

한국해양환경 · 에너지학회지 J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy Vol. 19, No. 4, 247-258, November 2016 http://dx.doi.org/10.7846/JKOSMEE.2016.19.4.247 ISSN 2288-0089(Print) / ISSN 2288-081X(Online)

Original Article

황해 태안반도 남서부 해양퇴적물의 지음향 특성

김화랑¹·김대철^{2,†}·서영교³·이광수⁴·김경오⁴ 부경대학교 수로학연협동과정 ²부경대학교 에너지자원공학과 ³지마텍(주) ⁴한국지질자원연구원 석유해저연구본부

Geoacoustic Properties of Marine Sediment Adjacent the Southwestern Taean Peninsula, the Yellow Sea

HwaRang Kim¹, Dae-Choul Kim^{2,†}, YoungKyo Seo³, Gwang-Soo Lee⁴ and KyongO Kim⁴

¹UR Interdisciplinary Program of Hydrography, Pukyong National University, Busan 48513, Korea ²Department of Energy Resource Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea ³Gematek Corporation, Busan 48076, Korea

⁴Petroleum and Marine Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 34132, Korea

요 약

황해 태안반도 남서부 해역 8개 정점에서 해양퇴적물을 채취하여 퇴적물의 지음향 및 물리적 특성을 파악하였다. 전반 적으로 사질 퇴적물이 우세하며 연구지역의 사질 퇴적물은 최대빙하기(LGM)이후 해수면 변동의 영향을 받아 연구지 역에 퇴적되었다. 이후 금강 및 인근 연안에서 유입된 세립질퇴적물의 영향을 받은 지역은 니질 사 또는 사질 니가 발 달했다. 이러한 퇴적 환경의 영향으로 정점별로 퇴적물 조직특성, 물리적 성질, 음파전달속도의 수평·수직적 차이가 나 타난다. 음파전달속도, 평균입도 및 물리적 성질간의 상관관계를 보면 비교모델로 사용한 남해 퇴적물과 전반적으로 유 사한 경향을 보이나 절대값에서 차이를 보인다. 이러한 차이는 퇴적환경, 광물조성 및 측정 시스템의 차이에 의한 것으로 사료된다.

Abstract – Physical and acoustic properties of sediment on the southwestern Taean Penisula, the Yellow Sea, were studied using eight piston cores. The sediments in the study area are largely composed of sand which has been deposited with sea-level change after LGM(Last Glacial Maximum). After the sea-level rise, fine-grained sediments discharged from Keum River and neighboring coast area were deposited as muddy sand or sandy mud. Results of these sedimentary environment in this area, the texture of sediments are different from place to place with variable horizontal and vertical distribution of physical and acoustic properties. Correlations among the physical, geoacoustic properties, and mean grain size show slight deviations from those of the South Sea in spite of similar pattern. This is probably due to the differences in sedimentary environment, mineral composition, and measurement system.

Keywords: Geoacoustic property(지음향 특성), Physical property(물리적 성질), Kuem River estuary(금강 하구), marine sediment(해양 퇴적물)

1.서 론

황해는 삼면이 육지로 둘러싸여 있고 약 30만 km² 면적의 대륙붕에 연간 약 15억 톤에 이르는 많은 육성기원 퇴적물이 유입되는 천해 퇴적환경을 가지고 있다(Schubel *et al.*[1984]). 황해에 공급되는 퇴 적물의 상당부분을 차지하는 중국 기원 퇴적물은 해수 순환을 따라 중국 연안, 황해 중앙 니질대 또는 제주도 남서쪽 북동중국해 니질 대에 퇴적되는 것으로 연구되었다(Milliman *et al.*[1986]; Lee and Chough[1989]; Alexander *et al.*[1991]; Park and Khim[1992]; Cho *et al.*[1999]; Youn *et al.*[2005]; Yang and Liu[2007]; Yang and Youn [2007]; Choi *et al.*[2010]). 그러나 황해 중동부 연안역은 황해 중앙 부로 북상하는 황해 난류와 연안역에 발달한 조석전선 등의 영향으로

[†]Corresponding author: dckim@pknu.ac.kr

중국기원 물질의 유입이 제한되어 한반도의 한강, 금강 등에서 유입 된 퇴적물이 우세하게 분포하고 있다(Chough and Kim[1981]; Lee and Chough [1989]; Park and Khim [1990]). 연구지역인 황해 중동부 연안역의 퇴적물 기원과 발달양상, 그리고 퇴적환경에 관한 연구는 기존에 많이 수행되었다(Kim and Park[1985]; Yoo[1986]; Choi et al.[1992]; Lee et al.[1992]; Cho et al.[1993]; Choi and Park[1993]; Min et al.[1993]; Park et al.[1994]; Oh and Kum[2001]; Chough et al.[2002]; Park et al.[2006]). Park et al.[2006]은 고해상도 탄성파 탐사를 통해 황해 중동부 해역에 발달한 Sand Ridge의 발달기원을 밝혔으며, Chough et al. [2002]는 황해 중부부터 중동부 해역까지 해 저면의 echo type을 구분하고 연구지역의 echo type이 강한 조류와 파랑에 의해 발달된 것임을 밝혔다. Lee et al.[1992]과 Cho et al. [1993]은 표층 퇴적물의 지구화학적 특성을 통하여 니질 퇴적물의 분포 양상 및 기원을 연구하였고 Park et al. [1994]은 주상 시추 시 료를 통해 퇴적물의 퇴적상을 분석하였다. 이를 통해 황해 중동부 연안역 니질 퇴적물이 금강 기원 현생 니질 퇴적물이며 사질 퇴적 물은 잔류 사질퇴적물임을 밝혔다.

퇴적학적 연구에 비해 황해지역에서 퇴적물의 물리적 및 지음향 학적 특성에 관한 연구는 많이 부족한 실정이다. Kim *et al.*[2000]과 Bae[2015]의 연구는 흑산머드벨트(Hueksan Mud Belt: HMB)에 국 한되어 있으며 잔류사질퇴적물에 대한 연구는 이루어진 바가 없다. 또한 Ryang *et al.*[2001]의 연구는 실제로 측정한 자료가 아니라 입도 분석을 통해 나온 입도 자료를 Hamilton[1979], [1980]과 Hamilton and Bachman[1982]이 제시한 경험식을 이용하여 물성과 음향특성을 제시하였고 연구지역에서 한 개의 시추코어 자료만을 이용하였기 때문에 연구지역 전체를 대표 할 수 없다. 비록 Chon[1997]에 의해 남해의 잔류사질퇴적물의 지음향 특성 연구가 수행된 바 있지만 황 해 지역에서는 사질퇴적물의 지음향 특성 연구가 전무하다.

따라서 본 연구에서는 황해 태안반도 남서부 해역 해양퇴적물에 대한 물리적 성질 및 음파전달속도의 수직적인 분포양상을 밝히고 자 한다. 또한 연구지역의 물성과 음향특성간의 상관관계를 밝히고 본 연구지역과 유사한 퇴적환경을 가지는 남해 sand ridge의 연구 결과(Chon[1997])와 비교를 통해 새로운 관계식을 제시하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 연구지역

연구지역은 황해 중동부 금강유역의 북부에 위치하며 외연도 서 부지역과 금강하구 서쪽에 위치한 십이동파도의 북동부를 포함한다. 또한 리아스식 해안이며 해안 주변에 삽시도, 호도, 녹도, 어청도등 많은 섬들이 존재하고 사퇴(sand ridge) 및 수로(channel)가 형성되 어 있다. 금강유역 북부는 연안에서 40 km떨어진 외연도까지 평균 20 m로 얕은 수심을 보이다 외연도를 기점으로 서쪽으로 갈수록 수 심이 급격이 증가한다(Fig. 1).

연구지역 퇴적물의 주요 공급원인 금강은 연간 5.0×10⁹ ton의 담

수를 방류하는데 이중 80%가 하계(6-9월)에 집중되고 동계(11-2월) 에는 유입이 적으며 담수를 통해 유입되는 퇴적물의 65%는 금강하 구에 발달한 대죽사주에 퇴적된다(Schubel *et al.*[1984]). 이 대죽사 주는 금강 본류를 북수로와 남수로로 양분하며 대죽사주에 퇴적되지 않은 나머지 퇴적물은 조석, 조류 및 해류의 영향으로 북수로와 남 수로를 통해 연구지역을 포함한 인근 해역으로 이동한다(Chough and Kim[1981]; Park and Choi[1989]; Choi[1993]).

연구지역은 조석작용이 우세한 대조차환경에 속하며 지역마다 조 류가 다르게 나타난다. 연구지역을 포함한 황해 동부 연안의 조류는 북동-남서 방향이며 세기는 최대 1.5 m/s로 강하게 흐른다(Hydrographic office[1990]). 금강하구의 남수로 지역 또한 북동-남서 방향으로 조 류가 흐르며 동계동안 북서계절풍의 영향으로 재 부유된 퇴적물은 조류와 황해 동부 연안을 따라 남하하는 서해연안류의 영향으로 남 쪽으로 이동한다(Park and Choi[1989]). 북수로의 조류는 일반적인 조류와 다르게 북서-남동방향으로 흐르는 경향을 보이는데(Kwon *et al.*[2011]), 북수로를 통해 공급되는 퇴적물은 조류의 영향으로 연 구지역까지 이동하여 퇴적된다.

2.2 연구방법

연구지역 퇴적물의 물리적 및 음향학적 특성 연구를 위하여 2014년 9월 한국지질자원연구원의 탐사선 탐해2호를 이용하여 총 8개의 지 점에서 주상시료를 획득하였다(Fig. 1, Table 1).

채취된 코어시료는 실험실로 옮긴 후 각각의 퇴적물 특성에 대한 분석을 실시하였다. 코어를 실험실에서 반으로 절개해 평균입도, 물 리적 성질(공극률, 함수율, 전밀도, 전단응력) 및 음향학적 특성(음 파전달속도 및 감쇠)을 측정하였다. 각 코어의 측정 간격은 퇴적상 및 퇴적구조 변화 양상에 따라 조절하였으며 보통 10~30 cm 이내 에서 측정하였다.

퇴적물의 입도분석은 퇴적물의 탄산염, 유기물과 용해성 염분을 제거하고 4 Φ(0.062 mm) 체로 조립부와 세립부로 나누었다. 조립 질은 로탭요동기(Ro-tap Sieve Shaker)를 사용하여 1 Φ 간격으로 분 석하고 세립질은 퇴적물입도 자동측정기(Model: Sedigraph 5100)를 사용하여 분석하였다. 각 Φ별로 나온 자료들은 Folk and Ward[1957] 및 Folk[1968]의 모멘트 방법에 따라 입도 및 크기별 함량을 계산하 였다. 퇴적물의 물리적 성질(공극률, 함수율, 전밀도)은 밀도측정기 (Micromeritics: Multivolume Pycnometer 1305)를 이용하여 입도분 석용 시료채취 위치와 같은 깊이에서 측정하였다. 밀도측정기에는 퇴적물의 공극이나 틈에 침투가 잘되는 헬륨가스를 사용하였고 자료의 일관성을 위해 가스의 압력은 21 psi로 일정하게 유지하였다. 염분 보정 은 35%에 대한 해수의 밀도 1.0245를 보정하였다(Boyce[1976]). 전 단응력은 직경과 높이가 1.27×1.27 cm 크기의 vane이 장착된 자동 전단응력 측정 장치를 이용하여 측정하였다. 퇴적물의 음향학적 특 성은 신호투과법을 기초로 하는 자동속도측정장치(Kim et al.[1999])를 사용하여 측정하였다(Fig. 2). 측정 시 퇴적물의 크기를 3 cm 이내 로 성형한 후 중심주파수가 1 MHz인 트랜스듀서를 퇴적물에 직접 접촉시켜 수직과 수평속도를 각각 측정하였다. 일반적으로 시료를



Fig. 1. Map showing bathymetry and piston core position of the study area.

Table 1.	Location	of the	coring sites,	water depth,	and core	length for	this study
----------	----------	--------	---------------	--------------	----------	------------	------------

Core No.	Latitude	Longitude	Water Depth (m)	Core Length (cm)	
P01	36°25.007′	125°48.566	49	220	
P02	36°25.071′	125°26.768	39	575	
P03	36°10.013′	126°01.506	35	126	
P05	36°05.038′	126°00.027	58	514	
P07	36°02.157′	126°16.426	25	570	
P09	36°29.332′	126°00.387	30	567	
P10	36°17.296′	126°00.556	30	340	
P11	36°17.343′	125°57.482	55	484	

통과하는 초음파의 파장과 통과거리의 비(λ L)가 1보다 작아야 하므로 1 MHz의 주파수를 사용하며(Kolsky[1953]) 본 연구방법과 같이 3 cm 이내로 성형한 경우에도 펄스의 파장이 퇴적물을 구성하는 최대 크 기의 입자보다도 훨씬 크기 때문에 정확도는 유지될 수 있다(Kim [1989]). 음파감쇠는 Toksoz *et al.*[1979]의 spectral ratio 방법을 이 용하여 측정하였다. 속도 측정 시 일정한 실험실 온도(약 20 °C)를 유지하여 온도 차이에 의한 측정 오차를 최소화 하였다.

3.결 과

3.1 입도, 음향특성 및 물리적 성질의 수평·수직 분포

연구지역에서 획득한 8개의 정점에서 채취한 코어퇴적물에 대해 퇴적물의 조직, 물리적 성질 및 음과전달속도를 일정한 깊이(10~30 cm) 에 따라 측정하여 각각의 코어에 대해 평균값으로 표시하여 Table 2 에 제시하였다. 코어 상부의 분석 자료를 이용하여 연구지역의 퇴적



Fig. 2. Schematic diagram of automated velocity measurement technique.



Fig. 3. Horizontal distribution of sand content (%) (a), mean grain size (Φ) (b). velocity (m/s) (c), porosity (%) (d) in the study area.

물 조직함량, 물성 및 지음향 특성의 수평적 분포를 과악하였다(Fig. 3). 또한 이 중 수심에 따른 퇴적물 유형과 위치가 서로 다른 네 개 정 점(정점 3, 7, 9, 11)에 대한 퇴적물 조직함량, 물성 및 지음향 특성 단면도를 작성하였다(Figs. 4, 5, 6, 7, and 8).

연구지역의 퇴적물 조직함량, 물성 및 지음향 특성의 수평적 분

포를 살펴보면, 외연도를 중심으로 북쪽에서 남쪽으로 갈수록 사질 함량이 40.3~98.7%로 증가하여 조직함량이 조립해지는 것을 확인 할 수 있다(Fig. 3a). 이에 따라 평균입도분포는 북에서 남으로 갈수 록 6.0에서 2.8 Φ로 증가하며(Fig. 3b) 음과전달속도 또한 1560에서 1700 m/s로 증가한다(Fig. 3c). 이와 반대로 공극률은 54.7에서

Station No.	Mean grain Size (Φ)	Porosity (%)	Water content (%)	Shear strength (kPa)	Bulk density (g/cm ³)	Velocity (m/s)	Attenuation (dB/m/kHz)
P01	2.80	35.24	17.92	16.64	2.02	1729	-
P02	6.09	55.38	33.46	7.50	1.77	1563	0.48
P03	2.59	35.73	17.75	19.75	2.18	1752	-
P05	2.48	36.08	18.76	9.68	2.07	1623	0.10
P07	4.52	45.05	25.37	4.82	1.89	1665	0.39
P09	5.51	51.05	29.99	4.82	1.81	1584	0.40
P10	3.40	41.18	22.19	5.69	1.98	1703	0.38
P11	6.38	54.87	33.32	4.29	1.76	1551	0.30

 Table 2. Average values of mean grain size, physical and geoacousitc properties for the cores in the study area





27.9%로 감소하는 경향을 보인다(Fig. 3d).

코어의 수직적 물성 및 지음향 특성 변화를 살펴보면, 정점 3은 전체적으로 사질 퇴적물이 균질하게 분포하고 있으며 하부 100 cm 부터 자갈 퇴적물이 존재한다(Fig. 4). 공극률은 31.3~37.7%(평균 35.7%)의 값을 나타낸다(Fig. 5). 함수율은 15.7~18.3%(평균17.7%) 로 전체적으로 낮은 값을 가진다. 전밀도는 2.12~2.26 g/cm³(평균 2.18 g/cm³)의 값을 가지며 전단응력은 5 cm의 깊이에서 19.75 kPa의 값을 보인다. 평균입도는 1.7~2.8 Φ(평균 2.5 Φ)로 조립한 경향을 보인다. 역질 함량은 1.4~14.5%(평균 7.9%)로 100 cm 깊이 이하에서 나타나며 사질함량은 82.8~98.7%(평균94.6%)이다. 실트 및 점토함량은 0.9~6.2%(평균 2.1%), 0.2~1.9%(평균 0.6%)로 함량이 낮다. 음과전 달속도 및 감쇠는 퇴적물이 조립하여 측정이 거의 불가능하며 실트 및 점토함량이 비교적 높은 98 cm 부근에서 1752 m/s의 값을 보인다. 정점 7은 전체적으로 사질 퇴적물과 니질 퇴적물이 혼재되어 있

생임 /는 신세적으로 사실 되적물과 다실 되적물이 온재되어 있 다(Fig. 4). 공극률은 36.6~55.5%(평균 45.0%)로 상부 50 cm까지 평 균 45.2%로 상대적으로 낮은 값을 보이다가 퇴적상이 변하는 70 cm 부근에 52.4%로 급증한다(Fig. 6). 그 이하부터 270 cm까지 평균 41.7%의 값을 가지며 270 cm부터 점진적으로 증가하여 490 cm에 서 최대 55.5%의 값을 가진다. 함수율은 19.8~34.0%(평균 25.3%) 이며 공극률과 비슷한 경향을 보여 70, 490 cm부근에 29.4, 34.0%의 값을 나타낸다. 전밀도는 1.73~2.04 g/cm³(평균 1.89 g/cm³)을 나타 내며 그 값이 들쭉날쭉하나 점진적으로 감소하는 경향을 보이며 전 단응력은 0.42~15.08 kPa(평균 4.82 kPa)이다. 평균입도는 3.6~7.2 Φ (평균 4.5 Ф)로 상부 0~50 cm까지 3.6~4.1 Ф, 70~150 cm까지 4.4~5.6 Φ로 비교적 세립하며, 170~270 cm까지 3.6~3.7 Φ를, 270 cm이하 부터 4.3~7.2 Φ의 값이 나타난다. 퇴적물의 함량은 평균 입도의 경 향을 따라가는데 사질함량은 0~50 cm는 79.6~70.7%, 70~150 cm는 51.2~72.0%이며 170~270 cm는 85.9~92.1%, 270 cm이하에서 부터는 20.8~82.2%의 함량이 나타난다. 실트함량은 구간 별로 7.7~14.5%, 18.0~27.6%, 6.5~11.5%, 13.2~39.9%이며 점토함량은 1.5~5.8%, 9.8~21.0%, 1.2~3.4%, 4.5~39.1%의 값을 가진다. 음파전달속도는 1545~1719 m/s로 사질함량이 높은 퇴적물에서 값이 높으며 음파감



Fig. 5. Profiles of physical (bulk density, porosity, water content, shear strength, mean grain size, and texture) and geoacoustic properties (sound velocity and attenuation) for core P03.



Fig. 6. Profiles of physical (bulk density, porosity, water content, shear strength, mean grain size, and texture) and geoacoustic properties (sound velocity and attenuation) for core P07.

쇠는 실트 및 점토함량이 높은 구간에서 0.05~0.68 dB/m/kHz의 값이 나타난다.

정점 9는 사질 퇴적물과 니질 퇴적물이 균질하게 혼합되어 분포 하고 있다(Fig. 4). 공극률은 44.0~59.7%(평균 51.2%)이며 310~330 cm 구간에 57.6~59.7%로 급진적으로 높았다가 다시 낮아지는 경향을 보인다(Fig. 7). 함수율은 24.7~37.5%(평균 29.9%)로 공극률과 같은 구간에서 37.5%로 급진적으로 높아진다. 전밀도는 1.64~1.92 g/cm³ (평균 1.81 g/cm³)로 공극률이나 함수율처럼 급변하는 구간은 나타 나지 않는다. 전단응력은 4.04~24.43 kPa(평균 10.95 kPa)의 값을 보이며 190~210 cm 구간에 23.5~24.4 kPa의 높은 값이 나타난다. 평균입도는 4.1~6.6 Φ(평균 5.5 Φ)으로 전체적으로 세립한 경향을 보인다. 사질함량은 26.4~65.7%(평균 48.3%)으로 10 cm구간에 26.4%로 가장 낮은 값을 가지며 실트와 점토함량은 21.5~42.0%(평 균 29.9%), 12.7~32.3%(평균 21.6%)를 차지한다. 음파전달속도는 1545~1640 m/s로 평균 1586 m/s이나 사질함량이 비교적 높은 190, 270 cm에서 1633, 1640 m/s로 높게 나타난다. 음파감쇠는 0.01~0.66 dB/m/kHz(평균 0.37 dB/m/kHz)의 값을 나타낸다.

정점 11은 니질 퇴적물이 우세하지만 25~136 cm에서 사질이 수 평방향으로 들어있는 층이 존재한다(Fig. 4). 상부 20 cm를 경계로 조직, 물성 및 음향특성에서 뚜렷한 차이가 나타난다(Figs. 4, 8). 20 cm 를 기준으로 공극률은 평균 48.7%에서 55.5%로 증가하고, 함수율 또한 평균 28.3%에서 33.8%로 증가한다(Fig. 8). 반면에 전밀도는 큰 차이 없이 1.62~1.83 g/cm³(평균 1.74 g/cm³)의 값을 가진다. 전 단응력은 1.70~11.47 kPa(평균 4.29 kPa)의 값을 가지며 285 cm 구 간에서 급격하게 증가한다. 평균입도 또한 3.2 Φ에서 4.3~8.6 Φ로 급격히 변하는데 이는 조직함량에서도 나타난다. 사질함량은 상부 20 cm에서 76.5%이며 그 이하에서는 0~62.3%로 낮아진다. 실트함 량은 12.5~14.7%에서 23.2~49.4%로 증가하며 점토함량은 또한 7.1~9.1%에서 14.2~57.1%로 증가한다. 음과전달속도는 20 cm에서 1635 m/s이며 그 이하 구간에서는 1528~1594 m/s로 낮아진다. 음 파감쇠는 0.14~0.51 dB/m/kHz로 구간별 차이가 나타나지 않는다.

3.2 물성간 상관관계

3.2.1 음파전달속도 vs 공극률

물성간 상관관계를 살펴보면 음파전달속도가 감소할수록 공극률 은 증가하는 경향을 보인다. 속도 값이 1752.7 m/s인 구간에선 공극 률이 34.7%를, 1743.4 m/s에서는 36.5%, 1742.1 m/s인 구간에서는 31.8%로 낮은 공극률을 보인다. 속도가 1600~1700 m/s인 구간에서 는 공극률이 43.0~49.8%로 1700 m/s 이상의 속도 구간보다 약 10% 이상 증가한다. 155~1600 m/s의 속도 구간에서는 52.6%에서 60.0% 까지 공극률 상승이 나타난다.

3.2.2 음파전달속도 vs 평균입도

음파전달속도가 증가 할수록 평균입도도 커지는 경향을 보인다. 속도 값이 1525.3 m/s인 지점에선 평균입도가 7.0 Φ, 1535.9 m/s에 서는 6.6 Φ, 1538.2 m/s와 1540.7 m/s에서는 각각 6.7 Φ, 7.2 Φ의



Fig. 7. Profiles of physical (bulk density, porosity, water content, shear strength, mean grain size, and texture) and geoacoustic properties (sound velocity and attenuation) for core P09.



Fig. 8. Profiles of physical (bulk density, porosity, water content, shear strength, mean grain size, and texture) and geoacoustic properties (sound velocity and attenuation) for core P11.



Fig. 9. Correlation between velocity (m/s) and porosity (%). Regression curves from this study and the previous study (Chon [1997]) are plotted with regression equation of this study.

평균입도 값을 가진다. 속도가 증가할수록 평균입도도 증가하는데 1587.8 m/s와 1591 m/s에서는 각각 5.7 Φ와 5.2 Φ를, 1596.3 m/s와 1597 m/s에서는 5.9 Φ와 5.7 Φ의 값을 보인다. 또한 1640.0 m/s에 서는 4.7 Φ를, 1661.0 m/s와 1664.5 m/s에서는 각각 4.1 Φ와 4.2 Φ의 값을 가지며 1684.0 m/s에서는 3.7 Φ의 평균입도 값을 나타낸다. 속 도 값이 가장 높은 1700 m/s이상인 구간에서도 가장 높은 평균입도 값을 보이는데 1738.8 m/s에서는 2.6 Φ를, 1742.1 m/s와 1752.7 m/s에 서는 각각 2.5 Φ와 2.8 Φ의 값을 나타낸다.

3.2.3 음파전달속도 vs 전밀도

음과전달속도와 전밀도의 관계에서는 음과전달속도가 증가할수록 전밀도도 함께 증가한다. 음과전달속도가 가장 낮은 1525.3 m/s에 서 전밀도도 가장 낮은 1.69 g/cm³의 값을 가지며 1535.9 m/s에서는 1.71 g/cm³의 값을 1542.8 m/s와 1549.3 m/s에서 각각 1.73 g/cm³, 1.75 g/cm³의 값을 나타낸다. 또한 1596.3 m/s와 1597 m/s구간에서 각각 1.84 g/cm³와 1,86 g/cm³를, 1605 m/s에서는 1.86 g/cm³의 값을 보이며 1633.5 m/s에서는 1.88 g/cm³의 값을 가진다. 속도 값이 가 장 높은 1736.8 m/s와 1738.1 m/s에서 각각 1.99 g/cm³, 2.05 g/cm³ 의 값을 나타내며 1742.1 m/s와 1743.5 m/s구간에서 2.11 g/cm³와 2.01 g/cm³의 가장 높은 값을 보인다.

3.2.4 전밀도 vs 평균입도

전밀도와 평균입도의 관계는 전밀도가 증가할수록 평균입도도 증 가하는 경향을 보인다. 전밀도가 가장 낮은 1.66 g/cm³에서 평균입 도는 6.6 Φ를 보이며 1.68 g/cm³에서는 6.5 Φ를, 1.69 g/cm³와 1.71 g/cm³에서는 각각 7.0 Φ와 6.6 Φ의 값을 가진다. 전밀도가 1.74 g/cm³ 에서는 5.8 Φ, 1.75 g/cm³에서는 5.7 Φ를 1.75 g/cm³와 1.77 g/cm³ 에서는 각각 5.5 Φ와 5.6 Φ의 값을 보이며 1.86 g/cm³와 1.87 g/cm³ 에서는 3.9 Φ와 4.3 Φ의 값을 나타내며 1.92 g/cm³에서는 4.4 Φ의 값을 가진다. 전밀도가 높은 구간대에서 2.01 g/cm³의 값은 2.6 Φ의 평균입도 값을 보이며 가장 높은 값인 2.11 g/cm³에서는 2.5 Φ의 가 장 높은 평균입도 값을 보인다. 3.2.5 공극률 vs 평균입도

공극률과 평균입도 간의 관계는 공극률이 증가할수록 평균입도는 감소하는 경향을 보인다. 공극률이 낮은 61.7%인 구간은 가장 조립 한 2.5 Φ의 값을 가지며 32.3%와 35.6%에서는 2.6 Φ와 3.3 Φ의 값을 보인다. 공극률이 44.3%와 45.3%에서는 4.6 Φ와 4.2 Φ의 값을 46.1%와 47.0%에서는 4.5 Φ와 4.3 Φ의 값을 가진다. 이보다 높은 52.6%와 52.7%에서는 5.3 Φ와 5.8 Φ의 값을, 54.5%와 55.5%에서는 60.6%에서는 6.7 Φ와 6.5 Φ의 가장 낮은 평균입도 값을 보인다.

4.토 의

4.1 태안반도 남서해역의 지음향 및 물리적 특성

연구지역의 표층 퇴적물의 분포양상을 살펴보면 외연도를 중심으로 남쪽이 북쪽보다 비교적 조립한 양상을 보이며 이에 따라 공극률과 음파전달속도는 남쪽이 더 높은 반면에 공극률은 남쪽에서 더 낮은 양상을 보인다(Fig. 3). Min *et al.*[1993]에 따르면 연구지역 남쪽에 분포하는 사질 퇴적물은 지난 최대빙하기 이후 해수면이 상승하는 과정 동안 집적된 사질 퇴적물인 것으로 해석하였다. 이와 반대로 연구지역 북쪽의 니질퇴적물은 금강에서 유입된 퇴적물과 가까운 연안의 부유 퇴적물이 강한 조류와 파랑에 의해 이 지역에 집적된 것으로 보인다(Oh and Kum[2001]).

금강에서 다소 떨어진 정점 3은 사질 함량이 82-98%로 전반적으 로 조립한 경향을 보인다(Figs. 4, 5). Min *et al.*[1993]에 따르면 본 연구지역은 최대빙하기(LGM: Last Glacial Maximum) 이후 해수면 이 상승하면서 사질퇴적물이 잔류하게 되었으며 북동 방향의 강한 조류로(Hydrographic office[1990]) 인하여 금강에서 유입되는 현생 니질 퇴적물이 적어 전반적으로 사질 퇴적물이 우세하게 분포하고 있는 것으로 나타난다.

금강에서 가장 인접한 정점 7은 Min et al.[1993]과 Oh and Kum [2001]에 따르면 금강에서 유입된 세립질 퇴적물의 영향을 많이 받 고 있으며 해침시기에 금강에서 유입된 현생 니질 퇴적물과 잔류 사 질퇴적물이 조류의 영향을 받아 교호하게 퇴적되었다고 한다. 정점 7의 코어에서 나타나는 사질-니질사(또는 사질니)-사질 순의 교호한 퇴적층은 연구지역의 이러한 퇴적환경 특성을 잘 반영한다(Figs. 4, 6).

외연도 북쪽에 위치한 정점 9, 11의 퇴적물은 전반적으로 사질니 또는 니질사 퇴적물이 균질하게 퇴적되어 있는데 이는 해침 때 침 식을 받고 해수면이 안정된 이후 금강뿐만 아니라 인근연안에서 현 생 니질 퇴적물이 유입되고 강한 조류와 생물 교란 등에 인해 사질 퇴적물과 니질 퇴적물이 활발히 혼합된 것으로 사료된다(Min *et al.*[1993]; Oh and Kum[2001]).

퇴적물의 수심에 따른 물성 변화는 일반적으로 해양퇴적물이 퇴 적된 이후 다짐 및 고화작용에 의해 깊이가 깊어질수록 함수율과 공 극률이 감소하고 깊이에 따른 전단응력이 증가한다(Mosher *et al.*[1994]). 그러나 본 연구지역의 경우 깊이에 따라 공극률과 함수 율이 크게 변하지 않으며 전단응력 역시 증가하다 작아지는 등 깊 이에 따른 변화가 없는 것으로 보아(Figs. 5, 6, 7, 8) 이는 본 연구



Fig. 10. Correlation between velocity (m/s) and mean grain size (Φ). Regression curves from this study and the previous study (Chon [1997]) are plotted with regression equation of this study.



Fig. 11. Correlation between velocity (m/s) and wet bulk density (g/cm³). Regression curves from this study and the previous study (Chon [1997]) are plotted with regression equation of this study.

지역이 퇴적물의 퇴적 이후 속성작용에 의한 영향이 크지 않았던 것 으로 생각된다.

본 연구지역은 남해 sand ridge(Chon[1997])의 퇴적물 조직과 평 균입도 분포가 비슷한 양상을 보이나, Chon[1997]이 수행한 남해 지역의 연구결과에는 니질퇴적층의 자료가 포함되어 있어 공극률 (31~74%)이 본 연구지역보다 높은 분포를 보인다(Fig. 12). 이와 반 대로 습윤 전밀도는 Chon[1997]의 연구결과(니질퇴적물: 1.43~1.74 g/cm³, 사질 퇴적물: 1.97~2.16 g/cm³)보다 높은 값을 보인다(Fig. 13). 퇴적물의 조성이 같을 경우 습윤전밀도는 다짐작용이나 고화작 용에 영향을 받으며, 광물의 조성이 유사한 경우 퇴적물의 조직에 의해 일반적으로 세립질보다 조립질 퇴적물에서 높게 나타난다 (Shepard *et al.*[1979]). 그러나 공극률과 전단응력의 관계에서 본 연 구지역이 속성작용의 영향을 크게 작용하지 않은 것으로 보아 습윤 전밀도의 결과가 Chon[1997]의 값과 다르게 나타나는 이유는 광물 조성의 차이에 의한 것으로 사료된다.



Fig. 12. Correlation between porosity (%) and mean grain size (Φ). Regression curves from this study and the previous study (Chon [1997]) are plotted.



Fig. 13. Correlation between wet bulk density (g/cm^3) and mean grain size (Φ). Regression curves from this study and the previous study (Chon [1997]) are plotted.

음파전달속도는 퇴적물의 공극률과 평균입도 및 조직함량 분포 양상을 따라 변화를 보인다. 공극률이 낮고 사질함량이 높은 구간에 서는 음파전달속도가 높은 반면에 공극률이 높고 사질함량보다 니 질함량이 많은 구간에서는 낮은 음파전달속도 분포를 보인다. 이는 음파전달속도가 공극률과 평균입도 및 조직 분포에 영향을 받는다는 것을 보여준다. 이들 음파전달속도를 Chon[1997]의 연구결과 중 퇴 적물 조직이 유사한 결과와 비교해 볼 때 평균적으로 약 20~30 m/s, 최대 70 m/s의 절대 값 차이를 보이는데 이는 각각의 연구에서 이 용한 속도측정 시스템의 차이로 해석된다(Fig. 10). 일반적으로 실 내 음파전달속도 측정 시스템의 경우 기계적인 차이, 측정주파수 그 리고 측정 시 온도 및 시료의 길이 등 다양한 요인이 속도에 영향을 준다. Chon[1997]이 사용한 측정 방법은 사질퇴적물 시료 측정이 용이하도록 고안된 속도측정기(Otronix model: 93 M Sediment Sound Velocimeter)로 이는 트랜스듀서(transducer)를 직접 시료에 삽입하여 측정하는 방식으로 시스템부터 측정방식까지 본 연구를 위해 사용한 방법과 뚜렷한 차이점이 있다. 이러한 차이로 인해 음 파전달속도가 차이가 나타난 것으로 생각된다. 또한 본 연구 및 Chon[1997]의 결과는 실험실 온도 20°C에서 측정된 음파전달속도 결과이므로 현장에서의 퇴적물 음파전달속도로 활용 시 해저면 수 온변화를 고려하여 음파전달속도를 보정할 필용가 있다.

음파감쇠계수의 경우 비교적 사질함량이 높은 구간에서 높은 값을 보이며 정점 7의 경우 공극률이 가장 높은 70, 490 cm구간에서 가 장 높은 음파감쇠값이 나타난다. 일반적으로 음파감쇠의 경우 입도의 변화와 직접적인 상관성이 없으며 공극률이 약 60%인 very fine sand에서 가장 높은 음파감쇠값을 보이고 silty clay에서 가장 낮은 감쇠값을 보여주는 것으로 알려져 있다(Hamilton[1970]). 본 연구에 서도 이러한 일반적인 경향이 잘 나타나나 정점 11의 경우 평균 공 극률이 60%이나 음파감쇠계수 값이 낮은데 이는 퇴적물을 구성하 고 있는 사질 퇴적물 함량이 낮기 때문인 것으로 사료된다.

4.2 각 물성간 상관관계

해양 퇴적물은 퇴적물의 조직, 물리적 및 음향 특성 간에 상관관 계를 갖고 있다. 이를 이용하여 퇴적물의 조성이 유사할 경우 퇴적 물의 조직을 이용하여 속도와 다른 물리적 특성 값을 계산할 수 있 으며 이와 반대의 경우도 가능하여 이것을 이용해 지음향 모델을 포 함하는 물성 모델을 만들 수 있다(Hamilton[1970]). 그러나 최근에 와서는 이러한 모델의 경우 지역에 따른 퇴적조건, 퇴적환경 및 광 물 조성 및 분석방법 등에 의한 차이에 의해 그 모델이 완적하게 적 용될 수 없으며 지역에 따른 새로운 모델이 제시되어야 한다는 연 구가 제시되었다(Kim *et al.*[1996]; Kim and Kim[2001].

연구지역의 해양 퇴적물에서 분석한 조직, 물성 및 지음향 특성 간의 상관관계는 심해 퇴적물을 대상으로 한 Hamilton[1970]과 남 해 대륙붕에서 분석한 Chon[1997]의 연구결과와 전체적인 경향은 유사하게 나타났다. 일반적으로 전밀도는 음파전달속도를 결정하는 변수 중의 하나로 전밀도가 증가할 경우 체적탄성률과 전단탄성률 이 증가하므로 속도는 이에 비례하여 증가한다(Hamailton[1970]; Hamilton and Bachman[1982]). 본 연구와 Chon[1997]의 연구 결과 역시 전밀도가 증가함에 따라 음파전달속도가 증가하는 일반적인 경향을 따르고 있으나 Hamilton[1970]의 연구결과와 비교하면 전밀 도와 음파전달속도의 절대값 차이가 나타난다. 이러한 절대값의 차 이는 주로 광물성분, 속성작용, 원양성 퇴적물과 미고생물의 종류 및 함량 등에 따른 퇴적물의 전밀도 차이에 의해 발생한다. 본 연구 지역과 Chon[1970]의 연구지역은 비교적 연안에 인접하여 육성 기 원 퇴적물이 주를 이루고 있어 원양성 퇴적물이 대부분인 심해 퇴 적물에 비해 높은 전밀도를 가지고 있다.

퇴적물내의 공극률은 구성 광물 입자의 크기, 조성 형태, 퇴적구조, 다짐작용에 의한 입자의 배열 상태 등에 영향을 받으며(Laughton [1957]; Sutton and Nafe[1957]; Nafe and Drake[1963]; Horn *et al.* [1968]; Schreiver[1968]), 입자크기가 작아질수록 공극률의 증가와 함께 퇴적물 음과전달속도가 감소하다가 공극률이 80% 이상이 되 면 오히려 속도는 다시 증가한다(Hamilton[1970]). 본 연구에서는 Chon[1997]의 연구 결과와 마찬가지로 공극률이 증가하고 평균입 도가 감소함에 따라 음파전달속도가 감소하는 일반적인 경향을 잘 따르고 있다. 그러나 연구해역은 Hamilton[1970]의 연구에 이용한 심해 퇴적물보다 조립질 퇴적물로 구성되어 있어 공극률이 80% 이 상일 때 나타나는 퇴적물 내 속도 증가는 확인 할 수 없었다. 공극 률과 음파전달속도의 상관관계에서는 연구지역과 남해 대륙붕 (Chon[1970])간에 비교적 큰 절댓값 차이나 나타난다. 이는 비록 두 연구지역이 조립 퇴적물이 우세한 유사 환경임에도 불구하고 퇴적 물 조직 함량 및 퇴적물 분포 특성의 미세한 차이로 인해 물성간 상 관관계에서는 지역적 구분이 가능함을 보여준다. 따라서 향후 한반

도 주변 해역 물성 및 지음향 모델을 적용하기 위해서는 퇴적물 물 성 및 지음향 자료로부터 각 해역 및 지역별 퇴적환경을 고려한 물 성간 상관관계를 도출하면 보다 신뢰성있는 지음향모델 구축이 가 능할 것으로 생각된다.

5.결 론

황해 중동부 해역 해양퇴적물에 대한 퇴적물의 조직 및 물성에 대 한 연구결과, 연구해역은 사질 퇴적물이 우세한 가운데 퇴적물 조직의 수평·수직적인 변화는 금강 및 인근 연안에서 공급된 니질 퇴적물의 영 향을 받아 결정되었다. 음과전달속도 및 물성의 변화는 퇴적물 조직 의 변화 및 입도분포와 전체적으로 잘 일치한다. 잔류사질퇴적물의 영향을 받는 한반도 남해 sand ridge(Chon[1997])와 물성 및 음향 특성 연구 결과와 비교하면 전반적인 경향은 비슷하나 절댓값에서 차이를 보인다. 퇴적물의 음향 및 물성, 입도 상관관계 역시 비교모 델들과 절댓값의 차이는 있으나 경향은 유사하다. 이러한 절댓값의 차이는 퇴적물의 조직, 기원에 따른 광물조성, 퇴적환경, 음과전달 속도 측정 방식 및 장치의 차이로 인한 결과로 생각된다. 또한 본 연 구지역의 지음향 모델을 구축하는데 필요한 물성과 음과전달속도간 의 관계식을 제시하고자 한다.

후 기

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2015년)에 의하여 연 구되었습니다.

References

- Alexander, C.X., DeMaster, D.J. and Nittrouer, C.A., 1991, "Sediment accumulation in a modern epicontinental shelf setting in the Yellow Sea", Mar. Geol, Vol.98, No.1, 51-72.
- [2] Bae. S.H., 2015, "Depositional Environment of the late quaternary deposits in the Southern and southwestern inner shelf of Korea", Doctor thesis, Pukyong Univ. 195.
- [3] Boyce, R.E., 1976, "Definition and laboratory techniques of compressional sound velocity parameter and wet-water, wet bulk density, and porosity parameter by gravimetric and gamma ray

attenuation techniques", Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Vol.33, 931-958.

- [4] Cho, Y.G., Lee, C.B. and Choi, M.S., 1999, "Geochemistry of surface sediments off the southern and western coast of Korea", Mar. Geol, Vol.159, No.1/4, 111-129.
- [5] Cho, Y.G, Lee, C.B., Park, Y.A., Kim, D.C and Kang, H.J, 1993, "Geochemical Characteristics of surface sediments in the eastern part of the Yellow Sea and the Korean west coast", J. Kor. Quat. Res. Vol.7, No.1, 69-91.
- [6] Choi, D.L., Kim, S.R., Suk, B.C. and Han, S.J., 1992, "Transport of sandy sediments in the Yellow Sea off Tae-An peninsula, Korea", J. Oceanol. Soc. Kor., Vol.27, No.1, 66-77.
- [7] Choi, J.Y., 1993, "Seosonal variations of suspended matters in the Keum estuary and its adjacent coastal area", J. Oceanol. Soc. Kor. Vol.28, No.4, 272-280.
- [8] Choi, J.Y. and Park Y.A., 1993, "Distributions and textural characters of the bottom sediments on the continental shelves, Korea", J. Oceanol. Soc. Kor., Vol.28, No.4, 259-271.
- [9] Choi, J.Y., Lim, D.I., Park, C.H., Kim, S.Y., Kang, S.R. and Jung, H.S., 2010, "Characteristics of clay mineral compositions in river sediments around the Yellow Sea and its application to the provenance of the continental shelf mud deposit", J. Geol. Soc. Kor., Vol.46, No.5, 497-509.
- [10] Chough, S.K. and Kim, D.C., 1981, "Dispersal of fine-grained sediments in the southeastern Yellow Sea: A steady-state model", J. Sed. Petrol., Vol.51, No.3, 721-728.
- [11] Chough, S.K., Kim, J.W., Lee, S.H., Shinn, Y.J., Jin, J.H., Suh, M.C. and Lee J.S., 2002, "High-resolution acoustic characteristics of epicontinental sea deposits, central-eastern Yellow Sea", Mar. Geol., Vol.188, No.3/4, 317-331.
- [12] Chon H.J., 1997, "Physical properties and facies of the sand ridge sediment, South Sea of Korea", Master thesis, Pukyong Univ, 66.
- [13] Folk, R.L. and Ward, W.C., 1957, "A study in the significance of grain-size parameters", J. Sed. Petrol., Vol.27, 3-27.
- [14] Hamilton, E.L., 1970, "Sound velocity and related properties of marine sediments, North Pacific", J. Acoust. Soc. Am., Vol.72, 1891-1904.
- [15] Hamilton, E.L., 1979, "Sound velocity gradients in marine sediments", J. Acoust. Soc. Am., Vol.65, 909-922.
- [16] Hamilton, E.L., 1979, "Sound velocity gradients in marine sediments", J. Acoust. Soc. Am., Vol.65, 909-922.
- [17] Hamilton, E.L., 1980, "Geoacousitc modeling of the sea floor", J. Acoust. Soc. Am., Vol.68, 1313-1340.
- [18] Hamilton, E.L. and Bachman, R.T., 1982, "Sound velocity and related properties of maine sediments", J. Acoust. Soc. Am., Vol.72, 1891-1904.
- [19] Horn, D.R., Horn, B.M. and Delach, M.N., 1968, "Correlation between acoustical and other physical properties of deep sea cores", J. Geophys. Res., Vol.73, 1939-1957.
- [20] Hydrographic office, "1990, Chart of Tidal Current near Kyungyol-

biyoldo", 1-2.

- [21] Kim, D.C., 1989, "Laboratory Determination of Compressional wave Velocity for Unconsolidated Marine Sediment", J. Kor. Fish. Soc., Vol.22, No.3, 147-453.
- [22] Kim, D.C., Kim, G.Y., Seo., Y.G., Hae, D.H., Ha, I.C., Yoon, Y.S. and Kim J.C., 1999, "Automated velocity measurement technique for unconsolidated marine sediment", J. Ocean. Soc. Kor., Vol.4, No.4, 400-404.
- [23] Kim, G.Y., Kim, D.C., Kim, S.J., Seo, Y.K., Jung, J.H. and Kim, Y.E, 2000, "Physical properties of southeastern Yellow Sea Mud (SEYSM): Comparison with the East Sea and the South Sea mudbelts of Korea", J. Oceanol. Soc. Kor. The Sea, Vol.5, No.4, 335-345.
- [24] Kim, G.Y., Kim, D.C., Park, S.C., Yoo, D.G., Choi, J.H. Choi, J.C, 1996, "Physical properties of sandy sediment in the southeastern coast of Korea", J. Kor. Fish. Soc., Vol.29, 663-676.
- [25] Kim, J.L. and Park, S.C., 1985, "Intertidal flat sediments and characteristics sedimentary structures in Changgu Bay, west coast of Korea", J. Oceanol. Soc. Kor., Vol.20, No.1, 43-49.
- [26] Kolsy, H., 1953, "Stress waves in solid", Clarendon Press, Oxford, Great Briain.
- [27] Kwon, K.M., Choi, B.J., Lee, S.H., Cho, Y.K and Jang, C.J., 2011, "Coastal current along the eastern boundary of the Yellow Sea in Summer: Numerical simulations", J. Oceanol. Soc. Kor. The Sea., Vol.16, No.4, 155-168.
- [28] Laughton, A.S., 1957, "Sound propagation in compacted ocean sediments", Geophysics, Vol.2, 233-260.
- [29] Lee, C.B., Jung, H.S. and Jeong, K.S., 1992, "Distribution of some metallic elements in surface sediments of the southeastern Yellow Sea", J. Oceanol. Soc. Kor., Vol.27, No.1, 55-63.
- [30] Lee, H.J. and Chough, S.K., 1989, "Sediments distribution, dispersal and budget in the Yellow Sea", Mar. Geol., Vol.87, No.2/ 4, 195-205.
- [31] Milliman, J.K., Li, F., Zhao, Y.Y., zheng, T.M. and Limeburner R., 1986, "Suspended matter regime in the Yellow Sea", Progress in Oceanography, Vol.17, No.3/4, 215-227.
- [32] Min, G.H., Bang, H.K., Jhin, J.H., Lee, Y.O., Lee, C.W., Kim, S.W., Park, Y.S. and Kim, C.S, 1993, "Marine geological study of the continental shelf off Taecheon, west coast, Korea", KIGAM research report, 155.
- [33] Mosher, D.C., Moran, K. and Hiscott, R.N., 1994, "Late quaternary sediment, sediment mass flow processes and slope stability on the Scotial Slope, Canada", Sedimentol., Vol.41. 1039-1061.
- [34] Nafe, J.E. and Drake, C.L., 1963, "Physical properties of marine sediments in the sea", edited by M.N. Hill. Interscience. N.Y., 794-815.
- [35] Oh, J.K. and Kum, B.C., 2001, "Depositional Environments and Characteristics of surface Sediments in the Nearshore and Offshore off the Mid-Western Coast of the Korean Peninsula", J. Earth. Soc. Kor. Vol.22, No.5, 377-387.
- [36] Park, S.C., Lee, B.H, Han, H.S, Yoo, D.G. and Lee, C.W., 2006,

"Late Quaternary stratigraphy and development of tidal sand ridges in the eastern Yellow Sea", J. Sed. Res., Vol.76, No.9, pp. 1093-1105.

- [37] Park, Y.A. and Choi, J.Y., 1989, "Mechanisms and distribution patterns of the fine-grained suspended materials off the southwest coast of Korea", Acta Oceanographica Taiwanica, Vol.24, 52-64.
- [38] Park Y.A., Choi. J.Y., Lee. C.B., Kim, D.C. and Choi, K.W., 1994, "Sediment distribution and depositional processes on the inner continental shelf off the west coast of Korea", J. Oceanol. Soc. Kor., Vol.29, No.4, 357-365.
- [39] Park, Y.A. and Khim, B.K., 1990, "Clay minerals of the recent fine-grained sediments on the Korean continental shelves", Cont. Shelf Res., Vol.10, No.12, 1179-1191.
- [40] Park, Y.A. and Khim, B.K., 1992, "Origin and dispersal of recent clay minerals in the Yellow Sea", Mar. Geol, Vol.104, No.1/4, 205-213.
- [41] Ryang, W.H., Jin, J.H., Jang, S.H., Kim, S.P., K, H.T. and Lee, C.W., 2001, "Geoacoustic characteristics of quaternary stratigraphic sequences in the mid-eastern Yellow Sea", J. Oceanol. Soc. Kor. Vol.6, No.2, 81-92.
- [42] Schreiver, B.C., 1968, "Sound velocity in deep-sea dediments", J. Geophys. Res. Vol.73, 1259-1268.
- [43] Shepard, L.E., Bryant, W.R. and Dunlap, W.A., 1979, "Geotechnical properties and their relation to geologic processes in South Pass outer continental shelf lease area Blocks 28, 47 and 48, offshore Louisiana", Texas A&M Univ. Technical Report 79-5-T, 125.
- [44] Schubel, J.R., Shen, H.T. and Park, M.J., 1984, "A comparison of some characteristic sedimentation processes of estuaries entering the Yellow Sea", In: Park, Y.A., Pilkey, O.H., Kim, S.W. (Eds.), Marine Geology and Physical Processes of the Yellow Sea. Seoul, Korea, 286-308.
- [45] Sutton, G.H. Berckheimer and Nafe, J.E., 1957, "Physical analysis of deep-sea sediments", Geophysics, Vol.22, 779-812.
- [46] Toksoz, M.M., Johnston, D.H., Timur, A., 1979, "Attenuation of seismic waves in dry and saturated rocks: I. Laboratory measurements", Geophysics, Vol.44, 681-690.
- [47] Yang, S.Y. and Youn, J.S., 2007, "Geochemical compositions and provenance discrimination of the central south Yellow Sea sediments", Mar. Geol., Vol.243, No.1/4, 229-241.
- [48] Yang, Z.S. and Liu, J.P., 2007, "A unique Yellow River derived distal subaqueous delta in the Yellow Sea", Mar. Geol., Vol.240, No.1/4. 169-176.
- [49] Yoo, H. R, 1986, "Remotely sensed water turbidity pattern on the korean side of the Yellow Sea", Ocean Research Vol.8, 49-55.
- [50] Youn, J.S., Lim, D.I., Byun, J.C. and Jung, H.S., 2005, "Discrimination of Sediment Provenance Using ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr Ratios in the East China Sea", J. Oceanol. Soc. Kor. The Sea., Vol.10, No.1, 92-99.

Received 29 February 2016

1st Revised 27 April 2016, 2nd Revised 24 August 2016 Accepted 26 August 2016