

프랑스 출장 결과보고

1. 과제명: 농업용 집단에너지사업 모델개발 연구
2. 출장목적: 프랑스원전 온배수의 농업적 활용 사례 조사
3. 출장기간, 출장자
 - 출장기간: 2014년 12월 17일~12월 24일(6박 8일)
 - 출장자: 자원환경연구부 연구위원 김연중, 명예연구위원 박현태
4. 일정별 방문기관 및 면담자

일 시	이동 및 주요 일정	비고(주면담자)
12. 17(수)	인천공항 → 파리	
12. 18(목)	OECD한국대표부 파리 → 리옹	송남근 농무관
12. 19(금)	Cruas-Meyssse(원자력발전소) Glacomazzi(화훼농장)	Christine Serres Glacomazzi
12. 20(토)	크루아스 → 뷔제 Bugey(원자력발전소)	
12. 21(일)	뷔제 → 파리 →오를레앙	
12. 22(월)	Chinon Power plant(원자력발전소) Le Jardin de RabelAis(토마토농장)	Pascal Delahaye
12. 23(화)	Dampierre(원자력발전소) 시크라멘, 포인세티아, 관상수 농장 담피에로 → 파리 → 인천공항(12.24(수) 도착)	Nicole Pompeigne

< 프랑스 원전 위치 및 일별 출장경로 >



프랑스 출장 조사결과

1. 프랑스의 농업개관 및 에너지 이용 현황

1.1. 프랑스의 농업개관

- 프랑스의 농업생산량과 농경지면적 규모는 유럽연합(EU)의 약 20%를 차지함. 특히, 포도주와 곡물 등은 유럽연합 생산량의 1/3을 차지하고 있음. 농가당 평균경작면적이 55ha에 이르며, 농업 및 농·식품 무역수지는 119억 유로(한화 16조6000억 원 · 2011년 통계) 이상이며, 농업기반이 잘 갖춰진 나라임.
- 그러나 대부분 다른 나라들의 농촌현실이 그러하듯 프랑스도 도시로의 인구유입에 따른 일손 부족, 농촌인구의 고령화로 인한 농업생산성 저하 등의 문제가 있음.
 - 1970년대 12%대였던 농업인구는 현재 4~5%로 감소하였음. 농업의 위축으로 경쟁력이 약한 작은 농장들은 점차 사라져가고 대규모의 기계화된 농장들이 늘어가는 추세임.
 - 프랑스에서는 농업 경영의 어려움을 해소하기 위해 여러 가지 방안들이 모색되고 있음.

1.2. 프랑스의 에너지 이용과 전망

- 프랑스는 1974년 3월 Pierre Messmer 총리의 원자력발전소 건설안 발표 이후 36년이 지난 2010년에는 총 58기 원전에서 전력생산의 85%를 공급하는 세계적으로 원전 국가임
- 그러나 최근 프랑스 정부가 원자력과 화력 발전의 비중을 줄이는 야심적인 에너지 정책을 공개했음.

- 세골렌 루아얄 프랑스 환경장관은 에너지 소비를 오는 2050년까지 프랑스와 올란드 대통령이 취임한 2012년 수준의 절반으로 줄이는 것을 목표로 한 '에너지전환법' 초안을 각의에 제출하였음.
- 원자력 발전 한도를 현재 수준인 63.2GW로 설정하고, 화력발전은 2030년까지 30% 가량 축소하는 대신 재생에너지 비중을 확대하며 전력 효율을 높이기 위한 다양한 정책적 조치의 도입하고 있음.

1.3. 프랑스의 시설원예 특성 및 에너지 이용

- 프랑스 시설원예의 역사, 규모, 특성과 작목을 살펴보면, 프랑스의 온실면적은 7,200ha로서 유리온실이 3,150ha, 플라스틱 온실이 4,050ha를 차지함. 야채재배는 유리온실의 41%, 플라스틱온실의 88%를 차지하며 화훼재배는 유리온실의 59%, 플라스틱온실의 12%를 차지함.
- 파리 남쪽의 오를레앙(Orleans)시 주변은 오래된 원예작물 산지로서 과수, 시설야채, 시설화훼, 노지채소, 묘목생산의 중심지임. 유리온실에서는 가온축성재배가 플라스틱온실에서는 무가온재배가 행해지고 있음. 시설형식은 유리온실의 경우 네덜란드와 마찬가지로 벤로형이 주를 이루며, 플라스틱온실은 연동형과 단동형이 병존하고 있음. 화훼는 주로 넓은 폭을 가진 유리온실에서 재배하고 있음.
- 프랑스 시설원예의 생력재배 기술과 자동화 수준을 살펴보면, 지중해 기후지역에서는 겨울철이 온화하기 때문에 무가온에 의하여 토마토, 피망, 가지를 재배하고 있음. 무가온 재배의 성패는 일사량과 야간의 온실온도에 좌우되며 야간에 기온이 10℃ 이하로 내려가면 식물성장이 멈춤. 무가온 재배에서의 문제점을 해결하기 위하여 2중 플라스틱, 태양열 축열튜브, 보온막 등을 주로 이용하고 있음.
- 가온온실의 에너지 절감을 위하여 깊이 1,600m 속에 있는 65~75℃의

지열을 지름 25cm의 강관으로 끌어올려 시간당 200m²/s으로 공급함. 이 분량은 17ha의 온실을 가온 할 수 있음.

- 또한 원자력 발전소의 뜨거운 폐수를 난방용으로 사용하기 위한 노력도 하고 있음. 프랑스 정부는 시설원에 에너지 절감을 위해 원전에서 발생하는 폐열을 시설농가에게 공급하는 정책을 수립하고 시행하고 있음. 정부는 원전에서 농가까지 폐열 배관 시설비를 전력회사, 지방자치단체에서 부담하고 농가는 시설단지 입구에서 내부시설을 설치하는데만 부담하고 있음. 이런 형태가 프랑스 원전 폐열 이용시스템임.

2. 프랑스 원자력발전소 현황과 온배수 이용 사례

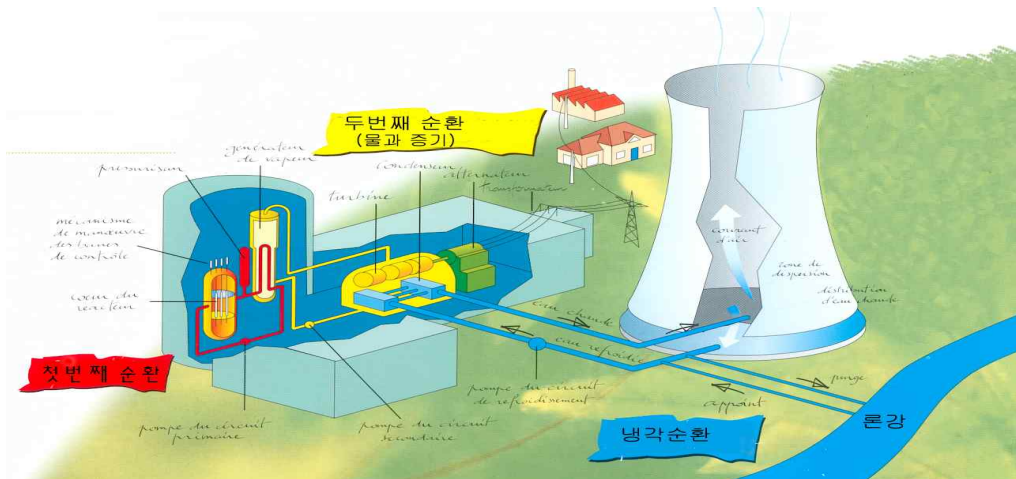
2.1. 프랑스 원자력발전소 현황과 온배수 이용

- 프랑스는 1970년대 초 세계적인 석유위기를 맞아 원유수입의 의존을 줄이기 위해 정부 주도의 핵발전 프로그램 하에 프랑스전력공사(eDF)를 출범시킴. eDF는 프랑스 전역 19개 지역에 58기의 원자로를 보유하고 있으며, 프랑스가 연간 생산하는 전력의 75%를 원자력 발전소가 담당하고 있음.
- 원자력 발전에 따른 환경과 관련해서는 ASN(핵 안전국)독립기관에서 관리하고 오염을 줄이는 방법에 대한 정책을 만들며, 대중에게 정보를 투명하게 공개함.
 - ASN의 설립(창설)과 함께, 원자력 안전 및 방사선 방호 기술은 환경, 산업, 건강과 위험예방에 대한 책임을 장관의 권한으로 이사회 총장에게 위임함.
- 프랑스의 원자력발전소는 우리나라와는 달리 대부분 내륙의 강가 주변에 위치하고 있음. 따라서 복수기의 냉각수는 해수가 아닌 하천수가 이용됨.

그림 1. 프랑스 크루아스 원자력 발전소의 전경



그림 2. 프랑스 원자력 발전소의 냉각수 이용방법



- 복수기의 냉각은 배관을 통해 냉각수를 공급하는 방법과 냉각탑을 이용해 냉각수를 만드는 방법이 있음. 전자는 우리나라에서 사용하는 방법이고 후자는 주로 프랑스, 영국에서 사용하는 방법임. 냉각탑에 의한 열교환 방법은 냉동기의 응축기에 사용하는 냉각수를 재차 사용하기 위하여 실외공기와 직접 접촉시켜 이 물을 냉각하는 것을 말함. 이러한 냉각탑 열교환 방법은 프랑스 원전에서 주로 사용하고 있음. 하지만 이

러한 시설을 갖추려면 약 1조 3천~4천억 원의 막대한 비용이 소요됨.

- 하천수 냉각은 바닷물과 비교했을 때, 수온이 10~15℃ 까지 상승되고, 냉각에 이용되는 냉각수의 양은 해수에 비해 적음. 반면에 냉각탑은 외기 온도보다 약 20℃ 정도 높음. 따라서 이용가치는 하천수가 해수보다 온도차가 크게 나타나기 때문에 더 높음.

표 1. 프랑스의 온배수 이용 사례

발전소명	출력 MW×기	형식	냉각 방식	사용용도	비고
Bugey	937×2	PWR	냉각탑	29ha 채소 재배 플랜트 중 4.8ha 유리온실에서 화훼, 관상용 식물 재배	현장방문 (이용중단)
Cattenom	1362×4	PWR	냉각탑	1988년 해상양식실험설비를 설치함	
Chinon	919×4	PWR	냉각탑	민간 회사가 4.8ha 온실에서 토마토, 화훼 재배. 건설용 목재 건조공장에서 열 이용	현장방문 (이용중)
Cruas	921×4	PWR	냉각탑	5.8ha 온실에서 토마토 재배 연간 출하량 2천톤. 시청, 교회, 풀장에서도 열 이용	현장방문 (이용중)
Dampierre	937×4	PWR	냉각탑	인근 120 ha 농원에 온배수 공급설비가 설치 15개 회사가 종묘, 화훼, 채소 등 온실에 이용	현장방문 (이용중)
Gravelines	951×6	PWR	해수	민간기업 2사가 도미, 농어, 광어 등 양식. 이용수량 13톤/초. 연 1천톤 생산	
Le Blayais	951×4	PWR	하천수	제3섹터가 철갑상어 양식시험에 의해 450톤/년의 어획가능을 입증 폐쇄해양연구소 건설, 본격적인 사업을 계획 중	
St.Laurent-Des-Eaux	956×2	PWR	냉각탑	0.53ha 온실에 30km 배관, 장미, 채소 생산, 특히 장미는 고품질로 연간35~40만본 출하 커뮤니티 센터, 온수 풀장에도 온배수를 공급	
Tricastin	955×4	PWR	하천수	29ha 경지에 온배수를 이용하여 토마토, 장미, 베고니아 재배	

주: Bugey발전소의 경우 냉각수로 이용되는 강물에서의 미생물 번식으로 현재는 온배수 이용이 중단된 상태임.

자료: eDF홍보실 및 현지조사

- 한편, 프랑스전력공사(eDF)는 1976년 이후 온배수 이용에 대한 연구개발에 관심을 갖고 이용 가능성을 지속적으로 모색해왔음. 그 결과, 농수

산업 특히, 바이오 관련분야에 활용 가치가 높다는 것이 입증되었고, 현재 관련분야 사업에 있어서 온배수의 이용을 적극 장려하고 있음.

- 사업자가 온배수를 이용하는 경우 원전에서는 온배수를 무상으로 공급하지만 온배수 이용관련 기술적 부분과 제반시설에 드는 비용은 사업자가 부담하는 것을 원칙으로 하고 있음.

2.2. 프랑스 원전 주변 온배수 이용 사례

□ GLACOMAZZI 농장

- Glacommazzi 농장은 (Cruas)발전소 인근에 위치한 소규모 농장으로 화훼를 전문적으로 재배하고 있음. 발전소 온배수 방출구로부터 온실까지의 배관거리가 100m에 불과하여 온배수 이용에 매우 유리한 위치에 있음.
- 농장은 1986년에 처음 조성되었으며, 현재는 7농가가 비닐온실 20ha에 메론, 감자, 화훼, 가지 등을 재배하고 있음. 이 중 1농가는 5,000m²에 주로 과일과 화훼를 재배하고 있음.
 - 과일은 주로 도매시장에 판매하고 있으며, 채소 또는 화훼는 2월 중순부터 현장에서 직판하고 있음. 화훼 종류는 60여개가 있으며 주로 초화류임.
- 발전소 온배수 배수구로부터 농장까지의 100m배관 설치에 따른 비용은 지자체와 발전소가 담당하였고, 온배수 이용을 위한 농장내부의 시설설치와 시설유지비는 농장에서 부담하고 있음. 온배수 사용료는 무료임. 이 지역은 겨울철 및 봄철 기후가 평균 15℃로 많은 열원이 필요하지 않음.
- 농장에 유입된 온배수는 농장내부의 난방시스템에서 활용된 후에 매설된 배관을 통해 강물로 버려지고 있음. 농장 유입당시의 온배수 온도는 28⁰~30⁰C 정도이며, 겨울철에는 이보다 낮은 22℃ 정도임.

- 발전소 온배수를 이용하는데 1986년부터 지금까지 문제가 없었음. 단, 시설 내부문제는 농가 스스로의 문제이지 온배수와 관련된 문제, 즉 온수 공급 중단, 열량 부족 등의 문제는 없었음.

그림 3. Cruas발전소 인근 Glacommazzi 농장



□ LE JARDIN DE RABELAIS

- Jardin농장은 쉬농(Chinon)발전소 인근에 위치한 기업형농장으로 토마토를 전문으로 재배하고 있음. 발전소 온배수 방출구로부터 온실까지의 배관거리가 300m에 불과하여 온배수 이용에 매우 유리한 위치에 있음.

- 농장은 1989년에 처음 조성되었으며, 1998년, 2003년, 2008년, 2012년에 각각 증설되어 현재는 5개 단지의 유리온실에 총면적은 12ha에 이릅니다. 5개 단지 중 4개단지에서는 방울토마토, 1개단지에서는 완숙토마토를 재배함. 25년전 농장조성시 종업원은 15명이었으나 현재는 200명에 이릅니다.
- 12ha의 온실에서 연간 3,000톤의 토마토가 출하되고 있으며, 프랑스 지역에 70%, 영국과 독일에 30%가 출하되고 있음. 방울토마토는 주로 3kg포장 단위로 출하되며, 출하가격은 kg당 8~12유로임.
- 농장은 최첨단 자동환기조절장치(바깥공기와 실내공기를 혼합하여 실내 압력을 유지) 설치, 천적곤충을 활용한 생물학적 방제 등 첨단재배방식을 도입함으로써 신선도와 안전성을 갖춘 토마토 생산이 가능하여 지난 2-3년 동안 유럽토마토 품평회에서 1위를 계속 유지하고 있음. 자동환기조절장치 등 첨단시설을 견학하기 위해 유럽뿐만 아니라 미국, 러시아, 호주 등에서도 관계자들이 방문하고 있음.
- 발전소 온배수 배수구로부터 농장까지의 300m배관 설치에 따른 비용은 지자체와 발전소가 담당하였고, 온배수 이용을 위한 농장내부의 시설설치와 시설유지비는 농장에서 부담하고 있음. 온배수 사용료는 무료임. 온배수의 이용기간은 여름 고온기를 제외하고는 연중 이용하고 있음.
- 농장에 유입된 온배수는 농장내부의 난방시스템에서 활용된 후에 매설된 배관을 통해 다시 발전소로 보내짐. 농장 유입당시의 온배수 온도는 35°~36°C 정도이며 농장 내부를 순회 후 배수될 때는 32°C정도임. 발전소 온배수는 시간당 400톤이 유입되고 있음.
- 토마토 재배를 위해 농장의 실내온도를 평균 22°C(저온시 16~17°C, 고온시 27°C) 유지하고 있는데, 주 난방은 천연가스를 이용하고 있고, 온배수는 보조적인 난방원이라 할 수 있음. 난방원에서 천연가스 이용비율이 70%, 발전소 온배수가 30%여서 온배수 이용에 따라 난방비의

30%를 절감한다고 볼 수 있음. 현재 천연가스를 이용한 연간 난방비는 50만 유로(약 7억 원) 정도임.

- 12ha의 온실에서 연간 3,000톤의 토마토가 출하되고 있으며, 프랑스 지역에 70%, 영국과 독일에 30%가 출하되고 있음. 방울토마토 출하가격은 kg당 8~12유로 임.

그림 4. 쉬농(Chinon)발전소 인근 Jardin농장



□ 템피에르 화훼농장

- 템피에르 원전에서 발생한 폐열을 이용하여 4,000m²의 경질판 온실에서 포인세티아, 시크라멘을 재배하는 농가임. 인근에 10개 농가가 채소류, 화훼류, 관상수, 잔디 등을 재배하고 있으며, 농가 모두 템피에르 발전소 온배수를 보조 난방으로 활용하고 있음. 주 난방은 천연가스 임.

- 발전소 온배수는 25년전 발전소가 들어서면서 이용되었으며, 온배수 배관 설치에 따른 비용부담은 쉬농지역과 마찬가지로 발전소에서부터 시설단지의 간선시설은 지자체와 발전소가 부담하고, 간선타미널에서 각 농장의 재배현장까지의 지선시설은 각 농장이 부담함. 발전소 배수구로부터 간선타미널까지의 거리는 500m 정도임. 온배수 사용료는 무료임.

그림 5. 댐피에르 원전 지역의 화훼농장



- 이 농장의 온배수 이용시설의 특징은 온수배관이 재배포장 지하에 설치되어 있다는 것이며, 이에 따라 배관이 지상부에 설치되어 있는 농장에 비해 열효율이 크게 떨어져 온배수 이용에 대한 효과가 미미하다는 것임. 현재 온배수 유입 온도는 25°C에 불과하여 향후 배관을 지상으로 설치 예정에 있음.

□ PROGREF 농장

- 템피에르 원전 폐열을 이용한 Progref 농가는 재배면적은 총 3ha로 온실면적은 2ha, 노지재배면적은 1ha규모임. 재배작물은 소나무, 소철, 단풍나무 등 20여종의 정원수 묘목을 재배함. 농장은 템피에르 발전소 배수구로부터 300m의 거리에 있으며, 1990년부터 발전소 온배수를 이용하고 있음. 이 지역에서는 1982년부터 발전소 온배수를 이용하고 있음.
- 온실내부에서는 온배수 배관이 지상부에 설치되어 있는데, 노지재배의 경우는 지하20cm깊이에 25cm의 간격으로 온배수 배관이 매설되어 있음. 온배수 유입온도는 여름철에는 40°C에 이르나 겨울철에는 22°C 정도를 유지하고 있고, 조사시점에서의 온실내부 온도는 14°C였음.

그림 6. 템피에르 원전 지역의 묘목농장



- 발전소 온배수는 연중 이용이 가능하나 집중 이용하는 시기는 11월초에서 이듬해 3월말까지의 겨울철임. 재배작물의 특성 상 발전소온배수 이외의 난방시설이나 난방연료는 없음. 발전소로부터 온배수 배관시설은 여타 지역과 마찬가지로 원예단지의 허브터미널까지는 지자체와 발전소의 부담으로 설치하였고, 허브터미널에서부터 각 농장까지의 배관시설이나 온실내부의 이용시설 등은 각 농장이 책임지고 있음. 온배수 사용료 역시 무료임.
- 농장이 발전소 인근에 위치하고 있어 온배수 이용에 큰 어려움은 없으나, 발전소 냉각탑으로부터의 수증기가 햇볕을 가려 작물생육에 지장을 주고 있음.

3. 사례조사로부터의 시사점

□ 원전 온배수에 대한 긍정적 인식

- 프랑스 전력사용량의 75%를 원자력발전소에서 충당할 만큼 프랑스는 원전 의존도가 높음. 이는 프랑스 국민들이 원전에 대해 비교적 관대하기 때문에 가능한 현상임. 프랑스 원전이 위치한 곳을 보더라도 대부분 주민들이 거주하는 강가에 위치하고 있으며, 원전 주변에 시설단지가 자연스럽게 조성되어 있음.
- 발전소 인근의 농장들도 온배수 이용에 매우 적극적이며, 발전소가 위치한 지자체나 발전소도 온배수 이용을 장려하기 위해 배관설치 등 다양한 지원을 아끼지 않고 있음. 다만 공급된 물은 식물에 직접 물을 주는데 사용되지 않고 오직 파이프를 통해 지면을 가열하는데 사용함. 이렇게 함으로써 방사성 원과 접촉하지 않기 때문에 오염의 위험이 없음.
- 정부, 지역행정당국, 발전소는 온배수 이용 가능성이 입증된 분야에 대해서 적극적인 홍보와 이용을 장려하고 있음. 그리고 온배수 이용 기술에 대한 지속적인 연구개발로 인해 수산업뿐만 아니라 농업에서도 상업적 이용이 증가하고 있는 추세임.

□ 온배수 이용을 촉진하기 위한 제도적 장치 구비

- 1980. 7. 15에 제정된 에너지 절감 및 열사용에 대한 법은 폐열을 지역 난방 등에 활용 지원토록 하고 있음. 동 법은 폐열에서 나오는 열은 무료(5~6년 마다 계약 갱신)이지만, 사용자의 유지 책임과 장비의 운영 비용을 명확하게 함. 발전소로부터 열공급이 원활히 않은 경우를 대비해 별도 설비를 갖추고 있어야 하며 이로 인한 피해보상 등을 발전소에 이의제기 하지 않는다는 내용(다만, 발전 정지시 통보는 함)임. 현재까지는 이로 인한 갈등이나 이의제기는 없음.
- 온배수 이용은 사업자가 희망하면 무상으로 공급받을 수 있지만 시설 비용은 수요자가 부담하는 것을 원칙으로 하고 있음. 하지만 온배수 이용 설치비는 상당한 비용이 요구되기 때문에 정부, 지역행정당국, 발전소에서 많은 부분을 부담하고, 실질적으로 사업주체의 부담비율은 극히 적음.
 - 발전소 배수구로부터 시설단지 허브터미널까지의 배관설치는 지자체와 발전소가 부담하고, 허브터미널에서부터 온실까지의 배관설치, 온실내부의 이용시설은 농가가 부담하는 것이 일반적임. 지자체에 따라서는 온실까지의 배관설치 비용도 일부 부담하고 있음.

□ 온배수 이용에 유리한 냉각시스템

- 프랑스의 원자력 발전소는 대부분 내륙의 큰 강가에 위치하고 있어서 복수기 냉각은 하천수(담수)이용 방식과 냉각탑 열교환 방식이 사용됨. 하천수 냉각은 해수 냉각보다 온배수의 온도가 높고, 불순물에 의한 기계결함 문제가 적기 때문에 이용가치가 매우 높음. 하천수의 온배수 온도는 해수보다 약 10~15℃ 높음.
- 이 냉각시스템을 이용한 하우스 재배는 20~40℃의 온수를 이용하기 때문에 경제성이 매우 높음. 특히 채소, 종묘 등과 같이 추가적으로 가온시설을 필요로 하지 않는 저온성 작물재배는 작물의 로테이션을 빠

르게 함. 또한 뿌리내림을 좋게 하고, 동결을 방지할 수 있음. 그리고 관엽식물, 화훼, 토마토 등과 같이 가온시설을 필요로 하는 고온성 작물의 경우, 난방비를 40~80% 정도 절약할 수 있음.