

# 태풍에 따른 지역별 건물피해액에 영향을 미치는 요인 도출 및 피해 예측모델 개발

## Influence Factors Suggestion and Prediction Model Development of Regional Building Damage Costs according to Typhoon

김 지 명<sup>1</sup>

김 부 영<sup>2</sup>

양 성 필<sup>2</sup>

오 정 일<sup>3</sup>

손 기 영<sup>2\*</sup>

Kim, Ji-myung<sup>1</sup>

Kim, Boo-Young<sup>2</sup>

Yang, Seongpil<sup>2</sup>

Oh, Jeongill<sup>3</sup>

Son, Kiyoung<sup>2\*</sup>

*Global Loss Control Center, Samsung Fire & Marine Insurance Co. Ltd., Jung-Gu, Seoul, 04523, Korea <sup>1</sup>*

*School of Architectural Engineering, University of Ulsan, Nam-Gu, Ulsan, 44610, Korea <sup>2</sup>*

*Department of Defense Aquisition Program, Kwangwoon University, Nowon-Gu, Seoul, 01897, Korea <sup>3</sup>*

### Abstract

Currently, according to the climate change, serious damage by typhoon has been occurred in the world. In this respect, the research on the prediction model to minimize the damage from various natural disaster has been conducted in several developed countries. In the case of U.S, various models to predict building damage costs have been used widely in many organizations such as insurance companies and governments. In South Korea, although studies regarding damage prediction model according to typhoon have been conducted, the scope has been only limited to consider the property of typhoon. However, it is necessary to consider various factors such as typhoon information, geography, construction environment, and socio-economy factors to predict the damages. Therefore, to address this issue, first, correlation analysis is conducted between various variables based on the data of typhoon from 2003 to 2012. Second, the damage prediction model by using regression analysis is developed based on suggested influence factors. The findings of this study can be utilized to develop the model for predicting the damage costs of buildings by typhoon like HAZUS-MH of U.S

Keywords : typhoon, building damage costs, regression analysis, natural disaster

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

최근 세계적으로 기후 변화에 따라 태풍으로 인한 피해규모가 커지고 가속화되어 많은 피해를 받고 있는 중이다. 국내에서도 2002년 태풍 ‘루사’, 2003년 태풍 ‘매미’로 인한 재산피해액은 각각 51,479억원, 42,225억원에 달했다

[1]. 이러한 태풍은 국내에 집중적 기간을 두고 나타나는 주요 자연재해 중 한 분야임과 동시에, 폭우와 강풍 등을 동반하는 복합재해로서, 발생 빈도가 높고 많은 인명 및 재산피해를 주고 있다. 국가재난 정보센터의 재난통계 및 기록에 따르면, 태풍재해로 인한 건물피해액은 공공시설, 농경지에 이어 세 번째로 보고된다[2].

미국의 경우, Federal Emergency Management Agency (FEMA)에서 Hazus-Multi Hazard(HAZUS-MH)를 개발하여 홍수, 지진, 태풍에 따른 사전피해예측을 실시하여 각 재난에 따른 리스크분석 모델을 운용하고 있다. 또한, 태풍의 피해가 잦은 미국 플로리다 주에서는 Florida Public Hurricane Loss Model(FPHLM)을 통해 재난에 따른 보험사의 보험요율을 산정하는데 효과적인 도

Received : June 23, 2015

Revision received : July 15, 2015

Accepted : August 6, 2015

\* Corresponding author : Son, Kiyoung

[Tel: 82-52-259-2788, E-mail: sky9852111@ulsan.ac.kr]

©2015 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

구로써 활용되고 있다. 하지만, 국내에서는 다양한 재난을 대비하기 위한 사전피해예측 모델은 아직 개발되지 않았으며 외국에서 개발된 상용프로그램을 사용하기에는 태풍의 크기나 영향력에서 많은 차이가 나므로 국내의 특성에 적합한 피해를 사전에 예측할 수 있는 모델이 필요한 실정이다.

또한, 국내의 연구들은 태풍의 특성만을 고려하여 진행되고 있으나 태풍은 폭우와 강풍을 동반하는 복합재해로서 태풍의 특성뿐만 아니라 지리, 사회경제, 건설환경 등 다양한 요인을 고려하여야 한다. 이에 본 연구에서는 태풍에 따른 지역별 건물피해액 영향요인을 도출하고 회귀분석을 활용한 건물피해액 예측모델 개발을 목적으로 한다. 또한, 다양한 영향요인들을 고려하기 위해 해외 선행연구 분석을 통해 태풍정보, 지리정보, 건설환경 및 사회경제의 4개의 항목으로 분류하여 세부적으로 24개의 변수를 선정하였다. 향후 본 연구의 결과는 미국의 HAZUS -MH와 같이 국내에서 태풍에 따른 피해를 예측하기 위한 모델 개발을 위한 자료로 활용될 것이다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 태풍에 따른 건물피해액 예측모델 개발을 위해 첫째, 2003년부터 2012년까지의 태풍을 지역별로 분류하여 종속변수인 건물피해액의 데이터를 수집한다. 둘째, 영향요인들을 태풍정보, 지리정보, 건설환경 및 사회경제요인의 4가지로 분류하여 각 요인들의 데이터를 수집한다. 셋째, 앞서 수집된 데이터를 토대로 건물피해액과 영향요인들 간의 상관분석을 실시한다. 다섯째, 상관분석을 통해 도출된 요인들과 종속변수인 건물피해액에 대하여 회귀분석을 실시하여 그 결과를 분석한다. Figure 1은 본 연구의 방법을 나타낸다.

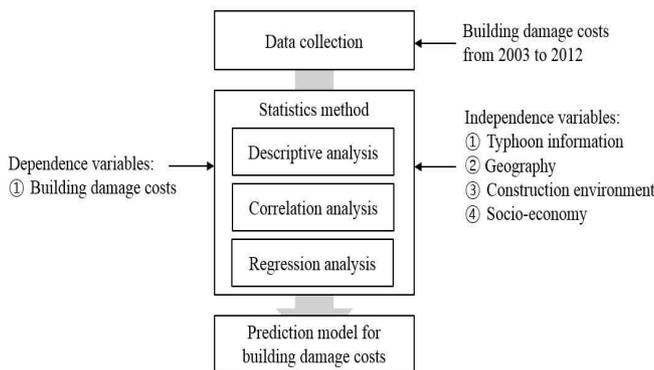


Figure 1. Methodology

본 연구에서 활용되는 종속변수의 데이터 수집은 소방방재청의 재해연보를 통해 2003년부터 2012년까지 태풍에 따른 건물피해액을 기준으로 수행되었다. 특히, 이 기간 동안 국내에 영향을 미친 31개의 태풍 중 피해가 경미한 경우를 본 연구의 범위에서 제외하였다.

또한, 태풍에 따른 건물피해액에 미치는 영향요인들을 종합적으로 분석하기 위해 Table 1과 같이 해외의 선행연구들에서 도출된 영향요인들을 근거로 본 연구에서는 크게 4개의 항목인 태풍정보, 지리정보, 건설환경 및 사회경제요인으로 분류하여 기상청, 국가통계포털, 국가태풍센터, 국토교통통계누리, 국립해양조사원 등을 통해 자료를 수집하였다[3,4].

Table 1. Previous studies about influence factors

Author(year)	Factor
Cutter (2008)[5]	1. Social Vulnerability 2. Built Environment and infrastructure 3. Natural systems and exposure 4. Hazards mitigation and planning
Peacock et al. (2005)[6]	1. Socio-demographic 2. Natural hazards
Tate et al. (2010)[7]	1. Demographic characteristic 2. Natural hazards 3. Social vulnerability
Burton (2010)[8]	1. Built environment and geographic feature 2. Demographic characteristic 3. Social vulnerability 4. Natural hazards
Brody et al. (2008)[9]	1. Social Vulnerability 2. Structural Vulnerability 3. Geographic Vulnerability

2. 이론적 고찰

우리나라는 해마다 강풍과 호우에 따른 반복적인 피해를 입고 있다. 이는 자연재해에 대한 예방보다는 사후복구 조치에 업무가 집중되어 있기 때문이다. 재해재난은 발생 시 조직적으로 대처하는 것도 중요하지만 철저한 예방활동을 통해 조직적으로 대비하는 관리체계 또한 중요하다.

해외에서는 이미 예방 위주의 방재사업에 집중적으로 투자하고 있다. 미국과 일본은 국민의 생명과 재산피해를 절반수준으로 감소시킨다는 목표를 가지고 있으며, 방재 예산

의 70% 이상을 재난 예방활동에 집중하고 있다[10].

미국은 1978년 연방위기관리청을 창설을 통해 미국 전역의 피해경감, 대비, 그리고 대응 및 복구의 핵심적인 역할을 수행하며 지방정부와의 협조를 통해 재해재난발생에 대비 기술적 지원과 교육, 연방 긴급대응대책에 의한 지원활동 등을 하고 있다. 또한, 통합위기관리체계(IEMS) 구축을 통해 모든 종류의 재해재난에 필요한 계획, 훈련, 연습, 정보 전파, 주의보 및 경계보 하달, 재해재난 관리센터 설치, 자원관리계획 등을 효과적인 방재정책을 펼치며 피해를 최소화하고 있다[11].

일본은 지진을 비롯한 태풍, 풍·수해 등 재해재난발생이 많은 지역적 환경 때문에 재해재난관리 준비 및 대응체계가 확립된 재해재난관리 선진국이다. 지방자치단체는 지방재해대책본부를 설치하여 종합적인 대응체계를 유지하며 관련기관 및 단체는 재해재난관리계획에 따라 자체대응활동을 수행한다. 지방자치단체가 자치적으로 해결할 수 없을 경우 중앙정부 통제 하에 지방정부와 협력하여 재해재난관리 대응활동을 수행하고 있다[12].

국내에서는 해마다 반복되는 재해에 대한 위험도를 인지하고 인명피해와 재산피해를 줄이기 위한 시스템 구축 연구를 진행하고 있으나 그 결과는 아직 미흡한 실정이다. 또한 일본에서는 지방자치단체 별로 재해재난 관리 시스템을 갖추고 있지만 국내에서는 서울에서 시행하는 ‘재난제로, 서울을 위한 방재전략’을 제외하고는 시스템 구축이 전무한 실정이다[13]. 그러므로, 태풍에 따른 건물피해액을 미리 예측해 봄으로써 이러한 피해를 효과적으로 대처할 수 있도록 시스템이 국내에서는 필요하다.

또한, 현재 태풍피해 예측에 관한 연구로는 태풍 발생 시 강수량과 풍속에 따른 침수 피해 규모 예측[14], 지리 정보 시스템을 이용한 태풍 위험평가[15], 태풍 내습 시 강풍에 따른 피해규모 특성과 위기관리 시스템 제안[16], 지자체별 특성을 고려한 자연재해에 따른 피해유형 분석[17], 농촌지역 시설물의 태풍피해 예방 및 대책에 관한 연구[18] 등과 같이 다양한 태풍 피해예측에 관한 연구들이 진행되었다. 이와 같이, 국내의 태풍피해에 관한 연구는 태풍의 강수량과 풍속만을 고려하였으나 태풍은 강풍과 호우를 동반하는 복합 재해로서 피해에 영향을 미치는 인자는 태풍정보 외에도 경제적, 물리적, 지리적 등 다양한 요인을 고려하여 국내 실정에 맞는 연구는 미흡한 실정이다.

### 3. 데이터 수집

#### 3.1 개요

소방방재청에서는 재해연보를 통해 지역에 따른 건물, 선박 농경지등 피해액 현황에 대하여 정기적으로 데이터를 수집하고 있으며 본 연구에서는 재해연보의 자료 중 건물피해액을 종속변수로 활용하였다. 또한, 본 연구에서는 데이터를 효율적으로 분석하기 위해 태풍과 지역 명을 하나의 코드로 설정하였다[19].

Table 2와 같이, 지역코드는 광역자치단체로써 서울특별시와 6개의 광역시(대전, 대구, 부산, 인천, 광주, 울산), 제주도, 경기도, 강원도, 전라남도, 전라북도, 충청남도, 충청북도, 경상남도, 경상북도로 구분하였다. 태풍의 경우, 소방방재청의 재해연보를 통해 2003년부터 2012년까지 국내에 영향을 미친 전체 28개의 태풍에서 본 연구에서는 피해가 경미하게 발생한 태풍을 제외하였으며 이재민, 사망자수가 발생한 15개 태풍을 선정하고 코드를 설정하였다.

Table 2. Region and typhoon code

Code	Region	Typhoon
1	Seoul	Bolaven
2	Busan	Sanba
3	Daegu	Muifa
4	Incheon	Dianmu
5	Gwangju	Kompasu
6	Daejun	Malou
7	Ulsan	Kalmaegi
8	Gyeonggi	Man-yi
9	Gangweon	Nari
10	Chung-bug	Shanshan
11	Chung-nam	Nabi
12	Jeon-bug	Mindulle
13	Jeon-nam	Megi
14	Gyeong-bug	Soudelor
15	Gyeong-nam	Maemi
16	Jeju	

#### 3.2 종속변수

본 연구에서는 태풍에 따른 지역별 건물피해액이 종속변수이며 2003년부터 2012년까지 건물피해액을 조사한 결과는 Table 3과 같다. 조사결과, 경남지역이 2003년부터 2013년까지 건물피해액이 2조 2천억 정도로 태풍에 따른

피해가 가장 큰 것으로 분석되었으며 태풍별로는 태풍 매미 (Maemi)가 2조 3천억 정도로 피해가 가장 큰 것으로 조사 되었다.

Table 3. Building damage costs

Region	Costs(mil.won)	Typhoon	Costs(mil.won)
1	4,572	1	586,299
2	331,038	2	339,862
3	73,483	3	207,862
4	5,357	4	3,141
5	27,155	5	132,097
6	982	6	63
7	137,728	7	858
8	7,326	8	1,694
9	835,993	9	159,174
10	76,472	10	10,927
11	169,937	11	138,503
12	206,851	12	89,269
13	945,623	13	250,692
14	948,365	14	10,885
15	2,190,598	15	2,316,682
16	192,332		

### 3.3 독립변수

본 연구에서는 독립변수로서 Table 4와 같이, 태풍정보, 지리정보, 건설환경 및 사회경제요인의 4개 항목으로 분류 하였다.

첫째, 태풍정보요인으로써 세계기상기구에서 태풍의 강도 및 규모의 기준을 산정하기 위해 활용하는 태풍의 이동속도, 중심기압, 최대풍속, 강풍반경 그리고 일최다강수량을 변수로 선정하였다.

둘째, 본 연구에서는 이론적 고찰을 통해 태풍에 따른 건물피해액에 영향을 미칠만한 지리적 요인을 선정하였다. 이후 상관분석을 통해 건물피해액에 직접적으로 영향을 미치는 요인에 대하여 도출하였다.

셋째, 태풍에 따른 건물피해액에 영향을 미칠만한 건설환경 요인을 노후건축물, 도시공원, 댐, 절토사면, 고층건물수로 설정하였다.

넷째, 태풍에 따른 건물피해액이 증가되는 원인으로써 지역별 사회 및 경제적인 요인들이 영향을 미친다는 가정에 사회경제요인으로써 인구밀도, 국민기초생활수급자, 경상소득, 지역내 총생산, 강력범죄발생건수를 변수로 설정하였다.

Table 4. Independence variables

Factor	Unit	Description
Typhoon information	Moving speed	km/h moving speed per hour
	Pressure	hPa central pressure
	Wind speed	m/s maximum wind speed
	Wind radius	km typhoon wind radius
	Rainfall	mm/day maximum rainfall per day
Geography	River	n number of river
	Length	km length of river
	River rate	% complete improvement rate
	Forest	km <sup>2</sup> forest area
	Coastline	km coastline length
Construction environment	Buildings	n buildings over fifteen years
	Park	km <sup>2</sup> urban park area
	Dam	n number of dam
	Slope	n number of cutting slope
	High-rise building	n buildings over eleven floor
Socio-economy	Population density	pop./km <sup>2</sup> population per km2
	Basic living	person basic living recipient
	Income	10,000won ordinary income
	GRDP	mil. won gross regional domestic product
	Crime	n number of regional crime

## 4. 데이터 분석

### 4.1 기술통계

#### 4.1.1 태풍정보요인

Table 5는 태풍정보요인의 기술통계를 나타낸다. 이동속도는 태풍코드 14 소텔로가 52km/h, 중심기압은 태풍별 큰 차이는 없지만, 태풍코드 7 갈매기가 996hpa, 최대풍속과 강풍반경은 태풍코드 8 마니가 44m/s, 600km, 일 최대강수량은 태풍코드 9 나리가 420mm/day로 가장 큰 것으로 분석되었다. 일최다강수량은 태풍별 가장 큰 값으로 조사하였다.

#### 4.1.2 지리정보요인

Table 6은 지리정보요인의 항목인 하천개소수, 하천연장, 완전개수율, 임야면적, 해안선길이의 기술통계를 나타낸다. 하천개소수는 경남지역이 683개로 가장 많은 것으로 분석되며 하천연장은 경북지역이 4,619km, 해안선길이는

전남지역이 육지부와 도서부 각각 2,104km, 3,436km로 가장 긴 것으로 조사되었다. 또한 완전개수율은 충남지역이 102%, 임야면적은 경북지역이 가장 큰 13,720km<sup>2</sup>으로 조사되었다.

Table 5. Descriptive analysis: typhoon information variable

Typhoon code	moving speed (km/h)	Pressure (hpa)	Wind speed (m/s)	Wind radius (km)	Rainfall (mm/day)
1	26	960	40	450	166
2	37	965	38	380	206
3	34	975	34	390	299
4	29	985	27	250	106
5	50	985	27	180	70
6	25	990	24	160	76
7	31	996	17	150	198
8	28	945	44	600	36
9	25	960	40	200	420
10	39	965	37	330	109
11	21	970	33	450	328
12	20	985	23	400	120
13	35	975	31	480	323
14	52	980	28	330	151
15	40	950	41	440	232

Table 6. Descriptive analysis: geography variable

Region code	River (ea)	Length (km)	River rate (%)	Forest (km <sup>2</sup> )	Coastline(km)	
					Land	Ireland
1	40	248	100	150	0	0
2	50	264	60	363	224	90
3	29	291	80	483	0	0
4	32	141	51	414	364	590
5	35	214	80	197	0	0
6	29	214	71	289	0	0
7	102	490	59	690	132	4
8	516	3,490	63	5,577	209	11
9	254	3,579	56	13,673	286	32
10	174	2,346	61	5,036	0	0
11	544	3,057	102	4,468	704	283
12	472	3,259	47	4,568	265	240
13	561	3,239	45	7,099	2,104	3,436
14	365	4,619	59	13,720	321	107
15	683	4,201	45	7,100	1,347	747
16	60	605	62	904	308	112

#### 4.1.3 건설환경요인

Table 7은 건설환경요인의 노후건축물, 도시공원, 댐, 절토사면, 고층건물 수를 나타낸다. Table 7과 같이, 노후 건축물과 고층건물은 수도권지역이 각각 50만개, 27만개, 도시공원은 경기지역이 16만개, 댐은 전남지역이 97개, 절토사면은 경북지역이 66개로 가장 많은 것으로 조사되었다. 또한, 노후건축물, 도시공원, 고층건물의 경우 기간별로 변동이 있었기 때문에 2003년부터 2012년까지의 각 지역별 평균으로 조사하였다.

Table 7. Descriptive analysis: construction environment variable

Region code	Buildings (N)	Park (1,000m <sup>2</sup> )	Dam (N)	Slope (N)	High-rise building (N)
1	523,893	105,080	0	1	27,684
2	324,135	48,605	1	6	9,398
3	196,380	63,483	7	4	4,693
4	149,401	55,352	10	0	5,971
5	104,911	19,307	2	6	3,623
6	96,055	38,787	3	1	3,900
7	80,364	36,926	7	2	2,767
8	559,189	166,077	40	26	26,403
9	250,626	35,962	69	56	3,042
10	243,348	64,758	44	61	3,288
11	334,510	39,447	68	46	3,607
12	279,552	42,383	70	10	3,166
13	446,338	63,379	97	10	2,807
14	529,120	60,566	89	66	3,812
15	477,419	103,893	55	39	6,616
16	101,515	14,957	0	0	916

#### 4.1.4 사회경제요인

사회경제요인의 경우, 인구밀도, 기초생활수급자, 경상소득, 지역 내 총생산, 강력범죄건수를 조사하였으며 Table 8과 같이, 인구밀도는 서울지역에 약 1만6천명/km<sup>2</sup>, 기초 생활수급자는, 경기지역이 약 20만명으로 가장 많은 것으로 조사 되었다.

Table 8. Descriptive analysis: socio-economy variable

Region code	Population (N/km <sup>2</sup> )	Basic living (N)	Income (10,000won)	GRDP (mil. won)	Crime (N)
1	16,019	196,396	4,850	242,000,000	6,910
2	4,512	132,158	3,774	53,900,000	2,111
3	2,766	94,676	3,825	32,400,000	1,104
4	2,500	67,726	3,896	48,800,000	1,692
5	2,871	59,413	4,271	21,800,000	950
6	2,709	44,548	4,252	23,200,000	810
7	1,001	17,894	5,090	51,800,000	540
8	10,523	200,176	4,688	20,100,000	5,835
9	87	62,379	3,376	26,200,000	692
10	199	55,388	3,774	31,500,000	738
11	238	74,634	3,612	61,900,000	1,021
12	222	111,063	3,624	30,300,000	763
13	146	116,239	3,400	50,200,000	750
14	137	121,093	3,743	68,500,000	1,097
15	283	104,200	4,018	70,900,000	1,323
16	286	22,392	3,703	91,700,000	335

## 4.2 상관분석

### 4.2.1 건물피해액과 태풍정보요인

Table 9는 건물피해액과 태풍정보요인과의 상관관계를 나타낸 결과이다. 분석결과, 태풍이동속도와는 관계가 없으며 최대풍속, 태풍중심기압, 강풍반경, 일최다강수량과 상관관계가 있는 것으로 분석되었다. Figure 2는 건물피해액과 영향요인들 간의 상관관계를 나타낸 Box plot이다.

Table 9. Correlation analysis: typhoon information

		Building costs	Moving speed	Pressure	Wind speed	Wind radius	Rainfall
Building costs	Coef.	1	.08	-.23	.19	.13	.17
	Sig.		.22	.00	.00	.04	.00
	N	239	239	239	239	239	239

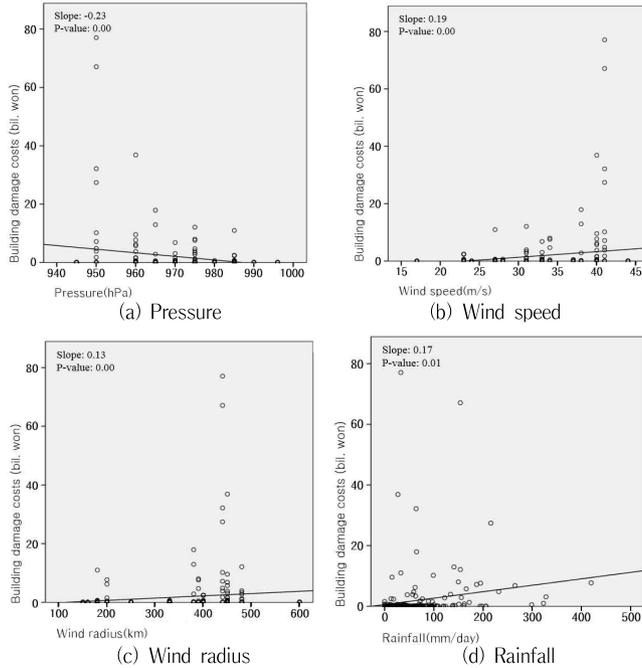


Figure 2. Building damage costs vs. typhoon information

이를 분석한 결과는 다음과 같다.

- 1) 태풍에 따른 지역별 건물피해액은 본 연구에서 도출한 태풍정보요인 중 최대풍속, 태풍중심기압, 강풍반경, 일최다강수량과 서로 상관관계가 있다.
- 2) 중심기압이 1hPa씩 증가할 때마다 건물피해액은 0.23백만원씩 감소한다.
- 3) 최대풍속이 1m/s가 증가될 때마다 건물피해액은 0.19백만원씩 증가한다.
- 4) 강풍반경이 1km증가됨에 따라 건물피해액은 0.13백만원씩 증가한다.
- 5) 일최다강수량이 1mm/day만큼 증가됨에 따라 건물피해액은 0.17백만원씩 증가한다.

4.2.2 건물피해액과 지리정보요인

건물피해액과 지리정보요인의 상관관계를 나타낸 결과는 Table 10과 같다.

Table 10. Correlation analysis: geography

		Building costs	River	Length	River rate	Forest	Coastline Land	Coastline Ireland
Building costs	Coef.	1	.12	.18	-.12	.23	.16	.15
	Sig.		.04	.00	.03	.00	.02	.02
	N	239	239	239	239	239	239	239

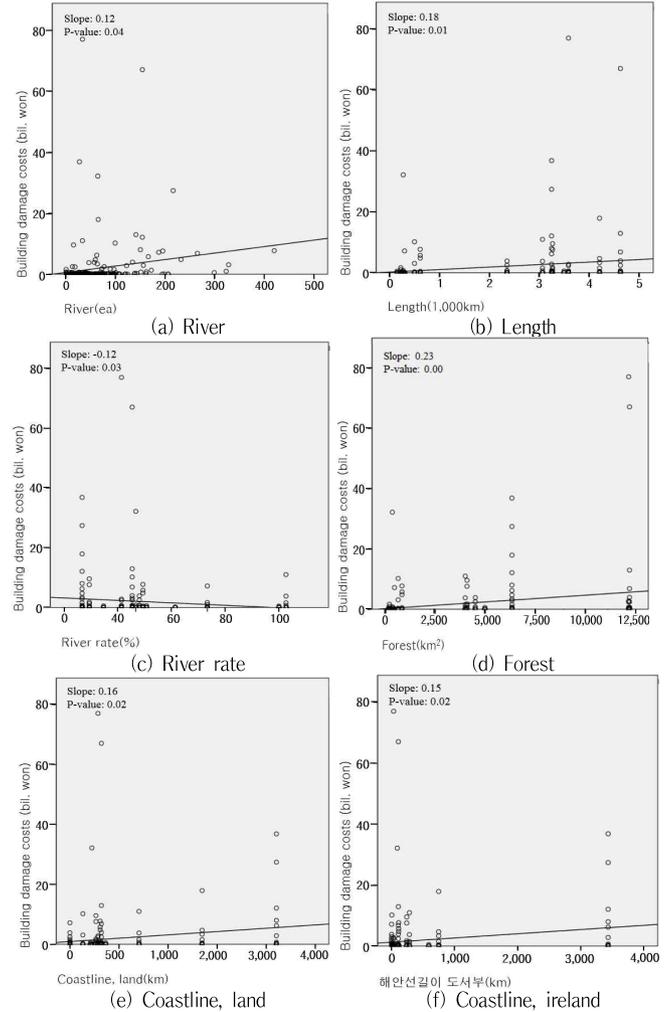


Figure 3. Building damage costs vs. geography

Figure 3과 같이, 건물피해액은 본 연구에서 설정한 모든 지리정보요인과 상관관계가 있는 것으로 분석되었다. 분석결과는 아래와 같다.

- 1) 태풍에 따른 지역별 건물피해액은 하천개소수, 하천연장, 완전개수율, 임야면적, 해안선길이가 서로 상관관계가 있다.
- 2) 하천개소수가 1개소 증가될 때마다 건물피해액은 0.12백만원씩 증가한다.
- 3) 하천연장이 1km증가됨에 따라 건물피해액은 0.18백

만원씩 증가한다.

- 4) 완전개수율이 1% 증가될 때마다 건물피해액은 0.12 백만원씩 감소한다.
- 5) 임야면적이 1km<sup>2</sup>이 증가될 때마다 건물피해액은 0.23 백만원씩 증가한다.
- 6) 해안선의 길이 육지부가 1km 증가됨에 따라 건물피해액은 0.16백만원씩 증가한다.
- 7) 해안선의 길이 도서부가 1km 증가됨에 따라 건물 피 해액은 0.15백만원씩 증가한다.

#### 4.2.3 건물피해액과 건설환경요인

Table 11과 Figure 4는 건물피해액과 건설환경요인의 상관관계를 나타내며 분석결과는 아래와 같다.

Table 11. Correlation analysis: construction environment

	Building costs	Buildings	Park	Dam	Slope	High-rise building
Building costs	Coef.	1	.11	.03	.19	.16
	Sig.		.04	.69	.00	.01
	N	239	239	239	239	239

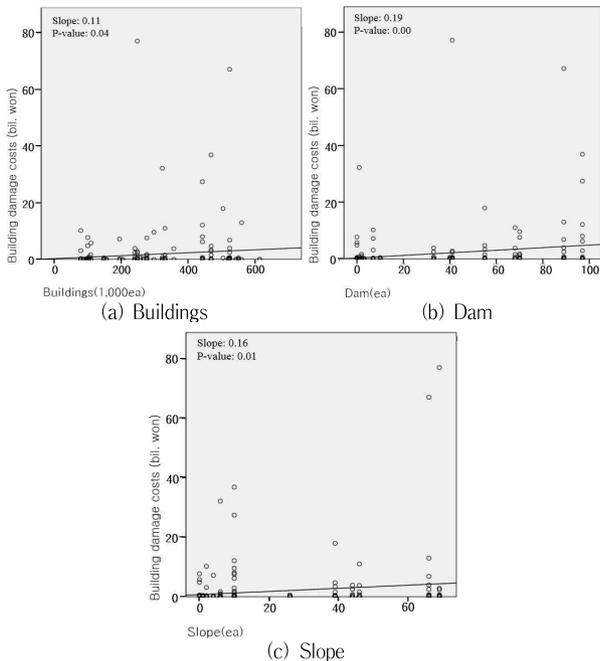


Figure 4. Building damage vs. construction environment

- 1) 태풍에 따른 지역별 건물피해액은 본 연구에서 도출한 건설환경요인 중 노후건축물, 댐, 절토사면과 서로 상관관계가 있다.

- 2) 노후건축물이 1개소가 증가될 때 건물피해액은 0.11 백만원씩 증가한다.
- 3) 댐이 1개소가 증가될 때 건물피해액은 0.19백만원씩 증가한다.
- 4) 절토사면이 1개소가 증가될 때 건물피해액은 0.16백만원씩 증가한다.

#### 4.2.4 건물피해액과 사회경제요인

본 연구에서는 태풍에 따른 건물피해액을 예측할 시 그 지역의 사회경제적인 요인이 건물피해액에 영향을 미친다는 가정 하에 이론적 고찰을 통하여 사회경제요인인 인구밀도, 국민기초생활소득자, 경상소득, 지역내총생산, 범죄발생건수와 상관관계가 있는지 분석하였다. Table 12는 건물피해액과 사회경제요인의 상관분석결과를 나타낸다.

Table 12. Correlation analysis: socio-economy

	Building costs	Population	Basic living	Income	GRDP	Crime
Building costs	Coef.	1	-.10	-.01	-.11	-.12
	Sig.		.03	.90	.02	.57
	N	239	239	239	239	239

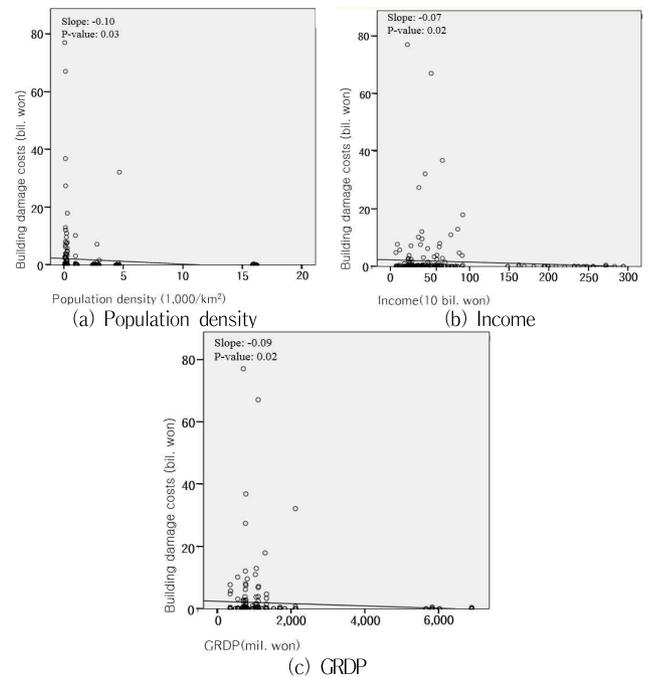


Figure 5. Building damage vs socio-economy

또한, Figure 5와 같이, 건물피해액의 분석결과는 다음과 같다.

- 1) 태풍에 따른 지역별 건물피해액은 본 연구에서 도출한 사회경제요인 중 인구밀도, 경상소득, 지역내 총생산과 상관관계가 있다.
- 2) 인구밀도가 1명/km<sup>2</sup> 증가할 때 건물피해액은 0.1백만원씩 감소한다.
- 3) 경상소득이 1만원 증가할 때 건물 피해액은 0.11백만원씩 감소한다.
- 4) 지역내총생산이 1백만원씩 증가할 때 건물피해액은 0.12백만원씩 감소한다.

### 4.3 회귀분석

#### 4.3.1 분석개요

본 연구에서는 상관분석을 통해 건물피해액에 영향을 미치는 변수들로 회귀분석을 활용하여 태풍에 따른 지역별 건물피해액 예측모델을 개발하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해, 식(1)과 같은 회귀모형을 구축하였다.

종속변수는 건물피해액이며 독립변수는 상관분석을 토대로 도출된 건물피해액과 상관관계가 있는 태풍정보, 지리정보, 건설환경, 사회경제요인들이다. 앞서 상관분석에서 태풍정보요인의 경우, 태풍이동속도가 제외되며 건설환경요인의 경우, 도시공원, 고층건물변수가 제외되었다. 또한, 사회경제요인은 국민기초생활소득자 및 강력범죄변수가 제외되었다. 본 연구에서 개발될 회귀모형은 아래 식(1)과 같다.

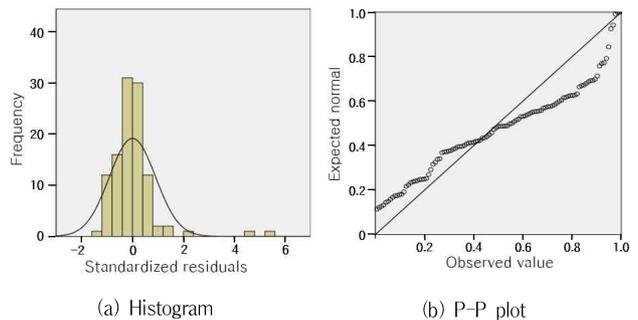
$$BD = \beta_0 + \beta_1 TC + \beta_2 PC + \beta_3 PR + \beta_4 WS + \beta_5 WR + \beta_6 RF + \beta_7 NR + \beta_8 RL + \beta_9 CR + \beta_{10} FL + \beta_{11} LC + \beta_{12} IC + \beta_{13} OF + \beta_{14} ND + \beta_{15} CS + \beta_{16} PD + \beta_{17} OI + \beta_{18} GD \quad (1)$$

여기서,

- BD* : 건물피해액 (Building Damage)
- TC* : 태풍코드 (Typhoon Code)
- PC* : 지역코드 (Province Code)
- PR* : 중심기압 (Pressure)
- WS* : 최대풍속 (Wind Speed)
- WR* : 강풍반경 (Wind Radius)
- RF* : 일최다강수량 (Rainfall)
- NR* : 하천개소수 (Number of River)

- RL* : 하천연장 (River Length)
- CR* : 완전개수율 (Complete Improvement)
- FL* : 임야면적
- LC* : 해안선 길이(육지부) (Land Coastline Length)
- IC* : 해안선 길이(도서부) (Island Coastline Length)
- OF* : 노후건축물 (Over Fifteen Building)
- ND* : 댐 (Number of Dam)
- CS* : 절토사면 (Cut Slope)
- PD* : 인구밀도 (Population Density)
- OI* : 경상소득 (Ordinary Income)
- GD* : 지역내 총생산 (Gross Regional Domestic Product)

회귀분석을 위해서는 우선 종속변수가 정규분포를 따르는지에 대한 정규성 검정을 실시하는 것이 필요하다. Figure 6은 종속변수의 표준화 잔차에 대한 정규성 검정을 나타낸다. 일반적으로 표본수가 50이상일 때에는 Kolmogorov-Smirnov 검정을 실시하게 된다. Figure 6(c)와 같이, 본 회귀모형에서는 Kolmogorov-Smirnov의 유의확률이 0.05이하를 나타내므로 귀무가설, 즉, 표준화 잔차는 정규분포를 따른다라는 것을 기각하게 된다. 또한, Figure 6(a), (b)와 같이, 표준화 잔차의 히스토그램 및 P-P도표를 이를 뒷받침하고 있다. 그러므로, 본 회귀모형의 종속변수는 가변수로 설정하는 것이 필요하다.



	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistics	df	Sig.	Statistics	df	Sig.
BD	.363	238	.000	.379	238	.000

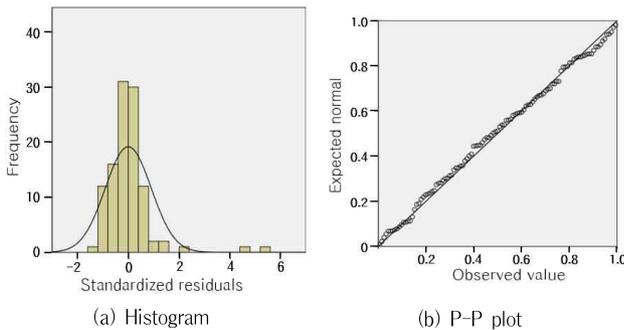
(c) Kolmogorov-Smirnov test

Figure 6. Check for normality of original value

Figure 7은 종속변수를 로그화시킨 표준화 잔차에 대한

정규성 검정을 나타낸다. Figure 7(c)와 같이, Kolmogorov-Smirnov의 유의확률이 0.05이상을 나타내므로 정규분포를 따른다는 것을 알 수 있으며 Figure 7(a), (b)의 히스토그램과 P-P도표는 이를 뒷받침하고 있다. 그러므로, 본 연구에서는 종속변수를 식(2)와 같이 로그화시킨 회귀모형의 분석을 실시하였다.

$$\text{Transformed } BD = \ln(BD) \text{ ----- (2)}$$



(c) Kolmogorov-Smirnov test

Figure 7. Check for normality of transformed value

#### 4.3.2 분석결과

회귀분석결과, Table 13과 같이, 수정된 R<sup>2</sup>의 값은 0.427이며 모델에 대한 분산분석의 유의확률 또한 0.05이하로 나타났다. 즉 본 회귀모형은 태풍에 따른 건물피해액 예측에 대하여 42.7%의 설명력을 가지고 있으며 본 모형의 활용은 유의미하다고 분석되었다.

Table 13. ANOVA and adjusted R square

Model	Sum of squares	df	Mean square	F	Sig.
Regression	512.588	1	26.978	3.757	.000
Residual	639.080	238	7.181		
Total	1151.669	239			
Adjusted R square	.427				

a. Dependent variable: Ln(BD)

또한, Table 14는 각 변수별 회귀계수를 나타낸다. 모든 변수에서 VIF(Variance of Factor)가 11이하를 나타내므로 변수들 간의 다중공선성의 문제는 없는 것으로 나타났다.

Table 14. Coefficients

Model	B	Std. Error	t	Sig.	VIF
(Constant)	178.815	118.151	1.513	.034	
TC	-.110	.107	-1.026	.007	3.212
PC	.487	.372	1.312	.043	.881
PR	-.163	.114	-1.431	.036	4.685
WS	.205	.207	-.989	.026	2.880
WR	.010	.003	3.640	.000	1.648
RF	.018	.004	4.918	.000	1.256
NR	.056	.037	1.496	.038	9.565
RL	.011	.008	-1.483	.042	0.387
CR	-.118	.068	-1.727	.028	8.400
FL	.016	.001	1.212	.029	1.959
LC	.012	.011	-1.389	.018	4.413
IC	.005	.004	1.300	.017	4.994
OF	1.266	.000	.856	.024	5.600
ND	.007	.060	-.113	.010	6.989
CS	.196	.103	1.896	.011	6.928
PD	-.002	.000	1.320	.020	9.081
OI	-.657	.000	.912	.014	4.147
GD	-.012	.001	-.859	.023	8.280

a. Dependent variable: Ln(BD)

식(3)은 개발된 회귀모형을 나타낸다. 앞서 언급한 바와 같이, 수정된 R<sup>2</sup>의 값은 0.427를 나타내므로 본 모형의 설명력은 42.7%를 가지고 있는 것으로 분석된다. 그러므로 57.3%는 알려지지 않은 변수들이 있을 것이며 이에 대한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

$$\ln(BD) = 178.815 + (-.110)TC + (.487)PC + (-.163)PR + (.205)WS + (.010)WR + (.018)RF + (.056)NR + (.011)RL + (-.118)CR + (.016)FL + (.012)LC + (.005)IC + (1.266)OF + (.007)ND + (.196)CS + (-.002)PD + (-.657)OI + (-.012)GD \text{ ----- (3)}$$

#### 4.3.3 검증

개발된 회귀모형의 검증을 위하여 회귀모형으로 산정된 예측값과 실제 건물피해액과의 차이를 비교 및 검증하였다. 앞서 개발된 회귀식의 종속변수 ln(BD)를 실제 건물피해액과 비교를 위해서는 아래 식(4)로 변환하여 분석하였다.

$$\text{Predicted } BD = 10^{\ln(BD)} \text{ ----- (4)}$$

Figure 8은 본 연구에서 개발한 회귀모형으로 산정된 예측값과 실제 건물피해액과의 차이를 비교한 그림이다. 이와

같이, 본 연구에서 고려하지 않는 변수들에 의해 차이가 발생하는 것으로 파악되므로 이에 대한 후속연구로 태풍경로에 따른 타입, 지역별 소득수준과 같은 다양한 변수를 추가한 연구가 필요하다.

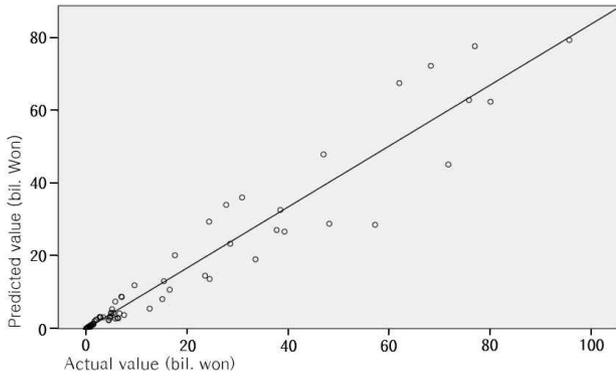


Figure 8. Actual value vs. predicted value

## 5. 결 론

본 연구는 2003년부터 2012년까지 국내에 영향을 미친 31개의 태풍 중 피해가 미비한 태풍을 제거한 15개 태풍에 의한 지역별 건물피해액의 실제데이터를 토대로 회귀분석을 활용하여 예측모델을 개발하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

첫째, 태풍에 따른 건물피해액 영향요인 도출을 위해 상관분석을 실시한 결과, 16개의 영향요인이 도출되었다. 최대풍속, 강풍반경, 일최다강수량, 하천개소수, 하천연장, 임야면적, 해안선길이 육지부/도서부, 노후건축물, 절토사면, 댐은 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났으며 중심기압, 완전개수율, 인구밀도, 경상소득, 지역내총생산은 음의 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

둘째, 상관분석을 통해 도출된 영향인자들을 토대로 회귀분석을 활용하여 42.7%의 설명력을 가진 지역별 건물피해액 예측모델을 개발하여 건물피해액의 실제데이터의 비교 및 검증하였다.

이와 같이, 본 연구에서는 태풍에 의한 건물피해액은 기존의 국내 선행연구들의 최대풍속과 강수량만을 고려한 건물피해액 예측모델에서 다양한 영향요인들을 고려한 모델의 필요성을 입증하고 있다. 또한, 향후 지역별 소득수준과 같은 본 연구에서 고려되어지지 않는 57.3%의 영향요인들

을 추가로 도출하고 태풍의 경로에 따른 피해양상을 반영한다면 보다 효율적인 태풍에 따른 건물피해액 예측모델 개발이 가능할 것으로 판단된다.

## 요 약

최근 세계적으로 기후 변화에 따라 태풍으로 인한 피해규모가 커지고 가속화되어 많은 피해를 받고 있는 중이다. 이에 몇몇 선진국의 경우, 태풍을 포함하여 다양한 자연재해로부터 건물에 미치는 손상을 최소한으로 하기 위해 건축물 피해액 사전예측 모델에 관한 연구가 진행되고 있는 추세이다. 하지만, 국내에서는 외국에서 개발된 프로그램을 사용하기에는 태풍의 크기나 영향력에서 많은 차이가 나므로 국내의 특성에 적합한 모델이 필요한 실정이다. 또한, 국내의 연구들은 태풍의 특성만을 고려하여 진행되고 있으나 태풍은 폭우와 강풍을 동반하는 복합재해로서 태풍의 특성뿐만 아니라 지리, 사회경제, 건설환경 등 다양한 요인을 고려하여야 한다. 이에 본 연구에서는 태풍에 따른 지역별 건물피해액 영향요인을 도출하고 회귀분석을 활용한 건물피해액 예측모델 개발을 목적으로 한다. 향후 본 연구의 결과는 미국의 HAZUS -MH와 같이 국내에서 태풍에 따른 피해를 예측하기 위한 모델 개발을 위한 자료로 활용될 것이다.

**키워드** : 태풍, 건물피해액, 회귀분석, 자연재해

## Acknowledgement

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning(2014R1A1A1004288)

## References

1. Typhoon resource [Internet]. Seoul(Korea): Korea Meteorological Administration, 2003 - 2012 [cited 2014 Feb 2]. Available from: <http://www.typ.kma.go.kr>.
2. National Disaster Administration [Internet]. Seoul(Korea): National Disaster Information Center, 2003 - 2012 [cited 2014 Mar 7]. Available from: <http://www.safekorea.go.kr>.

- 
3. Typhoon information [Internet]. Seoul(Korea): Korea Meteorological Administration, 2003 – 2012 [cited 2014 Feb 23]. Available from: <http://www.kma.go.kr>.
  4. Korean Statistical Information Service [Internet]. Daejeon(Korea): KOSIS, 2003 – 2012 [cited 2014 Mar 18]. Available from: <http://www.kosis.kr>.
  5. Cutter SL, Barnes L, Berry M, Burton C, Evans E, Tate E, Webb J. A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. *Global Environmental Change*. 2008 Oct;18(4):598–606.
  6. Peacock WG, Brody SD, Highfield W. Hurricane risk perceptions among Florida's single family homeowners. *Landscape and Urban Planning*. 2005 Oct;73(2):120–135.
  7. Tate E, Cutter SL, Berry M. Integrated multi hazard mapping. *Environ Plan B*. 2010 Mar;37(4):646–663.
  8. Burton C. Social vulnerability and hurricane impact modeling. *Natural Hazards Review*. 2010 May;11(2):58–68.
  9. Brody SD, Zahran S, Highfield WE, Grover H, Vedlitz A. Identifying the impact of the built environment on flood damage in Texas. *Disasters*. 2008 Mar;32(1):1–18.
  10. Ryu SI, Namkung ST. Comparative review of disaster management act in Korea and advanced countries. *Korean Review of Crisis & Emergency Management*. 2013 Jan;19(1):131–156.
  11. Jeong HM. The establishment of department of homeland security and its influence on national response system in the U.S.. *Public Law Research*. 2015 Feb;16(1):27–45.
  12. Nemoto M. Disaster management system of local government and role of social economic organization. *Korean Review of Crisis & Emergency Management*. 2012 Feb;11(2):49–69.
  13. Kim YJ, Won JS. Disaster-zero disaster prevention for Seoul. *Policy Report*. 2008 Nov;25(1):2–21.
  14. Lee SI. A study on damage scale prediction by rainfall and wind velocity with typhoon [dissertation]. [Sunchon(Korea)]: Sunchon National University; 2013. 80 p.
  15. Lee SS, Chang EM. Application of GIS to typhoon risk assessment. *Korea Spatial Information Society*. 2009 Jul;17(2):243–249.
  16. Kim JS. On the characteristics of damage scale and risk management system by strong wind speed of typhoon [dissertation]. [Gimhae(Korea)]: Inje University; 2013. 110 p.
  17. Jeon HD, Park MJ, Kim KY. Damage analysis of meteorological disasters for each district considering the characteristics of a district. *Korean Society of Hazard Mitigation*. 2008 Apr;8(2):75–82.
  18. Lee DY, Kim IJ. A study on typhoon damage prevention measures about the facility of the rural areas. *Korean Institute of Rural Architecture*. 2012 Nov; 14(4):117–124.
  19. Annual Natural Disaster Report [Internet]. Seoul(Korea) : National Emergency Management Agency, 2003 – 2012 [cited 2014 Feb 15]. Available from: <http://www.nema.go.kr>.