

[Research Paper]

출동 응답 향상을 위한 적정 구급차 수량 및 배치 위치 결정 연구

정용훈 · 정희나 · 고정환[†]

아주대학교 산업공학과

Optimal Decisions on the Quantity and Locations of Ambulances for the Timely Response to Emergency Requests

Yonghun Jeong · Heena Jeong · Jeonghan Ko[†]

Department of Industrial Engineering, Ajou University

(Received April 24, 2017; Revised May 23, 2017; Accepted May 30, 2017)

요 약

응급 상황 발생 시의 구급차 부족에 따른 출동 지연 감소를 위하여, 충분한 수의 구급차가 운영되어야 한다. 본 논문은 출동 지연을 최소화하기 위하여 안전센터별 적절한 119 구급차의 수량을 결정하는 효과적인 방법을 제시한다. 한 지방자치단체의 구급차 출동 요청을 분석하고, 출동 요청의 통계적 특성을 도출하였다. 119 안전센터 간의 상호 지원을 포함한 구급차 출동 시스템은 컴퓨터 시뮬레이션을 활용하여 모델링하였다. 구급차 요청의 통계적 특성과 시뮬레이션을 활용한 분석 결과, 대부분의 출동 요청에 성공적으로 응답할 수 있음을 확인하였고, 출동수행률 향상을 위한 구급차 수 증가가 효과적임도 확인하였다. 또한, 구급차를 추가로 배치할 안전센터를 찾아내는 효율적인 방법론도 제시하였다. 본 연구는, 적절한 구급차 수량 확보와 배치를 통하여, 응급환자 구조 서비스 개선에 활용될 수 있다.

ABSTRACT

A sufficient number of ambulances are critical for preventing delayed vehicle dispatch for emergency patients. This study presents effective methodologies for evaluating the effects of ambulance quantities on availability. The statistical properties of the emergency requests and responses were analyzed for a city in Korea. The inter-request times were modeled by statistical distributions. The ambulance dispatch was modeled using simulation, reflecting the shared dispatch among the city districts. The simulation results revealed that the existing ambulance quantity could successfully meet the majority of the requests, but more vehicles were desirable for improvement. The locations of the additional vehicles were determined efficiently by simulations with a greedy approach. The simulations with added vehicles showed a significantly better coverage of the emergency calls. This research can help design improved emergency vehicle operations, and help save lives.

Keywords : Emergency Vehicle, Responsiveness, Statistical Analysis, Simulation, Availability

1. 서 론

의학적 응급 상황 대처에서 핵심적인 조건 중 하나는 구급차 도착까지의 시간이다. 일정 시간 한도 내에 응급 의료 지원이 이루어지지 않을 경우, 소중한 생명을 잃거나 치료, 회복에 막대한 지장이 발생한다. 예를 들면 일부 응급처치는 증상 발생 후 10분 내에 시행되어야 한다고 알려져 있다. 뇌졸중, 신체 일부 절단 사고 등의 경우에도, 신속히 환자를 이송하는 것이 환자의 생명과 치료에 막대한 영향을 미친다. 따라서, 구급차가 신고(출동 요청)를 받고 현장에

도착하여 응급조치를 취할 때까지 혹은 환자를 응급실로 이송하기까지의 시간이 최소화되어야 한다. 구급차 출동만으로 모든 응급상황에 대한 성공적 대응이 가능한 것은 아니나, 구급차의 적시 출동은 성공적 구급활동을 위한 핵심 조건 중 하나이다.

이러한 신속한 응급상황 대응(출동 수행)에 필수적인 요소는 구급차 수의 충분한 확보이다. 구급차 수가 충분하지 않아 출동 가능한 차량이 없다면, 구급차 요청자는 대기하거나, 다른 응급차량 서비스를 찾아야 한다. 이러한 출동 지연은 환자의 생명과 안전에 큰 위험을 초래할 수 있다.

[†] Corresponding Author, E-Mail: jko@ajou.ac.kr, TEL: +82-31-219-2335, FAX: +82-31-219-1610

© 2017 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

또한 구급차 수가 충분치 않을 경우, 구급대원 및 구급차의 무리한 운영으로 또 다른 안전 문제가 발생할 가능성이 높아진다. 따라서, 충분한 구급차 수 확보는 효과적인 구급 출동 수행의 전제조건이다. 하지만, 예산 문제와 구급 요청 수 예측의 불확실성을 고려하면, 적절한 구급차 수 선정은 쉽지 않은 문제이다.

응급 차량의 수량 결정 문제는 다양하게 연구되었다. 초기 연구에서는 출동 요구 대응 문제를 집합 혹은 위치 포괄(set/location covering) 문제로 환산하여 확정적 혹은 확률적 모델링 방법이 사용되었다^(1,2). 컴퓨터 시뮬레이션도 관련 다양한 주제들에 적용되어, 현실적인 모델링과 정확한 계산을 제공하고 있다⁽³⁾. 응급차량 위치를 교통체증을 고려하여 선정하는 문제도 연구되었다⁽⁴⁾. 타 관련 연구도 다양하게 수행되어 왔다. 예를 들면, 구급서비스의 품질 개선을 위하여 구급 시간이 환자의 주 증상 등을 통하여 분석되었다⁽⁵⁾. 응급환자 이송 서비스 사용을 예측하는 임상적, 사회경제적 요소도 분석되었다⁽⁶⁾. 다중손상사고 발생 시 환자이송 순서 결정도 연구되었다⁽⁷⁾. 기본적인 처치와 전문적인 처치가 필요한 경우 각각을 위한 구급차의 최적 비율도 계산되었다⁽⁸⁾.

이러한 연구 성과에도 불구하고, 구급차 수량과 위치 결정 방법은 여전히 많은 개선을 필요로 한다. 기존 논문에서 흔히 집합/위치 포괄, 대기행렬, 단순 확률 모델 등 이론적인 모형들은 본 연구에 적용하기에는 한계가 많다. 그 이유는 응급 차량 요청 시, 어떤 안전 센터가 대응할 수 있는지 등을 이러한 단순 이론 모형으로 구현하고 해를 구하는 것은 거의 불가능하며, 많은 비현실적인 단순화 가정을 적용하여야 하기 때문이다. 또한 위 방법들은 수학적 표현의 간소함은 있으나, 응급 요청과 출동의 복잡한 통계적 특성을 반영하기 힘들다. 따라서, 본 연구의 주제와 같은 복잡한 문제는 이산사건모델에 기반한 시뮬레이션이 거의 유일한 도구이다. 시뮬레이션을 사용하는 기존 연구들도 주어진 출동 수행 상태 분석에 주로 치중하고, 출동 수행 상태를 개선할 수 있는 체계적 방법을 제시하지 못하는 경우가 많다.

본 연구는 기존 연구들의 이러한 단점을 극복하고자 한다. 본 연구의 목적은 출동 요청에 대처하지 못하는 가능성을 최소화하기 위하여 적절한 구급차의 수량 및 배정되는 안전센터를 결정할 수 있는 현실적인 방법론을 국내 한 지방자치단체의 실례를 활용하여 제시하는 것이다.

본 연구에서는 국내 한 지방자치단체의 119 안전센터 구급차 출동 시스템을 분석하고, 과거 출동 요청 데이터를 분석하여, 구급차 출동 수요의 특성을 파악하였다. 그리고, 시뮬레이션 소프트웨어로 구급차 출동 시스템을 모델링하고 출동 요구의 통계적 분포를 활용하여, 구급차 수가 출동 요청 대응에 미치는 영향을 분석하였다. 현재보다 높은 수준의 구급차 출동수행률을 유지하고자 할 경우에 추가로 필요한 구급차 수와 구급차가 배치될 안전센터 위치도 도

출하였다. 이러한 데이터 분석, 시스템 시뮬레이션 모델링, 개선안 도출에 효과적인 방법론 및 기준도 제시하였다.

본 연구는 적정 구급차 수와 위치 결정을 위한 방법론 발전에 기여하리라 기대된다. 또한 구급차 요청 데이터 분석과 출동 모델링의 주요 사례를 제시하여, 후속 연구 및 정책 수립에도 기여한다. 본 연구를 활용하면, 구급 요청 시의 즉시 출동가능성을 나타내는 출동수행률이 개선된 환자 이송 시스템을 체계적으로 구축할 수 있어, 환자들을 위한 구급 활동에 기여할 수 있으리라 기대된다.

2. 구급 출동 요청 분석

2.1 구급차량 운영 시스템의 조건

본 연구에 경기도 한 지방자치단체의 사례가 활용되었다. 해당 지자체는 국내에서 가장 인구가 많은 기초지방자치단체 중 하나이다(논문 제출 시점 인구 약 120만명, 전국 10위권 이내 도시). 해당 시의 소방서/안전센터는 총 10곳으로, 다음 약자로 표시한다: MS, NB, JJ, GS, PJ, JM, YT, WC, YE, SD. 구급차는 총 13대로, 3개의 안전센터(MS, JJ, NB)는 2대, 나머지는 한 대씩 보유하고 있다. 현 법적 구급차 배치 기준은 “관할 인구 3만명을 기준으로 하여 관할 인구 5만명 또는 구급활동 건수가 연간 500건 이상 증가할 때마다 구급차 1대를 추가로 배치할 수 있다.”이다⁽⁹⁾.

현 응급구조 시스템에서는, 신고 접수 시 최단거리 안전센터에서 구급차가 출동한다. 최단거리 안전센터 구급차가 이미 출동 수행 중인 경우, 그 다음 가까운 안전센터의 구급차가 출동한다.

모든 구급차가 출동 수행 중일 경우, 타 시도의 구급차가 출동을 지원할 수도 있다. 하지만 이 경우, 현장 도착까지 시간이 많이 소요된다. 또한 타 지역 구급대원은 대상 도시의 지리에 상대적으로 익숙지 않아, 운행에 추가 시간이 걸릴 수 있다. 따라서 대상 도시 자체만의 구급차 배치, 운영이 선호된다고 한다. 위 이유들로 타 도시의 지원은 본 연구에서 고려하지 않는다. 이외에, 가용한 구급차 부재로 인한 대체 교통수단(민간 응급차 포함) 활용 또한 응급 상황 대응의 지연을 의미하므로, 본 연구에 포함시키지 않는다. 또한 본 연구는 구급차 수량 결정에 초점을 맞춘다. 구급대원 수 등의 영향에 대해서는, 별도 후속 연구에서 다루어짐이 타당하다.

2.2 데이터 수집

분석을 위한 자료로 해당 도시의 2014-2015년 약 10만건의 구급 활동 현황 데이터를 활용하였다⁽¹⁰⁾. 원 데이터의 각 출동 요청별 데이터 속성은 30개로, 출동 안전센터명, 신고 시각, 귀소 시각, 환자 연령, 환자 증상, 지역 등으로 이루어져 있다. 이 중 본 연구의 주제인 출동수행률에 직접 관계되는 속성은 출동 센터, 신고 시각, 귀소 시각, 관내/외 여부이며, Table 1에 예시되어 있다.

Table 1. Example of the Emergency Vehicle Activity Data

No.	Center	Call time	District	Return
1	MS	22:58	Out	23:55
2	SD	16:49	In	17:57
3	YT	00:54	Out	01:27
...

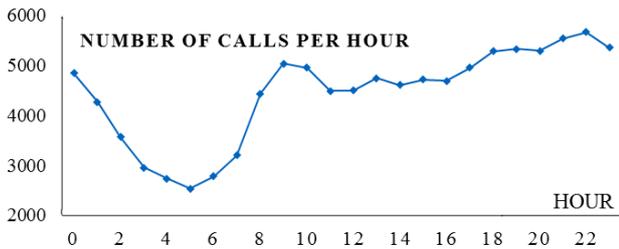


Figure 1. Number of emergency calls for each hour.

2.3 출동 요청과 출동 수행 시간의 통계적 특성

출동 요청에 대한 통계적 특성 파악은 적절한 구급차량 대수 선정을 위한 기초이다. 출동 수행 시 소요되는 시간의 통계적 특성 파악도 필수적이다. 따라서, 신고 시각 간격과 신고 처리 시간이 어떤 확률분포를 따르는지 조사하였다. 구급 현황 데이터에서 추출한 신고 시각, 응급 상황 처리 시간에 대하여 확률분포 추정 및 적합도 검정을 통계해석 전문 소프트웨어로 수행하였다. 적합한 분포 탐색에는 흔히 이용되는 콜모고로프 스미르노프, 앤더슨-달링 검정분석을 이용하였다⁽¹¹⁾.

신고 시각 간격에 대한 통계 분석에서, 구급 요청 빈도의 시간대별 차이를 고려하였다. 본 연구의 데이터 전체를 대상으로 검정분석 수행 시, 모든 분포의 *p*값이 매우 작아, 한 확률분포를 특정할 수 없게 결과가 나타났다. 이 특이한 경향의 이유는 시간대별 구급 요청 횟수를 분석하면 추정 가능하다. Figure 1은 시간대별(수평축) 요청 횟수(수직축)를 나타낸다. 그래프 왼쪽의 0시와 8시 사이(새벽시간대)의 발생 횟수는 다른 시간대보다 현저하게 낮다.

이 새벽시간대의 이질적인 요청 건수를 포함하여 통계 분석을 수행할 경우 요청 빈도의 분포 추정에서 부정확성이 커진다. 따라서, 이질적 통계 특성을 지닌 새벽시간대는 배제하고, 하루 중 빈도가 유사한 오전, 오후, 저녁의 16시간에 대하여 통계분석을 따로 진행하는 것이 타당하다.

또한 본 논문의 목적이 대처하지 못한 응급 요청 수 최소화이므로 새벽시간대는 분석에서 제외하여도 무방하다. 상대적으로 적은 구급차량 운영을 고려하더라도, 출동 요청 수가 비교적 적은 새벽시간대에는, 평시보다 적은 수의 차량으로 충분히 대응 가능하다고 가정할 수 있기 때문이다.

Table 2와 Figure 2에 신고 시간 간격의 통계적 분포 추정 결과가 예시되어 있다. Figure 2에는 한 안전센터의 요청 수의 빈도수(히스토그램)와 추정된 적합분포선을 표시

Table 2. Goodness-of-fit Test for the Inter-call Time Distribution

Weibull			
Kolmogorov-Smirnov			
Sample size	4586	<i>p</i> -value	0.17021
Statistic	0.01638	Rank	2

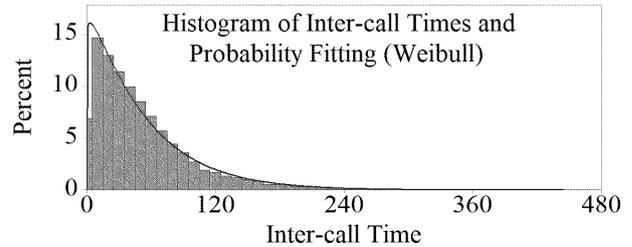


Figure 2. Histogram and distribution of the calls at center MS. Horizontal axis: times between calls.

하였다. 그림에서 보듯이 와이블(weibull)분포가 신고 시각 간격을 잘 표현한다. Table 2에서, *p*값이 기준(0.05)보다 크므로 신고시간 간격이 어떤 분포도 따르지 않는다는 가설(대립가설)이 기각된다. 와이블분포는 다른 단일-모수 분포와는 달리 다양한 데이터 특성을 모델링할 수 있는 유연성을 가지고 있어, 실제 문제에 많이 활용된다. 구급 처리 시간의 통계적 분포에 대한 적합성도 분석하였고, 마찬가지로 와이블분포를 잘 따른다는 결과가 도출되었다.

3. 구급차 출동 시스템 시뮬레이션 모델

현 응급 차량 출동 시스템을 범용 시뮬레이션 모델 작성 소프트웨어 도구(ARENA)로 모델링하였다. 시뮬레이션 모델은 다음과 같이 구성된다. 모델 요소 중 각각의 Create 요소는 각 센터에 신고되는 구급 요청의 집합이다. 개체(entity)의 발생은 구급 요청 발생을 의미한다. 생성된 개체들은 본 연구 대상 도시의 실제 운영 방식과 일치하는 Decide의 과정을 거친다. 즉, 센터 간의 거리에 따른 우선 순위가 적용되어, 1순위는 신고 관할 센터 자체의 구급차, 그 다음 순위는 거리 기준 가까운 센터의 가용 구급차가 선정된다. Process 요소는 각 센터가 보유한 구급차를 의미하며, 각 센터별로 구급 활동 시간의 통계분포를 적용하였다. 모든 응급차가 이미 출동 수행 중이어서 출동 불가능 상태가 발생하면 Record를 통해 구급 요청이 신고된 안전 센터에 출동 불가능을 기록하였다.

본 연구의 기본 지표인 출동수행률은 임의의 구급 요청에 대하여 적어도 하나의 구급차가 즉시 출동 가능한 확률로 정의된다⁽⁸⁾. 즉, 모든 구급차가 출동 중이어서 새로운 응급 요청에 대응하여 즉시 출동하지 못한 것을 출동 실패로 간주한다. 출동수행률과 실패율은 1의 보수(출동수행률=100%-출동실패율) 관계이다. 본 연구에서 출동불가능의 기

Table 3. Number of Failed Responses at Each Center

Center	No. of requests	No. of failures
GS	9679	10
YE	9664	14
JJ	19786	17
JM	13581	10
MS	23120	24
NB	18111	8
PJ	8841	4
SD	10502	9
YC	11290	13
YT	11011	7
Sum	135585	116

준은 일정 시간 내가 아니라 즉시로 정하였다. 그 이유는 다음과 같다. 첫째, 출동 임무 수행에 걸리는 시간에 대한 분석 결과 평균이 30분이 넘기 때문에, 즉시 출동이 불가능할 경우, 임무를 완료한 구급차가 단시간 내 가용할 가능성이 높지는 않다. 두 번째, 현재 임무 수행 중인 구급차가 가용한 상태로 될 때까지의 시간을 확정할 수 없으므로, 구급요청자는 막연히 대기하기 보다는 다른 구급/이송 수단을 추구하는 것이 타당한 경우가 많다. 셋째, 즉시 출동 불가능하나 일정 시간 내 재 출동이 가능한 경우는 후속 연구에서 새로운 모델을 구축하여 더 자세히 분석하는 것이 타당하다. 한 논문에서 모든 경우를 분석, 비교하는 것은 지면 제약 상 불가능하다. 유사한 사유로, 출동 후 도착시간 지연 등에 따른 구조 실패 등의 사례도 후속 연구에서 별도로 다루는 것이 타당하다고 판단된다.

4. 구급차 수의 영향 분석

4.1 현 시스템 분석

본 논문의 2.1절에 기술된 현재 운영되고 있는 응급 출동 시스템을 3절에 제시된 시뮬레이션 모델과 2.3절에 제시된 응급 수요의 통계적 특성을 활용하여 분석하였다. 분석 대상이 되는 시간은 2.3절에 기술된 대로, 수요가 적은 새벽시간대를 제외한 나머지 16시간이다. 시뮬레이션은 3년 동안의 응급수요 발생과 응급차량 출동시스템 운영을 가정하여 수행되었다.

시뮬레이션 결과를 Table 3에 안전센터별 응급 대응 실패횟수로 나타내었다. 총 135,585건의 응급 상황 발생에 대한 예상 출동수행률(응급 출동 요구에 대한 출동 대응 성공률)은 99.914%이다.

이 높은 출동수행률은 현재 구급시스템이 성공적으로 운영되고 있다는 지표로 해석될 수 있다. 하지만 동시에 낮지 않은 실패율을 의미할 수도 있다. 즉, 가용한 구급차의 부재로 처리하지 못한 응급 요청의 수가 116건으로, 이는 3

Table 4. Effect of One Additional Vehicle at Different Centers

	Ambulances per center											No. Fail.
	NB	MS	YT	GS	SD	YC	YE	JM	PJ	JJ	Sum	
Now	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	13	116
M 1	3	2	1	1	1	1	1	1	1	2	14	45
M 2	2	3	1	1	1	1	1	1	1	2	14	48
M 3	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	14	45
M 4	2	2	1	2	1	1	1	1	1	2	14	35
M 5	2	2	1	1	2	1	1	1	1	2	14	46
M 6	2	2	1	1	1	2	1	1	1	2	14	35
M 7	2	2	1	1	1	1	2	1	1	2	14	39
M 8	2	2	1	1	1	1	1	2	1	2	14	28
M 9	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	14	40
M10	2	2	1	1	1	1	1	1	1	3	14	36

Table 5. Preference of Requests to Other Centers

From	To										
	YT	GS	NB	MS	SD	YC	YE	JJ	JM	PJ	
YT	1	9	3	6	7	2	4	8	5	10	
GS	9	1	5	3	2	8	10	4	7	6	
NB	4	8	1	3	7	2	6	9	5	10	
MS	10	7	4	1	2	6	8	5	3	9	
SD	10	3	7	2	1	5	9	4	5	8	
YC	5	10	4	6	7	1	2	8	3	9	
YE	5	10	4	6	7	2	1	8	3	8	
JJ	10	7	8	4	4	6	9	1	3	2	
JM	8	10	6	2	7	3	4	5	1	9	
PJ	10	6	9	5	3	7	8	2	4	1	
Preference sum	72	71	51	38	47	42	61	54	39	72	
Total rank	9	8	5	1	4	3	7	6	2	9	

년에 약 116명이 제때 치료를 받지 못할 수도 있다는 의미이다. 만일 그들이 경증응급환자 및 비응급환자라면 문제가 되지 않을 수도 있다. 하지만, 그들이 중증응급환자라면 이용 가능한 구급차 부재로 치료시간을 놓쳐 생명을 잃을 수도 있다.

4.2 구급차 추가와 배치 위치의 영향 분석

이 절에서는 성공률(출동수행률) 향상을 위한 추가적인 구급차 배치를 실행할 경우를 분석한다.

추가 구급차의 대수를 결정하는 첫 단계로, 해당 도시에 구급차를 한대만 추가 배치했을 때의 영향을 조사하였다. 즉, 출동수행률의 증가를 관찰하였다. 또한, 추가 구급차를 배정할 최적의 안전센터를 선정하고자 한다. 각 센터에 1대를 배치하는 방안을 M1-M10으로 명명하였다. 시뮬레이션은 동일 조건으로 수행하였다. 각 방안별 결과는 Table 4에 제시되어 있다.

Table 4에 표시된 대로, JM 안전센터에 추가 구급차를 배치하는 것이 전체적인 실패횟수 감소에 가장 효과적임을 확인할 수 있다. 현재의 총 116건의 실패 횟수가 추가 배치 후 28건으로 1/4 이하로 줄어들었다.

Table 6. Effect of Two Additional Vehicles at Different Centers

	Ambulances per center											No. fail.
	NB	MS	YT	GS	SD	YC	YE	JM	PJ	JJ	Sum	
Now	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	13	116
M11	3	2	1	1	1	1	1	2	1	2	15	5
M12	2	3	1	1	1	1	1	2	1	2	15	5
M13	2	2	2	1	1	1	1	2	1	2	15	8
M14	2	2	1	2	1	1	1	2	1	2	15	8
M15	2	2	1	1	2	1	1	2	1	2	15	14
M16	2	2	1	1	1	2	1	2	1	2	15	6
M17	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2	15	8
M18	2	2	1	1	1	1	1	3	1	2	15	6
M19	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	15	5
M20	2	2	1	1	1	1	1	2	1	3	15	5

이 결과 해석을 단순히 JM 센터로의 추가 배치로 JM 센터 자체의 구급 요청에 더 잘 대응할 수 있다로만 한정해서는 안된다. 이 결과는 현 구급 시스템의 복잡한 운영 구조로부터 기인한다. 즉, 다른 센터들에 비해 JM 센터가 타 센터들로부터의 응급 요청도 더 많이 처리할 수 있다는 사실도 이 결과 해석에 포함해야 한다. 예를 들면, 지도상의 실제 거리가 반영된 결과인 센터 상호간 지원 빈도를 확인하면, JM 안전센터는 대다수의 센터에서 외부 센터에 지원을 요청할 때의 선호도에서 상위권에 위치했다(Table 5).

이러한 현상은, 출동 요청(수요)이 많이 발생하는 안전센터들의 군집(한 안전센터와 인접한 안전센터들로 이루어진 클러스터)에 출동 가능 차량이 더 많이 배치(공급)되어야 한다는, 다소 상식적인 서비스 공유에 대한 논리적/수학적 모델로 설명이 가능하다⁽¹²⁾. 자세한 모델과 설명은 본 논문의 범위를 벗어나므로, 참고 문헌⁽¹²⁾ 등의 수학 모델을 활용한 후속 연구에서 별도로 다루는 것이 타당하다.

출동 성공률을 더 높이기 위하여 총 2대의 구급차를 추가 배치하는 경우도 조사하였다. 2대 추가 배치 시 총 $(10+2-1)!/(2!(10-1)!)=55$ 가지의 경우의 수가 존재한다. 이 모두에 대하여 시뮬레이션을 수행하면 막대한 계산 시간이 소요된다. 따라서, 본 연구에서는 탐욕 알고리즘(greedy algorithm) 방식으로 문제에 접근한다. 즉, 1대 추가 시 최적으로 판별된 JM 센터에 구급차 1대를 추가시킨 상태에서, 앞의 방식과 같이 각 센터에 구급차를 추가로 1대씩 돌아가며 배치하며(방안 M11-M20), 전체 실패횟수에 주는 영향을 관찰하였다.

2대 배치 결과는 Table 6에 제시되어 있다. 추가 배치 전 116건이었던 처리 실패 횟수가 총 5건으로 크게 감소하였다. 단, 4개의 센터가 추가 구급차 배치에서 동등한 효과를 보여 주었다.

이 4개 센터 간의 좀 더 세밀한 차이 조사를 위하여, 시뮬레이션 기간을 늘려(5년에 해당) 재차 비교하였다. 결과

Table 7. Effect of Two Additional Vehicles at Different Centers, Observed with More Simulations

	Ambulances per center											No. fail.
	NB	MS	YT	GS	SD	YC	YE	JM	PJ	JJ	Sum	
M11	3	2	1	1	1	1	1	2	1	2	15	12
M12	2	3	1	1	1	1	1	2	1	2	15	9
M19	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	15	12
M20	2	2	1	1	1	1	1	2	1	3	15	12

Table 8. Summary: Effect of Additional Vehicles on Failure Rates

	Current	+1: JM	+2: JM, MS
Total calls	135,585	135,305	225,947
Failures	116	28	9
Success rate	99.9144%	99.9793%	99.9960%
Failure rate	0.0856%	0.0207%	0.0040%

는 Table 7에 제시되었다. MS 센터에 추가 구급차를 배치했을 때의 실패횟수가 가장 적었다. 첫 번째 추가 구급차 배치와 마찬가지로, 지도상 거리를 반영한 센터 간 지원 선호도를 확인하면(Table 5), MS가 성공률 증대에 더 큰 영향을 미치는 이유를 추정할 수 있다. JM 센터와 마찬가지로 MS 안전센터도 센터 외부에서 지원 요청되는 선호도가 상위권이다. 따라서, 시뮬레이션 자체의 변동성에 따른 결과의 불확실성을 고려하더라도, 추가 구급차 2대를 MS와 JM 안전센터에 나누어 배치하는 것이 적절하다는 시뮬레이션 결과의 타당함을, 앞서와 마찬가지로 논리적으로 추정할 수 있다.

4.3 개선안 비교 및 평가

1대, 2대 추가 배치의 영향을 분석한 결과가 Table 8에 요약되어 있다. 참고로 기존 모델과 1대 추가 모델은 시뮬레이션 기간이 3년, 2대 추가 모델은 기간이 5년일 때의 결과값이다. 개선된 상태 비교에 실패율(100%-출동수행률)을 사용할 수 있다. 현재 상태로는 3년에 116건(0.0856%)의 응급 대응 차질이 예상된다. 낮은 수치로 생각될 수도 있지만, 예상되는 문제점은 이미 언급되었다. 최적 배치로 JM 안전센터에 구급차 1대 추가할 경우 실패율이 0.0207%로 낮아진다. 현재 상태와 비교하면 실패율이 약 1/4이 되는 개선효과가 기대된다. 2대 추가 방안(JM과 MS 안전센터에 1대씩 추가)의 실패율은 0.004%로 예상되며, 이는 실패율이 현재 상태의 5%로 크게 낮아짐을 의미한다.

이러한 시스템 설계에서의 전형적인 주제는, 한정된 자원(비용 등) 대비 효과이며, 이는 이해 당사자들과 정책결정자들이 정할 문제이다. 본 연구는 그러한 결정을 위한 근거를 제시할 수 있다. 응급 의료 시스템에서는 낮은 확률이라도 생명과 연결되는 문제이기엔 절대적인 확률이 중요한 경우가 많다. 따라서, 응급 차량 가동률이 낮더라도, 예산

이 가용하다면, 차량 2대 추가가 적절한 수준일 수 있다. 3대 추가 시, 응급 대응 실패율은 더욱 낮아지리라 예상된다. 하지만, 2대 추가 시의 실패횟수가 이미 아주 적으므로, 3대 추가에 따른 실패횟수의 절대적 감소량은 크지 않으리라 예상된다. 따라서, 현실적인 재정·인력 문제를 고려하면, 2대 추가하는 것이 적절할 수 있다.

구급차의 추가 대수와 위치 결정은 생명과 직결된 중요한 사항이므로, 추가 차량 배치의 모든 경우의 수에 대하여 시뮬레이션을 수행하는 것도 고려할 수 있다. 하지만 시뮬레이션의 수가 구급차를 1대 추가할 때 마다 급속히 늘어난다. 1대 추가할 경우 10개, 2대를 추가한다면 55개, 3대를 추가한다면 220개의 모델을 만들어 시뮬레이션을 반복해야 한다. 많은 시뮬레이션 수행은 계산 시간 과다로, 실제 문제에 대한 적용은 제한적이게 된다. 제시된 탐욕 알고리즘에 의한 접근 방법은 계산 수를 크게 감소시키면서도, 충분히 유의미한 결과 도출에 도움을 준다.

5. 결론 및 고찰

본 논문에서는 실제 구급차 출동 요청에 대한 통계 분석을 바탕으로, 10개 안전센터의 거리 우선 순위와 응급 요청 발생 및 대응 시간의 통계적 분포를 고려하여, 시뮬레이션 모델을 구축하였다. 이 모델과 데이터를 활용하여, 현재의 구급차 호출 수요에 대한 대응 능력을 평가하고, 구급차 추가 배치 시의 영향도 고찰하였다. 응급 호출 신호의 통계적 분석에서 시간대를 구분하여야 함을 제시하였고, 이를 통하여 유의미한 통계적 특성을 도출하였다. 또한 응급 요청에 대응하는 다소 복잡한 구조의 시스템을 시뮬레이션 모델로 구성하였다.

시뮬레이션 분석 결과 현재의 응급차 수량으로는 99.91%의 대응 성공률(출동수행률)이 예상되었다. 응급 구조는 생명과 직결되는 중요한 문제이기 때문에, 성공률 목표를 가능한 100%에 가깝게 설정하는 것이 이상적일 수 있다. 본 연구에서는 응급차를 추가로 배치함에 있어서, 어느 안전센터를 선택하는 것이 효과적인지 분석하였다. 1대의 응급차를 추가할 경우 JM 안전센터가 최적의 센터로 분석되었고, 2대의 응급차를 추가할 경우에는 JM, MS 안전센터가 최적의 센터로 분석되었다. JM, MS 안전센터와 같은, 추가 배치에 적절한 센터들의 구조적 특징(주변 근거리 센터들의 출동 요구 높음) 또한 중요한 경향으로 도출할 수 있었다. 제시된 탐욕 알고리즘에 의한 접근 방법은 계산 수를 크게 감소시켜, 유의미한 결과의 신속 도출을 가능하게 하였다.

본 연구는 한정된 구급차를 배치하거나 추가로 구급차를 배치하는 등에 활용될 수 있다. 본 연구의 결과는 이러한 배치에서 투입된 자원 대비 최대의 효과를 거둘 수 있는 방안을 마련하는 객관적이고 수치적인 근거 제시에 활용될 수 있다. 더 나아가, 응급환자들의 안전을 증진시키는

데도 기여할 수 있으리라 기대된다.

이러한 성과에도 불구하고 본 논문에 제시된 주제는 더 많은 후속 연구를 필요로 한다. 첫째, 구급차 도착이 응급 의료 서비스의 성공을 의미하지는 않는다. 특히 환자의 증상에 따른 응급 처치와 이송 시간 한도가 다르다. 따라서, 환자의 증상에 따른 세부 출동수행률 분석이 필요하다. 또한, 환자의 증상에 따른 구급차 종류(특수, 일반)별 출동수행률 분석도 필요하다. 또한 보다 정확한 모델링과 분석을 위하여, 응급신고에 대한 시간대 별, 위치 별 보다 상세하고 실제적인 통계적 분석도 필요하다. 이러한 다양한 세부 주제들은, 각각 별도의 후속 연구들에서 더 깊이 다루어 질 수 있으리라 기대한다.

감사의 글

자료 조사에 도움을 주시고 구급차 운영 방식에 대한 이해에 도움을 주신 경기도 내 안전센터 관련 담당자들에게 감사사를 드립니다. 또한 본 논문 작성의 계기를 제공하여 준 종합설계 과목의 과제를 함께 수행한 아주대학교 산업공학과 임의택, 김규연 학생께도 감사사를 드립니다.

References

1. F. Borrás and J. T. Pastor, "The Ex-post Evaluation of the Minimum Local Reliability Level: an Enhanced Probabilistic Location Set Covering Model", *Annals of Operations Research*, Vol. 111, No. 1, pp. 51-74, (2002).
2. C. Revelle and K. Hogan, "The Maximum Availability Location Problem", *Transportation Science*, Vol. 23, No. 3, pp. 192-200 (1989).
3. A. Ingolfsson, E. Erkut and S. Budge, "Simulation of a Single Start Station for Edmonton EMS", *Journal of the Operational Research Society*, Vol 54, No. 7, pp. 736-746 (2003).
4. H. Park, A. Shafahi and A. Haghani, "A Stochastic Emergency Response Location Model Considering Secondary Incidents on Freeways", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 17, No. 9, pp. 2528-2540 (2016).
5. K. Jang, K. Kang, Y. Jang and K. Hahn, "Analysis of the Time Intervals in 119 Ambulance Services", *Fire Science and Engineering*, Vol. 30, No. 4, pp. 128-134 (2016).
6. K. Kang, "Predictors of Emergency Medical Transports Use Based on 2009 Korea Health Panel", *Fire Science and Engineering*, Vol. 28, No. 3, pp. 80-86 (2014).
7. I. Sung and T. Lee, "Study on the Algorithm to Develop an Ambulance Operation Plan for Response Capability of the Emergency Medical System to the Mass Casualty

- Incidents”, Proceedings of the Spring Conference, Korean Institute of Industrial Engineers, pp. 192-200 (2014).
8. Y. Lee, H. Chang and S. Lee, “A Study on the Optimal Number of Emergency Vehicles for Development of a Pre-hospital Emergency Medical System”, Proceedings of the Spring Conference, Korean Institute of Industrial Engineers, pp. 1276-1283 (2010).
 9. Korea Ministry of Government Legislation, “Attached Table 1”, Regulations on the Fire Service Standard, (2014).
 10. Gyunggi Data Dream, <http://data.gg.go.kr>, Accessed on November 2016 (2016).
 11. S. Park, Modern Design of Experiments, Minyoung Publishing, (2009).
 12. J. Ko, E. Nazarian, Y. Nam and Y. Guo, “Integrated Redistricting, Location-allocation and Service Sharing with Intra-district Service Transfer to Reduce Demand Overload and its Disparity”, Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 54, pp. 132-143 (2015).