

# 시나리오 기반 환자 분배 및 의료진 할당을 위한 재난 대응 최적화 모형 연구

진석호<sup>1</sup> · 김장엽<sup>1</sup> · 김경섭<sup>1</sup> · 정석재<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 정보산업공학과 / <sup>2</sup>광운대학교 경영학과

## Scenario-Based Optimization of Patient Distribution and Medical Resource Allocation in Disaster Response

Sukho Jin<sup>1</sup> · Jangyeop Kim<sup>1</sup> · Kyungsup Kim<sup>1</sup> · Sukjae Jeong<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Information and Industrial Engineering, Yonsei University

<sup>2</sup>School of Business, Kwangwoon University

This study proposes an optimization model to plan the patient distribution and medical resource allocation considering the diverse characteristics of disaster. For reflecting the particularity of disaster response, we configured a few scenarios such as availability of emergency surgery of non-major medical staff and the change in number of patients estimated reflecting the uncertainty, urgency and convergence of disaster. And we finally tested the effects of the scenarios' combination on the objective function defined as maximum number of survival patients. Our experimental results are expected to highlight the significance of the proposed model as well as the applicability of scenarios under disaster response.

**Keywords:** Patient Distribution, Disaster Logistics, Survival Probability, Patient's Severity, Disaster Uncertainty

### 1. 서론

21세기에 들어 전 세계적으로 다양하고 치명적인 사고의 발생 횟수가 점차 늘어나고 있다. 국내의 경우 1990년 이후 각종 시설물의 붕괴와 폭발, 방화 등 인위재난과 태풍·홍수·호우 등 각종 자연재난의 발생이 크게 증가하였다. 먼저 인적재난을 살펴보면, 1994년 성수대교 붕괴와 1995년 대구 도시가스 폭발사고 및 삼풍백화점 붕괴사고, 2003년 대구 지하철 방화사고 등 연이어 발생한 대규모 재난으로 인하여 사고공화국이라는 오명을 입기도 하였으며, 2007년도에는 허베이 스퍼리트 호 기름 유출사고가 발생하여 세계적인 이목을 집중시키기도 하였다(Min and Jeong, 2013).

이에 경영학과 및 계량 분석 분야에서도 재난 대응과 관련

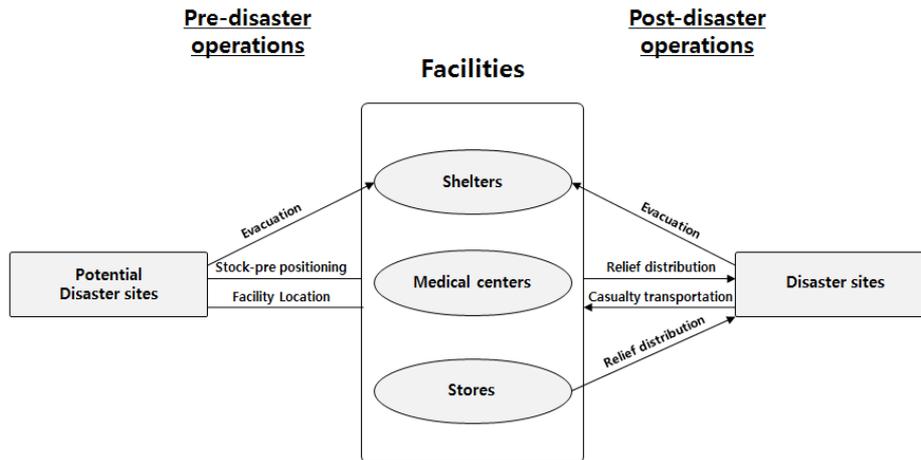
된 다양한 연구들이 1) Planning, 2) Scheduling, 3) Process Design and Patient Flow 등으로 구분되어 사상자의 수를 예측하고, 가용한 의료자원을 파악하여 환자의 생존자 수를 극대화할 수 있는 최적화 기반의 모형들이 진행되고 있다(Kim *et al.*, 2012). Caunhye *et al.*(2012)은 최근에 진행된 재난 대응 물류 관련 최적화 연구들을 목적함수, 제약식의 특징에 따라 나누어 정리하였으며, 재난 발생 시 필요한 대책과 활동을 <Figure 1>과 같은 프레임워크로 제시하였다. 또한 구호 물품 분배나 입지 설정 문제 등 타 분야에 비해 연구 진행이 미흡한 환자 수송 분야의 연구에 대해서는 보다 깊이 있는 연구가 진행되어야 한다고 제안하고 있다. 재난 상황 시 설비 가동의 유무, 장비 할당과 흐름, 이동 거리 및 수송 횟수를 비용으로 환산하여 비용을 최소화하는 확률적 계획법(stochastic programming)을 제시하

이 논문은 2014년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

\* 연락저자 : 정석재 교수, 139-701 서울특별시 노원구 광운길 26 광운대학교 경영학과, Tel : 02-940-5294, Fax : 02-940-8181,

E-mail : sjeong@kw.ac.kr

2013년 11월 27일 접수; 2014년 2월 10일 수정본 접수; 2014년 3월 19일 게재 확정.



Source : Caunhye *et al.*(2012), Optimization models in emergency logistics : A literature review, *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(1), 4-13.

Figure 1. Framework of disaster response logistics

였다. Sheu *et al.*(2005)은 가용할 수 있는 자원을 수요가 초과하는 경우에 퍼지 클러스터링(fuzzy clustering) 방법을 이용한 효과적인 자원 할당 문제를 고려하였으며, Song *et al.*(2009)은 대피 완료 시간을 충족하는 응급 차량 용량에 대한 신뢰수준을 결정하는 확률적 수요 모형을 제시하였다. Whybark(2007)는 재난 대응을 위한 물자의 획득 방안에 대한 필요성을 강조하고 공급선의 다변화와 생산 능력의 전략적 확보 등을 제안하고 있으나 구체적인 연구 결과를 제시하지는 않았다. Adida *et al.*(2011)은 재난 발생 이전 단계에서 여러 병원을 대상으로 하는 의료품의 비축량 결정 문제를 고려하였는데, 비축 비용을 최소화하기 위한 여러 병원 사이의 협력 모형을 게임이론으로 분석하였다. 연구결과 단일 병원을 통한 대응보다는 협력적 대응을 통하여 총 비용을 감소시킬 수 있음을 확인하였다.

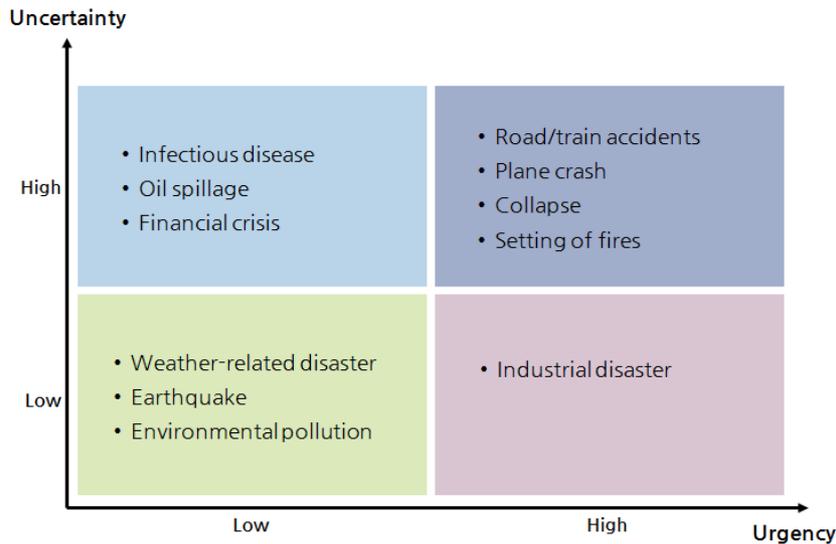
재난 유형을 분류한 연구는 Lee *et al.*(2004)에서 찾아볼 수 있다. 해당 연구에서는 재난 유형을 크게 사회 시스템형 재난, 구조형 재난, 자연현상형 재난 및 산업형 재해로 분류하였으며, 그 중 구조형 재난이 가장 긴급성(urgency) 및 불확실성(uncertainty)이 가장 높기 때문에 대응성이 강조되는 재난으로 분류하고 있다. Jeong *et al.*(2009)는 Lee *et al.*(2004)의 재난 유형 분류를 구체화하여, 구조형 재난 유형 외에 돌발형 재난(단순사고 및 범죄유형)의 유형으로 KAL기 폭파 및 자동차 사고를 예로 들고 있으며, 이러한 돌발형 재난은 구조시간이 짧은 특성을 가지고 있다. 또한 증폭형 재난 유형(화재 사고 및 건물 붕괴)은 재난 발생 후, 사건 발생 초기에 구조 활동에 있어 상당한 시간을 요하는 재난으로 정의하고 있다. Perry(1991)은 재난 대응 체계를 구축함에 있어 재난 유형에 따른 불확실성, 긴급성 및 집중성의 중요성을 언급하고 있다. 특히 집중성에 대한 중요성을 강조하고 있으며, 집중성(convergence)은 재난 발생 지역의 지리적 특성(재난지역의 접근성 정도), 추가적인 피해 등으로 인한 구조 활동의 위험성으로 정의하고 있다.

위의 연구들을 토대로, 재난 유형별 특성을 반영하기 위하여 불확실성이 높을수록 환자 발생 수의 변동 폭을 크게 하였

고, 긴급성이 높을수록 전체 발생 환자 가운데 중증도가 높은 환자 수의 비율이 높도록 하였다. 또한 집중성이 낮을수록 환자들의 구조 활동을 신속하게 할 수 없는 것으로 간주하여 시간대별 발생환자 분포를 달리하였다.

재난 상황에서 고려해야 할 또 다른 중요 사항으로, 재난 발생 지점에서부터 환자별로 상이한 중증도를 고려한 환자 이송 및 병원에서의 응급 치료를 들 수 있다. 평상시에 환자의 중증도 분류는 응급실에 도착한 후에 진행되지만, 재난 상황에서는 신속한 후속 조치를 위하여 재난 발생지점에서 중증도 분류가 선행되어야 하고, 이를 고려한 환자 이송계획 및 병원에서의 치료 우선순위가 고려될 필요가 있다. 따라서 재난 상황에서의 최적 이송 및 의료진 할당 문제를 고려할 때 중증도를 반영한 모델이 구성되어야 한다. Kim *et al.*(2003)는 미국 응급 의료체계 시스템 내에서 이루어지는 재난현장 응급환자 평가 분류 및 사전대비가 어떤 체계로 이루어지고 있는지를 연구한 바 있으며, 환자 분류에 대한 방법과 실제 사례에 대해 제시하였다. Schleipman *et al.*(2004)은 환자의 상태를 중증도에 따라 4 가지로 분류하였으며, 분류된 환자들에 대하여 차별적인 응급 치료와 후송을 위한 방안을 제시하였다. Arbon *et al.*(2008)은 환자의 발생 초기에 중증도의 분류뿐만 아니라, 지속적이고 반복적인 중증도 분류를 통해 환자의 상태를 체크하는 것이 중요하다고 강조하였다. 따라서 본 연구에서는 환자들의 중증도 분류가 환자 이송 전에 이루어지는 것으로 가정하여 모형에 반영하였다.

또한 The master plan of Emergency Medical Service, 2013 ~ 2017년에 따르면 전공의들의 응급환자에 대한 의료 역량 강화의 필요성이 언급되고 있는데, 응급실의 당직 전공의들은 응급의학 전공이 아니더라도, 치료 및 수술할 수 있도록 역량을 강화하는 것이 응급 상황 발생 시 환자들의 생존율을 높이는 데 필수적이라고 강조하고 있으며, 이를 제도화하려는 움직임을 보이고 있다. 이에 본 연구에서는 재난의 특수성을 모형에 반영하고자, 의사들의 전공분야에 해당하는 환자들만을 치료



Source : Lee, J. and Kim, D.(2004), The Structure of Disasters in Double Risk Society : Comparative Analysis of Event Structures, *Korean Journal of Sociology*, 38(3), 143-176.

Figure 2. Disaster classification according to the uncertainty and urgency

하는 경우와, 전공분야 이외의 환자들도 치료할 수 있는 경우를 반영하여 시나리오를 구성하였다(Ministry of Health and Welfare, 2013).

Caunhye *et al.*(2012)에 따르면, 재난대응 물류와 관련된 기존의 연구들이 대부분 목적함수로써, 총 운송비용 및 입지 비용 최소화, 수요 충족률 최대화, 가용 운송 능력을 고려한 환자 이송 수 최대화를 고려하고 있다. 하지만 실제 재난 상황에서는 생존 환자 수를 최대화하는 것이 중요하다. 실제로 재난이 발생하면, 환자들은 부상 부위와 중증도에 따라 상이한 생존율을 가지며, 시간이 경과됨에 따라 이러한 생존율은 계속적으로 감소하게 된다. 따라서 생존 환자 수를 최대화하기 위해서는 환자들의 생존율을 고려한 의사결정이 이루어져야 한다. 환자의 생존율 추정에 관한 연구는 Champion(1990)이 환자의 외상과 정신적 쇼크를 기준으로 생존율을 고려한 Trauma and Injury Severity Score(TRISS) 방법을 제안하였으며, 환자의 생존율은 실제 사망률과 밀접한 관계에 있다고 보고 병원에 후송되는 시점에 생존율이 30% 미만인 환자는 사망 가능성이 75%라고 밝혔다. West(2000) 등과 Osler(2008) 등은 과거 외상 데이터를 기반의 데이터베이스를 이용하여 예측 모형을 제시하였다. Mizumoto(2011) 등은 대규모 환자 발생(MCI)시 시간의 경과에 따라 생존율이 감소한다는 가정 하에서 구급차 일정계획에 대한 휴리스틱 방법을 제안하였으며, 병원의 환자 수용능력 등을 고려하면서 생존한 환자들의 평균 생존율을 최대화하는 것을 목적함수로 정의하였다. 특히, Drennan and McConnel(2007)의 연구에 따르면 재난은 불확실성과 시간적 범위에 따라 재난의 피해 정도가 다양화 될 수 있으며, 불확실성이 높은 재난일수록 피해 정도를 추정하는 것은 매우 어렵고, 재난의 지속정도에 따른 적절한 대응이 마련되지 않는다면, 재난환자들의 생존율은 매우 낮아질 수 있음을 지적하고

있다. 본 연구는 재난 사상자들의 생존율을 고려한 모형을 수립하였으며, 기존 연구에서 활용하고 있는 목적함수인 체류 시간 최소화 관점과 본 연구에서 제시하는 생존환자 비율 최대화 관점을 비교하여 실험하였다.

그 밖에 재난 상황에서는 중소형병원과 대형병원간의 신속한 협진체계의 마련이 무엇보다 중요하다고 할 수 있다(Kim *et al.*, 1992). Anderson *et al.*(1992)의 연구에 따르면, 환자의 생존율을 높이기 위한 신속한 응급 처치(First-Aid)의 필요성이 강조되고 있으며, 재난지역 인근의 중소형병원에서 응급 처치를 수행한 후에 수술이 가능한 대형병원으로 환자를 이송하여 치료할 경우, 환자의 생존율이 향상될 수 있음을 제시한 바 있다. 따라서 환자를 이송함에 있어 환자들의 중증도에 따라 곧바로 대형병원으로 이송해야 할 환자들과 중소형병원에서의 응급 처치 후 대형병원으로 이송해야 할 환자들을 분류하는 것 또한 전체 환자의 생존자 수를 증가시키는 데 중요하다.

위의 내용을 토대로 재난 상황의 특이성을 반영하기 위해서는 의사결정 과정에서 다음의 사항들이 검토될 필요가 있다.

- 재난 발생 지점에서의 환자 중증도 분류 및 이에 따른 환자 이송과 응급 치료 수행
- 재난 유형에 따른 불확실성, 긴급성 및 집중성 요소를 반영한 발생 환자 추정
- 효율성 관점(체류시간 최소화)에서 인명 중심(생존환자 비율 최대화)으로의 목적값의 변경
- 재난 상황에서 병원 간의 신속한 협진 체계 필요

본 연구에서는 앞서 언급한 고려사항과 같이 재난 상황의 특수성을 반영하기 위해 다음의 가정 사항을 전제로 하여 재난 환자의 생존자 수를 최대화하기 위한 모형을 제안하고, 다

양한 시나리오를 통해 이를 검증하고자 한다.

본 연구의 가정 사항으로는 첫째, 재난 발생 시 재난 유형에 따라 환자들은 상이한 중증도를 가짐을 반영한다. 일반적으로 응급실에 내원하는 환자들은 중증도에 따라 응급치료의 방식이 달라지는데, 재난이 발생하게 되면 재난 현장에서 환자의 중증도 분류가 이루어지게 되고, 중소형병원 및 대형병원으로의 적절한 환자 배분이 이루어짐을 가정한다. 둘째, 긴급성과 불확실성 및 집중성에 따라 발생하는 환자의 수가 확률적으로 발생함을 가정한다. 실제로 앞서 언급한 연구들에 따르면, 불확실성이 높은 유형의 재난일수록 시간이 경과됨에 따라 환자 발생 수에 대한 추정의 정확도가 낮아지게 되며, 긴급성이 높을수록 발생한 전체 환자 가운데 중증도가 높은 환자의 비율이 높아지게 된다. 또한 집중성이 낮을수록 환자들에 대한 구조 활동이 지체되는 상황을 반영하였다. 이러한 환자 발생 패턴을 고려하여 환자 발생에 대한 입력 데이터를 설정하였다. 셋째, 재난 상황에서 발생한 환자의 생존자 수를 높이기 위해서는 의료진들의 협력이 무엇보다도 중요하다. 이러한 상황을 고려하기 위하여 상대적으로 중증도가 낮은 환자의 경우 협진 체계가 가능한 상황을 가정하였으며, 이에 대한 페널티로 의료진의 전공 유무에 따라 치료시간 및 성공률이 상이하도록 반영하였다.

## 2. 재난 특성을 반영한 환자 분배 및 의료진 할당 모형

### 2.1 문제 개요 및 가정 사항

본 연구는 재난발생 시 이루어질 인명구조 네트워크를 대상으로 하고 있으며, 해당 네트워크는 재난지역 및 응급 치료를 하기 위한 중소형병원, 수술을 위한 대형병원으로 구성되어 있다. 또한 재난지역에서는 상이한 상태의 환자가 발생하며, 최종적으로 환자들을 대형병원으로 분배하고자 한다.

또한 본 연구는 재난지역에서 발생한 응급 환자들의 생존자 수를 최대화하는 문제로서 기본 적인 모형 구조는 <Figure 3> 과 같다. 우선 재난지역에서 발생하는 환자들은 부상의 정도에 따라 중증도를 분류하였으며, 시간이 경과함에 따라 감소되는 생존율의 정도가 중증도 별로 상이하다고 정의한다. 분류가 끝난 환자들은 궁극적으로 대형병원으로 이동하여 수술을 받게 되는데, 환자의 이동 경로는 이송 가능한 시점에서 환자 각각의 생존율에 따라 재난지역에서 중소형병원을 거쳐 대형병원으로 후송하는 경우(중증도가 상대적으로 낮은 환자)와 재난지역에서 대형병원으로 바로 후송하는 경우(중증도가 높은 환자)로 구분된다. 중소형병원은 재난지역 인근에 위치한 병원으로써 필요한 장비나 전문 인력이 부족하여 응급치료만을 담당하며, 진료 가능분야는 제한적이라고 정의하였다. 한편 대형병원은 거점병원으로써 중증도 및 진료 분야와 상관없이 모든 환자를 수술할 수 있으며, 병원의 의사들은 전공 및 숙련도에 따라 치료할 수 있는 환자의 유형 및 수술시간이 모두 상이하다고 정의하였다. 또한 각 의사는 동시에 환자 1명을 치료할 수 있다. 본 모형에서는 응급차들의 경로는 고려하지 않았으며, 각 시간대별로 이동할 수 있는 최대 환자의 수는 사전에 정의하였다.

### 2.2 기호정의

• Indices/sets

- $i$  : 환자 유형(환자의 부상 부위와 중증도의 조합을 유형으로 표현,  $i = 1, 2, \dots, I$ )
- $j$  : 재난 발생 지역( $j = 1, 2, \dots, J$ )
- $k$  : 중소형병원( $k = 1, 2, \dots, K$ )
- $m$  : 대형병원 ( $m = 1, 2, \dots, M$ )
- $t$  : 시간 ( $t = 1, 2, \dots, T$ )
- $d$  : 각 의사들의 전공 분야 ( $d = 1, 2, \dots, D$ )
- $T_d^{set}$  : 전문분야가  $d$ 인 의사가 치료 가능한 환자 유형 set

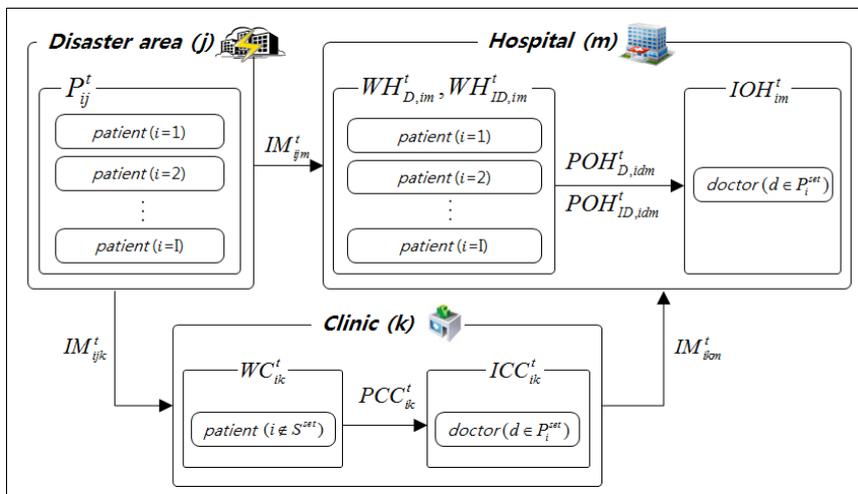


Figure 3. Proposed model structure and decision variables

$P_i^{set}$  : 환자 유형  $i$ 를 치료할 수 있는 의사의 전공분야 set  
 $S^{set}$  : 중증 환자로 분류되는 환자들의 set  
 (대형병원으로 바로 후송되어야 하는 환자 set)  
 $D$  : 재난지역에서 대형병원으로 바로 후송하는 경우  
 $ID$  : 재난지역에서 중소형병원을 거쳐 대형병원으로 후송하는 경우

#### • Parameters

$CC_k$  : 중소형병원  $k$ 의 환자 수용 능력  
 $CH_m$  : 대형병원  $m$ 의 환자 수용 능력  
 $CV$  : 응급차의 총 환자 수용 능력  
 $NCD_{dk}$  : 중소형병원  $k$ 의  $d$  전공 의사 수  
 $NHD_{dm}$  : 대형병원  $m$ 의  $d$  전공 의사 수  
 $NOR_m$  : 대형병원  $m$ 의 수술실 수  
 $P_{ij}^t$  :  $t$ 기간 동안 재난지역  $j$ 에서 후송준비가 완료된 유형  $i$  별 환자의 수  
 $TC_i$  : 중소형병원에서 유형  $i$  환자의 치료 시간  
 $TM_{jm}$  : 재난지역  $j$ 에서 대형병원  $m$ 으로 후송하는 시간  
 $TM_{jk}$  : 재난지역  $j$ 에서 중소형병원  $k$ 으로 후송하는 시간  
 $TM_{km}$  : 중소형병원  $k$ 에서 대형병원  $m$ 으로 후송하는 시간  
 $TO_i$  : 대형병원에서 유형  $i$  환자의 수술 시간  
 $f_D(i, t)$  : 유형  $i$  환자가  $t$  기간이 경과되었을 시점에서의 생존율(대형병원으로 바로 가는 경우)  
 $f_{ID}(i, t)$  : 유형  $i$  환자가  $t$  기간이 경과되었을 때의 생존율(중소형병원에서 응급치료를 받고 대형병원으로 가는 경우)  
 $\alpha_{id}$  : 전문 분야가  $d$ 인 의사가 유형  $i$  환자를 수술할 경우의 수술 성공률

#### • Variables

$ADC_{idk}^t$  :  $t$  기간에 중소형병원  $k$ 에서 유형  $i$  환자를 치료하기 위해 배정된 의사  $d$ 의 수  
 $ADH_{idm}^t$  :  $t$  기간에 대형병원  $m$ 에서 유형  $i$  환자를 치료하기 위해 배정된 의사  $d$ 의 수  
 $IC_{ik}^t$  :  $t$  기간 말에 중소형병원  $k$ 에 있는 유형  $i$  환자의 수  
 $ICC_{ik}^t$  :  $t$  기간 말에 중소형병원  $k$ 에서 응급치료 중인 환자의 수  
 $IDS_{ij}^t$  :  $t$  기간 말에 재난지역  $j$ 에 있는 유형  $i$  환자의 수  
 $IH_{im}^t$  :  $t$  기간 말에 대형병원  $m$ 에 있는 유형  $i$  환자의 수  
 $IM_{ijk}^t$  :  $t$  기간 말에 재난지역  $j$ 에서 중소형병원  $k$ 으로 후송 중인 유형  $i$  환자의 수  
 $IM_{ijm}^t$  :  $t$  기간 말에 재난지역  $j$ 에서 대형병원  $m$ 으로 후송 중인 유형  $i$  환자의 수  
 $IM_{ikm}^t$  :  $t$  기간 말에 중소형병원  $k$ 에서 대형병원  $m$ 으로 후송 중인 유형  $i$  환자의 수

$IOH_{im}^t$  :  $t$  기간 말에 대형병원  $m$ 에서 수술 중인 유형  $i$  환자의 수  
 $PCC_{ik}^t$  :  $t$  기간에 중소형병원  $k$ 에서 응급치료를 받기 시작한 유형  $i$  환자의 수  
 $POH_{D,idm}^t$  :  $t$  기간에 대형병원  $m$ 에서 수술을 받기 시작한 유형  $i$  환자의 수(대형병원으로 바로 가는 경우)  
 $POH_{ID,idm}^t$  :  $t$  기간에 대형병원  $m$ 에서 수술을 받기 시작한 유형  $i$  환자의 수(중소형병원에서 응급치료를 받고 대형병원으로 가는 경우)  
 $UDC_{dk}^t$  :  $t$  기간에 중소형병원  $k$ 에서 치료를 진행 중인 의사  $d$ 의 수  
 $UDH_{dm}^t$  :  $t$  기간에 대형병원  $m$ 에서 치료를 진행 중인 의사  $d$ 의 수  
 $WC_{ik}^t$  :  $t$  기간 말에 중소형병원  $k$ 에서 대기 중인 유형  $i$  환자의 수  
 $WH_{D,im}^t$  :  $t$  기간 말에 대형병원  $m$ 에서 대기 중인 유형  $i$  환자의 수(대형병원으로 바로 가는 경우)  
 $WH_{ID,im}^t$  :  $t$  기간 말에 대형병원  $m$ 에서 대기 중인 유형  $i$  환자의 수(중소형병원에서 응급치료를 받고 대형병원으로 가는 경우)  
 $x_{ijk}^t$  :  $t$  기간에 재난지역  $j$ 에서 중소형병원  $k$ 으로 후송을 시작한 유형  $i$  환자의 수  
 $x_{ijm}^t$  :  $t$  기간에 재난지역  $j$ 에서 대형병원  $m$ 으로 후송을 시작한 유형  $i$  환자의 수  
 $x_{ikm}^t$  :  $t$  기간에 중소형병원  $k$ 에서 대형병원  $m$ 으로 후송을 시작한 유형  $i$  환자의 수

### 2.3 수리모형

#### • 목적함수

maximize

$$\frac{\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \sum_{d=1}^D \sum_{m=1}^M ((POH_{D,idm}^t \cdot f_D(i,t) + POH_{ID,idm}^t \cdot f_{ID}(i,t)) \cdot \alpha_{id})}{\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J P_{ij}^t} \quad (1)$$

#### • 제약조건

$$IDS_{ij}^t = IDS_{ij}^{t-1} + P_{ij}^t - \left( \sum_{m=1}^M x_{ijm}^t + \sum_{k=1}^K x_{ijk}^t \right) \quad \forall i, j, t \quad (2)$$

$$IC_{ik}^t = IC_{ik}^{t-1} + \sum_{j=1}^J x_{ijk}^{t-TM_{jk}} - \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M x_{ijkm}^t \quad \forall i \notin S^{set}, k, t \quad (3)$$

$$IH_{im}^t = IH_{im}^{t-1} + \left( \sum_{j=1}^J x_{ijm}^{t-TM_{jm}} + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K x_{ijkm}^{t-TM_{km}} \right) \quad \forall i, m, t \quad (4)$$

$$- \sum_{d \in P^{set}} (POH_{D,idm}^{t-TO_i} + POH_{ID,idm}^{t-TO_i})$$

$$IM_{ijm}^t = IM_{ijm}^{t-1} + x_{ijm}^t - x_{ijm}^{t-TM_{jm}} \quad \forall i, j, m, t \quad (5)$$

$$IM_{ijk}^t = IM_{ijk}^{t-1} + x_{ijk}^t - x_{ijk}^{t-TM_{jk}} \quad \forall i \notin S^{set}, j, k, t \quad (6)$$

$$IM_{ikm}^t = IM_{ikm}^{t-1} + \sum_{j=1}^J x_{ijk}^t - \sum_{j=1}^J x_{ijk}^{t-TM_{km}} \quad \forall i, k, m, t \quad (7)$$

$$WC_{ik}^t = WC_{ik}^{t-1} + \sum_{j=1}^J x_{ijk}^{t-TM_{jk}} - PCC_{ik}^t \quad \forall i \notin S^{set}, k, t \quad (8)$$

$$WH_{D,im}^t = WH_{D,im}^{t-1} + \sum_{j=1}^J x_{ijm}^{t-TM_{jm}} - \sum_{d \in P_i^{set}} POH_{D,idm}^t \quad \forall i, m, t \quad (9)$$

$$WH_{ID,im}^t = WH_{ID,im}^{t-1} + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K x_{ijk}^{t-TM_{km}} - \sum_{d \in P_i^{set}} POH_{ID,idm}^t \quad \forall i, m, t \quad (10)$$

$$PCC_{ik}^t \leq WC_{ik}^{t-1} + \sum_{j=1}^J x_{ijk}^{t-TM_{jk}} \quad \forall i \notin S^{set}, k, t \quad (11)$$

$$\sum_{d \in P_i^{set}} POH_{D,idm}^t \leq WH_{D,im}^{t-1} + \sum_{j=1}^J x_{ijm}^{t-TM_{jm}} \quad \forall i, m, t \quad (12)$$

$$\sum_{d \in P_i^{set}} POH_{ID,idm}^t \leq WH_{ID,im}^{t-1} + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K x_{ijk}^{t-TM_{km}} \quad \forall i, m, t \quad (13)$$

$$ICC_{ik}^t = ICC_{ik}^{t-1} + PCC_{ik}^t - PCC_{ik}^{t-TC_i} \quad \forall i \notin S^{set}, k, t \quad (14)$$

$$IOH_{im}^t = IOH_{im}^{t-1} + \sum_{d \in P_i^{set}} (POH_{D,idm}^t + POH_{ID,idm}^t) - \sum_{d \in P_i^{set}} (POH_{D,idm}^{t-TO_i} + POH_{ID,idm}^{t-TO_i}) \quad \forall i, m, t \quad (15)$$

$$UDC_{dk}^t = UDC_{dk}^{t-1} + \sum_{i \in D^{set}} ADC_{idk}^t - \sum_{i \in D^{set}} ADC_{idk}^{t-TC_i} \quad \forall d, k, t \quad (16)$$

$$UDH_{dm}^t = UDH_{dm}^{t-1} + \sum_{i \in D^{set}} ADH_{idm}^t - \sum_{i \in D^{set}} ADH_{idm}^{t-TO_i} \quad \forall d, m, t \quad (17)$$

$$UDC_{dk}^t \leq NCD_{dk} \quad \forall d, k, t \quad (18)$$

$$UDH_{dm}^t \leq NHD_{dm} \quad \forall d, m, t \quad (19)$$

$$\sum_{i \in T_d^{set}} ADC_{idk}^t \leq UDC_{dk}^t \quad \forall d, k, t \quad (20)$$

$$\sum_{d \in P_i^{set}} ADC_{idk}^t = PCC_{ik}^t \quad \forall i \notin S^{set}, k, t \quad (21)$$

$$\sum_{i \in T_d^{set}} ADH_{idm}^t \leq UDH_{dm}^t \quad \forall d, m, t \quad (22)$$

$$ADH_{idm}^t = POH_{D,idm}^t + POH_{ID,idm}^t \quad \forall i, d, m, t \quad (23)$$

$$\sum_{i=1}^I IC_{ik}^t \leq CC_k \quad \forall k, t \quad (24)$$

$$\sum_{i=1}^I IH_{im}^t \leq CH_m \quad \forall m, t \quad (25)$$

$$\sum_{i=1}^I IOH_{im}^t \leq NOR_m \quad \forall m, t \quad (26)$$

$$x_{ijm}^t + x_{ijk}^t + x_{ijkm}^t \leq CV \quad \forall i, j, k, m, t \quad (27)$$

$$PCC_{ik}^{t-TC_i} = \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M x_{ijkm}^t \quad \forall i, k, t \quad (28)$$

$$ADC_{idk}^t, ADH_{idm}^t, IC_{ik}^t, ICC_{ik}^t, IDS_{ij}^t, IH_{im}^t, IM_{ijk}^t, IM_{ijm}^t, IM_{ikm}^t, IOH_{im}^t, PCC_{ik}^t, POH_{D,idm}^t, POH_{ID,idm}^t, UDC_{dk}^t, UDH_{dm}^t, WC_{ik}^t, WH_{D,im}^t, WH_{ID,im}^t, x_{ijk}^t, x_{ijm}^t, x_{ikm}^t \geq 0 \quad \forall d, i, j, k, m, t \quad (29)$$

목적함수(1)은 재난지역에서 발생한 총 환자 수 대비 생존율과 의사의 수술 성공률에 의한 생존자 수를 최대화하기 위한 식이다. 여기서 생존자의 수는 앞서 언급한 응급치료의 유무에 따라 구분되는 2가지의 이동경로에 대하여 상이한 값이 도출되므로 목적함수에 구분하여 적용하였다. 제약식 (2)~제약식 (4)는  $t$  기간에 재난지역, 중소형병원, 대형병원에 있는 각각의 환자 수의 변화를 나타내는 균형 방정식이다. 제약식 (5)~제약식 (7)은 각각 재난지역에서 대형병원으로, 재난지역에서 중소형병원으로, 중소형병원에서 대형병원으로 후송 중인 환자의 수를 나타내는 균형 방정식이다. 제약식 (8)은 중소형병원에서 응급치료를 받기 위해 대기 중인 환자의 수를 나타내고, 제약식 (9)은 재난지역에서 대형병원으로 바로 후송되어 대기 중인 환자의 수를 나타내며, 제약식 (10)은 중소형병원에서 응급치료를 받고 대형병원으로 후송되어 대기 중인 환자의 수를 나타내는 식이다. 제약식 (11)은  $t$  기간에 중소형병원에서 치료받는 환자의 수가  $t-1$  기간까지 대기 중인 환자의 수와  $t$  기간에 후송되어 오는 환자 수의 합을 초과하지 못한다는 것을 나타낸 식이다. 제약식 (12), 제약식 (13)은  $t$  기간에 대형병원에서 치료받는 환자의 수가  $t-1$  기간까지 대기 중인 환자의 수와  $t$  기간에 후송되어 오는 환자 수의 합을 초과하지 못한다는 것을 나타내는 식으로써, 제약식 (12)는 재난지역에서 대형병원으로 바로 후송된 환자, 제약식 (13)은 중소형병원에서 대형병원으로 후송된 환자에 대한 식이다. 제약식 (14), 제약식 (15)는 중소형병원에서 치료를 받고 있는 환자의 수와 대형병원에서 수술을 받는 환자의 수를 나타내는 균형 방정식이다. 제약식 (16)은 중소형병원에서 치료 중인 의사의 수를 의미하며, 제약식 (17)은 대형병원에서 수술 중인 의사의 수를 의미한다. 제약식 (18), 제약식 (19)은 중소형병원과 대형병원에서 할당되는 의사는 각 병원의 전체 의사의 수를 초과할 수 없다는 제약식이다. 제약식 (20)~제약식 (23)은 의사와 환자의 할당을 나타내는 식으로써, 제약식 (20), 제약식 (21)은 중소형병원에서 환자의 상태에 따른 의사 할당, 제약식 (22), 제약식 (23)은 대형병원에서 환자의 상태에 따른 의사 할당을 의미한다. 제약식 (24), 제약식 (25)는 각각 중소형병원 및 대형병원의 환자 수용에 대한 제약식이며, 제약식 (26)은 대형병원 수술실의 수에 대한 제약식이다. 제약식 (27)은 시스템 내의 전체적인 관점에서 차량 용량을 고려하여 한 기간 동안에 이동할 수 있는 환자의 수에 대한 제약을 나타내는 식이다. 제약식 (28)은 중소형병원에서 치료를 받는 환자의 수와 중소형병원에서 대형병원으로 후송되는 환자의 수가 같다는 것을 의미하는 식이다. 마지막으로 제약식 (29)은 비음조건을 나타낸다.

위의 모형의 이해를 높이기 위해 하나의 예시를 통해 설명

하면 다음과 같다. 재난 지역에서는 상이한 중증도를 갖는 환자가 발생하게 되고, 중증도가 높은 환자들은 대형병원으로 즉시 후송되며, 그렇지 않은 환자들은 인근 대형병원 수용능력을 고려하여 대형병원 혹은 중소형병원으로 후송하게 된다. 이 때 후송되는 과정에서 환자들은 시간 경과에 따라 생존율이 점차 감소하게 된다. 대형병원에 도착한 환자들은 의료진 및 의료자원의 가용여부에 따라 수술 받을 시점이 결정된다. 한편, 중소형병원으로 이동한 환자들은 중소형병원에서 응급치료를 받게 되고, 응급치료를 받은 환자들은 생존율의 감소정도가 완화된다. 응급치료를 완료한 환자들은 대형병원으로 이동하여 수술을 받게 된다.

생함을 알 수 있다.

입력 데이터를 바탕으로 본 연구에서는 다양한 상황을 가정해보기 위하여 의사의 타 전공 치료 가용여부, 재난의 집중성, 불확실성 및 긴급성 정도에 따른 시나리오를 설계하였다. 또한 조합에 따른 시나리오별 목적함수를 본 연구에서 제시한 생존율 극대화 및 기존 연구에서 활용되고 있는 체류시간 최소화 관점에서 비교하여 제시하였다. 시나리오별 실험을 위하여 상용되고 있는 상업적 최적화 패키지인 IBM ILOG OPL-CPLEX 6.3으로 구현하였으며, PC(Core(TM) i5-2500 CPU 3.3GHz)상에서 실시하였다.

### 3. 실험 및 결과

#### 3.2 실험 결과 및 분석

##### 3.1 입력 데이터 및 시나리오 구성

앞서 제시한 연구 모형의 타당성을 검증하기 위해 시나리오를 구성하였으며, 실험 결과값에 대한 비교, 분석을 실시하였다. 본 연구에서는 재난 유형에 따른 불확실성과 긴급성 및 집중성을 고려한 환자 발생 수를 반영하기 위하여 250명의 환자가 발생한다는 가정에서 다음과 같은 형태의 입력 데이터를 생성하였다. <Figure 4>에서 (a)와 (b)는 각각 집중성을 높은 경우와 낮은 경우를 설명하고 있다. <Figure 4>(a)의 경우는 <Figure 4>(b)와 비교하였을 때, 집중성이 높은 경우로 신속한 구조로 인해 초기에 후송 가능한 환자들이 다수 발생함을 알 수 있다. 또한, 범례에서 High, Medium, Low는 각각 불확실성의 차이를 설명하고 있으며, 불확실성이 높을수록 수요의 변동 폭이 커짐을 알 수 있다. 한편, <Figure 4>(c)~<Figure 4>(e)는 긴급성 정도를 반영한 그래프로 <Figure 4>(e)가 가장 긴급성이 높은 경우이며 그에 따라 중증도가 높은 환자들이 다수 발

입력 데이터 및 시나리오 구성에 따른 다양한 실험 결과는 <Table 1>에 제시하였다. 본 실험은 각각의 특성 변화가 본 연구에서 제시한 목적함수 즉, 생존환자 최대화에 미치는 영향을 분석하는 데 초점을 맞추었다. 우선, 나머지 특성들을 모두 고정하고 각각의 특성만을 변화시켜 목적함수에 어떤 영향을 미치는지 확인하였다. 그 결과, 긴급성이 높을수록 위급한 환자들이 많이 발생하게 된다. 이에 따라 대형병원의 후송이 증가하게 되므로, 생존환자 비율을 높이기 위해서는 대형병원으로의 후송 및 수용 능력 개선이 필요하다. 또한 집중성이 높을수록 생존환자 비율이 증가하게 되므로, 집중성이 높이기 위해서는 신속한 구조 활동 프로세스 및 재난 발생 지점으로의 빠른 접근이 필수적이다. 불확실성의 경우, 일정한 변화의 패턴을 발견할 수가 없었다. 이는 동일한 환자 발생 수로 실시한 실험의 한계점으로 판단된다. 또한, 목적함수 값의 변화가 크지 않다는 것은, 재난 발생 지역에서의 환자 발생 수의 변동 폭보다 분배 및 치료 프로세스가 목적함수에 더욱 큰 영향을 미친 것으로 분석된다. 추가적으로 재난 특성 요인별 세부적인

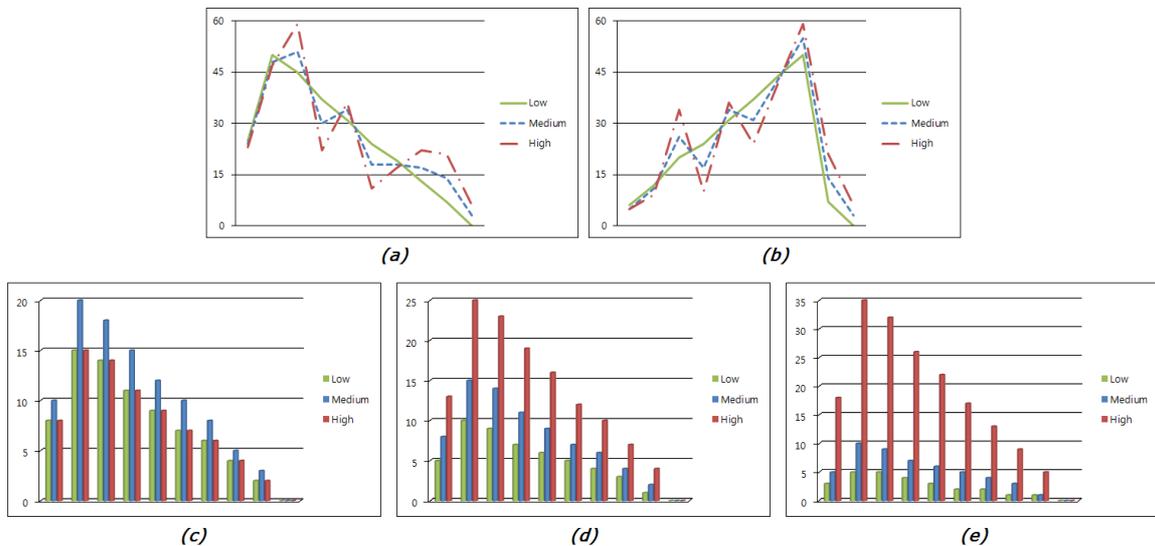


Figure 4. Number of patients estimated reflecting the uncertainty, urgency and convergency of disaster

Table 1. Experimental results according to scenarios' combination

Objective Function	Uncertainty	Urgency	When emergency treatment by non-major medical is allowed				When emergency treatment by non-major medical is not allowed			
			High Convergence		Low Convergence		High Convergence		Low Convergence	
			Survival patients ratio	Average cycle time	Survival patients ratio	Average cycle time	Survival patients ratio	Average cycle time	Survival patients ratio	Average cycle time
Maximum number of survival patients	Low	Low	44.723	23.144	42.571	24.655	40.251	25.458	38.343	24.652
		Medium	43.789	22.304	41.399	23.960	39.417	24.534	37.216	23.988
		High	40.993	22.680	37.741	24.969	36.924	24.935	33.091	25.143
	Medium	Low	48.575	22.353	43.286	23.875	43.727	24.571	39.133	23.883
		Medium	42.337	23.506	39.840	25.175	38.066	25.893	35.618	25.489
		High	40.745	23.046	37.937	25.050	36.664	25.346	33.427	25.191
	High	Low	43.407	24.371	41.406	25.582	39.068	26.780	37.119	25.821
		Medium	41.545	23.875	39.220	25.518	37.391	26.263	35.053	26.051
		High	40.070	23.723	37.001	25.828	36.059	26.050	32.561	26.045
Minimum time elapsed between rescued and surgery (cycle time)	Low	Low	33.809	22.383	30.626	23.996	32.113	24.621	31.127	24.082
		Medium	32.271	21.715	31.217	23.435	31.394	23.887	30.353	23.482
		High	30.148	22.082	28.816	24.081	27.937	24.290	25.627	24.159
	Medium	Low	32.358	21.745	32.728	23.293	35.019	23.920	32.917	23.387
		Medium	29.233	22.824	29.508	24.437	29.261	25.106	28.174	24.478
		High	29.684	22.388	28.900	24.298	28.643	24.627	26.691	24.355
	High	Low	30.213	23.475	29.010	24.911	30.056	25.823	24.982	30.061
		Medium	31.207	23.148	28.615	24.723	28.836	25.463	27.703	24.770
		High	30.640	22.936	27.973	24.866	26.895	25.230	25.651	24.933

시나리오 결과는 부록에 제시하였다.

의사가 타 전공 진료가 가능한 상황과 전공분야만 치료가 가능한 상황의 생존환자의 비율에서는 뚜렷한 차이를 보이고 있다. 즉, 의사의 타 전공 치료가 가능할 때, 타 전공 치료가 불가능할 때 보다 많은 환자를 살릴 수 있다. 이를 해석해보면 재난 발생 시 대형병원에서는 환자의 급증으로 인하여 치료를 위한 대기 환자들이 많이 발생하게 되고, 의사가 전공분야 치료만 가능하게 될 경우 치료 성공률이 높은 소수의 환자만 치료하게 된다. 그에 반해 의사의 타 전공 진료 가능한 상황에서는 전반적인 치료의 성공률은 낮지만 다양하게 발생하는 많은 대기 환자들을 치료함으로써 전체적인 환자의 생존 비율을 향상시킬 수 있다.

목적함수를 체류시간의 최소화로 설정하였을 경우와 생존 환자 비율의 최대화로 설정하였을 경우를 비교하였을 때, 생존환자 비율의 차이는 큰 차이를 보이는 반면, 체류시간의 차이는 미미함을 알 수 있다. 이는 생존환자의 최대화를 목적함수로 정의하는 것이 보다 효율적이라는 것을 의미한다. 또한 집중성이 높은 경우(구조 활동이 빠르게 진행되는 경우)에 불확실성이 높아짐에 따라 생존 환자 비율의 차이가 크게 나타남을 알 수 있다. 그 외에 다른 특성들 간의 상호 관계에서는

목적함수에 미치는 영향이 미비하였다. 의사가 전공분야만 치료가 가능한 상황에서는 이전 상황과 마찬가지로 세 가지 특성이 목적함수에 미치는 영향과 유사한 양상을 보이고 있다.

#### 4. 결론

최근 재난 대응에 대한 관심이 사회 전반적으로 커짐에 따라 재난 발생 시에 인명 피해를 최소화하기 위해 환자들의 위급성에 대한 빠른 판단 및 병원으로의 빠른 후송 대응에 대한 필요성이 높아지고 있다. 기존의 문헌들은 특성 별 재난 유형을 분류하고 각 유형별 특징을 설명하는 연구가 대부분일 뿐, 재난의 특성을 고려한 의사결정 연구가 많지 않았다. 이에 본 연구는 기존 문헌 고찰을 통해 재난 특성을 분류하고, 이를 반영한 재난 환자 분배 및 의료진 할당 모형을 제시하였으며, 재난 특성이 환자의 생존율에 어떤 영향을 미치는지를 분석하기 위한 시나리오별 실험을 실시하였다.

재난 발생 시 생존환자 비율을 높이기 위해서는 첫째, 재난 발생 시점에서의 빠른 환자 중증도 분류에 따른 체계적인 분배 및 후송 체계 마련이 시급한 것으로 나타났다. 현재 대형병

원의 응급 프로세스는 중증도 분류가 응급의료기관에서 이루어지고 있는 것이 현실이다. 하지만 재난 상황에는 한정된 의료자원으로 인해 수술 대기시간이 증가함에 따라 생존환자의 비율이 감소되는 것을 집중성의 변화를 통한 실험에서 확인할 수 있었다. 둘째, 대형병원의 재난 대응 능력 강화가 필요하다. 실제 본 연구 모형에서 긴급성의 증가, 즉 중증도가 높은 환자의 비율이 높은 경우에는 교통 지체를 반영하지 않았음에도 불구하고, 생존환자 비율이 낮아지는 결과가 도출되었다. 이는 대형병원으로 후송되더라도 바로 수술을 받지 못하는 상황이 발생하기 때문이다. 따라서 대형병원에서 재난 상황에 대비한 의료자원 확보가 요구되며, 이와 동시에 응급상황 발생 시 유사 진료과목에 대해서도 의료진의 수술이 가능하도록 하는 정책 마련이 필요하다.

향후 연구에서는 실제 재난 데이터를 통한 검증 과정이 필요할 것으로 사료되며, 본 연구의 확장은 재난 유형별로 환자들의 분배 및 의료진을 할당함에 있어 우선순위를 결정하기 위한 정책적 기여가 클 것으로 기대된다. 또한 생존율이라는 것은 환자의 상태 및 유형에 따라 유동적으로 변화하는 정보이므로, E-Triage system과의 연계를 통하여 환자의 생존율이 실시간으로 반영된다면 보다 현실적인 모형의 구축이 가능할 것이다. 한편, 본 연구는 환자들의 분배 및 의료진 할당에만 초점을 맞추어 연구를 진행하였다. 실제 환자들의 생존율은 재난 시 분배경로 상의 교통 흐름이 큰 영향력을 가질 것으로 판단된다. 이를 반영한 경로 최적화 모형으로의 확장을 시도하고자 한다.

## 참고문헌

- Anderson, I., Black, R., Ledingham, I., Little, K., Robertson, C., and Urquhart, J. (1987), Early emergency care study : the potential and benefits of advanced prehospital care, *British medical journal (Clinical research ed.)*, **294**(6566), 228.
- Arbon, P., Zeitz, K., Ransie, J., Wren, H., Elliott, R., and Driscoll, K. (2008), The reality of multiple casualty triage : putting triage theory into practice at the scene of multiple casualty vehicular accidents, *Emergency medicine journal*, **25**(4), 230-234.
- Caunhye, A. M., Nie, X., and Pokharel, S. (2012), Optimization models in emergency logistics : A literature review, *Socio-Economic Planning Sciences*, **46**(1), 4-13.
- Chang, M.-S., Tseng, Y.-L., and Chen, J.-W. (2007), A scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty, *Transportation Research Part E : Logistics and Transportation Review*, **43**(6), 737-754.
- Clay Whybark, D. (2007), Issues in managing disaster relief inventories, *International Journal of Production Economics*, **108**(1), 228-235.
- Drennan, L. T. and McConnell, A. (2007), *Risk and crisis management in the public sector*, Routledge.
- Jeong et al. (2009), System of National Crisis Management, Bummunsa, Kyunggi-do, Korea.
- Johnson, A. and Miller, J. Hospital Stockpiling for Disaster Planning.
- Kim, D. and Lee, J. (2004), The Structure of Disasters in Double Risk Society : Comparative Analysis of Event Structures, *Korean Journal of Sociology*, **38**(3), 143-176.
- Kim, S. (2003), 5th Emergency medical technician training course of USA, *Rescue and EMS Division, Ministry of Government Administration and Home Affairs*.
- Kim, S., Jung, J., Kim, H., and Park, K. (2012), Review and Analysis of Optimization Problem Type and Methodology in disaster response in-house Operation, The Korean Institute of Communications and Information Sciences (*Information and Communications Magazine*), **29**(5), 80-91.
- Kim, Y., Lim, K., Hwang, S., and Yoon, Y. (1992), The prospective research of the prehospital emergency system and transfer system of emergency patients, *Journal of the Korean Society of Emergency Medicine*, **3**(2), 46-55.
- Min, D. and Jeong, S. (2012), Critical review and trend analysis of disaster response logistics models : Focused on network configuration and supply planning, The Korean Institute of Communications and Information Sciences (*Information and Communications Magazine*), **29**(5), 50-61.
- Ministry of Health and Welfare (2013), *The master plan of Emergency Medical Service*, 2013-2017.
- Schleipman, A. R., Gerbaudo, V. H., and Castronovo, F. P. (2004), Radiation disaster response : preparation and simulation experience at an academic medical center, *Journal of nuclear medicine technology*, **32**(1), 22-27.
- Sheu, J.-B., Chen, Y.-H., and Lan, L. W. (2005), A novel model for quick response to disaster relief distribution. *Paper presented at the Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*.
- Song, R., He, S., and Zhang, L. (2009), Optimum transit operations during the emergency evacuations, *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, **9**(6), 154-160.

<부 록>

**Table 1.** Comparative results in case of low uncertainty

Objective Function	Urgency	When emergency treatment by non-major medical is allowed				When emergency treatment by non-major medical is not allowed			
		High Convergence		Low Convergence		High Convergence		Low Convergence	
		Survival patients ratio	Average cycle time	Survival patients ratio	Average cycle time	Survival patients ratio	Average cycle time	Survival patients ratio	Average cycle time
Maximum number of survival patients	Low	44.723	23.144	42.571	24.655	40.251	25.458	38.343	24.652
	Medium	43.789	22.304	41.399	23.960	39.417	24.534	37.216	23.988
	High	40.993	22.680	37.741	24.969	36.924	24.935	33.091	25.143
Minimum time elapsed between rescued and surgery(cycle time)	Low	33.809	22.383	30.626	23.996	32.113	24.621	31.127	24.082
	Medium	32.271	21.715	31.217	23.435	31.394	23.887	30.353	23.482
	High	30.148	22.082	28.816	24.081	27.937	24.290	25.627	24.159

**Table 2.** Comparative results in case of medium uncertainty

Objective Function	Urgency	When emergency treatment by non-major medical is allowed				When emergency treatment by non-major medical is not allowed			
		High Convergence		Low Convergence		High Convergence		Low Convergence	
		Survival patients ratio	Average cycle time	Survival patients ratio	Average cycle time	Survival patients ratio	Average cycle time	Survival patients ratio	Average cycle time
Maximum number of survival patients	Low	48.575	22.353	43.286	23.875	43.727	24.571	39.133	23.883
	Medium	42.337	23.506	39.840	25.175	38.066	25.893	35.618	25.489
	High	40.745	23.046	37.937	25.050	36.664	25.346	33.427	25.191
Minimum time elapsed between rescued and surgery(cycle time)	Low	32.358	21.745	32.728	23.293	35.019	23.920	32.917	23.387
	Medium	29.233	22.824	29.508	24.437	29.261	25.106	28.174	24.478
	High	29.684	22.388	28.900	24.298	28.643	24.627	26.691	24.355

**Table 3.** Comparative results in case of high uncertainty

Objective Function	Urgency	When emergency treatment by non-major medical is allowed				When emergency treatment by non-major medical is not allowed			
		High Convergence		Low Convergence		High Convergence		Low Convergence	
		Survival patients ratio	Average cycle time	Survival patients ratio	Average cycle time	Survival patients ratio	Average cycle time	Survival patients ratio	Average cycle time
Maximum number of survival patients	Low	43.407	24.371	41.406	25.582	39.068	26.780	37.119	25.821
	Medium	41.545	23.875	39.220	25.518	37.391	26.263	35.053	26.051
	High	40.070	23.723	37.001	25.828	36.059	26.050	32.561	26.045
Minimum time elapsed between rescued and surgery(cycle time)	Low	30.213	23.475	29.010	24.911	30.056	25.823	24.982	30.061
	Medium	31.207	23.148	28.615	24.723	28.836	25.463	27.703	24.770
	High	30.640	22.936	27.973	24.866	26.895	25.230	25.651	24.933

**Table 4.** Comparative results in case of low urgency

Objective Function	Uncertainty	When emergency treatment by non-major medical is allowed				When emergency treatment by non-major medical is not allowed			
		High Convergence		Low Convergence		High Convergence		Low Convergence	
		Survival patients ratio	Average cycle time	Survival patients ratio	Average cycle time	Survival patients ratio	Average cycle time	Survival patients ratio	Average cycle time
Maximum number of survival patients	Low	44.723	23.144	42.571	24.655	40.251	25.458	38.343	24.652
	Medium	48.575	22.353	43.286	23.875	43.727	24.571	39.133	23.883
	High	43.407	24.371	41.406	25.582	39.068	26.780	37.119	25.821
Minimum time elapsed between rescued and surgery(cycle time)	Low	33.809	22.383	30.626	23.996	32.113	24.621	31.127	24.082
	Medium	32.358	21.745	32.728	23.293	35.019	23.920	32.917	23.387
	High	30.213	23.475	29.010	24.911	30.056	25.823	24.982	30.061

**Table 5.** Comparative results in case of medium urgency

Objective Function	Uncertainty	When emergency treatment by non-major medical is allowed				When emergency treatment by non-major medical is not allowed			
		High Convergence		Low Convergence		High Convergence		Low Convergence	
		Survival patients ratio	Average cycle time	Survival patients ratio	Average cycle time	Survival patients ratio	Average cycle time	Survival patients ratio	Average cycle time
Maximum number of survival patients	Low	43.789	22.304	41.399	23.960	39.417	24.534	37.216	23.988
	Medium	42.337	23.506	39.840	25.175	38.066	25.893	35.618	25.489
	High	41.545	23.875	39.220	25.518	37.391	26.263	35.053	26.051
Minimum time elapsed between rescued and surgery(cycle time)	Low	32.271	21.715	31.217	23.435	31.394	23.887	30.353	23.482
	Medium	29.233	22.824	29.508	24.437	29.261	25.106	28.174	24.478
	High	31.207	23.148	28.615	24.723	28.836	25.463	27.703	24.770

**Table 6.** Comparative results in case of high urgency

Objective Function	Uncertainty	When emergency treatment by non-major medical is allowed				When emergency treatment by non-major medical is not allowed			
		High Convergence		Low Convergence		High Convergence		Low Convergence	
		Survival patients ratio	Average cycle time	Survival patients ratio	Average cycle time	Survival patients ratio	Average cycle time	Survival patients ratio	Average cycle time
Maximum number of survival patients	Low	40.993	22.680	37.741	24.969	36.924	24.935	33.091	25.143
	Medium	40.745	23.046	37.937	25.050	36.664	25.346	33.427	25.191
	High	40.070	23.723	37.001	25.828	36.059	26.050	32.561	26.045
Minimum time elapsed between rescued and surgery(cycle time)	Low	30.148	22.082	28.816	24.081	27.937	24.290	25.627	24.159
	Medium	29.684	22.388	28.900	24.298	28.643	24.627	26.691	24.355
	High	30.640	22.936	27.973	24.866	26.895	25.230	25.651	24.933

**Table 7.** Comparative results in case of low convergence

Objective Function	Uncertainty	When emergency treatment by non-major medical is allowed						When emergency treatment by non-major medical is not allowed					
		Low Urgency		Medium Urgency		High Urgency		Low Urgency		Medium Urgency		High Urgency	
		Survival patients ratio	Average cycle time	Survival patients ratio	Average cycle time	Survival patients ratio	Average cycle time	Survival patients ratio	Average cycle time	Survival patients ratio	Average cycle time	Survival patients ratio	Average cycle time
Maximum number of survival patients	Low	42.571	24.655	41.399	23.960	37.741	24.969	38.343	24.652	37.216	23.988	33.091	25.143
	Medium	43.286	23.875	39.840	25.175	37.937	25.050	39.133	23.883	35.618	25.489	33.427	25.191
	High	41.406	25.582	39.220	25.518	37.001	25.828	37.119	25.821	35.053	26.051	32.561	26.045
Minimum time elapsed between rescued and surgery (cycle time)	Low	30.626	23.996	31.217	23.435	28.816	24.081	31.127	24.082	30.353	23.482	25.627	24.159
	Medium	32.728	23.293	29.508	24.437	28.900	24.298	32.917	23.387	28.174	24.478	26.691	24.355
	High	29.010	24.911	28.615	24.723	27.973	24.866	24.982	30.061	27.703	24.770	25.651	24.933

**Table 8.** Comparative results in case of high convergence

Objective Function	Uncertainty	When emergency treatment by non-major medical is allowed						When emergency treatment by non-major medical is not allowed					
		Low Urgency		Medium Urgency		High Urgency		Low Urgency		Medium Urgency		High Urgency	
		Survival patients ratio	Average cycle time	Survival patients ratio	Average cycle time	Survival patients ratio	Average cycle time	Survival patients ratio	Average cycle time	Survival patients ratio	Average cycle time	Survival patients ratio	Average cycle time
Maximum number of survival patients	Low	44.723	23.144	43.789	22.304	40.993	22.680	40.251	25.458	39.417	24.534	36.924	24.935
	Medium	48.575	22.353	42.337	23.506	40.745	23.046	43.727	24.571	38.066	25.893	36.664	25.346
	High	43.407	24.371	41.545	23.875	40.070	23.723	39.068	26.780	37.391	26.263	36.059	26.050
Minimum time elapsed between rescued and surgery (cycle time)	Low	33.809	22.383	32.271	21.715	30.148	22.082	32.113	24.621	31.394	23.887	27.937	24.290
	Medium	32.358	21.745	29.233	22.824	29.684	22.388	35.019	23.920	29.261	25.106	28.643	24.627
	High	30.213	23.475	31.207	23.148	30.640	22.936	30.056	25.823	28.836	25.463	26.895	25.230