
Global Report

교통네트워크의 비상 대응시설 위치에 대한 문헌검토

1. 개요
2. 비상 대응_재해와 질병
3. 비상대응시설 위치_키워드를 생성하는
위치 기반 응급시설
4. 운송 네트워크의 공간 이격 현황 측정
5. 운송 네트워크에서 비상시설 위치 모델
_위치 모델과 경로와의 상호작용
6. 결론

1. 개요

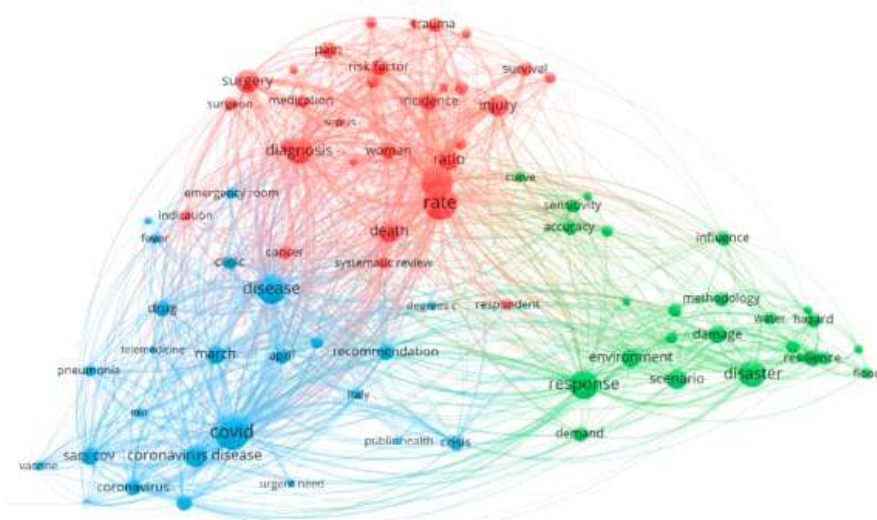
2020년에는 전염병, 홍수, 산불과 같은 예측할 수 없는 다양한 사건사고로 인해 안전과 효율성에 커다란 영향을 미쳤다. 이에 대응하기 위해 조직적이고 조정된 예방조치와 행동 가능한 사건을 감지하고 상황을 안정화하는 비상대응 단계가 실행되었다[1][2]. 비상대응 시스템은 다음과 같은 두 가지 중요한 구성요소와 관련이 있다.

- (a) 비상시설 위치는 비상대응 활동에 중요한 연결점을 제공한다.
- (b) 현대사회에서 운송 네트워크는 생명선의 필수 구성요소이다.

이는 승객의 연결성과 운행시간과 관련된 서비스를 제공한다[3]. 따라서 교통네트워크와 비상시설 위치 결정은 명확하게 상호작용해야 한다. 상호작용에 관한 비상대응을 모델링하고 미리 계획하는 방법은 추가적으로 해결해야 할 중요한 관심사이다. 이 연구에서는 운송 네트워크와 시설위치 간 상호작용을 검토하는 데 집중하여 비상대응 최적화 문제의 중요한 우려를 지적하고자 한다. 비상대응 시설을 명확하게 정의하기 위해 운송 네트워크를 시각화하여 비상대응 활동 문제와 목표를 제시한다. 또한 운송 네트워크의 공급과 수요 사이의 공간적 이격 현황에 의해 거리, 경로, 접근성 및 이동시간을 고려하는 4가지 모델을 제시한다. 특히 이동시간 추정 및 예측방법을 비교하는 다른 시나리오를 통해 여행시간의 확률적 및 시간 의존적 특성에 대해 설명한다. 교통 네트워크의 비상시설 위치에 대한 지금까지의 연구는 비상시설 위치 기반의 경로 모델, 접근성 기반의 위치 모델, 이동시간 기반의 위치 모델, 평형 제약조건을 이용한 수학적 프로그램 기반의 위치 모델로 나눌 수 있다. 이러한 기존 연구를 배경으로 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 비상 대응_재해와 질병

Web of Science 및 VOS(Virtual Object System)뷰어 (bibliometric network를 구축하고, 시각화해주는 소프트웨어)도구의 웹을 사용하면 키워드 공동 발생 네트워크가 표시된다. Web of Science는 다양한 학술분야에 대한 포괄적인 인용 데이터를 제공하는 여러 데이터베이스에 대한 구독 기반 액세스를 제공하는 웹 사이트이다. VOS 뷰어는 Leiden University CWTS(Centre for Science and Technology Studies)의 Nees Jan van Eck와 Ludo Waltman이 개발한 운송 네트워크를 구축하고 시각화하기 위한 소프트웨어 도구이다. 2000~2020년까지 "비상대응"이란 주제로 구성된 설문조사 결과를 기반으로 3,949건의 논문이 Web of Science에 표시되어 있으며, 키워드의 생성방법은 [그림 1]과 같다.



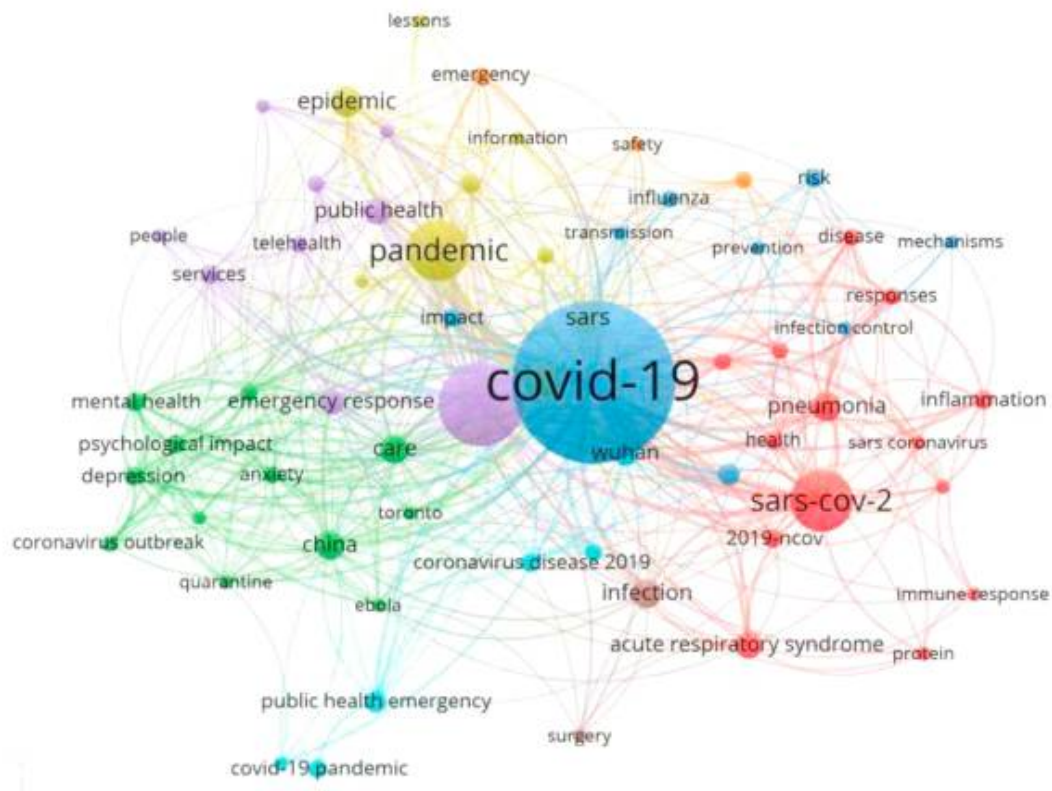
* 자료 : Yang Liu et al., “Emergency response facility location in transportation networks: A

literature review”, Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition) Volume 8, Issue 2, April 2021, Pages 153~169, p.155.

Fig. 1 e Keywords co-occurrence with emergency response.

[그림 1] 비상대응을 위해 생성된 e 키워드들

키워드는 레이블의 크기와 항목을 가리키는 원으로 표시되어 있으며, 원은 키워드의 빈도에 따라 결정된다. 키워드의 빈도가 높을수록 레이블과 키워드의 원이 커지게 된다. 레이블이 겹치지 않도록 작은 키워드 레이블은 표시되지 않을 수도 있다. 항목의 색상은 항목이 속한 클러스터에 의해 결정되며, 항목 간의 선은 운송링크를 나타낸다. [그림 1]은 재해와 질병과 관련된 두 연구 클러스터를 간단하게 밝혀주고 있다. 특히 질병 연구는 COVID-19의 역학연구와 크게 연관이 있다. 재해 및 대응 연구는 이 검토의 범위에 해당한다. [그림 2]는 지난 10년간 중에서 가장 영향력이 큰 응급사건으로 인식되고 있는 COVID-19 키워드와의 연관성을 통해 COVID-19 질병 주제를 명확하게 나타낸 것이다.



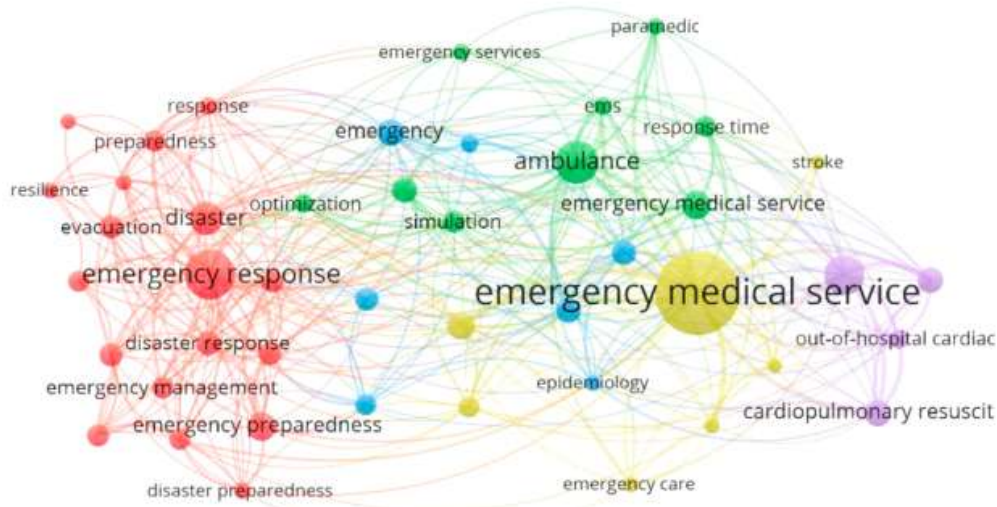
* 자료 : Yang Liu et al., “Emergency response facility location in transportation networks: A literature review”, Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition) Volume 8, Issue 2, April 2021, Pages 153~169, p.155.

Fig. 2 e Disease research with COVID-19 key words.

[그림 2] COVID-19 키워드를 포함한 e 질병연구

3. 비상대응시설 위치_키워드를 생성하는 위치 기반 응급시설

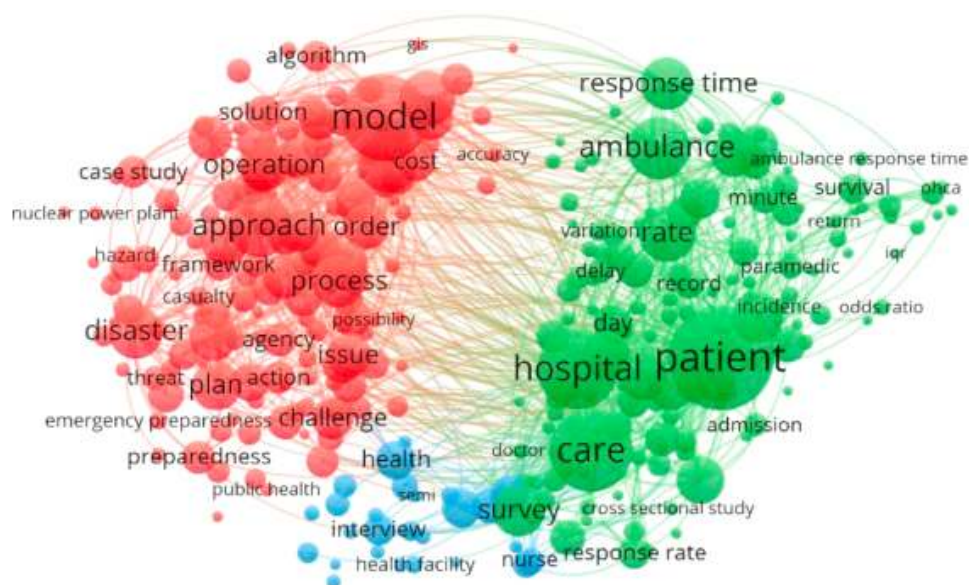
2000~2020년까지 '비상대응', '구급차', '트럭', '경찰차', '대피소', '시설' 등과 관련된 키워드 조사를 통해 3,868건의 논문이 Web of Science에 발표되었다. 비상대응 시설을 나타내는 e 키워드들과, e-Term 공동발생분포를 각각 [그림 3]과 [그림 4]에 나타낸다.



* 자료 : Yang Liu et al., “Emergency response facility location in transportation networks: A literature review”, Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition) Volume 8, Issue 2, April 2021, Pages 153~169, p.157.

Fig. 3. e Keyword co-occurrence with emergency response and facility.

[그림 3] 비상대응 시설을 나타내는 e 키워드들



* 자료 : Yang Liu et al., “Emergency response facility location in transportation networks: A literature review”, Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition) Volume 8, Issue 2, April 2021, Pages 153~169, p.158.

Fig. 4. e Term co-occurrence with emergency response and facility.

[그림 4] 비상대응 시설을 나타내는 e-Term 공동발생분포

이 수치는 비상시설 및 차량과 같은 비상대응 자원의 계획 및 운영이 문헌의 중요한 연구주제임을 보여 준다. [그림 3] 및 [그림 4]에 나타난 비상시설의 정의와 관련하여 비상시설은 정적 및 이동시설로 나눌 수 있다. 정적 응급시설에는 피난처/병원/소방서 등이 포함되며, 이동식 비상시설에는 구급차/소방차/경찰차/견인트럭 등이 포함된다.

Hakimi와 1971년 Toregas 등이 1964년 응급시설위치 문제와 관련된 초기 연구논문을 발표한 이후 많은 비상시설위치 관련 논문들이 발표되었다. 이를 시계열로 나타내면 i)1972년 Chaiken & Larson, ii)1977년 Revelle 등, iii)1989년 Revelle, iv)1995년 Marianov & Revelle, v)2003년 Brotcorne 등,

vi)2004년 Goldberg, vii)2011년 Li 등, viii)2012년 Caunhye 등, Bas,ar 등, ix)2013년 Aboueljineane 등, Ingolfsson, x)2017년 Ahmadi-Javid 등, Aringhieri 등, Marianov, xi)2019년 Belanger 등, Farahani 등으로 요약할 수 있다.

4. 운송 네트워크의 공간 이격 현황 측정

4.1. 거리, 경로 및 접근성

운송거리는 비상시설 위치 문제에서 자주 거론되는 용어이며, 여기에는 세 가지 일반적인 거리측정항목(Manhattan distance, Euclidean distance, and Minkowski distance)으로 분류할 수 있다. 항공기(aircraft) 및 UAV(Unmanned Aerial Vehicle : 무인항공기) 등과 같은 항공운송의 경우, 최단거리의 경로설정이 무엇보다 중요한 이슈이다[5]. 교통 분석, 도시계획 및 지리의 기본개념이 되는 접근성은 목적지의 공간분포, 목적지의 도달 용이성 및 목적지의 안전성 등이 중요하다. 특히 접근성은 여러 방법으로 정의하여 운용하기에 다양한 의미를 갖는다[6]. 2015년 Neutens는 의료서비스의 접근성을 검토한바 있다.

4.2. 시간 종속 이동시간

시간 종속 이동시간은 시간변수 이동시간이라고도 하며, 초기모델은 시간 의존적 이동시간을 설명하기 위해 부분적으로 선형 연속속도 기능을 도입했다. 이를 시계열로 나타내면 i)1992년 Malandraki & Daskin, Hill & Benton ii)2000년 Horn, iii)2003년 Ichoua 등, iv)2004년 Fleischmann 등, v)2005년 Haghani & Jung, vi)2008년 Donati 등, vii)2010년 Kuo로 요약할 수 있다. 특히 응급차량의 경우 2010년 Schmid & Doerner, 2015년 Degel 등에 의해 시간의존적인 이동시간 문제를 도입한바 있다. 아울러 Schmid & Doerner는 구급차의 시간의존적인 이동시간의 특징을 설명하기 위해 다단계 응급시설 위치모델을 제시한바 있다. 아울러 Degel 등은 운송수요, 이동시간, 구급차 속도 및 커버리지의 동적 변화에 대처하기 위해 유연한 위치 및 재배치 모델을 제시한바 있다.

4.3. 이동시간 추정 및 예측

비상차량 이동시간 추정에 대한 연구는 5년 전에 시작되었다. 1971년 Volz는 선형회귀를 이용하여 다양한 유형의 도로(고속도로, 4개 이상의 차선도로, 3차선 도로 및 지역거리 등)에서 속도계수를 결정한 다음 이동경로의 도로유형을 추정하여 평균 이동시간을 예측한바 있다. 이후 1975년 Kolesar 등은 차량이 목적지에서 정지할 때까지 감속이 유지되는 순항속도(v_c)에 도달 할 때까지 원점에서 가속한다고 가정하고 이동시간 모델을 (식 1)과 같이 나타냈다.

$$t(x) = \begin{cases} 2\left(\frac{x}{a}\right)^{1/2} & \forall x \leq 2d_c \\ \frac{v_c}{a} + \frac{x}{v_c} & \forall x > 2d_c \end{cases} \dots\dots\dots (\text{식 1})$$

여기서, $t(x)$ 는 예상 이동시간, v_c 는 순항속도, 가속도($d_c = v_c^2 \div 2$)는 순항속도를 달성하는 데 필요한 거리이다. 1987년 Mirchandani & Reilly는 소방차의 이동시간 모델을 (식 2)와 같이 공식화하였다.

$$t(x) = \begin{cases} 2.1x^{1/2} & \forall x \leq 0.6 \text{ km} \\ 0.65 + 1.7x & \forall x > 2d_c \end{cases} \dots\dots\dots (\text{식 2})$$

여기서, $t(x)$ 는 예상 이동시간, x 는 이동거리, D_c 는 순항속도를 달성하는 데 필요한 거리이다. 이를 토대로 1988년 Lu는 Taipei City의 도로수준과 관련된 소방차의 순항속도에 대한 조사결과를 제시한바 있

다. (표 1 참조)

<표 1> Taipei City에서 소방차의 순환속도

도로의 형태	서비스 수준	소방차의 속도[km/h]
도시도로	A, B	81.2
	C, D	57.7
	E, F	34.2
이면도로	-	20.0

* 자료 : Yang Liu et al., “Emergency response facility location in transportation networks: A literature review”, Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition) Volume 8, Issue 2, April 2021, Pages 153~169, p.159.

5. 운송 네트워크에서 비상시설 위치 모델_위치 모델과 경로와의 상호작용

1989년 Salhi & Rand, 2011년 Baldacci 등은 경로 문제와 응급시설의 위치 상호작용에는 위치할당 문제와 차량 경로 문제의 조합이 필수적으로 요구되기 때문에 응급시설 위치 문제가 고려된 경로를 무시하는 것은 최적이지 아니라고 강조하였다. 포인트 분포수요는 LRP(location-routing problem)를 나타내며, 라인 분포수요는 LARP(location-arc routing problem)를 의미한다. LRP 연구는 1961년 Von Boventer와, 1964년 Maranzana가 최초로 연구하기 시작하였으며, 이후 1989년 Salhi & Rand가 많은 관심을 보였다. 1985년 Perl과 Daskin이 제시한 LRP와 관련된 기본요소는 i) 위치를 찾을 수 있는 방법, ii) 최적경로를 할당하는 방법, iii) 할당된 최적경로를 선택하는 방법이 있다.

(1987년 Balakrishnan 등, 2015년 Drexl & Schneider, 2013년 Lopes 등, 2008년 Marinakis & Marinaki, 1998년 Min 등, 2007년 Nagy & Salhi, 2014년 Prodhon & Prins, 2007년 Shen)

1987년 Daskin은 비상차량, 위치 최적화, 파견 및 경로 등을 동시에 고려할 위한 다목적 모델을 공식화하였다. 운송수요와 이동시간은 확률론적 변수(stochastic variables)로 설명할 수 있다. 그간 제시된 경로 모델들을 시계열적으로 요약하면 다음과 같다.

- 2009년 Jotshi 등은 재해발생 시 강력한 비상차량 파견 및 경로 모델을 제시하였다.
- 2014년 Wang 등은 3인덱스, 흐름변수, 제약조건 방법을 이용하여 두 개의 다목적 위치 경로 모델을 제시하였다.
- 2018년 Zhang 등은 정보의 불확실성을 고려한 다목적 위치-경로 모델을 제시하였다.
- 2019년 Yang 등은 산불방지를 위한 2층 비상물류 모델을 제시하였다.

이 모델들의 공동목표는 이동시간의 최소화, 비상구호 비용의 최소화, 이산화탄소 배출 최소화를 지향하고 있다.

6. 결론

Web of Science 및 VOS 뷰어 도구의 웹을 통한 비상대응 활동은 재해 및 질병연구 클러스터를 해결하기 위한 응급 의료서비스에 기여하고 있다. 비상대응 시스템의 경우 비상시설 위치와 운송 네트워크라는 두 가지 중요한 구성요소가 있다. 비상시설 위치 문제 연구동향에는 동적 의사결정, 불확실성 파라미터, 다중 기준 결정, 의사결정 행동 모델링, 라우팅 문제 고려사항 및 네트워크와의 시설위치 상호작용 등 많은 요소들이 존재한다. 교통 네트워크와 비상시설 위치 결정은 명확하게 상호작용할 필요가 있다. 이를 위해 이 연구에서는 운송거리, 라우팅, 시간 및 접근성을 포함한 수요와 공급 사이의 운송 네트워크의 공간 이격 현황을 측정하는 네 가지 방법을 검토하였다. 특히 비상차량의 이동시간 무작위성 및 시간 의존적 특성을 설명하였다. 이를 통해 이동시간 추정 및 예측, 비상차량 선점의 이동시간 추정, 운송 네트워크 평형적 접근, 분해 가능한 운송 네트워크의 이동 시간 등을 조사할 수 있다. 결론적으로

교통 네트워크의 비상시설 위치 모델은 최적의 경로와 위치 모델, 접근성 등이 포함된 프레임워크가 필요하다.

비상대응 활동은 운송 네트워크에 절대적으로 의존하기 때문에 비상시설의 위치는 운송 네트워크와 명확하게 상호작용할 수 있어야 한다. 이 연구에서는 운송 네트워크의 비상시설 위치에 대한 통합 프레임워크를 제시하고 있다. 이 연구결과는 운송 네트워크의 키워드 분석을 통한 비상대응활동 연구 클러스터 효율성을 향상시킬 수 있는 정책에 벤치마킹 자료로 활용할 수 있을 것이다.

[참고문헌]

- [1] William, L.W., Kathleen, J.T., 2007. Emergency Management: Principles and Practice for Local Government. ICMA Publishing, Washington DC.(Hu et al., 2019; 윌리엄과 캐슬린, 2007).
- [2] Hu, H., He, J., He, X., et al., 2019. Emergency material scheduling optimization model and algorithms: a review. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition) 6 (5), 441~454.
- [3] Nagurney, A., 2021. Networks in economics and finance in networks and beyond: a half century retrospective. Networks 77 (1), 50~65.
- [4] Van Eck, N.J., Waltman, L., 2010. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. Scientometrics 84 (2), 523~538.
- [5] Barbarosoglu, G., Ozdamar, L., C, evik, A., 2002. An interactive approach for hierarchical analysis of helicopter logistics in disaster relief operations. European Journal of Operational Research 140 (1), 118~133.
- [6] Geurs, K. T., Wee, B., 2004, Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions, Journal of Transport Geography Volume 12, Issue 2, June 2004, Pages 127-140.

<원문제목> Emergency response facility location in transportation networks: A literature review

<원문출처> Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition) Volume 8, Issue 2, April 2021, Pages 153-169