

## 강원도 해수욕장의 유영폭 및 해변단면 축척계수 조사 분석 A Survey and Analysis of Swim Zone Width and Beach Scale Factor for Gangwon Beaches

이정렬\* · 김인호\*\*  
Jung Lyul Lee\* and In Ho Kim\*\*

**요 지 :** 39개 동해 해수욕장에 대한 대표 입경과 유영폭, 포말대 경사 등을 조사하였다. 이 자료를 근거로 입경과 포말대 경사의 상관 관계를 살폈으며 해수욕장의 유영폭을 추정하는 데 있어 어떤 인자의 영향력이 더 큰가를 분석하였다. 분석 결과 대상 해수욕장에서는 유영폭과 대표입경의 상관성이 더 우월하며 유영폭이 대표입경의 1.15승에 반비례하는 결과를 얻을 수 있었다. 분석하는 데 있어 해변 종단면  $h = Ay^{2/3}$  식이 사용되었으며 해변 종단면 축척 계수 A는 대표입경의 0.77승에 비례하는 것으로 분석되었다.

**핵심용어 :** 유영폭, 모래 입경, 포말대, 해변 종단면, 단면 축척 계수, 강원도 해수욕장

**Abstract :** In the present study, a beach survey such as sand sizes, swim zone widths, and slopes of swash zone has been accomplished for 39 beaches along the Gangwon coastline. The data analysis presents that the swim zone width has a strong correlation with the sand size, showing that the swim zone width is reversely proportional to the 1.1 power of a grain size. The profile factor  $A$  has been analyzed using the beach profile form of  $h = Ay^{2/3}$ , where  $A$  was resulted to be proportional to the 0.77 power of a grain size.

**Keywords :** swim zone width, sand size, swash zone, beach profile, scaling factor, Kangwon beaches

### 1. 서 론

해수욕장은 수영을 안전하게 하기에 적합한 조건을 갖춘 해변으로 인식되었으나 최근 다양한 레저 활동의 활성화로 서핑, 스노클, 비치 스포츠, 경관감상, 낚시 등 다양한 해양 레크리에이션 활동이 이루어지는 공간이 되었다. 2003년 현재 우리나라 해양 관광 참여 인구가 1억명에 육박하여 총 관광 참여인구 3억 4천만명 중 약 27%를 점유하고 있다 (이, 2005). 그러나 이중에서 해수욕 피서객이 차지하는 비율은 75%로서 아직 우리나라 해양 레크리에이션은 7, 8월에 집중된 해수욕이 주를 이루고 있으며 그로 인하여 해수욕장의 편의시설 및 제반 정보도 열악한 실정이다.

해수욕장을 평가할 때 가장 중요한 요인은 일반적으로

백사장의 질이다. 백사장 모래가 곱고 깨끗할수록 좋은 해수욕장이라고 말할 수 있다. 모래가 고우면 수심이 비교적 얇게 되어 해저면의 모래 색깔로 인하여 질푸른 바다 색깔이 초록빛 색깔을 띠게 되므로 멋진 경관을 빚어낸다. 이외에도 모래가 고운 해수욕장은 저면 경사가 비교적 완만하여 유영하기에도 안전하며 백사장 폭은 물론 쇄파대도 넓게 형성되므로 서핑을 즐기기도 좋다. 산호초가 발달한 남태평양에서는 곱고 깨끗한 모래의 백사장이 후면에 많이 형성되어 좋은 휴양지로서 각광을 받는 이유도 여기에 있다. 대부분 강원도의 해수욕장은 거친 모래로 이루어졌다는 인식이 있으나 이번 조사 결과 상당히 고운 모래의 해수욕장도 발견된다. 물론 백사장의 모래 입경이 해수욕장의 질을 평가하는 데 절대적이지는 않지만 해수욕장에 대한 중요한 정보가 됨은 분명하다. 현재 해

\*성균관대학교 토목환경공학과(Corresponding author: Department of Civil and Environmental Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea, jlllee@skku.edu)

\*\*강원대학교 소방방재학부(School of Fire and Disaster Prevention, Kangwon University, Samcheok 245-711, Korea)

수욕장 방문객을 위한 정보는 위치나 편의시설 정도만 소개되어 다양한 레크레이션을 즐기려는 피서객에게 충분한 정보를 제공하지 못하고 있다.

다행히 올해부터 해양수산부에 의하여 전국 해수욕장의 운영상태와 수질관리, 경관, 안전등 4개 분야에 대한 조사 및 평가가 이루어지고 있으나 아직 해수욕장의 미래의 입경, 모래 색깔 등 백사장 모래질에 대한 기초 조사는 이루어지고 있지 못하다. 또한 모래질은 해수욕장 해안선의 침·퇴적 관리 측면에서도 중요한 지표가 됨을 인식하지 못하고 있는 것 같다. 따라서 2005년 7월 15일부터 19일까지 성균관대학교 및 강원대학교(삼척캠퍼스) 대학원 학생들로 구성된 조사단은 39개의 강원도권 해수욕장에 대한 물리적 특성 조사를 실시하였다. Fig. 1에는 39개 조사 대상 해수욕장의 위치 및 유형이 도시되었다. 개략적인 조사항목에는 모래 입경 및 색깔은 물론 해수욕장 길이 및 폭(자료조회), 파고 및 파향(자료조회), 포말대 (swash zone)의 경사, 유영폭, 해안선 곡률반경 및 반경중심의 방향각, 식생대, 유입되는 지천 폭 등이다. 강원도 해수욕장 수질은 전체적으로 상당히 깨끗한 수질이 유지되고 있는 관계로 이번 조사에서는 생략되었다.

본 연구에서 유영폭 분석에 이용되는 종단면 모델은 국내에 소개된 예가 적은 편이므로 비교적 구체적으로 소개한다. Bruun(1954)은 California의 Monterey Bay의 해안 중

단면과 덴마크 해안을 따라 조사한 결과를 분석하여 자연 종단면이 (two-thirds power law)을 따른다는 것을 경험적으로 증명한 최초의 학자이다. 그 후 Dean(1977)은 Florida Peninsula 근방의 Long Island의 동부 끝에서부터 Texas-Mexico 경계까지 미국에서 502개의 해안 종단면에 최소 제곱(least-squares fit)을 취하여 종단면의 일반적 경향을 제시하였다. 비록 본 연구에서는 최소제곱법을 이용하기 위하여 종단면을 따라 여러 점을 관측하지는 못하였으나 유영폭의 한계 수심에 해당하는 수심 1.3 m의 한 점에 적용하고 동해 강원도권 해수욕장의 유영폭에 미치는 대표 인자를 제시한다.

## 2. 현지 조사 및 분석

### 2.1 강원권 해수욕장 특징

동해안은 남서해안과는 달리 해안선이 사빈 및 암석지역으로 이루어져 있으며 매우 단조로운 특성을 가지고 있다. 또한 태백산맥을 기준으로 동쪽으로 상당히 급경사를 이루며 수심이 급격히 깊어지기 때문에 다른 해역에 비하여 대륙붕의 면적이 매우 작아 수 km 내외의 좁은 대륙붕이 특징이다. 강원도 고성군에서부터 삼척시까지의 연구대상해역의 해안선 총 연장은 약 216.5 km이며, 이 중 육지부는 215.4 km이고 도서부는 1.1 km이다. 강원 고성군의 수원단에서 경북 울진군의 용추갑까지의 해안선은 굴곡이 매우 적다. 이 해안에는 험한 절벽이 많고, 수심은 해안으로부터 갑자기 깊어지거나 비교적 규모가 크고 낮은 해안이나 사빈이 해안절벽 사이에 발달해 있다. 강원도 동해에 접해있는 시군은 고성군, 속초시, 양양군, 강릉시, 동해시, 삼척시이다. 시군별 해안 자료를 구성별 및 형태별로 분류하여 Table 1에 수록하였다. Table 1에서 보는 바와 같이 대상해역의 해안선을 형태별로 분류하면, 방파제, 방사제, 호안, 석축 등 인공구조물로 이루어진 인공해안이 약 21.1 km, 사질해안이 약 105.6 km, 암석해안이 약 80.6 km, 그리고 산지, 구릉지 또는 농경지로서 경사가 완만하고 해수의 영향이 적은 기타 해안이 약 9.2 km로 나눌 수 있다(과학기술처, 1994).

강원도에는 총 28개의 시범 해수욕장 중 50%에 해당하는 14개의 시범 해수욕장이 있으며 26개의 일반 해수욕장, 61개의 마을 해수욕장이 있다(해양수산부, 2005). 시범 해수욕장은 국내에 잘 알려진 유인력이 있는 해수욕장들로서 기초자치단체가 직접 행정 조직 또는 별도 조직으로 하여금 관리하고자 하는 해수욕장이다. 강릉시에

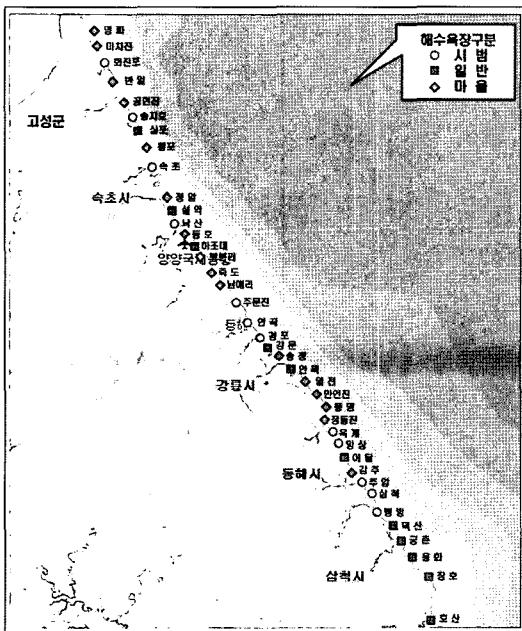


Fig. 1. Surveyed beach locations.

**Table 1.** Shoreline type of Gangwon Coast (unit: km; 과학기술처, 1994)

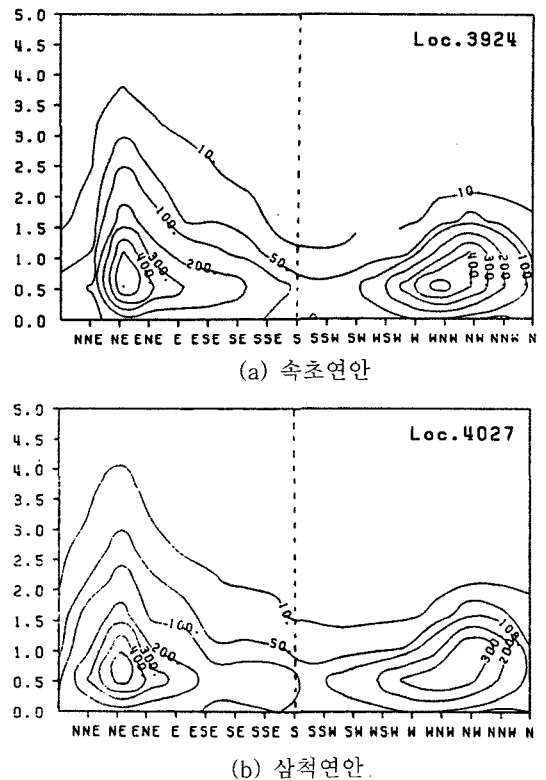
시군	총연장	구성별		형태별			
		육지부	도서부	인공해안	사빈	암빈	기타
삼척시	58.4	58.2	0.2	1.9	31.7	21.0	3.8
동해시	20.7	20.7	-	6.0	6.0	3.5	5.2
강릉시	49.3	49.1	0.2	5.1	25.6	18.5	0.1
양양군	39.5	39.1	0.4	2.7	19.7	17.1	-
속초시	9.4	9.3	0.1	3.3	2.0	4.0	0.1
고성군	39.2	39.0	0.2	2.1	20.6	16.5	-
총계 (비율)	216.5	215.4	1.1	21.1(9.8%)	105.6(48.8%)	80.6(37.2%)	9.2(4.2%)

경포, 주문진, 옥계, 연곡, 정동진 등 5개의 시범해수욕장이 운영되고 있다.

동해 해수욕장의 해변 단면은 남해, 서해와는 달리 비교적 경사가 급하여 해수욕장에서 발생한 수상 안전사고가 비교적 높은 편이다. 따라서 수심이 낮고 유영폭이 넓어 수영이 미숙한 유아나 소아를 동반한 가족들에게 알맞는 가족형 해수욕장과 수심이 비교적 깊고 유영폭이 짧더라도 다이내믹한 파랑 환경을 즐기는 젊은 층이 찾는 청소년 해수욕장 등 테마별 해수욕장 개발이 시급하다. 해수욕장이 모든 이에게 개방된 공간이라는 고정 관념을 깨고, 연령별, 취미별, 구성별, 동질성의 계층만이 편리하게 이용하도록 테마 해수욕장 개념의 도입이 필요하다. 본 연구는 테마별 해수욕장 개발과 인증제의 도입을 위한 기초 물리 조사를 수행하였다는 데 또 다른 의미가 있다고 본다.

**2.2 동해 해안 환경**

동해지역은 동계 계절풍이 강하여 주로 겨울철에 높은 파랑이 발생하게 되며 주기는 9월과 겨울철(12, 1, 2월)에 다소 큰 값을 보이고 있다. 다음은 HYPA 모형으로부터 산출된 동해 근해의 심해 파랑 자료(한국해양연구소)로부터 파고 및 주기 각각에 대한 출현빈도와 그 결합 확률 분포를 살펴본다. 위도상 속초와 삼척에 해당하는 지점의 심해 파랑 자료를 파고 및 파향 등급별로 도시한 결과 Fig. 2에 도시되었다. 속초에 해당하는 동해 심해파는 NE와 WNW방향, 삼척과 후포에 해당하는 동해 심해파는 NE와 NW방향이 우세한 것으로 분석되어 상위파고가 2방향으로 나뉘어 집중되는 현상을 보이고 있다. 그러나 NW계열은 해안선 형성에 영향을 미치지 못하므로 강원도 해안에서 사절토로 이루어진 긴 해안선은 NE 방향의 주 입사 파랑에 대하여 NW로부터 SE를 향하고 있어 최적의 평형상태를 유지하고 있는 것으로 판단된다. 그러나 지구 온난화로 인하여 해수면 상승이 전체적인 해



**Fig. 2.** Correlation between wave height and wave angle; (a) Sokcho and (b) Samchuck.

안선 침식을 유발하고 더욱이 동해 해양 환경이 변하여 입사 파향이 달라진다면 해안선도 그에 따라 민감하게 반응하므로 국지적인 해안선 침식 현상은 더욱 가속화될 수 있다. 따라서 아직 기초적인 조사조차도 정기적으로 이루어지고 있지 못한 해안선 모니터링 사업은 시급히 기준점을 설정하고 주기적으로 꾸준히 수행되어야 한다.

강원도 해안에서 조석간만의 차는 비교적 작아 30 cm 미만의 값을 보이고 있다. 따라서 관측 지점에서 조석으로 인한 유영폭 변화는 무시되었다.

### 2.3 현지 조사

2005년 7월 15일부터 19일까지 성균관대학교 및 삼척대학교 학생들로 구성된 조사단은 39개의 강원도권 해수욕장에 대한 물리적 특성 조사를 실시하였다. 조사항목에는 모래 입경 및 색깔은 물론 해수욕장 길이 및 폭(자료 조회), 파고 및 파향(자료조회), 포말대(swash zone)의 경

사, 유영폭, 해안선 곡률반경 및 반경중심의 방향각, 식생대, 유입되는 지천 폭 등이다. 유영 폭과 관계되는 것으로 간주되는 조사 항목이 Table 2에 제시되었다.

미국 California주에 위치한 Half Moon Bay(Fig. 3)와 같이 인접한 백사장이라도 해안선의 배치에 따라 해변단면의 경사 및 입자 크기가 달라진다.

**Table 2.** Results of field survey for 39 Gangwon beaches

지역	해수욕장명	위도(°N)/경도(°E)	$d_{50}(mm)/\Phi_{50}$	입경구분	포말 대경사 (degree)	유영폭 관측결과 (m)
고성군	명 과	38.54/128.40	0.60 / 0.74	C	8	27.0
	마 차 진	38.51/128.41	0.37 / 1.43	M	9	20.0
	화 진 포	38.48/128.43	0.41 / 1.29	M	7	36.7
	반 압	38.42/128.46	0.95 / 0.08	C	5	10.0
	공 현 진	38.35/128.50	0.55 / 0.88	C	9	28.8
	송 지 호	38.33/128.52	0.47 / 1.10	M	11	24.7
	삼 사 포	38.31/128.53	0.38 / 1.41	M	5	55.0
속초시	봉 포	38.25/128.56	1.08 /-0.11	VC	6	43.1
	속 초	38.19/128.60	0.81 / 0.31	C	11	7.6
	정 압	38.13/128.61	0.58 / 0.79	C	7	35.9
	설 약	38.13/128.62	0.39 / 1.48	M	11	44.9
	낙 산	38.12/128.63	0.52 / 0.95	C	11	43.2
	동 호	38.05/128.68	0.96 / 0.06	C	9	22.5
	하 조 대	38.02/128.72	0.61 / 0.72	C	8	40.5
양양군	북 분 리	37.98/128.75	0.44 / 1.17	M	8	41.0
	죽 도	37.97/128.76	0.37 / 1.43	M	9	27.1
	남 애 리	37.94/128.78	0.31 / 1.69	M	9	60.0
	주 문 진	37.91/128.81	0.38 / 1.40	M	15	21.0
	연 곡	37.85/128.85	1.04 /-0.05	VC	10	7.2
	경 포	37.80/128.90	1.03 /-0.04	VC	12	26.4
	강 문	37.79/128.91	0.64 / 0.65	C	8	13.4
강릉시	송 정	37.78/128.93	0.99 / 0.01	C	10	19.7
	안 목	37.77/128.94	1.33 /-0.42	VC	5	13.3
	염 전	37.74/128.98	0.92 / 0.13	C	15	12.0
	안 인 진	37.73/128.98	0.42 / 1.25	M	5	37.0
	등 명	37.70/129.01	0.59 / 0.77	C	13	22.7
	정 동 진	37.68/129.04	0.84 / 0.26	C	13	22.6
	옥 계	37.37/129.25	0.53 / 0.93	C	10	14.6
동해시	망 상	37.35/129.50	0.84 / 0.26	C	5	38.4
	어 달	37.33/129.12	0.35 / 1.52	M	10	27.6
	감 추	37.30/129.70	1.28 /-0.35	VC	5	14.8
	추 압	37.28/129.90	0.45 / 1.14	M	10	45.0
삼척시	삼 척	37.27/129.10	0.57 / 0.81	C	7	55.0
	맹 방	37.23/129.13	0.52 / 0.94	C	8	54.0
	덕 산	37.22/129.14	0.56 / 0.85	C	5	22.0
	궁 촌	37.19/129.16	1.20 /-0.27	VC	10	37.0
	용 화	37.17/129.18	0.95 / 0.07	C	10	17.9
	장 호	37.16/129.19	1.74 /-0.80	VC	12	8.3
	호 산	37.90/129.21	1.80 /-0.85	VC	10	8.0

단, VC: very coarse, C: coarse, M: medium

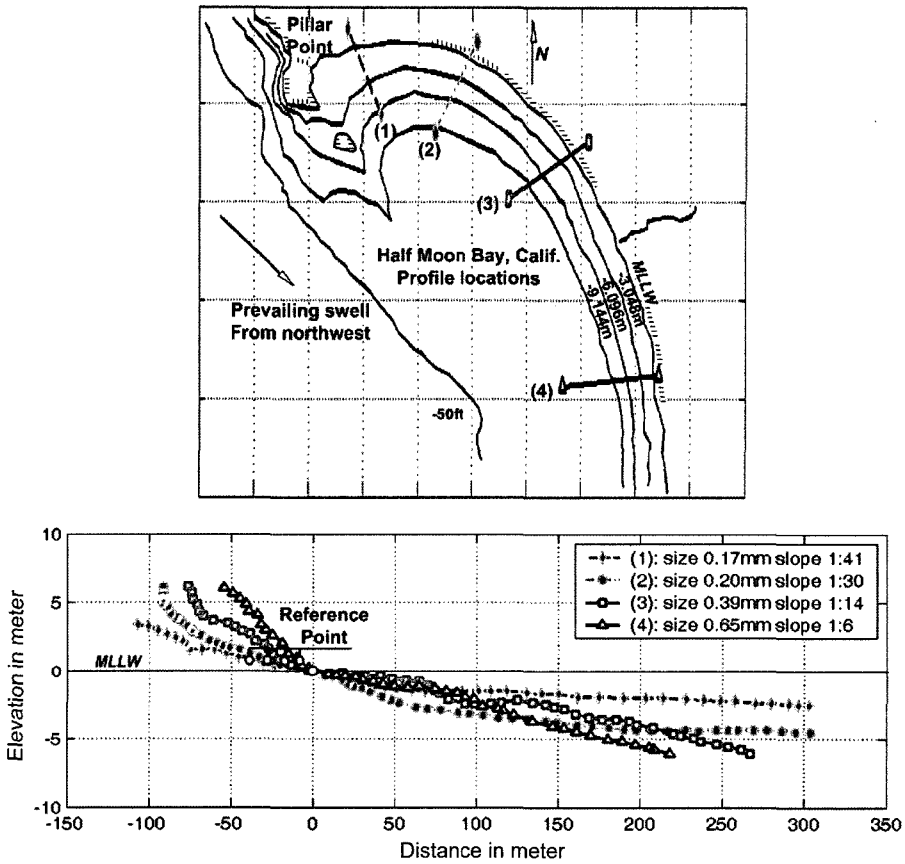


Fig. 3. Variation of beach profiles and sand sizes along the beach at Half Moon Bay, California.

### 3. 유영폭 분석

동해안 해변에서의 평균입도는 일반적으로 중사로 구성되어 있고 Fig. 4와 같이 분급도가 대체로 양호한(well-sorted) 서해안과는 달리 대부분 불량한(moderately/poorly sorted)분포를 보이고 있다. 해변을 구성하고 있는 퇴적물 중 동해안이 서해안보다 조립질의 양상을 보이는 것은 동·서해안에서 최대 파랑의 강도는 크게 차이가 없지만, 동해안에서는 1m이하의 소조해안에서 지속적인 파랑의 영향과 해안의 경사도 차이에서 기인된 것으로 사료된다.

본 연구에서의 유영폭은 해수욕장에서 성인이 안전하게 수영을 즐길 수 있는 유영 가능 폭으로 성인이 발을 딛고 있을 때 가슴 높이인 수심 1.3 m보다 해수면(평균만조선)이 낮은 수역에 해당하는 해안선으로부터의 바다쪽까지의 최단 거리로 정의하였다. 보통 수심 1.5 m를 한계로 두는 경우가 있으나 수영장과는 달리 바닷가에서는 아

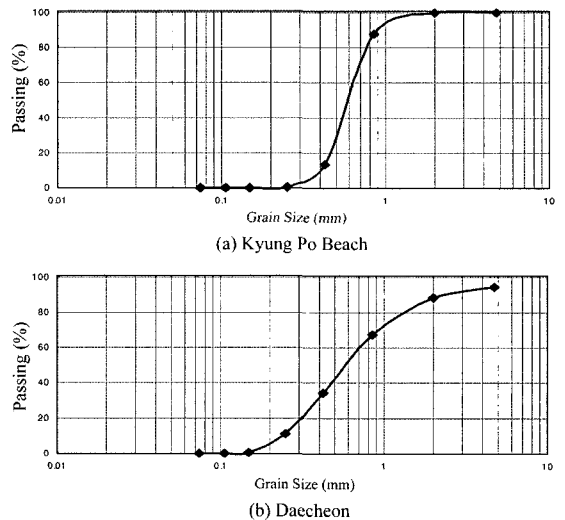


Fig. 4. Example of cumulative sand size distribution; (a) sampled at Kyungpo Beach and (b) Daecheon Beach.

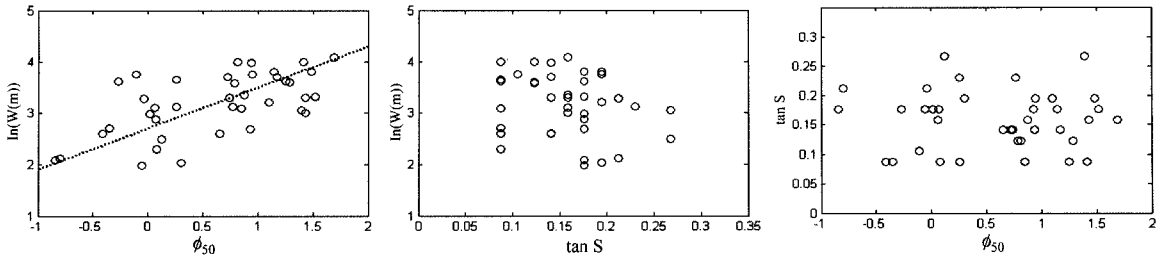


Fig. 5. Results of field survey for 39 Gangwon beaches: (a)  $\ln W$  vs.  $\phi_{50}$ , (b)  $\ln W$  vs.  $\tan S$ , and (c)  $\tan S$  vs.  $\phi_{50}$ .

무리 잔잔하여도 10~20 cm의 파도가 존재하므로 대략 수심 1.5 m에 해당하는 폭까지의 높이가 아닌 가슴 높이로 정하였다.

유영 폭  $W$ 를 추정하는 데 가장 큰 영향을 미칠 것으로 간주되는 중앙 입경(median size)  $d_{50}$ 와 포말대 경사  $S$ 의 기여도를 살펴보았다. 유영 폭( $W$ )과 입자 크기의 또 다른 표현인  $\phi$ 의 관계가 Fig. 5(a)에 도시되었고 유영 폭( $W$ )과 포말대 경사( $\tan S$ )의 관계가 Fig. 5(b)에 도시되었다. 현장 조사시 분명 유영 폭을 결정하는 데 어려운 점이 많았기 때문에 유영폭 자료 상에서의 산란성이 예상되었지만 해변 종단면 이론으로부터 알고 있는 바와 같이 유영폭과 포말대 입경 사이에는 분명 상당한 관련성

이 존재하는 것으로 판단된다. 그리고 Fig. 5(c)에 도시된 바와 같이 포말대 경사와 입경 사이에는 특별한 관계가 없어 보인다. 여기서 입경  $d$ 와  $\phi$ 의 관계는  $\phi = -\ln d / \ln 2$  또는  $d = 2^{-\phi}$ 이다. 각 해수욕장의 중앙 입경이 위도 순으로 Fig. 6에 도시되었으며 직접 모래입경에 대한 각 해수욕장의 유영폭 도시하면 Fig. 7과 같다. 입경의 크기는 입사파고, 배후 구역의 대표 길이 및 경사, 주 공급원과의 거리, 해안선 곡률반경, 주 공급원의 성분 등에 의하여 지배된다. 그러나 동해 해안의 해변의 입경이 대체로 큰 이유는 배후 구역의 경사가 급하기 때문이지만 고운 모래를 갖는 몇몇 해수욕장은 대체로 해안선 곡률반경이 큰 점으로 미루어 그 영향이 가장 클 것으로 사료되며 이에

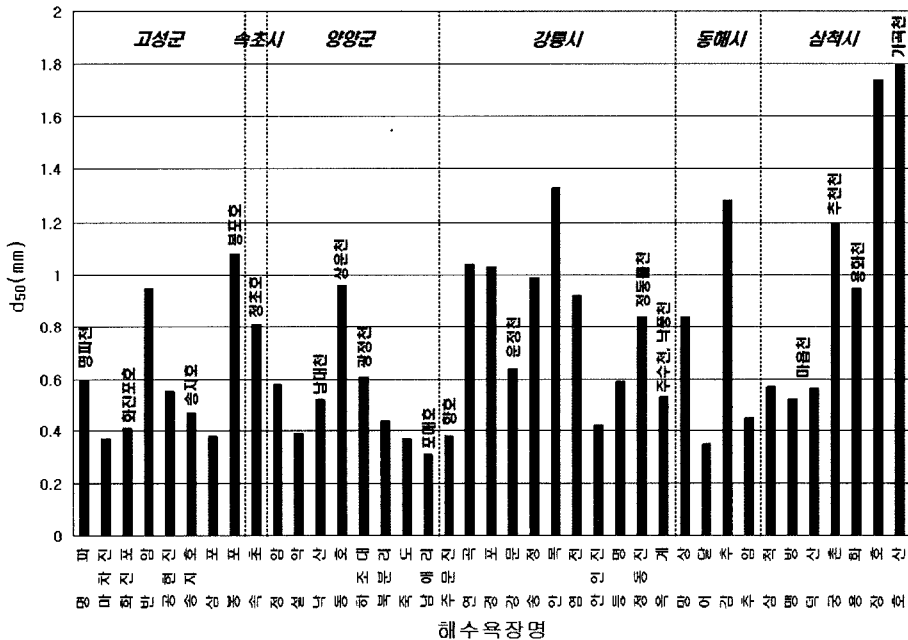


Fig. 6. Variation of sand sizes for 39 Gangwon beaches.

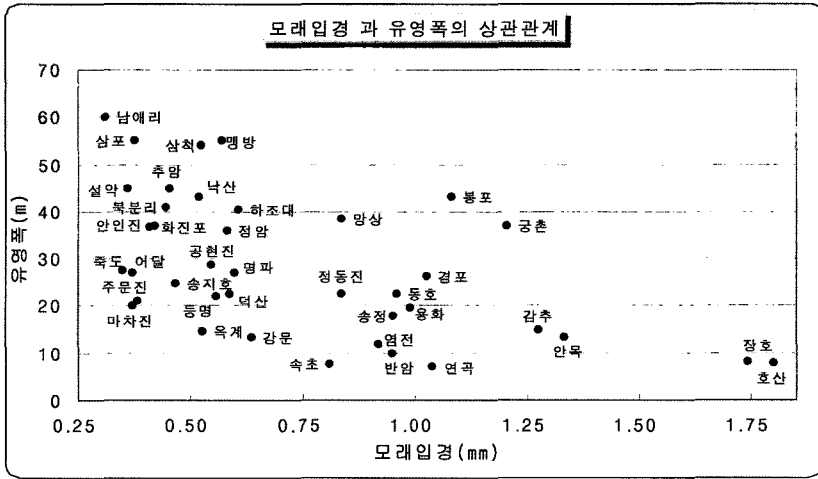


Fig. 7. Plot of swim zone width vs. grain size for 39 Gangwon beaches.

대한 구체적인 분석이 수행되고 있는 중이다.

Fig. 5(a)에서 도시된 바와 같이 1.3 m 수심에 달하는 유영 폭에 자연 log를 취한  $\ln W$ 와 포말대에서의  $\phi_{50}$ 의 관계가 선형적이라면 다음 관계가 성립한다.

$$\ln W = a\phi_{50} + b \quad (1)$$

식 (1)에 지수를 취하면 다음과 같이 중앙 입경  $d_{50}$ 와 단순한 관계로 정리된다.

$$W = b'd_{50}^{-a'} \quad (2)$$

여기서  $W$ 는 meter 단위이고  $d_{50}$ 는 mm 단위이며  $a' = a/\ln^2$  그리고  $b' = \exp(b)$  이다. 강원도 해수욕장의 경우에 Fig. 5(a)의 회귀 직선으로부터  $a=0.8$ ,  $b=2.70$ 이며 이에 따라  $a'=1.1542$ ,  $b'=14.88$ 을 구할 수 있다.

#### 4. 종단면 축척 계수 분석

##### 4.1 해변 종단면 모델

해빈 종단면이 쇄파대 전역에서 어떻게 달라지는지를 표현하는 다양한 방법들이 많은 학자들에 의하여 꾸준히 제시되었으며 주요 내용을 정리하면 Table 3과 같다. 좌표계는 Fig. 8과 같이 오른손 좌표계를 적용하여 해안선 방향인  $x$ 축은 관찰자가 바다를 봤을 때 오른쪽 방향이 양의 방향이다.  $y$ 축은 바다방향을 나타낸다. 대부분 모델은 선형과 이론에 근거하고 천해파라는 가정 아래 다음 결과가 적용된다.

$$\text{단위 표면적당 파랑 에너지: } E = \frac{1}{8}\rho g H^2$$

$$\text{에너지 플럭스: } F = EC_g$$

Table 3. Methods of estimating beach profiles

기본개념	제안자	기본식	종단면식	비고
단위체적당 균등한 파랑 에너지 손실	Bruun(1954) Dean(1977)	$\frac{dF}{hd} = D_*(d)$	$h(y) = A_1(d)y^{2/3}$	해안선에서 무한대 경사
단위면적당 균등한 파랑 에너지 손실	-	$\frac{dF}{dy} = D_*(d)$	$h(y) = A_2(d)y^{2/5}$	해안선에서 무한대 경사
균등한 바다 전단응력	-	$\tau_b = -\frac{dS_{yx}}{dy}$	$h(y) = A_3(d)y^{2/5}$	파의 굴절이 허용되는 해안에 적용
에너지 손실에 Dally 등(1985)의 접근법 이용	Larson(1988)	$D_*h = -K(F - F_s)$	$2\frac{h}{K} + \frac{5}{24}\rho g^{3/2}\left(\frac{\gamma^2 h^{3/2}}{D_*}\right) = y$	$y$ 가 $h$ 의 함수로 주어짐
바다방향의 일정 수심으로 수렴	Bodge(1992)	-	-	종단면식을 직접 제시

여기서  $D_*$ 는 에너지 손실,  $\tau_b$ 는 해저면 전단응력,  $S_{yx}$ 는  $y$ 방향으로 작용하는  $x$ 방향 운동량에 대한 잉여응력,  $F_s$ 는 안정 에너지 flux로서  $\gamma h$ ,  $\gamma$ 는 약 0.4의 값을 갖는 상수.

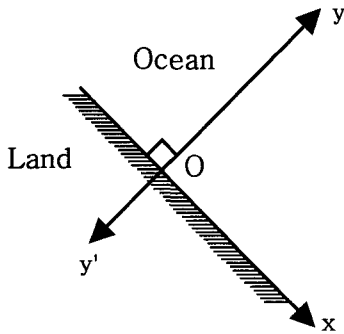


Fig. 8. Coordinate of definition sketch.

군속도 (천해):  $C_g = \sqrt{gh}$

쇄파대내 파고 (Miche의 경험식):  $H = \chi h$

여기서  $\rho$ 는 물의 밀도,  $g$ 는 중력 가속도,  $H$ 는 파고,  $h$ 는 수심,  $\chi$ 는 쇄파 계수로 0.5-1.3의 값을 갖는다.

Table 3에서 제시된 바와 같이 유도 과정에 따라  $y$ 에 2/3대신 2/5 승이 유도되기도 하나 오대호중 하나인 미시건호와 플로리다 등지의 해변 종단면에 대하여 적용하면 이 값은 0.52-0.82사이의 값을 지녀 2/3의 값에 더 가까운 경향을 보인다. 좀 더 구체적인 분석으로 Dean(1977)은 Florida Peninsula 근방의 Long Island의 동부 끝에서부터 Texas-Mexico 경계까지 미국에서 502개의 해안 종단면을 조사했다. 이 조사에서, 다음과 같이 일반화되는 각 종단면에 대해 최소 제곱(a least-squares fit)이 행해졌다.

$$h(y) = Ay^m \tag{3}$$

조사 결과 지수  $m$ 의 값은 0.52~0.82 사이의 값이며, 평균값은 0.66으로 밝혀졌고, 이는 단위체적당 균등한 파랑 에너지 손실이라는 가설 하에서 유도된 결과와 매우 잘 일치한다. 요약하면, 현장비교를 통해 2/3 지수 법칙 관계식( $h = Ay^{2/3}$ )이 평형 해안 종단면을 표현하는 대표 식임을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 종단면 식  $h = Ay^{2/3}$ 을 적용하여 축척 계수를 추정하며 대표 입경으로부터 추정할 수 있는 관계식을 유도한다.

### 4.2 종단면 축척 계수

#### 4.2.1 기존 연구

쇄파대(surf zone)에서 단위 체적당 일정 에너지가 감쇠한다는 가정 하에서 다음 식 (1)과 같이 평형 종단면식

이 유도되었다.

$$h(y) = A(d)y^{2/3} \tag{4}$$

여기서 종단면 축척 계수(profile scale factor)  $A$ 는 종단면의 축척인자이고 에너지 손실의 함수이다.  $A$ 는 다음과 같이 단위 체적당 에너지 감쇠율  $D_s$ 로 표현될 수 있다.

$$A(d) = \left( \frac{24D_s(d)}{5\gamma\sqrt{gk^2}} \right)^{2/3} \tag{5}$$

여기서  $\gamma$ 는 해수의 단위중량이며  $k$ 는 쇄파 계수로서 0.78 정도의 값을 갖는다. 만약 우리가 단위체적당 파에너지 손실이 토사입자의 크기를 지속적으로 증가시킬 수 있다고 간주한다면, 더 큰 크기의 토사가 더 급한 경사의 종단면을 가짐을 알려준다. 그런 이유로 식 (5)와 같이 해안의 입자 크기에 대한 함수로 표현하기도 한다. 이는 실제 관찰을 통해서도 알 수 있다.

Moore(1982)는 크기 매개변수  $A$ 와 포말대 전역에 걸쳐있는 토사의 유효 크기 사이의 상관관계를 정량화할 수 있는 토사 크기를 위해 수많은 종단면을 조사했다. 여러 실험 결과들과 토사크기의 넓은 분포를 나타내는 현장 종단면들을 모아서 정리했다. 개별 종단면 중 최대 토사크기는 직경 0.1 mm~30 cm로 분포되어 있다. Dean(1987)은 Moore의  $A$ 와  $d$ 의 상관관계를  $A$ 와  $\omega$ (침강 속도)의 상관관계로 단순히 변형시켰고, 이를 log-log plot 했을 때 놀랍게도 다음과 같은 단순 선형관계에 있음을 밝혀냈다.

$$A = 0.067\omega^{0.44} \tag{6}$$

여기서  $A$ 의 단위는  $m^{1/3}$ 이고,  $\omega$ 의 단위는 cm/s이다.

Moore의 분석에서는 특히 큰 자갈로 구성되어 유별나게 가파른 종단면과 조개껍질이 대부분이라 가벼운 모래질의 해변 종단면에 대해서도 잘 적용되었다. 이를테면, 토사 직경이 15~30 cm(대략 볼링공 크기)이고 매개변수  $A$ 가 0.82  $m^{1/3}$ 인 종단면, 즉 수심 10 m가 해안으로부터 단지 42 m 거리에 위치한 해변에 대해서도 정확하고 분석적으로 유효함을 보여준다. 깨지거나 또는 온전한 조개껍질로 이루어진 해안에 대해서도 적합한 평형 종단면을 보여주었다. Table 4에는 편의상 Dean 등(2001)이 0.01 mm의 간격으로 0.1~1.09 mm까지 제시된  $A$ 값에 대한 표를 제시하였다.

#### 4.2.2 강원권 해변 특성 분석

본 연구에서는 해변 종단면에 중요한 종단면 축척 계수를 구하고 모래 입경에 따른 변화를 살펴본다. 그리하



**Table 4.** Summary of recommended A values ( $m^{1/3}$ ) for diameters from 0.10 to 1.09 mm (From Dean *et al.*, 2001)

d(mm)	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.1	0.063	0.067	0.071	0.076	0.080	0.084	0.087	0.090	0.094	0.097
0.2	0.100	0.103	0.106	0.109	0.112	0.115	0.117	0.119	0.121	0.123
0.3	0.125	0.127	0.129	0.131	0.133	0.135	0.137	0.139	0.141	0.143
0.4	0.145	0.147	0.148	0.150	0.151	0.153	0.155	0.156	0.158	0.159
0.5	0.161	0.162	0.163	0.165	0.166	0.167	0.168	0.169	0.171	0.172
0.6	0.173	0.174	0.175	0.177	0.178	0.179	0.180	0.181	0.183	0.184
0.7	0.185	0.186	0.187	0.188	0.189	0.190	0.190	0.191	0.192	0.193
0.8	0.194	0.195	0.196	0.196	0.197	0.198	0.199	0.200	0.200	0.201
0.9	0.202	0.203	0.204	0.204	0.205	0.206	0.207	0.208	0.208	0.209
1.0	0.210	0.211	0.212	0.212	0.213	0.214	0.215	0.216	0.216	0.217

여 포말대(swash zone)에서의 모래의 평균 입경으로부터 유영 폭을 추산할 수 있도록 한다. 식 (1)과 (3)으로부터 종단면 축척 계수 A를 구하면 다음과 같이 단순한 형태의 결과를 얻는다.

$$A = 0.215d_{50}^{0.77} \quad (7)$$

여기서 A는  $m^{1/3}$  단위이고 입경은 mm 단위이다. 따라서 종단면의 경사를 지배하는 축척 계수는 평균입경의 0.77승에 의하여 결정된다고 볼 수 있다. 그러나 이결과 유영폭 한계에 해당되는수심 1.3 m의 한 점에서만 이루어진 결과로 강원권 해변 종단면의 대략적인 특성을 도출하였다는데 의의가 있지만 아직 신뢰성에는 의문이 있을 수 있다. 따라서 앞으로 추진될 해변 모니터링 사업을 통하여 해변 종단면 조사가 지속적으로 이루어져 좀 더 상세한 분석이 수행되면 식 (7)에서 얻는 결과보다 신뢰가 높은 결과가 도출될 수 있을 것이다.

Dean의 계산 표인 Table 4와 식 (7)의 결과가 Fig. 9에서 강원권 해수욕장 관측치와 함께 비교되었다. 유영폭이라는 한 점에 의한 자료군(data group)에 의하여 분석

된 결과이지만 Dean의 결과와 비교하여 만족할 만한 수준에 있다고 판단된다. 대체로 Dean의 계산결과가 식 (7)의 결과보다 다소 크게 추산되고 있다.

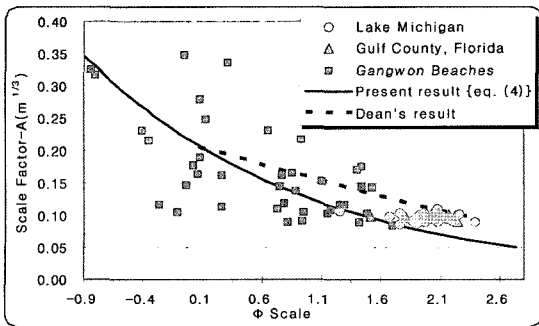
### 5. 결 론

강원도 해수욕장에서의 유영 폭, 포말대 모래 입경, 포말대 경사 등을 조사한 결과 그 중 유영폭과 포말대 중앙 입경 사이에 밀접한 관련이 있는 것을 확인하였으며 근사적으로 산출된 해변 종단면 축척 계수 A는 Dean의 표와 비교한 결과 대체로 작게 산정되었다. 해변 종단면 계수는 해변의 경사 특성을 대표하는 인자로서 추후 이에 따른 동해안에서의 지진 해일 범람 특성에도 상당한 영향을 미치리라 판단되므로 이에 대한 연구도 수행될 필요가 있다고 사료된다.

현재 해수욕장은 위치나 편의시설 정도만 소개되고 백사장의 질이나 해안 환경에 대한 정보는 거의 없어 다양한 해양 레크리에이션을 즐기려는 피서객에게 충분하고 넉넉한 정보를 제공하지 못하고 있다. 모든 해수욕장이 모든 이에게 개방된 공간이라는 고정 관념을 벗어나, 연령별, 취미별, 구성별, 동질성의 계층들 끼리 이용할 수 있는 테마 해수욕장의 개발이 필요하며 이에 걸맞는 다양한 해안 및 해양 정보의 산출을 위한 주기적인 모니터링 사업이 조속히 추진될 필요가 있다.

### 참고문헌

이봉희 (2005). 동해안 해수욕장의 차별화 방안. 강원발전연구원 연구보고 05-02.  
 해양수산부 (2005). 해수욕장 유형별 관리·평가 모델 개발 연구-중간보고서.



**Fig. 9.** Comparison of the present results with measured data.

- Bodge, K.R. (1992). Representing equilibrium beach profiles with an exponential expression. *J. Coastal Res.*, 8, 147-155.
- Bowen, A.J. (1980). Simple models of nearshore sedimentation; beach profiles and longshore bars. in *The Coastline of Canada*, S.B. McCann, ed., Geol. Survey of Canada, Paper 80-11, 1-11.
- Bruun, P. (1954). Coastal erosion and the development of beach profiles. U.S. Army Corps of Engineers, Beach Erosion Board, Tech. Memo. No. 44.
- Dean, R.G. (1977). Equilibrium beach profiles: U.S. Atlantic and Gulf Coasts. Dept. of Civil Engineering, Ocean Engineering Report No.12, University of Delaware, January.
- Dean, R.G. (1987). Coastal sediment processes: Toward engineering solutions. *Proc. Coastal Sediments*, ASCE, 1-24.
- Dean, R.G., Walton, T.L and Kriebel, D.L. (2001). Cross-shore sediment transport. in *Coastal Engineering Manual*, U.S. Army Coastal and Hydraulics Laboratory.
- Dean, R.G. and Dalrymple, R.A. (2002). *Coastal Processes with Engineering Applications*. Cambridge University Press.
- Hughes, S.A. and Chiu, T.Y. (1978). The variations in beach profiles when approximated by a theoretical curve. UFL/COEL/TR-039, Coastal and Oceanographic Engineering Department, Univ. of Florida, 136.
- Larson, M. (1988). Quantification of beach profile change. Rept. 1008, Water Resources Eng., Univ. of Lund.
- Moor, B.D. (1982). Beach profile evolution in response to changes in water level and wave height. MCE Thesis, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Delaware, 164.
- 

Received August 22, 2006

Accepted September 18, 2006