

4. 터널 상태평가 기준

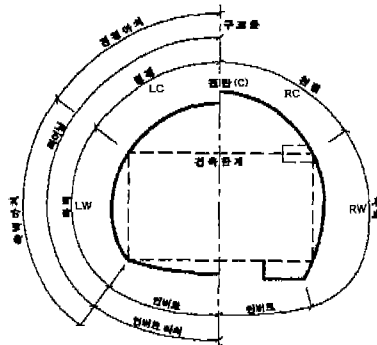
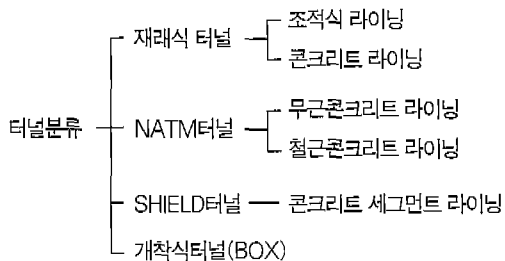
터널의 상태평가지 고려해야 할 주요 평가항목은 위의 표와 같다.

4.1 터널분류 및 평가항목

4.1.3 터널부위별 명칭

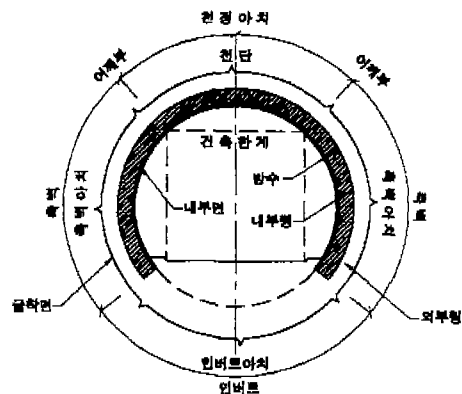
4.1.1 터널분류

터널 시공방법에 따른 터널분류는 다음과 같다.



4.1.2 평가항목

구분	평가요소
라이닝 상태	<ul style="list-style-type: none"> 균열 손상 누수
터널주변 상태	<ul style="list-style-type: none"> 배수상태 지반상태 강문상태 특수조건 : 추가점수 부여



*1 정회원, 시설안전기술공단 부장

*2 정회원, 시설안전기술공단 차장

*3 시설안전기술공단 차장

4.2 터널별 상태평가등급

4.2.1 재래식터널(조적식 라이닝)

결함등급		a	b	c	d	e	
		0≤f<.15	.15≤f<.30	.30≤f<.55	.55≤f<.75	.75≤f	
라이닝	줄눈상태	1	2~3	4~5	6~7	8~10	
	손상	1	2~3	4~6	7~8	9~12	
	누수	1	2	3	4	5~6	
	재질 열화	박리	0	0	1	1	2
		박락	0	0	1	2	3
백태		0	0	1	1	1	
터널 주변	배수상태	오염됨 : 1					
		배수불량 또는 막힘 : 2					
	지반상태	동화변질 및 단층파쇄대		영향범위 내 : 2~3 영향범위 외 : 1			
갱문상태	손상 : 1						
특수조건		전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험(추가점수) : 1~3					
라이닝 결함지수(f) = $\frac{\sum \text{결함점수}}{34}$, 결함지수(F) = $\frac{\sum \text{결함점수}}{40}$							

4.2.2 재래식터널(콘크리트 라이닝)

결함등급		a	b	c	d	e	
		0≤f<.15	.15≤f<.30	.30≤f<.55	.55≤f<.75	.75≤f	
라이닝	균열	1	2~3	4~5	6~7	8~10	
	손상	1	2~3	4~6	7~8	9~12	
	누수	1	2	3	4	5~6	
	재질 열화	박리	0	0	1	1	2
		박락	0	0	1	2	3
백태		0	0	1	1	1	
터널 주변	배수상태	오염됨 : 1					
		배수불량 또는 막힘 : 2					
	지반상태	동화변질 및 단층파쇄대		영향범위 내 : 2~3 영향범위 외 : 1			
갱문상태	손상 : 1						
특수조건		전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험(추가점수) : 1~3					
라이닝 결함지수(f) = $\frac{\sum \text{결함점수}}{34}$, 결함지수(F) = $\frac{\sum \text{결함점수}}{40}$							

4.2.3 NATM터널(무근콘크리트 라이닝)

결함등급		a	b	c	d	e	
		0≤f,15	15≤f,30	30≤f,55	55≤f,75	75≤f	
라이닝	균열	1	2~3	4~5	6~7	8~10	
	손상	1	2~3	4~6	7~8	9~12	
	누수	1	2	3	4	5~6	
	재질 열화	박리	0	0	1	1	2
		박락	0	0	1	2	3
백태		0	0	1	1	1	
터널 주변	배수상태	오염됨: 1					
		배수불량 또는 막힘: 2					
	지반상태	중화변질 및 단층파쇄대		영향범위 내: 2~3 영향범위 외: 1			
갱문상태	손상: 1						
특수조건		전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험(추가점수): 1~3					
라이닝 결함지수(f) = $\frac{\sum \text{결함점수}}{34}$, 결함지수(F) = $\frac{\sum \text{결함점수}}{40}$							

4.2.4 NATM터널(철근콘크리트 라이닝)

결함등급		a	b	c	d	e	
		0≤f,15	15≤f,30	30≤f,55	55≤f,75	75≤f	
라이닝	균열	1	2~3	4~5	6~7	8~10	
	손상	1	2~3	4~6	7~8	9~12	
	누수	1	2	3	4	5~6	
	재질 열화	박리	0	0	1	1	2
		박락	0	0	1	2	3
백태		0	0	1	1	1	
	철근노출	0	0	1	1	1	
터널 주변	배수상태	오염됨: 1					
		배수불량 또는 막힘: 2					
	지반상태	중화변질 및 단층파쇄대		영향범위 내: 2~3 영향범위 외: 1			
갱문상태	손상: 1						
특수조건		전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험(추가점수): 1~3					
라이닝 결함지수(f) = $\frac{\sum \text{결함점수}}{34}$, 결함지수(F) = $\frac{\sum \text{결함점수}}{40}$							

4.2.5 SHIELD터널(콘크리트 세그먼트 라이닝)

결함등급		a	b	c	d	e	
		0≤f<.15	.15≤f<.30	.30≤f<.55	.55≤f<.75	.75≤f	
라이닝	균열	1	2~3	4~5	6~7	8~10	
	손상	1	2~3	4~5	6~7	9~10	
	누수	1	2	3	4	5~6	
	재질 열화	박리	0	0	1	1	2
		박락	0	0	1	2	3
		백태	0	0	1	1	1
철근노출		0	0	1	1	2	
터널 주변	배수상태	오염됨: 1 배수불량 또는 막힘: 2					
	지반상태	풍화변질 및 단층파쇄대		영향범위 내: 2~3 영향범위 외: 1			
	경문상태	손상: 1					
특수조건		전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험(추가점수): 1~3					
라이닝 결함지수(f) = $\frac{\sum \text{결함점수}}{34}$, 결함지수(F) = $\frac{\sum \text{결함점수}}{40}$							

4.2.6 개착식터널(Box)

결함등급		a	b	c	d	e	
		0≤f<.15	.15≤f<.30	.30≤f<.55	.55≤f<.75	.75≤f	
라이닝	균열	1	2~3	4~5	6~7	8~10	
	손상	1	2~3	4~5	6~7	9~10	
	누수	1	2	3	4	5~6	
	재질 열화	박리	0	0	1	1	2
		박락	0	0	1	2	3
		백태	0	0	1	1	1
철근노출		0	0	1	1	2	
터널 주변	배수상태	오염됨: 1 배수불량 또는 막힘: 2					
	지반상태	풍화변질 및 단층파쇄대		영향범위 내: 2~3 영향범위 외: 1			
	경문상태	손상: 1					
특수조건		전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험(추가점수): 1~3					
라이닝 결함지수(f) = $\frac{\sum \text{결함점수}}{34}$, 결함지수(F) = $\frac{\sum \text{결함점수}}{40}$							

개착식터널에 대한 상태평가는 철근콘크리트구조물의 평가방법에 준하며, 본 상태평가기준을 적용하





는 경우 철근콘크리트 라이닝에 대한 평가방법을 적용한다.

4.3 평가항목별 세부기준

평가항목은 기존의 국내기준과 같이 5등급으로 세분하였고, 평가등급은 대표등급과의 차이를 두기 위하여 소문자 a, b, c, d, e로 표기하도록 하였다. 또한 별도의 시험으로부터 구해야만 하는 정량적 수치를 지양하였으며 외관조사를 통하여 얻을 수 있고 쉽게 판단할 수 있는 평가방법을 정하였다.


세부기준은 기존 국내기준과 국외기준을 참고하여 결정하였으며, 실무자들의 의견과 현실적인 여건을 고려하여 정하였다. 또한, 각각의 평가항목에 대한 상태평가는 가장 대표적인 것을 기준으로 하여 결정하도록 하며, 여러 개소에 나타날 경우에는 등급을 하향조정 하도록 하였다.

4.3.1 균열 및 출눈상태


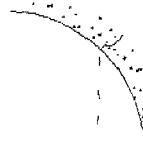


등급		a	b	c	d	e
콘크리트 라이닝	무균(균열)	0.1mm미만	0.1mm이상 0.3mm미만	0.3mm이상 1.0mm미만	1.0mm이상 3.0mm미만	3.0mm이상
	철근(균열)	0.1mm미만	0.1mm이상 0.3mm미만	0.3mm이상 0.7mm미만	0.7mm이상 1.5mm미만	1.5mm이상
개착식터널	BOX(균열)	0.1mm미만	0.1mm이상 0.2mm미만	0.2mm이상 0.3mm미만	0.3mm이상 0.7mm미만	0.7mm미만
조적식 라이닝	출눈상태	없음	아주 경미한 출눈깨짐	벽돌 2개소 이하	벽돌 2~5개소	벽돌 5개소 이상
해설	<p>1) 진행성의 유무가 확인되지 않은 경우에 적용하며 진행성이 확인되는 경우 등급을 하향조정하고 정밀진단을 실시하여 정기적으로 관찰하도록 한다.</p> <p>2) 균열형상은 종균열, 횡균열, 경사균열, 망상균열로 구분하며 종균열의 경우등급을 하향조정하고 균열의 발생원인을 조사하도록 한다.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">     </div> <p>(종균열) (횡균열) (경사균열) (망상균열)</p> <p>3) 균열길이는 스팬 길이 또는 20m를 기준으로 판단하며, 다음 스팬에 이어 연속적으로 이어져 있는 경우 등급을 하향조정하도록 한다.</p> <p>4) 조적식 라이닝의 경우 출눈깨짐의 연속성 정도에 따라 등급을 하향조정 하도록 한다.</p>					

4.3.2 손상

구분 \ 등급		a	b	c	d	e
콘크리트 라이닝	손상도	없음	1/6미만	1/6이상 1/3미만	1/3이상 1/2미만	1/2이상
	손상면적	없음	아주 경미한 상태	경미한 손상 (10cm×10cm미만)	중간 손상 (10cm×10cm이상, 30cm×30cm미만)	극심한 손상 (30cm×30cm이상)
조적식 라이닝	손상두께	없음	벽돌부분손상	벽돌 1개 이하	벽돌 1~2개	벽돌 2개 이상
해설	<p>1) 손상도는 콘크리트 라이닝에 대한 것으로 라이닝 두께에 대한 손상된 두께를 말하며, 일반적으로 라이닝 설계두께를 기준으로 하고, 라이닝 측정두께가 있는 경우 이를 기준으로 한다.</p> <p style="text-align: center;">※ 손상도 = d(손상두께)/D(라이닝두께)</p> <p>2) 조적식 라이닝에서 손상두께는 벽돌두께를 기준으로 적용한다.</p> <p>3) 조적식 라이닝인 경우 손상면적은 벽돌크기를 기준으로 하여 산정하도록 한다.</p> <p>4) 손상발생부위는 아치부와 측벽부로 구분하며, 아치부에 손상이 발생하여 낙하위험이 있는 경우 등급을 하향조정한다.</p>					



4.3.3 누수

구분 \ 등급		a	b	c	d	e
누수		없음	스며 있음	떨어짐	흐름	분출
		<p>라이닝 균열</p>  <p>스며있음</p>	 <p>떨어짐</p>	 <p>흐름</p>	 <p>분출</p>	
해설	<p>1) 누수발생부위는 아치부와 측벽부, 노면으로 구분하며, 아치부에 누수가 발생하여 차량통행에 지장을 주는 경우 등급을 하향조정하도록 한다.</p> <p>2) 아치부에 발생된 누수가 얼어 고드름이 형성된 경우와 측벽부에 발생된 누수가 얼어서 건축한계를 초과하여 차량통행에 지장을 주는 경우에는 등급을 하향조정하도록 한다.</p> <p>3) 노면에 토사유출 또는 동결이 발생되어 차량통행에 지장이 될 경우에는 등급을 하향조정하고, 그 원인을 정밀조사하도록 한다.</p> <p>4) 누수가 배수공과 시공이음의 결함, 균열, 배면공동, 수맥 등의 영향으로 인하여 발생될 경우에는 수압 등에 의한 구조적 결함을 유발시킬수 있는지의 여부 등을 검토할 수 있다.</p>					

강 좌

4.3.4 재질열화(박리, 박락, 백태, 철근노출)

구분 \ 등급	a	b	c	d	e
박 리	없음	0.5mm미만	0.5mm이상 1.0mm미만	1.0mm이상 25mm미만	25mm이상 이거나 조골재 손실
박 락	없음	경미한 상태	깊이 25mm미만 또는 직경 150mm미만	깊이 25mm이상 직경 150mm이상	박락이 극심하여 즉시 보수를 요하는 상태
백 태	없음	국부적으로 발견	여러곳에서 발견	심한 상태	매우 심하고 범위가 매우 넓은 상태
철근노출	없음	없음	부분적으로 노출	여러곳에서 노출	많이 노출되어 철근이 부식됨
해 설	1) 박리, 박락, 백태는 콘크리트의 재질에 대한 평가로서 경년이나 주변환경영향 등에 따라 열화되는 특성을 나타낸다. 2) 박리는 콘크리트 라이닝의 박리된 깊이를 기준으로 하며, 박락은 콘크리트 박락된 깊이, 직경, 상태 등을 고려하여 판단하도록 한다. 3) 박리·박락이 심한 경우에는 다른 변상조건들과 비교검토하여 그 원인을 조사하도록 한다. 4) 백태의 경우 발생범위와 정도로부터 정성적으로 판단하도록 한다. 5) 철근노출은 철근콘크리트 라이닝의 경우에 적용하며, 심한 부식이 우려되는 경우에는 부식도를 측정하여 철근의 부식상태를 평가하도록 한다. 6) 콘크리트 재료상태를 평가하기 위하여 필요시 콘크리트 강도, 염화물 함유량, 중성화 상태 등에 대한 시험을 실시할 수 있다.				

4.3.5 배수상태

구 분	오염된	배수불량 및 막힘
결함점수	1	2
해 설	1) 배수상태는 지하수를 유도하여 배수를 허용하는 배수형 터널의 경우에 한하며, 배수형 터널이 아닌 경우에는 전문가의 판단에 따라 별도로 적용하도록 한다. 2) 배수된 물의 함유성분에 의한 오염이 우려되는 경우에는 수질을 조사하여 오염의 원인을 평가하도록 한다. 3) 배수된 물에 토사가 섞여 나오는 경우에는 지속적인 토사유출로 라이닝 배면에 문제가 발생할 가능성이 있으므로 토사유출량과 터널안정성에 대해 정밀조사하도록 한다.	

4.3.6 지반상태

구 분	풍화변질 및 단층파쇄대			
	풍화변질	영향범위 외	단 층 파 쇄 대	
			영향범위 내	
결함점수	1	1	중·소규모 단층 2	대규모 단층 3
해 설	1) 기시공된 터널에서는 주변지반상태를 육안으로 확인하는 것이 쉽지 않으므로 설계 및 시공자료를 참고하여 판단하도록 하며, 안전성 평가시 지반조사를 실시하여 지반상태를 평가하도록 한다. 2) 지반상태가 터널에 영향을 미치는 범위는 0.5D를 기준으로 한다. 3) 지반의 풍화변질상태는 육안으로 확인할 수 있는 갱구부 주변의 지반이나 노출된 입반으로부터 평가하도록 한다. 4) 터널에 직접적인 영향을 주는 지질구조(단층, 습곡, 선구조선)의 영향은 지질도나 시공자료, 지표지질조사결과 그리고 필요시 인공위성사진, 항공사진 등을 이용하여 검토하도록 한다. 5) 이완토압, 편토압, 소성압 등으로 인하여 내공범위가 발생한 경우에는 단층파쇄대의 영향범위 내에 해당하는 점수를 부여한다.			

4.3.7 갱문상태

구분	손상
결합점수	1
해설	1) 갱구부는 터널의 입출구부로서 차량의 통행에 직접적인 영향을 주기 때문에 갱문상태를 반영하여 손상여부를 평가한다. 2) 갱문의 평가방법은 일반 콘크리트구조물에서의 평가방법에 준하며, 특히 주변지반의 변화상태 등에 유의하여야 한다. 3) 갱문에 심각한 손상이 발생한 경우, 주변 지반조사를 실시하여 손상원인을 규명하도록 한다.

4.3.8 특수조건(추가점수)

구분	전력구터널, 전차선을 설치한 터널		
	측벽부 낙수	아치부 낙수	동결위험
결합점수	1	2	3
해설	1) 전력구터널, 전차선을 설치한 터널은 전기를 사용하므로 누전문제에 대한 위험성을 상태평가에 추가 반영하도록 하고, 특히 전차선을 설치한 터널은 동결시 차량운행에 지장을 초래할 수 있으므로 이를 반영한다. 2) 기타 일반적인 터널조건과 다른 특수터널인 경우, 조사자의 판단에 따라 상태평가에 특수조건을 부과하여 가점하도록 한다.		

4.4 터널 상태평가 대표등급 기준

상태등급	결합지수	상태
A	$0 \leq F < 15$	문제점이 없는 최상의 상태
B	$15 \leq F < 30$	경미한 손상의 양호한 상태
C	$30 \leq F < 55$	보조부재의 손상이 있는 보통의 상태
D	$55 \leq F < 75$	주요 부재에 진전된 노후화(강재의 피로균열, 콘크리트의 전단균열, 침하 등)로 긴급한 보수보강이 필요한 상태로 사용제한 여부를 판단
E	$75 \leq F$	주요부재에 심각한 노후화 또는 단면손실이 발생하였거나 안전성에 위험이 있어 시설물을 즉각 사용 금지하고 개축이 필요한 상태

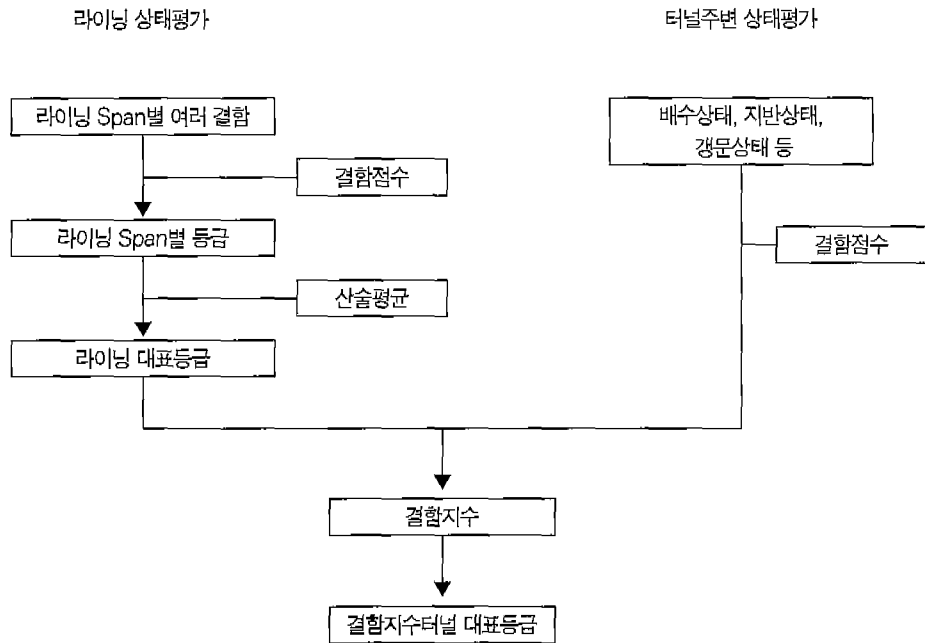
- 해설
- A : 문제점이 없는 건전하고 양호한 상태
 - B : 경미한 손상, 결함, 열화가 발생하였으나 기능발휘에 지장이 없는 상태로서 적은 양의 보수가 필요할 수 있음
 - C : 보통의 손상, 결함, 열화가 발생하여 구조적으로는 안전하나 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요한 상태
 - D : 주요부재에 발생한 손상, 결함, 열화로 인하여 안전운행에 지장을 초래할 우려가 있어 사용제한을 검토해야 하며, 시급한 보수·보강이 필요한 상태
 - E : 주요부재에 발생한 손상, 결함, 열화로 인하여 안전성에 위험이 있어 사용제한이 시급한 상태로써, 임시조치 후 사용하거나 즉각 시설물의 부분 사용금지 또는 보강·개축이 필요한 상태

4.5 상태평가 평가방법

터널 대표등급은 라이닝 상태평가와 터널주변 상태평가를 수행하여 결정하며, 평가과정은 다음과 같다.

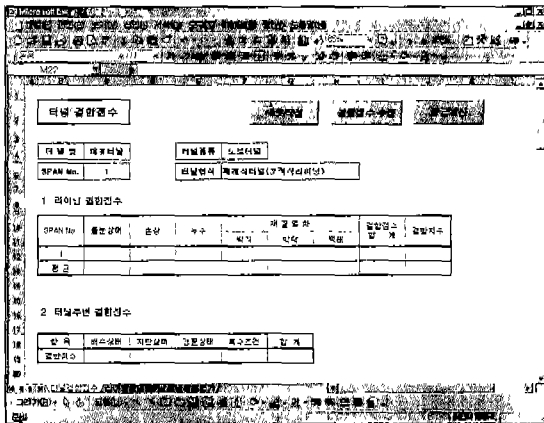
4.5.1 터널 상태평가 과정

강좌

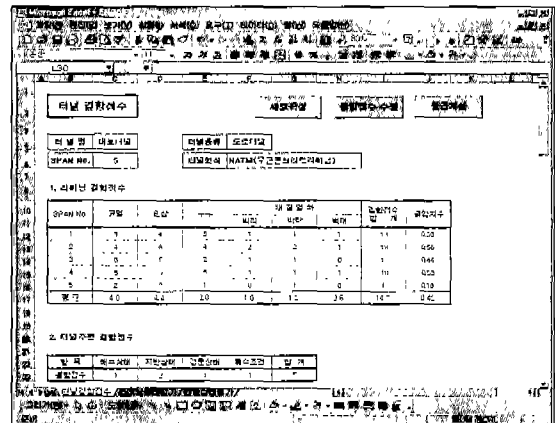


4.5.2 터널 상태평가 프로그램

1) 초기상태



2) 결함점수 입력



3) 라이닝상태 평가 결과

SPAN No.	구분	상하	좌우	착상 결함			SPAN 등급
				박리	박락	백태	
1	b	c	c	c	d	c	c
2	c	c	d	d	d	e	d
3	c	c	d	c	b	c	c
4	c	c	e	d	c	b	c
5	b	b	a	b	c	r	b
평균	c	c	c	d	c	c	c

4) 터널 대표등급 산정결과

구분	상하	좌우	착상 결함			평균	최저	최고
			박리	박락	백태			
상하	5.0	5.4	3.0	1.0	1.2	0.7	1	1.2
좌우								
평균								
최저등급	C							
상위등급	B.40							

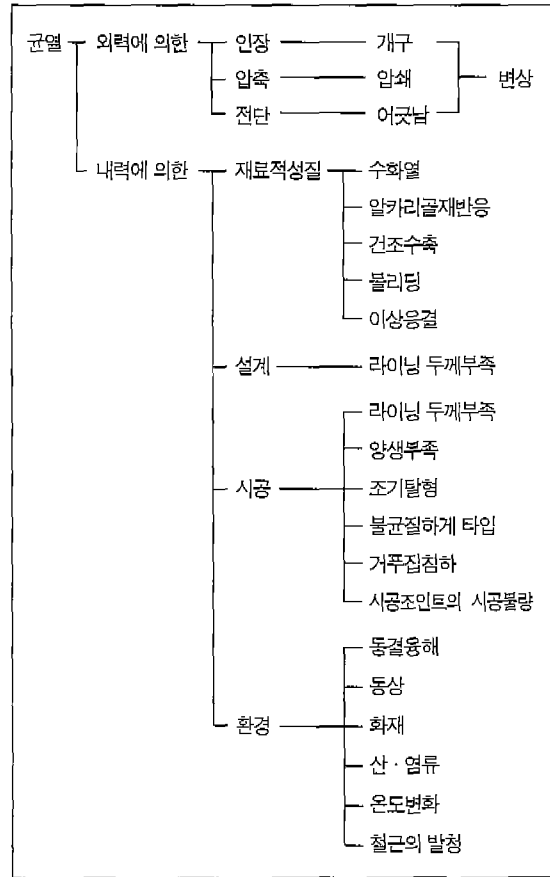


그림 4. 터널에 발생하는 균열의 원인에 따른 분류

일반적으로 균열은 어떤 한가지 원인에 의해 발생 되는 것이 아니라, 콘크리트 라이닝의 이상, 백태, 동해, 누수, 열화, 중성화, 지압의 변화 등의 다양한 원인과 이들의 복합적인 작용에 의해 나타나는 가장 보편적인 변상의 형태이다(그림 4). 이러한 균열은 그 기준에 있어 구조물별로 다소의 차이가 있고 그 경우 또한 매우 다양한 편이다. 그러므로 균열의 보수는 구조물의 특성을 감안하고 그 밖의 구조물이 위치한 지형적인 여건 및 시공성과 경비 등을 고려하여 이루어져야 한다.

균열에 대한 기준 및 각 경우에 대한 보수공법은 표 12에 나타난 바와 같다.

5. 보수·보강 일반

터널 시설물에 관한 정기점검이나 정밀점검, 긴급점검, 정밀안전진단을 실시한 후 변상이 발견되면 해당 변상내용에 대한 적절한 보수·보강 조치를 실시하여야 하는데 이에 관한 구체적인 항목들은 다음과 같다.

5.1 균열에 관한 보수·보강 조치

강좌

표 12. 균열의 보수공법 분류

보수 목적	균열형상 · 원인		균열폭(mm)	보수공법				
				표면 처리공법	주입 공법	출진 공법	그 밖의 공법	
							침투성방수제 도포공법	기타
방수성	철근이 부식되지 않은 경우	균열폭의 변동이 적다	0.2 이하	○	△		○	
			0.2~1.0	△	○	○		
		균열폭의 변동이 크다	0.2 이하	△	△		○	
			0.2~1.0	○	○	○		
내구성	철근이 부식되지 않은 경우	균열폭의 변동이 적다	0.2 이하	○	△	△		
			0.2~1.0	△	○	○		
			1.0 이상		△	○		
		균열폭의 변동이 크다	0.2 이하	△	△	△		
			0.2~1.0	△	○	○		
			1.0 이상		△	○		
	철근 부식							●
	염해							
반응성 골재								●

(콘크리트의 균열조사, 보수, 보강지침, 일본콘크리트·공업협회, 1980, p90)

※ 1. 균열폭이 3.0mm이상인 균열은 구조적인 결함을 수반하는 경우가 많으므로 여기에 표시하는 보수공법 뿐 만 아니라 구조내력의 보강을 포함한 공법을 적용하여 실시하는 일이 보통이다.

2. ○ 적당 ● 연구단계 △ 조건에 따라 적당

5.2 라이닝의 재질열화에 관한 보수·보강 조치

일반적으로 터널 라이닝의 열화현상은 시공 이후 시간이 지남에 따라 노후화 되는 것으로 인식되고 있으나 누수와 관련된 경우가 많고 그 외 유해수, 동해, 염해, 연해 등의 외적요인이 작용할 때도 있다. 또한 콘크리트의 배합불량이나 골재의 알칼리반응 등 여러 내적요인에 의해서 독특한 열화현상이 나타나기도 한다. 이러한 라이닝의 열화조사는 어떤 요인에 의해 열화가 일어났는지, 어느 범위까지 열화가 일어났는지를 정확히 파악하고 있어야 적절한 대책을 강구할 수 있으므로 중요한 과정이라 할 수 있다.

열화된 라이닝의 보수는 기본적으로 열화의 정도와 원인에 따라 대책공법을 선정해야 하되, 열화된 부위와 라이닝면(과거에 시공한 보수재도 포함)의 낙하 유무, 건축한계 여유량 등도 함께 종합적으로 고려해야 한다. 아울러 지압과 같은 외력에 의한 변

상이 동시에 나타나는 경우에는 지압대책을, 누수나 동해에 의한 문제가 있을 경우에는 그에 대응하는 대책도 함께 고려하여 종합적으로 판단하여야 한다. 터널 라이닝의 열화에 관한 보수·보강 조치는 아래와 같으며, 열화된 라이닝의 대책을 수립할 때의 조건별 공법선정의 관계는 표 13에 나타난 바와 같다.

- | |
|--|
| ① 표면청소 ② 깨어내기 ③ Pointing ④ 보강판 붙이기
⑤ 철망 붙이기 ⑥ 라이닝 보강 ⑦ 보강 새들(Saddle) ⑧ 부분개축 |
|--|

5.3 누수·동해에 관한 보수·보강 조치

터널에서 누수가 일어나면 내부 전기시설의 기능을 저하시키고 부속물의 내구성을 떨어뜨린다. 특히 겨울철에는 누수가 동결되어 아치부와 측벽부, 노면에 얼음이 생겨 교통안전이나 유지·관리 측면에서 큰 지장을 초래한다. 또한, 이미 언급한 대로 누수 및

표 13. 열화된 라이닝의 보수 대책공법

위치	공법		표면청소	깨어짐	표인팅	보강판	철망 공법	콘크리트 공법	라이닝 보강 현장타설 콘크리트공법	보강 새들	부분 개축
	열화 상황										
표면오염			○								
아치부	국부적	소		○		○					
		대		○				○	○		○
	광범위	소		○				○	○		○
		대						○	○		○
측벽부	국부적	소		○							○
		대		○							○
	광범위	소		○				○	○		○
		대						○	○		○
비 고			①	①	①	②	②	④	③	③	⑤

· 기호 : ○적용가능공법, △응급조치 또는 다른 공법과 함께 사용

· 열화범위의 구분 : 국부적 - 열화범위 10m² 미만
광범위 - 열화범위 10m² 이상

· 열화상황의 구분 : 아치부 대 - 낙하물의 크기가 벽돌 정도 이상
소 - 낙하물의 크기가 벽돌 정도 이하
측벽부 대 - 낙하물의 크기가 벽돌 정도 이상
소 - 낙하물의 크기가 벽돌 정도 이하

※ 국부적으로 라이닝 두께가 부족하고 배면공동이 존재하는 경우

- ① △ : 다른 보수공법의 전처리 과정으로 시행
- ② 새들, 라이닝 보강 등을 적용하기에는 내공단면의 여유가 없는 경우에 적용
- ③ 라이닝의 내력증가가 필요하며 내공단면의 여유가 있는 경우
- ④ 라이닝의 내력증가가 필요하며 내공단면의 여유가 없는 경우
- ⑤ 열화정도가 라이닝 두께의 1/2이상인 경우

표 14. 누수 및 동해로 인한 문제점

구분	발생현상
터널기능 저하	· 유해수에 의한 라이닝 재료 열화 · 동해에 의한 라이닝 재료 열화 · 터널 주변지반의 동상압에 의한 변상 · 토사유입, 퇴적 등에 의한 배수불량
차량운행 저해	· 고드름· 축빙 등의 낙하 · 누수 흘날림 · 차바퀴의 공회전 및 미끄러짐
기타	· 통로, 맨홀 동결 · 박테리아 발생 · 부대시설 부식

동해는 라이닝 재료의 열화를 촉진시키기 때문에 터널의 수명을 단축시키는 등 많은 영향을 미치므로 반드시 적절한 대책공법을 세워 누수를 방지해야 한다.

누수 및 동해에 기인하여 터널에 발생하는 문제점들을 정리하면 표 14와 같다.

누수대책공법은 오래 전부터 여러 방법이 개발되어 사용되고 있으나 시공 후 짧은 기간에 그 기능이 저하되어 다시 누수나 결빙이 일어나는 경우가 많다.

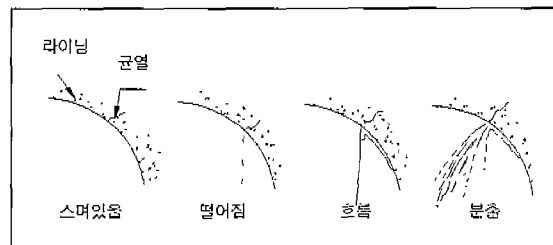


그림 5. 누수상태에 따른 분류

표 15. 누수·동해 대책공법의 선정

요인	누수상태	선상				면상				비고
		소량		다량		소량		다량		
		유	무	유	무	유	무	유	무	
선상 대책 공법	내공단면여유									
	도수공법	○		○		△		△		
	출파기공법		○	○	○		○		○	U,V Cut 공법 면상대책공법의 전처리로도 시행
면상 대책 공법	지수공법	△	△							누수량이 물방울 형성 정도이고 범위가 한정되는 경우 적용 가능
	숏크리트 공법					○		○		철망, 앵커 및 도수공법의 병용 필요
	도포공법					△	△			누수 정도가 경미할 때만 적용
	방수판							○		
관련 공법	방수슈트					○		○		라이닝 개축 등을 행할 경우
	배면주입 공법				○	○		○	○	토피가 작고 지표수나 빗물이 터널 배면공동을 흘러 직접 터널 내부로 유입되는 경우
	수위저하 공법				○	○		○	○	지하수위가 높은 경우
동해 단열 공법	U-cut 단열재									
	삽입공법	○	○	○	○					
	표면단열 처리공법					○	○	○	○	

▶ 기호 : ○ 적용가능 공법, △ 경우에 따라 적용 가능한 공법
 ▶ 누수량 분류 - 소량 : 스며있음, 떨어짐 정도의 누수량
 다량 : 흐름, 분출 정도의 누수량

따라서 누수상황, 환경조건, 대책공법의 효과, 시공성, 경제성, 내구성 등 제반 사항을 충분히 고려하여 신중히 선정하여야 한다. 표 15에 조건에 따른 누수 대책공법을 나타내었으며, 이해를 돕기 위해 그림 5에 누수상태에 따른 분류를 제시하였다.

5.4 배면의 공동에 관한 보수·보강 조치

시공시 숏크리트 타설에 문제가 있거나, 인근 주변 지반에 폐광이 존재했거나 시공 후 유지관리 등에 문제가 있을 경우에는 라이닝의 배면에 공동이 발생할 수 있는데, 이러한 공동의 범위는 비파괴 시험을 통해 조사가 가능하며, 이는 터널 시설물의 안전을 유지하기 위해서는 공동부분을 채워 라이닝에 작용하는 압력을 균등화시킴으로서 라이닝이 가지고 있는 내하력을 유효하게 이용해야 한다. 이를 위한 배면의 공동에 관한 보수·보강 조치로는 일반적으로 모르타 주입 등에 의한 충전공법이 많이 쓰이고 있다.

이 공법은 아치부의 누수가 심하고 라이닝 배면에

공동이 있거나 토피가 적어 터널 배면의 공극이 유로가 되어 우수 및 지표수가 터널로 직접 유입하는 경우에 적용할 수 있는 바람직한 공법으로서 터널 내나 지표로부터 라이닝 배면과 노반 아래 부분의 공극 또는 주변지반에 천공하여 주입관을 설치하고 이 관을 통해 Plant에서 혼합한 주입재(Grout)를 주입 펌프로 압입하여 고결하는 방법으로 라이닝의 기능강화나 노반부의 침하방지 등의 효과를 기대할 수 있다. 보통 지압대책으로 실시하는 일이 많은데 라이닝 배면의 공극을 충전하여 라이닝과 원지반면을 밀착시켜 라이닝에 작용하는 지압의 균등화를 도모하는 경우에 이용된다.

하지만 이 공법은 경우에 따라서는 과도한 주입으로 인하여 다른 곳으로 새어 라이닝의 변형이나 노반의 분리를 유발하는 경우도 있기 때문에 시공시 각별한 주의를 요한다.

주입공법에는 침투주입공법과 강제교반공법으로 구분할 수 있는데, 침투주입공법은 원지반을 흐트리지 않고 주입재가 지반의 공극속에 맥상 또는 침투상

표 16. 터널 지반의 보강 공법 비교

공법 구분	MINI PIPE ROOF	Micro pile (MINI pile)	PUF (우레탄주입)	L/W 주입	복합약액주입 (SGR)	고압분사주입 (JSP, JET)
공법 개요	터널 crown부에 천공 후 소구경관을 일정간격으로 설치하고 주입함으로써 지반과 강관이 일체가 되게 하여 하나의 MINI pipe roof를 형성	지상에서 수직 및 경사시공으로 천공 후 hole내에 응력재와 주입관을 설치하고 압력주입으로 소형말뚝의 형성과 말뚝 주변의 지반을 보강함	Fore polling 시공과 동일하게 착암기로 천공하고 중공압입복트를 설치한 후 1.5shot 방식에 의한 우레탄 주입으로 주변지반을 경화시킴	천공 후 지중에 manjet tube설치와 seal재 주입 및 별도 주입 관에 의한 1.5shot 방식으로 L/W를 주입	천공후 지중에 이중관 주입관을 설치하고 2.0shot 방식에 의한 급결, 완결재의 복합주입으로 목적범위내에 균일한 지반개량	막장전용 장비에 의한 5~10° 경사천공과 주입시 Rod의 계속적인 회전과 동시에 200~500kg/cm ² 의 초고압분수에 의한 주입재와 지반의 교반으로 개량기둥을 형성
보강 및 주입재료	강관, 시멘트밀크	시멘트밀크, 철근, 강관	중공압입복트, 우레탄	Water glass, 시멘트	Water glass, 시멘트	시멘트, 혼화재
목적	지반보강	지반보강	지반보강 및 지수	지반보강 및 지수	지반보강 및 지수	지반보강 및 지수
적용지반	모든 지반	모든지반	파쇄대 암반층	세사, silt층을 제외한 모든 지층	모든 지반	미고결층 (silt, 모래, 모래지갈 등)
1회 막장 개량길이 (강내시공)	3~15M	-	3.0M	-	25.0M	13~15M
overlap 길이	1.5~5.0M	-	1.0~1.5M	-	5.0M	3.0M
시공성	<ul style="list-style-type: none"> 토사층이나 암반층 등에서 이완토압의 경감, 낙반방지 지보 효과를 기대할 수 있음 철도 횡단, 풍구구조물 횡단, 갱구부 보강 등에 효과적 토피가 적을 경우의 보강에 유리 	<ul style="list-style-type: none"> 시공이 간편 공사목적에 따라 다양하게 적용할 수 있음 지반보강은 양호하나 차수효과는 기대할 수 없음 간물이나 매설물의 보강 및 언더피닝 용으로 적용가능 	<ul style="list-style-type: none"> 낙반이 예상되는 조건하에서 시공효과 확실 장비간단(천공, 주입) 착암에 의한 천공으로 터널굴진과 병행작업가능 	<ul style="list-style-type: none"> 공극이 다소 큰 지반에서의 지반보강 효과 시공 실적이 많고 장비 간편 주입압 : 10kg/cm² 	<ul style="list-style-type: none"> 주입관 설치가 용이하며 막장내에서 상향경사 시공용이 급결과 완결주입이 자유로운 복합주입 차수 효과 양호 시공 경험 풍부 저압 주입 주입재가 응액, 현탁액 등 다양하여 공사 목적에 따라 침투 및 액상주입에 의한 지반을 균일하게 개량 (완결재 비율이 높으면 강도 증가) 	<ul style="list-style-type: none"> N(50)의 미고결층 개량 효과 양호 Hole내에 강관을 삽입하면 휘폴링 생략 타공법에 비해 개량 강도가 크다
기타	<ul style="list-style-type: none"> 차수를 위해서는 별도의 주입공법을 병행 구경이 다소 크고 시공길이가 길 경우에는 막장 전용 장비가 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 차수를 위해서는 별도의 주입공법을 병행 심도가 깊을 경우에는 공사비 증가 	<ul style="list-style-type: none"> 1회 작업가능길이가 짧다 막장전면 및 하부에서의 유출수에 대해서는 별도 처리가 필요 토사층에서는 효과 불확실 주입량이 많을 경우 비경제적임 	<ul style="list-style-type: none"> 막장내에서는 상향경사시공으로 주입관 설치가 곤란 Gel Time 조절(2~3분) 세사층 이하의 지층에서는 주입효과 불확실 	<ul style="list-style-type: none"> 타공법에 비해 개량강도가 다소 떨어지므로 연약지반에서는 개량 Zone이 커진다 	<ul style="list-style-type: none"> 막장전용장비가 필요(수평보행기) 5~10° 경사시공으로 터널 굴착단면이 계속적으로 변화됨(강저보 라이닝 콘크리트 증가) 상부반단면에서 하부 단면 개량 불가(상부반단면 시공 후 터널내에서 별도 하부시공을 요함) 수입이 크게 작용하는 현상여건에서는 시공효과 불확실 주입 중 많은 양의 slime이 발생 국내시공실적이 적다 타공법에 비해 고가

강좌

으로 주입되어 고결되는 공법이며 강제교반공법은 주입과 노즐에서 분사되는 주입재의 고속 분출류의 에너지로 원지반과 주입재를 교반하여 개량(JSP 공법 등)하는등 강제적으로 원지반을 교란시키면서 주입하는 방식이다. 주입공법을 위시하여 터널 주위 지반의 보강 공법들의 장단점, 특성 등을 비교하면 표 16과 같이 정리할 수 있다.

5.5 중성화에 관한 보수·보강 조치

터널 내부의 콘크리트에 관한 중성화에 관한 시험 요령은 제5장의 5.3.9와 같은데, 이러한 시험을 통해 콘크리트 중성화 상태에 따른 시설물의 재령을 파악할 수 있고 콘크리트 표면의 강도를 예측할 수 있다. 중성화에 의한 콘크리트 변상은 그리 큰 문제를 야기하지는 않는 것으로서 알려져 있지만, 터널 시설물의 경우는 차량의 배기가스 등으로 인해 라이닝 콘크리트의 중성화가 다른 시설물에 비해 빠른 속도로 진행되므로 콘크리트의 표면도장과 같은 보수·보강 조치가 필요하다.

5.6 외력에 대한 보수·보강 조치

터널에 외력이 작용하여 변상을 일으키는 원인으로서는 소성압, 편압·사면활동, 지반미끄러짐, 지반이완에 따른 연직압, 수압·동결압, 지반침하, 지지력 부족 등을 들 수 있다. 이러한 원인에 대한 대책공법을 표 17에 제시하였다.

6. 결론 및 제언

유지관리는 제2의 건설이다

■ 사회적 측면에서

최근들어 고속도로, 도시고속도로, 지하철, 국도의 직선화, 지하 Utility 관 등으로 기시공된 터널의 수량이 급격히 증가하였고, 지속적인 수요 증가로 인하여 향후 시공물량 역시 크게 늘어날 전망이다. 또한 터널은 국가 기반시설의 중요한 부분중에 하나로 터널에서 발생하는 안전사고는 산업시설물에 대한 위

표 17. 변상원인과 대책공법

대책공법 \ 변상원인	소성압	편압·사면활동	지반미끄러짐	지반이완에 의한 연직압	수압	동결압	지반침하	지지력 부족
보강판, 철망공법	△	△	△	○	△	△	△	△
배면주입공법	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
라이닝 보강	-shotcrete*	○	○	○	△	△	△	-
	현장타설 콘크리트	○	○	○	△	△	-	-
새틀보강공법	○	○	○	○	△	△	◎	-
특볼트 보강공법	◎	◎	○	△	△	○	△	○
다짐콘크리트공법	-	○	△	-	-	-	-	◎
스트러트공법	○	○	○	-	△	△	△	△
인버트콘크리트 설치	○	○	○	-	△	○	○	◎
지반주입공법	-	△	-	△	△	△	△	○
배수공 개량, 신설	△	△	○	△	◎**	◎**	-	○
사면안정공법		○	◎					

기호 : ◎ 최적의 공법, ○ 적합한 공법, △ 경우에 따라 유효한 공법, - 부적합한 공법

* 큰 변위가 예상될 경우 강섬유보강-shotcrete(SFRS) 사용

** 도수공 개량 또는 신설에 의한 배수처리 개선

기감을 확산할 우려가 높아 유지관리에 대한 관심이 고조되어 있다. 따라서 터널의 유지관리는 사회적으로 증가되고 있는 산업시설물에 대한 효율적인 관리 체계의 구축 및 안정성 확산에 필요하다.

■ 경제적 측면에서

터널은 그 자체만으로 중요한 산업시설물중에 하나이며 물류나 인력의 수송에 지대한 역할을 담당한다. 붕괴나 잦은 보수에 따른 터널 사용중단으로 발생하는 경제적 손실은 보수비용 과다지출 외에도 물류비용 증가로 나타나게 된다. 과거 터널에 대한 체계화되지 않은 안전진단과 보수·보강 수행으로 인하여 유지관리에 대한 인원 및 비용의 중복 투입에 따른 경제적 손실도 크다고 판단된다. 따라서 정확한 시기에 적절한 보수·보강을 통한 유지관리는 경제적 손실을 줄일 수 있으며, 효율적인 유지관리에 의한 터널구조물의 수명연장은 재시공에 따른 경제적 부담을 줄일 수 있다.

■ 기술적 측면에서

현재까지 터널의 유지관리에 대한 기술은 점점, 진단, 평가 없이 부분적인 기술로써 정립되어 왔다. 그러나 구조물의 유지관리는 체계화되지 않으면 일시적인 작업으로 전락할 수 있으며, 일시적인 작업의 반복으로는 구조물을 효율적으로 유지관리할 수 없는 실정이다. 안전점검 및 정밀안전진단을 통하여 얻어진 자료를 평가하는 기술이 발전되고, 구조물 유지관리에 필수적인 변상 상태를 진단하고 평가하는 기술이 정착단계에 있다. 따라서 기존에 부분적으로 구축된 안전진단의 기술을 체계화하고 효율적인 상태평가 기술을 접목한 통합된 유지관리 기술이 요구된다.

이제는 유지관리 시대이다

터널의 유지관리는 터널의 손상 점검·진단 및 평

가를 효율적으로 수행할 수 있는 도구와 평가에 따라서 효율적으로 보수·보강방법을 판단할 수 있는 도구, 터널 보수·보강에 대한 체계적인 자료정리가 필요하게 된다. 그러나 국내에서는 아직까지 구조물 유지관리에 필수적인 변상 상태를 진단하고 평가하는 기술이 미흡하고, 보수·보강방법을 결정하고 있는 방법이 미흡한 실정이다. 따라서 터널 조사장비의 개발, 터널 변상 발생시 터널의 상태평가 및 안전성평가를 통하여 터널변상의 원인추적과 변상을 치유할 수 있도록 해야 할 것이다.

참고문헌

1. 시설안전기술공단 "안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 - 터널편", 2000.
2. 건설교통부, "터널표준시방서", 1999.
3. 대우건설기술연구소, "터널안전관리를 위한 정밀 안전진단 시스템 개발", 1996.
4. 시설안전기술공단, "안전점검 및 정밀안전진단 실무요령 (터널편)", 1998.
5. 시설안전기술공단, "터널 유지관리 매뉴얼", 2001.
6. 한국건설기술연구원, "터널의 안전진단 체계정립 및 균열 자동측정 시스템 개발", 1998.
7. 한국건설기술연구원, "터널구조물 상태평가 자동화 시스템 개발", 2001.
8. 철도청, "변상터널의 보강공법에 관한 연구", 1998.
9. 시설안전기술공단, 시설물 상태평가 기준(안) -터널편-, 2001.
10. 시설안전기술공단, 터널유지관리 시스템 개발, 2000.
11. 시설안전기술공단, 변상터널대책공 설계 매뉴얼, 1999.