

2021

통일평화기반구축사업
결과 보고서

북한 해양 신재생 에너지의 개발전략 제안

서울대학교 공과대학 건설환경공학부
해안공학연구실



제 출 문

서울대학교 통일평화연구원장 귀하

본 보고서를 “2021 통일·평화기반구축사업”의 결과
보고서로 제출합니다.

2022년 1월

참여 연구진

서울대학교 건설환경공학부	연구책임자	박 용 성
---------------	-------	-------

창원대학교 토목환경화공융합공학부	공동연구자	오 상 호
-------------------	-------	-------

서울대학교 건설환경공학부	연구원	김 정 인
---------------	-----	-------

〈제 목 차 례〉

1. 서론	1
가. 연구 배경 및 필요성	1
나. 연구 목적	2
2. 북한에의 신재생 에너지 공급의 필요성	3
가. 북한의 에너지 수급 동향	3
1) 북한의 일차에너지 수급 동향	3
2) 북한의 전력산업 및 발전 설비 동향	6
나. 북한 산업 입지에 따른 신재생 에너지 전망	13
1) 북한의 국토 및 산업 개발 계획	13
2) 신재생 에너지 도입의 중요성 및 기대효과	17
3. 해양 신재생 에너지 기술 현황 및 연구 현안	20
가. 국내외 해양 신재생 에너지 기술 현황	20
1) 해양 신재생 에너지 개요	20
2) 해상풍력발전	21
3) 조력발전	24
4. 북한과의 해양 신재생 에너지 협력 기대효과	28
가. 북한에의 해양 신재생 에너지 도입 시 이점	28
1) 남한 측 이점	28
2) 북한 측 이점	31
5. 결론	35
가. 북한 해양 신재생 에너지 개발을 위한 연구 현안 및 정책 방향 제시	35
6. 주요 사업 성과	36
가. 주요 행사 및 발간물	36
1) 「북한의 국토개발과 에너지 수급 동향」 세미나	36
2) 「한반도 해양 신재생 에너지 현황과 전망」 심포지엄	37
3) 「통일 한반도 대비 북한 해양 신재생 에너지 개발전략」 단행본 (발간 예정)	37
7. 기대효과 및 향후 사업 수행 계획	38
가. 기대효과	38
나. 향후 사업 수행 계획	38
[참고문헌]	39

〈표 차례〉

[표 2-1] 북한의 자원별 일차에너지 수급량 변화 (신정수, 2021)	3
[표 2-2] 북한의 발전용량 변화 (신정수, 2021)	6
[표 2-3] 북한의 발전량 변화 (신정수, 2021)	6
[표 2-4] 북한 전력산업의 구조 변화 (신정수, 2021)	7
[표 2-5] 북한의 화력발전 설비 노후도에 따른 분류	10
[표 2-6] 북한의 수력발전 설비 노후도에 따른 분류 (신정수, 2021)	12
[표 2-7] 김정은 시대 경제발전전략 기본 부문 (김민아, 2021)	15
[표 3-1] 국내 신재생 에너지 생산량 현황 (통계청, 2021)	20
[표 3-2] 세계 조력발전소 현황	25
[표 3-3] 우리나라 조력발전 개발 가능량 (이광수 & 박진순, 2012)	26

〈그림 차례〉

[그림 2-1] 북한의 일차에너지 수급량 총계 변화 (신정수, 2021)	4
[그림 2-2] 자원별 일차에너지 공급 감소 원인 비중 (신정수, 2021)	4
[그림 2-3] 일차에너지 구성비 변화 (신정수, 2021)	5
[그림 2-4] 1990년과 2019년의 자원별 일차에너지 비중 비교 (신정수, 2021)	5
[그림 2-5] 북한의 에너지 발전 설비 배치도 (신정수, 2021)	8
[그림 2-6] 북한의 수력, 화력 에너지 발전용량 비교 (전력통계: 북한전력지표: 발전설비용량, 2020)	9
[그림 2-7] 북한의 화력발전소 배치도 (신정수, 2021)	9
[그림 2-8] 화력설비 도입 시점에 따른 연도별 추가 발전용량 시계열 자료 (신정수, 2021)	10
[그림 2-9] 북한의 수력발전소 배치도 (신정수, 2021)	11
[그림 2-10] 수력설비 도입 시점에 따른 연도별 추가 발전용량 시계열 자료 (신정수, 2021)	12
[그림 2-11] 북한 국토 개요 변화 (좌: 이상준, 2008, 중앙·우: 김민아, 2021)	13
[그림 2-12] 북한의 산업구조 변화 (한국은행, 2021)	14
[그림 2-13] 북한의 인구 밀도 분포 (국토교통부 국토지리정보원, 2020)	16
[그림 2-14] 서해평화협력특별지대 (최성원, 2018)	17
[그림 2-15] 북한 정부가 제출한 2021 VNR report (The Government of the Democratic People's Republic of Korea, 2021)	19
[그림 3-1] 전 세계 해상풍력 누적 설치량('09-`19) (REN21, 2020)	21
[그림 3-2] 국가별 해상풍력 설치량 ('19) (GWEC, 2020)	21
[그림 3-3] 전 세계 풍력·태양광·배터리 저장 LCOE 변화 추이 (BNEF, 2020)	22
[그림 3-4] 국내외 육상·해상풍력 LCOE 비교 (해외: BNEF, 2020 / 국내: 에너지경제연구원, 2020) ..	22
[그림 3-5] 국내 설치된 해상풍력발전단지 (김지영, 2021)	23

[그림 3-6] 히비키 항만의 해상풍력발전 및 클러스터 거점 구축도 (KMI, 2019)	24
[그림 3-7] 시화 신재생 에너지 클러스터 조감도 및 시설 위치 (이성훈, 2021)	25
[그림 4-1] (좌) 선박 통합 밀집도, (우) 어업 활동 밀집도 (김지영, 2021)	28
[그림 4-2] 서해 북방한계선(NLL) 일대 해상풍력단지 조성 추정지 (정지우, 2018)	29
[그림 4-3] 한반도 3대 경제벨트 (통일부, 2019)	30
[그림 4-4] 북한 재생에너지 발전 계획도 (빙현지, & 이석기, 2017)	31
[그림 4-5] KIER 바람지도	32
[그림 4-6] 해주만 50m 고도 해상풍력밀도 (Global Wind Atlas, 2021)	33
[그림 4-7] 서남해 해상풍력실증단지 근처 50m 고도 해상풍력밀도 (Global Wind Atlas, 2021)	33
[그림 6-1] (좌) 포스터, (우) 자료집	36
[그림 6-2] (좌) 포스터, (우) 자료집(발간 예정)	37

1. 서론

가. 연구 배경 및 필요성

1989년 이래 대한민국 정부는 「민족공동체 통일방안」의 기본정신에 따라 남북한이 단계적·점진적 방식의 통일을 이루어낼 수 있도록 지속적으로 노력하고 있다. 그러나 정권이 교체될 때마다 대북정책의 방향이 달라지기도 하고, 남북 간 합의가 지켜지지 않기도 하는 등의 이유로 인해 대북정책을 둘러싼 갈등과 논쟁 또한 계속되고 있다. 따라서 현 상황을 타개하기 위해 통일부에서는 지속 가능하고 경제협력의 선순환을 이끌 수 있는 남북관계 발전의 토대를 만드는 것을 통일 정책의 지향점으로 선정하였다(통일부, 2019).

그러나 이러한 목표를 이루기 위해서는 무엇보다도 북한이 빠르게 성장하고, 자생적으로 성장기반을 구축할 수 있는 환경이 만들어져야 한다. 현재 통일 후 30년이 지난 독일의 경우를 살펴보면 그 이유를 알 수 있다. 지난 30년간 동독의 노동생산성과 소득은 꾸준히 증가하여 서독과 비교하였을 때 양 지역의 격차가 크지 않은 수준에 도달하였는데, 이것은 통일 초기 독일 정부가 거시경제의 안정성 확보를 가장 중요한 경제정책 중 하나로 설정한 영향으로 분석된다(정형곤, 2020). 그러나 2018년 남북한 1인당 GDP를 기준으로, 북한이 남한의 1인당 GDP의 80%에 도달하기까지 연간 8%의 성장률을 갖는다고 가정했을 때, 약 33년이 소요될 것으로 추정된다(정형곤, 2020). 독일의 선례를 고려해보면, 한반도경제공동체를 형성하기 위해서는 무엇보다도 이 격차를 줄이기 위해 북한 경제의 거시적 안정성을 확보하고, 산업, 교육, 인프라 등에 대한 투자가 적극적으로 이루어져야 함을 알 수 있다.

실제로 이미 국내에서도 북한에 단순히 인도주의적이고 일회성에 그치는 원조를 제공하기 보다는, 장기적인 관점에서 북한의 성장을 유도할 방안을 모색하기 위해 다양한 연구가 진행 중이다. 일례로 본 연구가 속해 있는 “통일·평화기반구축사업”에서 지원한 연구를 2015년부터 살펴보면, 국토 인프라, 의료시스템, 인재 양성 시스템, 노동시장 개선 등 북한 경제가 자생할 수 있도록 하는 연구들을 진행해 오고 있음을 알 수 있다(교류협력: 통일기반구축사업, n.d).

이렇듯 장기적인 관점에서의 경제성장을 이룩하기 위해서는 전력 소비가 반드시 수반되어야 한다. 한국의 산업별 전력 소비와 경제성장의 인과관계에 관한 연구에 따르면, 서비스업을 제외한 일차 산업과 제조업의 전력 소비와 경제성장은 서로 인과관계가 있으며, 특히 철강, 섬유, 석유, 화학, 시멘트 산업은 전력 및 에너지 정책에 민감한 산업 분야로 분류된다(조정환과 강만옥, 2012).

북한과 같은 공산주의 사회에서 급격하게 경제성장을 이루어낸 중국의 경우를 보면 전기 사용량과 경제성장 간의 인과관계를 더 극적으로 볼 수 있다. 중국의 경우 2002년 하반기부터 중화학공업을 중심으로 하는 산업집단이 형성되면서 이로 인한 산업전기 사용량이 급격하게 증가하였고, 이를 기반으로 실질 GDP의 큰 성장을 이루어냈다(이명환 외, 2012). 만일 중국의 산업 규모 증가에 따라 급격하게 늘어나는 전력 소비에 차질이 발생했다면 경제 성장에 큰 악영향을 미쳤을 것이며, 경제성장을 촉진하기 위해서는 안정적인 전력공급이 보장되어야 할 것이다(이명환 외, 2012).

따라서 이를 북한에 적용하여 생각해보다면, 북한의 장기적인 경제성장을 위해 다양한 연

구에서 제안하고 있는 국토 인프라 구축, 도시 성장, 교육 시스템 등의 사업이 실현되기 위해서는 안정적인 전력 에너지 공급이 중요하고, 이에 관한 연구가 선행되어야 한다는 것을 알 수 있다.

한편 전통적인 에너지원(화석연료)을 이용한 발전은 현재 전 세계가 공통으로 추구하는 탄소 중립 추세와 맞지 않기 때문에, 전력 공급량 확충을 위한 계획단계부터 신재생 에너지를 적극적으로 활용하는 방안을 고려해야 한다. 이러한 맥락에서 해양 신재생 에너지 개발 전략을 제안하여 북한 에너지 공급 계획을 다변화하고 동시에 친환경 미래 에너지 확보 기반을 조성하고자 본 연구를 추진하게 되었다.

나. 연구 목적

본 연구에서 달성하고자 하는 최종목표는 북한에 해양 신재생 에너지를 도입하기 위한 개발전략을 제안하는 것이다.

이를 달성하기 위한 세부 목표는 다음과 같다.

- ☐ 북한의 에너지 수급 현황 및 도시·산업 개발 계획을 분석하여 북한에 에너지 수급이 필요한 이유 규명
- ☐ 국내외 해양 신재생 에너지 연구 현황을 파악하여 현재 북한에 적용 가능한 해양 신재생 에너지 기술 탐색
- ☐ 북한의 해양 신재생 에너지 자원을 개발하였을 때 남한과 북한이 얻을 수 있는 상호 이익의 정성적 분석
- ☐ 북한의 해양 신재생 에너지 자원을 개발하는 데 필요한 연구 현안 및 정책 방향 제시

이러한 세부 목표를 실행하기 위해 본 연구에서는 문헌 조사, 자문회의, 세미나·심포지엄 개최 등 다양한 방법을 이용해 관련 내용을 분석하였다.

2. 북한에의 신재생 에너지 공급의 필요성

가. 북한의 에너지 수급 동향

1) 북한의 일차에너지 수급 동향

□ 북한의 일차에너지 수급 규모 개요

[표 2-1] 북한의 자원별 일차에너지 수급량 변화 (신정수, 2021)

연도	에너지 공급 (천 TOE ¹⁾)				
	석탄	석유	수력	기타	총계
1990	16,575	2,520	3,748	1,120	23,963
1995	11,850	1,100	3,535	795	17,280
2000	11,250	1,117	2,540	780	15,687
2005	12,030	1,034	3,283	780	17,127
2010	10,347	704	3,352	1,260	15,662
2011	7,275	763	3,300	1,260	12,598
2012	6,970	684	3,370	1,260	12,284
2013	5,190	710	3,470	1,260	10,630
2014	5,810	730	3,250	1,260	11,050
2015	3,930	1,010	2,500	1,260	8,700
2016	4,280	1,170	3,200	1,260	9,910
2017	6,030	970	2,980	1,260	11,240
2018	8,440	950	3,200	1,260	14,220
2019	8,610	1,150	2,750	1,260	13,770
'90-'19 증가율 (%)	-2.2	-2.7	-1.1	0.4	-1.5

[표 2-1]을 보면, 북한의 일차에너지 공급은 1990년 이후 2019년까지 연평균 1.5% 감소하여 2019년에는 29년 전(1990년) 수급 규모의 57.5% 수준에 달하는 13.8백만 TOE를 기록하였다.

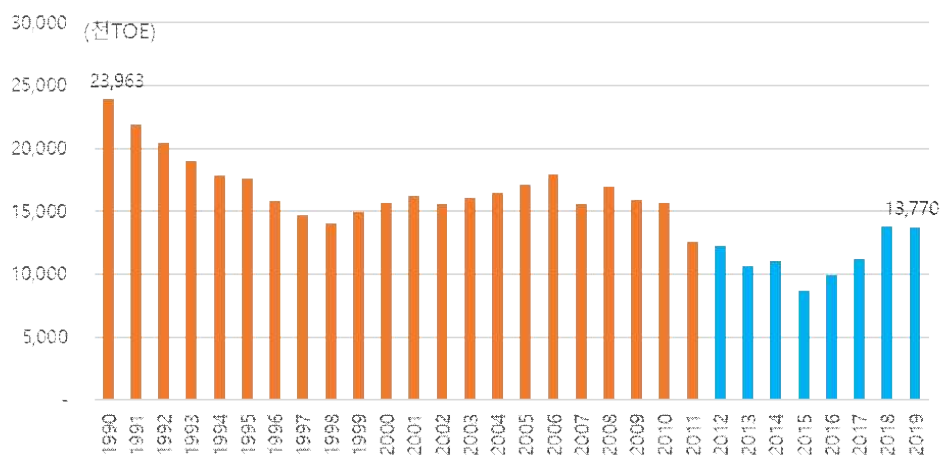
1990년부터 1998년까지 이어진 ‘고난의 행군’ 시기에는 동구권이 붕괴하면서 우호적 원

1) TOE: 석유환산톤(TOE, Ton of Oil Equivalent)는 다양한 에너지원 간 비교를 위한 개념으로, 원유 1톤을 연소할 때 나오는 에너지의 양을 1 TOE로 10,000,000 kcal로 정의함(통계청, 2021).

조가 단절되고, 연이어 대홍수와 대가뭄을 겪으며 탄광이 침수되고 수력발전설비가 망가지는 등 발전 설비 규모가 심하게 감소하여 일차에너지 공급이 감소하였다.

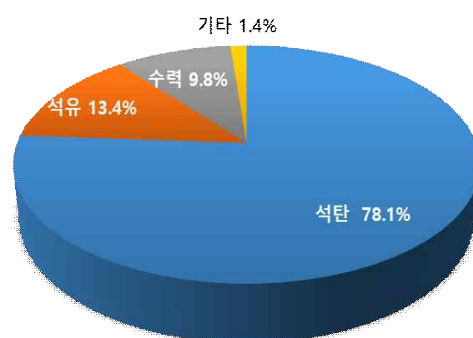
이후 1990년부터 2006년까지 에너지 수급량이 회복되었으나, 2006년부터 다시 감소하여 2015년에는 8.7백만 TOE로 최소규모 기록을 경신하였다.

2012년 김정은 정권 이후부터는 수력발전 증대에 대해 국가적으로 노력하여 중소형수력 발전소를 확대하고자 하는 정책이 수립되었고, 2015년부터 일차에너지 공급량이 조금씩 증가하였다. [그림 2-1]에 김정은 정권 이후의 일차에너지 수급량을 파란색으로 별도로 표기하였다.



[그림 2-1] 북한의 일차에너지 수급량 총계 변화 (신정수, 2021)

2015년 이전까지 북한의 일차에너지 공급 감소 원인을 살펴보면, 석탄이 78.1%를 차지한다. 민생 부문의 석탄 공급량을 감소시키기도 하였고, 외화 수급을 위해 석탄 수출량을 증가시키면서 북한의 국내 석탄 공급량이 감소한 것으로 판단된다. 상세한 자원별 일차에너지 공급 감소 기여도는 아래 [그림 2-2]와 같다.



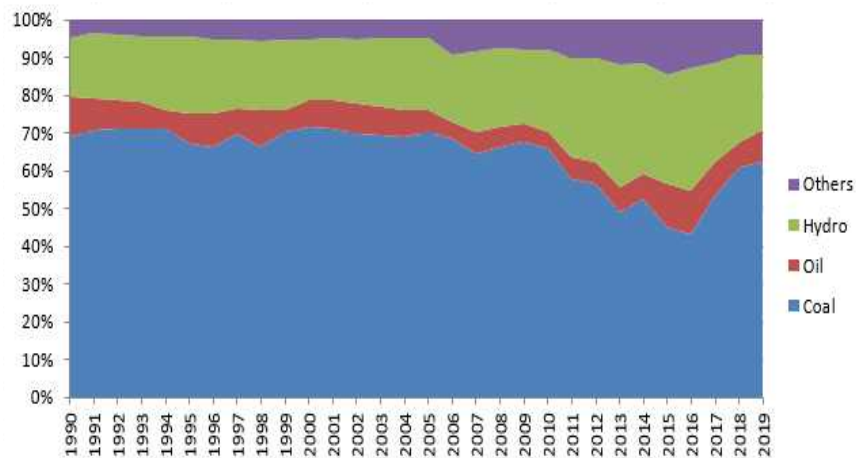
[그림 2-2] 자원별 일차에너지 공급 감소 원인 비중 (신정수, 2021)

□ 북한 일차에너지 수급 자원별 비중 변화

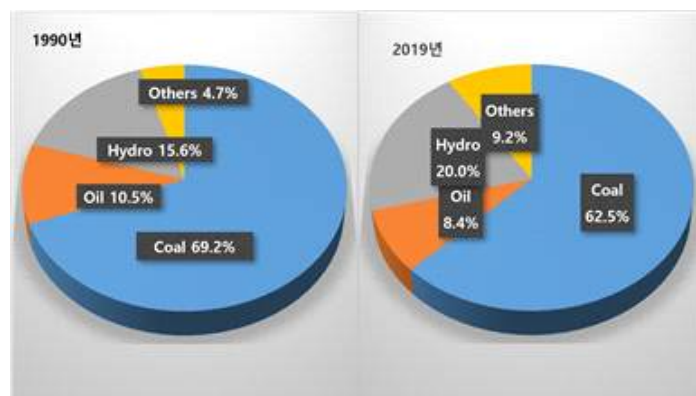
[그림 2-3]에 일차에너지 수급량의 자원별 비중 변화를 도시하였다. [그림 2-4]를 살펴보면, 석탄 비중이 1990년 69.2%에서 2019년도에 62.5%로 감소하였으며, 석유 비중이 1990년도 10.5%에서 2019년도 8.4%로 감소하였다.

반면 수력 비중은 1990년도 15.6%에서 2019년도 20.0%로 증가하였는데, 이는 일차에너지 총공급량은 감소했지만, 수력발전량은 유지되어 비중이 증가한 것으로, 수력발전량 자체가 증가한 것은 아니다.

비중 변화에서 관찰할 수 있는 특이한 점으로는 기타 에너지 비중이 1990년도 4.7%에서 2019년도 9.2%로 증가한 것이다. 기타 에너지원에는 신재생 에너지보다는 잡목, 관목, 땔감 등의 실탄에 의한 에너지가 주를 이루는데, 따라서 기타 에너지의 비중이 증가한 것은 민생이 더욱 힘들어졌음을 의미한다.



[그림 2-3] 일차에너지 구성비 변화 (신정수, 2021)



[그림 2-4] 1990년과 2019년의 자원별 일차에너지 비중 비교 (신정수, 2021)

2) 북한의 전력산업 및 발전 설비 동향

□ 북한의 전력산업

[표 2-2]를 보면, 2019년 발전용량은 815만 kW(8.15 GW)로, 전체 발전용량에서 수력이 화력보다 더 많은 비중을 차지하고 있다. 북한은 전통적으로 수주화중 구조의 발전정책을 유지하여 수력과 화력의 발전용량 구성비를 6:4 정도로 유지하고 있다.

[표 2-2] 북한의 발전용량 변화 (신정수, 2021)

연도	총설비 (천 kW)	수력 (천 kW)	구성비(%)	화력 (천 kW)	구성비(%)
1990	7,142	4,292	60.1	2,850	39.9
1995	7,237	4,337	59.9	2,900	40.1
2000	7,553	4,592	60.8	2,961	39.2
2005	7,823	4,812	61.5	3,011	38.5
2010	6,969	3,958	56.8	3,011	43.2
2015	7,428	4,467	60.1	2,961	39.9
2016	7,662	4,701	61.4	2,961	38.6
2017	7,722	4,761	61.7	2,961	38.3
2018	8,150	4,790	58.8	3,360	41.2
2019	8,150	4,790	58.8	3,360	41.2

그러나 [표 2-3]을 보면, 최근 수력과 화력의 발전량이 역전되어 2019년에는 화력이 수력보다 발전량 구성비가 10%p 정도 높은 것을 확인할 수 있다. 이는 김정은 정권 초기에 강조한 발전량 유지 정책에서, 어떠한 대가를 치르더라도 발전량을 최대한으로 유지하라는 명령이 있었기 때문이다. 수력은 유량을 변화시키기 어려우므로 발전량이 비슷한 수준으로 유지되는 반면, 화력은 무연탄을 민생이 아닌 발전 측에 우선 공급하며 발전량을 증가시켰기 때문에 구성비가 증가하게 된 것이다.

[표 2-3] 북한의 발전량 변화 (신정수, 2021)

연도	총발전량 (억 kWh)	수력 (억 kWh)	구성비(%)	화력 (억 kWh)	구성비(%)
1990	277	156	56.3	121	43.7
1995	230	142	61.7	88	38.3
2000	194	102	52.6	92	47.4
2005	215	131	60.9	84	39.1
2010	237	134	57.0	103	43.0
2015	190	100	52.6	90	47.4
2016	239	128	53.6	111	46.4
2017	235	119	50.6	116	49.4
2018	249	128	51.4	121	48.6
2019	238	110	43.2	128	53.8

□ 전력산업 구조 변화

[표 2-4] 북한 전력산업의 구조 변화 (신정수, 2021)

연도	~1990년	1990년~2000년
여건변화	중국과 러시아의 정비, 부품 지원 공산권의 수력터빈 지원	구 공산권 붕괴로 외부지원 중단 고난의 행군 시기
발전설비	1990년 7.14 GW	2000년 7.55 GW
발전량	1990년 27,700 GWh	2000년 19,400 GWh
산업여건	중, 러의 정비, 부품 등 안정적 지원 COMECON 등 공산권 국가들의 수력터빈 지원으로 대형수력 건설 1982년 김일성 중소수력 건설 지시	구 공산권 지원 중단 부품, 정비 부족 심화 근로자 이탈, 설비탈취 등 가동여건 악화 탄광 가동 여건 악화로 석탄공급 감소 1996년 전력법시행규정으로 중소형발전소 전군중적건설 원칙 추진 1993년 자연에너지개발이용센터 설립 1998년 에너지관리법 제정 1996년 12월 화력 완공
연도	2001년~2010년	2011년~
여건변화	고난의 행군 극복과 발전량 회복	김정은 시대
발전설비	2010년 6.97 GW	2019년 8.15 GW
발전량	2008년 25,500 GWh	2018년 23,800 GWh
산업여건	정비, 부품 등 기술적 문제 지속 근로자 근로여건 개선 석탄 등 발전연료 공급 개선 2001년 12월 화력 폐지 2002년말 중소형수력 7,780여 개소 2001년 중규모발전소로 정책 방향 수정 2007년 중소형발전소법 제정	자체기술로 수력발전소 건설 확대 교차생산조직, 전력법 구체화 2012년 희천수력 완공 2013년 재생에너지관리법 제정 2013년 재생에너지연구소 개소 2017년 단천수력1단계 공사 착공 2018년 북창화력 증설공사 준공 2018년 다시 중소형발전소 강조

[표 2-4]의 북한의 전력산업 구조 변화를 보면, 고난의 행군 전까지는 일제강점기 이후에 남겨진 발전 설비와 중국과 러시아의 지원으로 안정적인 발전량을 유지하였으나, 1990년대에 공산권의 붕괴와 고난의 행군 시기를 겪으며 발전 설비의 가동여건이 심각하게 악화하였다. 그 후 2001년에서 2010년 사이 고난의 행군을 극복하면서 발전량이 회복되었으나, 기술적 문제는 지속되었고, 현재는 다수의 발전소 개보수가 필요한 상황이다.

민간의 농업용 전력 혹은 생활 전력을 해결하기 위해 2002년 말에 중소형수력발전소

7,780여 개소를 설치하였으나, 이마저도 시간이 흐르면서 유지관리가 잘되지 않아 많은 수의 중소형수력발전소가 가동중지 상태이다. 김정은 정권 이후로 다시 중소형수력발전소 설비를 확대하고자 하는 움직임이 있다.

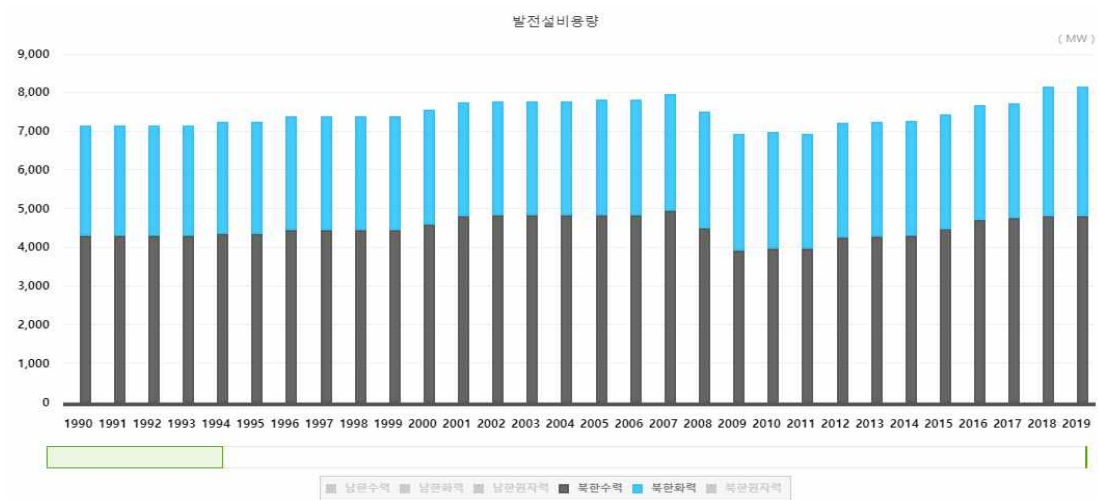
□ 전체 발전 설비



[그림 2-5] 북한의 에너지 발전 설비 배치도 (신정수, 2021)

북한의 에너지 발전 설비와 공급 인프라를 위의 [그림 2-5]에 나타내었다. 북한 전력법에 따르면 20MW 이상의 발전용량을 지닌 수력발전소를 대수력발전소라고 명명하는데, 이 대수력발전소 32개소와 화력발전소 7개소만을 표시한 것이다. 북한의 전력은 단일망으로 이루어져 있으나 동부망과 서부망을 분리하여 운영 중이다.

수력과 화력발전소 발전용량의 합계는 8.15GW이고, 수력이 약 4.8GW, 화력이 약 3.4GW로 파악된다. 발전용량의 상세한 구성비 변화는 아래 [그림 2-6]과 같다.



[그림 2-6] 북한의 수력, 화력 에너지 발전용량 비교 (전력통계: 북한전력지표: 발전설비용량, 2020)

□ 화력설비



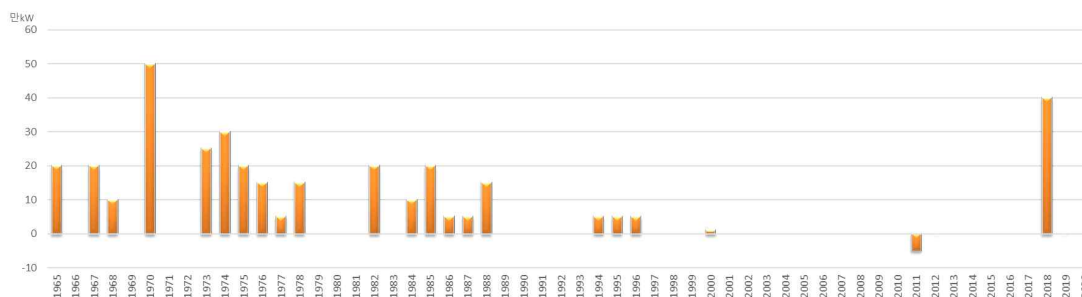
[그림 2-7] 북한의 화력발전소 배치도 (신정수, 2021)

[그림 2-7]은 북한의 화력발전소의 위치를 지도에 도시한 그림이다. 북한의 화력발전소는 원래 8개였으나, 그중 12월화력발전소는 2001년에 폐쇄되었다. 나선 지역에 위치한 선봉화

력은 원래 러시아(당시 구소련 시대)에서 중유를 공급받아 운영하던 중유발전소였으나, 소련이 붕괴하며 중유 공급이 중단되면서 무연탄 화력발전소로 전환되었다. 이로 인해 북한에는 석유화력발전소가 없어졌으며, 함경북도에 있는 청진화력(갈탄발전소)을 제외한 6개 발전소는 모두 무연탄발전소가 되었다.

북한의 화력발전소는 모두 외국의 자본 및 기술 지원으로 건설되었는데, 구소련으로부터 지원받은 화력발전소가 북창, 평양, 동평양, 청진, 선봉화력이며, 중국으로부터 지원받은 화력발전소가 청천강, 순천화력이다. 이중 북창화력이 2GW로 발전용량이 가장 큰데, 이는 중국에서 환경 문제로 인해 운용하지 않는 중고터빈을 추가하였기 때문이다.

평안남도 인근에 5기의 화력발전소가 집중되어 있는데, 이는 평안 안주 지역에 대규모 무연탄 광산이 있기 때문이다.



[그림 2-8] 화력설비 도입 시점에 따른 연도별 추가 발전용량 시계열 자료 (신정수, 2021)

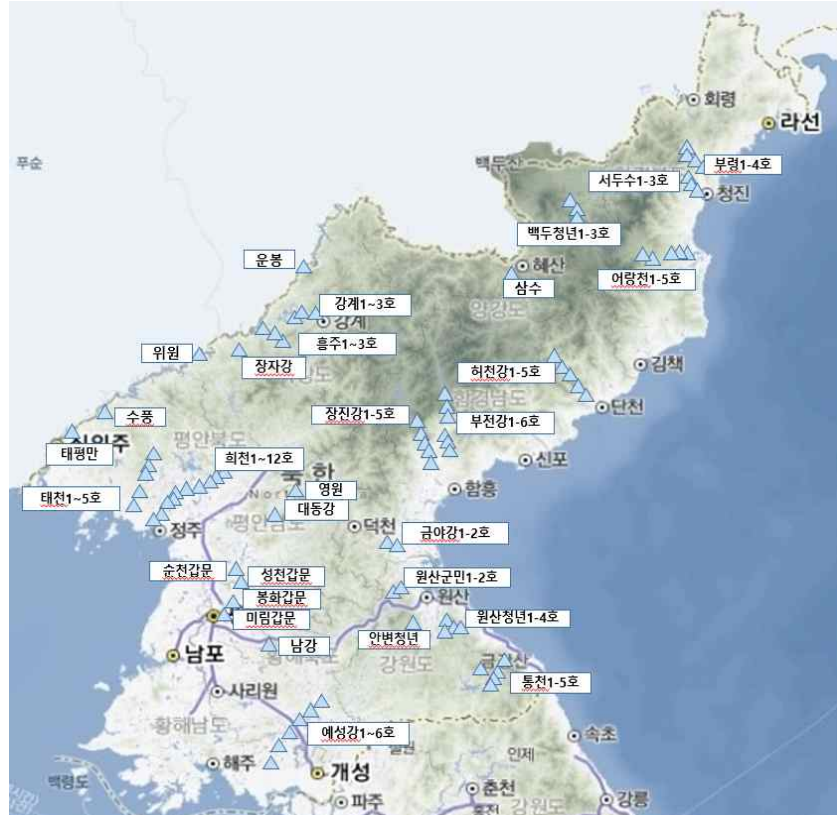
[그림 2-8]은 1965년부터 2019년까지 화력설비 도입에 따른 발전용량 변화를 시계열 자료로 나타낸 것이다. 최근 북창화력에 20MW급 터빈 2기가 증설되면서 발전용량이 40MW 증가하였으나, 설비 노후가 심각한 상황이다.

[표 2-5] 북한의 화력발전 설비 노후도에 따른 분류

노후도	가동 연수	준공 시기	용량(MW)	비율(%)
최상	50년 이상	~1970	1000	29.8
상	30~49년	1971~1990	1850	55.1
중	20~29년	1991~2000	110	3.3
하	~19년	2001~	400	11.9

[표 2-5](신정수, 2021)과 같이 설비 노후도를 최상, 상, 중, 하로 나누어 분석해보면, 가장 심각하게 노후화되어있다고 판단되는 설비용량(최상)이 1 GW로 사실상 대부분이 노후화 되어있다고 판단된다. 설비 노후화의 가장 큰 문제점은, 노후도가 심각한 발전소의 경우 개보수 자체가 어렵고, 투자 대비 성과가 매우 미미하므로 남북에너지협력사업 진행 시 에너지 설비에 대한 협력사업을 진행하기가 어렵다는 것이다. 따라서 현 상황에서 85% 정도의 화력발전 설비는 남북에너지협력사업으로 개선하기 어렵다고 볼 수 있다.

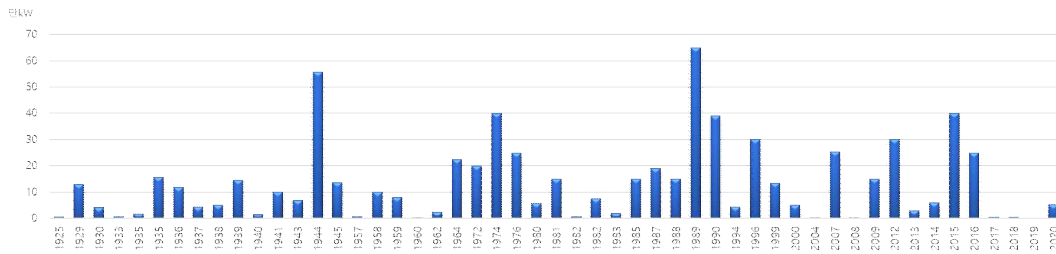
□ 수력설비



[그림 2-9] 북한의 수력발전소 배치도 (신정수, 2021)

[그림 2-9]는 북한의 수력발전소 위치를 지도에 도시한 그림이다. 북한의 수력발전설비 중 20MW 이상의 중대수력발전소의 전체 발전용량 합계는 6.7GW 정도이다. 이 중에서 태평만, 수풍, 위원, 운봉 4개의 발전소는 중국과 공동으로 운영하고 있으므로 발전용량을 반으로 나누어 산정해야 하고, 이를 고려하면 전체 5.6GW로 산정된다. 통계청에서 제시한 수력발전 용량 4.8GW와 차이가 나는 이유는 2018년 이후에 준공된 어랑천, 원산청년, 원산군민 수력발전소의 발전용량이 반영되지 않았기 때문이다.

입지에 대한 특징을 보면, 우선 압록강변을 따라 중국과 공동운영하는 태평만, 수풍, 위원, 운봉 수력발전소가 있고, 조·중 수력발전공사 이사회의 약속에 의해 발전용량을 서로 동일하게 가져간다. 다음으로 두만강변에는 발전소가 없지만 두만강의 지류에 몇 군데가 있다. 또한, 동해를 따라서 부전강, 허천강, 어랑천, 단천(현재 시공 중) 수력발전소가 있는데, 이들의 특징은 모두 유역변경식 발전소라는 것이다. 유역변경식 발전은 물길을 뚫어 유역을 변경시켜 발전하는 방식으로, 북한 동해안의 유역변경식 발전소는 압록강 지류를 끌어와 터널을 통해 유속을 강화한 후 동해안으로 물을 방류하는 방식으로 발전을 한다.



[그림 2-10] 수력설비 도입 시점에 따른 연도별 추가 발전용량 시계열 자료 (신정수, 2021)

[그림 2-9]는 1925년부터 2020년까지 수력설비 도입에 따른 발전용량 변화를 시계열 자료로 나타낸 것이다. 1990년 이후로 수력발전 설비가 거의 준공되지 않다가 2011년 김정은 정권 이후로 대규모 수력발전을 많이 도입한 것을 볼 수 있다. 김정은 집권 이후 1GW 정도의 수력발전 설비가 완공되었으나, 여전히 심각한 설비 노후도가 문제되고 있다.

[표 2-6] 북한의 수력발전 설비 노후도에 따른 분류 (신정수, 2021)

노후도	가동 연수	준공 시기	용량(MW)	비율(%)
최상	50년 이상	~1969	2045	30.7
상	30~49년	1970~1989	2692	40.4
중	20~29년	1990~1999	535	8.0
하	~19년	2000~	1398	21.0

[표 2-6]에서 볼 수 있듯이, 현재 30년 이상 노후된 설비가 전체 설비의 71.1%를 차지하며, 앞서 화력발전 설비에서 언급했던 것과 마찬가지로 심각하게 노후된 설비는 개보수하더라도 효율성을 기대하기 힘든 상황이다. 특히 북한 수력발전소의 핵심 터빈은 모두 러시아 등 공산권 국가에서 제작된 것이라 남한의 기술로는 개보수가 어려운 상황이다.

□ 조력발전

조력발전소의 경우 공식적으로 해주만 일대에서 4개소가 운영 중이다. 북한은 7차 당대회에서 발표한 발전 부분 계획을 구체화하여 8차 당대회에서도 발전용량에 대해 강조하였고, 특히 8차 당대회에서는 발전용량 강화 수단으로 조수력을 강조하였다. 실제로 북한에서도 2000년대 중반부터 남북에너지협력을 논의할 때 항상 조력을 언급하는 등, 북한 정부의 조력발전에 관한 관심이 상당한 것을 알 수 있다.

노무현 전 대통령부터 문재인 대통령까지 3번에 걸친 합의서에서 해주지역에 대한 경제협력을 구체화하고 있는데, 해주지역 경제협력 특구 개발 진행 시 전력공급이 필요한 실정이다. 이에 북한도 해주지역의 조력발전에 대해 강조 중이며, 남한에서도 조력발전소 도입에 관해 에너지경제연구원과 대우건설 등이 사업성, 타당성 검토를 진행 중이다.

나. 북한 산업 입지에 따른 신재생 에너지 전망

1) 북한의 국토 및 산업 개발 계획

□ 북한 국토 개요

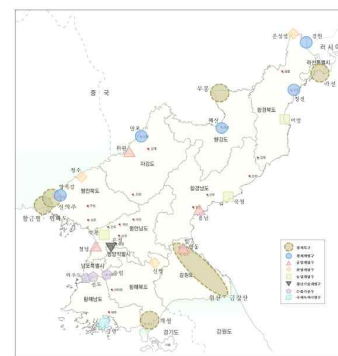
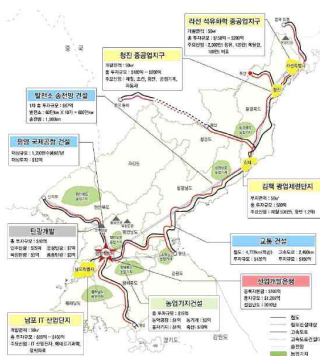
10.4 남북정상선언 합의과제 (2007년)

조선민주주의인민공화국 경제개발중점대상 개요(2010년)

경제개발구 (2015년)



출처: 이상준(2008)



출처: 국토연구원(2015)

[그림 2-11] 북한 국토 개요 변화 (좌: 이상준, 2008, 중앙·우: 김민아, 2021)

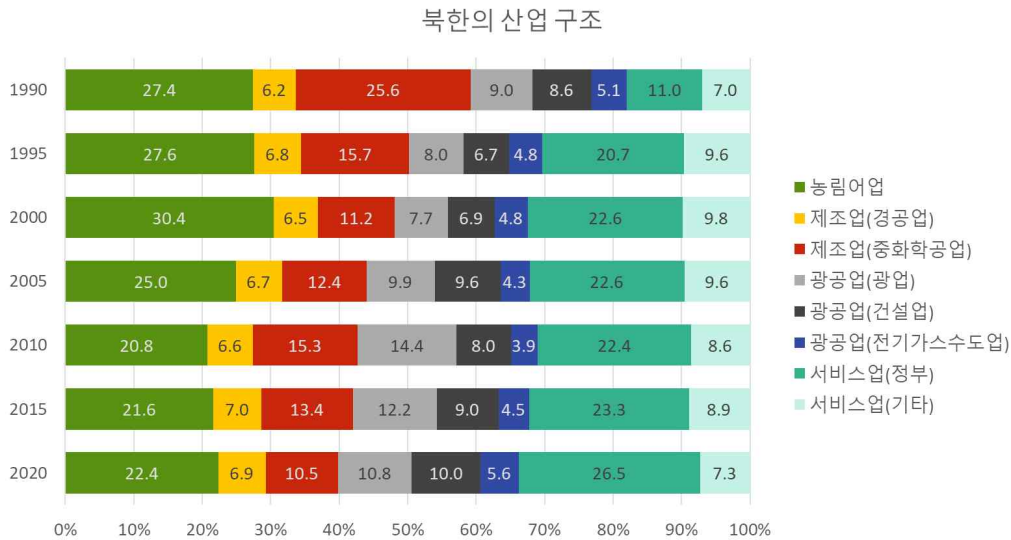
[그림 2-11]에 2007년부터 2015년까지 북한의 주요 도시와 이 도시를 잇는 교통축을 도시하였다. 좌측은 2007년 노무현 정부 때 10.4 남북공동선언에서 합의되었던 북한 국토개발 개요를 나타낸 것이고, 중간은 북한이 자체적으로 발표한 2010년 개발 계획, 그리고 우측은 2015년 당시 북한의 경제개발구를 표시한 것이다. 위의 [그림 2-11]을 통해 북한의 주요 도시는 서해안과 동해안을 따라 위치하고 있으며, 수도인 평양과 강원도가 연결되어있는 H 형상의 국토개발 형태를 볼 수 있다.

이중 특히 서해안의 경우 개성-평양 고속도로를 보수하고 철도를 개보수하는 등 서해안 교통축을 북한이 중요하게 여기고 있음을 알 수 있고, 남포에 첨단 협력 단지를 건설하거나 해주를 기반으로 평화협력 특별지역을 설치하는 등 서해안 쪽 경제개발구를 확장하려는 모습을 볼 수 있다.

□ 북한 산업 구조

[그림 2-12]는 1990년부터 2020년까지 북한의 산업구조 변화를 나타낸 도표이다. 북한의 산업구조는 원래 제조업, 특히 중공업 기반의 구조였으나, 90년대 전력난과 인프라 부족으로 인해 중공업 부문이 쇠퇴하였다. 현재 북한의 상황은 남한의 70년대와 유사하게 일차 산업 비중이 높은 구조이다. 이러한 산업구조를 가지게 된 원인에는 에너지와 원자재의 부족, 제조업 설비의 노후화 등이 있으며, 이러한 이유로 현재 설비가동률은 30% 정도로 추정된다. 에너지나 원자재 부족으로 인한 설비가동률 저하는 결국 북한의 기간산업이라고 일컬어지는 철강, 화학 등 기초소재 생산 감소로 이어져 전반적으로 생산이 부진해지는 악순환을

야기한다.



[그림 2-12] 북한의 산업구조 변화 (한국은행, 2021)

김정은 시기에 들어서며 중소규모 수력발전에너지가 각 지역 단위에 확충되고, 건설산업은 지방 자체적으로 충족하는 정책이 수립되면서 최근 건설업이나 서비스업 부분의 비율이 증가한 것을 볼 수 있다.

□ 김정은 시기 북한 산업 정책 변화

북한의 산업구조는 거의 석탄을 중심으로 이루어진다. 에너지 생산을 위해 석탄으로 화력 발전을 하고, 주체철을 생산하는 데 석탄을 주재료로 사용하며, 화학공업 측면에서도 석탄에서 석유를 추출하기 위한 기술개발이 진행 중이다. 따라서 석탄을 채굴하기 위해 발전소에서 전력을 생산하는 메커니즘으로 산업구조인데, 최근 심각한 전력난으로 인해 석탄 채굴이 어려워지고, 계속 전력난을 겪게 되는 악순환이 지속되고 있다.

이를 해결하기 위해 [표 2-7]과 같이 김정은 정권에서는 경제발전전략 기본 부문을 내세웠고, 가장 중요한 인민 경제 선행부문에 석탄, 금속, 전력, 철도 분야를 제시했다. 북한의 산업 사이클이 석탄을 채굴하고, 석탄을 운송하기 위해 철도를 이용하고, 석탄으로 전력을 생산하고, 생산한 전력으로 금속을 생산하는 구조로 되어있기 때문에 이 4개 부문이 가장 중요한 선행부문으로 제시되었다.

다음으로, 중요 공업 부문에서는 중공업 발전을 목표로 세우고, 나머지 부문들은 경공업, 농축수산업 등 소프트한 산업 위주로 기본 부문이 구성되었다. 이렇듯 경제발전전략에서 중요하게 생각하는 사업 분야를 보면 북한이 중요하게 생각하는 산업 정책이 우리나라의 산업물류 체계와는 차이가 있음을 알 수 있다.

[표 2-7] 김정은 시대 경제발전전략 기본 부문 (김민아, 2021)

부문	주요 목표	관련 분야
인민 경제 선행부문	자립경제의 기초 공고화를 위한 선행부문과 중요 공업부문 발전	석탄공업 금속공업 전력공업 철도운수
중요 공업 부문		기계공업 전기전자공업 화학공업
경공업 부문	경공업의 질적 도약에 의한 인민생활의 획기적 향상	식품공업 방직공업 신발, 가방 생산 화장품, 위생용품 생산
농축수산업 부문	농축수산업의 발전에 의한 먹는 문제 해결	농업 과수업 축산업 수산업
국토관리 부문	자연재해 예방과 산림복구	토지관리 산림복구 강하천 정리 및 시설물 관리 환경관리
지방경제 부문	지방공업 현대화 및 군 단위 인민생활 향상	경공업 부문 농축수산업 부문 건설 부문
대외경제 부문	자력자강과 대외경제협력 확대 동시 추구	특구, 개발구 관광산업

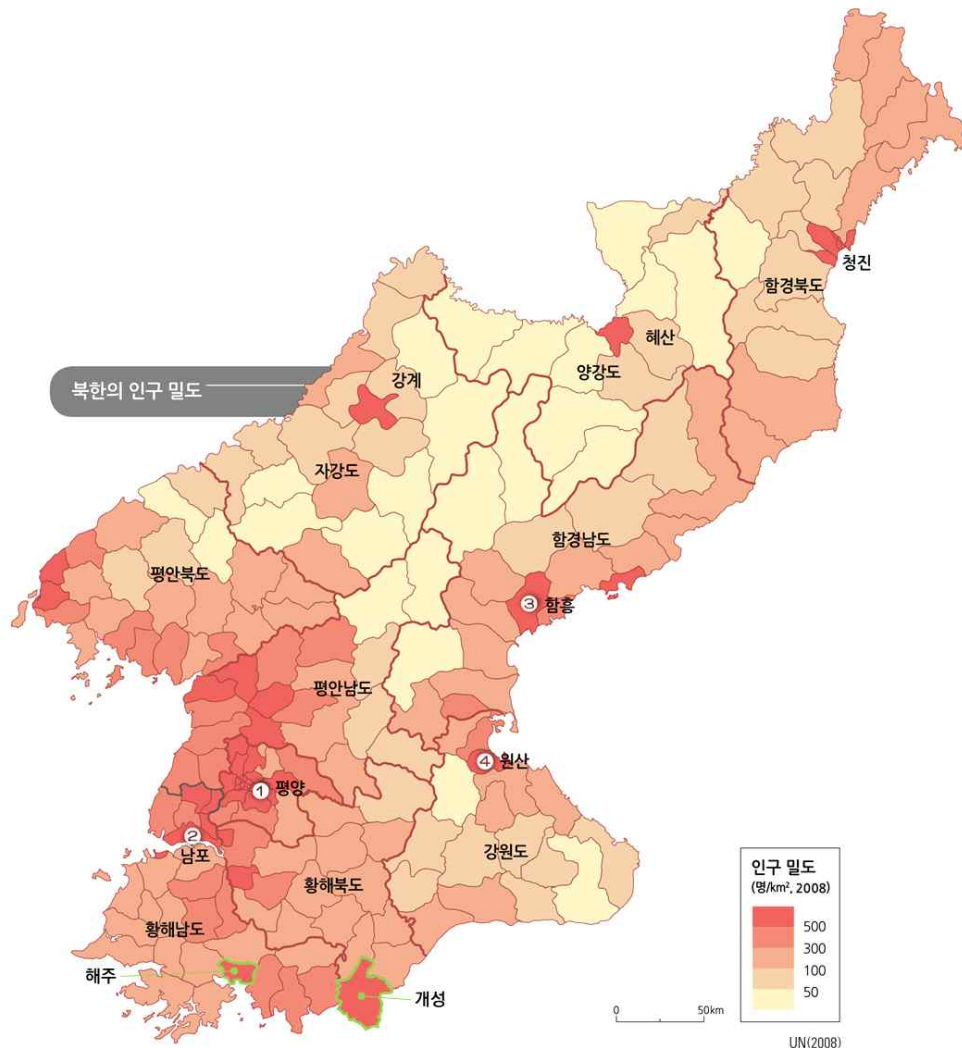
□ 북한의 도시

북한의 도시는 평양 직할지, 남포·나선 특별시, 9개 도, 24개 시로 구분된다. [그림 2-13]을 보면, 평양, 남포, 함흥, 청진 등을 제외하고는 거의 15만에서 30만 사이의 엇비슷한 규모이다. 특히 서해안을 중심으로 인구 밀도가 높은 도시들이 선형으로 배치되어있음을 확인할 수 있고, 우리나라와의 접경지역에서는 개성과 해주가 특히 인구 밀도가 높다.

북한 도시개발 입지를 선정할 때는 인구 밀도나 인구 증가 등 현황을 바탕으로 선정하기도 하나, 추후 도시가 어떻게 성장할지에 대한 예측을 바탕으로 선정하기도 한다. 따라서 북한에 해양 신재생 에너지를 도입할 경우, 기존에 충분히 발달한 도시 주변에 발전 시설을 설치하는 것도 좋지만, 앞으로의 성장 가능성이 높거나 거점 도시로서 역할을 할 수 있는 곳에 전력을 우선 공급하는 것도 좋은 방안이다.

본 연구에서는 여러 전문가 회의를 통해 개성-해주가 평양과 서울의 중간지대로서 새로

운 거점으로서 성장 가능성이 크고, 해양 신재생 에너지를 도입하기에 적합하다고 판단하였다. 다른 후보지들에 대한 평가는 『북한의 국토개발과 에너지 수급 동향』(박용성 외, 2021)에 수록하였다.



[그림 2-13] 북한의 인구 밀도 분포 (국토교통부 국토지리정보원, 2020)

□ 개성-해주의 도시 현황 및 개발잠재력

개성-해주를 성장 가능성이 크다고 판단한 이유는 다음과 같다. 우선 개성-해주 지역의 경우 북한 도시개발 시 가장 큰 문제점으로 언급되는 교통인프라가 다른 거점 도시 후보지보다 우수하다. 남한이 북한 도시개발 협력사업을 진행하는 데 공통적으로 겪는 어려움이 바로 북한의 낙후된 도로 상황, 끊긴 철로, 항만·공항의 부재 등으로 인한 열악한 교통인프라이다. 그러나 해주는 해주항이 존재하고, 해주항과 해주 시내까지 철도로 연결되어 물류 공급이 비교적 원활하다. 또한, 평양-남포 등 북한의 주요 산업단지와 70km 이내에 위치해 산업 입지 측면과 숙련 노동 활용 가능성 측면에서도 유리하다.



[그림 2-14] 서해평화협력특별지대 (최성원, 2018)

한편 [그림 2-14]는 2007년 10.4 남북정상선언을 통해 합의한 서해평화협력특별지대를 나타낸 것이다. 서해평화협력특별지대는 개성과 해주를 포함해 남한의 인천까지 연결된 지역으로, 서해를 남북간 군사충돌 위험지역에서 공동어수로 수역 설정, 민간선박의 해주 직항로 통과, 해주항 개발사업 등 경제와 평화가 공존할 수 있는 공동번영의 장으로 만들기 위한 합의안이다((구)해양수산부, 2007).

2010년대 남북갈등이 심해진 이후로 서해평화협력특별지대에 관한 관심이 사그라들었으나, 2017년 문재인 대통령의 대선공약을 통해 서해평화협력특별지대 사업의 재개 및 파주-개성-해주로 이어지는 통일경제특구 계획이 발표되어 낙후된 북한 서남부에 대한 대규모 개발사업이 다시 주목을 받게 되었다(최성원, 2018). 이 논의는 2019년 9.19 평양공동선언에서 제시된 ‘서해경제공동특구’로 이어지고, ‘판문점 선언 이행을 위한 군사분야 합의서’에 따라 2018년 11월~12월 남북 공동조사단과 해양수산부, 국방부가 수로, 수심, 해안선, 암초 위치 등을 조사하여 북한과 정보를 공유하였다(윤인주 외, 2019).

추가로 주목할 점은, 해주 근처의 강령국제녹색시범구(강령국제록색시범구)가 2014년 중앙급 경제개발구로 지정되어 북한이 이곳을 친환경기술연구개발 중심지로 발전시키고자 한다는 것이다(윤인주 외, 2019).

2) 신재생 에너지 도입의 중요성 및 기대효과

□ 개성-해주 지역의 전력공급 현황 및 기존 에너지원 문제

해주는 앞 절에서 설명하였듯이 도시 접근성과 발전 가능성이 크나, 해주 근처에 대규모 수력발전소, 화력발전소 등이 없어 전력 에너지 여건이 다른 중규모 도시들에 비해 좋지 않다는 약점이 있다. 한편, 개성-해주 지역에 전력을 공급해야 한다면 굳이 신재생 에너지가 아닌 수력발전소나 화력발전소를 추가로 건설하면 되지 않겠느냐는 의문이 제기될 수 있다.

그러나 이는 현재 해수 지역의 전력공급 현황 및 기존 에너지원의 문제점을 고려해본다면 충분히 설명할 수 있는 의문점이다.

해수에서 가장 가까운 수력발전소는 예성강 청년 1~6호 발전소로, 총 40만 kW의 발전 용량만을 갖고 있다(경제·인문사회연구회, 2020). 그러나 북한과 중국이 공동관리하고 있는 압록강 변의 수력발전소를 제외하고는 개보수가 원활하지 않기 때문에 실질적인 발전량은 발전용량에 많이 못 미칠 것으로 예상된다. 뿐만 아니라, 예성강 청년 2호 발전소는 임진강 유역변경식 발전소로, 황강댐의 물을 지하 관수로로 통해 물길을 돌려 발전하는 방식을 택하고 있어 연간 1억 4000만 톤의 하천 유량이 부족한 실정이다(장석환, 2021). 이러한 하천 유량의 감소는 임진강 하류(파주, 문산)의 농업용수를 부족하게 하고, 어선 출조를 어렵게 하는 등 물 부족 위험을 가중시키고 발전량을 감소시키는 문제를 일으킨다(장석환, 2021). 따라서 남한의 편익을 위해서라도 해수 지역에 수력발전소 외의 다른 에너지 공급원을 공급해야 한다.

다음으로, 화력발전소의 추가 건설 또한 효율성이 떨어진다. 현재 북한의 탄광은 2016년 대홍수와 2020년 홍수로 인해 침수 피해를 심각하게 입은 것으로 추정된다. 경제력이 있는 국가라면 침수된 탄광에 배수 작업을 진행해 석탄 채굴을 재개하겠지만, 북한은 1990년에 침수된 광산 중 아직 복구되지 않은 광산도 일부 있을 것으로 추정되는 만큼, 사실상 화력 발전을 위한 석탄 채굴이 어려울 것으로 예상된다(함지하, 2020). 이런 상태에서 새로 개발되는 도시에 충분한 양의 전력을 공급할 만큼 화력발전소를 가동하기 위해서는 오히려 석탄을 수입해야 하는 상황이 발생할 수 있다. 그뿐만 아니라, 화력발전소의 추가 건설은 후술할 전 세계적 탄소 중립 기조에 맞지 않는다.

□ 탄소 중립을 고려한 도시 개발 계획

2005년에 발효된 교토 의정서에서는 선진국에만 온실가스 감축 의무가 부과되었으나, 2015년 파리 협정 이후 이제는 모든 국가가 자국의 상황을 적절히 반영하여 온실가스 감축 노력을 이행하게 되었다(외교부, n.d.).

대한민국 정부 또한 UN 기후행동 정상회의 대통령 기조연설 이후 탄소 중립의 중요성에 대한 인식이 굉장히 높아졌으며, 2021년 10월, 우리나라에서 2050 탄소 중립 시나리오 최종안이 발표되었다(관계부처 합동, 2021). 최종안은 2개 안을 포함하고 있는데, A안은 탄소 배출량을 2050년에 완전히 zero로 만들겠다는 목표로, 화석연료발전 비중을 완전히 없애고 재생에너지 비중을 70%로 하는 안이고, B안은 LNG를 일정 부분(백만 톤CO₂eq)적으로 허용하는 안이다.

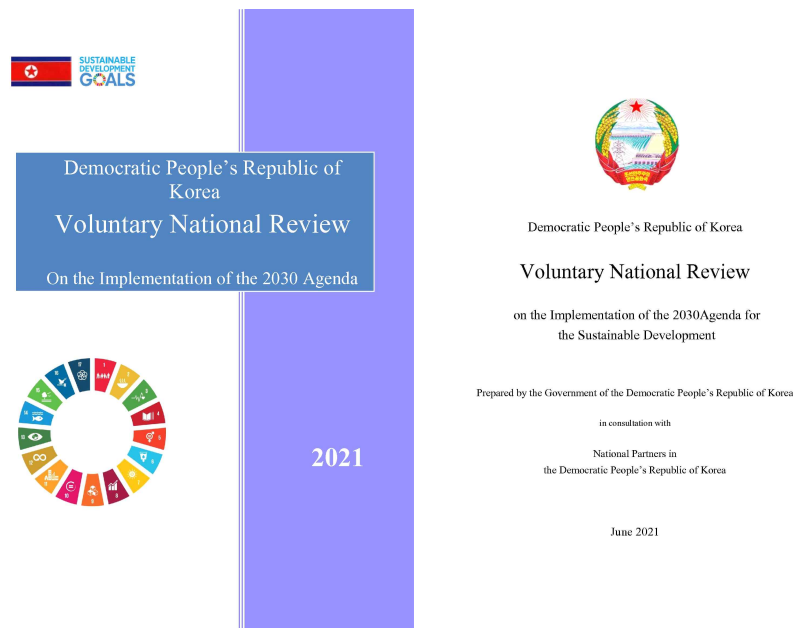
이러한 전 세계적 흐름은 일시적인 것이 아니며, 달성해야 하는 목표가 명확하고 그 기조가 유지될 것이므로, 향후 북한 인프라 개발에 대한 계획을 세울 때도 탄소 중립을 반드시 고려해야 한다. 이전까지는 북한 도시개발 문제에 접근할 때 어떤 인프라를 어떻게 개발하고, 이를 통해 얻을 수 있는 효용이 무엇인지에 대해 주로 연구해왔다. 그러나 앞으로는 도시개발 차원에서 한 도시 단위에서 일정량 이상의 탄소 배출이 금지되는 등, 도시개발계획 방향이 완전히 달라질 수도 있다.

따라서 전 세계적 탄소 중립 기조에 부응하여, 북한의 도시개발 및 산업발전 관련 연구를

할 때, 탄소 중립에 대한 고려가 반드시 전제되어야 한다. 그러기 위해서는 도시에 공급되는 전력을 석탄이 아닌 신재생 에너지로 충족시키기 위한 노력이 필요하다.

□ SDGs 이행을 통한 국제사회와의 협력방안 모색 및 국제적 고립 탈피

2021년 7월, 북한은 UN 경제이사회 HLPF(고위급 정치 포럼, High-Level Political Forum)에서 SDGs(지속가능발전목표, Sustainable Development Goals) 이행 현황에 대해 북한의 VNR(자발적 국별 리뷰, Voluntary National Review)을 발표하여 국제사회와의 접점을 마련하려는 노력을 보였다(IBK 기업은행 경제연구소, 2021). 아래 [그림2-15]는 북한 정부가 제출한 VNR 보고서이다.



[그림 2-15] 북한 정부가 제출한 2021 VNR report (The Government of the Democratic People's Republic of Korea, 2021)

북한은 대북제재 장기화, 코로나 19, 자연재해로 인해 겪은 경제난을 스스로 인정하면서, 만성적인 에너지 부족을 해결하기 위해 재생 및 청정에너지 분야의 개발 협력을 최우선 과제로 제시하고 자체적 온실가스 감축 계획을 소개하는 등 국제사회에 개발 협력 의사를 더욱 적극적으로 표명하였다.

북한이 국제사회의 흐름에 동참하려는 모습을 보이고, 에너지를 포함한 국가 통계를 제공하는 것만으로도 의의가 있다는 평가가 있으므로, SDGs 이행을 위한 노력을 진행하면 현재 장기화되고 있는 UN 안보리 제재 해제에도 긍정적인 영향을 미칠 것으로 판단된다.

3. 해양 신재생 에너지 기술 현황 및 연구 현안

가. 국내외 해양 신재생 에너지 기술 현황

1) 해양 신재생 에너지 개요

해양 신재생 에너지는 파도를 활용하는 파력발전, 조석 차를 이용하는 조력발전, 심해와 수면의 온도 차를 이용한 온도차발전, 해상의 풍력을 활용하는 해상풍력발전, 해수의 유동 운동에너지를 이용한 조류발전 등 다양한 방법으로 바다의 에너지를 변환시켜 생산된 전기 혹은 열에너지를 총칭한다(신·재생에너지 소개: 해양, n.d.).

바다는 전 세계 전기 에너지 수요의 두 배 이상을 충족시킬 수 있는 잠재력을 지닌 신재생 에너지원이다(IRENA, 2020). 그러나 아직 기술개발 속도는 가장 더디며, 전 세계 신재생 에너지 시장의 가장 작은 부분만을 차지하고 있다. 2019년 말 기준 해상풍력을 제외한 전 세계 발전용량은 535MW이며, 유럽이 현재 가장 선두주자로 나서고 있지만, 캐나다, 미국, 중국이 적극적인 재정 지원과 기술개발을 하고 있어 이후 시장 상황은 충분히 변화할 수 있다(REN21, 2020).

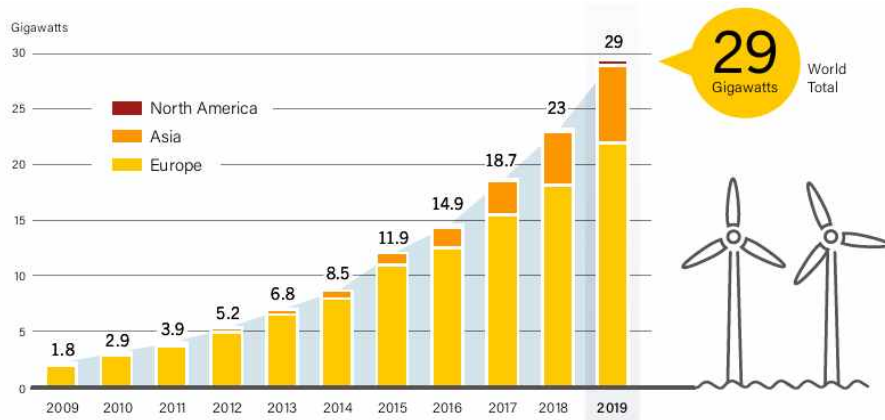
2020년 기준 국내 신재생 에너지 생산량은 전체 에너지 생산량의 4.2%의 비중을 차지하고 있고, [표 3-1]을 보면 신재생 에너지 생산량 중 해양 신재생 에너지의 비중은 1% 남짓에 불과하다.

[표 3-1] 국내 신재생 에너지 생산량 현황 (통계청, 2021)

에너지원별 분류	생산량 (천 TOE)	에너지원별 비중(%)
태양열	26.4	0.21
태양광	4,156.0	33.62
풍력	671.1	5.43
수력	826.3	6.68
해양	97.4	0.79
지열	241.0	1.95
수열	21.3	0.17
바이오	3,899.2	31.54
재생 폐기물	1,166.0	9.43
연료전지	750.8	6.07
IGCC	506.4	4.10
총계	12,361.8	100

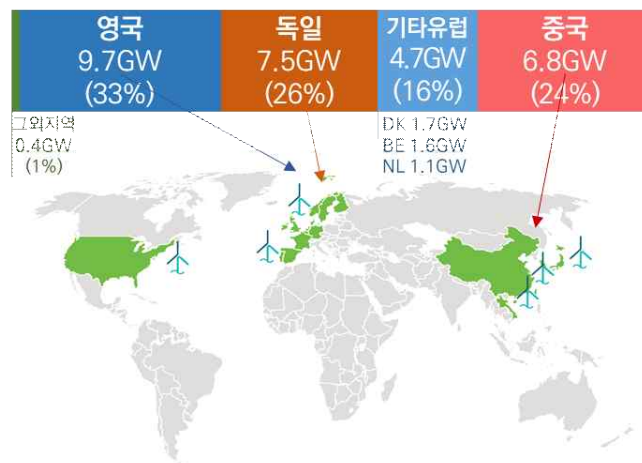
2) 해상풍력발전

□ 해상풍력발전 설치현황



[그림 3-1] 전 세계 해상풍력 누적 설치량('09~'19) (REN21, 2020)

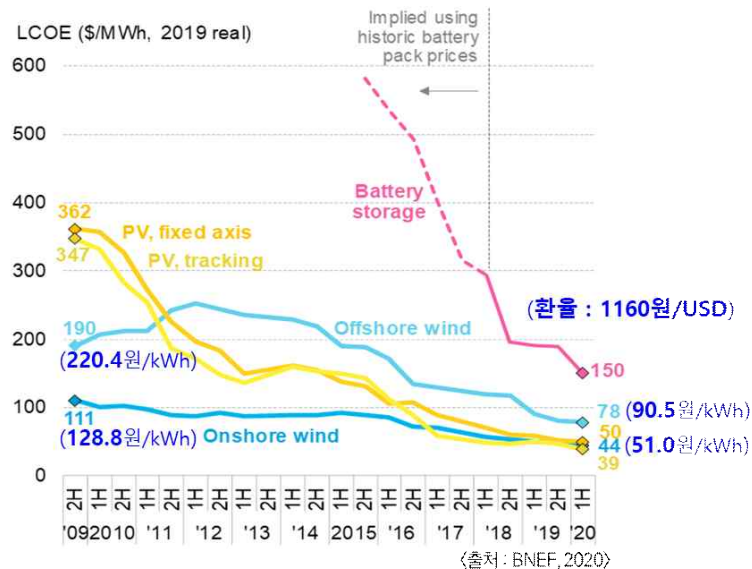
[그림 3-1]을 보면, 전 세계적으로 해상풍력 설치량이 기하급수적으로 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 현재 국가별 해상풍력 설치량은 유럽이 가장 많은데, 2050년까지의 전망을 보면 중국이 북미나 유럽보다도 더 대규모의 해상풍력단지를 설치할 것으로 예상된다. [그림 3-2]의 국가별 해상풍력 설치량을 보면 유럽에서도 영국이 가장 많다. 영국은 최근 GW급 해상풍력단지를 조성하면서 총 9.7GW(2019년 기준)의 해상풍력 발전용량을 확보하였고, 다음으로 독일이 7.5GW로 그 뒤를 잇고 있다. 유럽의 기타 국가를 합친 용량은 4.7 GW이다. 한편, 대만 해역의 풍력 자원이 굉장히 좋기 때문에 추후 중국을 포함한 아시아에서도 해상풍력단지 설치량이 크게 증가할 것으로 예상된다.



[그림 3-2] 국가별 해상풍력 설치량 ('19) (GWEC, 2020)

□ 해상풍력발전 경제성

신재생 에너지의 경제성을 평가할 때는 LCOE(Levelized Cost Of Energy, 균등화 발전 원가)를 이용하여 평가한다. LCOE는 전체 사업 동안 얻을 수 있는 발전량, 수익 대비 투입된 총비용의 비율이다. 즉 전기를 1kWh 생산하는 데에 얼마가 투입되었는지를 뜻하며, LCOE가 낮을수록 경제성이 좋다고 평가한다.



[그림 3-3] 전 세계 풍력·태양광·배터리 저장 LCOE 변화 추이 (BNEF, 2020)

[그림 3-3]을 보면, 육상풍력(Onshore wind), 해상풍력(Offshore wind), 태양광(PV) 발전의 전 세계 LCOE가 10년간 꾸준히 감소하는 것을 볼 수 있다. 특히 육상풍력의 경우 유럽에서는 오히려 기존 화력발전보다 더 좋은 경제성을 보이고 있다.

그러나 위 전 세계 LCOE 변화 추이는 국가별 가중치가 반영된 수치로, 유럽의 LCOE가 많이 반영된 값이다. [그림 3-4]를 보면 국내와 해외의 해상풍력 LCOE 차이를 극명하게 볼 수 있다.



[그림 3-4] 국내외 육상·해상풍력 LCOE 비교 (해외: BNEF, 2020 / 국내: 에너지경제연구원, 2020)

국내 해상풍력 사업 실적이 아직 없어 제주 탐라 해상풍력 실증단지 자료를 기반으로 적정 전력판매단가를 계산한 결과, 에너지경제연구원에서 제시한 적정 원가는 280원/kWh이다. 이는 유럽에 비해 거의 3배 이상높은 수준이며, 국내 해상풍력이 현재 경제성이 매우 낮은 상태임을 뜻한다.

LCOE를 낮추기 위해서는 발전량이 많거나 투자 비용이 적어야 하는데, 우리나라는 유럽보다 풍력 자원이 좋지 않아 발전량이 적고, 아직 유럽에 비해 시장 규모나 사업 인프라가 잘 갖춰지지 않아 단가나 기기 설비 등이 좋지 않기 때문에 LCOE가 해외보다 높게 산정되었다. 그러나 해상풍력은 다른 신재생 에너지원에 비해 자원량이 풍부하므로 터빈 단가 등이 감소한다면 LCOE가 감소할 수 있고, 앞으로의 전력 수요를 감당할 만큼의 대규모 재생 에너지 전력개발을 위해서는 해상풍력에 집중해야 하므로 지속적인 해상풍력 개발연구가 필요하다.

□ 국내 해상풍력발전 개발 현황 및 연구 현안

우리나라 또한 해상풍력 연구를 10년간 진행해 오고 있으나, 실적은 아직 저조하다. 현재 국내 해상풍력 설치 용량은 135MW이지만, 거의 갯벌 또는 연안 지역에 가까운 곳에 해상풍력발전단지가 설치된 곳도 있으며, 상업단지보다는 실증단지 수준의 해상풍력단지가 더 많은 상황이다.

그러나 최근 군산 해상풍력단지에 4.2MW 해상풍력 터빈이 설치되었고, 서남해 실증단지가 해상변전소 연계형 단지로 설계되는 등 꾸준히 연구를 지속해오고 있으며, 400MW 규모의 영광 낙월 해상풍력발전단지와 100MW 규모의 제주 한림 해상풍력발전단지도 곧 착공 예정이어서, 해상풍력발전단지의 규모가 크게 증가할 것으로 예상된다. 현재 국내에 설치된 해상풍력발전단지(일부)는 아래 [그림 3-5]과 같다.



[그림 3-5] 국내 설치된 해상풍력발전단지 (김지영, 2021)

국내 해상풍력 상용화가 더딘 이유는 주변 지역 주민과의 마찰, 해상교통·어업 지역 충돌, 인프라 부족으로 인한 것으로, 특히 국가 차원에서는 배후항만과 설치 선박 등 인프라 문제를 해결하는 것을 고려해야 한다.

현재 해상풍력의 선두주자인 유럽은 해상풍력 전용 설치 선박이 있어 대규모의 해상풍력 단지를 빠르게 건설하고 있다. 해상풍력 전용 설치 선박은 작업 바지선에 크레인이 일체형으로 되어있어 모든 터빈 요소 및 부품을 다 싣고 운송과 설치를 동시에 할 수 있다. 해상

풍력 전용 설치 선박을 국내 조선사가 제작하여 납품했음에도 불구하고, 정작 국내에는 이러한 선박이 없는 실정이다. 따라서 향후 대규모 해상풍력단지 개발을 위해서는 국내에서도 전용 설치 선박 확보에 힘써야 한다.

다음으로 대규모 물류를 감당하기 위한 배후항만을 건설해야 하는데, 이 경우 해상풍력 전용 배후항만을 마련하거나, 기존 항만을 보완하려는 노력이 필요하다. 배후항만은 해상풍력발전기 부품 제작, 설치 및 수리를 위한 생산 기지항, 설치 기지항, 수리 기지항으로 구성된다. 또한, 전력공급변전소 및 작업자 활동 공간 등의 확보가 필요하다(해사신문, 2012). 일례로 일본 키타큐슈 시의 히비키 항만의 경우 배후항만으로 육성하기 위해 2010년부터 해상풍력발전기의 거점, 수출입 거점, 산업 거점의 역할을 할 수 있는 클러스터 구축에 힘썼고, 아래 [그림 3-6]과 같이 400톤 이상의 풍력 터빈 부품을 적하하고 실증시험까지 할 수 있는 배후항만을 계획하였다.

따라서 해상풍력발전 확대를 위해서는 터빈 기술 개발 뿐만 아니라 설치 인프라에 관한 연구 진행, 정책 제정이 필요하다.



[그림 3-6] 히비키 항만의 해상풍력발전 및 클러스터 거점 구축도 (KMI, 2019)

3) 조력발전

□ 조력발전 설치현황

해수 표면은 달과 태양이 지구를 끌어당기는 힘과 지구의 공전과 자전으로 인한 원심력의 상호작용으로 인해 하루에 2회 밀물과 썰물 현상이 나타나는데, 이를 이용하여 전기를 생산하는 방법이 조력발전이다. 이러한 조수 간만의 차를 이용하여 발전하려면 조차가 적어도 5m 이상이어야 하는데, 지구상에 이러한 크기의 조차 조건을 만족하는 곳은 40개 지역뿐이다(윤천석 외, 2021). 따라서 전 세계적으로도 조력발전소는 그 기술의 성숙도에 비해 설치된 사례가 적다.

[표 3-2] 세계 조력발전소 현황

발전소명	시화 (한국)	랑스 (프랑스)	아나폴리스 (캐나다)	지앙시아 (중국)	키스라야구바 (러시아)
시설용량	254MW	240MW	20MW	3MW	0.4MW
준공연도	2011년	1967년	1986년	1980년	1968년
발전방식	단류식	복류식	단류식	복류식	복류식

우리나라 서해안의 경우 조석 간만의 차가 큰 대표적인 지역으로, K-water(한국수자원공사)에서 건설한 시화호 조력발전소의 경우 세계최대 규모를 자랑한다. 시화호 조력발전소는 밀물 때 낙차를 이용한 발전방식인 단류식 창조 발전을 사용하고, 연간 발전량이 552 GWh에 달해 시화호를 둘러싸고 있는 시흥, 안산, 화성에 효과적으로 전력을 공급하고, 주변 생태계를 회복시키는 역할을 하고 있다.

☐ 조력발전 경제성

시화호 조력발전소의 발전단가는 약 67.3원/kWh로(조영범, 2010), 원자력발전을 제외한 신재생 에너지 중에 가장 좋은 경제성을 보인다. 시화호의 평균 조차는 5.6m, 최대 조차는 7.8m로 충분한 발전용량을 확보할 수 있어, 프랑스의 랑스 조력발전소와 함께 세계 조력발전소 발전용량의 90% 이상을 차지한다(REN21, 2020). 현재 시화호 조력발전소의 발전량은 시화, 시흥, 안산공단에서 사용하는 전기의 10%를 공급할 수 있는 정도로, 발전용량뿐만 아니라 발전량도 그 규모가 상당히 큰 편이다.



[그림 3-7] 시화 신재생 에너지 클러스터 조감도 및 시설 위치 (이성훈, 2021)

또한, 시화호 조력발전소의 경우 조력발전소뿐만 아니라 시화호를 중심으로 신재생 에너지

지 클러스터를 조성하고자 하는 움직임이 있다. [그림 3-7]을 보면, 시화호 조력발전소와 함께 방아머리 풍력발전소, 방아머리 태양광발전소, 해상태양광 R&D, 환경에너지 센터 등이 시화호 주변 지역에 도입되었으며, 향후 중단기 과제로 수소 실증센터, 해수열발전소, 연료 전지 및 바이오매스 발전소 등 시화호 주변 잠재자원을 활용해 신재생 에너지를 개발하려는 계획이 있다. 이러한 신재생 에너지 클러스터는 시화호 주변 기업들이 제품을 생산할 때 신재생 에너지를 더 적극 활용할 수 있도록 해주고, 이를 통해 RE100 제도의 혜택을 받는 등 경제적 이익을 실현할 수 있는 발판을 마련해주는 역할을 한다.

□ 국내 조력발전 개발 현황 및 연구 현안

우리나라 서해안 중부, 경기만 해역은 조차가 크고, 해안이 잘 발달하여 조력 자원이 매우 풍부하다. 서해안 조력발전 구상은 1929년 일제강점기 시기부터 시작되었을 정도로 오랫동안 조사사업이 시행되었으며, 2006년에 실시한 ‘한반도 조력자원 부존량 조사’에서는 북한 해주만의 발전용량이 제일 큰 것으로 나타났다. 아래 [표 3-3]는 2006년 당시 우리나라 조력발전 개발 가능량을 조사한 결과표이다.

[표 3-3] 우리나라 조력발전 개발 가능량 (이광수 & 박진순, 2012)

구분	발전용량(MW)	발전량(MWh)	유류 대체효과(Bbl)	CO2 저감효과(톤)
시화호	254	552,700	810,258	232,245
가로림	520	950,532	1,393,480	399,414
인천(중규모)	1,320	2,414,000	3,538,924	1,014,363
강화(대규모)	840	1,556,000	2,281,096	653,831
새만금	400	687,000	1,007,142	288,677
천수만	720	1,206,000	1,767,996	506,761
해주만	2,300	2,999,000	4,396,534	1,260,180
합계	6,354	10,365,232	15,195,430	4,355,471

그러나 이러한 개발 가능성에도 불구하고, 환경영향평가 및 지역 주민 반대 등으로 인해 조력발전소 건설은 쉽지 않다. 예를 들어, 2007년부터 추진된 가로림 조력발전소의 경우 초기 미흡한 환경영향평가가서 작성과 조력발전소 건설 반대 견해 주민들과의 이견 조율 실패로 결국 사업이 백지화되었다.

조력발전 기술은 이미 상용화 단계를 넘어섰기 때문에 기술개발이 시급한 상황은 아니다. 물론 터빈의 배치 방식에 따른 발전 효율 최적화, 통합관리시스템 등의 연구 현안은 남아있으나, 해상풍력발전과 같이 상용화를 위한 터빈 개발 및 시공 기술 발전이 필요한 실정은 아니다. 따라서 조력발전에 관한 연구 현안은 오히려 사전에 세밀한 환경영향평가, 지역 주민과의 이해관계 조율일 것이다. 갯벌 및 연안 보전에 따른 경제성 평가와 조력발전소 건설

에 따른 경제성 평가를 동시에 진행해야 하며, 기존에는 찬성 측 주민의 지지만으로 사업을 이끌어갔다면 이제는 반대 측 주민에 대한 적절한 보상을 고려하고, 완공 후에도 지속적으로 환경·주민 심리 영향을 추적해야 한다.

4. 북한과의 해양 신재생 에너지 협력 기대효과

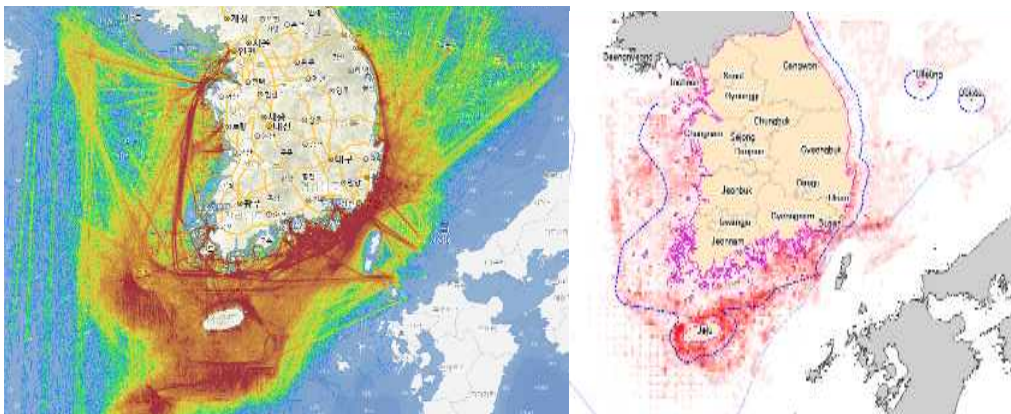
가. 북한에의 해양 신재생 에너지 도입 시 이점

1) 남한 측 이점

□ 북한 해역을 이용한 해양 신재생 에너지 실험장 및 상업단지 개발

앞선 장에서 언급하였듯이, 현재 전 세계 해양 신재생 에너지 시장은 아직 발전 단계이므로 우리나라가 충분히 선두주자로 나아갈 수 있음에도 불구하고, 여러 정책 규제나 지역 주민들의 반대, 관련자들의 이해관계로 인해 해양 신재생 에너지 기술개발은 여러 난관을 겪고 있다.

아래 [그림 4-1]을 보면, 우리나라 해역은 이미 대부분 어업 활동과 선박 항로로 사용되고 있고, 여기에 군 사격훈련구역을 포함하면 해양 신재생 에너지 기술을 시험할 수 있는 실증단지나 상용화할 수 있는 부지는 거의 찾기 힘든 실정이다.



[그림 4-1] (좌) 선박 통합 밀집도, (우) 어업 활동 밀집도 (김지영, 2021)

그러나 해양 신재생 에너지 개발과정에서는 해양 환경에서 발전 시스템이 원활하게 적용될 것인지 실험장에서 검증하고 평가하는 단계를 반드시 거쳐야 하고(신승호, 2013), 해양 에너지 개발을 선도하는 EU는 이미 8개의 실험장 실증시험장을 운용하면서 아직 완전한 상용화가 이루어지지 않은 조류 및 파력발전장치의 성능평가도 진행 중이다.

특히 남한은 기술적 문제보다도 지역 주민의 반대로 실험장 시험장을 구축하지 못하는 문제가 있는데, 만약 상대적으로 어업 활동량이나 항로 이용률이 적은 북한의 해역을 해양 신재생 에너지 개발의 실험장 시험장으로 활용할 수 있다면 이러한 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

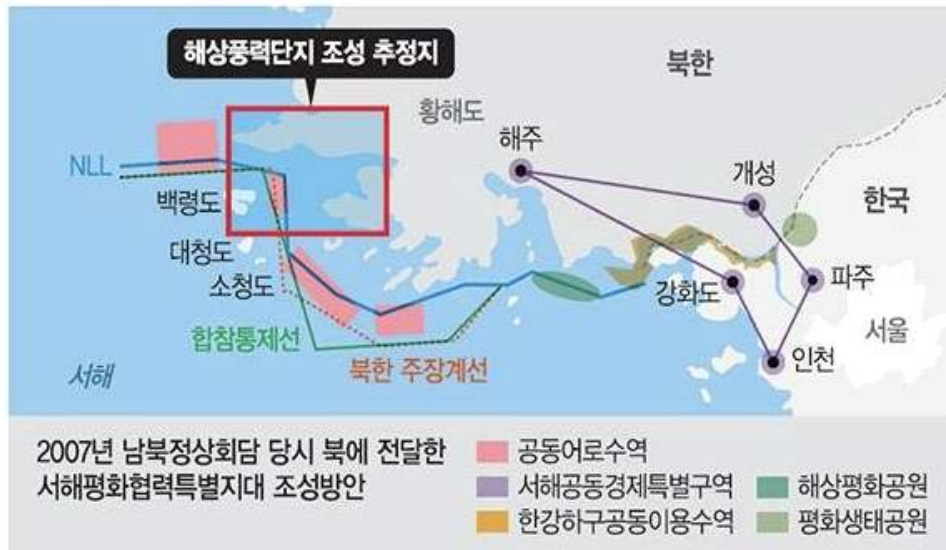
한편, 남한의 이익을 위해 북한 주민의 어업 활동을 침해하는 것에 대한 우려가 있을 수 있다. 그러나 이는 북한의 수산업 현황을 보면 크게 우려하지 않아도 된다. 북한의 해안은 동해와 서해가 완전히 분리되어 두 해안의 수산업 현황이 매우 다른데, 우선 동해는 난류와 한류가 연주 교차하면서 다양한 어종이 서식하고, 40개의 양식장이 분포할 만큼 어업 활동

이 활발하다. 2020년에는 강원도에 어업을 장려하기 위한 ‘강원도수산물사업소’등을 건설하는 등 어선 제작과 수산물 생산을 위해 노력하고 있다(진희권, 2020). 그러나 서해는 조석간만의 차가 최대 10m에 이를 정도로 크고, 지역에 따라 시속 6노트 이상의 빠른 조류가 형성 되서 어군이 형성되기가 어려운 지역이다(좌민석, 2018). 다만 서해는 내수면 양식 산업이 활발한데(진희권, 2021), 내수면 양어장은 담수에서부터 기수역까지만 활용하므로 해상풍력 단지 도입 등에는 영향을 미치지 않으리라고 전망된다.

□ 서해안 NLL 일대 해상풍력단지 조성을 통한 중국 어선의 불법 어획 방지

2007년 남북정상회담 당시 논의한 서해평화협력특별지대 조성방안에는 NLL 일대에 해상 풍력단지를 조성하는 안이 포함되어 있었다([그림 4-2]).

서해 북방한계선(NLL) 일대 해상풍력단지 조성 추정지



[그림 4-2] 서해 북방한계선(NLL) 일대 해상풍력단지 조성 추정지 (정지우, 2018)

서해 NLL 일대에 해상풍력발전단지를 조성하면 일차적으로는 우리나라 정부의 ‘재생에너지 3020 이행계획’이 실현 가능해지고, 청정개발체제(CDM)를 통한 탄소배출권 거래를 통해 외화를 획득할 수 있다는 장점이 있다. 그런데 이러한 이점 외에도, 해상풍력단지를 조성함으로써 최근 연평도 근처 어민들의 생업을 위협한 중국 어선의 무분별한 불법어획을 막는 역할도 기대할 수 있다(정지우, 2018). 아울러 해상풍력단지를 통해 생산한 전기를 이용해 남북 공동 관리하에 해상 파시(波市)를 조성해 남북 간 교역을 가능케 하고, 중국어선을 차단한다면 그동안 중국 어선이 북한에 입어료를 내고 조업하는 만큼의 소득을 해상 파시로 해결하는 방안도 가능하다(김갑봉, 2018).

□ 신재생 에너지를 활용한 제2의 개성공단 조성

2016년 초 결의된 UN 안보리 제재로 인해 2016년 2월부터 개성공단이 폐쇄되었다. 김정은 위원장은 2019년 1월 1일 신년사에서 개성공단 재개 용의를 밝혔고, 이에 대해 개성공단기업비상대책위원회에 소속된 개성공단 기업인들은 환영의 태도를 밝혔다(김연숙, 2019). 2019년 중반 미 하원 아시아태평양소위원회에서 열린 토의가 “완화된 비핵화”를 전제로 하는 개성공단 재개로 결론이 나면서 아직 개성공단 재개는 어려운 상황이지만, 개성공단이 남한 산업체 발전에도 큰 도움이 된다는 것을 알 수 있는 사건이었다.

개성공단은 남측의 자본과 기술, 북측의 자원과 노동력을 결합해 한반도 긴장 완화와 평화 분위기 조성에 기여하고, 북한이 시장경제를 학습할 수 있도록 하는 발판을 만들어주었다. 만약 앞 장에서 언급한 해주 지역에 신재생 에너지를 이용해 전력을 공급하고, 제2의 개성공단과 같은 역할을 부여한다면 탄소 배출량 저감뿐만 아니라 통일 비용을 절감하는 효과를 거둘 수 있을 것이다.

□ 서해안 연결을 통한 동북아 산업 클러스터 기대



[그림 4-3] 한반도 3대 경제벨트 (통일부, 2019)

통일부에서 2019년에 발간한 자료에서는 [그림 4-3]과 같이 한반도의 큰 3개의 축을 이어 북핵 문제를 해결하고, 지속 가능한 남북관계를 발전시키는 한편 한반도 신경제공동체를 구현하고자 하는 안이 제시되었다. 이중 환서해 경제벨트는 수도권과 개성, 해주, 평양, 남포, 신의주, 중국을 연결하는 교통·물류·산업 벨트로서, 향후 동북아 산업 클러스터로 성장 가능성이 큰 지역이다.

서해안 해양 신재생 에너지 발전단지를 조성해 해주 지역을 개발하고, 이를 바탕으로 해주항을 산업 클러스터의 거점항만으로 발전시키는 등, 에너지 연결을 통해 우리나라 물류가 더욱 확장될 수 있는 방안을 마련할 수 있을 것이다.

2) 북한 측 이점

□ 남한과의 기술 협력을 통한 해상풍력자원량 조사 및 발전단지 건설

[그림 4-1]을 보면, 북한은 2024년까지 풍력 에너지 생산량 예측 시스템을 개발하여 지역별 풍력 자원을 평가하고, 자원 개발 방향을 결정하는 것을 1단계 목표로 삼고 있고, 이를 바탕으로 해상풍력자원도를 작성하는 것을 2단계 목표로 삼고 있다. 그러나 북한의 기반 기술은 아직 미미해 이를 실현하기에는 어려움이 있다. 따라서 국내 풍력자원지도 제작 기술(풍력자원 평가 기술)과 검증 기술을 협력하면 북한 당국이 세운 재생에너지 발전 계획은 이행하기가 원활해질 것이다.

	2014년	2024년	2034년	2044년
풍력	중, 대형 풍력발전기 제작기술 생산량 예측 체계	해상풍력자원도 작성 대용량 풍력발전소	10MW이상 급 풍력발전	전력수요의 15% 보장
지열	열펌프기술 전력생산공정 수립	고온암체탐사 및 리용기술	대규모 고온지열발전	지열에너지가 온 나라에 넘쳐나게
태양에너지	태양열 직접리용, 축열 및 열수송기술 태양열발전, 빛전지효율 제고	태양에너지 발전소	태양에너지 발전소 확대 도입	우주태양빛 발전소
생물에너지	에너지작물의 육종과 재배 에너지 전환기술개발	생물에너지 전환기술 성숙	생물에너지 생산공급	생물에너지의 광범한 리용
매단수화물	매단수화물 탐사 및 자원분포도 작성	매단수화물 시험채취 공정설계	환경평가 감시조종체계	매단수화물 채취리용
수소에너지	수소제조공정확립 및 효율제고	수소저장 및 운반기술 개발	고성능 수소연료전지 하부구조 구축	수소에너지 전면적 리용
자연에너지 주력구역 형성	자연에너지 자립주력기술 도시폐열 리용	자연에너지 주력구역 형성	탄소 링인 도시 실현	자립주력의 전국적 도입
자연에너지 하부구조	분산전원체계기술 및 보호기술	독립형과 계통연결형 발전 관리체계 형성	지능에너지 및 전력 공급함 도입	자연 에너지 리용체계 구축
공동연구, 협동연구 강화	생물, 기계, 화학, 재료, 열공학, 지구물리와 협동 연구	성능제고, 원가저하	새로운 에너지 기술 개발	
사회적 인식	전체 인민이 자연에너지 중요성 인식		에너지에 의한 발전능력 500만 kW	

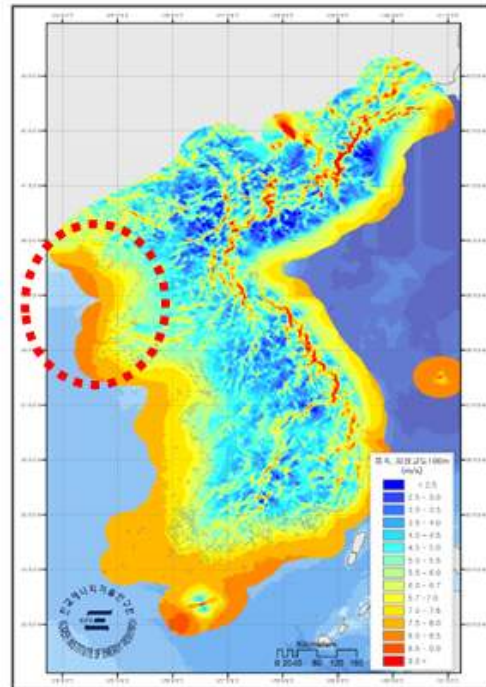
[그림 4-4] 북한 재생에너지 발전 계획도 (빙현지, & 이석기, 2017)

현재 우리나라에서는 아래 [그림 4-5]와 같이 한국에너지기술연구원(KIER)의 신재생에너지지도센터에서 지속적으로 1km 공간 해상도의 한반도 전체(북한 포함) 바람지도를 만들고 있으며, 국립기상과학원(NIMS) 또한 최근 해상을 포함하여 100m 공간 해상도 바람 지도를 구축한 바가 있다. 이러한 국내 연구진들의 전문성이 북한 당국이 원하는 해상풍력자원도 제작에 도움이 될 것으로 예상된다.

또한, 국내에서 서남해 실증사업에 사용하기 위해 2010년에 건설한 해상 기상탑 해모수 1호와 같은 기상탑을 건설하거나, 윈드 라이다(wind LiDAR)를 설치해 제작한 해상풍력자원도를 검증할 수도 있으며, 이를 해상풍력단지 설계에 사용하면 더 경제성 있는 발전단지 건설이 가능하다.

또한 국내 시공사가 갖고 있는 해상풍력 지지구조 시공기술을 활용한다면 북한이 갖고 있는 기술적 한계를 남북 기술협력을 통해 해결할 수 있다. 현재 고정식 해상풍력의 경우 현

대스틸산업 등의 기업은 자켓식 지지구조 시공기술을 보유하고 있으며, 전력연구원에서는 석션버켓 지지구조 시공기술을 현장에 적용하고 있다.



[그림 4-5] KIER 바람지도

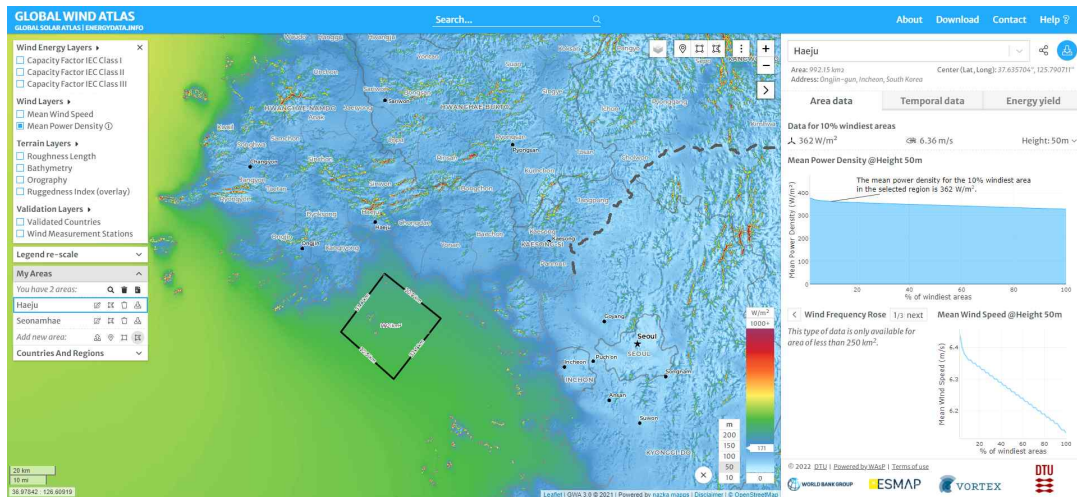
□ 경제발전에 필요한 전력 수급

북한이 현재 경제난을 타개하고, 주민의 생활을 안정화하기 위해서는 무엇보다도 충분한 전력을 수급하는 것이 중요하다. 이런 상황에서 이미 노후화가 심각한 기존 화력발전소 또는 수력발전소를 개보수하는 것은 효율성이 떨어지고, 추가로 건설하는 것 또한 탄소 배출량 저감이라는 전 세계적 기조에 맞지 않는다. 따라서 본 연구에서 지속적으로 강조하였듯이, 해주 등 서해안 거점도시를 발전시키기 위해 해양 신재생 에너지를 도입할 필요가 있다.

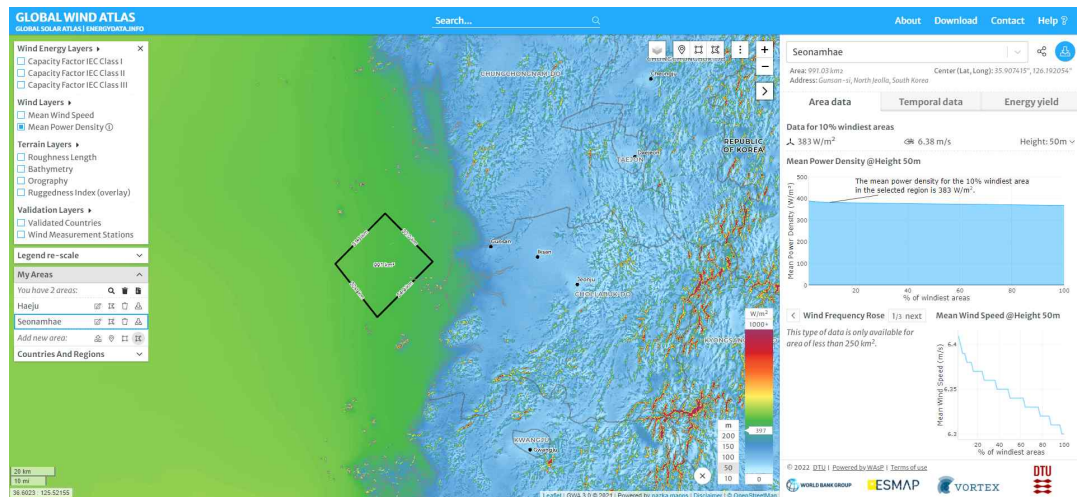
아래 [그림 4-6], [그림 4-7]은 각각 해주만과 서남해 해상풍력실증단지 근처의 50m 고도 해상풍력밀도를 대략적으로 분석한 결과이다. 두 곳 모두 약 1000km²의 동일면적에 대해 해상풍력밀도 상위 10% 값을 비교한 결과, 해주만에서는 362W/m², 서남해 해상풍력실증단지 근처에서는 383W/m²로 거의 동일한 풍력밀도를 갖는 것으로 분석되었다.

현재 서남해 해상풍력실증단지가 60MW의 발전용량을 갖고 있으므로, 만약 해주만에 서남해 해상풍력실증단지과 비슷한 규모의 해상풍력발전단지를 건설하기만 해도 현재 해주 근처의 예성강청년1~6호 수력발전소의 발전용량인 40MW보다 더 큰 발전용량을 기대할 수 있을 것이다. 본 결과는 Global Wind Atlas에서 제공하는 해상풍력밀도 분석 사이트를 이용해 개략적으로 추산한 결과이므로 차후 더 세밀한 격자 크기를 갖는 해상풍력자원지도를 바탕으로 발전용량을 산정할 필요가 있다.

아울러 [표 3-3]에서 보인 것과 같이 해주만의 조력 잠재발전용량은 2,300MW이므로, 해상풍력발전단지가 아니더라도 조력발전단지만으로 현재 시화호 조력발전단지에 상응하거나 더 큰 발전용량을 기대할 수 있다.



[그림 4-6] 해주만 50m 고도 해상풍력밀도 (Global Wind Atlas, 2021)



[그림 4-7] 서남해 해상풍력실증단지 근처 50m 고도 해상풍력밀도 (Global Wind Atlas, 2021)

□ 국제적 고립상황 탈피

북한이 이번 VNR 보고서에서 밝혔듯이, 북한은 3중고(대북제재 장기화, 코로나 19, 자연 재해)를 극복하고, 에너지 부족을 해결하기 위해 신재생 에너지 분야 협력을 적극적으로 발표하면서 전 세계적인 탄소중립 기조에 동참하려는 모습을 보이고 있다. 이렇듯 국제사회에 협력하고, SDGs 이행을 위한 노력이 지속된다면 UN 안보리 제재 해제에 도움이 될 것이다.

아직 북한 비핵화와 대북제재 해제 간 선후 관계에 관한 논란은 이어지고 있다. 그러나

개성공단 북한 노동자 생활고 지속, 지속된 대북제재로 인한 중국 의존도 증가, 남한 기업들의 손해 등의 이유로 미국으로부터 완화된 비핵화에 한해 개성공단 재개를 약속받는 등 소기의 성과를 얻은 바가 있다(황준범, 2019). 즉, 완전한 대북제재 해제까지는 아니더라도, 북한 주민 인권 문제와 중국 의존도 심화 문제를 해결할 수 있는 방안이 있다면 완화된 제재를 기대할 수 있는 것이다. 따라서 현재 전력을 중국에게 의존하고 있는 북한의 상황과 산업 악화로 인해 계속해서 경제난을 겪고 있는 북한 주민 문제를 해결하기 위한 방안으로서 해양 신재생 에너지 도입을 제시한다면 북한이 국제적 고립상황에서 탈피하는 데에도 긍정적인 영향을 미칠 수 있을 것이다.

5. 결론

가. 북한 해양 신재생 에너지 개발을 위한 연구 현안 및 정책 방향 제시

위의 연구 내용을 종합하여 판단하였을 때, 북한 해양 신재생 에너지 개발을 위해 필요한 연구 현안 및 정책 방향을 아래와 같이 정리할 수 있다.

- 해주와 같은 개발잠재력이 높은 도시에 대해 정량적인 에너지 수요량을 파악하는 연구를 진행하여 적절한 형태와 규모의 해양 신재생 에너지 발전단지를 계획하는 것이 중요하다.
- 북한에 해상풍력발전터빈, 조력발전터빈, 해상풍력 전용 설치 선박 제작 등 기술적으로 지원해주는 방안과 현지 여건에 적합한 형태의 시공기술을 적용하기 위한 연구를 진행한다.
- 해양 신재생 에너지 발전을 통해 생산된 전력을 활용하여 탄소거래권 판매 시 얻을 수 있는 경제적 이익을 정량적으로 분석하는 경구를 진행한다.
- 정밀한 해상풍력자원 검토, 조력자원 검토를 위해 북한 당국과 풍력 밀도, 수심 등의 자료 조사 및 공유 방안을 정책적으로 모색한다.
- 해양 신재생 에너지 입지 결정을 위해 어업 활동 영역, 군 훈련 지역 등 민감한 정보 공유에 대해 완만한 협의가 이루어질 수 있도록 정책 방향을 모색한다.
- 북한과의 에너지 협력사업 혜택이 북한 정부 및 일부 관리자들에게 주어지기 보다는 북한 주민에게 돌아갈 수 있도록 협력 범위와 주민 보상안에 대한 정책을 마련한다.
- 북한 해양 신재생 에너지를 이용해 생산된 상품에 대해 세제 혜택 등 이점을 부여할 수 있는 정책을 마련한다.

6. 주요 사업 성과

가. 주요 행사 및 발간물

1) 「북한의 국토개발과 에너지 수급 동향」 세미나

□ 주제

- 북한의 에너지 수급 현황과 에너지 인프라 분석
- 북한의 주요 도시 및 산업 현황 분석
- 북한내 신재생 에너지 기술 도입 노력 현황 분석
- 에너지 공급 필요 지역 예측


□ 일시

- 2021년 06월 17일 목요일

□ 장소

- 서울대학교 35동 301호

□ 결과물

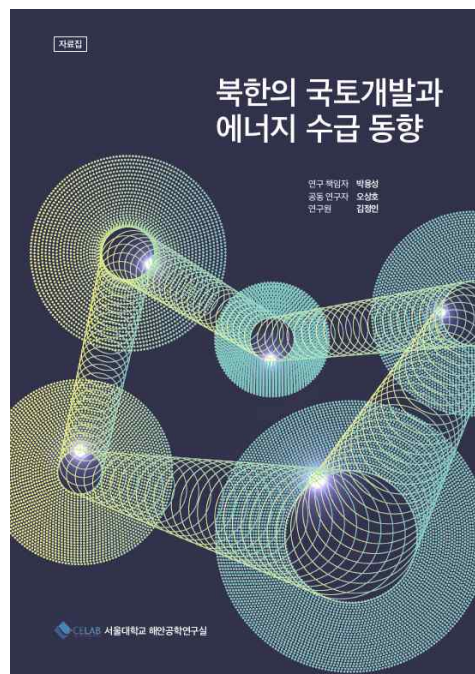


북한의 국토개발과 에너지 수급 동향

일시: 2021. 06. 17 목요일 14:00~17:00
장소: 서울대학교 35동 301호 교수 회의실

시간	발표 및 내용	발표자
14:00~14:05	개회사 및 참석자 소개	박용성 교수 서울대학교 건설환경공학부
14:05~14:25	북한 해양 신재생 에너지의 개발 전략 제안 연구 과제 소개	김정민 서울대학교 건설환경공학부
14:25~15:25	북한의 에너지 수급 현황과 에너지 인프라	신정수 연구위원 에너지경제연구원 에너지국제협력센터
15:25~15:35	휴식	
15:35~16:35	북한 서해안 축의 주요 도시 산업현황 및 북한 내 국토개발에서 첨단기술 도입 논의	김민아 부연구위원 국도연구원 한반도동아시아연구센터
16:35~16:55	종합토론	
16:55~17:00	폐회사	오상호 교수 한원대학교 토목환경화학공학과

본 행사는 2021년도 서울대학교 동원연구원의 재원으로 동원·평화기반구축사업의 지원을 받았음.
담당자 이메일: j0512@snu.ac.kr 문의 전화: 02-880-8385



[그림 6-1] (좌) 포스터, (우) 자료집

2) 「한반도 해양 신재생 에너지 현황과 전망」 심포지엄

□ 주제

- 현재 국내 해양 신재생 에너지 관련 기술 발전 정도 분석
- 국내 해상풍력 단지설계 및 시공 기술 현황 논의
- 융복합 해양 신재생 에너지 클러스터 개발 현황 분석
- 북한에의 해양 신재생 에너지 적용 실효성 논의

□ 일시

- 2021년 11월 12일 금요일

□ 장소

- 서울대학교 35동 223호

□ 결과물

**한반도
해양 신재생 에너지
현황과 전망**

일시: 2021.11.12 금요일 14:00~17:00
장소: 서울대학교 35동 223호 멀티미디어실

시간	발표 및 내용	발표자
14:00~14:10	개회사 및 참석자 소개	박용성 교수 서울대학교 건설환경공학부
14:10~14:30	북한 해양 신재생 에너지의 개발 전략 제언 연구 과제 소개 및 연구 현황 발표	김정인 연구원 서울대학교 건설환경공학부
14:30~15:00	국내 해상풍력 단지설계 및 시공 기술 현황	김지영 책임연구원 한국전력공사 전력연구원 신재생에너지연구팀
15:00~15:20	Coffee Break	
15:20~15:50	탄소중립실현을 위한 시화호 해양에너지 활용 융복합 신재생에너지 클러스터 개발 현황 및 계획	이성훈 차장 한국수자원공사
16:50~16:50	종합토론	
16:50~17:00	폐회사	오상호 교수 창원대학교 토목환경화학공학과

본 행사는 2021년도 서울대학교 통일평화연구원의 재원으로 통일·평화기반구축사업의 지원을 받았습니다.
담당자 이메일: jio512@snu.ac.kr 문의 전화: 02-880-8385

**한반도
해양 신재생 에너지
현황과 전망**

연구 책임자 박용성
공동 연구자 오상호
연구원 김정인

자료집

CELAB 서울대학교 해양공학연구소

[그림 6-2] (좌) 포스터, (우) 자료집(발간 예정)

3) 「통일 한반도 대비 북한 해양 신재생 에너지 개발전략」 단행본 (발간 예정)

7. 기대효과 및 향후 사업 수행 계획

가. 기대효과

□ 통일 한반도 대비 해양 신재생 에너지 관련 연구를 위한 발판 마련

본 연구에서는 통일을 대비하기 위한 정책 및 연구 계획 시, 우선 고려해야 하는 탄소 중립을 가능케 하는 해양 신재생 에너지 연구 방향에 대한 기초를 마련하였다. 이를 통해 기존에 통일 문제를 연구하는 전문가뿐만 아니라, 통일 문제에 관해 상대적으로 관심이 적은 해안공학과 해양 신재생 에너지를 연구하는 공학자들에게 통일 전 에너지 공급 문제 해결이라는 연구 현안에 대해 관심을 가지게 하는 긍정적 효과를 불러일으켰다. 본 연구를 바탕으로 추후 남북 해양 신재생 에너지 협력 정책·연구에서 공학적으로 고려할 사항에 대한 보다 구체적인 연구가 수행될 수 있을 것이다.

나. 향후 사업 수행 계획

2021년도(1차년도)에는 연구 초기단계로서 북한의 에너지 상황과 해양 신재생 에너지 관련 기술에 대해 전반적인 조사 및 분석을 진행하였다. 1차년도에는 연구 기간과 연구비의 한계로 인해 주로 개략적인 전망만을 제시하였으나, 향후 연구를 지속하게 될 경우 북한의 일정 수준 발전 목표 달성을 위한 에너지 수요량 분석, 해양 신재생 에너지원의 밀도 분석, 적절한 해양 신재생 에너지 발전소 형태 등 공학적으로 더욱 심도 있는 연구를 기대할 수 있을 것이다.

[참고문헌]

□ 논문, 보고서 및 서적

- 국토교통부 국토지리정보원. (2020). 청소년을 위한 대한민국 국가지도집 [E-book]. 진한엠앤비.
- 빙현지, & 이석기. (2017). 북한 재생에너지 현황과 시사점. 산업연구원.
- 신승호. (2013). 해양에너지 기술개발의 필수 관문, 실해역 시험 - 파력발전 실증 시험장의 현황과 문제, 개발방향. *해안과 해양 : 한국해안·해양공학회지*. 6(1). 20-35.
- 윤인주, 허재영, & 진희권. (2019, November). 북한 서해 해양관광 활성화 방안 (2019-07호). 한국해양수산개발원.
- 윤천석, 윤하윤, & 윤정윤. (2021). 신재생 에너지 (개정판 3판). 인피니티북스.
- 이광수, & 박진순. (2012). 우리나라 조력발전 현황과 전망. *해안과 해양 : 한국해안·해양공학회지*, 5(2), 29-47.
- 이명환, 정군오, 임응순. (2012). 중국의 전력소비와 경제성장의 인과관계 분석. *한국산학기술학회논문지*. 제13권. 제10호.
- 이상준 외. (2008). 한반도 공동번영을 위한 국토분야의 대응방안. 국토연구원.
- 에너지경제연구원. (2019). 북한지역 에너지 자립도 향상을 위한 남북 신재생에너지 협력방안 수립에 관한 연구. 산업통상자원부.
- 에너지경제연구원. (2020). 신재생에너지 공급비용 가격전망 분석연구. (as cited in 박윤석 (2020). 풍력 · 태양광 LCOE 산정 나선 발전공기업, 왜? : 고정가격 낮추기 · 국산 기자재 보급 의도_산업부 요구사항 연구용역 보고서에 담아. *Electric Power*. 14(7). 40-43.)
- 정형근. (2020). 독일 통일 30년: 경제통합의 성과와 과제. *KIEP 오늘의 세계경제*. Vol. 20. No. 23. 대외경제정책연구원.
- 조영범, 위정호, & 김정인. (2010). 조력에너지 기술 현황 및 경제성 분석. *에너지공학*, 19(2), 103-115.
- 조정환, 강만옥. (2012). 한국의 전력소비와 경제성장의 인과관계 분석. *자원·환경경제연구*. 제21권. 제3호.
- 좌민석. (2018). 북한 수산업의 실태와 제주·북한 수산분야 협력방안. *제주연구원 정책이슈브리프*, Vol. 295. 제주연구원
- 최성원. (2018). 4.27 판문점 선언 관련 교통부문 주요 이슈 분석. *동북아북한교통물류 이슈페이퍼*. (제 2018-10호). 한국교통연구원 동북아·북한연구센터.
- 통일부. (2019). 문재인외의 한반도정책 - 평화와 번영의 한반도. 통일부.
- IBK 기업은행 경제연구소. (2021, August). VNR 보고서를 통해 살펴본 북한의 SDGs 현황 (781호). *Weekly IBK 경제브리프*. <http://research.ibk.co.kr/research/board/economy-news/details/251517?url=L2JvYXJkL2Vjb25vbXktbmV3cy9saXN0>
- KDB 산업은행. (2015, November). 최근 북한의 수산업 동향과 정책 방향 연구 (720호). *KDB 조사월보*. Retrieved January 12, 2022, from https://rd.kdb.co.kr/FLPBFP02N01.act?_mnuld=FYERER0030.
- KMI. (2019, April 30). 해상풍력클러스터 조성을 위한 항만 및 배후단지 활용방안 연구. *KMI 현안연구*. (현안 2018-29). 한국해양수산개발원.

진희권. (2020, December 31). 2020년 북한 해양수산, 어선어업 감소하고 해운 증가. *KMI 북한해양수산리뷰*. Vol. 4. 한국해양수산개발원.

진희권. (2021, December 31). 2021년 북한 해양수산 동향. *KMI 북한해양수산리뷰*. Vol. 4. 한국해양수산개발원

BNEF. (2020, April 28). *Scale-up of Solar and Wind Puts Existing Coal, Gas at Risk* [Press release]. <https://about.bnef.com/blog/scale-up-of-solar-and-wind-puts-existing-coal-gas-at-risk/>.

GWEC. (2020). *Global Offshore Wind Report 2020*. Retrieved January 7, 2022, from <https://gwec.net/global-offshore-wind-report-2020/#report-overview>.

IRENA. (2020, December). *Innovation Outlook: Ocean Energy Technologies*. Retrieved January 12, 2022, from <https://www.irena.org/publications/2020/Dec/Innovation-Outlook-Ocean-Energy-Technologies>.

REN21. (2020). *Renewables 2020 Global Status Report*. <http://www.ren21.net/resources/publications/>.

The Government of the Democratic People's Republic of Korea. (2021, June). *Democratic People's Republic of Korea Voluntary National Review On the Implementation of the 2030 Agenda*. UN Department of Economic and Social Affairs - Sustainable Development.

□ 기사

김갑봉. (2018, July 16). 해상파시로 서해평화수역 만들고, 중국어선도 정리하고. 인천투데이. Retrieved January 10, 2022, from <https://www.incheontoday.com/news/articleView.html?idxno=111173>

김연숙. (2019, January 1). 개성공단 기업 “北김정은 개성공단 재개 확고한 의지 환영.” 연합뉴스. Retrieved January 13, 2022, from <https://www.yna.co.kr/view/AKR20190101055600030>

박대한. (2016, February 11). <개성공단 중단> 현대아산 자산 400억원 규모 손실 우려. 연합뉴스. Retrieved January 16, 2022, from <https://www.yna.co.kr/view/AKR20160211162900003>

정지우. (2018, May 3). NLL 평화해역으로 바꾸고.. 北은 전력난 해소 ‘일석이조.’ 파이낸셜뉴스. Retrieved January 16, 2022, from <https://www.fnnews.com/news/201805031732197880>

최준호. (2011, April 16). 5개 조력발전 완공 땀 고리원전 1호기보다 발전량 많다. 중앙선데이. Retrieved January 13, 2022, from <https://www.joongang.co.kr/article/5357912#home>

함지하. (2020, October 13). 북한 석탄 항구 움직임 둔화... 광산 침수 가능성. VOA. Retrieved January 10, 2022, from https://www.voakorea.com/a/korea-korea-politics_coal-mine-flooded/6044011.html

해사신문. (2012, July 10). 해상풍력과 지원항만(上). Retrieved January 16, 2022, from <http://www.haesanews.com/news/articleView.html?idxno=51716>

해양수산부. (2007, October 5). 서해 평화협력특별지대 어떻게 조성되나. 대한민국 정책브리핑. Retrieved January 13, 2022, from <https://www.korea.kr/special/policyFocusView.do?newsId=148637723&pkgId=49500294>

황준범. (2019, June 12). 미 하원 찾은 개성공단 기업인들 “바라던 정도는 아니지만 소기의 성과.” 한겨레. Retrieved January 16, 2022, from https://www.hani.co.kr/arti/international/international_general/897578.html

□ 웹사이트

관계부처 합동. (2021, October 18). 2050 탄소중립 시나리오안. Retrieved January 7, 2022, from <http://www.2050cnc.go.kr/base/board/read?boardManagementNo=4&boardNo=101&searchCategory=&page=1&searchType=&searchWord=&menuLevel=2&menuNo=15>.

서울대학교 통일평화연구원. (n.d.). 교류협력:통일기반구축사업. Retrieved January 19, 2022, from <https://ipus.snu.ac.kr/sun>

외교부. (n.d.). 외교정책: 환경: 기후변화환경: 기후변화협상. Retrieved January 14, 2022, from https://www.mofa.go.kr/www/wpge/m_20150/contents.do

EPSIS 전력통계정보시스템. (2020). 주요지표: 북한전력지표: 발전설비용량. Retrieved January 11, 2022, from <http://epsis.kpx.or.kr/epsisnew/selectEkesKenFcpChart.do?menuId=010501>

한국은행 경제통계국 국민소득총괄팀. (2021). 18.3.북한GDP 관련 통계. ECOS 한국은행 경제통계시스템. Retrieved January 13, 2022, from <https://ecos.bok.or.kr/>

한국에너지공단 신·재생에너지센터.(n.d.). 신·재생에너지소개: 해양. Retrieved January 12, 2022, from https://www.knrec.or.kr/energy/ocean_intro.aspx.

통계청. (2021). 신재생에너지 보급현황. e-나라지표. Retrieved January 12, 2022, from https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1171

통계청. (2021). 에너지 수급현황. e-나라지표. Retrieved January 19, 2022, from https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=2781

Global Wind Atlas. (2021). *Global Wind Atlas*. Retrieved November 12, 2021, from <https://globalwindatlas.info/>.

□ 기타 자료

김민아. (2021, June 17). 북한 서해안 축의 도시산업 현황과 개발방향 [Presentation]. 국토연구원. 북한의 국토개발과 에너지 수급 동향 세미나, Seoul, Republic of Korea.

김지영. (2021, November 12). 국내 해상풍력 단지설계 및 시공 기술 현황 [Presentation]. 한국전력공사 전력연구원. 한반도 해양 신재생 에너지 현황과 전망 심포지엄, Seoul, Republic of Korea.

박용성, 오상호, 김정인. (2021). 북한의 국토개발과 에너지 수급 동향 [Unpublished]. 서울대학교 해안공학연구실.

신정수. (2021, June 17). 최근 북한 에너지 부문 동향 [Presentation]. 에너지경제연구원. 북

- 한국의 국토개발과 에너지 수급 동향 세미나, Seoul, Republic of Korea.
- 이성훈. (2021, November 12). 탄소중립실현을 위한 시·화·수·복합 신재생에너지 클러스터 개발 현황 및 계획 [Presentation]. K-water. 한반도 해양 신재생 에너지 현황과 전망 심포지엄, Seoul, Republic of Korea.
- 장석환. (2021, October). 공유하천을 통한 남북 상생 [Slides]. 서울대학교 통일평화연구원. <https://ipus.snu.ac.kr/blog/archives/conference/5477>