

국내 해양에너지 이론적 잠재량 산정 연구

황수진 · 조철희[†]

인하대학교 조선해양공학과

Resource Assessment of Theoretical Potential of Ocean Energy in Korea

SUJIN HWANG, CHULHEE JO[†]

Naval Architecture and Ocean Engineering, Inha University, 100 Inha-ro, Muchuhol-gu, Incheon 22212, Korea

[†]Corresponding author :
chjo@inha.ac.kr

Received 5 August, 2019
Revised 17 October, 2019
Accepted 31 October, 2019

Abstract >> This paper describes the resource assessment of theoretical potential of ocean energy including tidal current energy, tidal range energy, wave energy and ocean thermal energy in Korea to provide reliable basis for feasible development plan of ocean energy. Because of different characteristics of each ocean energy resources, the resource assessment methods were established considering characteristics of each ocean energy resources. The coastal region of Korea has been divided into 10 regions. The results show that tidal current energy is abundant in Incheon-Gyunggi and Jeollanam-do and tidal range energy is abundant in Incheon-Gyunggi. And wave energy is abundant in Jeollanam-do, Jeju and Gyeongsangbuk-do and there is ocean thermal energy in Gangwon-do and Gyeongsangbuk-do.

Key words : Ocean energy(해양에너지), Resource assessment(잠재량 산정), Theoretical energy(이론적 잠재량), Tidal energy(조석에너지), Wave energy(파력에너지), Ocean thermal energy(해수온도차에너지)

1. 서론

정부는 2015년 체결된 파리기후변화협약을 이행하기 위하여 2030년까지 전체 발전량의 20%를 재생에너지로 공급한다는 목표를 제시하였다. 이를 달성하기 위해서는 국내에 부존되어 있는 재생에너지를 평가하여 신뢰성 있는 잠재량 산정 결과를 도출하고 이를 바탕으로 국내 환경 및 여건을 고려하여 실현 가능한 개발 목표와 계획을 수립해야 한다.

우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸여 있어 해양에너지가 풍부하게 부존되어 있는 것으로 알려져 있다. 특히, 조석간만의 차가 크기 때문에 조석현상에 의한 조류에너지와 조력에너지가 풍부하다. 따라서 신뢰성 있는 잠재량 산정 연구 결과를 기반으로 현실적인 해양에너지 개발 계획을 수립하여 우리나라의 신재생에너지 개발 목표를 달성하는 데 기여할 수 있다.

Jo 등¹⁻²⁾은 풍력발전에서 잠재량 산정에 사용하는 average power intercepted (API)를 도입하여 관측자

료를 기반으로 조류에너지 잠재량을 산정하였으며, 관측자료의 낮은 공간 해상도를 보완하기 위하여 조류에너지가 풍부한 인천경기와 전라남도 연안의 해수유동 수치모의 자료를 사용하여 조류에너지 잠재량을 산정하였으나³⁾, 조사구역의 분류가 개략적으로 수행되며 행정구역의 분류가 부정확한 해석이 있다. Kim 등⁴⁾은 hindcast 자료를 바탕으로 한반도의 파력 에너지 밀도 분포를 도출하였으나 잠재량을 제시하지 못한 한계가 있다. Kim 등⁵⁾은 부분적으로 국내 해양에너지 분포를 나타냈다.

이러한 선행 연구들의 한계점으로 인하여 우리나라의 해역에 부존되어 있는 잠재량을 제시하지 못하여 실현 가능한 해양에너지 개발 계획 수립의 근거로 활용하는 데 어려움이 있었다. 따라서 해양에너지 개발 계획 수립을 위하여 국내 전체 해역에 대한 체계적이고 신뢰성 있는 해양에너지 잠재량 산정 연구가 요구된다.

재생에너지의 잠재량은 크게 이론적 잠재량, 기술적 잠재량, 시장 잠재량으로 구분할 수 있다⁶⁾. 이론적 잠재량은 현재의 과학적 지식 하에서 어떠한 제약도 존재하지 않을 때 이론적으로 활용 가능한 에너지의 양이며, 기술적 잠재량은 이론적 잠재량 중 지리적 영향요인과 기술적 영향요인을 반영할 때 활용 가능한 에너지의 양이다. 여기에서 지리적 영향요인은 급경사나 심해 등 현재의 기술수준 하에서 극복이 불가능한 지리적인 제약요인이며, 기술적 영향요인은 설비효율, 설비용률 등 현재의 기술수준으로 인해 신재생에너지 활용에 영향을 미치는 요인이다. 시장 잠재량은 기술적 잠재량 중 경제적 영향요인과 정책적(지원, 규제) 영향요인을 적용할 때 실질적으로 활용 가능한 에너지의 양이다.

본 연구에서는 해양에너지 중 조류에너지, 조력에너지, 파력에너지, 해수온도차에너지의 이론적 잠재량 산정 방법을 정립하고 이를 바탕으로 국내 해양에너지 잠재량을 산정하였다. 이를 위하여 각 에너지원의 특성을 고려하여 이론적 잠재량 산정 방안을 제시하였으며, 잠재량 산정에 필요한 자료를 수집하였다. 행정구역을 기준으로 10개 권역으로 구분하여

각 권역의 해양에너지원별 이론적 잠재량을 산정하였다.

2. 이론적 잠재량 산정 방법

2.1 조사구역

연안국은 exclusive economic zone (EEZ)에서 해수·해류·바람을 이용한 에너지 생산 등의 경제적 탐사와 개발을 위한 주권적인 권리를 갖는다. 그러나 EEZ는 육상으로부터 거리가 멀기 때문에 해양에너지 개발에 막대한 비용이 소요되기 때문에 현실적으로 개발이 어렵다. 따라서 본 연구에서는 해양에너지 이론적 잠재량이 현실적으로 개발 가능한 자원에 비하여 과다하게 산정되지 않도록 조사구역을 기선으로부터 12해리까지인 영해로 제한하였다⁶⁾.

행정구역을 기준으로 Fig. 1과 같이 영해를 총 10개의 권역으로 구분하였으며, 해양영역을 1 km의 격자로 분할하여 표준격자계를 구성하였다. 격자 내에 해양영역과 육상영역이 모두 포함되어 있는 경우에는 해당 격자에서 해양영역이 차지하는 비율을 고려하여 잠재량을 산정하였다.

이를 통해 선행연구에서보다 조사구역의 행정구역별 분류와 해양면적 산정을 정확하게 수행하였으

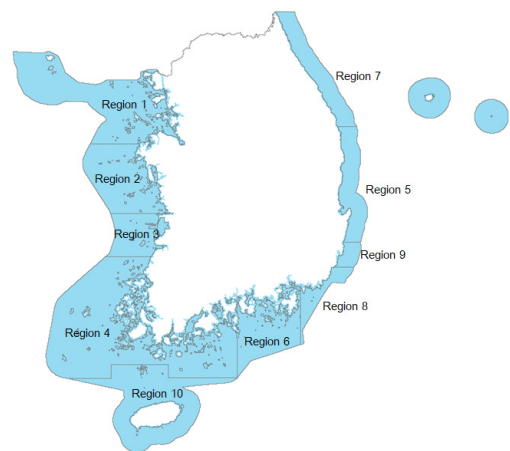


Fig. 1. Division of the coastal areas of Korea

며, 각 권역별 해양면적은 Table 1과 같다. 우리나라의 총 영해는 92,065 km²으로 산정되었으며, 전라남도의 해양면적이 28,266 km²으로 가장 넓었다.

2.2 에너지 밀도 산정식

2.2.1 조류에너지

조류발전은 조류의 운동에너지를 터빈의 회전에너지로 변환하여 발전하는 방식이므로 조류에너지는 조류의 운동에너지로 정의하였다. 조류에너지의 일률밀도는 식 (1)과 같이 조류의 유속으로부터 산정하며, 단위면적에 흐르는 에너지 플럭스를 유속만의 함수로 나타내기 때문에 조류의 운동에너지 분포를 나타내기 위하여 널리 사용되는 개념이다.

$$PD = \frac{1}{2} \rho V^3 \quad [W/m^2] \quad (1)$$

여기서 PD는 조류에너지의 일률밀도이며, ρ는 해수의 밀도이고, V는 조류의 유속이다.

일률밀도는 수직단면에서의 운동에너지 플럭스 밀도이므로 특정 해역의 잠재량을 산정하기 위해서는 일률밀도를 수평단면에서의 에너지 밀도로 변환해야 한다. 이를 위해 조류발전과 발전원리가 동일한 풍력발전에서 잠재량 산정을 위하여 사용하는 API

를 도입하였다. API는 식 (2)와 같이 일률밀도에 터빈면적(A_{swept})을 곱하고 단일 발전장치의 점유면적($A_{occupied}$)으로 나누어 산정한다.

$$API = PD \times \frac{A_{swept}}{A_{occupied}} \quad [W/m^2] \quad (2)$$

여기서 점유면적은 발전기의 최적배치에서 단일 발전기가 차지하는 면적이며, 선행 연구 결과를 바탕으로 식 (3)과 같이 가정하였다⁷⁻⁸⁾.

$$A_{occupied} = 1.5D \times 10D \quad [m^2] \quad (3)$$

여기서 D는 터빈의 직경이다.

터빈 면적과 점유면적 모두 터빈 직경의 제곱에 비례하므로 API는 식 (4)와 같이 유속만의 함수로 나타낼 수 있으며, 이를 조류에너지의 에너지밀도 산정식으로 정의하였다.

$$API = \frac{1}{2} \rho V^3 \times \frac{\pi}{60} \quad [MW/km^2] \quad (4)$$

2.2.2 조력에너지

조력발전은 조석현상으로 인하여 형성되는 조수간만의 차를 이용하여 전기를 생산하는 발전 방식이다. 본 연구에서는 조력발전을 댐을 세워 조지를 형성하고 내해와 외해의 낙차를 이용하여 터빈을 돌려 전기를 생산하는 전통적인 방식으로 한정하였다. 따라서 조석현상으로 인하여 발생하는 해수의 위치에너지(E_p)는 식 (5)와 같다.

$$E_p = \rho g A h \times \frac{1}{2} h \quad [J] \quad (5)$$

여기서 A는 조지의 면적이고, h는 조석간만의 차이다.

우리나라는 하루에 두 번 만조와 간조가 발생하는 반일주조를 보이므로 위치에너지를 반일주조 주기(T_{semi})로 나누어서 식 (6)과 같이 조력에너지의 일률밀도를 정의하였다.

Table 1. Sea area of each region

Region	Administrative district	Area (km ²)
Region 1	Incheon-Gyeonggi	15,008.4
Region 2	Chungcheongnam-do	8,810.6
Region 3	Jeollabuk-do	4,343.5
Region 4	Jeollanam-do	28,266.0
Region 5	Gyeongsangbuk-do	9,109.6
Region 6	Gyeongsangnam-do	7,415.0
Region 7	Gangwon-do	4,716.6
Region 8	Busan	2,170.7
Region 9	Ulsan	1,004.0
Region 10	Jeju	11,220.4
Total		92,064.8

$$P = \frac{E_p}{T_{semi} A} \quad [\text{MW/km}^2] \quad (6)$$

$$= \frac{1}{2} \rho g h^2 / 44700$$

2.2.3 파력에너지

파력발전은 파의 위치에너지 및 운동에너지를 이용하여 전기를 생산하는 발전방식으로 표준화된 발전방식이 정립되지 않아 가동물체형, 진동수주형, 월파형, 수압면형 등 다양한 발전장치가 개발되고 있다. Cornett⁹⁾에 따르면 파에너지플럭스는 유의파고와 에너지주기로부터 식 (7)과 같이 산정한다.

$$P = \frac{\rho g^2}{64\pi} T_e H_s^2 \quad [\text{kW/m}] \quad (7)$$

여기서 T_e 는 에너지주기이고, H_s 는 유의파고이다.

파에너지플럭스는 단위 폭 당 파력으로 정의되므로 특정 해역의 잠재량을 산정하기 위해서는 조류에너지와 마찬가지로 최적배치를 바탕으로 파에너지플럭스를 API로 변환해야 한다. 조류발전과 달리 파력발전의 일률밀도는 1차원이므로 2차원인 API로 변환하는 과정에서 길이로 무차원화되지 않기 때문에 발전장치의 특성인 대표길이가 API 산정에 영향을 미친다.

파력발전은 표준화된 발전방식이 정립되지 않아 다양한 원리의 발전장치가 개발되고 테스트되고 있기 때문에 파력에너지 잠재량은 기준 발전장치에 따라 달라진다. 이론적 잠재량 산정 결과가 발전장치의 대표길이에 따라 달라지는 문제는 발전장치의 대표길이에 따른 간섭 현상이 최적 배치에 미치는 영향에 관한 연구를 통하여 상관관계가 규명되면 해결될 것으로 전망된다.

따라서 본 연구에서는 선박해양플랜트연구소에서 개발한 300 kW급 부유식 진자형 파력발전장치를 기준으로 파력에너지를 산정하였다. 이 장치의 대표길이(L)는 25 m이며, 해당기관에서 제시한 최적배치를

기준으로 점유면적을 식 (8)과 같이 산정하였다. 따라서 파력에너지의 API는 식 (9)와 같다.

$$A_{occupied} = 7L \times 15L \quad [\text{m}^2] \quad (8)$$

$$API = P \times \frac{1000}{7 \times 15 \times 25} \quad [\text{MW/km}^2] \quad (9)$$

2.2.4 해수온도차에너지

해수온도차발전은 표층수와 심층수의 온도차를 이용하여 끓는점이 낮은 작동유체를 기화 및 응축시키면서 터빈을 돌려 전기를 생산하는 발전방식이다. Nihous^{10,11)}와 Rajagopalan and Nihous¹²⁾에 따르면 해수온도차발전 시스템은 이상화된 랭킨사이클로 나타낼 수 있다.

표층수의 온도가 T이고 표층수와 심층수의 온도차가 ΔT 인 경우 단위면적당 해수온도차발전에서 생산되는 발전량은 식 (10)과 같이 기화기에서 표층수로부터 흡수한 열하 중에 이상화된 랭킨사이클의 최대 열효율 및 터빈발전기 효율을 곱하여 산정한다. 따라서 기화기에서 표층수로부터 흡수한 열하중은 식 (11)과 같이 산정하며, 이를 해수온도차발전의 에너지밀도 산정식으로 정의하였다.

$$P_g = w_{cw} \frac{3\rho c_p \epsilon_{tg} \gamma}{16(1+\gamma)} \frac{(\Delta T)^2}{T} \quad [\text{MW/km}^2] \quad (10)$$

$$Q_{ww} = \frac{3\Delta T}{8(1+\gamma)} \gamma w_{cw} \rho c_p \quad [\text{MW/km}^2] \quad (11)$$

여기서 P_g 는 해수온도차발전의 발전량, w_{cw} 는 단위면적 당 심층수의 취수량, c_p 는 해수의 비열, γ 는 표층수와 심층수의 유량비, Q_{ww} 는 기화기에서 표층수로부터 흡수한 열하중이다.

2.3 잠재량 산정식

해양에너지의 잠재량은 설비용량(IGC)과 연간발전환산량(AEP)으로 평가하였다. 설비용량은 해당 해역에 부존하고 있는 에너지 잠재량을 출력으로 나

타낸 것으로 식 (12)와 같이 에너지밀도와 면적의 곱으로 산정하며, 연간발전환산량은 설비용량의 연간 에너지 총량을 연간발전량으로 나타낸 것으로 식 (13)과 같이 산정한다.

$$IGC = \frac{API \times A}{10^3} \quad [GW] \quad (12)$$

$$AEP = \frac{IGC \times 365 \times 24}{10^3} \quad [TWh/y] \quad (13)$$

2.4 자료수집

2.4.1 조류에너지

조류에너지의 에너지밀도는 조류의 유속을 기반으로 산정한다. 조류의 유속은 조석현상에 따라 사인파의 형태로 변하기 때문에 일반적으로 사용하는 대표값인 최고 유속을 기준자료로 사용하면 잠재량이 과대평가된다. 또한 가용한 관측자료 중 표층유속만 제공되는 자료가 많으므로 표층평균유속을 산정하여 조류에너지 잠재량의 기준자료로 사용하였다.

국립해양조사원에서 제공하는 1일 관측자료 1,516개 및 30일 관측자료 457개를 확보하여 총 1,973개의 조류 관측자료를 수집하였다. 관측자료는 신뢰성이 높지만 공간해상도가 낮기 때문에 해안선이 복잡하고 섬이 많아 지형이 복잡한 지역의 세부유속분포를 나타내지 못한다. 따라서 조류에너지 잠재량이 많고 지형이 복잡한 인천경기와 전라남도에 대하여 해수유동 수치모의를 수행하여 세부유속 자료를 확보하였다. 관측자료와 해수유동 수치모의 자료를 병합하여 기준자료로 사용하였다.

해수유동 수치모의는 미국 버지니아 해양연구소에서 개발하고 미국 환경청에서 인가한 environmental fluid dynamic code (EFDC)를 사용하여 수행하였다. 해석 자료의 검증을 위하여 인천경기 및 전라남도에서 각각 2개의 정점의 조석 관측자료와 비교하였으며, 각각 5개의 정점의 조류 관측자료와 평균유속을 비교하였다.

그 결과 조석의 경우 Table 2와 같이 진폭의 최대

오차는 9.6%이고, 지각의 최대 오차는 6.8%로 산정되었으며, 조류의 경우 총 10개의 정점에서 최대 오차는 12.8%로 산정되었으며, 평균 오차는 1.5%로 산정되었다.

2.4.2 조력에너지

조력에너지의 에너지밀도는 조수간만의 차를 기반으로 산정된다. 조류에너지와 마찬가지로 조석간만의 차도 조석현상에 따라 사인파의 형태로 변하기 때문에 대조차를 대표값으로 사용하게 되면 잠재량이 과대평가된다. 따라서 평균조차를 조력에너지 잠재량의 기준자료로 사용하였다.

국립해양조사원에서 제공하는 기본수준점 414개소에서 측정한 4대분조 자료를 수집하였으며, 주태음반일주조(M₂)의 조차의 두 배인 2H_m으로 평균조차를 산정하여 기준자료로 사용하였다.

2.4.3 파력에너지

파력에너지의 에너지밀도는 유의파고와 에너지주

Table 2. Tidal current energy potential in Korea

Location	Component	Amplitude (m)		Phase lag (°)	
		Observed	Simulated	Observed	Simulated
Incheon	M ₂	286.0	277.2	139.0	144.6
	S ₂	110.1	105.8	197.1	201.7
	K ₁	38.2	38.8	306.0	309.6
	O ₁	28.2	26.5	266.1	272.0
Daebudo	M ₂	282.7	287.4	127.4	130.8
	S ₂	117.4	115.0	173.0	176.9
	K ₁	40.5	41.3	291.9	294.5
Seogeo cha-do	O ₁	27.2	24.6	265.0	269.1
	M ₂	105.8	103.1	340.1	337.0
	S ₂	38.5	37.2	11.1	8.9
	K ₁	28.0	28.9	222.3	226.4
Port of Mokpo	O ₁	21.1	21.7	204.7	209.2
	M ₂	137.2	135.1	52.6	56.2
	S ₂	45.2	43.8	104.5	106.1
	K ₁	31.6	32.2	261.2	263.4
	O ₁	24.4	25.1	225.1	229.2

기로부터 산정한다. 일반적으로 파랑자료에서 주기를 침두주기나 평균주기로 제공되므로 파에너지플럭스를 산정하기 위해서는 이를 에너지주기로 변환해야 한다. Cornett⁹⁾에 따르면 Pierson-Moskowitz 스펙트럼에서 침두주기는 식 (14)와 같이 에너지 주기로 변환할 수 있으며, Goda¹³⁾에 따르면 식 (15)와 같이 평균주기로부터 유의파주기를 산정하고 이를 에너지 주기로 사용할 수 있다.

$$T_c = 0.86 T_p \quad [s] \quad (14)$$

$$T_c \approx T_{1/3} = 1.2 T_z \quad [s] \quad (15)$$

여기서 T_p 는 침두주기이고, $T_{1/3}$ 는 유의파주기이며, T_z 는 평균주기이다.

선박해양플랜트연구소에서 국내 파랑에너지밀도 지도 구축을 위하여 수행한 1979년부터 2003년까지의 우리나라 주변 해역의 심해 설계파 추산 자료를 수집하였다. 해당 자료는 연평균 유의파고와 평균주기로 구성되어 있으므로, 평균주기로부터 유의파주기를 산정하여 에너지주기로 사용하였다.

2.4.4 해수온도차에너지

해수온도차에너지의 에너지밀도는 표층수와 심층수의 온도차를 기반으로 산정한다. 심층수의 수심 기준은 해양심층수법에 따라 200 m로 정의하였다. 심층수의 수온은 일정하게 유지되며, 표층수의 일일 수온 변화는 1°C 내외이고 월별 수온변화는 완만하게 증가하거나 감소하기 때문에 월평균 표층수 및 심층수의 수온자료를 기준자료로 사용하였다.

국립수산과학원 한국해양자료센터에서 제공하는 ATLAS 자료에서 수심별 수온자료를 확보하였으며, 이 중 수심이 200 m 이상으로 심층수가 확보되는 동해안의 월평균 표층수 및 심층수의 수온자료를 추출하여 평균 426개 지점에서의 기준자료를 확보하였다.

3. 이론적 잠재량 산정 결과

3.1 조류에너지

국내 조류에너지 잠재량은 Table 3과 같이 산정되었다. 우리나라에 부존되어 있는 조류에너지의 에너지밀도는 평균 4.7 MW/km²으로 산정되었으며, 이론적 잠재량은 총 430 GW이고, 연간발전환산량은 총 3,766 TWh/y이다. 지역별로는 조사구역이 가장 넓은 전라남도의 조류에너지 잠재량이 가장 많았으며, 인천경기의 잠재량은 전라남도의 약 90%이다. 그러나 에너지밀도는 인천경기가 11.2 MW/km²으로 전라남도의 약 1.7배로 산정되었다.

인천경기는 조수간만의 차가 최대 약 10 m로 조석현상에 의하여 막대한 양의 해수가 드나들면서 강한 조류를 형성하기 때문에 잠재량이 높았으며, 전라남도는 조수간만의 차가 인천경기의 절반 수준이지만, 섬과 섬 사이에서 유속이 증폭되는 지역이 많아 조수간만의 차에 비하여 잠재량이 높게 산정되었다. 반면에 수심이 깊고 조류의 유속이 느린 동해의 경상북도, 강원도, 울산은 잠재량이 매우 작아 조사구역에서 제외하였다.

3.2 조력에너지

국내 조력에너지 잠재량은 Table 4와 같이 산정되

Table 3. Tidal current energy potential in Korea

Region	Area (km ²)	API (MW/km ²)	IGC (GW)	AEP (TWh/y)
Incheon-Gyeonggi	15,008.4	11.2	167.5	1,467.6
Chungcheongnam-do	8,810.6	3.5	31.3	273.9
Jeollabuk-do	4,343.5	3.0	12.9	112.7
Jeollanam-do	28,266.0	6.6	185.4	1,624.0
Gyeongsangnam-do	7,415.0	0.8	5.8	51.1
Busan	2,170.7	1.3	2.8	24.5
Jeju	11,220.4	2.2	24.2	212.1
Total	77,234.6	4.7	429.9	3,765.9

었다. 본 연구에서 조력발전은 댐으로 조지를 형성하여 발전하는 방식으로 한정하였으므로 해안선을 따라 가상의 댐을 세워 형성된 조지를 조사구역으로 사용하였다.

우리나라에 부존되어 있는 조력에너지의 에너지 밀도는 평균 1.5 MW/km²으로 산정되었으며, 이론적 잠재량은 총 13 GW이고, 연간발전환산량은 총 112 TWh/y이다. 지역별로는 조석간만의 차가 가장 큰 인천광역시에서 에너지밀도와 잠재량 모두 가장 높았다.

Table 4. Tidal range energy potential in Korea

Region	Area (km ²)	PD (MW/km ²)	IGC (GW)	AEP (TWh/y)
Incheon-Gyeonggi	1974.3	3.3	6.6	57.5
Chungcheongnam-do	803.4	2.3	1.8	16.1
Jeollabuk-do	587.9	2.0	1.1	10.1
Jeollanam-do	3767.9	0.7	2.8	24.5
Gyeongsangnam-do	1424.1	0.3	0.4	3.2
Busan	173.3	0.1	0.02	0.2
Total	8731.0	1.5	12.7	111.5

Table 5. Wave energy potential in Korea

Region	Area (km ²)	API (MW/km ²)	IGC (GW)	AEP (TWh/y)
Incheon-Gyeonggi	15,008.4	0.8	12.6	110.5
Chungcheongnam-do	8,810.6	1.1	9.4	82.2
Jeollabuk-do	4,343.5	1.0	4.4	38.9
Jeollanam-do	28,266.0	1.6	44.6	390.7
Gyeongsangbuk-do	9,109.6	2.4	21.8	190.7
Gyeongsangnam-do	7,415.0	0.9	6.9	60.6
Gangwon-do	4,716.6	0.9	4.4	38.3
Busan	2,170.7	1.1	2.3	20.5
Ulsan	1,004.0	1.3	1.4	11.9
Jeju	11,220.4	1.9	20.9	183.5
Total	92,064.8	1.4	128.7	1,127.7

3.3 파력에너지

국내 파력에너지 잠재량은 Table 5와 같이 산정되었다. 우리나라에 부존되어 있는 파력에너지의 에너지 밀도는 평균 1.4 MW/km²으로 산정되었으며, 이론적 잠재량은 총 129 GW이고, 연간발전환산량은 총 1,128 TWh/y이다. 지역별로는 조사구역이 가장 넓은 전라남도의 잠재량이 가장 많았으며, 경상북도와 제주도의 잠재량은 전라남도의 절반 수준이지만, 해양면적을 고려하면 에너지밀도는 경상북도가 2.4 MW/km²이고 제주도는 1.9 MW/km²으로 전라남도보다 높게 산정되었다.

3.4 해수온도차에너지

국내 해수온도차에너지는 Table 6과 같이 산정되었다. 우리나라에 부존되어 있는 해수온도차에너지의 에너지밀도는 7.8 MW/km²으로 산정되었으며, 이론적 잠재량은 총 64 GW이고, 연간발전환산량은 총 557 TWh/y이다. 수심이 200 m 이상으로 심층수가 확보되는 경상북도와 강원도에만 해수온도차에너지가 부존되어 있어 나머지 지역은 조사구역에서 제외하였다.

4. 결론

본 연구에서는 국내 해양에너지의 이론적 잠재량을 산정하였다. 이를 위하여 각 해양에너지원에 적합한 잠재량 산정 방안을 정립하고 기준자료를 수집하

Table 6. Ocean thermal energy potential in Korea

Region	Area (km ²)	PD (MW/km ²)	IGC (GW)	AEP (TWh/y)
Gyeongsangbuk-do	5,427.0	7.7	41.8	366.1
Gangwon-do	2,743.0	7.9	21.7	190.5
Total	8,170.0	7.8	63.5	556.6

여 행정구역 별 조류에너지, 조력에너지, 파력에너지, 해수온도차에너지의 이론적 잠재량을 도출하였다.

국내의 조류에너지 잠재량은 총 430 GW로 산정되었으며, 이 중 82%의 잠재량이 인천경기와 전라남도에 집중되어 있다. 국내의 조력에너지 잠재량은 총 13 GW로 산정되었으며, 이 중 50%의 잠재량이 조수간만의 차가 가장 큰 인천경기에 부존되어 있다. 국내에 파력에너지 잠재량은 총 129 GW로 산정되었으며, 전라남도에 가장 많은 잠재량이 부존되어 있고, 에너지밀도는 경상북도와 제주가 높았다. 해수온도차에너지의 경우 국내 이론적 잠재량은 64 GW로 산정되었다.

본 연구에서 산정된 해양에너지의 이론적 잠재량은 우리나라에 부존되어 있는 이론적으로 이용 가능한 에너지의 총량이다. 따라서 지리적, 기술적, 경제적, 정책적 요인이 고려되지 않는다는 한계점이 있으나, 동일한 체계를 바탕으로 우리나라에 부존되어 있는 각 해양에너지 자원을 산정하고 권역별 분포를 도출하였으므로 향후 기술적 잠재량 및 시장 잠재량을 산정하기 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20163030071850).

References

1. C. H. Jo, K. H. Lee, and S. J. Hwang, "Tidal current energy resource assessment technique and procedure applied in western coastal region, South Korea", Taylor & Francis Group UK, 2015, pp. 153-159, doi: <http://dx.doi.org/10.17265/1934-8975/2015.04.005>.
2. C. H. Jo, K. H. Lee, B. K. Cho, and S. J. Hwang, "Resource assessment of tidal current energy using API in Korea", Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 36, No. 1, 2016, pp. 75-81, doi: <https://doi.org/10.7836/kses.2016.36.1.075>.
3. C. H. Jo, K. H. Lee, B. K. Cho, and S. J. Hwang, "Tidal current resource assessment using a numerical simulation of water circulation in Korea", New & Renewable Energy, Vol. 12, No. S2, 2016, pp. 71-76. Retrieved from <https://doi.org/10.7849/ksnre.2016.10.12.s2.71>.
4. G. Kim, W. M. Jeong, K. S. Lee, K. Jun, and M. E. Lee, "Offshore and nearshore wave energy assessment around the Korean Peninsula", Energy, Vol. 36, No. 3, 2011, pp. 1460-1469, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.01.023>.
5. G. W. Kim, M. E. Lee, K. S. Lee, J. S. Park, W. M. Jeong, S. K. Kang, J. G. Soh, and H. N. Kim, "An overview of ocean renewable energy resources in Korea", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 16, No. 4, 2012, pp. 2278-2288, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.040>.
6. MOTIE, "2018 New & Renewable Energy White Paper", 2018. Retrieved from <https://www.data.go.kr/dataset/15017224/fileData.do>.
7. L. E. Myers, B. Keogh, and A. S. Bahaj, "Layout Optimisation of 1st-Generation Tidal Energy Arrays", Proc. of 9th European Wave and Tidal Energy Conference, 2011. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/264156614_Layout_Optimisation_of_1st-generation_tidal_energy_arrays.
8. P. Mycek, B. Gaurier, G. Germain, G. Pinon, and E. Rivoalen, "Experimental study of the turbulence intensity effects on marine current turbines behaviour. Part I: One single turbine", Renewable Energy, Vol. 66, 2014, pp. 729-746, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.12.036>.
9. A. M. Cornett, "A global wave energy resource assessment", In The Eighteenth International Offshore and Polar Engineering Conference, 2008, pp. 318-326. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/259623644_A_Global_Wave_Energy_Resource_Assessment.
10. G. C. Nihous, "An order-of-magnitude estimate of ocean thermal energy conversion resources", Journal of Energy Resources Technology, Vol. 127, No. 4, 2005, pp. 328-333, doi: <https://doi.org/10.1115/1.1949624>.
11. G. C. Nihous, "A preliminary assessment of ocean thermal energy conversion resources", J. Energy Resour. Technol., Vol. 129, No. 1, 2007, pp. 10-17, doi: <https://doi.org/10.1115/1.2424965>.
12. K. Rajagopalan, and G. C. Nihous, "Estimates of global Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) resources using an ocean general circulation model", Renewable Energy, Vol. 50, 2013, pp. 532-540, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.07.014>.
13. Y. Gōda, "Random seas and design of maritime structures, Advanced Series on Ocean Engineering", World scientific, Singapore, 2010, doi: <https://doi.org/10.1142/7425>.