

쌍대비교와 퍼지근사추론에 의한 페터널의 보강방식 선정

조만섭¹⁾, 우동찬²⁾, 황세환³⁾

¹⁾SK건설(주), ²⁾(주)유니백, ³⁾(주)현대산업개발

1. 서론

교량, 터널, 댐, 항만 등의 토목설계에 있어서 대량의 그리고 다양한 정량적·정성적인 조사 항목들이 매개변수로 고려되고 있다. 이러한 조사 결과들을 이용하여 여러 가지 대안들 중 가장 만족할 수 있는 하나의 공법을 선정하게 되는데, 선정결과에 대한 정당성을 부여하기 위하여 의사결정기법을 적용하게 된다. 의사결정기법 중 가장 일반적으로 적용되고 있는 AHP(The Analytic Hierarchy Process, 계층화분석기법)는 1970년대 Thomas L. Saaty에 의해 제안되었고, AHP는 우선, 문제의 요소를 『최종목표』, 『평가기준』, 『대안』의 순으로 계층을 구성한 다음, 평가기준을 중심으로 가중치(Weight)를 산출하고, 각 대안의 중요도를 산출하여 가장 중요도가 높은 대안을 최적으로 선정하는 방법이다(조 외, 1998).

일반적으로 의사결정을 위해서 도표식 분석을 이용하는데, 2000년 발표된 건설기술관리법시행령에 의해 VE(Value Engineering), LCC(Life Cycle Cost) 등이 건설공법 선정에 대한 의사결정기법으로 많이 적용되고 있으며, 최근에는 Risk Analysis 등이 사용된바 있다(김 외, 2002). 철도 및 도로의 신규노선과 근접·교차하는 페터널 혹은 지하공동의 통과방안을 결정함에 있어서, 국내의 관련 자료들을 검토한 결과 대부분이 지반조사 결과를 이용한 수치해석적인 방법으로 안전성을 평가하였다(장 외, 2000, 신 외, 2002).

따라서 본 연구에서는 안전성, 공사비용, 시공 편의성, 유지관리 필요성 등을 동시에 고려하여 신규 도로노선과 근접·교차하는 페터널의 통과방안을 제시하고자 Decision Tree, AHP, ANP, VE, Risk Assessment, 퍼지적분, 퍼지근사추론 등의 기법들을 조사하였다. 이러한 의사결정기법들 중에서 설문조사의 과정을 최소화하고, 조사항목 별 정성적·정량적 특성을 모두 반영하기 위하여 쌍대비교와 퍼지근사추론을 이용한 페터널의 통과방안에 대한 적정성을 평가하여 보았다.

2. 검토대상 터널의 현황 및 조사결과 요약

2.1 신규터널 및 페터널의 현황

본 연구의 검토대상 터널은 『경상북도 청도군~경산시 남천면』의 경계에 위치하는 전체 4차선 단선 병렬터널로서, 국도 25호선의 4차로 선형개량을 위해 설계되었다. 본 터널 노선의 종점 하부에는 조적식으로 보강한 단선 페터널이 약 15° 사방향으로 교차하고 있으며, 이

페터널의 준공연도는 미상으로서 석축(S.L. 하부) + 조적(S.L. 상부:2~4단)의 라이닝방식으로 부터 준공연대를 약 1930년대 전후로 추정할 수 있다.

그림 1과 그림 2에는 검토대상 터널과 페터널의 단면도 및 평면도, 횡단면도를 각각 나타내었다. 그림에서 페터널의 갭문에서 신규 터널 종점부까지는 종단선형에 따라서 암반층 Bench 발과 구간이며, 페터널 천단과 도로 기초부까지 약 5.3m에서 2.0m(옥외공동구 Trench 터과기 구간)의 이격거리로 매우 근접되어 있다. 그리고 NATM구간의 종점부분에서는 약 7.3m 정도 이격되어 있으며, 사방향으로 교차하기 때문에 이들의 이격거리는 점차 증가하고 있다.

본 터널의 원설계에서는 페터널 통과구간의 2차원 수치해석적 분석을 통하여 그 영향권을 약 20m 이격된 지점까지로 선정하였고, 페터널의 보강공법으로는 『50cm 무근콘크리트 라이닝』과 『잡석 채움공법』에 대해 도표식 비교를 수행하여 시공성 및 경제성 등이 우수한 전자로 선정하였다. 그러나 페터널의 장래 활용계획 미정, 주변 지반조건 및 페터널 안전성 등의 다양한 고려가 미흡하였고, 콘크리트 라이닝으로 보강함에 따라서 운영 중 페터널의 안정성을 지속적으로 확보해야 하는 문제와 Bench발과 시 무진동 굴착구간이 발생하여 경제성 및 시공성이 다소 저하되는 것으로 지적되었다.

2.2 페터널 주변 지반조사 결과

가. 지반조사

추가 시추조사는 총 4공을 실시하였고, 주변지반의 암종은 응회질 각력암, 안산암질 응회암, 화산암질 안산암이 산출되었다. 표 1은 4개 시추공 중 페터널과 인접한 2개의 시추공별 터널 하부 1D구간에 대한 RMR분류를 실시한 것이며, 그 분포는 약 12~48로 Very Poor ~ Normal한 상태를 보이고 있다.

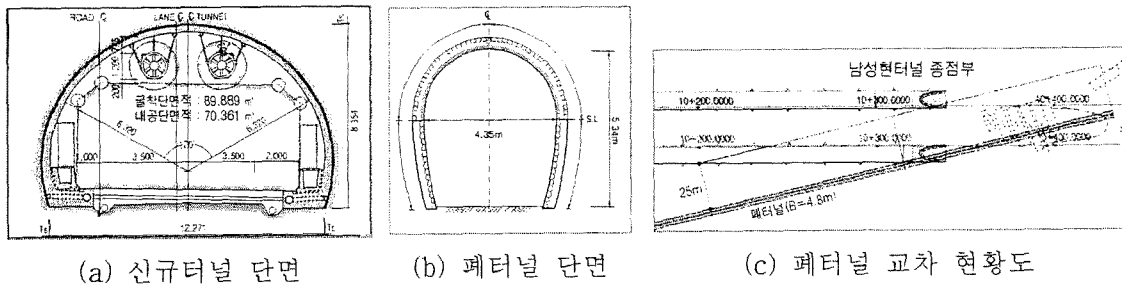


그림 1. 검토 대상 터널제원 및 페터널 교차 현황

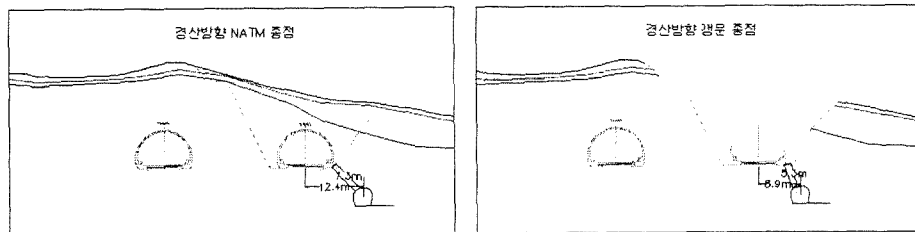


그림 2. NATM 및 갭문 종점부에서의 신규터널과 페터널 간 이격거리

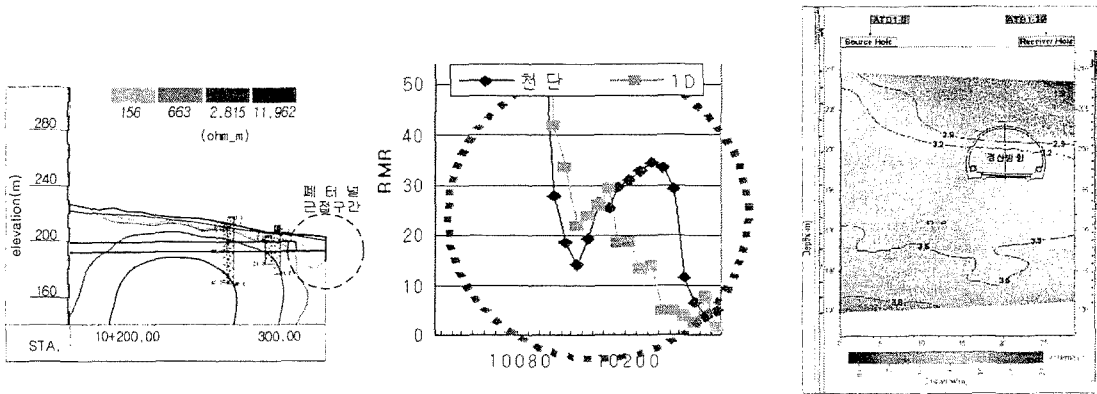
표 1. 페터널 인접구간의 시추조사 결과를 이용한 RMR 평가

시추 공번	터널하부 1D (m)	일축압축강도 (kgf/cm ²)	RQD (%)	절리간격 (mm)	절리 상태 (틈새, 거칠기, 충전물, 풍화도)	지하수 상 태	절리방향 보정	RMR
ATB 1-10	11.0~20.0	250~1,000	16~54	6~25	>5mm, 매끄러움~거침, 견고한 충전물, <5mm 풍화	젓음	매우불리	12~34
ATB 1-11	12.6~21.0	250~1,000	20~70	6~25	1~5mm, 거침, 견고한 충전물, <5mm, 풍화	용출 ~ 축축함	매우불리~ 보통	21~48

페터널과 인접한 경산방향 종점부 구간에서 전기비저항탐사를 실시하였고, 비저항값이 약 36~554Ωm으로 페터널과 이격거리가 증가하면서 고비저항대를 통과하고 있다. 그림 3(a)에는 전기비저항탐사 결과와 미시추구간에서의 『전기비저항 v.s. RMR값』의 상관관계를 이용한 추정 RMR값의 분포를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 페터널과 약 2D이상(25m)인 10+200지점부터 터널의 종점부로 진행할수록 RMR값이 급격하게 저하되고 있으며, 페터널과의 이격거리가 근접해 짐에 따라서 신규 터널의 안전성에 대한 문제가 제기되었다.

병렬 터널 횡방향에 대한 지반조건을 파악하기 위해 공내 탄성파탐사토모그래피를 2개의 시추공(ATB1-9와 ATB1-11)에 대해 수행하였고, 그림 3(b)에서 보는 바와 같이 경산방향 터널의 우측하부에 존재하는 페터널의 근접구간 탄성파속도는 약 1.9~3.2km/sec로 조사되어 III~VI등급의 분포를 나타내었다.

이상과 같이 암석 일축압축강도는 극경암~풍화암 등이 다양하게 도출되며, RQD도 17~78%로 매우 다양하게 파악되었으며, 특히 페터널과 경산방향 NATM 종점부가 교호하는 구간에서는 절리발달이 심한 상태로서 계곡부의 파쇄대 발생 가능성 등을 충분히 고려할 필요가 있다.



(a) 전기비저항값 및 추정 RMR값

(b) ATB1-8 ~ ATB1-10

그림 3. 페터널 근접구간에 대한 전기비저항탐사 및 공내 탄성파토모그래피 탐사 결과

나. 페터널 안전성 평가(STA.10+040~10+440)

페터널과 근접·교차하는 신설 터널의 안전성을 확보하고, 터널 시설물에 내재되어 있는 위험요인과 페터널의 구조적 안정성 및 결합의 상태 조사를 통해 보강대책을 수립하기 위하여 정밀안전진단을 수행하여 상태평가 및 안전성평가를 실시하였다.

안전진단 구간 및 조사항목으로는 직접 영향범위(페터널 갭문 0.0~210.0m)구간에 대해서 정밀안전진단을 실시하였고, 간접 영향범위(210.0~400.0m) 구간에 대해서는 변상발생 여

부에 중점을 두고 외관조사 실시하였다. 표 2에는 지반조사, 갱내시추조사, 외관조사 결과를 요약하였고, 그림 4는 갱내시추추상도와 페터널의 배면공동 Back Fill 그라우팅 영역을 도시한 것이다.

페터널 주변의 기반암은 응회각력암과 화산력응회암으로 RQD가 17~50%이며, 다수의 불연속면이 발달하여 신규터널 시공 시 간섭이 예상된다. 특히 천단부 내시경 촬영 결과, 라이닝 배면에는 82.0~86.5cm의 공동이 썩기 형태로 형성되어 있고, 각 Span별 상태등급은 [C~E등급]으로서 대표 라이닝 손상지수는 $0.55 \leq F(0.62) < 0.75$ 인 D등급으로 평가되었다. 여기서, [D등급]은 “주요부재에 발생한 손상, 결함, 열화로 인하여 안전운행에 지장을 초래할 우려가 있어 사용제한을 검토해야 하며, 시급한 보수·보강이 필요한 상태”이며, 만약 대천성공터널을 현재 사용 중인 터널로 분류할 경우에는 “E 등급”에 해당하게 된다.

표 2. 페터널의 상태평가 결과 및 정밀안전진단

라이닝 단면	외관조사 결과	정밀안전진단 종합평가(시설안전기술공단(안), 2001)							
		출눈 상태	누수	파손 및 손상	재질열화			결합점수 (평가등급)	라이닝 결합지수
<ul style="list-style-type: none"> 하부 : 석축 1열 및 잡석, 콘크리트 채움 S.L. : 조적3~4열 천단 : 조적1~2열 	<ul style="list-style-type: none"> 천단부 파손 및 손상 : 49m² 벽체부 파손 및 손상 : 367m² 누수 : SPAN별 1/4 이상 지하수 흐름 및 젖은 상태 천단부 라이닝 배면공동은 82.0~86.5cm로 터널 축을 따라서 연속적인 것으로 조사됨 	7.4	3	1.4	박리	충분리 및 박락	백태	16.1 (D등급)	0.62

천공위치	코어길이 (cm)	천단배면 공동 (cm)	R.Q.D (%)	비중	일축압축강도 (kgf/cm ²)	탄성계수 (kgf/cm ²)	포아송비	시료상태	기반암
10.0m(축벽)	176.5	-	78	2.25	366	53,000	0.14	절리포함	응회각력암
80.0m(축벽)	154.0	86.5	50	2.60	546	62,000	0.18	절리포함	화산력 응회암
150.0m(축벽)	233.0	82.0	17	2.61	665	44,000	0.16	무결함	화산력 응회암

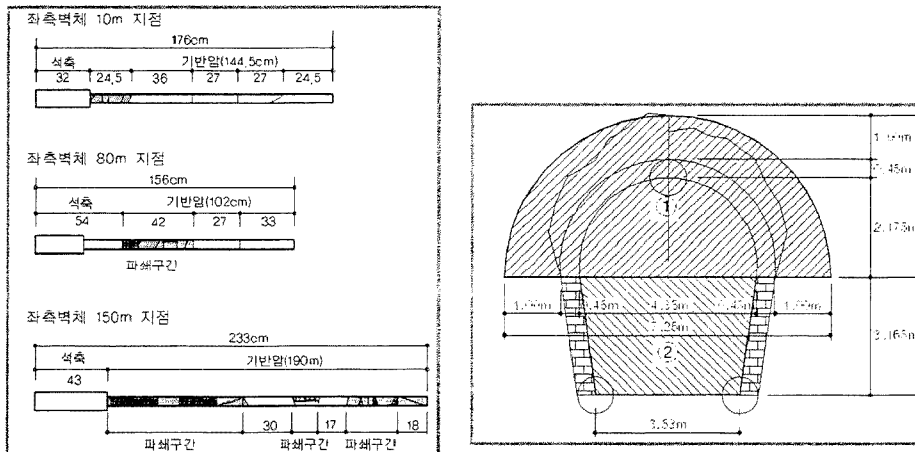
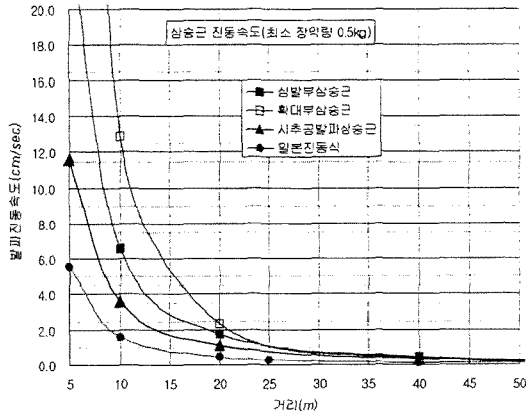


그림 4. 페터널 갱내 시추조사 결과 및 배면공동 추정 단면적 조사

다. 발파진동 영향 분석

페터널 통과방안을 선정하기 위한 주요 요소로서 발파에 의한 진동영향을 포함할 수 있다. 페터널과 인접한 시추공(ATB1-11)을 대상으로 한 시추공 시험발파와 인근 안산암질암 터널에서 실시한 실규모 시험발파 결과로부터 다음 식(1)과 발파진동 추정식을 산정하였다.

참고로, 그림 5는 터널단면에서 공당 최소 장약량인 0.5kg을 기준으로 추정식별 거리에 따른 발파진동속도를 도시한 것으로, 심발부보다 확대부에서 큰 경향을 보이고 있다. 원설계 상에서의 페터널 무근 콘크리트라이닝(50cm) 보강을 가정하여 건설교통부 『암발파설계 요령』 및 『독일공업규격(DIN-4150)』에 의거, 허용발파진동치를 다소 보수적인 1.0cm/sec로 설정하였고, 이때의 허용발파진동에 만족하는 지발당 장약량을 구한 결과 0.034kg으로 산출되었다. 이와 같이 최소 지발당 장약량을 0.5kg으로 설계할 경우, 무근 콘크리트라이닝의 허용진동치를 만족하기 위해서는 그림 6과 같이 터널구간(115m) 및 Bench구간(85m)에 무진동 굴착이 필요한 것으로 파악되었다.



$$V_{(95\%)} = 808.22 \left(\frac{D}{\sqrt[3]{W}} \right)^{-1.9}$$

(실규모 시험발파, 심발부) 식 (1)

$$V_{(95\%)} = 259.84 \left(\frac{D}{\sqrt[3]{W}} \right)^{-1.69}$$

(시추공 시험발파)

그림 5. 추정식 별 거리에 따른 발파진동속도

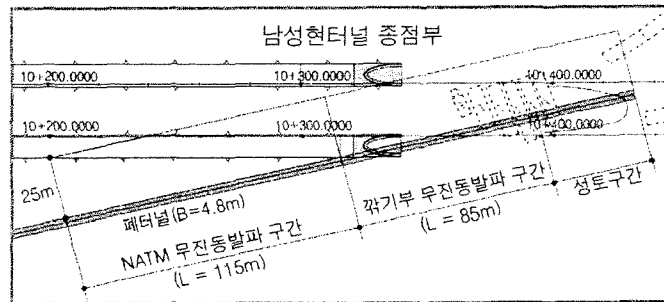


그림 6. 콘크리트 라이닝 허용발파진동치에 따른 무진동 굴착 적용예상 구간

3. 발파공법 및 지보방식 선정을 위한 의사결정시스템

3.1 의사결정시스템

일반적으로 많이 적용되는 의사결정시스템은 Decision Tree, AHP(Analytical Hierarchy Process), ANP(Analytical Network Process), 퍼지적분(Fuzzy Integrals), VE(Value Engineering) 등이 있으며, 대부분 복잡한 설문조사를 수행하고 몇 개의 대안들에 대한 최적안을 선정하는 방식이다. 이외에도 Risk Assessment, 퍼지근사추론(원과 손, 1998) 등의 연구가 진행되어 왔는데, 본 연구에서는 설문조사의 과정을 최소화하고, 조사항목 별 정성적·정량

적 결과들을 선정과정에 적용하고자 쌍대비교(Pair-Wise Comparison)와 퍼지근사추론을 이용한 페터널 통과방안의 적정성을 평가해 보았다.

그림 7은 일반적인 AHP기법에 대한 흐름도와 본 연구에서 수행한 쌍대비교와 퍼지근사추론에 의한 의사결정방식의 흐름도를 각각 나타낸 것이다. 쌍대비교는 AHP, ANP, 퍼지적분 등에서 가중치(Eigenvector)를 결정하는 과정이며 전문가의 의견으로부터 평가하고자 하는 주기능 항목들의 가중치를 구할 수 있다(허 외, 2002). 퍼지근사추론에 관해서는 추후 시스템 작성부분에서 상세하게 설명하고자 한다.

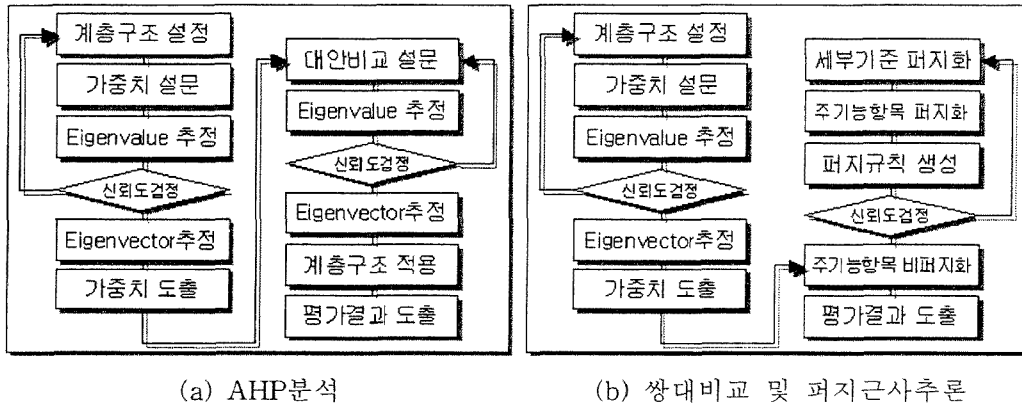


그림 7. 의사결정기법 구조 흐름도 비교

3.2 설문조사 및 가중치 도출

페터널 근접·교차구간의 통과방안을 선정하기 위한 주기능 항목은 『시공성』, 『경제성』, 『안전성』, 『유지관리성』 등의 4개 항목을 들 수 있다. 본 연구에서는 상기의 4개 주기능 항목들이 터널의 굴착방식 및 Bench 굴착공법을 선정하는데 미치는 영향을 가중치로 도출하기 위하여 17인의 전문가 및 실무자들로부터 9점 척도의 쌍대비교를 수행하였다.

쌍대비교법에 의해 얻어지는 최대칭행렬에서의 최대고유치(Eigenvalue, λ_{max})와 고유벡터(Eigenvector)를 멱승법(Power method)으로 구하여 고유벡터로부터 동일 계급간의 가중치를 산출하였다(이 외, 2002). 그리고 최대고유치, 행렬 수, RI(무작위지수), CI(일관성지수)를 이용하여 식 (2)와 같이 CR(일관성비율)을 산출하고 신뢰성을 검증하였고, 쌍대비교의 신뢰성은 CR이 0.1이하인 경우 쌍대비교가 적합성이 있는 것으로 인정하고, CR이 0.15 이상인 경우 쌍대비교를 다시 수행할 것을 권장하고 있다(Saaty, 1980).

표 3에는 본 연구에서 수행한 17개의 응답자료 중 분석과정에서 신뢰도 검정을 위해 일관성 비율(Consistency Ratio, CR) 산정을 통하여 정합성이 없는 자료는 제외한 12개의 답변을 분석하여 가중치(Eigenvector)를 산출한 결과를 나타내었다.

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{\lambda_{\max} - n}{(n-1)} \times \frac{1}{RI} \quad \text{식 (2)}$$

여기서, CR : Consistency Rate

RI : Random Index

항목수(n)	3	4	5	6	7	8
RI	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41

CI : Consistency Index, $(CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{(n-1)})$

표 3. 가중치 산정을 위한 설문조사 내용 및 최대고유치, 고유벡터 산출 결과

일관성비율(CR)	0.04	0.14	0.06	0.09	0.09	0.06	0.09	0.13	0.09	0.02	0.1	0.02	기하 평균	가중치	
최대고유치	4.12	4.38	4.17	4.24	4.25	4.15	4.23	4.34	4.23	4.05	4.27	4.06			
고유 벡터	시공성	0.78	0.72	1	0.78	0.79	1	1	0.18	1	0.6	0.67	0.21	0.73	0.313
	경제성	1	1	0.63	1	0.9	0.46	0.55	0.08	0.55	1	0.38	1	0.71	0.306
	안전성	0.15	0.22	0.21	0.37	0.33	0.33	0.15	1	0.15	0.4	1	0.41	0.39	0.169
	유지관리	0.23	0.85	0.75	0.86	1	0.26	0.33	0.11	0.33	0.26	0.26	0.7	0.49	0.212

3.3 퍼지근사추론

지반등급, 페터널의 상태, 페터널과의 이격거리, 발파진동속도 등의 조사결과들로부터 주기능 항목 즉, 시공성, 안전성, 경제성, 유지관리성들에 대해 정량적인 평가를 수행하고자 퍼지근사추론을 적용하였다. 퍼지근사추론의 진행과정은 그림 8과 같다.

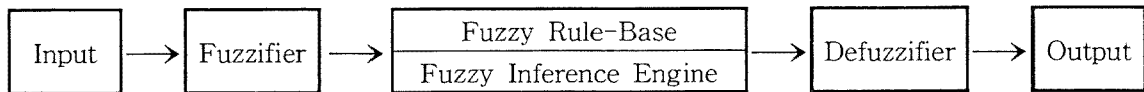


그림 8. 퍼지근사추론 시스템의 진행과정

그림 9에는 퍼지근사추론을 위해 작성된 퍼지추론부의 구조를 나타내었고, 『페터널의 안전성평가』, 『대상구간 지반평가(RMR값)』, 『신규노선과 페터널과의 이격거리(D)』, 『발파진동속도(지발당 최소장약량 0.5kg을 적용할 경우)』 등을 입력자료로 사용하여 관련 문헌으로부터 구한 평가등급을 기준으로 퍼지화하였다. 그리고 입력항목 중 『페터널의 안전성평가』는 부분적 퍼지추론한 결과인데, 입력자료로는 페터널 라이닝의 『상태평가결과(결함지수)』, 라이닝 『배면공동 규모』, 갱내시추코어로부터 구한 『RQD core 값』을 퍼지화하였다.

본 추론시스템 내부의 규칙블럭 #1은 페터널의 안전성을 종합평가하고, 규칙블럭 #2와 #3은 다양한 조건을 바탕으로 시공성, 안전성, 경제성, 유지관리성을 평가한다.

The fuzzy Logic for the decision of reinforced method of abandoned tunnel

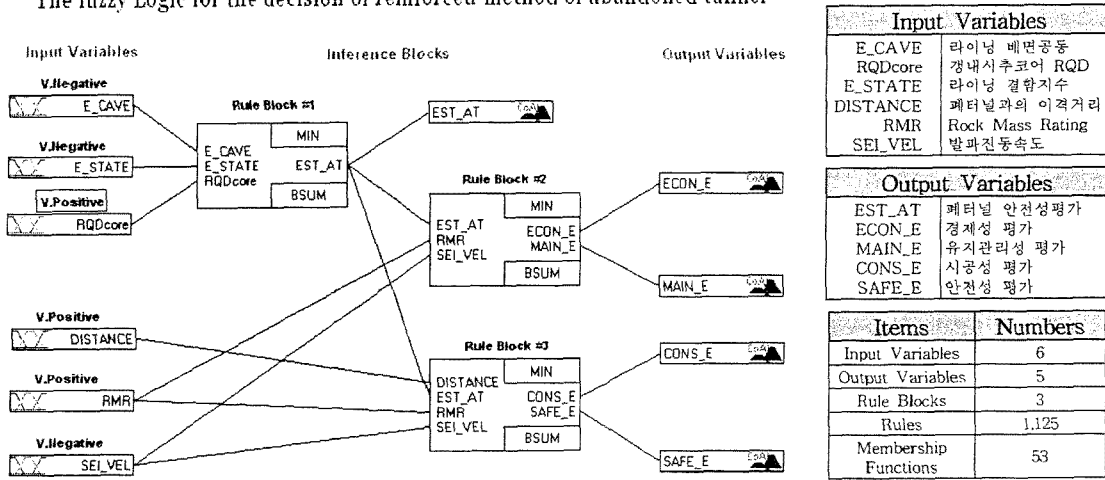


그림 9. 주기능 항목 평가를 위한 퍼지추론부의 구조

표 4에는 퍼지근사추론을 위한 입,출력자료의 언어변수와 소속도함수를 나타내었으며, 표 5에는 퍼지관계를 구성하기 위한 입력자료와 출력자료 사이의 상관성을 보여주고 있다.

표 4. 입력자료 별 언어변수와 소속도함수

입,출력 변수명(Unit)		소속도함수의 언어변수	Min	Max	소속도함수
입력자료	E_CAVE (Real Number)	very_small, small, medium, large, very_large	1	5	
	RQDcore (%)	very_poor, poor, normal, good, very_good	0	100	
	E_STATE (결함지수, F)	A, B, C, D, E	0	1	
	RMR (Value)	very_poor, poor, normal, good, very_good	0	100	
	DISTANCE (Times by Dia.)	zero, close, far	0	5	
	SEL_VEL (cm/sec)	very_low, low, criteria, high, very_high	0	2	
출력자료	EST_AT (Real Number)	very_poor, poor, normal, good, very_good	0	100	
	CONS_E (Real Number)	very_low, low, medium, high, very_high	0	100	
	SAFE_E (Real Number)	very_low, low, medium, high, very_high	0	100	
	ECON_E (Real Number)	very_low, low, medium, high, very_high	0	100	
	MAIN_E (Real Number)	very_low, low, medium, high, very_high	0	100	

표 5. 퍼지 입력자료와 퍼지 출력자료 사이의 상관성 관계

출력자료 \ 입력자료	라이닝 배면공동	RQDcore	라이닝 결함지수	
페터널 안전성평가	Very Negative	Very Positive	Very Negative	

출력자료 \ 입력자료	페터널 안전성평가	이격거리	RMR	발파진동속도
시공성	Very Positive	Very Positive	Very Positive	Very Positive
경제성	Very Positive	-	Very Positive	Very Positive
안전성	Very Positive	Very Positive	Very Positive	Very Negative
유지관리성	Very Positive	-	Very Positive	Very Negative

이상의 퍼지근사추론 시스템을 이용하여 4개의 주기능 항목들을 평가하고자 페터널 갭문에서부터 약 200m까지의 구간에 대하여 각 입력항목별 조사를 실시하였고, 그 입력자료는 표 6에 나타내었다. 입력항목은 터널의 굴착방식에 따라 『일반 발파공법』과 『무진동 굴착공법』으로 구분하였고, 약 50m 간격으로 각각의 주기능 항목들에 대한 평가를 수행하였다.

표 6. 퍼지근사추론을 위한 구간별 입력자료

입력항목		위 치(STA.)	NATM구간			개착터널 구간	Bench 구간	성토구간
			10+200	10+250	10+300	10+350	10+400	10+440
페터널 안전성 평가	라이닝 배면공동 (E_CAVE)	발파	Medium(3)	Medium(3)	Large(4)	Large(4)	Medium(3)	-
		무진동	Medium(3)	Medium(3)	Large(4)	Large(4)	Medium(3)	-
	코어 RQD (RQDcore, %)	발파	*1)(60)	(30)	17	50	(60)	78
		무진동	(60)	(30)	17	50	(60)	78
	라이닝 결함지수 (E_STATE)	발파	0.62	0.35	0.35	0.88	0.73	0.62
		무진동	0.62	0.35	0.35	0.88	0.73	0.62
이격거리 (DISTANCE, ×D)		발파	2.0	1.4	0.75	0.2	0.2	-
		무진동	2.0	1.4	0.75	0.2	0.2	-
RMR		발파	25	34	12	4	4	-
		무진동	25	34	12	4	4	-
발파진동속도 (SEL_VEL, cm/sec)		발파	*2)1.757	3.461	12.917	54.49	54.49	-
		무진동	*3)0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-

※ 참고 : *1) ()안의 숫자는 지반조사 결과를 바탕으로 추정된 값.
 *2) NATM구간은 심발부 발파진동식, 개착터널~Bench구간은 시추공 발파진동식 적용(식 (1) 참조).
 *3) 무진동굴착공법으로 발파진동속도를 0.0cm/sec로 입력.

평가과정은 각 위치에 따른 결과를 도출한 다음, 주기능 항목별 평균치에 표 3의 가중치를 곱하여 100점 기준으로 정규화 시킨 후, 이 결과를 토대로 터널의 굴착방식에 대한 선정안을 제시하였다. 표 7에는 설문에 의한 가중치를 반영한 최종결과를 나타내었고, 그림 10에는 퍼지근사추론 시스템에 의한 위치별 평가결과를 도시한 것이다.

먼저, 검토대상 구간의 페터널 안전성을 평가해 본 결과, 구간별로 약 25~50(D~C 등급)의 평가치를 보이고 있기 때문에 페터널의 안전성이 매우 저하된 상태로 판단된다. 이러한 조건 하에서 정규화 이전의 일반 발파공법과 무진동 굴착공법을 비교한 결과, 전자의 경우 시공성과 경제성이 약 50~64로 높지만 안정성과 유지관리성이 약 8~37로 낮게 나타났다. 후자의 경우, 유지관리성이 50~75로 매우 높게 나타났으나, 시공성, 경제성, 안전성이 약 8~54로 모두 낮게 나타났다. 특히 안전성은 무진동공법을 적용하고 있지만, 현재 상태의 지반조건 및 터널 간 이격거리가 매우 작기 때문에 비교적 낮은 값을 나타내었다.

표 7. 가중치를 반영한 주기능 항목별 평가결과

STA.		10+200	10+250	10+300	10+350	10+400	평균치	평균합계	정규화 (×가중치)	합계
발파 공법	시공성	62.73	64.28	55.26	50	50	56.453	37.69	17.644	41.76
	경제성	50	55	50	50	50	50.996		15.611	
	안전성	25	22.22	15.39	8.34	8.34	15.857		2.6798	
	유지관리성	37.27	25	25	25	25	27.452		5.8289	
무진 동공법	시공성	25	25	20.89	8.338	21.38	20.119	34.90	6.288	31.47
	경제성	22.62	25	13.1	8.338	8.338	15.478		4.7383	
	안전성	50	54.16	34.69	25	25	37.769		6.3829	
	유지관리성	75	75	65.1	50	66.07	66.233		14.063	
※ 참고 : 페터널 안전성평가 결과		10+200	10+250	10+300	10+350	10+400	안전성평가등 급			
		49.996	50	31.48	24.998	41.068	D~C			

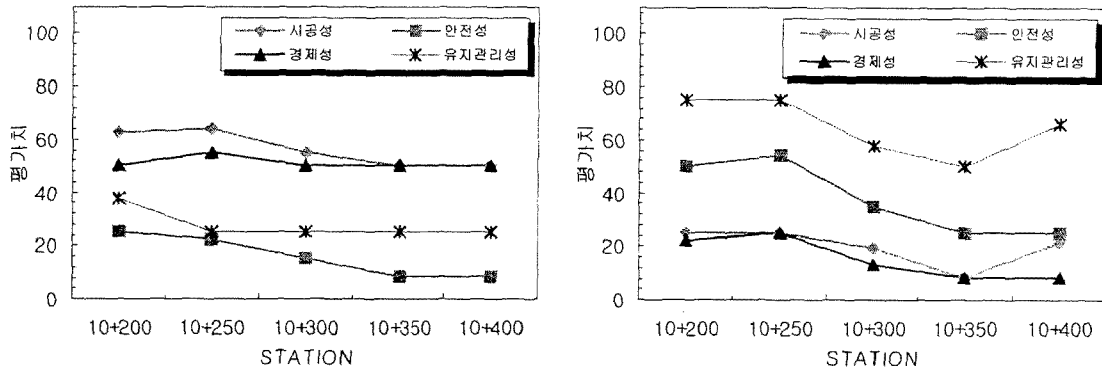


그림 10. 위치별 주기능 항목별 평가결과

다음으로 주기능 항목들에 대해 가중치를 곱하고 100점을 기준으로 정규화한 결과, 발파공법의 경우는 평가치가 증가하였지만 무진동 굴착공법의 경우는 오히려 저하된 결과를 보이고 있으므로, 페터널과 교차하는 신규노선에 대해 일반 발파공법의 적용성이 더욱 증가되었음을 알 수 있었다. 단, 원설계 상에서 제시한 폭 50cm 무근 콘크리트라이닝으로 페터널을 보강하는 경우에는, 최소 지발당장약량인 0.5kg으로 적용하여도 콘크리트라이닝의 허용발파진동치 1.0cm/sec을 크게 초과하는 것으로 나타났다. 또한 발파의 정밀도 및 발파효율 등을 고려하면 최소 지발당장약량 0.5kg의 적용은 시공성이 극히 저하될 수밖에 없다. 따라서 본 연구에서는 터널 및 Bench의 굴착방식으로서 일반 발파공법을 제안하였으며, 발파효율 증대 및 시공성, 경제성 등을 만족할 수 있을 것으로 사료된다. 그 대신 신규터널 및 페터널의 안전성 문제와 장래 유지관리의 필요성 문제를 해결하기 위하여 페터널의 보강공법으로서 『충전재를 이용하는 보강방법』을 제안하였다.

4. 결론

신규 터널노선과 근접·교차하는 폐터널의 통과방안을 결정하기 위하여 본 논문에서는 의사결정기법을 도입하였고, 설문조사의 과정을 최소화하고, 조사항목 별 정성적·정량적 특성을 모두 반영할 수 있도록 쌍대비교와 퍼지근사추론을 이용하였다. 통과방안 선정결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 관련분야 전문가들의 설문조사 결과로부터, 쌍대비교를 통해 주기능 항목들의 가중치를 도출하였고, 각각 시공성 = 0.313, 경제성 = 0.306, 안전성 = 0.169, 유지관리성 = 0.212로서, 시공성 및 경제성이 통과방안의 선정에 큰 역할을 하고 있다.
2. 정량적·정성적 입력자료들로부터 퍼지근사추론을 이용하여 4 가지 주기능 항목에 대한 평가를 수행한 결과, 신규터널 및 Bench 굴착 시 발파공법을 적용할 경우에는 시공성·경제성이 비교적 높게 나타났으며, 무진동발파공법을 적용할 경우에는 유지관리성이 비교적 높게 나타났다.
3. 주기능 항목의 위치별 평균값에 가중치를 곱한 결과, 일반 발파공법을 적용한 경우가 무진동 굴착공법에 비해 높은 평가결과를 나타내었다.
4. 본 검토대상 구간에서는 신규 터널 및 Bench 굴착공법으로 일반 발파공법이 우수한 것으로 판명되었으나, 폐터널의 보강 측면에서는 신규 노선의 안전성과 장기적인 유지관리의 필요성을 고려하여 Fly Ash 혹은 석분토 등을 이용한 충전공법을 제안하였다.
5. 기존의 복잡한 설문조사를 간소화시키고, 이와 함께 의사결정방식의 하나로써 퍼지근사추론에 의해 합리적인 통과방안을 제시할 수 있었다.

참고문헌

1. 김용일, Hencher, S.R., 윤영훈, 조상국, 2002, "Determination of the Construction Method for Young Dong Tunnell by Risk Assessment", 터널기술, 한국터널공학회논문집, Vol.4, No.1, pp.13~25.
2. 신중호, 신희순, 선우춘, 박찬, 2002, "광산지역 도로 터널링에 있어 폐갱도가 터널 안정성에 미치는 영향 평가", 터널기술, 한국터널공학회논문집, Vol.4, No.2, pp.123~133.
3. 원제무, 손기복, 1998, "퍼지근사추론을 이용한 교통수단 선택모형 구축", 대한교통학회지, 제16권, 제1호, pp.99~110.
4. 이철규, 오주삼, 조윤희, 2002, "퍼지적분에 의한 국토에서의 ITS 구축 우선순위 결정방안", 대한토목학회논문집, 제22권, 제3-D호, pp.471~481.
5. 장명환, 양형식, 정소걸, 2000, "폐광지역을 통과하는 고속철도터널의 안정성 평가", 터널과 지하공간, 한국암반공학회, Vol.10, pp.395~402.
6. 조성훈, 오광기, 강희정, 1998, "서비스물류시설의 입지의사결정에 관한 연구", 대한설비관리학회 논문집, Vol.3, No.1, pp.67~80.
7. 허은녕, 유창석, 박준경, 전성원, 김영근, 2002, "사회적 비용을 고려한 지하철 터널건설공법의 의사결정기법 연구", 대한토목학회 2002년도 학술발표회 논문집, pp.39~42.
8. Saaty, T. L., 1980, "The Analytic Hierarchy Process", McGraw-Hill Book Co.