피지의 열대성 사이클론 피해 사례 분석 및 방재 대책에 관한 연구

Damage Analysis and Prevention Measures of Tropical Cyclones in Fiji

유순영* · 김창용** · 박경호*** · 박덕근****

Yu, Soon Young · Kim, Chang Yong · Park, Kyung Ho · Park, Dug Keun

Abstract

Korea became the 24th member nation in the Development Assistance Committee(DAC) in OECD from an aid recipient. We are obliged to transfer our advanced disaster prevention technologies to developing countries, which requires the understanding of aid recipients and aid programs. Meanwhile, the Pacific Islands are prone to natural disasters, such as sea level increase, coastal erosion, flooding and tropical cyclones due to climate change. They are in desperate need of cooperation with developed countries to cope with natural disasters given the lack of management capacity as well as geographical difficulties. This study deals with damage analysis and prevention measures of tropical cyclones, particularly in Fiji. Damage assessment reports of six tropical cyclones(TC-Ami, TC-Cliff, TC-Daman, TC-Gene, TC-Mick and TC-Thomas) are used to conduct the damages analyses, including cyclone tracks, fatalities and causes, damage costs in social, productive and infrastructure sectors, and lessons learned. Based on the damage analyses, disaster management measures, such as early warning system, disaster telecommunication system, integrated hazard information system & tools, building codes, disaster insurance, environment-friendly road pavement and coastal erosion stabilization, are suggested. The study results show that the Korean knowledge and knowhow on Disaster Risk Management(DRM) seem to be useful in improving the Fiji's DRM system given the similarity between tropical cyclones and typhoons. In addition, the results are expected to be helpful for developing an Official Development Assistance (ODA) program to strengthen the Pacific Islands against tropical cyclones, with Korean disaster prevention technologies.

Key words : Tropical cyclone, Damage analysis, Prevention measures, DRM, ODA

요 지

급변하는 국제환경 속에서 최근 공적개발원조 수원국에서 공여국으로 전환된 우리나라는 우리의 선진 방재 기술을 개도국에 전파하여 개도국 국가들의 재해 방재에 기여할 필요가 있다. 이에 수원국 및 원조 프로그램에 대한 이해가 시급하나, 연구가 부족한 실정이다. 한편 기후 변화로 인한 해수면 상승, 해안지역의 침수·침식, 홍수, 열대성 사이클론 등의 자연재해로 국가 존립을 위협받는 남태평양 도서국들은 적은 인구, 좁은 국토, 지리적 고립성 등으로 인해 자발적 대처 능력이 매우 부족하여 선진국과의 협력이 절실한 상황이다. 이에 본 논문은 열대성 사이클론에 대한 피해 조사가 비교적 잘 이루어지고 있는 피지를 선택하여, 피지의 열대성 사이클론에 대한 피해 분석과 방재 대책을 연구하였다. 피지에 직접적 피해를 입었던 6개의 열대성 사이클론에 대한 피해 보고서를 검토하여, 사이클론 경로, 사망자수 및 원인, 사회·생산·인프라 부문 피해액, 교훈 등을 분석하였다. 이들 분석을 기반으로, 예·경보 시스템 구축, 재난통신 체계 구축, 복합 재해 정보 시스템 구축, 건물코드 정립 및 법규화, 재해 보험법 도입, 친환경적인 해안침식 안정화 방안과 도로 포장 복구 기술 등의 방재 대책을 제시하였다. 피지의 사이클론 피해 사례 및 방재 대책들은 우리나라의 태풍 피해 및 방재 대책과 유사함을 알 수 있었으며, 이에 우리나라의 기존 방재 연구들이 피지의 방재 대책 수립에 많은 도움이 될 것으로 사료된다. 또한, 본 연구의 결과는 남태평양 도서국들의 상황에 맞는 방재 기술 기반의 공적개발원조(ODA) 프로그램이 개발되는데 도움이 될 것으로 사료된다.

핵심용어 : 열대성 사이클론, 피해 분석, 방재 대책, 재난위험관리, 공적개발원조

*정회원 · 국가수리과학연구소 계산수리과학연구부 연구원(E-mail: s7yu@nims.re.kr)

**정회원 · 한국건설기술연구원 SOC 성능연구소 Geo-인프라연구실 연구위원(교신저자)

*** (주)본이앤씨

****정회원 · 국립방재연구원 지방방재연구팀 시설연구관

1. 서 론

우리나라는 2009년 OECD의 개발원조위원회(DAC) 회원국이 된 이후, 다양한 해외원조 프로그램을 개발해야 하는 과제를 안고 있다. 국내 총소득 대비 0.1%인 현재의 공적개발원조(ODA) 규모를 2015년까지 0.25%로 높여갈 계획으로, 수원국과 원조 프로그램의 다양화에 대한 연구가 시급하다(장학봉 등, 2010). 2012년 현재, 우리나라의 주요 지원 분야는 교육, 보건의료, 공공행정, 농림수산, 산업에너지, 범분야 이슈 등으로, 범분야 이슈에는 ‘개도국의 기후변화 대응역량 강화 및 지속 성장 기반 조성을 위하여 녹색성장 분야를 최우선 지원’ 하는 것이 포함되어 있다(ODA KOREA, 2012). 이와 함께, 2012년 교육과학기술부는 ‘개도국 자립성장 기반 조성 및 역량강화에 최우선 가치를 부여하는’ 한국형 과학기술 보급 및 안정적 연구 환경 구축을 시도하고 있다. 교육과학기술부의 이러한 노력은 개도국과 실질적 상호협력 확대를 뒷받침하는 정책수단으로 과학기술 기반 공적개발원조(ODA)를 적극 활용함으로써, 국제적 리더십 제고는 물론 과학기술 외교력 증대에 기여하기 위함이다. 또한 2010년 우리나라 소방방재청의 주관 하에 제4차 UN 재해경감 아시아 각료회의가 ‘① 자연 재해에 의해 가장 큰 피해를 받고 있는 아시아의 재해 경감을 위한 실질적이고 효과적인 국제 공동 협력을 주도적으로 이끌어내고, ② 이러한 주도적 활동을 통해 국가 성장 동력을 확보함은 물론 한국의 IT 기반 선진방재기술을 아시아 국가에 전파하며, ③ 해외의 재해 현황을 참고로 하여 한반도에서 발생할 재해를 예측하고 대비를 할 수 있는 방안을 찾아내고자 한다’ 등의 목적으로 인천에서 개최된 바 있다. 이러한 국내 정세는 급변하는 국제환경 속에서 우리나라가 우리의 선진 방재 기술을 개도국에 전파하여 개도국 국가들의 재해 방재에 기여하고자 노력할 필요가 있음을 시사한다.

기후변화로 인한 자연재해의 증가는 전 세계적인 문제이다. 특히 2010년은 자연재해로 인한 사망자와 경제적 피해 규모가 최근 20년 사이에 사상 최대였으며, 373건의 자연재해 발생으로 인한 사망자수는 29만 7천여명, 재산피해는 총 1090억 달러(약 122조원)에 달하였다(오재호, 2011). 아이티(22만여명), 러시아(5만6천여명), 중국(7천2백여명), 파키스탄(2천여명) 등 아시아 지역에서 많은 사상자가 발생하였으며, GDP 대비 재해 손실 규모도 컸다. 박덕근 등(2010)에 따르면, 아시아와 남태평양 지역의 경우, 히말라야 지역의 빙하호 홍수, 남태평양 지역의 열대성 사이클론, 동남아시아 지역의 하천홍수 등이 주요한 기후변화 문제가 되고 있다. 이 중 남태평양 지역의 도서국들은 자국의 육지 면적보다 훨씬 더 넓은 약 1800만 km²의 배타적경제수역(EEZ)을 가지고 있으며 많은 섬들로 이루어져 있어서, 전체 지역에 대하여 열대성 사이클론에 의한 피해를 분석하고 방재 대책을 연구하는데 많은 어려움을 겪고 있다.

남태평양 도서국들로는 피지, 마셜군도, 마이크로네시아, 키리바시, 투발루, 나우루, 파푸아뉴기니, 바누아투, 솔로몬군도, 사모아, 통가, 니우에, 쿡아일랜드, 팔라우 등의 국가들이 있으며, 이들 국가들은 선진국과 국제기구로부터 지원을 받아

그림 1. 예상되는 평균 연간 피해액 (SPC 등, 2011a)

공동으로 또는 자체적으로 기후변화와 자연재해에 대비하고 있다. 그러나, 지리적 고립성, 소규모 인구, 낙후된 기반 시설 등의 특수한 환경들로 인하여 자연재해관리체계가 미흡한 실정이다. 세계은행(World Bank), GFDRR(Global Facility for Disaster Reduction and Recovery), SOPAC(Applied Geoscience and Technology Division), 아시아개발은행(Asian Development Bank) 등의 국제기구가 공동으로 지원하는 ‘Pacific Catastrophe Risk Assessment and Financing Initiative’ 프로젝트는 남태평양 15개국을 대상으로 열대성 사이클론과 지진의 위험도를 조사한 후, 그림 1과 같이 각 국가에서 예상되는 평균 연간 피해액을 보여준 바 있다 (SPC 등, 2011a). PNG(파푸아 뉴기니)와 함께 피지에서 큰 손실액이 예상된다. 한편 남태평양 해저에 부존한 미개발 열수 광상에는 구리, 아연, 니켈 등의 함량이 높고, 금과 은도 소량 함유돼 있다. 이에 우리나라는 이들 국가들의 어장확보 및 심해저 광물자원 개발에 많은 관심을 가지고 있으며, 이들 국가들과 협력 사업을 수행할 필요가 있으나, 소도서 국가에 대한 이해가 부족하고, 이들의 상황에 맞는 종합적인 공적개발원조 프로그램도 시행하고 있지 않다(장학봉 등, 2010).

본 논문은 남태평양 도서국들에 대한 이해를 돕고자, 열대성 사이클론에 대한 피해 조사가 비교적 잘 이루어지고 있는 피지를 선택하여, 피지의 열대성 사이클론 피해 분석과 방재 대책에 관한 연구를 수행하였다. 피지는 자연재해관리법(Natural Disaster Management Act, 1997)의 제정, 재해복구기금(National Disaster Relief and Rehabilitation Fund)의 조성 등의 노력에도 불구하고, 경제규모에 비해 큰 사이클론 피해를 입고 있다. 피지에 직접적 피해를 입었던 6개의 열대성 사이클론에 대한 피해 보고서를 검토하여, 사이클론 경로, 사망자수 및 원인, 사회·생산·인프라 부문 피해액, 문제점 등을 분석하고, 향후 필요한 방재 대책도 제시하였다. 본 연구 결과는 앞으로 남태평양 도서국들의 상황에 맞는 방재 기술 기반의 공적개발원조 프로그램이 개발되는데 도움이 될 수 있을 것으로 기대되며, 자원개발 등을 목적으로 이들 국가에 진출하고자 하는 국내 기업에도 도움을 줄 수 있을 것으로 보인다.

2. 피지의 열대성 사이클론

2.1 피지

피지는 남태평양 서부 멜라네시아의 남동부에 있는 국가로 (그림 2), 영어, 피지어, 힌두어를 공용어로 사용하고 있다. 행정구역상 서부, 중부, 동부, 북부의 4개 지역으로 구분되어

그림 2. 피지군도(source: NationMaster.com)

표 1. 피지의 지역 구분(Fiji Islands Bureau of Statistics, 2007)

Division	중부	동부	서부	북부
Capital	Suva	Levuka	Lautoka	Labasa
면적(km ²)	4,293	1,422	6,360	6,199
인구	342,386	39,313	319,611	135,961

관리되고 있으며(표 1), 본 연구에 사용한 사이클론 피해 보고서에도 대부분 4개의 지역으로 구분되어 피해 내용이 보고되어 있다. 연중 부드러운 남동무역풍의 영향으로 극단적으로 비가 많이 오지는 않으나, 여름철 우기(11월-4월)에는 열대성 사이클론의 영향을 받기도 한다. 1월과 2월에 가장 빈번하게 발생하는 열대성 사이클론은 평균적으로 10년에 10~15개가 피지에 영향을 미치고 있으며, 이 중 2~4개는 치명적인 피해를 입히고 있다. 특정 지역이 수년 동안 연속적으로 직접 피해를 입은 적은 없으나, 사이클론이 대개 북서쪽에서 발생하여 남동쪽으로 이동함을 고려하면 북서쪽 섬들이 높은 피해 위험에 놓였다고 할 수 있다. 특히 최근에는 지구온난화, 산림벌채, 인구증가 및 무분별한 도시계획 등으로 사이클론의 피해가 잦아지고 있으며, 사이클론 이외에도 열대성 저기압부(tropical depression)와 저압계(low pressure system)에 의한 돌발 홍수가 발생하고 있다(유순영 등, 2012).

2.2 열대성 사이클론

열대성 사이클론(Tropical Cyclone, TC)은 호주 연안 및 남서태평양 지역에서 발생하는 열대성 저기압을 말한다. 여기서 열대성 저기압은 26도 이상의 높은 해수온도를 충족시켜야 하며, 위도 5도에서 20도 사이의 열대해상에서 발생하여 중심부근 최대풍속 17m/s 이상인 것을 말한다. 열대성 저기압은 열대성 사이클론 이외에도 우리나라와 같은 아시아권에 영향을 주는 태풍(Typhoon), 북대서양, 카리브해, 멕시코만, 북태평양 동부에 영향을 주는 허리케인(Hurricane), 인도양, 아라비아해, 벵골만에서 발생하여 이 지역에 영향을 주는 사이클론(Cyclone)이 있다(표 2). 그림 3은 Isaac (1982), Oscar (1983), Eric, Nigel (1985), Martin, Raja, Namu (1986), Sally, Tusi, Uma (1987), Ofa, Peni (1990), Sina, Tia, Val Luis (1991), Betsy (1992), Kina, Prema, Nina (1993), Gavin, June, Martin (1997), Dani (1999), Mona (2000), Waka (2001), Ami (2003), Heta (2004), Meena, Olaf (2005) 등 1945년부터 2007년 사이에 남태평양 지역을 통과하면서 이 지역에 큰 피해를 입힌 열대성 사이클론들을 보여주고 있다(SPC 등, 2008).

표 2. 열대성 저기압과 강도의 대략적 분류 (Australian Government Bureau of Meteorology, 2012)

Australian name	Australian category	US	US Saffir-Simpson category scale*	NW Pacific	Arabian Sea/ Bay of Bengal	SW Indian Ocean	South Pacific (East of 160E)
Tropical low	-	Tropical depression	-	Tropical depression	Depression or severe depression	Tropical depression	Tropical depression
Tropical cyclone	1	Tropical storm	-	Tropical storm	Cyclonic storm	Moderate tropical storm	Tropical cyclone (Gale)
Tropical cyclone	2	Tropical storm	-	Severe tropical storm	Severe cyclonic storm	Severe tropical storm	Tropical cyclone (Storm)
Severe tropical Cyclone	3	Hurricane	1	Typhoon	Very severe cyclonic storm	Tropical cyclone	Tropical cyclone (Hurricane)
Severe tropical cyclone	4	Hurricane	2 - 3	Typhoon	Very severe cyclonic storm	Intense tropical cyclone	Tropical cyclone (Hurricane)
Severe tropical cyclone	5	Hurricane	4 - 5	Typhoon	Super cyclonic storm	Very intense tropical cyclone	Tropical cyclone (Hurricane)

그림 3. 남태평양 지역 열대성 사이클론 활동 경로 (1945~2007년) (SPC 등, 2008)

표 3. 호주의 열대성 사이클론 분류 (Australian Government Bureau of Meteorology, 2012)

Category	Strongest gust (km/h)	Typical effects
1 Tropical Cyclone	Less than 125 km/h Gales	Minimal house damage. Damage to some crops, trees and caravans. Boats may drag moorings.
2 Tropical Cyclone	125 - 164 km/h Destructive winds	Minor house damage. Significant damage to signs, trees and caravans. Heavy damage to some crops. Risk of power failure. Small boats may break moorings.
3 Severe Tropical Cyclone	165 - 224 km/h Very destructive winds	Some roof and structural damage. Some caravans destroyed. Power failure likely.
4 Severe Tropical Cyclone	225 - 279 km/h Very destructive winds	Significant roofing and structural damage. Many caravans destroyed and blown away. Dangerous airborne debris. Widespread power failures.
5 Severe Tropical Cyclone	More than 280 km/h Extremely destructive winds	Extremely dangerous with widespread destruction.

그림 4. 폭풍 해일(Storm surge) (Australian Government Bureau of Meteorology, 2012)

표 3은 호주에서 사용하는 열대성 사이클론의 위험 등급 분류와 예상되는 피해 정도를 보여준다. 위험 등급은 최대풍속에 따라 5단계로 나누어진다. 열대성 사이클론은 강한 바람과 많은 강수량을 동반하며, 홍수, 산사태, 폭풍해일(storm surge) 등을 야기시켜 막대한 피해를 입힌다. 특히 폭풍 해일은 평균 해수면보다 2~5 m 더 높이 해수면이 상승하여, 해안 저지대에 막대한 피해를 입힌다(그림 4).

2.3 피지의 열대성 사이클론 재해대책

피지의 열대성 사이클론은 표 4의 정부 기관들에 의해 관리되고 있다. 우선 FMS내의 RSMC-Nadi(Regional Specialized

Meteorological Center)에서 열대성 사이클론에 대한 First Level 정보(사이클론의 생성, 예측경로, 이동상황, 강도 등에 대한 기본적인 정보)를 Special Weather Bulletins을 통하여 전달한다. Tropical Cyclone Alert Bulletin은 접근중인 사이클론에 대해 48시간 전부터 최소한 6시간 간격으로 정보를 제공하며, Tropical Cyclone Warning Bulletin은 Gale, Storm, Hurricane Warning으로 구분하여(표 5), 24시간 전부터 3시간 간격으로 정보를 제공한다. 예·경보 수준에 따라 국가비상운영센터(National Emergency Operation Centre), 지역운영센터(Divisional and District Operations Centre)가 가동되고, 재난관리위원회운영센터(Disaster Management Committee

표 4. DRM 관련 주요 정부기관 및 임무

주요 DRM 관련 정부기관	임무
National Disaster Management Council (NDMC)	Responsibility for the overall coordination of National Disaster Management Plan & National Disaster Management Act
National Disaster Management Office (NDMO)	Disaster risk management coordination, training, awareness, research
Fiji Meteorological Service (FMS)	Weather & climate data (rainfall, temperature, tropical cyclones)
Mineral Resources Department (MRD)	Hydrogeology, seismology, engineering geology, coastal processes
Land & Water Resources Management Division (LWRMD)	Drainage, irrigation, land use planning

표 5. 피지의 사이클론 정보

Type of Warning	Average Winds* Expected	Beaufort Force	Typical Effects
GALE	63-87 km/hr (34-47 knots)	8, 9	Very rough to high seas. Normally minor damage on land, mainly to branches and loose materials. Occasional heavy rain & flooding.
STORM	88-117 km/hr (48-63 knots)	10, 11	High to very high seas. Damage to trees, crops, overhead wires, temporary shelters & weaker structures. Often accompanied by heavy rain & flooding.
HURRICANE	Over 117 km/hr (over 63 knots)	12	Phenomenal seas, heavy surf & abnormally high storm tides. Severe damage to trees, crops, overhead wires & many buildings. Accompanied by torrential rain & flooding

*Winds averaged over a 10-minute period. Momentary gusts will be much higher.

(DISMAC) Operation Centers)는 피난처를 운영함은 물론, 대피, 구조, 구호물자공급 등을 모니터링하며, 지역담당자(Divisional Commissioners)는 현장 피해 조사를 실시한다.

NDMO(National Disaster Management Office)는 평상시 10여명의 인원으로 재난 관련 교육, 훈련 등의 업무를 수행하며, 특히 재난 상황시 상황실(Operation room)을 운영한다. 재난 상황실의 상황판에는 재난 정보 (Ministry of Health updates-communicable diseases, Weather update, Flood levels at some districts, Significant events-roads, Evacuation centers, Initial damage estimate, Resource status 등)가 수기로 기재된다. 조기 경보 및 통신 체계는 중앙 본부에서 4개의 지역운영센터로 전달되고, 지역운영센터는 지역 내의 27 Districts, 189 Tikina, 1171 Villages, 13 Municipalities와 상호 연결되어 있다. 재난정보를 이메일, 인터넷, 라디오, TV, 유·무선 전화, 팩스 등의 모든 수단을 이용하여 전달, 전파하며, 특히 주요 통신 수단으로서 고전적인 통신매체인 무전기를 사용하고 있다. 그 이유는 사이클론 등의 재난시 중계탑 손상이나 전력 공급원 파괴 등으로 현대 통신기기를 사용할 수 없게 되고, 모든 섬에 있는 사람들이 핸드폰 등의 통신기기를 구입할 능력이 없지만, 무전기는 모든 섬에 적용

가능하고 관리가 수월하기 때문이다.

3. 열대성 사이클론 피해 분석

3.1 열대성 사이클론 피해 사례

표 6은 본 연구에서 사용된 사이클론 피해 사례들을 보여준다(NDMO, 2003, 2007a, 2007b, 2008, 2010a, 2010b). 지난 10년 사이에 피지에 직접적인 피해를 입힌 6개의 열대성 사이클론을 선택하였으며, 피해 보고서 파일은 NDMO (National Disaster Management Office) 웹사이트에서 다운로드 받을 수 있다. 그림 5는 이들 사이클론으로 인한 홍수, 주택 붕괴, 산사태 등의 피해 사례들을 보여주고 있다.

3.2 열대성 사이클론 피해 분석

3.2.1 열대성 사이클론 경로

유순영 등(2012)은 표 6의 열대성 사이클론으로 인한 피지의 방재력이 피해지역의 인구분포 및 자산분포와 함께, 사이클론의 이동 경로, 피해지역 도달 시점에서의 사이클론 강도 등에 영향을 받는다고 분석한 바 있다. 이에 그림 6에 이들 사이클론의 이동 경로를 비교하였다. TC-Ami, Mick, Thomas는

표 6. 피지의 사이클론 피해 사례

사이클론	영향기간	강도 Category	피해지역	피해형태
TC-Ami	2003.1.12~15	3	북부, 동부	강풍, 폭우, 홍수
TC-Cliff	2007.4.4~6	2	북부	홍수, 산사태
TC-Daman	2007.12.5~9	4	Cikobia 섬	강풍, 홍수
TC-Gene	2008.1.28	3	서부, 동부, 중부	홍수, 산사태
TC-Mick	2009.12.13~16	1	서부, 중부, 동부	홍수, 강풍, 산사태
TC-Tomas	2010.3.12~16	4	북부, 동부, 중부	홍수, 폭풍 해일, 산사태

(a) 침수 피해 마을

(b) 홍수

(c) 주택 피해

(d) 산사태

그림 5. 사이클론 피해 사례 (NDMO, 2003, 2007a)

피지 중심부를 가까이 통과함으로써 상당한 피해를 입혔을 것으로 예측할 수 있으며, 3.2.3장에서 이들 사이클론으로 인한 피해액이 컸음을 확인할 수 있다.

3.2.2 사망자 및 원인

표 7은 사이클론으로 인한 사망자수(실종자수)와 사망 원인을 정리한 것이다. TC-Ami에 의한 사망자수가 가장 많으며, TC-Cliff와 TC-Daman에 의한 사망자는 없었다. 주요 사망 원인은 익사이며, 특히 많은 강우로 인한 홍수나 폭풍 해일에 의한 익사가 많다. 최근 들어 사망자(실종자수)가 많이 줄어들었음을 알 수 있다.

3.2.3 피해액 분석

열대성 사이클론 피해 보고서에 나타난 피해액 내용을 GFDRR이 추천하는 DaLA(Damage, Loss and Needs Assessment; GFDRR, 2010) 시스템에 맞추어서 정리하였다. 표

8은 사회, 생산, 인프라 부문으로 크게 나누어, 각 부문별로 피해액을 정리한 것이다. DaLA 시스템은 각 부문별로 좀 더 세부적으로 피해를 파악하게 되어 있으나, 본 연구에 사용한 피해 보고서 내용의 한계로 인해 표 8과 같이 정리하였다. 사회 부문은 주택, 보건위생, 교육(학교) 등에서의 피해를 포함하며, 생산 부문은 농업, 상업, 관광, 설타산업 등에서 입은 피해를 고려한다. 농업 부문은 농작물, 축산, 산림 등의 피해를 포함한다. 인프라 부문은 교통, 공공건물, 상수도, 하수도, 통신, 전력 등과 관련된 피해를 고려하고 있으며, 이 중 교통 부문은 도로, 교량, 육교, 부두 등의 피해를 포함한다. 열대성 사이클론 이동 경로(그림 6)를 통해 예측하였듯이, TC-Ami, Mick, Thomas는 피지 중심부를 가까이 통과함으로써 다른 열대성 사이클론들에 비해 상당히 큰 피해를 입혔음을 알 수 있다.

그림 7은 각각의 사이클론에 대한 부문별 피해 비율을 보여준다. 사회와 생산 부문에서의 피해액이 전체 피해액의

표 7. 사망자수 및 원인

사이클론	사망자수 (실종자수)	사망원인
TC-Ami	15 (4)	익사 (14), 폭풍 해일에 의한 익사 (1)
TC-Gene	6	익사(2), 바다 낚시중 사망(1), 화상(1), 암합병증(1), 수면중 사망(1)
TC-Mick	3	-
TC-Thomas	1	-

(a) TC-Ami

(b) TC-Cliff

(c) TC-Daman

(d) TC-Gene

(e) TC-Mick

(f) TC-Thomas

그림 6. 사이클론의 이동 경로

61~98%로서 상당한 비중을 차지하고 있다. 특히, 생산 부분의 피해액은 TC-Daman의 경우를 제외하고 50% 이상을 차지하여, 열대성 사이클론으로 인하여 많은 생산 피해가 있었음을 알 수 있다.

그림 8은 전체 피해액에 대한 농업, 주택, 교통 부분의 피해 비율을 보여준다. 생산 부문 중에는 농업부분의 피해액이 높은 것을 알 수 있다. 전체 피해액의 21~66%를 차지한다. 피지의 농업은 자급 농업과 상업적 농업으로 구분되며, 상업

표 8. 열대성 사이클론에 의한 피해액 (단위: 피지달러)

부문		TC-Ami	TC-Cliff	TC-Daman	TC-Gene	TC-Mick	TC-Thomas
사회	교육	4,770,635	73,948	149,196	287,755	1,330,915	4,052,517
	보건위생	857,000		900	1,397,120	130,430	1,363,400
	주택	22,089,200	142,240	237,485	3,989,435	19,890,500	10,207,001
생산	농업	40,330,619	4,079,621	104,671	25,356,394	31,439,766	48,955,695
	상업	12,223,500				576,520	
	관광	144,000					
	설탕	13,600,000				367,020	3,300,000
인프라	교통(도로,교량, 육교,제티)	2,725,000	1,870,000		13,340,000	2,639,069	9,150,787
	Water	2,107,258	27,081	8,000	5,000,000	238,234	5,000,000
	Sewarage	522,223					
	공공건물	437,954					
	Drainage					993,840	
	Works					704,250	
	소방청						10,000
	통신	1,185,400			101,500	971,000	794,400
	전력	3,395,000			1,300,000		1,000,000
합계		104,387,789	6,192,890	500,252	50,772,204	59,281,544	83,833,800

그림 7. 사이클론에 대한 부문별 피해비율

그림 8. 농업, 주택, 교통의 피해비율

적 농업의 경우, 대부분 사탕수수 경작에 해당한다. 특히 식민지 시대부터 서부지역과 북부지역에 걸쳐 존재하는 슈가벨트(Sugarcane belts)에서는 기계농업을 받아들여 사탕수수를 많이 경작하고 있으며, 피지 정부는 피지설탕공사(Fiji Sugar Corporation)를 운영하고 있다. 근래에는 농업인구가 서비스업으로 대량 이동하면서, 사탕수수의 경작과 수출이 많이 줄었으나, 여전히 사탕수수가 경제활동에 큰 부분을 차지한다. 한편 북서부 지역은 열대성 사이클론의 발생 빈도가 높은 지역으로, 이에 피지는 열대성 사이클론으로 인한 농업의 피해가 크다(유순영 등, 2012).

사회 부문 중에서 주택 파손 및 붕괴로 인한 피해액이 클 수 있다. TC-Ami, Daman, Mick, Thomas의 경우 전체 피해액의 12~47%로 높은 비중을 차지한다. 그림 5(c)

에서 볼 수 있듯이, 피지의 대부분 지역에서 목조 건물의 주택을 흔하게 볼 수 있으며, 이러한 목조 주택은 강풍과 홍수로 인해 파손 및 붕괴될 위험이 크다. 또한, 건물의 설계와 시공에 대한 시공서나 표준서 없이 건설되어, 구조적으로 약한 건물이 많고 열대성 사이클론에 취약하다.

인프라 부문 중에는 교통, 특히 도로의 피해가 큼을 알 수 있다. 유순영 등(2012)에 따르면, 도시화가 많이 진행된 지역 일수록 인프라 부문의 피해액이 상대적으로 높아진다. 피지 지역은 폭우로 인한 도로의 피해가 잦으며, 우기에는 잦은 비로 도로 상태가 악화되어 여행객은 물론 거주자들의 불편을 야기하고 있다. 도로는 시장, 영업장, 서비스시설 등에 접근하는 중요한 이동 통로로써 빠르게 복구될 필요가 있으나, 복구 시간이 가장 많이 소요되는 기반시설 중에 하나이다.

표 9. 사이클론 피해로부터의 교훈 및 문제점

사이클론	문제점 및 교훈
TC-Ami	<ul style="list-style-type: none"> 북부 지역에 대한 통신 두절 여러 지역에 걸친 동시 재난 발생으로 초기 대응의 어려움, 여러 지역에 분산된 긴급구조물자 보관소 필요 탈염 장비 필요 신속한 재난 피해 파악과 긴급 지원을 위한 항공 지원 필요 (헬리콥터 1대만 이용) 고립된 작은 섬들로부터의 초기 재난 보고를 위한 훈련 필요 재난대비 교육 필요
TC-Cliff	<ul style="list-style-type: none"> 열대성 사이클론 조기경보체계의 필요 긴급운영실 (Emergency Operation Centre) 운영요원의 운영기술 미숙 긴급운전을 위한 발전기, 위성전화기, 보트 등의 기초 장비 이용 불가 분산된 긴급구조물자 보관소 필요 조사, 평가, 구호활동을 위한 전문가 필요 지역 사회의 홍수경보에 대한 대비 능력 부족, 지역별 재난대비강화 필요 적절한 전파를 위한 홍수조기경보체계 구축 필요 지역별 재난위험평가 tools 필요 모든 주요 유역의 통합홍수관리시스템 구축 필요
TC-Daman	<ul style="list-style-type: none"> 경보에 대한 지역 사회의 적절한 준비와 대응으로 사상자 없음 지역 단위별 재난 대비 계획 필요 원거리에 대한 재난 긴급 통신망 필요 VHF 라디오만이 사용 가능, VT Set 사용하지 못함 오래되고 약한 건물과 주택의 손상 및 붕괴 추가적인 기상 레이더 설치, 열대성 사이클론 경로 모니터링, 지속적인 경고 방송 필요
TC-Gene	<ul style="list-style-type: none"> 열대성 사이클론의 빠른 발달로 인하여 초기 기상 예보의 어려움. 북부 지역에 기상 레이더 설치 필요 재난 초기 피해 보고의 어려움 현장요원의 기준운영절차 미숙 재난 피해, 복구 보고를 위한 표준보고서형식 필요 복구 작업시 공공 건물과 주택에 대한 건물 코드 필요
TC-Mick & TC-Tomas	<ul style="list-style-type: none"> 정부의 복구 노력과 더불어, 개인의 복구 노력 또한 중요하다는 경각심 부각 피해 주택에 대한 정부 지원 필요 사망자에 따른 지역 단위별 재난인식에 대한 중요성 지역 운영 요원들에 대한 재난 대비 훈련(조정, 전달, 전파, 보고, 평가) 필요 긴급 장비(발전기, 라디오, 휴대폰, 차량 등)의 상시 비축

3.3 피해로부터의 교훈 및 문제점

표 9는 열대성 사이클론 피해로부터 얻은 교훈 및 문제점을 정리한 것이다. 사망자를 줄이기 위해 사이클론 예·경보를 통한 재난 대비와 인식이 중요함을 강조하고 있다. 더불어, 주택과 학교, 공공건물에 대한 건물 코드와 같이 재난 피해 완화책이 필요함을 강조하고 있다.

4. 피해 특징 및 방재 대책

3장에서 언급한 피해 분석을 통하여, 열대성 사이클론으로 인한 피해 특징 및 필요한 방재 대책을 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1) 주요 사망 원인은 많은 강우로 인한 홍수나 폭풍해일에 의한 익사임을 보여주고 있다. 따라서, 열대성 사이클론으로 인한 사망자를 근본적으로 줄이기 위하여, 사이클론 접근시 모든 도서 지역으로 사이클론 경로 및 위험을 미리 경고할 수 있는 예·경보 시스템을 강화할 필요가 있으며, 예·경보를 전파하고 응급상황에 대처할 수 있는 재난통신 체계를 구축할 필요가 있다.

(2) 열대성 사이클론은 강한 바람과 많은 강우를 동반하므로 홍수, 폭풍해일, 산사태 등의 위험이 상존한다. 따라서, 홍수, 폭풍해일, 산사태 등의 재난을 포함한 복합 재해 정보

시스템(Integrated Hazards Information System & Tools)을 구축할 필요가 있다.

(3) 사회와 생산 부문에서의 피해가 61~98%로서 상당한 비중을 차지하며, 생산 부문에서는 농업 관련 피해액이 높은 것을 알 수 있다. 따라서, 농업 부문에 대한 적절한 재난 대비가 필요하다.

(4) 사회 부문 피해들 중에서 주택 파손 및 붕괴로 인한 피해액이 전체 피해액의 12~47%로 아주 높은 비중을 차지한다. 따라서, 주택, 학교, 대피소, 공공건물 등에 대한 건물 코드 또는 표준서를 정립하고 법규화하는 방안이 필요하다. 더불어, 우리나라의 풍수해 보험법과 같이, 건물에 대한 재해 보험법을 제정, 시행할 필요가 있다.

(5) 열대성 사이클론으로 인한 홍수와 폭풍해일로 인하여, 해안 모래 유실 및 해안도로 침하 등의 피해가 발생하며, 특히 기존 도로의 포장체 유실 및 구멍(hole)이 발생하여 차량 속도를 저하시키고 차량 내구성을 급격히 감소시킨다. 따라서, 친환경적인 해안선 안정화 방안과 유실, 파손된 도로 포장의 복구, 보강 사업이 필요하다.

표 10은 앞에서 언급한 주요 피해 내용과 필요한 방재 대책을 정리한 것이다. 더불어, 방재 대책들과 관련하여 우리나라에서 기존에 수행된 연구들의 예를 제시하였다. 또한, 표 11은 우리나라에서 시행중인 자연재해 방재 정책 및 대책의

표 10. 주요 피해 내용, 방재 대책, 우리나라 기존 연구의 요약

	주요 피해 내용	방재 대책	우리나라 기존 연구
1	주요사망원인:익사	사이클론 예·경보 시스템 강화	태풍위원회 통합 태풍재해정보 분석시스템 구축 (국립방재교육연구원 방재연구소, 2009a)
		재난통신체계 구축	미래형 재난대비 통신체계 구축 기획 연구 (국립방재교육연구원 방재연구소, 2009b)
2	홍수, 폭풍해일, 산사태 피해 동반	복합재해정보시스템 구축	방재정보분석센터 운영시스템 구축 (국립방재교육연구원 방재연구소, 2009c, 2010)
3	주택 파손, 붕괴	건물 코드 정립, 현대식 조립식 주택학교 건립	주택건설기준 등에 관한 규정규칙, 조립식주택의 성능평가 및 설계표준화에 관한 연구 (한국건설기술연구원, 1992), 신재생에너지 기술을 적용한 그린 홈 보급활성화를 위한 방안 수립 (지식경제부, 2009)
		재해보험법 제정	2011년도 풍수해보험 실무(소방방재청, 2011)
4	도로 포장체 손상 및 유실, 해안모래유실 및 해안침식	해안도로 포장 복구 및 보강	한국형 도로 포장 설계법 (한국건설기술연구원등, 2008), 장수명친환경 도로포장 연구 (한국도로공사등, 2009)
		해안모래해안선 안정화	해안개발사업에 따른 해안침식 영향 저감방안 연구 (한국환경정책평가연구원, 2006)

표 11. 우리나라의 자연재난 방재 정책 및 대책 (소방방재청, 2010: 이재준 등, 2008)

재난 관련 법률	· 재난 및 안전관리 기본법 · 자연재해 대책법 · 재해구호법 · 풍수해보험법
방재 정책	· 재난관리단계별 (예방·대응·복구) 방재정책 (대규모 자연재난 발생 우려지역 특별관리대책, 홍수대책비상기획단 구성·운영, 지역자율방재단 구성·운영, 이재민 구호물자 비축 관리, 이재민 수용시설 지정, 자연재해 위험지구 정비사업, 소화천 정비사업) · 사전재해영향성검토협의제도 · 풍수해저감종합계획
재난관리현황	· 설계기준 및 유지관리 · 하천 및 유역정비 · 대규모 및 중소규모 댐 운영 · 내수배제시설의 설치 및 운영 · 개발사업에 대한 규제 및 유수 유출 억제 방안 · 경사면의 유지 관리, 교량 설계 및 유지 관리 · 재해 대책 교육 · 재해 위험도 분석 (하천, 소화천, 내·외수 침수, 산사태, 사면, 연안재해)

예를 보여주고 있다. 피지의 열대성 사이클론으로 인한 피해 사례 및 방재 대책들이 우리나라의 태풍에 의한 피해 및 방재 대책과 유사함을 알 수 있으며, 우리나라의 기존 연구 결과와 경험들이 피지의 방재 대책을 수립하는데 많은 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결 론

기후변화로 인한 자연 재해에 대한 준비가 절실한 상황에서 개발도상국 국가들의 재해 방재에 기여하는 것은 공적개발원조 공여국으로서 의무와 책임을 이행함은 물론 신성장동력 확보를 위한 미래 해외시장 개척을 위해 우리나라가 반드시 참여해야 할 일이나, 재해취약국에 대한 이해가 부족한 실정이다. 이에 본 연구는 남태평양 도서국들과의 국제 협력에 도움이 되고자 피지의 열대성 사이클론 피해 사례들을 분석하고, 방재 대책들을 제시해 보았다. 6개의 사이클론에 대한 피해 보고서를 분석하여, 사이클론 경로, 사망자수 및 원인, 사회·생산·인프라 부문 피해액, 교훈 및 문제점 등을 살펴보고, 이를 통하여, 예·경보 시스템 구축, 재난통신 체계 구축, 복합 재해 정보 시스템 구축, 건물코드 정립 및 법

규화, 재해 보험법 도입, 친환경적인 해안 모래 및 해안선 안정화 방안과 도로 포장 복구 기술 등의 방재 대책들을 제시하였다. 연구결과, 피지의 열대성 사이클론 피해 사례 및 방재 대책들은 우리나라의 태풍 피해 및 방재 대책과 유사함을 알 수 있었다. 우리나라에서 수행된 바 있는 연구 결과와 경험들이 피지의 방재 대책을 수립하는데 많은 도움이 될 것으로 사료된다.

본 연구 결과는 앞으로 우리나라가 남태평양 소도서국들과 전략적 협력을 확대해 나가는데 크게 활용될 수 있을 것으로 보인다. 우리나라는 자원 확보 등의 이유로 해양자원이 풍부한 남태평양 소도서국과 전략적 협력을 확대할 필요가 있다. 선진국의 개방압력과 통상마찰이 점차 증가되고 있는 국제환경에서 개도국과의 국제협력은 우리 경제의 새로운 성장기회가 될 것이다. 또한 해수면 상승, 해안지역의 침수·침식, 지진, 홍수, 열대성 사이클론 등의 자연재해가 경제 발전에 큰 걸림돌이 되고 있는 이들 소도서국들의 방재 능력을 증진시킬 수 있는 과학기술 기반의 공적개발원조(ODA) 프로그램이 개발, 제공될 경우, 우리나라의 국가 위상도를 제고시키는 물론 이들 국가들과 실질적 상호협력을 확대할 수 있는 계기가 만들어질 것이며, 우리의 방재 기술이 경쟁우위를 유지하는데

도움이 될 수 있다. 주요 기술선진국이 과학기술협력을 자국의 경쟁우위를 유지·강화하기 위한 효과적 수단으로 인식하고 있으며, 특히 개도국 과학기술협력의 경우, 호혜적 개발 및 협력 이익이 기대되는 전략적인 협력대상국을 선정해서 집중적인 협력을 모색하고 있음을 주지할 필요가 있다.

참고문헌

국립방재교육연구원 방재연구소 (2009a) 태풍위원회 통합 태풍재해 정보 분석시스템 구축. 연구보고서.

국립방재교육연구원 방재연구소 (2009b) 미래형 재난대비 통신체계 구축 기획 연구. 연구보고서.

국립방재교육연구원 방재연구소 (2009c) 방재정보분석센터 운영시스템 구축(I). 연구보고서.

국립방재교육연구원 방재연구소 (2010) 방재정보분석센터 운영시스템 구축(II). 연구보고서.

박덕근, 손영진, 송영갑 (2010) 아시아-태평양 재해정보 분석. 연구보고서, 방재연구소.

소방방재청 (2010) 소방방재 주요통계 및 자료.

소방방재청 (2011) 2011년도 풍수해보험실무.

오재호 (2011) 기후변화, 불길한 징조, 그리고 기후위기, 물과 미래, 제44권, 제5호, pp. 13-22.

유순영, 김성욱, 박경호, 오창환, 박덕근, 김창용 (2012) 사이클론에 대한 피지의 방재력 정량화 연구, 한국방재학회논문집, 제12권, 제2호, pp. 55-63.

이재준, 심재현, 김지태 (2008) 방재학 개론. 동화기술.

장학봉, 백인기, 박영길, 최수정, 이해은, 장진희, 김자영 (2010) 소도서국가(SIDS)와의 해양협력 방안 연구, 연구보고서, 한국해양수산개발원.

지식경제부 (2009) 신재생에너지 기술을 적용한 그린홈 보급활성화를 위한 방안 수립, 연구보고서.

한국건설기술연구원 (1992) 조립식 주택의 성능평가 및 설계표준화에 관한 연구, 연구보고서.

한국도로공사, 한국건설기술연구원, 중앙대학교, 세종대학교, 강릉대학교, 제주대학교, 한국기술교육대학교, 강원대학교, 한양대학교, 서울산업대학교, 한국도로교통협회, 동일기술공사, TPS, 비터컨설턴트, 내경엔지니어링, 현대건설, 로드텍로드코리아 (2009) 장수명 친환경 도로포장 재료 및 설계시공기술 개발 연구보고서, 연구보고서.

한국건설기술연구원, 한국도로공사, 한국도로학회, 한양대학교

(2008) 한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구. 설계 시스템 개발 연구, 연구보고서.

한국환경정책평가연구원 (2006) 해안개발사업에 따른 해안침식 영향 저감방안 연구, 연구보고서.

Australian Government Bureau of Meteorology (2012) <http://www.bom.gov.au/cyclone/about/>

Fiji Islands Bureau of Statistics (2007) 2007 Census of Population & Housing.

NDMO (2003) Report on Tropical Cyclone Ami. (Report_on_Tropical_Cyclone_AMI.pdf).

NDMO (2007a) Report on February/march/April 2007 Flood and Tropical Cyclone Cliff: Northern, Eastern and Western Division. (TC_Cliff_9-12 Feb 2007.pdf).

NDMO (2007b) Report on Tropical Cyclone Daman December 2007: Impact on Cikobia Island and Proposed Relief and rehabilitation Programme. (TC_Daman_7-8 Dec 2007.pdf).

NDMO (2008) Tropical Cyclone Gene National Task Force Report. (TC_Gene_27-29 Jan 2008.pdf).

NDMO (2010a) Tropical Cyclone Mick Report 13th-16th December 2009 Damages Assessment, Response & Relief Actions and Rehabilitation & Reconstruction Recommendations. (TC_Mic_14 Dec 2009.pdf).

NDMO (2010b) Tropical Cyclone Thomas Report 12th-16th March 2010 Damages Assessment, Response & Relief Actions and Rehabilitation & Reconstruction Recommendations. (TC_Thomas_15-16 mar 2010.pdf).

GFDRR (2010) Damage, Loss and Needs Assessment (DaLA)-Guidance Notes.

ODA KOREA, 2012 <http://www.odakorea.go.kr/>

SPC, WB, ABD, GFDRR, GNS (2008) Pacific Catastrophe Risk Assessment and Financing Initiative: Country Risk Profiles-General Methodology.

SPC, WB, ABD, GFDRR, GNS (2011a) Pacific Catastrophe Risk Assessment and Financing Initiative: Risk Assessment Methodology.

SPC, WB, ABD, GFDRR, GNS (2011b) Pacific Catastrophe Risk Assessment and Financing Initiative: Country Risk Profile-Fiji.

◎ 논문접수일 : 2012년 05월 08일
 ◎ 심사완료일 : 2012년 05월 10일
 ◎ 심사완료일 : 2012년 05월 18일