

지진기술개발사업

서해 해역의 지진지체구조 및 단층활동 특성조사연구

Tectonic structure and analysis of fault activity in the
Yellow Sea

한국해양과학기술원

기 상 청

제 출 문

기상청장 귀하

이 보고서를 "서해 해역의 지진지체구조 및 단층활동 특성 조사 연구"과제의 보고서로 제출합니다.

2014 년 4 월 25 일

주관연구기관명 : 한국해양과학기술원

주관연구책임자 : 김한준

연 구 원 : 김광희 주형태 정갑식

강수영 권미홍

보고서 요약서

과제고유번호	CATER 2013-5020	해당단계 연구기간	2013.10.1. - 2014.4.30.	단계 구분	1/1	
연구사업명	사업명	기상씨앗기술개발사업				
	세부사업명	지진기술개발사업				
연구과제명	대과제명	서해 해역의 지진지체구조 및 단층활동 특성 조사 연구				
	세부과제명	서해 해역의 지진지체구조 및 단층활동 특성 조사 연구				
연구책임자	김한준	해당단계 참여연구원수	총 : 6 명 내부 : 4 명 외부 : 2 명	해당단계 연구비	정부: 84,900 천원 기업: 천원 계: 84,900 천원	
		총연구기간 참여연구원수	총 : 명 내부 : 명 외부 : 명	총 연구비	정부: 84,900 천원 기업: 천원 계: 84,900 천원	
연구기관명 및 소속부서명	한국해양연구원 관할해역 지질연구단		참여기업명			
국제공동연구	상대국명 :	상대국연구기관명 :				
위탁연구	연구기관명 :	연구책임자 :				
요약					보고서면수	141
<ul style="list-style-type: none"> ○ 한반도 서해 해역의 지진발생 특성을 개괄적으로 파악하고 차후 정밀 특성분석 방안을 마련하기 위해 필요한 연구의 내용을 기재하였다. ○ 서해의 지각은 한반도와 유사한 대륙지각이지만 리프팅에 의해 많은 수의 퇴적분지로 이루어져 있어 분지의 경계를 이루는 단층대가 존재한다고 해석된다. ○ 최근 서해에서 관측되는 지진은 이러한 단층대에서 발생하는 것으로 해석되며 과거 역사기록은 진도 5 부근으로 추정되는 지진이 서해에서 다수 발생하였음을 지시한다. ○ 서해의 지진.지체구조를 구명하기 위해 1단계인 3년의 기간 동안 수행할 다음 5개 연구주제를 위한 기술수요조사서를 작성하였다: (1) 권역별로 고해상 탄성과 반사법탐사를 수행하여 4기 단층의 분포, 특성, 그리고 활동성을 파악, (2) 한.중 공동으로 지진관측망을 설치하여 서해에서 발생하는 지진의 활동성과 지진발생메커니즘을 분석, (3) 역사지진자료를 분석하여 서해지진의 주기와 특성을 해석, (4) 한.중 공동연구를 통해 해저면지진계(OBS)를 이용하는 심부탄성과 탐사로 서해의 지각과 상부맨틀구조를 구명, 그리고 (5) 포텐셜 자료를 이용한 지체구조 해석. ○ 그 외 한반도 지체구조 연구의 필요성과 기술수요조사도 기재하였다. 						
색인어	한글	서해의 지진지체구조, 4기 단층, 심부탄성과 탐사, 지진관측망, 역사지진				
	영어	Seismotectonics of the Yellow Sea, Quaternary faults, deep seismic sounding, earthquake network, historical record of earthquakes				

요 약 문

I. 제목:

서해 해역의 지진지체구조 및 단층활동 특성조사연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 필요성

- 우리 나라의 해안에는 많은 인구가 거주할 뿐만 아니라 중요 산업시설이 위치하고 있다.
- 동해의 경우 국내 연구기관들에서 장기간에 걸쳐 얻은 많은 양의 지질 및 지구물리학적 자료를 분석하여 동해가 형성되는 과정과 단층의 분포와 활동성이 상당히 연구된 바 있으며 현재 발생하는 지진도 동해가 열릴 때 형성된 단층에서 발생하고 있음이 구명된 바 있다. 하지만 서해의 경우 최근 백령도 해역 지진 (규모 4.9), 보령 해역 지진 (규모 3.5), 흑산도 해역 지진 (규모 4.9), 그리고 격렬비도 해역 지진 (규모 5.1)에서 보듯이 중규모급의 지진이 발생하고 자주 발생하고 있음에도 그 지체구조적 연구와 단층의 특성 및 활동성에 대한 연구가 미진하다.
- 서해는 단층작용에 의해 형성된 많은 수의 퇴적분지로 이루어져 있으며 현재 발생하는 지진들도 이들 단층에서 발생하고 있을 것으로 예상된다. 따라서 서해에서 지진활동을 구명하기 위해서는 현생단층의 공간적 분포, 성장률, 활동도, 그리고 단층간의 연결작용을 파악하고 현재 일어나고 있는 지각의 변형을 설명하여야 한다.
- 동아시아 지역의 광역적 지진재해 평가를 위하여서는 지진지체구조 (seismotectonics)를 밝혀야 한다. 이를 위하여서는 이 지역에서 지각을 포함하는 암석권(lithosphere)의 구조를 정의하는 정보가 필요하며, 판구조 및 판운동에 따른 판내부 응력 축적과 발산과정의 동역학적 이해가 필요하다.

2. 목적

- 기존의 문헌으로부터 서해의 지체구조와 지진특성 개략 분석
- 서해의 지진지체구조의 구명과 해석을 위한 연구과제와 연구방법을 도출

III. 연구개발의 내용 및 범위

(1) 서해 해역의 지진발생 특성 분석

- 서해의 지진지체구조 개략 해석
- 역사기록으로부터 서해와 해안지역에서 발생한 지진의 진앙과 진도 유추
- 서해발생지진의 지진원 특성과 지진 발생지역의 지진 지체구조 연구현황 정리
- 서해 중력·자력 자료의 해석을 통한 지구조 파악
- 서해 균산분지의 지구조적 진화

(2) 서해 지진지체구조 해석 및 구명을 위한 연구과제 제시

- 탄성과 반사법 탐사를 이용한 서해의 4기 단층 구조와 활동성 연구
- 서해지진 및 동북아 지체구조 연구를 위한 한·중 국제공동 연구
- 서해의 역사지진 기록 분석 및 지진활동 평가
- 한·중 공동 광각 심부탄성과 탐사를 이용한 서해의 지체구조 연구
- 중·자력 자료를 이용한 서해의 지구조해석과 지진발생 관련연구

IV. 연구개발결과

1. 서해의 지진지체구조 개략 해석

서해 지각은 두께가 대략 30 km로서 한반도와 비슷한 구조이지만 한반도에 비해 지각의 두께변화가 훨씬 클 것으로 추정할 수 있다. 서해는 중생대 말기부터 균산분지 등 대륙지각의 리프팅이 활발하게 발생하여 형성된 바다이며 한반도에 비해

훨씬 발달된 퇴적분지로 구성되어 있으므로 지진활동은 한반도보다 더 활발할 것으로 해석된다. 중-한 블록과 남중국 블록의 충돌대로 추정되는 산둥반도의 남쪽을 따라 대륙지각이 다소 더 두꺼운 양상을 보이고 있다. 이 충돌대의 한반도쪽 연장부로 추정되는 임진강벨트 부근에서 약간 낮은 S-파 속도가 나타나는데 이것이 충돌의 결과로서 대륙지각이 더 두꺼워진 것인지 용융물질 때문인지는 불분명하다. 최근에 규모 5내외의 지진이 다수 발생한 경기만 북서부에서 균산분지와 연결되는 저속도의 S-파 이상대가 존재하는데 대륙지각의 리프팅에 의해 형성된 분지를 따라 단층대가 존재함을 지시할 수 있다.

역사문헌에 나오는 지진자료를 검토해보면 16세기와 17세기동안에 집중적으로 서해에서 진도 5 내외로 추정되는 지진이 여러 차례 발생하였음을 알 수 있다. 현재 서해에서 발생하는 지진의 대부분은 주향이동단층의 운동에서 비롯되며 동북동-서남서 방향의 P axis를 가지고 있다.

2. 서해의 지진지체구조를 연구하기 위한 과제 제안

- (1) 탄성과 반사법 탐사를 이용한 서해의 4기 단층구조와 활동성 연구 (64억원/6년)
 - 백령도 해역 등 서해의 지진 다발지역에서 탄성과 반사법 탐사를 수행하여 단층의 분포와 특성을 규명
 - 심부시추와 탄성과 층서해석을 통한 단층활동의 시기 및 원인 해석
- (2) 서해지진 및 동북아 지체구조 연구를 위한 한·중 국제공동 연구 (18억원/6년)
 - 서해지진 감시를 위한 한·중 광대역 임시 지진관측망 운영
 - 서해 지진 활동성, 지각구조, 지진발생 메카니즘 분석
- (3) 서해의 역사지진 기록분석 및 지진활동 평가 (1.5억원/2년)
 - 지난 2000년간 서해에서 발생한 주요 역사지진을 분석하여 장기간에 걸친 지진활동의 패턴과 지진발생 특성을 규명
- (4) 한.중 공동 광각 심부탄성과 탐사를 이용한 서해의 지체구조 연구 (34억원/4년)
 - 서해해역에서 한.중 공동연구로 해저면지진계(OBS)를 이용한 광각 심부탄성과 탐사와 다중채널 탄성과(MCS) 반사법 탐사
 - 서해의 지각과 상부맨틀구조를 파악하고 지진유발 지각구조 해석
- (5) 중.자력 자료를 이용한 서해의 지체구조 해석과 지진발생 관련연구 (1.5억원/3

년)

- 서해의 중.자력 자료 종합 수집 및 재처리
- 서해의 포괄적 규모의 자력이상 및 중력이상 지도 제작과 지체구조 해석

(6) 한반도 지체구조 연구

- 지각규모 탄성파 실험 (49억원/5년)
- 수진함수 분석 (20억원/5년)

V. 연구개발결과의 활용계획

최근 서해에서 지진의 빈도와 규모가 커짐에 따라 서해의 지진지체구조가 관심사가 되고 있다. 하지만 지금까지 서해에서 체계적인 연구를 통해 지진을 유발하는 단층대의 존재와 구조 그리고 활동성을 구명하기 위한 지구물리학적 연구, 한국과 중국간 공동연구를 통한 지진지체구조 연구가 수행되지 못하고 있다. 이 연구에서는 제한적이지만 지금까지 서해의 지체구조 특성을 개략적으로 살펴보고 차후 서해에서 지진지체구조의 구명을 위해 활용될 목적으로 필요한 연구과제들을 제안하였다. 이 과제에서 제안한 연구과제는 기상청에서 검토하여 매우 중요하다고 판단할 경우 예산의 지원을 받아서 수행할 수 있을 것이다.

SUMMARY

I. Title:

Tectonic structure and analysis of fault activity in the
Yellow Sea

II. Necessity and Objectives of the Study

1. Necessity

- The coastal zones of the Korean Peninsula are densely populated and host major industrial facilities.
- Geological and geophysical data have been collected from the East Sea (Japan Sea) to investigate the tectonic evolution of the sea and fault activity. As a result, it has been suggested that the earthquakes in the East Sea are occurring along the structures created in association with the opening of the sea.
- However, the Yellow Sea has been rarely investigated in tectonic evolution and fault activity in spite of the recent increase in frequency and magnitude of earthquakes as noticed by those in the Baekryung-do (M4.9), Boryeong (M3.5), and Heuksan-do (M4.9) areas.
- Sedimentary basins in the Yellow Sea were created by fault activity. The current occurrences of earthquakes are interpreted to be observed on the basin-bounding faults. It, therefore, is required to understand how the faults propagate, grow, and react to each other and to address the present crustal deformation.
- The evaluation of regional earthquake hazards in East Asia necessitates accurate

seismotectonics. We need to know accurate structure of the lithosphere and understand dynamics of stress distribution and release associated with plate motion.

2. Objectives

The objectives of this study are:

- Descriptions of the outline of geologic structure and properties of earthquakes from historical and instrumental data
- Derivation of research projects and pertinent methods for understanding seismotectonics of the Yellow Sea

III. General Scope of the Study

- (1) Analysis of the tectonic setting of the Yellow Sea and characteristics of the earthquakes
 - Brief descriptions of seismotectonics of the Yellow Sea
 - Inference of epicenters and magnitudes of earthquakes in the Yellow Sea from historical records
 - Comprehension of tectonic structure of the Yellow Sea from gravity and magnetic data
 - Tectonic evolution of the Gunsan Basin
- (2) Suggestions of the methods for interpretation and investigation of seismotectonics of the Yellow Sea
 - Mapping of Quaternary faults and evaluation of their activity using marine reflection seismic surveys
 - Analysis of historical earthquakes
 - Analysis of earthquakes using the Korea-China network
 - Investigation of tectonics structure of the Yellow Sea using wide angle seep seismic sounding data as a Korea-China collaborative study

- Integration of gravity and magnetic data to study tectonic structure of the Yellow Sea

IV. Results of the Study

1. Outline of seismotectonics of the Yellow Sea

The crust of the Yellow Sea, averaging to about 30 km in thickness, is estimated to have similar structure to that of the Korea Peninsula; however, it has larger thickness variations. We interpret that the Yellow Sea is characterized by more active occurrences of earthquakes than the Korean Peninsula because the sea was created by vigorous continental rifting since the late Mesozoic, which resulted in the emplacement of well-developed sedimentary basins. It appears that the crust is slightly thicker along the southern part of the Sandung Peninsula that is the estimated zone of collision of the Sino-Korean and South China blocks. A zone of slightly lower Vs is present near the Imjin-gang belt, implying to define the continuation of the collision. It is not certain whether this slightly lower Vs results from continental collision or the presence of melts. The northwestern part of Gyeonggi Bay, which is the area of recent earthquakes with magnitudes of 5 or so, is characterized by a zone of lower Vs. The extension of this zone southwards to the Gunsan Basin may suggest the presence of a fault zone associated with continental rifting.

The historical literature shows that earthquakes with inferred magnitudes of about 5 occurred in the Yellow Sea concentratedly in the 16th and 17th centuries. The majority of the earthquakes occurring currently results from strike-slip fault motion and has the P axis trending ENE-WSW.

2. Suggestions of projects for seismotectonic study of the Yellow Sea

- (1) Investigation of Quaternary faults in the Yellow Sea and their activity using the seismic reflection method (6.4 billion won / 6 years)
 - Mapping of Quaternary faults and analysis of their characteristics in the zones of frequent earthquakes including the offshore area of Baegryung-do.
 - Analysis of the age of fault motion and tectonic implications based on deep drilling and seismic stratigraphic interpretation
- (2) Analysis of historical earthquakes in the Yellow Sea and their activity (150 million won / 2 years)
 - Investigation of the long-term pattern and characteristics of earthquake occurrences based on the analysis of historical records over the past 2000 years
- (3) Korea-China collaborative research to investigate earthquake characteristics in the Yellow Sea and tectonic implications (1.8 billion won / 6 years)
 - Operation of a temporary wide-band earthquake network
 - Analysis of activity and mechanism of earthquakes and crustal structure
- (4) Investigation of tectonic structure of the Yellow Sea as a Korea-China collaborative research using wide-angle deep seismic sounding (3.4 billion won / 4 years)
 - Wide-angle deep seismic sounding using ocean bottom seismometers and multichannel reflection seismic survey
 - Interpretation of the crustal and upper mantle structure of the Yellow Sea
- (5) Interpretation of tectonic structure of the Yellow Sea from gravity and magnetic data (150 million won / 2 years)
 - Integration and reprocessing of gravity and magnetic data
 - Production of gravity and magnetic anomaly map of the Yellow Sea on a regional scale and tectonic interpretation
- (6) Investigation of tectonic structure of the Korean Peninsula
 - Crustal seismic sounding using explosives (4.9 billion won / 5 years)

- Analysis of receiver functions (2 billion won / 5 years)

V. Suggestions for Applications

The recent increase in frequency and magnitude of earthquakes in the Yellow Sea became a matter of concern. However, geophysical studies have little been performed to investigate the fault zones that can induce earthquakes. Nor have seismological studies under the collaborative framework of Korea and China. In this report, we outlined tectonic structure of the Yellow Sea based on available but limited data. We, then, suggest research projects to investigate seismotectonics of the Yellow Sea. The research projects are subjected to review by the Korea Meteorological Administration in terms of significance and can be conducted with financial support.

CONTENTS

Summary	3
Contents	12
List of Figures	16
Chapter 1. Outline of study	20
Chapter 2. Status of technological development domestic and overseas	24
1. Mapping of active faults	
2. Crustal structure	
3. The Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP)	
Chapter 3. Content and results of the study	28
1. Outline of seismotectonic structure of the Yellow Sea	
- Brief descriptions	
- Earthquakes from history	
- Seismological and crustal characteristics	
- Stratigraphy and structure of the Gunsan Basin	
- What we can learn from gravity and magnetic data	
2. Suggestions of researches on seismotectonics of the Yellow Sea	
- Investigation of Quaternary faults in the Yellow Sea and their activity using the seismic reflection method	
- Korea–China collaborative research to investigate earthquake characteristics in the Yellow Sea and tectonic implications	
- Analysis of historical earthquakes in the Yellow Sea and their activity	
- Investigation of tectonic structure of the Yellow Sea as a Korea–China collaborative research using wide-angle deep seismic	

sounding	
- Interpretation of tectonic structure of the Yellow Sea from gravity and magnetic data	
- Prioritization of suggested researches on seismotectonics of the Yellow Sea	
3. Researches on tectonic structure of the Korean Peninsula in relation to the Yellow Sea	
- Crustal seismic sounding using explosives as a source	
- Analysis of receiver functions	
Chapter 4. Objective achievement and external contribution	132
1. Objective achievement	
2. External contribution	
Chapter 5. Plans for application	134
Chapter 6. Overseas research information	136
Chapter 7 Current status of facility and equipment registered in national science and technology information service	138
Chapter 8. References	139

목 차

요약문	3
목차	12
그림 및 표목차	16
제 1 장 연구개발과제의 개요	20
제 2 장 국내의 기술개발 현황	24
1. 활성단층의 구조와 활동성 연구	
2. 지각구조 연구	
3. The Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP)	
제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과	28
1 절. 서해의 지진.지체구조 개요와 연구 현황	
1. 서해의 지진.지체구조 개요	
2. 서해의 역사지진 발생 현황	
3. 서해 지진원 및 지각속도구조에 대한 연구 현황	
4. 군산분지 층서 및 구조 요약	
5. 서해의 중력과 자력 연구 현황	
2 절. 서해의 지진.지체구조 연구를 위한 기술수요조사	
1. 탄성과 반사법 탐사를 이용한 서해의 4기 단층 구조와 활동성 연구	
2. 서해지진 및 동북아 지체구조 연구를 위한 한·중 국제공동 연구	
3. 서해의 역사지진 기록 분석 및 지진활동 평가	
4. 한·중 공동 광각 심부탄성과 탐사를 이용한 서해의 지체구조 연구	
5. 중·자력 자료를 이용한 서해의 지구구조해석과 지진발생 관련연구	
6. 서해의 지진.지체구조 연구를 위한 기술수요조사 우선순위	

- 3 절. 서해와 관련하여 한반도의 지진·지체구조 연구를 위한 과제
 - 1. 연구개요
 - 2. 서해 해역의 지진지체구조와 관련한 한반도 육상 지각규모 탄성파실험
 - 3. 수진함수 분석에 의한 서해 해역 심부탄성파탐사 연장선상의 속도구조

제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도	134
	1. 목표 달성도	
	2. 대외 기여도	
제 5 장	연구개발결과의 활용계획	136
제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술 정보	137
제 7 장	연구시설·장비현황	138
제 8 장	참고문헌	139

그림 및 표목차

List of Figures and Tables

- Fig. 1-1. Distribution of earthquakes recorded recently in and around the Korean Peninsula.
- Fig. 1-2. Present-day stress field in East Asia, based on the focal mechanism solution of recent earthquakes, showing a strong eastward component. (From Lee et al., 2011)
- Fig. 2-1. Interpretation map of geologic structure of the Whakatane Graben, New Zealand, showing the major active faults and the positions of the multichannel seismic and 3.5 KHz profiles (from Lamarche et al., 2000).
- Fig. 2-2. Crustal p-wave velocity (V_p) model derived from deep seismic sounding in the South China Sea (Qiu et al., 2011).
- Fig. 3-1-1-1. Distribution of s-wave velocity (V_s) at 70 km depth computed from ambient noise tomography (after Kim et al., 2014). The scale bar denotes V_s in km/s.
- Fig. 3-1-1-2. (Upper) Distribution of s-wave velocity (V_s) at 30 km depth computed from ambient noise tomography (after Kim et al., 2014). The scale bar denotes V_s in km/s. (Lower) Fault plane solutions in and around the Yellow Sea (Hong and Choi, 2012).
- Fig. 3-1-1-3. (a) Paleogeography of the Late Permian. (b) Tectonic reconstruction of the Sino-Korean and South China blocks in the Triassic. (c) Tectonic reconstruction in the Jurassic. Note that the indented South China Block collided against the Sino-Korean Block along the Qinling-Dabie, Sulu, Imjingang, and Namhae-Higo belts, forming an offset along the Tanlu Fault and the South Korean Tectonic Line. (from Chough et al., 2013).
- Fig. 3-1-2-1. Epicenters of the earthquakes in the Korean Peninsula that occurred from A.D. 2 to 1904.

- Fig. 3-1-2-2. Locations of epicenters of the historical earthquakes that are inferred to have occurred in the Yellow Sea.
- Fig. 3-1-3-1. Map of moment tensor solution.
- Fig. 3-1-3-2. Distribution of azimuth directions of horizontally projected P-axis.
- Fig. 3-1-3-3. (a) The distribution of broadband seismic stations for waveform inversion analysis. (b) The distribution of broadband seismic stations for spectral analysis.
- Fig. 3-1-3-4. The study region in Eastern China and the seismic stations used in the study.
- Fig. 3-1-3-5. (a) P-wave perturbations relative to IASP91 model. (b) and (c) CCP stacked depth-domain images at 300 and 800 km depth, respectively, for profile AA'.
- Fig. 3-1-3-6. TZT variations based on two different velocity models used in (a) Fig. 3-1-3-5b and (b) Fig. 3-1-3-5c.
- Fig. 3-1-3-7. Geographic map of the Yellow Sea - Korean Peninsula region.
- Fig. 3-1-3-8. (a) Crustal thickness and (b) its uncertainties.
- Fig. 3-1-3-9. (a) Upper mantle S wave velocities and (b) their uncertainties.
- Fig. 3-1-3-10. (a) Sediment thickness and (b) uncertainties.
- Fig. 3-1-3-11. Simplified structural map of the South Yellow Sea Basin.
- Fig. 3-1-3-12. Distribution of airborne Bouguer gravity anomalies (unit: mGal).
- Fig. 3-1-3-13. Structural interpretation of airborne gravity.
- Fig. 3-1-3-14. Collision boundaries inferred from GRACE Bouguer gravity anomalies.
- Fig. 3-1-3-15. Shipborne free air anomalies in the Yellow Sea.
- Fig. 3-1-3-16. Depth distribution of basement and locations of very high and low density bodies.
- Fig. 3-1-3-17. Shipborne gravity survey area on the R/V Haeyang 2000 from 1996 to 1999.
- Fig. 3-1-4-1. Major sedimentary basins in the Yellow Sea. Locations of the basins are from Liu(1986) and Zhang et al.(1989).
- Fig. 3-1-4-2. Structural map of continental sedimentary basins between the Tan-Lu fault and strike-slip faults on the Korean Peninsula (Shinn et al.,

2010).

Fig. 3-1-4-3. Locations of multi-channel seismic profiles and exploratory wells in the Gunsan Basin (Shinn et al., 2010).

Fig. 3-1-4-4. Lithology and biostratigraphy of exploratory wells (Kachi-1, Inga-1, IHH-1Xa, Haema-1) (Shinn et al., 2010).

Fig. 3-1-4-5. Basement structure from Park et al. (2005).

Fig. 3-1-4-6. Basement structure from Lee et al. (2006).

Fig. 3-1-4-7. Basement structure from Shinn et al. (2006).

Fig. 3-1-4-8. Seismic profile crossing the large basement fault along the southern boundary of the central subbasin (Yoon et al., 2010). See Fig. 3-1-4-3 for location.

Fig. 3-1-4-9. (a) Seismic profile crossing the reverse fault near the Kachi-1 well and (b) its interpretation (Shinn et al., 2010). Kachi fault appears to extend to the seafloor, suggesting very recent activity. See Fig. 3-1-4-3 for location.

Fig. 3-1-5-1. Areas for annual surveys of the Korean Hydrographic and Oceanographic Administration.

Fig. 3-1-5-2. (a) Topography and bathymetry of Yellow Sea and its neighboring areas from ETOPO1. Unit is meters. (b) Geologic map of Southeast Asia from Geological Atlas of the World (1984) by UNESCO/CGMW. (c) Free-air gravity at the surface from the spherical harmonics up to 2190 for degree and 2159 for order (2.5 arc-minute interval) to represent the Earth's gravitational model. Unit is mGal. (d) Total magnetic intensities at 4 km from EMAG2 compilations by NOAA. Unit is nT.

Fig. 3-1-5-3. Magnetic anomaly map from the Korean Hydrographic and Oceanographic Administration. Note discrepancies in the boundaries of annual survey areas (강은영, 2012).

Fig. 3-1-5-4. Depths to the Moho from satellite gravity data 3-5-4. The presence of the sedimentary layer creates a significant differences in the depths.

Table 3-1-2-1. List of historical earthquakes from the Korean literature that are inferred to have occurred in the Yellow Sea (경제복, 2011).

Table 3-1-2-2. List of historical earthquakes from the Chinese literature that are inferred to have occurred in the Yellow Sea (경제복, 2011).

제 1 장 연구개발과제의 개요

우리 나라의 해안과 이에 가까운 지역은 많은 인구를 수용하고 있을 뿐만 아니라 중요 산업의 중심지이다.

동해의 경우 국내 연구기관들에서 많은 지질 및 지구물리학적 자료를 얻어서 신생대에서 동해가 형성되는 과정과 단층의 분포 그리고 활동성 상당히 연구된 바 있으며 현재 발생하는 지진도 동해가 열릴 때 형성된 단층에서 지진이 발생하고 있어 구명된 바 있다 (Kim et al., 2007; 2011). 서해의 경우 동해에 비해 훨씬 많은 인구와 산업시설이 있다. 하지만 최근 백령도 해역 지진 (규모 4.9), 보령 해역 지진 (규모 3.5), 그리고 흑산도 해역 지진 (규모 4.9)의 예에서 보듯이 지진의 빈도와규모가 증가하고 있음에도 (Fig. 1-1) 그 지진·지체구조적 연구와 단층의 활동성에 대한 연구가 미진하다.

서해는 중국과 한반도 사이에서 면적이 약 300,000 km² 인 세계에서 가장 큰 대륙붕해역 중 하나이다. 서해는 Qiling-Dabie-Sulu 충돌대에 의해 북쪽과 남쪽 해역으로 나뉘어 진다. 이 충돌대는 중생대 초기에 양츠 craton이 Sino-Korean platform에 붙음으로써 생긴 봉합대이다 (Gilder and Courtillot, 1997). 서해의 북쪽 해역은 발해만과 North Yellow Sea 분지로 이루어져 있으며 남쪽 해역은 Northern South Yellow Sea 분지와 Southern South Yellow Sea 분지로 이루어져 있다. 충돌한 대륙의 동쪽 경계부는 중생대 초기에 섭입대가 되었으며 이 섭입작용에 의해 대륙의 안쪽으로 인장력이 발생하여 많은 수의 열개분지가 형성되었다.

서해에 존재하는 열개분지(rift basin) 중 대표적인 것으로 한반도의 남쪽부분에 가까이 있으면서 실제로 우리나라의 서해 해역에서 상당부분을 차지하는 군산 분지는 Northern South Yellow Sea 분지의 동쪽지역이다. 서해의 많은 분지들은 단층작용에 의해 형성되었으며 현재 발생하는 지진들도 이들 단층 중 일부에서 발생하고 있을 것으로 예상된다. 따라서 서해에서 단층의 분포와 활동성을 구명하기 위해서는 현생단층의 공간적 분포, 성장률, 활동도, 그리고 단층간의 연결작용을 파악하고 현재 일어나고 있는 지각의 변형을 종합적으로 설명하여야 한다.

최근의 연구는 아무리아판이 약 500만년전부터 동북동 방향으로 운동하면서

우리나라와 그 주변의 지체구조적 변형을 일으키고 있음을 제시하고 있다 (Fig. 1-2) (Kim et al., 2011, Lee et al., 2011). 아무리아판은 유라시아판 및 오츠크판과 경계를 이루고 있으며 한반도를 중심으로 발달해 있다. 일부에서는 아무리아판의 동쪽 경계가 동해의 일본쪽 주변부로서 여기에서 아무리아판이 일본열도 아래로 섭입한다고 해석하고 있다. 이에 반해 아무리아판의 서쪽 경계는 서해를 지나고 있다고 해석하지만 이를 직접 구명하지 못하고 있다. 따라서 서해에서 아무리아판의 경계를 구명하고 판경계에서의 지구조운동을 정확히 해석하는 것은 서해 지체구조연구의 중요한 과제가 될 수 있다.

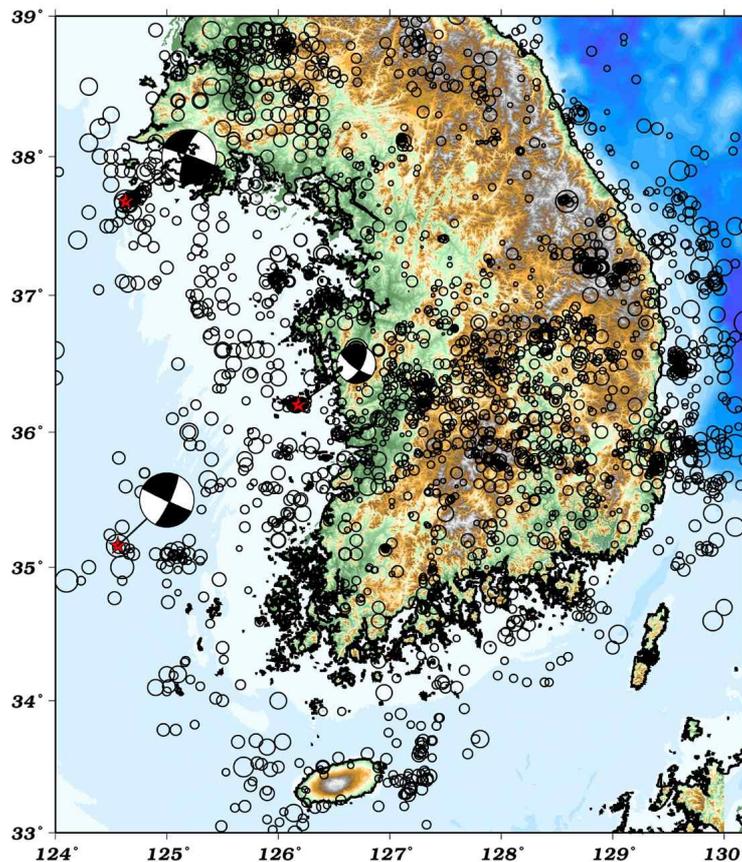


Fig. 1-1. Distribution of earthquakes recorded recently in and around the Korean Peninsula.

서해의 지체구조와 지진특성을 정확히 해석하기 위해서는 우선 (1) 역사 및

계기지진자료로부터 서해의 지진발생 특성분석, (2) 서해 지진과 관련한 지진원 및 지질구조 연구현황의 분석이 필요하며 궁극적으로 서해의 지진지체구조의 구명과 해석을 위한 연구과제와 연구방법을 도출하는 연구가 선행되어야 한다. 특히, 서해에 존재하는 단층의 분포와 활동성을 구명할 수 있는 탄성과 탐사와 서해의 지각구조를 구명하기 위한 심부탄성과 탐사를 위해 필요한 연구내용과 방법, 그리고 도출해야 할 결과를 자세히 정의할 필요가 있다.

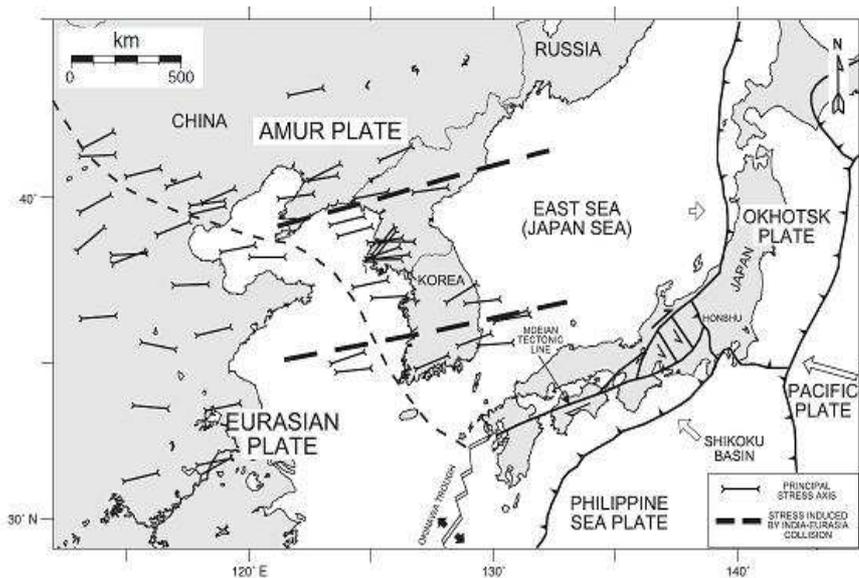


Fig. 1-2. Present-day stress field in East Asia, based on the focal mechanism solution of recent earthquakes, showing a strong eastward component. (From Lee et al., 2011)

이에 따라 기상기술개발원에서는 2013년 7월에 기상청의 지원으로 지진기술개발사업의 일환으로 "서해 해역의 지진지체구조 및 단층활동 특성 연구"를 공모하였다. 이 보고서는 위의 연구를 통해 한반도 서해 해역의 지진발생과 관련된 지진지체구조에 대한 연구의 결과와 관련자료에 대한 개략적인 현황을 분석하고 서해의 지진지체구조 해석 및 구명을 위한 연구 방안을 제시하고 한다. 이 보고서의 3장 1절에서는 서해의 지진지체구조에 대한 개괄과 이에 관한 연구결과, 역사지진발생 현황을 정리하였다. 3장 2절에서 서해의 지진지체구조를 구명하기 위해 (1) 권역별로 고해상탄성과탐사를 수행하여 4기 단층의 분포와 특성을 파악하고 (2) 한.중 공동연구의 형태로 지진관측망을 설치하여 서해에서 발생하는 지진의

활동성과 지진발생메커니즘을 분석하고 (3) 역사지진자료를 분석하여 서해지진의 주기와 지구조적 특성을 해석하고 (4) 한.중 공동연구를 통해 해저면지진계(OBS)를 이용하는 심부탄성과 탐사로 서해의 지각과 상부맨틀구조를 구명하고 (5) 포텐셜자료를 이용한 지체구조 해석을 위한 기술수요조사서를 작성하였다. 그리고 3장 3절에 한반도의 지각구조 구명을 위한 기술수요조사서를 별도로 정리하였다. 현황 정리와 기술수요조사서의 작성을 위해 다음과 같이 외부전문가를 자문위원으로 위촉하였다.

성명	근무처/직위	자문내용
이정모	경북대학교/교수	동아시아 지체구조 해석
경제복	교원대학교/교수	역사지진 분석
박세진	한국석유공사/자문위원	한국석유공사 보유 서해 탄성과 자료 현황 파악
이광훈	부경대학교/교수	군산분지의 지구조적 진화 해석
김형래	공주대학교/교수	서해 중.자력자료 현황 파악
박용철	극지연구소/선임연구원	서해 지진.지체구조 문헌조사

이 보고서의 3장 2절에서 제시하는 연구과제의 기술수요조사서는 본 사업의 참여연구원들과 자문위원들이 제출한 것들이다. 따라서 기상청에서는 이 기술수요조사서를 검토하여 서해의 지진.지체구조연구를 위해 필요한 과제를 선정할 수 있을 것이다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

바다는 육지에 비해 더욱 활발한 지구조 운동이 발생한 지역이다. 따라서 많은 나라에서 인접한 바다의 지진위험성을 파악하기 위해 탄성과 탐사를 중심으로 이용하여 지진지체구조를 밝히고 지진의 특성과 발생기구 등의 지진학적 연구를 수행하고 있다. 지체구조를 연구하기 위해 미국과 유럽은 미국과학재단(NSF)이 지원하고 여러나라가 참여하는 프로그램으로서 수행되는 MARGINS 등의 연구과제를 수행하고 있다. 중요한 연구과제와 수행예를 들어보면 다음과 같다.

1. 활성단층의 구조와 활동성 연구

태평양판과 호주판이 만나는 경계지역내에 위치하므로 지진활동이 심하고 활성단층활동이 발생하며 침강이 급격히 일어나는 Whakatane 지구대의 탄성과 탐사를 NIWA (National Institute of Water and Atmosphere)가 1999년 이후 수행하고 있다 (Lamarche et al., 2000). Whakatane 지구대는 섭입대와 관련된 후열도 확장의 결과로서 형성된 것이며 확장에 수반되는 지각신장에 의해 계속 변형을 받고 있다. 1987년 Wakatane 지구대가 육상으로 연장된 곳에서 진도 6.3의 지진이 발생하여 육상시설들에 손상을 입힌 바 있다. 따라서 Whatakane 지구대의 바닷쪽 내에서 수행되는 이 조사의 목적은 다음의 의문에 대한 답을 구하기 위해서이다: (a) 단층들이 어떻게 상호작용을 하고 연결되어 단층계 (fault system)를 형성하는가? (b) 단층의 전파와 연결이 시간에 따라 어떻게 변하는가? (c) 단층이 어떻게 어떤 비율로 성장하는가?

이 조사에서는 다중채널 탄성과 단면과 고해상 (3.5 KHz) 천부 퇴적단면, 그리고 시추 퇴적물 자료를 종합하여 각각의 정단층과 전체 지구대를 통해 단층의 변위와 확장율을 정량적으로 측정하였다. 그 결과 해저면의 천부구조에서 나타나는 단층활동이 기반구조의 변형과 어떻게 연관되어 있는 가를, 그리고 활성 단층이 어떻게 전파하고 어느 시기에 활동하기 시작했는지를 보여 주는 데에 중점을 두고 있다 (Fig. 2-1).

2. 지각구조 연구

많은 나라에서 지각과 상부맨틀의 구조를 구명하기 해저면지진계(OBS: ocean bottom seismometer)를 이용하는 광각 심부 탄성과 탐사를 수행하고 있으므로 일일이 예를 들기

어렵다. 대부분 이 기술은 OBS에 기록된 자료를 처리하고 해석하기 위한 것으로 국제적으로 큰 차이를 보이지 않는다. 우리나라와 이웃하는 일본과 중국은 세계적으로 가장 활발히 이 분야의 연구를 수행하여 섭입대와 해양 그리고 대륙의 지각구조를 연구하고 있다. 중국의 경우 최근에 남중국해에서 지각구조를 구하여 대륙지각에서 해양지각으로 변하는 지질구조를 연구한 바 있다 (Fig. 2-2) (Qiu et al., 2011).

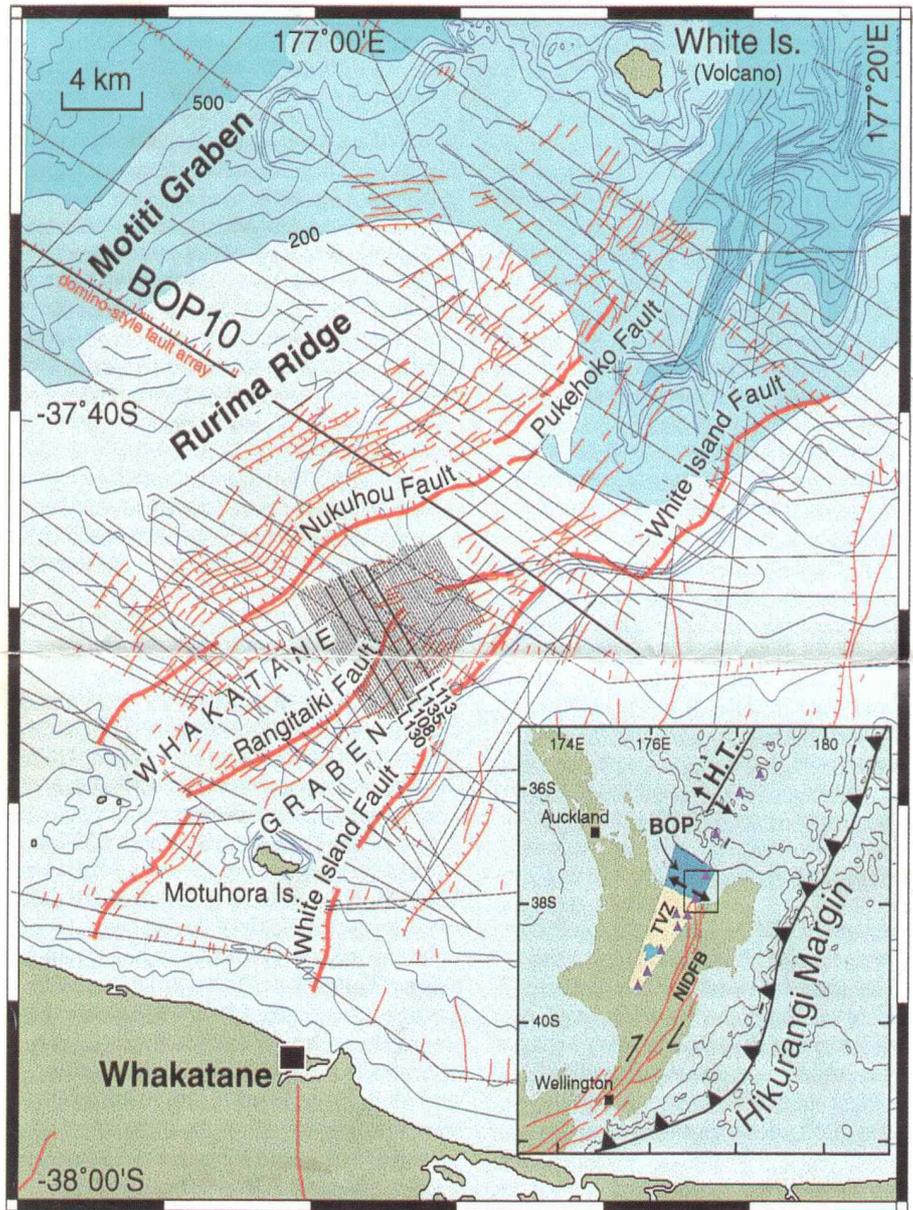


Fig. 2-1. Interpretation map of geologic structure of the Whakatane Graben, New Zealand, showing the major active faults and the positions of the multichannel seismic and 3.5 KHz profiles (from Lamarche et al., 2000)

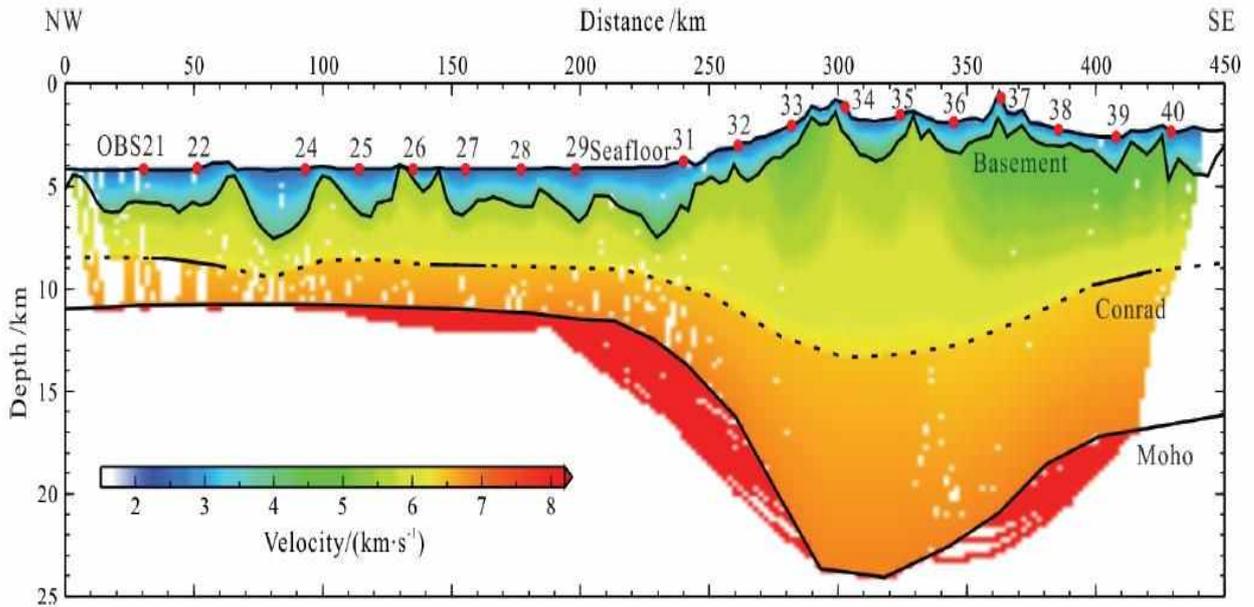


Fig. 2-2. Crustal P-wave velocity (V_p) model derived from deep seismic sounding in the South China Sea (Qiu et al., 2011).

3. The Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP)

UN은 자연재해가 인간의 목숨과 개발에 대한 주된 위협요소로 인식하여 1990-1999의 기간을 International Decade for Natural Disaster Reduction으로 설정하였다. 이 기간동안 GSHAP을 실행하여 지진의 발생과 관련된 위험을 경감시키기 위해 지진 위험성 산정을 전세계적으로 수행하였다. 이 과정에서 다음과 같은 네 가지의 연구과제를 선정하였다:

- 1) 지진의 분류와 데이터베이스 - 역사지진(선사시대-1900), 초기의 계기지진 기간(1900-1964), 그리고 현대적인 계기로 관측된 기간(1964-현재) 동안 지진활동을 분류하고 데이터베이스화함.
- 2) 지진원의 특성과악 - 분류된 지진, 지진지체구조학, 고지진학, 지형학, 활성단층의 mapping, 지각변형의 측지적 추정, 원격탐사와 지구동역학적 모델을 이용하여 지진의 공간적-시간적 분포를 설명하기 위한 지진원 모델의 확립.
- 3) 강진동 - 서로 다른 지체구조 및 구조적 환경에서 전파효과를 고려하고 지진에 의해 야기된 파손을 직접 측정하여 지진의 크기와 거리의 함수로서 진동을 계산.

4) 지진 위험성의 계산 - 주어진 기간내에 지진동(ground shaking)의 발생확률을 계산하여 seismic hazard map을 작성.

GSHAP과 관련된 자료는 <http://seismo.ethz.ch/GSHAP/>에서 얻을 수 있다.

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

1절에서는 제한적이지만 서해의 지진지체구조 연구결과들을 종합하여 서해의 지구조와 지진특성을 개략적으로 정리하였다. 2절에서는 서해의 지진지체구조를 구명하기 위해 필요한 연구과제들을 도출하고 기술수요조사서를 기재하였다. 그 외, 3절에서는 한반도의 지각구조를 구명하기 위한 연구과제를 소개하였다.

1 절. 서해의 지진.지체구조 개요와 연구 현황

1. 서해의 지진.지체구조 개요

가. 서론

동해는 섭입대에서 형성된 후열도로서 지체구조학에서 매우 중요한 연구대상이므로 판구조론이 정립된 이후 일본을 중심으로 많은 나라들이 그 성인과 지체구조에 대해 상당한 연구를 수행한 바 있다. 우리나라에서도 1991년 러시아와 공동으로 해저면지진계(OBS: Ocean Bottom Seismometer)를 이용하는 심부탄성과와 다중채널 탄성과 탐사를 통해 한반도의 대륙붕에서 동해의 울릉분지까지 지각구조를 구하고 동해의 지체구조적 형성을 구명하여 동해에서 발생하는 지진의 특성을 해석한 바 있다 (Kim et al., 2003; 2007; 2010). 이에 비해 서해에서는 OBS를 이용한 심부탄성과 탐사를 수행하지 못하여 지각구조를 정확히 구명하지 못하고 있다. 이 보고서에서는 일본과 중국에 설치된 지진계에서 기록된 지진자료를 이용하는 ambient noise tomography로부터 구한 Vs값을 해석하여 서해의 지각과 상부 맨틀구조를 유추하고 이의 지진지체구조적 의미를 정리하였다.

나. 서해의 지각과 상부 맨틀 구조

좁은 대륙붕과 급한 대륙사면을 지나 해양지각으로 구성된 울릉분지로 변하는 동해와 달리 서해는 전부가 대륙지각으로 구성된 얇은 대륙붕이다. Ambient noise

tomography로부터 계산된 70 km 깊이에서의 V_s 는 동해와 서해의 지체구조적 차이를 보여준다 (Fig. 3-1-1-1). 동해의 경우 상부맨틀에서 V_s 가 상대적으로 낮은 것은 동해의 열림과 관련하여 섭입대에서 약권상승(asthenospheric upwelling)이 활발히 유도되었음을 지시한다. 즉, 동해에서는 상부맨틀내에 대류가 활발하다고 볼 수 있다. 이에 비해 서해는 상대적으로 상부맨틀내에서 대류가 활발하지 못하다고 해석할 수 있다. 서해에서 중국에 가까운 발해만분지와 Subei 분지에서 맨틀이 상승한 것을 유추할 수 있는데 이것은 분지의 발달시 continental rifting과 관련된 것으로 볼 수 있다. 중국과 한반도의 중간에 위치하는 군산분지에서도 맨틀이 상승한 것으로 해석되는 현상이 보이는데 마찬가지로 군산분지가 continental rifting에 의해 형성될 때 수반된 맨틀의 상승으로 해석된다. 산둥반도에서 황해도 사이에 존재하는 맨틀의 상승은 군산분지의 북서쪽 경계를 지시하며 발해만에 비해 다소 약한데 이것은 군산분지의 rifting이 발해만분지에 비해 덜 발달했기 때문으로 해석된다.

30 km 깊이에서의 V_s 는 한반도와 한반도와 동해 그리고 서해에 대해 광역적인 모호면의 깊이를 지시한다 (Fig. 3-1-1-2). 동해의 분지 대부분은 해양지각이므로 V_s 의 속도가 매우 높게 나타난다. 동해의 울릉분지에서 OBS를 이용해서 구한 모호면의 깊이는 약 16 km인데 이 깊이에 해당하는 V_s 는 3.75 km/s이다 (Kim et al., 2014). 서해에서 모호면의 깊이를 동해와 마찬가지로 V_s 가 3.75 km/s인 값으로 본다면 발해만분지와 제주분지에서 모호면은 30 km보다 얕으며 나머지 지역은 대략 30 km라고 해석할 수 있다.

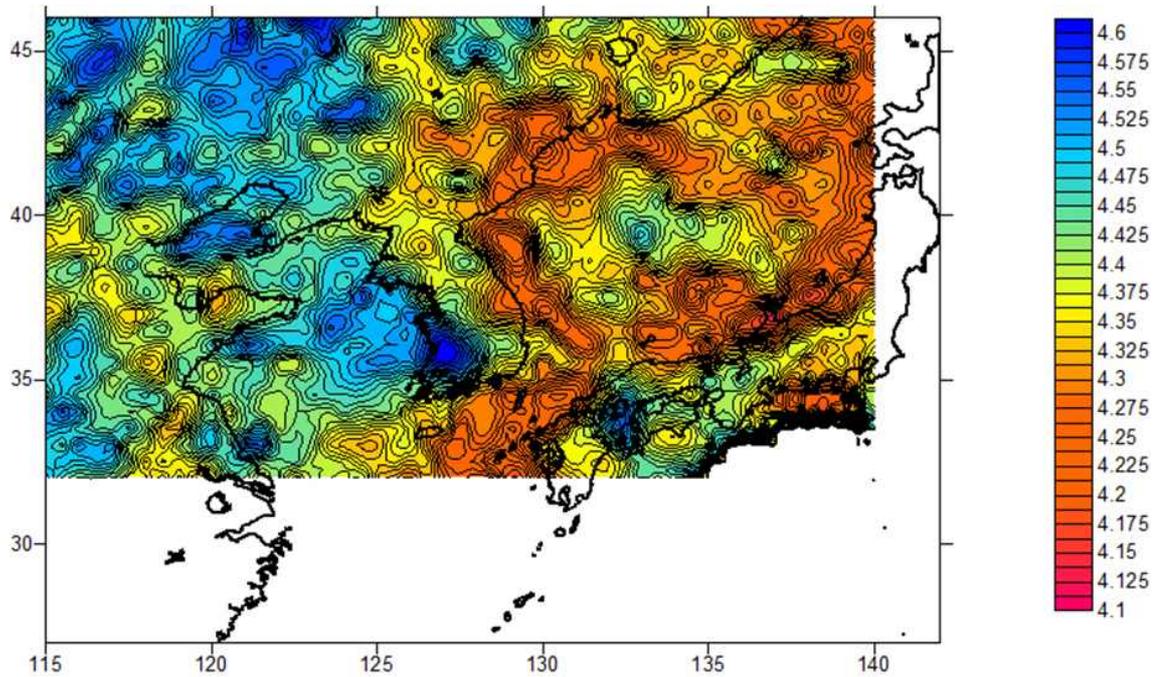
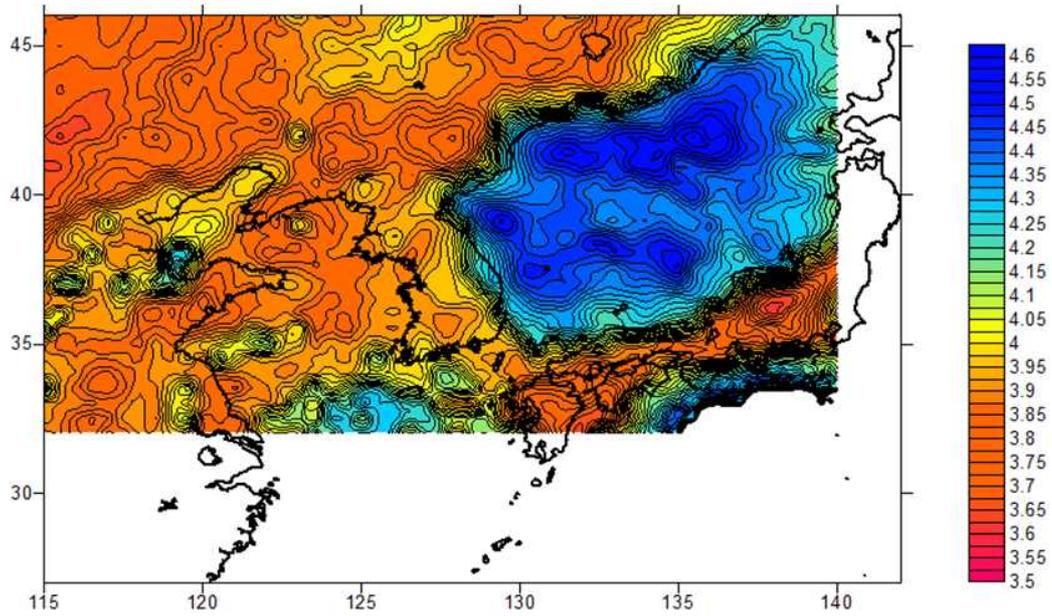


Fig. 3-1-1-1. Distribution of s-wave velocity (V_s) at 70 km depth computed from ambient noise tomography (after Kim et al., 2014). The scale bar denotes V_s in km/s.

서해에는 남중국 블록(South China block)과 중한블록(Sino-Korea block)이 페름기 후기와 트라이아스기에 충돌한 지구조적 경계가 존재한다. 이 경계는 Qinling-Dabie Belt로부터 Sulu Belt와 Imjingang Belt의 연장이라고 추정하고 있다 (Fig. 3-1-1-3) (Chough et al., 2013). 30 km 깊이에서 V_s 슬라이스(Fig. 3-1-1-2)를 살펴보면 산둥반도 남단을 지나는 Sulu belt에 해당하는 지역이 주변보다 낮은 V_s 값을 보이는데 이것은 충돌의 결과로서 지각의 두께가 증가하였음을 의미한다. 낮은 값의 V_s 는 임진강벨트와 연결되는 양상을 보여주는데 Sulu Belt와 임진강벨트가 남중국블록과 중한블록의 충돌경계임을 지시한다. 이것은 Hong and Choi (2012)가 지진자료의 분석을 통해 제시한 충돌경계와 일치한다. 하지만, 한반도에서 비슷한 낮은 V_s 값을 가지는 지역은 경기도의 북쪽에 북서-남동방향으로 나타나는데 이것이 지각이 두꺼워진 충돌대의 연장인지는 불분명하다.

지진지체구조의 해석에서 중요한 것은 모호면이 매우 급하게 변하는 지역으로 응력이 집중되어 큰 규모의 지진이 발생할 가능성이 있는 곳이다. 서해에서는 제주도의 남쪽으로 제주분지의 경계를 따라 모호면이 급하게 변하는 것으로 해석할 수

있다.



T.-K. Hong, H. Choi / *Tectonophysics* 570-571 (2012) 102-113

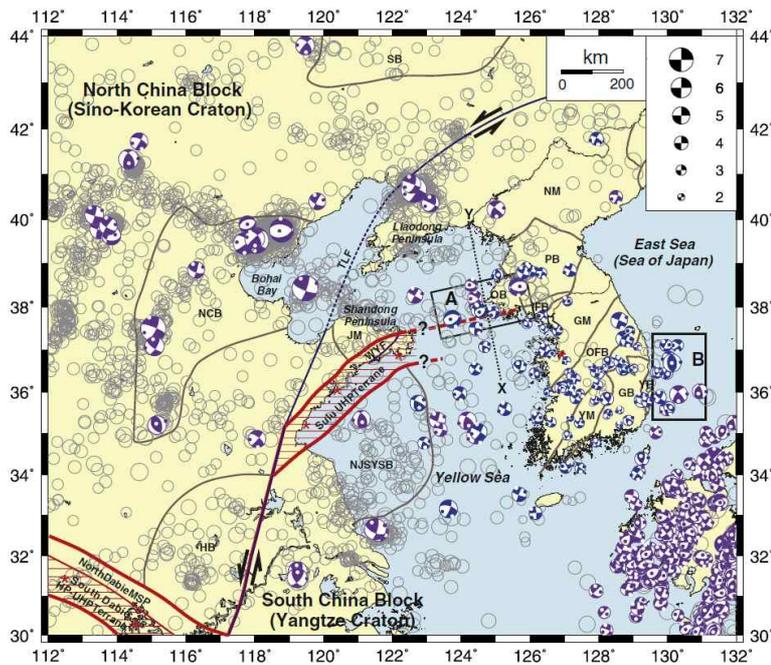


Fig. 3-1-1-2. (Upper) Distribution of s-wave velocity (V_s) at 30 km depth computed from ambient noise tomography (after Kim et al., 2014). The scale bar denotes V_s in km/s. (Lower) Fault plane solutions in and around the Yellow Sea (Hong and Choi, 2012).

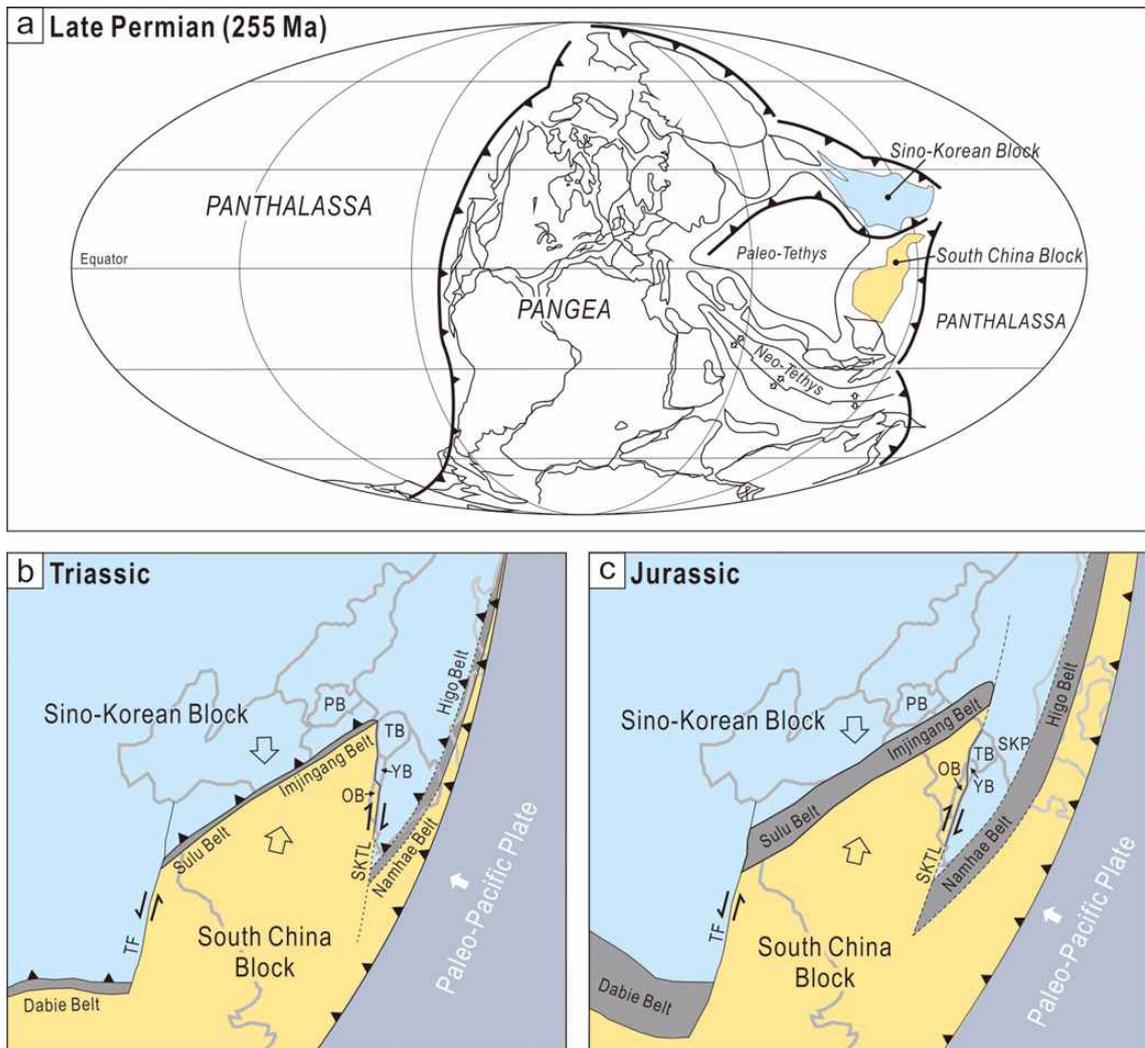


Fig. 3-1-1-3. (a) Paleogeography of the Late Permian. (b) Tectonic reconstruction of the Sino-Korean and South China blocks in the Triassic. (c) Tectonic reconstruction in the Jurassic. Note that the indented South China Block collided against the Sino-Korean Block along the Qinling-Dabie, Sulu, Imjingang, and Namhae-Higo belts, forming an offset along the Tanlu Fault and the South Korean Tectonic Line. (from Chough et al., 2013).

2. 서해의 역사지진 발생 현황

가. 서론

유라시아판 내부에 위치한 우리나라 서해(황해)에서 발생한 지진의 분포와 그 특성을 규명하기 위해서는 판 경계부 지진 특성과 달리 긴 역사시대를 통해 발생한 지진자료가 필요하다. 그러나 지리적으로 해상에서 발생하는 지진은 역사시대에는 해안을 중심으로 감진되는 기록에 의존 할 수 밖에 없다. 따라서 진앙 결정도 어렵거니와 결정된 진앙의 위치의 정확도도 매우 떨어진다고 볼 수 있다.

비록 진앙의 위치나 규모가 불확실하다 하더라도 역사 문헌을 통해 연안가까이에서 감진된 기록들을 종합하여 지진의 진앙이나 규모를 평가하고, 계기지진 자료와 비교함으로써 개략적으로 서해의 지진발생 특성에 대한 정보를 얻을 수 있다고 본다. 이를 위해 우리나라 역사문헌에 기록된 역사지진자료와 중국 역사문헌에 기록된 서해 발생 지진 자료에 대한 검토를 수행하였다.

나. 우리나라 역사지진 자료 목록

역사 지진 목록은 지금까지 和田(1912), 한국원자력안전기술원(1998), 이기화(2005) 등 여러 연구자들에 의해 조사되어 왔다. 이 중 경제부(2011)은 역사시대에 발생한 지진의 관련 사료인 삼국사기, 고려사, 고려사절요, 조선왕조실록, 증보문헌비고, 승정원일기, 일성록 등의 지진기록 자료, 현재 존재하지 않는 풍운기 및 천변초출등록의 자료가 포함된 和田(1912)의 자료, 민간사료로서 한국원자력안전기술원(1998) 및 이기화(2005)에 소개된 각종 사료 즉, 泰齋集(유방선), 冲齋集(權 櫟), 二樂亭集(신용개), 龍泉談寂記(김안로), 頤齋亂稿(洪彦弼), 靜菴集(조광조) 등의 지진 기록 자료, 그 외 추가로 불국사 서석탑중수형지기 목서지편, 耽羅誌, 亂中雜錄(조경남), 續雜錄(조경남), 凝川日錄(박정현), 燃藜室記述 別集(이공익), 勉庵先生文集(최익현) 및 저자 미상의 己卯錄續集, 癸未東槎日記 등의 지진기록을 함께 포함하고 있다.

Fig. 3-1-2-1은 전 역사시대 기간 동안 발생한 총 2,161회의 역사 지진 기록 중 MM 진도 V 이상 440여회 지진의 진앙 분포를 나타낸다. 이들 지진 중 서해에서 발생한 지진들의 발생년월일, 진앙, 감진구역, 진도 등을 종합 정리하면 <Table

3-1-2-1>과 같다.

다. 중국 역사지진목록

중국의 역사지진 기록은 BC 23세기까지 거슬러 올라가며, 역사 지진에 대한 문헌 기록이 전 세계적으로 가장 방대하고, 시간적으로 길다고 할 수 있다. 1950년대에 들어와 지진위험도 평가를 위해 역사학자와 지진학자들이 지진 기록에 대한 체계적인 조사를 통해 1956년에 두권의 지진목록을 발간하였다.

** Chronological Table of Chinese Earthquakes(1956) - Seismological Committee of Academia Sinica

** Catalogue of Chinese Earthquakes (1960) - Prof. Li Shanbang

이후 1971년, 1983년 수정판 출간이 있었다. 그 이후 중국 역사지진관련 문헌들이 1987년까지 발간되어 왔으며, 국가지진국(State Seismological Bureau)에서는 방대한 자료조사와 분석을 통해 전진, 여진, 지진현상, 지진피해, 진도와 규모 평가 등을 포함한 자료들을 종합 정리하여 BC 23C부터 A.D. 1911년 까지 발생한 규모 4.75 이상의 1034회의 지진 자료를 포함한 중국역사강진목록(1995)을 출간하게되었다. 본 과제에서는 이 목록에서 서해 발생 지진들을 발췌하였다.

라. 서해 발생 역사지진 현황

서해 혹은 서해 인근 해역에서 발생한 역사지진 중 우리나라 기록은 경제복(2011), 중국 기록은 중국국가지진국(1995) 으로부터 발췌하였다. <표 3-1-2-1>은 우리나라 역사문헌에 기록된 서해 연안에서 발생한 진도 IV 이상의 7회의 지진자료를 나타내고 있다. 대부분 진도 VII 이하의 중소 규모 지진이다. 그러나 이것은 연안 부근의 감진 정도로부터 추정된 진도이므로 정확한 진앙이나 규모의 평가는 어려운 실정이다. 현실적으로 감진 정도에 의존하여 평가하였기 때문에 지진이 서해 상에서 발생하였다 하더라도 연안 가까이로 평가되었을 가능성이 크다. 따라서 규모도 더 낮게 평가되었을 가능성이 크다고 볼 수 있다. 역사문헌에 보면 서해연안에서 감진된 것은 이보다 훨씬 많다. 즉, 진도 IV 이하로서 감진지역이 한 두지역인 지진이 꽤 있다. 이들 지진의 진앙이 해당 지역이 될 수도 있지만 서해 상에 위치

하여 해당 지역에서 감진 될 수도 있다.

1995년의 중국강진목록에서 발췌된 서해상 및 발해만 혹은 중국연안에서 발생한 규모 6 이상의 9개 지진은 <Table 3-1-2-2>에 기술되어 있다. 이들 역사 지진의 진앙 역시 중국 연안에서 감진된 감진 정도와 피해 정도에 기초하여 평가되었으므로 진앙의 불확실성이 상당하리라 판단된다. 이 지진 중에는 한반도에서 감진된 지진도 9개중 5개나 될 정도로 감진 지역이 넓게 분포하였다.

Fig. 3-1-2-2는 한반도와 중국연안 및 서해상에서 발생한 역사지진을 전체적으로 그 진앙분포를 나타낸 것이다. 역사 시대 동안 여러 차례 큰 지진들이 서해상에서 발생하였으며, 한반도 서해안 쪽에서는 1500-1600년대에 주로 발생하였고 중국 연안에서는 1500-1600년대와 1800-1910년에 집중적으로 발생하였다. 중국 연안 쪽 지진의 규모가 훨씬 파괴적이었으며 약 200여년의 주기성을 나타낸다고 볼 수 있다. 중국에서 기록한 역사자료에서는 규모가 매우 큰 것은 우리나라에서도 감진한 것으로 나와 있는데 같은 시간대에 우리나라의 기록과 일치하는지 조사해야 할 것이다. 만약 그렇지 않다면 역사지진자료에서 나타나는 이런 문제는 그 원인을 해석하고 잘못된 것이 있으면 수정해야 할 것으로 보인다.

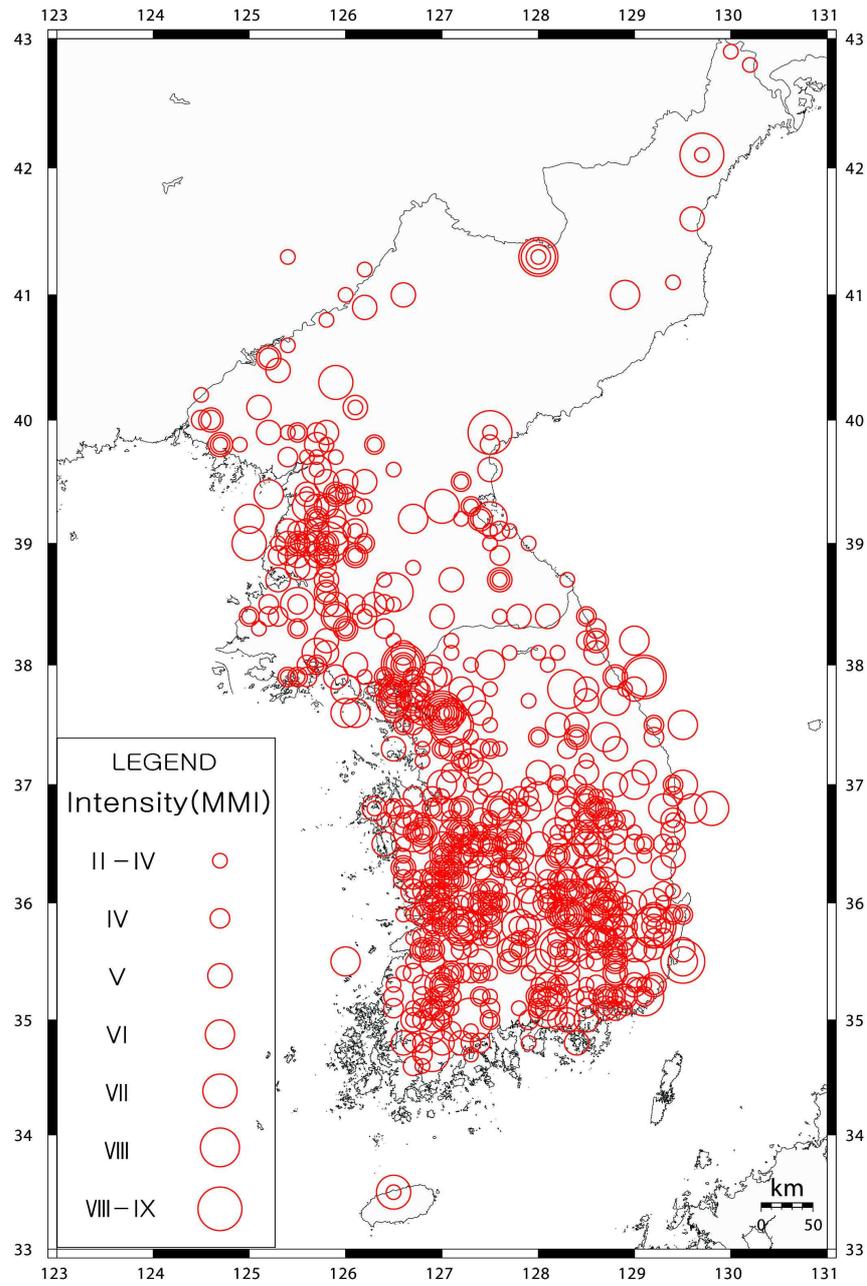


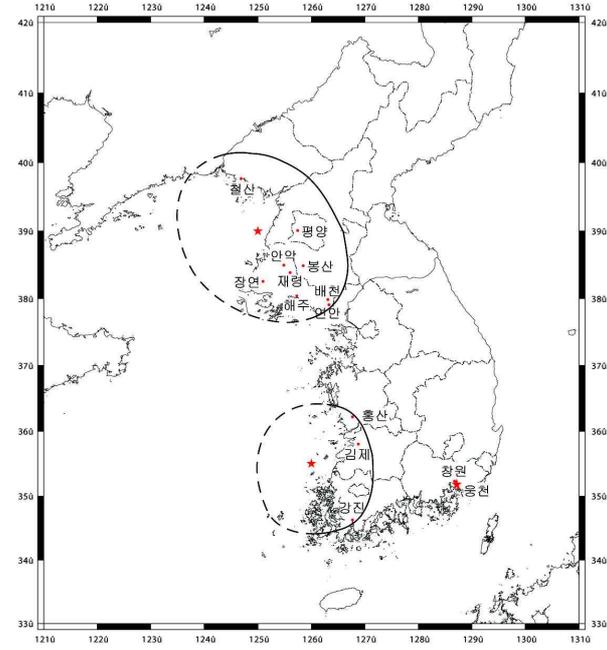
Fig. 3-1-2-1. Epicenters of the earthquakes in the Korean Peninsula that occurred from A.D. 2 to 1904.

<Table 3-1-2-1>. List of historical earthquakes from the Korean literature that are inferred to have occurred in the Yellow Sea (경제복, 2011).

발생년 월일	위도/ 경도	위치	한반도 감진지역	진도	규모
1518. 12. 2	37.9/ 125.6	강령 앞바다		IV	3.4
1520.4 . 4	37.6/ 126.1	교동 앞바다		VI	4.7
1520.	37.3/ 126.1	인천앞		V	4.1

4.24	126.5	바다			
1525.5 .21	39.2/ 125.0	증산 앞바다		VI	
1525. 5.28	37.6/ 126.0	해주 앞바다		VI	4.7

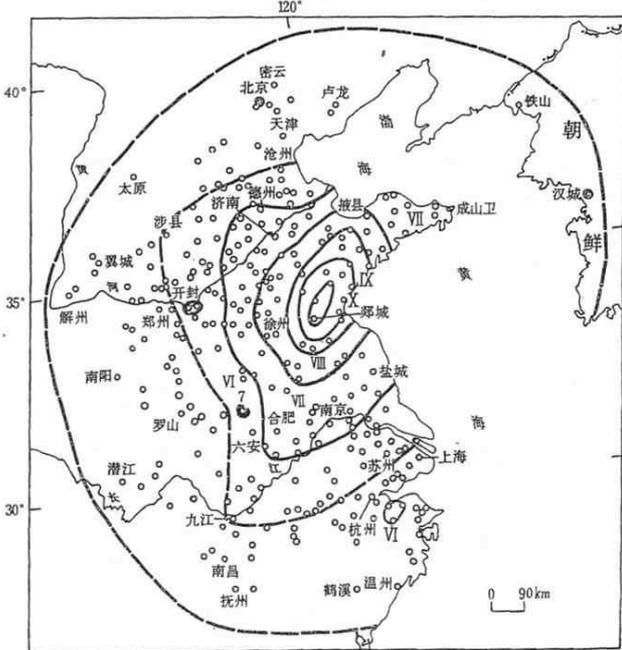
<p>1556. 5.12</p>	<p>37.8/ 126.0</p>	<p>해주앞 바다</p>		<p>VI</p>	<p>4.7</p>

1668. 7.31	39.0/ 125.0	철산앞 바다, 군산앞 바다		VII (상)	5.4
				VI (하)	4.7

<Table 3-1-2-2>. List of historical earthquakes from the Chinese literature that are inferred to have occurred in the Yellow Sea (경제북, 2011)

발생년 월일	위도/ 경도	위치	감진 구역	진도/ 규모
1548. 9.12	38.0/ 121.0	발해	숙천, 순양, 평양, 송화, 용강, 해주, 서울 안성 (조선왕조실록) 개성, 안성, 해주, 송화, 평양, 숙천, 순안 등 (중국국가지진목록, 1995)	7

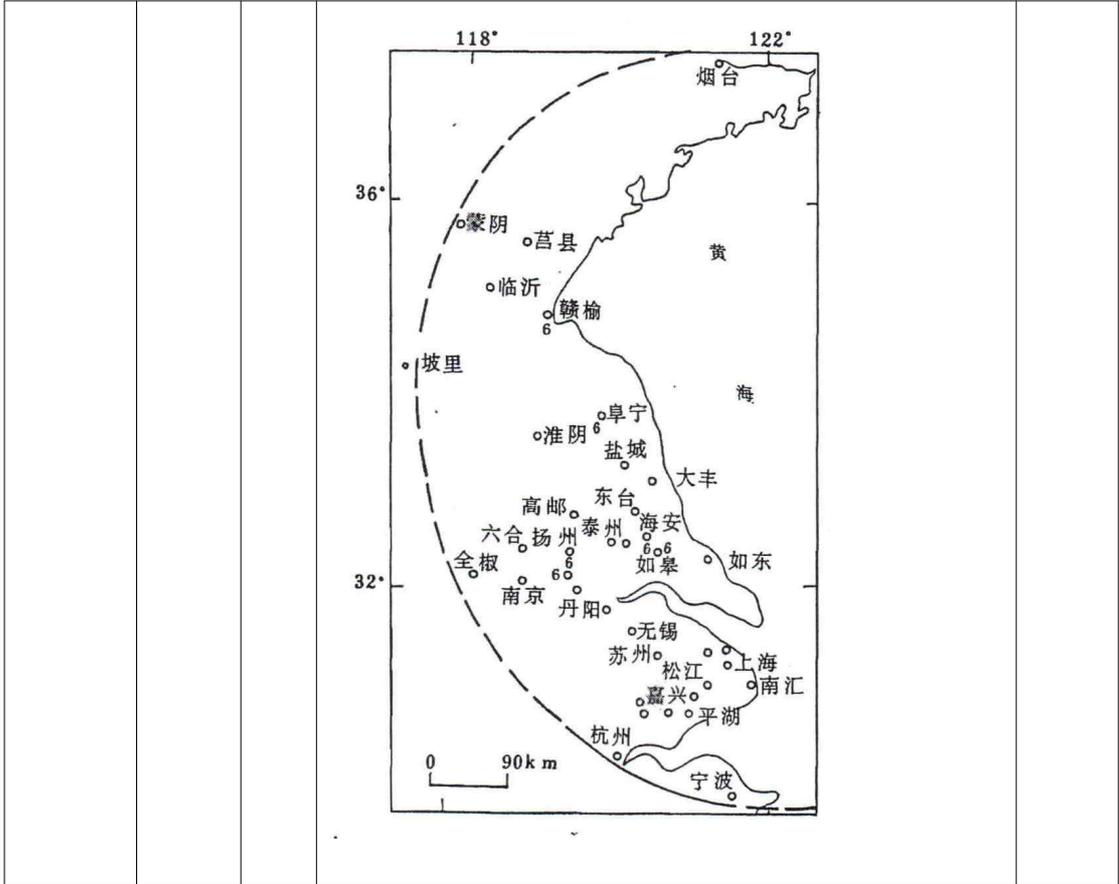
1597.10 .6	38.5/ 120.0	발 해	<p>개성, 평안도(서부, 북부, 남부), 함경도 (중국국가지진목록, 1995)</p>	7
1668. 7.25	34.8/ 118.5	산 등 반 도	<p>개성, 철산 등(중국국가지진목록, 1995)</p>	\geq XI 8.5

		남 쪽 (내 륙)		
1 8 4 6 .8. 4	33.5/ 122.0	황 해	개성(중국국가지진목록, 1995)	7

<p>1852.12 .16</p>	<p>33.5/ 121.5</p>	<p>황 해</p>		<p>≧ 6.5</p>

<p>1853. 4.14</p>	<p>33.5/ 121.5</p>	<p>황 해</p>	<p>개성(중국국가지진목록, 1995)</p> 	<p>≥ 6.5</p>
<p>1853.4. 15</p>	<p>33.0/ 121.5</p>	<p>황 해</p>		<p>≥ 6</p>
<p>1888.</p>	<p>38.5/</p>	<p>밭</p>		<p>7.5</p>

6.13	119.0	해 만		
1910. 1.8	35.0/ 122.0			6.75



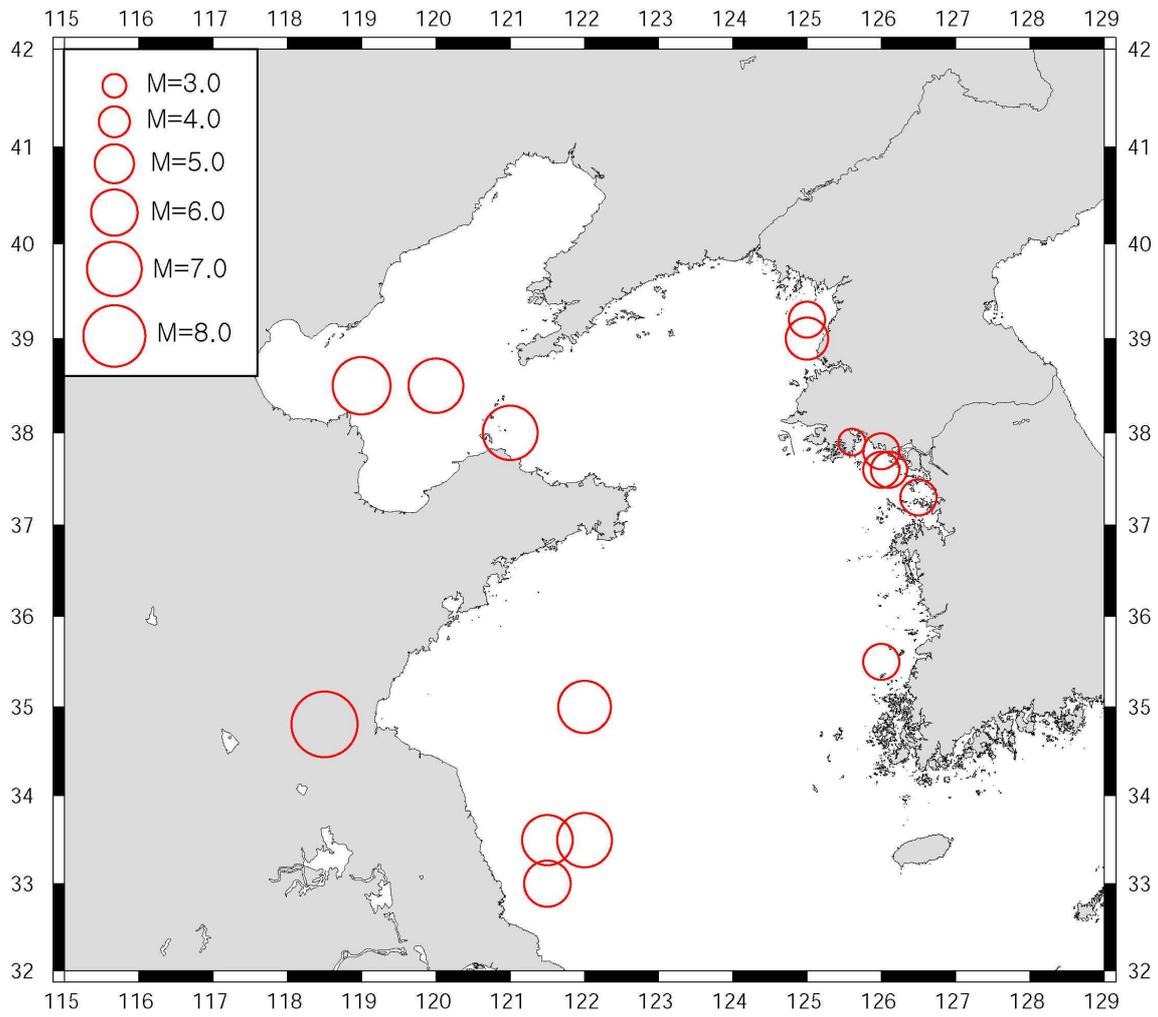


Fig. 3-1-2-2. Locations of epicenters of the historical earthquakes that are inferred to have occurred in the Yellow Sea.

3. 서해 지진원 및 지각속도구조에 대한 연구현황

가. 서론

본 보고서는 서해 지역에서 과거에 수행된 지구물리학적 연구 논문과 학술발표를 정리하였다. 연구 논문을 찾기 위하여 과학 논문 database search engine인 “Web of Science”와 “IEG 환경 지질연구정보센터”를 이용하여 2013년 11월 현재까지 국내외 학회지에 발표된 논문을 정리하였다. 본문의 내용은 연구논문의 분석 방법을 기준으로 나누었다. 먼저 지진학적 방법을 이용하여 분석된 내용으로 단층면 해 연구와 중첩수신함수 방법을 이용한 맨틀의 불연속면 연구, 그리고 표면파 분산 곡선을 이용한 tomography 기법 연구 등을 정리하였다. 다음에는 중력 및 그 밖의 지구물리학적 방법을 이용한 서해의 지체조 해석을 정리하였다. 항공중력, 위성 중력, 그리고 선상에서 측정된 중력자료를 분석한 것은 중국 북동부에서 서해까지 이어지는 suture zone이 흥성으로 이어져 있는 것을 제시하고 있다. 여기에서 인용한 논문은 대륙 충돌대로 여겨지는 고밀도 지각구조를 서해 퇴적분지의 남쪽부터 북동 방향으로 한반도 중서부 지역을 연결되는 것을 보여준다. 마지막에 서해의 지체구조에 관하여 중국에서 발표한 논문들과 2011년부터 현재까지 국내 학회에서 발표된 발표자료들을 정리하였다. 중국논문은 본문이 중국어로 되어있거나 본문을 인터넷에서 찾을 수 없는 논문들로 이루어져 있다.

나. 지진학적 연구

(1) 한반도 남부의 지역적 moment tensor

(Rhie, J. and Kim, S. (2010), Regional moment tensor determination in the southern Korean Peninsula, Geosci. J., 14(4), 329 - 333. Key words : 한반도, 지진 모멘트 텐서, 지진파형 역산)

지진학적으로 조용한 한반도에서 과거 큰 지진이 발생했다는 역사 기록이 존재한다. 한반도의 지진학적 특성을 연구하기 위하여 moment tensor를 결정하였다. 한반도에 설치된 지진관측소에서 관측된 broadband seismic data의 waveform

inversion을 통해 아래와 같이 26개의 Mw 3.2 ~ 5.0의 지진요소를 결정하였다.

사용된 seismic data는 KMA와 KIGAM이 운영하는 broadband station에서 획득되었다. 2001년에서 2008년 사이에 발생한 ML 3.5~5.1의 local 지진의 지진 파형을 사용하였다. 관측된 변위 자료를 필터링하고 1 s 간격으로 resampling하여 역산에 사용하였다. 모든 관측 지진 파형에 대해서 필터링 대역은 10 - 20 s 범위를 적용하였고, 20040526 지진에 대해서는 20 - 50 s의 범위를 적용하였다. 이전 연구에서 얻어진 1D 속도 구조에 대하여 frequency wave number integration method를 이용하여 Green's function을 계산하였다. 진원거리 5 km에서 500 km까지 5 km 간격으로 Green's function을 계산하여 moment tensor inversion에 사용하였다. 각각의 지진에 대해서 결정된 moment tensor solution은 Rhie and Kim (2010)의 Table 1에 기재되어 있다. 결정된 moment tensor solution은 황해와 동해에서 발생한 몇몇 지진을 제외하고 대다수 주향이동단층을 지시하고 있다 (Fig. 3-1-3-1).

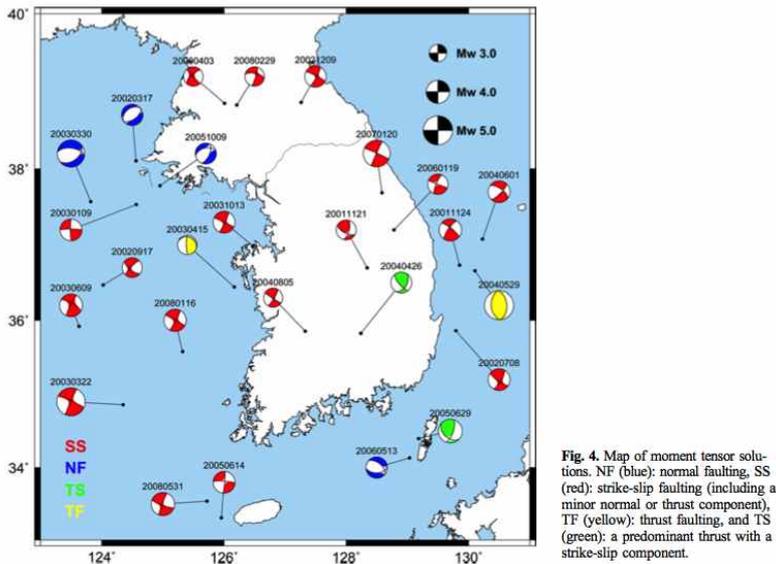


Fig. 4. Map of moment tensor solutions. NF (blue): normal faulting, SS (red): strike-slip faulting (including a minor normal or thrust component), TF (yellow): thrust faulting, and TS (green): a predominant thrust with a strike-slip component.

Fig. 3-1-3-1. Map of moment tensor solution.

대부분의 지진이 주향이동단층의 stress regime을 보이고 있다. 이 지역의 regional stress field를 살펴보기 위하여 각 지진에 대해서 P-axis를 구하였다(Fig. 3-1-3-2). 대부분의 지진은 P-axis가 ENE-WSW 방향을 향하고 있으며 그 평균은

72.77° (또는 252.77°)이고, 이때 표준편차는 14.46°이다. 따라서 전 연구 지역에서 최대 stress 방향이 균질하다고 할 수 있다. 또한 이는 GPS 측정에 의해서 얻어진 결과와도 잘 일치하고 있다.

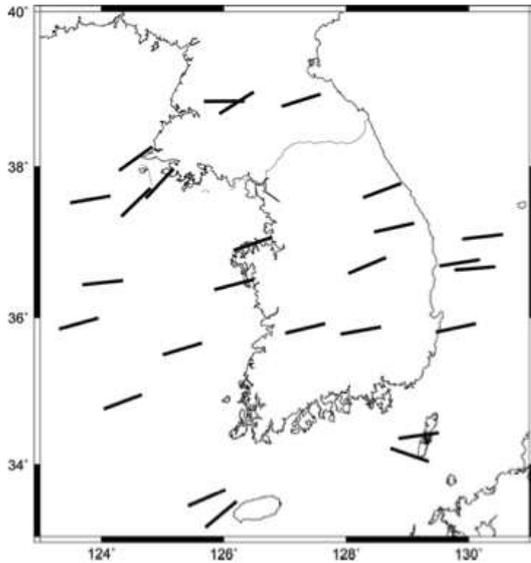


Fig. 5. Distribution of azimuth directions of horizontally projected P-axis (pseudo P-axis).

Fig. 3-1-3-2. Distribution of azimuth directions of horizontally projected P-axis.

(2) 한반도 연안 서해에서 두 중규모 지진의 source parameters

(Choi, H. (2010), Source Parameters of Two Moderate Earthquakes at the Yellow Sea Area in the Korean Peninsula on March 22 and 30, 2003, Jigu Mulli Wa Mulli Tamsa, 13(3), 235-242. Key words : 서해, 중규모 지진, 발진기구 (focal mechanism), 모멘트 규모(moment magnitude)

2003년 3월 23일 한반도 홍도 해역, 3월 30일 한반도 백령도 해역에서 규모 5.0 및 4.8의 중규모 지진이 아래 표(Table)와 같이 잇달아 발생하였다. 서해에서 발생한 두 중규모 지진의 지진원 요소(source parameter), 발진기구(focal mechanism), 모멘트 규모(moment magnitudes)를 과형역산법을 이용하여 분석하여 주변 지체구조판(tectonic plate)의 움직임과 비교하였다(Fig. 3-1-3-3).

Table. The KMA catalog of two events.

Table 1. The KMA catalog of two events.

Event	Date	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Magnitude
A	2003/03/22	35.0	124.6	5.0
B	2003/03/30	37.8	123.7	4.8

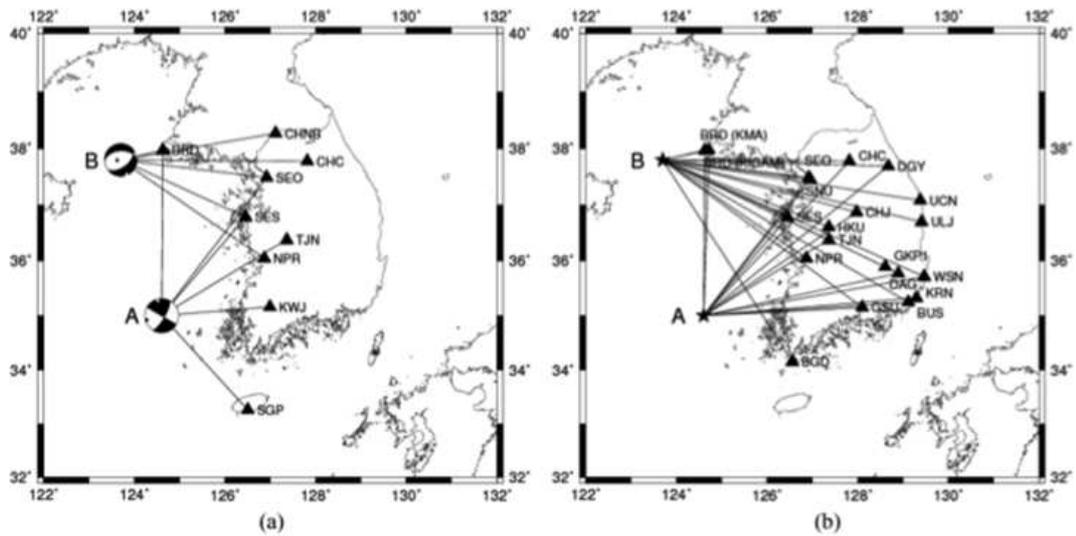


Fig. 3-1-3-3. (a) The distribution of broadband seismic stations for waveform inversion analysis. (b) The distribution of broadband seismic stations for spectral analysis.

먼저, 진원 위치를 Chang and Baag (2006)의 1D 지각 속도구조 모델을 이용하여 재결정하였다. 또한 진원 깊이를 지진파형 역산을 통해 재결정하였다. 재결정된 진원요소를 사용하여 0.05 - 0.1 Hz의 장주기 지진파형의 역산을 수행하였다. 그린 함수는 frequency-wavenumber method를 이용하여 구하였다(Bouchon, 1981). 지진 파형 역산 결과 3월 23일 지진은 약간의 역단층 성분을 포함하는 주향이동단층의 특성을 보이며, 3월 30일 지진은 정단층 특성을 보인다. P-axis의 방향은 ENE-WSW 방향으로 한반도 주응력 방향에 대한 이전 연구결과와 부합한다. 파형역산에 의한 각 지진의 moment 규모는 4.7과 4.5로 결정되었으며, 스펙트럼 분석에 의한 각 지진의 moment 규모는 4.8과 4.6으로 결정되었다.

홍도 해역 지진은 국지적인 응력보다는 황해에 전체적으로 작용하는 판구조적 응력 분포를 반영한다. 그러나 백령도 해역 지진은 기존의 섭입대나 충돌대에 의해 발생 한 연약대가 인장방향의 응력을 받아 발생하는 것으로 추정되며, 충돌대의 한

반도 연장 가능성에 대한 지진학적 관측 증거를 간접적으로 제시한다.

(3) 서해 북부에서의 소규모 hot upwelling

(Ai, Y., T. Zheng, W. Xu, and Q. Li (2008), Small scale hot upwelling near the North Yellow Sea of eastern China, *Geophys. Res. Lett.*, 35(20), n/a - n/a, doi:10.1029/2008GL035269. Key words : 서해 북부, 수신함수, CCP stacking, 상부 맨틀 불연속면, hot upwelling)

서해 북부 하부의 상부 맨틀 불연속면을 영상화하였다(Fig. 3-1-3-4). 서해 북부의 관측소에서 얻어진 수신함수들로부터 common conversion point (CCP) stacking 방법을 사용하여 상부 맨틀 불연속면을 이미징하였다(Fig. 3-1-3-5). 410 km 불연속면과 660 km 불연속면이 선명하게 나타난다. 연구지역의 동쪽 부분에서 410 km 불연속면은 침강되어 있으며, 660 km 불연속면은 상승되어 있다. 전이대(TZ; transition zone)의 두께는 경도 122° 서쪽에서 두껍게 나타나고, 동쪽에서는 얇게 나타난다 (Fig. 3-1-3-3). 전이대의 두께가 가장 얇은 곳은 황해 북쪽 지역에서 나타나며 지구 평균치보다 10-15 km 더 얇은 수치를 보이는데, 이는 100°C 정도 더 높은 온도를 지시한다.

연구지역에서 나타난 전이대의 두께 변화는 이 지역에서 뜨거운 맨틀이 상승하면서 생긴 결과로 추측된다. 맨틀의 상승의 기원은 섭입판이 하부 맨틀로 가라앉으면서 생기는 소규모의 맨틀 대류가 생성되었거나, 하부 맨틀에서 소규모의 plume이 발달되어 있을 가능성이 있다.

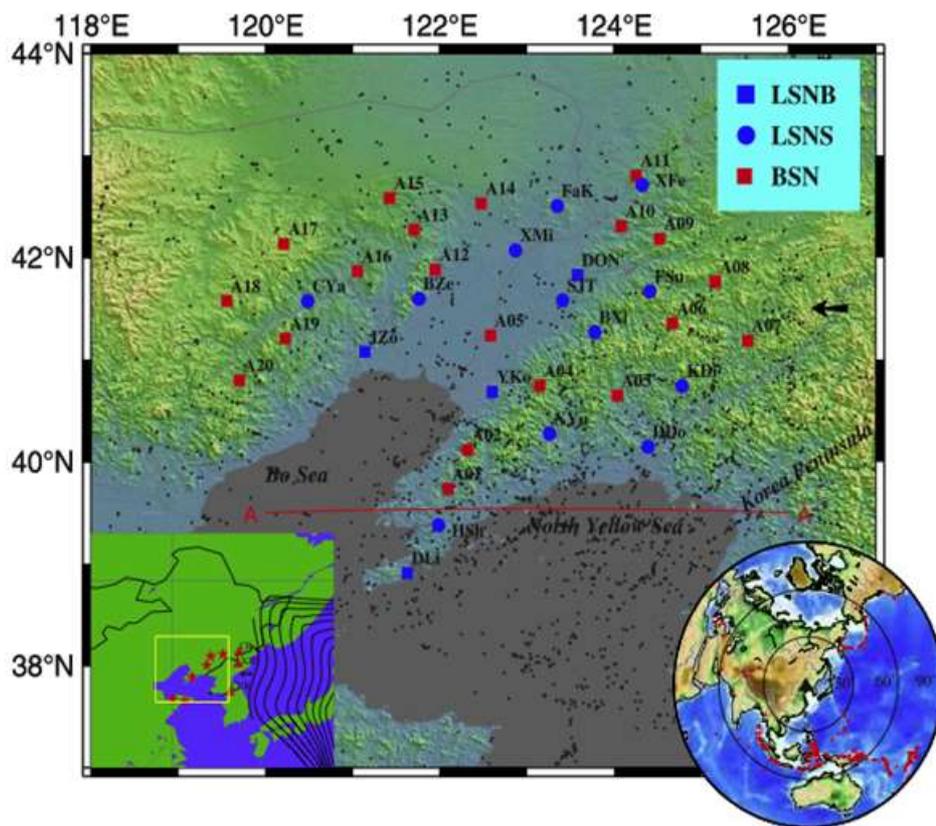


Fig. 3-1-3-4. The study region in Eastern China and the seismic stations used in the study.

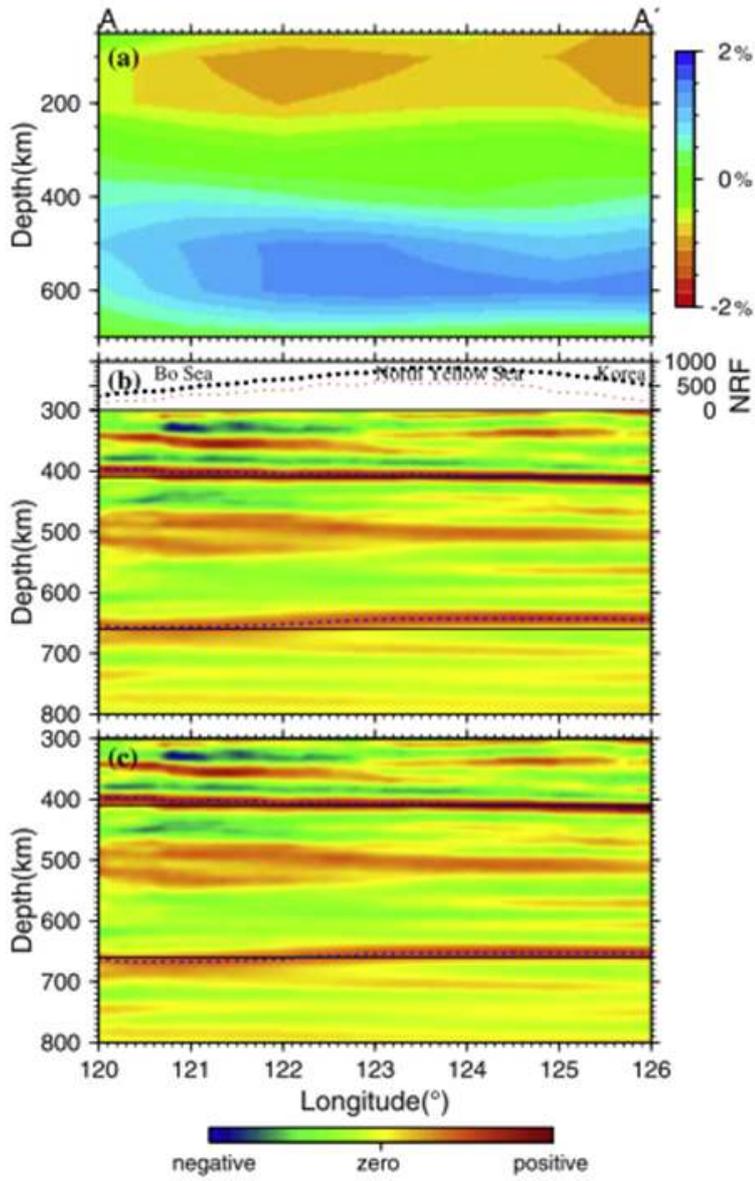


Fig. 3-1-3-5. (a) P-wave perturbations relative to IASP91 model. (b) and (c) CCP stacked depth-domain images at 300 and 800 km depth, respectively, for profile AA'.

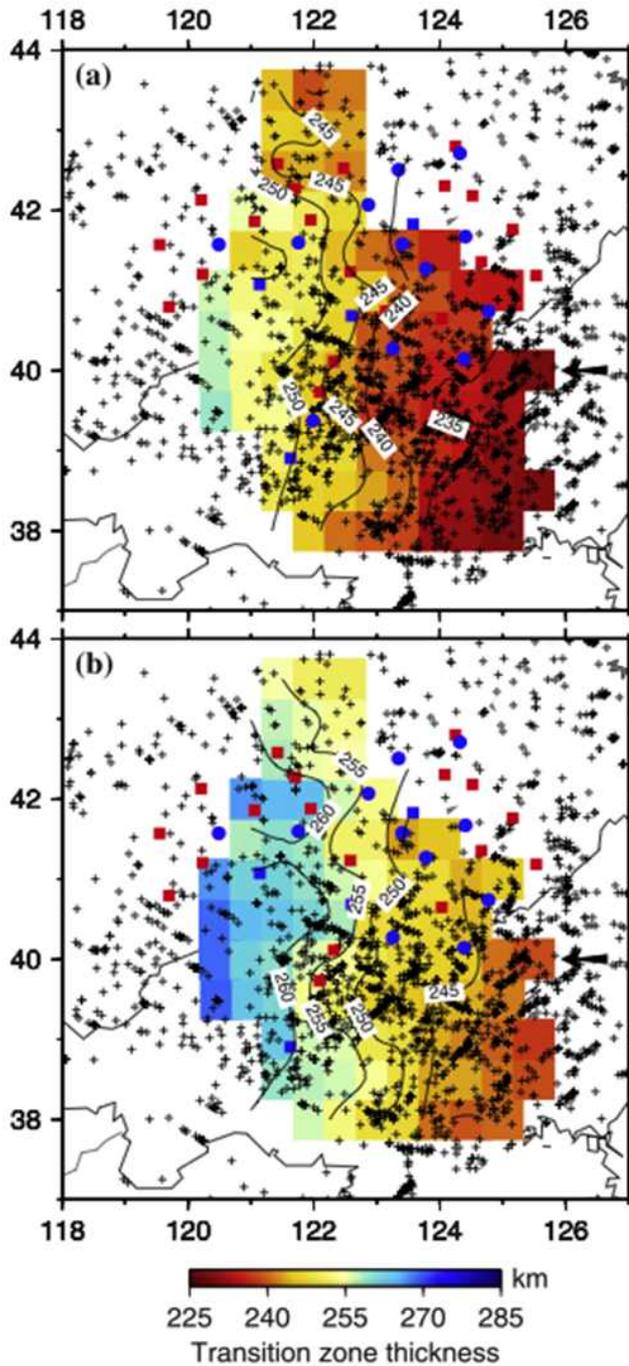


Fig. 3-1-3-6. TZ (Transition Zone) variations based on two different velocity models used in (a) Fig. 3-1-3-5b and (b) Fig. 3-1-3-5c.

(4) Markov chain Monte Carlo algorithm을 이용하여 계산된 서해-한반도 지역의 지구물리학적 모델

(Pasyanos, M. E., G. A. Franz, and A. L. Ramirez (2006), Reconciling a geophysical model to data using a Markov chain Monte Carlo algorithm: An application to the Yellow Sea - Korean Peninsula region, J. Geophys. Res. Solid Earth, 111(B3), B03313, Key words : 서해, 한반도, forward modeling, surface wave dispersion, body wave traveltime, 퇴적층 두께, 지각 두께, 탄성과 속도 구조, 지각, 상부 맨틀)

다양한 데이터 세트에 부합하는 탄성과 모델을 만들기 위한 노력의 일환으로 새로운 확률학적 역산 방법을 도입하였다. 새로운 역산 방법은 Markov chain Monte Carlo (MCMC) 알고리즘에 기반하여 기존에 알려져 있는 확률분포로부터 모델을 표본추출하여 이를 다양한 종류의 데이터들에 대하여 시험함으로써 향상된 분포를 도출하는 과정으로 구성되어 있다. 제안된 새로운 방법은 결정론적인 방법과 비교할 때, 고도의 계산 비용을 요구하는 단점을 가지고 있지만, 다양한 종류의 데이터를 동시에 다룰 수 있으며, 데이터와 모델의 불확실성을 동시에 다룰 수 있고, 다양한 종류의 사전정보를 직접적으로 활용할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 가장 주된 장점은 해가 분포하는 공간(solution space)에 대한 보다 자세한 정보를 얻을 수 있다는 것이다. 제안된 새로운 방법을 적용하여 황해와 한반도 지역의 지각과 상부 맨틀 구조를 결정하였다(Fig. 3-1-3-7). 구조 모델은 각 격자에서 V_p , V_s , 밀도가 정의되는 7개의 층으로 구성되었다. 속도 구조는 surface wave dispersion과 body wave traveltime 자료들을 사용하여 도출하였다.

충분한 자료가 획득된 지역에서 기존에 알려진 tectonic setting과 잘 일치하는 결과(지각 두께(Fig. 3-1-3-8), 상부맨틀 탄성과 속도(Fig. 3-1-3-9), 퇴적층 두께(Fig. 3-1-3-10)가 작은 오차 범위 내에서 도출되었다.

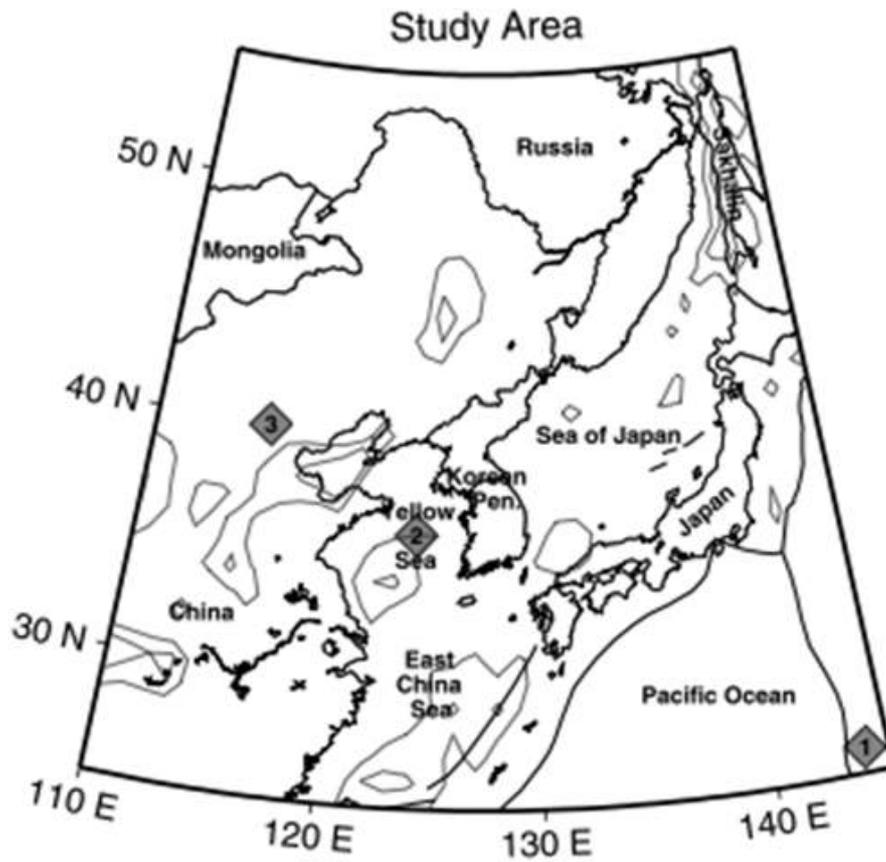


Fig. 3-1-3-7. Geographic map of the Yellow Sea - Korean Peninsula region.

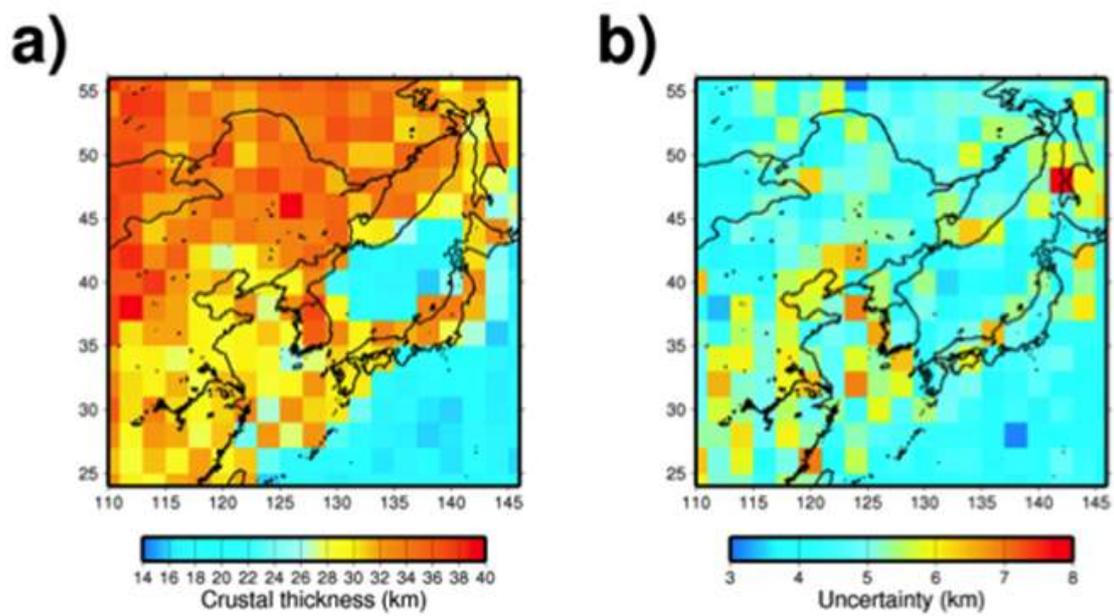


Fig. 3-1-3-8. (a) Crustal thickness and (b) its uncertainties.

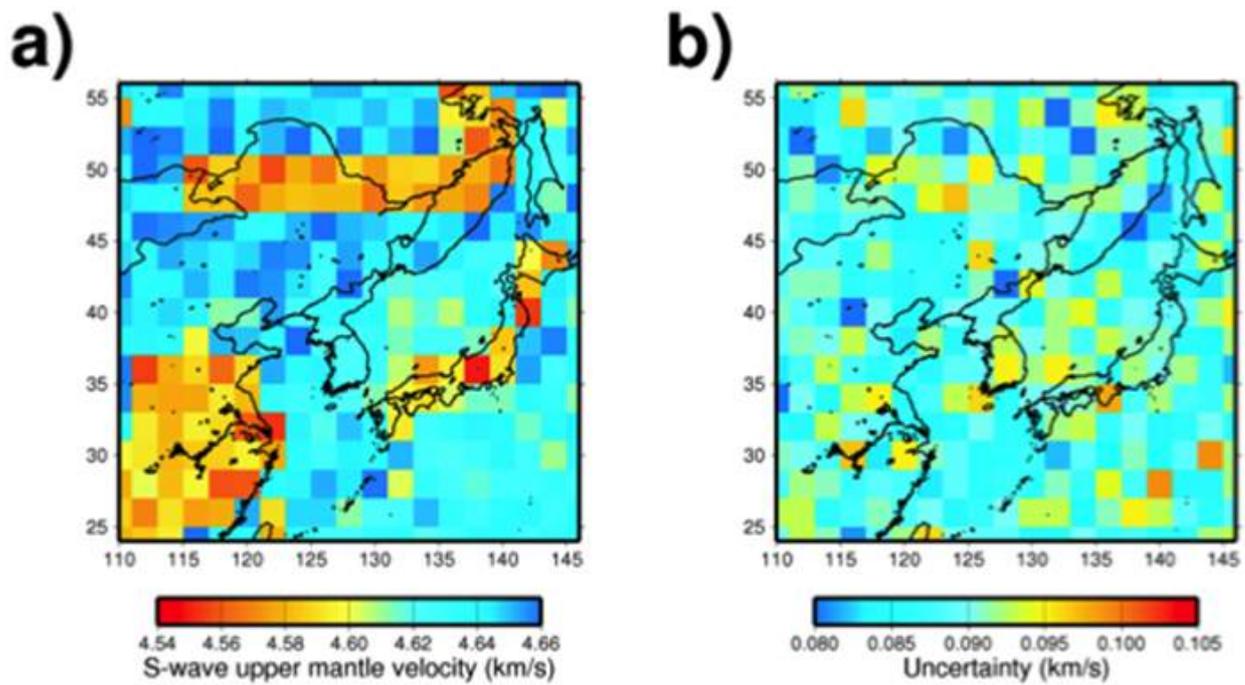


Fig. 3-1-3-9. (a) Upper mantle s-wave velocities and (b) their uncertainties.

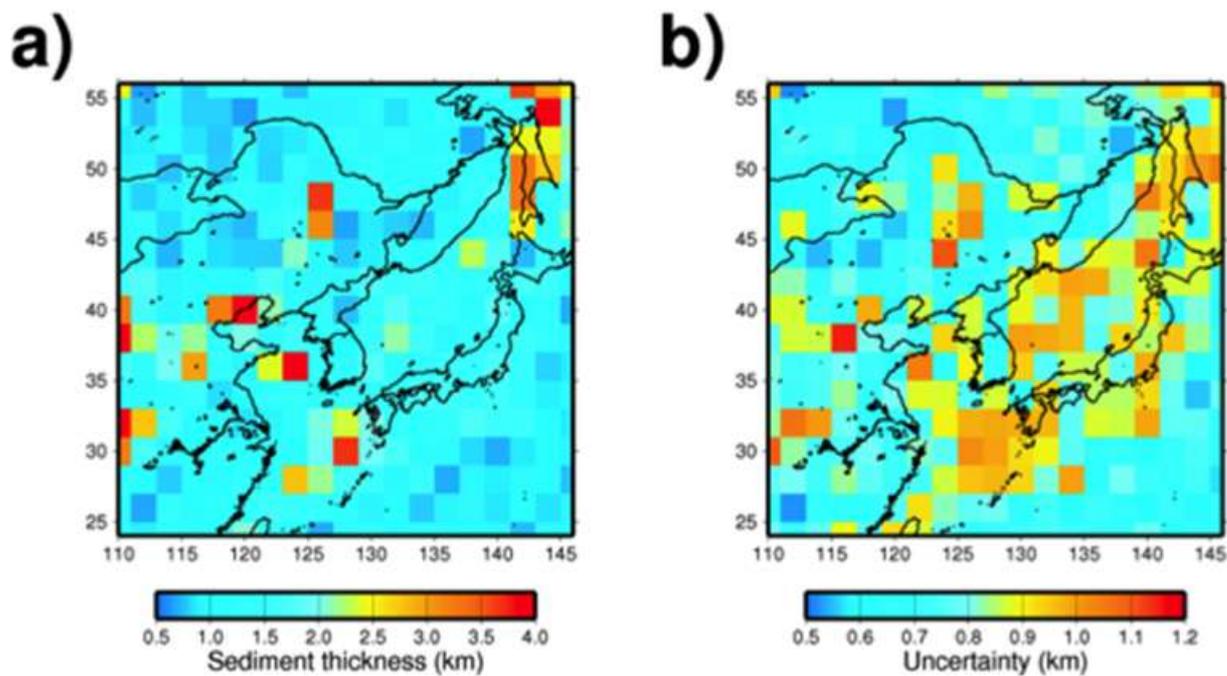


Fig. 3-1-3-10. (a) Sediment thickness and (b) uncertainties.

(5) 서해의 층서

(유인창, and 김태훈 (2007), 한국 서해 대륙붕 군산분지 까치 1공의 층서, 대한지질학회, 40(4), 473-490. Key words : 서해, 시추코어, 층서, 분지)

서해 대륙붕 군산분지 까치 1공의 퇴적층을 통합층서적 접근을 통하여 분석하였다(Fig. 3-1-3-11). 까치 1공에 대한 물리검층은 물론, 암층서 및 생층서등의 기타 자료들을 재분석하여 퇴적층 분대를 수행하였으며, 광역지질 자료와의 합병을 통해 군산분지 발달사를 논의하였다.

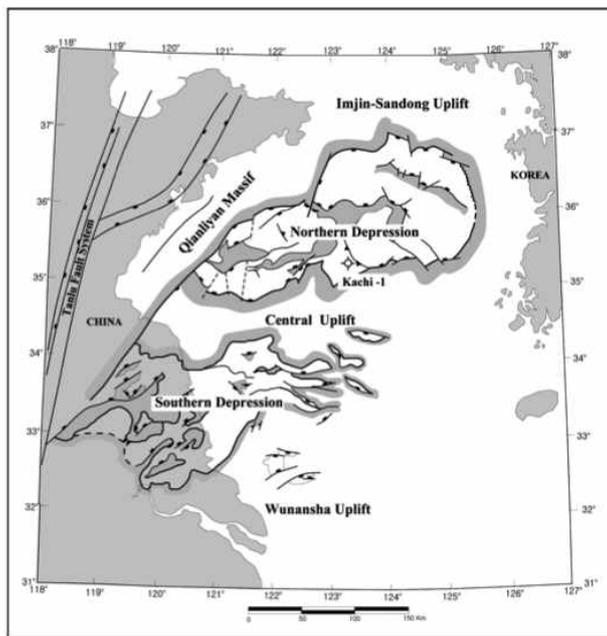


Fig. 3. Simplified structural map of the South Yellow Sea Basin. After Ryu *et al.* (2000).

Fig. 3-1-3-11. Simplified structural map of the South Yellow Sea Basin.

까치 1공의 암편 시료들을 세척 후 암상, 입자의 변화를 관찰하여 퇴적층에 대한 암층서 분대를 실시하였다. 그리고 기존에 수행되었던 미화석 분석 결과들을 병합하여 암층서 분대로 인지된 불연속면들에 대한 시간층서적 의미를 부여하였다. 각 불연속면들에 의해 정의된 퇴적 단위층들에 대한 물리검층 자료들의 변화 양상을 토대로 퇴적환경 해석을 실시하였다. 주변 지역의 연구를 통하여 시대에 따른 공간적 변화를 유추하고, 각 단위층들을 기준으로 주요 탄성과 탐사 단면에 대한

층서 및 구조 해석을 수행하였다.

분석 결과, 까치 1공 내에서 트라이아스기 돌로마이트 기반암층, 후기 쥬라기 말 전기 백악기 초 퇴적층, 전기 백악기 퇴적층, 후기 백악기 퇴적층 및 중기 마이오세 이후 퇴적층 등 5개의 단위층들이 인지되었다. 각 단위층들은 광역 구조운동의 발달에 따라 군산분지가 쥬라기 말기로부터 현재까지 엔샤니안 조산운동과 히말라얀 조산운동의 영향으로 인리형 분지를 거쳐 변형된 후, 대륙 내 침강형 분지 및 대륙 연변부 침강형 분지로 전이된 다단계 분지형성 퇴적 분지변형의 발달사를 겪은 것으로 해석되었다.

다. 중력 및 그 밖의 지구물리학적 기법을 이용한 연구 논문

(1) 항공 중력을 이용한 중국의 지질 해석

(Wenyong, L. I., Z. Jianxin, X. Shengqing, G. U. O. Zhihong, L. U. Wenfen, X. U. Jianchun, and L. I. U. Yanxu (2012), Effect and Prospect of Basic Geological Survey Based on Airborne Gravimetry in China, Acta Geol. Sin. Engl. Ed., 86(1), 38 - 47. Key words : Bohai Sea, 항공 중력 탐사)

Bohai Sea의 서남부에서 onshore offshore의 전이 지역에서의 항공 중력 탐사가 성공적으로 수행되었다(Fig. 3-1-3-12). 항공 중력 자료를 기반으로 기존의 육상에서의 중력 탐사자료, 지진학 자료, 시추 자료들을 이용하여 forward and inverse 방법들을 사용하여 지질학적 해석을 수행하였다. 항공 Bouguer 중력 이상대는 선명히 나타나며 이를 이용하여 파쇄대(fracture)의 위치 해석과 지질학적 경계면의 깊이를 구하였다. 이번 항공 중력 탐사를 통하여 해양과 내륙 사이에 존재하는 중력 탐사의 빠진 부분을 채우고, 바다와 육지 사이에서 발생하는 지구조적인 전이현상을 인식하였을 뿐만 아니라 4 개의 지역적인 중력 이상대, 11 개의 파쇄대(fractures), 그리고 3 개의 함몰대 (또는 subsags) 등을 발견하였다 (Fig. 3-1-3-13).

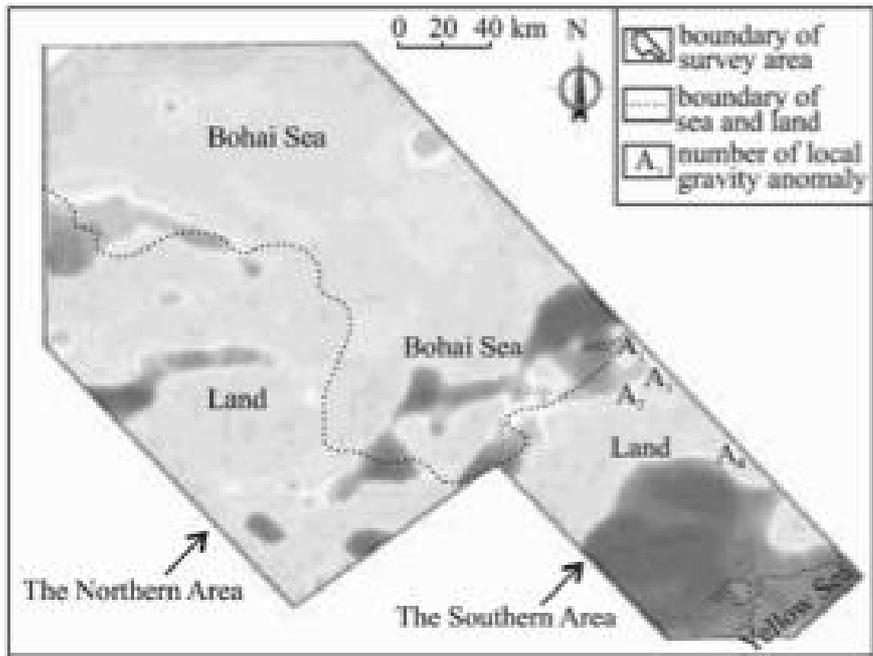


Fig. 2. Distribution of airborne Bouguer gravity anomalies (unit: mGal).

Fig. 3-1-3-12. Distribution of airborne Bouguer gravity anomalies (unit: mGal).

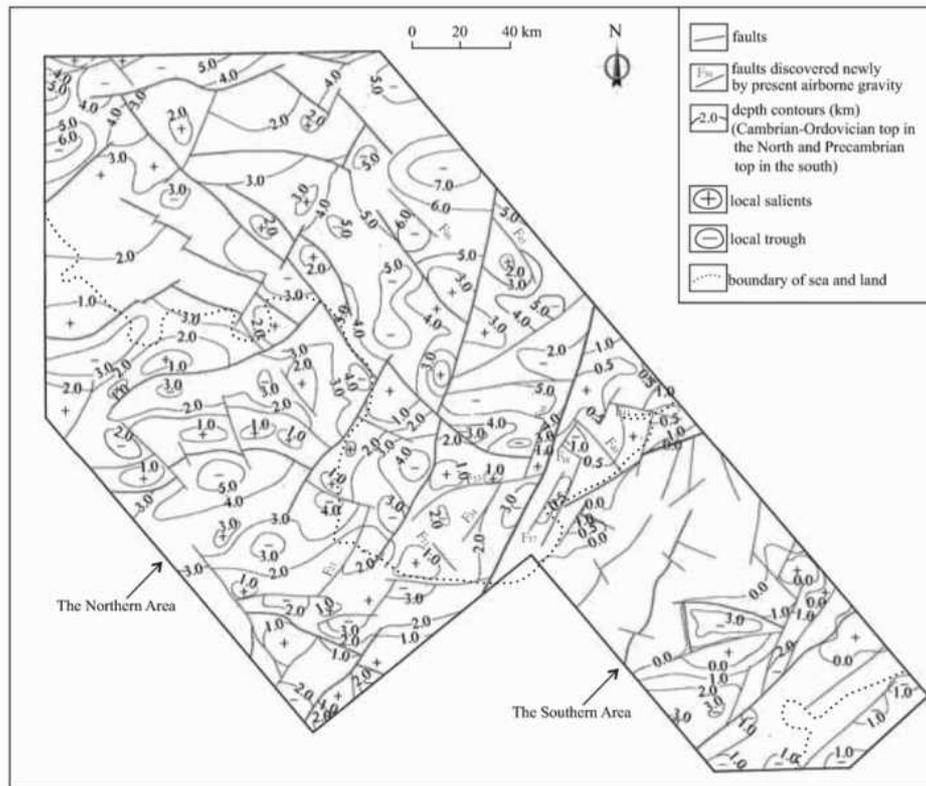


Fig. 3. Structural interpretation about airborne gravity.

Fig. 3-1-3-13. Structural interpretation of airborne gravity.

(2) GRACE 위성 중력자료의 해석을 통한 북동중국과 한반도의 지체구조

(Choi, S., C. W. Oh, and H. Luehr (2006), Tectonic relation between northeastern China and the Korean peninsula revealed by interpretation of GRACE satellite gravity data, *Gondwana Res.*, 9(12), 62 - 67, doi:10.1016/.

Key words : 북동 아시아, 대륙충돌, Satellite gravity data)

북동아시아는 크게 북중국지괴와 남중국지괴로 나뉜다. 이 두 지괴는 대륙충돌에 의해 하나로 합쳐졌으며 중국의 북동부의 Qinling에서 Dabie를 거쳐 Jiaodong까지 이어지는 suture zone에 대한 지질학적/지구물리학적으로 잘 알려져 있다. 충돌대에서 발견되는 고압 변성암석이 한반도의 홍성 지역에서 발견된 것은 중국 북동부의 충돌대가 한반도까지 연장된다는 것을 시사한다. Grace satellite gravity dataset을 통해 얻은 연구 결과는 황해에서 두 개의 경계선을 명확하게 보여주고 있다(Fig. 3-1-3-14). 두 경계선 중에서 하나는 Jiaodong Belt에서 Imjingang Belt로 이어지고 있으며, 다른 하나는 Nanjing에서 홍성으로 이어지고 있다. 이 suture

zone 내외에서의 조구조운동은 황해의 지진활동도나 퇴적분지의 형성에 큰 영향을 미칠 것으로 생각된다.

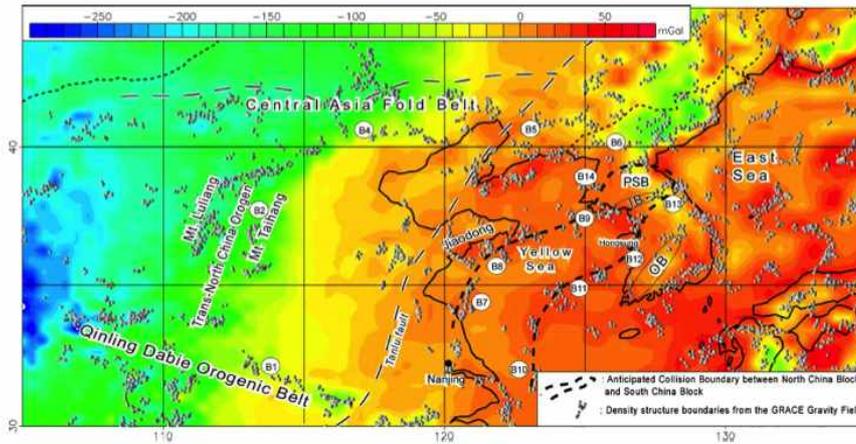


Fig. 2. Anticipated collision boundaries on the GRACE Bouguer gravity anomaly map, estimated with the Euler deconvolution method. B1 - B14: regions showing the distinctive density structure boundaries.

Fig. 3-1-3-14. Collision boundaries inferred from GRACE Bouguer gravity anomalies.

(3) 서해 퇴적분지의 밀도 모델링

(Choi, S. (2004), 3D Density Modelling of the Yellow Sea Sedimentary Basin, J. Korean Geophys. Soc, 7(4), 283-291. Key words : 서해, 대륙충돌, 중력탐사)

서해 대륙붕 지역의 Quinling-Dabie-Sulu 대륙 충돌대의 위치와 퇴적분지의 지하구조를 알아보기 위해서, 한국 자원 연구원 탐해 2호에 의해서 2000년부터 2002년까지 측정된 중력 데이터에 의한 3차원 지하구조 모델링을 실시하였다(Fig. 3-1-3-15). 서해 연구지역 내의 중력 이상은 주로 퇴적층과 기반암 사이 경계면의 밀도 및 깊이의 변화에 의한 것으로 판단되며 대륙 충돌대라고 여겨지는 고밀도 지각구조는 서해 퇴적분지의 남쪽으로부터 북동 방향으로 한반도의 중서부 지역으로 연결된다 (Fig. 3-1-3-16).

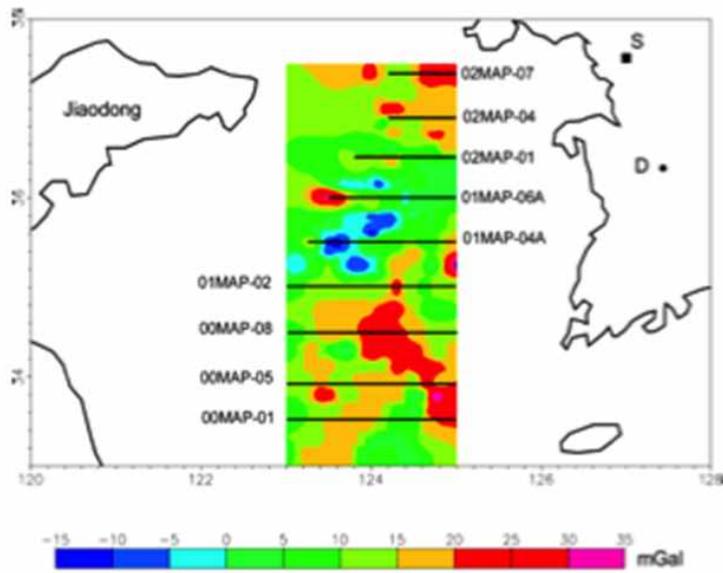


Fig. 3-1-3-15. Shipborne free air anomalies in the Yellow Sea.

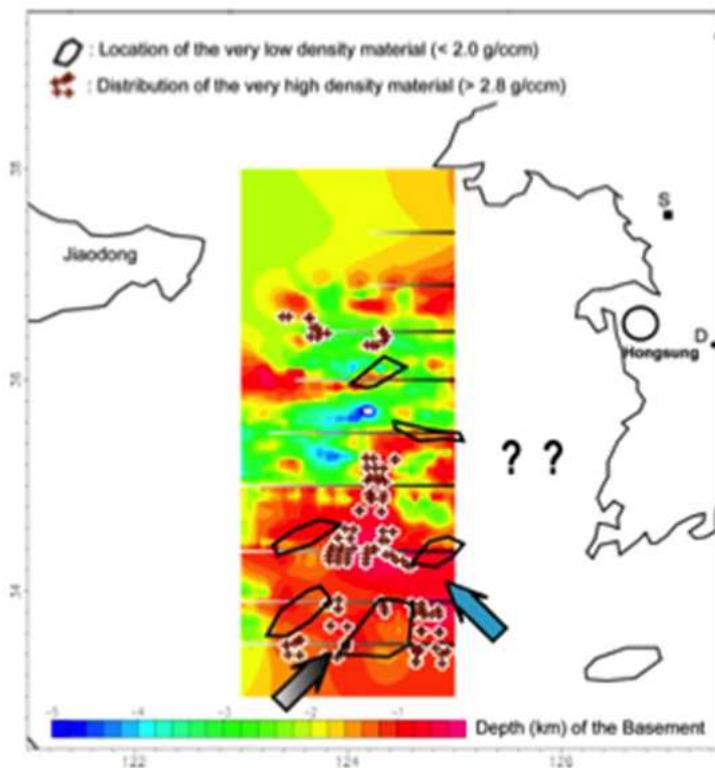


Fig. 3-1-3-16. Depth distribution of basement and locations of very high and low density bodies.

(4) 서해 남부의 중력자료의 획득과 처리

(최광선, 옥수석, 서만철, 최영섭, 김백수 (2000), 서해남부에서의 선상중력 자료 획득 및 처리에 관한 고찰, 대한지구물리학회, 3(4), 291 - 310. Key words : 서해, 선상중력)

국립해양조사원은 1996년 ‘해양2000’호를 도입하여 연간 150,000-300,000 이상의 지점의 선상중력을 측정하고 있다(Fig. 3-1-3-17). 이 중 1999년 서해 남부지역에서 측정한 자료를 기반으로 이들 선상 중력 자료의 적절한 처리 과정 및 방법을 연구하였다. 자료처리 결과 264개 교점에서 고도이상의 RMS 는 0.436 mGal로 매우 좋은 결과를 나타내고 있다. 국립해양조사원이 ‘해양2000’호를 이용하여 측정한 선상중력은 우리나라 일원의 중력관련연구에 매우 큰 기여를 할 것이다.

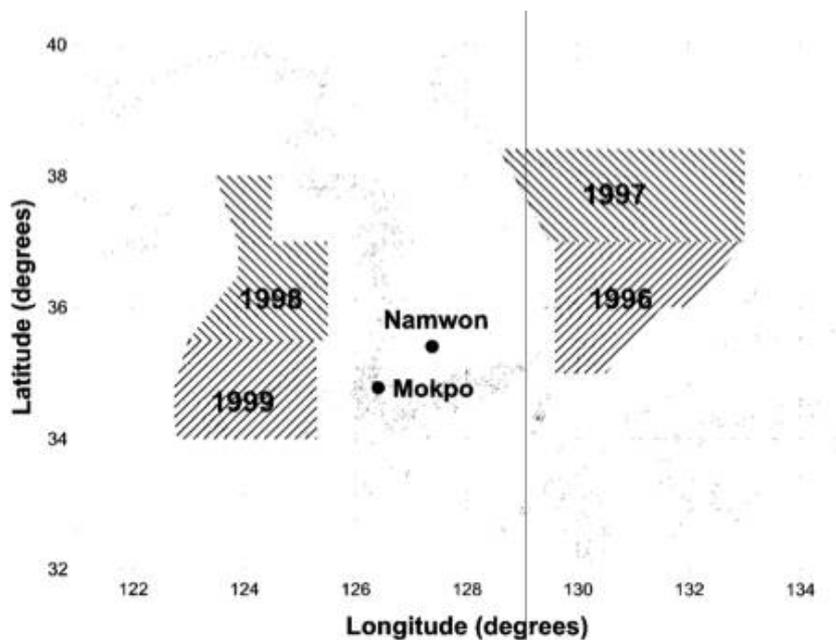


Fig. 3. Shipborne gravity survey area of the RV 'Haeyang2000' from 1996 to 1999.

Fig. 3-1-3-17. Shipborne gravity survey area on the R/V Haeyang 2000 from 1996 to 1999.

라. 기타 중국어 논문 및 본문을 찾을 수 없는 논문과 학회발표

(1) 중국어 논문

(가) Wenyong, L., Z. Jianxin, X. Shengqing, L. Yanxu, and X. Jianchun (2013), Study of Residual Basin and Tectonolayering Based on Airborne Gravity and Magnetic Data, *Acta Geol. Sin. Engl. Ed.*, 87(4), 1137 - 1153, doi:10.1111/1755-6724.12116. Key words : 서해 남부, 항공 중력 탐사, 지자기 자료, 탄성과 탐사, 시추 자료

황해 남부에서 시범적으로 종합적인 지질학 지구물리학적 연구의 적용 가능성을 시험하였다. 항공 중력 탐사와 지자기 자료를 이용하여 잔류퇴적분지(residual basin)와 지각층서에 관한 연구를 수행하였다. 항공 중력 자료와 지자기 자료를 이용하여 각 층서의 밀도와 경계면의 깊이를 forward and inverse methods로 구하였다. 이 때 탄성과 탐사와 시추 자료를 통해 forward and inverse methods를 통제하였다. 서해 남부지역에서 단층들을 추정하였으며 수직적으로 4 개의 층으로 구분하였다.

(나) Liang, R., Y. Pei, Y. Zheng, J. Wei, and Y. Liu (2003), Gravity and magnetic field and tectonic structure character in the southern Yellow Sea, *Chinese Science Bulletin*, 48(S1), 64 - 73, doi:10.1007/BF02900942. Key words : 중력장, 자기장, 탄성과 탐사

서해 남부에서 1999년 지구물리 탐사를 수행하였다. 서해 남부 지역은 세 개의 용기대와 2개의 퇴적분지로 구성되어 있는 것으로 나타났다. 서해 남부 지역의 구조는 중력과 자기 자료의 이상대와 일치하는 경향을 보이고 있다. 탄성과 자료를 통해 층서를 규명하고, 지구조적 발달 과정을 추론하였다.

(다) Hao, T. Y., M. Suh, Q. S. Wang, S. Choi, W. W. Jiang, H. B. Song, X. W. Yan, J. H. Liu, and C. L. Yao (2002), A Study on the Extension of Fault Zones in Yellow Sea and its Adjacent Areas Based on Gravity Data, *Chinese Journal of Geophysics*, 45(3), 393 - 410, doi:10.1002/cjg2.252. Key words : 서해, 중력자료, 단층대

서해에서 Bouguer 중력 자료를 통하여 단층에 대한 다양한 정보를 도출하였다. 한반도의 단층대와 Wulian Qingdao Rongcheng 단층대에 대한 자세한 연구 결과, Wulian Qingdao Rongcheng 단층대는 한반도까지 연장되지 않으며, Imjinhang 단층대와 연결되지 않은 것으로 나타났다. 중한블록(Sino-Korean Block)

와 양쯔블록(Yangtze Block)은 서해 남부의 Wulian-Qingdao-Rongcheng 단층대, 한반도 서쪽 경계부의 단층대, 그리고 제주도 남쪽 경계부의 단층대를 경계로 하고 있다.

(2) 학회 구두발표

(가) 박순천, 공민경, 박은희, 윤원영, and 함인경 (2011), 2011년 1월 12일 서해지진의 진원 특성, 2011년 춘계지질과학기술 공동학술대회 논문집, 78. Key words: 동중국해, 지진, 지진파형, 단층면해

2011년 1월 12일 제주도 서쪽 약 200 km 해역에서 발생한 규모(ML) 5.3의 지진의 진원특성을 분석하고 2007년 오대산 지진과 비교, 분석하였다. 진원 재결정과 단층면해 분석을 통해 주향이동단층으로 결정되었다. 연속파형 자료로부터 16회의 규모 약 2 이상의 여진이 관측되었다. 오대산 지진과 비교하여 여진활동이 더욱 활발한 경향을 보였다.

(나) You, Q., and T. Y. HAO (2011), The Onshore and Offshore Seismic Survey in Bohai BAY and the Yellow Sea, 2011 춘계지질과학연합학술발표회 초록집, 180. Key words: 서해, 발해만, 탄성파탐사, 발파실험, 이동식 지진계, 해저 지진계

2개의 발파신호를 육상에 설치된 120개의 이동지진계와 발해만(Bohai Sea)에 설치된 53개의 OBS에서 수신하였다. 획득된 자료를 분석하여 Tanlu 단층을 경계로 큰 속도 변화가 발견되었으며 원거리의 북서 태평양 섭입대와 연관된 것으로 추론하였다.

(다) Yao Y, Feng Z, Hao T, Xu X, Li X, Wan R, Y. Yao, Z. Feng, T. Hao, X. Xu, X. Li, and R. Wan (2011), The Structural Evolution and Their Hydrocarbon Resources Potential in The Northern South Yellow Sea, 2011 춘계지질과학연합학술발표회 초록집, 183. Key words: 서해, 시추코어, 지구물리 자료, 탄화수소

기존 탐사 자료의 재해석과 새로운 지구물리 자료와 시추코어의 통합 분석을 통해 서해의 남부 지역의 지구조적 진화 과정을 규명하였다. 서해 북부의 함몰대에 탄화수소가 존재할 가능성이 큰 것으로 예상된다.

(라) Xu, Y., and T. Hao (2011), The Curie point depth of the Bohai Sea and the Yellow sea area, 2011 추계지질과학연합학술발표회 초록집, 178. Key words : 지열, magnetic data, 퀴리점(Curie point)

발해만과 서해에서 EMAG3에서 추출된 magnetic data로부터 curie point depth를 역산하였다. 서해에서 퀴리점 깊이는 약 20 km로 나타났고, 발해만에서는 이보다 얇게 나타났다. 또한 소규모의 hot upwelling mantle을 시사하는 현상이 서해에서 발견되었다.

(마) Qin, J., and T. Y. HAO (2011), The Moho Depth and Structure Characteristic in Yellow Sea and Its Adjacent Areas, 2011 추계지질과학연합학술발표회 초록집, 182. Key words : 서해, 북동아시아, 중력자료, 모호 깊이

북동아시아 지역의 중력 자료, 지질 구조 자료와 지구물리 자료를 수집하였다. 최근 보고된 모호 깊이와 지각 두께에 대한 연구 결과를 반영하여 모호 깊이를 결정하였다.

(바) Kim, H. R., and M. Suh (2011), Localized modeling of crustal magnetic anomaly attributes: Yellow Sea area, 2011 추계지질과학연합학술발표회 초록집, 184. Key words : 서해, magnetic field

Regional potential field anomaly를 모델링하는 새로운 방법을 제시하였다. 제시된 새로운 방법을 사용하여 서해를 중심으로 동아시아 지역의 magnetic field를 모델링하였다.

(사) HAO, T. Y., S. HUANG, Y. XU, Z. W. LI, L. L. ZHANG, J. L. WANG, M. Suh, and K. Kim (2011), Two geophysical understandings on deep structure in Yellow Sea, 2011 추계지질과학연합학술발표회 초록집, 177. Key words : 서해, 중력장, 자기장

중력과 자기 자료를 토대로 서해의 지구물리학적 특성을 분석하였다. 중력과 자기 자료를 분석할 때 지진파 토모그래피와 탄성파탐사 결과를 활용하였다. 서해 남부에서 선형 구조(linear belt)형태로 단층대가 발견되었다.

4. 군산분지 층서 및 구조 요약

가. 서론

군산분지는 서해의 Northern South Yellow Sea Basin의 동쪽에 위치하고 있으며 다시 북동소분지, 중앙소분지, 남서소분지로 나뉘어진 다 (Figs. 3-1-4-1 and 2). 고생대 말과 중생대 초에 한반도를 포함하는 북중국 지괴와 남중국 지괴가 충돌하면서 현재의 중국 지괴를 형성하였는데(Ree et al., 1996; Kim et al., 2000), 초기 중생대에 이 중국 지괴 동쪽 주변부에서 Izanagi 판의 섭입이 진행되면서(Hsü, 1989) 중국 대륙 내부에 많은 분지가 생성되었다 (Liu 1986). 대륙 주변부에서도 열개(rifting)가 진행되어 신생대까지 지속되었는데 이때 황해, 동해, 동중국해, 남중국해가 형성되었다(Hsü, 1989). 서해는 대륙지각내에서 형성된 많은 수의 분지로 이루어져 있으므로 분지의 지구조적 발달과정이 서해의 지진지체구조를 이해하는 데에 기본적인 사항이다. 특히 군산분지는 우리나라에 인접한 가장 큰 퇴적분지이므로 그 진화과정을 정리하는 것이 필요하다.

Yi et al. (2003)에 따르면 군산분지의 발달은 크게 6개의 과정으로 구분할 수 있다. (1) 유라기 후기(?)-백악기의 초기 열개작용, (2) 팔레오세-중기 에오세의 침강, (3) 후기 에오세의 융기와 침강, (4) 올리고세의 역전과 침식, (5) 초기 마이오세의 융기, (6) 중기 마이오세 이후의 광역적 침강. 군산분지가 6개의 모든 지구조 발달을 경험하였는지는 확실하지 않지만 뚜렷한 부정합면이 광역적인 융기와 침식을 지시하고 있다. 군산분지의 퇴적층은 최대 약 6000 m에 이르며 백악기-올리고세의 육성퇴적암과 상층부에 비교적 얇은 마이오세 후기 이후의 해성퇴적암으로 이루어져 있는데(Shinn et al., 2010), 신생대에 중국대륙 동부에서 활발했던 화산활동의 영향으로 많은 화산암체가 확인된다(Lee et al., 2006).

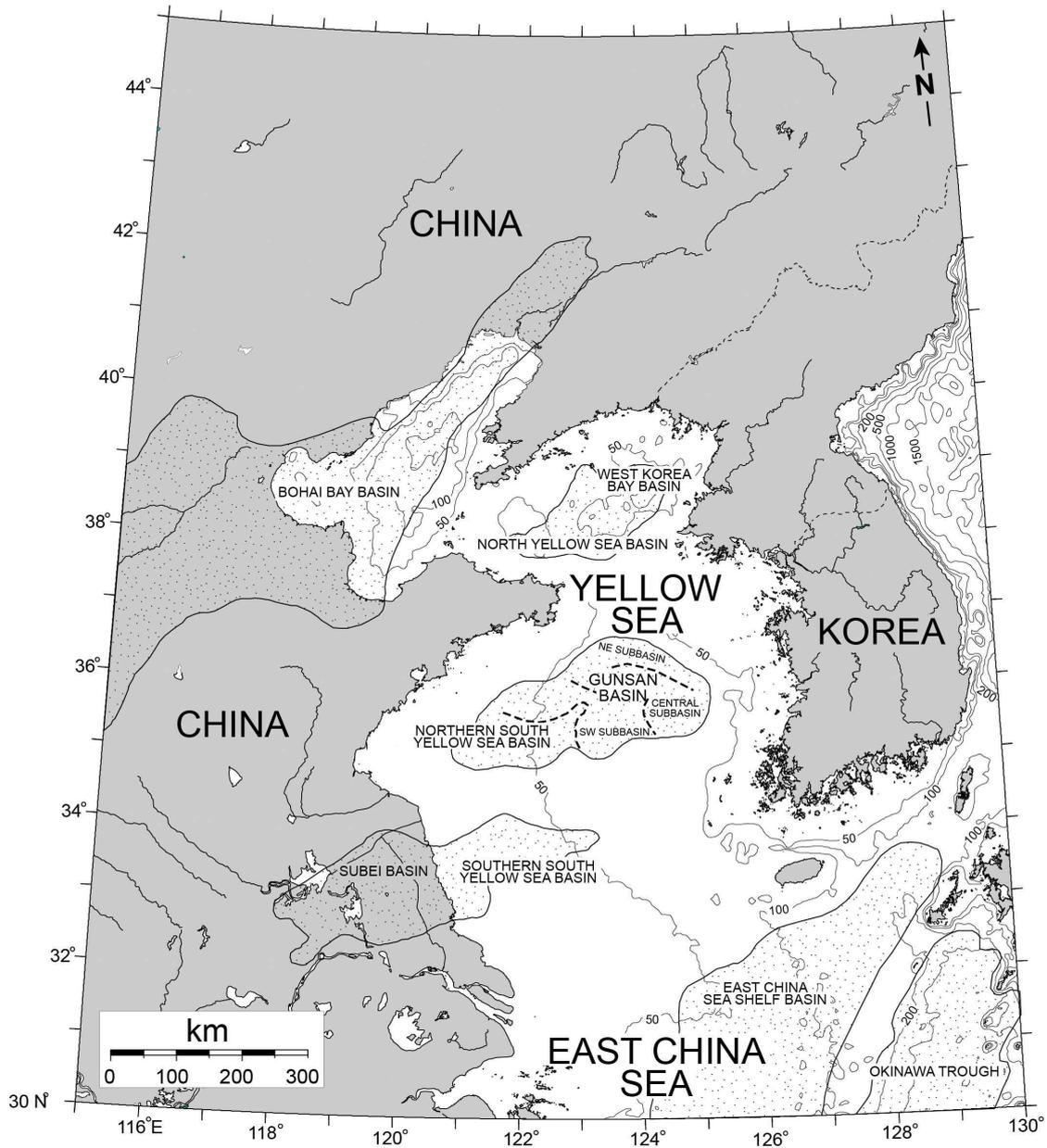


Fig. 3-1-4-1. Major sedimentary basins in the Yellow Sea. Locations of the basins are from Liu(1986) and Zhang et al.(1989).

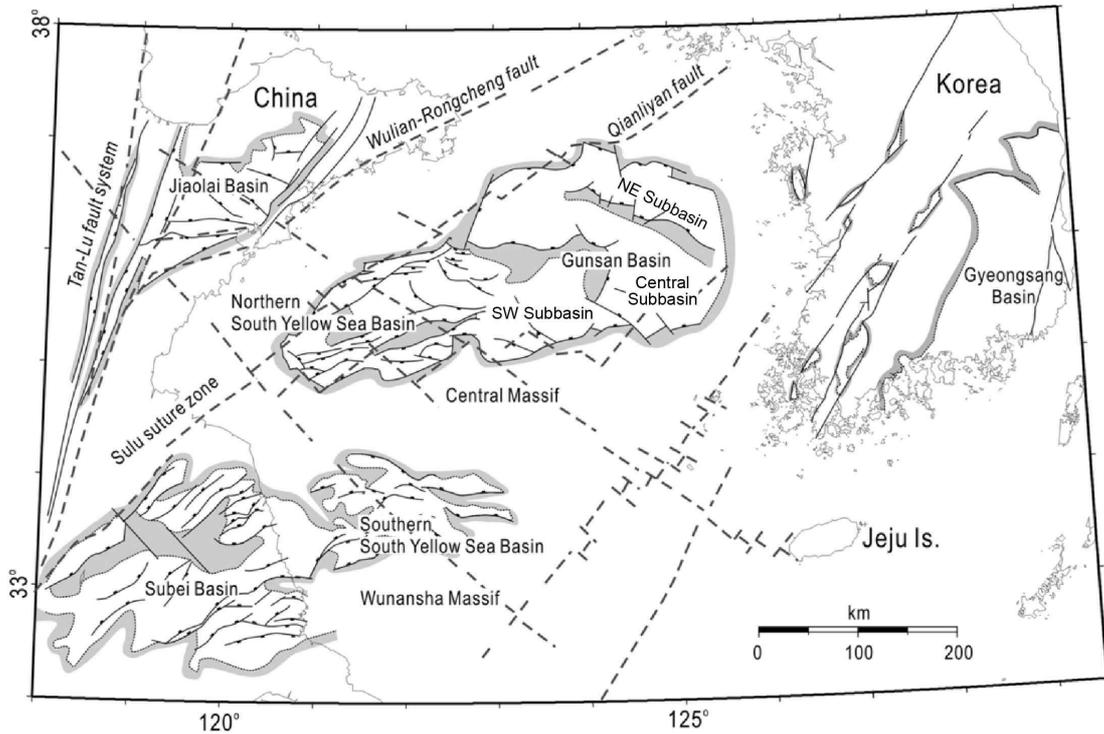


Fig. 3-1-4-2. Structural map of continental sedimentary basins between the Tan-Lu fault and strike-slip faults on the Korean Peninsula (Shinn et al., 2010).

나. 군산분지 층서

군산분지에는 지금까지 총 5개의 탐사 시추(Haema-1, Inga-1, IHH-1Xa, IIC-1X, Kachi-1)가 수행되어 층서확립에 중요한 자료를 제공하고 있다(Shinn et al., 2010) (Figs. 3-4-3, 4). 군산분지의 경우 육성퇴적암이 우세하기 때문에 유공층이나 미소화석의 이용이 어려워서 화분(pollen) 분석을 통하여 층서를 확립하였다(Ryu et al., 2000; Yi and Batten, 2002; Yi et al., 2003). Kachi-1 공에서는 상부에서 중기 마이오세 이후의 층을 확인하였는데 이 층과 하부의 백악기층 사이의 부정합면은 5천만년 정도의 hiatus를 보인다. IIC-1X 공(Fig. 4에 불포함)을 제외한 다른 시추공에서는 초기 마이오세의 층이 확인되는데 하부 경계가 명확하지 않다(Shinn et al., 2010). IHH-1Xa 공과 Haema-1 공의 초기 마이오세 층에서 두 개의 뚜렷한 부정합면(ES1, ES2)가 확인된다. Kachi-1 공을 제외한 다른 시추공의 마이오세 이전 지층은 다시 백악기 지층과 부정합을 이루는 팔레오세와 에오세의 층

으로 구분할 수 있으나 마이오세 층과 비교하여 연대 구분이 비교적 불확실하다 (Ryu et al., 2000).

Fig. 3-1-4-4(Shinn et al., 2010, Fig. 4B)는 Haema-1 공과 Inga-1 공을 가로 지르는 탄성과 단면으로서 음향기반암, ES1, ES2를 보여주고 있다. Haema-1 시추 공에서 확인되는 ES1이 남동쪽으로 가면서 에오세-백악기 층이 매우 두꺼움에도 불구하고 ES2에 의해서 침식된 것을 확인할 수 있다.

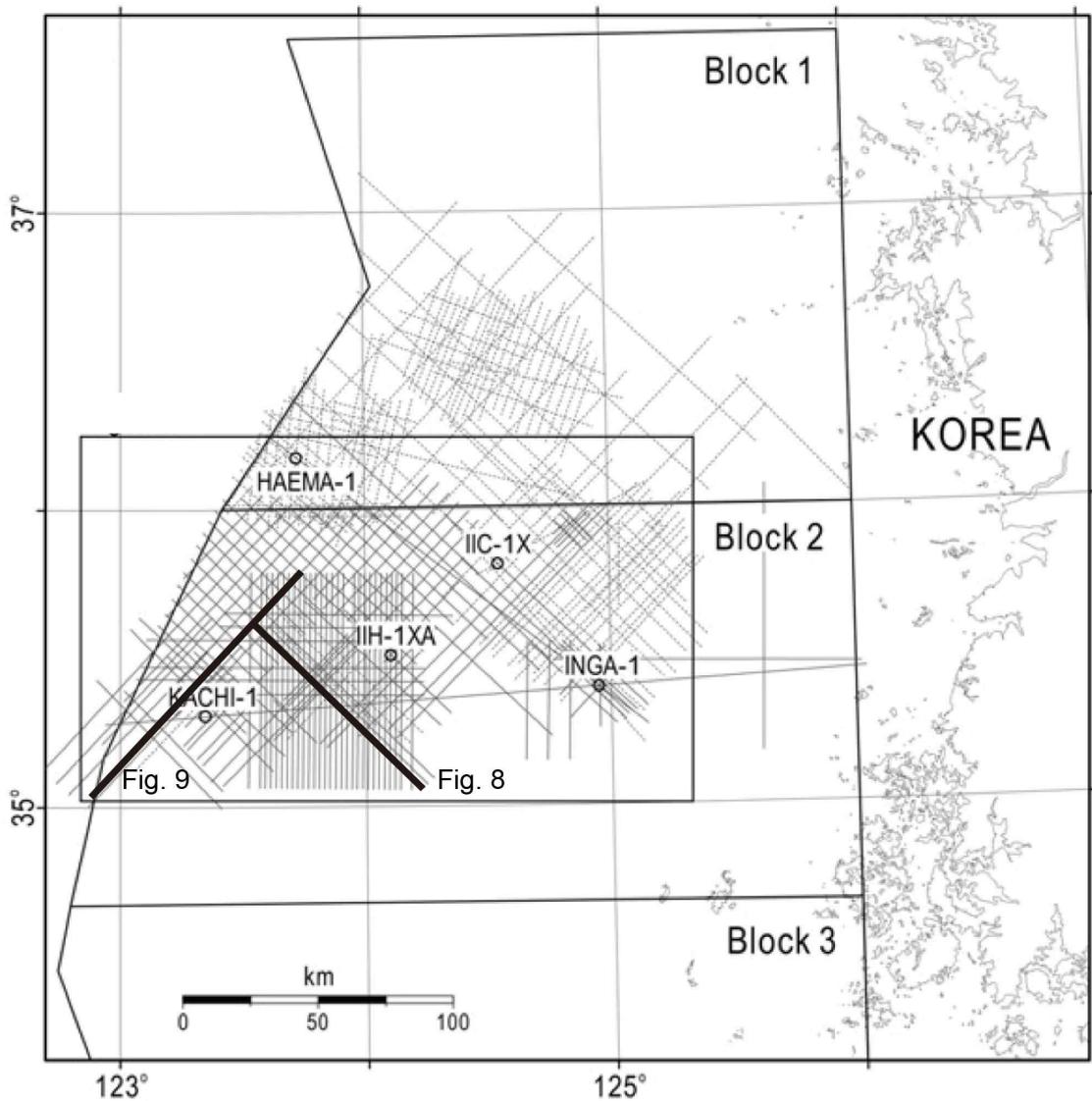


Fig. 3-1-4-3. Locations of multi-channel seismic profiles and exploratory wells in the Gunsan Basin (Shinn et al., 2010).

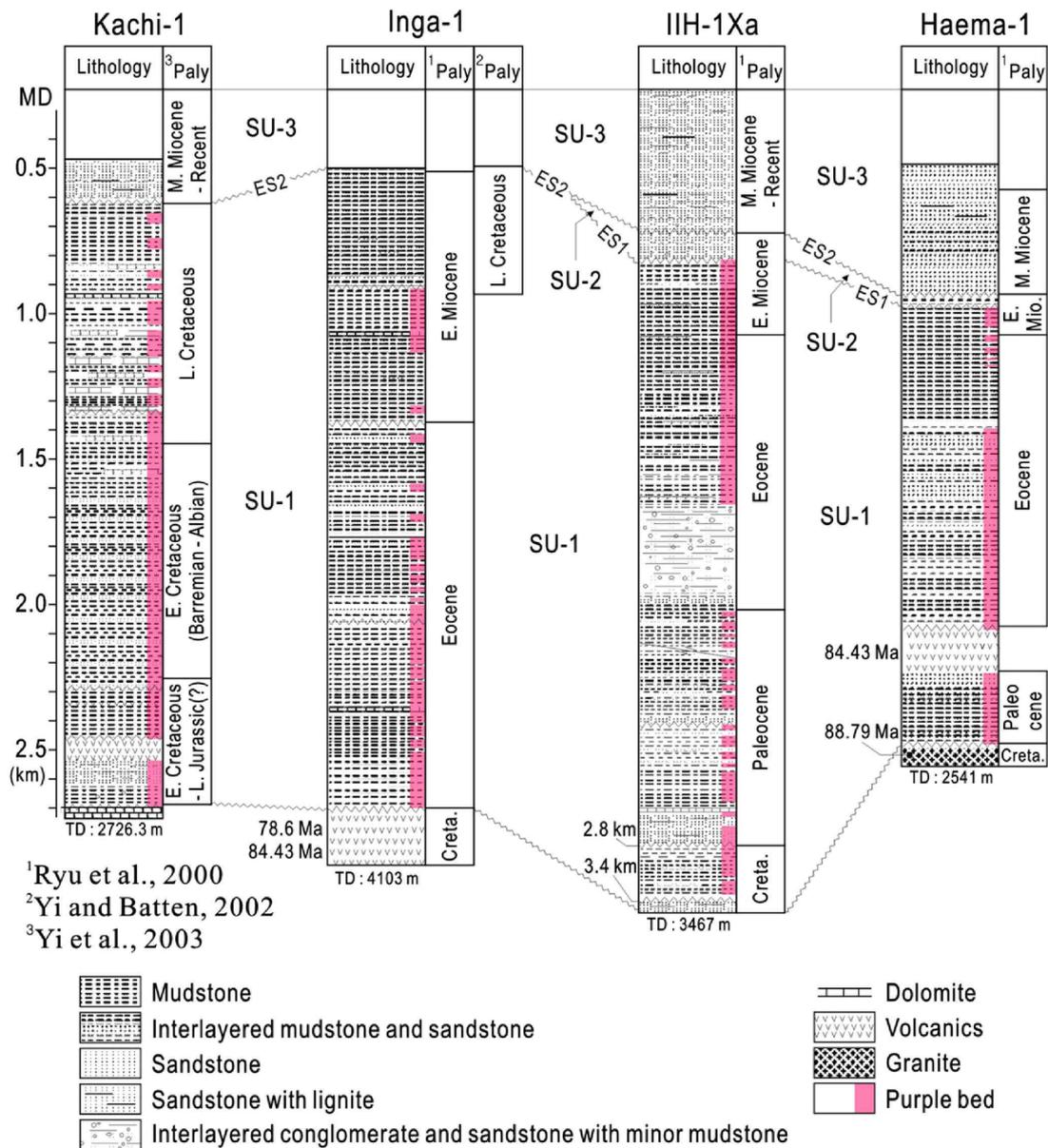


Fig. 3-1-4-4. Lithology and biostratigraphy of exploratory wells (Kachi-1, Inga-1, IIH-1Xa, Haema-1) (Shinn et al., 2010).

다. 군산분지 기반암 구조

군산분지의 기반암 구조는 Park et al. (2005), Lee et al.(2006), Shinn et al.(2010)에 의해 보고되었다(Figs. 3-4-5, 6, 7). 군산분지의 남쪽 경계, 특히 중앙

소분지의 남쪽 경계는 대규모의 동서방향의 기반암 정단층으로 이루어져 있는데 (Fig. 3-1-4-8) Park et al.(2005)과 Lee et al.(2006)의 연구처럼 하나의 거대한 단층일 수도 있고 Shinn et al.(2010)의 연구처럼 여러 개의 단층이 연속적으로 분포하는 것일 수도 있으나 아직까지 확실하게 밝혀지지 않았다. 이러한 대규모의 기반암 단층은 추후의 지구조 운동시에 재동될 가능성이 높다. 또한 남서소분지의 북동쪽에 위치하여 중앙소분지와와의 경계를 이루는 기반암 융기대(Haema Uplift)의 단층 양상도 Lee et al.(2006)의 연구처럼 연속적인 대규모의 단층인지 Shinn et al.(2010)의 연구처럼 몇 개의 단층이 연결되어 있는 것인지 불확실하다. 퇴적층에는 전체적으로 북동-남서 방향 정단층이 우세하며 일부지역, 즉 Kachi-1 공이 시추된 지역(Fig. 3-1-4-9)과 Inga-1 공과 IIC-1X 공 사이의 지역에서 뚜렷한 역단층이 관찰된다. 이러한 역단층은 초기 마이오세와 중기 마이오세의 국지적인 역전 또는 융기 때문인 것으로 해석된다(Yoon et al., 2010; Shin et al., 2010). 올리고세에도 남쪽의 기반암 정단층과 나란한 방향의 융기가 있던 것으로 알려져 있다(Shinn et al., 2010). 중기 마이오세 이후에 광역적인 침강이 우세하게 되면서 군산분지를 포함하는 황해가 대륙붕 환경이 되었고 단층활동이 거의 없었지만 일부 단층, 특히 Kachi-1공 지역의 역단층은 해저면 가까이 연장되어 있어서 비교적 최근까지 활동이 있었던 것으로 생각된다(Fig. 3-1-4-9). 그러나 이러한 역단층의 활동은 뚜렷하지만 국지적이어서 현재 군산분지이 지구조적인 특징은 전체적으로 침강이 진행되고 있다고 해석할 수 있다.

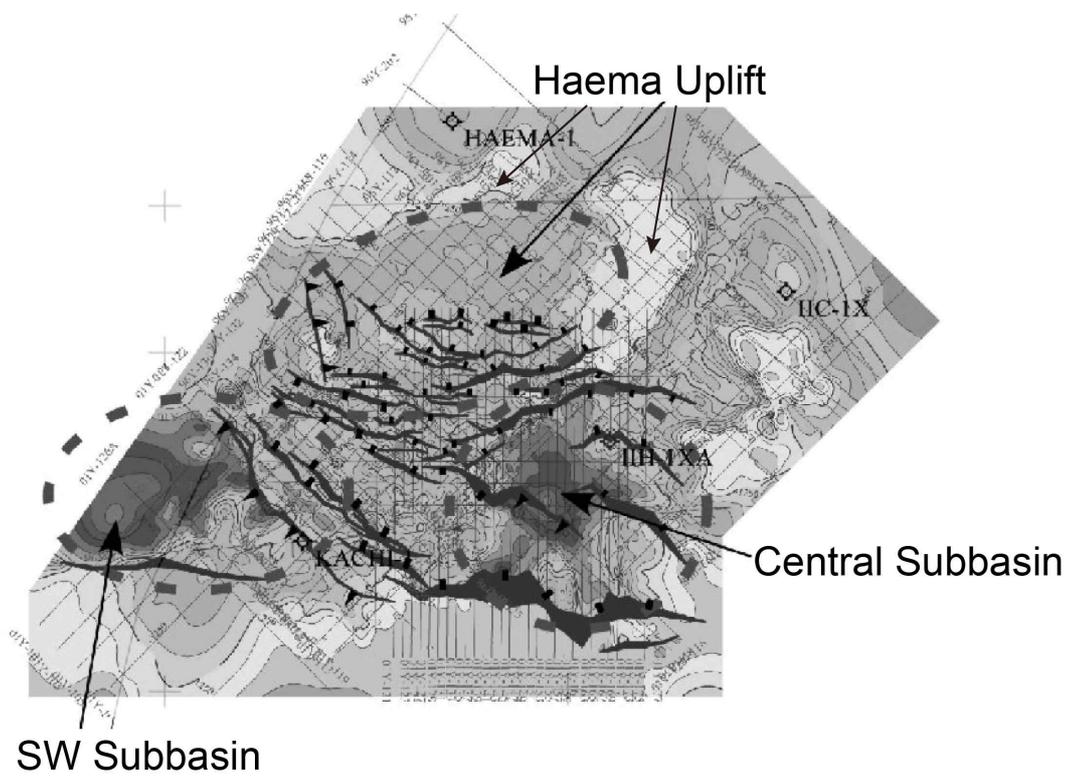


Fig. 3-1-4-5. Basement structure from Park et al. (2005).

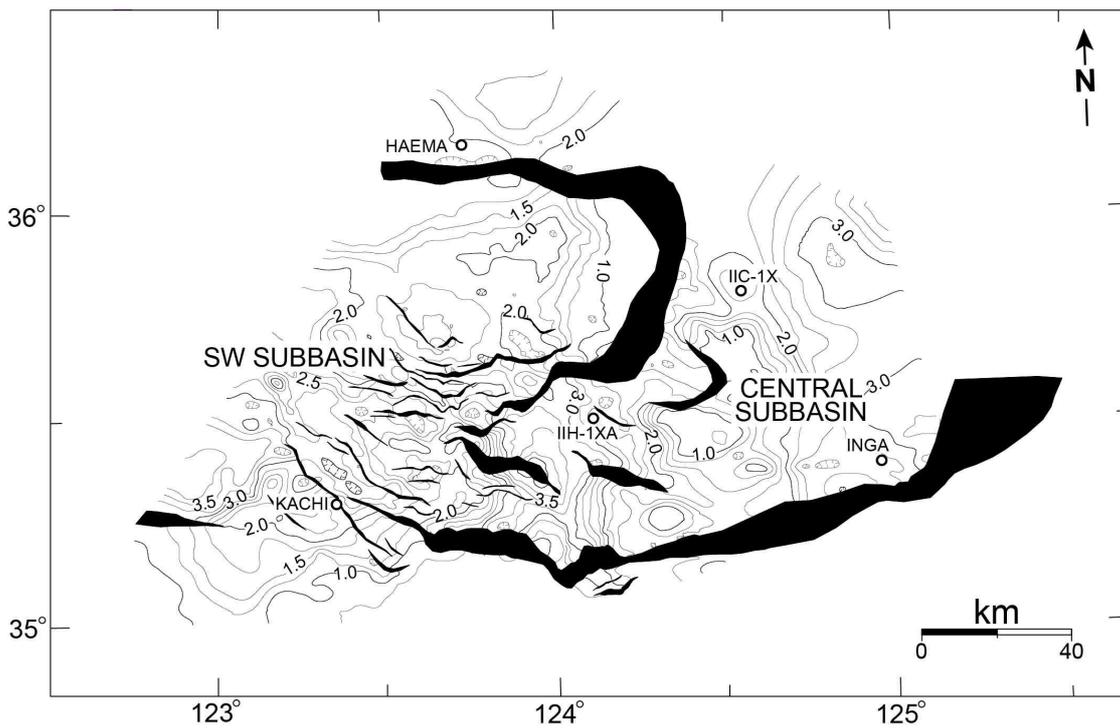


Fig. 3-1-4-6. Basement structure from Lee et al. (2006).

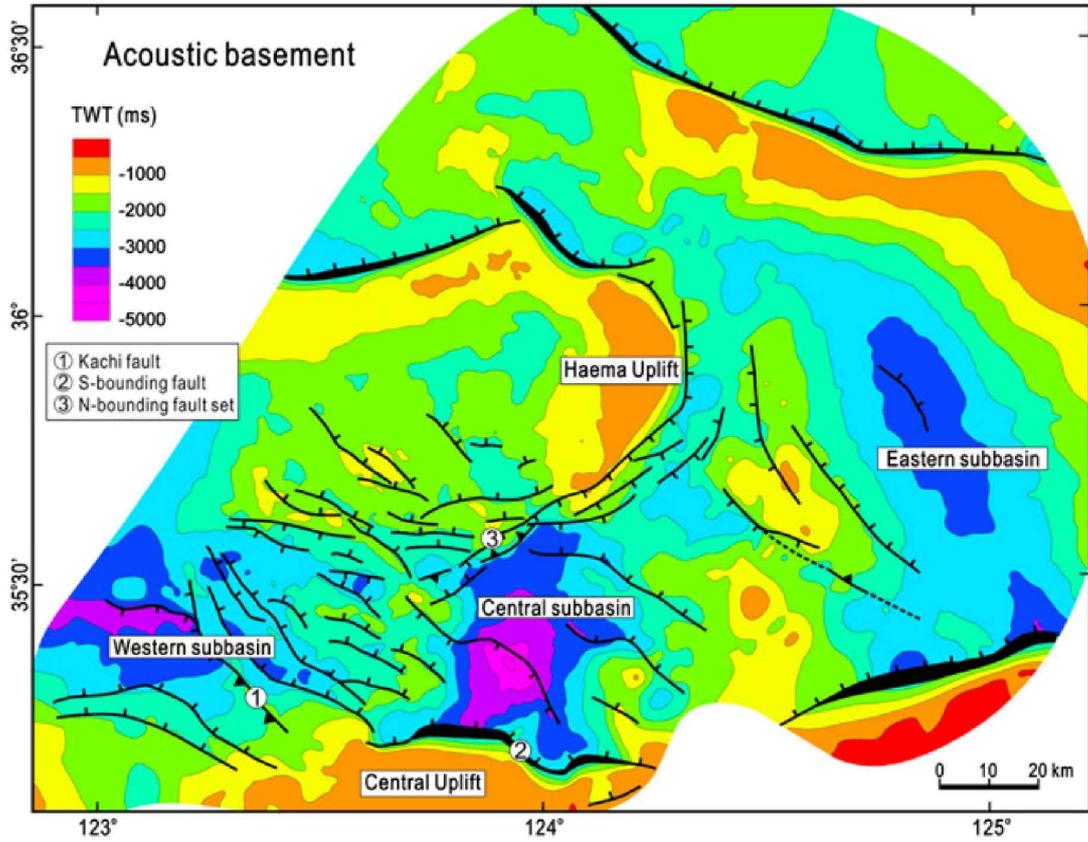


Fig. 3-1-4-7. Basement structure from Shinn et al. (2006).

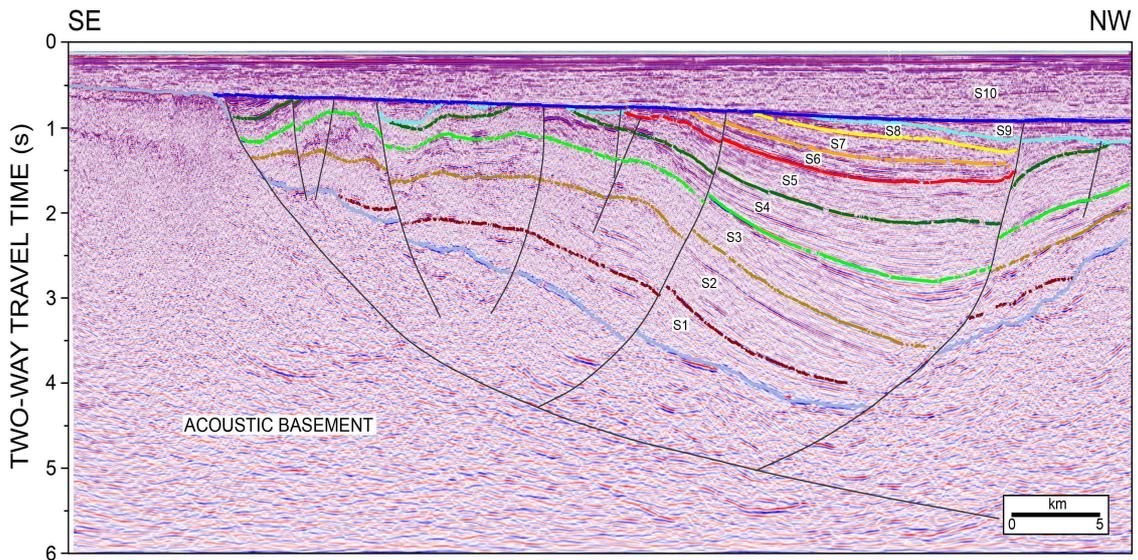


Fig. 3-1-4-8. Seismic profile crossing the large basement fault along the southern boundary of the central subbasin (Yoon et al., 2010). See Fig. 3-1-4-3 for location.

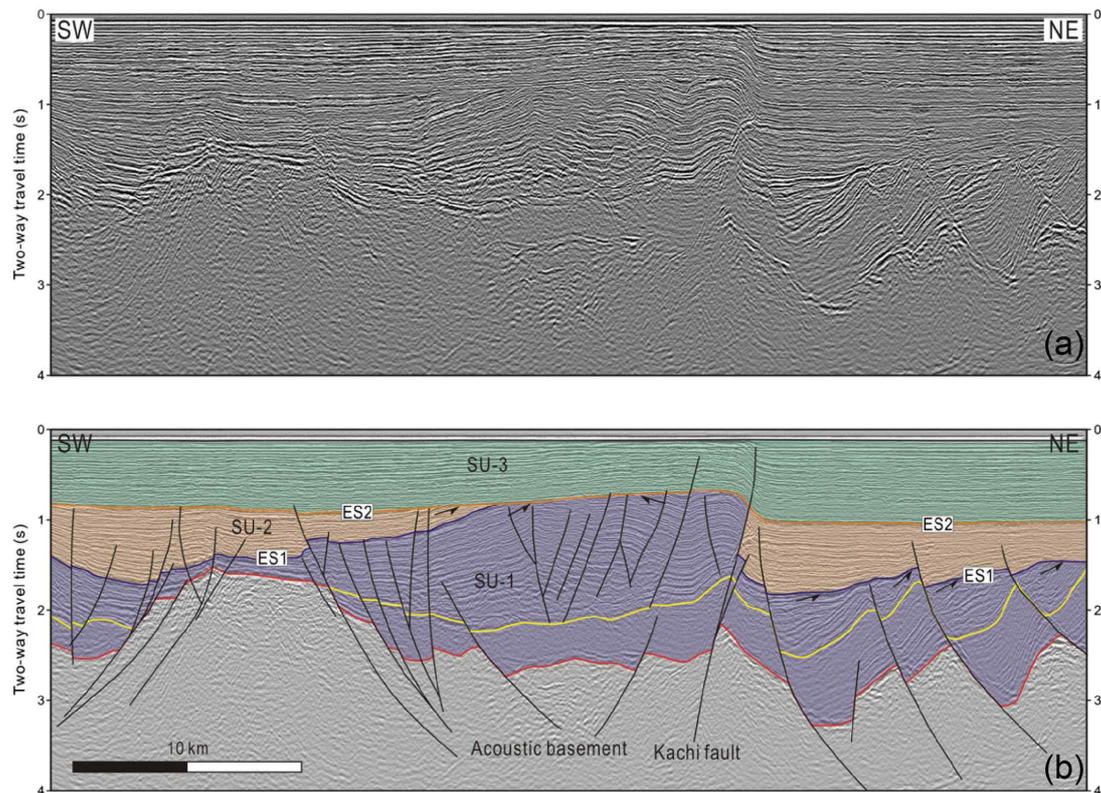


Fig. 3-1-4-9. (a) Seismic profile crossing the reverse fault near the Kachi-1 well and (b) its interpretation (Shinn et al., 2010). Kachi fault appears to extend to the seafloor, suggesting very recent activity. See Fig. 3-1-4-3 for location.

5. 서해의 중력과 자력 연구 현황

가. 서론

다양한 지구물리 탐사 자료들을 종합하여 이를 재해석함으로써 서해지역의 지진 발생의 원인을 알 수 있는 지진 지체구조 연구를 수행을 목적으로 서해 지역의 중.자력자료의 현황을 정리하였다.

나. 중.자력 자료와 연구 현황

현재 서해지역의 중.자력 연구와 관련된 국내 논문들을 아래와 같이 나열해 보았다. 전반적으로 군산분지를 중심으로 하는 분지구조를 연구하고 이와 관련된 단층 관련 연구가 주를 이루며, 퇴적층의 깊이 및 기반암심도의 계산 등 자원탐사 목적을 위주로 연구하고 있다. 심부구조 및 전체적인 지진 메카니즘을 연구하기 위해서는 보다 넓은 지역을 대상으로 하는 광역연구가 필요하다.

(1) 중력 논문

서만철, 최광선, 옥수석, 최영섭, 김백수, 2000, 해남부에서의 선상중력 자료 획득 및 처리에 관한 고찰

김경오(부산대), 2005, 지구물리학적 방법에 의한 황해 군산분지의 특성 연구

최윤수, 박병욱, 최광선, 김진섭, 2022, “해상중력자료를 이용한 서해 중부해역 정밀지오이드 산정”

최광선, 서만철, 최영섭, 이재섭, 옥수석, 2001, 서해 남부지역 선상중력자료 처리

김창환, 박찬홍, 2010, 중력 및 자력자료를 이용한 황해 남서부해역의 지구물리학적 특성 및 광역 지구조 연구

김경오, 오재호, 2007, 인공위성 해면고도계 중력자료를 이용한 황해 군산분지의 밀도 불연속면에 대한 연구

(2) 자력 논문

오주현(공주대), 2002, 황해 중남부해역에서의 자기장 특성 및 자기이상 해석

강은영, 2012, 황해지역의 해양지자기탐사 자료의 보정과 재처리

김창환, 박찬홍, 2010, 중력 및 자력자료를 이용한 황해 남서부해역의 지구물리학적 특성 및 광역 지구조 연구

김경오, 오재호, 2007, 인공위성 해면고도계 중력자료를 이용한 황해 군산분지의

다. 서해 중·자력 자료 획득 현황

- (1) 국립해양조사원(KHOA) - 1996년부터 국가해양기본도 사업을 통해 서해의 중·자력 자료와 지형자료를 획득하고 있으며 (Fig. 3-1-5-1), 이를 통해 중·자력 이상도 뿐만 아니라 해저지형도 및 지질도도 제작하고 있다. 디지털 자료는 공개가 엄격히 제한되어 있다.
- (2) 한국지질자원연구원(KIGAM) - 군산분지 일부지역에 대해 중·자력자료 및 탄성파자료를 가지고 있으며 이를 통한 연구를 연구보고서에 기록하고 있다 (한.중 인접 퇴적분지 공동조사 - 산자부, 2002, 2004). 공식 요청을 할 경우 자료접근이 가능하리라 본다.
- (3) 한국해양연구기술원(KIOST) - 서해 남부 일부에서 해상 중·자력 자료를 얻은 것으로 보고되고 있다.

라. 중·자력 연구의 가능성과 문제점

(1) 이용가능한 자료와 연구

- 지형자료: 스페이스셔틀과 여러 위성자료로부터 지구의 육상고도 및 해저면의 정보를 약 1분 간격으로 제작한 ETOPO1 (Amante & Eakins, 2008, NOAA)가 인터넷상으로 획득이 가능하여 이를 통해 서해의 해저면 깊이정보를 얻을 수 있다. 하지만, 연안지역에서는 조석 등의 이유로 오차가 크게 나타나며 이를 수정하기 위한 정확한 해저지형 자료가 필요하다 (Fig. 3-1-5-2a)
- 중력자료: 현재 전지구(global)의 해상중력과 육상중력이상 (i.e., 프리에어 이상) 지도는 약 10 km 간격의 그리드로 획득할 수 있다. 이는 고도계 위성으로부터 등포텐셜면인 해수면을 의미하는 지오이드(geoid)의 높이를 계산하고 이를 중력이상값으로 변환하여 획득한다. 2002년 발사한 정밀 중력탐사를 위한 NASA의 쌍둥이 위성인 GRACE (Gravity Recovery And Climate and Experiments)자료와 세계 각국의 중력측정자료를 이용하여 구면조화함수 (spherical harmonic functions)의 계수형태로 최대 차수 2190의 EGM08 (Pavlis et al, 2008)을 제작함으로써 중력자료가 사용가능하게 되었다. 이를 활용하면 서해의 지각두께도 계산이 가능할 수 있다. Figs. 3-1-5-2b와 c는 한반도의

지질도와 한반도 및 서해의 중력이상이다.

- 자력자료: 전 세계로부터 제공받은 육상, 해상 및 항공자력탐사자료를 5 km 간격으로 재설정하여 제작된 세계 자력이상지도(World Digital Magnetic Anomaly Map)의 획득이 가능하며 이를 서해의 지구조적인 특징과 단층선 등의 파악을 위해 사용할 수 있다. 하지만, Fig. 3-5-2d에서 보는 바와 같이 북한지역 및 서해 연안 일부지역에 대한 자력자료는 없다. 또한 마이오세까지 퇴적분지들을 중심으로 서해에서 활발한 화산작용이 발생하였으므로 자력자료를 이용하여 지체구조를 해석하는 것은 매우 어렵다.

(2) 연구의 문제점

- 기존자료의 병합: 해양조사원에서는 지난 10년 넘게 우리나라 연안 및 영해를 대상으로 중.자력 탐사를 수행하여 이를 지도화하고 있다. 하지만, 년도별로 한정된 지역에 대하여 탐사를 수행하므로 연도별 자료를 취합할 때에 상당한 crossover 오차가 발생한다. Fig. 3-1-5-3은 이러한 예를 보여주는 그림으로 1998년과 1999년 자력이상 탐사구역의 경계에서 오차가 있음을 보여주고 있다. 따라서 획득한 전지역에 대해 광역적 특성을 회복(recovery)하기 위한 재처리가 필요하며 이를 통해 광역적인 지체구조 연구가 가능하리라 본다.

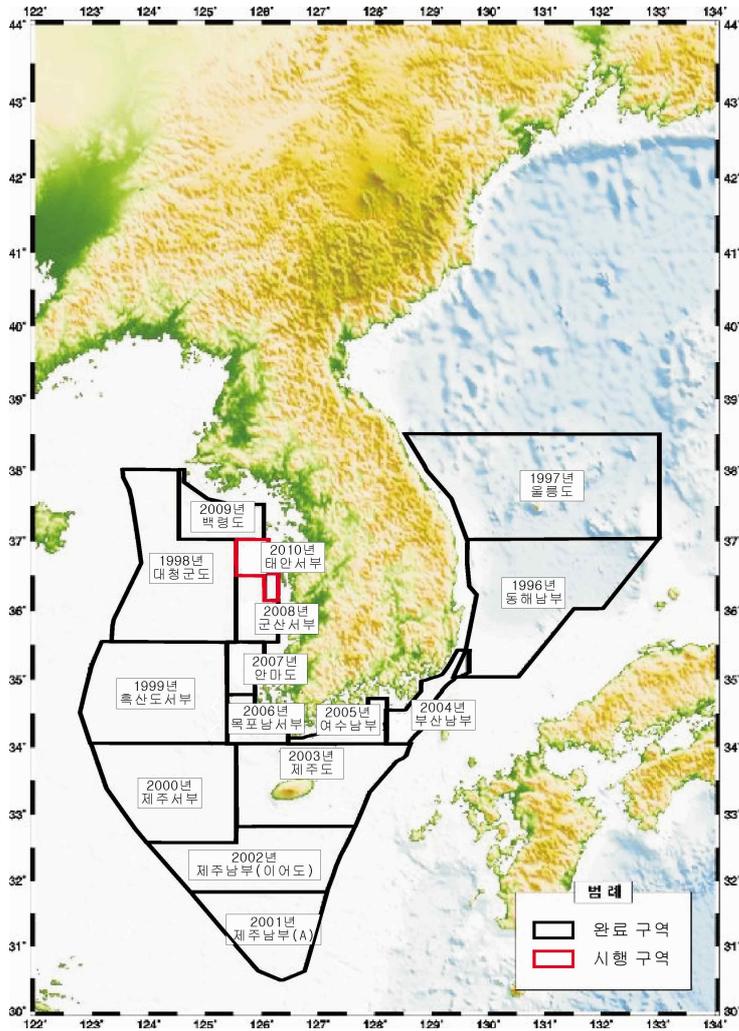


Fig. 3-1-5-1. Areas for annual surveys of the Korean Hydrographic and Oceanographic Administration.

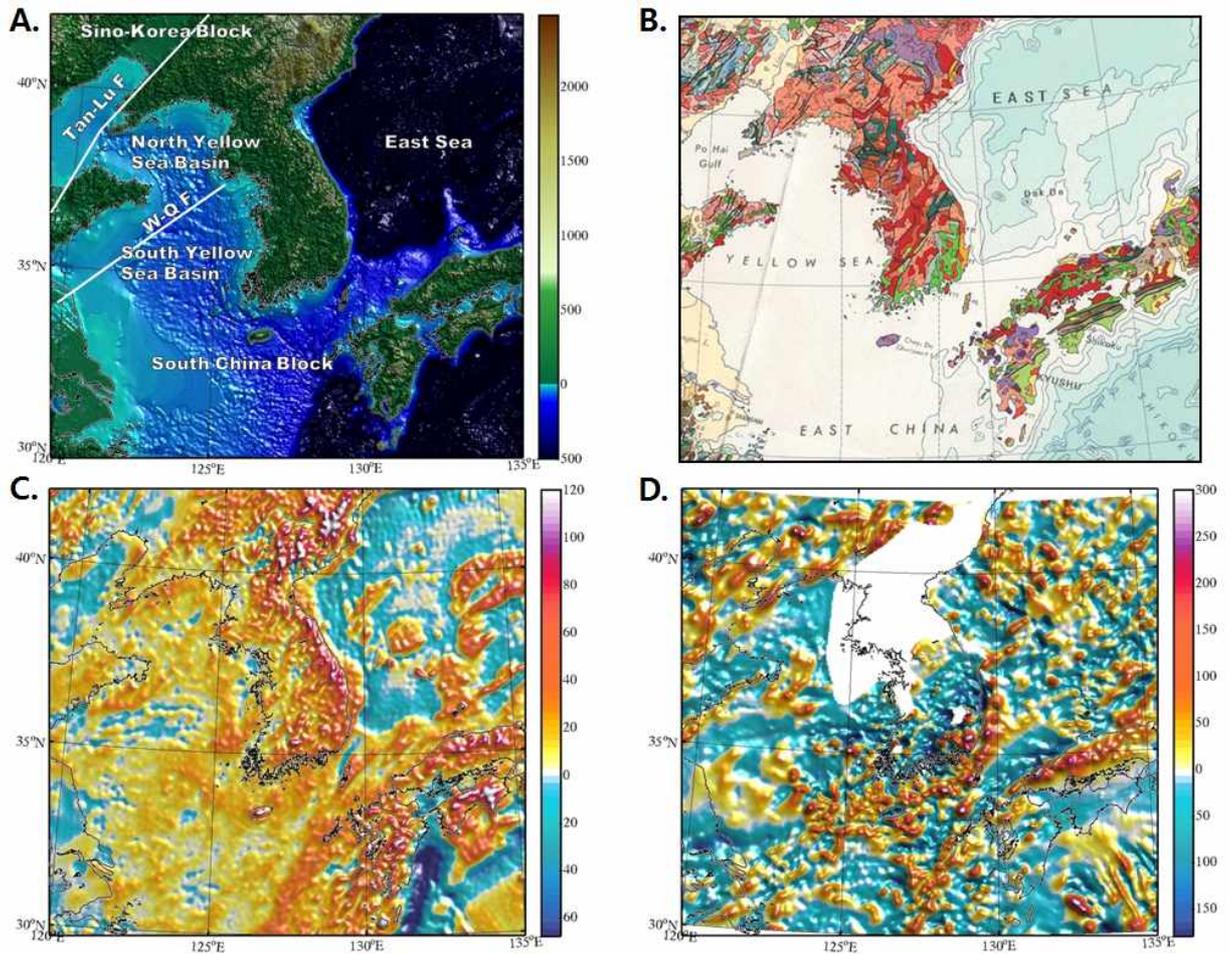


Fig. 3-1-5-2. (a) Topography and bathymetry of Yellow Sea and its neighboring areas from ETOPO1. Unit is meters. (b) Geologic map of Southeast Asia from Geological Atlas of the World (1984) by UNESCO/CGMW. (c) Free-air gravity at the surface from the spherical harmonics up to 2190 for degree and 2159 for order (2.5 arc-minute interval) to represent the Earth's gravitational model. Unit is mGal. (d) Total magnetic intensities at 4 km from EMAG2 compilations by NOAA. Unit is nT.

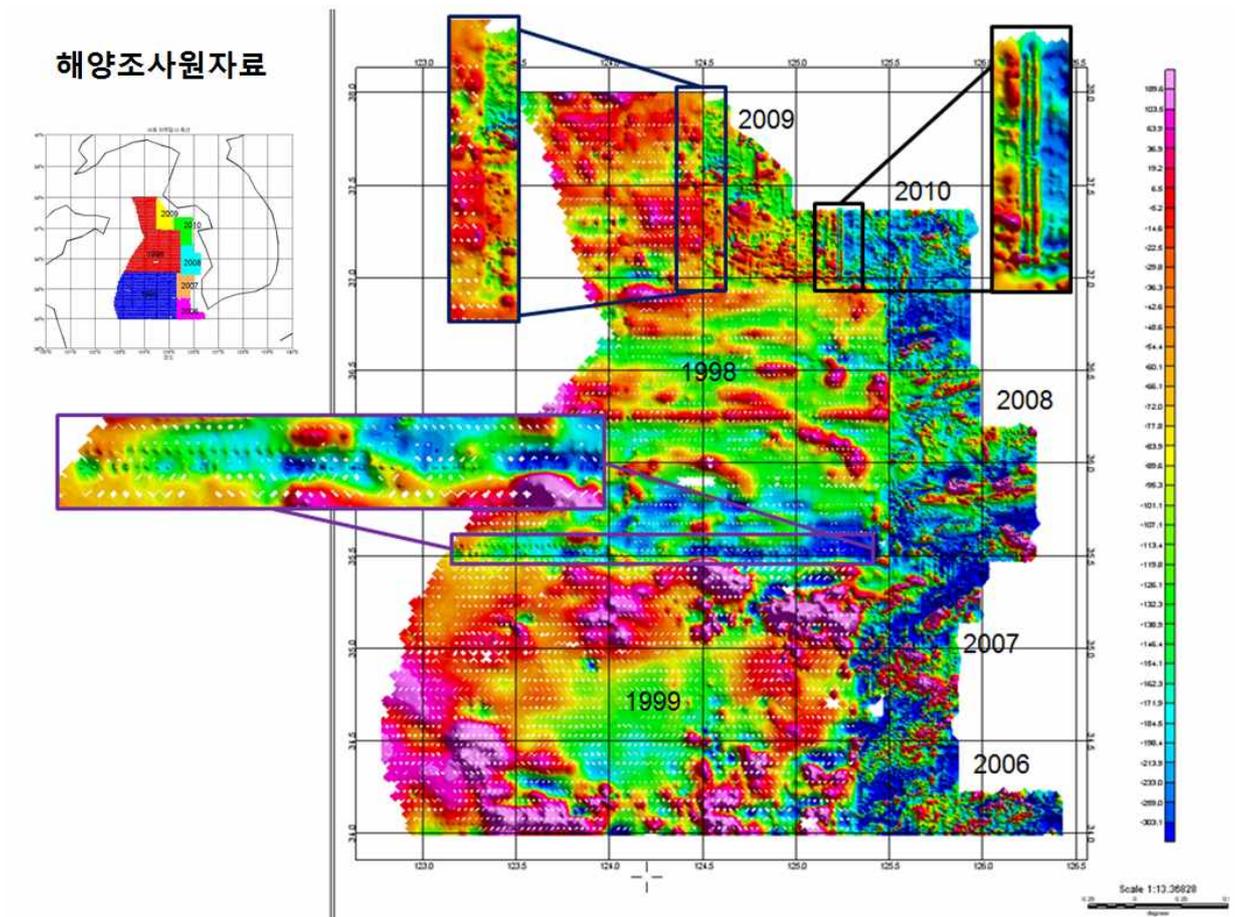


Fig. 3-1-5-3. Magnetic anomaly map from the Korean Hydrographic and Oceanographic Administration. Note discrepancies in the boundaries of annual survey areas (강은영, 2012).

- 퇴적층의 두께: 지각두께에 대한 정보는 지구조 해석은 물론 지진의 발생 메카니즘을 파악할 수 있는 매우 중요한 정보이다. 지각의 두께는 탄성과나 지진과 탐사를 통해서뿐만 아니라 중력자료와 지형자료 등으로부터도 구할 수 있다. 하지만, 중력자료로부터 서해지역의 지각두께 및 심부구조를 구명하기 위해서는 해저면의 퇴적층의 정확한 밀도구조와 두께의 정보가 필요하다. Fig. 3-1-5-4는 중력자료로부터 서해의 지각두께를 계산한 것이다. 매우 정확도가 낮지만 전세계의 5분 간격으로 격자화된 퇴적층의 두께를 반영한 경우와 하지 않은 경우를 비교할 때 지각두께는 4-8 km의 매우 큰 차이를 보인다.

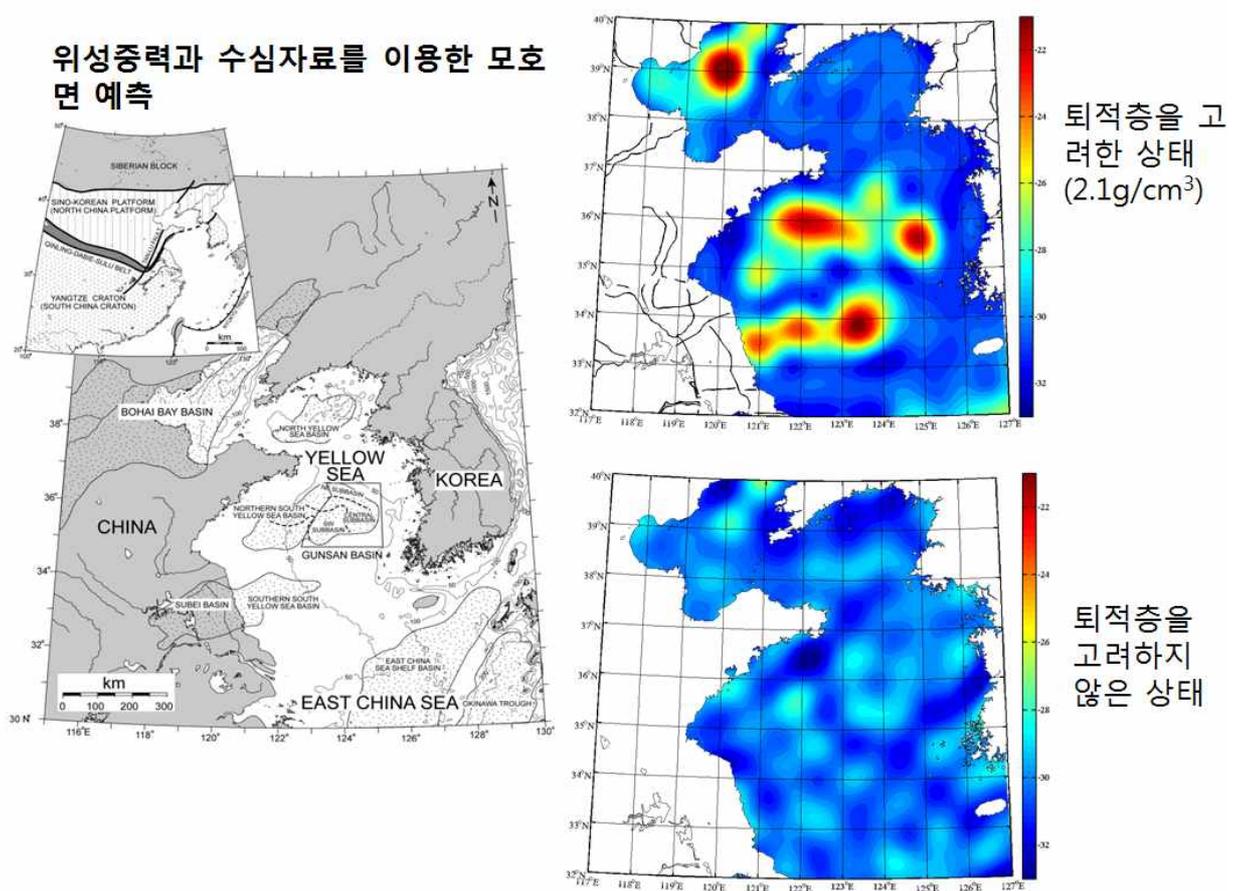


Fig. 3-1-5-4. Depths to the Moho from satellite gravity data 3-5-4. The presence of the sedimentary layer creates a significant differences in depth.

2 절. 서해의 지진.지체구조 연구를 위한 기술수요조사

2절에서 정리한 기술수요조사서에서 제시하는 연구과제들은 과거부터 현재까지 지진이 가장 많이 발생하는 경기만에서의 단층조사, 한국과 중국간의 공동연구로서 추진하는 지진관측망 설치 및 자료분석, 해저면 지진계를 이용하는 서해의 심부지각구조 탐사, 역사지진분석, 그리고 서해의 중.자력 자료 해석분야이다. 연구과제들은 3년간의 1단계 기간 동안 수행하는 것을 고려하여 작성하였다. 이들 과제에 대해 기상청에서 그 중요성과 시급성 그리고 예산을 정하고 그에 따라 지원여부를 확정할 수 있을 것이다.

1. 탄성과 반사법 탐사를 이용한 서해의 4기 단층 구조와 활동성 연구

기술수요조사서

1. 연구개발사업명

연구개발사업명	지진기술개발사업			
연구개발과제명	탄성과 반사법 탐사를 이용한 서해의 4기 단층 구조와 활동성 연구			
제안기관	한국해양과학기술원			
기술분류	국가과학기술표준 분류체계	ND0202	연구개발단계	기초(○), 응용(), 개발()
	부처별 기술분류체계	A0701	혁신·도약형 과제 해당여부	해당()
총연구기간	3년	총 연구비	1,000 백만원	

2. 연구개발의 목표 및 내용

연구개발의 목표	서해의 지진발생 단층대 탐지 및 특성 분석
연구개발의 내용	- 백령도 해역 등 서해 경기만의 지진 다발지역에서 고해상 탄성파탐사를 수행하여 단층의 분포와 특성, 그리고 활동성을 구명 - 탄성파탐사와 심부시추를 통한 층서해석 및 단층활동해석

3. 연구개발 동향 및 파급효과

연구개발의 필요성	- 최근에 서해에서 지진의 발생횟수와 규모가 증가하고 있지만 지진을 유발하는 단층의 분포와 구조 그리고 활동성에 대해 연구가 미비함 - 역사기록은 서해의 경기만에서 16, 17 세기때 추정진도 5정도
-----------	--

를 내외로 하는 지진이 다수 발생하였음을 제시하는데 2013년 5월의 백령도지진과 2014년 4월의 태안 (격렬비도) 지진이 계속 발생하는 것으로 볼 수 있음 (그림 1).

- 단층은 상부지각내에서 변형을 배치시키는 역할을 하므로 단층들이 전파하고 자라고 상호작용하여 단층계를 이루는 것을 구명하는 것은 매우 중요함
- 양산단층계의 경우 지난 3년간 부산 근해에서 고해상도탐사파 탐사를 수행하여 단층의 분포와 특성을 파악하고 층서대비를 통해 활동성을 구명하였음
- 서해는 리프팅에 의해 형성된 많은 수의 퇴적분지로 구성되어 있으므로 단층대가 다수 존재할 것이며 이들 단층의 활동성에 관한 연구가 필요함
- 서해에 분포하는 단층의 특성과 구조 그리고 활동성은 서해에서 발생하는 지진의 발진기구와 단층면해를 구하는 데 필수적인 정보이며 서해 지진위험성/위해성 연구의 기초자료로 활용

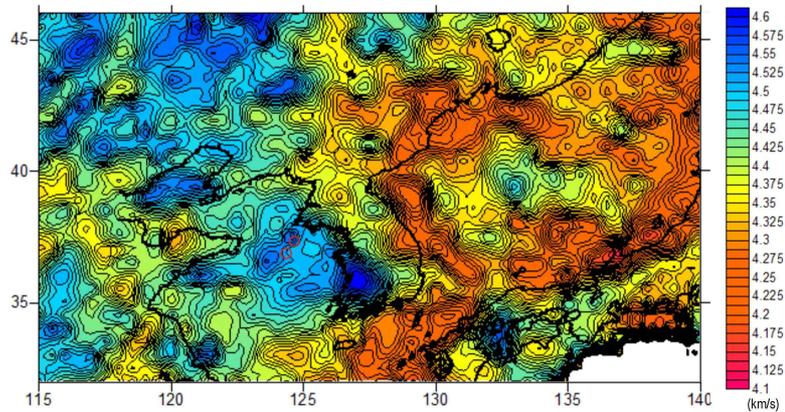


그림 1. 70 km 깊이에서 S파 속도. 최근에 발생한 백령도와 태안 지진의 진앙을 표시했을 때 리프팅에 의해 맨틀이 융기되고 단층대가 형성된 경기만 내 해역에서 발생했을 것으로 해석된다. 붉은 점들은 2013, 2014년에 발생한 백령도지진과 격렬비도 지진의 위치인데 맨틀이 융기한 것으로 보이는 이상대와 일치하며 이것은 리프팅에 의한 구조가 있음을 지시한다.

연구개발동향	국 내	- 한반도 남동대륙붕에서 양산단층계의 분포와 활동성을 구명하기 위해 고해상도 탐사파탐사와 층서해석을 수행중 (그림 2)
--------	-----	--

	국 외	<p>그림 2. 한반도 남동대륙붕에서 확인된 단층으로 4기 퇴적층(U-3, 4, 5)를 변형시키고 있다. 이 단층은 양산단층계를 구성하는 단층이 바다로 연장되어 활동한 결과로서 발달한 것이다.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 미국, 캐나다, 뉴질랜드, 일본 등 연 근해에서 큰 규모의 지진이 자주 발생하는 나라에서는 활성단층의 분포와 특성을 조사할 뿐만 아니라 단층의 특성과 지진활동을 결합하여 해석하는 신기지체구조학(neotectonics)을 통해 지각변형 모델을 제시
파 급 효 과		<ul style="list-style-type: none"> - 문헌에서 가장 많이 기록된 경기만 지진을 일으키는 지질구조 실증 - 서해 지진과 지질구조의 연계해석을 통한 지진학 발전 - 연안에 적용가능한 다중채널 탄성과 탐사기술의 개발을 통해 연안의 지질구조를 규명함으로써 연안의 개발과 관리 효용 증대 - 연구가 미흡한 서해 해역에 대한 신기지체구조 모델 구축 - 지진발생 가능지역 규명을 통한 지진재해 안정성 제고 및 지진재해 대응 대책에 필요한 기반 확립

4. 제안하는 기술의 시장동향 및 규모

가. 시장동향 및 규모

나. 수출·입 효과

5. 연구개발사업의 규모 및 추진체계

가. 연구개발사업의 규모 (단위: 백만원)

구 분		1차연도	2차연도	3차연도				합계
연구비	정 부	300	400	300				400
	민 간							
	합 계	300	400	300				400
개발기간	3 년		연 소요인력					30 명

나. 연구개발사업의 추진체계

기관분류	위치	소속기관	추진업무
주관기관:	(국내)	연구책임자 박사급 1명	탄성파탐사 및 해석
		참여연구원 박사급 2명	탄성파탐사자료 획득 및 처리
		참여연구원 석사급 2명	자료해석
		참여연구원 학사급 2명	연구보조원
협력기관:	(국내)	박사/교수급 1명 석사과정 1명	지질 층서 해석

주관기관으로서 연구선과 고가의 조사장비를 보유하고 운용하고 자료를 처리할 수 있는 연구소를 고려하였으며 협력기관으로서 지질층서해석분야를 수행할 수 있는 대학을 고려하였다.

- 관련연구 전문가 및 유경험자로 연구진 구성
- 연구 초기 관련 선행연구자료 확보 및 활용
- 국내 관련 연구자에게 연구 참여 기회 제공
- 지진이 자주 발생하는 경기만 해역에 대해 조사 (그림 3.)
- 에어건과 스파커를 파원으로 다중채널 및 단채널 탄성파 탐사, 시추를 통한 퇴적층 연대확인, 층서해석을 수행 (단채널 탐사는 보조용) (그림 4)
- 1차년도: 탄성파탐사
- 2차년도: 탄성파 탐사 및 시추 (1,2차년도에서 획득한 탄성파탐사자료를 이용하여 시추점 위치를 정함)
- 3차년도: 탄성파 탐사

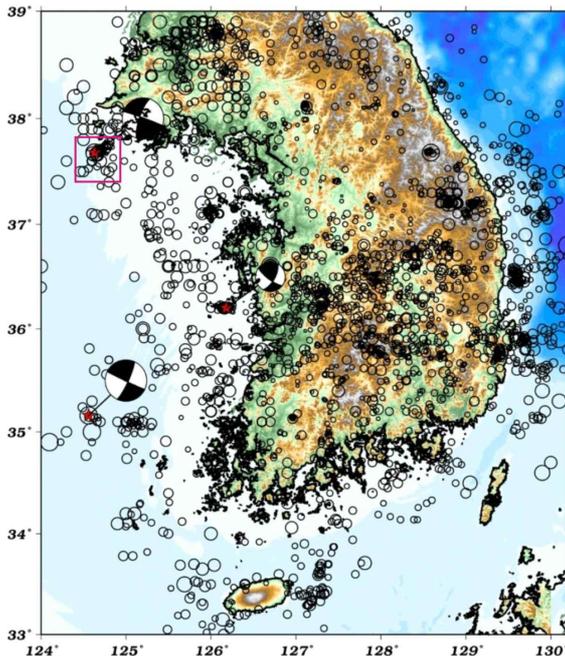


그림 3. 서해에서 발생한 지진분포와 탄성파 탐사를 수행할 백령도 해역 (빨간 색 네모).

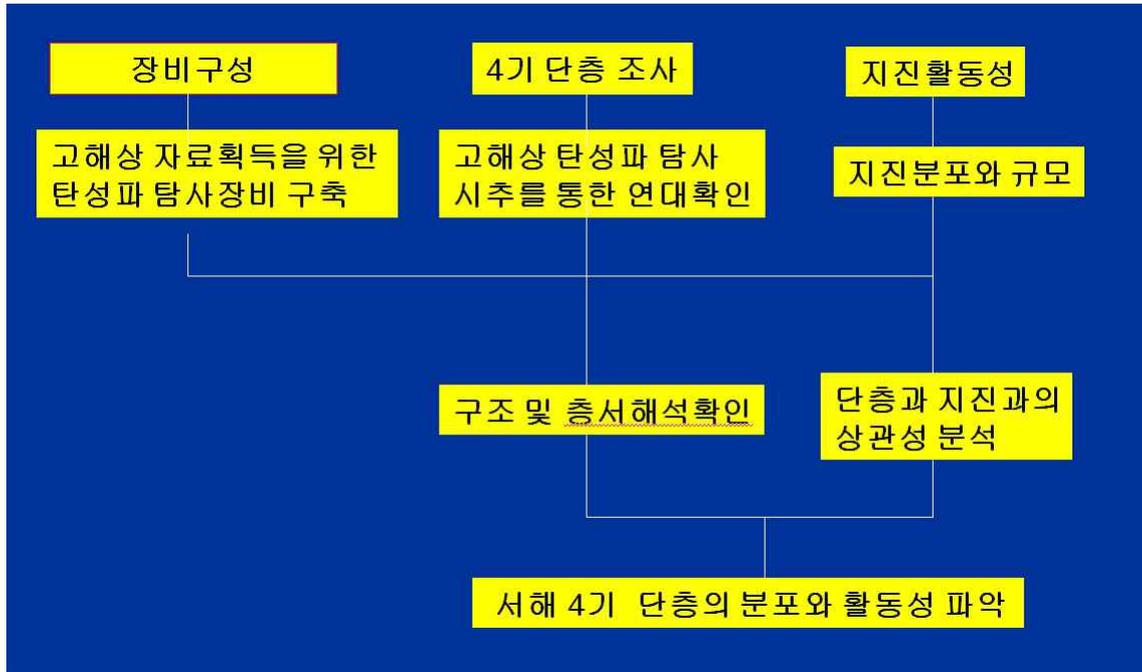


그림 4. 연구개발 추진체계 (연구진행방법)

6. 기대효과, 활용방안 및 특기사항

- 서해에서 가장 관심이 되는 백령도와 태안 지진이 발생하는 경기만 해역에 존재하는 활성 단층의 존재 확인
- 활성단층이 존재할 경우 그 분포와 활동성 파악
- 경기만에서 발생하는 지진의 단층해와 발진기구 연구에 단층의 구조를 활용
- 향후 서해 지진발생위치 예측을 위한 주요 자료 확보
- 서해의 지진특성을 설명하는 현재 지각운동 신기지체구조 모델 구축
- 동북 아시아 지체구조 연구의 지진학적 기초자료 생산
- 지진재해평가를 위한 필수자료 확보

(특기사항)

① 다중채널 탄성파 (MCS) 탐사 요구사항

- 전체 축선: 연간 800 km 이상
- 축선간격 : 1 km 혹은 그 이하
- 스트리머 채널: 24 이상
- 에어 건: 50 in³ 이상
- 에어건 발파간격: 25 m 이하
- 자료처리: 구조보정까지 표준처리, 다중반사 제거 포함
- 자료해석: 4기(플라이스토세와 홀로세) 퇴적구조와 층서 해석

② 단채널 고해상 탄성파 탐사 요구사항

- 음원에너지: 1000 joule 이상
- MCS의 보조 탐사로 활용

③ 해상시추:

- 목적과 필요성: 탄성파단면에 나타나는 지층의 Holocene - Pleistocene 연대를 파악하여 층서해석을 수행하므로 필수적임
- 제약: 중국의 시추 전용선을 활용하는 것이 가장 이상적이지만 4억원/공 의 예산이 소요됨
- 국내의 조사회사가 보유하고 있는 SEP 바지선에 시추장비를 탑재하여 시추할 경우 수심 20 m에서 해저면하 30 m까지 시추할 경우 3-4억원/4공의 예산이 예상됨
- 따라서 시추시 퇴적물의 회수가 우수한 중국 시추전용선을 이용하는 것이 매우 바람직함
- 제한된 예산 때문에 단독으로 시추하는 것은 불가능할 것으로 생각됨
- 하지만, 2015년도부터 한국해양과학기술원과 한국지질자원연구원에서 중국의 시추전용선을 사용하여 서해에서 시추를 계획하므로 공동활용하는 것을 전제로 2억원/공의 예산으로 시추를 추진할 수 있음

7. 기존의 선행연구

가. 고해상 탄성파탐사를 이용한 한반도 연안의 신기지진활동 분석/ 김한준/ 2012-2015

- 내용 : 한반도 남동대륙붕을 대상으로 양산단층의 해역 연장분포와 활동성 해석
- 동 기술과의 차이점 : 이 과제의 성격은 우리나라 연안과 주변해역에서 단층의 구조와 분포 그리고 활동성을 구명하는 것이므로 (그림 2) 기본적인 방법은 매우 유사함. 하지만, 본질적으로 다음과 같은 차이를 가짐

- (1) 서해의 경우 전부가 100 m 이내의 수심이므로 해저면 다중반사를 제거하지 않으면 그 아래의 지층구조를 해독하기 어려움 (그림 5). 따라서 에어 건과 다중채널 스트리머를 이용하여 다중채널 탄성파 자료를 획득하여 이것을 중심으로 처리와 해석을 수행하고자 함 (그림 6).
- (2) 지질학적으로 가장 최근인 제 4기 퇴적층의 층서를 구명하기 위해 중국이 보유한 시추선을 활용하여 홀로신과 플라이스토신 퇴적층에 대해 시추를 수행하여 층서를 얻고 이것을 탄성파 자료와 연계시키고자 함.

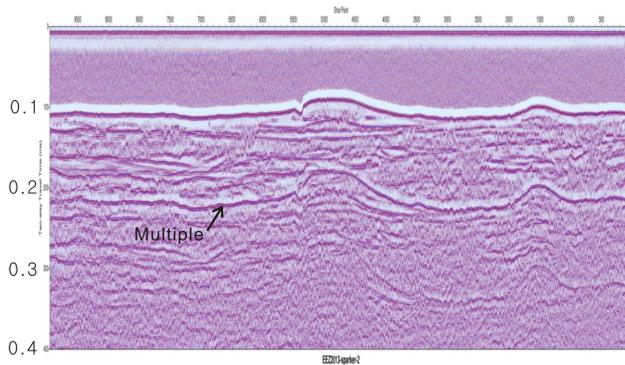


그림 5. 서해 남부에서 얻은 단채널 스파커 프로파일. 0.4초 (약 300 m 이상)까지의 지층구조와 단층의 영상을 보여 준다. 해저면 다중반사(multiple)가 나타나는 깊이 아래로는 해석이 불가능하다.

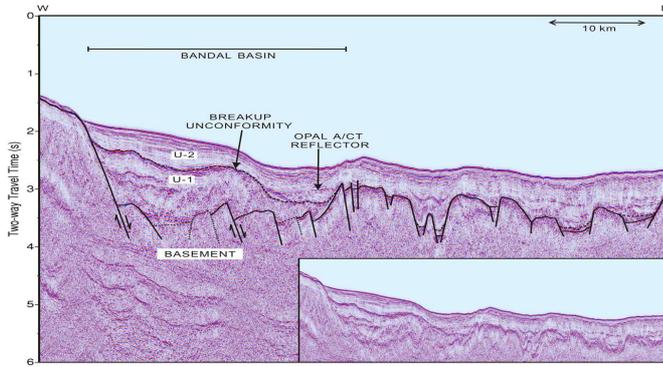


그림 6. 에어건과 스트리머를 이용해서 동해에서 얻은 다중채널 탄성파 프로파일. 6초의 기록길이 중 3초(약 2.3 km)깊이에 나타나는 기반암까지 퇴적층과 단층의 구조를 보여준다.

8. 연구개발사업의 제안자 인적사항

성명	김한준	소속 기관명	한국해양기술연구원
소속부서	관할해역지질연구단	직위	책임연구원
주소	(TEL) 031-400-6275	(FAX) 031-408-5822	(E-mail) hanjkim@kiost.ac
소속기관주소	(우:426-744) 경기도 안산시 상록수 해안로 787		

9. 제안기술에 대한 평가의 주안점

제안기술에 대한 평가	평가항목 (주요성능)	단위	연구개발전		개발목표치
			세계최고수준	국내수준	
	가. 고해상탄성파자료획득	%	100	90	95
	나. 층서대비 단층활동성 해석	%	100	80	90
	다. 신기지체구조모델 정립	%	100	50	60
	라.				
	마.				
	바.				

국가연구개발사업의 기술수요조사서를 제출합니다.

년 월 일

기관장 :

직인

기상청장 귀하

210mm×297mm[일반용지 60g/m²(재활용품)]

2. 서해지진 및 동북아 지체구조 연구를 위한 한·중 국제공동 연구

기술수요조사서

1. 연구개발사업명

연구개발사업명	지진기술개발사업		
연구개발과제명	서해지진 및 동북아 지체구조 연구를 위한 한·중 국제공동 연구		
제안기관	부산대학교		
기술분류	국가과학기술표준 분류체계	ND0202	연구개발단계 기초(○), 응용(), 개발()
	부처별 기술분류체계	A0703	혁신·도약형 과제 해당여부 해당()
총연구기간	(3)년	총연구비	(900)백만원

2. 연구개발의 목표 및 내용

연구개발의 목표	한·중 국제공동 연구를 통한 서해 및 주변지역 지진발생 특성 분석 및 동북아 지체구조 연구
연구개발의 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 서해지진 감시를 위한 한·중 광대역 임시 지진관측망(I) 운영 ○ 해양탄성과 탐사 측선과 연계하여 육상 광대역 지진관측 측선 구축 (임시지진관측망II) 및 운영 ○ 한·중 양국 간의 과학기술 교류 및 국제공동연구 여건 조성 ○ 서해 지진 활동성, 지각구조, 지진발생 메카니즘 분석 ○ 서해 지진 다발지역 규명 및 해저 단층구조 연구 ○ 서해를 중심으로 한 동아시아 지체구조 연구 ○ 서해 및 주변지역에서 발생하는 지진으로 인한 위험성/위해성 연구

3. 연구개발 동향 및 파급효과

연구개발의 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2011년 3월 11일 일본 대지진 및 지진해일로 인한 치명적인 피해를 목격하고, 최근까지도 대지진의 피해를 입은 원전시설과 주변지역에 심각한 문제가 있다는 소식을 접하면서 우리 국민들의 지진에 대한 관심이 고조되어 있음. ○ 최근 흑산도 해역 지진(13.04.21, 규모 4.9), 백령도 해역 지진(13.05.18, 규모 4.9) 및 보령 해역 지진(13.06~13.08, 규모 ~3.5) 등 서해에서 지진이 다수 발생하여 국민들의 지진위험에 대한 불안이 가중되고 있음. ○ 지진 위험성·위해성 평가를 위한 가장 기초자료는 지역적 지진 발생현황 및 지진유발 단층구조 규명임. 서해는 지리적으로 한국과 중국의 경계지역에 위치하기 때문에 국내 지진관측망만 사용할 경우 관련연구에 한계가 존재. 서해 및 주변지역의 지진/지질/지구물리/판구조론적 특성 조사 및 실효적 연구성과 도출을 위해서는 한국과 중국의 공동연구가 필요.
-----------	---

연구개발의
필요성

- 서해에서 발생하는 지진의 효과적 감시 및 자료분석을 위하여 한국 지진관측망, 중국 지진관측망, 서해 도서지역 임시지진관측망에서 획득된 자료를 연동함으로써, 서해지진 연구의 공간적 접근성 한계를 극복할 수 있으며, 원활한 지진 자료 교환의 여건이 조성될 때 까지 현실적 어려움을 고려하여 한시적으로 한·중 공동 임시 지진관측망을 운영함으로써 자료공유 체계 수립을 위한 상호신뢰 구축과 한·중 양국 간의 과학기술 교류를 통한 국제 공동연구 파트너십 정립 필요.
- 현재 동아시아의 지각형성 및 지각 구조에 대한 많은 가설들이 지질학적 조사를 바탕으로 제안되었음. 특히 한반도의 형성과정에 대한 많은 가설들이 존재하나 중국과 한반도를 연결하는 단층선의 서해 통과 여부와 위치가 정확하게 나타나지 않고 있음. 한반도를 포함한 동아시아 지구조 연구의 결정적 증거를 가지고 있는 우리나라 주변해역의 지구조 역사를 규명하기 위해서는 서해를 중심으로 한 지진 자료 생산 및 활용이 필요.
- 한반도 주변에서는 많은 수의 판이 존재하며, 판과 판의 상호작용으로 판경계 지역에서는 대규모 지진이 자주 발행. 판 내부에서도 비교적 큰 규모의 지진이 넓은 지역에 걸쳐 비정기적으로 발생하고 있음.
- 최근 우주측지자료와 지진목록을 바탕으로 제시된 장기 천부지진 발생 예측에 의하면, 서해 및 우리나라 내륙에서도 규모 5.6 이상 지진의 활발한 운동이 예상된다.

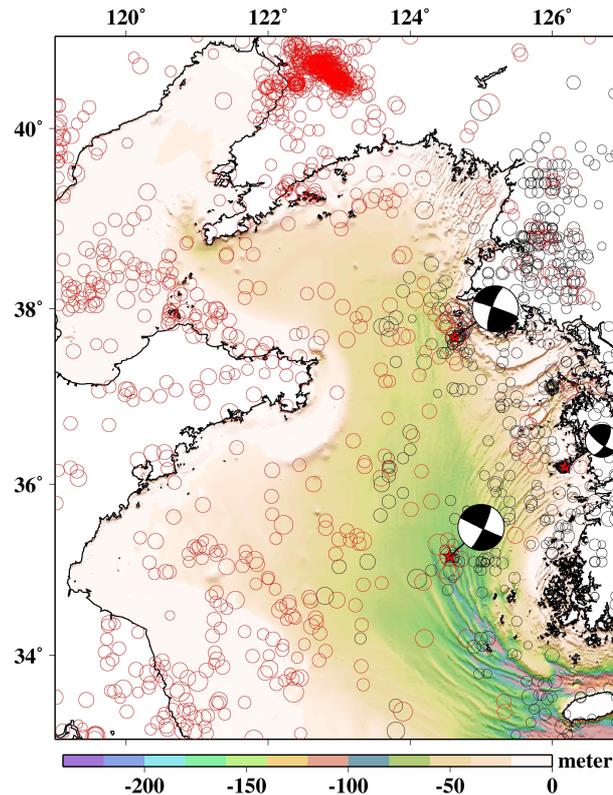


그림 1. 서해 지진 발생현황 (규모 2.0 이상). 한국 기상청에서 발표한 지진발생위치(검정색, 1978~2013)와 중국 지진국에서 발표한 지진발생위치(적색, 1970~2013). 2013년 서해에서 발생한 주요 지진의 focal mechanism solution (기상청 보도자료, 2013; IRIS, 2013).

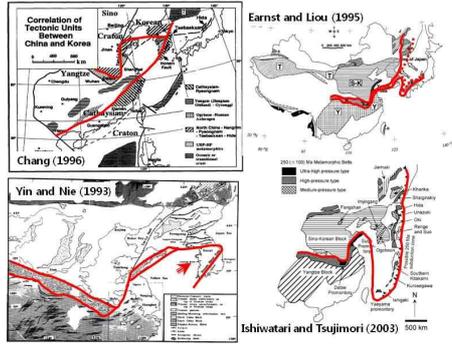


그림 2. 지질조사를 통하여 제안된 우리나라를 포함한 동아시아 지체구조 형성 모델. 육상에서 관측되는 주요 지구조선을 바탕으로 중국과 한국을 연결하는 모델을 제시하고 있으나 서해에서의 직접적인 자료가 절대 부족함.

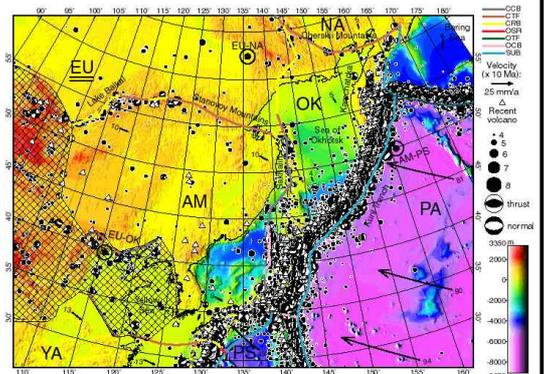


그림 3. 한반도 주변 판 경계 분포 현황 (Bird, 2003). 우리나라 서해안을 따라 아무리아판의 경계가 있는 것으로 제시됨.

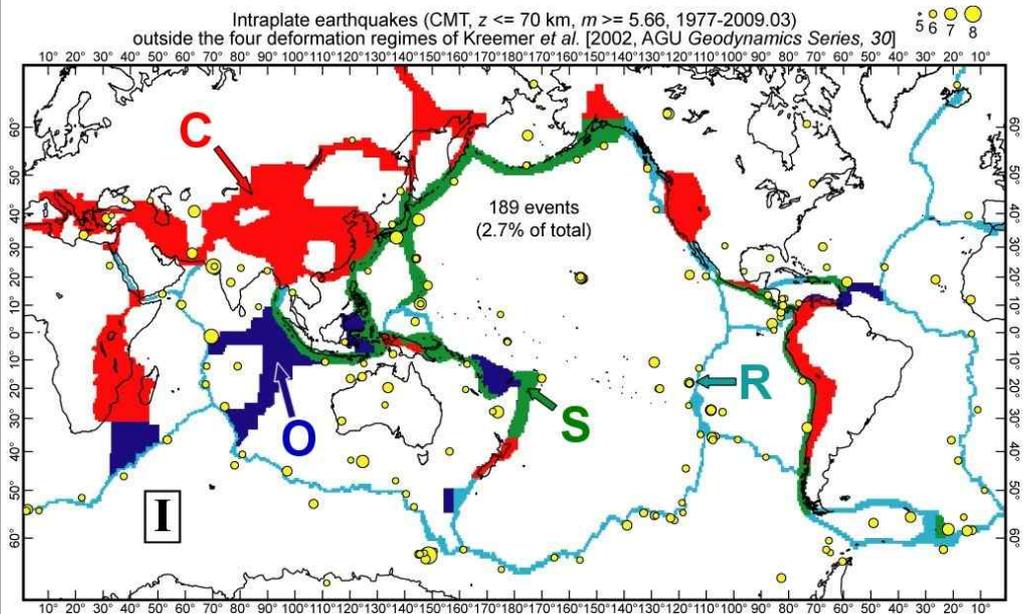


그림 4. 지진카탈로그와 GPS자료를 이용한 장기 천발지진 발생 예상도 (Bird et al., 2010). GPS자료와 계기지진목록을 사용한 최근 연구결과에 의하면 서해를 포함한 우리나라에서는 상당한 에너지가 축적되고 있으며, 장기간에 걸쳐 축적된 에너지는 규모 5.6이상의 지진을 발생 시킬 수 있음.

연구개발동향	<p>○ 기상청, 한국지질자원연구원, 한국전력연구원, 원자력안전기술원, 한국가스공사 등 국내 지진관측 유관기관에서는 기관고유 목적에 부응하고자 지진관측망을 구축 운영하고 있으나, 지진관측 공백역에 위치한 서해 지진의 효과적인 모니터링 및 연구에는 한계가 있음.</p>
--------	---

	<p>○ 한국해양연구원은 서해에서 발생 가능한 지진으로 인한 위험성 평가와 중국-서해-한반도-동해를 포함하는 극동아시아 지각 및 맨틀구조 연구를 위하여 중국과 학원, 지질지구물리연구소와 공동으로 서해주변에 총11개 관측소로 구성된 (한국 측에 6개소와 중국 측에 5개소의 광대역임시지진관측소) 임시 지진관측망을 2007년 11월부터 1년 6개월간 설치/운영하여, 지각구조의 횡적 변화 등 관련연구의 수행 및 성공 가능성을 확인</p> <p>○ 지진의 발생과 이로 인한 위험성 규명, 지구 내부 구조 연구, 핵실험금지조약의 이행여부 감시 등을 위해서 전 지구적 관측이 반드시 필요. 이를 위하여 여러 국가에서 지진관측을 위하여 자국 영토 밖에 관측소를 설치 운영하거나, 각 국가나 기관이 각자의 필요에 따라 설치된 지진관측망에서 관측된 자료를 교환하는 콘소시움을 구성.</p> <p>국 외 - 전지구 규모의 지진관측망 구축 및 운영: WWSSN(World Wide Standardized Seismograph Network), GDSN(Global Digital Seismic Network) 등 - GSN(Global Seismic Network)은 미국(IRIS, USGS), 독일(GEOFON), 일본(Pacific21), 중국(NCDSN) 등 세계 여러 국가의 지진관측망으로 구성됨 - VEBSN(Virtual European Broadband Seismograph Network): 유럽과 지중해 지역 50개 이상의 지진관측망에서 수집한 많은 양의 자료를 효과적으로 관리 및 공유하기 위한 조직.</p>
<p>파 급 효 과</p>	<p>○ 지역적으로 서해가 중심에 위치하며 저비용 고효율 서해가상지진관측망 구축을 위한 사전 정지 작업</p> <p>○ 중국과의 국제공동연구를 통한 협력체계 구축</p> <p>○ 지진관측 공백역에 위치해 연구가 미흡한 서해 해역 지진 자료 축적 및 기초자료 제공</p> <p>○ 서해 지진자료 D/B 체계적 구축 및 활용</p> <p>○ 동아시아 지구조 연구 기초자료 제공</p> <p>○ 서해경제권 도시의 지진위험성 평가 기초 자료 제공</p>

4. 제안하는 기술의 시장동향 및 규모

- 가. 시장동향 및 규모
- 나. 수출·입 효과

5. 연구개발사업의 규모 및 추진체계

- 가. 연구개발사업의 규모

구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	6차연도	합계
연구비	정 부	300 백만원	300 백만원	300 백만원				900 백만원
	민 간	백만원	백만원	백만원				백만원
	합 계	300 백만원	300 백만원	300 백만원				900 백만원
개발기간	3 년		연 소요인력			30 명		

- 나. 연구개발사업의 추진체계

- 서해지진 감시를 위한 한중 이동식 광대역 임시지진관측망 운영

-임시지진관측망I

관측기간: 3년 (2015년~)

관측망 구성(I): 한국 측 및 중국 측 동수의 광대역 관측소로 구성
(한국 측 10개소, 중국 측 10개소)

-임시지진관측망II

관측기간: 2년 (2015년 7월부터 2017년 6월 까지)

관측망 구성(II): 해양탄성과 탐사 측선과 연계하여 육상 광대역 지진관측 측선 운영

(한국 측 15개소, 관측소 간격 10 Km, 중국 측 육상측선은 기존 자료 활용 가능성 검토)

- 원거리/국지지진 공동관측

- 임시지진관측망I 및 임시지진관측망II 공동운영
- 분기별 지진관측자료 교환
- 연구 참여인력 상호 방문 연구 수행

- 국제공동연구의 성공적 수행을 위한 국제자문위원회 구성 및 운영

- 구성: 한국과 중국 측 연구진이 동수의 위원을 추천하여 구성
- 위원회는 지진관측, 지진자료처리, 동아시아 지체구조연구 전문가 등으로 구성
- 필요시 연차평가결과 및 국제자문위원회의 feedback을 반영한 연차별 계획 수정 및 추진

- 서해 지진발생현황 정밀 규명

- 서해 및 주변지역 지진발생위치 정밀 결정
- 서해 및 주변지역 3차원 지하 속도구조 결정

- 지진유발가능 해저 지하구조 연구

- 지진다발해역 규명
- 지진발생 가능지역 해저구조 연구

- 한반도 및 동아시아 광역 지진지체구조 연구

- 서해 중심 기존 동아시아 광역 지진지체구조 모델 검증 또는 필요시 새로운 모델 제시

- 국내 대학 및 기관의 연구 참여 기회 제공

- 공동연구 참여기회 제공
- 국내 관심기관에 자료제공 및 공동연구

다. 추진일정 및 공동연구 분담내역

- 2014년 추진 일정

- 2014년 1월 : 중국 측 연구진 한국 방문
- 2014년 6월 : 국제공동연구 협의를 위한 한국 측 연구진 중국 방문 (필요시 MOU 체결)
- 2014년 7월 ~ 9월: 한국 및 중국 측 지진관측소(I) 부지 선정
- 2015년 : 중국 측 임시 지진 관측망 구축 및 지진관측 개시
- 2015년 : 한국 측 임시 지진 관측망 구축 및 지진관측 개시

- 추진 계획 (2015년~)

- 2015년 3월: 한중 서해지진 연구 워크숍 및 진도점검
- 2015년 3월 : 지진관측자료 교환

- 향후 분기별 지진관측자료 교환
- 실시간 자료 획득 및 교환 가능성 조사 및 추진

2015년 3월: 국제자문위원회 자문회의

2015년 3월 ~ 6월: 한국 및 중국 측 지진관측소(II) 부지 선정

2015년 7월: 한국 및 중국 임시지진관측망 지진관측(II) 개시

- 한국 측 공동연구 분담내역: 서해 지진관측 및 국제 공동 연구를 위한 한국 측 연구개발비, 연구개발인력, 연구시설 등 부담
- 중국 측 공동연구 분담내역: 서해 지진관측 및 국제 공동 연구를 위한 중국 측 연구개발비, 연구개발인력, 연구시설 등 부담
- 야외 지질조사, 지진관측망 설치 및 운영, 자료교환, 자료처리, 자료해석 및 결과발표 활동에 공동 참여 및 편의 제공
- 기타, 한국지질자원연구원이 운용중인 중국내 지진관측 자료를 활용할 수 있으면 추가로 활용할 수도 있음. 하지만, 본 과제의 성격은 한·중 공동연구로서 서해 주변에 같은 수의 지진계를 설치하는 것임. 따라서 한국지질자원연구원의 지진계자료를 활용하는 것은 본 과제의 성격과 맞지 않음



그림 5. 한중 국제공동 임시지진관측망I, 임시지진관측망II 관측소 설치 위치 및 해양 심부 탄성파탐사 측선(안).



그림 6. 추진체계

6. 기대효과, 활용방안 및 특기사항

- 기상청의 서해지진 관측역량 및 대응능력 제고
- 지역적으로 서해가 중심에 위치하며 저비용/고효율 서해 가상 지진관측망(Virtual Yellow Sea Seismic Network) 구축을 위한 사전 정지 작업
- 향후 피해유발 가능 서해지진 발생 지역 예측을 위한 주요 자료로 활용
- 서해 해저구조 규명, 지진재해 위험성/위해성 연구에 활용
- 서해 지진자료 D/B 체계적 구축 및 활용
- 동아시아 지구조 연구 기초자료 제공
- 서해경제권 도시의 지진위험성 평가 기초 자료 제공
- 기상청 국가지진관측망을 통하여 획득한 자료의 활용성 제고
- 동아시아 지진연구 기관간의 협력연구체계 강화
- 자료수집 및 분석 후 연구결과 국제 학술지 및 국내 전문 학술지에 게재

7. 기존의 선행연구

가. 한·중 서해 광대역 임시 지진관측망 운영/ 김광희/ 2007.11.01~2009.03.31

○ 한국해양과학기술원에서는 서해에서 발생 가능한 지진으로 인한 위험성 평가와 중국-서해-한반도-동해를 포함하는 극동아시아 지각 및 맨틀구조 연구를 위하여 중국과학원 지질지구물리연구소와 공동으로 서해주변에 총11개 관측소로 구성된 (한국 측에 6개소와 중국 측에 5개소의 광대역임시지진관측소) 광대역지진관측망을 2007년 11월부터 1년 6개월간 설치 운영한 바 있음(그림7). 이 관측망을 이용하여 관측된 원거리 자료의 일부를 이용하여 각 관측소 하부 지각 및 상부맨틀의 1차원 속도구조 연구를 수행하여 서해주변 지각과 맨틀의 변화를 규명하였음. 이 결과에 의하면 서해 주변 우리나라 측에서는 북에서 남으로 지각의 두께가 점점 두꺼워지며, 중국 측에서는 Jiaonan 관측소 하부에서 가장 두꺼운 지각이 발견되었음. 이 결과는 북중국 지괴와 남중국 지괴가 충돌하면서 두꺼워진 지각을 관측한 것으로 생각됨.

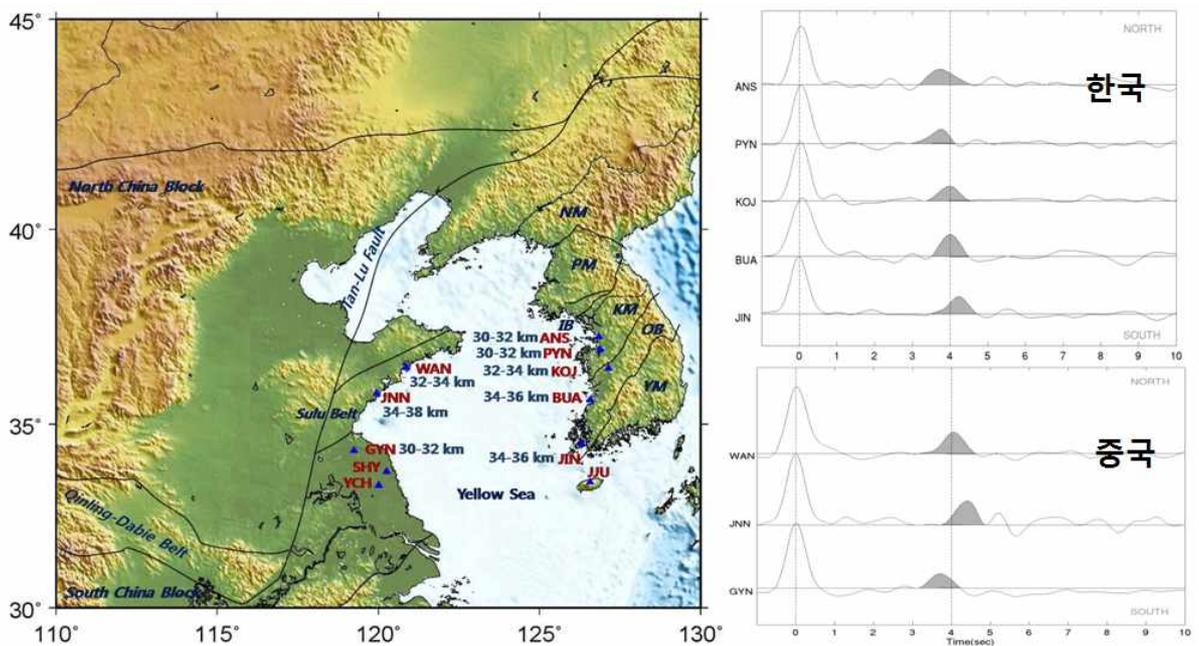


그림 7. (왼쪽) 서해주변 지진 발생 현황의 정확성 향상을 위하여 한국해양과학기술원 (구, 한국해양연구원), 중국과학원 지질지구물리연구소가 공동 운영한 광대역지진관측소 위치 및 관측소 하부의 모호면 깊이. (오른쪽) 관측소 하부 지각두께 변화에 따른 수신함수 모호 변환파의 도착시간.

- 국제공동연구는 양자 간의 공통된 목표, 상호 신뢰를 바탕으로 한 연구사업 도출 및 추진의지가 매우 중요함. 한국과 중국의 연구진은 서해에서의 지진 및 지체구조 연구에 공통의 관심을 가지고 있으며, 2007-2009년 서해지진의 위험성 연구와 중국-서해-한반도-동해를 포함하는 극동아시아 지각 및 맨틀구조 연구를 위하여 서해주변에 총 11개 관측소로 구성된 (한국 측에 6개소와 중국 측에 5개소의 광대역임시지진관측소) 광대역지진관측망을 공동 설치 운영하는 등의 공동연구 경험이 있으며, 이를 바탕으로 한 오랜 상호신뢰를 형성하고 있음.
- 한국과 중국 연구진 간의 상호신뢰를 바탕으로 한 연구경험은 향후 본 연구의 효율적인 수행과 성공적 연구결과 도출에 도움을 줄 것이며, 양 기관간의 (부산대학교-중국과학원 지질지구물리연구소) MOU 체결 등을 통하여 성공가능성을 극대화 시킬 것 임.
- 기존 연구는 연구 실현 가능성 조사 성격의 선행연구이며, 성공적 연구 수행을 위한 본 과제 수

행 필요

8. 연구개발사업의 제안자 인적사항

성명	김광희	소속기관명	부산대학교
소속부서	지질환경과학과	직위	조교수
주소	(TEL)051-510-2250	(FAX) 051-517-6389	kwanghee@pusan.ac.kr
소속기관주소	부산광역시 금정구 부산대학로 63번길 2		

9. 제안기술에 대한 평가의 주안점

제안기술에 대한 평가	평가항목 (주요성능)	단위	세계최고수준	연구개발전 국내수준	개발목표치
	가.이동식 임시 지진 관측망 구축 및 운영 (I)	%	100	40	70
나.이동식 임시 지진 관측망 구축 및 운영 (II)	%	100	40	70	
다.한중 양국간의 과학기술 교류 및 국제 공동연구 여건 조성	%	100	40	70	
라.					
마.					
바.					

국가연구개발사업의 기술수요조사서를 제출합니다.

년 월 일

기관장 :

직인

기상청장 귀하

210mm×297mm[일반용지 60g/m²(재활용품)]

3. 한반도 서해 및 인근해역 역사지진 기록 분석 및 지진활동 평가

기술수요조사서

1. 연구개발사업명

연구개발사업명				
연구개발과제명	한반도 서해 및 인근해역 역사지진 기록 분석 및 지진활동 평가			
제안기관				
기술분류	국가과학기술표준 분류체계	대분류-중분류-소분류	연구개발단계	기초(○), 응용(), 개발()
	부처별 기술분류체계	대분류-중분류-소분류	혁신·도약형 과제 해당여부	해당()
총연구기간	(3)년	총연구비	(240)백만원	

2. 연구개발의 목표 및 내용

연구개발의 목표	한반도 서해 및 인근해역 역사지진 기록 분석 및 지진활동 평가
연구개발의 내용	<p>약 2000여년간에 걸쳐 한반도 서해와 인근 해역에서 발생한 주요 역사지진을 분석하여 장기간에 걸친 지진활동의 패턴과 지진발생 특성을 규명하고자 함.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 한반도 서해 및 인근해역 발생 주요 역사지진 사료 DB 구축 - 한반도 서해 및 인근해역 발생 주요 역사지진의 감진구역, 진앙 및 규모 결정 - 한반도 서해 및 인근해역 발생 주요 역사지진의 주기와 지진활동 패턴 분석 - 한반도 서해 및 인근해역 발생 주요 역사지진 발생 특성과 지체구조와의 관련성 분석

3. 연구개발 동향 및 파급효과

연구개발의 필요성	<ul style="list-style-type: none"> - 최근 서해상에서는 여러 차례의 지진이 발생하였고 과거 역사시대에도 큰 피해 지진이 발생하였다. 따라서 서해 지역 지진발생 특성을 규명하기 위해서는 과거 2000년간 이 지역에서 발생한 지진기록의 DB구축이 필요함. - 유라시아판 내부에 위치한 우리나라 서해(황해)에서 발생한 지진의 분포와 그 특성을 규명하기 위해서는 판 경계부 지진 특성과 달리 긴 역사시대를 통해 발생한 지진자료가 필요함. - 진앙의 위치나 규모가 불확실하다 하더라도 역사 문헌을 통해 연안가까이에서 감진된 기록들을 종합하여 지진의 진앙이나 규모를 평가하고, 계기 지진 자료와 비교함으로써 서해의 지진발생 특성에 대한 정보를 얻을 수 있음. - 한반도 내륙 혹은 전체에 대한 지진활동 패턴을 분석하기 위해서는 서해 및 인근해역 발생 주요 역사지진의 지진활동 분석이 필수적임. - 한반도 서해 및 인근해역 발생 주요 역사지진 발생 특성과 지체구조와의 관련성 분석은 지진예지 및 방재 등 대응에 기본 자료로서 매우 중요함.
-----------	---

연구개발동향	국 내	<p>서해와 인근 해역 지진활동 규명을 위해서는 우리나라와 중국의 역사지진사료의 정리와 분석이 이루어져야 한다.</p> <p>우리나라 역사 지진 목록은 지금까지 和田(1912), 한국원자력안전기술원(1998), 이기화(2005), 경재복(2011), 한국지질자원연구원(2012) 등 여러 연구자들에 의해 조사되어 왔다. 또한 경재복(2013)은 역사시대에 발생한 지진의 관변 사료(삼국사기, 고려사, 고려사절요, 조선왕조실록, 증보문헌비고, 승정원일기, 일성록 등) 외에 민간사료(예: 泰齋集(유방선), 冲齋集(權 櫟), 二樂亭集(신용개), 龍泉談寂記(김안로), 頤齋亂稿(洪彦弼), 靜菴集(조광조) 등의 지진 기록 자료...)도 정리하여 한반도 역사지진기록을 정리해가고 있음.</p>
	국 외	<p>중국의 역사지진 기록은 BC 23세기까지 거슬러 올라가며, 역사 지진에 대한 문헌 기록이 전 세계적으로 가장 방대하고, 시간적으로 길다고 할 수 있다. 1950년대에 들어와 지진위험도 평가를 위해 역사학자와 지진학자들이 지진 기록에 대한 체계적인 조사를 통해 1956년에 두 권의 지진목록을 발간하였다.</p> <p>** Chronological Table of Chinese Earthquakes(1956) - Seismological Committee of Academia Sinica</p> <p>** Catalogue of Chinese Earthquakes (1960) - Prof. Li Shanbang</p> <p>이후 1971년, 1983년 수정판 출간이 있었다. 그 이후 중국 역사지진관련 문헌들이 1987년까지 발간되어 왔으며, 국가지진국(State Seismological Bureau)에서는 방대한 자료조사와 분석을 통해 전진, 여진, 지진현상, 지진피해, 진도와 규모 평가 등을 포함한 자료들을 종합 정리하여 BC 23C부터 A.D. 1911년 까지 발생한 규모 4.75 이상의 1034회의 지진 자료를 포함한 중국역사강진목록(1995)을 출간하게 되었음.</p>
파 급 효 과		<p>서해지역 발생 지진의 DB 구축과 지진활동 분석은 한반도 내륙 지진발생 패턴과 밀접하게 연결되어 있어, 연구 결과는 한반도 서부지역의 예상지진재해 대책 수립, 국내 지진활동 분석, 지진 방재, 지진예지 등의 연구에 기초 자료로서 매우 귀중한 자료가 됨.</p>

4. 제안하는 기술의 시장동향 및 규모

가. 시장동향 및 규모

자연재해의 한 종류인 지진 활동 연구 결과는 지진 예지분야, 방재분야, 교량, 터널, 아파트, 고층 건물 등 내진 분야, 토목, 건축, 중요 산업시설 방재 분야에서 필요로 하는 연구 개발이다.

나. 수출입 효과

현재로서는 효과가 크지 않음

5. 연구개발사업의 규모 및 추진체계

가. 연구개발사업의 규모

구 분		1차연도	2차연도	3차연도	...	합계
연구비	정 부	80백만원	80백만원	80백만원		240백만원
	민 간	백만원	백만원	백만원		백만원
	합 계	80백만원	80백만원	80백만원		240백만원
개발기간	3년		연 소요인력			4명

나. 연구개발사업의 추진체계

1차년도:

- 한반도 서해 및 인근해역 발생 주요 근세지진(1905 - 2000) 자료의 분석 및 DB 구축
- 한반도 서해 및 인근해역 발생 근세지진의 지진활동 분석

2차년도:

- 한반도 서해 및 인근해역 발생 주요 역사지진의 지진활동 분석
- 한반도 서해 및 인근해역 발생 주요 역사지진 발생 특성과 지체구조와의 관련성 분석

3차년도:

- 한반도 서해 및 인근해역 발생 주요 역사지진 및 근세지진의 장단기 지진활동 연계분석
- 북중국 및 한반도 지진의 장단기 지진활동 특성 연계분석
- 한반도 서해 및 인근해역 발생 주요 역사지진 및 근세지진 발생 특성과 지체구조와의 관련성 분석

6. 기대효과, 활용방안 및 특기사항

서해 및 인근 해역 지진 활동 연구 결과는 서해안 시대에 대비하여 한반도 서부지역의 예상지진재해 대책 수립에 필요한 기초 자료를 제공하고, 한반도 전체적으로도 지진 예지분야, 방재분야, 교량, 터널, 아파트, 고층 건물 등 내진 분야, 토목, 건축, 중요 산업시설 방재 분야에서 필요로 하는 연구 개발이다.

7. 기존의 선행연구

가. 한반도 역사지진 목록 작성 및 DB 구축/경재복/2011

- 내용 : 2011년 우리나라 역사지진 목록 및 DB 구축을 위한 연구가 진행되었으나, 서해발생 지진은 중국 및 우리나라 사료의 동시 검토가 충분히 이루어지지 않았으며, 지진활동 특성 분석연구도 수행되지 못했음.
- 동 기술과의 차이점
 - 이를 위해 중국 문헌과 우리나라 서해일대 및 연안의 역사 지진자료의 발췌 및 진앙 규모 등 검토 후 DB화가 필요
 - 우리나라 역사 지진 중 서해 연안 발생 지진에 대한 진앙, 규모 등에 대해 재검토 필요
 - 근대 계기지진(1900년 - 2000년) 중 서해 연안 및 서해 발생 지진 목록화 필요(목록에 따라 다양하게 평가하였음)
 - 이를 기초로 장단기 서해일대 지진발생 특성 규명 및 지체구조와의 관계 규명 필요

8. 연구개발사업의 제안자 인적사항

성명	경재복	소속기관명	한국교원대학교
소속부서	지구과학교육과	직위	교수
주소	(TEL)043-230-3742	(FAX)043-232-7176	(E-mail)jbkyung@knue.ac.kr
소속기관주소	충북 청원군 강내면 태성탑연로 250		

9. 제안기술에 대한 평가의 주안점

제안기술 에 대한 평가	평가항목 (주요성능)	단위(%)	세계최고수준	연구개발전 국내수준	개발목표치
	가. 자료DB 구축 정도	30	중상	중	30
	나. 자료 분석 정도	20	중상	중	20
	다. 지진파라메타 결정 의 방법 정도	30	중상	중	30
	라. 지진 활동 분석 정 도	20	중상	중	20
	마.				
	바.				

국가연구개발사업의 기술수요조사서를 제출합니다.

2014 년 5 월 일

기관장 :

직인

기상청장 귀하

210mm×297mm[일반용지 60g/m²(재활용품)]

4. 한.중 공동 광각 심부탄성파 탐사를 이용한 서해의 지체구조 연구

기술수요조사서

1. 연구개발사업명

연구개발사업명	지진기술개발사업			
연구개발과제명	한.중 공동 광각 심부탄성파 탐사를 이용한 서해의 지체구조 연구			
제안기관	한국해양과학기술원			
기술분류	국가과학기술표준 분류체계	ND0202	연구개발단계	기초(○), 응용(), 개발()
	부처별 기술분류체계	A0701	혁신·도약형 과제 해당여부	해당()
총 연구기간	3년	총 연구비	850백만원	

2. 연구개발의 목표 및 내용

연구개발의 목표	서해의 지각/상부맨틀 구조 구명을 이용한 지진지체구조 해석
연구개발의 내용	<ul style="list-style-type: none"> - 중국과 한국간 서해해역에서 해저면지진계(OBS)를 이용한 심부탄성파 탐사와 다중채널 탄성파(MCS) 탐사 - 서해의 지각과 상부맨틀구조를 파악하고 지구조적 진화 구명 - 지진유발 지각구조 해석

3. 연구개발 동향 및 파급효과

연구개발의 필요성	<ul style="list-style-type: none"> - 동아시아의 광역적 지진재해 평가를 위해서는 지진지체구조(seismotectonics)를 구명해야 함 - 동해의 경우 지난 1991년부터 긴 기간에 걸쳐 한국-러시아, 한-일본-러시아의 공동연구를 통해 OBS를 이용하는 심부탄성파탐사와 다중채널 탄성파탐사를 통해 지각구조와 지진발생과의 관련성을 상당히 구명하였음 (그림 1) - 동해의 경우 지진은 대륙지각내 동해의 형성당시 리프팅을 유도한 단층과 대륙-해양지각경계를 따라 집중적으로 발생 - 이에 반해 서해는 중한블록과 남중국블록의 충돌경계와 아무리아판의 경계가 있을 것으로 제시되지만 (그림 2) 판경계의 분포와 동역학적 모델은 도출되지 못하고 있음. 최근에 서해에서 지진의 발생횟수와 규모가 증가하고 있지만 지진을 유발하는 지체구조에 대한 연구가 미비함 - 우리나라에서는 서해에서 OBS를 이용한 심부 탄성파탐사를 수행하지 못 하였으므로 서해의 지각구조와 한반도까지의 변화를 정확히 모름. 중국에서 관측된 지진자료를 중심으로 수행된 ambient noise tomography결과로부터 개략적인 지체구조를 유추 (그림 2)
-----------	--

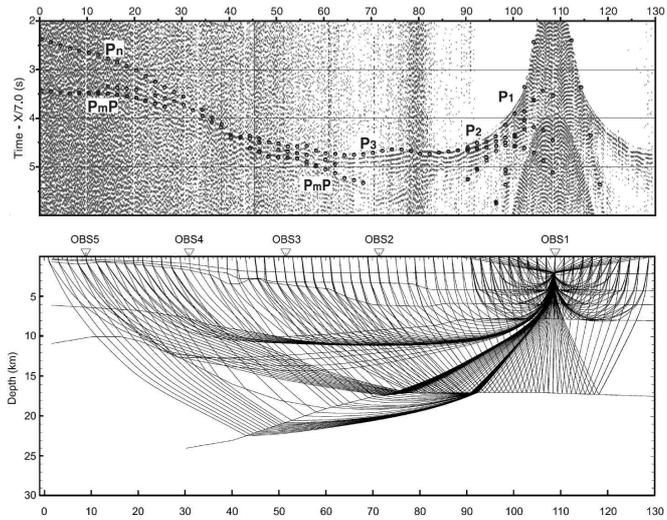


그림 1. 동해에서 얻은 OBS자료와 이로부터 유도한 지각모델.

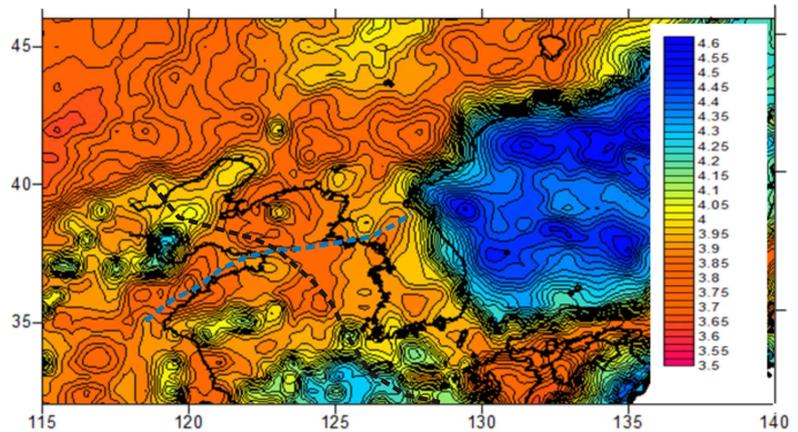


그림 2. 30 km 깊이에서 S파 속도. 서해에 있을 것으로 추정되는 중-한 블록과 남중국 블록간의 충돌경계(푸른 점선)와 아무리아 판 경계(검은 점선)를 표시.

- 모호면이 V_s 가 2.75 km/s인 contour라 가정하면 서해의 지각두께는 한반도와 비슷하고 중한블록/남중국블록의 충돌대라 추정되는 산동반도남단을 따라 지각이 두꺼워진 것을 알 수 있으며 그러한 특징이 한반도의 중부로 연결되는 것처럼 보임 (그림 2).
- 서해는 많은 수의 퇴적분지로 구성되어 있으며 현재 서해에서 발생하는 지진도 분지의 경계부에 존재하는 단층의 활동에 의해서 간주되므로 판경계와 관련하여 퇴적분지의 형성과정을 구명하는 것이 필요함
- 증.자력자료는 광역적이고 대략적인 지구구조를 정성적으로 보여주므로 지진유발과 관련된 정확한 지각구조를 제공할 수 없음

		<ul style="list-style-type: none"> - 서해에서는 리프팅이 활발히 발생하였으며 백령도 해역처럼 모호면의 깊이변화가 심한 것으로 추정되는 지역에서 지진 자주 발생하였음을 감안하면 모호면의 실제 모양과 지각의 실제구조를 구명하기 위한 심부탄성과 탐사가 필요함 - 최근에는 acoustic-elastic full-waveform inversion이 개발되어 OBS에 기록되는 파형자체를 이용하여 지각구조와 상부맨틀구조를 더욱 정확히 해석할 수 있음. 이 연구에서도 이것을 시도하고자 함
연구개발동향	국 내	<ul style="list-style-type: none"> - 한반도 주변해에서 지각과 상부맨틀구조를 구명하기 위한 심부탄성파탐사는 동해에 대해서만 시도 - 대륙지각의 분리와 해양지각의 형성 그리고 일본열도의 이동과 관련한 동해의 진화과정 해석
	국 외	<ul style="list-style-type: none"> - 해역내에서 지진이 발생하는 지각경계에 대한 심부구조를 구명하는 연구는 북미(미국과 캐나다)를 중심으로 활발히 진행되고 있음. 지각구조와 지진활동을 결합하여 해석하는 신기지체구조학(neotectonics)을 통해 지각변형 모델을 제시
파 급 효 과		<ul style="list-style-type: none"> - 연구가 미흡한 서해의 지진지체구조 모델 제시 - 서해에서 발생하는 지진의 특성과 지진재해 대응 대책에 필요한 기반 확립 - 서해의 심부 지진지체구조 연구를 위한 한.중 협력연구체제 마련 - 서해 해저 터널 등의 건설을 위한 지질학적 정보 확보 - 동아시아 판운동의 정확한 해석을 위한 자료로 활용 - 해저면 지진계 제작과 활용성 증대

4. 제안하는 기술의 시장동향 및 규모

가. 시장동향 및 규모

나. 수출입 효과

5. 연구개발사업의 규모 및 추진체계

가. 연구개발사업의 규모

구 분		1차연도	2차연도	3차연도		합계
연구비	정 부	350 백만원	250 백만원	250 백만원		850 백만원
	민 간	백만원	백만원	백만원		백만원
	합 계	350 백만원	250 백만원	250 백만원		850 백만원
개발기간	3 년		연 소요인력			25 명

나. 연구개발사업의 추진체계

기관분류	위치	기관	추진업무
주관기관	국내	연구책임자 박사급 1명	OBS/MCS 탄성파탐사 및 해석 탄성파탐사자료 획득 및 처리 자료해석 연구보조원
		참여연구원 박사급 2명 참여연구원 석사급 1명 참여연구원 학사급 1명	
협력기관	국내	연구책임자 교수 1명 참여연구원 박사과정 1명	Full-waveform inversion을 이용한 OBS자료의 해석 (2차년도 이후 참여)
		지하정보기술(주) 연구책임자 박사급 1명 참여연구원 석사급 1명	
	국외	중국과학원 지질지구물리연구소 박사급 2명 석사급 2명	중국측 대용량의 에어건 조사선활용 협의 중국측 OBS등 장비 제공

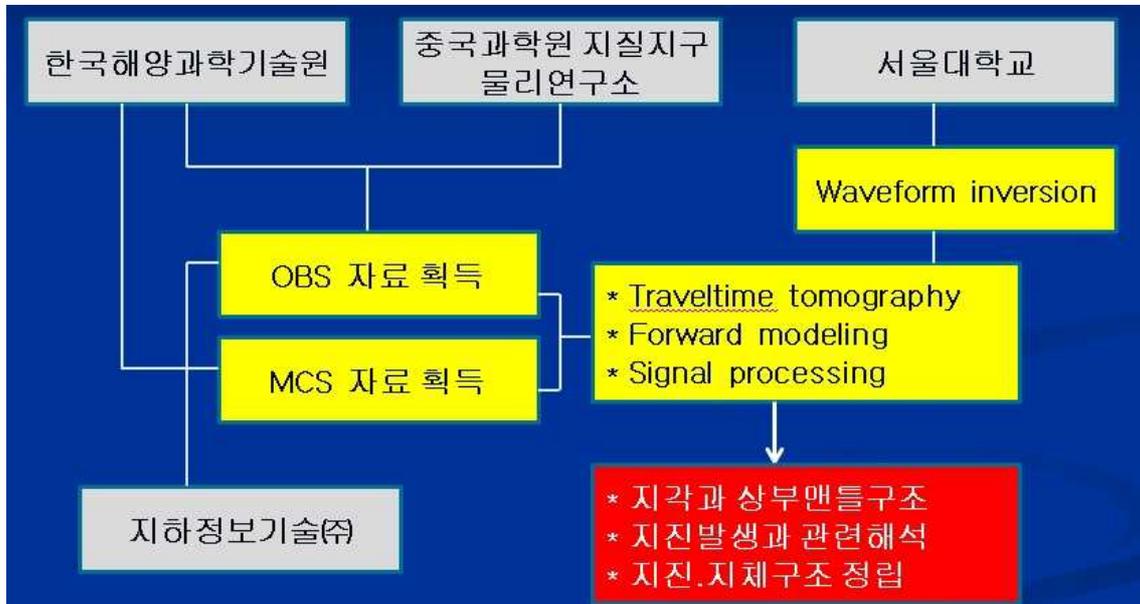


그림 3. 연구개발 추진체계와 연구내용.

6. 기대효과, 활용방안 및 특기사항

- 서해 지진 유발 가능 지각구조 구명 등 지진 위험성 연구에 활용
- 향후 서해에서 지진을 발생시키는 응력장 해석
- 서해를 포함하는 동북아시아의 동적 지체구조 모델 정립
- 서해에 존재하는 판경계의 존재와 분포 결정
- 동북아시아 지체구조 연구의 지진학적 기초자료 생산
- 지진연구 및 지진재해대책의 기초자료 제공
- 서해 지진연구를 위한 한.중 공동협력 관계 구축
- 군산분지의 석유 생성과 집적을 연구하기 필요한 분지퇴적기반구조 제공

(특기사항)

① 측선의 설정

(1) 1번 측선: 중-한 블록과 남중국 블록의 충돌경계 및 백령도 지진지역의 지각구조가 어떻게 변하는지 알기 위해 1번 측선을 설정 (그림 4의 1번 측선)

(2) 2번 측선: 리프팅이 가장 활발히 일어난 군산분지를 가로지르는 측선을 설정하여 (그림 4의 2번 측선) 군산분지와 한반도 사이에서 지각변화를 해석

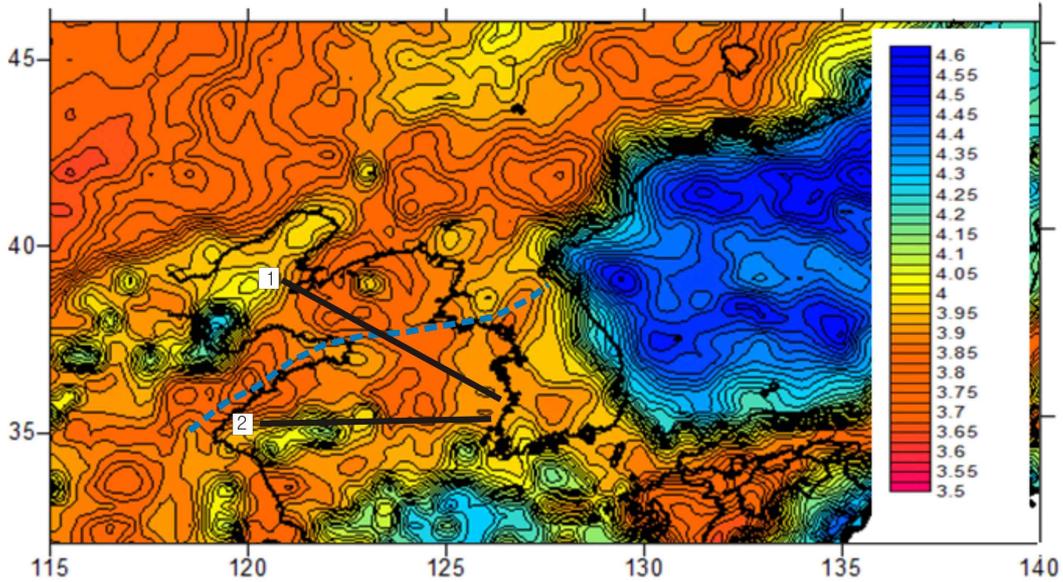


그림 4. OBS 탐사측선 1과 2. 1번 측선은 중-한블록/남중국블록의 충돌경계 및 경기만 지진 다발지역을 가로지르도록 설정. 2번 측선은 서해에서 가장 지각구조의 변화가 클 것으로 예상되는 군산분지를 가로지르도록 설정.

② 하지만, 중국측에서 1번 측선은 정치 군사적으로 민감한 지역을 통과하므로 조사가 불가능하다는 입장을 표시. 따라서 1번 측선에 대해 OBS자료와 다중채널탄성파(MCS)자료를 얻을 수 있음.

③ 2, 3차년도에는 1차년도에 획득한 자료의 정밀 처리와 해석

④ OBS 탐사요구사항

- OBS간격: 5 - 10 km 이내, 측선당 OBS 50개 이상
- OBS 기록율: 초당 1000 샘플이상
- 에어건 용량: 5000 in³ 이상
- 에어건 발파 시간 간격: 1분 이내
- 국내업체(지하정보기술(주))에서 제작한 OBS도 활용
- OBS 자료처리 및 해석: 잡음제거, tomography, full-waveform inversion 포함

⑤ 다중채널 탄성파 (MCS) 탐사 요구사항

- 스트리머 채널: 50 이상
- 에어 건: 1000 in³ 이상
- 에어건 발파간격: 25 m 이하

- 자료처리: 구조보정까지 표준처리, 다중반사 제거 포함

(고려사항)

① 대용량의 에어건 탐사 조사선 사용문제

- 조사선사용료의 상당부분을 중국과학원측이 부담하고 한국에서 작은 부분만 부담하도록 협의되어야 함.
- 우리나라 EEZ에 외국배가 조사하기 위해서는 6개월 전에 해양수산부의 승인을 얻어야 함

② 한.중 공동연구 수행사항

- 연구계획서에 구체적으로 조사측선의 위치, 조사기간, 사용할 OBS의 숫자와 간격, 에어건의 용량 등 한국과 중국측이 수행해야 할 내용이 합의된 것을 기재할 것이 요구됨

7. 기존의 선행연구

가. 동해분지의 해양환경변화와 지구조 진화연구/ 김한준/ 1999

- 내용 : OBS를 이용하는 심부탄성파탐사를 통해 동해의 대륙붕에서 울릉분지까지 지각 구조구명 및 동해의 진화과정 해석
- 동 기술과의 차이점 : 서해는 동해와 지체구조환경이 완전히 다름. 동해는 좁은 대륙사면을 지나면 바로 해양지각으로 이루어진 울릉분지로 구성되지만 서해는 대륙지각의 리프팅에 의해 형성된 퇴적분지로서 한반도의 지질과 거의 비슷한 것으로 해석. 따라서 동해의 심부탄성과 탐사를 통해 확립한 기술을 서해에 적용하여 서해의 지각과 상부맨틀구조를 구하고 지진발생과의 관계를 설명하는 지진.지체구조를 정립하는 것은 새로운 시도임. 또한 서해에서 발생하는 지진의 원인은 동해에서 발생하는 지진의 원인과 다름. 서해의 지진.지체구조를 정확히 해석하는 것은 서해에서 발생하는 지진에 대비하는 연구의 가장 필수적이고 기초적인 연구임

8. 연구개발사업의 제안자 인적사항

성명	김한준	소속기관명	한국해양기술연구원
소속부서	관할해역지질연구단	직위	책임연구원
주소	(TEL) 031-400-6275	(FAX) 031-408-5822	(E-mail) hanjkim@kiost.ac
소속기관주소	(우:426-744) 경기도 안산시 상록수 해안로 787		

9. 제안기술에 대한 평가의 주안점

제안기술에 대한 평가	평가항목 (주요성능)	단위	세계최고수준	연구개발전 국내수준	개발목표치
	가. 해저면지진계 탐사	%	100	90	95

나. 해저면지진계 탐사자료 처리 및 해석	%	100	80	90
다. 다중채널탄성파 탐사	%	100	80	90
라. 지각/맨틀구조 해석	%	100	80	90
마.				
바.				

국가연구개발사업의 기술수요조사서를 제출합니다.

년 월 일

기관장 :

직인

기상청장 귀하

5. 중.자력 자료를 이용한 서해의 지구조해석과 지진발생 관련연구

기술수요조사서

1. 연구개발사업명

연구개발사업명	지진기술개발사업			
연구개발과제명	중.자력 자료를 이용한 서해의 지구조해석과 지진발생 관련연구			
제안기관	공주대학교			
기술분류	국가과학기술표준 분류체계	ND0203	연구개발단계	기초(○), 응용(), 개발()
	부처별 기술분류체계	A0701	혁신·도약형 과제 해당여부	해당(혁신)
총연구기간	(3)년	총연구비	(150)백만원	

2. 연구개발의 목표 및 내용

연구개발의 목표	포텐셜자료를 이용한 서해지역의 심부지구조를 해석하고 지진발생과 관련된 지체구조를 해석
연구개발의 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 서해의 중.자력 자료 종합 수집 및 재처리 <ul style="list-style-type: none"> - 기존자료들의 서로 다른 탐사기간 및 처리방법에 따른 연속성 문제를 해결 • 포텐셜 필드 위성자료 수집 및 처리 <ul style="list-style-type: none"> - 공유 가능한 첨단 위성자료들을 획득하여 이를 여러 기술 등을 이용해 처리 • 서해의 포괄적 규모의 자력이상 및 중력이상 지도 제작 <ul style="list-style-type: none"> - 처리된 해상/위성자료 등을 이용하여 이상지도 제작 - 중국 및 한반도의 지체구조와 연결성 해석 • 이상대 분포를 이용한 지구조 및 단층대 해석 <ul style="list-style-type: none"> - 이상대와 단층대 연관성 해석 • 서해의 퇴적구조와 지각두께 추정 <ul style="list-style-type: none"> - 기반암까지의 깊이 추정을 통해 퇴적층의 수직·수평범위 파악 - 중력이상에서 유추한 모호면 심도 및 지각두께 추정

3. 연구개발 동향 및 파급효과

연구개발의 필요성	<ul style="list-style-type: none"> • 포텐셜자료를 이용하여 서해지역의 광역적인 지구조 환경을 규명 • 지각두께를 파악하여 지진발생과 연계 해석 • 첨단 위성자료 분석을 통한 인력 양성 및 기술 보급 효과
연구개발동향	국 내 <ul style="list-style-type: none"> • 제한적 연구가 이루어지고 있음 (군산분지 지역 위주) • 석유탐사를 위한 퇴적구조파악에 제한적으로 사용됨 • 자력 위성 연구는 전무함

		<ul style="list-style-type: none"> • 해상 포텐셜 자료의 입수가 제한되어 연구에 제약 • 포텐셜 자료의 신뢰성을 가중시킬 수 있는 지진파 자료의 부족
	국 외	<ul style="list-style-type: none"> • 중국에서 본토, 서해, 남중국해 등에 가장 활발한 연구진행 • 포텐셜 위성 자료처리 기술은 유럽 및 미국이 주도 • 위성자료를 통한 지각연구를 부분적으로 수행
파 급 효 과		<ul style="list-style-type: none"> • 서해지역 지구조의 올바른 해석을 통해 이와 관련된 파생연구 기대 • 지진발생 가능 지역 파악에 활용 • 자원 개발 연구의 기초자료 제공 • 위성을 통한 광역적 국제연구 동참

4. 제안하는 기술의 시장동향 및 규모

가. 시장동향 및 규모

지진발생가능지역 예측기술에 대한 수요가능성 타진

위성처리기술의 자동화를 통해 다양한 2차 결과물 개발

나. 수출입 효과

5. 연구개발사업의 규모 및 추진체계

가. 연구개발사업의 규모

구 분		1차연도	2차연도	3차연도	합계
연구비	정 부	50 백만원	50 백만원	50 백만원	150 백만원
	민 간	백만원	백만원	백만원	백만원
	합 계	백만원	백만원	백만원	백만원
개발기간		3 년	연 소요인력 4명		12/년 명

나. 연구개발사업의 추진체계

기관분류	위치	소속기관	추진업무
주관기관:	(국내)	공주대학교	국내 해상자료 재처리
		연구책임자 박사급 1명 연구보조원 석사급 3명	위성자료 처리 및 이상지도 제작 연구보조원 석사급 3명
협력기관:	(국내)	한국해양과학기술원	연구자문
		박사급 2명	탄성파 및 지진파 자료 제공
	(국외)	중국과학원 석유개발부	가능 자료제공
		박사급 2명	연구자문
		석사급 2명	중국측 연구결과 교류

6. 기대효과, 활용방안 및 특기사항

가. 기대효과

- 서해안 일대의 지진 유발 지구조 해석
- 서해지역에 존재할 가능성이 높은 지구대와 단층선을 규명
- 추후 이지역의 시추사업에 기본 자료로 활용
- 새로운 한반도 지구조 해석 가능성
- 포텐셜 필드 위성 연구 활성화
- 서해 퇴적분지의 구조를 파악하여 자원연구에 활용
- 퇴적 및 지구조 파악을 통한 해저 SOC 사업(케이블망, 송유관)의 기초 자료 제공

나. 활용방안 및 특기사항

- 지진발생가능 지역에 대한 대비책 강구
- 서해지역의 포텐셜필드 자료의 DB화 구축으로 연구 촉진
- 모호면 연구와 연관된 관련분야와의 공동 연구 추진
- 중국과의 공동 연구를 계기로 다국적 국제 공동 연구 마련

7. 기존의 선행연구

가. 과제명/한중인접 퇴적분지의 공동조사

주관연구책임자/오재호

연구기간/2006

- 내용 : 서해에 발달한 퇴적분지와 서해에 인접하는 한국과 중국의 육상 퇴적분지를 비교 연구하여 층서 대비, 분지 발달과정을 규명함으로써 군산분지 혹은 흑산분지에 대한 새로운 석유탐사 개념을 도출하는 것을 목적
- 동 기술과의 차이점 : 퇴적분지보다 지구조적 환경을 파악

8. 연구개발사업의 제안자 인적사항

성명	김형래	소속기관명	공주대학교	
소속부서	지질환경학과	직위	부교수	
주소	(TEL)041-850-8516	(FAX)041-850-8953	(E-mail)kimhr@kongju.ac.kr	
소속기관주소	충남 공주시 신관동 182			

9. 제안기술에 대한 평가의 주안점

제안기술에 대한 평가	평가항목 (주요성능)	단위	세계최고수준	연구개발전 국내수준	개발목표치
	가. 위성처리기술	기술	100 %	70 %	90 %
나. 중·자력자료 처리기술	기술	100 %	80 %	100 %	
다. 자료병합기술	기술	100 %	90 %	100 %	
라. 자료해석능력	기술	100 %	70 %	100 %	
마. 지진발생가능 추정기술	기술	70 %	60 %	70 %	

국가연구개발사업의 기술수요조사서를 제출합니다.

년 월 일

기관장 :

직인

기상청장 귀하

3 절. 서해와 관련하여 한반도의 지진·지체구조 연구를 위한 과제

1. 연구개요

서해와 한반도간 지각이 연결되는 전이지역의 구조는 지진학적으로 매우 중요하다. 이를 위해 (1) 해양 탐사측선과 거의 직선으로 연결되는 측선을 한반도에 설정하고, (2) 해양 탐사와 같은 해상도를 가지도록 탐사를 설계하고, (3) 해양탐사와 동시에 실시하여 해상의 airgun 신호를 육상 탐사 측선에 설치된 지진계에서 기록함과 동시에 해저에 설치된 OBS에서도 육상에서 사용하는 지진동원(주로 시추공 발파)의 신호를 기록하는 것이다.

지진지체구조 연구에 필요한 자료는 지각 및 상부 맨틀을 포함하는 깊이까지의 조구조이다. 조구조의 육상 및 해상탐사 결과와 같은 높은 해상도를 구가할 필요는 없으므로 지진자료 역산에서 도출할 수 있으며, 적합한 방법은 수진함수 분석에 의한 속도구조 도출이다. 수진함수 분석을 위한 지진관측소의 위치는; (1) 해양 탐사측선과 거의 직선으로 연결되는 선상에서, (2) 수진함수의 해상도를 고려한 간격으로 설치하고, (3) 여러 방향의 후방위각(back-azimuth)에서 발생한 충분한 숫자의 규모 6.0 이상의 원거리 지진을 관측할 수 있는 기간 동안 운영하여야 한다.

서해 지진지체구조 해석 및 규명에 있어서 개략적인 대상은; (1) 남중국지괴와 북중국지괴를 결합한 충돌융합대(collision belt)의 한반도 지역에서 연장선의 위치, (2) 한반도 지역에서 융합대를 600 km 이상 전이시킨 것으로 사료되는 Tanlu단층에 대비되는 단층의 존재 및 조구조적 역할, (3) 최근 Chang and Zhao (2012)에 의해서 제안된 Yellow Sea Transform Fault의 존재 및 조구조적 역할을 들 수 있으며 Fig. 3-3-1-1에 제시하였다. 그림 1에는 개략적인 대상과 이들 해석에 중요한 역할을 할 수 있는 군산분지의 구조를 밝힐 수 있는 2개의 해양 탐사측선과 그 연장선이 표시되어 있다. 제1탐사선의 육상연장은 군산-거제 측선에 해당하며, 제2탐사선의 육상연장은 군산-여수 측선에 해당한다.

앞에서 기술한 연장된 육상 지각규모 탄성파탐사선은 KCRT(Korean Crust

Research Team; 한반도지각연구팀)이 기상기술개발원 장기연구사업으로 추진하고 있는 “한반도 지각 속도구조 연구”사업의 부분으로 활용할 수 있으므로 사업 최종목표인 “한반도 및 주변해역에서의 지역적으로 수평 5-km, 수직 2.5-km 이상의 해상도를 구가하며, 지진업무 및 연구에 실제로 활용되는 3차원 지각 속도구조를 도출”에 일조할 수 있다. KCRT가 기수행한 측선과 사업 최종목표 달성을 위한 추가 측선을 Fig. 3-3-1-2에 제시하였다.

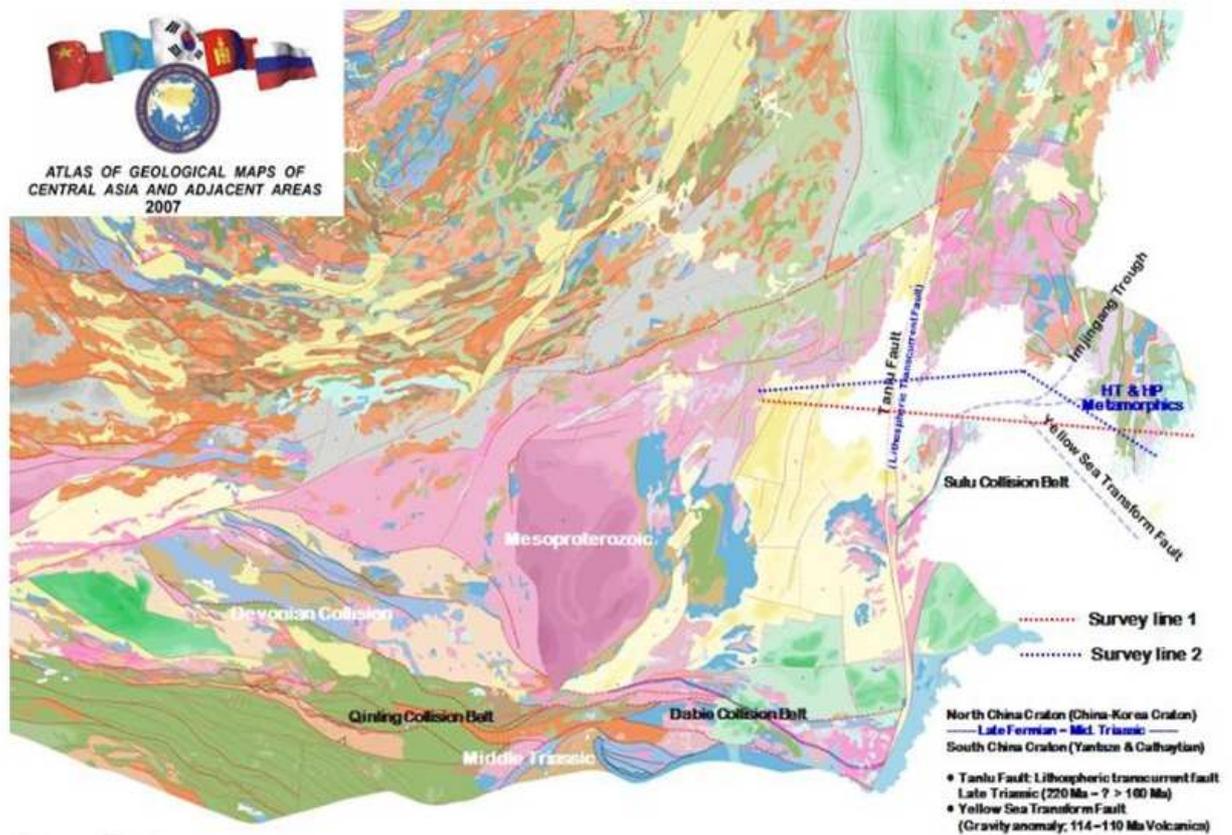


Fig. 3-3-1-1. The location of the proposed line for deep seismic sounding in the Yellow Sea and its extension in the Korean Peninsula.

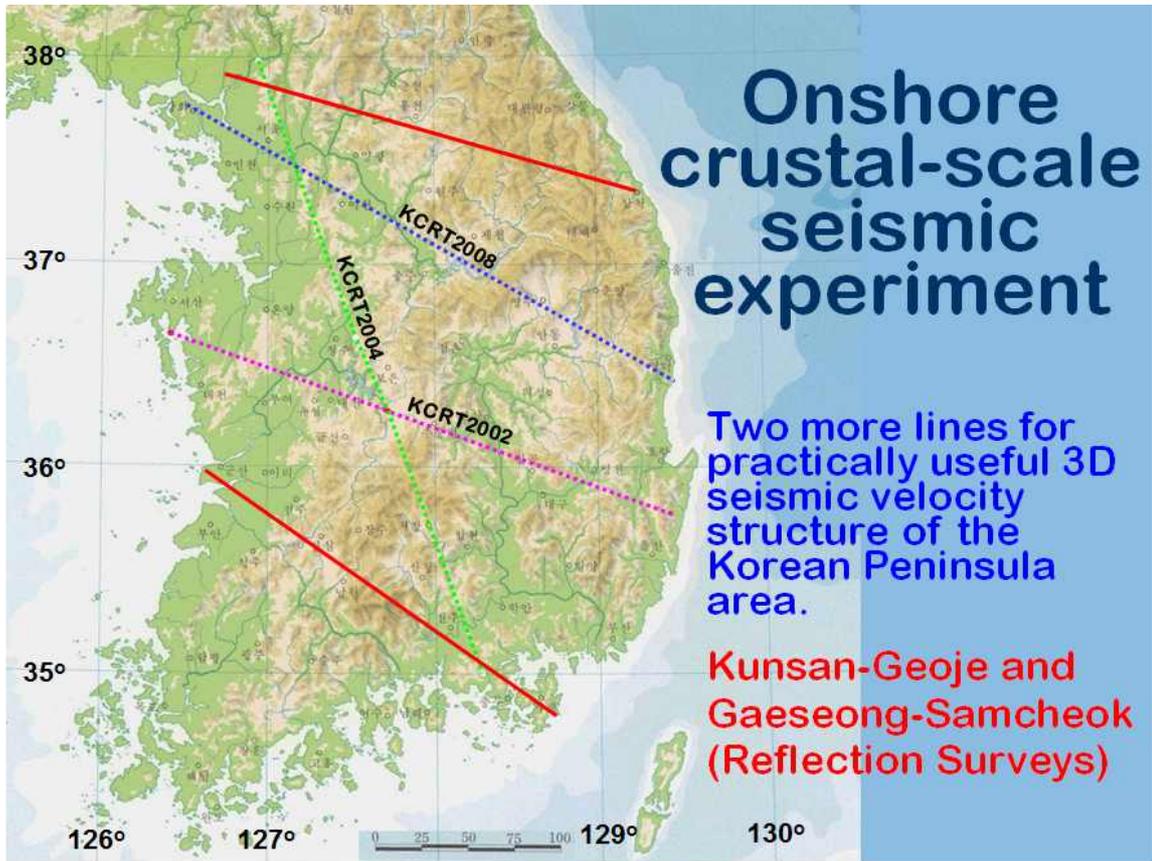


Fig. 3-3-1-2. Locations of the lines for deep seismic sounding performed by KCRT (dashed lines) and additional lines needed (red lines).

가. 육상 지각규모 탄성과 탐사

해상탐사에 있어서는 airgun shooting 비용이 OBS 설치 및 회수 비용보다 저렴하므로 많은 shooting에 적은 숫자의 OBS로 구성된 실험을 수행하여 receiver gather profile을 기본으로 분석 및 해석을 실시하는 반면, 육상탐사에 있어서는 지진계 설치 및 회수 비용이 시추공 발파 비용보다 저렴하므로 많은 지진계를 설치 및 운영하고 적은 숫자의 시추공 발파로 구성된 실험을 수행하여 source gather profile을 기본으로 분석 및 해석을 실시한다. 탄성과 전파에는 reciprocity가 적용되므로, 육상탐사에서 발파점 간격과 지진계 설치간격을 해상탐사의 OBS 간격과 airgun shooting 간격으로 각각 설정하면 같은 해상도를 구가할 수 있다.

제안된 제1 탐사선의 육상연장 군산-거제 측선은 최대 직선거리 225 km, 제2탐사선의 육상연장 군산-여수 측선은 최대 직선거리 175 km가 된다. 해상탐사에 있어서 10-km OBS 설치 간격과 250-m airgun shooting 간격을 각각 가정할 경우, 군산-거제 측선에는 23개의 시추공 발파와 900개의 지진계 설치가 필요하며, 군산-여수 측선에는 18개의 시추공 발파와 700개의 지진계 설치가 필요하다. 시추공 발파 중 서쪽 끝에 위치하는 발파는 4 ton 규모의 발파를 실시하여 되도록 많은 숫자의 서해에 설치된 OBS에 기록되게 하여 육상연장 효과를 최대화 하며, 각 측선의 1/3, 2/3과 동쪽 끝에 위치하는 발파는 1 ton 규모의 발파를 실시하여, 지각 내부 속도 불연속면과 모호면에 의하여 발생하는 굴절과를 연결하도록 하여 반사파 분석 및 해석에 효율을 극대화 한다.

지진계는 미국 IRIS (Incorporated Research Institute for Seismology)의 Reftek R125 (24-bit, 1,000 sps) 기록계와 4.5-Hz 수직성분 수진기로 구성된 이동식지진계 1,000대를 임차하여 이용할 예정이며 세부 내용은 Fig. 3-3-1-3을 참조하기 바란다. 전 세계적으로 규격이 같은 육상탐사용 이동식지진계를 1,000대 이상 보유하고 있는 기간은 IRIS 뿐이며, IRIS는 장비를 세계 각국에 대여하므로, 최소한 사용예정기간 2년 전에 임차신청을 하여야한다. 일반적으로 이 기간에 탐사준비작업을 한다. 탐사준비작업에는 실험디자인, 가능 지진동원 위치조사, 시추공발파 환경평가, 지진동원 위치결정, 이동식지진계 설치장소 조사 등이 포함되며 약 6 명의 연구원과 약 40 명의 연구조원(실험 수행 시 조장으로 활동)이 비정기적으로 계속 작업을 하여야 한다. 실험수행 시에는 약 350 명의 관측요원이 추가로 투입되어야 하며, 실질적인 관측기간은 측선 당 3일 정도이며, 관측지점으로 이동 및 이동식지진계 설치와 회수 기간이 추가된다.

육상탐사에서 가장 많이 소요되는 비용은 지진동원 비용이다. 육상탐사에 이용할 시추공 발파 사진 예를 그림 4에 제시하였다. 앞에서 기술한 지진동원 단가를 이용하여 2개의 측선(225-km와 175-km)을 기준으로 하여 탐사비용을 계상하고, 그 세부내역을 Table 3-3-1-1에 제시하였다.

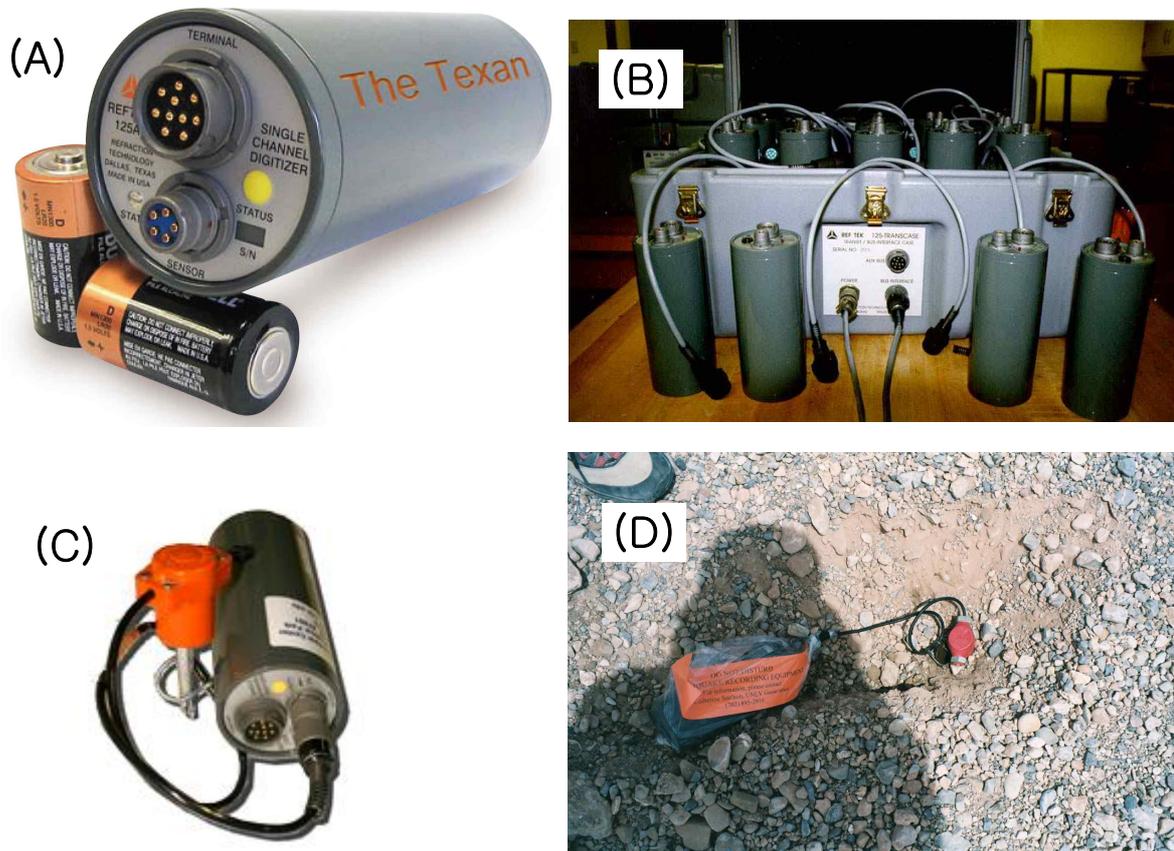


Fig. 3-3-1-3. Seismic sensor and recorder used on land. (a) Recorder and D-cell batteries, (b) Control box for multiple recorder, (c) A sensor connected to the recorder, (d) Recorder with a sensor installed on site. The unit is wrapped in plastic for preventing flooding.

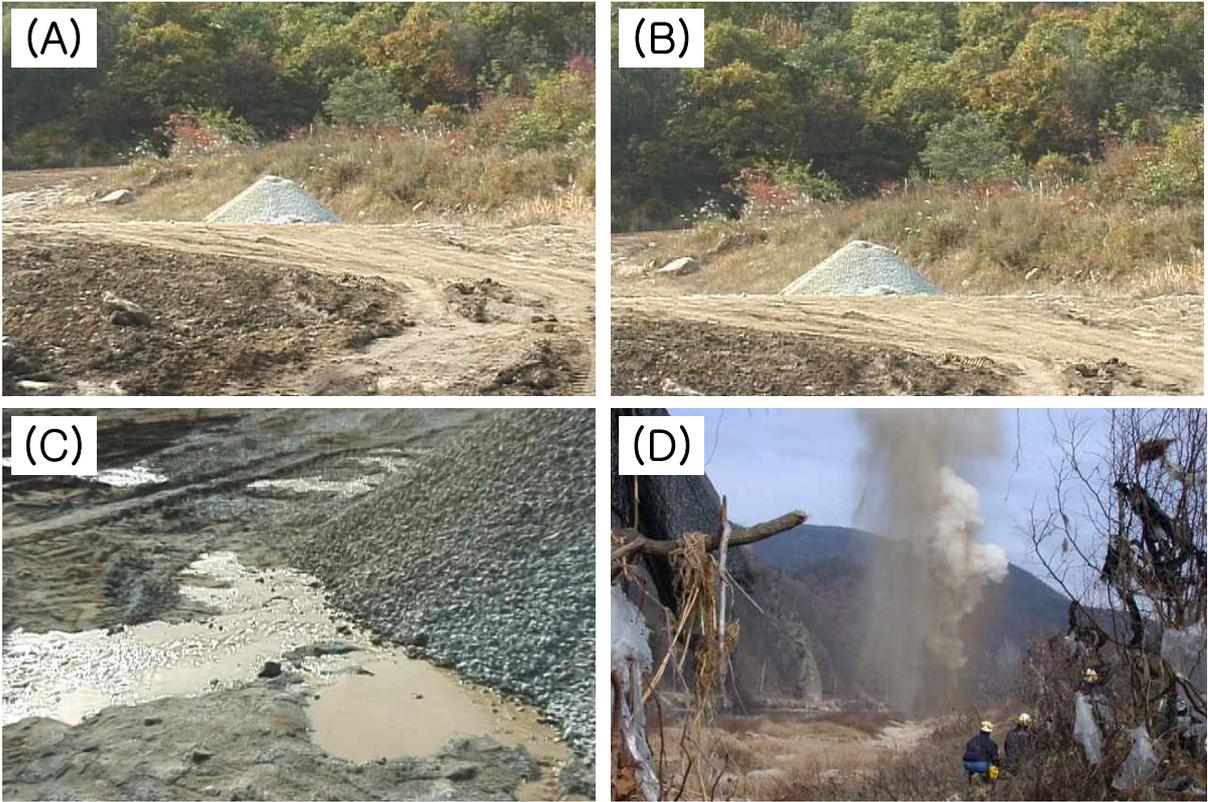


Fig. 3-3-1-4. Examples of drill hole blasting for land deep seismic sounding. (a), (b), and (c) Experiments with 1.5 ton explosive in 2008. (d) Experiment with 0.5 ton explosive in 2002.

Table 3-3-1-1. 육상탐사수행비용 세부내역

항 목	규 격	단 위	수 량	단 가	합 계
시추공발파 지진동원	4 ton	공	2	250,000,000	500,000,000
시추공발파 지진동원	1 ton	공	6	60,000,000	360,000,000
시추공발파 지진동원	250 kg	공	33	30,000,000	990,000,000
실험수행차량 임차†	4x4 및 승합	대	60	1,750,000	105,000,000
실험관측요원 인건비†	대학재학 이상	인	400	300,000	120,000,000
실험관측요원 출장비**	대학재학 이상	인	400	450,000	180,000,000
실험관측요원 안전보험†	대학재학 이상	인	400	7,000	2,800,000
이동식지진계 운송비	Refttek R125	대	1,600	60,000	96,000,000
이동식지진계 동산보험‡	Refttek R125	대	1,600	10,000	16,000,000
대여장비 운영자 기술비‡	Refttek 전문가	인	2	12,000,000	24,000,000
대여장비 운영자 출장비‡	Refttek 전문가	인	2	8,000,000	16,000,000
실험수행 출장비**	책임급	인	4	2,220,000	8,880,000
실험수행 출장비**	원급	인	20	1,360,000	27,200,000
이동식지진계 배터리	D-cell	개	3,200	2,500	8,000,000
관측현장유지 및 재료비*	10인 1조 기준	조	40	200,000	8,000,000
지진동원 위치 조사	시추공	공	41	2,000,000	82,000,000
이동식지진계 설치장소 조사	지진계설치 장소	개소	1,600	150,000	240,000,000
실험수행 연구조원 인건비	대학원재학 이상	인	40	15,000,000	600,000,000
자료정리 및 초기분석 요원	책임급	인	1	400,000,000	400,000,000
참여연구원 연구수행비	책임급	인	4	250,000,000	1,000,000,000
소 계					4,783,880,000
실험 예비비	소계의 2.4%				116,120,000
총 계					4,900,000,000

† 실험수행 기간인 1주일 단위로 계상함.

* 교통비는 실험수행차량을 이용하며 공무원 여비기준을 준수함.

‡ 장비 검정, 설정, 실험수행 및 자료 download 기간을 포함한 20일 기준임.

위치선정, 발파환경평가(지진동원 제공 기술용역에 포함) 및 시추공 착정 후 정밀측량 및 발파지연시간 측정을 위한 VSP(Vertical Seismic Profiling) 포함.

2008년 지각규모 탄성과 실험에서 설치장소 당 평균 125,000원이 소요되었으며, 물가상승을 고려하여 150,000원으로 계상함.

사업수행기간인 5년분을 계상함.

기술수요조사서

1. 연구개발사업명

연구개발사업명	지진기술개발사업			
연구개발과제명	서해 해역의 지진지체구조와 관련한 한반도 육상 지각규모 탄성파실험			
제안기관	경북대학교			
기술분류	국가과학기술표준 분류체계	ND0202	연구개발단계	기초(), 응용(√), 개발()
	부처별 기술분류체계	A0701	혁신·도약형 과제 해당여부	해당(√)
총연구기간	(5)년	총연구비	(4,900)백만원	

2. 연구개발의 목표 및 내용

연구개발의 목표	서해 해역 심부 탄성파탐사 해양측선 연장선에서 육상 지각규모 탄성파탐사
연구개발의 내용	서해 해역 심부 탄성파탐사 해양측선 연장선에서 육상 지각규모 탄성파실험을 실시하고, 획득한 자료를 분석 및 해석하여 속도구조 단면도를 도출하고 해석함.

3. 연구개발 동향 및 파급효과

연구개발의 필요성	최근 서해 해역에서 발생한 다수의 규모 5.0에 준하는 지진들(홍도인근지진, M=4.9, 2003/03/23; 백령도지진, M=5.0, 2003/03/30; 흑산도인근지진, M=4.9, 2013/04/21; 백령도인근지진, M=4.9, 2013/05/18)의 지진원 특성을 규명하기 위하여 서해 해역의 지진지체구조 및 단층활동 특성에 관한 정보가 요구된다. 판구조론적으로 한국과 중국은 같은 유라시아판 내부에 위치하나, 지진 발생 양상은 많은 차이를 보이며, 체계적인 광역적 지진지체구조 모델이 성립되지 않은 상태이다. 특히 남중국지괴와 북중국지괴의 봉합대가 한반도에서 어디로 연장되며, 중국의 탄루단층에 대비되는 단층의 존재 여부에 따라 지진재해에 많은 영향을 미치는 지진원의 해석이 달라진다. 이를 규명하기 위해서 서해 해역에서 OBS를 이용한 해양 심부 탄성파탐사가 기획되고 있다. 해양 심부 탄성파탐사의 결과를 정확하게 해석하고, 결과를 충분히 활용하기 위하여 육상 연장선에서 같은 해상도와 가탐심도를 가지는 지각규모 탄성파탐사가 수행되어야 한다.	
연구개발동향	국 내	국토를 횡단하는 3개의 측선에서 지각규모 육상 탄성파실험을 수행하고 분석 및 해석 완료하였으며, 지진업무와 연구에 실질적으로 사용될 수 있는 3차원 지각속도구조를 도출하기 위하여 추가적인 탄성파실험을 추진하고 있다.
	국 외	미국, 일본, 캐나다, EU 등 선진국에서는 지난 50년 동안 자국의 영토에서 육상 및 해상 탄성파실험을 수행하여 많은 지질학적 문제를 해결하였으며, 미세한 지질구조에 의한 현상을 구명하기 위하여 정밀도와 해상도가 높은 실험을 추진하고 있다. 중국은 여러 기관들이 수십개의 측선에서 지각규모 육상 탄성파실험을 수행하고 분석하여 지역적으로 3차원 지각속도구조를 도출하여 지진 조구조적 해석을 실시하였으며, 연안지역에서 해상 탄성파실험을 병행 추진하고 있다.
파 급 효 과	• 한국과 중국을 연계한 광역적 지진재해 평가를 위한 기반 구축	

	<ul style="list-style-type: none"> • 한국과 중국의 서로 대비된 지각구조와 지각변동 모델 구축 • 지진발생과 관련된 지각구조의 변화와 운동 특성 구명 • 지진업무 및 연구에 활용 (지진업무에 파급효과는 효율적인 국가지진방재 업무 수행, 정확한 지진조기경보와 통보 등이며, 연구 분야에 있어서는 지진학뿐만 아니라 지질학의 획기적인 발전으로 이어짐) • 해저 터널 등 중요 국책사업등과 같은 효율적인 국토활용을 위한 필수적인 지질정보 제공
--	---

4. 제안하는 기술의 시장동향 및 규모

가. 시장동향 및 규모

지각구조에 관한 정보는 지구과학에 있어서 원천지식으로 화산활동을 포함한 지질재해 및 지진 재해 평가에 기반이 된다. 선진국에서는 지난 50년 동안 자국의 영토에서 육상 및 해상 탄성파 실험을 수행하여 많은 지질학적 문제를 해결하였으며, 최근에는 미세한 지질구조에 의한 현상을 구명하기 위하여 정밀도와 해상도가 높은 반사파실험을 수행하고 획득한 자료를 분석·해석하고 있다. 앞에서 기술한 내용은 연구동향이며, 사실 도출된 지각 속도구조는 시장동향에 영향을 받지 않는 국가지진업무 및 연구에 필수적인 기본 자료다.

나. 수출입 효과

해당사항 없음.

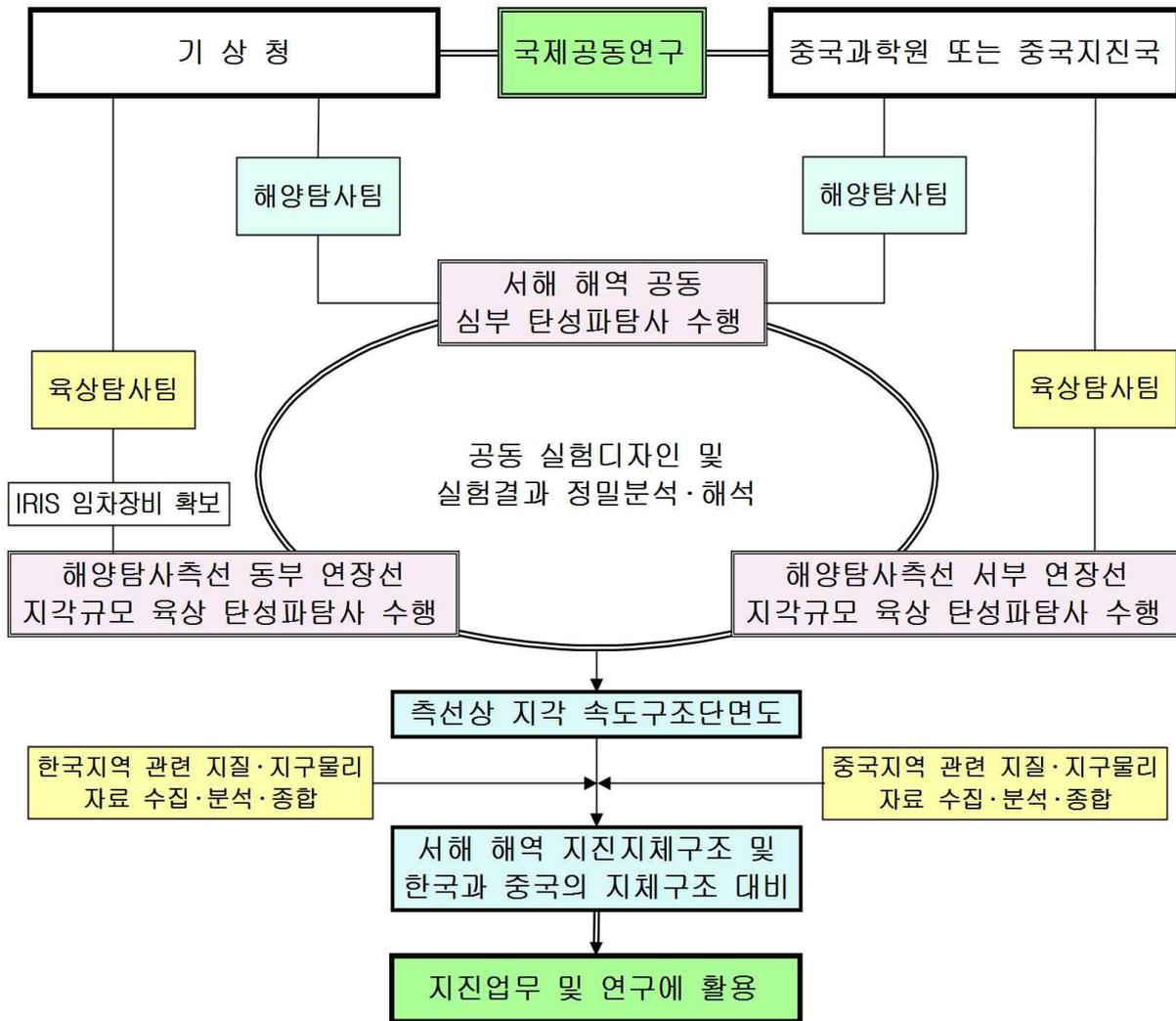
5. 연구개발사업의 규모 및 추진체계

가. 연구개발사업의 규모

구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	합계
연구비	정 부	700백만원	1,500백만원	1,500백만원	600백만원	600백만원	4,900백만원
	민 간	0백만원	0백만원	0백만원	0백만원	0백만원	0백만원
	합 계	700백만원	1,500백만원	1,500백만원	600백만원	600백만원	4,900백만원
개발기간	5년			연 소요인력		45명	

나. 연구개발사업의 추진체계

육상 지각규모 탄성파실험을 수행하기 위하여 1,600대의 이동식 지진계와 400명의 관측요원이 동원되어야 한다. 현재 1,600대의 이동식 지진계를 보유하고 있는 기관은 미국의 IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology)이며, 자격을 갖춘 400명의 관측요원을 공급할 수 있는 기관은 대학뿐인 것으로 사료된다. 따라서 실험수행은 대학연합을 구성하여 수행하여야 할 것이며, 이동식 지진계는 IRIS에서 임차하여야 한다. 실험 수행에 있어서 해양 심부탐사팀과 지속적으로 접촉하고 정보를 공유하여 실험을 디자인하고 잠정적인 실험기간을 결정하여야 한다. 잠정적인 실험기간이 결정되면 이동식 지진계를 대여하여야 할 IRIS와 접촉하여 이동식 지진계 임대계약(일반적으로 2년 정도의 기간이 필요함)을 하고 최종 실험일자를 결정하여야 한다. 또한 해양측선 서쪽 연장 육상탐사를 수행할 중국팀과 협의하여 측선의 최대한의 대칭성을 유지하도록 할 것이며 해양 심부탐사와 해상도가 같도록 구체적인 실험디자인을 하여야 할 것이다. 육상탐사가 해양탐사와 동시에 이루어지도록 최대한 노력할 것이며, 동시에 수행되지 않을 경우 연결부위에 해상도가 낮아질 것에 유의하여야 한다. 과제수행내역을 전체적인 사업내용에 따라 추진체계를 도식화 하면 다음과 같다.



6. 기대효과, 활용방안 및 특기사항

지각구조에 관한 정보는 지구과학에 있어서 원천지식으로 지질 및 지진에 의한 자연재해 평가에 기반이 된다. 한국과 중국은 같이 유라시아판 내부에 위치하나, 지진 발생양상은 많은 차이를 보이며, 국내에서는 체계적인 지진구조 모델이 성립되지 않은 상태이다. 중국에서는 남중국지괴와 북중국지괴의 조구조적 차이와 봉합대의 특성을 밝히고 이와 더불어 여러 가지 지각변동을 규명하여, 현생 지각 응력체계와 동역학적 해석을 한 모델을 제시하여 지진 및 지질재해 평가에 이용하고 있다. 국내에서의 봉합대 연장선은 지질학자들 사이에 몇 가지 가설로 논의되고 있는 상황이며, 아무리안판의 존재와 경계면의 위치 역시 가설 수준에서 논의 되고 있다. 본 과제에서 도출되는 서해 해역 속도구조 단면도는 이들에 대한 지구물리학적 증거를 제시하여 지진재해 평가에 기본이 되는 지진원 특성 해석의 신뢰도를 높일 것이며, 도출된 지각 속도구조는 국가지진업무 및 연구에 필수적인 기본 자료로 활용될 것이다.

7. 기존의 선행연구

가. 과제명/ 주관연구책임자/ 연구기간 :

- (1) 한반도 지각 속도구조 연구 / 이정모 / 2000.09~2003.04
- (2) 한반도 지각 속도구조 연구 / 이정모 / 2003.06~2006.03
- (3) 탄성파 실험에 의한 지각 속도구조 연구(강화-여주-단양-영덕 측선에 대한 광각반사-굴절파실험) / 이정모 / 2007.12~2009.01

○ 내용 : (1), (2), (3)은 육상 지각규모 탄성파실험을 서산-영동-경주, 연천-증평-영동-고성 및

강화-여주-단양-영덕 측선에서 실시하고, 획득한 자료를 분석하여 속도단면도를 도출하였다. 도출된 속도단면도를 다른 지질학적 자료를 이용하여 구조 및 암석학적으로 해석하였다.

- 동 기술과의 차이점 : (1) 측선의 위치가 다르며, (2)해양 심부탄성파탐사 연장선에서, (3) 육상과 해양에서 같은 해상도를 유지하는 육상 지각규모 반사파실험을 해양 심부탄성파탐사와 동시에 수행하는 것이다. 결과적으로 육상과 해양을 연결하는 훨씬 정밀한 지각 속도구조를 도출하며, 미세한 구조에 의한 현상을 구명할 것이다.

8. 연구개발사업의 제안자 인적사항

성명	이정모	소속기관명	경북대학교
소속부서	지질학과	직위	교수
주소	(TEL) 053-950-6347	(FAX) 053-950-5362	(E-mail) jung@knu.ac.kr
소속기관주소	대구광역시 북구 대학로 80		

9. 제안기술에 대한 평가의 주안점

	평가항목 (주요성능)	단위	세계최고	연구개발전	개발 목표치
			수준	국내수준	
제안기술에 대한 평가	가. 탄성파 실험 디자인 및 준비 능력		정량적인 평가 불가능		세계최고수준
	나. 육상 탄성파실험 수행 능력 (자료 가득률)	%	90	85	90
	다. 육상 탄성파실험 자료 분석 능력		정량적인 평가 불가능		세계최고수준
	라. 해상 탄성파실험 자료 분석 능력		정량적인 평가 불가능		세계최고수준
	마. 분석결과 해석 능력		정량적인 평가 불가능		세계최고수준

국가연구개발사업의 기술수요조사서를 제출합니다.

2014년 1월 31일

기관장 :

직인

기상청장 귀하

210mm×297mm[일반용지 60g/m²(재활용품)]

나. 수진함수 분석에 의한 지각 속도구조

수진함수 분석에 의한 지각 속도구조 기법은 비교적 잘 알려진 방법으로 여러 지역에 적용되어 많은 결과를 도출하였다. 역산에 있어서 비유일성 문제는 유전자 알고리즘(genetic algorithm)같은 발전된 역산방법으로 해결되었으며, 속도구조 보다 속도 불연속의 정도에 민감한 수진함수 자체의 문제는 속도구조에 보다 민감한 표면파 분산과 연합역산을 실시함으로 많은 부분이 해결되었다. 이론적으로 남은 문제는 deconvolution에 따른 side effect를 최소화 하는 것으로 사료되며, 자료수집에 결과의 우수성이 의존하는 경향을 보이고 있다. 따라서 “수진함수 분석에 의한 지각 속도구조”분야는 지진계의 선택 및 구매와 임시지진관측소 설치 및 운영에 중점을 두어야 할 것이다.

임시지진관측소의 위치는 앞에서 설명한 제1탐사선의 군산-거제 육상연장선과 제2탐사선의 군산-여수 육상연장선에 위치하게 되며, 수진함수가 약 15 km 반경의 구조를 평균한 결과를 보이므로 임시지진관측소의 간격은 15 km 적합한 것으로 사료된다. 각 측선에서 150 km 정도의 거리에 해당하는 속도구조 도출을 목표로 할 경우 측선 당 각각 10개의 임시관측소를 설치하고 운영하여야 한다. 이 경우 위치 선택이 제한적이므로 배경잡음이 높은 지역일 경우에는 시추공 관측소를 설치하여야 할 것이다. 이에 따른 지진계를 선택하여야 할 것이다. 지진통보가 아닌 연구 목적의 관측소이므로 운영은 on-line 또는 off-line을 선택할 수 있으나, on-line의 경우 전원 및 통신선 설치 및 사용료가 소요되며, off-line의 경우 1개월에 1회 또는 2회 관측소를 방문하여 자료 down load와 battery 교체를 하여야 하므로 출장비가 많이 소요된다. on-line과 off-line 운영비용은 지역적으로 편차를 보이므로 경제성을 비교하여 선택하여야 할 것이며, 10 km 거리 정도로 분산되어 있으므로 하나의 방법으로 통일하는 것이 용이성과 경제성에 있어서 유리하다.

지구상에서 규모 7.0 이상의 천발지진 연평균 발생횟수는 17회임을 고려할 때, 여러 방향의 후방위각(back-azimuth)에서 발생한 충분한 숫자의 규모 6.0 이상의 원거리 지진을 관측할 수 있는 기간은 최소한 3년 이상으로 사료된다. 사전조사, 기기선택 및 도입, 설치 및 철거 기간을 고려할 경우 과제 수행기간은 5년으로 추진되어야 할 것으로 사료된다. 만일 자료부족이 순수하게 지진발생의 무작위성(randomness)에 의하여 발생한 경우, 과제 수행자에게 불이익이 없도록 수행기간을 연장하도록 하여야 할 것이다. 연구수행비 세부내역을 표 2에 제시하였다. 표 2에 제시된 5년간 전체 연구수행비는 20억원에 달하나 대부분이 임시지진관측소 설치 및 운영비(14.53억원)에 해당한다.

Table 3-3-1-2. 수진함수 분석에 의한 지각속도구조 수행 세부내역

항 목	규 격	단위	수량	단 가	합 계
지진계 (seismometer)†	광대역	대	20	20,000,000	400,000,000
기록계 (seismic data recorder)*	24-bit	대	20	15,000,000	300,000,000
지진관측소 설치비‡	지표/시추공	소	20	10,000,000	200,000,000
지진관측소 철거비‡	지표/시추공	소	20	5,000,000	100,000,000
지진관측소 운영요원 인건비	석사과정	인	1	48,000,000	48,000,000
관측자료 처리·분석요원 인건비	박사후과정	인	1	150,000,000	150,000,000
지진계 및 기록계 보험	이동동산보험	대	20	2500,000	50,000,000
지진관측소 운영비	정비·자료취득	소	20	9,000,000	180,000,000
지진관측소 설치장소 임대료	사유지 10 m ²	소	10	2,500,000	25,000,000
연구책임자 연구수행비	책임급	인	1	400,000,000	400,000,000
소 계					1,853,000,000
지진관측소 운영 예비비	소계의 7.9%				147,000,000
총 계					2,000,000,000

† 대당 국제가격이 \$15,000.00에서 \$25,000.00사이에 여러 종류가 존재하며, 평균값 선택.

* 대당 국제가격이 \$10,000.00에서 \$18,000.00사이에 여러 종류가 존재하며, 평균값 선택.

‡ 지표관측소 10 개소와 시추공 관측소 10개소로 구성하여 계상.

800,000원/월 × 12개월/년 × 5년 = 48,000,000원 계상.

2,500,000원/월 × 12개월/년 × 5년 = 150,000,000원 계상

사업수행기간인 5년분을 계상함.

기술수요조사서

1. 연구개발사업명

연구개발사업명	지진기술개발사업			
연구개발과제명	수진함수 분석에 의한 서해 해역 심부탄성파탐사 연장선상의 속도구조			
제안기관	경북대학교			
기술분류	국가과학기술표준 분류체계	ND0202	연구개발단계	기초(), 응용(√), 개발()
	부처별 기술분류체계	A0701	혁신·도약형 과제 해당여부	해당(√)
총연구기간	(5)년	총연구비	(2,000)백만원	

2. 연구개발의 목표 및 내용

연구개발의 목표	서해 해역 심부 탄성파탐사 해양측선 연장선에서 수진함수 자료 수집 및 분석
연구개발의 내용	서해 해역 심부 탄성파탐사 해양측선 연장선에서 15 km 간격으로 지진관측소를 설치하고 운영하여 (1) 수진함수 분석용 자료를 수집하고, (2) 분석하여 관측소 하부의 1차원 속도구조를 도출하고, (3) 결과를 내삽하여 속도단면도를 작성하고 해석.

3. 연구개발 동향 및 파급효과

연구개발의 필요성	최근 서해 해역에서 발생한 다수의 규모 5.0에 준하는 지진들의 지진원 특성을 규명하기 위하여 서해 해역의 지진지체구조 및 단층활동 특성에 관한 정보가 요구된다. 이러한 사회적 요구에 따라 서해 해역에서 심부 탄성파탐사와 그 연장선상에서 육상 지각규모 탄성파실험이 기획되고 있다. 이들 중 육상 탄성파실험은 고비용 일회성이 강하므로 이를 보완할 보조적 방법이 필요하다. 수진함수 분석 결과는 탄성파실험 결과보다 해상도나 신뢰도가 낮으나, 가탐심도를 보장할 수 있는 방법이다.	
연구개발동향	국 내	국내 지진관측망의 자료를 이용하여 관측소 하부의 1차원 속도를 도출하고 내삽하여 모호면의 심도를 구한 연구나 지역적 1차원 속도구조를 도출한 연구결과는 있으나, 특정한 대상지역을 선택하여 속도단면을 도출하는 연구는 수행된 경우는 없는 것으로 기술제안자는 알고 있다.
	국 외	세계 각국에서 수진함수 분석을 통하여 많은 지역적 1차원 속도구조를 도출하였으며, 특히 일본에서는 수진함수 분석을 통하여 활단층의 구조를 밝힌 적이 있다. 중국과학원에서는 현재 기획중인 “서해 해역 심부 탄성파탐사 한중공동연구”에 해양측선 서쪽 연장선상 수진함수 실험을 포함시키고 있으며, 대칭적인 실험을 한국에 제안할 정도다.
파 급 효 과	<ul style="list-style-type: none"> • 서해 해역에서 심부 탄성파탐사와 그 연장선상에서 육상 지각규모 탄성파 실험 보완 및 실험결과 해석에 활용 • 도출된 속도단면도는 국가지진업무 및 연구에 기본 자료로 활용 • 사업 수행을 위하여 설치된 임시관측소 중 관측환경이 좋은 관측소는 사업 완료 후 기상청으로 이전하여 국내 지진관측망 확장에 기여 	

4. 제안하는 기술의 시장동향 및 규모

가. 시장동향 및 규모

지각구조에 관한 정보는 지구과학에 있어서 원천지식으로 화산활동을 포함한 지질재해 및 지진재해 평가에 기반이 된다. 선진국에서는 지난 50년 동안 자국의 영토에서 육상 및 해상 탄성파 실험을 수행하여 많은 지질학적 문제를 해결하고 있다. 제안하는 기술은 이를 보완하는 기술로서 시장동향에 영향을 받지 않는 국가지진업무 및 연구에 필수적인 기본 자료다.

나. 수출입 효과
해당사항 없음.

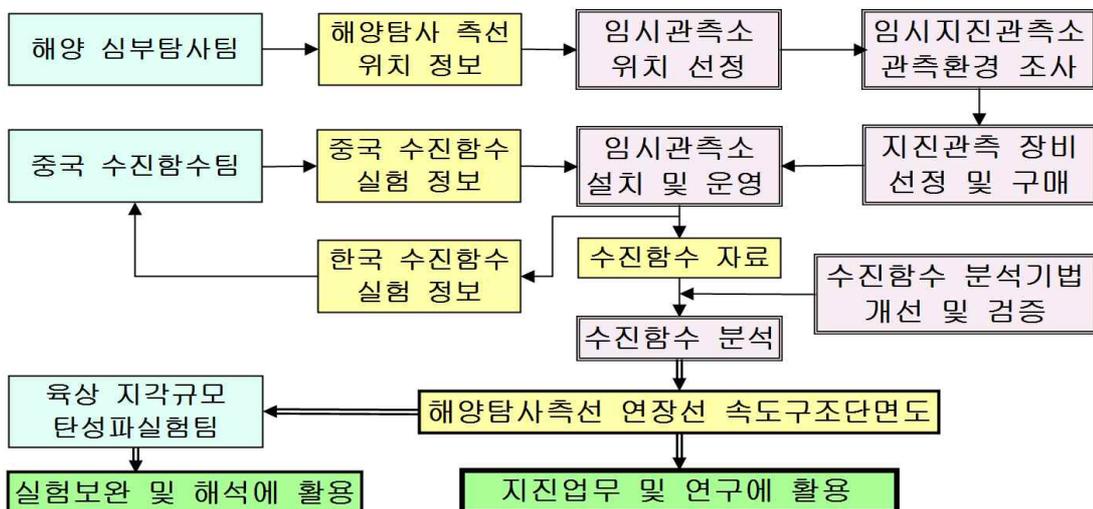
5. 연구개발사업의 규모 및 추진체계

가. 연구개발사업의 규모

구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	합계
연구비	정 부	600백만원	800백만원	150백만원	150백만원	300백만원	2,000백만원
	민 간	0백만원	0백만원	0백만원	0백만원	0백만원	0백만원
	합 계	600백만원	800백만원	150백만원	150백만원	300백만원	2,000백만원
개발기간	5년			연 소요인력		3명	

나. 연구개발사업의 추진체계

수진함수 실험 수행에 있어서 가장 기본적인 작업은 임시지진관측소 설치다. 임시관측소는 해양심부탐사 축선의 연장선에 설치되어야 하며, 위치에 따라 관측환경의 영향을 받는다. 해양심부탐사팀과 지속적으로 접촉하고 해양심부탐사 축선의 연장선이 결정되면, 연장선에서 임시관측소 위치를 선정하고 지진관측환경을 조사하여야 한다. 지진관측환경에 따라 지표면관측소 또는 시추공관측소를 결정하고, 결정에 따라 적합한 지진계를 구매하고 설치하여야 한다. 또한 위치 및 통신환경을 고려하여 안정적으로 지진자료를 수집하고 운영할 수 있는 방법을 선택하여 시범운업을 거친 후 정식 운영을 하게 된다. 해양심부탐사 축선 서쪽 연장에서 수진함수 실험을 수행할 중국팀과 협의하여 대청성을 유지하도록 할 것이며, 정보교환을 통하여 임시관측소 운영을 최적화 하여야 한다. 수진함수 분석에 필요한 자료를 수집하는 동안 수진함수 분석방법을 개선할 수 있는 이론적 연구가 수행되며, 그 결과는 국내 지진관측소에서 수집된 자료를 이용하여 검증할 것이다. 각 임시관측소에서 자료가 축적되면, 개선된 수진함수 분석방법을 이용하여 분석하고 결과를 도출한다. 이에 따른 추진체계를 도식화 하면 다음과 같다.



6. 기대효과, 활용방안 및 특기사항

지각구조에 관한 정보는 지구과학에 있어서 원천지식으로 지질 및 지진에 의한 자연재해 평가에

기반이 된다. 본 사업은 서해 해역 심부 탄성파탐사 해양측선 연장선에서 육상 지각규모 탄성파실험을 보완하고 실험결과 해석에 활용하기 위하여 추진되나, 도출된 지각 속도구조는 국가지진업무 및 연구에 필수적인 기본 자료로 활용될 것이다. 본 사업 수행에서 설치되는 임시관측소 중 관측 환경이 좋은 관측소는 사업완료 후 기상청으로 이전하여 국내 지진관측망 확장에 기여할 수 있다.

7. 기존의 선행연구

가. 과제명/ 주관연구책임자/ 연구기간 :

(1) 한반도 지각 속도구조에 관한 기반 연구 / 이정모 / 2006.04~2008.01

(2) 지진파형 분석 및 탄성파 탐사에 의한 한반도 지각 속도구조 연구 / 박창업 / 2006.04~2008.01

○ 내용 : (1)은 경상분지와 옥천대의 지진관측소 하부의 1차원 속도구조를 도출하고 지질구성 물질의 특성을 도출하였으며, (2)는 국내 광대역지진관측소 하부의 1차원 속도구조를 도출하고 내삽하여 한반도 남부의 모호면 심도를 도출하였다.

○ 동 기술과의 차이점 : 해양 심부탄성파탐사 연장선에서 임시관측소를 설치하고 수진함수 자료를 수집하고 분석하여 관측소 하부의 1차원 속도구조를 도출한 후, 내삽하여 2차원 단면도를 작성하고 해석을 하는 것이다.

8. 연구개발사업의 제안자 인적사항

성명	이정모	소속기관명	경북대학교
소속부서	지질학과	직위	교수
주소	(TEL) 053-950-6347	(FAX) 053-950-5362	(E-mail) jung@knu.ac.kr
소속기관주소	대구광역시 북구 대학로 80		

9. 제안기술에 대한 평가의 주안점

제안기술에 대한 평가	평가항목 (주요성능)	단위	세계최고	연구개발전	개발 목표치
			수준	국내수준	
제안기술에 대한 평가	가. 임시지진관측소 위치 선정 및 설치 능력		정량적인 평가 불가능		세계최고수준
	나. 임시지진관측소 운영 능력 (자료 가득률)	%	95	90	95
	다. 수진함수 자료 분석 능력		정량적인 평가 불가능		세계최고수준
	라. 수진함수 분석결과 해석 능력		정량적인 평가 불가능		세계최고수준

국가연구개발사업의 기술수요조사서를 제출합니다.

2014년 1월 31일

기관장 :

직인

기상청장 귀하

210mm×297mm[일반용지 60g/m²(재활용품)]

제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 대외 기여도

1. 목표 달성도

연구개발의 범위	연구개발 방법 및 내용	달성도 (%)
서해 지진지체구조의 개략 파악	<ul style="list-style-type: none"> • Ambient noise tomography의 결과를 이용하여 한반도와 서해에서 상부맨틀까지 지체구조를 개략 해석 • 지난 2000년간의 역사기록에서 서해에서 발생한 지진을 분류하고 그 진앙과 진도 그리고 발생특성을 추정 • 서해에 대한 지질, 지구물리와 지진학 관련 연구논문들을 중심으로 문헌들을 정리하여 서해의 지진지체구조 특성을 개략 설명 • 리프팅에 의한 군산분지의 진화 설명 • 서해의 중,자력 자료 특성 설명 	100
서해 지진지체구조의 구명을 위한 연구과제 제시	<ul style="list-style-type: none"> • 서해를 대상으로 다음 목적의 기술수요조사서 작성 (1) 경기만의 지진 발생관심 지역에서 탄성과 탐사를 수행하여 4기 단층의 분포와 특성을 파악 (2) 한.중 공동연구로서 지진관측망을 설치하여 서해에서 발생하는 지진의 특성과 발생 메커니즘을 분석 (3) 역사지진자료를 분석하여 서해지진의 주기와 지구조적 특성을 해석 (4) 한.중 공동연구를 통해 해저면지진계를 이용하는 심부탄성과 탐사로 서해의 지각과 상부맨틀구조를 구명 (5) 포텐셜자료를 이용한 지체구조 해석 	100

2. 대외 기여도

최근 서해에서 지진의 빈도와 규모가 커짐에 따라 서해의 지진지체구조가 관심사가 되고 있다. 하지만 지금까지 서해에서 체계적인 연구를 통해 지진을 유발하는 단층대의 지구물리학적 연구, 한국과 중국간 공동연구를 통한 지진학적 연구가 수행되지 못하고 있다. 이 연구에서는 제한적이지만 지금까지 서해의 지체구조 특성을 개략적으로 살펴보고 서해의 지진지체구조

를 구명하기 위한 과제들을 제시하였다. 제시된 과제들의 기술수요조사서는 차후 서해에서 지진지체구조의 구명을 위해 연구과제를 선정하는 데에 활용될 것이다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

1. 연구목표 및 내용

서해의 지진지체구조와 지진발생특성을 개략설명하고 서해의 지진지체구조와 단층활동 특성을 구명하기 위한 연구과제와 방안 제시

2. 연구수행결과 현황(연구종료시점까지)

가. 특허(실용신안) 등 자료목록

- 없음 -

나. 프로그램 등록목록

- 없음 -

다. 노하우 내역

기획과제의 성격이므로 노하우는 없음

라. 발생품 및 시작품 내역

마. 논문게재 및 발표 실적

- 없음 -

3. 연구성과

4. 기술이전 및 연구결과 활용계획

가. 당해연도 활용계획

서해의 지진지체구조와 단층활동 특성의 중요성 제시

나. 활용방법

본 연구에서 제시하는 연구과제들은 서해의 지진지체구조와 단층활동 특성을 구명하는 연구과제를 도출하는 데에 활용될 수 있다.

다. 차년도이후 활용계획

2015년부터 기상청 주관으로 서해의 지진지체구조 및 단층활동 특성의 구명을 위한 연구과제를 도출하는 데에 활용될 것이다.

4. 기대효과

- (1) 지금까지 체계적 연구가 미비한 서해의 지진지체구조와 단층특성을 연구하기 위한 과제를 도출할 수 있다.
- (2) 서해연안은 인구와 산업시설이 밀집해 있으며 우리나라의 경제 산업 그리고 환경분야의 발전을 위해 서해의 개발이 필수적이다. 이에 따라 서해의 지진재해 안전성을 평가하는 것이 국가적으로 중요한 시급한 연구과제이다. 이 연구에서 서해의 지진지체구조와 지진 특성을 개괄적으로 파악하고 앞으로 정확히 구명하기 위한 과제를 제시함으로써 서해의 지구조와 지진 특성을 구명하기 위한 연구를 체계적으로 수행할 수 있을 것으로 기대된다.
- (3) 서해는 지정학적으로 한국과 중국이 관할하는 해역이므로 두 나라 간의 공동연구가 필수적이다. 이 보고서에서 한·중 공동연구의 형태로서 심부지각구조 탐사, 지진관측망 설치 및 자료공유 등을 위한 과제를 제시하였다. 이러한 과제를 통해 향후 서해뿐만 아니라 동아시아 전체의 지진지체구조를 연구하는 데에 한국과 중국간의 연구협력체계를 구축하여 중요한 연구결과를 얻을 수 있을 것이다.
- (4) 이 보고서에서 제시하는 연구과제들은 기상청 주관으로 서해지진 관측역량과 대응능력을 제고하고 서해지진 발생 예측을 위한 기초연구로 활용할 수 있으며 서해지진에 대한 선제적 대응능력을 제고할 것으로 기대된다.

5. 문제점 및 건의사항(연구성과의 제고를 위한 제도·규정 및 연구관리 등의 개선점을 기재)

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

1. 최근 일본의 활성단층 database의 개정

일본의 경우 활성단층에 대한 database는 활동 단위(behavioral segment)의 개념(McCalpin, 1996)으로 분류된 활성단층의 완전한 정보를 담고 있다 (http://www.aist.go.jp/RIODB/activefault/cgi-bin/index_e.cgi). 각각의 단층은 지표에 나타나는 기하학적 모양과 고지진 연구에 의해 결정된 균열 역사를 기반으로 활동 단위로 세분된다. Index map에 나타난 단층들은 활동 구간의 database에 연결되는데 여기에는 slip rate, 각 지진의 slip, 재활동 주기, 그리고 미래에 파열이 일어날 확률 등을 포함하는 지질학적 그리고 고지진학적 변수들에 대한 정보가 포함된다. 활동 구간들은 단층의 이름이나 단층변수들의 조합에 의해 검색될 수 있다. 이 모든 자료들은 학술지의 논문, 학위 논문, 그리고 다른 연구결과들로부터 취합한 것이다.

자료입력방법의 문제

Database는 2002년에 최초로 National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)의 Geological Survey of Japan의 Active Fault Research Center가 구축하였다. 이 database의 최초본은 2005년 3월에 온라인으로 개통되었다. Database 관리시스템을 통해 많은 사용자들이 웹 브라우저를 사용하여 여러 가지 정보를 검색할 수 있었다. 하지만 복잡한 주요어를 이용하는 정보검색은 불가능하였다. 또한 복합적인 속성을 이용하여 자료의 순서를 바꾸는 것도 어려웠다. 이러한 단점은 자료입력방법에 의해 초래되었다. MS-Excel spread-sheet software를 이용하여 자료를 입력하였다. 입력된 자료들은 2차원 spread-sheet에서 일련번호로 지정된 자료에 대해 정의되는 pseudo data model로 재구축되었다. 하지만 이 모델도 자료의 중복문제를 해결하지 못하였다. 자료의 중복이 심하고 표준화가 제대로 되지 않았기 때문에 database의 최초본에서 융통성이 있는 검색은 불가능하였다.

Database의 재정의된 자료 모델

자료 모델을 재정의하여 실제 관련있는 database를 공식화하였다. 자료 모델의 재정의는 활성단층에 대해 연구된 학술지의 논문을 기초로 하였다. 따라서 구성요소로서 조사, 지역, 변위, 사건, 토의 그림, 그리고 참고문헌을 활용하였다. 활성단층에 대한 많은 특징과 자료유형, 그리고 다른 설명들을 정의하여 64개의 표로 정리하였다. 이러한 모든 표는 표준화하여 상관관계에

따라 결합된다. 이렇게 재구축된 database는 주요어를 복합적으로 사용하거나 자료의 순서를 바꾸어서도 검색이 가능하다. 여기에 시간 층서학과 기타 더 자세한 정보까지 추가하였다. 새로운 database는 지리정보시스템(GIS)을 활용할 수도 있다.

제 7 장 연구시설·장비 현황

해당사항 없음

제 8 장 참 고 문 헌

- Amante, C. and B. W. Eakins, ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis, National Geophysical Data Center, NESDIS, NOAA, U.S. Department of Commerce, Boulder, CO, August 2008.
- Chough, S.K., Lee, D.J., and Ree, J.H., 2013, Whereabouts of the collision belt between the Sino-Korean and South China blocks in the northeast Asian margin. *Geosciences Journal* 17, 397-401.
- Gilder, S. and Courtillot, V., 1997, Timing of the North-South China collision from the middle to late Mesozoic paleomagnetic data from the north China Block. *Journal of Geophysical Research* 102, 17,713-17,727.
- Hong, T.-K. and Choi, H., 2012, Seismological constraints on the collision belt between the North and South China blocks in the Yellow Sea. *Tectonophysics* 570-571, 102-113.
- Hsü, K.J., 1989. Origin of sedimentary basins of China. In: Zhu, X. (Ed.), *Chinese Sedimentary Basins. Sedimentary Basins of the World 1*. Elsevier, New York, pp. 208-227.
- Jin, S., Park, P.-H., Zhu, W., 2007. Micro-plate tectonics and kinematics in Northeast Asia inferred from a dense set of GPS observations. *Earth Planet. Sci. Lett.* 257, 486 - 496.
- Kim, H.J., Jou, H.T., Cho, H.M., Bijwaard, H., Sato, T., Hong, J.K., Yoo, H.S., and Baag, C.E., 2003, Crustal structure of the continental margin of Korea in the East Sea (Japan Sea) from deep seismic sounding data: evidence for rifting affected by the hotter than normal mantle. *Tectonophysics* 364, 25-42.
- Kim, H.J., Lee, G.H., Jou, H.T., Cho, H.M., Yoo, H.S., Park, G.T., and Kim J.S., 2007, Evolution of the eastern margin of Korea: Constraints on the opening of the East Sea (Japan Sea). 2007, *Tectonophysics* 436, 37-55.
- Kim, H.J., Jou, H.T., Lee, G.H., Choi,D.L., Yi,B.Y., Yoo,L.S., Lee,S.H., Kim,K.H., and Yoo, H.S., 2011, High-resolution seismic imaging of geologic deformation, offshore east coast of Korea at 37°N. *Disaster Advances* 4, 40-46.
- Kim, H.J., Lee, G.H., Choi, D.L., Jou, H.T., Li, Z., Zheng, Y., Kim. G.Y., and Kwon, I.K., 2014, Back-arc rifting in the Korea Plateau in the East Sea (Japan Sea) and the separation of the southwestern Japan Arc from the Korean margin. (Submitted to

Tectonophysics)

- Kim, J.-N., Ree, J.-H., Kwon, S.-T., Park, Y., Choi, S.-J., Cheong, C.-S., 2000. The Kyonggi shear zone of the central Korean Peninsula: late orogenic imprint of the North and South China collision. *The Journal of Geology* 108, 469-478.
- Lamarche, G. et al., 2000. Constraining fault growth rates and fault evolution in New Zealand. *EOS* 81(42).
- Lee, G.H., Kwon, Y.I., Yoon, C.S., Kim, H.J., Yoo, H.S., 2006. Igneous complexes in the Southeastern Northern South Yellow Sea Basin and their hydrocarbon Implications. *Marine and Petroleum Geology* 23, 631-645.
- Lee, G.H., Yoon, Y., Nam, B.H., Lim, H., Kim, Y.S., Kim, H.J., and Lee, K., 2011, Structural evolution of the southwestern margin of the Ulleung Basin, East Sea (Japan Sea) and tectonic implications. *Tectonophysics* 502, 293-307.
- Liu, H., 1986. Geodynamic scenario and structural styles of Mesozoic and Cenozoic basins in China. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 70, 377-395.
- Park, K, S., Kang, D. H., Shinn, Y. J., Shin, J. B., 2005. Tectonic evolution of the western Kunsan Basin, Yellow Sea, offshore Korea. *Journal of the Geological Society of Korea* 41, 141-155 (in Korean with English abstract).
- Pavlis, N.K., S.A. Holmes, S.C. Kenyon, and J.K. Factor, An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008, presented at the 2008 General Assembly of the European Geosciences Union, Vienna, Austria, April 13-18, 2008.
- Qiu, X.L., Zhao, M.H., Ao, W., Lu, C.C., Hao, T.Y., You, Q.Y., Ruan, A.G., and Li, J.B., 2011, OBS survey and crustal structure of the SW sub-basin and Nansha block, South China Sea. *Chinese J. Geophysics* 54, 1009-1021.
- Ree, J.H., Cho, M., Kwon, S.T., Nakamura, E., 1996. Possible eastward extension of Chinese collision belt in South Korea: the Imjingang Belt. *Geology* 24, 1071-1074.
- Ryu, I.C., Kim, B.Y., Kwak, W.J., Kim, G.H., Park, S.J., 2000. Stratigraphic response to tectonic evolution of sedimentary basins in the Yellow Sea and adjacent seas. *Korean Journal of Petroleum Geology* 8, 1 - 43 (in Korean with English abstract).
- Shinn, Y. J., Chough, S. K., Hwang, I. G., 2010. Structural development and tectonic evolution of Gunsan Basin (Cretaceous-Tertiary) in the central Yellow Sea. *Marine and Petroleum Geology* 27, 500-514.
- Yi, S., Batten, D.J., 2002. Palynostratigraphy of Upper Cretaceous (Maastrichtian) deposits in the Yellow Sea Basin, Korea. *Cretaceous Research* 23, 687 - 706.

- Yi, S., Batten, D.J., Yun, H., Park, S.J., 2003. Cretaceous and Cenozoic non-marine deposits of the Northern South Yellow Sea Basin, offshore western Korea: palynostratigraphy and palaeoenvironments. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 191, 15 - 44.
- Yoon, Y. H., Lee, G. H., Yoo, D. G., Han, H. C., Choi, K. S., and Lee, K., 2010. Cross-section restoration and 1-D basin modeling of the Central Subbasin in the southern Kunsan Basin, Yellow Sea. *Marine and Petroleum Geology* 27, 1325-1339.
- Zhang, Y., Wei, Z., Xu, W., Tao, R., Chen, R., 1989. The North Jiangsu-South Yellow Sea Basin. In: Zhu, X. (Ed.), *Chinese Sedimentary Basins: Sedimentary Basins of the World* 1. Elsevier, New York, pp. 107-123.

주 의

1. 이 보고서는 기상청에서 시행한 기상씨앗기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 기상청에서 시행한 기상씨앗기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표하거나 공개하여서는 아니됩니다.