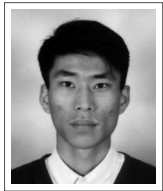




“인도네시아 기후변화대응을 위한 해안보호 및 관리정책사업” 소개

- Introduction of Coastal Protection and Management Policy Addressing Climate Change Impact in Indonesia -



박 원 경

(주)대영엔지니어링
부설기술연구소 해안·해양공학연구실 이사
ocean21c@hanmail.net



김 민 균

(주)대영엔지니어링
부설기술연구소 해안·해양공학연구실 과장
kimminkyun@dyengco.com

다가올 자연재해 피해에 대한 암울한 미래가 적나라하게 서술되어 있다. 인도네시아는 총 연장 95,181 km의 세계에서 2번째로 긴 해안선을 따라 약 17,000여개의 섬들을 보유하고 있으나, 체계적이지 못한 해안관리로 해안지역 인프라, 농업, 산림자원, 생태 및 도시기반 시설이 훼손되고 있으며, 기후변화에 따른 영향으로 그 정도가 더욱 악화될 것으로 예상되고 있는 실정이다. 이에 인도네시아 정부는 해안 지역의 침수, 수위상승으로 인한 각종 재해의 심각성을 인식, 중앙정부 차원에서 기후변화대응을 위한 해안보호 및 관리정책을 수립할 계획으로 필요한 관련 기술을 한국정부에 요청하였고, 한국정부는 이를 수용하였다. 2010년 3월 25일 연합뉴스 자카르타 통신원의 다음과 같은 보도가 있었다. 한국국제협력단(Korea International Cooperation Agency, KOICA)이 인도네시아 국가개발기획청(BAPPE-NAS)과 협력해 ‘인도네시아 기후변화 대응을 위한 해안보호 및 관리정책사업’을 지원하기로 했다. 그리하여 KOICA에서 2009년 8월부터 사업요청 접수, 타당성 검토, 사전조사 실시, 실시협약 및 RD체결, PMC업체 선정 등의 과정을 거쳐 현재, 사업이 진행되고 있다.

본 사업은 최우선 보호지역에 대한 마스터플랜 수립을 담당한 (주)대영엔지니어링의 주관으로 DB구축을 맡은 (주)지오투정보기술, 중장기 해안보호 및 관리정책 로드맵을 수행할 한국해양수산개발원 컨소시엄에서 수행하고 있으며, 각 분야별 국내 전문가들이 현지에서 파견되어 인도네시아 현지 전문가들과 협력하여 업무를 수행 중에 있다. 사업의 주요내용을 <표 1>에 정리하였다.

1. “기후변화 못 막으면 인도네시아 수도 옮겨야”

2007년 12월 4일, “기후변화 못 막으면 인도네시아 수도 옮겨야”라는 머릿기사로 연합뉴스의 방콕 특파원이 보도한 내용을 인용하면 다음과 같다. 지구촌의 기후변화를 막지 못할 경우 세계 최대의 군도(群島)로 이루어진 인도네시아는 다수의 섬이 지도상에서 사라질 뿐 아니라 수도인 자카르타는 고지대로 옮겨야 할 상황이 발생할 것이다. 인도네시아 반둥공과대학의 기상학자인 아르미 수산디 교수는 자국의 경우 2080년까지 매년 해수면이 0.5cm씩 상승하고 저지대에 위치한 수도 자카르타 전면해상은 이보다 높은 0.87cm씩 해수면이 높아질 것으로 예상했다. 수산디 교수는 “2050년에는 자카르타의 24%가 사라질 것”이라며 “수도를 자카르타로부터 동쪽으로 180km 떨어진 고지대 도시인 반둥으로 옮겨야 할 지모른다”고 말했다.

전술된 기사에는 기후변화로 인하여 인도네시아에



표 1. Outline of the Indonesia Project

구 분		내 용	
사업명		인도네시아 기후변화대응을 위한 해안보호 및 관리정책 사업	
사업목적		인도네시아 해안보호 및 관리에 대한 정책수립역량을 강화함으로써, 지반침하, 침수 등 해안지역의 피해를 최소화함과 동시에 인도네시아의 기후변화적응에 기여	
사업내용	한국	전문가 파견	<ul style="list-style-type: none"> - 중장기 해안보호 및 관리정책 로드맵 수립 - 해안보호 및 관리를 위한 데이터베이스 구축 - 최우선 보호지역에 대한 마스터플랜 수립
		국내초청 연수	- 해안보호 관리 분야 정책결정자 및 실무자급 10명/10일
		기자재 지원	- 현지조사용 차량 2대 및 Data Bank구축용 서버시스템 등
	기 타	- 실시협의, 중간 및 종료 평가 등	
인도네시아	사업지원	<ul style="list-style-type: none"> - 사업 진행을 위한 법적, 제도적, 행정적 지원 - 카운터 파트 인력지원 - 현지조사 및 자료수집 지원 - 현지 파견 전문가 사무 공간 제공 및 행정적 지원 - 사업 관련 기자재 면세 통관 등 	
사업대상지역		인도네시아 전 해안역 및 주요 재해/환경 민감지역(Semarang, Jakarta, etc)	
사업규모/기간		300만불 / 2010-2011(2년)	
수혜자		인도네시아 해안침수피해 지역 주민	
기대	한국	인니 전역의 재해/환경 민감 지역에 대한 관리 제어기술의 확산을 통한 국가위상 제고	
효과	인도네시아	해안관리기술 제고 및 데이터뱅크 구축으로 인한 선진 공간정보기법 습득	
시행	한국	한국국제협력단(KOICA)/(주)대영엔지니어링, (주)지오투정보기술, 한국해양수산개발원	
기관	인도네시아	인도네시아 국가개발기획청 (State Ministry of National Development Planning/BAPPENAS)	

2. 인도네시아 현지 현황 파악

1) 연안재해 현황

인도네시아의 자연재해 현황 <표 2>를 살펴보면, 화산과 지진을 제외한 해양성 재해인 홍수, 파랑, 해일의 피해가 심각함을 알 수 있다. 2004년 수마트라 지진해일 피해 이후, 연안역 식물(Seagrass, Mangrove 등)의 해안방호 역할을 깨닫고 무분별한 벌목을 정책적으로 금하고 있으나 이는 기후변화 및 해수면 상승 등에 노출된 해양에서 발생하는 파랑 및 조석운동에 대비할 수 있는 절대적인 해안보호 방법이 아님을 깨닫고 있다. 최근에는 기후변화로 인한 해수면 상승과 과거보다 강력한 열대성 저기압으로 생성된 폭풍 및 고파랑으로 인한 피해가 속출되고 있는 실정이다.

특히, 인도네시아 자바섬 북부 해안의 경우 지진해일 피해는 거의 없으나 저지대가 많고 지반침하, 해수면상승, 파랑 등의 작은 해양환경변화(수 cm의 해

수면 상승 등)에도 대규모의 해수범람과 해안침식 피해가 발생하고 있어 대표적인 환경민감지역 (Environmentally sensitive area)으로 꼽히고 있으며, 시급한 대책 마련이 요구되고 있다.

실제 자카르타만의 경우 매달 조석운동으로 인하여 상승된 자바 해의 해수가 내륙으로 밀려들어와 일부 지역이 상시 범람되고 있으며, 2007년 11월 26일에는 천문학적 조석 변동 주기(18.6년)에 따른 최대 고극조위에 달하면서 가옥침수 70,000채, 이주민 42만명, 사망 69명, 피해액 미화 4.5억 달러에 달하는

표 2. Natural Disasters in Indonesia (1907~2007)

Items	Number of events	Killed	Total people affected	Damage in US\$ (million)
Earthquake	85	28,661	5,032,718	3,972
Flood	109	5,576	7,401,098	2,008
Volcano	46	17,945	990,942	344
Wave/Surge	8	167,852	570,561	4,507
Wind storm	10	1,992	19,698	N/A
Total	258	222,026	14,015,016	10,831

(Source: EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database, www.em-dat.net)

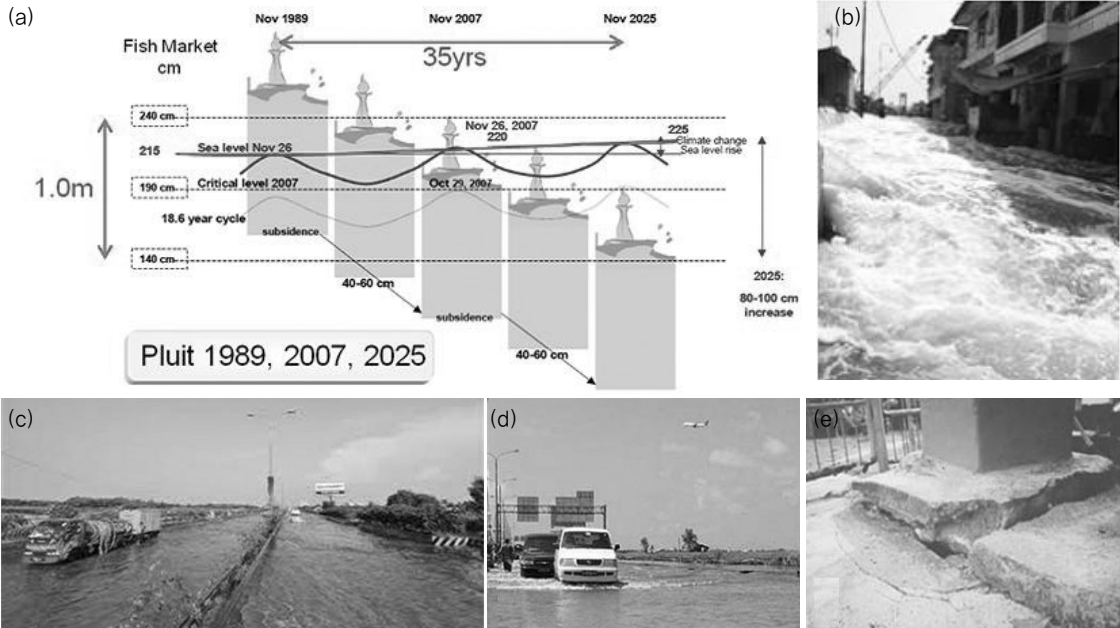


그림 1. (a)Estimation of Coastal Inundation at Pluit in Jakarta; (b),(c),(d)Tidal Flooding in the fair weather; (e)Land Subsidence

대규모 침수피해를 입었다.

홍수위험도(Flood Hazard Mapping)에 관한 최근 연구보고서에 따르면 자카르타 지역은 2007년부터 바다로부터의 범람에 의해 심각한 위협을 받고 있으며, 도시 북부지역의 지속적인 지반침하로 해수범람이 계속될 것으로 예측되고 있다. <그림 1>의 (a)는 해수면상승, 천문조, 지반침하 등의 복합적인 원인으로 자카르타 플루잇 지역의 해수범람 예측개념도이며, (b)는 청천시 자카르타 북부의 해수범람 피해사진이며, (c), (d)는 인도네시아 공항으로 향하는 고속도

로의 범람사진이고, (e)는 자카르타의 지반침하 사례 사진이다. <그림 2>는 2007년 피해 당시와 해수면상승을 0.57cm/yr, 지반침하율 0.8cm/yr를 가정한 2050년의 침수예상도이다.

2) 해수면 상승 현황

전술한 바와 같이 인도네시아 자카르타, 스마랑 지역은 지반침하, 해수면상승, 조석, 폭풍해일, 홍수, 내수배체제 등이 복잡하게 연계된 수리현상으로 해수



그림 2. Prediction of inundation in Jakarta bay



그림 3. Causes of coastal inundation in Indonesia
범람 및 해안침식이 빈번히 발생하고 있다. <그림 3>에 인도네시아 해안의 해수침수 및 범람의 원인들을 종합적으로 도시하였다. 본고에서는 이중 지반침하와 해수면 상승에 대한 기존 연구결과를 살펴보기로 한다.

유엔 기후보고서(IPCC, 2007)에 의하면 지구온난화로 인하여 급세기 지구온도가 1.1~6.4℃ 상승할 경우, 해수면은 16~59cm 상승될 것이라고 전망한 바 있다. 미국해양대기관리국(NOAA)은 1993~2010년 간의 위성자료를 분석하여 전세계의 해수상승 추이 지도를 작성한바 있으며, 그 결과에 따르면 인도네시아와 필리핀 인근해역의 해수면 상승이 비교적 높게 나타나고 있다. 주요 조석관측자료 분석결과에 따른 인도네시아 각 해역의 해수면 상승고는 <표 3>과 같이 1.00~9.37mm/yr로 Leuliette 등(2004)이 1993~2003년의 위성자료를 활용하여 추산한 전 지구 평균 치인 3.1mm/yr보다 상당히 높게 나타나고 있다.

3) 지반침하 현황

인도네시아 자바섬 북부해안의 지반침하 현상은

1990년대 이후 매우 심각한 문제로 대두되기 시작하였다. 해안역에서의 지반침하는 상대적으로 해수면 상승효과, 내수 배제용량 감소로 해수범람 피해를 가중시키게 된다.

반등공과대학의 Abidin 등(2009)은 자카르타 지반침하량을 GPS측량 등을 통해 산정하여 <표 4>와 같이 제시하고 있으며, 최대 지반침하량은 자카르타 북부해안에서 25cm/yr로 나타나고 있다. 이러한 지반침하의 원인으로는 ①과도한 지하수 채취, ②건물 하중에 의한 침하로서 급격한 도시개발로 야기된 인위적 요인을 들 수 있으며, 자연적 요인으로는 ③층적토의 자연 압밀과 ④지형구조적 침하(Tectonic subsidence)로 보고되고 있다. 전술한 지반침하의 원인들 중 가장 큰 문제로 언급되고 있는 것은 지반을 떠받치고 있는 대수층의 과도한 양수로 보고되고 있다. 통합 도시 인프라 개발프로그램(TUIDP)의 일환으로 자보타백 수자원관리연구(1993~1995년)를 지원한 세계은행은 지방자치당국의 수자원 분배시스템이 지원되지 않는 지역에서 지하수의 과다 추출, 급속한 도시화 등으로 인해 지반표면이 지속적으로 침하되고 있다고 분석한 바 있다. “비구조적 자카르타 홍수관리” 프로젝트를 원조한 네덜란드는 자카르타 북쪽 해안지역이 지반침하 측면에서 매우 심각한 수준에 도달했다고 밝혔고, 가장 최근의 조사수치에 따르면 동 지역 침하속도는 연간 15~25cm에 이르는 것으로 추정되며, 이로 인해 앞으로 15~20년 내에 자카르타 북부지방이 해수면 아래로 약 4~5m 침하할 것으로 예상하였다. 이는 저조위시에도 바다로부

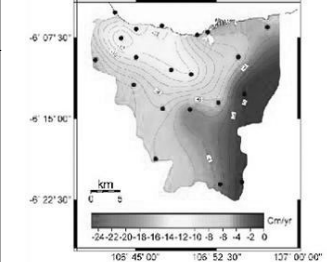
표 3. Relative sea level rise in a number of observation stations

Stations Location	Sea Level Rise (mm/year)	Source	Stations Location	Sea Level Rise (mm/year)	Source
Jakarta	4.38	ITB, 1990	Surabaya	1.00	Based on data from 1984~2006
	7.00	Based on data from 1984~2006	Sumatra	5.47	ITB, 1990
Semarang	9.37	ITB, 1990	Cilacap	1.30	Hadikusuma, 1993
	5.00	Based on data from 1984~2006	Belawan	7.83	ITB, 1990
Panjang, Lampung	4.15	P30-LIPI, 1991			

Source: Government of Republic of Indonesia, 2007

표 4. Observed subsidence rates in Jakarta

Method	Period(year)	Subsidence Rates (cm/year)
Leveling surveys	1982~1991	0~9
	1991~1997	0~25
GPS surveys	1997~2008	0~25
InSAR	2006~2007	0~12



터의 범람에 의해 배수가 지연되는 결과를 초래할 것을 의미한다.

3. 사업진행 현황

2010년 6월 29일 본 사업을 착수하여 국내전문가 파견, 현지 전문가와의 협력체계 구축 및 현지사무소 개소 등을 위한 수차례에 걸친 수원국과의 협의를 거쳐 2010년 9월 말부터 자카르타 현지에 합동사무실이 만들어져 사업이 수행되고 있다.

본 사업의 특징 중 하나는 국내 전문가와 함께 현지 전문가들이 과업수행의 전 과정을 직접 참여하는 공동업무수행체계를 구축한 것으로서 양국의 기술교

류와 원활한 기술이전이 이루어질 수 있도록 한 것이다 하겠다. 인도네시아 현지여건에 적합한 해안보호 및 관리정책의 수립과 해안관리를 위한 데이터베이스를 구축하고 향후 지속적인 유지관리 및 운영을 위해서는 무엇보다도 현지 전문가들의 참여가 본 사업의 성공을 위해 필수적이라 하겠다.

현재, 자료수집 및 최우선 보호지구 선정을 위해 수원국의 연안정비 수요지역들에 대한 현장조사가 진행 중에 있으며 조사된 인도네시아 현지의 연안정비 수요해안을 <그림 4>에 도시하였다. <그림 4>의 (a)와 (b)는 자카르타만의 손상된 방파제와 저지대 해안에 설치된 제방의 모습이며, (c), (d), (e), (f)는 중부 자바 북부해안에 위치한 연안정비가 필요한 해안들의 모습이다. 도시된 대부분의 해안은 지대가 낮아 고조



그림 4. Critical coastal areas in Jakarta & Central Java

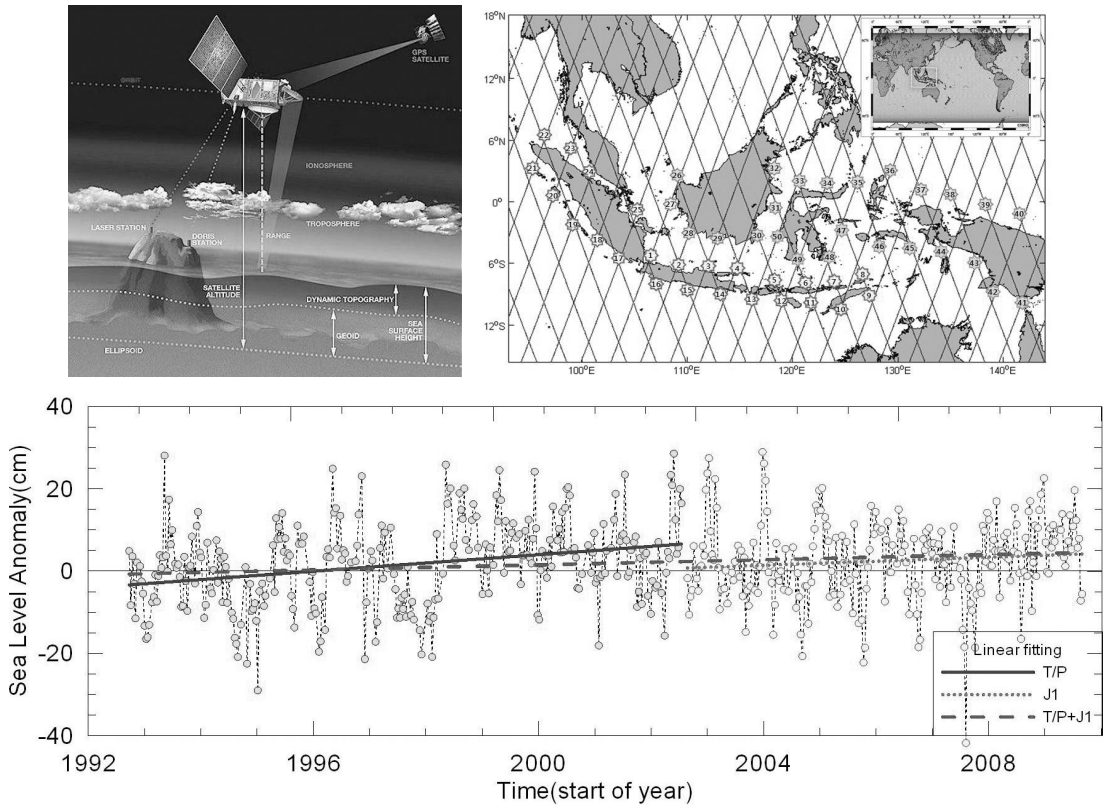


그림 5. Altimetry system and prediction of sea level rise in Indonesia

시에 내습하는 파랑에 취약하고 향후 해수면 상승으로 인해 지속적인 피해가 우려되는 실정이다.

한편, 지구온난화로 인한 해수면 상승률을 산출하기 위한 작업을 수행 중에 있다. 해수면 상승률을 추산할 수 있는 방법으로는 ①조위자료 활용, ②위성고도계 활용, ③GCM(Global Circulation Model) 활용 등이 있다. 전술한 방법 중, 현재는 위성고도계 자료를 활용하여 분석하는 방법을 진행하고 있다. 특히, 프랑스와 미국이 해양물리 조사를 위하여 합작으로 제작하여 발사한 Topex/Poseidon 및 Jason-1의 위성고도 자료를 제공하는 프랑스의 AVISO (Archiving Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data) 기관의 자료를 분석하여 인도네시아 인근 해역의 해수면 상승률을 산출 중이다. 더불어 IPCC 4차 연구보고서 작성 시에 활용된 대기순환모형 등의 결과분석을 추가적으로 수

행 중이다. <그림 5>는 위성고도계 자료를 활용하여 해수상승률 추산방법을 단계적으로 도시한 그림으로, ①AVISO제공자료 정리, ②인도네시아 인근해역의 위성궤도에 기초한 관심 분석해역 선정, ③선정해역의 해수면편차 자료를 활용한 Linear fitting 수행 및 기울기 산출의 과정을 나타내고 있다.

최우선 보호지구 마스터플랜 수립은 수원국의 특성에 적합한 해안보호 및 관리를 위한 Pilot system을 제시하고자 한다. 최우선 보호지구는 수원국과 협의를 통하여 가급적 조기에 선정하고, 기후변화에 따른 해수면 상승 및 지반침하 영향과 해일피해 가능성 등을 고려하고 상세실험 검토를 통하여 최적의 대책을 수립할 계획이다. 또한 투자사업 등의 실현 가능한 사업계획을 수립할 예정이다. <그림 6>은 해안보호를 위한 마스터플랜 수립의 흐름도이다.

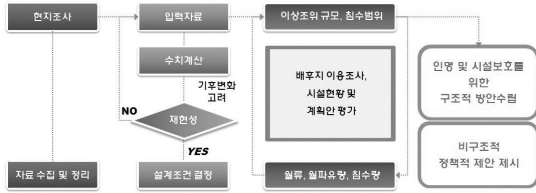


그림 6. Flowchart for coastal protection plan

4. 맺음말

“자카르타는 빌린 시간을 먹고 살아간다.”는 말이 인도네시아 현지에서 떠돌고 있을 정도로 자카르타 및 해안에 위치한 도시들은 심각한 곤경에 처해있다. 타국의 난관을 해결하기 위하여 국내의 전문가들이 최적의 대안을 제시하기 위하여 현지로 파견되었다. 대상국이 몸살을 앓고 있는 홍수, 내수배제시스템, 하천수질, 지반침하, 해수면상승, 고조, 지진 및 폭풍해일 등에 관한 심도 있는 조사 및 분석을 수행하여 인도네시아 국가정책에 초석이 될 수 있는 최적대안을 제시할 사명감을 지니고 업무를 충실히 수행 중에

있다. 본 글의 서두에 제시하였던 기사들을 후속하는 훈훈한 기사를 읽을 수 있는 가까운 미래를 상상해 본다.

우리나라는 비록 길지 않은 기간에 연안에 대한 개발 및 관리를 안정적으로 수행할 수 있는 국가로 성장하였다. 이는 해안 및 항만공학 분야의 발전을 위하여 학문 및 현업에 전념해주신 학-연-산 각계의 선구자들의 피나는 노력의 산물이라 표현하여도 과언이 아닐 것이다. 그동안 선구자들이 축적한 기술과 노하우를 활용하여 인도네시아와 같은 개발도상국을 지원할 수 있는 기회를 얻게 된 현실이 무척이나 가슴 뿌듯하다. 하지만 본 사업은 인도네시아 정부의 국가정책을 수립하는데 초석이 되는 중요한 사업이므로 죄어오는 부담감이 없지 않으나, 최대한의 성과를 제시하기 위하여 최선을 다해 수행할 것이다. 그리하여 대한민국에 대한 수원국의 신뢰를 두텁게 함으로써, 향후 사업과 관련된 한국 기업들이 인도네시아에 진출할 수 있는 계기가 조성될 수 있을 것으로 판단된다. ☺

참고문헌

1. 연합뉴스 기사(2007), “기후변화 못 막으면 인니(印尼) 수도 옮겨야”
<http://www.yonhapnews.co.kr/international/2007/12/04/0601070100AKR20071204111500076.H TML>
2. 연합뉴스 기사(2010), “KOICA, 인니(印尼) 해안지역 관리시스템 지원”
<http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=104&oid=001&aid=0003188086>
3. AVISO. AVISO홈페이지, <http://www.aviso.oceanobs.com>
4. Abidin, H. Z., Andreas, H., Gumilar, I., Gamal, M., Fukuda, Y., and Deguchi, T., 2009. Land Subsidence and Urban Development in Jakarta(Indonesia). 7th FIG Regional Conference, Hanoi, 19-22 October.
5. Government of Republic of Indonesia, 2007. Climate Variability and Climate Changes and Their Implication. Indonesia Country Report.
6. Leuliette, E. W., Nerem, R. S. and Mitchum, G. T., 2004. Calibration of TOPEX/Poseidon and Jason altimeter data to construct a continuous record of mean sea level change. Marine Geodesy, Vol.27, Issue 1 & 2., pp.79-94.