동해 울릉분지 미고결퇴적물의 속도비등방성

Velocity Anisotropy of Unconsolidated Sediment in the Ulleung Basin, East Sea

김 길 영^{*}, 김 대 철^{*} (Gil Young Kim^{*}, Dae Choul Kim^{*})

^{*}부경대학교 탐사공학과 (접수일자: 2001년 2월 7일; 채택일자: 2001년 3월 2일)

동해 울릉분지 미고결퇴적물에 대한 속도비등방성을 연구하기 위하여 분지평원 및 사면지역에 대한 총 22개 코어의 물성자료와 속도비등방성 자료를 이용하였다. 분지평원 퇴적물의 속도비등방성값은 약 0.4%, 사면지역 은 약 1.2%로 0.8%의 차이를 보였다. 속도비등방성값이 양의 값을 보여주는 것은 수직속도보다는 수평속도가 더 크다는 것을 의미하며, 평원 및 사면지역퇴적물의 대부분이 수평속도가 수직속도보다 높게 나타났다. 이는 퇴적작용이 일어날 때 형성되는 층리면이 속도비등방성의 주 요인임을 암시한다. 평원지역의 경우 수평속도가 수직속도보다 약 5 m/s 차이를 보였으나 사면지역은 약 18 m/s로 속도값의 차이가 크게 나타났다. 각 물성값과 비등방성값의 상관관계를 도시해보면 평원지역과 사면지역의 값이 뚜렷하게 다른 관계를 보여주었다. 이러한 속도비등방성의 차이는 두 지역 퇴적물의 특성이 다름을 의미한다. 특히 사면지역에서 속도비등방성의 값이 더 크게 나타나는 것은 퇴적 후 속성작용에 의해 퇴적물의 물성이 변화되었음을 지시한다. 핵심용어: 속도, 속도비등방성, 울릉분지, 동해 투고분야: 수중음향 분야 (5.3)

Velocity anisotropy of unconsolidated sediments in the Ulleung Basin, East Sea were studied by using 22 piston cores. Velocity anisotropy shows about 0.4 and 1.2% in the Plain and Slope sediments, respectively. Horizontal velocity is greater than vertical velocity. It is resulted in positive anisotropy. Thus, bedding must be regarded as the principal cause of acoustic anisotropy in the Ulleung Basin sediments. The differences of the value are different from 5 m/s to 18 m/s in the Plain and Slope area, respectively. The relationships between physical properties and velocity anisotropy are clearly grouped. This result suggests that the slope sediments are probably affected by sedimentological (esp. physical properties) changes resulting from diagenesis.

Keywords: Velocity, Velocity anisotropy, Ulleung basin, East sea **ASK subject classification:** Underwater acoustics (5.3)

I. 서 론

해양퇴적불의 음파전달속도 측정시 대부분은 수평 및 수직방향에서의 속도를 측정한다. 수평방향에서의 속도

책임저자: 김길영 (gykim@mail1.pknu.ac.kr) 608-737 부산시 남구 대연3동 599-1 부경대학교 탐사공학과 (전화: 051-620-6233; 팩스: 051-623-5068) 는 코어축에 대해 수직인 방향이며, 수직방향의 속도는 코어축과 같은 방향에서 측정한 속도값을 발한다. 속도 비등방성 (velocity anisotropy)은 수평 및 수직방향에서 측정한 속도값을 이용하여 계산된다[1], 실혐실의 속도비 등방성 측정자료는 탄성파 자료의 정확한 해석시 반드시 필요하다. 탄성파의 반사자료는 수직방향으로 진행한 음 파자료를 나타내며, 반면 굴절법 자료는 수평방향으로 진행한 음파자료를 의미한다. 따라서 어떤 방법을 이용 하여 자료를 획득하였느냐에 따라 해석이 달라지며, 이 경우 속도비등방성을 이용하여 취득된 자료를 보정해야 만 정확한 해석이 가능하다.

일반적으로 퇴적물의 물성과 함께 속도비등방성도 퇴 적조건, 퇴적깊이 및 퇴적된 후의 속성작용 등에 따라 변 하는 것으로 알려져 있다[1-5]. 특히 Kim et. al.[1]은 원 양성 탄산염 퇴적물이 속성작용을 받는 동안에 결정축의 변화가 속도비등방성에 영향을 주는 것으로 보고하였다. 또한 이런 속도비등방성은 전기비저항 자료동과 함께 퇴 적물의 미세구조를 밝히는데도 유용하게 이용될 수 있다. 그러나 지금까지의 연구들은 주로 속성작용과 관련된 퇴 적물의 퇴적학적인 특성과 물성간의 상관성에 관한 연구 로 속도비등방성과 관련된 연구는 아직 드물며, 국내의 경우 시추퇴적물을 이용하여 속도비등방성을 해석한 연 구결과는 전무하다.

이 연구는 동해 울릉분지의 코어퇴적물에서 측정한 물 성 및 속도비등방성에 대한 자료를 이용하여 물성과 속도 비등방성간의 상관성, 퇴적층 깊이에 따른 속도비등방성 의 변화와 퇴적물의 물성특성이 서로 다른 것으로 나타난 [6,7] 분지 평원 및 사면에서의 속도비등방성값의 차이에 대한 원인을 구명하고자 한다.

표, 재료 및 방법

이 연구를 수행하기 위해서 울릉분지에서 채취한 22개 의 코어를 이용하여 측정한 물성자료[6,7] 및 수평 및 수 직 속도값을 이용하여 계산한 속도비동방성 자료를 이용 하였다. 동해 울릉분지 퇴적물에 대한 연구결과[6,7]에 의하면 분자 평원 및 사면지역에서 퇴적물의 조직값 (평 균입도)은 유사하나 물성값 (전밀도, 함수율, 공극율, 전 단응력 등)은 차이가 나는 것으로 보고되어 있고, 이런 영향은 퇴적물의 속성작용과 유관한 것으로 해석하고 있 다[6,7]. 따라서 본 연구에서도 연구지역을 수삼 2000 m 이상의 분지평원 (Plain)과 그 이하의 수심을 가지는 사면 (Slope)지역으로 구분하여 자료를 제시하고, 그 결과를 해석하고자 한다. 평원지역 자료에 이용된 코어의 개수 는 12개이며 사면지역은 10개의 코어자료를 이용하였다 (Fig. 1).

음파전달속도는 수은기둥 방법[8]을 이용하여 측정하 였고, 음파발생기 (Model: P.G. 508, 50 MHz)의 조건은



그림 1. 연구지역 시료채취 정점 및 수심도. 수심의 단위는 미터임 Fig. 1. Map showing sampling sites and bathymetry of the study area. Contours in meters.

Period를 0.2ms, Transition time을 50ns로 고정하였고, 오실로스코프 (Model: Tek 2230)를 이용하여 수은과 시 료를 통과한 각각의 파형을 획득하여 계산식에 의해 속도 를 계산하였다. 측정은 각 시료별로 코어축에 수작인 수 평성분의 속도와 코어축에 대해 평행한 수직성분에 대한 속도값을 구하였다. 시료에는 1 MHz 압전변환가 (Piezoelectric transducer: PZT 4)를 이용하였고 시료와의 접 촉을 좋게 하기 위해서 증류수를 사용하였다. 속도측정 을 위한 시료는 정방형에 가까운 형태로 크기는 수평 2.27 cm, 수직 2.25 cm로서 약 0.15 cm의 파장에 비해 길이가 충분하도록 하였다. 이 연구에서 이용된 속도비 등방성은 종파전달속도 자료이며 수평 및 수직 속도값을 이용하여 평균속도를 계산하였다. 속도비등방성의 계산 식[1] 및 평균속도의 계산식은 아래와 같다.

속도비등방성(Ap) = <u>(Vph - Vpv)</u> ×200(%) 여기서 Ap= 속도비등방성 (velocity anisotropy)

Vph= 수평방향의 속도 (horizontal velocity) Vpv= 수직방향의 속도 (vertical velocity)

평균속도(average velocity) = (Vph + Vpv)/2

Ⅲ. 결 과

동해 울릉분지 미고결퇴적물에서 측정한 수평 및 수직 속도값을 이용하여 속도비등방성값을 계산하였고 그 결 과들을 물성값과 비교하여 도시하였다. 또한 각 자료들 은 분지평원지역과 분지사면지역으로 나누어 자료를 제 시하였다. 평원지역 모든 코어시료에 대한 수평속도의 평균값은 1542 m/s, 수직속도는 1537 m/s로 속도값의 차 이는 5 m/s이며, 분지사면지역 모든 코어시료에 대한 수 평속도의 평균값은 1564 m/s, 수직속도는 1546 m/s로 그 차이는 18 m/s로 두 지역에서의 차이가 크게 나타났다. 속도비등방성값도 분지평원지역에서의 평균값이 0.4%, 분지사면지역에서의 평균값이 1.2%로 차이를 보였다 (Table 1).

평원지역과 사면지역에서 수직속도 및 평균속도에 대 한 수평(Fig. 2a) 및 수직(Fig. 2b) 속도값과 속도비등방 성(Fig. 2d)을 도시해보면 수평 및 수직속도와 평균속도 와는 뚜렷한 상관성을 잘 보여주고 있다(Fig. 2). 특히 평 균속도와 수평속도와는 다른 상관관계 그래프에 비해 아

- 표 1. 울릉분지 퇴적물의 평균입도, 속도 (수평 및 수직속도) 및 속도비둥방성
- Table 1. Mean size, velocity (Vph: horizontal velocity, Vpv: vertical velocity), and anisotropy of the Ulleung Basin sediments.

Region	Mean size (phi)	Vph (m/s)	Vph (m/s)	Mean velocity (m/s)	Anisotropy (%)
Plain	8.0	1542	1537	1539	0.4
Slope	7.9	1564	1546	1555	1.2

주 뚜렷한 연관성을 보여 평균속도가 증가할수록 수평속 도가 증가한다(Fig. 2c). 사면지역에서 평균속도와 속도 비등방성간의 상관성은 속도값의 차이로 인하여 자료의 분산은 있으나 속도값이 증가할수록 속도비등방성이 증 가하는 형태를 보인다. 그러나 평원지역에서는 퇴적물형 의 차이에 기인되어 분산이 심하여 상관성이 잘 나타나지 않는다(Fig. 2d). 특히 분지평원지역에서 수평 및 수직속 도값이 높게 나타나는 점들은 이 지역에서 잘 나타나는 조립질의 화산쇄설물이 속도에 영향을 주었기 때문으로 보인다[6].



물성값 중 습윤전밀도 및 깊이에 대한 수평 및 수직속

그림 2. 울릉분지 사면 및 평원지역 퇴적물의 수직속도 및 평균속도와 각각의 속도와의 상관관계 사면퇴적물이 평원퇴적물보다 더 높은 속도를 보임

Fig. 2. Individual velocity versus Vpv (a) and average velocity (b, c, and d) for the Ulleung Basin Slope (solid circles) and Plain (open circles) sediments. Note the velocity of the Slope sediment is higher than that of the Plain sediment.



그림 3. 울롱분지 사면 및 평원퇴적물에서 습윤전말도 (Kim and Kim, 2001) 및 깊이에 대한 수직 및 수평속도와의 상관관계 Fig. 3. Vpv and Vph versus wet bulk density (Kim and Kim, 2001) and depth for the Ulleung Basin Slope (a and c) and Plain (b and d) sediments. Solid and dotted lines are linear regression of the data. Note that the difference of Vpv and Vph in the Slope sediment is larger than that of the Plain sediment.





도값을 도시해 보면 사면 지역과 평원지역에서 상이한 형태를 보여준다(Fig. 3a and b), 사면지역 및 평원지역 에서 습윤전밀도에 대한 수평 및 수직속도값은 밀도가 증가함에 따라 증가하는 일반적인 상관성을 잘 보여주고 있다. 그러나 수평 및 수직 속도값의 차이는 두 지역에서 뚜렷하게 나타나고 대부분의 사료에서 수평속도값이 수 직속도값보다 더 크게 나타남을 알 수 있다. 퇴적층 깊이 에 따른 수평 및 수직속도값에 대한 상관관계를 보면 사 면지역이 평원지역보다는 깊이에 따라 수평 및 수직속도 값이 더 크게 증가하는 것을 볼 수 있다(Fig. 3c and d), 마찬가지로 수평 및 수직속도값의 차이도 사면지역이 더 크게 나타난다(Fig. 3c).

각 물성값 (습윤전밀도, 공극율, 입자밀도 및 전단응 력)에 대한 속도비등방성값을 보면(Fig. 4) 일부 값의 중 첩이 있지만 대부분에서 평원지역과 사면지역의 값이 구 분이 뚜렷하게 된다. 사면지역의 경우 습윤전밀도의 증 가함에 따라 속도비등방성의 값이 증가하고(Fig. 4a) 공 극율의 증가에 따라 감소하는 경향(Fig. 4b)을 보인다. 전단응력의 증가에 따라서도 속도비등방성이 증가하는 경향(Fig. 4d)을 보이나 입자밀도 (Fig. 4c)의 경우는 큰 상관성을 보이지 않는다.

IV. 고 찰

해양 미고결퇴적물에서 속도비등방성의 원인은 주로 공극 (pore)의 형태 및 분포와 퇴적물내의 틈 (crack)의 존재 및 그 배열이라고 볼 수 있다. 이런 관계를 조사하기



- 그림 5. 층리를 보이는 퇴적물에서의 속도비등방성 모델. Vph 및 Vpv는 수평 및 수직속도임. 일반적으로 Vph가 Vpv보다 높다
- Fig. 5. Model of velocity anisotropy in a layered sediments. Vph and Vpv represent the horizontal and vertical velocity, respectively. Generally Vph is higher than Vpv.

위해서는 측정할 퇴적물 시료에 일정하게 압력을 가함으 로서 그에 따라 변화되는 속도값을 측정하여 그 변화량으 로 설명이 가능하다[1], Kim et al.[1,9]은 심해 탄산염퇴 적물에서 압력이 증가함에 따라 충리에 평행하게 배열된 공극의 닫힘작용으로 인한 낮은 종형비 (aspect ratio)의 해 수직속도값이 더 빨리 증가하며 또한 압력에 따른 속 도비등방성이 감소함을 제시하였다.

또한 속도비등방성은 층리면에 평행하게 배열되어 있 는 틈이나 공극에 포함되어 있는 해수에 영향을 받는다 (Fig. 5), 즉 퇴적물의 수직속도의 경우 매질을 구성하는



- 그림 6. 퇴적총 깊이의 증가에 따른 다져짐작용으로 입자들의 배열방향과 공급형태의 변화를 보여주는 모식도. 공국의 형태와 입자의 배열이 총리면에 평행하게 배열됨.
- Fig. 6. Cartoon showing rearrangement of the grain orientation and closing of pore shape due to compaction caused by increasing of depth of burial. Note that the pore shape and grain orientation aligned subparallel to bedding plane.

광물 (점토광물 및 탄산염광물 등)의 속도와 공극을 채우 고 있는 해수의 속도값의 평균으로 나타나기 때문에 낮은 속도값을 보이는 반면 수평속도의 경우는 주로 층을 구성 하는 구성광물의 평균속도로 나타나고 해수의 속도는 크 게 고려되지 않기 때문에 높은 속도값을 보이는 것으로 알려져 있다[10,11]. 이런 현상은 이 연구지역의 속도값에 서도 잘 나타나고 있다 (Figs. 2 and 3). 특히 수직속도변 화보다는 수평속도변화가 더 빠르게 변화는 것은 퇴적물 의 속도값이 충리면에 의해 더 크게 영향을 받고 있음을 암시한다(Fig. 2a). 이런 경향은 평균속도값에 대한 수직 및 수평속도값의 상관성에서도 수평속도값이 수직속도 값보다는 값의 분산이 적게 나타나면서 뚜렷한 상관성을 잘 보여주고 있다(Fig. 2b and c).

탄산염광물이 풍부한 심해퇴적물의 속도비등방성의 원인은 층리면에 수직인 탄산염광물의 장축 (c-axes) 우 세방향 (preferred orientation)이 원인이 된다[1,5,9-12]. Carlson et al.[11]은 암석에 있어서 속도비둥방성의 원인 을 신장 (elongation)에 의한 암석의 틈이나 공극의 우세방 향, 다양한 종류의 비둥방성광물 (anisotropic mineral grain)들의 우세배열, 다양한 속도값을 가지는 광물들의 구성성분에 따른 층리 (compositional layering) 등으로 해석하였다. 이것은 미고결 상태의 퇴적물에서부터 오랜 시간이 경과하여 암석화로 진행되면서 작용하는 다져짐 작용 (compaction)이나 고화작용 (consolidation)과 같은 속성작용 (diagenesis)이 매질을 구성하고 있는 공극이나 광물에 영향을 주어 그 내부구조를 변화시키기 때문이다 (Fig. 6),

Carlson and Christensen[10]은 밀도와 평균속도가 중 가할수록 속도비등방성값이 중가한다고 제안하였다. 이 연구지역인 울릉분지에서도 이런 경향을 잘 보여주고 있 다. 특히 사면지역에서 상관성이 더 높꼐 나타난다(Figs. 2 and 4). 그러나 Carlson and Christensen[10]은 압력이 증가하면 공극이 닫히면서 속도비등방성이 감소하게 된 다고 제안하였고, Kim et al [1]도 유사한 결론을 얻었다. 즉, 공극의 형태가 속도비등방성에 영향을 주지만 수직 속도값에 더 크게 영향을 주는 것으로 보고하였다. 그러 나 이 연구지역의 경우는 속성작용을 많이 받은 것으로 알려져 있는 사면지역[6,7]의 속도비등방성이 더 높게 나 타난다. 즉 압력의 중가에 의한 속도값의 변화가 수평속 도예도 영향을 준 것으로 나타난다. 이는 기존의 연구결 과들은 주로 탄산염퇴적물에 대한 결과로 이 연구지역과 같이 탄산염광물의 함량이 적은[6,7] 경우에는 그들의 결 과가 적용되지 않는 것으로 보인다. 퇴적물의 다져짐작 용이 진행되면서 수직적으로만 공국의 형태가 변하는 것 이 아니라 수평적으로도 공국의 형태가 변하면서 속도값 에 영향을 주었기 때문으로 보인다.

광물입자에 따른 속도비등방성의 원인중 탄산염퇴적 물인 방해석의 경우에는 큰 차이를 보이는 것으로 알려져 있다. 방해석은 비등방성의 광물로서 장축(c축)이 충리면 에 수직으로 퇴적되는데 장축에 평행한 방향의 속도값이 5.6 km/s, 수직인 방향 (a축)의 속도값은 7.4 km/s 로 알려져 있다[13,14], 따라서 탄산염퇴적물이 우세한 곳에 서는 다른 지역에 비해 속도비둥방성값이 크다. 분지평 원지역의 경우 탄산염의 용해작용을 의미하는 탄산염보 상심도 (calcite compensation depth)의 영향으로 탄산염 퇴적물의 함량이 미량이며, 분지 사면의 경우도 많은 량 의 원양성 퇴적물의 공급으로 인하여 상대적인 함량이 적기 때문에[16] 속도비등방성에는 큰 영향을 미치지 않 을 것으로 본다. 그러나 평원지역에 비해 사면지역에 더 많이 포함되어 있는 탄산염이 이 지역의 속도비등방성값 을 높이는데 영향을 줄 수도 있을 것으로 본다. 또한 탄산 염 퇴적층에서도 점토함량의 증가에 따라 속도비등방성 이 증가[5]하는 것으로 알려져 있지만 정확하게 검증된 결과는 없다.

습윤전밀도 및 깊이에 대한 수평 및 수직속도값(Fig. 3)의 변화가 평원지역보다는 사면지역의 값이 수평 및 수 직 속도값의 차이는 크나 값의 범위가 지역별로 일정하 게 군집을 보이는 것은 사면지역의 퇴적물이 퇴적물 조직 의 차이에 의한 값의 변화라기보다는 퇴적후의 속성작용 에 의한 결과가 더 크게 영향을 주기 때문으로 보인다.

각 물성에 따른 속도비등방성을 보면 값의 분산은 있지 만 습윤전밀도 및 전단응력에는 비례하는 형태를 보이고, 공극율에 대해서는 역비례하는 경향을 보여준다(Fig. 4). 특히 암상이 유사할 경우 공극율의 감소는 상부퇴적충으 로 인한 압력의 중가로 인하여 공극이 납작한 형태의 공 극 (flattened pore)으로 변화되기 때문에 수평 및 수직속 도값의 차이가 감소하여 낮은 속도비등방성을 보인다.

각 퇴적충애 발달해 있는 층리의 경사도의 차이도 속도 비등방성애 영향을 주는 경우[15]가 있지만 정확한 연구 결과는 없다. 그러나 속도비등방성은 층리면이 잘 발달 된 퇴적충에서 깊이에 따른 상관성이 뚜렷하게 나타나는 것으로 알려져 있다[11].

동해 울릉분지 평원 및 사면지역 퇴적물의 퇴적구조를 보면 퇴적층 깊이에 따라 층리면이 비교적 잘 발달된 것 으로 알려져 있다[16]. 이는 수직속도보다는 수평속도가 더 빠르게 나타나는 원인이 된다. 또한 사면지역이 평원 지역보다 퇴적물의 조직은 유사하나 더 높은 속도값과 속도비등방성값을 보여주는 것은 기존의 연구[6,7]에서 도 제시한바와 같이 사면지역 퇴적물이 평원지역보다는 퇴적된 이후 퇴적물의 울성이 달라졌다는 것을 압시한다. 따라서 퇴적물의 속도비등방성을 이용하여 퇴적작용과 동시 혹은 그 후의 영향에 의해 변화되는 퇴적물내의 미 세구조의 변화 양상을 유추할 수 있을 것으로 보인다. 그 러나 속도비등방성의 요인이 복합적으로 발생하기 때문 에 더 많은 연구조사가 요구되며, 가능할 경우 퇴적물의 전기비저항 자료와 병행하여 시도한다면 보다 정확한 해 석이 가능할 것으로 보인다.

V. 결 론

동해 울릉분지 평원 및 사면지역에서의 속도비등방성 값은 서로 다르게 나타났다. 분지 평원 퇴적물의 속도비 등방성값은 약 0.4%, 사면지역은 약 1.2%로 약 0.8%의 차이를 보였다. 퇴적물의 수평 및 수직속도값은 평원 및 사면지역 모두에서 수평속도가 수직속도보다 높게 나타 나 층리면이 속도값에 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 그 값의 차이를 보면 평원지역은 약 5 m/s, 사면지역은 약 18 m/s의 차이를 보여 지역적인 속도값의 차이가 크게 나타났다. 속도비등방성값과 물성간의 상관관계에서도 평원지역과 사면지역의 값이 뚜렷한 차이를 보여주어 두 지역의 퇴적물의 특성이 다름을 의미한다. 특히 사면지 역에서 속도비등방성의 값이 더 크게 나타나는 것은 이 지역 퇴적물은 퇴적 후 속성작용을 받았음을 암시하며 평원지역에 비해 높은 함량의 탄산염퇴적물에 의한 영향 도 있을 것으로 보인다.

감사의 글

이 연구는 한국과학재단지원 인턴연구원 프로그램 (2000-2001년)에 의해 수행되었음을 알립니다. 또한 자료 분석의 일부는 서울대학교 수중음향특화연구센터 (UARC) 의 지원에 의한 것임을 밝힙니다.

참 고 문 헌

- J. E. Andres, et. al., "Initial reports of the Deep Sea Drilling Project," 30, pp. 753, 1975.
- R. E. Boyce, "Sound velocity-density parameters of sediments and rocks from DSDP sites 315–318 on the Line Islands, Manihiki Plateau, and Tuamotu Ridge in the Pacific Ocean, Initial Rep., Deep Sea Drilling Project," 33, pp. 695–728, 1976.
- E. L. Hamilton, "Variations of density and porosity with depth in deep-sea sediments," J. Sed. Pet., 46, pp. 280–300, 1976.
- P. Milholland, M. H. Manghnani, S. O. Schlanger, and G. Sutton, "Geoacoustic modeling of deep-sea carbonate sediments," J. Acoust. Soc. Am., 68, pp. 1351–1360, 1980.
- G. Y. Kim, D. C. Kim, S. C. Park, and G. H. Lee, "Chirp(2-7 kHz) echo characters and geotechnical properties of surface sediments in the Ulleung Basin, the East Sea," Geosciences Journal, 3, pp. 213–224, 1999.
- G. Y. Kim, and D. C. Kim, "Comparison and correlation of physical properties from the plain and slope sediments in the Ulleung Basin, East Sea (Sea of Japan)," J. Asian Earth Science, 2001, (in press).
- 8, 김대철, "미고결 퇴적물의 음파전달속도측정애 관한 연구," 한국 수산학회자, 22, pp. 147-153, 1989.
- D. C. Kim, M.H. Manghnani, and S. O. Schlanger, "The role of diagenesis in the development of physical properties of deepsea carbonate sediments," Mar. Geol., 69, pp. 69–91, 1985.
- R. L. Carlson, and N. I. Christensen, "Velocity anisotropy in semi-indurated calcareous deep sea sediments," J. Geophys. Res., 84, pp. 205–211, 1979.
- R. R. Carlson, C. H. Schaffenaar, and R. P. Moore, "Causes of compressional-wave anisotropy in carbonate-bearing, deepsea sediment," Geophys, 49, pp, 525-532, 1984.
- C. H. Schaftenaar, and R. L. Carlson, "Calcite fabric and acoustic anisotropy in deep-sea carbonates," J. Geophys. Res., 89, pp. 503-510, 1984.
- L. Peselnick, and R. A. Robie, "Elastic constants of calcite," J. Appl. Phys., 34, pp. 2494–2495, 1963.
- D. P. Dandekar, "Elastic constants of calcite," J. Appl. Phys., 39, pp. 2971–2973, 1968.
- D. K. O'Brien, M. H. Manghnani, and J. S. Tribble, "Irregular trends of physical properties in homogeneous clay-rich sediments of DSDP Leg 87 Hole 584, midslope terrace in the Japan Trench," Mar. Geol., 87, pp. 183–194, 1989.
- G. Y. Kim, "Geotechnical property and paleoceanographic characteristics of the late Quaternary Ulleung Basin sediment, the East Sea, Korea," P. h. D. Thesis, Pukyong National University, 247p, 1998.

저자 약력

•김길영(Gil Young Kim)

1986년 2월: 부경대학교 응용지질학과 졸업 (이학사) 1991년 8월: 부경대학교 대학원 해양학과 졸업 (이학석사) 1998년 2월: 부경대학교 대학원 응용자질학과 졸업 (이학박사) 현재: 부경대학교 환경탐사공학과 시간강사 ※ 주관심분야: 해양퇴적물 물성 및 음향

• 김 대 철 (Dae Choul Kim) 한국음향학회지 제19권 3호 참조

D. C. Kim, K. W. Katahara, M. H. Manghnani, and S. O. Schlanger, "Velocity and attenuation anisotropy in deep-sea carbonate sediments," J. Geophys. Res., 88, pp. 2337–2343, 1983.