

동해 연안 해역 퇴적물 물성 및 속도 특성

Geophysical and velocity properties of coastal sediments in the East Sea, Korea

정지한* · 김대철** · 서영교*** · Jock Keene****

Ja-Hun Jung · Dae-Choul Kim · Young-Kyo Seo · Jock Keene

요약 동해 연안 해역에서 채취한 주상시료에 대한 퇴적물 입도, 지음향 및 물리적 특성을 분석하였으며 각 특성별 상관성을 연구하였다. 연구해역은 3개 권역(울산, 포항, 울진)으로 구분되며 총 22개 정점에서 피스톤 코어 방식으로 채취된 시료에 대하여 퇴적물 조직, 물리적 특성(밀도, 함수율, 공극율), 음파전달속도 등을 측정하였다. 연구해역 퇴적물 음파전달속도 특성은 퇴적물 조직에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 연구해역 퇴적물의 지음향 및 물리적 상호 특성은 권역별로 조금씩 차이가 있으며 퇴적물의 기원도 부차적 변수로 작용하는 것으로 나타났다. 향후 연구를 위해 각 권역별 평균입도에 따른 지음향 특성 상관식을 산출하여 제시하였다.

키워드 지음향 특성, 피스톤 코어, 퇴적물 조직, 물리적 특성, 음파전달속도

Abstract The marine sediment of the southeastern coast of Korea (western part of the East Sea) were collected and studied to understand the correlation pattern of geoacoustic and physical properties to texture of the sediment. The study area is divided into three different parts (Ulsan, Pohang, and Uljin). Twenty-two piston core sampling stations were employed for the study. The analysis was performed on sediment texture, physical properties (density, water content, porosity), and geoacoustic property (sound velocity). The sound velocity is strongly influenced by the sediment texture. The correlation between geoacoustic and physical properties are slightly different among the three areas. The sediment source, however, also plays a minor role on the geoacoustic property. Empirical equations of the three different areas are proposed for the further research.

Key words Geoacoustic property, Piston core, Sediment texture, Physical property, Sound velocity

1. 서론

우리나라 주변해역 해저 퇴적물의 물성 및 지음향에 관한 연구는 탄성과 자료를 이용한 간접 계산 방식으로 시작되었다(조, 1985). 80년대 후반부터 시추코어를 이용하여 실험실에서 직접 측정하는 방식이 수행되면서(김과 김, 1991; Kim et al., 1992; 김 등, 1999; Kim and Kim, 2001) 활발히 진행되고 있다. 해양퇴적물의 지음향 특성을 파악하는 것은 해양지질 및 해양지구물리 등의 순수학문적인 분야뿐만 아니라 해양토목, 해양환경, 수중음향 등 여러 분야에서 다양하게 응용되고 있다. 최근에는 고해양학 분야에서도 적극적으로 활용되고 있다(Kim et al. 1999). 또한 퇴적물 각 변수간의 상관관계는 퇴적물의 조성이 유사하더라도

기원에 따라라도 달라지기 때문에 최근 들어 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(Kim et al., 2001; 김 등, 2004; Kim et al., 2011, 2012; Bae et al., 2014). 한국 주변 해양퇴적물의 지음향 특성은 남해와 동해 일부에서 연구한 자료가 있기는 하지만 해역이 한정되어 있어서 수중음향 분야에서 필요한 지음향 자료를 제공하는 데는 한계가 있다. 해양퇴적물의 지음향 특성은 퇴적물의 조직이나 조성같은 기본적인 특성이나 이에 따른 물성(전밀도, 공극율 등)의 함수이면서 퇴적물의 기원이나 지리적 분포에도 영향을 받는다(Hamilton, 1980). 본 논문에서는 울산, 포항, 울진 해역에서 획득한 주상시료의 분석을 통해 연안해역 퇴적물의 지음향 특성 분포를 파악하는 것을 목적으로 한다.

Received: 2017.04.01, Revised: 2017.04.30, Accepted: 2017.05.04

* 지마텍(주) 본부장, jh1206@gematek.com

** 부경대학교 에너지자원공학과 교수 (교신저자), dckim@pknu.ac.kr

*** 지마텍(주) 대표이사, 부경대학교 에너지자원공학과 겸임교수 seoyk@gematek.com

**** 시드니 대학

2. 재료 및 방법

연구해역의 퇴적물 시료는 2005년부터 2009년까지 총 5년에 걸쳐 한국지질자원연구원 연구선 탐해2호에 탑재되어 있는 피스톤 코어를 이용하여 채취하였다. 시료정점은 22 곳이며 이곳에서 시추한 코어시료에 대해 분석을 수행하였다(Fig. 1).

연구해역을 크게 3개 권역(울산, 포항, 울진)으로 나누어 해역별 지층상 특성을 분석하였다. 교란을 최소화하여 현장에서 실험실로 운반된 코어시료를 반으로 절개하여 코어사진 촬영을 비롯한 주상도 작성 후 10 cm 간격으로 부시료를 채취하여 각 항목별 분석을 수행하였다.

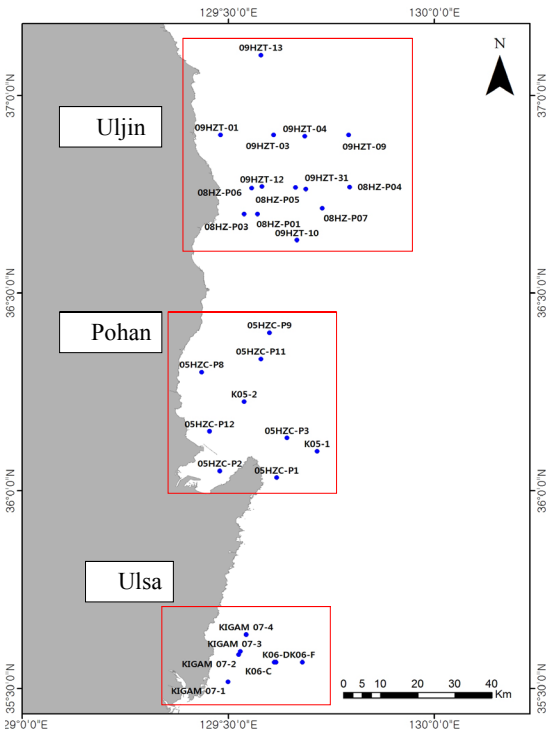


Figure 1. 피스톤코어 채취 정점도.

퇴적물 입도는 습식체질(4 ϕ) 후 세립질부는 자동입도분석기(Sedigraph 5100)를 통해 분석하였으며, 조립질부는 요동기(Ro-tap)를 이용한 건식체질을 통해 분석하였다. 각 ϕ 별로 나온 자료를 이용하여 Folk and Ward (1957) 및 Folk (1968)의 모멘트 방법에 의해 평균입도와 분급도 등을 산출하였다.

퇴적물 물리적 특성은 밀도측정기 (Micromeritics, Multivolume Pycnometer 1305)를 이용하여 공극율, 함수율, 습윤전밀도 등을 측정하였다. 음파전달속도

(Vp)는 코어에서 부시료를 채취하여 1 MHz의 PZT 변환기를 사용하는 자동음파전달속도 측정시스템 (김등, 1999)을 이용하여 측정하였다. 코어시료의 특성상 부시료의 크기가 작기 때문에 고주파인 1MHz 주파수의 변환기를 사용하였다 (Kolsky, 1953). 실험실 온도는 공조장치를 가동하여 일정하게 유지하여 측정하였고 현장온도 보정은 하지 않았다.

3. 결과 및 토의

3.1 울산해역

총 7개 코어시료에 대해 분석을 수행하였으며 회수된 코어의 길이는 1.71~3.41m 이다 (Fig. 2, Table 1).

입도분석 결과 평균입도 분포는 2.30~7.96 ϕ 범위를 보였으며 분급도는 1.07~3.16 ϕ 로 나타났다. 공극율은 36.25~78.36%, 함수율은 18.60~61.02%이고 음파전달속도는 1465~1762 m/s의 범위를 보인다.

Table 1. 울산해역 채취코어 관련 정보

정점	위도	경도	수심 (m)	코어 길이(m)
KIGAM 07-1	35°30.973'	129°29.988'	66	2.31
KIGAM 07-2	35°35.108'	129°31.532'	66	2.57
KIGAM 07-3	35°35.630'	129°31.767'	69	3.41
KIGAM 07-4	36°38.170'	129°32.594'	70	3.31
K06-C	35°34.008'	129°36.676'	124	1.71
K06-D	35°34.007'	129°36.967'	124	1.71
K06-F	35°34.002'	129°40.799'	130	2.01

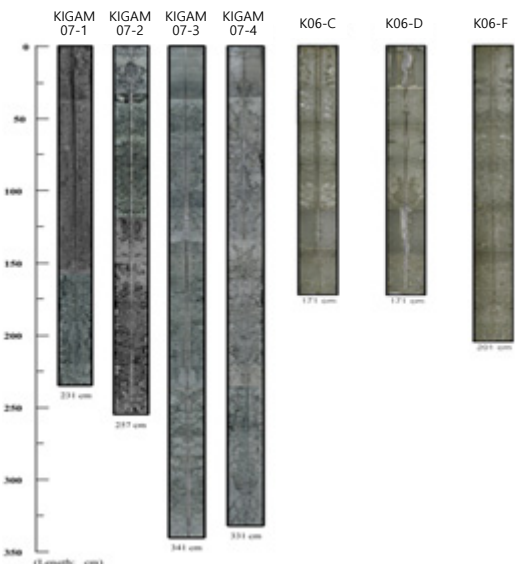


Figure 2. 울산해역 채취 코어 사진.

퇴적물의 입도와 물리적 특성에 따라 울산해역은 크게 2개 구역으로 나눌 수 있는데 수심 80m 이내 남동해역 니질대에 해당하는 니질 퇴적물 구역과 수심 100m 이상에 분포하는 사질 퇴적물 구역으로 분류된다. 수심 80m 이내의 코어 KIGAM07-1,2,3,4 평균입도 분포는 8.16~8.34 ϕ 이며 수심 100m 이상인 코어 K06-C,D,F의 평균입도분포는 4.0~5.20 ϕ 로 나타났다. 평균입도에 따른 각 물성간의 전체적인 상관성은 매우 양호하다 (Fig. 3~5). 연구해역은 퇴적물 입도가 조립할수록 음파전달속도와 습윤전밀도는 증가하고 반면에 공극율은 감소하는 양상을 보인다. 또한 2개의 구역으로 나뉘는 수심대별 퇴적물 특성이 물리적 특성과 연관되어 뚜렷하게 구분되는 것을 볼 수 있다.

일반적으로 해양퇴적물의 지음향 특성에 가장 영향을 많이 미치는 요인으로 퇴적물 조적을 들 수 있는데 속도와의 상관성을 보면 조립질 입자의 함량이 높을수록 퇴적물 속도가 높아지며 세립질 입자의 함량이 높으면 퇴적물 속도가 느려지는 일반적인 경향을 보인다 (Hamilton, 1980). 울산해역에서도 이와 유사한 보편적인 경향을 보이고 있으며 수심대별 퇴적물 평균입도에 따라 퇴적물 속도 분포가 구분되는 특성을 보인다. 또한 공극율과 습윤전밀도 사이에는 강한 상관관계가 나타나는데 (Fig. 6), 이는 공극율이 유사한 해양퇴적물에서 일반적으로 나타나는 현상이다 (Hamilton, 1970, 1980; Hamilton and Bachman, 1982).

울산해역은 낙동강 기원의 현생 퇴적물이 대륙붕을 따라 대규모 니질퇴적체를 형성하고 있고 외대륙붕에는 잔류퇴적물이 피복되어 있다 (최 등, 2010).

낙동강 기원의 현생 니질 퇴적체는 기원도 같고 지음향학적 특성도 유사한 것으로 알려져 있기 때문에 (김 등, 2005) 울산해역의 니질대에서 획득한 퇴적물의 조직 및 물리적 특성 역시 유사하게 나타나는 것으로 판단된다.

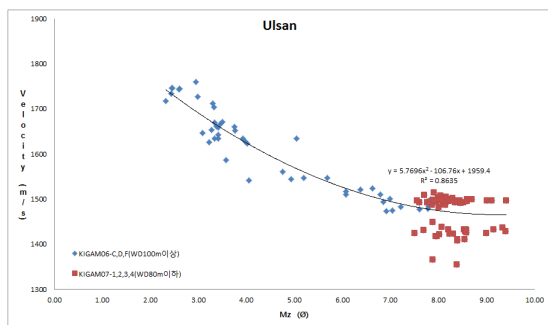


Figure 3. 울산해역 평균입도와 속도 상관성 그래프.

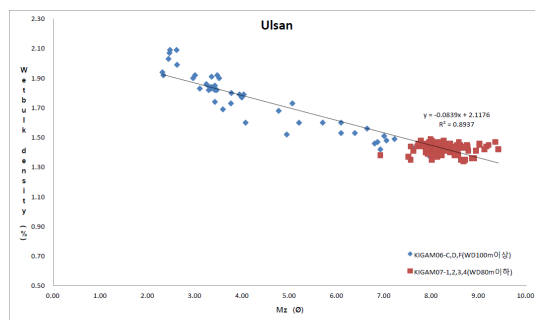


Figure 4. 울산해역 평균입도와 습윤전밀도 상관성 그래프.

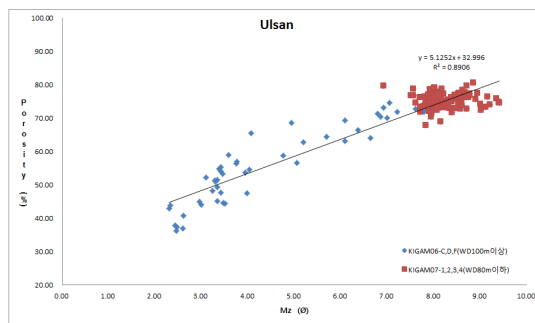


Figure 5. 울산해역 평균입도와 공극율 상관성 그래프.

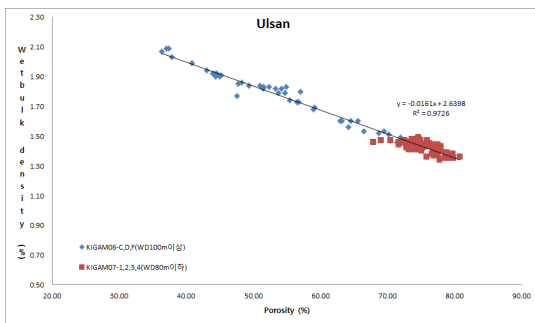


Figure 6. 울산해역 공극율과 습윤전밀도 상관성 그래프.

3.2 포항해역

총 9개 코어시료에 대해 분석을 수행하였으며 회수된 코어의 길이는 2.05~5.91m 이다 (Fig. 7 & Table 2). 전체 평균입도 분포는 0.68~9.61 ϕ 이며 분급도의 분포범위는 1.01~4.64 ϕ 이다. 공극율은 20.37~81.81%, 함수율은 8.64~63.99% 이며, 음파전달속도는 1461~1757 m/s의 범위를 보인다.

Table 2. 포항해역 채취코어 관련 정보

정점	위도	경도	수심 (m)	코어 길이(m)
05HZC-P1	36° 01.982'	129° 37.070'	82	5.72
05HZC-P2	36° 02.987'	129° 28.771'	26	5.72
05HZC-P3	36° 08.014'	129° 38.557'	107	5.91
05HZC-P8	36° 18.026'	129° 26.117'	74	2.94
05HZC-P9	36° 23.994'	129° 35.994'	223	5.78
05HZC-P11	36° 20.017'	129° 34.745'	176	4.4
05HZC-P12	36° 09.014'	129° 27.274'	31	2.05
K05-1	36° 06.000'	129° 42.908'	225	3.39
K05-2	36° 13.530'	129° 32.323'	80	2.85

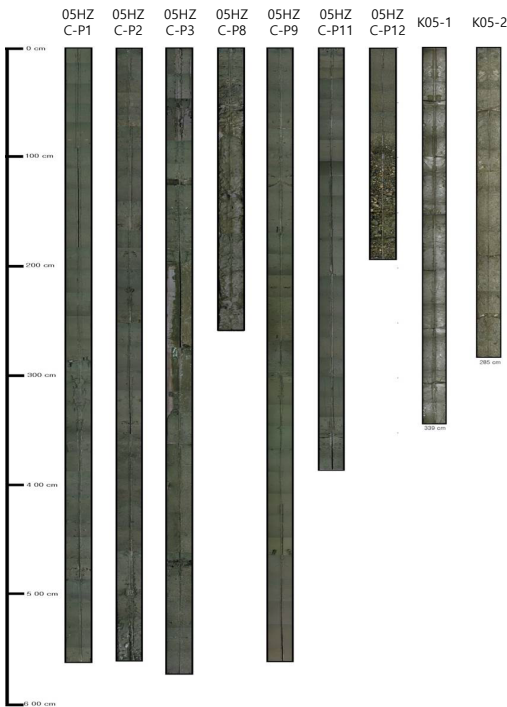


Figure 7. 포항해역 채취 코어 사진.

포항해역은 구룡포만 안쪽에 위치하는 05HZC-P2 정점을 제외하고 수심 80m 이내 연안에 위치한 정점 05HZC-P8, 05HZC-P12, K05-2)에서 상대적으로 조립된 퇴적물이 우세하게 분포하고 있다. 이보다 외해(수심 80~100m 이상) 쪽에 위치한 정점(05HZC-P1, P3, P9, P11, K05-1)들은 남동해 니질퇴적체 북쪽 끝부분에 해당되며 니질 퇴적물이 우세하게 나타난다.

퇴적물 지움향 특성과 물리적 성질간의 상관관계는 전반적으로 울산해역과 유사하지만 산란이 더 크다. 특히 조립질 퇴적물에서 속도 분포가 불규칙적으로 나타나며 퇴적물 기원이 거의 유사한 울산 해역에 비해 포항 해역은 남동해 니질퇴적체 거의 끝부분에 위치하

여 퇴적물 혼합이 일어나기 때문인 것으로 생각 된다 (Kim et al., 1986; Park et al., 1999).

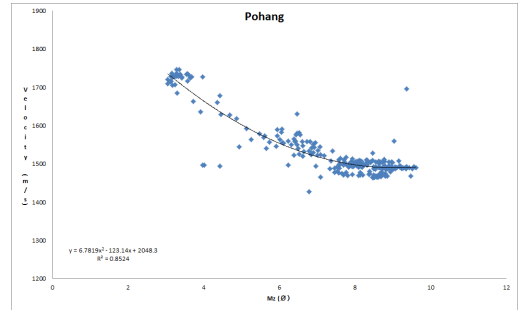


Figure 8. 포항해역 평균입도와 속도 상관성 그래프.

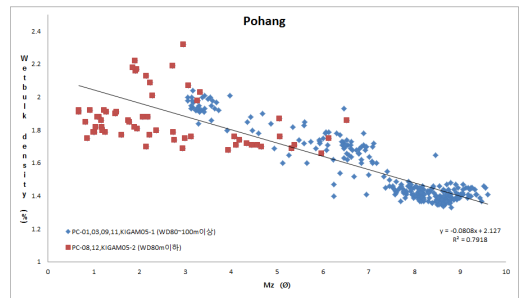


Figure 9. 포항해역 평균입도와 습윤전밀도 상관성 그래프.

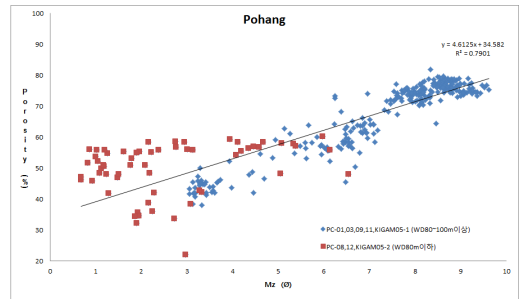


Figure 10. 포항해역 평균입도와 공극율 상관성 그래프.

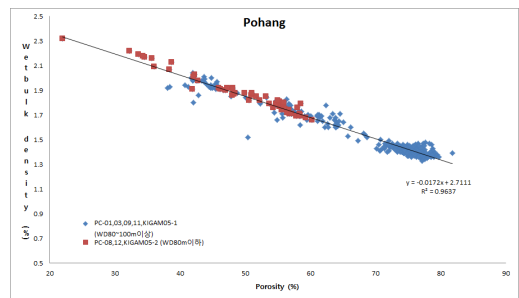


Figure 11. 포항해역 공극율과 습윤전밀도 상관성 그래프.

3.3 울진해역

총 6개 코어시료에 대해 분석을 수행하였으며 코어 회수 길이는 1.79~7.40m 이다 (Fig. 12, Table 3).

전체 평균입도 분포는 0.00~9.55 Ø 이고 분급도는 0.63~4.38 Ø로 나타났다. 공극율은 18.46~82.50%, 함수율은 8.64~67.93% 이고 음파전달속도는 1411~1691 m/s의 범위이다.

Table 3. 울진해역 채취코어 관련 정보

정점	위도	경도	수심 (m)	코어 길이(m)
08HZZT-P01	36° 42.002'	129° 32.315'	121	7.40
08HZZT-P03	36° 41.999'	129° 34.268'	147	7.35
08HZZT-P04	36° 46.061'	129° 47.656'	281	6.85
08HZZT-P05	36° 46.040'	129° 39.777'	197	7.23
08HZZT-P06	36° 45.905'	129° 33.402'	139	1.83
08HZZT-P07	36° 42.893'	129° 43.657'	97	1.79

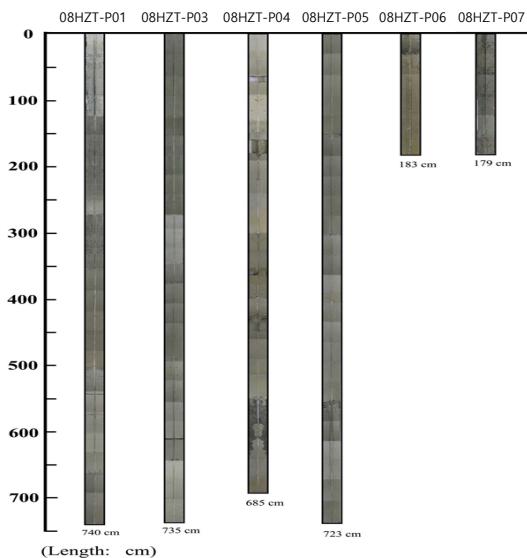


Figure 12. 울진해역 채취 코어 사진

울진해역은 니질 퇴적물이 전반적으로 우세하게 분포된 지역으로서 08HZZT-P06 및 P07에서만 모래의 함량이 상대적으로 높게 나타났다.

모래의 함량이 높은 두 정점을 제외하고는 모든 정점 코어 길이가 6m 이상으로서 최대 7.4m까지 획득되었다. 퇴적양상을 구분할 수 있는 특징적인 특성은 나타나지 않았으며 또한 수심에 따른 퇴적물 분포 변화도 보이지 않았다. 따라서 퇴적물 조직이 전반적으로 유사하여 울산이나 포항에 비하여 자료의 산란이 적은 지층 특성 나타낸다.

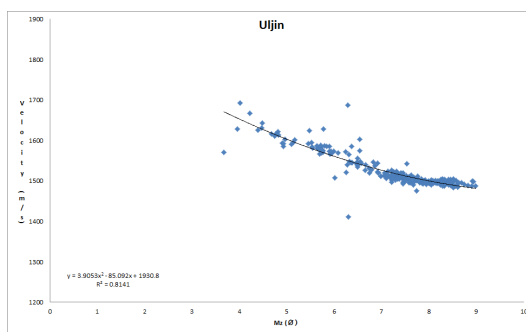


Figure 13. 울진해역 평균입도와 속도 상관성 그래프.

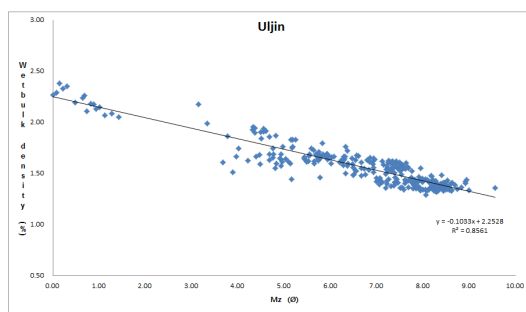


Figure 14. 울진해역 평균입도와 습윤전밀도 상관성 그래프.

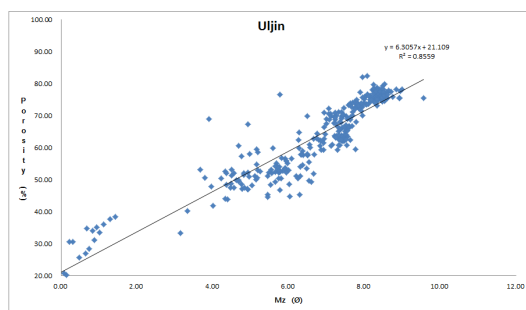


Figure 15. 울진해역 평균입도와 공극율 상관성 그래프.

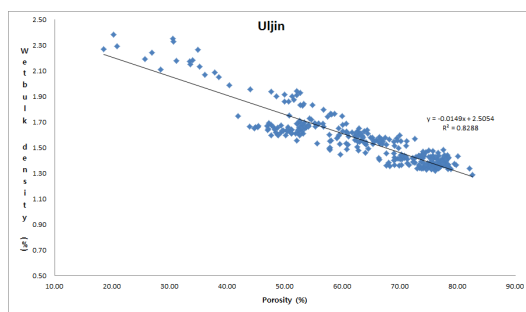


Figure 16. 울진해역 공극율과 습윤전밀도 상관성 그래프.

4. 결론

본 연구해역은 울산에서 울진까지 이르는 동해 연안부에 해당되는 곳으로서 총 22개 주상시료에 대해 퇴적물 조직, 물리적 및 지음향 특성이 분석되었다.

울산해역은 해저지형에 따라 퇴적물 분포 양상이 다르게 나타나는데 수심 80m 이내는 기준에 알려진 남동해 니질퇴적체에 해당되는 구역으로서 니질 퇴적물이 우세하게 분포하고 있으며 수심 100m 이상인 곳은 잔류퇴적물이 우세하게 분포하는 곳으로서 조립질 퇴적물이 피복되어 있다.

포항해역은 남동해 니질 퇴적체가 분포하는 수심 100m 이상 구역과 연안부 수심 80m 이내 조립질 퇴적물이 우세하게 분포하는 구역으로 분류된다. 또한 남동해 니질 퇴적체의 거의 끝부분에 해당하여 지음향 특성과 물리적 특성의 상관관계에 자료의 산란이 가장 강하게 나타난다.

울진해역은 대부분 니질 퇴적물이 우세하게 나타났으며 자료의 산란도 거의 없어서 유의미한 지음향 특성이나 물성특성이 나타나지 않았다.

해역별 분석 결과 연구해역의 지음향 특성에 영향을 미치는 가장 주요한 변수는 퇴적물 조직으로 보이며 퇴적물의 기원도 일부 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다. 보안관계상 연구정점별 지음향 자료를 제시하지 않았지만 연구에서 측정된 지음향 자료는 추가적인 온도보정 (Kim et al., 2008)과 같은 연구를 통해 우리나라 해역의 지음향 분포도 작성에 활용 될 것으로 기대된다.

각 해역별 음파전달속도 (Vp) 특성을 산출하였으며 평균입도 (Mz)와의 상관식은 다음과 같다.

1. 울산해역
 $Vp=5.7696 \times Mz^2 - 106.76 \times Mz + 1959.4$
2. 포항해역
 $Vp=6.7819 \times Mz^2 - 123.14 \times Mz + 2048.3$
3. 울진해역
 $Vp=3.9053 \times Mz^2 - 85.092 \times Mz + 1930.8$

감사의 글

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2017년)에 의하여 연구되었음을 밝힙니다. 시료 채취에 도움을 준 탐해2호 관계자와 한국지질자원연구원에 감사를 포함합니다.

참고문헌

1. 김길영, 김대철, 신보경, 서영교, 이광훈, 2005. 거제도 동쪽 해역 표층퇴적물의 지음향모델, 한국해양학회지 바다, 10, 129-138.
2. 김대철, 김길영, 1991. 광양만 미고결 퇴적물의 물리적 성질 및 음향학적 성질: 북태평양 대륙붕 및 사면자료와의 비교. 한국수산학회지, 24(5): 289-302.
3. 김대철, 김길영, 서영교, 하덕호, 하인철, 윤영석, 김정창, 1999. 해양 퇴적물의 자동음파전달속도 측정장치. 한국해양학회지, 바다, 4, 400-404.
4. 김대철, 서영교, 정자현, 김길영, 2004. 남해 및 남동해역 대륙붕 퇴적물의 지음향 특성, 한국수산학회지, 37, 312-322.
5. 조운현, 1985. 여수 남해 해저 지층내의 탄성과 전달속도와 지층구조에 관한 연구. 이학석사 학위논문, 부산대학교.
6. 최동립, 오재경, 이치원, 우한준, 1997. 한국 남동내대륙붕해역의 홀로세 빨질 퇴적층의 고해상도 탄성과 특성. 한국해양학회지-바다 2, 8-13.
7. Bae, S.H., D.C. Kim, J.C. Kim, Y.K. Seo, G.S. Lee, G.Y. Kim and S.P. Kim, 2014. Physical and acoustic properties of inner shelf sediments in the South Sea, Korea. Quaternary International, 344, 125-142.
8. Folk, R.L., and Ward, W.C., 1957. Brazos River bar, a study in the significance of grain-size parameters. Journal of Sedimentary Petrology 27, 3-27.
9. Folk, R.L., 1968. Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill's, Austin, 170 pp.
10. Hamilton, E.L., 1970. Sound velocity and related properties of marine sediments, North Pacific. Journal of Acoustical Society of America 72, 1891-1904.
11. Hamilton, E.L., 1980. Geoacoustic modeling of the sea floor. Journal of Acoustical Society of America 68, 1313-1340.
12. Hamilton, E.L. and Bachman, R.T., 1982. Sound velocity and related properties of marine sediments. Journal of Acoustical Society of America 72, 1891-1904.
13. Kim, D.C., Park, Y.A., Lee, C.B., Kang, H.J. and Choi, J.H., 1992. Sedimentation and physical properties of inner shelf sediment, South Sea of

- Korea. Journal of the Geological Society of Korea 28, 604-614.
14. Kim, D.C., Sung, J.Y., Park, S.C., Lee, G.H., Choi, J.H., Kim, G.Y., Seo, Y.K. and Kim, J.C., 2001. Physical and acoustic properties of shelf sediments, the South Sea of Korea. Marine Geology 179, 39-50.
 15. Kim, D.C., G.Y. Kim, J.H. Jung, Y.K. Seo, R.H. Wilkens, D.G. Yoo, G.H. Lee, J.C. Kim, H.Y. Yi and G. Cifci, 2008. Laboratory/in situ sound velocities of shelf sediments in the South Sea of Korea, J. Fish. Sci. Technol., 11, 103-112.
 16. Kim, D.C., G.Y. Kim, H.I. Yi, Y.K. Seo, G.S. Lee, J.H. Jung and J.C. Kim, 2012. Geoaoustic provinces of the South Sea shelf off Korea, Quaternary International, 263, 139-147.
 17. Kim, G.Y., D.C. Kim, J. Keene, and J.C. Kim, 1999. Application of sediment physical properties to paleoclimatic interpretation: Preliminary results in the Ulleung Basin, the East Sea, J. Korean. Soc. Ocean., 34, 207-213.
 18. Kim, G.Y. and D.C. Kim, 2001. Comparison and correlation of physical properties from the plain and slope sediments in the Ulleung Basin, East Sea (Sea of Japan), J. Asian Earth Sciences, 19, 669-681.
 19. Kim, G.Y., Kim, D.C., Shin, B.K., Seo, Y.K. and Kim, G.Y., Kim, D.C., Yoo, D.G. and Shin, B.G., 2011. Physical and geoaoustic properties of surface sediments off eastern Geoje Island, South Sea of Korea. Quaternary International 230, 21-33.
 20. Kim, M.S., K.S. Chu and O.S. Kim. 1986. Investigation of some influence of the Nakdong River water on marine environment in the estuarine area using Landsat imagery. Ministry of Science and Technology Korea, Report. 93-147.
 21. Kolsky, H., 1953. Stress Waves in Solids. Clarendon Press, Oxford.
 22. Park S.C, Yoo D.G, Lee KW and Lee HH. 1999. Accumulation of recent muds associated with coastal circulations, southeastern Korea Sea (Korea Strait). Continental Shelf Research 19, 589-608.



정 자 현

2017년 부경대학교 대학원
이학박사
2001년~현재 지마텍(주) 본부장

관심분야는 해양지질, 해양탐사, 지음향



김 대 철

1985년 하와이대학교 이학박사
1985년~현재 부경대학교 교수
2002년~2004년 부경대학교
환경해양대학 학장
2008년~2009년 한국해양학회장

2012년~2016년 한국수로학회장
관심분야는 해양지질, 해양지구물리탐사, 지음향



서 영 교

2006년 부경대학교 대학원
이학박사
2003년~현재 지마텍(주) 대표이사
2006년~현재 부경대학교
에너지자원공학과 겸임교수

관심분야는 해양지질, 해양탐사, 지음향



Jock Keene

1978년~현재 시드니 대학 교수,
명예교수
2001~2003년 호주 IODP 대표

관심분야는 해양퇴적학

