

| GREEN ISSUE 2016-36 |

수변공간을 활용한 기후변화 적응 에너지 사업화 융합모델

박수진 부연구위원 | 2016 12월

Contents

1. 배경 및 필요성
2. 세계 재생에너지 현황 및 전망
3. 국내 재생에너지 자원 잠재량
4. 강원도의 재생에너지 자원 잠재량 및 현황
5. 수변공간을 활용한 재생에너지 사업화 모델



SUMMARY

수변공간을 활용한 기후변화 적응 에너지 사업화 융합모델

《 현안 및 배경

- 강원도는 RCP 8.5 기준 21세기 후반(2071년~2100년)강수량은 현재(2001년~2010년)1,491 mm 보다 약 302.4mm 증가한 1,793.3mm 발생 전망. 특히, 강원도의 고성, 속초, 양양, 강릉의 경우 21세기 중반에 이미 2,000 mm 이상 도달할 것으로 전망(기상청, 2012)
- 이에 기후변화에 대응한 강원도의 지형학적 및 기상학적 특성을 이용하여 수변공간을 활용한 재생에너지의 보급과 함께 친환경적 클린 에너지 생산으로 신재생에너지에 대한 인식 제고 및 주민 삶의 질 향상 기여
- 또한, 수변공간 활용의 융합모델을 통한 홍수기간의 지표수 관리로 재난/재해 피해 저감 및 갈수기 기간의 안정적 용수확보와 함께 수변공간의 친환경적 재생에너지 생산 모델 제시를 통한 주민의 환경 기피시설에 대한 인식제고 필요

《 주요내용

- 세계 재생에너지 현황 및 전망
- 국내 재생에너지 자원잠재량
- 강원도 재생에너지 자원잠재량 및 현황
- 강원도의 재생에너지 입지적 조건
- 수변공간을 활용한 재생에너지 사업화 모델

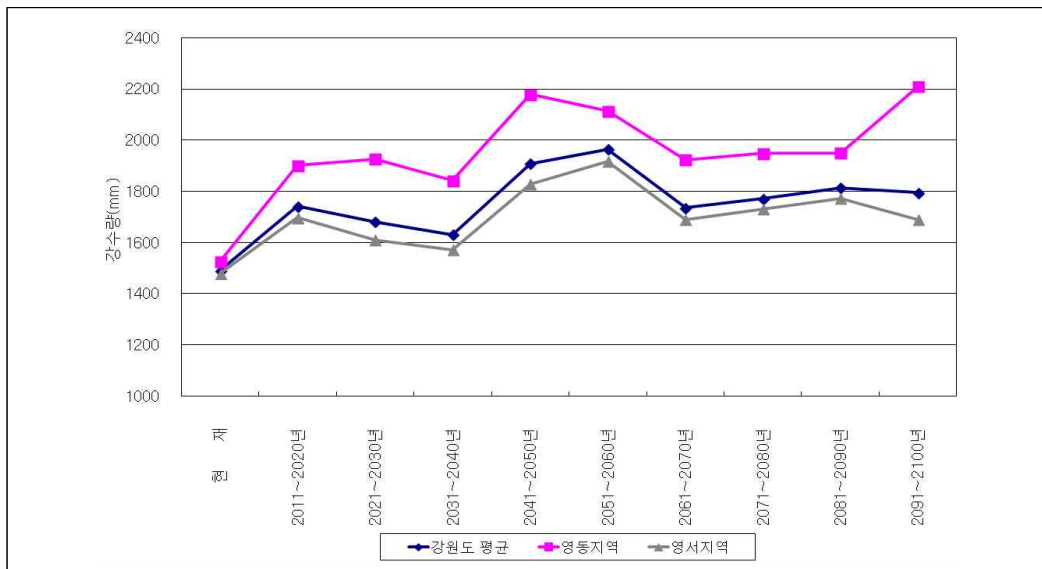
《 강원도의 정책적 시사점

- 수변공간을 활용한 친환경적 재생에너지 생산으로 녹색성장 기반구축 실현
- 제외지의 홍수조절지 운영으로 수자원관리 및 친수공간 제공
- 재생에너지에 대한 친환경적 주민인식 제고
- 수변공간의 활용으로 수자원관리 및 재생에너지 생산을 통한 융합 정책
- 화석에너지 사용절감 및 수변의 녹지공간 조성을 통한 기후변화 선제적 대응



1 배경 및 필요성

- 최근 기후변화에 의한 기상이변 및 지형학적 요인에 의한 강한 국지성 호우와 집중호우 빈발로 우기 기간(6월~8월 중 2/3 발생)의 홍수량 규모는 증가하며, 갈수기 기간의 물 부족현상 심화



자료 : 기상청(2012), 강원도기후변화전망보고서

<그림 1> 영동 및 영서지역의 미래 평균 강수량(RCP 8.5)

- 강원도는 RCP 8.5 기준 21세기 후반(2071년~2100년)강수량은 현재(2001년~2010년)1,491 mm 보다 약 302.4mm 증가한 1,793.3mm 발생 전망. 특히, 강원도의 고성, 속초, 양양, 강릉의 경우 21세기 중반에 이미 2,000 mm 이상 도달할 것으로 전망(기상청, 2012)
- 강원도의 경우 유역 형태가 대부분 높은 산악지형으로 전형적인 산지하천의 사행 형태를 보이고 있으며, 급한 유역경사와 유로 경사를 보이고 있음
- 이에 기후변화에 대응한 강원도의 지형학적 및 기상학적 특성을 이용하여 수변공간을 활용한 재생에너지의 보급과 함께 친환경적 클린 에너지 생산으로 신재생에너지에 대한 인식제고 및 주민 삶의 질 향상 기여
- 또한, 수변공간 활용의 융합모델을 통한 홍수기간의 지표수 관리로 재난/재해 피해 저감 및 갈수기 기간의 안정적 용수확보와 함께 수변공간의 친환경적

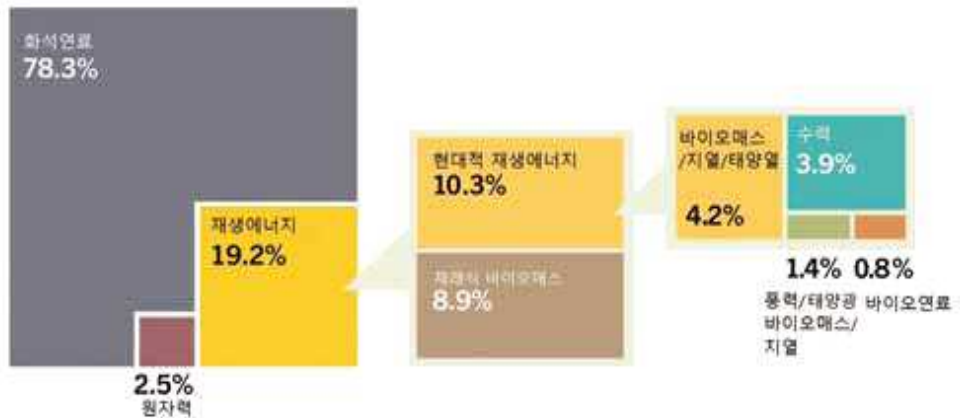
재생에너지 생산과 함께 모델 제시를 통하여 지역주민의 환경 기피시설에 대한 인식제고 필요



2 세계 재생에너지 현황 및 전망¹⁾

1. 재생에너지 현황

- IEA(International Energy Agency)의 “재생에너지 2016 세계현황보고서”에 따르면 전 세계적으로 많은 국가에서 재생에너지가 경쟁력 있는 주류 에너지로 자리 잡고 있음
- 재생에너지는 2015년 147GW를 신규로 설치하여 전체 에너지 소비 중 19.2%를 차지하며, 이 중 현대적 재생에너지는 10.3% 차지. 분야별로는 열에너지(바이오메스, 지열, 태양열 등)비중이 4.2%, 수력 3.9%, 태양광과 풍력 1.4%, 바이오 연료 0.8% 순



<그림 2> 세계 최종에너지에서 재생에너지의 비중(2014년)

- 앞으로 신기후협약에 의한 각국의 재생에너지 정책은 강화될 전망이며, 각 국 별로 재생에너지 발전설비 총 용량은 중국, 미국, 브라질, 독일, 캐나다 순임
- 재생에너지는 특히 발전부문에서 두드러지게 나타나고 있고, 2015년 기준으로 세계발전용량의 28.9%, 전력생산의 23.7%를 차지. 이 중 수력 16.6%, 풍력 3.7%, 바이오 2.0%, 태양광 1.2% 차지

1) 산업통상자원부·한국에너지공단(2016), 2016 신·재생에너지 백서

2. 재생에너지 전망

- IEA의 “세계에너지 전망 2015” 에 의하면 모든 시나리오에서 재생에너지의 비중은 증가하며, 2013년 14%에서 2040년 19% 전망. 450 시나리오(CO2 450ppm)에서는 2040년까지 재생에너지의 비중이 29% 증가할 것으로 전망
- 특히 발전량 부분에서의 재생에너지 비중의 경우 2013년 22%에서 2040년 34%, 450 시나리오에서는 53%까지 증가할 것으로 전망. 이 중 수력과 풍력이 가장 높은 비중을 차지

<표 1> 시나리오별 재생에너지 전망(전력생산)

전력생산(Twh)	2013년	신규정책(기준)		현 정책 시나리오		450 시나리오	
		2025년	2040년	2025년	2040년	2025년	2040년
바이오에너지	464	902	1,454	865	1,258	973	2,077
수력	3,789	4,951	6,180	4,854	5,902	5,083	6,836
풍력	635	1,988	3,568	1,701	2,778	2,344	5,101
지열	72	162	392	143	299	197	541
태양광	139	725	1,521	593	1,066	862	2,232
태양열발전	5	50	262	41	147	83	937
해양	1	6	51	5	37	7	93
총발전량 중 비중	22	29	34	26	27	34	53

자료 : IEA(2015), World Energy Outlook 2015

- 또한, 설비이용량 증가의 원인으로 재생에너지 발전단가는 지속적으로 하락할 것으로 전망되며 특히, 육상풍력의 경우 40% 정도 하락할 것으로 전망. 설비이용률은 2030년 33%, 2040년 41% 도달
- 태양광은 2040년 까지 대략 세계 전력의 15%를 공급할 것으로 예상되며, 매년 25년간 평균 1,350억 달러가 투자될 것으로 전망
- 수력발전의 경우 2015년 기준 세계 수력 설비이용량은 1,064GW, 연간 발전량은 3,940TWh에 달함. 설비이용별 국가 순위를 보면 국토가 넓고 수자원이 풍부한 중국, 브라질, 미국, 캐나다, 러시아 순임



3 국내 재생에너지 자원 잠재량

1. 개요

- 신·재생에너지 자원 잠재량(potential)은 우리나라 전 지역에 걸친 신·재생에너지 자원량의 총량을 가늠하기 위한 기초자료로 IEA의 “세계에너지 전망 2015”에 의하면 모든 시나리오에서 재생에너지의 비중은 증가하며, 2013년 14%에서 2040년 19%로 450 시나리오(CO2 450ppm)에서 2040년까지 재생에너지의 비중이 29% 증가할 것으로 전망

<표 2> 신·재생에너지 전체 잠재량

구분	세부	설비용량(GW)			연간발전량(TWh/year)			석유환산톤 (10 ³ toe/year)		
		이론적	지리적	기술적	이론적	지리적	기술적	이론적	지리적	기술적
태양	-	97,459	24178	7,451	132,362	32,839	10,123	11,383,147	2,824,128	870,436
풍력	육상	484.7	118.0	63.5	726	207	97	62,421	17,784	8,377
	해상	423.0	215.9	33.2	1,243	668	97	106,850	57,417	8,343
수력	-	36	19	15	313	164	53	26,875	14,141	4,525
바이오	-	237	11	9	1,705	80	64	407,395	19,121	15,368
지열	심부	9,308	연산중	30	81,534	연산중	221	7,010,648	연산중	18,990
	천부	29,078	13,913	1,298	20,736	9,921	925	1,782,956	853,054	79,551
폐기물		19	18	14	163	155	122	13,977	13,278	10,450
해양	조류	439	278	43	3,844	2,453	390	330,482	211,206	33,724
	조력	12	10	6	100	82	51	8,648	7,174	4,345
	파력	연산중			연산중			연산중		
	해수온도발전	451	339	3	3,976	2,994	24	342,000	257,523	2,001
합 계		137,949	39,099	8,965	246,702	49,563	12,167	21,478,435	4,274,826	1,056,110

자료 : 산업통상자원부·한국에너지공단(2016), 2016 신·재생에너지 백서

2. 강원도의 재생에너지 자원 잠재량 및 현황

- 이론적, 지리적, 기술적 잠재량은 각각 국내의 태양광 16.1%, 6.1%, 6.1%, 풍력(육상)은 18.4%, 30.1%, 22%, 수력은 27.8%, 28.1%, 28.2%를 차지하여 강원도는 풍력과 수력에너지의 자원 잠재량이 큼
- 강원도의 에너지원별 재생에너지 자원 잠재량은 다음과 같음

<표 3> 강원도의 재생에너지원별 에너지자원 잠재량

구분	잠재량(10 ³ toe/year)		
	이론적잠재량	지리적잠재량	기술적 잠재량
태양에너지	1,830,182(16.1)	172,384(6.1)	53,131(6.1)
풍력	육상	11,458(18.4)	5,361(30.1)
	해상	3,798(3.6)	1,025(1.8)
폐기물에너지	-	227,588(2.7)	-
수력에너지	7,460(27.8)	3,980(28.1)	1,274(28.2)

주) ()는 국내의 강원도 차지비율

자료 : 한국에너지공단 신·재생에너지센터

- 강원도 풍력발전 이용률은 국내의 23.8%를 차지. 발전량은 총 137.8MW 운영 중이며, 분포별로는 15개 지점에 82대 운영 중

<표 4> 강원도의 풍력발전 이용현황

발전소	준공연월	단위용량(kW)	총용량(kW)	대수	사업자	위치
대관령	2004.12	660	2,640	4	강원도	평창군 횡계리
매봉산	2004.12	850	8,800	2	강원도	태백시 매봉산
	2006.05	850		3		
	2006.10	850		3		
	2012.05	2,000		1		
강원	2005.12	2,000	98,000	14	강원풍력	강원도 평창군
	2006.07	2,000		10		
	2006.09	2,000		25		
양양	2006.06	1,500	3,000	2	중부발전	강원도 양양군
용대	2010.03	750	3,000	4	인제군	강원도 인제군
영월접산	2010.07	2,250	750	3	강원도	영월군 북면
태백	2012.05	2,000	18,000	4	한국남부발전	강원 태백시
		2,000		5		
대관령2	2013.10	2,000	2,000	1	강원도	평창군 횡계리
대관령3	2015.01	1,650	1,650	1	강원도	평창군 횡계리

자료 : 한국풍력산업협회 : <https://kweia.or.kr>

- 강원도의 수력발전소는 현재 다목적 댐 2개소, 발전 전용 댐과 소수력발전이 각 5개소 운영 중이며, 설비용량은 1,502.2MW 임

<표 5> 강원도의 수력발전 운영현황

구 분	시설명	위치	설비용량(KW)	비 고
다목적댐	소양강댐	춘천시 신북면 천전리	200,000	100,000×2
	횡성댐	횡성군 갑천면 대관대리	1,000	1,000×1
발전 전용	강릉수력	강릉시 성산면 오봉리	82,000	41,000×1
	양양 양수	양양군 서면 공수전리	1,000,000	250,000×1
	의암댐	춘천시 신동면 의암리	45,000	22,500×1
	춘천댐	춘천시 신북면 용산리	57,600	28,800×2
	화천댐	화천군 간동면 구만리	108,000	27,000×4
소수력발전	덕송소수력	정선군 정선읍 덕송2리	2,000	1,000×2
	안흥소수력	횡성군 안흥면 월천리	450	150×3
	양양소수력	양양군 서면 공수전리	1,400	700×2
	영월소수력	영월군 영월읍정양리	2,800	400×7
	정선소수력	정선군 북면 봉정리	1,920	480×4
합 계			1,502,170	

자료 : 국가수자원관리종합정보시스템 : <https://wamis.go.kr>



4 강원도의 재생에너지 입지적 조건

1. 수력발전

- 강원도 지역의 경우 21세기 중반 이후 302.4mm 강수량이 증가할 것으로 전망되며, 21세기 중반에는 영동지역을 중심으로 2,000mm 육박. 이에 홍수량의 규모는 커질 것으로 보임
- 특히, 지리적인 특성으로 유역의 폭이 협소하고, 급한 유로경사로 인하여 유효낙차를 충분히 확보할 수 있을 뿐만 아니라 큰 유역면적 등으로 수력발전의 전망은 매우 좋으며, 전형적인 사행하천으로 제내지 및 제외지의 시설 활용

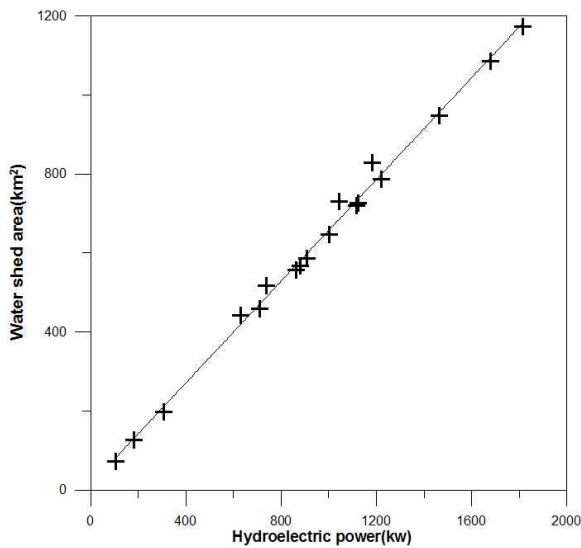
도가 높음

- 또한, 강원도는 이수확보를 위한 취수보가 많이 설치되어 있어 기존의 수리 시설물을 활용하여 휴효낙차를 얻을 수 있는 지점이 충분
- 유역면적 및 수리학적 조건에 따른 수력발전 생산량은 증가하는 만큼 강원도는 훌륭한 지리적 및 입지적 조건을 갖추고 있음

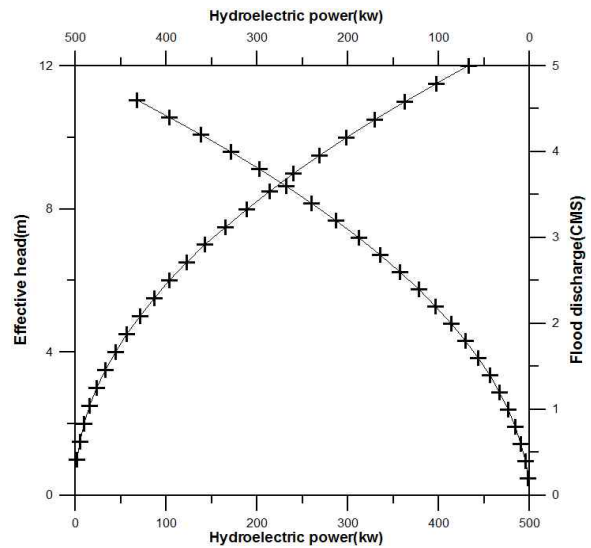
<표 6> 강원도 지역의 예상 수력발전량

연번	지역	유역면적(km ²)	연평균강수량(mm/year)	발전용량(kW)	연간생산량(MWh)
1	춘천시	1,116.0	1,305.2	205.7	720.7
2	원주시	863.5	1,305.2	159.2	557.7
3	강릉시	1,042.3	1,414.6	208.2	729.5
4	동해시	181.6	1,414.6	36.3	127.1
5	태백시	306.9	1,305.2	56.6	198.2
6	속초시	105.6	1,414.6	21.1	73.9
7	삼척시	1,183.9	1,414.6	236.5	828.6
8	홍천군	1,816.1	1,305.2	334.7	1,172.9
9	횡성군	1,000.8	1,305.2	184.5	646.3
10	영월군	1,124.5	1,305.2	207.2	726.2
11	평창군	1,465.8	1,305.2	270.2	946.6
12	정선군	1,219.6	1,305.2	224.8	787.6
13	철원군	879.2	1,305.2	162.0	567.8
14	화천군	907.2	1,305.2	167.2	585.9
15	양구군	710.1	1,305.2	130.9	458.6
16	인제군	1,680.5	1,305.2	309.7	1,085.2
17	고성군	738.7	1,414.6	147.6	517.0
18	양양군	631.3	1,414.6	126.1	441.9
합계		16,973.6	1,341	3,188.5	11,171.7

자료 : 한국에너지기술연구원 신재생에너지데이터센터



(a) 유역면적에 따른 연간발전량 관계 곡선



(b) 유효낙차 및 유량에 따른 수력발전량(kw)

주) 발전효율은 80% 적용

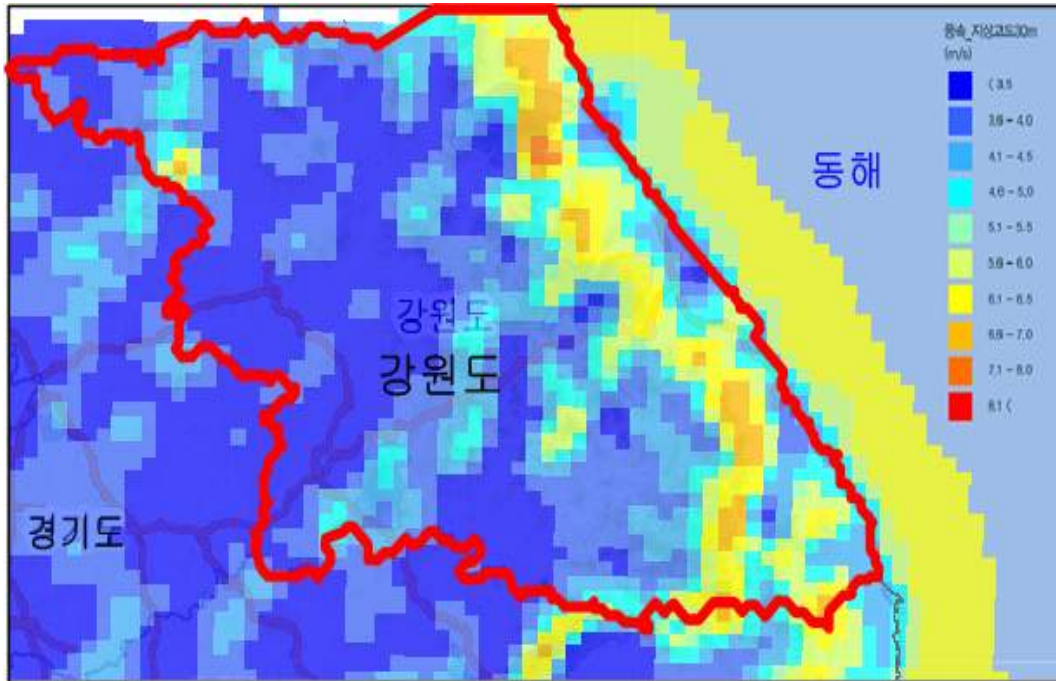
<그림 3> 수리학적 조건에 따른 수력발전 생산량 관계곡선

- 수변공간의 수력발전운영을 위한 지리적 입지조건은 다음과 같음
 - 유역이 넓고 수계가 양호
 - 유역의 폭이 협소하고 취수보 설치 및 운영이 양호
 - 기존 수리시설물을 최대한 활용할 수 있고 자연유하식을 얻을 수 있음
 - 상류유역으로 유효낙차가 확보되어 있고 기존 수리시설물에 의한 갈수기 기간에도 충분히 유량을 얻을 수 있음

2. 풍력발전

- 강원도의 풍력발전 지리적 잠재량은 5,361toe/year 이며, 국내 전체의 30.1%를 차지하는 만큼 좋은 잠재량이 풍부함. 해상의 경우 1,826toe/year로 지리적 잠재량은 좋으나 가용부지의 부족 및 높은 파고로 인한 기술적 잠재량이 없는 것으로 나타남. 이에 육상을 활용한 풍력발전 개발 필요
- 지리분포에 따른 풍속(지상으로부터 40m 기준)을 보면, 태백산맥을 중심으로 5.1m/sec 에서 6.5m/sec의 높은 범위를 정선군, 삼척시, 평창군, 영월군, 인제군은 4.1m/sec ~ 5m/sec의 풍력원을 보임

- 이외 영서지역의 경우 4.0m/sec 이하의 풍력원을 보이고 있으나 국토 전체면적의 80%가 산지로 이루어져 있어 높은 해발과 깊은 협곡으로 인한 골바람이 풍부하여 소풍력발전의 발전시설이 적합



자료 : 한국에너지기술연구원 신·재생에너지데이터센터
<그림 5> 강원도의 지리분포별 풍속

3. 태양광 발전

- 강원도 지역의 연평균 일조율은 영월, 태백, 삼척시 지역이 각 52%, 강릉은 49%, 그 외 지역은 48%로 나타나 전국 평균 52%에 비하여 낮은 일조율을 보임
- 일조율이 높은 지역, 일사량이 좋은 지역, 공해가 적어 발전효율을 높일 수 있는 지역을 선택하여 설치하고, 태양광의 발전효율을 높이기 위해서는 모듈의 청결과 온도가 매우 중요하므로 유지관리가 용이한 지점을 선택
- 따라서 일사량이 높고 유지관리가 용이, 적당한 모듈각(30도~33도)을 보일 수 있는 지역으로 개발로 인한 훼손이 적은 하천의 제방부지 또는 제내지의 나지를 활용. 특히, 강원도의 경우 저류지가 많이 산재되어 있어 이곳의 수면을 활용하여 부유식 태양광 발전시설 설치운영이 적합
- 부유식 태양광은 모듈의 온도를 낮출 수 있어 발전효율이 높고, 개발로 인한

훼손이 적다는 장점, 저수지의 증발 억제로 인한 수자원 관리 및 수면온도 등을 낮출 수 있어 녹조발생 등 수질관리가 용이



자료 : 한국에너지기술연구원 신·재생에너지데이터센터
<그림 6> 강원도의 지리분포별 연평균 일조율



5 수변공간을 활용한 재생에너지 사업화 모델

- 강원도는 한강과 낙동강의 발원지로 천혜의 수자원에 대한 브랜드 가치가 높고 전국 담수량의 30%가 넘는 인공호가 위치하고 있어 풍부한 수자원 보유
- 특히, 기후 및 지리적 조건에 의해 기후변화에 따른 홍수량의 규모는 커짐과 동시에 갈수기 기간의 극한가뭄으로 인한 물관리가 절대적으로 필요
- 이에 수자원관리와 동시에 강원도의 지리적 조건인 수변공간을 활용하여 에너지 사업에 부응하는 재생에너지 사업의 모델 개발 필요
- 수변의 녹색공간 조성으로 온실가스 감축 및 친환경적 에너지 생산으로 재생에너지에 대한 인식제고와 사업화를 통한 수익창출 기대로 지역산업과 연계한 도시상생 발전

- 제외지의 홍수조절지(천변저류지)설치를 통하여 홍수방어량 조절과 함께 하천 유지유량 확보 및 습지공간 조성

■ 제외지의 홍수조절지 설치 및 유의사항

<표 7> 제외지를 활용한 홍수조절지 설치 운영

구 분	설치위치	유의사항
홍수 조절지	<ul style="list-style-type: none"> • 상류 및 지질조건이 적절한 지점 • 상류 침수피해 영향이 적은 곳 • 홍수조절 효과가 유리한 지점 • 저수용량확보가 충분히 가능한 지점 • 수몰지의 환경적, 경제적 손실이 작은 곳 • 댐이나 언 파괴 시 피해 영향을 최소화 할 수 있는 곳 	<ul style="list-style-type: none"> • 수중 및 주변생물에 대한 환경적인 영향을 면밀히 검토 • 토지이용 등 주변지역의 면밀한 조사 필요 • 조절지 내 퇴적 토사 및 조절방안 검토 • 상·하류의 수리학적 영향을 충분히 검토 • 조절지 건설 이후 강가 생물의 변화에 대한 지속적인 관찰 필요

자료 : 구미서관(2008), 수자원설계실무

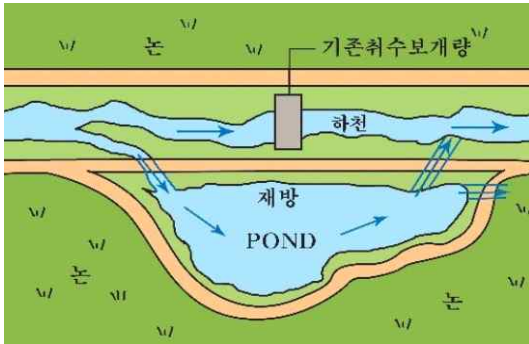
■ 수변공간의 청정 재생에너지 사업 융합모델

- 제외지의 홍수조절지 운영을 통한 치수 및 이수 확보의 효율적 수자원 관리
- 홍수조절지 여수로 및 방류구의 초소수력 발전 운영
- 제외지 하도의 기존 취수보를 활용한 소수력 발전 운영
- 저류지 내 수면의 부유식 태양광발전 운영
- 저류지 및 제방부지의 태양광 발전 및 소풍력 발전 운영
- 수변의 친환경적 조성으로 친수공간 및 지역주민 쉼터 제공
- 천변저류지 내 습지공간 조성으로 생태공간 제공
- 녹지공간 확보를 통한 기후변화의 선제적 대응

■ 사업운영 제언

- 사업지역의 민원최소화 및 조정을 위한 지역주민과 외부전문가가 참여하는 협의체를 구성하여 운영할 필요가 있고, 재원확보차원에서 주민참여형의 클라우드 펀딩조성을 조성하여 수익을 분해함으로써 주민의 적극참여 유도

- 잉여 전력에 대해서는 저소득층 지원으로 취약계층에 대한 에너지복지사업을 통하여 사회적 관심 제고



(a) 제내지를 활용한 저류지 조성



(b) 수변공간을 활용한 친수공간 조성



(c) 제방부지 및 저류지 뚝마루의 태양광발전



(d) 취입보 및 여수로의 낙차를 활용한 소수력 발전



(e) 홍수조절지의 부유식 태양광 발전



(f) 제방부지를 활용한 소풍력 발전

자료 : 네이버 : <https://naver.com>

<그림 7> 수변공간을 활용한 재생에너지 사업

참고문헌

- 기상청(2012), 강원도 기후변화 전망보고서
- 구미서관(2008), 수자원설계실무
- 국토교통부, 국가수자원관리종합정보시스템 : <https://wamis.go.kr>
- 산업통상자원부·한국에너지공단(2016), 신·재생에너지 백서
- 아르고나인(2011), 물 백과사전
- 한국풍력산업협회 : <https://kweia.or.kr>
- 한국에너지공단 신·재생에너지센터 : <https://knrec.or.kr>
- 한국에너지기술연구원 신·재생에너지데이터센터 : <https://kredc.kier.re.kr>
- IEA(2015)., World Energy Outlook 2015

- 발 행 인 : 안 병 현
- 발 행 처 : (재)한국기후변화대응연구센터
- 발행번호 : 2016-36호
- 발 행 일 : 2016년 12월 30일

.....
www.crik.re.kr