

다속성 효용이론을 활용한 터널환기방식 선정

Decision Making Methodology on Ventilation System for Road Tunnels Based on Multi-Attribute Utility Theory

이혜진* 서종원** 강상혁*** 박원영****

Lee, Hye-Jin Seo, Jong-Won Kang, Sang-Hyeok Park, Won-Young

요 약

산업이 발전함에 따라 도로 터널의 사이즈와 길이는 계속적으로 증가해 왔으며 그에 따른 터널에서의 리스크 또한 증가되었다. 도로터널에서 환기방식을 결정할 때는 다양하고 많은 고려사항을 염두에 두어야 한다. 현재로서는 이러한 것들을 체계적으로 고려하여 의사결정을 지원할 수 있는 방법론 내지 시스템이 제대로 구축되어 있지 않은 실정이며 대부분 전문가의 경험을 바탕으로 한 주관적 판단에 의존하고 있다. 본 연구에서는 기존의 경제성 내지 주관적 판단에 국한하여 의사결정이 이루어지던 관행에서 벗어나 안전성, 환경친화성 등도 충분히 고려하여 결정을 내릴 수 있도록 터널별 최적의 환기방식을 선정하기 위한 일련의 절차와 기준을 제시하였다. 이 때 다속성 효용이론과 AHP기법을 적절히 활용하여 전문가 및 설계자의 주관적/정성적 평가를 객관적/정량적으로 측정할 수 있도록 하였으며, 환기 방식별 종합적 효용을 산출할 수 있는 함수를 도출하기까지의 방법론을 제시하였다. 본 논문에서 제시하는 방법론을 바탕으로 보다 합리적인 의사결정이 이루어질 것을 기대한다.

키워드 : 다속성효용이론, 터널환기방식, 의사결정시스템, AHP기법

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

산업이 발전함에 따라 도로 터널의 사이즈와 길이도 계속적으로 증가해 왔으며 그에 따른 터널에서의 리스크 또한 증가되었다. 그러므로 터널로의 안정적인 공기순환을 위해서 뿐 아니라 사고로 인한 화재 사고와 같은 비상사태에 대비하기 위해 터널의 적절한 환기 시스템이 요구된다. 도로터널에서 환기방식을 결정할 때는 고려해야 할 사항들이 매우 많다. 가령, 소요환기량

에 따른 환기 용량의 결정이라든지, 초기비용과 유지관리비용의 적정성에 대해서도 판단을 내려야 하며, 또한 화재시 제연 및 배연을 수월하게 할 수 있는지, 그리고 교통지체시 대응능력에 대한 평가도 고려해야 한다. 그 외 크고 작은 속성들을 모두 고려하여 최적의 환기방식을 결정하는 것은 매우 복잡한 일이다.

AHP(Analytic Hierarchy Process) 기법이나 다속성 효용이론(Multi Attribute Utility Theory, 이하 MAUT) 등은 주관적/정성적 평가를 객관화/정량화하여 다기준 의사결정 문제를 해결하는 기법으로써 본 연구에서는 위 두 가지 방법을 활용하여 도로터널에서 최적의 환기방식을 선정하는 의사결정 방법론을 제시하였다.

이런 다양한 조건을 최대한으로 만족시키는 환기방식을 선정하기 위해 본 연구에서는 초기 설계단계에서 도로터널의 환기방식 선정 시 고려되어야 할 속성을 파악하여 각 속성에 대한 효용함수를 도출하였다. 그리고 이것들이 통합된 다속성 효용함수를 이끌어 내 환기 시스템별 종합적 효용을 산출할 수 있는 함수를 제시하고, 통합된 다속성 효용함수 도출까지의 과정을 체계화하였다.

* 일반회원, 한국시설안전공단 기술사업단 기술개발실 연구원, oasispia@naver.com

** 중신회원, 한양대학교 토목공학과 조교수, 공학박사(교신저자), jseo@hanyang.ac.kr

*** 일반회원, 한양대학교대학원 박사과정, lifesine@yahoo.co.kr

**** 일반회원, 한양대학교 대학원 석사과정, parkwonyoung@gmail.com

또한 터널에 따른 최적의 환기방식을 선정하기 위해 MAUT와 AHP를 기반으로 하여 다양한 고려사항들 간의 관계 및 그것들의 상대적 중요도 등을 분석하는 기준과 방법을 제시하였다.

1.2 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 터널별 최적의 환기방식을 선정하기 위한 일련의 절차와 기준을 제시하였다. 이 때 다속성 효용이론을 적용하여 5개의 세부 목표 하에 총 15개의 속성을 토대로 하여 항목별로 정량화된평가를 내렸으며 속성별 평가 기준을 제시하였다. 또한 제시된 분석 절차를 사례에 적용하여 방법론의 적용성을 검토하였다.

2. MAUT

다속성효용모델은 주관적 평가모델 혹은 다기준모델 등으로 명명되는 이론으로 대안의 효용을 하나의 정량적인 수치로 전환하는데 활용하는 기법이다(George 1974). 본질적으로 MAUT는 선호에 대한 일련의 공리적 이론들이며 각 이론의 중심내용은 다음과 같다. 사람들이 자신의 선호에 근거한 선택을 할 수 있고 이러한 선택들이 공리를 만족시킨다면 효용이나 가치는 숫자로 표현될 수 있으며 더 큰 값을 갖는 것이 보다 선호되도록 효용함수를 구성할 수 있다. 특히 이 기법은 대안의 효용을 얻기 위해 효용모델을 다수의 속성으로 구분하고 이를 다수의 기준에 따라 평가함으로써, 복잡한 의사결정과정에 대한 통찰력을 얻는데 유용하게 사용되는 방법이며, 통계적 의사결정 이론으로부터 개념적인 구조를 도입하고 있다. MAUT는 통계학, 심리학, 경영과학, 의사결정이론 등에서 발달된 여러 기법에 근거하고 있으며, 발전소 입지, 수자원 개발과 같은 대규모 프로젝트에 대한 공학적, 경영학적 의사결정에 주로 적용되어 왔으며 최근에는 환경, 반도체, 정보통신 등의 의사결정에 폭넓게 사용되고 있다(Edwards etc. 1987).

이론과 실제에 있어서 다양한 MAUT 적용절차가 존재하지만, 본 논문에서는 그림 1에 보인 5단계의 절차에 따라 MAUT를 터널에 따른 최적의 환기방식 선정에 적용하여 환기 시스템 결정에 있어 고려되는 다양한 속성의 수준과 속성변화에 따른 의사결정자의 선호를 반영하는 다속성 효용함수(Multi-Attribute Utility Function)를 도출하였다.

3. 최적의 환기방식 선정에 위한 MAUT의 적용

3.1 구체적 목표와 속성의 식별

도로터널에서 안정적인 환기와 배연이 가능한 최적의 환기방

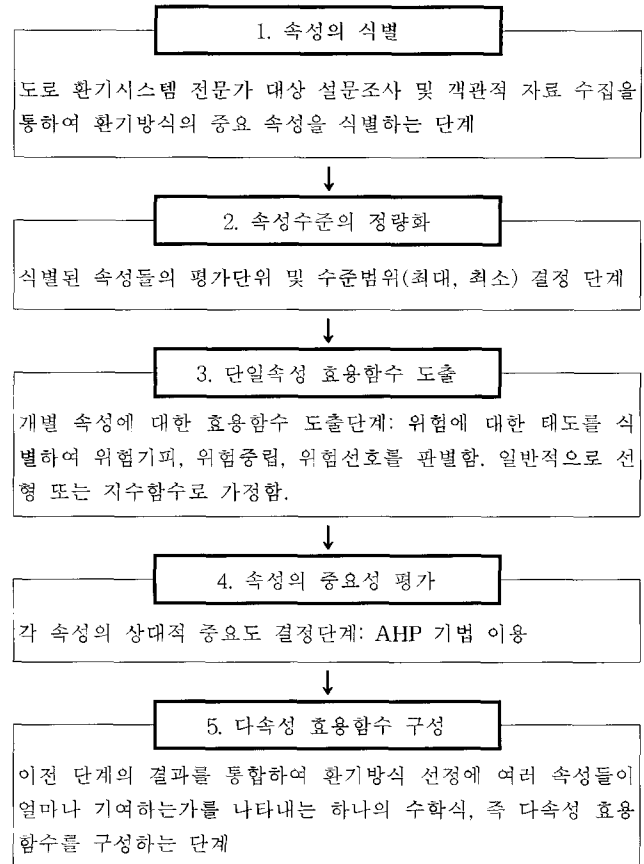


그림 1. 다속성 효용함수 적용절차

식 선정에 고려되는 주요 속성들을 결정하는 단계로, 다속성 효용함수를 도출하여 대안을 평가하는 단계와 직접적으로 연관되는 중요한 단계이다. 터널별 최적의 환기방식 선정에 위한 세부 목표와 목표별 속성들을 도출하기 위해 우선 국내·외의 여러 문헌을 토대로 환기방식에 영향을 미치는 모든 요소들을 1차적 속성으로 추출해 냈다. 그 후 도로터널 환기관련 전문가들의 설문과 면담을 통해 추출된 속성들을 수정·보완하여 분석에 이용가능한 주요 속성을 도출하였다. 결정된 최종 속성집합은 표 1에 제시되어 있으며 5개의 목표 아래 총 15개의 속성으로 구성되어 있다.

3.2. 속성수준의 정량화 및 표준화

속성수준의 정량화 단계는 대안을 평가하기 위해 마련된 속성들이 각기 다른 차원을 갖고 있어 이러한 속성들을 같은 차원의 측정치로 변환시켜 통일된 차원으로 표현하는 단계이다. 속성수준의 정량화를 수행하기 위해서는 평가기준을 같은 단위의 측정치로 변환시켜야 한다. 일반적으로 다양한 측정단위를 가지는 평가기준이 되는 변수를 표준화시키는 방법은 기준의 정보유형이 확실성을 지닌 속성인지 불확실성을 포함한 속성인지에 따라

표 1. 연구에 채택된 목적과 속성

| 목 표 | 속 성 |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 기본자원 적합성 최대화 | 1.1 교통방식 및 연장에 따른 환기방식의 적합성 1.2 외부 기류 변화에 대한 대응성 1.3 소요 환기량 대비 환기기 용량에 대한 효율 |
| 2. 경제성 최대화를 위한 비용관리 | 2.1 초기비용의 최소화 2.2 유지관리비용의 최소화 |
| 3. 터널 내 안전성 극대화 | 3.1 화재시 제연을 위한 환기팬 운전제어의 안전성 극대화 3.2 교통량 증가 및 지체발생에 따른 대응 능력 극대화 3.3 화재시 비상전원에 의한 안전성 극대화 3.4 환기방식별 화재사고 및 인명피해 가능성 3.5 장래 교통변화에 따른 시설확장 용이성 3.6 열기류의 방향성 제어에 대한 안정성 |
| 4. 시공용이성 최대화 | 4.1 국내 고속도로 및 도로터널에서의 환기방식별 적용 현황 4.2 환기방식별 시공의 용이성 |
| 5. 환경훼손의 최소화 | 5.1 환기설비 설치로 인한 자연 훼손 최소화 5.2 오염물질 배출 처리로 인한 주변환경 오염의 최소화 |

표 2. 속성의 평가단위 및 평가기준 설명

| 속 성 | 평 가 기 준 (평가단위) |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 1. 기본자원 적합성 최대화 | |
| 1.1 교통방식 및 연장에 따른 환기방식의 적합성 | 교통방식 및 연장별 권장 환기방식으로 평가 (매우높음, 높음, 보통, 낮음, 매우낮음) |
| 1.2 외부기류 변화에 대한 적합성 | 터널 외부기류 변화에 대한 환기방식의 안정성으로 평가 (매우높음, 높음, 보통, 낮음, 매우낮음) |
| 1.3 소요환기량 대비 환기기 용량에 대한 효율 | 소요환기량 대비 환기기 용량에 대한 효율의 적정성 판단 (%) |
| 2. 경제성 최대화를 위한 비용관리 | |
| 2.1 초기비용 최소화 | 초기 기계분야의 공사비용을 제트팬 비용을 기준으로 평가 (%) |
| 2.2 유지관리 비용의 최소화 | 소요동력을 이용하여 제트팬 비용을 기준으로 비용 계산 (%) |
| 3. 터널 내 안전성 극대화 | |
| 3.1 화재시 제연을 위한 환기팬 운전제어의 안전성 극대화 | 환기팬의 운전제어 및 기류의 변화에 소요되는 시간으로 측정 (높음, 보통, 낮음) |
| 3.2 교통량 증가 및 지체발생에 따른 대응 능력 극대화 | 교통량 증가 및 지체발생에 따른 환기방식의 환기능력으로 평가 (높음, 보통, 낮음) |
| 3.3 화재시 비상전원에 의한 안전성 극대화 | 환기방식별 비상전원의 유무에 따른 안전성으로 평가 (안정, 불안정) |
| 3.4 환기방식별 화재사고 및 인명피해 가능성 | 환기방식별 사고 화재사고 및 사상자수에 기초하여 평가 (높음, 보통, 낮음) |
| 3.5 장래 교통변화에 따른 시설확장 용이성 | 환기 시스템 설치 이후 교통량 변화에 따른 증설 및 변경의 용이성 평가 (높음, 보통, 낮음) |
| 3.6 열기류의 방향성 제어에 대한 안정성 | 화재시 열기류의 방향성 제어의 용이성으로 평가 (매우높음, 높음, 보통, 낮음, 매우낮음) |
| 4. 시공용이성 최대화 | |
| 4.1 국내 고속도로 및 도로터널에서의 환기방식별 적용 현황 | 국내 고속도로 및 도로터널의 적용 현황으로 평가 (%) |
| 4.2 환기방식별 시공의 용이성 | 환기방식 설치시 용이성으로 평가 (매우높음, 높음, 보통, 낮음, 매우낮음) |
| 5. 환경훼손의 최소화 | |
| 5.1 환기설비 설치로 인한 자연 훼손 최소화 | 환기방식 설치시 주변환경의 훼손정도로 평가 (매우높음, 높음, 보통, 낮음, 매우낮음) |
| 5.2 오염물질 배출 처리로 인한 주변환경 오염의 최소화 | 환기방식별 오염물질의 처리능력으로 평가 (높음, 보통, 낮음) |

달라진다. 변수가 확실성을 지닌 경우 결정론적인 방법을 적용하는데 이 방법은 선형적 변형방법과 가치/효용함수 등이 이용된다. 불확실성을 포함한 경우는 확률이론에 근거한 방법이나 퍼지함수를 이용한 방법을 사용한다. 환기 시스템 선정에서는 효용함수를 이용한 결정론적인 방법을 적용하여 선택된 속성에 대한 잠재적인 범위를 가장 좋은 수준에서 가장 나쁜 수준까지 정하는 단계로 원 자료와 최소값 간의 차이를 변수의 전체 범위(최대-최소)로 나누어 표준화점수를 산출한다.

3.2.1. 속성별 평가기준

일반적으로 환기방식은 자연환기와 기계환기로 대별되는데 본 연구에서는 현재 대표적으로 채택되어 사용되고 있는 3가지 방식: 종류식(제트팬 방식, 삭칼드 방식, 수직갱 방식, 집진기 방식), 반횡류식, 횡류식으로 구분하여 설명하도록 한다. 도로터널의 일반적인 환기방식을 평가하기 위한 속성, 평가단위 및 평가기준을 표 2에 나타내었다.

3.2.2. 각 속성별 평가기준 및 근거

1) 교통방식 및 연장에 따른 환기방식의 적합성

본 연구에서는 환기방식 중 가장 일반적으로 사용되는 종류식, 반횡류식, 횡류식에 대한 환기방식별 일반적 적용연장을 알아보았으며, 세부 내용은 그림 2와 같다

표 3는 그림 2의 활용방법의 예를 보여준다. 만약 고려되는 도로터널이 2.8km 길이에 양방향터널이라면 반횡류식과 횡류식은 현재 적용이 되고 있어 추천할 만하나, 종류식(제트팬)은 그렇지 않음을 알 수 있다.

| 환기 방식 | | 연장(km) | | 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 → | | | | | | | | | |
|-------|-----|---------|----------|-----------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | 일방 | 양방 | 자연 환기 방식 | | | | | | | | | |
| 일방 | 종류식 | 제트팬식 | 자연 환기 방식 | | | | | | | | | | |
| | | 집중배기식 | | | | | | | | | | | |
| | | 종류식+집진기 | | | | | | | | | | | |
| | | 수직갱송배기식 | | | | | | | | | | | |
| | | 반횡류식 | | | | | | | | | | | |
| 양방 | 종류식 | 제트팬식 | | | | | | | | | | | |
| | | 집중배기식 | | | | | | | | | | | |
| | | 반횡류식 | | | | | | | | | | | |
| | | 횡류식 | | | | | | | | | | | |
| | | 조합방식 | | | | | | | | | | | |

■ : 현재 적용되고있음, □ : 현재 적용되고있지않음

(자료: 윤철욱 1997)

그림 2. 교통방식 및 연장별 환기방식 적용현황

표 3. 교통방식 및 연장에 따른 환기방식의 적합성판단 예

| 구분 | 종류식(제트팬) | 반횡류식 | 횡류식 |
|---------------------|----------|------|-----|
| 양방향, L=2.8km 인 도로터널 | 비추천 | 추천 | 추천 |

2) 외부기류변화에 대한 적합성

각 환기방식별 외부기류변화에 대한 영향을 표 4와 같이 비교하여 정리하였다.

표 4. 외부기류변화에 대한 적합성 평가기준 및 근거

| 구분 | 종류식 | 반횡류식 | 횡류식 |
|----|-----------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------|
| 특징 | 일방·지속적 바람에 용이 | 외기의 영향을 받으나 그 정도가 낮음 | 송·배기가 따로 설치되어 외기영향 거의 받지않음 |
| 평가 | 매우높음 | 낮음 | 높음 |
| 비고 | 외부기류 변화에 대한 환기방식의 대응성으로 평가 본 논문에서는 외기는 일방향, 지속적으로 부는 것으로 가정함 | | |

3) 소요환기량 대비 환기용량에 대한 효율의 적정성

환기계획에서 가장 중요한 사항 중 하나는 적정한 소요환기량을 산정하는 것이다. 현재 국내 고속도로상의 터널환기 설계는 PIARC(the World Road Association) 방식으로 계산하는 추세이며, 소요환기량의 산정은 매연, CO, NOx의 산정식으로 계산한다. 일정한 소요환기량에 대비하여 환기방식별 환기용량을 비교해서 표 5에 나타내었다.

표 5. 소요환기량 대비 환기용량에 대한 효율 비교

| 구분 | 종류식 | | | 반횡류식 | 횡류식 |
|-------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 집중배기식 | 종류식+집진기 | 수직갱송배기식 | | |
| 환기용량 (m³/s) | 910 | 760 | 1,115 | 1,200 | 1,200 |
| | (910/482) < 100 | (760/482) × 100 | (1,115/482) × 100 | (1,200/482) × 100 | (1,200/482) × 100 |
| 상대비교 | 188.8 | 157.7 | 231.3 | 249.0 | 249.0 |

* 양방향 터널(상행), 482m³/s(CO) 기준

4) 환기방식의 경제성

본 연구에서 제시한 터널공사에서 환기방식의 초기비용은 국내에서 환기설비관련 설계업체에서 다수의 터널에 적용한 비용을 바탕으로 한다. 개략적인 초기비용을 표 6에 나타냈다.

표 6. 환기방식별 초기비용 비교

(단위: 억원)

| | 종류식 | | | 반횡류식 | 횡류식 |
|----------|-------|---------|---------|-------|-------|
| | 제트팬식 | 종류식+집진기 | 수직갱송배기식 | | |
| 제트팬 | 6.1 | 7.6 | 4.6 | - | - |
| 축류팬 | 14.9 | 6.0 | 24.3 | 20.3 | 22.4 |
| 제진필터+집진기 | 54.6 | 56.9 | 69.0 | 36.0 | 36.0 |
| 토목공사비 | 814.6 | 846.0 | 889.7 | 819.1 | 934.1 |
| 개략총공사비 | 890.2 | 916.5 | 987.6 | 875.4 | 992.5 |

일반적으로 환기방식의 유지관리비용은 환기방식을 운영하면서 소요되는 동력에 대한 비용이 가장 큰 비중을 차지한다. 따라서 각 환기방식별 유지관리비용에 대한 비교를 위해 실제 터널 설계에서 사용되었던 환기방식별 소요동력을 알아보고, 표 7과 같이 환기방식별 유지관리비용을 비교해 보았다.

표 7. 환기방식별 유지관리비용 비교

| | 종류식 | | | 반횡류식 | 횡류식 |
|--------------------|-------|---------|---------|-------|-------|
| | 집중배기식 | 종류식+집진기 | 수직갱송배기식 | | |
| 소요동력(kw) | 1,500 | 740 | 1,920 | 2,330 | 2,320 |
| 유지관리비용 (운전비: 억원/년) | 2.60 | 1.28 | 3.33 | 4.04 | 4.03 |

5) 화재시 제연을 위한 환기팬의 운전제어 안전성 극대화

종류식의 경우 연기를 배출하지는 못하나 대피 반대방향으로 연기류를 제어함으로써 연기가 대피자를 덮치는 것을 방지할 수 있는 시스템이다. 그에 반해 횡류식은 도로터널에서 대피자가 화재의 상류와 하류 전지역에 존재할 가능성이 높은 대면(양면)

통행터널에서 효과적이다. 종류식은 정체가 발생하지 않는 일방 통행터널에서 효과적으로 제연을 수행할 수 있는 경제적인 시스템이나, 차량정체로 인해 터널내 화재지점의 상·하류에 대피자가 존재하는 경우에는 어떤 방향으로 제연을 하더라도 대피자를 위험에 처하게 할 우려가 있다.

6) 교통량 증가 및 지체발생에 따른 대응 능력 극대화

교통량 증가 및 지체발생에 따른 대응능력은 교통량 및 교통 방향에 따라 달라진다. 일반적으로 종류식의 경우 교통정체가 심하거나 대면통행터널인 경우 적용을 금지하고 있으며, 반횡류식과 횡류식은 대면통행 및 정체빈도가 높은 일방향 터널에 적용하는 것이 바람직하다(건설교통부 2004).

표 8. 교통량 증가 및 지체발생에 따른 대응 능력 비교

| | 종류식 | 반횡류식 | 횡류식 |
|----|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 특징 | 교통정체가 심한 곳, 대면통행터널에는 적용불가 | 대면통행 및 정체빈도가 높은 일방터널에 대해 적용하는 것이 바람직함 | 대면통행 및 정체빈도가 높은 일방터널에 대해 적용하는 것이 바람직함 |

7) 화재시 비상전원에 의한 안전성 극대화

환기방식에서 화재시 비상전원은 예기치 못한 정전이나 전원공급장치의 이상으로 인한 환기방식의 미작동을 예방하기 위한 장치이다. 현재 국내의 방재설비 기준에 따르면 제트팬의 경우 비상용 전원시설에 의해서 가동되도록 설계하는 것을 권고하고 있다. 그리고 연장에 따른 설치기준은 일본의 경우 500m 이상의 터널부터 비상발전설비를 설치하고 있으나, 국내는 1,000m 이상의 터널에 설치하도록 권고하고 있는 실정이다. 이와 같이 국가별 기준이 다르고, 국내에서도 건설교통부 기준과 소방관계법의 기준이 서로 다르거나, 기준 자체가 없는 것도 있어 이에 대한 기준마련이 시급하다.

이러한 점을 감안하여 본 연구에서는 환기방식 선정기준으로 화재시 비상전원에 의한 안전성을 채택하였다. 각 환기방식별 화재시 비상전원에 대한 특성을 표 9에 나타냈다.

표 9. 환기방식별 비상전원설비 비교

| | 종류식 | 반횡류식 | 횡류식 |
|----|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----|
| 특징 | 종류식 환기의 주 제연설비인 제트팬은 비상전원을 갖추고 있어 정전 등의 비상시 제연이 가능하다. | 현 기준에 의하면 배기 또는 급기목적의 대형 축류팬은 비상전원시설이 없기 때문에 터널 정전시 배연이 불가능할 수 있다. | |

8) 환기방식별 화재사고 및 인명피해 가능성

도로 터널구조물은 규모의 대형화 및 장대화 경향을 보이고 있

으며, 터널내 교통량 급증으로 인해 터널내의 사고발생 가능성이 높아지고 있다. 또한 사고가 화재로 이어져 인명피해를 야기시키기도 한다. 본 연구에서는 환기방식의 평가기준으로써 다음의 표 10과 같이 환기방식별 화재발생률을 조사하여 반영하였다.

표 10. 환기방식별 화재사고 빈도

| 환기방식 | 발생건수 | 사상자수 |
|------------|------------|-----------|
| 자연환기 방식 | 33 (47.1%) | 8 (72.7%) |
| 제트팬 방식 | 13 (18.6%) | 1 (9.1%) |
| 집진기/수직구 방식 | 3 (4.3%) | - |
| 횡류/반횡류 방식 | 21 (30.0%) | 2 (18.2%) |

(자료: 김효규 외 2004)

9) 장래 교통변화에 따른 시설확장 용이성

교통량 증가에 따른 환기시설의 확충은 필수적으로 이루어져야 한다. 그러나 교통량은 기하급수적으로 증가하는데 환기시설은 애초에 시공된 채로 추가적인 설치 없이 몇 십 년이 경과하는 경우를 발견할 수 있다. 이럴 경우 추가적인 시설을 설치해야 하는데 종류식의 경우 이러한 성질이 매우 용이하나 반횡류식이나 횡류식은 그렇지 않은 것으로 조사되었다(김남구 1999).

10) 열기류의 방향성 제어에 따른 안전성

터널에서 화재가 발생했을 경우 연기의 배출 및 제어는 환기방식에 의해 수행된다. 연기를 화재공간에서 완전히 제거하는 배연(smoke exhaust)을 목적으로 하는 횡류식 또는 반횡류식과 대피방향 반대편으로 기류를 제어하여 대피안전을 확보하도록 하는 제연(smoke control)개념의 종류식 환기방식으로 구분된다. 여기서 횡류식과 반횡류식은 화재지역으로부터 연기를 배연하는 방식으로 연기 및 열기류의 방향성 제어가 곤란하여 화재규모가 큰 경우 적용성이 떨어지는 반면 종류식 환기방식은 화재지역으로부터 일방향으로 연기 및 열기류를 제어하는 방식으로 열기류의 유동방향 제어가 용이하다.

표 11. 열기류의 방향성 제어에 따른 안전성

| | 종류식 | 반횡류식 | 횡류식 |
|---------------|------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 열기류 방향성 제어 특성 | · 연기류의 방향성 제어 용이 | · 열기류의 방향성 제어 곤란 | · 화재규모가 20MW 이하에서는 연기의 제어가 가능하나 20MW를 초과하면 제어가 곤란하여 적용성이 떨어짐 (Memorial tunnel 실험결과) |

11) 국내 고속도로 및 도로 터널에서의 환기방식별 적용 현황
일반적으로 환기방식을 선정할 때는 도로상향(일반도로, 도시간 고속도로, 고속도로)과 교통량, 대형차혼입률, 입지조건, 터널연장 등의 여러 가지 조건을 고려하여 선정한다. 다음의 표 12

에서 보인 것과 같이 현재 국내에서는 공사비 및 유지관리비 등의 경제적인 측면과 시공경험이 풍부한 종류식을 주로 적용하고 있다(김남구 1999). 이러한 시공경험의 풍부함은 설계 후 시공에서도 시공성과 안전성, 경제성 등을 확보할 수 있어 본 연구에서는 적용현황을 분석하였다.

표 12. 국내 터널에서의 환기방식 적용 현황

| 환기방식 | 빈도(개소) | 백분율(%) |
|------|--------|--------|
| 종류식 | 40 | 74.1 |
| 반횡류식 | 13 | 24.1 |
| 횡류식 | 1 | 1.9 |

(자료: 윤철욱(1997) 자료를 재정리하였음. 2001년 완공터널까지 포함)

12) 환기방식별 시공의 용이성

환기방식별 시공의 용이성은 표 13에 보인 바와 같이 종류식의 경우가 가장 용이하며, 반횡류식과 횡류식의 경우 상부 덕트 시공으로 인해 종류식에 비해 시공이 용이하지 않다.

13) 환기방식 설치로 인한 자연훼손 정도

환기방식 설치로 인한 자연훼손의 정도는 표 13에 보인 바와 같이 종류식의 경우 가장 적게 발생하며, 반횡류식 및 횡류식은 시·중점부에 환기소 시공으로 인해 자연훼손이 발생하게 된다.

표 13. 환기방식별 시공 용이성 및 자연훼손 정도 비교

| 종 류 | 내 용 |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 종류식 | · 주터널만 시공되므로 터널 시공이 용이하여 자연 훼손이 적게 발생됨 |
| 수직갱 | · 수직갱 및 공사용도로 시공으로 인한 자연훼손 발생 · V등급 및 단층파쇄, 단층 각력암으로 이루어진 열악한 지반특성으로 수직갱 시공이 매우 어려우며 보강비용이 과다함 |
| 집중배기식 | · 집중배기 환기소 시공으로 인한 자연훼손 발생 |
| 반횡류식 | · 터널 시·중점부에 환기소 시공으로 자연훼손 발생됨 · 터널내 신선공기 공급을 위한 상부 덕트 시공 필요 |
| 횡류식 | · 터널 시·중점부에 환기소 시공으로 자연훼손 발생됨 · 터널내 신선공기 급기와 오염공기 배기를 위한 상부 덕트 시공필요 |

(자료: 강영현 외 2003)

14) 오염물질 배출로 인한 주변환경 오염의 정도

터널 환기방식에 따른 오염물질 분포도는 제트팬 종류식의 경우 신선한 공기가 터널 입구로 유입되어 오염물질 농도가 차량 진행방향으로 진행하며 오염물질 전량이 출구쪽으로 배출되기 때문에 출구쪽의 환경오염이 심화된다. 반면 반횡류식 및 횡류식은 차도내 덕트가 존재하여 터널내 오염물질의 분포가 일정하

며, 환기소로 오염물질을 배출하기 때문에 종류식 제트팬에 비해 주변환경의 오염이 덜하게 된다.

3.2.3. 속성수준의 정량화

불확실성이 내재되어 있는 환기방식 선정의 의사결정에 있어 효용함수를 적용하기 위해 속성의 수준을 정량화하는 단계이다. 각 속성을 평가하기 위해 객관적인 데이터가 있는 속성의 경우 수치로 표현을 하였으며, 수치로 표현하기 어려운 속성에 대해서는 표 14와 같이 언어적인 표현을 사용하여 상대적 수치로 정량화 하였다.

표 14. 언어적 표현을 이용한 정량화

| 평가 | 정량화 |
|-------|------|
| 매우 높음 | 1.00 |
| 높음 | 0.75 |
| 보통 | 0.50 |
| 낮음 | 0.25 |
| 매우 낮음 | 0.00 |

3.3. 의사결정자의 태도결정 및 효용함수 도출

다속성 효용함수를 구성하기 위해서는 단일속성 효용함수의 적합한 형태를 결정해야 한다. Keeney(1992)에 의하면 위험태도(Risk attitude), 즉 위험회피(Risk-averse), 위험중립(Risk-neutral), 위험선호(Risk-prone)에 따라 효용함수의 형태를 구한다. 일반적으로 다음 식 (1), (2)와 같은 선형 및 지수함수의 형태로 가정을 하면 비교적 충분하다.¹⁾

$$\text{if } c=0, u(x) = a+bx \tag{1}$$

$$\text{if } c \neq 0, u(x) = a+b \cdot \exp(-cx) \tag{2}$$

3.4. 속성의 중요성 평가

본 단계는 의사결정자가 여러 속성에 대해 상대적인 중요성을 결정하는 단계로 AHP 분석기법을 적용하여 각 속성의 가중치를 산정하였다. AHP 분석기법은 1970년대 초 Saaty에 의해 개발된 방법으로 전 과정을 다수의 계층(Level)으로 설정한 후, 계층별 기준 및 대안들의 중요도를 쌍대비교법(paired comparisons method)에 의해 단계별로 평가함으로써 사물이

1) 이론적으로 구간에 따라 증감이나 서로 다른 위험태도가 혼재된 보다 복잡한 효용함수를 사용하여 효용함수의 형태를 결정할 수 있다. 하지만 여러 실증연구결과로 판단할 때, 단일속성 효용함수가 다속성 효용함수의 구성요소로 사용되는 경우 복잡한 효용함수가 거의 요구되지 않는다(Keeney 1992).

나 현상에 대한 인간의 평가적인 사고를 9개의 척도로 나누어 유연성 있는 가중치를 산정할 수 있는 방법이다. 중요도의 차이를 파악하기 위해 설문을 수행한 후, AHP 기법을 활용하여 속성별 가중치를 산출하였다.

3.5. 다속성 효용함수 도출

도출된 단일속성 효용함수와 속성의 중요성 평가를 토대로 다속성 효용함수를 구성하게 된다. 여기서 다속성 효용함수는 개별 속성의 효용함수(상호간의 기호적 독립성이 유지되는 조건(condition of mutual preferential independence))로부터 얻어질 수 있다고 가정되며 식 3과 같이 표현될 수 있다.

$$U(x_1, x_2, \dots, x_n) = f(u_1(x_1), u_2(x_2), \dots, u_n(x_n)) \quad (3)$$

이러한 원리를 효용함수의 가분성(separability)이라고 하며 Keeney(1976)에 의해 체계적으로 정리되었다. 다속성 효용함수는 가중선형조합법과 매우 유사한 특성을 갖는 의사결정 규칙으로 선형함수를 이용하여 모든 평가기준들에 대한 점수들을 표준화하는 가중조합방법과는 대조적으로, 각 평가 기준 특성을 반영하는 차별화된 함수에 의해 평가기준들이 표준화된다. 다속성 효용함수를 식으로 표현하면 다음 식 (4)와 같다.

$$U(x) = \sum_{i=1}^n k_i u_i(x_i) \quad (4)$$

여기서 $\sum_{i=1}^n k_i = 1$ 이고, 와는 속성 전 범위의 값에 대해 0에서 1사이의 값을 가지며, 는 주요 구성요소에 대한 비례상수이다. 그 결과가 높은 값을 가지는 대안일수록 최선의 대안으로 선정된다.

최적 환기방식 선정을 위한 다속성 효용함수는 기본제원 적합성, 경제성, 터널내 안전성, 시공용이성, 환경친화성의 5가지 구성요소를 가지며 가법적인 구조로 나타낼 수 있다.

가령 기본제원 적합성 최대화와 관련하여 효용함수는 3개의 하위속성에 관해 가법적이며, 비례상수들간에는 $\sum_{i=1}^3 k_i = 1$ 의 관계를 만족한다. 또한 다른 속성에 관해서도 같은 방법으로 적용이 가능하며 이에 대한 자세한 내용은 다음 장에 이어진다.

4. Case Study

본 장에서는 논문에서 제시한 방법론을 적용하여 '정관지방산업단지 진입도로 건설공사' 설계에서 대안으로 제시되었던 종류식, 송기반회류식, 횡류식의 환기방식 중 최적의 대안을 선정해

보았다. 본 공사는 부산 정관지방 산업단지 개발사업의 일환으로 진행되는 공사로 정관-철마-석대지역을 연결하는 연장 14km, 폭 20m의 도로 건설공사이다. 이 중 1.8km에 해당하는 부분이 터널로 건설되는데 양방향 쌍굴 형식으로 설계되었다. 제안된 방법론을 적용할 때 Logical Decisions? 라는 의사결정 도구가 활용되었다. 이것은 다속성 효용이론에 기초하고 있으며, 다양한 변수를 고려하고 의사결정자의 주관적인 선호를 효용함수와 가중치를 사용하여 보다 객관적이며, 일관성 있는 의사결정을 지원하는 프로그램이다.

4.1. 속성의 식별 및 정량화

본 사례연구는 3장에서 도출한 속성을 사용하였으며 내용은 3.1절의 표 1과 같다.

속성수준의 정량화를 위해 2장에서 설명한 바와 같이 다양한 측정단위를 지닌 속성에 대해 표준화된 측정단위로 변환시키기 위해 각 속성이 지닌 값 중 가장 선호하는 값과 가장 선호하지 않는 값을 최대/최소값으로 나누어 범위를 설정하고 이것을 토대로 표준화점수를 산출하였다.

표 15. 각 속성의 수준범위

| 속 성 | 가장 좋은 수준 (효용=1) | 중간수준 (효용=0.5) | 가장 나쁜 수준 (효용=0) |
|------------------------------------|-----------------|---------------|-----------------|
| ① 교통방식 및 연장에 따른 환기방식의 적합 판별 | 1.00 | 0.65 | 0.50 |
| ② 외부 기류 변화에 대한 적합성 | 0.75 | 0.6 | 0.25 |
| ③ 소요환기량 대비 환기기 용량에 대한 효율의 적정성(KW) | 720 | 1360 | 2000 |
| ④ 초기비용의 최소화(억원) | 386 | 445 | 467 |
| ⑤ 유지관리비용의 최소화 | 1.24 | 2.6 | 3.42 |
| ⑥ 화재시 제연을 위한 환기팬 운전제어의 안전성 극대화 | 0.75 | 0.62 | 0.25 |
| ⑦ 교통량 증가 및 지체발생에 따른 대응 능력 극대화 | 0.75 | 0.60 | 0.25 |
| ⑧ 화재시 비상전원에 의한 안전성 극대화 | 0.75 | 0.65 | 0.25 |
| ⑨ 환기방식별 화재사고 및 인명피해 가능성 | 11.00 | 32.5 | 54.00 |
| ⑩ 장래 교통변화에 따른 시설확장가능성 | 0.75 | 0.50 | 0.25 |
| ⑪ 열기류의 방향성 제어에 대한 안정성 | 0.75 | 0.50 | 0.25 |
| ⑫ 국내 고속도로 및 도로터널에서의 환기방식별 적용 현황(%) | 78.00 | 40.5 | 3.00 |
| ⑬ 환기방식별 시공의 용이성 | 0.75 | 0.50 | 0.25 |
| ⑭ 환기설비 설치로 인한 자연훼손 정도 | 0.25 | 0.50 | 0.75 |
| ⑮ 오염물질 배출 처리능력 | 0.75 | 0.50 | 0.25 |

4.2. 단일속성 효용함수 도출

15개의 속성 모두에 대해 일관성이 확인되었으며, 효용함수의 구성을 위한 비선형 연립방정식의 함수의 수학적 형태와 위험태도가 표 16에 제시되어 있다. 3.3절에서 언급한 바와 같이 효용함수를 산출하기 위해 본 함수를 지수 및 선형함수의 형태로 가정 한 후 표 16에 제시된 바와 같이 각 단일속성함수의 $u(x_1)=1$, $u(x_2)=0.5$, $u(x_3)=0$ 을 만족시키는 x_1, x_2, x_3 값을 식 1, 2에 대입하여 함수식을 구하였다. 이 때 x_1, x_2, x_3 의 값은 현업에 종사하는 터널 설계 및 시공 관련 전문가 17인의 설문결과를 기초로 하였는데, 가령, 환기방식별 시공의 용이성 같은 경우 표 14 언어적 표현을 이용한 평가의 0.25(낮음) 수준이라면 그 효용이 0에 가까웠고, 0.75(높음)의 수준에서는 거의 1에 가깝다는 사실을 알 수 있었다. 그 결과 표 16과 같은 속성별 함수식을 도출할 수 있었다.

다속성 효용함수의 함수적 형태를 도출하는 단계로서 다음 표 16은 각 속성에 대한 단일 효용함수와 의사결정자의 태도를 보여주고 있다. 표 16에 제시된 결과에서 볼 수 있듯이 의사결정자는 교통방식 및 연장에 따른 환기방식의 적합성과 초기비용 및 유지관리 비용에 대해서는 위험 선호적인 태도를 나타내며, 외부기류 변화에 대한 대응성, 화재시 제연을 위한 환기팬 운전제

표 16. 단일속성 효용함수 분석결과

| 속 성 | 단일속성 효용함수 | 위험태도 |
|-----|----------------------------------------------------------------------------|------|
| ① | $u_{11}(x_{11}) = 1.198 - 7.254(\text{Exp}(-3.602x_{11}))$ | 선호 |
| ② | $u_{12}(x_{12}) = -0.1978 + 0.08037(\text{Exp}(3.602x_{12}))$ | 회피 |
| ③ | $u_{13}(x_{13}) = 1.563 - 0.0007813x_{13}$ | 중립 |
| ④ | $u_{21}(x_{21}) = 1.133 - 4.484 \times 10^{-6}(\text{Exp}(0.02647x_{21}))$ | 선호 |
| ⑤ | $u_{22}(x_{22}) = 1.552 - 0.3065(\text{Exp}(0.4742x_{22}))$ | 선호 |
| ⑥ | $u_{31}(x_{31}) = -0.1117 + 0.03542(\text{Exp}(4.595x_{31}))$ | 회피 |
| ⑦ | $u_{32}(x_{32}) = -0.1978 + 0.08037(\text{Exp}(3.602x_{32}))$ | 회피 |
| ⑧ | $u_{33}(x_{33}) = -0.03905 + 0.00757(\text{Exp}(6.563x_{33}))$ | 회피 |
| ⑨ | $u_{34}(x_{34}) = 1.256 - 0.02326x_{34}$ | 중립 |
| ⑩ | $u_{35}(x_{35}) = -0.5 + 2.0x_{35}$ | 중립 |
| ⑪ | $u_{36}(x_{36}) = -0.5 + 2.0x_{36}$ | 중립 |
| ⑫ | $u_{41}(x_{41}) = -0.04 + 0.01333x_{41}$ | 중립 |
| ⑬ | $u_{42}(x_{42}) = -0.5 + 2.0x_{42}$ | 중립 |
| ⑭ | $u_{51}(x_{51}) = 1.5 - 2.0x_{51}$ | 중립 |
| ⑮ | $u_{52}(x_{52}) = -0.5 + 2.0x_{52}$ | 중립 |

어 안전성 극대화, 교통량 증가 및 지체발생에 따른 대응능력 극대화, 화재시 비상전원에 의한 안전성 극대화 속성에 대해서는 위험 회피적인 태도를 보이며 그 외에 다른 속성에 대해서는 위험 중립적인 태도를 보이고 있다.

4.3. 속성의 중요성 평가

개별속성에 대한 효용함수를 도출한 후 각 속성들의 상대적 중요성을 평가하는 단계로 AHP 기법을 사용하여 환기방식 결정시 어떤 속성들이 얼마만큼의 상대적 중요도를 갖는지 산정하게 된다. 본 연구에서는 속성별 가중치 산정을 위해 관련 공사를 비롯한 설계 및 시공경험이 있는 전문가 17인을 대상으로 설문을 실시하였다. AHP 기법을 적용하여 5개의 목표에 대한 중요성 평가를 실시한 후 각 목표에 속해 있는 속성들의 중요도를 평가하였다. 속성의 가중치를 산정한 결과 표 17에 보인 바와 같이 터널내 안전성 극대화 항목이 0.45로 가장 중요하게 평가되었으며, 시공용이성 최대화와 환경훼손의 최소화가 0.10으로 다속성 효용함수를 구성하는데 있어 가장 작은 영향을 미치는 목표들로 나타났다.

표 17. 속성별 가중치 산정결과

| 속 성 | 가중치 | 순위 |
|-------------------------------|-------|------|
| 교통방식 및 연장에 따른 환기방식의 적합성 | 0.500 | 2 |
| 외부기류 변화에 대한 대응성 | 0.250 | |
| 소요환기량 대비 환기기용량에 대한 효율의 적정성 | 0.250 | 3 |
| 초기비용의 최소화 | 0.333 | |
| 유지관리비용의 최소화 | 0.667 | 1 |
| 화재시 제연을 위한 환기팬 운전제어의 안전성 극대화 | 0.200 | |
| 교통량 증가 및 지체발생에 따른 대응 능력 극대화 | 0.200 | |
| 화재시 비상전원에 의한 안전성 극대화 | 0.200 | |
| 환기방식별 화재사고 및 인명피해 가능성 | 0.100 | |
| 장래 교통변화에 따른 시설확장 용이성 | 0.200 | 4 |
| 열기류 방향성 제어에 대한 안전성 | 0.100 | |
| 국내 고속도로 및 도로터널에서의 환기방식별 적용 현황 | 0.333 | 4 |
| 환기방식 시공의 용이성 | 0.667 | |
| 환기설비 설치로 인한 자연훼손 최소화 | 0.333 | 4 |
| 오염물질 배출 처리로 인한 주변환경 오염의 최소화 | 0.667 | |
| 계 | 1.00 | 1.00 |

4.4. 다속성 효용함수 도출

단일속성 함수와 가중치 분석결과를 통해 다속성 효용함수가 구성될 수 있다. 다속성 효용함수는 기본제원 적합성 최대화, 경제성 최대화, 터널내 안전성 극대화, 시공적합성 최대화, 환경훼손의 최소화의 5가지 하위목표를 갖고 있으며 이것은 가법적인 구조로 나타낼 수 있다. 이러한 다속성 효용함수 도출의 예를 다음과 같이 나타내었다. 여기서 하위목표의 가중치는 각각의 비례상수 값으로 표현된다. 최종적인 다속성 효용함수는 식 (5)부터 식 (9)와 같이 구성된다.

$$k_1 = 200, k_2 = 0.150, k_3 = 0.450, k_4 = 0.100, k_5 = 0.100 \quad (4)$$

기본제원 적합성 최대화와 관련하여 효용함수 은 3개의 하위 속성에 관해 가법적이며, 비례상수들 간에는 의 관계를 만족하므로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$u_1(x_1) = u_1(x_1, x_2, x_3) = k_{11}u_{11}(x_{11}) + k_{12}u_{12}(x_{12}) + k_{13}u_{13}(x_{13}) \quad (5)$$

$$k_{11} = 0.500, k_{12} = 0.250, k_{13} = 0.250$$

또한 나머지 4개(~)의 목표에 대해서도 의 경우와 마찬가지로 가법적이므로 다음 식 (6)~(9)와 같이 정리할 수 있다.

$$u_2(x_2) = u_2(x_{21}, x_{22}) = k_{21}u_{21}(x_{21}) + k_{22}u_{22}(x_{22}) \quad (6)$$

$$k_{21} = 0.333, k_{22} = 0.667$$

$$u_3(x_3) = u_3(x_{31}, x_{32}, x_{33}, x_{34}, x_{35}, x_{36})$$

$$= k_{31}u_{31}(x_{31}) + k_{32}u_{32}(x_{32}) + k_{33}u_{33}(x_{33}) + k_{34}u_{34}(x_{34})$$

$$+ k_{35}u_{35}(x_{35}) + k_{36}u_{36}(x_{36}) \quad (7)$$

$$k_{31} = 0.200, k_{32} = 0.200, k_{33} = 0.200, k_{34} = 0.100, k_{35} = 0.200,$$

$$k_{36} = 0.100$$

$$u_4(x_4) = u_4(x_{41}, x_{42}) = k_{41}u_{41}(x_{41}) + k_{42}u_{42}(x_{42}) \quad (8)$$

$$k_{41} = 0.333, k_{42} = 0.667$$

$$u_5(x_5) = u_5(x_{51}, x_{52}) = k_{51}u_{51}(x_{51}) + k_{52}u_{52}(x_{52}) \quad (9)$$

$$k_{51} = 0.333, k_{52} = 0.667$$

분석결과 제트팬, 송기반횡류식, 횡류식의 효용이 각각 0.726, 0.289, 0.437로 산출되었다. 따라서 본 사례에서는 제트팬의 경우가 해당 속성을 가장 잘 만족시킨다는 결론을 얻을 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 터널 설계 시 설계되는 터널에 가장 적합한 환기방식을 결정할 수 있게끔 지원하는 방법론을 제시하였다. 본

방법론은 다속성 효용이론과 AHP기법에 기초하고 있으며 환기 방식 선정 시 고려해야 하는 다양하고 많은 속성들을 효과적이고 과학적으로 의사결정에 반영함을 목적으로 하였다.

우선 터널 설계 및 환기시스템 전문가를 대상으로 설문조사를 수행하고 다수의 문헌의 객관적 자료를 통해 환기방식 선정 시 고려해야 할 중요속성들을 도출해 냈고, 각 속성에 대한 평가를 정량화하기 위해 평가단위 및 수준범위를 결정한 후 설문결과에 근거하여 개별 속성에 대한 효용함수를 도출하였다. 또한 AHP 분석기법을 활용하여 속성별 상대적 중요도를 구한 후 위의 결과와 통합하여 터널 설계 시 최적의 환기방식을 선정하기 위한 다속성 효용함수를 도출하였다. 이것은 각 속성에 대해서 개별 효용함수 식을 갖게 되고 이를 이용해서 전체적인 결과를 산출하는 효용함수 식을 포함한다. 이를 통해서 부분적인 특성과 전체적인 특성 모두를 고려할 수 있는 장점을 갖게 된다.

본 연구는 현재 터널의 환기방식 선정 시 거의 유일하게 고려되는 경제성 뿐 아니라 시공성, 안전성, 환경친화성 등도 고루 고려하도록 유도했으며, 그것의 평가기준과 방법을 확립하는 사항에 중점을 두었다. 물론 다속성 효용함수가 객관적인 관점에서 해결책을 제시하지 못하고 주관적인 부분에 영향을 많이 받는다는 단점을 가지고 있으나, 다양한 관점에서 문제에 접근할 수 있다는 면에서 기존의 판단보다는 보다 합리적인 의사결정을 기대할 수 있다고 사료된다.

터널의 환기방식 결정과 같은 판단의 문제에는 주관성이나 불확실성이 많이 내포되어 있다. 또한 대안 간에 많은 고려사항을 바탕으로 우선순위를 선정해야 한다. 본 연구에서 제시한 다속성 효용함수에 기초한 방법론은 위와 유사한 의사결정의 문제에 많은 부분 활용되어 합리적인 의사결정에 큰 도움이 될 것으로 기대한다.

참고문헌

1. 건설교통부 (2004). 도로설계기준 개정(배수공 및 터널), 한국건설기술연구원
2. 김남구 (1999). "제트팬에 의한 4차선 대단면 터널 환기효과 분석", 한양대학교 산업대학원 석사학위논문
3. 김효규, 이창우 (2004), "국내 도로터널내 발생 교통사고, 화재사고 및 터널특성 관계연구", 한국터널공학회 학술발표회 논문, 제6권 제3호, 한국터널공학회
4. 윤철욱 (1997). "도로터널 환기 현황 및 문제점", 공기조화냉동공학회지, 제26권, 제2호, 공기조화냉동공학회, pp. 76~90
5. 강영현, 이영수, 박영재 (2003), 자동차 운행시 터널에서 발

- 생되는 대기오염물질의 저감방안, 한국환경정책평가연구원
6. Edwards, W., von Winterfeldt, D. (1987), "Public Values in Risk Debates," Risk analysis, Vol. 7, The Society for Risk Analysis, pp. 141~158
7. George P. Huber (1974), "Multi-Attribute Utility Models: A Review of Field and Field-Like Studies", Management Science, Vol. 20 No. 10, INFORMS, pp. 1393~1420
8. Keeney, R. L. (1992). Value-Focused Thinking, Havard University Press
9. Keeney, R. L., Raiffa, H. (1976). Decisions with multiple objectives : preferences and value tradeoffs, John Wiley & Sons, New York

논문제출일: 2006.12.14

심사완료일: 2007.04.10

Abstract

The size and length of road tunnels have been gradually expanded as industry developed. Consequently, the risk has been increased. The decision making process for ventilation system for road tunnels involves a large amount of information on economic feasibility, construction methods, and safety etc. In situation where systematically structured decision making process is unavailable, almost decisions about ventilation systems are made based on engineers' private knowledge and experiences. Procedure and criteria to choose the best optimized ventilation system among many alternatives are proposed, breaking away from the economic dependency-oriented decision making. This paper presents a Multi-Attribute Utility Theory and AHP based function with which planners can calculate overall utility of each alternative. It is anticipated that the effective use of the proposed methodology for decision making on ventilation systems would be able to reduce the likelihood of the occurrence of potential safety risks as well as increase the overall ventilation performance.

Keywords : Multi Attribute Utility Theory, Tunnel Ventilation System, Decision Making System, AHP