

산지하천도로 재해에 영향을 미치는 도로기하구조 영향인자 분석

Analysis of Geometry Factor Influencing Disaster for Road in Mountain River

송민태* · 이용문** · 이광원*** · 이승우****

Song, Min Tae · Lee, Yong-mun · Lee, Kwang won · Lee, Seung woo

1. 서 론

우리나라는 산지가 전체 국토의 70%를 차지하고 있고, 하천은 산지와 어우러져 대부분이 산지하천의 특성을 가지고 있다. 이런 지형적인 특성으로 인해 도로의 대부분이 산지와 하천에 가깝게 형성되어 있어서, 도로설계시에 대한 영향을 충분히 고려해서 설계해야 한다. 최근의 이상기후에 의한 태풍과 집중호우로 인해 산지하천도로의 피해가 반복되고 있고, 특히 산지하천도로가 밀집되어 있는 강원도의 경우 그 피해가 집중되고 있다. 이에 산지하천도로의 집중호우시 피해를 줄일 수 있는 설계기준과 기법에 대한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 태풍과 집중호우의 피해가 가장 크게 나타난 5년간(2002~2006년)의 자료를 기반으로 강원지역 국도 5개 노선의 설계도면 및 현장조사를 통하여 산지하천도로의 재해에 영향을 미치는 요인을 기하구조를 중심으로 분석하였다. 이 연구를 통하여 산지부와 하천 수충부의 도로기하구조 재해영향인자를 결정하였고, 각 인자별 피해감소 방안에 대해서도 제시하였다. 이를 토대로 산지하천도로의 선형설계시 재해위험을 최소화할 수 있는 설계가이드라인을 제시하고자 한다.

2. 산지하천도로 재해구간 분석

2.1 재해구간 선정 및 조사방법

본 연구에서는 산지하천도로의 재해에 영향을 미치는 영향인자를 결정하기 위하여 태풍과 집중호우에 의한 피해가 컸던 강원도 지역의 2002~2006년의 도로 피해대상자료를 기반으로 피해구간 중 설계도면이 가장 잘 보관되어 있는 국도 5개 노선(31호선, 35호선, 38호선, 56호선, 59호선)을 분석구간으로 선정하였다. 노선별 구간 및 연장은 다음 표 1과 같다.

표 1. 국도 노선별 현황

관할기관	노선번호	노선구간	연장
강릉 국도유지사무소	국도 31호선	태백양구	175.3 km
강릉 국도유지사무소	국도 35호선	강릉왕산~성산	30.8 km
강릉 국도유지사무소	국도 56호선	홍천~양양	43.7 km
정선 국도유지사무소	국도 38호선	태백~삼척	66.4 km
원주지방국도관리청	국도 59호선	마평~진부, 나전~진부	20.6 km
합 계			336.8 km

* 비회원·평화엔지니어링 기술연구원 선임연구원·공학석사·031-420-7336(E-mail:diazsong@hanmail.net)
 ** 정회원·평화엔지니어링 기술연구원 연구원·공학석사·031-420-7337(E-mail:ymlee0520@hotmail.com)
 *** 비회원·평화엔지니어링 부회장·공학석사·031-420-7301(E-mail:kwlee@pec.ne.kr)
 **** 정회원·강릉원주대학교 토목공학과 교수·공학박사·033-640-2419(E-mail:swl@gwnu.ac.kr)

선정된 재해구간의 피해기록 및 선형특성을 피해대장과 중·평면도를 통한 분석과 실제 현장조사를 통하여 재해에 영향을 미치는 영향인자에 대하여 기하구조를 중심으로 분석하였다.

2.2 재해구간 분석 결과

재해구간의 주요 피해내용을 분석한 결과 그림 1에서 보는 바와 같이 도로파손으로 인한 피해가 가장 많았으며, 그 다음으로 법면붕괴, 수충부 피해, 배수구조물 유실 순으로 피해가 많이 발생하는 것으로 나타났다. 주요 피해에 영향을 미치는 세부 피해발생 원인들은 독립적으로 발생하는 것이 아니라 상호 연관성을 가지고 복합적으로 발생되지만, 여기서는 그림 2에서 보는 바와 같이 가장 큰 영향을 제공하는 것으로 판단되어지는 원인으로 분류하였다. 주요 피해를 일으키는 세부 피해발생 원인으로 도로파손에서는 도로유실과 법면피해에서는 절토부 토사유출이 다른 피해발생 원인보다 가장 두드러진 것으로 나타났고, 수충부 피해와 배수구조물 유실에서는 개거유실과 석축유실이 가장 큰 피해발생 원인으로 나왔지만 다른 피해발생 원인과의 관계 차이가 없는 것으로 분석되었다.

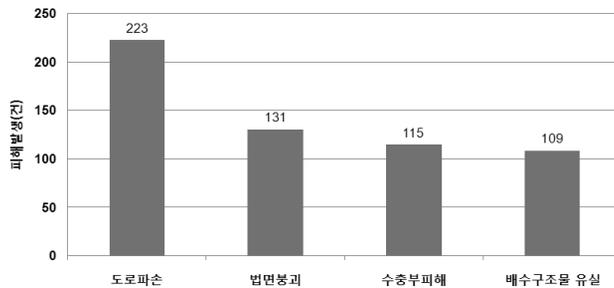


그림 1. 재해구간 주요 피해내용

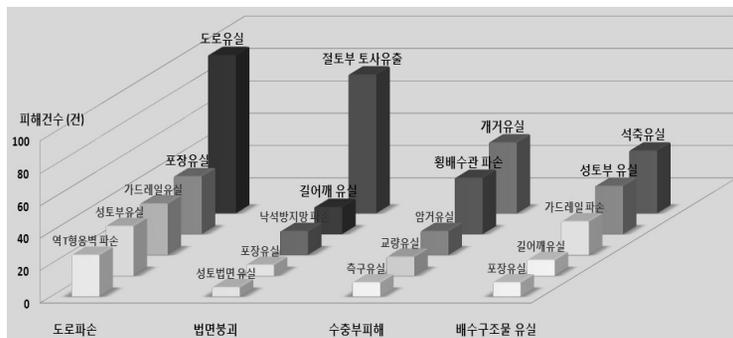


그림 2. 재해구간 세부 피해발생 원인

3. 도로기하구조 영향인자 도출

3.1 재해영향인자 도출

주요 피해내용과 세부 피해발생 원인분석을 통하여 도로 기하구조상의 재해영향인자를 그림 3과 같이 도출하였다. 피해발생 원인을 도로설계의 주된 기하구조 요소인 평면선형, 종단선형, 횡단구성, 배수구조물로 분류하여, 최종적인 재해영향인자로 평면곡선반경, 하천과 도로의 접속각도, 종단계곡고, 하천 이격거리, 산지측 이격거리, 측방여유폭, 산지측 경사, 배수구조물 규격이 도출되었다. 이를 지형의 특성에 따라 표 2에서 보는바와 같이 산지부와 하천 수충부로 구조화하여 재해영향인자를 세분화 하였다.

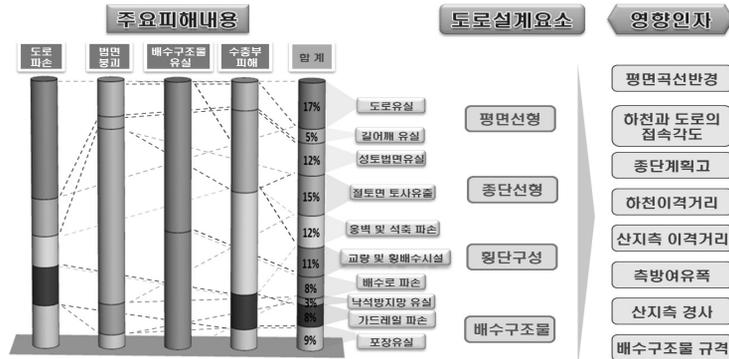


그림 3. 도로설계 재해영향인자 도출

표 2. 재해영향인자의 구조화

산 지 부	하천 수충부
<ul style="list-style-type: none"> 평면곡선반경 산지측 경사 산지측 이격거리 측방여유폭 배수구조물의 규격 	<ul style="list-style-type: none"> 평면곡선반경 하천 홍수위와 종단계획고와의 관계 하천과의 이격거리 하천과 도로의 접속각도 배수구조물의 규격

3.2 산지부

3.2.1 평면곡선반경

산지부는 지형여건상 주로 능선을 따라서 도로의 선형설계가 이루어지는 특성 때문에 그림 4와 같이 곡선반경이 작은 구간이 나타나는 경우가 많이 발생한다. 피해구간을 분석한 결과 그림 5에서 보는 바와 같이 산지부 평면곡선반경이 100 이하인 구간에서 다수의 피해가 발생하였고, 평면곡선반경이 250 이상에서는 피해가 점차 감소하는 경향을 나타내는 것으로 분석되었다. 산지부의 지형여건상 곡선반경의 무리한 확대는 불가능하지만, 양보차로 및 확폭 등을 통한 곡선반경의 결정이 필요하다. 또한 부득이하게 곡선반경의 확보가 어려운 구간에서는 재해에 대한 추가적인 방호대책이나 터널 등의 우회통과방안의 검토가 필요하다고 판단된다.

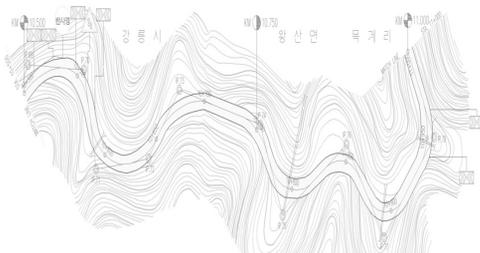


그림 4. 능선을 따른 도로선형 대표구간

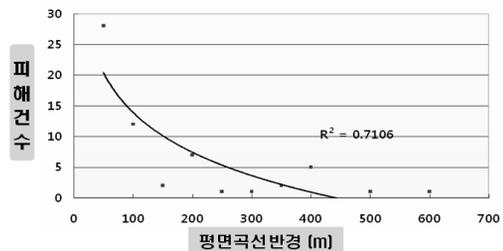


그림 5. 평면곡선반경에 따른 피해건수

3.2.2 산지측 경사

산지부 도로 설계시 법면이 발생하게 되고, 집중호우시 산지부 법면붕괴로 인한 도로피해가 많이 발생하게 된다. 특히, 자연사면의 경우 산지측 경사는 재해에 영향을 미치는 비중이 크고, 낙석의 에너지와 규모에 영

향을 미치는 주요 원인이 된다. 다음 그림 6은 개발행위 허가에 명시되어 있는 경사도의 개념도이다. 피해구간 분석결과 그림 7에서 보는 바와 같이 산지측의 경사가 주로 31~60도의 범위에서 다수의 피해가 발생하는 것으로 나타났고, 그 외의 범위에서는 피해건수가 적은 것으로 분석되었다. 경사가 60도 이상인 구간에서 피해발생건수가 감소한 이유는 경사가 큰 경우 사면안정율이 높은 암질로 이루어진 사면이거나 낙석방지망, 방호벽 등의 방호대책을 설치하기 때문인 것으로 판단된다. 산지측 경사에 의한 피해대책 방안으로 선형계획 시 경사도 분석을 통한 Control Point를 설정하여 사전에 피해발생지역을 고려한 도로설계가 필요하고, 도로 폭이 좁은 구간이나 급경사 또는 대절토의 절개면일 경우에는 피암터널 설치를 통하여 피해를 사전에 예방하는 것이 필요한 것으로 판단된다.

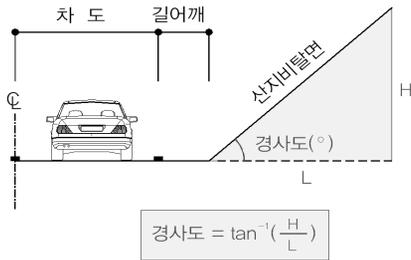


그림 6. 경사도의 개념도

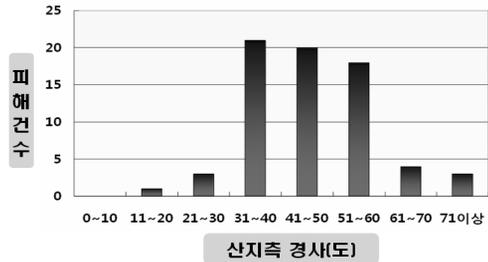
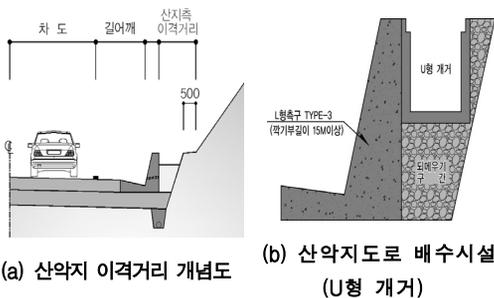


그림 7. 산지측 경사에 따른 피해건수

3.2.3 산지측 이격거리

산지측 이격거리가 부족한 구간은 비탈면 토사유출로 인하여 되메우기 구간의 배수능력이 상실되어 도로의 침수 및 포장하부 침식으로 포장층이 파괴되는 현상이 나타난다. 또한 낙석 및 토사 유출시 차량의 대피공간이 부족하게 되어 교통 소통에 지장을 주며 복구에도 많은 시간이 소요된다. 다음 그림 8은 산지측 이격거리에 대한 개념도와 노면수의 유입을 억제하기 위하여 U형 개거를 설치한 산악지 도로 배수시설이다. 피해구간 분석결과 그림 9에서 보는 바와 같이 산지측의 이격거리가 1m 이내의 범위에서 다수의 피해가 발생하는 것으로 분석되었다. 그러므로 비탈면 토사나 낙석 등에 의한 피해를 고려한 적절한 산지측 이격거리 확보가 필요하고, 깎기비탈면 배수처리를 통해 포장하부의 침식 예방의 필요성이 있다고 판단된다.



(a) 산악지 이격거리 개념도

(b) 산악지도로 배수시설 (U형 개거)

그림 8. 산지측 이격거리

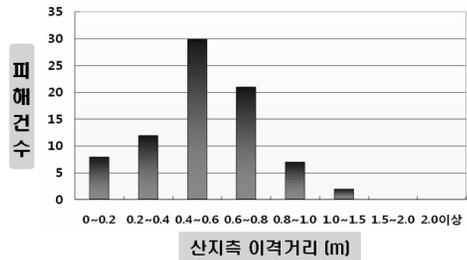


그림 9. 산지측 이격거리에 따른 피해건수

3.2.4 측방여유폭

도로의 측방여유폭은 적설지역에 해당하는 구간의 제설을 위한 공간으로서 산지부의 낙석 및 토석류 발생 시 여유공간 확보의 역할을 하여 최소한의 교통소통 유지에 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 집중호우 시 하천범람으로 도로가 일부 유실되는 경우에도 자동차의 통행유지를 위한 공간으로 활용가능하며 수층부의 보수공법으로도 활용할 수 있는 설계요소로 판단된다. 다음 그림 10은 현장 조사시 확인한 측방여유폭이

설치된 설계도면이다. 도로의 구조 및 시설기준에 관한 규칙(2009)을 살펴보면 그림 11에서 보는 바와 같이 적설지역 제설관련 측방여유폭의 개념이 제시되어 있다. 따라서 산지부 낙석 및 토석류 발생 예측지점이나 수충부 피해발생 예측지점에 피해저감대책으로 측방여유폭의 설치가 필요하다고 판단된다.

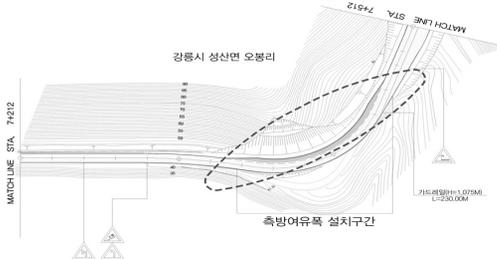


그림 10. 도로 측방여유폭

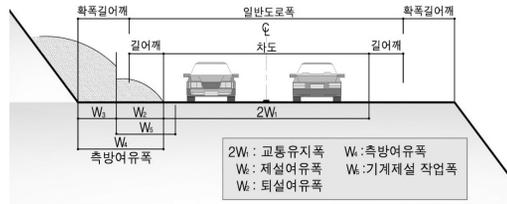


그림 11. 측방여유폭의 개요도

3.2.5 배수구조물의 규격

산지부는 지형적 특성상 계곡부의 유목과 토석류에 의한 횡단배수시설의 피해가 많이 발생한다. 다음 그림 12는 토석류 및 유송잡물에 의해 배수기능이 상실된 구간의 현장사진이다. 피해구간 분석결과 그림 13에서 보는 바와 같이 배수관의 지름이 $\Phi 1000\text{mm}$ 와 암거에서 다수의 피해가 발생하는 것으로 나타났고, 주로 계곡부 토석류 및 유송잡물의 유입으로 인해 피해가 발생한 것으로 분석되었다. 수해 예방을 위한 산악지 도로설계 매뉴얼(2007)에서는 기존도로 유실 기록이 있는 구간에 설치되는 횡단배수 암거의 규격은 지형여건을 고려하여 전문가의 자문 등을 통하여 규격을 확대하여 설치하도록 되어 있다. 특히 토석류의 유입이 예상되는 지역에서는 토사퇴적 및 유송잡물을 고려한 수리계산을 실시하여 원형배수관 사용보다는 최소규격 2.0×2.0 의 수로암거 사용을 권장하고 있다. 따라서 배수구조물의 규격은 수리계산시 최소기준 적용보다 집중호우시 재해저감을 고려한 상향된 배수구조물의 설치가 필요하고, 토석류 및 유송잡물 유입을 저감하기 위한 차단시설의 설치가 필요하다고 판단된다.



그림 12. 배수구조물 피해현황

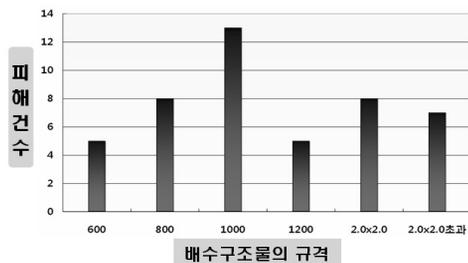


그림 13. 배수구조물 규격에 따른 피해건수

3.3 하천 수충부

3.3.1 평면곡선반경

산지하천도로 설계시 평면선형은 하천을 고려하지 않고 도로선형 기준만 적용하여 설계하게 된다. 이로 인해 그림 14와 같이 도로의 설계기준에는 적합하지만 하천의 형상이나 흐름을 충분히 고려하지 못하여 평면선형이 설계된 구간은 집중호우시 평면곡선반경에 따라 수충부의 피해가 다수 발생하는 것으로 나타났다. 피해구간을 분석한 결과 그림 15에서 보는 바와 같이 평면곡선반경이 200 이하인 구간에서 다수의 피해가 발생하는 것으로 나타났고, 평면곡선반경이 300 이상에서는 피해가 점차 감소하는 경향을 나타내는 것으로 분

석되었다.

따라서 산지하천도로로 평면선형 설계시 하천의 형상을 고려하여 곡선반경 설계기준의 상향된 범위 제시가 필요하고 호안의 침식 및 세굴방지방안을 수립하는 것이 필요하다고 판단된다.

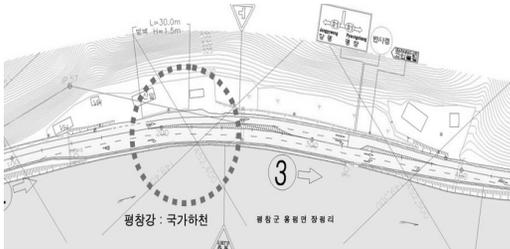


그림 14. 수충부 피해 대표구간

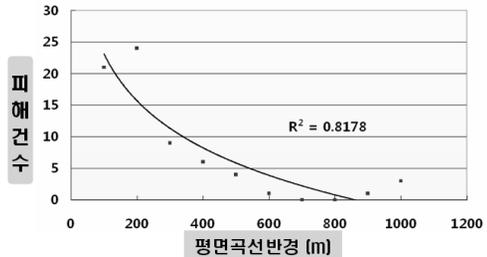
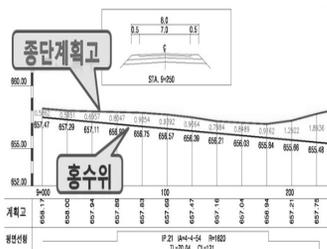


그림 15. 평면곡선반경에 따른 피해건수

3.3.2 하천 홍수위와 종단계획고와의 관계

하천에 인접한 도로에서는 집중호우시 하천의 범람으로 인한 지반 약화에 따른 도로유실 사례가 많이 발생하고 있다. 도로의 종단계획고는 그림 16(a)과 같이 하천계획홍수위에 따른 여유고를 고려하여 설계하게 된다. 하지만 집중호우시 하천설계기준(2005)에서 제시하는 여유고(그림 16(b))를 만족한 구간에서도 하천범람 및 도로유실 등의 피해가 많이 발생한 것으로 나타났다. 피해구간을 분석한 결과 그림 17에서 보는 바와 같이 여유고를 확보하지 못한 구간이 다수 존재하는 것으로 나타났고, 여유고가 고려된 설계기준을 만족한 2m 이내 구간에서도 피해가 다수 발생한 것으로 분석되었다. 따라서 산지하천도로로 설계시 집중호우를 대비하여 피해발생지역의 침수흔적 및 하천의 위치 등을 고려한 하천설계기준에서 제시하는 여유고보다 상향된 종단계획고의 계획이 필요하다고 판단된다.



(a) 종단계획고와 홍수위 관계

계획홍수량(m ³ /sec)	여유고(m)
200 미만	0.6이상
200 이상~500미만	0.8이상
500이상~2,000미만	1.0이상
2,000이상~5,000미만	1.2이상
5,000이상~10,000미만	1.5이상
10,000이상	2.0이상

(b) 여유고 기준

그림 16. 종단계획고와 홍수위 관계

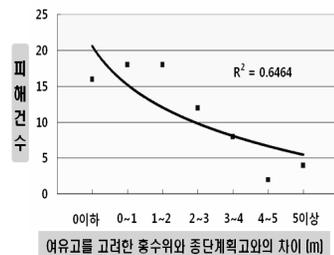


그림 17. 여유고에 따른 피해건수

3.3.3 하천과 도로의 이격거리

산지하천도로는 하천의 제방 역할을 해주기 때문에 하천과 도로를 나란히 설계하는 경우가 많다. 하지만 하천의 영향에 따라 도로에 직접적인 피해가 발생하기 때문에 하천과 도로의 이격거리에 대한 기준마련이 필요하다. 다음 그림 18은 하천과 도로의 이격거리 개념도이다. 피해구간을 분석한 결과 그림 19에서 보는 바와 같이 하천과 도로의 이격거리가 2m 이내 구간에서 대다수의 피해가 발생하는 것으로 나타났고, 3m 이상일 경우는 피해가 감소하는 것으로 분석되었다. 따라서 하천이 범람할 경우 도로유실을 방지하고 피해시에도 도로의 기능을 최소화 유지하기 위해서 지형적 여건과 공사비 등을 종합적으로 고려한 하천과 도로의 충분한 이격거리의 확보가 필요한 것으로 판단된다.

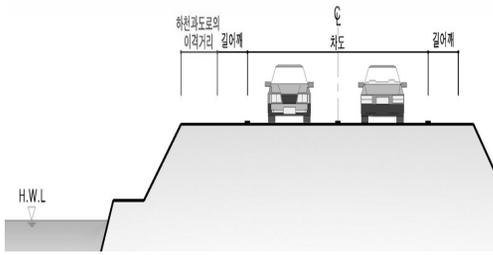


그림 18. 하천과 도로의 이격거리

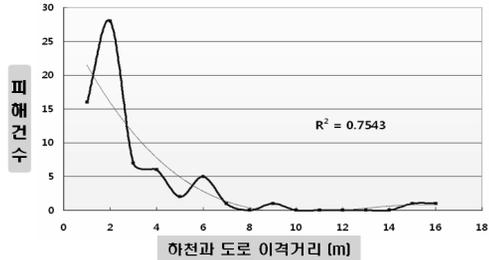


그림 19. 이격거리에 따른 피해건수

3.3.4 하천과 도로의 접속각도

하천과 도로의 접속각도는 그림 20과 같이 하천의 곡선형태에 도로가 접하는 지점의 각도를 말한다. 집중호우 시 하천의 유속상승으로 인해 도로에 충격이 발생하게 되는데, 접속각도는 충격의 크기에 영향을 주는 요인이다. 피해구간을 분석한 결과 그림 21에서 보는 바와 같이 접속각도가 26~30도의 범위에서 피해 발생건수가 많은 것으로 나타났다. 접속각도가 40도 이상으로 큰 구간은 현장조사 결과 나타나지 않았으며, 이는 접속각도가 큰 경우에는 위험구간이라 판단하여 교량, 옹벽 등의 구조물을 설치하기 때문인 것으로 판단된다. 접속각도에 의한 피해를 줄이기 위해 산지하천도로 설계시 하천과 도로의 접속각도에 대한 기준의 마련이 필요하고, 선형계획시 하천의 형상 및 흐름을 고려하여 도로와의 접속각도를 20도 이하로 계획하고 부득이한 경우에는 교량 및 옹벽 등의 구조물을 설치하여 피해를 저감하는 것이 필요하다고 판단된다.

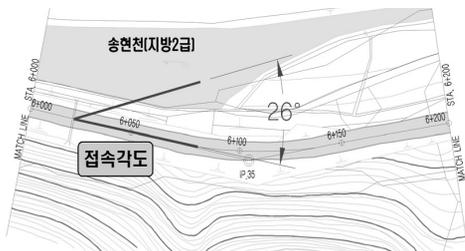


그림 20. 하천과 도로의 접속각도

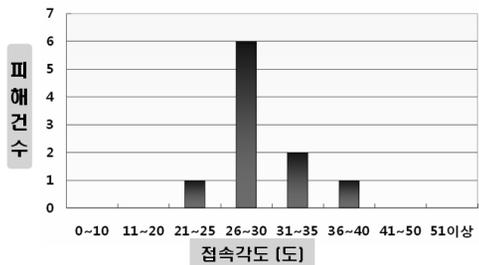


그림 21. 접속각도에 따른 피해건수

3.3.5 배수구조물의 규격

배수구조물은 규격과 형식에 따라 중단계획에 영향을 미치는 요소로서 도로배수시설 설계 및 유지관리 지침(2003)에 따라 최소규격은 $\Phi 1000\text{mm}$ 로 설계되고 있지만 현재 공용중인 도로에는 작은 규격의 배수관이 상당히 존재하고 있는 것으로 나타났다. 다음 그림 22는 수충부 배수구조물 피해구간의 설계도면과 배수암거의 현장사진이다. 피해구간을 분석한 결과 그림 23과 같이 재해 당시 배수관 규격이 $\Phi 600\sim 800\text{mm}$ 에서 대다수의 피해가 발생하는 것으로 나타났고, 복구 공사시 배수규격을 상향하여 설치한 피해구간은 15구간으로 나타났다. 지방2급 하천으로 유입되는 소하천에서는 배수위로 인한 피해가 많이 발생하고 있는데, 특히 국도 38호선의 만곡부에 소하천이 유입되는 합류부에서는 본류의 수압에 의해 지류의 배수가 더욱 어려워지는 지형적인 특성으로 인한 암거 및 교량의 피해건수도 상당히 존재하였다. 집중호우에 의한 배수구조물 기능상실 피해를 줄이기 위해 기본적으로 수문 분석자료 및 기법의 개선이 우선되어야 하며 배수구조물 설계를 위한 수리계산시 최소기준 보다는 재해저감을 고려한 상향된 배수구조물의 설치가 필요하고, 교량 및 암거 적용에 따른 적절한 중단계획을 고려해야 할 것으로 판단된다.

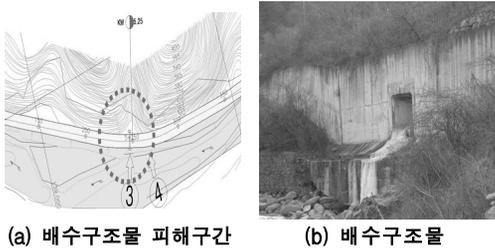


그림 22. 배수구조물

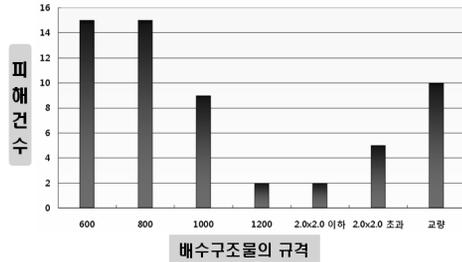


그림 23. 배수구조물 규격에 따른 피해건수

4. 결 론

본 연구에서는 강원지역 국도 5개 노선을 대상으로 태풍과 집중호우의 피해가 가장 크게 나타난 2002~2006년의 자료를 기반으로, 도로설계시 기하구조측면에서 재해에 영향을 미치는 인자를 결정하였다. 설계도면과 현장조사를 통하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 도로 기하구조상의 재해영향인자는 평면곡선반경, 하천과 도로의 접속각도, 종단계획고, 하천 이격거리, 산지측 이격거리, 측방여유폭, 산지측 경사, 배수구조물 규격으로 8가지가 도출되었다.
- 2) 지형의 특성에 따라 산지부와 하천 수층부로 구조화하여 재해영향인자를 세분화하였다. 산지부의 재해영향인자로 평면곡선반경, 산지측 경사, 산지측 이격거리, 측방여유폭, 배수구조물의 규격으로 5가지를 도출하였고, 하천 수층부는 평면곡선반경, 하천 홍수위와 종단계획고와의 관계, 하천과의 이격거리, 하천과 도로의 접속각도, 배수구조물의 규격으로 5가지를 도출하였다.
- 3) 향후 본 연구를 통하여 산지하천도로 설계시 재해를 저감할 수 있는 설계기법과 기준을 제시하고, 재해위험을 고려한 재해예측법의 개발과 대안노선 선정 및 평가시스템 소프트웨어를 개발하고자 한다.

감사의 글

본 논문은 “산지하천도로 호우피해 방지를 위한 수층부 및 토석류 방재설계 선진화 기술 개발”의 과제 일환으로 작성되었습니다. 자료협조에 도움을 주신 국토해양부 원주지방국토관리청 및 강원도지역 국도유지사무소 관계자분들과 본 연구단의 참여연구원분들에게 감사드립니다.

참고 문헌

1. 국토해양부(2003), 도로배수시설 설계 및 유지관리 지침
2. 국토해양부(2005), 하천설계기준
3. 국토해양부(2007), 수해 예방을 위한 산악지 도로설계 매뉴얼
4. 국토해양부(2009), 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침