

2011. 6. 23 | 제 59 호 |

퓨전에너지 그리고 에너지 宗家 강원도

- 김종민(원장)
- 이원학(부연구위원)
- 김승희(부연구위원)

강원발전연구원
RESEARCH INSTITUTE FOR GANGWON

RIG

2011. 6. 23 | 제 59 호 |

퓨전에너지 그리고 에너지 宗家 강원도

- 김종민(원장)
- 이원학(부연구위원)
- 김승희(부연구위원)

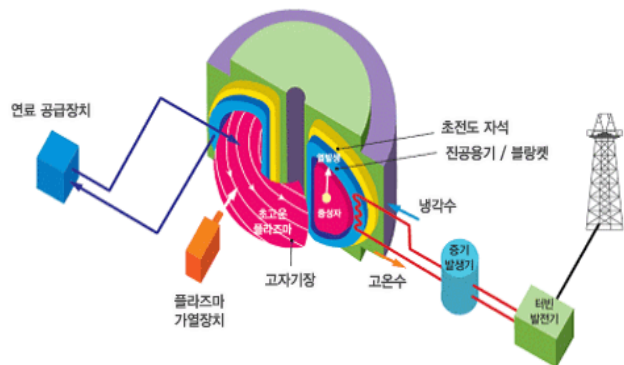
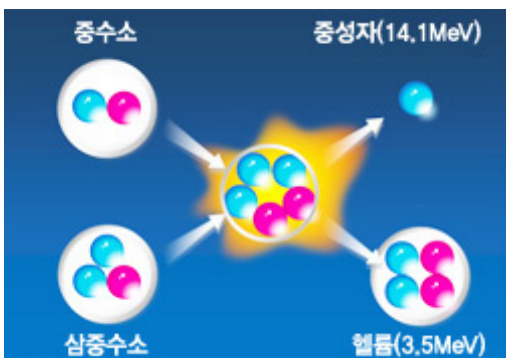
에너지는 생명자원이자 삶의 질을 결정하는 핵심이다. 폭증하는 세계인구, 치솟는 생활 수준으로 에너지 수요는 폭발적이나, 공급은 턱 없이 달린다. 그리고 현존 에너지원들은 저마다 커다란 결함을 지니고 있다. 석탄, 석유 등 화석연료의 CO₂ 배출과 부족한 매장량, 원자력의 방사능사고와 부족한 우라늄 매장량, 신재생 에너지의 비싼 단가와 대체능력의 절대부족 등이 우리를 괴롭힌다. 미래적 대안으로 중수소와 3중수소와 융합에서 나오는 퓨전에너지가 손꼽힌다.

퓨전에너지는 수소 동위원소의 융합을 통해 '지상에 만든 인공태양이 내뿜는 에너지'이다. 수소융합은 에너지가 지녀야 할 덕목들 : 무한, 청정, 고효율, 안전, 평화를 한꺼번에 충족시킨다. 다만, 방출되는 최소 1억 도의 고온을 견디는 핵융합로의 제작이 관건이며, 고온 플라즈마의 제어 방법이 자기장이나 또는 레이저이냐에 따라 추진 방식이 갈린다. 우리나라는 자기장 제어 토카막형의 실험용 KSTAR를 보유하고 있으며, EU, 러시아, 미국, 중국, 일본, 인도 등 6개국과 함께 ITER 국제핵융합로 건설에 참가하고 있다.

강원도의 삼척, 태백, 정선, 영월은 지난 80년 동안 우리 산업과 민생에 토종에너지를 공급해온 증가이다. 아직도 이곳에 남아 있는 석탄 10억 톤은 퓨전에너지가 현실화되는 2030년대까지 안보차원의 에너지 버팀목이며, 막대한 핵융합로 개발비의 밑천이다. 이제는 20년 뒤 에너지 주권 확보를 겨냥, 강원도 에너지 자원지대에 퓨전에너지 클러스터의 조성을 서둘러야 한다. 석탄 공급 개시 100년이 되는 2030년대 삼태정영에서 수소핵융합 상용화 발전이 시작되도록 하자. 이는 오랜 세월 희생을 감내해 온 에너지 증가에 대한 최소한의 국가적 배려이기도 하다.

I. 퓨전에너지란 무엇인가?

- 퓨전에너지(Fusion Energy, 핵융합에너지)는 지상에 인공적으로 태양을 만들어서 그 에너지를 사용하는 것
 - 바닷물로부터 추출한 중수소와 바닷물에서 추출한 리튬으로 만들어지는 삼중수소와 같은 가벼운 원자핵들이 융합해 무거운 헬륨 원자핵으로 바뀌는 과정에서 나타나는 질량 감소로 인한 에너지 방출을 사용하는 것
- 핵융합발전로 안에서 일어나는 초고온 플라즈마¹⁾의 핵융합반응을 통해 생성된 중성자의 열에너지가 증기를 발생시키고, 그 증기가 터빈발전기를 돌려 대용량의 전기를 생산



- 퓨전에너지의 핵심은 1) 핵융합에 필요한 최소온도 약 1억 도 발생, 2) 1억 도를 유지한 채로 버틸 수 있는 핵융합로 건설, 3) 연료인 중수소와 삼중수소 생산
- 퓨전에너지는 21세기 에너지원이 가져야 할 주요 요건(무한, 청정, 고효율, 안전, 평화)을 모두 충족시키는 미래청정에너지
 - 무한·청정에너지 : 바닷물에서 무한하게 연료 공급 가능하고 온실가스 배출이 없음
 - 고효율에너지 : 바닷물 1리터에 포함된 0.03g의 중수소만으로 서울과 부산을 3번 왕복 가능(휘발유 300리터)
 - 안전·평화에너지 : 돌발사고 시에도 폭발 등의 위험이 없고, 원료가 풍부해 원료 확보를 위한 국가간 분쟁이 없음

1) 고체, 액체, 기체 상태가 아닌 제4의 물질상태로 원자핵과 전자가 분리된 자유로운 형태로, 태양을 비롯한 우주의 99% 이상은 플라즈마 상태. 번개나 오로라, 형광등, 네온사인도 플라즈마에 해당

○ 선진국은 공동연구와 더불어 미래 기술을 선점하기 위해 독자적으로 퓨전 에너지 연구 장치를 운영하여 기술개발 추진



<p>토카막 (Tokamak)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 플라즈마 밀폐에 필요한 자기장 형성을 위해 플라즈마 전류 이용 - 토로이달 대칭의 단순화 2D 구조 - 현재 가장 진보한 핵융합로 발전(온도, 밀도, 밀폐시간 등) 조건 만족 - 정상상태 유지를 위해 전류구동 부대 장치 필요 - KSTAR, ITER, JET(EU/업그레이드 중), ITER(미국/운전중료)
<p>스텔러레이터 (Stellarator)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 자기장 형성을 위해 플라즈마 전류 대신 외부 코일 이용 - 헬리컬 형태의 복잡한 3D 구조 - 전류 구동없이 정상상태 가동 가능 - 핵융합 발전조건이 토카막형에 비해 1/5이하 성능을 보여 미달 - LHD(일본/운전진행), JW7-X(독일/건설 중)
<p>관성핵융합 (Inertial)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 레이저로 고체 연료구슬에 충격을 가하여 가열 - 수소폭탄 폭발원리 적용 - 플라즈마 가열, 밀폐 등 고난도 물리학 문제 수월 - 연료구슬 장전에 따른 대기시간 필요(Pulse형 장치) - 대규모레이저 시설의 건설 및 유지관리의 어려움 가중 - NIF(미국/건설 중), 군사목적 연구(수소탄 개량)

○ 퓨전에너지 방식에서 가장 진보한 장치 토카막(Tokamak)

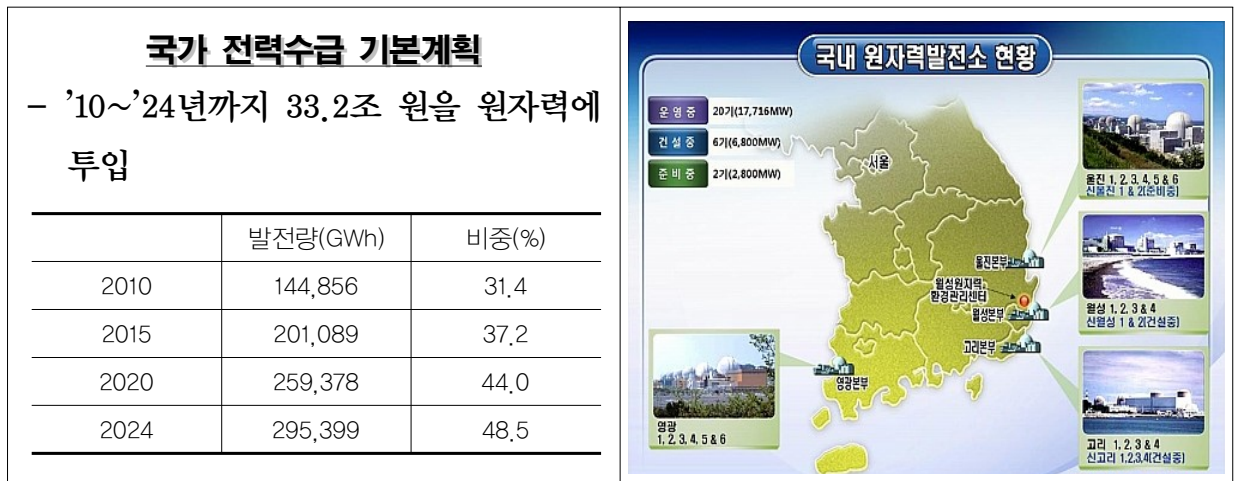
<ul style="list-style-type: none"> - 1950년대 소련의 탐과 사카로프에 의해 고안. 아치모비치에 의해 발전되어 토카막 T-3, T-4 제작 - 핵융합 때 초고온의 플라즈마를 자기장을 이용해 가두는 핵융합 장치로 D자 모양의 초전도 자석으로 자기장을 만들어 플라즈마가 도넛 모양의 진공용기 내에서 안정적 상태를 유지하도록 제어 	
--	--

II. 왜 퓨전에너지를 준비해야 하는가?

- 화석연료 사용에 의한 지구온난화, 에너지 자원의 지역적 편중에 의한 에너지 안보 등 에너지와 관련된 다양한 문제들 존재

	석유	천연가스	석탄	우리눔
가체매장량	1,333.1억 배럴	187.5조m ³	8,260억 톤	393만 톤
지속가능연수	45.7년	62.8년	119년	60년
이산화탄소 배출량	700g	360g	950g	9g

- 원자력은 자원이 부족한 국가가 첨단 기술로 생산할 수 있는 에너지. 그러나 전체 에너지에서 차지하는 비중 증가는 안정성 문제, 잔류 방사능 및 방사성 폐기물 처리와 같은 환경문제, 원전 및 방폐장 건설에 따른 사회적 비용 발생과 같은 다양한 문제 유발
 - 최근 일본의 원전사태는 원자력 안정성에 대한 문제점을 증가시킴. 우리나라는 원전 확대정책을 향후에도 계속 추진할 예정으로 다양한 문제 발생 가능성 있음
 - 일본 원전사태 이후 독일은 '22년까지 원자력 완전 폐쇄 선언함



- 미래 에너지위기(고갈)에 대비하기 위해 대체에너지를 개발하지만 전체 에너지 대비 20% 정도 한계 존재

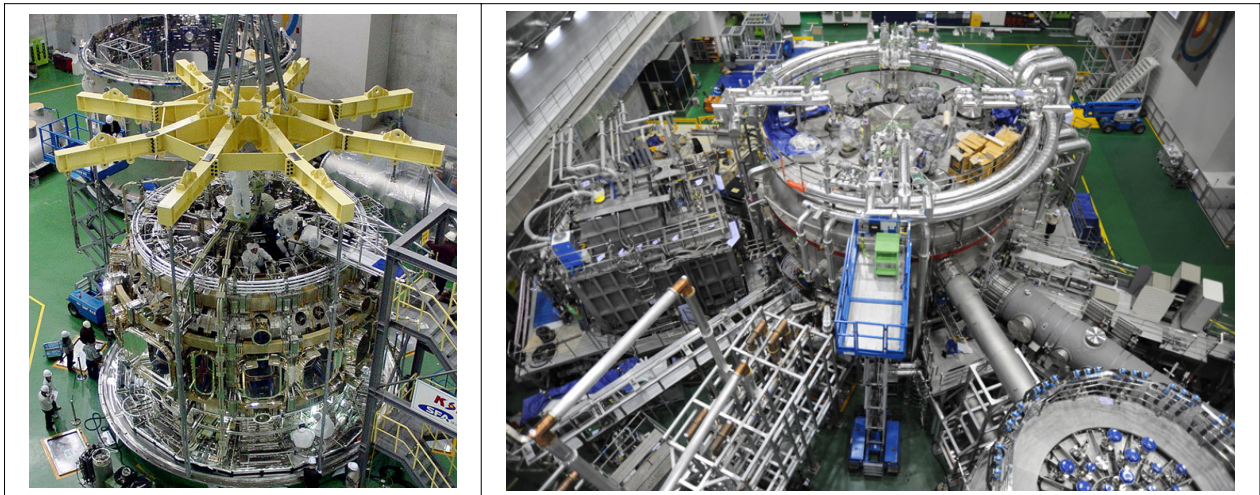
미국	- '25년까지 1,500억 달러 투자를 통해 전력 소비의 25% 공급('09년 10.4%)
유럽연합	- '20년까지 신재생에너지를 통한 전력 공급 비중 20% 달성('07년 7%)
일본	- '30년까지 1차에너지 대비 신재생에너지 비중 11.6% 달성('05년 5.9%)
한국	- '30년까지 111.5조 원 투자를 통해 신재생에너지 비중 11% 달성('07년 2.4%)

- 석탄은 가장 오랜 기간 사용 가능하고, 지역적으로 편중되지 않은 화석연료
 - 환경 및 효율성 문제를 해결한 청정석탄 에너지로 부활하여 미래에너지를 준비하는 과도기를 책임지는 핵심
 - IGCC, CTL, SNG, DEM, CCS, CBM 등의 청정석탄 기술은 향후 30~40년의 국가 에너지 미래를 책임지는 핵심
 - ※ 정책메모 제39호 '폐광지역의 르네상스, 첨단에너지 생산지대로의 부활' 참조
- 전 세계 인구 증가(현재 69억 명, '50년 92억 명 예상), 중국, 인도, 브라질 등 거대국가의 경제성장에 따른 에너지 소비량 증가로 세계에너지 수요가 '25년 후에는 40~50% 정도 증가할 것으로 예측
- 2030년 이후 인류의 에너지 관련 문제(수요, 환경, 안보)를 근본적으로 해결할 대책은 퓨전에너지
 - 우리나라는 에너지의 97%(2008년 1,415억 달러 수입)를 수입하는 에너지 절대 빈곤 국가로 영구적이고 대량 생산이 가능한 미래 청정에너지 개발이 최우선 과제
- 강원도는 과거 국가 산업·민생에너지를 공급해 온 「국가 에너지 종가」로 미래에도 에너지 공급을 책임지는 지역으로 거듭나기 위해 퓨전에너지를 선점해야 함

Ⅲ. 퓨전에너지 개발 현황

■ 차세대초전도핵융합연구장치 KSTAR²⁾

- 21세기 핵융합에너지 상용화를 선도하기 위해 국내 기술로 개발·제작된 세계 최고 수준의 토카막 방식의 핵융합 장치로 2007년 9월 완공
 - ITER의 약 1/25 규모로 융합로의 고성능화 및 장시간 운전 시험 담당
 - 세계 최고의 핵융합로로 지름 10m, 높이 6m, 두께 1.5m로 아파트 3,000가구 분량의 시멘트를 사용한 4,000억 원짜리 실험용 핵융합로



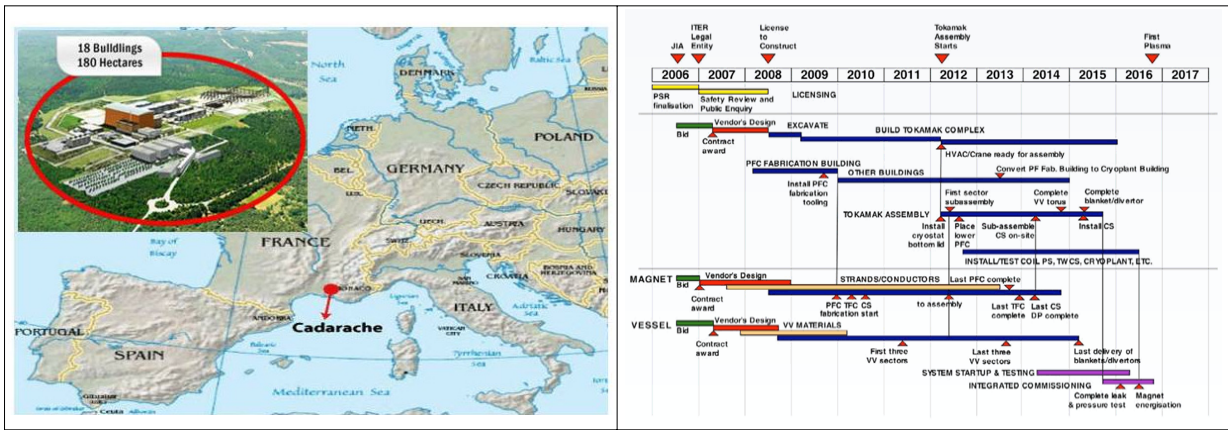
○ KSTAR의 단계별 운영 계획

제1단계 (08~12)	 국내외 공동실험운전 체계 확립 • 초전도핵융합장치의 안정적 운전기술 확보 • 국제 경쟁력 있는 연구장치 기반 마련	- 최초 플라즈마 발생(100kA) - 초전도 토카막 운전기술 확보(3.5T급 자장) - 국제 경쟁력 있는 운전성능 - 공동협력체계 구성
제2단계 (13~17)	 ITER Pilot 역할 수행 • ITER 연구계획과 연계된 연구개발 본격 수행 • ITER 운영을 위한 선행실험 수행 주도	- 장시간 운전 제어기술 확보 - H-모드 플라즈마 안정화 - AT-모드 운전제어 기술개발 - ITER 건설 완공 전 Pilot역할 수행
제3단계 (18~22)	 ITER 위성장치(Satellite) 역할 수행 • ITER 최초 플라즈마, 초기운전 기술 공유 • 핵융합발전 상용화에 필요한 장시간 운전기술 개발(300초)	- 장시간 운전에 따른 시스템 최적화 기술 확보 - AT-모드 운전제어 안정화(가열 20MW 이상, 3억 도) - ITER 위성장치 역할 및 AT 운전기술 선도
제4단계 (23~25)	 핵융합 상용화 선행기술 시험 • 장시간 운전기술 확보(300초 이상) • 핵융합 상용화 핵심기술 개발	- AT-모드 운전 최적화 - 통합운전기술 선진화 - DEMO 선행 기술시험

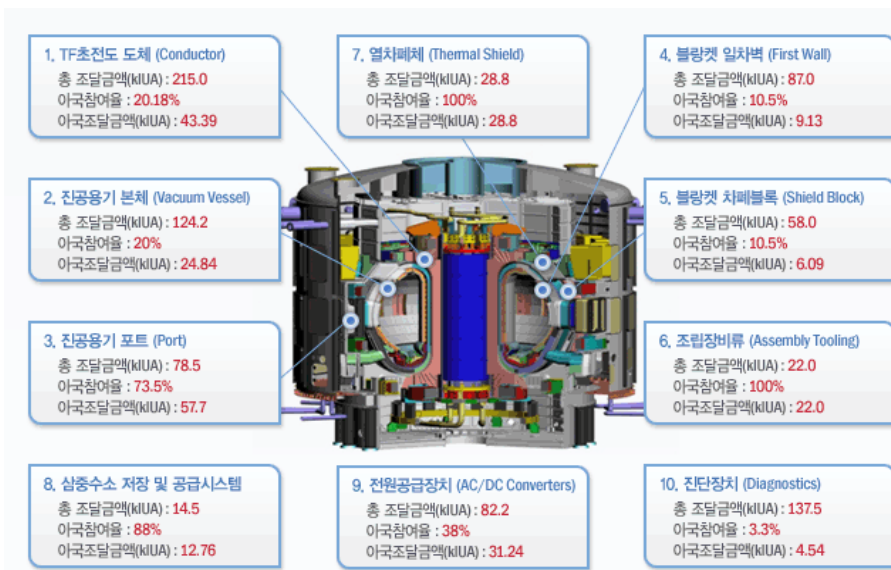
2) Korea Superconducting Tokamak Advanced Research

■ 국제핵융합실험로 ITER³⁾

- ITER은 '40년대 상용 핵융합발전소의 국내 건설을 목표로 핵융합에너지 상용화에 대비한 원천기술 확보 및 핵심인력 양성 추진
- ITER은 40년 간의 과학적 실험결과를 종합하여 상용화를 위한 공학적 실증 단계로 열출력 500MW급 핵융합 실험로 건설을 목표로 '18년까지 7개국(한국, EU, 일본, 러시아, 미국, 중국, 인도)이 약 50억 유로를 투자하여 프랑스 까다라쉬에 건설 중에 있음. KSTAR의 무게 20배, 부피 30배 규모로 건설



○ ITER 사업에서 우리나라의 주요 기여 분야



3) International Thermonuclear Experimental Reactor

IV. 퓨전에너지와 강원도

■ 대한민국 에너지종가 강원도

- 강원도 폐광지역은 지난 1930년대 이후로 6억 톤의 석탄을 공급했고, 미래 청정에너지로 거듭날 석탄을 10억 톤 보유한 대한민국의 「에너지 종가」
- 폐광지역은 석탄생산에 따른 희생을 감내하면서 국가 에너지 공급원으로서의 중추 소임을 해온 지역이지만 ‘폐광’이라는 부정적 이미지 지역으로 전략
 - 석탄 산업에 따른 5천 명 사망, 2010년 현재 도내 거주 진폐재해자 4,220명, 폐석으로 인한 지역 경관의 훼손
- 80년 간 제대로 보상받지 못한 석탄 생산지역의 기회비용을 국가적으로 지불 하여 더 이상 폐광이 아닌 국가 거점 에너지공급지대로서의 위상회복

■ 강원도의 10억 톤 석탄 ; 퓨전에너지 개발의 씨드머니(Seed Money)

- 현재 폐광지역에 매장된 10억 톤의 석탄을 이용하여 청정석탄 에너지(IGCC, CTL, CBM 등) 자원지대로 부활 추진
 - 강원도 폐광지역과 동해안 항만시설을 활용하여 청정석탄 에너지 R&D, 실증 및 상용화 거점화 추진
- 청정석탄 에너지로 발생한 수익은 퓨전에너지 선점을 위한 씨드머니로 활용 하여 퓨전에너지 R&D, 실증단지, 발전소 건설 및 관련 제품생산 산업단지 조성 등에 투자하는 장기전략 수립

■ 퓨전에너지를 에너지공급 현장으로의 조기 전진배치

- 열악한 여건으로 국가 산업화를 위해 에너지를 공급해온 것에 대한 지역적 보상과 배려 차원에서 미래에도 국가 에너지 공급지대로의 역할을 계속할 수 있는 정책적 배려 필요

- 지난 1930년대에 석탄으로 시작한 강원도에서 향후 20년 간 퓨전에너지 R&D를 통해 2030년대 퓨전에너지 상용화를 이뤄 과거 100년, 미래 100년의 국가 에너지를 책임지는 「에너지 종가」로의 발전전략 수립
- 퓨전에너지 관련 R&D, 실증단지, 발전소 건설 및 관련 산업단지 조성 등 단계별 거점화 전략 추진
 - DEMO 개발을 위한 ‘융복합 공동연구센터’ 구축 등에 적극 참여하여 향후 ‘핵융합 실증(DEMO)’이 강원도에서 이루어질 수 있도록 역량 집중
 - 핵융합 관련 R&D 연구기관 유치 및 에너지분야로 특성화된 고등교육기관 설립 추진

■ 퓨전에너지의 강원도 적합성

- 강원도는 퓨전에너지를 위한 세 가지 필수 조건과 연관성이 높은 지역
- **1억 도의 플라즈마가 필요(환경)** : 플라즈마 R&D 인프라 구축(철원 플라즈마 산업기술연구원 및 산업단지 조성)
- **1억 도의 플라즈마를 담을 진공용기 필요(핵융합장치)** : 강원도 첨단 소재 부품 산업단지에서 핵융합로 소재(지르코늄, 티타늄) 생산 예정
- **청정한 바닷물이 필요(연료)** : 강원도 동해안은 청정 바닷물로부터 중수소 추출과 삼중수소를 위한 리튬 추출 예정(강릉 해수용존 리튬추출 실증화 센터 건립)

토종 에너지 공급 100년이 되는 2030년대에
 국가 에너지 종가 강원도가 퓨전에너지 생산의 핵심 거점으로 거듭나도록
 지금부터 차근차근 준비해 나가야 할 것이다.