韓國水資源學會論文集
第44卷 第12號·2011年 12月
pp. 1015~1029

http://dx.doi.org/10.3741/JKWRA.2011.44.12.1015

확정론적 다중의사결정기법을 이용한 최적 홍수저감대책 선정 기법 연구

A Study on the GIS-based Deterministic MCDA Techniques for Evaluating the Flood Damage Reduction Alternatives

임 광 섭* / 김 주 철** / 황 의 호*** / 이 상 욱****
Lim, Kwang-Suop / Kim, Joo Cheol / Hwang, Eui Ho / Lee, Sang Uk

Abstract

Conventional MCDA techniques have been used in the field of water resources in the past. A GIS can offer an effective spatial data-handling tool that can enhance water resources modeling through interfaces with sophisticated models. However, GIS systems have a limited capability as far as the analysis of the value structure is concerned. The MCDA techniques provide the tools for aggregating the geographical data and the decision maker's preferences into a one-dimensional value for analyzing alternative decisions. In other words, the MCDA allows multiple criteria to be used in deciding upon the best alternatives. The combination of GIS and MCDA capabilities is of critical importance in spatial multi-criteria analysis. The advantage of having spatial data is that it allows the consideration of the unique characteristics at every point. The purpose of this study is to identify, review, and evaluate the performance of a number of conventional MCDA techniques for integration with GIS. Even though there are a number of techniques which have been applied in many fields, this study will only consider the techniques that have been applied in floodplain decision-making problems. Two different methods for multi-criteria evaluation were selected to be integrated with GIS. These two algorithms are Compromise Programming (CP), Spatial Compromise Programming (SCP). The target region for a demonstration application of the methodology was the Suyoung River Basin in Korea.

Keywords : GIS, MCDA, flood damage, compromise programming, spatial compromise programming, fuzzy

요 지

전통적인 다기준의사결정 (Multi-Criteria Decision Analysis, MCDA)기법은 복수 대안을 평가기준과 의사결정권자의 선호도에 따라 평가하여 유역 전반에 걸친 최적 대안을 선정하는 데 있어 효율적으로 사용되는 기법이다. 하지만, 홍수터 관리를 위한 유역 전반에 걸친 의사결정 정보는 지역적 특색을 반영할 수 있는 공간적 변동성을 체계적으로 파악할 수 있는 능력에 제한을 받고 있다. 이와 관련하여 최적대안 결정시 지리정보체계 (GIS)의 적용은 신속하고 정확한 정보를 제공하고, 공간적인 차원에서 야기되는 문제의 해결과 합리적인 자원의 이용 및 배분 등을 수행하여 해당 기술 분야의 전문가들과 최종의사결정권자들의 의사결정과정에서 요구되는 각종 정보를 공간분포형태로 제시할 수 있어 상충하는

* 교신저자, 한국수자원공사 K-water 연구원 선임연구원 (e-mail: okaylim@kwater.or.kr)
Corresponding Author, Senior Researcher, Korea Institute of Water and Environment, K-Water, Daejeon, Korea
** 한국수자원공사 K-water 연구원 위촉연구원 (e-mail: kjoocheol@kwater.or.kr)
Post-Doctor, Korea Institute of Water and Environment, K-Water, Daejeon, Korea
*** 한국수자원공사 K-water 연구원 선임연구원 (e-mail: ehhwnag@kwater.or.kr)
Senior Researcher, Korea Institute of Water and Environment, K-Water, Daejeon, Korea
**** 한국수자원공사 K-water 연구원 선임연구원 (e-mail: lsu@kwater.or.kr)
Senior Researcher, Korea Institute of Water and Environment, K-Water, Daejeon, Korea

여러 목표 간의 갈등을 최소화하고, 투명하고 객관적인 의사결정을 수행할 수 있도록 도와준다.

본 연구에서는 홍수터 해석 분야에서 GIS와 MCDA 기법을 결합(공간형 MCDA기법)하여 홍수피해 저감대책 평가를 수행하였다. 수자원 분야의 고전적인 MCDA기법인 CP(Compromise Programming)와 SCP(Spatial Compromising Programming)기법 적용을 위해 부산 수영강 유역에 대한 사례연구를 통하여 적용성을 평가한 결과 CP기법은 해당 유역에 대해 단일 홍수피해 저감대책만을 제시하는 문제점이 있었으며 GIS와 결합된 SCP기법은 모든 격자지점의 공간특성 반영이 가능하여 관심 지점에 대한 개별 대안을 의사결정권자들에게 제시할 수 있었다.

핵심용어 : GIS, 다중의사결정기법, 홍수피해, 절충계획법(CP), 공간형절충계획법(SCP), 퍼지

1. 서 론

홍수에 따른 피해를 방어 혹은 최소화하기 위한 계획 및 관리를 위해서는 수많은 대안 속에서 최적 대안을 선별하는 작업은 서로 다른 정량적 혹은 정성적 평가기준들과 의사결정권자의 선호도가 포함되는 복잡한 의사결정 과정이 요구된다.

MCDA(Multi-Criteria Decision Analysis) 기법은 투명한 의사결정과정에 대한 증빙자료로 활용될 수 있기 때문에 수자원계획과 관리 분야에서 효율적인 기법으로 평가되어 왔다. 수자원분야에서는 단순성과 편리함의 이유로 전통적인 MCDA 기법인 CP(Compromise Programming, 절충계획법)기법이 수자원개발과 관리 분야에서 널리 사용되고 있다. MCDA의 수자원 분야 연구사례를 살펴보면 다음과 같다. 우선 국외의 경우 Kane et al.(1973)은 캐나다의 수자원 정책결정에 다중의사결정 모델인 KSIM 사용하였다. Dauer and Krueger(1980)는 실험적인 유역에서 예산과 홍수조절능력, 관개가능량 사이의 절충을 만들어내기 위해 목표계획법(Goal Programming)을 사용하여 하천유역을 계획하였으며, 저수지운영의 경우 Tauxe et al.(1979)가 캘리포니아주 Shasta 저수지 운영에 다목적 계획법을 사용하여 총누적 발전량 최대화, 누적증발량 등 자원 손실의 최소화와 상시발전량 최대화를 꾀하는 데 MCDA기법을 사용하였다. Novoa and Halff(1977)는 아무 조치를 취하지 않는 경우에서부터 하도정비, 텍사스주 달라스시 일부의 완전한 개발에 이르는 총 8개의 홍수방지대책을 평가하였다. 8개의 대안계획들을 평가하고 순위를 정하기 위해 가중평균법(weighted average method)이 사용되었으나 공간적 분포의 이질성은 고려하지 않고 전체 지역에 대한 평균값을 채택하여 대안을 평가하였다. 보다 최근의 국외 연구사례의 경우 수량과 수질, 지하수와 환경, 하수처리 등 다양한 수자원 분야들에서 MCDA기법이 이용되고 있는 실정이다. 국내 수자원 분야에서 MCDA 기법이 수자원 계획이나 최적화 목적으로 실무적으로 적용된 보고서의 사례와 연구논문을 소개하면 다음과 같다. 한국개발연구원(2000, 2001, 2002)에서는 예비타당성조사 수행을 위한 일반 지침 연구, 수자원(댐)부분사업의 예비타당성 조사 표준지침연구 및 기존댐 합리적 용수배분을 통한 수리권 조정 방안 연구등이 수행되었다. 최동진과 박희경(2000)은 MAUT(Multi-Attribute Utility Theory, 다속성 효용함수법)기법과 PROMETHEE-II기법을 이용하여 수도산업 민영화 시나리오를 분석하였고, 박태선(2002)은 AHP(Analytic Hierarchy Process, 계층화 분석법)기법을 이용하여 하천의 중요도를 평가하였다. 한국개발연구원(2000)은 예비타당성조사 수행을 위한 다기준분석방안 연구에 AHP 기법을 활용하였다. 또한 이현재와 심명필(2002)은 AHP 기법에 의한 가뭄시 용수배분 우선순위를 결정하였다. 이처럼 국내의 경우 AHP기법이 주로 사용되고 있음을 알 수 있으며, 아직까지 수자원 분야의 연구에 있어서 AHP 이외의 방법이나 다목적 의사결정 기법 등을 포함한 다양한 다기준 분석의 방법이 사용되고 있지는 않은 것으로 판단된다. 또한 유역전체의 종합적인 대안제시에 국한되어 있어 공간적 분포를 가진 세부 유역 및 관심 지역에 대한 독자적인 수자원계획 및 최적 대안제시를 위한 연구는 수행되어지지 못한 실정이다.

최근 지속가능성이 개발계획에서의 중요한 화두로 떠오른 현대에 있어서 수자원 계획 및 관리 분야에서는 여러 상반된 기준들을 고려하여 의사결정을 내려야 하는 상황이 빈번하게 발생하고 있다. 따라서 이러한 상충되는 기준들에서 최적의 대안들을 찾고 이를 결정하기 위해 고려해볼 수 있는 방법론이 다중의사결정기법이다. 하지만 아직까지 국내의 경우 최적 홍수 저감대책 계획 수립을 위한 구체적인 이론 및 적용방법에 대해서 연구된 바는 거의 없다. 따라서 본 연구에서는 다기준의사결정기법과 GIS의 공간분석 기능을 이용하여 다양한 홍수저감대책을

토대로 최적홍수저감대책 방안 수립을 위한 방법을 제시하였다. 또한 위의 개념을 사용하여 공간적으로 상이한 최적 홍수방어대책에 대하여 제시하였다.

GIS (Geographical Information System)는 의사결정에 필요한 정보를 생성하기 위해 각종 정보의 생성, 저장, 관리 및 분석하는 것을 모두 포함한다. 지리정보는 지리적인 위치를 나타내고, 특정 지점의 지리적 위치와 다른 지리적 위치와의 공간적인 관계, 또는 발생 시점에 관한 것을 설명할 수 있어 GIS를 이용하여 의사결정을 위한 기본적인 정보를 구축할 수 있다 (김수정, 1999). 반면에, GIS 환경에서는 의사결정자와 계획간의 갈등을 해결하지 못하는 단점을 지니고 있기 때문에 계획과 공간활동간에 조화를 이끌 수 있는 분석·의사결정을 필요로 하고 있다. 즉, GIS는 계획문제들을 공간상에 표현하고 각 대안들을 나열해 주는 이점이 있으나, 의사결정에 영향을 미치는 변수들간에 관계를 분석하지 못한다.

의사결정이란 가능한 대안들을 작성하여 만든 대안들을 비교·평가함으로써 최적의 방안을 선택하는 동적과정 (dynamic process)이라고 할 수 있다. 수많은 정보의 홍수 속에서 때로는 정보를 무시하기도 하며 원하는 정보를 얻고자 자료를 편집하거나 가공하는 일련의 과정을 통해 원하는 목표를 달성하고자 노력한다. 이때 의사결정이 다목적 (multi-objective)이거나 다기준 (multi-criteria)일 때 의사결정의 과정은 더욱 어려워지게 된다. 이러한 의사결정의 과제가 공간문제를 다루면 의사결정은 공간정보의 특성상 매우 체계적이고 논리적인 접근이 필요하다. 이처럼 다양한 요인들을 효율적으로 분석하기 위한 방법론이 MCDA 기법이다. 하지만, 전통적인 MCDA 기법인 CP 기법은 대부분 통계자료에 의존하다 보니 공간의 중요성은 다루지 못하고 공간정보에 대한 접근이 불가한 단점을 지니고 있다.

본 연구의 목적은 MCDA 기법과 GIS의 결합에 따른 의사결정과정의 수행 정도를 정의하고 검토하여 그에 대한 평가를 수행하는데 있다. 이와 관련하여 지금까지 MCDA는 다양한 분야에서 적용되어 왔지만 본 연구에서는 홍수터 관련 의사결정과정에 적용하였다. 다기준 평가에 적용되어온 두 기법, 즉 CP 기법과 GIS의 공간분석 기능의 결합을 통한 공간형 절충계획법 (SCP)을 통합하여 다양한 공간상의 요인들을 효율적으로 처리할 수 있을 것이다. 즉, 지역의 특성을 분석하는데 효율적인 MCDA기법과 공간의 정보처리와 분석에 효율적인 GIS의 통합은 의사결정 기법에 필수적인 도구로 활용될 가능성이 크다고 할 수 있으며 수영강 유역에 대한 사례연구를 통해 그 적용성을 평가하였다.

2. 방법론

1960년대 이후 수자원 관련 정책이나 운용 계획 수립과정에서 다양한 수학적 모형화를 이용한 과학적 의사결정을 도입하고 있다. 이것은 단순한 모형을 통하여 복잡한 수자원 시스템을 이해하고, 다양한 상황에서 시스템의 행위를 검증하여 최적 대안을 찾을 수 있다는 면에서 장점이 있기 때문이다. 특히 국외는 학제적 이론에 기반을 둔 모형 개발연구와 현실적용을 위한 실증적 연구가 병행되어 많은 연구 성과가 보고되고 있다. 최근 들어 우리나라도 수자원 관련 정책이나 운용 문제에서 주관적 판단의 여과 없는 개입을 완화하고 내재한 다중요인들을 합리적으로 반영하기 위해 다기준의사결정기법을 적용한 사례가 늘고 있다. 그러나 우리나라의 홍수피해 저감대책의 타당성 분석은 경제성분석에 의존하여 사업에 대한 의사결정이 단편적으로 진행되고 있다. 과거에 적용하였던 하천시설기준에서는 의사결정에 대한 별도의 지침 없이, 사업별 경제성 분석의 결과인 비용·편익 비를 투자 우선순위 결정에 사용하기도 하였으며, 이후의 하천설계기준에서는 효율성, 형평성, 일관성을 평가하여 통합지표를 도출하고, 이에 의해 치수사업의 투자 우선순위를 결정하도록 하였으나 지나치게 하천 (제방)사업 위주여서 치수사업 전반에 적용하기에는 논리적으로 맞지 않는 측면이 존재하였다 (이충성, 2007).

2.1 다기준의사결정기법 (MCDA)

MCDA란 어떤 문제의 최적대안을 찾고자 할 때 또는 고려해야 할 여러 기준이 상충하여 의사결정이 쉽지 않은 경우에 비지배해 (nondominated solution)의 집합이라는 개념을 도입하여 최적대안을 찾아내는 기법이다. 비지배해란 어떤 문제의 해가 다른 해에 의해서도 지배되지 않을 때, 이를 비지배해 또는 파레토 (pareto) 최적해라고 한다 (이재응과 남동성, 2007). MCDA는 목적함수 속에 다수기준이 포함된 의사결정과정으로서 방법론 다양성에 따라 다음과 같이 3개의 범주로 특성화할 수 있다 (Goicoechea et al,. 1982): (a) 순위결정기술 (Outranking Techniques); (b) 다속성처리기술 (MAUT, Multi-Attribute Utility Techniques); (c) 수리계획법 (Mathematical Programming Techniques). 순위결정기술은 대안들의 쌍이나 모든 대안에 걸친 직접적인 비교가 필요하기 때문에 데이터베이스의 대안 또는 격자의 숫자가 수만, 수십만이 되면 이러한 응용은 실질적으로 비현실적이게 된다. MAUT 기법은 하나의 가치평가를 위한 단순한 곱셈모형이나 선형증가함수에 의존

하게 되어 복잡한 현상일 경우 인자간의 관계를 표현하는데 부족하다. 따라서 이들 모두 복잡한 환경 시스템의 해석에는 적합하지 않다.

MCDA는 현실 문제에 대해 여러 기준에 근거해서 대안들에 대한 선호의 순서를 결정하거나 하나의 최적 대안을 선택하는 방법론이다. 공간에 기반을 둔 정보를 가지는 홍수터 관리에서 최적대안의 결정과정에는 공간에 기인한 물리적인 정보와 의사결정권자의 개별 대안에 대한 선호도(preferences)를 포함한다.

2.1.1 Compromise Programming (CP, 절충계획법)

Zeleny (1973)가 개발한 CP 기법은 가장 기본적이고 널리 이용되는 수리계획 기법으로 연속적인 값을 갖는 둘 이상의 객체로 이루어진 환경에서 이들에 대해 구간을 나누는 문제를 해결하기 위해서 이를 적절하게 변경시키는데 사용되는 적합한 기술이다. 또한, MCDA문제에 적용되는 복합적인 선형 목적항에서 적절하게 사용되는 상호작용 기법으로, 이상해(ideal solution)에 가장 근접한 해를 발견하기 위해 사용되며 연속형 혹은 이산형 모두에 대하여 수행할 수 있다. 수리계획기법은 일반적으로 연속형 함수 형태로 설계되지만 본 연구의 경우 이산형 대안들의 집합을 포함하므로 이산형 CP 기법을 적용하였다.

MCDA에서는 평가될 실현 가능한 대안(GIS 데이터베이스의 모든 격자의 집합)들이 Eq. (1)과 같이 Zeleny (1973)에 의해 표현되고 있다.

$$X = \{x^1, x^2, \ldots, x^k\} \tag{1}$$

모든 대안은 n개의 속성에 의해 특정 지어진다고 할 때, k번째 대안(혹은 격자)은 Eq. (2)와 같이 기술된다.

$$X_k = \left(x_1^k, x_2^k, \ldots, x_n^k\right) \qquad k = 1, \ldots, K \tag{2}$$

여기서, x_n^k는 k번째 격자의 n번째 속성을 의미한다. i번째 속성의 모든 격자의 값으로 이루어진 벡터 값은 Eq. (3)과 같이 표현되며 각 격자가 가진 속성은 분석기준에 가장 적합한 기준 즉, 이상해인 벡터 x^*가 존재한다고 가정할 때 분석목표에 최적합한 이상해와 각 격자가 가진 속성인 x_i간의 차이를 최소화하는 격자 들을 찾는 것으로서 Eq. (4)는 n개의 평가기준과 m개의 대안들로 구성된 문제에서 거리계량치(DM_j)를 구하기 위한 공식이다.

$$X_i = \left(x_i^1, \ldots, x_i^k\right) \tag{3}$$

$$DM_j = \left[\sum_{i=1}^{n} w_i^p \left|\frac{f_i^* - f_{i,j}}{f_i^* - f_i^{**}}\right|^p\right]^{1/p} \tag{4}$$

여기서, DM_j는 i번째 대안이 이상적 지점으로부터의 거리를 말하며, w_i는 i번째 평가기준에 대한 가중치이며, $f_{i,j}$는 j번째 대안의 표준화된 i번째 평가기준치이다. f_i^*는 i번째 평가기준에 대한 이상적 최대치(the most optimal value)이며, f_i^{**}는 i번째 평가기준에 대한 이상적 최소치(the least optimal value)며, $p(1 \le p \le \infty)$는 지수함수로서 1에서 무한대까지 주어진다. p값은 이상적 지점과 각 대안간의 거리를 측정하는데 다양하게 적용될 수 있다, $i = 1, \cdots, n$은 평가기준 그리고 $j = 1, \cdots m$은 대안을 나타낸다.

의사결정권자는 Eq. (4)의 각 평가기준의 중요도 수준에 따라 가중치를 부여하게 된다. p값은 이상점으로부터 극대편차 중요성을 나타내기 위해 사용된다(Romero and Rehman, 2003). 이러한 CP 기법은 추가 입력 자료를 거의 요구하지 않고 단지 몇 개의 매개변수들에 대한 조정만으로 수행의 정도를 변경할 수 있어 수자원 분야의 의사결정과정에서 많이 활용되고 있다. 특히 CP는 수많은 잠재적인 대안들로부터 최적의 절충해를 찾는 과정에서 효율적으로 이용될 수 있다(Nirupama and Simonovic, 2002; Zeleny, 1973, 1974).

하지만, Nirupama and Simonovic (2002)는 CP 기법이 홍수터 관리 문제에 적용되면 CP 기법으로 구한 최적 대안은 공간적 동질성을 가진 대상지역 전체에 대한 평균값으로 결정되는 취약점을 가질 수 있음을 지적하였다.

2.1.2 Spatial Compromise Programming (SCP, 공간형절충계획법)

전통적인 비공간형 MCDA기법인 CP기법에 포함된 공간적 동질성은 평가 대상기준이 공간에 따라 변화할 수 있는 의사결정문제 같은 경우 비현실적인 가정이다. 반면, SCP 기법(Tkach and Simonovic, 1997)은 CP 기법과 GIS의 결합을 통하여 다양한 대안들에 대한 기준값들이 갖는 공간적 변동성을 고려하기 위하여 개발되었다. SCP (Spatial Compromise Programming, 공간형 절충계획법) 기법은 대안평가를 위하여 평가 기준별 자료 및 공간위치 변화에 따른 자료가 필요하며 이러한 자료들은 의사결정 수행에 필요한 각종 정보를 얻도록 GIS 및 MCDA 기법에 따라 가공 및 처리된다. 즉, SCP 기법의 주요 특징으로는 해당 문제의 최적 대안 선정 시 고려해야 할 여러 평가

기준의 정량적인 값과 이에 대한 의사결정권자들의 선호도를 바탕으로 공간적 변동성을 고려한 평가가 가능하다는 것이다. 이는 실제 해석에 대한 결과가 결과 값의 지리학적 분포뿐만 아니라 의사결정과정에 포함된 판단에도 종속적일 수 있음을 암시한다. 이처럼 GIS기법을 응용하여 결합한 SCP 기법은 공간적으로 다른 의사결정 대안들에 관한 최적 대안 판별능력을 제공하여 의사결정권자의 의사결정을 지원할 수 있다.

SCP 기법은 토지이용도, 홍수심과 같은 각 레이어를 구성하는 격자 모두에 각 레이어의 최적해와의 거리를 구하여 거리 값을 계산한다. 대안별 평가기준 값들은 건물, 도로, 경작지 등과 같은 레이어를 구성하며 각 레이어들은 공간좌표를 지니게 되며 GIS를 통한 공간분석을 통해 관심 지역에 대하여 대안들 간의 우월 여부를 결정하여 최적 대안을 결정할 수 있다. GIS 레이어를 통한 격자단위 연산이 수행되면 Eqs. (4) and (5)와 같이 확장된다.

$$DM_{j,x,y} = \left[\sum_{i=1}^{n} w_i^p \left| \frac{f_{i,x,y}^{*} - f_{i,j,x,y}}{f_{i,x,y}^{*} - f_{i,x,y}^{**}} \right|^p \right]^{1/p} \tag{5}$$

여기서, $x=1,\cdots,a$는 격자 파일의 행을 나타내고 $y=1,\cdots,b$는 열을 나타낸다. a와 b는 각각 격자 파일의 행 및 열 번호를 나타낸다.

2.2 지리정보체계 (GIS)

GIS가 다루는 지리정보는 흔히 공간, 시간 및 속성으로 나누어진다. 지리정보의 절대적인 구성요소인 공간은 연속 값을 갖는 특징을 가지고 있으며 대상을 정의내리는 데에 있어 신중함이 필요하다. 용도지역이나 행정구역과 같이 그 경계가 명확한 경우는 정의를 내리는 데에 있어 문제가 없지만, 고밀도의 인구밀집지역이나 토양이 양호한 지역과 같은 그 경계설정부터가 모호한 경우는 정의를 어떻게 내리는가에 따라 목표로 하는 의사결정의 결과가 달라질 수 있다. 예를 들어 인구 고밀집지역을 정의함에 있어 인구밀도로 할 것인지, 인구수로 결정할 것인가에 따라 대상지역이 달라질 수 있을 것이다. 이처럼 공간정보는 다양한 정의를 통해 표현이 가능한 특성을 가지고 있다(남광우, 1998).

또한, 공간정보가 갖는 특징은 복잡성이라고 하겠다. 현실에서의 현상은 여러 인자의 결합으로 인한 결과가 대부분이다. 공간정보의 복잡성은 인자들의 중요성 판단과 인자간의 상호관련성을 규명해야 하는 과제를 남기게 된다. 각 인자가 현상에 미치는 영향정도를 평가하였다 하더라도 인자간의 상호관련성이나 상대적 중요도를 평가하지 못하게 되면 논리적이고 투명한 의사결정 수행에 어려움이 있기 때문이다. 이러한 둘 이상의 기준에 대한 결합은 MCDA에 의해 수행되어 질 수 있다. 현재 수자원관련 의사결정 분야에서 자료의 공간변동성과 관련된 의사결정을 위하여 여러 연구진에 의하여 GIS의 적용이 수행되고 있다. 일반적으로 필수적인 자료의 공간적 특성 때문에(Tsihrintzis et al., 1996) 수자원 모형화 분야에서 GIS 기술은 의사결정과정을 효율적으로 촉진하는 역할을 하고 있다. 또한, 대부분의 GIS 시스템은 GUI 환경의 구축이 가능하여 당면한 문제의 공간정보에 대한 의사결정권자들의 이해를 증진할 수 있는 수단이 되고 있다. 이처럼 GIS는 정교한 모형들과의 연계를 통하여 효율적인 수자원 모형화를 위한 공간자료 처리수단을 제공할 수 있는 특징을 가지고 있다. 결국, 공간문제에 대한 의사결정도구로서 GIS와 MCDA의 연계이용은 각 장점을 충분히 발휘하는 접근방법이 될 수 있을 것이다.

모형(Modeling)이란 실체의 모방 또는 압축으로서 그 실체의 중요 특성을 나타내어 우리로 하여금 그 실체를 질서 있고 간결하게 보여주는 의사결정을 지원하는 하나의 도구이고, 원시자료를 정보로 가공해주는 기능을 가지고 있다(김채승, 1999). 따라서 공간모형화(Spatial Modeling)는 공간적 요소들을 대상으로 하는 현상의 이해와 예측을 위해 복잡한 체계를 축약하고 단순화하는 것이다.

3. 홍수터관리 문제에 대한 공간형 MCDA접근

본 연구에서 사례연구의 목적은 홍수관리를 위하여 대상유역에 GIS를 활용한 공간형 MCDA 기법 적용을 통하여 개별 대안 조건에서 발생할 수 있는 홍수로 인한 피해를 평가하고자 한다.

3.1 실험의 개요

3.1.1 대상유역 및 수리·수문데이타 구축

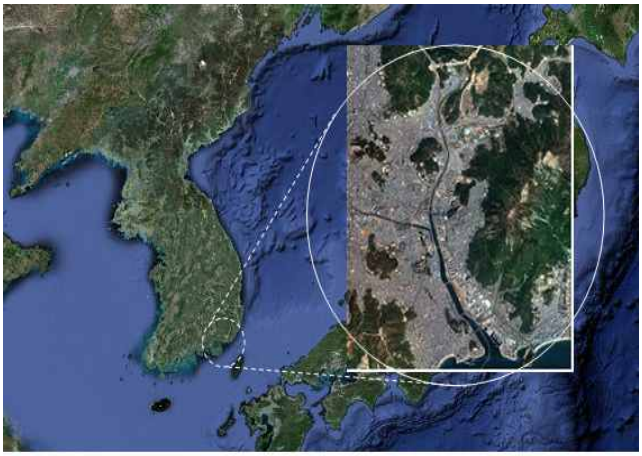
본 연구의 대상유역은 우리나라 남동쪽 끝단에 있는 부산지방의 수영강 유역으로서(Fig. 1a) 유역면적은 199.65 km^2이며 약 400만의 인구가 거주하고 있다. 이 지역에는 홍수를 방류하기 위한 특별한 시설이 설치되어 있지 않고 비교적 짧은 하도구간과 급한 하상경사 때문에 홍수재해가 빈번하게 발생하고 있다.

수영강 유역의 홍수피해 저감대책 방안 마련을 위해 필

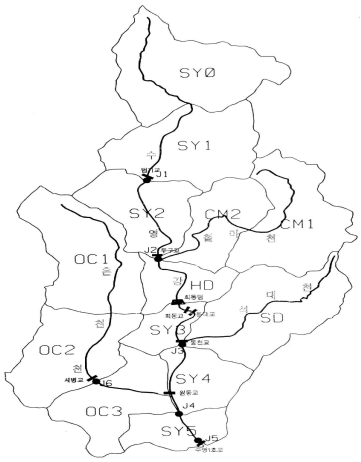
요한 기본 레이어 작성을 위하여 홍수터 분석 수행에 필요한 수리·수문학적 자료의 구축은 주어진 빈도년의 홍수에 의한 범람면적, 깊이 등을 추정하는 것으로 강우분석, 유출분석 및 범람해석 등 3가지로 구성된다.

본 연구에서는 수영강 전체 유역을 Fig. 1b와 같이 수영강 본류를 6개의 소유역으로, 철마천 유역을 2개의 소유역으로, 회동댐 소유역을 단독으로, 온천천 유역을 3개의 소유역으로, 그리고 석대천 유역의 13개 유역으로 분할하였다.

홍수위 산정 및 기본 자료의 생성 절차는 Fig. 2와 같으

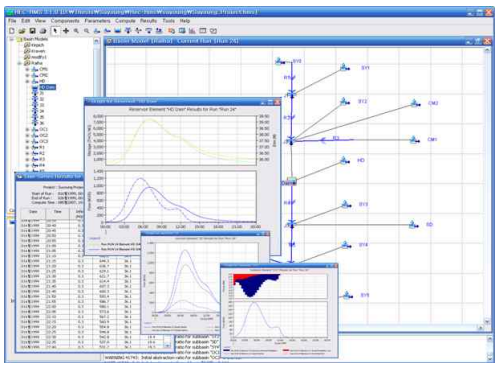


(a) Map showing the study area (the Suyoung River Basin)

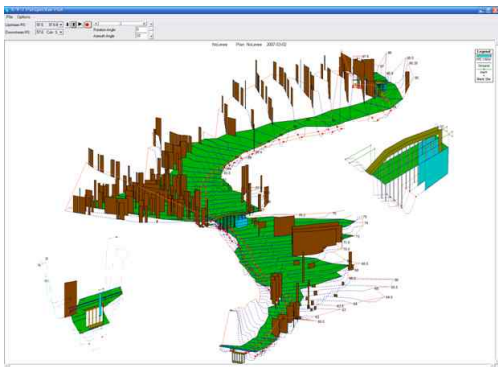


(b) Model schematic for the Suyoung River Basin

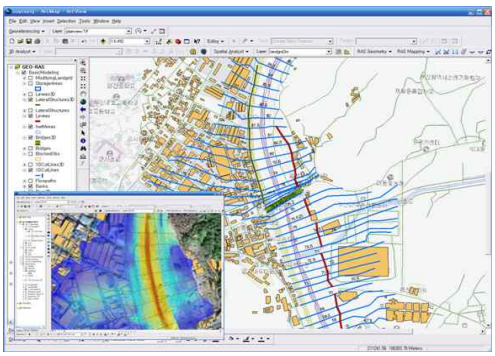
Fig. 1. The View of Suyoung River Basin in Korea



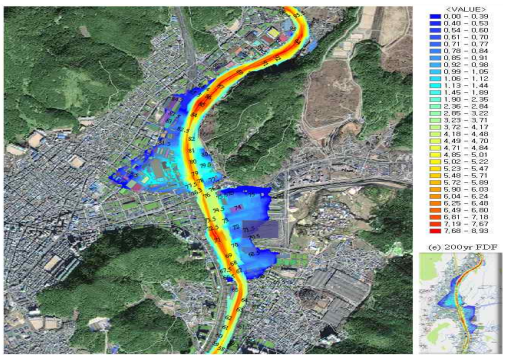
(a) HEC-HMS schematic for the Suyoung River Basin



(b) Computing water surface profile using HEC-RAS



(c) Floodplain delineation overlaying various layers using HEC-GeoRAS



(d) View of flood-affected areas based upon a 100yr Flood

Fig. 2. Hydraulic and Hydrologic Data Development

Table 1. Calculated Flow Characteristics Including Design Floods, Time to Peak by Location and Basin Information

Data Series	Duration	Return Period	Heoidong Dam		Sukdaechun Joint		Onchunchun Joint		Suyoung River Downstream	
			Q_p(cms)	T_p(cms)	Q_p(cms)	T_p(cms)	Q_p(cms)	T_p(cms)	Q_p(cms)	T_p(cms)
Annual maximum	12-hour	10-yr	512.6	7.42	682.2	7.25	1034.5	7.00	1071.9	7.00
		20-yr	642.5	7.25	849.7	7.17	1280.9	6.83	1325.3	6.92
		50-yr	817.5	7.08	1076.3	7.00	1614.4	6.75	1668.8	6.75
		100-yr	956.2	7.00	1254.7	6.92	1876.3	6.67	1940.4	6.75
		200-yr	1100.0	6.92	1439.2	6.92	2115.9	6.67	2190.1	6.58
Basin characteristics			HD		J3		J4		J5	
Watershed area A (km^2)			99.84		128.05		192.14		199.60	
Channel length L (km)			20.54		23.70		27.83		29.54	
Channel slope S (H/L)			0.0341		0.0301		0.0257		0.0243	
Effective basin width A/L (km)			4.8606		5.4015		6.9039		6.7554	
Form factor A/L^2			0.2366		0.2278		0.2481		0.2286	
CN (AMC-III)			75.87		77.04		79.82		80.27	

며 1단계에서는 HEC-HMS와 HEC-RAS를 통하여 수영강 유역 분석에 필요한 홍수 재현기간에 따른 홍수량과 홍수위 등을 산정하였다. 유역과 유역사이의 하도 추적에 의한 저류 현상을 고려하기 위해 8개의 하도 구간, 그리고 6개의 합류점과 유입량의 저수지 추적을 수행하기 위한 회동댐을 삽입하여 모형을 구축하였다. 강우에 의한 유출량을 실측 강우-유출 자료를 얻을 수 없어, 통계기법(HYDROFRQ)을 이용한 확률강우량 및 강우시간분포 자료를 사용하여 재현기간별, 지속시간별 강우-유출 분석을 수행하다. 유역추적을 위해서는 유역의 지형학적 특성 및 도달 특성을 반영할 수 있어 미계측 유역 추적에 가장 적합하다고 평가되는 Clark 유역추적법을 사용했으며, 수문학적인 하도 추적을 위해서는 매개변수의 물리적인 특성을 가장 잘 반영하고, 결과가 부정류 해석결과와 잘 일치한다고 연구된 Muskingum-Cunge 방법을, 그리고 유역 내 저수지인 회동댐에 대해서는 저류량·방류량곡선을 이용한 수정 Puls 방법에 의한 저수지추적을 통하여 유출량을 산정하였다. 각 유출량 산정지점에서의 유역 특성과 수영강 본류의 홍수위를 검토하기 위한 설계 홍수량을 설정하여 Table 1에 정리하였다.

2단계에서는 수문모형으로부터 산정된 첨두유량을 HEC-RAS 모형의 입력 자료로 이용하여 수영강 유역의 홍수위를 산정하였다. HEC-GeoRAS는 산정된 홍수위를 GIS에서 사용할 수 있도록 변환하기 위하여 이용되었다.

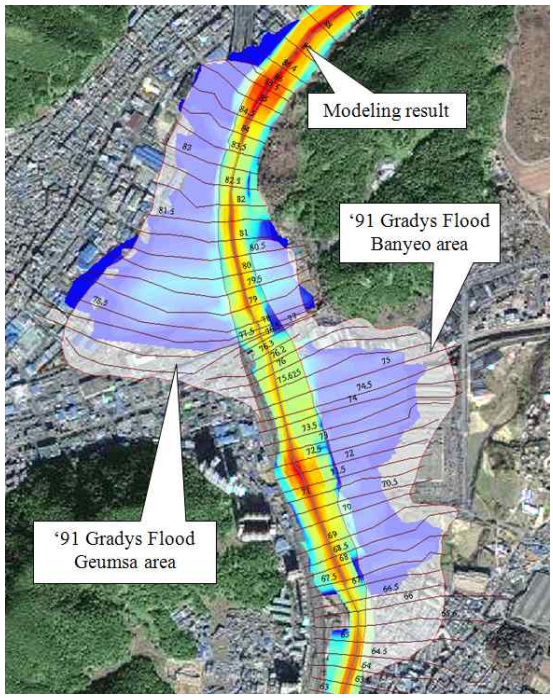


Fig. 3. Comparison of Observed 1991 Typhoon Gradys Flood Event and the Simulation Result (100-yr Flood)

최종단계에서는 이러한 수치홍수터들을 홍수피해 저감방안 평가를 위하여 부가적인 GIS 자료들과 결합하였다.

Fig. 3은 100년 빈도의 홍수터 범람을 구현한 최종 결과

Table 2. Comparison of Actual Flood and Simulation (Standard metrics)

Area	Peak Discharge (m^3/s)		Inundated Area (km^2)	
	1991 Gladys	Simulation	1991 Gladys	Simulation
Geumsa	924.3	957.0	0.65	0.60
Banyeo	1190.7	1255.6	0.88	0.75

Table 3. Submerged Area-damage Relationships for Small Town (Unit: million, *ha*)

Area type	Type	Constant	Submerged area term	Fitness
Small Town	Building	0.55283	$0.182s^2$	0.52
	Agriculture	0.63246	$0.150s^2$	0.50
	Public facility	0.85311	$0.060s^2$	0.45
	Etc	0.12471	$0.356s^2$	0.54

1. S=Submerged area (ha) divided by average submerged area for each area type (ha)
2. Average submerged area (ha): Big city 875.3, Mid-sized city 303.0, Garden city 1,001.4, Rural area 761.2, Mountain area 139.6

물로서 Fig. 2의 수행과정을 통해 얻은 모형의 재현기간 100년 빈도에 해당하는 홍수가 발생할 경우의 시뮬레이션 결과와 1991년 태풍 글래디스에 따른 부산의 반여 및 금사 지역의 침수지역을 비교하였으며 그 결과는 Table 2와 Fig. 3과 같다. 태풍 글래디스의 침수피해는 하천홍수가 제방을 범람하여 침수된 지역도 있었지만, 홍수위보다 지반고가 낮은 저지대에서는 내수 배제의 불량으로 인하여 침수피해가 더욱 가중되었던 것으로 판단된다. 수영강 전 유역에 걸쳐 첨두유량의 경우 4.6%의 오차, 범람면적의 경우 88.2%의 정확도를 보여 태풍 글래디스로 인해 발생한 홍수량은 본 연구의 유출분석을 통해 산정된 100년 빈도홍수량과 거의 비슷함을 알 수 있으며, 금사동 지역의 경우는 태풍 글래디스시 실제 침수되었던 면적과 본 연구에서 산정된 침수면적이 거의 일치함을 알 수가 있었다.

3.1.2 홍수방어 대안평가를 위한 기준 (Criteria) 설정

다기준의사결정이란 평가기준이 다수인 경우, 각 기준 하에서 선택대상으로 고려한 다수 대안의 선호도를 각각 측정하고, 이를 종합하여 최선의 대안을 선택하고자 하는 과정을 말한다.

본 연구에서는 홍수피해 저감을 위한 후보 대안들의 평가를 위하여 총 5개의 평가기준을 설정하였다. 각 대안을 평가하기 위한 기준은 홍수피해 저감 증대를 목적으로 각 대안이 적용되었을 때의 경제학적, 사회적, 공학적 결과를 평가하기 위해 선정되었으며 공간적 변동성을 보인다. 다기준의사결정 기법 계산을 위해 필요한 수학적 연산 과정의 통합 수행을 위하여 GIS에 사용될 각 평가기준 레이어 맵을 작성하였다.

각 대안에 대한 평가기준으로 우선 홍수심 (the flood-water depth, C1)을 고려하였다. 홍수심 레이어 작성을 위하여 대상유역 내 모든 지점에 대한 수리모형에 의해 계산된 침수격자, 수면표고격자 및 DEM을 결합하여 작성하였다. 침수격자에 포함된 모든 침수지역의 지면표고를 모의 된 수면표고로부터 제하여 격자별 홍수심을 산정하였으며 여기에 포함되지 않는 지역의 격자에는 0이나 음수 값이 할당되어 격자마다 홍수심이 수록된 홍수터 대안 평가를 위한 홍수심 격자를 생성하였다.

두 번째 평가기준으로는 홍수의 재현기간에 따른 홍수피해액 (the flood damage, C2)을 고려하였다. Queensland (2002)는 침수위와 침수위에 따른 건물 피해를 산정하기 위해 건물의 침수된 수위를 측정하여 건물의 피해액을 산정하였다. 홍수터 도시기법은 홍수에 따른 홍수범람의 범위 및 홍수심의 예측에 이용되며 홍수터 맵핑에 의해 작성된 홍수지도는 피해를 당한 건물의 위치 및 홍수위 등에 관련된 정보를 제공하게 된다. 본 연구에서는 피해 건물과 도로에 대한 피해액을 다음과 같은 순서로 산정하였다.

1) 홍수 후 침수된 수위 정보가 들어있는 침수위 레이어와 홍수피해액 산정의 기준이 되는 빌딩과 도로 레이어(1값을 지님)를 곱하여 도로와 빌딩의 침수위

를 구한다.

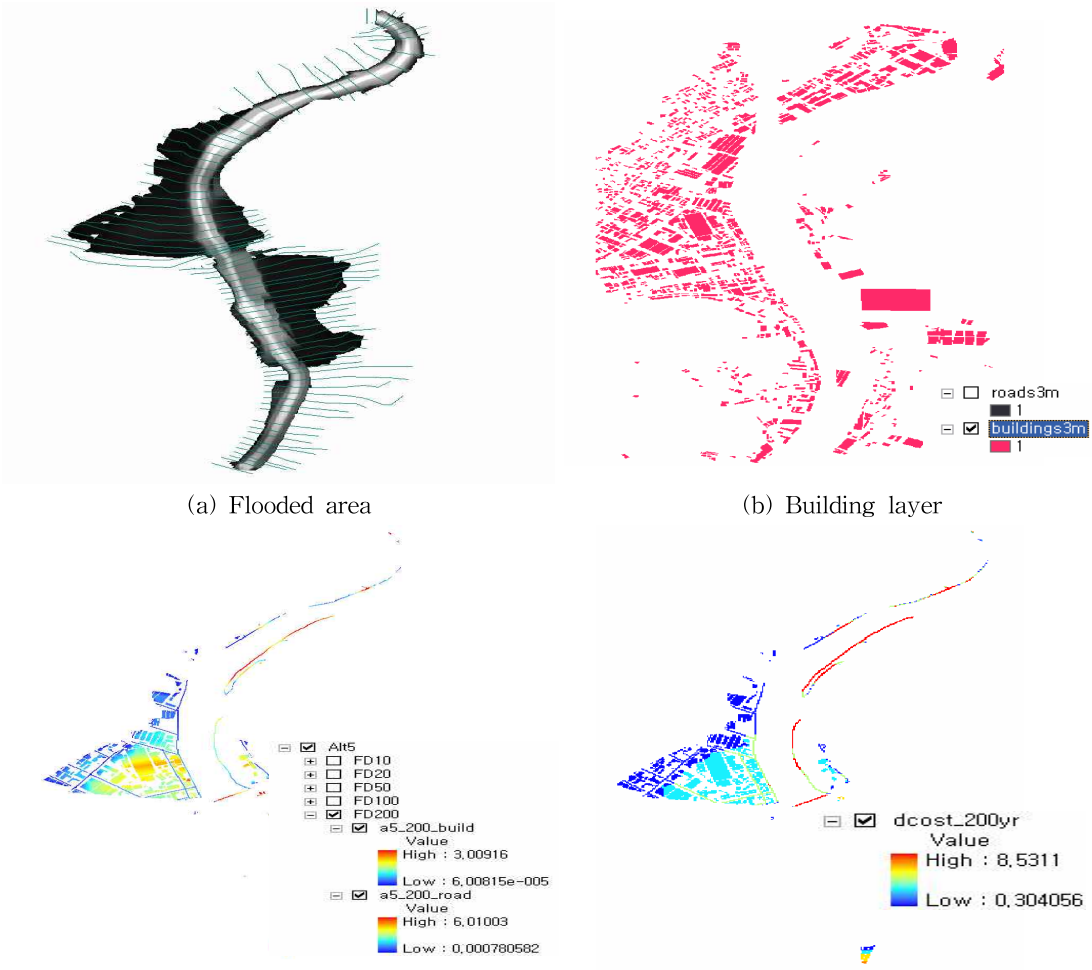
2) 부산 수영강 주변을 중소도시로 가정하고 도시 유형별 침수면적-피해액 관계식(Table 3)을 적용하여 격자별 면적에 관한 피해액을 계산한다.

3) 침수심에 따른 피해율(Table 4)을 적용하고 마지막으로 도로와 빌딩의 피해액을 합산한다. 본 연구에서는 홍수심에 따른 피해율은 기존 간편법상의 가옥 피해율을 이용하였으며, 피해율 100%일 경우의 피해액은 침수면적-피해액 곡선상의 건물 피해액을 이용하였다. Fig. 4는 홍수 피해액 산정 과정을 보여주고 있다.

세 번째 평가기준은 토지이용도에 따른 위험도(the land use disruption, C3)을 고려하였다. 토지이용특성은 홍수에 영향을 미칠 수 있음이 잘 알려졌다. 일반적으로 산림이나 식생피복이 발달한 배수유역은 나지에 비하여 작은 첨두유량과 긴 유출기저시간을 나타내며 도시화는 홍수에 지대한 영향을 미치게 된다. 이러한 이유로 토지이용에 따른 위험도는 홍수피해액(C2)과 다른 독립적인 평가

Table 4. Household Damage Rates (%) per Flooding Depth (m) Used for Flood Damage Assessment

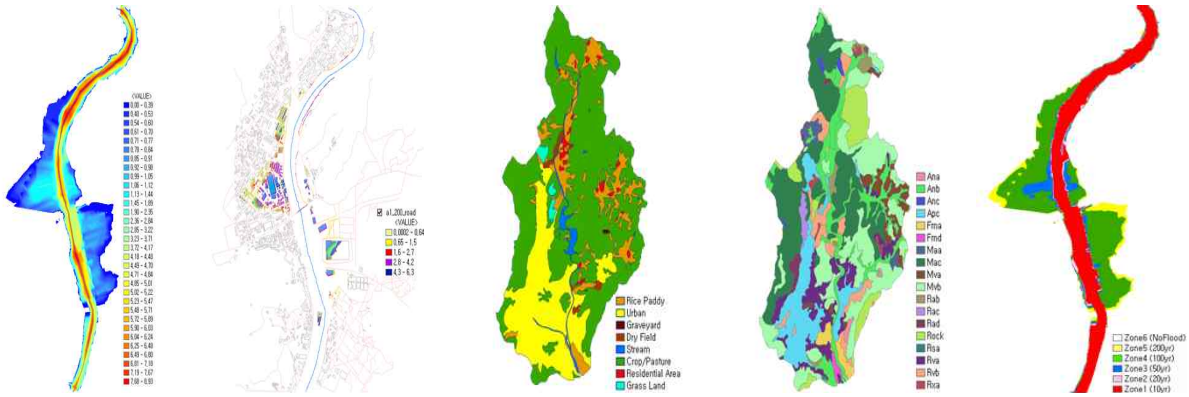
	Minimal Destruction	Partial Destruction	Complete Destruction	Loss
Flooding depth(m)	0~0.5	0.5~1.5	1.5~2.5	> 2.5
Damage rates(%)	5.5	40.0	83.0	100.0



(a) Flooded area (b) Building layer

(c) the flooded depth of the building and road (d) Flood damage cost

Fig. 4. Developing the Flood Damage (C2)



(a) Flood depth (C1) (b) Flood damage (C2) (c) Landuse disruption (C3) (d) Flood risk zone (C4) (f) Drainage capacity (C5)

Fig. 5. The Five Selected Criteria Maps for Selecting Best Alternatives

기준으로써 이용할 수 있다. 예를 들어 홍수발생지역에 주택이나 상가건물 혹은 병원 등과 같이 인구가 밀집한 시설이 위치한다면 홍수로 인한 인구밀집지역의 피해는 농경지보다 높을 것이다.

네 번째 평가기준은 서로 다른 홍수재현기간 하에서의 홍수 위험도(the risk of flooding under different return period, C4)이다. 이 기준은 홍수피해 저감방안의 종류에 따라 변화할 수 있으며 본 연구에서는 6개의 범주(1~6구역)로 세분화하였다. 1구역(zone1)은 10년 빈도홍수에 의해서만 침수되는 지역을 뜻하며 홍수에 대한 위험도가 가장 높다. 2구역은 20년 빈도홍수 면적으로서 10년 빈도홍수 지역은 제외된다(2구역=20년 빈도 범람면적~10년 빈도 범람면적). 위와 같은 방식으로 5구역에서는 10년, 20년, 50년, 100년 빈도홍수에 대해서는 피해가 발생하지 않으며 오직 200년 빈도홍수에 대해서만 피해가 발생하는 지역을 의미한다. 하지만, 6구역에서는 어떠한 설계빈도에 대해서도 홍수피해가 발생하지 않는다.

마지막 평가기준은 토양의 종류에 따라 토양층의 우수 보유능은 다르게 나타나는 것을 고려한 배수능력(the drainage capacity, C5)이다. 만일 어느 지역의 토양이 우수를 충분히 저류하지 못한다면 홍수문제가 발생하게 되므로 배수능력을 홍수피해 저감대책 평가를 위한 기준으로 선정하였다. Fig. 5는 GIS의 생성과정을 거쳐 완성된 최적 홍수저감대책 선정을 위한 평가기준을 보여주고 있다.

3.1.3 홍수피해 저감방안(Alternatives) 및 가중치 설정

MCDA를 이용하여 문제를 해결한다는 것은 근본적으로 사용자가 고려하고자 하는 정해진 대안들을 다중기준에 따라 서로 비교하고 그 중 가장 선호도가 높은 대안을 고르거나 또는 각 대안에 대해 산정한 선호도를 곱하여 선형가중법을 이용하여 최종 결과 값을 얻는 것이다. 그러므로 우선 비교 선택하고자 하는 일정한 수의 대안을 결정하는 일이 필요하다. 홍수에 취약한 수영강 일대의 홍수방어능력을 증대하기 위한 대안으로 다음과 같은 5개의 방안을 모색하였다. 우선 다른 홍수방어 대안들과의 상대적인 비교를 위하여 1991년 글래디스 태풍 이전 하천 상태를 유지한 대안 1(no action, A1)은 홍수터에 어떠한 물리적인 방어능력 개선이 이루어지지 않은 상태이다. 두 번째 대안은 1991년 글래디스 홍수가 발생한 이후의 제방축조(build a levee, A2)이다. 실제로 1991년 글래디스 홍수가 발생한 이후 가장 큰 피해를 기록한 지역 중의 하나인 반여동에서는 수영강의 동쪽 사면에 제방을 축조하였다. 세 번째 대안은 하천개수+제방(channelization plus levees, A3)이다. 수영강에서 발생한 대규모 홍수는 제방만으로는 충분한 방재 효과를 기대할 수 없으며 수영강을 따라 또 다른 홍수조절방법이 필요함을 증명하고 있다. 네 번째 대안은 양수+제방(pumping plus levees, A4)이다. 본 연구에서는 수영강의 상류사면을 따라 3,800 m^3/min 용량의 양수장을 4개소에 가상으로 설치하였다. 마지막 대안으로는 하천개수 및 양수+제방의 결합(combination of channelization and plumping plus levees, A5)이다. 이 대안은 더욱 효율적인 홍수의 조절을 위하여 하천개수와 양수를 모두를 결합하였다. Fig. 6은 홍수피해 절감방안을 보여주고 있다.

가중치는 각 지표 간의 중요도에 차이가 있다는 점에 근거하여 중요도 인식 조사에 따라 이루어지며, 주민이나

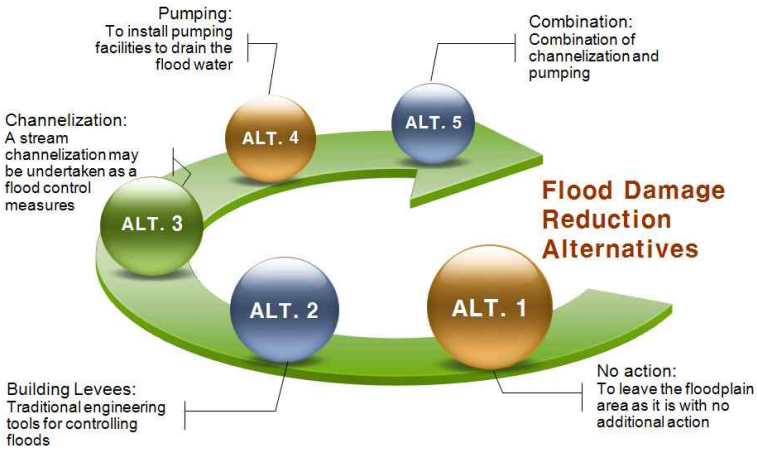


Fig. 6. Defining the Flood Damage Reduction Alternatives

전문가가 치수의 어느 부문에 비중을 두는지 해결해야 할 문제가 무엇인지를 나타내 주는 척도이므로 정책개발과 수립에 중요한 자료가 된다. 그러나 가중치 조사 방법에 따른 차이는 여러 연구에서 논란의 대상이 되고 있고 현재까지 만족할 만한 과학적 해결방법이 발견되지 않았다(윤하연, 1999). 주로 주민이나 전문가의 선호도 조사를 통하여 각 지표의 상대적인 중요도를 파악하고 이를 기초로 가중치를 결정하는 방법이 시도되고 있다. 그러나 이러한 방법을 이용한 결과와 가중치를 적용하지 않은 경우의 평가결과에서 차이가 거의 없는 것으로 보고되고 있으며 이는 실제 일본의 토지평가기준이나 우리나라의 산지전용기준 등과 같이 대부분의 토지분류나 평가에서 쉽게 찾아볼 수 있다(채미옥과 오용준, 2003). 부적절한 가중치의 적용은 평가결과의 오류를 가져올 수 있어 본 연구에서는 각 대안에 대해 동일 가중치를 부여하였다.

3.2 CP와 SCP의 적용

의사결정이란 선택 가능한 여러 대안(alternatives) 중에서 미리 정한 기준(criteria)에 가장 적합한 하나의 대안을 선택하는 것을 의미한다(김성희 등, 2003). 이때 여러 기준은 모두 같은 중요도를 갖지 않기 때문에 의사결정권자의 선호도에 따라 가중치를 부여하게 된다. 홍수피해 저감방안 평가를 위해 앞서 기술한 CP 기법과 SCP 기법을 Fig. 7에 제시한 절차에 따라 수행하여 각 기법에 따른 결과를 비교·분석하였다. 본 연구에서 CP와 SCP 기법 모두 대안평가 과정에 필요한 매개변수인 지수 p값(Eqs. (1) and (2))은 Nirupama and Simonovic (2002)와 Traore and Fontane (2007)이 제시한 값인 2를 적용하였다.

CP 기법에서는 Eq. (4)에 의해 최소 거리계량치(distance metric value)를 갖는 대안을 수영강 지역 전체에 대한 최적 대안으로, 최대 거리계량치에 해당하는 대안은 최악의 대안으로 선정되었다. 가중치가 적용된 각 홍수피해 저감방안에 대한 거리계량치와 최종 종합순위 산정결과는 Fig. 8과 같다.

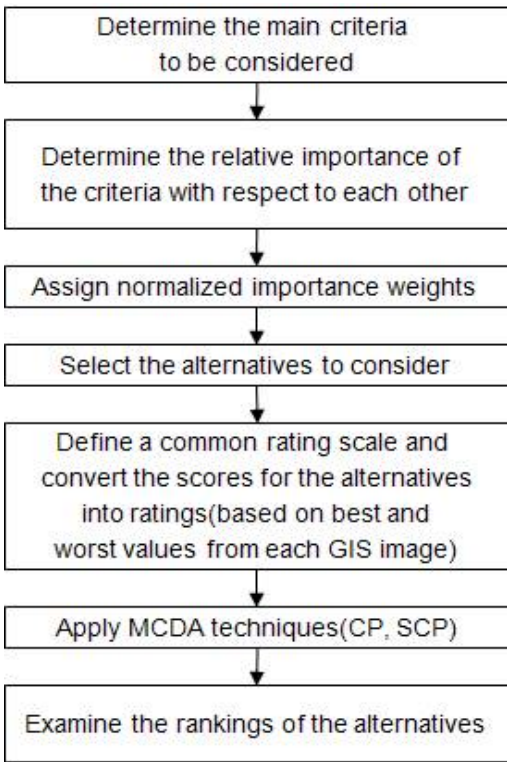


Fig. 7. The Framework for the Multi-Criteria Decision Analysis

공간을 대상으로 하는 의사결정문제에는 실제 평가요인이 공간상에서 매우 이질적이라는 특성을 포함하여 분석하여야 한다. 하지만, CP 기법은 평가기준이 되는 요인들이 공간적으로 동질하다고 가정하고 있다. Eq. (4)에서

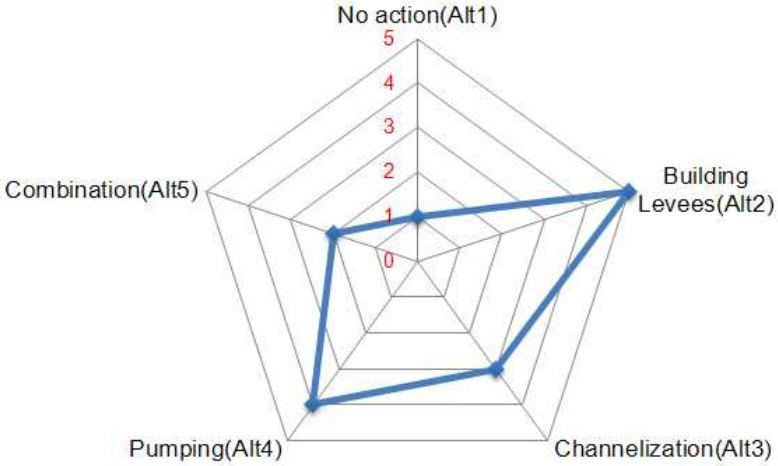


Fig. 8. The Ranks of Optimal Alternative by CP Method

알 수 있듯이 CP 기법은 전 지역을 대상으로 결정된 최적의 홍수피해 저감방안으로 전체 평균개념을 통해 홍수피해 영향을 평가하고 있다. 즉, CP 기법에 따라 산출된 최적 대안은 유역 전체에 대한 평균치로 결정되므로 평가기준 값들의 지역적 특색을 반영하는 공간변동성에 대한 세부적인 고려 없이 유역 전반에 걸쳐 발생할 수 있는 평균개념 혹은 총괄개념의 거시적인 평가에 국한되게 된다. 결과적으로 CP에 의하여 제안된 최적 대안은 해당 지역 내 국부적인 위치에 대한 최적 대안과는 일치될 수 없다. 지역적인 공간특성을 고려하지 않은 평가기준 값에 대한 홍수터 피해저감 대책 선정 시 상당한 양의 지역적 정보 손실을 주게 된다. 결국, 이러한 공간 변동성에 대한 손실은 반드시 기술되어야 할 필요가 있는 CP 기법의 결정적인 결함이라 할 수 있다.

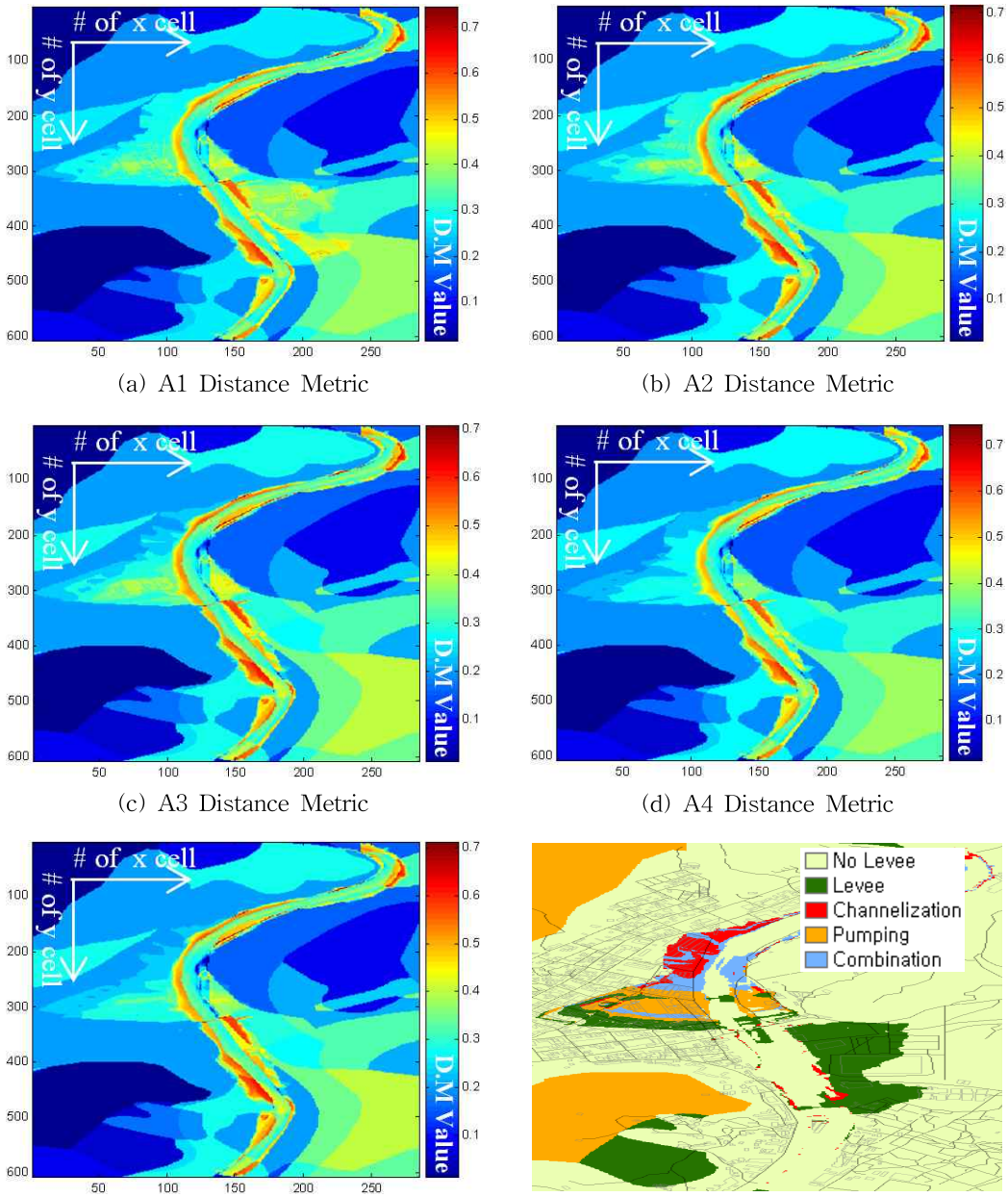
CP와 SCP 모두는 A1 (현상태유지)이 최적 대안으로 선정되었다 (Figs. 8 and 9). A1이 나머지 대안들보다 압도적으로 많이 선정된 이유로는 A1이 홍수피해가 발생하지 않는 전 지역을 포함하기 때문이다. 즉, 홍수방재를 위한 어떠한 대처방안도 없는 A1은 홍수피해가 발생하지 않는 지역에 적용할 수 있는 유일한 대안으로 적용되었기 때문이다. 홍수터에서 크게 벗어나 홍수 위험이 거의 없는 지역이 상당한 규모를 차지하는 지역의 특성상 A1에 해당하는 지역은 높은 백분율을 차지할 수밖에 없다.

Fig. 9는 GIS와 결합한 SCP 기법의 수영강 지역의 특성을 고려한 최종결과를 보여주고 있다. 수영강 유역 전체에 대해 단일 최적 대안을 선택한 CP 기법의 정보제공과 달리, GIS를 결합한 SCP 기법에서는 수영강 지역의 공간적 특성을 고려한 최적 대안의 공간적 변이를 볼 수 있었다. Fig. 9. (a)~(e)는 SCP 기법에 의해 계산된 거리계량치 (DM) 값을 나타내고 있다. x축 및 y축은 공간별 분포를 가진 셀의 분포별 일렬번호를 나타낸다. 거리계량치값은 각 격자가 가진 속성이 분석기준에 가장 적합한 기준, 즉 이상해와 각 격자간의 최소차이를 나타내는 값으로서 그 값은 0~1의 분포를 가지게 되며 1에 근접할수록 최적해를 나타낸다. Fig. 9(b)는 제방을 대안으로 설정시의 거리계량치 값을 나타내고 있으며 제방 건설에 따라 그 효과가 하도의 양쪽 단이 적색에 가까운 색을 보이고 있어 (거리계량치 값 1에 근접) 제방의 건설로 하도 양단이 가장 최적의 값으로 보여주고 있으며 각 특정 셀의 방어정도를 거리계량치 값으로 상대적인 방어능력을 알 수 있다.

하지만 Fig. 8에서 보는 바와 같이 CP 기법에 의한 대안은 모든 지역에 대하여 최종 대안으로서 A1 (현상태유지)을 채택하였다. 이는 전술한 바와 같이 CP 기법은 전 지역에 걸친 평균개념에 따라 최적 대안을 선정하였기 때문이다.

Fig. 9(f)는 대안별로 비교하여 (Ranking) 각 셀의 최적 거리계량치를 선정하여 최적의 대안을 나타낸 값을 제시하고 있다. 이처럼 GIS와 결합한 SCP 기법은 대상지역 내 포함되는 공간별 최적의 개별 고유값을 제시하기 때문에 SCP로부터 산정된 GIS 레이어 형태의 결과물은 모든 공간에 대해 한 가지 대안만을 제시하는 CP의 결과물과는 큰 차이를 보여주고 있다.

따라서 SCP 기법과 CP 기법에 따라 산정된 최종 대안들을 비교해 볼 때 SCP 기법은 의사결정권자들에게 관심지점에 대한 최적 전략 제공이라는 측면에서 의사결정의 다양성 및 분별력을 제공하고 있다. 이는 곧 SCP의 경우 대상지역 내 포함된 격자별 거리계량치를 공간적으로 고



(a) A1 Distance Metric (b) A2 Distance Metric

(c) A3 Distance Metric (d) A4 Distance Metric

(e) A5 Distance Metric (f) Detailed raking map

Fig. 9. Distance Metric Image for Each Alternative and Spatially Distributed Ranking Map Using SCP Approach

려할 수 있는 반면, CP의 경우 유역 전반에 걸친 거리계량치의 평균을 산정하는 것에 기인한다고 할 수 있다. 이상의 결과를 종합하면 SCP 기법이 홍수터 대안 평가에서 보다 경쟁력 있는 기법임을 제시한다 할 수 있다. 즉, SCP 기법은 의사결정권자들에게 특정 홍수피해 지역의 공간분포를 고려한 최적의 홍수피해 저감대책을 찾을 수 있도록 도와줄 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 격자기반 GIS 환경을 결합하여 홍수피해 저감 대책 선정에 필요한 관심 지역의 대안별 비교를 수행하기 위해 MCDA 기법을 적용하였다. 이를 위하여 전통적인 CP 기법과 GIS 기법이 결합한 공간형 다중의사결정기법인 SCP를 개발하여 수영강 유역에 적용하여 그 결과를 비교·분석하였다. 본 논문의 결론은 다음과 같다.

CP 기법은 전 지역에 대한 평균 거리계량치를 바탕으로 전 지역에 대하여 단일 홍수피해 저감 대책만을 제시하여 비공간상에서 나타나는 문제 해결에는 도움을 줄 수 있지만, 공간상에서 나타나는 다양한 문제들을 해결하는 데는 적용될 수 없었다.

반면 SCP 기법은 대안별 거리계량치가 홍수피해가 발생한 지점별로 산정되어 의사결정권자들에게 홍수터 내부 모든 격자지점의 공간특성을 반영하여 지점별 개별 대안을 제시하여 대안 선정 시 특정지점에 대한 최적의 대안을 선택할 수 있었다. 즉, 공간적으로 다른 개별 전략은 지역에 따라 그 특성을 달리하는 지형특성 및 홍수터 주변에 있는 도시지역의 홍수피해 방안 마련에 매우 효과적인 의사선택이 가능한 것으로 분석되었다. 예를 들어 홍수가 자주 발생하는 지역일지라도 홍수터 내부의 모든 지점에 대해서 같은 홍수피해가 발생하지는 않는다. 일반적으로 홍수피해 분포와 홍수방재조치는 일정 수준의 상관성을 갖는 함수로 볼 수 있다. 어떤 특정한 저감대책의 수행이 특정 지점에서의 홍수피해를 줄일 수 있을 것이다. 하지만, 동일 저감대책이 다른 지점에 대해서 유사한 저감효과를 제공하지 못할 수도 있다. 최종적으로 SCP 기법은 홍수피해 저감방안 선정 분야뿐만 아니라, 여러 가지 대안 중에서 최적 대안을 선정하는 많은 수자원 관련 분야에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

그러나 본 연구에서 수행한 다기준의사결정기법은 불확실성, 모호함 혹은 부정확성을 가질 수 있는 중요 매개변수들에 대한 측정오차, 고유한 변동성, 불안정성, 개념적 모호함, 과도한 추상화 혹은 단순한 무시 등에 관한 사항을 고려하지 않는다. 불행하게도 부정확성은 의사결정 과정에서 피할 수 없는 난점 중의 하나이다. 앞으로 결과의 부정확성에 대한 영향을 줄이기 위한 새로운 접근법의 개발은 필수적이라 할 것이다.

참고문헌

김성희, 정병호, 김재경 (2003). 의사결정분석 및 응용, 영지문화사.

김수정 (1999). GIS 기반 의사결정기법을 활용한 홍수재해 관리, 석사학위논문, 세종대학교.

김채승 (1999). 퍼지집합에 기반한 GIS 적지분석에 관한 연구-무등산 도립공원 자연보존지구 적지분석을 사례로, 석사학위논문, 전남대학교.

남광우 (1998). 퍼지집합개념과 AHP를 이용한 GIS 환경에서의 공간의사결정에 관한 연구-토지적합성평가와 시설입지분석에 관한 의사결정을 중심으로, 석사학위논문, 부산대학교.

박태선 (2002). "계층분석법을 이용한 하천의 중요도 평가기법." **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제35권, 제6호, pp. 685-692.

윤하연 (1999). 인천광역시 환경지표의 개발과 적용. 연구보고서 99-13, 인천발전연구원.

이재응, 남동성 (2007). 다기준의사결정기법을 이용한 안동다목적댐의 수문학적 안정성 증대방안 결정, 국토연구원.

이충성 (2007). 유역치수계획 최적대안 결정을 위한 의사결정모형의 개발, 박사학위논문, 인하대학교.

이현재, 심명필 (2002). "계층분석과정 (AHP)에 의한 가뭄시 용수배분 우선순위 의사 결정." **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제35권, 제6호, pp. 703-714.

채미옥, 오용준 (2003). "토지적성평가의 지표추출 및 지표별 가중치 분석방법 고찰". **대한지리학회 논문집**, 대한지리학회, 제38권, 제5호, pp. 725-740.

최동진, 박희경 (2000). "다요소 의사결정 기법을 이용한 수도산업 민영화 시나리오의 분석." **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제20권, 제1-B호, pp. 175-187.

한국개발연구원 (2000), 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 연구 (개정판).

한국개발연구원 (2001), 수자원 (댐)부분사업의 예비타당성 조사 표준지침연구 (개정판).

한국개발연구원 (2002), 기존댐 합리적 용수배분을 통한 수리권 조정 방안 연구.

Dauer, J.P., and Krueger, R.J. (1980). "A multiobjective optimization model for water resources planning." *Appl. Math. Model.*, Vol. 4, pp. 171-175.

Goicoechea, A., Hansen, D.R., and Duckstein, L. (1982). Multiobjective decision analysis with engineering and business applications. Wiley, New York, N. Y.

Kane, J., Vertinsky, I., and Thompson, W. (1973). "KSIM: A methodology for interactive resource simulation." *Water Resources Research*, Vol. 9, No. 1, pp. 65-79.

Nirupama, and Simonovic, S.S. (2002). A spatial fuzzy compromise approach for flood disaster management The Institute of Catastrophic Loss Reduction, London, Ontario.

Novoa, J.I., and Halff, A.H. (1977). "Management of Flooding in a Fully-Developed Low-Cost Housing Neighborhood." *Water Resources Bulletin*, Vol. 13,

No. 6, pp. 1237-1252.

Queensland, T.S.O. (2002). "Guidance on the Assessment of Tangible Flood Damages." D.O.N.R.A. Mines, ed.

Romero, C., and Rehman, T. (2003). Multiple criteria analysis for agricultural decisions Elsevier, Amsterdam, Boston.

Tauxe, R.R. Inman, and Mades, D.M. (1979). "Multiobjectives dynamic programming with application to a reservoir." *Water Resources Research,* Vol. 15, No. 6, pp. 1403-1408.

Tkach, R.J., and Simonovic, S.P. (1997). "A new approach to multi-criteria decision making in water resources." *Journal of Geographic Information and Decision Analysis,* Vol. 1, No. 1, pp. 25-44.

Traore, Z.N., and Fontane, D.G. (2007). "Managing drought impacts: Case study of Mali, Africa." *Journal of Water Resources Planning and Management,* Vol. 133, No. 4, pp. 300-308.

Tsihrintzis, V.A., Hamind, R., and Fuentes, H.R. (1996). "Use of Geographic Information System (GIS) in Water Resources: A Review." *Water Resources Management*, Vol. 10, Number 4, pp. 251-277.

Zeleny, M. (1973). Compromise Programming Multiple criteria decision making, University of South Carolina Press, Columbia, pp. 262-301.

Zeleny, M. (1974). Linear multiobjective programming Springer-Verlag, Berlin, New York.

논문번호: 11-107	접수: 2011.09.21
수정일자: 2011.11.01/11.08	심사완료: 2011.11.08