

새만금 간척지구의 농업용지 토지이용계획을 고려한 농업용수 수요량 산정

장정렬* · 이성학** · 조영권*** · 최진용****

A Calculation of Agricultural Water Demand According to the Farmland Developing Plan on the Saemangeum Tidal Land Reclamation Project

Jang JeongRyeol*, Lee SungHack**, Cho Youngkweon***, Choi JinYong****

Abstract

The purpose of this study is to calculate agricultural water demand as considering landuse plan of the farm land on the Saemangeum tidal land reclamation project. This study based on the farm landuse plan(2012) and considered some items which did not included previous work like prevention water for resalinization for paddy and upland and multi-purpose water for upland. This study showed that the agricultural water demand estimated 145.123Mm³/yr, which is needed as much 14.792Mm³/yr as more water than previous work. The difference comes from the change of unit water demand. Water demand is possible to be changed if guidelines are improved and detailed design work is completed through further study. Especially, the more studies for prevention water for resalinization in a tidal reclaimed farmland and water demand for a horticulture are needed.

Keywords: Water demand, Resalinization, Paddy, Upland, Horticulture, Saemangeum, Tidal land reclamation

I. 서론

세계인구의 지속적인 증가와 기후변화로 인한 홍수 및 가뭄의 증가로 인하여 안정적인 농업생산의 중요성은 갈수록 커지고 있으며, 이에 세계 각국은 농산물의 안정적인 생산과 생산량 증대를 위하여 많은 노력을 기울이고 있다. 우리나라 또한 통일 후의 식량안보 및 국내의 안정적 식량공급을 위한 많은 노력을 기울이고 있으며, 그 중 대표적인 사례가 새만금간척종합개발사업이다. 새만금

사업단(2012)에 따르면 새만금사업은 1960년대부터 1980년대까지 한밭, 식량파동, 냉해 등으로 인한 외국쌀 도입을 계기로 사업시행 논의가 본격화되었으며, 1980년대부터 경제적 타당성분석, 환경영향평가, 주민동의 관계부처 협의, 공유수면 매립 면허 등의 절차를 거쳐 현재에 이르고 있다.

최근 경제발전과 더불어 소득증가에 따른 국민들의 소비패턴과 식습관 변화로 육류, 과채류 등의 소비가 증가하고 반면, 쌀의 소비량이 점차 감소하고 있는 추세이다. 따라서 정부에서는 쌀생산

* 한국농어촌공사 농어촌연구원 책임연구원 (Corresponding author wgjang@ekr.or.kr)

** 서울대학교 조경-지역시스템공학부 박사과정 (hacktan@snu.ac.kr)

*** 한국농어촌공사 농어촌연구원 수석연구원 (ykcho@ekr.or.kr)

**** 서울대학교 조경-지역시스템공학부 부교수 (iamchoi@snu.ac.kr)

Received April 24 2014; Revised May 14 2014; Accepted May 20 2014

Copyright ©2014, Korean National Committee on Irrigation and Drainage

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

과잉에 대한 해결책을 고심하고 있으며, 논에 쌀 이외의 타작물 재배를 권고하고 있다. 이러한 경제·사회적 여건 변화에 따라 농업용으로 개발된 간척지도 논농사 위주 보다 다양한 용도로 개발하려는 정책 기조의 변화가 있다.

국무총리실 등(2011)에서 수립한 새만금 종합개발계획(Master Plan 2011)에서는 새만금 농업용지(8570ha)에 대해 글로벌 경쟁력을 갖춘 첨단 기술 및 고품질 수출농업육성이라는 비전 실현을 위해 3대 전략목표를 수립하고, 11개 세부 용지의 개발계획을 수립하였다. 하지만, 농림수산식품부(2012)는 개발계획 수립 후 쌀생산 과잉우려 등 국내·외 여건변화에 따른 복합곡물단지 등의 용지 수요 재검토 필요성이 제기되어 왔고, 또한 새만금 지역이 동북아 경제중심지로서 미래성장 엔진으로 도약하는 비전에 부응하기 위한 아그로파크(Agro-Park) 등 미래 유망농업을 적용하는 방안에 대한 검토 필요성이 요구되었다. 이에 따라 농림수산식품부와 한국농어촌공사는 새만금 농업용지 토지이용계획보완 연구(2013)을 수행하였다.

본 연구의 목적은 논 농사이외의 다목적 이용으로 개발되는 새만금 농업용지의 토지이용계획 용도별 특성에 맞는 용수원단위(Unit Irrigation Water Demand, UIWD)를 산정하고, 이를 이용하여 농업용수 수요량(Irrigation Water Demand, IWD)을 예측함으로써 적기 적소의 농업용수 공급을 위한 의사결정 기초자료를 제공하는데 있다.

II. 재료 및 방법

1. 기존(Master Plan 2011) 토지이용별 용수원단위 산정방법의 한계

2011년 새만금 종합개발계획(Master Plan 2011)에서 제시된 산정방법은 Table 1과 같다. 논외의 경우 담수직파방법을 선택하였고, 논용수 수요량 산정에 지배 기상관측소의 경우 군산 및 부안관측소

의 평균치를 사용하였으며, 수로 손실은 10%을 고려하고 침투량은 새만금사업단(2009)에서 현장 측정된 9.1mm/day를 사용하였다. 밭의 경우 필요수량이 가장 큰 과수를 대상으로 수요량을 산정하였고, 관개효율은 85%를 적용하였으며, TRAM은 40mm 그리고 재염화방지용수는 전체 수요량의 10%을 단순 추가하여 산정하였다. 축산용수는 생활용수에서 공급되는 양축용수를 제외한 초지용수만을 산정하였으며, 초지용수는 밭용수를 기준으로 산정하였다. 농업용지 중 밭용수를 기준으로 산정된 토지이용은 초지, 수목원 묘목장이다. 또한 대규모농어업회사, 원예단지, 첨단농업시험단지는 시설용수를 기준으로 산정하였다.

2011새만금 종합개발계획(Master Plan 2011)에서는 세부적인 토지이용이 구분되지 않아 대규모 농어업회사, 원예단지, 첨단농업시험단지 등이 구분되지 않고 시설용수로 일괄 산정된 점과 재염화방지용수의 산정에 있어 논과 밭에 대한 산정기준이 정립되어 있지 않아 이전의 경험적인 기준으로 산정하였고, 논에서는 경제성 반영을 위한 이모작 재배용수가 포함되지 않았다.

2. 새만금 농업용지 토지이용계획보완에 따른 농업토지이용 변화 조사

새만금간척지는 행정구역상으로 전라북도 군산시, 김제시 및 부안군에 걸쳐 있고, 만경강 및 동진강 하류에 위치하며, 사업면적은 약 401km²이며, 토지가 293km², 담수호가 118km²이다. 1단계 사업은 1991년 시작되어 방조제 33.9km, 배수갑문 2개소, 방수제 68.2km가 2011년 완공되었다. 새만금 간척사업은 1989년 새만금 종합개발사업 기본계획이 발표된 이래 2008년 새만금 내부토지 개발 기본구상 변경(안), 2009년 새만금 내부개발 기본구상조정(안)이 보고되었으며, 국무총리실(2011)에서 2011년 현재의 새만금종합개발계획(Master Plan 2011)을 발표하였다.

Table 1. Investigation of Calculation Method for Irrigation Water Demands in Saemangeum Master Plan(2011)

Agriculture Landuse(2012)		Method and Parameters Saemangeum Master Plan(2011)
Paddy		<ul style="list-style-type: none"> • Cultivation Type : Water Seeding • Weather Data : Average of Kunsan and Buan • Data Period : 1973-2007 • Conveyance Loss : 10% • Infiltration : 9.1mm/day • Prevention of Resalinization
	Upland	<ul style="list-style-type: none"> • Crop : Fruit Plant • Weather Data : Average of Kunsan and Buan • Data Period : 1973-2007 • Irrigation Efficiency : 85% • Infiltration : 9.1mm/day • TRAM : 40mm • Prevention of Resalinization : 10%
Natural Recycle Organic Farm		<ul style="list-style-type: none"> • Livestock Rearing : Water for Living
Advanced Technique Test Farm		<ul style="list-style-type: none"> • Grass Land : Upland Water Requirement • Water Requirement for Nuriculture
Horticulture	Normal Horticulture (1,003ha)	<ul style="list-style-type: none"> • Water Requirement for Nuriculture
	Hitech Greenhouse	
Large Scale Agriculture Business Company	Normal Horticulture	<ul style="list-style-type: none"> • Water Requirement for Nuriculture
	Hitech Greenhouse	
	Natural Recycle Organic Farm	<ul style="list-style-type: none"> • Water Requirement for Nuriculture
	Etc	
Arboretum		<ul style="list-style-type: none"> • Upland Water Requirement
Nursery Stock		<ul style="list-style-type: none"> • Upland Water Requirement
Seed Life R&D Cluster		
Horse Industry Complex		<ul style="list-style-type: none"> • Newly Included Landuse

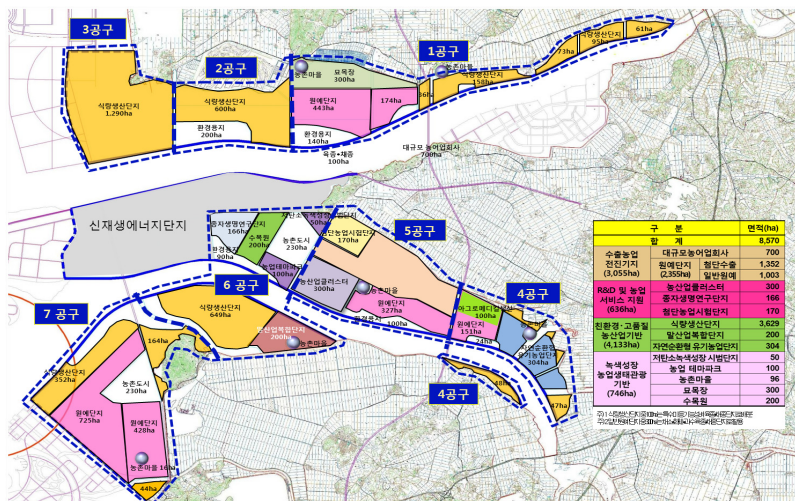


Fig. 1. Target Area of Agricultural Landuse Plan in the Saemangeum Project

농림수산식품부(2012)는 국내·외 여건의 변화 및 새만금 지역의 동북아 경제중심지로서 도약하는 비전에 부응하기 위하여 새만금 농업용지 토지이용계획 일부 보완에 대한 연구를 수행한 바 있으며, 주요 보완 내용은 식량안보 개념 강화, 지속가능한 농업 개념 및 Smeets(2011)에서 제시한 Agro-Park 개념 도입과 함께 농산업클러스터로 개발방향을 전환하고, 미래 잠재수요를 반영하여 말산업 복합단지, 종자생명연구단지의 신규 도입, 수출특화 원예단지의 개발로 방향을 설정하였다. 새만금 농업용지 토지이용보완연구에 따른 농업용지의 토지이용은 Table 2와 같다.

3. 농업용수 수요량 산정절차 수립

새만금 농업용지 토지이용계획에서는 다양한 농업용지로 구성되며, 각각의 용도별 특성을 고려하는 용수원단위의 산정을 위하여 Fig. 2와 같이 산정절차를 수립하였다. 산정절차는 새만금 농업용지 토지이용계획에 따른 농업토지이용별 면적을 추출하고, 국내외 농업 용수원단위(UIWD) - 여기서, 용수원단위(UIWD)는 조용수량(mm)을 단위 ha당 연간 필요로 하는 수량(m³/ha/년)으로 정의된다. - 산정방법을 조사한 후 기상자료, 토양 및 작물 등을 고려하여 새만금 농업 토지이용에 적합한 용수원단위(UIWD)를 산정한다. 새만금

Table 2. Agricultural Landuse Plan of the Saemangeum Project According to the Recent Research(Ministry of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries and Korea Rural Community Corporation, 2012)

Function	Landuse	Area (ha)
Environment and High Quality Agriculture (4,133Ha)	Staple Crop Production (3,629ha)	Paddy 1,912
		Multi-Use (1,717ha) 1,717
		Natural Recycle Organic Farmland 304
		Horse Industry Complex 200
Export Oriented Agriculture (3,055Ha)	Horticulture (2,355Ha)	Normal
		Soil Base (603ha) 1,003
		Seed Farm(300ha)
		Agro-medical(100ha) 1,352
R&D and Agriculture Service (636Ha)	Hightec Greenhouse	Hightec Greenhouse 1,352
		Large Scale Agriculture Business Company 700
		Advanced Technique Test Farm 170
		Seed Life R&D Center 166
		Agro-business Cluster 300
Green Growth and Agriculture Eco-tourism (746ha)		Low Carbon & Green-Growth Pilot Complex 50
		Agricultural Theme Park 100
		Rural Village 96
		Nursery Stock 300
	Arboretum 200	
	Total	8,570

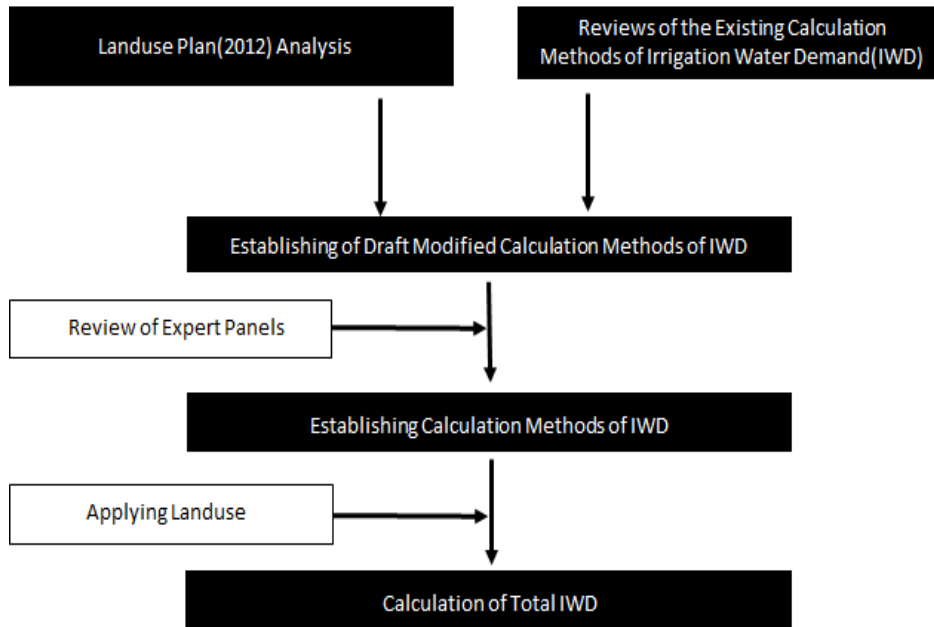


Fig. 2. Schematic Diagram of Irrigation Water Demand Calculation Process

농업토지이용별 용수원단위와 새만금 농업용지 토지이용보완연구에 따른 면적을 곱하여 전체 새만금 농업용수 수요량을 산정한다. 산정된 결과는 전문가 검토를 거친 후 수정 및 보완되어, 최종적으로 확정되게 된다. 농업용수 수요량은 전체 새만금 농업지구 개발의 큰 틀을 형성하므로 전문가 검토회의는 용수량 산정방법에 대한 합리성을 검증하고 향후 발생할 문제점을 미리 살펴보는 기능을 한다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 새만금 농업용지 토지이용별 용수원단위 산정 개요

농업용수 수요량 예측을 위하여 새만금 농업용지 토지이용을 논, 밭, 축산, 일반원예, 첨단수출원예로 구분하고, 이를 바탕으로 각 용도별 용수원단위를 산정한 후 각각의 해당 토지이용 특성에 따른 용도별 면적을 곱하여 전체 농업용수 수요량

을 산정하였다. 전체 논 용지 중 저지대(1,912ha)는 염분농도가 높아 논농사 이후 밭으로 전환하여 이모작이 불가능하므로 겨울철에는 염분에 강한 사료작물을 재배하는 것으로 산정하였고, 저지대 이외의 지역(1,717ha)은 경제성을 고려하여 논농사 이후 밭으로 전환하여 밭작물(봄감자)을 재배하는 것으로 하여 용수수요량을 산정하였다. 또한 원예단지는 간척지 토양을 활용하는 원지반 노지 재배와 간척지의 토양을 사용하지 않는 양액재배로 구분하여 용수수요량을 산정하였다. 일반원예단지 1,003ha 중에서 Agro-Medical 100ha는 특용작물을 재배하는 유리온실에 해당하므로 일반단지에서 제외하여 산정하였다. 첨단농업시험단지 중에서 논 시험 포장을 제외한 면적과 묘목장 및 수목원에 대하여도 밭 용수량을 적용하였다. 축산용수 중 자연순환형 유기농업단지와 대규모농어업회사의 초지용수는 농업용수 수요량 산정에 포함하였지만, 양축용수는 수질상의 문제로 인하여 대부분 생활용수를 이용하므로 농업용수 수요량

산정에서는 제외하였다. 유리온실을 이용하는 첨단 시설원예단지(1,352ha), 종자생명연구단지(166ha), Agro-Medical 단지(100ha)는 양액재배를 기준으로 농업용수 수요량을 산정하였다. 저탄소녹색성장시범단지, 농업테마파크, 농촌마을, 농산업클러스터는 생활용수 및 공업용수가 공급되는 단지로써 농업용수 수요량 예측대상에서는 제외하였다.

2. 새만금 농업용지 토지이용별 용수원단위 산정 결과

2.1 논 용수원단위 산정

논 용수원단위를 산정하기 위해서는 벼의 재배 방식, 수리시설물의 종류, 토양특성에 따른 침투량, 간척지의 특성을 반영하는 재염화방지용수 등을 고려하여야 한다. 논 용수원단위 산정 시 재배 방식은 용수수요량이 가장 크고 간척지 논농사에서 많이 이용되고 있는 답수직파를 적용하였으며, 수로손실량은 실시설계 이전까지는 구체적인 수

로종류가 결정되지 않으므로 일반적인 콘크리트수로 가정하여 농림부(1998)의 농업생산기반정비사업계획 설계기준(관개편)에서 제시된 콘크리트수로 손실기준 10%를 적용하였다. 침투량은 한국농어촌공사 새만금사업단(2009)에서 연구대상 지구에서 실시한 현장실험 결과인 9.1mm를 인용하여 적용하였다. 새만금 지역의 침투량은 내륙의 논 지역에 비해 상당히 크게 나타났으며, 이는 새만금지역의 토성이 사질토 성분이 많기 때문이다. 작물의 재배로 인하여 논이 숙답화가 진행될수록 침투량이 감소한다. 하지만 새만금 지역 용수공급은 작물재배 전 기간에 걸쳐 안정적이어야 하므로 초기의 침투량인 9.1mm를 사용하는 것이 계획의 측면에서는 합리적이다. 다만 지속적인 침투량에 대한 실험을 통하여 수요량변화를 보완할 필요가 있다. 간척지 논인 경우 초기 제염 이후에도 염분 피해 예방을 위한 재염화방지 용수를 고려하여야 한다. 호남농업연구소(2007)의 실험결과에 따라

Table 3. Guidelines of Unit Irrigation Water Demand(UIWD) Calculation of Paddy Field in the Study Area

Items	Guideline	Detail
Cultivation	Direct Sowing in Flooded Paddy	- Cultivation Type in Reclaimed Land
Weather Station	Kunsan and Buan	- Governing Station according to Thiessen Network
Data Period	1973-2011	- Applying Recent Meteorological Data
Conveyance Losses	10%	- Concrete Canal (Ministry of Agriculture and Forestry, 1998)
Infiltration	9.1mm	- Basic Soil Investigation and Experiment Report of Agricultural Land(Saemangeum Project Office, 2009)
Inlet Depth	60mm	- General Ponding Depth
Evapotranspiration	Modified-Penman	- ICID and FAO Recommended Method
Effective Rainfall	Daily Ponding Depth Tracing Method	- Mostly Used Method
Prevention of Resalinization	450mm	- Young Plant Stage from Seeding(30mm/irrigation) - Continuous Circulation Irrigation(15 times)
Double Cropping	Winter Season (Wheat and Barley) and Spring Crop(Potato)	- Non-irrigation : Double Cropping(Wheat and Barley) - Irrigation : Double Cropping(Potato)

면, 벼의 경우 유묘기까지는 염분에 대한 저항력이 약하므로 파종부터 유묘기까지 3일 간격으로 30mm씩 15회, 총 450mm를 환수관개 방식으로 공급하는 경우 재염화에 방지에 가장 적합하다고 제시한 바 있으며, 본 연구에서는 호남연구소에서 제시한 재염화방지 용수량을 적용하여 산정하였다. 한국농어촌공사(2012)에 따르면 새만금 간척지 논의 경우 사료작물 또는 봄 작물의 이모작 시에만 경제성이 있으며, 배수가 불량하고 염분농도가 높은 저지대는 조사료작물(맥류)을 재배하고, 나머지 지역은 인근에서 많이 재배되는 봄작물 중 용수수요량이 큰 감자를 기준으로 용수수요량을 산정하였다. 동계 맥류의 경우 일반적으로 관개를 실시하지 않으므로 용수원단위 산정에는 반영하지 않았다. 이에 따른 논의 용수원단위 산정기준은 Table 3과 같다. 또한 논에서는 기상에 따라 수요량이 많은 차이를 보이므로 지배관측소의 선정이 중요하다. 새만금 지역의 경우 면적이 굉장히 큰 지역으로 티센망을 도시하면 군산 및 부안관측소가 지배관측소로 나타난다. 본 연구에서는 농업토지이용별 위치에 따라 각각에 적합한 기상 지배관측소를 선정하여 용수수요량을 산정하였다. 군산 및 부안 기상관측소 자료에 따른 각각의 농업용수원단위는 Table 4와 같으며 군산관측소를 적용할 경우 부안관측소에 비하여 약 2% 정도 많은 것으로 나타났다.

2.2 밭 용수원단위 산정

밭 용수수요량 산정의 세부적인 적용항목 및 내용은 Table 5와 같으며, 용수원단위 산정결과는 Table 6과 같다. 대상작물은 용수수요량이 가장 크며, 수자원장기종합계획(국토해양부, 2011)에서 산정에 이용된 과수를 적용하였다. 기상자료는 토지이용의 위치에 따라 각각의 지배관측소별로 구분하여 적용하였으며, 한발기준 10년 빈도 필요수량을 결정하기 위한 기상자료는 1973년~2011년까지 이용하였다. 밭의 관개효율은 관개방식에 따라 결정되며, 관개방식은 세부설계 단계에서 결정된다. 따라서 본 연구에서는 안정적인 용수공급의 측면에서 농림부(1998) 농업생산기반정비사업계획 설계기준(관개편)에서 제시된 스프링클러, 점적 및 지표관개 효율의 최소값 평균인 70%를 적용하였다. 이는 관개방식의 결정되지 않은 상황에서 안정적인 용수공급의 측면에서 이전의 새만금 종합개발계획(Msater Plan 2011)에서 사용된 밭의 관개효율 85%(스프링클러 기준)보다 적은 70%값을 사용하였다. 증발산량 산정방법은 FAO Penman-Monteith식, 유효수량은 일별 유효수분 추적법을 이용하였다. 밭에서 다목적 용수량은 작물이 생리적으로 요구하는 수분보급이외에 물을 이용할 목적과 이에 필요한 용수량으로 재배관리용수, 기상재해방지용수, 관리 작업의 생력화용수 및 기타용수 등이 해당 되며, 본 연구에서는 국토해양부

Table 4. The Results of Unit Irrigation Water Demand(UIWD) of Paddy Field in the Study Area According to the Weather Stations

Weather Station (1973-2011)	Gross Duty of Water(mm)			Unit Irrigation Water Demand (10 ³ m ³ /ha/yr)
	10 Years Frequency of Water Requirement	Prevention of Resalinization	Rice-	
			Wheat and Barley	
Buan Station	1,858,20	450.00	0.00	23.08
			270.10	25.78
Kunsan Station	1,907,70	450.00	0.00	23.58
			270.10	26.28

(2011) 수자원장기종합계획에서 제시한 67mm를 적용하였다. 또한 새만금 간척지 밭작물의 염분 피해를 줄이기 위하여 재염화방지용수를 10% 고려하였다. 간척지에서 재염화방지를 위하여 공급해야하는 용수량은 명확히 정의된 바 없으므로 전문가 의견수렴을 거쳐 이전 새만금 종합개발계획 (Master Plan 2011)에서 사용된 10%를 적용하였다. 그러나 이 값은 어디까지나 전문가 의견수렴을 통한 경험적인 값이며, 추가적인 연구를 통하여 밭에서의 재염화방지 적정 용수공급량을 명확히 할 필요가 있다. 용수수요량은 부안관측소를 지배관측소로 하는 지역의 경우 한발기준 10년 빈도

필요수량 421.30mm, 재염화방지용수량 42.13mm, 다목적용수 67.00mm이며, 이에 따른 단위 ha당 연간 총 용수원단위는 5.30천³m³/ha/년으로 산정되었으며, 군산관측소를 지배관측소로 하는 경우 한발 기준 10년 빈도 필요수량 435.30mm, 재염화방지용수량 43.53mm, 다목적용수 67.00mm이며 이에 따른 단위 ha당 연간 총 용수원단위는 5.46천³m³/ha/년으로 부안관측소를 기준으로 한 경우보다 조금 크게 나타났다.

2.3 원예단지 용수원단위 산정

원예단지는 일반원예단지(1,003ha)와 첨단수출

Table 5. Guidelines of Unit Irrigation Water Demand(UIWD) Calculation of Upland in the Study Area

Items	Guideline	Detail
Crop	Fruit tree	Most Consumptive Use Crop in Upland
Weather Station	Kunsan and Buan	Governing Station according to Thiessen Network
Data Period	1973-2011	Applying of Recent Meteorological Data
Irrigation Efficiency	70%	Average of Minimum Values of Sprinkler(70~85%), Drip(80~85%), Surface(60~65%) Irrigation Efficiency (Expert Pannels Recommended Efficiency(%))
TRAM	40mm	Basic Soil Investigation and Experiment Report of Agricultural Land(Samangeum Project Office, 2009)
Evapotranspiration	FAO Penman-Monteith	ICID and FAO Recommended Method
Effective Rainfall	Daily Available Moisture Tracing Method	Considering SMEP in Water Demand Calculation
Multi-purpose Water Demand	67mm	Water Vision 2020(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2011)
Prevention of Resalinization	10% of Consumptive Use	- Saemangeum Master Plan(Ministry of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, 2011) - Expert Pannels Recommended Portion(%)

Table 6. The Results of Unit Irrigation Water Demand(UIWD) of Upland in the Study Area According to the Weather Stations

Weather Station (1973-2011)	Gross Duty of Water(mm)			Unit Irrigation Water Demand (10 ³ m ³ /ha/yr)
	10 Years Frequency of Water Requirement	Multi-purpose Water Demand	Prevention of Resalinization	
Buan Station	421,30	67,00	42,13	5,30
Kunsan Station	435,30	67,00	43,53	5,46

원예단지(1,352ha)로 구분하여 산정하였다. 일반 원예단지(Normal Horticulture)와 첨단수출원예단지의 차이점은 재배 시 원지반 토양(Export-oriented Horticulture)의 이용 유무에 있으며, 유효수량이 없다는 점에서 동일하다. 일반원예단지의 경우 원지반 토양을 이용하므로 관개수의 토양침투가 발생하고, 재식밀도가 첨단수출원예단지에 비해 상대적으로 낮다. 반면, 첨단수출원예단지는 양액재배방식이 적용되므로 재식밀도가 높고 증발산량이 큰 특징이 있다.

1) 일반원예단지 용수원단위 산정

국내에서 일반원예단지의 적정한 용수수요량 산정방법이 정립되어 있지 않아 본 연구에서는 농

촌진흥청(2006) 작물 물관리 지침 프로그램을 이용하여 용수수요량을 산정하였다. 이 프로그램은 무강우 시 1회 최대 관개량과 관개기간을 작물의 종류, 토성, 생육단계별로 나누어 제시하고 있다. 새만금 일반원예단지의 용수원단위 산정을 위해 새만금 지역 대표 토성인 미사질양토, 대상작물은 필요수량이 가장 큰 고추(반축성)을 1년 2회 재배하고, 관개효율은 밭과 동일하게 70%를 적용하여 산정하였다. 밭의 산정방식과 같이 용수공급의 안정성을 고려하여 다목적 용수량(0.67천m³/ha/년)과 재염화방지용수량(필요수량 10%)를 추가로 고려하였다. 밭 용수수요량과 비교하여 일반원예단지는 자연강우에 의한 유효수량 이용이 곤란하므로 재염화방지를 위한 용수량이 더 필요할 수도

Table 7. Guidelines of Unit Irrigation Water Demand(UIWD) Calculation of Normal Horticulture Complex

Items	Guideline	Detail
Crop	Red Pepper (Semi-forcing)	- Biggest Consumptive Use Crop in Upland - Double Cropping
Water Demand	Water Management Guideline of Rural Development Administration	- Quantity of Maximum Irrigation in Non-rainfall Period - Dividing Growth Stage from G-1 to G-4 - Monthly Sum of Irrigation Quantity
Soil Type	Silt Loam	Representative Soil Type in Saemangeum Reclaimed Land
Irrigation Efficiency	70%	- Average of Minimum Values • Sprinkler Irrigation (70~85%) • Drip Irrigation(80~85%) • Surface(60~65%) - Expert Pannels Recommended Portion(%)
Prevention of Resalinization	10%	- 10% of Water Requirement (Expert Pannels Recommended Portion(%))
Multi-purpose Water Demand	67mm	Considering Multi-purpose Water Demand

Table 8. The Results of Unit Irrigation Water Demand(UIWD) of Normal Horticulture Complex

Crop	Gross Duty of Water(mm)			Unit Irrigation Water Demand (10 ³ m ³ /ha/yr)
	Water Requirement	Multi-purpose Water Demand	Prevention of Resalinization	
Red Pepper (Semiforcing)	1,585.00	67.00	156.00	18.05

있으나, 아직 국내에서 연구사례가 없어 밭 지역의 재염화방지용수량 산정 기준을 그대로 적용하였다. 일반원예단지 용수수요량 산정기준은 Table 7과 같으며, 이에 따른 용수원단위 산정 결과는 Table 8에 나타내었다. 용수수요량은 한발기준 10년 빈도 필요수량 1,585.00mm, 재염화방지용수량 158.50mm, 다목적용수 67.00mm이며, 이에 따른 단위 ha당 연간 총 용수원단위는 18.05천m³/ha/년으로 산정되었다.

2) 첨단수출원예단지 용수원단위 산정
 첨단수출원예단지의 작물별 용수수요량은 Table 9와 같이 고온기(6월-9월)와 저온기(10월-5월)에 따라 다르므로 월별 가중평균을 적용하였다. 용수수요량 산정 세부내용은 Table 10과 같이 농림수산식품부(2010)에 따르면 오이, 파프리카, 가지가 용수수요량이 가장 크며, 이 중 새만금 주변지역에서 가장 많이 재배되는 파프리카를 기준 작물로 선정하였다. 작물재배를 위한 온실의 관리와 환경조절을 위해 다양한 관리용수를 필요로 한다. 하

Table 9. Water Requirement according to Crop Types and Seasons in a Glass-horticulture (Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, 2010)

Crop	Water Requirement(m ³ /ha/day)		Cultivation Type
	High Temperature (Jun. -Sep.)	Low Temperature (Oc. t-Apr.)	
- Cucumber, Paprika, Aubergine	60-75	30-40	Nutriculture
- Tomato, Melon	50-60	25-35	Nutriculture Long Period Cultivation
- Strawberry	30-40	15-20	Nutriculture
- Rose, Carnation, Chrysanthemum	30-40	15-20	Nutriculture Fertigation
- Mini-Rose, Kalanchoe, Ornamental Foliage Plant	20-30	10-15	Nutriculture Fertigation

Table 10. Guidelines of Unit Irrigation Water Demand(UIWD) Calculation of Export-oriented Horticulture Complex

Items	Guideline	Detail
Crop	Paprika	Mainly Cultivated Crop in Kimje
Method	Monthly Weighted Average in High and Low Temperature Periods	Monthly Weighted Average of Maximum Value during High Temperature Period(Jun. -Sep.) and Low Temperature Period (Oct-Apr)
Prevention of Resalinization	-	Not Considered

Table 11. The Result of Unit Irrigation Water Demand(UIWD) of Export-oriented Horticulture Complex

Crop	Water Requirement (mm)	Unit Irrigation Water Demand (10 ³ m ³ /ha/yr)
Paprika	1,965.00	19.65

지만 관리용수량의 종류가 매우 다양하고 무엇보다 온실사업자에 따라 관리방식이 매우 상이하다. 다만 실제적으로 관리용수는 많은 부분 온실주위의 수로를 막아 재사용되는 경우가 많아 이를 고려할 경우 그 양은 많지 않으므로 산정에서 제외하였다. 첨단수출 원예단지의 용수원단위 산정결과는 Table 11에 나타난 바와 같이 19.65천m³/ha/년으로서 논(약 23-26천m³/ha/년) 다음으로 크다.

2.4 축산용수(초지용수) 용수원단위 산정

축산용수는 양축용수, 가공용수 및 초지용수로 크게 구분할 수 있으며, 적절한 수질로 처리되지 않고 직접 농업용수를 양축용수 및 가공용수로 공급할 경우 문제가 발생할 수 있다. 그리고 전문가 회의에서 검토된 바에 따르면 새만금 지역의 양축 및 가공용수는 수질문제로 인하여 생활용수를 공급하는 것으로 5공구에서는 설제되어 있으므로 본 연구에서는 축산용수 중 초지용수만을 공급하는 것으로 산정하였다. 국내의 경우 다양한 품종의 조사료 작물이 새만금지역에서 재배 가능하겠지만 초지용수 산정기준은 국토해양부(2011) 수자원장기종합계획에 사용된 바와 같이 Alfalfa(3.00천m³/ha/년)를 기준으로 산정하였다. 그 이유는 다양한 조사료 작물에 대한 필요수량 산정방법이 정립되어 있지 않기 때문이었다.

3. 농업용수 용수수요량 산정 방법 비교 및 결과

3.1 기존(Master Plan 2011) 토지이용별 농업용수 산정방법과의 비교

본 연구에서 새만금 토지이용별 농업용수 산정 방식은 이전의 새만금종합개발계획(Master Plan 2011)에서 사용된 산정방식에 비하여 각 토지이용별로 세분화 되었으며, 특히 재염화방지 용수량의 산정에 있어 큰 차이를 보인다. 다음의 Table 12는 본 연구와 새만금종합개발계획(Master Plan 2011)간의 농업용수 산정방법에 있어 세부적인

차이를 나타내고 있다. 논외의 경우 관측자료가 2011년까지 확장되었으며, 지배관측소의 경우 이전 새만금종합개발계획(Master Plan 2011)에서는 군산 및 부안관측소의 평균을 이용하였으나, 본 연구에서는 각 지배관측소에 포함되는 토지이용을 구분하여 산정하였다. 또한 저지대를 제외한 지역의 경우 이모작을 고려하였다. 간척지의 특성상 논외의 경우 재염화방지는 반드시 고려되어야 하므로 호남농업연구소(2007)의 연구결과를 이용하여 재염화방지 용수량을 산정하였다.

밭의 경우 논과 같이 기상자료를 기간확장하고 각 지배관측소별로 토지이용을 구분하여 산정하였으며, 이전의 새만금종합개발계획(Master Plan 2011)에서는 관개효율을 스프링클러를 적용하여 85%를 적용한 반면, 본 연구에서는 구체적인 작물이나 관개방식이 결정되지 않은 상황임을 감안하여 스프링클러관개, 점적관개, 지표관개의 가장 낮은 효율의 평균값을 사용함으로써 용수공급의 안정성을 고려하였다. 원예단지의 경우 이전의 새만금종합개발계획(Master Plan 2011)에서는 시설원예 기준을 적용하여 일괄적으로 사용하던 용수원단위를 일반원예와 첨단시설원예로 구분하여 산정하였으며, 대규모농업단지도 각 토지이용별로 세분화하여 용수수요량을 구분하여 용수원단위를 적용하였다. 마지막으로 신규도입된 종자생명단지 및 말산업복합단지에 대한 용수수요량을 추가하였으며, 말산업복합단지는 경주마 육성, 말생산 및 초지용수로 구분할 수 있으며, 이중 경주마 육성 및 말생산에 필요한 양축용수는 축산용수와 동일하게 생활용수를 사용하므로 제외하였고 초지용수만을 고려하였다.

3.2 용도별 용수원단위 비교

본 연구에서 산정된 농업용지의 세부 토지이용 용도별 용수원단위를 정리하여 표현하면 Table 12와 같다. 본 연구의 산정 결과와 새만금사업종합

Table 12. Comparison of Calculation Method of Unit Irrigation Water Demand(UIWD) Between Saemangeum Master Plan(2011) and This Study

Agriculture Landuse(2012)	Difference in Parameters of Water Demand Calculation	
	Saemangeum Master Plan(2011)	This Study(2013)
Paddy	<ul style="list-style-type: none"> Weather Data: Average of Kunsan and Buan Data Period: 1973-2007 Infiltration : 9.1mm/day Prevention of Resalinization 	<ul style="list-style-type: none"> Weather Data : Governing Weather Station Data for each Landuse Data Period: 1973-2011 Prevention of Resalinization: Continuous Circulation Irrigation Double Cropping Prevention of Resalinization for Double Cropping
Upland	<ul style="list-style-type: none"> Weather Data : Average of Kunsan and Buan Data Period: 1973-2007 Irrigation Efficiency: 85% 	<ul style="list-style-type: none"> Weather Data : Governing Weather Station Data for each Landuse Data Period: 1973-2011 Irrigation Efficiency: 70% (Expert Pannels recommended value)
Natural Recycle Organic Farm	<ul style="list-style-type: none"> Grass Land : Upland Water Requirement 	<ul style="list-style-type: none"> Grassland : Alfalfa(300mm/yr)
Advanced Technique Test Farm	<ul style="list-style-type: none"> Water Requirement for Nuriculture 	<ul style="list-style-type: none"> Using Fixed Landuse Plan Water Demand of Detailed Landuse
Horticulture	<ul style="list-style-type: none"> Normal Horticulture (1,003ha) Water Requirement for Nuriculture 	<ul style="list-style-type: none"> Water Management Guideline of Rural Development Administration Crop: Pepper(Semi-forcing) Irrigation Efficiency : 70% (Expert Pannels recommended value) Prevention of Resalinization : 10% (Expert Pannels recommended Portion(%)) Multi-purpose Water Requirement : 67mm
	<ul style="list-style-type: none"> Hitech Greenhouse 	<ul style="list-style-type: none"> A Study on Water Supply for Horticulture and Live Stock Region in Saemangeum Reclaimed Area(2010) Crop : Paprika
Large Scale Agriculture Business Company	<ul style="list-style-type: none"> Normal Horticulture Hitech Greenhouse Natural Recycle Organic Farm Etc 	<ul style="list-style-type: none"> Normal Horticulture Nuriculture Livestock Rearing : Water for Living Grassland : Alfalfa(300mm/yr) Excluded(not agricultural water)
Seed Life R&D Cluster		<ul style="list-style-type: none"> Normal Horticulture Nuriculture
Horse Industry Complex	<ul style="list-style-type: none"> Newly Included Landuse 	<ul style="list-style-type: none"> Livestock Rearing : Water for Living Grassland : Alfalfa(300mm/yr) Upland

개발계획(국무총리실 등, 2011)에서 적용한 용수 원단위를 비교하여 보았다. 논의 경우 재염화방지 용수 및 이모작 작물에 대한 고려로 인하여 용수 원단위가 증가하였으며, 밭 및 일반원예의 경우 재염화방지 및 다목적 용수량으로 인하여 용수원 단위가 증가하였다. 또한 첨단원예단지의 경우 일 평균 용수원단위 산정 시 용수공급의 안정성 측면에서 최대치를 시기별 가중평균값을 적용하여 용수원단위가 증가하였다. 축산용수의 경우 새만금 종합사업종합개발계획(2011)에서는 밭을 기준으로 용수원단위를 산정하였으나, 본 연구에서는 Alfalfa를 적용함으로써 용수원단위가 감소하였다. 간척지에서 원지반을 이용하는 경우에 용수원

단위 산정 시 재염화방지용수의 고려가 필요하며, 이는 대상작물, 토지이용, 제염방법 및 기간에 따라 다양할 수 있으나 이에 대한 국내연구는 미흡한 실정이다. 앞으로 이에 대한 새만금현장에서 다양한 시험과 연구를 통한 기준의 정립이 필요하다.

3.3 새만금 농업용지 토지이용보완에 따른 총 농업용수 수요량 산정 결과

새만금 농업용지 토지이용계획보완에 따른 농업용수 수요량을 산정한 결과는 Table 13과 같다. 본 연구에서 산정된 새만금 농업용수 수요량은 총 145.123천³m³/년이며, 이중 식량생산단지(논 이모작)이 수요량이 가장 크며, 원예단지가 다음으로

Table 13. Comparison of Unit Irrigation Water Demand(UIWD) Between This Study and Existing Case

Item	Gross Duty of Water(mm)					Unit Irrigation Water Demand (10 ³ m ³ /ha/yr)	
	Weather Station	10 Year Frequency Drought Water Requirement	Prevention of Resalinization	Double Cropping	Multi-purpose Water Demand	This Study	Existing Study
Paddy	Buan	1,858.20	450.00	0.00 (Wheat and Barley)	—	23.08	17.52
				270.10 (Potato)		25.78	
	Kunsan	1,907.70	450.00	0.00 (Wheat and Barley)	—	23.58	
				270.10 (Potato)		26.28	
Upland	Buan	421.30	42.13	—	67.00	5.30	4.05
	Kunsan	435.30	43.53	—	67.00	5.46	
General Horticulture		1,585.00	158.50		67.00	18.11	17.70
Controlled Horticulture		1,965.00	—	—	—	19.65	
Livestock		300.00	—	—		3.00	4.05

Existing study : Saemangeum Master Plan(2011)

Table 14. Result of Irrigation Water Demand(IWD) Calculation According to the Agricultural Landuse Plan on Saemangeum Tidal Reclamation Project

Agricultural Landuse		Application of Water Requirement Type	Area (ha)	Unit Irrigation Water Demand ($10^3\text{m}^3/\text{ha}/\text{yr}$)	Water Demand ($10^3\text{m}^3/\text{yr}$)	Total ($10^3\text{m}^3/\text{yr}$)
Staple Crop Production(3,629ha)		Rice-Wheat and Barley	1,912	23,577	45,080	89,559
		Rice-Potato	1,717	26,278	44,479	
Natural Recycle Organic Farm(304ha)	Grassland	Grassland	278	3,000	834	834
Horse Industry Complex(200ha)	Grassland	Grassland	100	3,000	300	300
horticulture (2,355ha)	Normal Horticulture (1,003ha)	Soil Base Normal Horticulture	603	17,435	10,917	14,474
		Seed Farm Upland	300	5,023	1,591	
	Agro-medical Nuriculture	100	19,650	1,965		
Hitech Green House (1,352ha)	Hitech Greenhouse	Nuriculture	1,352	19,650	26,567	26,567
Large Scale Agriculture Business Company (700ha)	Company A	Grassland	57.17	3,000	172	9,266
		Upland	20.96	5,023	111	
	Company B	Grassland	163.99	3,000	492	
		Hitech Greenhouse Nuriculture	66.92	19,650	1,315	
	Company C	Upland	69.52	5,023	369	
		Hitech Greenhouse Nuriculture	103.8	19,650	2,040	
Advanced Technique Test Farm (170ha)	Hitech Export	Hitech Greenhouse Nuriculture	242.66	19,650	4,768	746
		Paddy Paddy	13.21	23,082	305	
	Upland Upland	63.62	5,023	337		
Seed Life R&D Cluster (166ha)	Hitech Greenhouse	Normal Horticulture Normal Horticulture	5.7	17,435	103	716
		Hitech Greenhouse Nuriculture	2.96	19,650	58	
	Upland Upland	116.27	5,023	617		
Nursery Stock Kunsan Weather Station (300ha)	Nursery Stock	Upland	286.9	5,023	381	1,566
Aboretum(200ha)		Upland	200	4,883	1061	1,061
Total		-	7,780		145,123	145,123

많은 수요량을 나타내었다. 이는 논외의 경우 담수 재배를 하고, 원예단지에는 유효수량이 없고, 연중 재배하며, 재식밀도가 높은 특성이 있어 같은 작물이라도 밭에 비해 많은 용수를 필요로 하기 때문이다. 특히, 간척지의 논은 재염화방지를 위하여 일반적인 논에 비하여 4.50천 m^3 /ha/년의 용수량이 추가로 공급되어야 한다. 이는 논외의 총면적 3,629ha에 대해 16,614천 m^3 /년의 용수수요량 증가를 가져오며, 이는 논외의 면적이 300ha 감소하였음에도 용수수요가 증가한 주요 원인이다. 결국 새만금 용수수요량 산정에 있어 재염화방지용수량의 증가는 전체적인 용수수요량의 증가를 가져왔다. 본 연구의 농업용지 용수수요량은 초기 계획단계의 산정 값이며, 이는 세부적인 토지이용계획 및 설계가 실시됨에 따라 변동하게 된다. 따라서 본 연구에서는 세부설계가 진행된 지역은 이를 반영하여 산정하였다. 대규모농어업회사의 경우 5공구 지역에 속하며, 세부설계에 따르면 3개 농업기업과 첨단원예단지가 배치되고, 농업기업에 배분된 토지는 온실, 밭 및 초지로 이용된다. 세부설계에서는 대규모농어업회사는 용수원단위가 큰 첨단원예단지가 많이 포함되어 있어 면적에 비해 수요량이 상대적으로 크게 나타났다.

IV. 결론

본 연구에서는 새만금 농업용지 토지이용계획의 일부 보완에 따른 농업용수 수요량을 기존의 산정방식에 대한 조사와 전문가 의견검토를 거쳐 산정하였다. 농업용수 수요량 산정을 위한 농업용지 토지이용도별 용수원단위 산정대상으로 크게 논, 밭, 일반원예, 첨단원예, 초지용수로 구분하였으며, 용도별 용수원단위 산정에 있어 필요한 세부사항은 토지이용도별 재배방식을 분석하고, 기존 산정방식에 대해 검토하여 수정·보완 후, 국내에서

아직까지 미정립된 분야에 대해서는 국외자료 또는 전문가회의를 거쳐 선정하였다. 본 연구에서는 기존 사례에서 고려하지 않은 이모작용수량(논), 재염화방지용수량(논, 일반원예단지), 다목적용수량(밭, 일반원예) 등 용도별 용수원단위에 대한 세부적인 적용기준을 제시하였다. 본 연구에서 산정한 용수원단위를 이용하여 새만금 농업용지의 농업용수 수요량을 산정한 결과, 논(식량생산단지) 용수수요량은 89,559천 m^3 /년, 자연순환형유기농업단지 834천 m^3 /년, 원예단지 41,041천 m^3 /년, 대규모농어업회사 9,266천 m^3 /년, 첨단농업시험단지 746천 m^3 /년, 종자생명단지 716천 m^3 /년, 묘목장 1,566천 m^3 /년, 수목원 1,061천 m^3 /년로서 총 145,123천 m^3 /년으로 산정되었으며, 기존 새만금사업종합개발계획(Master Plan 2011)에서 산정한 130,331천 m^3 /년과 비교하여 약 14,792천 m^3 /년이 증가되는 것으로 나타났다. 토지이용별로 용수수요량 증감은 논(식량생산단지), 일반원예단지, 묘목장 및 수목원에서 수요량이 증가하였으며, 자연순환형유기농업단지, 대규모농어업회사, 첨단농업시험단지에서는 수요량이 감소하였다. 이러한 증감의 원인은 토지이용계획의 보완에 따른 토지이용면적변화와 세부적인 산정기준의 개선에 기인한다. 본 연구에서 제시된 농업용수 수요량은 계획단계의 산정 값으로 세부적인 설계가 진행됨에 따라 토지이용이 세분화되어 확정되게 되면 용수수요량의 변화가 발생할 수 있다.

본 연구에서 산정된 농업용수 수요량은 사업계획 단계에서 확보되어야 하는 계략적인 농업용수 수요량을 나타내지만, 농업용수 공급방안 수립 및 단위용수량 산정은 물론이고, 나아가 전체 사업비에도 많은 영향을 미친다. 따라서 앞으로 재염화방지용수량, 일반원예단지와 첨단수출원예단지 수요량에 대한 국내 산정기준 정립에 관한 연구가 추가적으로 필요하다.

사사

본 연구는 한국농어촌공사 농어촌연구원의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

1. Honam Agricultural Experiment Station (HAES), 2007. Proper Water Exchange Interval of Middle Level Nitrogen and Fine Sandy Roam Paddy Field in Reclaimed Area, Rural Development Administration.
2. Korea Rural Community Corporation, 2010. A Study on Water supply for Horticulture and Livestock Region in Saemangeum Reclaimed Area, Ministry of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries.
3. Korea Rural Community Corporation, 2011. Study on the Development of Environmental Friendly Livestock Complex in the Reclaimed Tideland, Ministry of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries.
4. Korea Rural Community Corporation, 2011. Advanced Technique Test Farm Operation and In-situ Test, Ministry of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries.
5. Korea Rural Community Corporation, 2012. A Study on Future Demand Analysis and Land-use in Saemangeum Agricultural Land, Ministry of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries.
6. Korea Rural Community Corporation, 2012. Calculation of Unit Duty of Water in Reclaimed Paddy Field (Internal Investigation Report).
7. Nagasaki Prefectural Government, 2005. Early Stage Technical Crop Management Guideline of Early Stage in Reclaimed Area.
8. Ministry of Agriculture and Forestry, 1998. Planning and Design Guideline of Agricultural Production Infra Improvement Project (Irrigation).
9. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2011. Water Vision (2011-2020).
10. Prime Minister's Office, 2010. Saemangeum Reclaimed Area Master Plan.
11. Rural Development Administration, 2006. Upland Crop Water Mangement Guideline for Irrigation.
12. Saemangeum Project Office, 2009. Basic Soil Investigation and Experiment Report of Agricultural land, Ministry of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries.
13. Saemangeum Project Office, 2012. Homepage of Saemangeum Project Office (<http://www.isaemangeum.co.kr>)
14. Smeets Peter, 2011. "Expedition agropark", Wageningen Academic Publisher.