

연안해역 퇴적물 입도정보 추정오차 분석 Estimation Error Analysis on the Sediment Grain Size Information in the Coastal Zone

조홍연* · 김창일* · 오영민*

Hong Yeon Cho*, Chang Il Kim* and Young Min Oh*

요 지 : 백령도 용기포항 연안해역에서 2004년 6월에 채취한 총 90개 퇴적물을 분석하여 추정된 정보를 기준격자정보로 하여, 내삽기법과 퇴적물 추출 밀도변화에 따른 추정 퇴적물 입도분포 정보(중앙입경(D_{50}) 등)의 변화를 분석하였다. 격자정보 추출방법에 의한 절대편차의 표준편차는 자료수가 많은 6월에는 $8.0 \mu\text{m}$ 정도, 적은 경우인 11월은 $10 \mu\text{m}$ 이상으로 분석되었다. 표본추출밀도에 따른 격자내용과 기준격자정보를 비교하여 추정한 절대편차의 통계정보는, 표본의 수가 감소할수록 절대편차의 평균오차는 증가하는 경향을 보인다. 연구사업에서 요구되는 퇴적물 정보의 정확도(절대편차 평균기준) 수준이 10% 이하인 경우에는 50개 정도의 표본이 적당한 수준으로 파악되었다. 이 경우의 표본추출밀도는 용기포항 연안해역 격자정보 전환 면적(5.9 km^2)을 기준으로 50개 정도를 적용하는 경우, km^2 당 9개 정도이다.

핵심용어 : 퇴적물 정보, 중앙입경, 절대편차, 표본추출밀도, 표본의 수

Abstract : The change pattern of the sediment grain size distribution information (median grain size(D_{50})) due to some gridding method and sampling density is analyzed with reference to the grid information estimated by the 90 sediment samples which was collected in the coastal water off the Baengnyeongdo Island, in June 2004. The standard deviation of absolute deviation (AD) estimated the selected gridding method shows $8.0 \mu\text{m}$ at June, 2004 and $10 \mu\text{m}$ November, 2004. The estimated statistical information of absolute deviation in comparison with the grid information of reference and changed sampling density shows that the AD mean error trends increase as the number of samples decrease. The AD mean error is below 10% in the case of the information estimation using 50-sample with reference to the 90-sample information. In this case, the sampling density is suggested as about 9 sediment samples per km^2 , at coastal zone in Yoggipo port in the condition of the study area is 5.9 km^2 .

Keywords : sediment information, median grain size, absolute deviation, sampling density, sample number

1. 서 론

기상정보, 해양정보, 유역 지형정보 및 토양정보 등 시간적·공간적인 변화양상을 보이는 항목(인자)의 정확한 정보를 얻기 위해서는 관심 있는 정보에 대한 가능한 짧은 시간간격의 관측 및 가능한 좁은 공간간격의 관측을 통하여 확보된 관측정보를 이용하는 것이 바람직하다. 그러나, 실질적으로는 예산 및 인력 등의 제약요인으로 관측 밀도가 정해지기 때문에 사업목적에 적합한 수준의 정확

도를 보장받을 수 있다면(또는 그렇다고 가정하여) 적절한 빈도의 관측정보를 이용하여 연구영역의 정보를 추정하는 과정이 불가피하다. 따라서, 관측정보에 대한 정량적인 오차분석이 필요하며, 연구사업 목적에 적합한 수준의 정확도를 달성하기 위하여 최소한의 관측밀도에 대한 과학적인 검토가 필요하다. 유역의 강우정보를 얻기 위해서는 산악지역, 평야지역에 대하여 적절한 기상 관측소 밀도(km^2 면적에서 개소 권장 등)가 제시되고 있는 실정이다(WMO, 1994). 그러나, 연안 환경 분석 인자(특히, 퇴

*한국해양연구원 연안개발연구본부(Corresponding author: Hong Yeon Cho, Coastal Development Research Division, KORDI, Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea. hycho@kordi.re.kr)

적물 정보) 관측 항목에 대해서는 기준이 되는 관측밀도(표본 추출 밀도 등)가 제시되어 있지 않거나 관심항목의 공간적인 변화특성에 대한 고려 없이 제시되고 있으므로, 특별한 기준 없이 연구자의 개인적인 판단 및 비용에 맞추어 수행되는 경우가 대부분이며, 최적의 관측밀도를 추정하는 것은 매우 어려운 과제이다(Lawrence, 1988; Bras & Rodriguez-Iturbe, 1985).

연안 해양 분야에서 수행되는 관측은 시간적·공간적인 변화를 동시에 파악하는 관측으로 분류할 수 있으며, 관측밀도(시간적·공간적인 간격 등)는 이론적으로 또는 이상적으로 변화양상을 관측목적에 부합되는 정확도를 파악할 수 있는 최소한으로 결정하는 것이 최적이다. 그러나, 현상 또는 정보의 변화양상이 명확한 경우(조석 및 파랑의 시간적인 변화 등)를 제외하고는 실질적으로 어느 정도의 관측밀도가 관심정보에 대한 어느 정도의 정확도를 보장하는가에 대한 명확한 기준이 없기 때문에 과학적인 분석에 근거하기 보다는 예산과 인력이 허용하는 범위 내에서 최대의 관측밀도로 관측을 수행하게 된다. 이론적으로는 관측밀도가 작아질수록 정보의 정확도는 감소하게 된다. 예를 들면, 연안해양의 퇴적물 정보(중앙입경)도 퇴적물 분석을 위한 표본의 수가 적을수록, 정보는 부정확하게 되고, 표본의 수가 무한대일 경우가 정답(정확한 값)에 해당한다고 할 수 있다. 그러나, 실질적으로 예산과 인력이 허용된다고 하더라도 무한대의 표본을 추출하여 분석한다는 것은 실질적으로 불가능하며, 시간과 인력의 낭비를 초래하는 바, 관심 있는 정보에 대한 정확도를 보장할 수 있는 최적 표본추출 밀도를 지역적인 특성을 반영하여 또는 시간적인 변화 특성을 반영하여 관심 있는 정보에 대하여 과학적인 근거를 가지고 제시해 주는 연구가 필요하다.

관측 자료는 관측기기 및 분석의 정확성, 공간적·시간적인 대표성 및 변화양상을 반영(감지)할 수 있는 정도의 유연한 빈도 요구조건이 충족되어야 한다. 즉, 공간적·시간적인 변화가 크게 나타나고 있는 지역에서는 표본 추출밀도를 크게 하여야 하며, 공간적·시간적인 변화가 작게 나타나고 있는 지역에서는 표본 추출밀도를 작게 하여야 한다. 따라서, 지역적인 특성(공간적인 변화 특성) 분석과정을 생략하고 표본 추출밀도(표본의 수)를 제시하는 과정에는 한계가 있다.

연안해양의 해저 퇴적물 입도분포 정보는 퇴적물에서 식하는 저서생물 및 지형변화 연구에 매우 중요한 항목이다(Carter, 1988; Chapman, 1992). 따라서, 보다 정확

한 퇴적물 입도분포 정보를 얻기 위해서는 보다 많은 퇴적물 표본을 추출하여 분석한 정보로부터 추정하는 과정이 일반적이다. 그러나, 일반적으로 퇴적물 표본의 개수(표본 추출밀도)가 증가할수록 해저 퇴적물 입도분포정보의 정확도가 증가하지만, 표본추출 비용 및 분석에 따른 소요시간도 증가하게 되기 때문에 적절한(또는 최적의) 퇴적물 표본 추출밀도에 대한 기준 및 표본 추출밀도 감소에 따른 오차분석(퇴적물 입도분포 정보의 불확실성 등)에 관한 연구가 필요하다. 이석우(1996)는 대상 해역 퇴적물 특성조사의 측선간격은 200 m 이하, 측점은 육상 및 해안선 지점(수심 1.0 이하 지점) 각각 3개 지점을 제안하고 있다. 해안선에 직각인 방향으로 15~20 m 수심 영역(표사이동 한계수심)으로 조사범위를 제한하고 있다. 또한, Middleton(2000) 등은 공간자료의 격자정보화 기법에 대한 검토를 수행하였다.

본 연구에서는 백령도 용기포항이 위치한 연안해양에서 추출한 해저 퇴적물의 입도분포를 추정하는 과정에서, 표본추출 밀도변화에 따른 입도분포의 추정오차 변화를 분석하였다. 추정 오차 분석은 퇴적물 분포 정보에서 가장 중요한 표시중앙입경(D_{50}) 정보에 대하여 수행하였으며, 연구사업의 목적 및 표본추출·분석을 위한 비용 및 시간과 관련된 정확도 요구 수준을 만족하는 최적 표본 추출밀도를 제시하였다.

2. 퇴적물 채취 지점 및 입도분포 정보

인천지방해양수산청 인천항건설사무소에서는 백령도 “용기포항 건설사업에 따른 해양물리 현상 검증” 사업(인천지방해양수산청 등, 2005)을 수행하였으며, 한국해양연구원에서는 현장관측 부분을 담당하였다. 본 연구에서는 현장관측 항목 중에서 백령도 용기포항 해역의 표층 퇴적물 입도분포 정보를 이용하여 수행하였다.

용기포항 연안 해양의 퇴적물 입도분포를 추정하기 위하여 2004년 6월 23일~24일 총 90개의 퇴적물을 채취하였다(Fig. 1참조). 또한, 시간에 따른 퇴적물 입도변화도 파악하기 위하여 2004년 11월 4일~5일에도 백령도 용기포항 연안해양에서 15개의 퇴적물을 채취하였다(Fig. 1참조). 채취된 시료는 4 ϕ 이하의 조립토(coarse sediment)는 1 ϕ 간격으로 건식체질(dry sieving)하여 중량백분율을 구하고, 4 ϕ 이상의 세립토(fine sediment)는 초음파자동입도분석기(Model : Mastersizer MAF-5001)를 이용하여 분석하였다. 자동입도분석기는 일정 파장의 He-Ne Laser 광

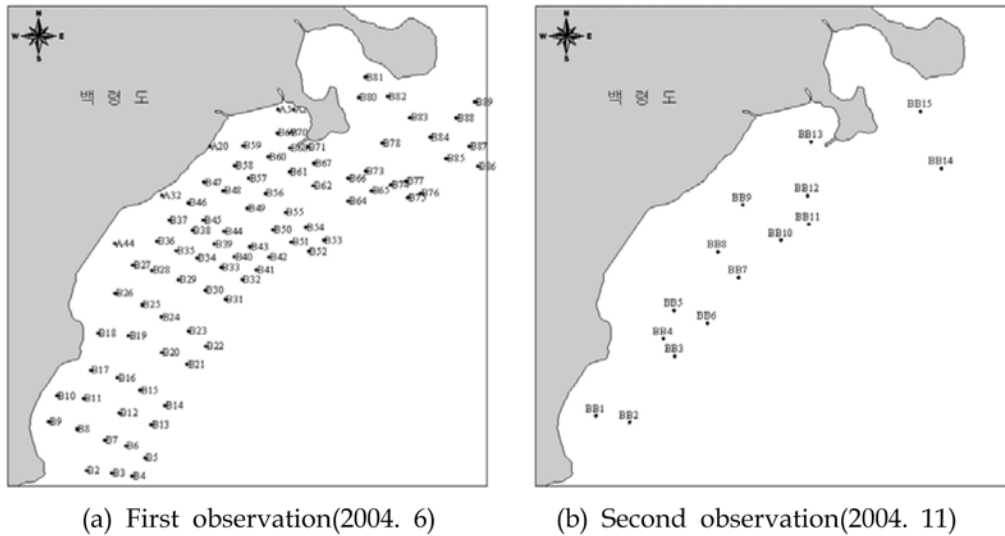


Fig. 1. Sediment observation spots in Yonggipo port.

Table 1. Recommended minimum densities of weather stations
(a) Precipitation

Physio-geographic Unit	Minimum densities per station (area in km ² per station)	
	Non-recording	Recording
Coastal	900	9,000
Mountainous	250	2,500
Interior plains	575	5,750
Hilly/undulating	575	5,750
Small islands	25	250
Urban areas	-	10~20
Polar/arid	10,000	100,000

(b) Evaporation

Physio-geographic Unit	Minimum density per station (area in km ² per station)
Coastal	50,000
Mountainous	50,000
Interior plains	50,000
Hilly/undulating	50,000
Small islands	50,000
Polar/arid	100,000

(c) Sediment

Physio-geographic Unit	Minimum density per station (area in km ² per station)
Coastal	18,300
Mountainous	6,700
Interior plains	12,500
Hilly/undulating	12,500
Small islands	2,000
Polar/arid	200,000

선이 입자의 표면에 조사되면 나타나는 회절·굴절·반사의 동시 복합적 산란현상과 산란강도는 입자의 크기에 비례하고 산란각은 입자크기에 반비례한다는 원리로 입자크기를 분석하는 장비이다. 용기포항 연안 해역의 퇴적물은 대부분(90% 정도) 모래로 구성되어 있으며, 북쪽해역의 일부 구간에서 Silt 성분이 10~20% 정도를 차지하고 있다 (Table 2참조). 백령도 연안해역 퇴적물의 평균입경은 128 μm, 최대입경 205 μm, 최소분석입경 36 μm 정도로 분석되었다(Table 2참조).

3. 퇴적물 정보의 추정오차 분석

채취 퇴적물 표본밀도 변화에 따른 추정오차 분석은 용기포항 해역에서 분석된 퇴적물 정보를 격자정보로 변환하여 수행하였다(Fig. 2참조). 2004년 6월에 채취한 총 90개의 퇴적물 정보를 이용하여 추정된 결과를 기준(가장 정확한 퇴적물 정보로 가정; 이론적으로 정확한 퇴적물 정보는 표본 개수가 무한대인 경우에 해당)으로 하여, 내삽 기법에 따른 변화, 퇴적물 추출 밀도변화에 추정 퇴적물 입도분포 정보(중앙입경(D₅₀) 등)의 변화 범위를 분석하였다. 내삽기법에 의한 영향 및 표본 개수에 따른 입도 분포의 정성적인 변화는 용이하게 추정할 수 있으나, 현실적인 적용에 큰 제약이 있다. 또한, 본 연구 목적에 해당하는 정확도에 근거한 최소한의 표본 개수를 정량적으로 제시하는 것이 곤란하다.

Table 2. Sediment grain size information in yonggipo port

No.	St.	Weight Composition(%)				S.Mean		T.Mean		SD	Sk.	Kt.	D ₅₀	
		Gravel	Sand	Silt	Clay	ϕ	mm	ϕ	mm				ϕ	μm
1	A2	0.4	99.4	0.1	0.1	2.5	0.18	2.5	0.18	0.50	-1.4	59.1	2.4	188.10
2	A5	0.0	99.9	0.1	0.0	2.5	0.17	2.5	0.17	0.30	6.0	114.6	2.4	186.00
3	A20	0.0	99.8	0.1	0.1	2.5	0.17	2.5	0.17	0.40	7.5	127.5	2.4	186.00
4	A32	0.0	99.7	0.2	0.1	2.5	0.18	2.5	0.18	0.40	8.5	149.4	2.4	188.80
5	A44	0.0	99.6	0.3	0.1	2.5	0.18	2.5	0.17	0.40	6.0	91.2	2.4	187.30
6	B2	0.0	69.6	24.3	6.2	3.3	0.10	4.2	0.05	1.80	1.8	5.7	3.6	84.90
7	B3	39.6	32.1	20.0	8.3	0.0	1.03	1.9	0.26	4.00	0.4	1.9	2.5	177.30
8	B4	0.1	57.8	35.1	7.0	3.3	0.10	4.5	0.05	1.80	1.5	5.0	3.8	72.40
9	B5	0.0	73.2	21.2	5.6	3.1	0.11	4.1	0.06	1.80	1.6	5.0	3.4	93.10
10	B6	0.3	73.0	23.8	3.0	3.2	0.11	3.8	0.07	1.50	1.9	8.8	3.5	90.10
11	B7	11.1	84.1	3.4	1.4	2.2	0.22	2.4	0.19	2.00	-0.6	5.9	2.6	161.50
12	B8	0.0	62.3	31.3	6.5	3.4	0.09	4.4	0.05	1.70	1.8	5.4	3.7	75.80
13	B9	6.0	71.7	15.6	6.6	2.7	0.15	3.7	0.08	2.40	0.2	4.5	3.4	92.70
14	B10	0.0	85.2	13.3	1.5	3.4	0.10	3.7	0.08	1.00	3.7	21.4	3.4	92.00
15	B11	0.0	89.1	9.7	1.2	3.4	0.09	3.7	0.08	0.90	4.7	30.9	3.4	91.80
16	B12	0.0	92.3	6.5	1.2	3.2	0.11	3.4	0.10	1.00	3.5	21.6	3.3	103.90
17	B13	0.0	37.8	49.7	12.5	3.4	0.10	5.4	0.02	2.00	0.6	2.4	4.8	35.70
18	B14	0.0	65.7	29.7	4.6	3.3	0.10	4.1	0.06	1.50	2.1	7.6	3.6	80.30
19	B15	0.0	84.5	12.7	2.8	3.2	0.11	3.7	0.08	1.30	2.7	11.8	3.3	98.60
20	B16	0.0	54.8	38.8	6.4	3.4	0.10	4.5	0.04	1.70	1.7	5.4	3.9	68.90
21	B17	0.0	85.0	13.5	1.6	3.4	0.10	3.7	0.08	1.00	3.7	21.1	3.4	91.60
22	B18	0.0	98.4	1.3	0.3	2.6	0.16	2.7	0.16	0.60	5.4	53.4	2.5	178.70
23	B19	0.0	86.3	12.4	1.3	3.2	0.11	3.5	0.09	1.10	3.0	16.5	3.3	102.70
24	B20	0.0	49.6	38.5	11.9	3.4	0.09	5.1	0.03	2.10	1.0	2.9	4.0	61.60
25	B21	0.0	65.6	24.2	10.1	3.4	0.10	4.6	0.04	2.00	1.4	3.8	3.6	79.80
26	B22	0.0	92.2	6.5	1.3	3.3	0.10	3.5	0.09	1.00	3.6	21.8	3.3	100.30
27	B23	0.0	92.3	6.5	1.2	3.2	0.11	3.4	0.09	1.00	3.4	20.7	3.3	102.60
28	B24	0.0	79.3	16.6	4.2	3.3	0.10	3.9	0.07	1.50	2.4	9.0	3.5	90.30
29	B25	0.0	91.4	7.8	0.8	3.0	0.12	3.2	0.11	0.90	3.2	20.6	3.1	118.30
30	B26	0.0	97.4	1.5	1.0	2.6	0.17	2.7	0.15	0.90	5.7	40.5	2.5	180.50
31	B27	0.1	98.9	0.8	0.2	2.8	0.15	2.8	0.14	0.70	2.6	32.4	2.6	160.80
32	B28	0.2	94.7	4.4	0.7	3.0	0.13	3.1	0.11	0.90	2.8	24.3	3.1	120.00
33	B29	0.0	87.1	10.9	2.0	3.3	0.10	3.6	0.08	1.20	3.1	15.4	3.4	97.10
34	B30	0.0	90.7	7.7	1.7	3.0	0.12	3.3	0.10	1.20	3.1	15.8	3.1	115.40
35	B31	0.0	96.6	2.8	0.6	2.9	0.14	3.0	0.13	0.90	3.5	26.2	2.8	145.90
36	B32	0.0	93.3	5.6	1.1	3.0	0.12	3.2	0.11	1.00	3.3	20.5	3.1	116.80
37	B33	0.0	93.2	5.4	1.4	2.9	0.14	3.1	0.12	1.10	3.1	17.2	2.9	137.00
38	B34	0.0	81.7	15.2	3.1	3.2	0.11	3.7	0.08	1.40	2.4	9.5	3.4	97.90
39	B35	0.0	94.1	5.2	0.7	3.2	0.11	3.3	0.10	0.80	3.5	26.7	3.2	106.30
40	B36	0.0	98.3	1.2	0.6	2.8	0.14	2.9	0.14	0.70	4.6	37.5	2.7	158.60
41	B37	0.0	72.8	19.2	8.0	2.8	0.14	3.9	0.07	2.10	1.5	4.2	3.0	127.50
42	B38	0.0	90.4	8.5	1.2	3.2	0.11	3.4	0.10	1.00	3.2	19.5	3.3	104.60
43	B39	0.0	93.3	5.8	0.9	3.0	0.13	3.2	0.11	1.00	3.2	20.1	3.0	120.80
44	B40	0.0	94.7	4.1	1.2	2.7	0.15	2.9	0.13	1.10	3.3	18.2	2.6	159.40
45	B41	0.0	93.3	5.7	1.1	3.1	0.11	3.3	0.10	0.90	3.5	22.3	3.2	107.70
46	B42	0.0	93.9	4.1	2.0	3.0	0.13	3.2	0.11	1.20	3.2	16.3	3.0	121.40

Table 2. Continued.

No.	St.	Weight Composition(%)				S.Mean		T.Mean		SD	Sk.	Kt.	D ₅₀	
		Gravel	Sand	Silt	Clay	ϕ	mm	ϕ	mm				ϕ	μm
47	B43	0.0	96.1	3.1	0.7	2.7	0.15	2.9	0.14	0.90	3.8	24.9	2.6	162.00
48	B44	0.0	92.9	5.0	2.1	2.7	0.15	3.0	0.12	1.30	3.3	15.7	2.7	157.80
49	B45	0.0	83.6	13.2	3.2	3.2	0.11	3.7	0.08	1.40	2.6	10.7	3.3	100.20
50	B46	0.0	99.3	0.4	0.3	2.7	0.15	2.8	0.15	0.60	5.0	49.5	2.6	166.50
51	B47	0.0	98.5	1.1	0.4	2.8	0.14	2.9	0.13	0.70	4.1	35.0	2.7	153.10
52	B48	0.0	91.0	7.7	1.3	3.1	0.12	3.3	0.10	1.10	3.0	15.7	3.2	112.10
53	B49	0.0	95.6	3.3	1.1	2.7	0.15	2.9	0.14	1.00	3.8	24.2	2.6	164.00
54	B50	0.0	94.7	4.2	1.1	2.9	0.13	3.1	0.12	1.00	3.4	20.8	2.9	134.70
55	B51	0.0	92.2	6.0	1.8	3.0	0.12	3.3	0.10	1.20	3.1	16.1	3.2	112.40
56	B52	0.0	92.2	5.6	2.2	2.7	0.15	3.0	0.12	1.30	2.9	13.3	2.7	157.30
57	B53	0.0	87.7	8.5	3.8	2.6	0.16	3.2	0.11	1.70	2.1	7.7	2.7	157.80
58	B54	0.9	93.5	4.1	1.5	2.8	0.15	3.0	0.13	1.20	2.0	17.0	2.7	150.50
59	B55	0.5	96.5	2.0	1.0	2.6	0.17	2.7	0.15	1.00	2.8	22.7	2.5	176.20
60	B56	0.0	98.7	1.0	0.3	2.8	0.15	2.8	0.14	0.70	3.8	33.8	2.6	161.50
61	B57	0.0	94.9	4.5	0.7	3.0	0.12	3.2	0.11	0.80	3.5	26.0	3.1	116.30
62	B58	0.0	97.3	2.4	0.3	3.1	0.12	3.1	0.11	0.70	3.0	28.8	3.1	116.40
63	B59	0.0	97.9	1.7	0.4	3.0	0.12	3.1	0.12	0.70	3.5	30.0	3.1	118.10
64	B60	0.0	96.3	3.1	0.6	3.1	0.12	3.2	0.11	0.80	3.5	27.2	3.2	112.60
65	B61	0.0	89.3	9.0	1.7	2.8	0.14	3.2	0.11	1.20	2.8	13.1	2.8	141.30
66	B62	0.0	77.9	17.9	4.2	2.9	0.13	3.7	0.08	1.70	1.9	6.6	3.1	113.00
67	B64	0.0	86.7	10.1	3.3	2.8	0.14	3.3	0.10	1.60	2.3	9.3	2.9	134.40
68	B65	0.1	65.8	24.8	9.3	2.7	0.15	4.2	0.06	2.30	1.0	3.0	3.2	108.00
69	B66	2.5	81.2	10.8	5.5	2.7	0.16	3.4	0.09	2.10	1.1	5.9	3.0	124.80
70	B67	20.6	71.6	5.8	1.9	1.4	0.38	1.8	0.29	2.50	-0.1	3.7	2.3	205.40
71	B68	0.0	42.8	44.6	12.6	3.2	0.11	5.2	0.03	2.20	0.7	2.6	4.5	45.60
72	B69	0.0	72.9	16.9	10.2	3.2	0.11	4.4	0.05	2.10	1.4	3.9	3.5	90.60
73	B70	0.0	87.4	10.8	1.9	3.2	0.11	3.5	0.09	1.20	3.0	15.5	3.3	100.80
74	B71	4.1	91.0	3.6	1.3	2.5	0.18	2.7	0.15	1.50	0.0	11.1	2.6	167.10
75	B73	3.5	80.9	9.7	5.9	2.5	0.18	3.3	0.10	2.20	0.9	5.3	2.8	142.90
76	B74	0.0	97.8	1.7	0.5	2.6	0.16	2.7	0.15	0.80	4.5	35.2	2.5	174.60
77	B75	3.9	52.2	32.9	11.0	2.0	0.25	4.1	0.06	2.90	0.2	2.7	3.3	99.00
78	B76	0.0	98.8	0.8	0.4	2.3	0.20	2.4	0.19	0.70	4.5	45.9	2.3	199.40
79	B77	0.1	66.0	26.4	7.5	2.7	0.15	4.1	0.06	2.20	1.0	3.3	3.1	113.30
80	B78	0.5	84.0	11.9	3.6	2.8	0.14	3.4	0.10	1.70	1.7	8.0	3.1	117.20
81	B80	0.0	91.2	7.6	1.2	3.4	0.09	3.6	0.08	0.80	5.0	35.6	3.4	92.30
82	B81	0.0	97.0	2.4	0.5	3.3	0.10	3.4	0.09	0.60	4.9	48.1	3.3	98.40
83	B82	0.0	94.2	4.5	1.3	2.7	0.15	3.0	0.13	1.10	4.0	22.8	2.6	162.80
84	B83	7.7	63.2	20.4	8.7	2.0	0.25	3.5	0.09	2.90	0.3	3.1	2.9	134.30
85	B84	0.4	52.2	33.8	13.5	2.8	0.14	4.9	0.03	2.50	0.4	2.3	3.8	69.40
86	B85	0.0	99.7	0.2	0.1	2.4	0.19	2.4	0.18	0.50	3.8	54.8	2.4	192.70
87	B86	0.9	93.7	3.8	1.6	2.4	0.19	2.7	0.16	1.30	2.5	15.4	2.4	184.10
88	B87	0.0	97.4	2.0	0.6	2.3	0.20	2.4	0.19	0.90	2.8	23.3	2.4	195.10
89	B88	0.0	96.1	2.5	1.4	2.4	0.18	2.6	0.16	1.00	4.6	28.2	2.4	188.50
90	B89	0.0	92.2	5.9	2.0	2.6	0.16	2.9	0.13	1.30	3.7	17.2	2.5	173.70

Table 2. Continued.

No.	St.	Weight Composition(%)				S.Mean		T.Mean		SD	Sk.	Kt.	D ₅₀	
		Gravel	Sand	Silt	Clay	ϕ	mm	ϕ	mm				ϕ	μm
1	BB1	0.0	60.9	34.4	4.8	3.3	0.10	4.2	0.05	1.60	2.0	7.1	3.7	75.80
2	BB2	0.0	66.5	28.7	4.8	3.4	0.10	4.2	0.06	1.60	2.1	7.4	3.6	80.30
3	BB3	0.0	45.0	48.4	6.6	3.4	0.09	4.7	0.04	1.70	1.4	4.4	4.1	56.80
4	BB4	0.0	83.4	13.8	2.8	3.3	0.10	3.8	0.07	1.30	3.0	13.1	3.4	92.20
5	BB5	0.0	74.0	19.5	6.5	3.1	0.12	4.0	0.06	1.80	1.8	5.7	3.4	95.50
6	BB6	0.0	83.9	13.6	2.5	3.1	0.11	3.6	0.08	1.30	2.5	10.6	3.3	100.90
7	BB7	0.0	85.1	12.0	2.8	2.8	0.14	3.3	0.10	1.50	2.6	10.5	2.9	133.00
8	BB8	0.0	84.4	13.2	2.4	3.2	0.11	3.6	0.08	1.30	2.9	13.3	3.4	97.60
9	BB9	0.0	90.3	7.5	2.2	3.0	0.13	3.3	0.10	1.30	2.9	13.3	3.1	117.90
10	BB10	0.5	93.4	4.5	1.6	2.6	0.16	2.9	0.14	1.30	2.6	15.9	2.6	169.80
11	BB11	0.0	88.6	8.4	3.0	2.7	0.15	3.2	0.11	1.50	2.5	9.5	2.7	149.80
12	BB12	10.8	87.1	1.4	0.7	1.9	0.27	2.0	0.25	1.80	-1.0	6.7	2.3	203.60
13	BB13	0.0	64.2	29.7	6.1	3.3	0.10	4.4	0.05	1.80	1.5	4.6	3.7	78.80
14	BB14	0.0	65.6	29.1	5.3	2.4	0.19	3.7	0.08	2.20	0.7	3.8	3.3	100.50
15	BB15	31.8	46.6	15.4	6.1	0.5	0.70	1.9	0.26	3.60	0.3	2.3	2.3	201.50

Ref. : S.Mean : Sand Mean Diameter, T.Mean : Total Mean Diameter, SD : Standard Deviation, SK : Skewness, Kt : Kurtosis

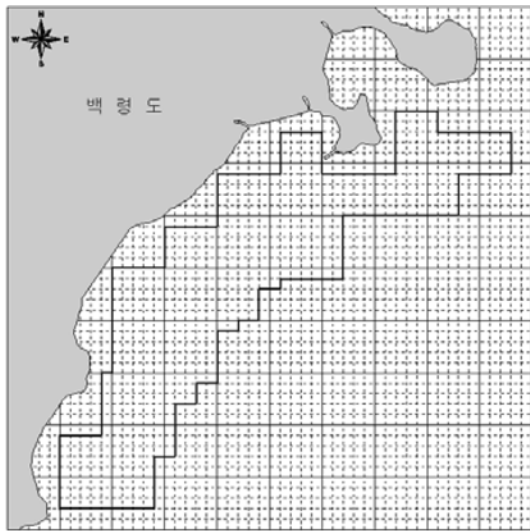


Fig. 2. Mesh form of sediment observation spots.

3.1 내삽기법 변화에 따른 퇴적물 입도 정보 편차 분석

퇴적물 정보를 격자정보로 변환하는 과정에서 가장 중요한 요소는 내삽기법의 선택이다. 일반적으로, 불규칙한 공간상의 정보를 격자정보로 변환하는 과정은 불규칙한 공간상의 정보가 격자정보 추출영역에 충분히 분포되어 있는 경우에는 내삽기법에 의한 영향이 크게 나타나지 않으나, 불규칙한 공간상의 정보가 부족한 경우에는 적용하는 내삽기법에 따라 격자정보가 큰 차이를 보일 수 있다. 본

Table 3. Statistical parameters of the sediment size and absolute deviation

(a) Data in June, 2004 (Sample Numbers = 90)

Gridding Method	Mean(μm)	S.D.(μm)
Kriging (K)	124.0	29.9
Inverse Distance Weighted (IDW)	124.6	22.4
Minimum Curvature (MC)	121.8	34.5
Absolute deviation (K-IDW)	8.65	6.80
Absolute deviation (K-MC)	7.21	9.02

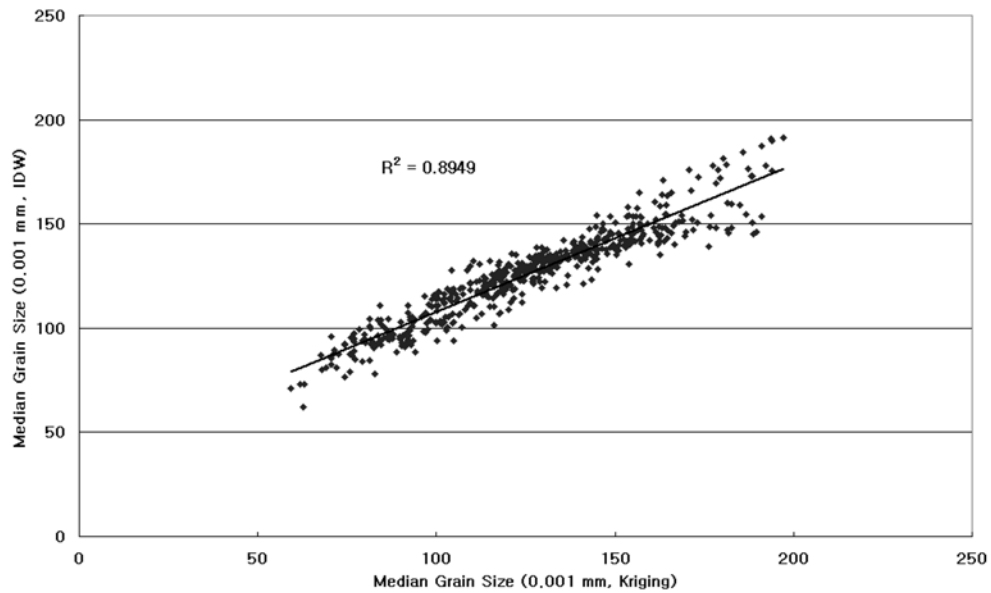
(b) Data in November, 2004 (Sample Numbers = 15)

Gridding Method	Mean(μm)	S.D.(μm)
Kriging (K)	113.9	32.7
Inverse Distance Weighted (IDW)	116.9	30.3
Minimum Curvature (MC)	111.0	41.8
Absolute deviation (K-IDW)	5.83	11.27
Absolute deviation (K-MC)	4.76	13.14

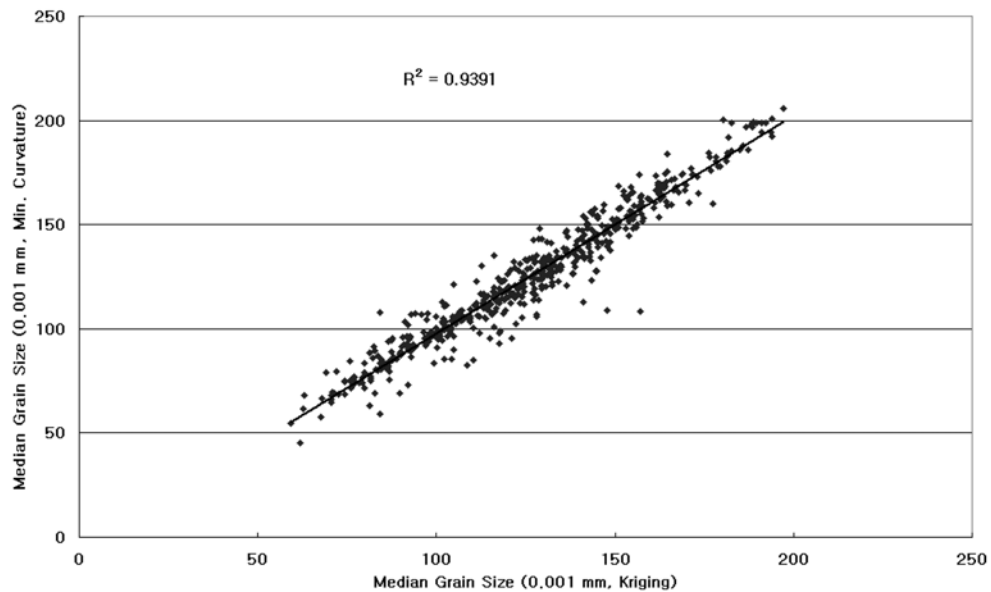
*S.D.: Standard Deviation

연구에서는 공간정보 내삽기법으로 우수하고 지층탐사 (geo-physics) 분야에서 범용적으로 사용되는 Kriging 방법을 이용하여 용기포항의 퇴적물 입도 정보를 격자정보로 변환하였으며, Kriging 방법을 기준으로 하여 거리가 중방법(Inverse Distance Weighted 방법), 최소구배방법(Minimum Curvature 방법)에 의한 격자정보와 비교하여 퇴적물 입도정보 절대편차를 분석하였다(Table 3 참조).

격자정보 추출방법에 의한 절대편차의 표준편차는 자료의 수가 적은 2004년 11월 자료를 이용한 경우에 10.0 μm 이



(a) Kriging method vs. Inverse-distance Weighted method



(b) Kriging method vs. Minimum Curvature method

Fig. 3. Comparison of mesh value for sediment information (2004. 6).

상으로 분석되었으며, 자료의 수가 많은 2004년 6월 자료를 이용한 경우에는 $8.0\ \mu\text{m}$ 정도로 분석되었다. 또한, 평균입경 추정오차는 전체적으로 2.0% 미만으로 큰 차이를 보이지 않았으나, 국지적으로는 방법에 따라 큰 차이를 보이고 있는 경우도 있다(Fig. 3~6참조). 한편, 최소구배방

법의 경우에는 국지적(주로 구성된 격자의 경계부근 및 자료가 부족한 영역)으로 Kriging 방법 및 거리가중방법과 큰 차이를 보이고 있다. 국지적으로 불일치하는 자료를 제외하고, 내삽기법간의 상관계수를 계산한 결과, 상관계수는 0.85~0.95 범위로 높은 상관성을 보이고 있는 것으로

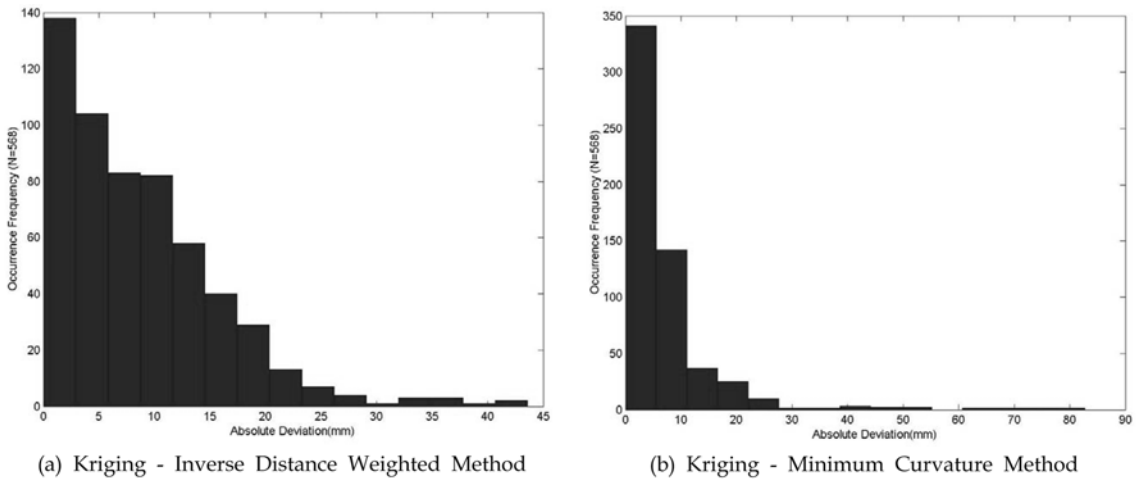
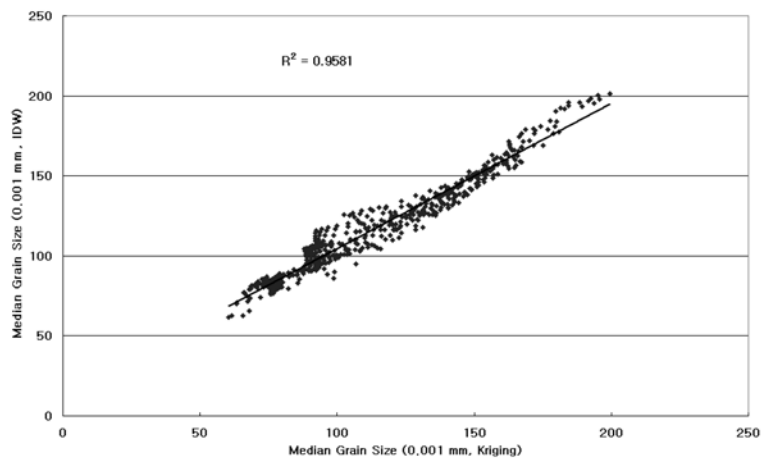
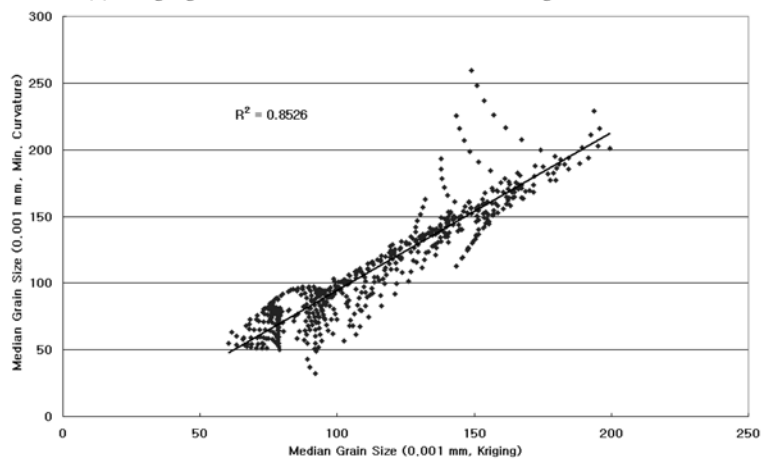


Fig. 4. Histogram of absolute deviation according to sampling method for mesh information (2004. 6).

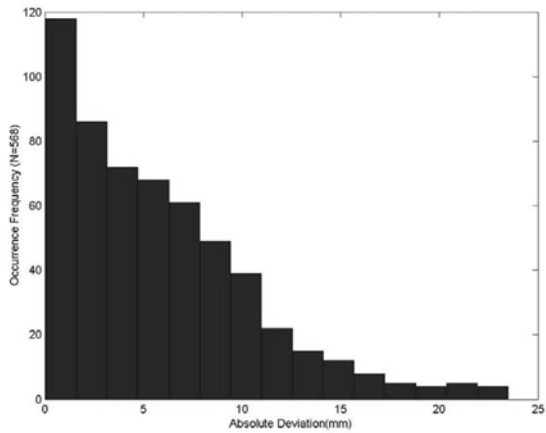


(a) Kriging method vs. Inverse-distance Weighted method

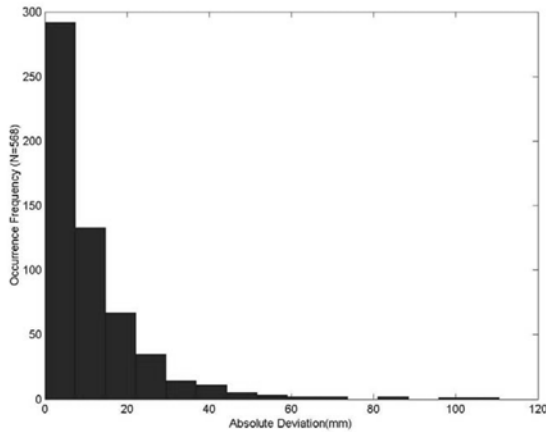


(b) Kriging method vs. Minimum Curvature method

Fig. 5. Comparison of mesh value for sediment information (2004. 11).



(a) Kriging - Inverse Distance Weighted Method



(b) Kriging - Minimum Curvature Method

Fig. 6. Histogram of absolute deviation according to sampling method for mesh information (2004. 11).

과약되었다. 즉, 내삽기법 선정에 따른 영향은 국지적인 영역에 제한되는 것으로 판단할 수 있다.

3.2 표본밀도 변화에 따른 공간적인 퇴적물 입도정보 변화 분석

백령도 용기포항 연안해역 2004년 6월에 채취한 90개 퇴적물 분석정보를 이용하여 표본추출밀도, 즉 표본의 수에 따른 퇴적물 입도정보의 절대편차를 분석하였다. 분석 과정은 다음과 같다.

- 1단계: 2004년 6월 자료(총 90개의 지점별 퇴적물 입도분포) 정보를 입력
- 2단계: Kriging 방법을 이용한 기준이 되는 격자정보 추정(Gridding)

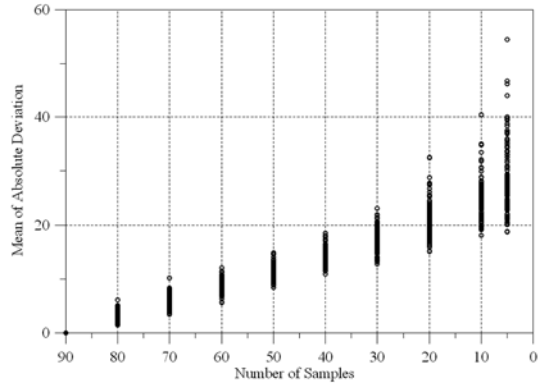


Fig. 7. Mean deviation information according to sampling density (N=100).

3단계: 퇴적물 입도분포 정보가 있는 총 90개의 지점에서 각각 무작위로 80개, 70개, 60개, 50개, 40개, 30개, 20개, 10개, 5개를 선정

4단계: 선정된 지점의 퇴적물 정보를 Kriging 방법으로 격자정보로 전환하고, 기준격자정보와 비교하여 절대편차의 평균 및 표준편차를 계산.

5단계: 3단계에서 수행한 내용을 충분히 시행(약 100회)

6단계: 3~5단계에서 수행한 결과를 수행번호-표본추출밀도-기준자료(총 90개 자료를 이용한 격자정보)와의 절대편차를 도시, 100회의 시행과정에서 생성된 표본추출밀도에 따른 절대편차의 평균, 절대편차의 표준편차를 계산(동일한 표본추출밀도 [표본의 수]에 대하여 기준자료의 편차 정보(평균, 표준편차 등)를 정리

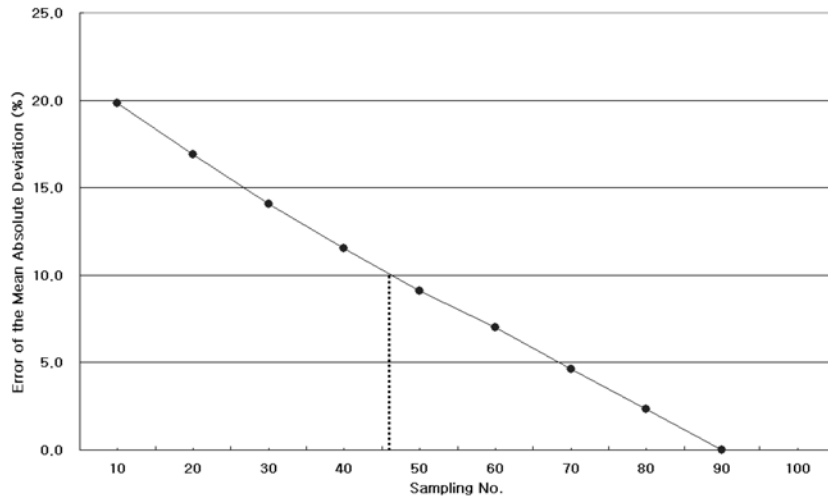
표본의 수(표본추출밀도)에 따른 격자정보와 기준격자정보(표본의 수: 90개)를 비교하여 추정된 절대편차의 통계적인 정보를 분석한 결과, 표본의 수가 감소할수록 절대편차의 평균오차는 점점 증가하는 경향을 보이고 있는 것으로 분석되었다(Table 4, Fig. 8(a), Fig. 9참조). 또한, 표본의 수 증가에 따른 절대편차 평균오차의 감소경향을 보면 표본의 수가 80개 이상인 경우에는 3.0% 이하로 추정되며, 이 분석결과로부터 100개 이상의 많은 표본을 채취하여도 정확도 향상은 크게 부각되지 않을 것이라는 결론을 도출할 수 있다. 본 연구의 경우, 표본의 수가 50개 이상인 경우에는 편차 평균오차가 10% 이하이며, 70개 이상인 경우에는 5% 이하를 유지한다. 따라서, 연구사업에서 요구되는 퇴적물 정보의 정확도(절대편차 평균 기준) 수준이 10% 이하인 경우에는 표본의 수를 50개 정도로

Table 4. Mean and standard deviation(S.D.) of the absolute deviation(AD) according to sampling number changes

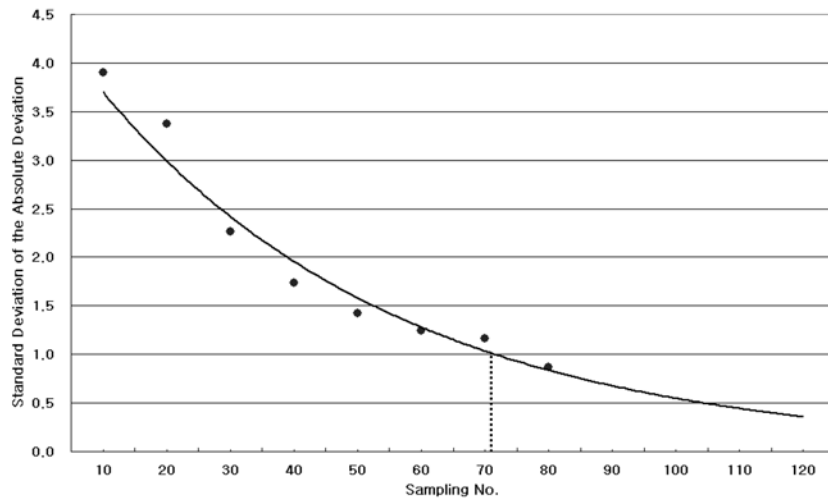
Sampling No.	80	70	60	50	40	30	20	10	5
Mean of the AD	2.91	5.76	8.70	11.29	14.33	17.45	20.93	24.59	28.74
S.D. of the AD	0.87	1.16	1.24	1.42	1.74	2.26	3.37	3.90	6.57
MD/MGS (Ref. 125; %)	2.35	4.64	7.02	9.11	11.55	14.07	16.88	19.83	23.18

Unit : μm

*MD: Mean Deviation, MGS : Median Grain Size



(a) Error of the mean absolute deviation



(b) Standard deviation of the absolute deviation

Fig. 8. Plot of the Error according to sampling number changes.

하면 만족할 수 있다. 이 경우의 표본 추출밀도는 용기포
 향 연안해역 격자정보 전환 면적(5.9 km^2)을 기준으로 50개
 정도를 적용하는 경우, $50\text{개}/5.9 \text{ km}^2 = 8.5\text{개}/\text{km}^2 \approx \text{km}^2$
 당 9개 정도로 제시할 수 있다. 제시된 표본 추출밀도는

최소값이기 때문에 원하는 정확도를 얻기 위해서는 km^2
 당 9개 이상의 표본을 추출하여야 함을 의미한다.

한편, 표준편차 변화는 표본의 수 70 정도에서 1.0 이
 상으로 표본의 수가 감소할 수 록 급격하게 상승하고 있

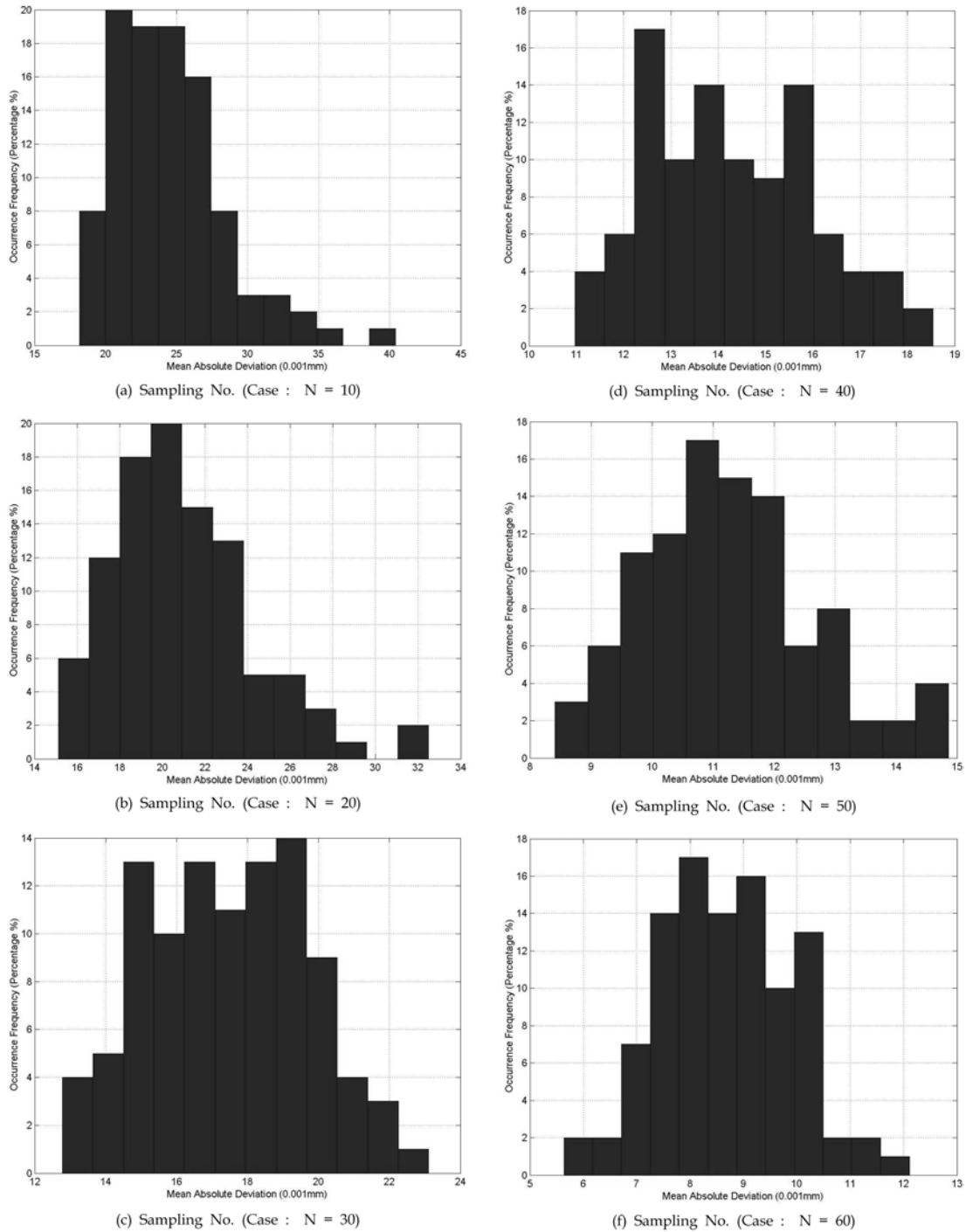


Fig. 9. Absolute deviation histogram shape changes according to sampling density.

으며, 표본의 수가 100개를 넘어서는 영역에서는 매우 완만하게 변하고 있음을 알 수 있다(Fig. 8(b)참조). 절대오

차의 표준편차는 표본의 수에 따른 오차범위(또는 신뢰구간)를 결정하는 매개변수로, 표준편차가 증가할 수록 신

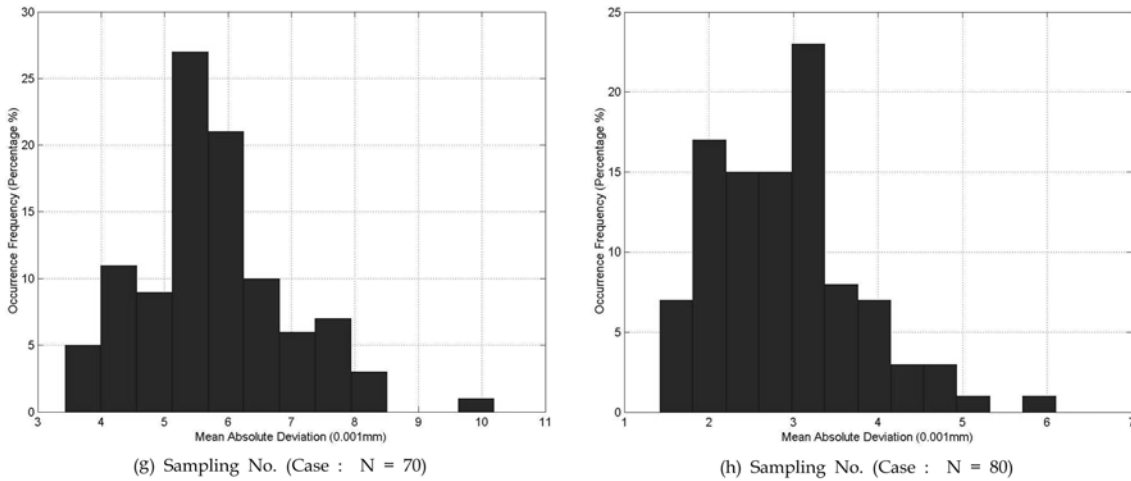


Fig. 9. (Continued)

퇴구간은 감소하고 표준편차가 감소할 수록 신뢰구간은 증가하게 된다.

본 연구에서 도출된 퇴적물 표본추출밀도는 용기포함 연안해양의 퇴적물 분석에 해당하는 정보이므로, 해양의 특성이 상이한 지역에서의 적용은 제한될 수 있으나, 백령도 해양과 유사한 특성을 가지는 또는 가질 것으로 예상되는 해양은 본 연구에서 제시한 표본 추출밀도를 기준으로 사용하거나 참고하여 퇴적물 채취계획을 수립할 수 있다. 한편, 표준편차 변화의 관점에서 보면, 백령도 연안해양의 경우 표본의 수가 100개를 넘어서는 경우에는 표본의 수가 증가함에 따라 정확도가 크게 변하지 않을 것으로 판단된다.

4. 결론 및 제언

본 연구에서는 백령도 용기포함 연안해양을 대상으로 표본의 수에 따른 퇴적물 정보 절대편차분석을 수행하고, 퇴적물 정보의 정확도 요구수준에 따른 표본 추출밀도를 정량적인 분석결과에 근거하여 제시하였다.

본 연구의 경우, 표본의 수가 50개 이상인 경우에는 편차평균 오차가 10% 이하이며, 70개 이상인 경우에는 5% 이하를 유지한다. 따라서, 연구사업에서 요구되는 퇴적물 정보의 정확도(절대편차 평균 기준) 수준이 10% 이하인 경우에는 표본의 수를 50개 정도로 하면 만족할 수 있다. 이 경우의 표본추출밀도는 용기포함 연안해양 격자정보 전환면적(5.9 km²)을 기준으로 50개 정도를 적용하는 경우, 50개/5.9 km² = 8.5개/km² ≒ km²당 9개 정도이다.

해양 퇴적물 입도분포 정보 등 해양물리환경 정보는 지역적인 특성이 매우 중요한 인자이기 때문에 요구되는 정확도를 확보하기 위한 표본 추출밀도는 보다 많은 지점에서 수행하는 것이 바람직할 것으로 사료되나, 어느 정도를 상회하는 경우에는 정확도 향상에 크게 기여하지 않는 것으로 파악되었다.

본 연구결과는 용기포함 연안해양에서 분석된 퇴적물 입도정보를 이용하여 수행한 결과로, 보다 다양한 퇴적환경(퇴적물 입도의 공간적인 변화양상 등), 해양물리조건(파랑, 조석 등) 및 유역조건(유역의 퇴적물 공급량 및 토양 정보 등)에서 수행되어 해양의 특성을 반영한 퇴적물 표본 추출밀도에 대한 정량적인 연구가 필요할 것으로 사료된다. 또한, 보다 다양한 지역 및 해양 흐름조건에서 최소 퇴적물 표본 밀도에 대한 연구성과를 축적하면, 퇴적물 관측 자료가 전무한 해양에서 초기 관측망 설계를 위한 지침(guideline)에 활용할 수 있다.

참고문헌

이석우 (1996). 해양·항만조사법. 해상편-, 제8장, 집문당.
 인천지방해양수산청, 대한토목학회 (2005). 용기포함 건설사업에 따른 해양물리 검증보고서.
 Bras, R.L. and Rodriguez-Iturbe, I. (1985). Random Functions and Hydrology. Sec. 6.8, Addison-Wesley Pub.
 Carter, R.W.G. (1988). Coastal Environments, An Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines. Academic Press.
 Chapman, D. (Editor) (1992). Water Quality Assessments, A

- guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. Chap. 4, Chapman & Hall.
- Keith, L.H. (Editor) (1988). Principles of Environmental Sampling, ACS Professional Reference Book. American Chemistry Society.
- Lawrence, H.K. (Editor) (1988). Principles of Environmental Sampling, Chaps. 1, 4, 24, ACS Professional Reference Book. American Chemical Society.
- Middleton, G.V. (2000). Data Analysis in the Earth Sciences using MATLAB[®]. Chap. 8, Prentice Hall.
- van Rijn, L.C. (1993). Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas. Aqua Publications.
- World Meteorological Organization (1994). Guide to Hydrological Practices, Data Acquisition and Processing, Analysis, Forecasting and Other Applications. Fifth Edition, WMO-No.618.

Received November 12, 2005

Accepted March 30, 2006