

태풍 나리에 의한 전남지방 피해현황과 원인분석



김 철 ▶
호남대학교 토목환경공학과 교수
kuchul@honam.ac.kr



김 재 형 ▶
동신기술개발주식회사 전무이사
cis1217@chol.com



정 희 언 ▶
소방방재청 방재기준팀
grj1004@nema.go.kr



노 형 수 ▶
소방방재청 방재기준팀
sh2988@nema.go.kr

1. 서 론

9월 13일 15시 일본 오키나와 남동쪽 660km 부근 해상에서 발생하여 16일 12시에 제주도, 16일 18시에 고흥반도에 각각 상륙한 제11호 태풍 『나리』는 제주도와 남해안 지방에 큰 피해를 남기고 17일 0시 경

안동 남서쪽 80km 부근 육상에서 소멸하였다.

본고에서는 전남지방에 태풍 나리가 안겨준 피해 현황과 원인을 분석하기 위하여 고흥군, 보성군, 곡성군, 구례군에 소재한 9개 하천에 대해 피해현황을 조사한 후 당시 기상상황 분석 등을 통한 피해 원인을 분석하여 향후 재해 대책 수립 등 자연재해와 관련한 제반 계획에 중요한 자료를 제공하고자 한다.

2. 태풍 나리와 기상 상황

제 11호 태풍 나리는 16일 새벽 서귀포 남쪽 100km 해상까지 접근한 뒤 오후에 강한 바람과 비구름을 동반한 큰 세력으로 제주도에 상륙하였다. 그날 밤에는 남부내륙에 상륙하여 고흥지방에 2시간 동안에 176.5mm의 엄청난 강우강도로 비를 퍼부었으며, 우리나라에 상륙할 당시 태풍세력은 중심기압 970hpa, 강도는 중형에 속하였으며 최대풍속은 30m/s에 달했다. 표 1은 태풍 나리의 이동경로 및 제원을 나타내었다.

2.1 강우

2.1.1 강우 분포

태풍 나리 전후의 강우 발생 현황을 파악하기 위하여 6월 14일~17일 기간의 전남지방 주요 지점에 대한 시우량을 기상청으로부터 수집하였으며, 이들 중에서 금회 피해가 상대적으로 컸던 지점 중 전남 남부 서부·중부·동부의 대표 지점으로서 완도, 장흥, 여수지점과 피해가 가장 컸던 고흥 지점에 대한 자료만을 추출하여 다음 그림 1에 시간 강우량 분포를 나타내었다.

표 1. 태풍 「나리」의 이동경로 및 제원(기상청)

일 시	중심기압(hPa) 최대풍속(m/s)	강풍반경 (km)	진행방향과 속도(km/h)	태풍 이동경로	비 고
13일 15시	998, 18 (65km/h)	200 (남서 약 180)	북서, 22	오키나와 남동쪽 660km 부근해상	발 생
15일 15시	940, 46 (166km/h)	200	북, 22	오키나와 북북서 350km 부근해상	
16일 12시	960, 43 (155km/h)	180	북, 28	서귀포 남동쪽 20km 부근해상	제주도 상 륙
16일 18시	980, 27 (97km/h)	160 (북서 약 140)	북북동, 25	여수 남서쪽 50km 부근해상	고흥반도 상 륙
16일 21시	994, 19 (68km/h)	80 (남서 약 60)	북, 26	밀양 서쪽 110km 부근 육상	
17일 00시	-	-	북북동, 31	안동 남서쪽 80km 부근육상	소 멸

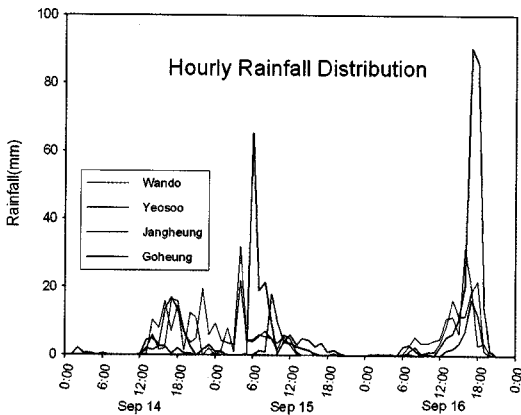


그림 1. 전남 남부 주요 지점의 시간 강우량 분포

그림에서 보는 바와 같이 태풍이 고흥반도에 상륙했던 16일 18시 전·후(06시~21시 사이의 짧은 기간에 기록적인 강우강도의 강우량이 발생하였고 태풍이 접근하고 있었던 15일 06시경에 상당한 규모의 선행 강우가 발생되었다. 이와 같이 선행 강우에 의해 태풍기간의 강우 발생 시 토양은 포화상태로 유지되었고, 태풍 나리 기간의 피해를 가중시켰던 요인으로 작용했을 것으로 판단된다.

가장 큰 강우량이 발생되었던 고흥에 인접한 여수, 장흥 지방의 강우량에 비해 고흥 지역의 강우량이 상대적으로 매우 컸던 점을 고려하면 태풍 나리 때의

강력한 강우강도가 발생된 지역은 매우 국지적으로 한정되었음을 알 수 있다.

2.1.2 강우지속기간별 최대 강우량의 지역적 분포

태풍 나리 발생 시 지속기간별 최대강우량의 규모와 지역별 분포를 파악하기 위하여 수집된 시우량 자료로부터 지점별 지속기간별 최대강우량 자료를 추출하였으며, 그 결과는 다음 표 2에 나타낸 바와 같다. 또한 금회 조사 대상의 하천들이 위치한 읍·면의 자료 또한 표에 함께 나타내었다.

각 지점별로 추출된 강우지속기간별 최대강우량의 분포를 살펴보기 위하여 다음 그림 2에 강우지속기간 2시간과 24시간의 등최대강우선도를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 지속기간이 짧은 2시간의 경우 강우량 분포가 고흥 지방을 중심으로 매우 급격하게 변화하는 것을 알 수 있으나, 24시간의 경우 고흥과 보성 북내면 인근이 우심지역으로 나타나기는 하지만 주변 지역과 비교할 때 그 변화 정도는 상당히 완만한 양상을 보여주고 있다. 그림 1, 그림 2의 결과를 종합하면 태풍 나리 시 발생된 강우는 매우 짧은 강우지속기간에 고흥과 그 주변을 중심으로 매우 국지적인 강한 강우강도를 나타내고, 강우지속기간이 커질수록 주변 지역과의 차이가 완만해지는 특징을 보였다.

표 2. 주요 지점의 강우지속기간별 최대강우량

지 점	강우지속기간별 최대강우량(mm)					
	1시간	2시간	3시간	6시간	12시간	24시간
광 주	30.5	33.5	55.0	89.0	121.0	138.5
목 포	27.4	31.9	38.5	67.0	82.5	102.0
완 도	31.5	52.0	58.5	86.0	109.5	153.5
여 수	18.0	28.5	35.5	46.0	60.0	66.5
순 천	34.0	68.0	73.5	122.5	153.0	190.5
장 흥	32.0	40.5	52.0	88.5	126.0	175.5
해 남	19.5	31.0	45.0	83.0	106.0	109.0
고 흥	90.5	176.5	197.0	228.5	238.5	239.0
곡성석곡	55.0	88.0	94.0	142.0	169.0	199.0
보성문덕	42.0	80.0	83.0	129.0	171.0	213.0
보성복내	59.0	87.0	93.0	150.0	213.0	258.0
보성별교	84.0	159.0	174.0	196.0	202.0	203.0
구례산동	44.0	62.0	84.0	122.0	142.0	191.0

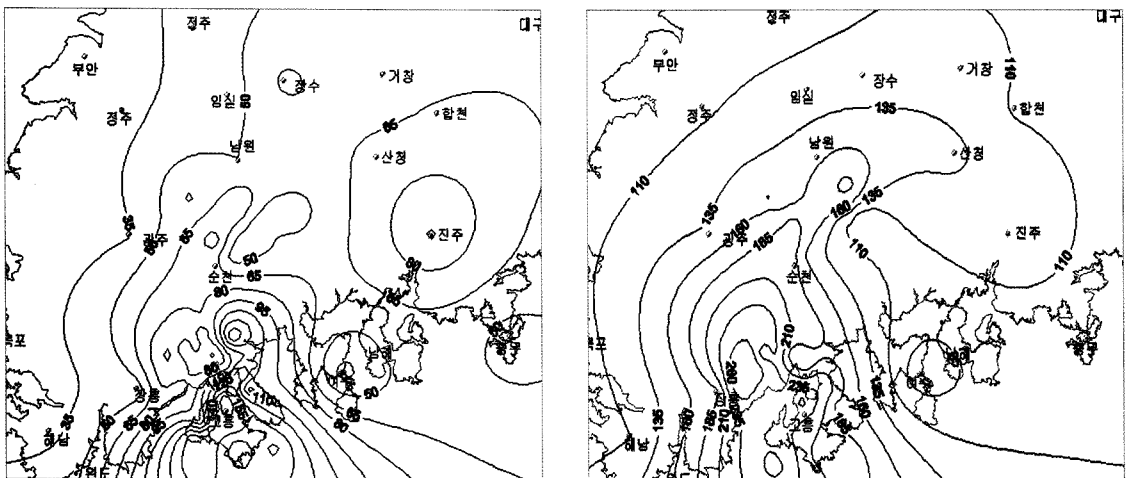


그림 2. 강우지속기간 2시간, 24시간의 등최대강우선도

2.1.3 강우지속기간별 최대강우량의 재현기간 추정

태풍 나리 때 발생했던 강우지속기간별 최대 강우량의 재현기간을 추정하기 위하여 인근에 계획되었던 하천정기기본계획 등의 자료들을 수집하였다. 이들 자료로부터 빈도별 강우량-재현기간의 관계를 회귀 분석하여 재현기간을 종속변수로 하는 회귀방정식을 도출하였으며, 표 2에 나타난 지속기간별 최대강우량

을 해당 지역의 회귀방정식에 적용하여 태풍 나리 시 발생된 강우량의 빈도를 추정하였다.

이와 같은 재현기간의 추정은 금회 피해조사 대상에 포함된 하천이 위치한 지점들을 중심으로 실시하였으며, 금회 조사된 표 2의 시간별 고정시간 강우량을 임의시간 강우량으로 변환하여 재현기간을 추정하였다.

표 3. 지역별, 강우지속기간별 재현기간 추정 결과

지 역	강우지속기간별 재현기간(년)						빈도기준
	1시간	2시간	3시간	6시간	12시간	24시간	
고 흥	54	348	140	47	9	4	①
보성별교	66	292	100	32	11	4	①
보성문덕	2	5	3	2	4	4	②
보성목내	9	8	4	8	14	11	②
곡성석곡	6	8	4	6	4	3	②
구례산동	7	5	10	8	7	12	③

주) ① : 학곡·용산천 하천정비기본계획(2007, 전라남도) ② : 순천시 소하천정비종합계획(2004, 순천시)
 ③ : 견두천 하천정비기본계획(2007, 전라남도)

위의 표 3은 그림 2과 비슷한 결과로서, 태풍 나리 시에 발생한 강우사상은 고흥군과 보성군 별교면을 중심으로 짧은 지속기간에 매우 높은 재현기간의 규모로 발생되었음을 알 수 있다. 반면 그 외의 지역에서는 2~14년 정도의 빈도를 보였고, 고흥과 별교 지방에서도 강우지속기간 6시간 이상에서는 상대적으로 작은 빈도 특성을 보이고 있다.

2.2 풍속

태풍 나리 시 동반된 바람의 규모를 파악하기 위하여 주요 지점에 대한 시간별 풍속 자료를 수집하였으며 조사기간 중의 평균 및 최대풍속, 최대풍속 발생 시각을 파악하여 다음 표 4에 나타내었으며, 그림 1과 동일한 지점에 대한 시간별 풍속은 다음 그림 3에

표 4. 태풍 나리 시의 풍속 현황

지 점	평균풍속 (m/s)	최대풍속		비 고
		풍속 (m/s)	발생일시	
광 주	2.7	10.5	9/16 14시	
목 포	3.4	11.9	9/16 17시	
완 도	5.5	22.5	9/16 16시	
여 수	6.6	24.4	9/16 17시	
순 천	1.1	8.0	9/16 19시	
장 흥	2.6	9.4	9/16 16시	
해 남	3.4	15.0	9/16 15시	
고 흥	2.9	16.0	9/16 18시	

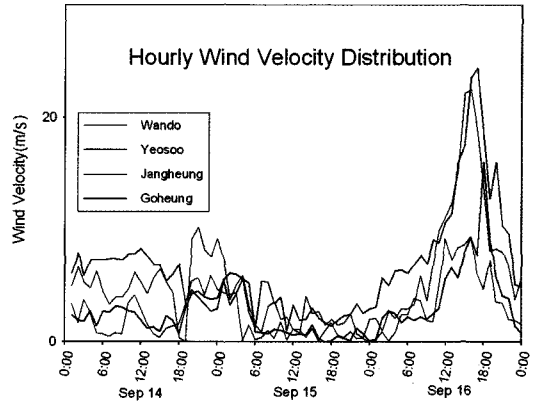


그림 3. 시간별 풍속 분포

나타내었다.

표와 그림에서 보는 바와 같이 풍속은 완도와 여수에서 크게 발생하였으며, 강우량이 컸던 고흥지역은 상대적으로 작게 나타났다. 최대풍속의 발생시각은 태풍 나리의 남해안 상륙을 전후해서 발생하였음을 알 수 있다.

3. 하천재해특성

3.1 하천특성

금회 하천 재해특성을 파악하기 위하여 고흥군, 보성군, 곡성군, 구례군에 위치한 9개 하천에 대한 답사

표 5. 조사 대상 하천 및 유역의 특성

하천	위치 (군, 읍·면, 리)	하천 등급	유역 면적 (km ²)	유로 연장 (km)	하도 경사 (S)	유역 경사 (%)	기본 계획 수립	개수율 (%)	도달 시간 (hr)
신평천	고흥, 금산, 신평	지방2	3.87	5.60	-	-	미수립	40	0.44
녹동천	고흥, 도양, 봉암	소하천	3.52	4.60	1/10~ 1/326	28.0	2003, 고흥군	62	0.44
성치천	고흥, 금산, 성치	소하천	2.08	3.07	1/24~ 1/45	-	2003, 고흥군	80	0.24
복내천	보성, 복내, 진봉	지방2	17.79	6.98	1/60~ 1/120	30.0	1995, 전남도	81	0.58
일봉천	보성, 복내, 일봉	지방2	13.96	7.73	-	-	미수립	낮음	0.61
죽산천	보성, 문내, 죽산	지방2	3.98	6.61	-	-	미수립	23	0.52
온수천	곡성, 석곡, 석곡	지방2	20.66	10.91	1/22~ 1/180	36.0	1992, 전남도	21	0.87
서시천	구례, 구례, 봉동	지방2	153.0	28.15	1/40~ 1/510	-	1989, 전남도	100	2.90
현천천	구례, 산동, 계천	소하천	2.96	3.15	1/5이상	17.8	2004, 구례군	100	0.25



사진 1. 신평천 중류부 제방유실로 인근농경지 토석류 피해, 도로부 유실 전경

를 실시하였으며, 급회 강우조건과 각 하천의 유역 및 하천 특성을 연계하여 분석하기 위하여 다음과 같이 개략적인 각 하천의 특성 자료를 수집하였다.

위의 표에서 알 수 있는 바와 같이 조사된 하천은 서시천을 제외하고는 대부분 유역면적이 작은 소규모의 하천들로서 대부분 하상경사가 매우 급하고, 도달 시간이 1시간 이내의 현황을 보이고 있다. 소하천종합계획은 2000년대 초반에 수립된 것으로 조사되었으나 지방2급 하천의 경우 하천정비기본계획이 미수립 상태이거나 그 외의 하천들도 수립년도가 15년 이상이 지난 상황이다.

3.2 하천별 피해 특성

3.2.1 신평천

▶ 피해규모 및 피해액

- L=800m, H=5.0m(피해액 135,600천원/복구 예정액 382,000천원)

▶ 중류부에서의 호안이 없는 구간 제방 유실 L=800m, H=5.0m의 규모 피해가 발생되었으며, 미개수 구간에서의 유실이 대부분임. 이로 인해 인근 저지대 농경지로의 토석 유입이 발생하였고, 도로가 유실된 특징을 보이고 있음

3.2.2 녹동천

- ▶ 피해규모 및 피해액
 - L=600m, H=2.5~4.0m, 주변 침수피해 : A=13.7ha
 - 피해액 : 248,600천원 / 복구예정액 1,585,200천원
- ▶ 하도경사가 완만하고, 하류부 배수펌프장의 영향을 받는 하류부에서 주변 월류로 도양읍 시가지 침수피해 발생함
- ▶ 현재 미개수 상태인 중류부 급경사로 호안이 없는 구간과 수해복구차원의 오래된 호안과 제방, 주변 농경지의 유실 및 침수피해를 입음.
- ▶ 완경사 구간인 하류부에서는 시설물 피해 없으나 급경사 구간인 중상류부의 제방이 전면 유실된 특징을 보임

3.2.3 성치천

- ▶ 피해규모 및 피해액

- L=1,200m, H=2.5~5.0m(피해 420,252천원, 복구예정 635,202천원)
- 구조물 : 교량 2개소, 보 2개소 유실
- ▶ 거의 전 구간에서의 호안 및 도로부, 농경지, 교량, 보 등의 구조물이 유실된 특징을 보임. 특히 호안 기초 및 밀다짐이 없는 구간에서의 하상세굴로 인한 호안의 불안정이 발생된 구간이 많음

3.2.4 복내천

- ▶ 피해규모 및 피해액
 - L=900m, H ≈ 4.0m(피해 187,200천원, 복구 예정 340,650천원)
 - 제방월류로 인한 침수피해 20ha, 보 1개소 파손 및 유실
- ▶ 교량 규격이 부족한 구간 상·하류에서의 제방유실 및 호안이 없는 구간에서의 유실이 많음. 또한 구조물 직상·하류부에서의 유실이 많으며, 특히 보 하류부와 만곡부에서의 호안 유실이 많은 특징을 보임



사진 2. 녹동천 하류 저지대 침수 배제(좌) 및 중류 제방이 전면 유실된 전경(우)



사진 3. 성치천 제방·도로·교량·농경지 피해(좌), 하상세굴로 비탈뒹기 노출(우)



사진 4. 복내천 보 파손(좌) 및 보 직하류 우안 호안 유실(우) 전경



사진 5. 일봉천 보 및 교량 직하류부 호안 유실 전경

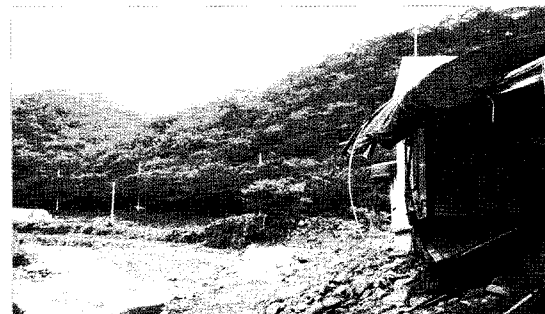
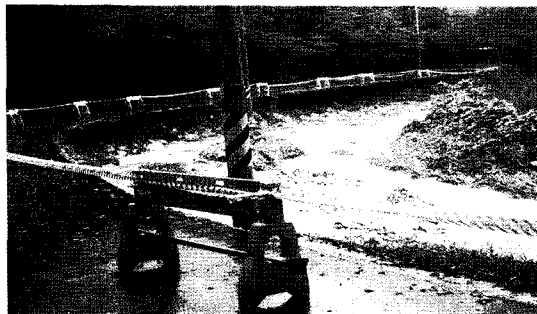


사진 6. 죽산천 만곡부 외측 호안·도로유실(좌) 호안·사면붕괴로 인근 건물기초 노출

3.2.5 일봉천

- ▶ 피해규모 및 피해액
 - L=1,200m, H ≒ 3.0m(피해 202,320천원, 복구예정 1,240,120천원)
- ▶ 중·상류부 급경사 구간에서의 호안이 유실되었고, 호안이 없는 구간에서의 제방이 유실된 피해가 대부분임. 급경사 구간, 구조물 접속부 및 미개수 구간에서의 유실이 대부분인 특징을 보이고 있음

3.2.6 죽산천

- ▶ 피해규모 및 피해액
 - L=205m, H ≒ 2.5~4.0m(피해 77,107천원, 복구예정 176,227천원)
- ▶ 중상류부 만곡부 외측에서의 호안 및 도로부 유실, 대원사 입구의 유원지 구간으로 급경사부 만곡부 외측 돌쌓기 호안이 유실된 특징을 보임.

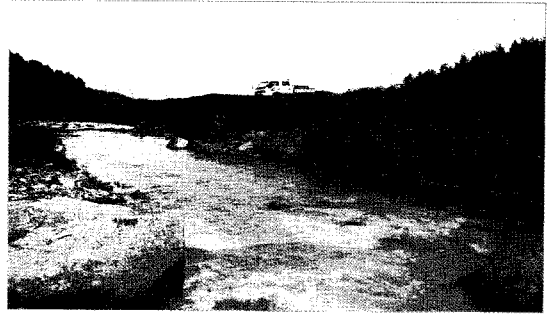
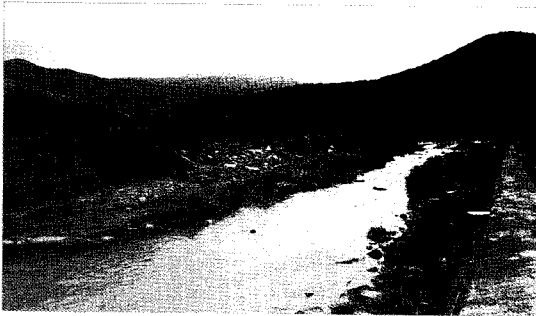


사진 7. 온수천 구간별 호안(찰쌓기) 유실 전경



사진 8. 서시천 호안 및 도로 유실 전경



사진 9. 현천천 낙차공과 아치교량 연결부 호안유실(좌) 보 물받이 및 호안유실(우)

3.2.7 온수천

- ▶ 피해규모 및 피해액
 - L=408m, H ≒ 1.0~5.0m(피해 99,638천원, 복구예정 219,705천원)
- ▶ 자연석 쌓기, 찰쌓기, 야면석 쌓기 등 호안 및 제방 유실, 대부분의 피해 구간이 만곡부, 수해복구 차원의 오래된 시설물에서 발생한 특징을 보임

3.2.8 서시천

- ▶ 피해규모 및 피해액
 - L=120m, H=4.0~5.0m(피해 108,856천원, 복구예정 186,726천원)
- ▶ 찰쌓기 호안과 제방(도로) 유실 총 2개소로 2개소 모두 만곡부 외측의 찰쌓기 구간에서의 호안이 붕괴된 특징을 보임.

3.2.9 현천천

▶ 피해규모 및 피해액

- L=150m, H=2.0~4.0m(피해 41,758천원, 복구 예정 41,758천원)

▶ 전면 유실은 없으나 구간별로 호안 및 도로가 유실 되었음. 대부분 구조물 연결부 및 낙차공, 보직하류부 호안이 유실된 특징을 보임.

3.3 태풍 나리에 의한 전남지방 하천재해 특성

태풍 나리 시의 기상상황, 하천 및 유역현황, 각 하천의 피해 특성 등을 연계하여 종합적으로 나타난 점을 요약하여 분석하였다.

1) 소하천 피해

태풍 나리는 짧은 지속기간에 매우 강한 비를 동반하였으며 이 결과 소하천에서의 피해규모가 지방2급 이상 규모의 하천보다 더 큰 결과를 보였다.

2) 국지적인 피해 지역

고흥 인근의 한정된 지역에 높은 재현기간에 해당되는 강우량을 보인 결과 고흥 지역의 피해가 전남지방 피해액의 46%, 고흥·여수·보성·화순·완도 등 5개 시군의 피해가 90%에 해당되는 국지적인 특징을 보였다.

3) 구조물 주변 및 만곡부에서의 피해

가장 많이 발생된 하천피해 유형은 만곡부 외측과 보·낙차공 직하류부, 구조물 연결부 등에서 호안과 제방이 유실되는 유형으로 나타났으며, 이들 구간에 대한 설계·시공·유지관리에 대한 전면적인 재검토가 필요한 것으로 나타났다.

대표적으로 신평천의 경우 만곡부 외측에 호안도 없이 방치된 상태에서 제방이 유실되었으며, 그 외에 다른 하천에서도 동일한 상황이 목격되었다. 하천 만곡부에서의 방어대책은 최소한의 대책으로서 매우 시급하게 대책이 수립되어야 할 것으로 사료된다.

4) 낮은 개수율, 하천정비기본계획 미수립 등 투자부족

상대적으로 적은 강우량을 보인 곡성군, 구례군 및 보성군에서도 상당한 하천피해가 발생하였으며, 미개수 구간과 과거 응급수해복구 구간 등에서의 피해가 대부분인 것으로 조사되었다. 이와 같은 결과는 하천정비기본계획의 미수립, 낮은 개수율 또는 하천에 대한 투자의 부족 때문으로, 재해와 관련된 하천개수 및 유지관리에 적극적인 재원투자가 필요한 것으로 나타났다.

5) 하상세굴로 호안 비탈뒹기 하단이 노출되어 호안 붕괴

급경사 소하천에서는 하상유실로 비탈뒹기 하단이 노출되어 붕괴되는 유형이 대부분으로, 소하천에서도 기초와 밑다짐이 꼭 필요한 것으로 조사되었다.

6) 보·낙차공 직하류 물받이 주변 호안 붕괴

큰 소류력으로 인해 보 물받이 및 주변 호안이 파괴되는 유형이 빈번하게 조사되었다. 특히 급경사의 소하천에서 자주 목격되었으며, 이 부분에 대한 설계 및 시공상의 면밀한 검토가 필요한 것으로 나타났다.

7) 교량 형식의 부적합과 구조물 배치 불합리

급경사 하천에서 낙차공 직하류부에 아치형 교량을 설치하여 두 구조물 사이의 호안이 유실된 유형을 보였으며, 낙차공 직하류부 교량에는 흐름에 영향을 주지 않는 교량 형식이 필요한 것으로 조사되었다. 또는 낙차공을 교량 하류부로 유도하여 교량과 인근 호안을 보호하는 것이 타당하다고 판단된다.

4. 맺음말

태풍 나리에 의해 발생된 피해는 고흥지역을 중심으로 발생된 기록적인 단기간의 호우와 반도의 특성상 대부분의 하천이 남해로 직접 유출되는 작은 규모

의 하천특성이 조합되어 발생된 것으로 조사되었다. 강우 규모가 작았던 지역에서는 낮은 하천정비기본계획 수립율, 개수율을 보이는 등 투자가 저조한 하천에서 상당한 규모의 피해가 발생된 것으로 나타났다. 또한 태풍이 상륙하기 전에 발생된 선행강수량으로 인해 유출률이 증가되어 그 피해 정도를 가중시켰던 것으로 사료된다.

최근에는 국지성 호우가 증가추세에 있는 상황으로 소하천 및 규모가 작은 하천에서의 피해가 증가될 것으로 판단되며, 이에 대한 계획 빈도의 상향과 같은 대비가 필요할 것으로 사료된다. 또한 2005년 말 현

재 전국 지방2급 하천의 하천정비기본계획 수립율이 57.31%에 그치는 등 하천에 대한 투자가 저조한 상황으로 항구적인 수해 대책 마련을 위한 재해대비 재원 확보 및 투자 확대가 절실한 상황이다.

금회 조사된 하천재해 특성 중 피해가 가장 빈발한 유형은 보, 낙차공, 교량 등 구조물 연결부 및 만곡부 외측에서의 호안 및 제방 유실이었다. 이에 대한 수리 모형실험 등과 같은 적극적인 연구를 통한 소류력, 구조물 타입의 변경 등과 같은 설계기준이 확립되고 시공 및 유지관리 등에 반영되어야 할 것으로 사료된다.