

강원도 산악지형 도로사면 붕괴특성 및 유지관리 Failure Characteristics and Management of Road Slopes in Kawangwon-Do

이승호¹⁾, Seung-Ho Lee, 황영철²⁾, Young-Cheol Hwang, 이재기³⁾, Jae-Gi Lee, 김기환⁴⁾, Gi-Hwan Kim

¹⁾ 상지대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Sangji

²⁾ 한국도로공사 도로연구소 책임연구원, Chief Researcher, HRC, Korea Highway Corporation

³⁾ 강원도 도로관리사업소

⁴⁾ 상지대학교 토목공학과 석사과정, Master course, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Sangji

개요(SYNOPSIS) : 국내의 지질 및 지형적 특성으로 인하여 도로 개설에 따른 절개 사면이 증가하고 있는 추세이다. 하지만 이런 절개 사면에 대한 체계적이고 효율적인 자료를 갖추고 있지 못하는 실정이다. 특히, 강원도는 산악지형이 많고 영동지방과 중부지방을 연결하는 도로에 대규모 절개사면들이 자리 잡고 있어 매년 크고 작은 사면활동이 발생되어지고 있다. 하지만 아직까지 강원도 산악지형에서 발생한 사면파괴에 대한 적절한 평가와 대책이 이루어지지 못하고 있다.

따라서, 본 논문에서는 강원도 지방도 사면의 관리현황과 유지관리방법 그리고 대책수립현황에 대해 소개하고, 조사된 자료로부터 산악지형 지방도 사면의 특징을 파악하여 나아가서는 적절한 사면안정대책 수립을 위한 방안을 제시하는 데 있다.

주요어(Key words) : 절토사면, 강원도, 사면유지관리현황

1. 개요

건설교통부 도로국 자료에 의하면 1998년 기준 우리나라의 도로 총 연장은 86,989.6km에 달하고 있으며 이중 국도는 12,447.4km, 지방도는 17,155.3km 그리고 시·군도는 37,720.7km에 이른다. 국내의 지형 여건상 도로건설시 많은 절토사면이 발생하고 있으며, 또한 이러한 절토사면에 의해 매년 크고 작은 사면붕괴로 인하여 직·간접적인 인명피해 및 재산피해가 발생하고 있는 실정이다.

이러한 피해를 최소화하기 위하여 각 연구단체등에서 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 이러한 연구과제 중의 하나로서 주어진 예산에서의 활용도를 극대화하기 위해 절토사면별 투자우선순위를 위한 지표를 만드는 연구도 진행중이다.

그러나, 이러한 연구는 유지관리를 대상으로 하는 지역내의 모든 절토사면의 공학적 조사와 이에 대한 데이터베이스화가 필수적이며, 따라서 이에 대한 연구 및 이를 이용한 자료확보가 반드시 선행되어야 하는 것이 필요하다.

따라서, 본 논문에서는 도로면을 따르는 절토사면수가 비교적 많은 강원도내의 도로관리사업소에서 절토사면 유지관리 현황에 대해 조사하고 이에 대한 붕괴특성을 파악하며 이로부터 향후의 전반적인 체계를 갖춘 절토사면 유지관리 시스템의 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 강원도의 지질현황

중북부 지방의 대부분은 경기변성암복합체의 암석과 화강암으로 이루어졌으나 남동부의 태백산지대에는 조선누층군과 평안누층군의 지층이 광범하게 분포한다. 고생대 초에 퇴적된 조선누층군에서는 대석회암층군이 대부분을 차지한다. 대석회암층군에는 양질의 석회석이 무진장 매장되어 있고, 이를 배경으로 시멘트 공업이 발달했다. 수많은 석회동굴도 대석회암층군에 형성되어 있다. 고생대 말에서 중생대 초에 걸쳐 퇴적된 평안누층군에는 무연탄이 매장되어 있다. 조선·평안 누층군은 중생대 쥐라기 말에 대보조산운동을 받아 매우 복잡한 습곡 및 단층구조를 갖게 되었다. 따라서 무연탄의 경우에는 부존상태가 불량하다.

주문진에서 원주지방에 이르는 화강암대는 쥐라기 말에 관입한 대보화강암, 속초에서 홍천지방으로 이어지는 그것은 백악기 말에 관입한 불국사화강암으로 구성되었다. 후자는 절리의 발달이 탁월하며, 설악산의 험한 암석경관은 이 때문에 나타나게 된 것이다. 춘천 분지는 대보화강암의 차별침식에 의한 것이고, 이를 둘러싼 산지는 춘천층군의 변성암으로 이루어졌다(그림 2.1 참조).

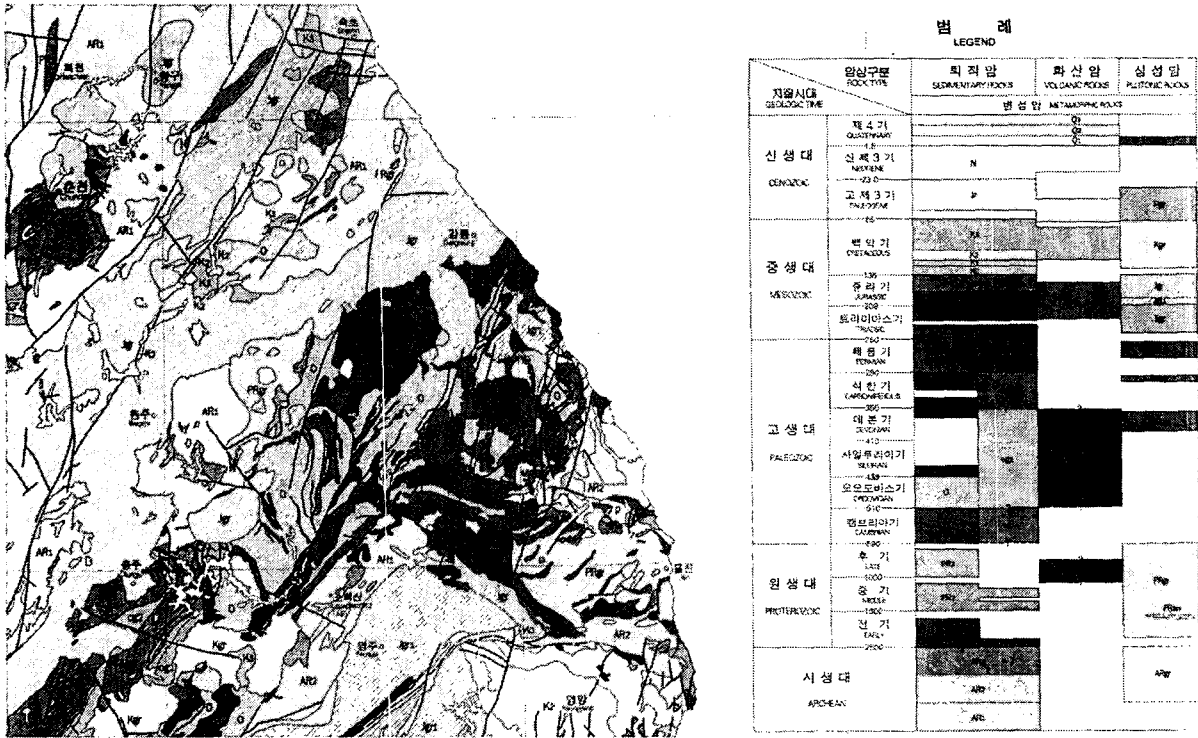


그림 2.1 강원도 지역 지질현황도

3. 강원도내 도로 및 사면관리 현황

3.1 강원도내 도로현황

1998년 말을 기준으로 강원도내의 도로 총 연장은 국가지원지방도 301km를 포함하여 7,831km이고 이중 고속도로가 234km, 일반국도가 1,826km, 지방도가 1,634km, 시군도가 4,137km로 분포하고 있다. 강원도내의 도로구분별 도로연장 및 포장상태는 다음 표 3.1과 같으며 1999년말 현재 강원도내의 도로

총 연장은 7,842km에 이르고 있다.

표 3.1 강원도내 도로현황(1998년 말 기준) - 국가지원지방도 301,330m 포함

구분	계(m)	포장(m)	포장율(%)	미포장(m)	미계통(m)
합계	7,831,001	5,252,014	67.1	2,460,587	118,400
고속도로	234,340	234,340	100.0	-	-
일반국도	1,825,774	1,798,921	98.5	24,053	2,800
지방도	1,634,240	1,250,890	76.5	352,550	30,800
시군도	4,136,647	1,967,863	47.6	2,083,984	84,800

또한 1980년도부터 1999년까지의 강원도내 도로 총 연장을 연도별로 표시하면 그림 3.1과 같다.

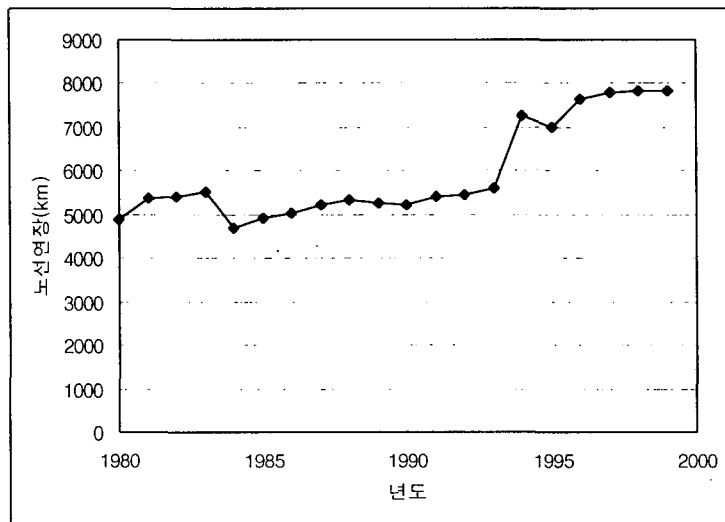


그림 3.1 연도별 강원도내 도로 총 연장

3.2 강원도 도로관리사업소 내 절토사면 유지관리 현황

본 논문에서는 강원도내 도로 중 도로관리사업소에서 관리하고 있는 노선을 대상으로 절토사면관리 현황을 조사하였다.

강원도 도로관리사업소에서 관리하고 있는 도로는 국가지원지방도와 지방도이며, 이는 1998년말을 기준으로 국가지원지방도 301km와 지방도 1,634km를 합하여 거의 2000km에 달하고 있다.

2000년 강원도 도로관리사업소에서 관리대상 지점으로 선정하여 관리하고 있는 사면 수는 총 101개 사면으로 사면 연장으로 보면 10,504m에 이르고 있다. 표 3.2는 강원도 도로관리사업소에서 관리하고 있는 노선구간별 관리대상 사면 현황을 나타낸 것이다.

관리대상 사면은 전체 절토사면 중 붕괴가 발생하였거나, 붕괴이력이 있는 사면 그리고 현장조사시 붕괴가능성이 있다고 판단되는 사면을 대상으로 하고 있으며, 이미 수립된 대책에 의해 처리가 된 사면은 관리하고 있지 않은 실정이다.

표 3.2 대상 노선별 관리대상 사면 현황

구 분	노선번호	구 간	관리대상 사면 개소	관리대상 사면 연장(m)
국가지원지방도	19호	횡성권	2	120m
	70호	홍천 서 끝업~서 반곡	3	180m
	70호	홍천군 경계~춘천 신북 오월	5	310m
	88호	원주 신림~영월 주천사거리	7	3,070m
지방도	403호선	춘천 남산 후동~ 춘천 사북 고성	13	940m
		양구권	5	660m
	406호선	횡성권	2	410m
		홍천권	2	100m
	407호선	춘천권	2	120m
	424호선	평창 대화 개수~유포리	3	1,500m
	444호선	홍천 홍천 검울~서석 어른	1	40m
	453호선	양구권	6	360m
	460호선	양구권	11	585m
		화천권	24	1,465m
	461호선	화천 화천~화천 상서	6	270m
	494호선	횡성 공근 상창봉~홍천 서 모곡	4	99m
	519호선	영월권	1	100m
531호선	원주권	4	175m	
합 계			101	10,504m

도로관리사업소에서는 사면유지관리를 위하여 전체 사면 중 붕괴가 발생한 이력이 있거나 위험하다고 판단되는 사면에 대해 이를 단기대책과 장기대책으로 구분하여 안정화 방안을 수립해 놓고 있다. 단기대책으로는 주의, 위험 등의 운전자가 상황을 인지할 수 있는 표지판을 설치하거나 방책을 설치하는 방안을 수립해 놓고 있으며, 장기대책으로는 비탈면을 정리하거나, 망설치, 옹벽 설치 등의 대책을 수립해 놓고 있다. 이를 위하여 노선별로 “지방도 산사태·낙석위험지구 점검결과표”라는 관리대장을 만들어 관리하고 있으며 관리대장에 포함되는 내용은 표 3.3과 같다.

표 3.3 절토사면 관리를 위한 관리대장 항목 및 세부내용

항 목	세 부 내 용
■ 위험지구 현황	- 노선명(노선번호) - 위치 : 행정구역으로 표시(특이사항 시 이를 표시) - 관할사업소명 - 노선담당자 : 직급과 성명, 연락처(전화번호) 표기 - 담당수로원 : 성명과 연락처 표기 - 위험요소(구체적으로) : 위험요소를 기입
■ 장단기 위험요소 해소대책	- 단기대책 : 대책방안 및 소요비용 산출 - 장기대책 : 대책방안 및 소요비용 산출 : 대책방안 수립시 대책방법과 수량까지 산출
■ 위치도	- 지도에 노선 및 대상사면 위치를 표시
■ 전경사진	
■ 점검 및 조치사항	- 구분(점검종류) : 점검방법 표기 - 점검일시 - 점검자 : 점검자 이름 - 점검결과 위험요인 : 위험요인을 표기 - 응급조치사항 : 필요시 응급조치사항 표기
■ 참고사항	(과거 낙석·산사태 발생상황, 주변환경 등) : 서술식으로 표시

위와 같은 내용으로 대상 절토사면을 조사하여 관리하고 있으며, 수립한 장,단기대책을 처리한 사면에 대해서는 별도의 관리를 이행하고 있지 않은 실정이다.

표 3.3의 내용 중 '위험지구 현황'항목의 "위험요소(구체적으로)" 항의 내용은 다음과 같은 방법으로 기술하고 있다.

- 낙석예상지역(암절개지 법면 불안정, 비탈면 절개지 낙석상존)
- 산사태 예상지역 혹은 산사태 위험지역
- 낙석위험지역(재해위험지역 지정으로 관리하던 현장)

표 3.4는 노선별로 절토사면의 위험요소를 표시한 사면개소수를 나타낸 것이다.

표 3.4 노선별 위험요소 파악 현황(사면개소수로 표시)

구분	노선번호	구간	위험요소			
			낙석 예상지역	산사태 예상지역	토사유입	기타
국지도	19	횡성권	1		1	
	49	원주권			1	
	70	홍천서굴업-서반곡	3			
	70	홍천군경계-춘천신북오월	5			
	88	원주신림-영월주천사거리	7			
지방도	403	춘천남산후동-춘천사북고성	13			
		양구권	5			
	406	횡성권	4			
		홍천권	2			
	407	춘천권	2			
	411	영월수주면	2			
	413	영월북마차평창미탄울치	3			
	424	평창대화개수-유포리	3			
	444	홍천홍천검술-서석어른	1			
	453	횡성공근상창봉-홍천서모곡	6			
	460	양구권	9	2		
		화천권	23	1		
	461	영월권		1		
	494	양구권	2	2		
	519	화천 화천-화천상서	1			
	531	원주권	3		1	
	597	영월권	2			
합 계			97	6	3	

관리노선에의 전체 사면 중 위의 표와 같이 붕괴가 발생하였거나, 발생가능성이 있는 사면을 대상으로 유지관리를 시행하고 있다.

본 논문에서는 위와 같은 내용으로 조사된 강원도내의 국가지원지방도와 지방도에 대한 내용을 토대로 절토사면 대책수립현황을 조사하였다.

표 3.5는 도로노선별 장,단기 대책수립현황을 표시한 것으로 총 101개의 대상사면 중 단기대책으로 223개의 표지판 설치와 49개 사면에 대한 방책설치를 계획하고 있으며, 장기대책으로 비탈면 정리 4개소, 망설치 90개소, 용벽설치 9개소를 안정화 대책으로 수립해 놓고 있다. 이러한 안정화 방안을 위해 소요되는 비용은 단기대책수립에 대한 처리비용으로 6천만원 정도, 장기대책수립에 대한 처리비용으로 120억 정도를 예상하고 있다(표 3.6 참조).

표 3.5 노선별 대책수립공법 현황

구 분	노선번호	구 간	사면연장	관리대상 사면수	대책현황				
					단기대책		장기대책		
					표지판	방책	망설치	비탈면 정리	옹벽설 치
국가지원 지방도	19호	횡성권	120	2	-	-	1	-	1
	70호	홍천 서 굴업~서 반곡	180	3	-	-	3	-	-
	70호	홍천군 경계~춘천 신북 오월	310	5	20	3	5	-	2
	88호	원주 신림~영월 주천사거리	3070	7	24	3	7	-	-
지방도	403호선	춘천 남산 후동~춘천 사북 고성	940	13	44	5	12	-	4
		양구권	660	5	12	2	4	-	-
	406호선	횡성권	410	2	16	2	3	-	-
		홍천권	100	2	4	-	1	-	1
	407호선	춘천권	120	2	8	-	2	-	-
	424호선	평창 대화 기수~유포리	1500	3	12	2	3	-	-
	444호선	홍천 홍천 검술~서석 어론	40	1	-	-	1	-	-
	453호선	양구권	360	6	16	3	3	-	-
	460호선	양구권	2050	11	8	6	9	1	-
		화천권	1465	24	12	19	23	3	-
	461호선	화천 화천~화천 상서	270	6	23	3	5	-	-
	494호선	횡성 공근 상창동~홍천 서 모곡	99	4	8	1	4	-	-
	519호선	영월권	100	1	4	-	1	-	-
531호선	원주권	175	4	12	-	3	-	1	
합 계				101	223	49	90	4	9

표 3.6 대책수립 소요비용 수립 현황

구 분	노선번호	구 간	단기대책 소요사업비(천원)	장기대책 소요사업비(천원)
국가지원지방도	19호	횡성권	-	2,000
	70호	홍천 서 굴업~서 반곡	-	117,400
	70호	홍천군 경계~춘천 신북 오월	2,000	322,250
	88호	원주 신림~영월 주천사거리	2,400	1,720,050
지방도	403호선	춘천 남산 후동~춘천 사북 고성	4,400	1,532,000
		양구권	27,450	1,347,750
	406호선	횡성권	1,600	237,000
		홍천권	400	64,000
	407호선	춘천권	800	108,000
	424호선	평창 대화 개수~유포리	1,200	1,484,500
	444호선	홍천 홍천 검술~서석 어론	-	36,000
	453호선	양구권	1,600	492,500
	460호선	화천권	13,450	2,676,700
		양구권	800	1,405,150
	461호선	화천 화천~화천 상서	2,300	233,000
	494호선	횡성 공근 상창동~홍천 서 모곡	800	97,050
	519호선	영월권	400	58,000
531호선	원주권	1,200	104,100	
합 계			60,800	12,037,450

4. 강원도내 절토사면 붕괴형태

현재 강원도의 도로는 고속도로 3노선, 일반국도 14노선, 국가지원 지방도 7노선, 지방도 37노선등이 있으며 그 중에서도 국가지원 지방도로와 지방도로는 그 위치가 다른 도로에 비하여 대부분이 산악지형을 절개하여 개설된 것이며 이에 따른 위험성이 높다. 지방도44노선(국가지원 지방도 7노선+지방도 37노선)의 총 연장길이는 1,634,240m에 이른다. 이번 조사한 강원지역의 국도는 전 국도 중에서 붕괴활동이 관찰된 지역을 중심으로 이루어 졌으며 지방도 44노선중 사면의 붕괴발생이 관찰된 지역은 80개소에 이른다. 조사지역의 관리노선별 파괴양상조사결과 표 4.1과 같으며 이를 붕괴형태별로 구분하여 나타내면 그림 4.1과 같다. 특히 89.1.13에 지정된 화천~양구간 61,800m의 지방도 460호에서는 다른 국도보다 붕괴빈도가 많은 것으로 조사되었다.

표 4.1 강원도 도로관리사업소 관리노선별 파괴양상조사표

지방도(국도)	연장길이(m)	Plane Failure	Wedge Failure	Topping Failure	발생개소
국지19호(원주~홍천)	39,100	1	1		2
국지70호(산서~춘천)	39,500		4	1	5
국지88호(하남~울진)	93,500		3	2	5
지방도403호(홍천~양구)	85,800	3	7	6	16
지방도406호(공근~화천)	35,400		6	1	7
지방도407호(용산~화천)	22,500		2		2
지방도424호(내면~덕산)	139,600			3	3
지방도444호(홍천~풍암)	47,300		1		1
지방도453호(원통~임당)	53,900	1	2	1	4
지방도460호(화천~양구)	61,800	9	30	4	43
지방도461호(화천~양구)	149,300	1		1	2
지방도494호(청평~횡성)	37,100		1		1
지방도531호(살미~부론)	22,700	4		2	6
합계(개소)	827,500	19	57	21	97

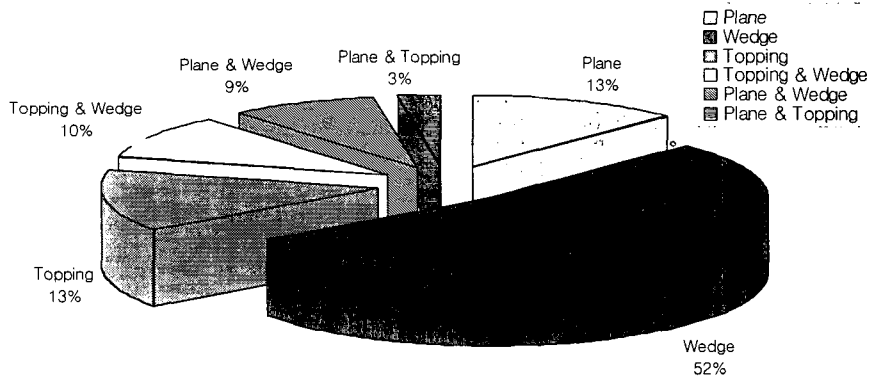


그림 4.1 관리노선내 절토사면 붕괴형태별 분포현황

관리노선내의 절토사면의 붕괴형태를 분석한 결과 붕괴의 주된 형태는 썩기파괴인 것으로 나타났다. 붕괴가 발생한 총 97개 사면 중 순수 썩기파괴에 의해 붕괴된 지역은 전체 붕괴의 52%를 차지하며, 복합활동을 보인 붕괴형태 중 썩기파괴 형태를 나타낸 지역까지 포함하면 57개 지역에서 나타나 전체 붕괴

괴의 약 59%정도인 것으로 조사되어 강원도 산악지형의 주된 붕괴형태는 썩기형 파괴로 판단된다.

그림 4.2는 강원도 도로관리사업소의 유지관리노선상에서의 붕괴발생위치와 노선별 분포를 붕괴형태 별로 나타낸 것이며 이를 전체 붕괴로 종합하여 나타내면 그림 4.3 및 4.4와 같다.

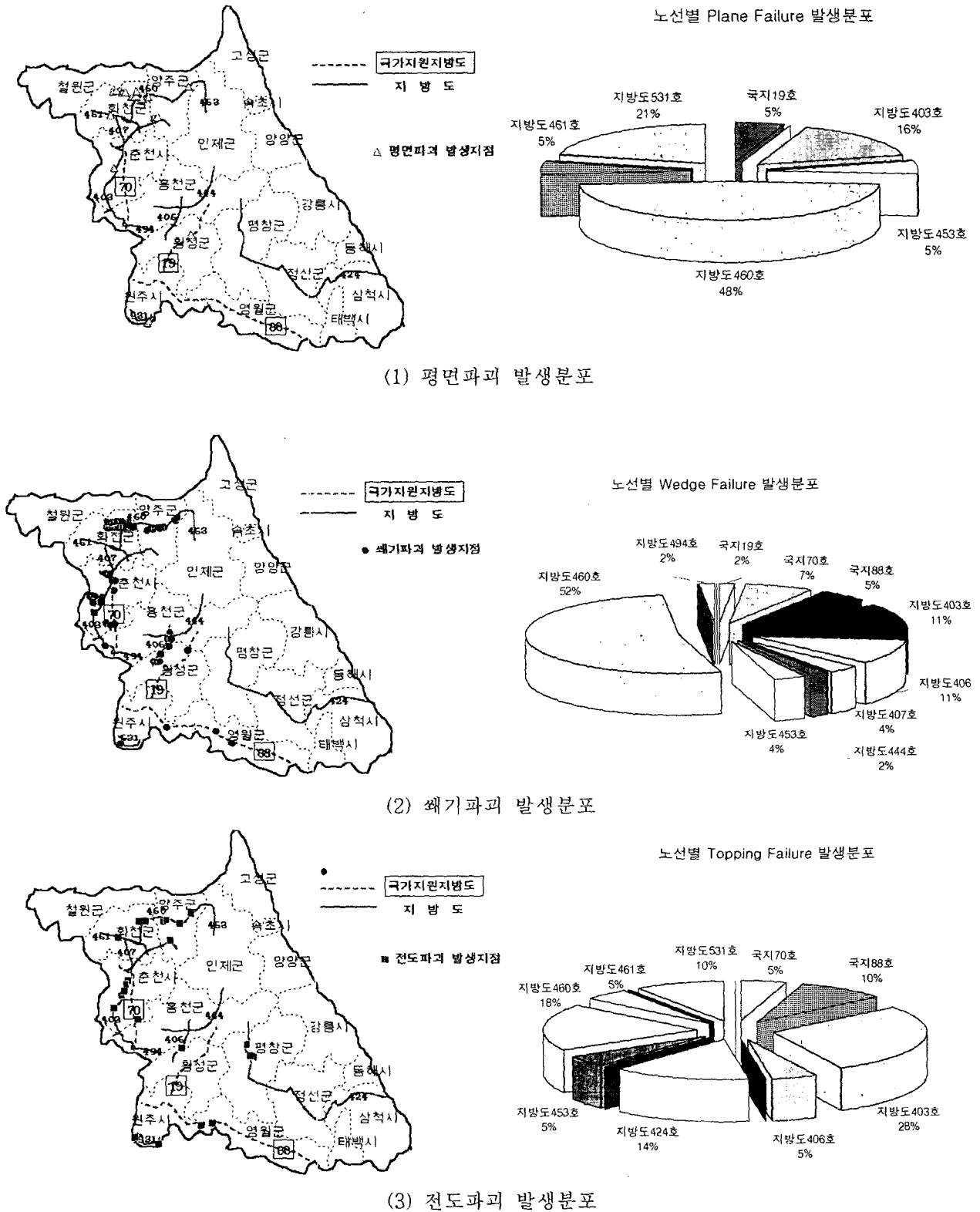


그림 4.2 관리노선상에서의 붕괴형태별 발생위치 및 분포현황

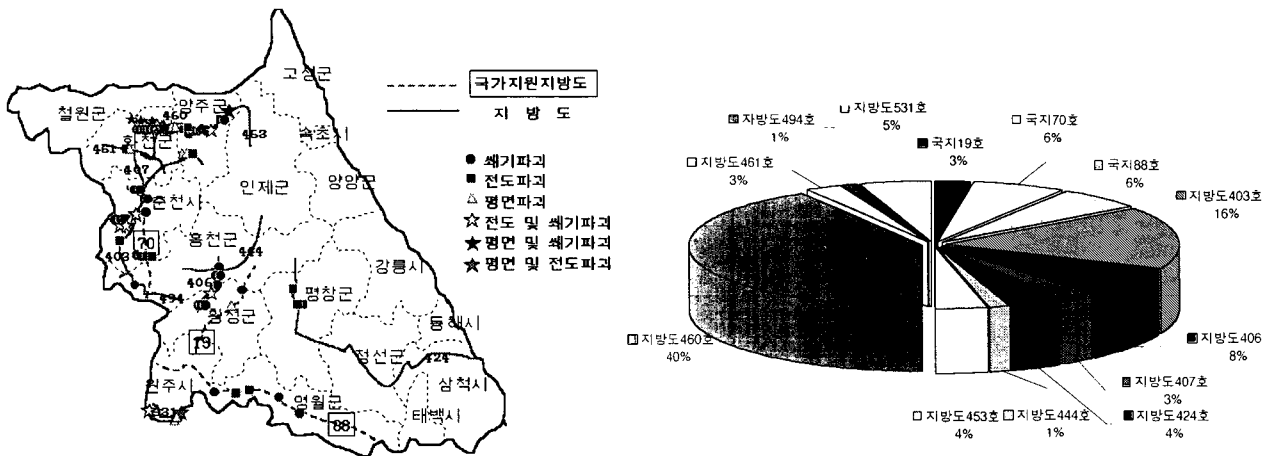


그림 4.3 관리노선상에서의 붕괴발생 분포현황(종합)

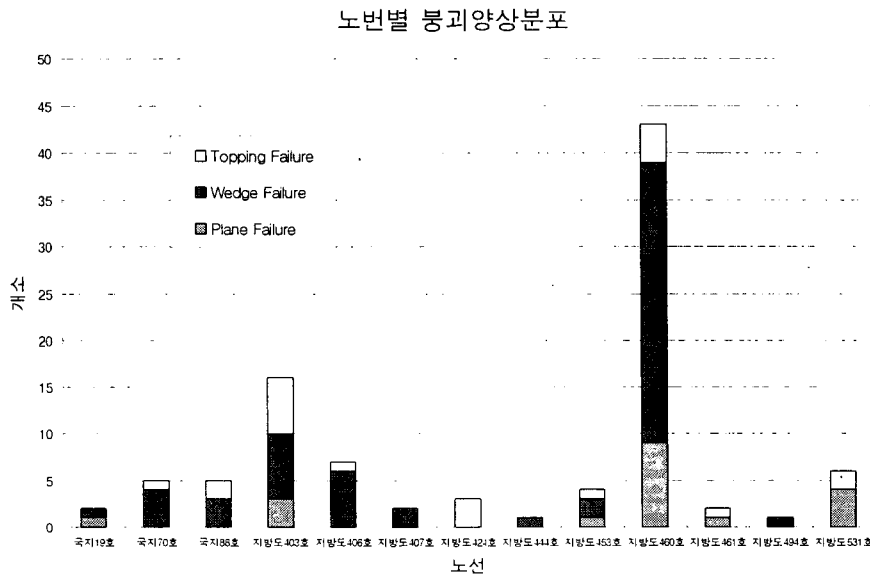


그림 4.4 강원지역 지방도 절개사면의 붕괴 양상별 분포

전체 노선에 대한 노선별 붕괴는 앞에서 언급한 바와 같이 전체 노선 중 노선이 그리 길지 않은 지방도 460호선에서 상당히 많이 발생한 것으로 나타났으며 이는 사면의 경사가 비교적 급하고, 개통후 오랜 시간의 경과로 표면 풍화가 상당히 많이 진행된 것에 기인하는 것으로 판단된다.

이러한 지역적 붕괴 특성은 전문가에 의한 공학적 조사자료가 뒷받침 되어 이를 종합적으로 분석하고 이로부터 붕괴원인을 분석하여야 이에 대한 대책수립방안 방향이 설정될 수 있으나, 본 논문에서는 제한된 자료에 의한 분석만을 토대로 하였으므로 정확하고 정밀한 진단은 할 수 없었으며, 따라서 이러한 부분이 향후에 시행해야할 과제이다.

5. 결론

본 논문에서는 강원도 도로관리사업소에서 관리하고 있는 국가지원지방도 및 지방도를 대상으로 유지관리 방법과 현황 그리고 조사된 자료를 바탕으로 강원도 도로사면의 붕괴형태 및 그 분포정도를 분

석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 강원지역의 지방도 절개사면에 대한 전반적인 조사결과 이 지역은 산악지형을 절취하여 노선이 형성된 관계로 운전에 다소 위험이 따르는 곳이 많으며, 이와 더불어 절개사면이 많아 도로이용자가 도로이용 중 절토사면의 붕괴로 인한 위험에 상당히 많이 노출되어 있다고 할 수 있다.
- (2) 전체 도로절개사면에 대한 붕괴조사결과 강원도 지역에서의 절토사면 붕괴는 그 빈도가 매우 높으며, 붕괴가 예상되는 지역에서의 보수보강은 가능한한 조기에 실시되어야 함에도 이에 대한 명확한 조치계획은 수립되어 있지 못한 것으로 판단된다.
- (3) 붕괴형태별 조사결과, 대상 사면에서의 붕괴는 쉐기과괴형태의 붕괴가 가장 많았으며, 대부분 복합적인 활동으로 인한 붕괴가 발생하였고, 노선별 붕괴빈도를 조사한 결과 89.1.13에 지정된 화천~양구간 61,800m의 지방도 460호에서는 다른 노선에 비하여 연장은 비슷하거나 오히려 짧으나 조사된 전체 붕괴발생빈도의 총 40%정도가 발생한 것으로 나타났으며 이는 절개사면의 경사가 급하고 절취 후 많은 시간이 경과되어 표면풍화가 발달한 것도 한 원인으로 판단된다.
- (4) 지역발전 및 교통문화의 발달로 고속도로 및 국도뿐만 아니라 지방도에서의 교통량도 매년 증가하고 있어, 이에 대한 유지관리도 점차 중요성을 더해가고 있으며, 절토사면의 붕괴는 재산적 피해손실 뿐만아니라 인명피해에도 직결되므로 절토사면의 안정성 확보는 무엇보다 중요하다고 할 수 있다. 그러나 유지관리 현황 및 보수보강방안 수립절차를 조사한 결과, 그 중요성이 부각되어 있지 못한 것으로 보여, 보다 공학적이고 전문적인 판단근거에 의한 적극적인 보완대책 수립이 요구된다.
- (5) 절토사면의 붕괴로 인한 피해를 최소화하기 위하여 각 연구단체등에서 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 이러한 연구과제 중의 하나로서 주어진 예산에서의 활용도를 극대화하기 위해 절토사면별 투자우선순위를 위한 지표를 만드는 연구도 진행중이다. 그러나, 이러한 연구는 유지관리를 대상으로 하는 지역내의 모든 절토사면의 공학적 조사와 이에 대한 데이터베이스화가 필수적이며, 따라서 이에 대한 연구 및 이를 이용한 자료확보가 반드시 선행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 강원도 도로관리사업소(2000), "지방도 산사태·낙석위험지구 점검결과표", 각 노선별 관리대장
2. 이승호, 김기환(1999), "낙석·우려 사면의 암피제거방안에 관한 연구", 한국지반공학회 사면안정위원회 세미나, P125~143
3. 유병옥, 황영철, 정형식, 이승호,(1999), "절개사면의 안정성평가를 위한 점검항목 제안", 한국지반공학회 사면안정위원회 학술발표회, P88~97
4. 황영철, 이승호(1999), "암반사면의 파괴조건 고찰", 한국지반공학회 사면안정위원회 학술발표회, P98~105
5. 정형식, 이승호, 황영철(1999), "암반역학(Rock Mechanics)", 새롬출판사, P375~442
6. Hoek, E. & Bray, J.(1981). "Rock Slope Engineering", Revised Third Edition. Institute of Mining and Metallurgy, London, p.88, 114, pp.150~159 171.