

다기준 의사결정기법을 이용한 국내 지하철 안전성 평가 적용에 관한 연구

박 해 천* · 이 경 훈**

*조선대학교 산업공학과 · **조선대학교 산업안전공학과

The study of the safety evaluation method on domestic subway using multi-criteria decision analysis

Hai-Chun Park* · Kyoung-Hun Lee**

*Department of Industrial Engineering Chosun University

**Department of Industrial Safety Engineering Chosun University

Abstract

The efforts to reduce industrial accident has been brisk recently in workplace. These efforts were mainly concentrated on construction and manufacturing. Despite these efforts, current accident rate so far has been maintained on the fixed level. According to the change of industrial structure, the government's attention on industrial accident prevention activities are focused in service industries. When trying to appraise the result of such activities, it is impossible to evaluate safety without certain criteria. Therefore, we analyze data by TOPSIS method that all the subway institution jointly manage every year. we decide the order of safety priority between domestic subway workplaces and measure the variation in safety by sensitivity. As a result, we draw conclusions to improve safety for the primary consideration and suggest alternatives

Keywords : safety, multi-criteria decision analysis

1. 서 론

정부는 지속적으로 증가하는 서비스업의 재해율을 감소시키고 관리하기 위하여 관련분야의 투자를 공표하고 담당부서와 정책마련을 위한 조사 및 연구를 실시하고 있다. 국민을 위한 공공 서비스라 볼 수 있지만 민간 사업자가 주재하는 지하철의 경우 평균 사망사고는 전체 재해율에서는 큰 수치를 보이지 않지만 대구 지하철 사고를 통해 알 수 있듯이 한번의 사고가 대형 사고로 이어지고 주변에 미치는 영향이 크기 때문에 어떤 산업보다도 예방이 중요한 분야라 할 수 있다.[1][13]

현재 철도안전은 철도 안전성에 대한 지표관리와 중장기 안전목표의 수립과 실행, 철도안전종합계획 등의

꾸준한 관심과 노력으로 안전성이 크게 향상되었다. 하지만 이러한 노력에도 도시철도 사고는 계속하여 발생되고 있으며, 도시철도 운영기관에서 발생하는 열차 지연이나 사망사고, 안전사고뿐만 아니라 일반 대중에 의하여 발생하는 공중사상이나 자살사고 등의 문제도 간과 할 수 없다. 즉, 아무리 높은 수준의 안전성이 확보된 경우라 할지라도 이용승객에 대한 안전이 확보되지 않는다면 현실적으로 사고관리를 하기 어렵다고 할 수 있겠다.[1][4][14]

현재 철도사고통계를 위해 관리되어지는 특정한 자료나 자료수집의 대상이 아닌 경우 각 기관별로 관리하는 지표와 추진목표가 상이하기 때문에 우리나라 도시철도의 안전에 대한 평가는 연구자가 안전성을 평가

✦ 본 논문은 2010년 조선대학교 학술연구비의 지원으로 연구되었음.

✦ 교신저자: 박해천, 광주광역시 동구 서석동 375번지 조선대학교 제2공학관 3층 산업공학과

M · P: 010-4614-7329, E-mail: hcpark@chosun.ac.kr

2011년 7월 20일 접수; 2011년 9월 19일 수정본 접수; 2011년 9월 20일 게재확정

할 때 중요하게 여기는 요인이 무엇인지에 따라 평가의 결과가 달라질 수 있다. 지하철 안전성을 평가하기 위한 요소로는 열차충돌, 탈선, 화재, 철도교통사고, 사상 사고 등 확인가능한 요인들이 있는 반면 운영기관의 안전대책 및 관리, 안전투자비나 시설개선, 안전점검, 이용승객의 의식, 지하철 역사 내 환경 및 시설 등 쉽게 확인하기 어려운 요인들이 공존하기에 모든 사항을 고려하여 지하철의 안전성을 평가하기란 쉽지 않다. 따라서 공통된 지표를 이용하여 객관적 데이터를 정량적으로 측정하고 있는 공기업 경영평가 자료를 이용하였다.

이러한 지하철 안전성을 평가하는 대표적 기법으로 FTA, RCI, 비용편익분석 등의 다양한 기법이 있지만 고려해야할 요소가 다양하고 각각의 측정 단위가 다른 여러 요소를 비교분석하여 측정 대상들의 안전성을 평가하려 할 경우 다기준 의사결정기법을 이용할 수 있다. 평가기준이 다수인 경우, 고려하고 있는 다수의 대안들에 대한 선호도를 측정하고 이를 종합하여 최선의 대안을 선택하는 기법들 중 대표적인 기법으로는 AHP, TOPSIS, SAW, MEW 등이 있다. 본 연구에서는 다양한 대체안 중에서 이상적인 해에 가까운 대안을 선택하는 방법인 TOPSIS(Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)기법을 이용하여 서로 다른 광역시별 지하철 운영기관의 안전성을 평가하고 민감도에 따른 안전성 변화량을 측정하여 안전성을 높이기 위하여 최우선적으로 고려하여야할 만한 사항이 무엇인지를 다기준 의사결정기법 중 TOPSIS를 적용하여 확인해보고자 한다.[2][7]

2. 연구도구 및 TOPSIS

2.1 다기준 의사결정기법

다기준 의사결정기법(Multi-Criteria Decision Making, MCDM)이란 선택대상으로 고려하고 있는 다수 대안들의 선호도를 각각 측정하여 최선의 대안을 선택하는 기법을 말한다. 평가기준들의 가중치를 도출하고, 고려하고 있는 대안들의 선호도를 정량화하여 종합화하는 과정으로 이루어지는데 고려하는 기준들이 목적차원인지 혹은 속성차원인지에 따라 다목적 의사결정(multi objective decision making, MODM)과 다속성 의사결정(multi attribute decision making, MADM)으로 분류할 수 있다(이창호, 1999).

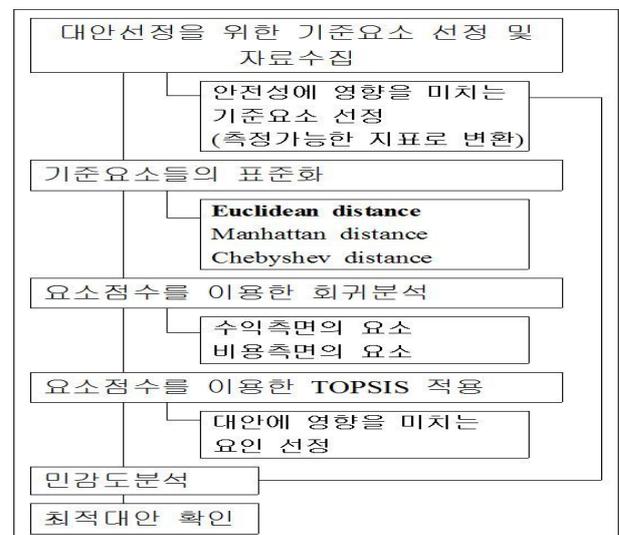
다목적 의사결정법은 무한개의 대안들 중에서 고려 중인 목적을 가장 만족하는 최적의 대안을 찾는 방법으로 대안들을 탐색하는 방법이라 할 수 있고, 다속성

의사결정기법은 유한개의 대안들 중에서 하나의 대안이나 그와 선호도가 같은 몇 개의 대안을 선정하는 방법을 말한다. 이와 같은 다기준 의사결정기법의 대표적 기법들은 다목적 의사결정법으로 목표달성평가법(Goal Achievement Method, GAM), MAUT, 평점모형(scoring method), 순위 선호모형(outranking method) 등이 있고 다속성 의사결정 기법으로는 TOPSIS, SAW, MEW, AHP 등이 있다.[10]

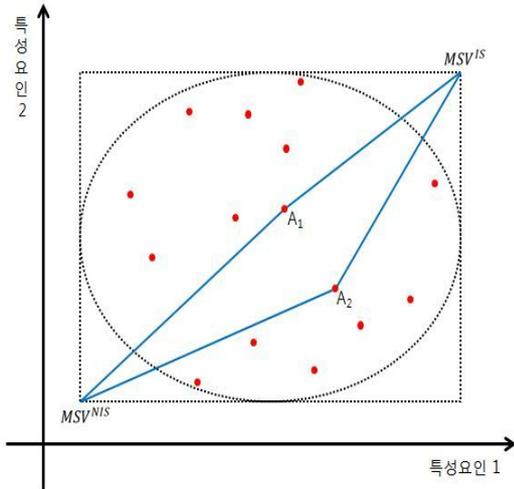
다목적 의사결정과 다속성 의사결정을 구분하는 가장 큰 차이점은 다목적 의사결정이 주로 최적의 해를 구하는 문제라면 다속성 의사결정은 선택 상의 문제를 다룬다고 볼 수 있다. 즉, 다목적 의사결정은 무한개의 가능한 대안들 중에서 바람직한 대안을 탐색하는 기법이고 다속성 의사결정은 유한의 대안들에 대한 선호의 순위를 설정하는데 주안점을 두고 있다는 차이가 있다.

보통의 의사결정에는 유한개의 대안들 중에서 우선 순위나 선호를 가장 잘 반영하는 대안을 찾아내는 것이 목표이기 때문에 다목적 의사결정과 같은 유형은 부적합하다.[10] 따라서 본 연구에서는 다속성 의사결정을 이용한 기법을 채택하였으며 가장 대표적인 기법은 AHP와 TOPSIS기법이 있다. AHP는 각 평가 대상에 대하여 쌍대비교를 함으로써 우열을 평가하는 방법으로 Satty(1980)에 의하여 제안되었고, TOPSIS는 평가 대상들 중에 이상적인 솔루션(ideal solution, IS)에 가깝고, 최악의 솔루션(negative ideal solution, NIS)에서 먼 대안부터 우선순위를 부여하는 방법으로 Hwang and Lin(1987)에 의해서 개발되었다. TOPSIS의 경우 이해하기 편하고 적용이 용이하며 계산이 단순하고 속도가 빠르다는 점에서 장점을 가진다.[3]

<그림 1>은 다기준 의사결정 기법을 적용한 안전성 평가 적용 모델을 도시화 한 그림이다.



<그림 1> MADM을 적용한 안전성평가



<그림 2> 특성요인에서 대체안 선정 문제

본 논문에서는 다기준 의사결정기법을 적용한 안전성평가에 필요한 다양한 레이아웃 해들 중 이상적인 해에 가까운 대안을 선택하는 방법이 필요하기에 TOPSIS 기법을 이용하였다.

2.2 TOPSIS

Hwang and Yoon(1981)에 의해서 처음으로 제시된 TOPSIS기법은 그림1과 같이 이상적인 해에 가깝고 그 반대인 해와 먼 거리에 있는 대안을 찾는 기법으로써, 대체 해들이 이상적인 해(ideal solution)와 부이상적인 해(negative ideal solution) 사이에 존재하게 된다는 개념을 기초로 하여 최적의 해는 이상해로부터는 가까이 위치하며 부이상해로부터는 멀리 위치하게 된다는 원리이다. 즉, 인간이 의사결정을 하는 원리와 비슷하여 현실적 제한 때문에 이상적인 대안을 선택함에 있어 그것과 가장 비슷한 효과를 얻을 수 있는 대체안을 선택하게 되는 원리이다.

이러한 TOPSIS기법은 크게 3가지 특징을 가지고 있다. 첫째로 의사결정에 관한 이론적 근거를 구체화하는 단순한 논리를 가지고 있다. 둘째는 이상적인 해와 그 반대인 해를 모두 고려하여 대체안들을 평가하고 이를 정성적인 수치로 표현하여 누구나 쉽게 활용하고 이해할 수 있다. 마지막으로 계산과정이 간단하여 스프레드시트 상에서 쉽게 계산할 수 있고 적용이 용이하여 빠르게 대안을 찾을 수 있다.[2]

3. 본 론

각 지역을 중심으로 존재하는 지하철 운영기관의 안

전성을 비교해보고 안전성을 높이기 위한 방안을 마련하기 위해서 공통된 측정항목을 기초로 객관화된 지표 를 가지는 지방 공기업 경영평가자료를 활용하고자 한다. 현재 철도 운영기관의 안전성을 평가하기 위한 공통된 지표와 적용체계가 부족한 상황이며 안전에 미치는 영향요인을 정량적으로 측정해놓은 자료가 필요하기 때문이다.

지방 공기업 경영평가는 각 기업의 경영시스템을 확인하기 위하여 경영효율화와 주요사업활동을 측정하고, 리더쉽/전략을 측정한다. 경영성과측면도 확인하기 위해서 주요사업성과, 경영효율성 그리고 고객 만족성과 등을 측정한다. 세부 내용으로 리더쉽항목은 경영층 리더쉽과 고객윤리경영에 대하여 측정한다. 전략 항목은 비전, 미션 및 경영계획등을 측정한다. 경영효율화 항목은 조직관리, 인사관리, 노사관리 그리고 재무관리를 측정한다. 주요사업활동 항목은 종합안전대책 및 관리, 승객수송계획 및 관리 그리고 최근에 포함된 저탄소 녹색성장 추진관리를 측정한다. 주요사업성과 항목은 열차지연율, 안전사고발생건수, 승객수송인원 그리고 사업수익을 측정한다. 경영효율성과 항목은 주행거리 1km 당 총원가, 영업수지비율, 직원1인당 매출액 그리고 공기업 정책준수를 측정한다.

위에 나열된 공기업 경영평가 자료를 토대로 경영평가 내용이 지하철 역사 안전에 영향을 미치는지를 확인해보고 각 광역시별 지하철 운영기관의 안전성을 파악해 본다. 또한 각 요인이 주는 민감도를 확인하여 더욱 나은 지하철 안전경영을 위한 해결방안을 제시한다.

3.1 TOPSIS를 이용한 지하철 안전도 평가

3.1.1 지하철 운영기관별 기초자료

국내의 지하철공사는 서울도시철도공사, 서울메트로, 부산교통공사, 대구도시철도공사, 광주도시철도공사, 대전도시철도공사 그리고 인천메트로가 있다. 서울은 2개의 지하철 운영기관을 보유하고 있기 때문에 두 개의 운영기관중 신노선을 보유한 서울도시철도공사에 비하여 노후화된 설비를 보유한 서울메트로가 안전상 더욱 위험하다고 판단되어 서울을 대표하는 운영기관으로써 서울메트로를 선택하여 각 광역시별 대표적 지하철공사 6개기관을 선정하고 2010년 이전 5개년 동안의 공기업 경영평가 자료를 활용한 안전성 평가를 실시한다. <표 1>은 지하철 운영기관별 2010년 자료이다. 6개 운영기관 별 2010년 자료를 확인할 수 있으며 각 항목에 맞는 배점당 득점을 확인할 수 있는데 각 항목의 배점은 표시되지 않았고 전체 데이터 중 일부만 발췌한 데이터이다.

<표 1> 안전도 평가를 위한 지하철 운영기관별 경영평가 2010년 자료

| 지하철 운영기관 | 경영효율화 | | | 주요사업활동 | | 주요사업성과 | | | | 경영효율성과 | | | 고객만족성과 |
|-------------|----------|----------|----------|--------------------------|-------------------|-----------|----------------|----------------|-------------------|----------------|--------------|--------------|-----------|
| | 조직 관리 | 인사 관리 | 노사 관리 | 종합안전 대책 수립 및 시행 | 승객수송 계획및관 리 | 열차 지연율 | 안전 사고 관리 | 승객 수송 인원 | 사업수익 목표달성 률 | 영업 수지 비율 | 직원1인 당매출액 | 공기업정 책및운영 | 고객만 족도 |
| A공사 | 3.52 | 3.6 | 4.9 | 4.35 | 4.3 | 4 | 3 | 5 | 3.31 | 8.82 | 3.42 | 6.97 | 8.9 |
| B공사 | 3.76 | 3.6 | 4.2 | 4.8 | 4.7 | 4 | 3 | 5 | 3.88 | 7.31 | 3.4 | 4.79 | 8.91 |
| C공사 | 3.44 | 3.52 | 4.6 | 3.9 | 4.1 | 4 | 3 | 4.8 | 4.04 | 5.71 | 3.35 | 6.83 | 8.85 |
| D공사 | 3.6 | 3.52 | 4.6 | 4.05 | 3.9 | 4 | 3 | 5 | 4.95 | 5.18 | 4 | 6.8 | 8.77 |
| E공사 | 3.52 | 3.6 | 4.6 | 4 | 3.95 | 4 | 3 | 5 | 4.76 | 6.66 | 4 | 7.06 | 8.82 |
| F공사 | 3.28 | 3.44 | 4.6 | 4 | 3.85 | 2.7 | 3 | 4.76 | 4.62 | 6.61 | 3.69 | 5.9 | 8.69 |

3.1.2 기초자료의 표준화

<표 1>의 자료는 배점당 득점을 표기한 자료이기에 서로의 요인간 비교가 힘들다. 예를 들어 <표 1>중 A공사의 조직관리 득점은 3.52 이고 영업수지비율 득점은 8.82 이다. 두 항목 모두 계량적인 점수로 표현되어 있지만 3.52와 8.82간의 차이 혹은 조직관리와 영업수지비율이 주는 차이 등은 서로의 가치 비교 기준이 다르기 때문에 <표 1>의원데이터를 이용하여 안전성을 측정하기란 불가능 하다 할 수 있다. 따라서 각 요인들에 대한 데이터들을 표준화 하여야만 한다. 다시 말하면 원 데이터 들은 측정 단위가 각각 다르기 때문에 이들을 통합하여 분석하기 위해서는 일반적으로 통일된 수정데이터로의 전환이 필요하다. 이를 위하여 표준화된 데이터 매트릭스를 새로 작성하여야 한다.

TOPSIS 기법에서 요구하는 데이터 들은 변수별 각각의 데이터를 총합 할 수 있는 기초자료가 필요하기에 다른 분석을 실시하기 전 모든 데이터들을 비교 가능할 수 있도록 측정단위가 일치하는 통일된 데이터로의 전환이 필요하다. 서로 다른 기준의 데이터, 다차원 간의 데이터 들을 표준화 하는 데는 Taxicab geometry 나 Euclidean distance 등 여러 가지 기법이 있다. 이번

연구에서는 각각의 표준화 방법들 중 어느 기법이 더 우월하며 정확하다 증명된 바는 없기에 간단히 사용할 수 있는 기법으로 Euclidean distance을 선택 하였다.

<표 2>는 운영기관별 경영평가 데이터들을 Euclidean distance method 를 이용하여 표준화한 데이터 들이다.

각각의 데이터들은 식1을 이용하여 표준화된 데이터로 변환 할 수 있다.

$$r_{ijk} = x_{ijk} / \sqrt{\sum_{i=1}^l \sum_{j=2006}^m x_{ijk}^2}$$

단, i : 지하철운영기관 1, ..., l

j : 년도 2006, ..., m

k : 독립변인 1, ..., n

r_{ijk} : i 운영기관, j 년도의 k 번째 표준화데이터

x_{ijk} : i 운영기관, j 년도의 k 번째 표준화데이터

(1)

<표 2>와 같이 표준화된 데이터는 각각의 요인들이 가지고 있던 고유의 단위를 제거함으로써 벡터적인 성분을 포함한 여러 기준 요인들을 단순히 스칼라량으로만 표현하게 된다. 따라서 TOPSIS에서 사용될 기준 요인들의 측정하려던 개념이 서로 다르더라도 스칼라량으로써 비교 가능하게 된다.

<표 2> 표준화된 지하철 운영기관별 경영평가 2010년 자료

| 지하철 운영기 관 | 경영효율화 | | | 주요사업활동 | | 주요사업성과 | | | | 경영효율성과 | | | 고객만족 성과 |
|-----------------|----------|----------|----------|-----------------------|-------------------|-----------|----------------|----------------|-------------------|----------------|------------------|------------------|------------|
| | 조직 관리 | 인사 관리 | 노사 관리 | 종합안전 대책 수립 및 시행 | 승객수송 계획및관 리 | 열차 지연율 | 안전사 고 관리 | 승객수 송 인원 | 사업수익 목표달성 률 | 영업수 지 비율 | 직원1인 당매출 액 | 공기업 정책및 운영 | 고객만족 도 |
| A공사 | 0.176 | 0.207 | 0.250 | 0.198 | 0.231 | 0.193 | 0.147 | 0.209 | 0.116 | 0.286 | 0.137 | 0.173 | 0.131 |
| B공사 | 0.188 | 0.207 | 0.214 | 0.219 | 0.252 | 0.193 | 0.147 | 0.209 | 0.136 | 0.237 | 0.136 | 0.119 | 0.131 |
| C공사 | 0.172 | 0.202 | 0.234 | 0.178 | 0.220 | 0.193 | 0.147 | 0.201 | 0.141 | 0.185 | 0.134 | 0.170 | 0.130 |
| D공사 | 0.180 | 0.202 | 0.234 | 0.185 | 0.209 | 0.193 | 0.147 | 0.209 | 0.173 | 0.168 | 0.160 | 0.169 | 0.129 |
| E공사 | 0.176 | 0.207 | 0.234 | 0.182 | 0.212 | 0.193 | 0.147 | 0.209 | 0.167 | 0.216 | 0.160 | 0.175 | 0.130 |
| F공사 | 0.164 | 0.198 | 0.234 | 0.182 | 0.206 | 0.130 | 0.147 | 0.199 | 0.162 | 0.214 | 0.148 | 0.147 | 0.128 |

3.1.3 사고자수를 종속변인으로한 회귀분석

요인별 가중치의 산정 이유는 기관별 안전성을 결정함에 있어 요인들이 결과에 미치는 영향정도가 서로 다르기 때문에 이를 파악 하는 것도 매우 중요하다. 또한 경영평가에 사용된 요인들이 실제로 지하철 안전성에 영향을 미치는지와 요인 각각의 영향력을 확인해 보고 그 영향력 정도를 TOPSIS의 데이터에 반영하기 위함이다. 가중치를 산정하는 방법들로는 단순척도법, Analytic Hierarchy Process, Weighted Least Square Method, Entropy Method 그리고 AHP 등 여러 가지 방법들이 존재한다. 이번 연구에서 사용된 가중치 척도 방법으로는 회귀분석을 이용한 가중치 산정을 하였다. 회귀분석의 독립변인은 조직관리, 인사관리, 노사관리, 종합안전대책 수립 및 시행, 승객수송 계획 및 관리, 열차 지연율, 안전사고 관리, 승객수송인원, 사업수익 목표달성률, 영업수지비율, 직원1인당 매출액, 공기업 정책 및 운영 그리고 고객만족도이고 이들 변인들이 지하철 사고에 영향을 미치는지를 확인해 보기 위해서 종속변인으로 년도별 사고자수와 사망자수 합으로 분석 하였다. 표3은 회귀분석의 모형 요약이다. 회귀분석 모형의 R Square 값을 확인해 보면 0.870 으로서 회귀 모형의 전반적인 설명력이 꽤 높다고 할 수 있다.

<표 4>는 회귀식에 대한 분산분석이다. 회귀모형의 13가지 독립변인들은 사고자수와 사망자수에 대하여 F=15.915 이고 유의확률은 0에 가까우므로써 1차 선형 회귀 모델이 유의함을 알 수 있다.

<표 3> 회귀분석의 모형 요약

| R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|------|----------|-------------------|----------------------------|
| .963 | .928 | .870 | 17.75797 |

<표 4> 회귀모형에 대한 분산분석

| 모형 | 제곱합 | 자유도 | 평균제곱 | F | 유의확률 |
|------|----------|-----|----------|--------|------|
| 회귀모형 | 65243.27 | 13 | 5018.713 | 15.915 | 0 |
| 잔차 | 5045.53 | 16 | 315.346 | | |
| 합계 | 70288.8 | 29 | | | |

<표 5> 선형회귀추정식의 계수값 검정

| Model | 계수a | | | | t | Sig. |
|-----------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--|--------|------|
| | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | | | |
| | B | Std. Error | Beta | | | |
| (상수) | 449.690 | 10.183 | | | 44.160 | .000 |
| 조직관리 | 81.806 | 120.703 | .145 | | .678 | .508 |
| 인사관리 | 679.328 | 189.673 | 1.339 | | 3.582 | .002 |
| 노사관리 | -244.441 | 148.615 | -.387 | | -1.645 | .120 |
| 종합안전대책 수립 및 시행 | -1491.593 | 360.155 | -2.917 | | -4.142 | .001 |
| 승객수송 계획 및 관리 | -1332.319 | 372.599 | -1.693 | | -3.576 | .003 |
| 열차지연율 | -124.214 | 176.340 | -.196 | | -.704 | .491 |
| 안전사고 관리 | -29.785 | 121.629 | -.067 | | -.245 | .810 |
| 승객수송인원 | 2436.328 | 556.336 | 4.163 | | 4.379 | .000 |
| 사업수익 목표달성률 | 137.748 | 498.269 | .272 | | .276 | .786 |
| 영업수지비율 | -126.712 | 232.303 | -.249 | | -.545 | .593 |
| 직원1인당 매출액 | 1162.193 | 511.791 | 2.709 | | 2.271 | .037 |
| 공기업정책 및 운영지침 준수 | 354.819 | 181.781 | .536 | | 1.952 | .069 |
| 고객만족도 (고객평가) | -1693.196 | 422.602 | -3.238 | | -4.007 | .001 |

1차 선형회귀추정에 사용되는 각 요인의 계수값 들에 대한 검정은 <표 5>와 같다. 13개의 독립변인중 가장 유의한 요인은 승객수송인원 으로서 t값이 4.379 유의확률이 0에 가까움을 알 수 있고 그 다음으로 종합 안전대책 수립 및 시행의 t값이 -4.142로써 유의확률이 0에 가까움을 알 수 있다. 이때 중요한 점은 유의확률 5% 미만인 변인들은 인사관리, 종합 안전대책 수립 및 시행, 승객수송 계획 및 관리, 승객수송인원, 직원 1인당 매출액 그리고 고객 만족도 이고, 유의하지 않은 변인들은 조직관리, 노사관리, 열차지연율, 안전사고 관리, 사업수익 목표달성률, 영업수지비율, 공기업 정책 및 운영지침 준수 이다. 또한 이 회귀식의 종속변인은 사고자 수와 사망자 수의 합이고 독립변인은 경영평가 자료의 변인들이기 때문에 유의하지 않은 독립변인인 조직관리, 노사관리, 열차지연율, 안전사고 관리, 사업수익 목표달성률, 영업수지비율, 공기업 정책 및 운영지침 준수는 종속변인인 사고자 수와 사망자 수에 큰

영향을 미치지 않는다고 해석할 수 있다. 또한 <표 6>에서 유의한 요인의 표준화 β계수를 살펴보면 인사관리 β = 1.339, 종합 안전대책 수립 및 시행 β = -4.142, 승객 수송계획 및 관리 β = -1.693, 승객수송인원 β = 4.163, 직원 1인당 매출액 β = 2.709, 고객만족도 β = -3.238 로써 회귀분석의 종속변인이 사고자 수와 사망자 수의 합이므로 표준화 β 계수가 양인 요인들은 사고자 수와 사망자 수를 높이는 요인 혹은 손실요인으로 β 계수가 음인 요인들은 사고자 수와 사망자 수를 낮추는 요인 혹은 이익요인으로 해석 할 수 있다. 이때 사고자수와 사망자수의 추정 방정식은 식2로 표현 된다. 또한 회귀식 에서와 같이 표준화 계수들은 독립변인에 곱하여 종속 변인에 영향을 미치므로 각 독립변인의 가중치라 해석 할 수 있다. 따라서 종속변인인 사고자 수에 영향을 미치는 표준화 계수β 는 TOPSIS 분석의 가중치로 사용될 수 있다.

<표 6> 유의한 표준화 베타계수

| | 인사 관리 | 종합안전 대책 수립 및 시행 | 승객수송 계획 및 관리 | 승객수 송인원 | 직원1인 당 매출액 | 고객만 족도(고 객평가) |
|---|-------|-----------------|--------------|---------|------------|---------------|
| β | 1.339 | -2.917 | -1.693 | 4.163 | 2.709 | -3.238 |

$$y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 F_{i,j1} + \beta_2 F_{i,j2} + \beta_3 F_{i,j3} + \beta_4 F_{i,j4} + \beta_5 F_{i,j5} + \beta_6 F_{i,j6}$$

단, i : 지하철운영기관 1, ..., l
 j : 년도 2006, ..., m
 k : 유의한기준요인 1, ..., n
 y_{ij} : i 운영기관, j 년도의 예측사고자수와 사망자수 합
 β_k : k 번째 표준화 회귀 계수
 F_{ijk} : i 운영기관, j 년도의 k 번째 표준화데이터 (2)

3.1.4 TOPSIS 분석

TOPSIS분석을 하기 위해서 다음의 4단계를 거친다.

① 우선순위 결정을 위한 가중치 매트릭스 작성

<표 7>은 TOPSIS 분석을 하기 위한 기초자료로써 운영기관별 요인 점수와 요인에 대한 가중치 곱의 평균 점수들이다. 요인점수와 가중치와의 곱은 다음의 식 3과 같이 구한다.

$$v_{ik} = \frac{\sum_{j=2006}^m w_k r_{ij}}{m - 2006}$$

단, i : 지하철운영기관 1, ..., l
 j : 년도 2006, ..., m
 k : 유의한기준요인 1, ..., n
 r_{ij} : i 운영기관, j 년도요인 점수의 평균이다
 w_k : k 요인의 가중치이다
 v_{ik} : i 운영기관의 가중치 표준화 평균값이다 (3)

<표 7>에서 보면 독립변인별 분류로 손실과 이익변인으로 구분해 놓았음을 알 수 있다. 손실부분변인인 인사관리, 승객수송인원 그리고 직원 1인당 매출액은 각각의 변인에 대한 가중치가 종속변인인 사고자 수에 대하여 양의 값을 가지고 있기 때문에 사고자 수를 늘리게 되는 손실적인 측면을 띄고 있는 변인들이고, 이익부분변인인 종합 안전대책 수립 및 시행, 승객수송 계획 및 관리 그리고 고객 만족도 변인의 가중치는 음의 값을 가지고 있기 때문에 종속변인에 대하여 이익 측면을 띄고 있다.

<표 7> 가중치 표준화 평균값

| 독립변인 | 인사관리 | 종합안전대책 수립 및 시행 | 승객수송 계획및관리 | 승객수송인원 | 직원1인당 매출액 | 고객만족도 (고객평가) |
|------|-------|----------------|------------|--------|-----------|--------------|
| 운영기관 | 손실 | 이익 | 이익 | 손실 | 손실 | 이익 |
| | 분류 | | | | | |
| A공사 | 0.200 | 0.427 | 0.281 | 0.754 | 0.359 | 0.482 |
| B공사 | 0.200 | 0.441 | 0.281 | 0.760 | 0.339 | 0.530 |
| C공사 | 0.191 | 0.397 | 0.264 | 0.743 | 0.313 | 0.526 |
| D공사 | 0.327 | 0.798 | 0.401 | 0.895 | 0.810 | 0.563 |
| E공사 | 0.226 | 0.458 | 0.289 | 0.826 | 0.357 | 0.614 |
| F공사 | 0.275 | 0.505 | 0.326 | 0.799 | 0.377 | 0.718 |

② Ideal Solution 과 Negative Ideal Solution 설정

Ideal Solution(IS)이란 우선순위를 구분하고자 하는 대상들의 독립변인들이 취할 수 있는 가장 높은 값을 의미한다. 예를 들어 고객만족도 평가결과를 <표 7>에서 확인해보면 우선순위 구분 대상들이 취한 가장 낮은 점수는 0.482 이고 가장 높은 점수는 0.718 이다. 따라서 고객만족도는 이익 측면의 변인이기 때문에 현실적으로 모든 대상들이 0.718이라는 점수를 취할수 있는 여지가 있음을 알 수 있고 이를 IS라 한다. 또한 모든 대상들이 0.482 점수를 취할수 있기에 이를 Negative Ideal Solution(NIS)이라 한다. IS와 NIS는 가중치 표준화 값들 중에서 다음의 식4 와 같이 구성된다. 다음의 <표 8>은 IS와 NIS를 나타낸 표이다.

$$IS = \left\{ \begin{aligned} &v_1^{IS}, v_2^{IS}, \dots, v_k^{IS}, \dots, v_n^{IS} \\ &= \left\{ \left(\max_i v_{ik} \mid k \in K_1 \right) \mid i = 1, \dots, n \right\} \\ &= \left\{ \left(\min_i v_{ik} \mid k \in K_2 \right) \mid i = 1, \dots, n \right\} \end{aligned} \right.$$

$$NIS = \left\{ \begin{aligned} &v_1^{NIS}, v_2^{NIS}, \dots, v_k^{NIS}, \dots, v_n^{NIS} \\ &= \left\{ \left(\min_i v_{ik} \mid k \in K_1 \right) \mid i = 1, \dots, n \right\} \\ &= \left\{ \left(\max_i v_{ik} \mid k \in K_2 \right) \mid i = 1, \dots, n \right\} \end{aligned} \right.$$

단, i : 지하철운영기관 1, ..., l
 k : 독립변인 1, ..., n
 v_{ik} : i 운영기관 k 독립변인의 가중치 표준화 값
 K_1 : 이익특성요소그룹
 K_2 : 손실특성요소그룹
 IS : Ideal Solution
 NIS : Negative Ideal Solution

<표 8> IS and NIS

| | 인사 관리 | 종합안전 대책 수립 및 시행 | 승객수송 계획 및 관리 | 승객수 송인원 | 직원1인 당 매출액 | 고객만 족도(고 객평가) |
|-----|----------|-----------------------|--------------------|------------|------------------|---------------------|
| IS | 0.191 | 0.798 | 0.401 | 0.743 | 0.313 | 0.718 |
| NIS | 0.327 | 0.397 | 0.264 | 0.895 | 0.810 | 0.482 |

③ Measured Separation Value 계산

Measured Separation Value(MSV)란 우선순위 분석의 대상들이 취한 각 변인별 점수들이 IS와 NIS 값에서 떨어진 정도를 의미한다. 물론 독립변인들의 점수와 IS와의 차이가 작다면 이익측면에서 높은 점수를 받았다는 의미이고 NIS차이가 작다면 손실측면에서 낮은 점수를 받았다는 의미이다. MSV는 다음의 식5로 계산된다.

$$MSV_i^{IS} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (v_{ik} - v_k^{IS})^2}, \quad MSV_i^{NIS} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (v_{ik} - v_k^{NIS})^2}$$

단, i : 지하철운영기관 1, ..., l
 k : 독립변인 1, ..., n
 MSV_i^{IS} : i 운영기관의 이상적인 솔루션
 MSV_i^{NIS} : i 운영기관의 최악의 솔루션

<표 9> Measured Separation Value

| 지역 | A공사 | B공사 | C공사 | D공사 | E공사 | F공사 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| MSVIS | 0.458 | 0.422 | 0.465 | 0.559 | 0.386 | 0.325 |
| MSVNIS | 0.491 | 0.491 | 0.539 | 0.431 | 0.492 | 0.520 |

④ Relative Distance 계산

Relative Distance(RD)란 각 운영기관과 MSV인 이상적인솔루션 혹은 최악의 솔루션과의 상대적 거리를 의미한다. RD는 다음의 식6으로 계산된다.

$$RD_i = \frac{MSV_i^{NIS}}{(MSV_i^{IS} + MSV_i^{NIS})}$$

단, i : 지하철 운영기관 1, ..., l

다음의 <표 10>을 보면 각 운영기관의 상대적 안전성을 확인할 수 있다. 이상적인솔루션에서 가장 가까운 값을 가지고 있고 최악의 솔루션에서 가장 먼 값을 가지고 있는 운영기관이 F공사이고 다음으로 E공사, B공사, C공사, A공사, 그리고 D공사 순으로 나타났음을 확인할 수 있다. 따라서 광역시별 지하철 운영기관의 안전성에 관한 경쟁력은 F공사가 가장 높다는 점을 알 수 있다.

<표 10> 각 운영기관의 Relative Distance

| 지역 | A공사 | B공사 | C공사 | D공사 | E공사 | F공사 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| RD | 0.517 | 0.538 | 0.537 | 0.435 | 0.560 | 0.615 |

3.2 TOPSIS결과에 따른 민감도 분석

본 연구는 국내 광역시별 지하철 운영기관의 상대적 안정성을 측정하기 위하여 공기업 경영평가 자료를 활용하였다. 경영평가 내에 있는 여러 변인들을 동시에 고려하여 가장 경쟁력 있는 지하철 운영기관을 선정할 수 있는 TOPSIS 기법을 사용하였다. 그 결과로 F공사가 상대적 안정성에 있어서 가장 높은 순위로 결정되었다. 따라서 다른 운영기관들은 F공사보다 상대적으로 어떤 부분에서 취약점이 있고 안정성 순위를 높이기 위한 효과적인 대안이 무엇인지를 확인할 필요가 있다.

우선 운영기관 개별적으로 지하철 안전을 고려한 새로운 경영전략을 수립하기 위해서 각각의 독립변인에 대한 민감도 분석을 실시하여 각 운영기관별로 안정성에 영향을 미치는 독립변인에 대한 정보를 수집해야 한다. 민감도분석은 경영평가 자료의 가중치 표준화 데이터에서 비교하고자 하는 운영기관의 독립변인 한 개의 데이터만 60%~140% 까지 변화 시키는 방법으로 모든 독립변인에 대하여 민감도를 측정하여 보았다. 다음 <표 11>은 TOPSIS 결과에서 상대적 순위가 가장

낮은 기관이었던 D공사에 대한 민감도 분석이다. D공사의 안전성에 영향을 미치는 독립변인 6개중 변인 1개씩을 변화시켜 TOPSIS결과 변화를 확인하였다. 주요한 점은 두 번째 변인인 종합안전대책 수립 및 시행에 대한 변화 그래프를 확인해보면 가중치 표준화 데

이터의 140% 정도로 높아지면 TOPSIS결과가 1위로 순위변동을 하게 됨을 알 수 있다. 또한 4번째 요인인 직원 1인당 매출액부분에 있어서도 가중치 표준화 데이터의 60% 정도로 낮아지면 TOPSIS결과가 1위로 순위변동을 하게 됨을 알 수 있다.

<표 11> 상대적 안전성 우선순위에 관한 민감도 분석

| 요인 | 지역 | 60% | 80% | 100% | 120% | 140% | 비고 |
|--------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| 인사관리 | A공사 | 0.512 | 0.512 | 0.517 | 0.526 | 0.534 | |
| | B공사 | 0.533 | 0.532 | 0.538 | 0.546 | 0.555 | |
| | C공사 | 0.533 | 0.532 | 0.537 | 0.544 | 0.552 | |
| | D공사 | 0.448 | 0.441 | 0.435 | 0.429 | 0.422 | |
| | E공사 | 0.556 | 0.556 | 0.560 | 0.568 | 0.576 | |
| | F공사 | 0.612 | 0.613 | 0.615 | 0.620 | 0.626 | |
| 종합안전대책 수립 및 시행 | A공사 | 0.634 | 0.581 | 0.517 | 0.470 | 0.435 | |
| | B공사 | 0.674 | 0.612 | 0.538 | 0.484 | 0.446 | |
| | C공사 | 0.668 | 0.604 | 0.537 | 0.489 | 0.455 | |
| | D공사 | 0.250 | 0.355 | 0.435 | 0.489 | 0.527 | |
| | E공사 | 0.721 | 0.647 | 0.560 | 0.500 | 0.458 | |
| | F공사 | 0.787 | 0.720 | 0.615 | 0.542 | 0.493 | |
| 승객 수송계획 및 관리 | A공사 | 0.525 | 0.525 | 0.517 | 0.505 | 0.492 | |
| | B공사 | 0.547 | 0.546 | 0.538 | 0.524 | 0.509 | |
| | C공사 | 0.546 | 0.546 | 0.537 | 0.524 | 0.511 | |
| | D공사 | 0.419 | 0.425 | 0.435 | 0.450 | 0.465 | |
| | E공사 | 0.571 | 0.570 | 0.560 | 0.545 | 0.527 | |
| | F공사 | 0.624 | 0.622 | 0.615 | 0.598 | 0.578 | |
| 승객수송인원 | A공사 | 0.481 | 0.509 | 0.517 | 0.550 | 0.587 | |
| | B공사 | 0.495 | 0.529 | 0.538 | 0.570 | 0.607 | |
| | C공사 | 0.505 | 0.530 | 0.537 | 0.566 | 0.599 | |
| | D공사 | 0.498 | 0.453 | 0.435 | 0.409 | 0.378 | |
| | E공사 | 0.498 | 0.553 | 0.560 | 0.584 | 0.618 | |
| | F공사 | 0.544 | 0.606 | 0.615 | 0.639 | 0.669 | |
| 직원1인당 매출액 | A공사 | 0.356 | 0.454 | 0.517 | 0.557 | 0.584 | |
| | B공사 | 0.375 | 0.475 | 0.538 | 0.577 | 0.603 | |
| | C공사 | 0.397 | 0.483 | 0.537 | 0.571 | 0.594 | |
| | D공사 | 0.559 | 0.484 | 0.435 | 0.404 | 0.382 | |
| | E공사 | 0.396 | 0.497 | 0.560 | 0.600 | 0.625 | |
| | F공사 | 0.493 | 0.563 | 0.615 | 0.649 | 0.672 | |
| 고객만족도 (고객평가) | A공사 | 0.524 | 0.515 | 0.517 | 0.520 | 0.504 | |
| | B공사 | 0.546 | 0.536 | 0.538 | 0.540 | 0.524 | |
| | C공사 | 0.549 | 0.537 | 0.537 | 0.539 | 0.525 | |
| | D공사 | 0.386 | 0.412 | 0.435 | 0.462 | 0.486 | |
| | E공사 | 0.590 | 0.565 | 0.560 | 0.560 | 0.547 | |
| | F공사 | 0.654 | 0.624 | 0.615 | 0.613 | 0.606 | |

4. 결 론

6개 지하철 운영기관의 안전성을 TOPSIS를 이용하여 측정된 결과 안전성의 순위는 F공사, E공사, B공사, C공사, A공사, D공사 순으로 나타났다. 업종 전체의 안전성을 높이기 위해서 가장 효과적인 방법은 안전성 순위가 낮은 기업을 관리하여 업종전체 안전성의 평균을 올리는 방법이라 할 수 있다. 따라서 가중치 표준화 평균값을 토대로 제시된 6개 항목으로 인사관리, 종합안전대책 수립 및 시행, 승객수송 계획 및 관리, 승객수송인원, 직원인당 매출액, 고객만족도를 기준으로 광주도시철도공사에서 민감도분석의 결과를 기초로 안전성을 높일 수 있는 방안을 제시하고자 한다. D공사의 민감도에 따른 안전성의 변화량의 결과 종합안전대책 수립 및 시행, 승객수송인원, 직원인당 매출액 3개 항목에서 변화량에 따라 순위변동이 있는 것을 확인할 수 있다. 종합안전대책 수립 및 시행의 경우 기존 투자량이 100%일 경우 140%로 증가시키면 안전성 순위가 1위로 변화함을 알 수 있다. 이는 종합 안전대책 수립 및 시행이 증가하면 사고자 수가 감소하는 결과라 예측할 수 있다. 안전성 향상을 위하여 종합안전대책 수립 및 시행을 새로이 계획할시 재해예방을 위하여 기존에 시행했던 교육, 홍보캠페인, 무재해 운동 등에 대한 효과 및 수준을 평가하여 취약한 부분을 도출하며, 이를 개선하기 위한 활동에 투자역량을 집중시켜 안전성을 향상 시켜야 한다. 또한 직원인당 매출액은 현재의 매출액 100%에서 60%로 감소시킬 경우 안전성 순위가 1위로 변화하였다. 현재 철도운영기관에서는 업무간소화, 자동화, 무인화 등의 정책을 통하여 근무인력을 감소시키는 추세이기에 사실상 직원 1인당 매출액을 감소시키는 것은 상당히 어려운 실정이다. 따라서 전문인력이 필요한 부분에 대한 사전조사를 통하여 추가인력의 공급 및 배치를 적절히 시행하고 이미 인력이 배치된 분야에 대해서는 전문과정의 교육 등의 투자를 유도함으로써 전반적인 안전관리 분야에 대한 재투자를 통하여 안전수준을 향상시킬 수 있다.

본 연구에서는 기존의 안전성을 평가하는 선행연구와는 달리 공통된 지표관리를 통하여 신뢰할 수 있는 공기업 경영평가 자료를 기초로 다기준의사결정법 중에서 TOPSIS기법을 적용하여 독립적으로 운영되고 있는 우리나라 광역시별 6개 지하철 운영기관을 대상으로 안전에 영향을 미치는 특정한 요인들을 찾을 수 있다는데 의미가 있다고 하겠다. 즉, 서로 독립적으로 운영되는 지하철 운영기관이라 할지라도 공통된 지표의 조사와 관리가 가능하다면 TOPSIS기법을 이용하여 지하철 운영기관별 안전성을 평가할 수 있다. 추후 독립적인 각 운영기관별로 공통된 항목을 도출하고 신뢰할

만한 기초자료를 확보하여 연구를 진행한다면 더욱 의미있는 결과를 얻을 것으로 생각된다.

5. 참 고 문 헌

- [1] 김길동, "지하철 역사 안전사고 조사를 통한 유형 분석에 관한 연구", 대한전기학회 EMECS학회 추계학술대회논문집, 2005
- [2] 김종래, "TOPSIS 기법을 이용한 공급자 선정 방법", 한국경영과학회, vol.14, No.2, 1997
- [3] 김준석, "TOPSIS를 이용한 서비스품질 측정 및 평가", 한국경영학회 통합학술대회, 2010
- [4] 김진규, "승강장 스크린도어 설치 후 안전성 향상에 관한 연구", 서울산업대학교 산업대학원 석사학위논문, 2008
- [5] 김철현, "특히의 co-classification 분석을 이용한 기술간 연결 관계 파악: TOPSIS 기반접근", 대한산업공학회 추계학술대회 논문집, 2006
- [6] 박상록, "철도안전관리를 위한 안전지표 선정에 관한 연구", 한국철도학회 학술대회논문집, 2006
- [7] 박상길, "시뮬레이션 기반 제조물류시스템 설계", 울산대학교 자동차선박기술대학원 석사학위논문, 2009
- [8] 박태근, "F-AHP평가수법을 적용한 고속전철 안전성의 평가", 한국철도학회 학술대회논문집, 2004
- [9] 송보영, "철도안전도 평가지표 개발에 관한 연구", 한국철도학회논문집, vol.12, No.4, 2009
- [10] 여규동, "수자원사업 대안선정 및 투자우선순위결정을 위한 다기준의사결정모형 개발", 인하대학교 대학원 박사학위논문, 2011
- [11] 오인택, "국내 철도안전관리체계 개선에 관한 연구", 서울산업대학교 철도전문대학원 박사학위논문, 2009
- [12] 이종열, "지하철 이용고객의 서비스 만족도에 미치는 영향 요인에 관한 연구(인천지하철을 중심으로)", 한국정책연구, vol.9, No.2, 2009
- [13] 이종필, "지하철 이용고객의 안전사고 감소방안에 관한 연구", 서울시립대학교 도시과학대학원 석사학위논문, 2009
- [14] 임승수, "국제기준 비교에 의한 한국고속철도 운행안전관리 인증방안 연구", 대구대학교 산업대학원 석사학위논문, 2008
- [15] 왕중배, "건설교통 안전관리 개선방안 철도안전부문 연구", 건설교통부, 2008
- [16] 한석윤, "계층분석적의사결정(AHP) 수법을 이용한 지하철의 안전성 평가", 한국철도학회 학술대회논문집, 2004
- [17] 홍선호, "철도안전성 평가 및 분석프로그램 연구개발", 건설교통부, 2007
- [18] 황철승, "승강장안전문이 설치된 지하철 터널내 열차 화재시 승객안전 확보방안 연구", 연세대학교 공학대학원 석사학위논문, 2007

저 자 소 개

박 해 천



현재 조선대학교 산업공학과 교수, 대학원 산업안전공학과 주임 교수, 중앙노동위원회 공익위원으로 재직중이며 주요관심분야는 안전공학, 생산관리, TPM 등이다.

주소 광주광역시 동구 서석동 375번지 조선대학교 산업공학과

이 경 훈



현재 조선대학교 산업공학과 시간강사, 대학원 산업안전공학과 박사과정을 수료하였으며, 주요관심분야는 안전공학이다.

주소 광주광역시 동구 서석동 375번지 조선대학교 산업안전공학과