한국농공학회논문집
제50권 제5호

JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, SEP. 2008, pp. 3-15

GIS와 수리학적 해석을 고려한 금만연결수로의 3차원 모델링에 관한 연구

A Study on 3 Dimensional Modeling of Keum-man Connection Canal using GIS and considering Hydraulic Analysis

김대식*,† · 남상운* · 김태철*
Kim, Dae-sik*,† · Nam, Sang-woon* · Kim, Tai-cheol*

Abstract

This study aims to simulate the 3 dimensional (3D) model of Keum-man connection canal using geographic information system (GIS) as well as considering design in viewpoint of engineering. The canal connects from Keumkang to Mangyungkang in order to supply fresh water into Saemankeum lake. This study used 3 dimensional spatial planning model (3DSPLAM) process to generate the 3D model, which has not only several planning layers in actual process, but also their corresponding layers in modeling process to simulate 3D space of rural villages. The discharge of the canal is $20m^3/s$ on slope of 1/28,400 in the canal length of 14.2km, which consists of pipe line and open channel. This study surveyed the route of the canal and its surrounding environment for facilities to make images in the 3D graphic model. Besides, the present study developed data set in GIS for geogrphical surface modeling as well as parameters in hydraulic analysis for water surface profile on the canal using HEC-RAS model. From the data set constructed, this study performed analysis of water surface profile with HEC-RAS, generation of digital elevation model (DEM) and 3D objects, design of the canal section and route on DEM in AutoCAD, and 3D canal model and its surrounding 3D space in 3DMAX with virtual reality. The study result showed that the process making 3D canal model tried in this study is very useful to generate computer graphic model with the designed canal on the surface of DEM. The generated 3D canal can be used to assist decision support for the canal policy.

Keywords : Keum-man connection canal, GIS, AutoCAD, 3DMAX, 3D modeling

I. 서 론

금강호-만경강 연결수로(이하 금만연결수로)는 새만금호의 방조제가 완성된 후 제염에 걸리는 시간을 장기적으로 단축하여 방조제 완공 후 4년차까지 제염을 목표로 하고 있으며, 갈수시에 증가될 것으로 예상되는 염분 농도를 낮추기 위한 희석수의 도입을 목적으로 하고 있다. 나아가 이의 활용방안으로 향후

* 충남대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부
† Corresponding author. Tel.: +82-42-821-5795
Fax: +82-42-821-8943
E-mail address: drkds19@cnu.ac.kr
2008년 5월 8일 투고
2008년 7월 30일 심사완료
2008년 7월 31일 게재확정

장기적인 새만금호의 수질을 개선하기 위하여 만경강에서 유입되는 영양물질의 농도를 떨어뜨릴 목적으로도 검토되고 있다. 그러나 새만금호가 탄생되어 가는 과정에 많은 우여곡절을 겪은 이유와 같이 본 금만연결수로도 그 필요성, 개발방법, 수리권 문제, 친환경 설계 그리고 유지관리 등의 측면에서 많은 도전을 받아 왔다. 금만연결수로의 목적을 원활하게 달성할 수 있도록 환경 친화적으로 설계하는 방안들이 구체적으로 고안되어야 하며, 이를 위해서는 개발 가능지역에 대한 지형적, 인문・사회적, 그리고 환경적 특성이 다양하게 검토되어야 할 필요가 있었다. 기존 수로를 정비함에 있어서는 이미 많은 연구가 이루어져 왔으나, 이러한 기존의 환경 친화적 하천정비 또는 수변정비 사업은 이미 자연 상태 또는 인공구조물 상태로 존재하는 수로를 정비하는 것으로서, 금만연결수로와 같이 새로 창조해 내는 것과 많은 차이가 있으므로, 금만연결수로를 위해서는 새로운 개념을 도입한 재료, 공법, 설계방법 등을 포함하여 개발 후의 모습을 재현하는 단계가 가장 우선적으로 고려되어야 할 필요가 있다.

다양한 검토를 거쳐서 설정된 최적 노선을 기준으로 개발계획 수립을 위한 의사결정지원 및 주민 홍보/공청회의 자료로서 활용될 수 있도록 개발 후의 모습을 재현하는 데는 지리정보시스템 (geographic information system, GIS)기법 등을 이용하여 3차원 그래픽으로 재현하는 것이 일반적인 방법이다. 신규수로에 대하여 3차원 모의 결과를 재현함으로서 개발 후의 시각적 평가 및 새로 창조될 인공수변의 친환경적 개발이 호응을 얻는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 개발 후의 모습을 재현함에 있어서 연결수로의 호안은 수로의 안전성, 생태계조성, 조경적 측면 등 여러 가지의 기능과 역할을 동시에 수행해야 하므로 공학적인 안전성, 수리 수문학적 계산에 의한 단면 설계, 생태계를 고려한 공법선택, 조경적인 아름다움과 주변과의 조화 등 다각적인 측면에서도 고려되어야 한다.

이러한 분야의 연구는 주로 공간의 가상 재현 분야에서 다루어져 왔는데, 공간의 재현을 도모하는 공간계획 모델링의 방법론적 측면에서는 시설배치를 고려하여 컴퓨터 그래픽을 이용한 연구가 많이 시도되어 왔다. Quintrand 등(1989)은 도시 모의를, Egels (1991)는 3차원 도시 형태의 컴퓨터 모델을, Marabelli (1991)는 도시 마스터플랜의 평면 모델을, Rabie (1991)는 건축학적인 형태를 따르는 컴퓨터 모델을, Batty(1993)는 GIS와 CAD (computer aided design)를 이용한 도시형태의 모델링을, Dave and Schmitt (1994)은 도시 정주의 모의를 위한 원형정보시스템의 체계를 구성하였으며, Radford and Day(1996)는 도시의 개발 시나리오들에 대한 도시의 형태를, Kubat (1997)는 건물 공간에 대한 계량적인 원리를 위하여 공간구문의 측면에서 9개 읍들의 상대적인 형태 특성 분석을, Lee(1991)는 지형 표면 위에서 입지의 시각적 평가를, Rahmann(1992)는 설계적 측면에서 모의 시각적 평가를, Bishop 등(1997)은 GIS와 자원모델링을 결합한 시각적 표현의 기법을 개발하여 경관 영향 평가를 시도하였다. Kim and Chung(2002)는 GIS와 CAD를 이용하여 농촌마을의 3차원 모델을 재현하는 컴퓨터 프로그램 (3 dimensional spatial planning model, 3DSPLAM)을 개발한 바 있다.

본 연구에서는 기존에 발표된 3DSPLAM의 알고리즘과 절차에 따라 GIS 자료와 AutoCAD 및 3DMAX 기능을 이용한 금만연결수로의 개발 후의 모습을 재현하는 데 그 목적을 두었다. 이와 관련된 수로노선에 대한 단면의 검토, 수면곡선의 계산, 수로 운영방안의 검토 등 금만연결수로의 개발 시 필요한 항목들을 학술적으로 검토하고, 단순히 그래픽의 재현이 아닌 수로의 공학적 설계를 통한 3차원 재현 모델을 생성하고자 하였다.

II. 3차원 공간 계획 모델 3DSPLAM의 개요

공간계획은 문제파악(problem diagnosis)-목표설정(goal articulation)-예측 및 전개(prediction and projection)-대안 작성(alternative plan)-타당성 분석(feasibility analysis)-평가(evaluation)-최종안 채택의 일반적인 계획과정(planning process)을 따르는 것으로서, 문제파악-목표설정-예정 및 예측분석

의 단계는 비물리적계획(non-physical planning)으로서 질적, 양적 측면에서 지표를 추출하여 공간 및 시설의 수요를 결정하는 것이다(Erickson and Lloyd-Jones, 1997; Kim and Chung, 2002; Schuur, 1994). 대안작성은 물리적 계획으로서 계획의 평면상 배치, 토지 용도의 구분배치, 각종 시설의 공간상 배치(spatial distribution)를 의미한다. 타당성 분석과 평가에서는 물리적 분석과 평가 수단을 바탕으로 의사

Table 1 Detail process of physical and spatial planning for modelling(after Kim and Chung, 2002)

planning process	planning layer in actual process	modelling contents	planning layer in modelling process
alternative plan	land use planning	planning of built area, paddy field, field, forest, road, stream, water sources.	**land use planning** of target area
	land rearrangement	division of area demarcation, land rearrangement, land reclamation, etc.	**land rearrangement** in each land
	detailed land use allocation	allocation of point(building), line(road, stream), polygon (space, (paddy) field)	**detailed land use allocation** in facilities and land
	facilities construction	attachment of 3D* facilities object at each facilities land using 3D facilities object library	**3D facilities object attachment** on the each facility land
	landscape planning	static and dynamic airscape by rendering and animation through attachment of each material quality and creating eye path	**airscape generation** using rendering & animation

* 3D: 3 dimension

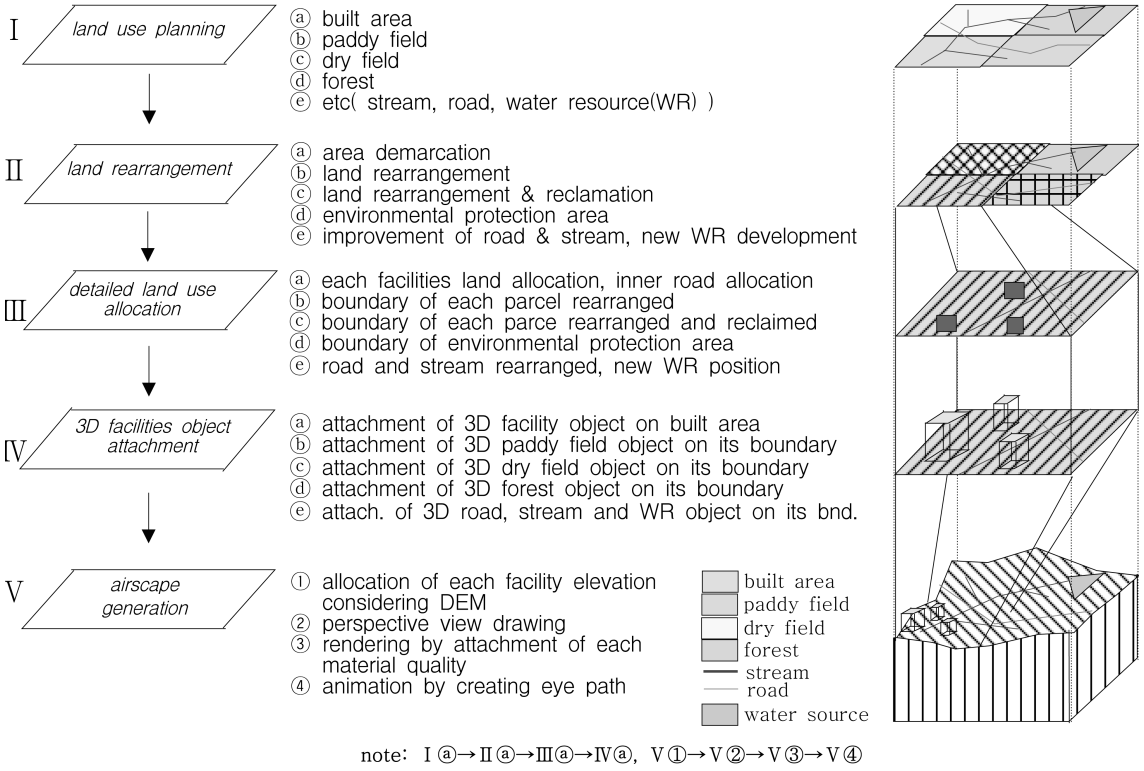


Fig. 1 Planning layer and modelling process of physical planning, PLAM process(after Kim and Chung, 2002)

결정자 지원을 통하여 최종안을 채택할 수 있게 하는 것이다. Kim and Chung(2002)의 연구에서는 대안작성을 물리적 계획 단계로서 모델링을 위한 세부 단위계획과 모델링 모듈을 구분하여 Table 1과 같이 제시하였다.

일반적인 계획과정은 계획 단계별 모델링 과정에서는 각각에 대하여 토지이용계획(land use planning) → 구획정리(land rearrangement) → 시설용지 구분(detailed land use allocation) → 3차원 시설 부착(3D facilities object attachment) → 조감도 생성(airscape generation)으로 설정하였으며 이들에 대하여 Fig. 1과 같이 계획 층 및 모델링 절차(planning layer and modelling process, PLAM)를 개념적 흐름관계로 정의하였다. Fig. 1의 계획층 및 모델링 과정에서는 각 단계에서 순서대로 진행된(Ⅰ ⓐ→Ⅱ ⓐ→Ⅲ ⓐ→Ⅳ ⓐ) 후에 최종 조감도 생성 단계에서 각 단위계획들을 종합하여 3차원으로 나타내도록 하였다.

Fig. 1의 PLAM 절차에 근거하여 농촌마을 공간계획 모형 3DSPLAM을 개발하였는데, 동 모델은 토지이용 계획도와 기존의 시설용지에 관한 격자단위의 ASCII자료를 입력받은 후, 수치고도자료를 바탕으로 시설용지에는 각각 설정된 시설들을 배치한다. 이렇게 배치에 관한 원리를 AutoCAD의 매크로 언어인 AutoLISP 코드로 생성한 후에 이것을 AutoCAD에서 실행하므로서 3차원 입체 모델을 재현할 수 있도록 하였다(Kim and Chung, 2002) 본 연구에서는 GIS에서 수치표고모델 (digital elevation model, DEM), 도로 및 수로 자료를 상기 모델을 위용하여 AutoCAD로 가져온 후, AutoCAD에서 연결수로와

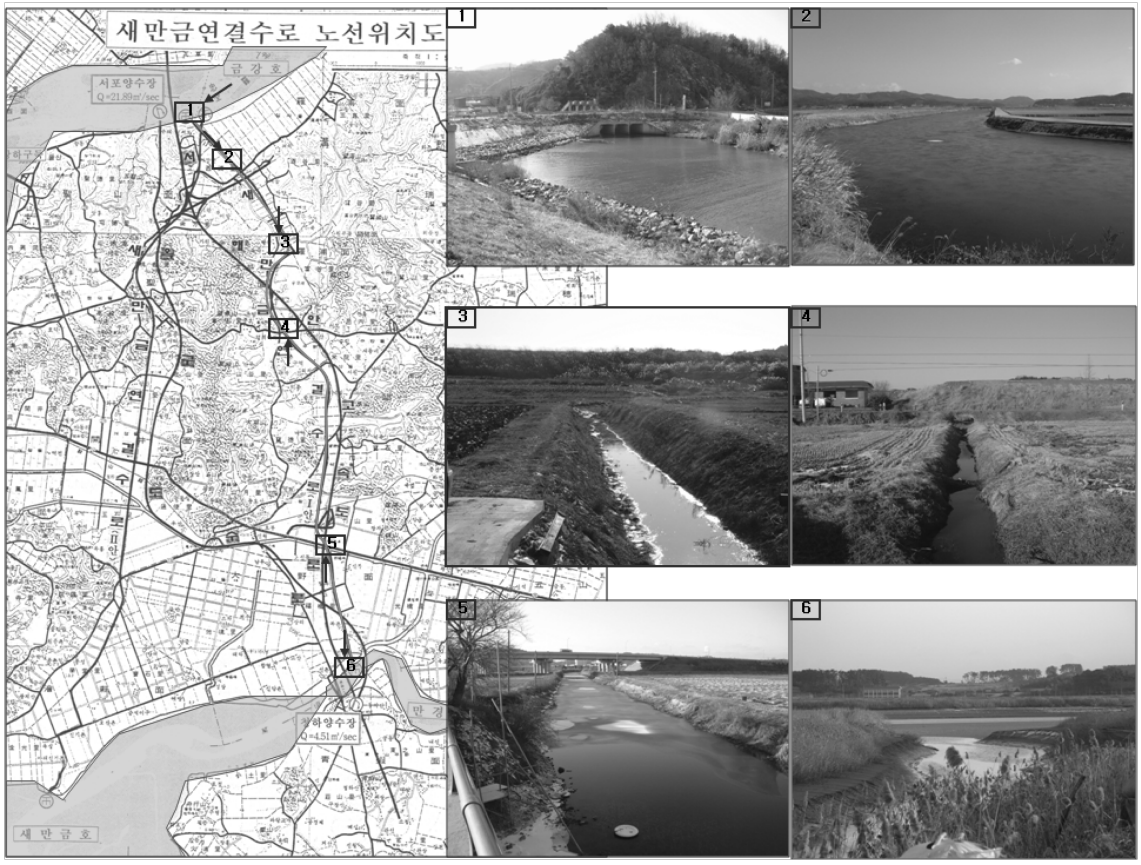


Fig. 2 Optimal route of Keum-man connection canal and scenary of each point

주변 시설들을 설계하고 이를 다시 공간상의 입체 모델을 재현하며, 최종적으로 3DMAX에서 3차원 입체모델의 사실적 재현을 시도하였다.

III. 연결수로의 3차원 재현

1. 금만연결수로의 노선의 개요

금만연결수로는 Fig. 2와 같이 금강 하구둑 상류에서 출발하여 만경강의 만경대교의 상류로 유입된다. 동 노선은 경제적, 기술적 및 시공적 측면에서 유리한 조건을 갖추고 있으며, 하상구배가 유속이 발생할 수 있도록 형성이 되고, 노선 연장이 짧아 하상퇴적 문제 등 수리학적으로 유리할 것으로 평가 되었다(농업기반공사, 2004). 또한 이 노선은 금강과 만경강의 두 수계의 중앙을 가르는 분수령을 기점으로 두 강으로 각각 반대 방향으로 흘러들어가는 기존의 배수로를 확장하여 금강에서 만경강 쪽으로 자연유하 하도록 계획한 것이다. 노선의 특징 및 장점으로는 기존의 배수로를 활용함으로서 신규 수로 건설에 따르는 환경문제를 최소화할 수 있으며 토지이용 등 사회적 문제를 원만하게 해결할 수 있는 점을 가지면서, 경제적, 기술적 측면에서 타 노선에 비하여 유리한 것으로 평가된 바 있다. Fig. 2는 연결수로 노선에 있는 현재상태의 기존 배수로 모습을 부분적으로 나타낸 것이다(농업기반공사, 2004).

2. 수로운영방안 및 수면곡선 분석

가. 수로운영방안 모색

연결수로 노선의 종단도는 Fig. 3에서와 같이 지반고와 계획고로 구성된다. 여기서 계획고는 유입구의 수로 바닥 표고가 -1.0m, 유출구의 수로 바닥 표고가 -1.5m로 두 지점의 표고차는 0.5m로서 14.2km 연결수로 노선의 바닥경사는 1/28,400이 되어 매우 완만한 수로가 된다. 한편, 본 노선은 기존 농경지에 있는 배수로를 각각 이용하므로서 공사비의 절감을 도모하는 것을 목적으로 하고 기존의 배수시스템을 그대로 유지하여 홍수시와 갈수시의 작동원리를 효율적으로 적용함으로서 실현가능한 계획으로 평가되

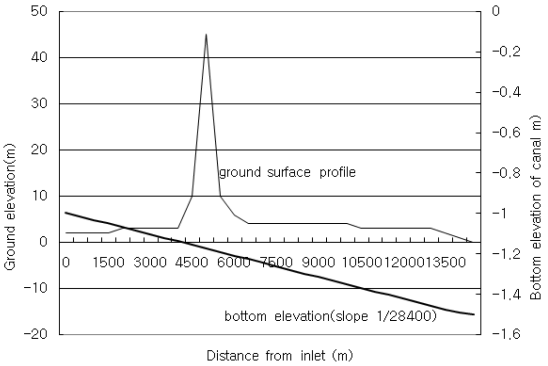


Fig. 3 Ground elevation and bottom surface profiles of Keum-man connection canal

어 왔다. 그러나 완만한 수로에 대한 수면곡선의 모의, 홍수시와 갈수시의 수로 운영 등에 관한 합리적 검토가 필요하게 되었다.

상기 노선을 유입구와 유출구에서 각각 금강호와 새만금호의 관리수위와의 관계에서 고려해보면 Fig. 3과 같이 모식화 할 수 있다. 유입구의 바닥고가 -1m로 금강호 관리수위 2m를 고려하면 유입수심은 3m가 되며, 금강호가 관리수위 이하로 떨어지면 공급이 중단되는 것이므로 유입수심 3m는 공급시에 일정하게 유지되는 것을 전제로 한다. 유출구에는 새만금호의 관리수위 -1.5m와 동일한 유출구의 바닥 표고로 자연유하가 가능하도록 설계하는 것을 기본 골자로 하고 있다. 기존의 배수로의 시스템을 유지하면서 희석수의 공급을 활용하는 수로의 제어 원리는 홍수기에는 유역경계의 터널구간 내부에 있는 차단용 제수문을 달아 양수계를 단절시키고 금강호 방면으로 역경사에 수면구배를 높여 배수가 가능하도록 하는 것이며, 새만금호 방면은 자연적으로 원활히 배수가 된다. 갈수기에는 차단용 제수문을 열고 희석수를 계획 통수량 만큼 공급하는 것을 목표로 한다.

나. 수면곡선 분석 및 검토

본 연구에서는 에너지 방정식에 의한 동적인 수면곡선을 계산하여 연결수로의 통수단면에 대한 검토를 실시하였다. 연결수로는 계획 유량을 20m3/s로 설정하고 있으며, 친환경적 측면에서 복합사다리꼴형의 개수로 단면을 계획하고 있다. 연결수로에 대한

수면곡선의 계산은 미국 육군 공변단(U.S. Army Corps of Engineers)의 HEC-RAS(River Analysis System)15) 프로그램을 이용하여 수행하였다. 흐름은 정상상태로 가정하고, 경계조건은 상류 수면표고 EL 2.0 m, 하류 수면표고 EL-1.5 m로 하였다. 수로 바닥은 시점 EL-1.0 m, 종점 EL-1.5m, 수로의 전체 길이는 14.2 km, 전체를 10개 구간으로 나누어 각 구간의 길이를 1,420m, 수로경사는 1/28,400로 전구간 등경사로 입력하여 프로그램을 실행하였다. 수로의 단면제원과 특성치는 조도계수의 평균값을 적용해서 구한 연결수로의 설정단면으로 하였다.

Fig. 4는 직사각형 콘크리트와 자연형 수변 복합단면의 횡단도와 수위, Fig. 5는 수면곡선, Fig. 6은 유속분포를 나타낸 것이고, 구간별 수리특성은 Fig. 7과 같이 분석되었다. 수위 3.0m에 계획유량 20 m^3/s를 통수시키기 위해 메닝 (Manning) 공식으로 구한 수로 폭은 저수로 폭 10.7m, 고수부지 폭 좌우 각 6.0m, 수면폭 24.7m이었고, 조도계수는 저수로 부분의 콘크리트에 0.015(콘크리트의 경우 0.012~0.016), 고수부지의 자연형 호안에 0.045(식생피복의 경우에 0.035~0.050)의 값을 사용하였으며16), 이때의 평균유속은 0.522m/s였다. 저수로의 폭 10.7m, 고수부지의 폭 좌우 각 6.0m, 사면경사 1:2, 유량 20m^3/s의 조건에서 계산된 수면곡선과 유속분포를 살펴보면 금강호 유입지점의 연결수로 수위는 2.6m, 유속은 0.69m/s로 나타났고, 말단부인 새만금호 유출지점의 수위는 0.71m로 떨어지며 유속은 2.65m/s로 매우 높게 나타났는데, 이것은 유출부의 새만금호의 수위가 -1.5m로서, 연결수로 유출구에서는 역류

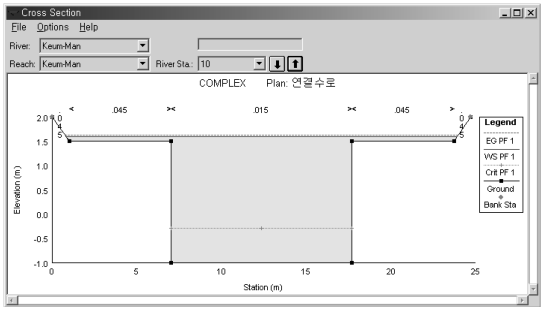


Fig. 4 Cross section of canal with complex section

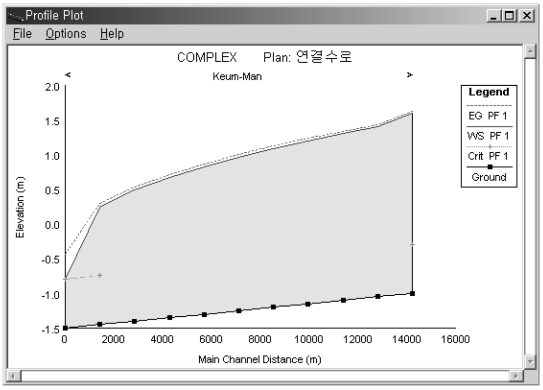


Fig. 5 Water surface profile of canal with complex section from outlet to inlet

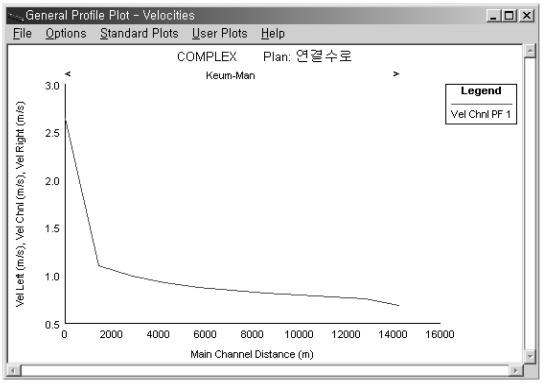
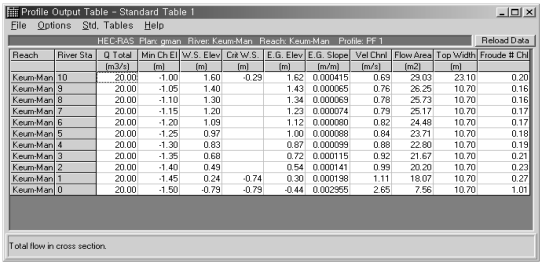


Fig. 6 Profile of water velocity on canal with complex section from outlet to inlet



Reach	River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Keum-Man	10	20.00	-1.00	1.60	-0.29	1.62	0.000415	0.69	29.03	23.10	0.20
Keum-Man	9	20.00	-1.05	1.40		1.43	0.000065	0.76	26.25	10.70	0.16
Keum-Man	8	20.00	-1.10	1.30		1.34	0.000069	0.78	25.73	10.70	0.16
Keum-Man	7	20.00	-1.15	1.20		1.23	0.000074	0.79	25.17	10.70	0.17
Keum-Man	6	20.00	-1.20	1.09		1.12	0.000080	0.82	24.48	10.70	0.17
Keum-Man	5	20.00	-1.25	0.97		1.00	0.000088	0.84	23.71	10.70	0.18
Keum-Man	4	20.00	-1.30	0.83		0.87	0.000099	0.88	22.80	10.70	0.19
Keum-Man	3	20.00	-1.35	0.68		0.72	0.000115	0.92	21.67	10.70	0.21
Keum-Man	2	20.00	-1.40	0.49		0.54	0.000141	0.99	20.20	10.70	0.23
Keum-Man	1	20.00	-1.45	0.24	-0.74	0.30	0.000198	1.11	18.07	10.70	0.27
Keum-Man	0	20.00	-1.50	-0.79	-0.79	-0.44	0.002955	2.65	7.56	10.70	1.01

Fig. 7 Hydraulic characteristics of each point in canal with complex section

(backwater)현상이 없이 쏟아져 나오는 것으로 경계조건이 설정된 것에 기인한 것으로 분석되었다. 이 단면을 채용할 경우에는 주된 통수단면이 되는 중앙의 직사각형 콘크리트 단면에 깊은 수심이 유지되므

로 경계부분에서 경관을 헤치지 않는 안전대책이 필요할 것으로 판단되었다.

다. 자료구축 및 수로의 설계

1) 자료조사 및 구축

본 연구범위에 해당되는 GIS자료를 구축하기 위하여 국가GIS자료의 1:5,000도를 사용하였다. 본 연구지역에 해당되는 도엽은 42개로서 이로부터 구축된 레이어들은 Table 2와 같으며 이들을 연결수로의 유역경계 내부에 대하여 나타낸 것이 Fig. 8이다. 등고선은 향후 유역분석, 노선의 종단도 분석 그리고 계획노선에 대한 절성토량의 계산 등에 필요하며, 하천망은 용배수의 흐름을 고려하고 가능노선의 검색시에 이용될 수 있는 지 그 여부를 분석하는데 이용될 것이며, 도로는 수로노선과의 충돌여부와 중복해결을 위해 고려되야하고, 주거지/건물은 유역내에 존재하는 점오염원들을 대변하는 것으로서 향후 자연마을 단위의 오염원을 자세히 조사하여 속성정보로 입력한 후 오염원단위의 계산과 수로노선으로 유입되는 네트워크를 분석하기 위해 사용될 수 있다. Fig. 8에서 보는 바와 같이 분류된 유역들에 대하여 금강 유역을 WS#Kg, 만경강 유역을 WS#Mg로 명명하고 각 유역 출구점을 조사한 결과 Fig. 8에서 ○ 표시한 ④번 부근과 ⑰번으로 나타났다. WS#Kg는 유역면적이 2,170ha, WS#Mg는 3,206ha로 계산되었으며, 그림에 보여지는 ①~⑰까지 번호는 연결수로의 노선을 따라 본 연구진이 답사하여 단면을 조사한 지점에 대하여 일련번호를 부여한 것이다.

Table 2 GIS data layers and their corresponding contents

레이어명	NGIS 속성번호	속성내용
등고선	7132, 7132	등고수치, 표고수치
하천망	2110~2115	미분류, 실폭하천, 세류, 건천, 호수/저수지, 하천중심선
도로	3110~3118	미분류, 고속국도, 일반국도, 지방도, 특별/광역시도, 시도, 군도, 면/리간 도로, 부지안 도로
주거지/건물	4110~4119	미분류, 주택외 건물, 주택, 연립주택, 공사중 건물, 아파트, 무벽건물, 온실, 가건물, 집단가옥경계

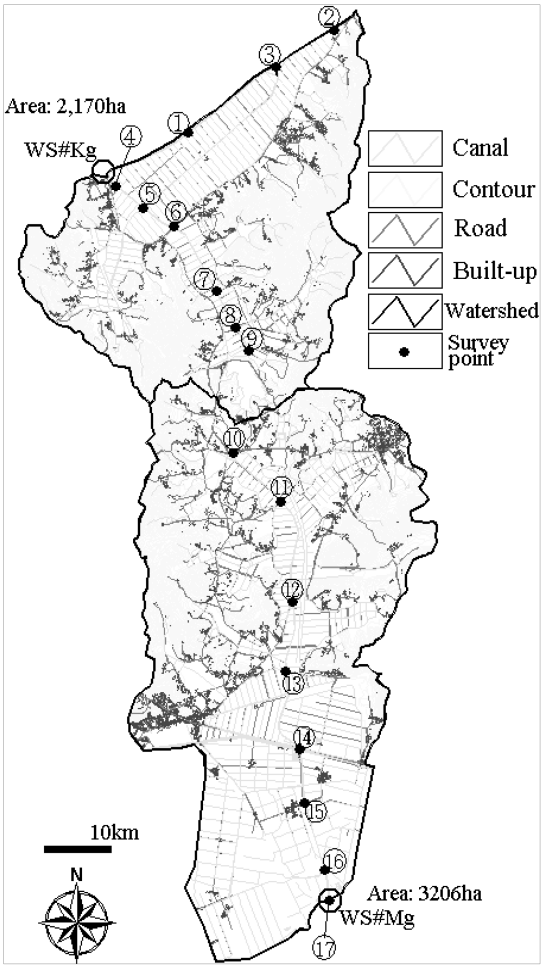


Fig. 8 Monitoring points and watershed map of Keum-man connection canal

라. 수로설계 및 3차원 재현 모델링

1) Framework 설정 및 3차원 모델링 기반 구축

본 연구에서는 연결수로의 시각적 평가를 위한 3차원 경관모의 Framework를 선정하고 해당 시스템들을 정의하였다. 구체적으로 GIS를 활용하여 경관모의에 필요한 기본자료들을 가공/처리하고, 수로단면및 주변 오브젝트들의 제작은 AutoCAD에서 실시하였으며, 이미지 맵핑과 렌더링 그리고 에니메이션은 3DMAX를 이용하였다. 전체적으로 세 가지 소프트웨어를 연계활용하여 수로노선의 3차원 경관모의를 위한 기반을 구축하였다. NGIS자료를 바탕으로 GIS로부터 3차원 시뮬레이션 영역에 대한 자료를 추

출하고, 수로노선을 설정하였으며, 수로에 대한 친환경단면을 설정하였다. 설정한 단면은 복합단면으로 하였으며, 수로 경사 1/28,400에 수로폭은 25m를 설정하였다. 이로부터 3차원 시뮬레이션 제작과정상의 결과들은 Fig. 9의 (a)-(e)와 같다. GIS에서 DEM과 수로 및 도로망을 AutoCAD로 불러 들였으며, 이때 DEM은 3DSPLAM을 이용하여 AutoCAD에서도 3차원 지형 표면의 구현이 가능하도록 하였다. DEM에 의한 3차원 지형 표면은 연결수로의 3차원 재현 모델링의 근간이 되는 자료로 활용하였으며(Fig. 9 (a)), 이어서 AutoCAD에서 연결수로 노선을 고려한 수로단면을 설계 제작하였으며 이를 최종적으로 3차원 지형 모델이 중첩하였다(Fig. 9 (b), (c), (d)).

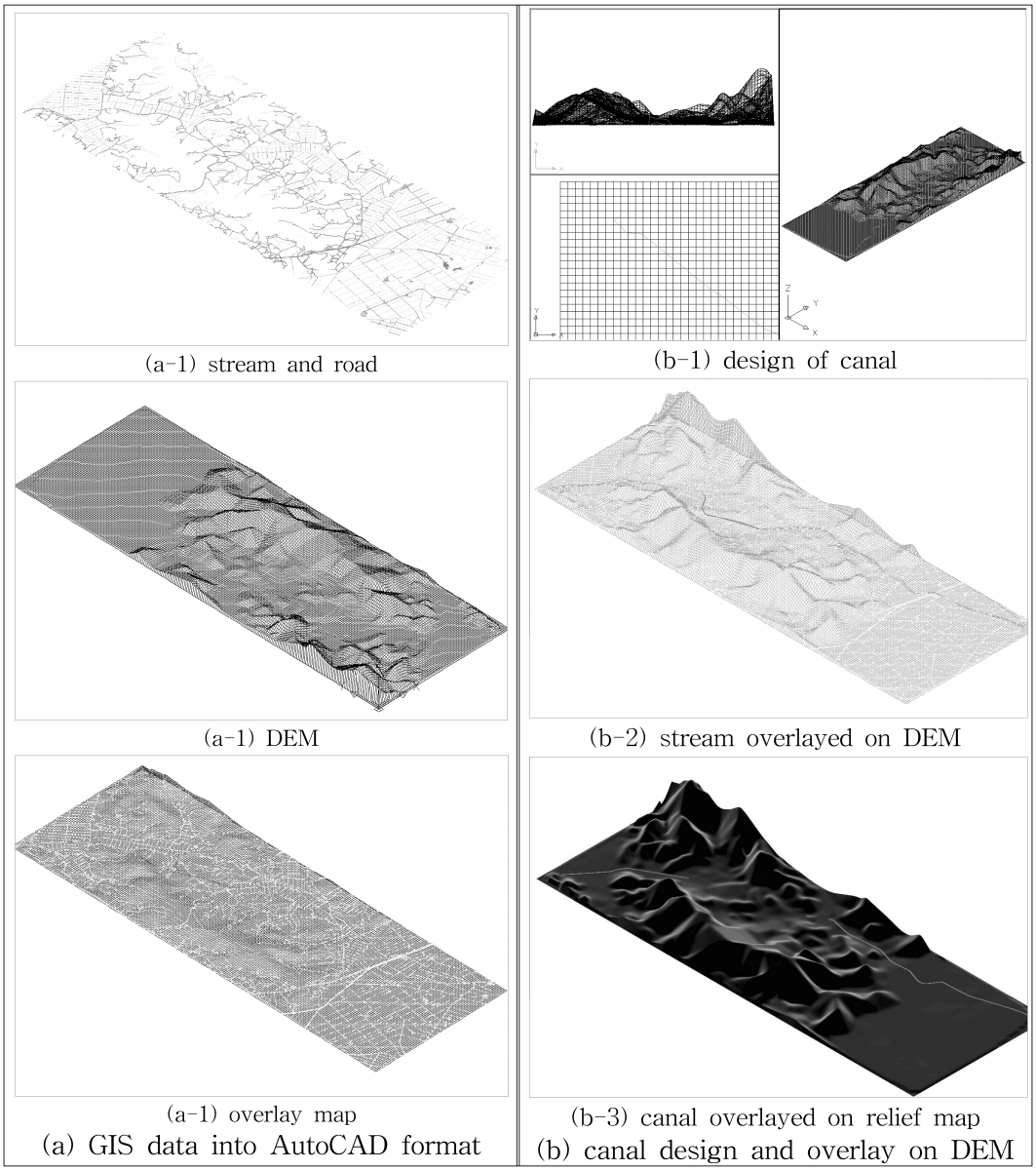


Fig. 9 Basic maps for 3D simulation of Keum-man connection canal

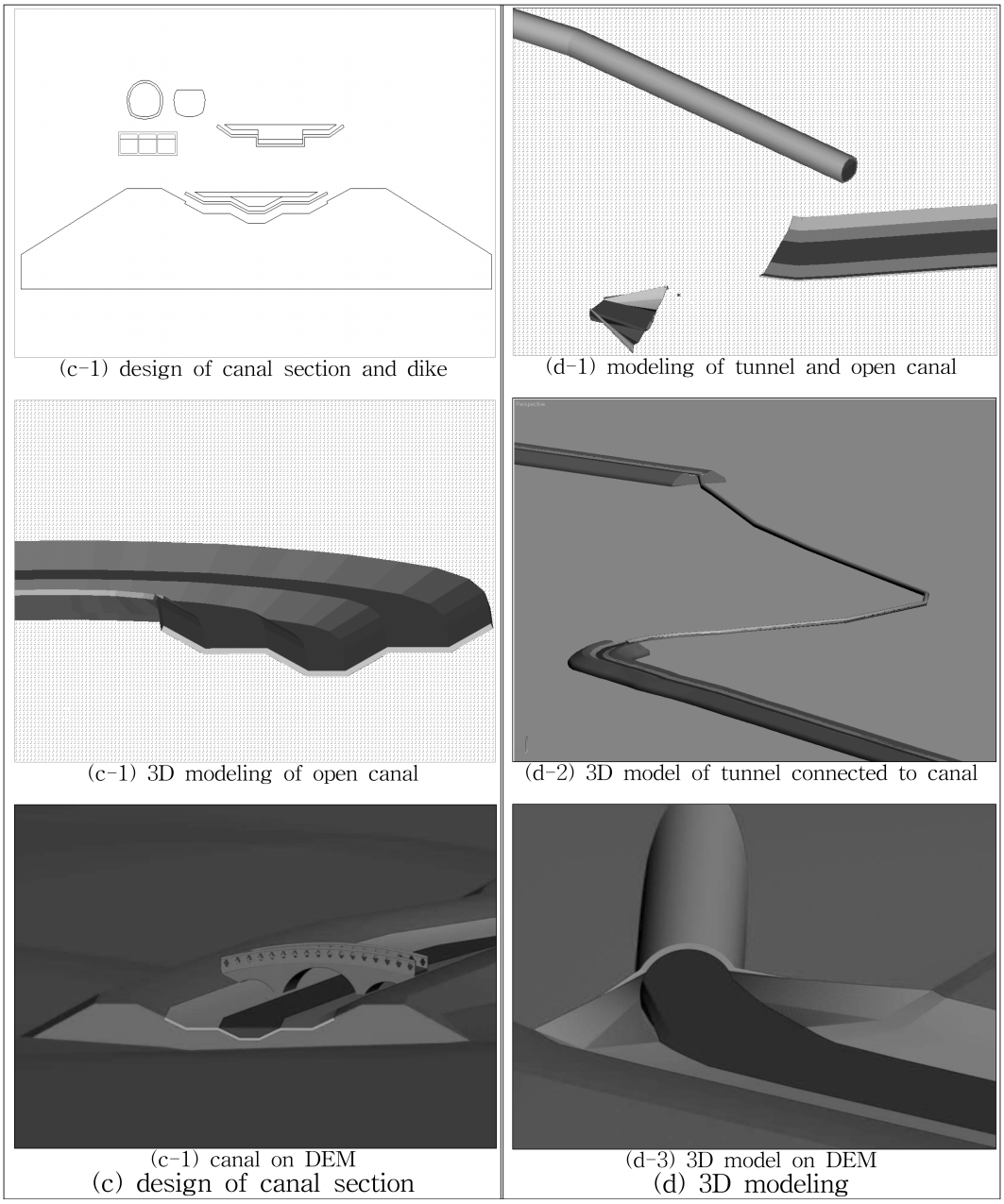
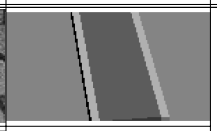
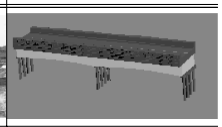
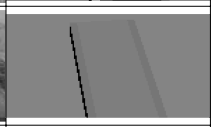
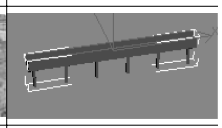
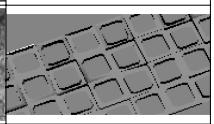
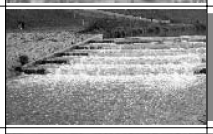
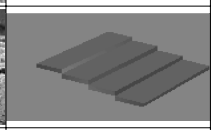
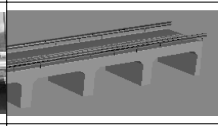
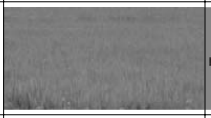
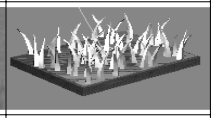
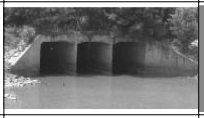
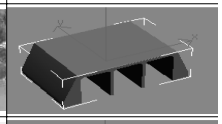
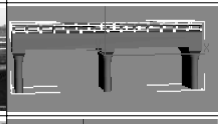
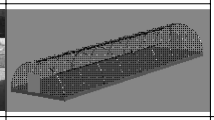
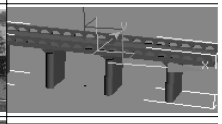
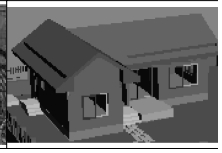


Fig. 9 Basic maps for 3D simulation of Keum-man connection canal

2) 수로 내부 및 주변 공간의 3차원 오브젝트의 정의

본 연구에서는 연결수로의 3차원 모델을 재현하기 위하여 연결수로 노선을 답사하고 현지조사를 통하여 노선 주변의 시설물들과 그에 대응하는 입체모델을 구축하였다. 확보한 수로노선 주변의 시설물과 수로내부에 대하여, 공간모의에 필요한 3차원 오브젝트들을 분류하고, 각 오브젝트들을 사실적으로 렌더링하기 위한 이미지를 Table 3과 같이 설계하였다. 이들은 최종적으로 경관모의에서 사실적인 표현을

Table 3 Examples of Image design and object layers surrounding Keum-man connection canal

object	detail object	photograph	graphic image	object	detail object	photograph	graphic image
road	walking			bridge	high-way		
	bicycle				canal		
lining	vegeta-tion				gate		
hydra-ulic struc-ture	check				type1		
paddy	paddy field				type2		
car	car				type3		
agricu-tural facility	green house				type4		
tree	tree			house	type1		

위하여 활용될 수 있는 것으로서 3DMAX에서 콘트롤되도록 하였다. Table 3에서 보는 바와 같이 오브젝트를 물, 도로, 사면보호공, 수리구조물, 산, 논, 자동차, 교량, 농업시설, 나무, 주택 등으로 분류하였으며, 각각에 대한 실제 이미지와 3차원 모델을 위한 가상이미지를 각각 구축하였다.

3) 렌더링 및 에니메이션

지금까지 구축된 자료와 3차원 모델링을 위한 연결수로 3차원 모델 및 주변 오브젝트들을 이용하여 DEM과 실제 수로 및 도로망을 고려하여 Fig. 10과 같이 연결수로의 3차원 입체모델을 구현하였다. 기존배수로 노선에 제작된 연결수로를 삽입하고, 주변 주택, 교량, 도로 등의 오브젝트들을 삽입하였으며, 관련 이미지를 맵핑한 후에 개략 렌더링한 결과를 나타내었다. Fig. 10은 금강에서 유입부(좌상)에서부터 만경강 방향 하류(우하)까지 주요 지점별로 정지화상을 나타낸 것으로서 금강에서 만경강에 이르는 연결수로 노선 전체에 대한 3차원 동적 입체 모델의 일부를 본 보에 나타낸 것이다. 이러한 결과들은 최종적으로 본 연결수로가 완공된 후의 모습을 재현한 것으로서, 본 연결수로가 사업화가 되고 완성되었을

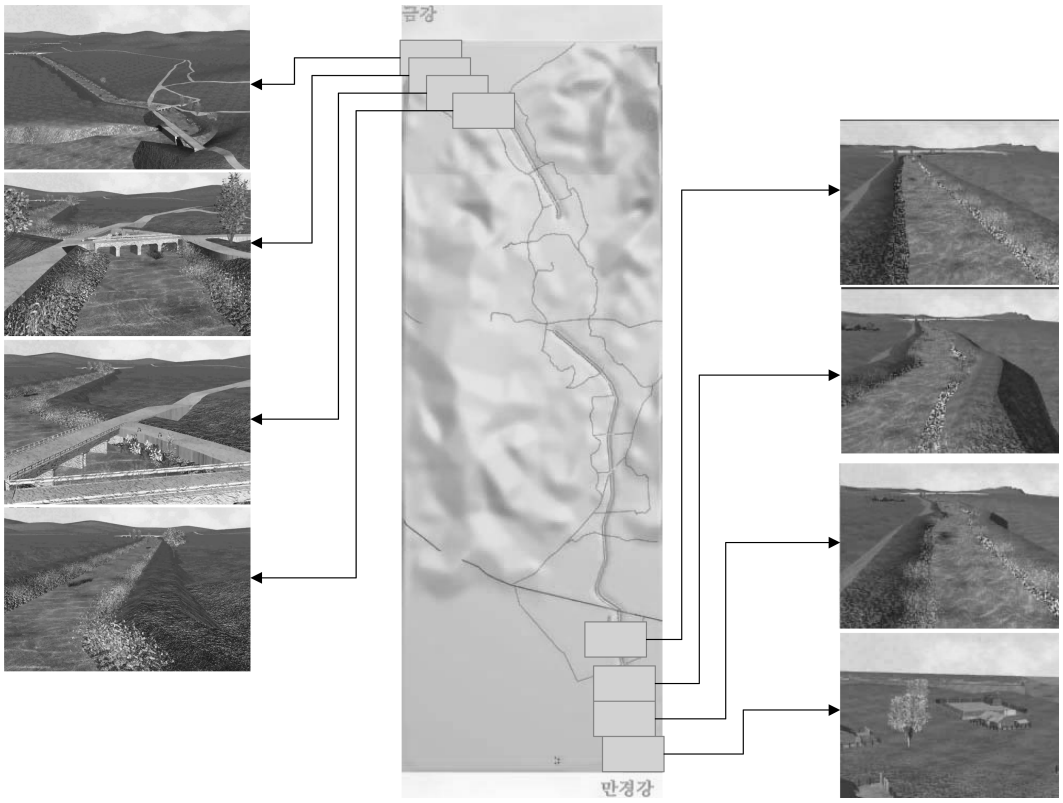


Fig. 10 Final 3D model of canal and its surrounding area

경우, 친환경적인 수로로 개발될 수 있다는 것을 사전에 제시할 수 있는 매우 효율적인 자료가 될 수 있을 것으로 평가된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 GIS와 공학적 설계를 실질적으로 고려하여 금강-만경강 연결수로(금만연결수로)에 대한 3차원 입체모델을 재현하였다. 이를 위하여 3차원 공간계획 모델인 3DSPLAM (3 dimensional spatial planning model)의 절차와 기능을 따라 관련 된 자료를 구축하고 수로의 물리적 특성을 검토하여 연결수로의 사실적 구현에 무게를 두었다. 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 금만연결수로는 금강물을 도입하여 새만금호의 초기 제염과 장기적 수질을 개선할 목적으로 $20m^3/s$를 공급할 수 있는 친환경 개수로로 계획되었던 바, 최적 노선으로서, 금강 하구언 상류 4km 지점에서 출발하여 만경대교 상류 0.5km 지점으로 연결되는 연장 14.2km, 수로바닥 경사 1/28,400로 설정되었다. 동 노선에 대하여 현지 조사를 실시하였으며 3차원 모델 재현을 위한 시설물 오브젝트 자료를 구축하였다.
2. 연결수로의 통수량을 고려한 수로 단면과 금강과 만경강의 두 유역으로 각각 반대방향으로 흐르는 기존 배수로를 활용함으로서 발생하는 금만 연결수로의 운영방안, 수로 바닥경사가 완만함으로서 발생하는 유수 흐름의 특성 파악 등 연결수로의 물리적 특성을 검토하였다. 그 결과 수로운영방안으로서 홍수시에는 두 유역의 경계선의 터널 내부에 설치된 차수문을 닫아 원래의 두 유역의 배수기능을 수행하도록 하고, 갈수시에는 차수문을 열어서 연결수로의 기능을 수행하면 수로운영이 원만할 것으로 판단되었으며, HEC-RAS 모형을

이용하여 연결수로의 수면곡선을 모의한 결과 매우 완만한 경사에도 불구하고 두 강의 관리수위에 의한 낙차에 의하여 유수의 유속이 적절히 확보되는 것으로 나타났다.

3. 수면곡선 모의에 사용한 수로단면의 제원을 가진 금만연결수로 노선을 대상으로 지리정보시스템(geographic information system, GIS), AutoCAD 그리고 3DMAX를 연계하여 3차원 경관모의를 실시하였다. 1단계로서 3DSPLAM의 절차와 기능으로부터 GIS에서 생성한 수치표고모델 (digital elevation model, DEM)을 AutoCAD로 불러들일 수 있었으며, 이를 바탕으로 연결수로의 3차원 입체모델의 실질 지형에 대한 사실적 구현이 가능하였다. 경관모의를 위한 단면은 수면곡선 계산에 사용된 복합단면으로 설정하였고, 수로 폭은 25m로 $20m^3/s$를 통수할 경우, 수심은 3m가 되도록 하였다. GIS에서 동 유역의 DEM, 수로 및 도로망 자료를 구축하여 AutoCAD에서 설계 제작한 연결수로 단면 및 노선과 중첩하였으며, 주변 시설 오브젝트들을 결합한 후, 3DMAX에서 연결수로의 3차원 입체모델을 사실적으로 구현하였다.

이와 같이 공학적 설계를 고려하고 수리학적 수면곡선 모의를 동하여 금만연결수로의 3차원 입체모델을 사실적으로 재현함으로서 향후 사업의 진행과정에서 홍보 및 설명과 관련된 자료로 활용할 수 있을 뿐만 아니라 수로의 운영에 대하여 공학적으로 의구심을 갖는 문제를 해결하는데 매우 유용할 것으로 사료되며 금만연결수로와 관련된 여러 가지 의사결정지원에 잘 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 한국농촌공사 농어촌연구원의 연구비를 지원받아 수행되었음

References

1. Batty, M., 1993, Urban modeling in computer-graphic and geographic information system environments. *Environment and Planning B: Planning and Design* vol. 20, pp. 663-688.
2. Bishop, I. D., and C. Karadaglis, 1997, Linking modelling and visualisation for natural resources management. *Environment and Planning B: Planning and Design* vol. 24, pp. 345-358.
3. Dave, B. and G. Schmitt, 1994, Information systems for urban analysis and design development. *Environment and Planning B: Planning and Design* vol. 21, pp. 83-96.
4. Egels, Y., 1991, TRAPU: A tool for data capture and visualization of the urban fabric. *Environment and Planning B: Planning and Design* vol. 18, pp. 19-24.
5. Erickson, B. and T. Lloyd-Jones, 1997, Experiments with settlement aggregation models. *Environment and Planning B: Planning and Design* vol. 24, pp. 903-928.
6. Kim, Dae Sik and Ha Woo Chung, 2002, A spatial planning model for supporting facilities allocation and visual evaluation in improvement of rural villages, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers.* 44(6), pp. 71-82.
7. Kubat, A. S., 1997, The morphological characteristics of anatolian fortified towns. *Environment and Planning B: Planning and Design* vol. 24, pp. 95-123.
8. Lee, Jay, 1991, Analyses of visibility sites on topographic surfaces. *International Journal of Geographical Information Systems* 5(4), pp. 413-429.
9. Marabelli, P., A. Polistina and R. Verona, 1991, A planimetric model of Milan's urban master plan. *Environment and Planning B: Planning and Design* vol. 18, pp. 7-18.
10. Quintrand, P., J. Zoller, R. de Filippo and S. Faure, 1991, A model for the representation of urban knowledge. *Environment and Planning B: Planning and Design* vol. 18, pp. 71-83.
11. Rabie, J., 1991, Towards the simulation of

urban morphology. *Environment and Planning B: Planning and Design* vol. 18, pp. 57-70.
12. Radford, A. and A. Day, 1996, Growing Georgian Bath. *Environment and Planning B: Planning and Design* vol. 23, pp. 465-488.
13. Rahman, O. M. A., 1992, Visual quality and response assessment: an experimental technique. *Environment and Planning B: Planning and Design* vol. 19, pp. 689-708.
14. Schuur, J., 1994, Analysis and design in computer-aided physical planning. *Environment and Planning B: Planning and Design* vol. 21, pp. 97-107.
15. US Army Corps of Engineers, HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual, http://www.hec.usace.army.mil/
16. 농림부, 2001, 농업생산기반 계획 설계기준.
17. 농어촌연구원, 2004, 금강호물 도입에 따른 환경영향 연구, 한국농촌공사.