설정 필요성 대두!
- 주기적으로 관할 항만해역에 대한 해상교통안전성에 대한 위험성을 분석하여, 과학적이고 합리적인 수로측량조사 업무를 수행할 수 있는 체계마련 필요!
- 항만해역 수로측량 우선순위 설정기준을 마련하고 우선순위 설정모형을 개발하여:
 - > 과학적이고 지속적인 항만해역 모니터링과
 - > 항만해역 해상교통 안전성에 대한 Risk Assessment 등을 통하여
 - > 항만해역 수로측량 우선순위를 설정한 후,
 - > 핵심항만별 필요한 지역에 대한 주기적인 수로측량을 실시