콜롬비아 중소도시의 토사재해 취약성분석 연구 II : 사회경제적 취약성과 물리적 취약성 통합분석

Analysis of Landslide Vulnerabilities in Small and Medium-Sized Cities of Colombia II: A Combined Analysis of Socioeconomic Vulnerability and Physical Vulnerability

이정민* · 이윤상** · 진규남*** · 김상단****

Lee, Jungmin* · Lee, Yunsang** · Jin, Kyunam*** · Kim, Sangdan****

Abstract

Vulnerability assessments are essential for evaluating slope hazards and damages from natural disasters. The first part of this study focused on physical vulnerability assessments of small cities in Colombia. In this second part, we developed an indicator-based model for socioeconomic vulnerability assessment. We defined weights for indicators and proxy variables, including indicators for demographic and economic conditions, secondary-damage triggers, disaster preparedness, and response measures. Socioeconomic vulnerability scores were calculated and graded using the weights assigned to the proxy variables. In addition, the evaluation of the combined vulnerability to slope disasters incorporated the results of the physical vulnerability assessments that were conducted in the first part of this study. As a result, vulnerable areas similar to those identified in the field survey were obtained. In the future, these vulnerability assessment results will be used as basic input data for the forecasting and prevention of slope disasters in Colombia.

Key words : Landslide, Socio-economic Vulnerability, Index, Combined Vulnerability Assessment

요 지

토사재해를 포함한 자연재해로 인한 위험 및 피해정도의 평가를 위해서는 취약성 평가가 수행되어야 하며, 이는 물리적 취약성과 사회경제적 취약성으로 나눌 수 있다. 본 연구의 선행연구에서는 콜롬비아 중소도시의 물리적 취약성을 평가하였다. 본 연구에서는 사회경제적 취약성 평가를 수행하기 위해 지표기반 모델을 개발하였다. 인구통계 및 경제적 지표, 2차 피해 유발 지표, 재해 대비 및 대처 지표별로 대리변수의 점수 및 가중치 설정하였다. 각 대리 변수별 가중치를 이용하여 사회경제적 취약성 점수가 계산하고 등급화 하였다. 그리고 선행연구에서 수행한 물리적 취약성 평가결과를 반영한 토사재해 통합취약성 평가를 수행하였다. 통합 취약성 평가결과 현장 조사결과와 거의 유사한 취약지역을 도출할 수 있었다. 추후 토사재해 통합 취약성 평가 방법론을 기반으로 콜롬비아 중소도시 지역의 취약성 평가 추가 확대 및 토사재해 예측 및 예방에 기초자료로 활용될 것으로 판단된다.

핵심용어 : 토사재해, 사회경제적 취약성, 지표, 통합취약성 평가

*교신저자, 정회원, 토지주택연구원 건설기술연구실 수석연구원(Tel: +82-42-866-8468, Fax: +82-42-866-8431, E-mail: andrew4502@lh.or.kr)
Corresponding Author, Member, Senior Researcher, Department of Construction and Technology Research, Land & Housing Institute

**토지주택연구원 국토지역연구실 연구위원

Senior Researcher, Department of National Territorial and Regional Research, Land & Housing Institute

***토지주택연구원 건설기술연구실 연구위원

Senior Researcher, Department of Construction and Technology Research, Land & Housing Institute

****부경대학교, 환경공학과 교수

Professor, Department of Environmental Engineering, Pukyong National University

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

토사재해를 포함한 자연재해로 인한 위험 및 피해정도의 평가를 위해서는 취약성 평가가 수행되어야 하며, 이는 물리적 취약성과 사회경제적 취약성으로 나눌 수 있다. 본 연구의 선행연구에서는 콜롬비아 중소도시의 물리적 취약성평가를 수행하였다. 사회경제적 취약성의 경우 물리적 특성과 달리 절대적인 값으로 표현하기 어려운 문제가 존재한다. 따라서 정량화 할 수 있는 지표 또는 지수를 이용하며, 일반적으로 건물 및 인명 등 개별적 단위의 자료 보다는 지자체 단위의 자료가 요구된다. 콜롬비아 중소도시에 적합한 사회경제적 취약성 평가모델 구축하기 위해서는 이러한 토사재해(또는 자연재해)에 관련된 사회경제적 취약성평가에 대한 문헌조사가 선행되어야 한다.

본 연구에서는 콜롬비아 중소도시의 사회적 취약성을 평가하고, 물리적 취약성 평가결과와 결합한 통합취약성 평가를 수행하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 사회경제적 취약성 평가에 대한 문헌조사를 수행하고, 지표기반 모델을 개발하여 선행연구의 대상지역인 콜롬비아 Soacha시 사회경제적 취약성을 평가하였다. 그리고 물리적 취약성 평가결과와 통합하여 최종적으로 토사재해 취약성 평가를 수행하였다.

2. 연구동향 및 기존 연구사례

본 연구에서 조사한 해외 선행연구 사례에서는 사회경제적 취약성 분석에 대한 방법론을 제시하고 있거나 토사재해에 대한 사회경제적 취약성 평가와 연관된 모델을 제안하고 있다.

King and MacGregor (2000)는 8개의 지표로 구성된 ‘community vulnerability model’를 개발하였다. 8개의 지표는 인구통계학, 건축 구조물, 경제, 환경, 사회적 가치(value), 도덕적 태도(attitudes), 사회, 규제적 행위(behaviour)로 구성된다. Cutter et al. (2003)은 요소분석(factor analysis)을 적용, 42개에서 11개의 독립적인 지표를 산정하였다. 미국의 county 수준에 적용할 수 있는 social vulnerability index (SoVI)를 개발하고, 11개의 지표에 대하여 통계적 분석을 실시하여 각 지표가 가지는 변동성과 상관계수를 산정하였다. Dwyer et al. (2004)은 households 수준에서의 자연재해 취약성 평가 모델을 개발하였다. 미국의 county 수준에 적용할 수 있는 social vulnerability index (SoVI)를 개발하였고, 각 지표의 상대적인 중요도는 설문조사를 통해서 산정되었으며, 각 지표 및 가중치는 Table 1과 같다

Table 1. Relative Importance of Indicators from Dwyer et al. (2004) and Suggested Weights

Indicator	Score	Weight
1. Home insurance	12.4	3
2. Income	11.6	3
3. Tenure type	9.6	3
4. Age debt	2.1	2
5. Employment rate	0.06	2
6. Car ownership	0.05	2
7. English skill	0.01	1
8. Household type	< 0.01	1
9. Health insurance	< 0.01	1
10. Residence type	< 0.01	1
11. Disability	< 0.01	1
12. Gender	< 0.01	1

Carreño et al. (2007)은 국제적으로 적용할 수 있는 risk management index (RMI)를 개발하여 national, sub-national 또는 도시 레벨에서 재해 위험도 식별, 위험도 저감, 재해 관리 및 손해배상조치 등에 대한 성과 달성을 위한 지자체의 능력을 평가하고자 하였다. 각각의 하부지수(sub-indices)는 6개의 지표로 구성되어 있으며 해당 지표마다 1에서 5까지의 성능점수를 부여한다. 각각의 지표의 가중치(1-5)는 문헌 및 전문가 의견에 의해 결정되며 각각의 하부지수는 fuzzy 분석으로 지표의 가중치로 결합하여 평가된다. Siagian et al. (2014)은 SoVI (Social Vulnerability index)를 이용하여 인도네시아 주 별로 자연재해에 대한 사회경제적 취약성을 평가하였다. 해당연구는 자연재해에 대한 사회경제적 취약성 평가에 그치지 않고 인도네시아의 자연재해에 대한 방재 행정계획에 활용할 수 있는 방안을 제시하고 있다.

Safeland (2012)는 토사재해에 대한 사회경제적 취약성 평가를 유럽의 여러 도시 및 국가에 적용하였다. 사회경제적 취약성을 여러가지 관점의 세부 지표를 이용하여 평가하였다(Fig. 1). 세부지표 역시 다양한 대리변수에 의해서 결정되며, 해당모델의 적용 scale은 유럽 내 도시 또는 그와 비슷한 규모의 국가에 적용된다.

선행연구사례 조사 결과, 토사재해 또는 자연재해에 대한 사회경제적 취약성 평가를 위해서는 지표기반모델을 활용하는 것을 확인할 수 있었다. 조사된 문헌에서 사용된 지표 중 일부는 토사재해에 대한 사회경제적 취약성 평가에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

Fig. 1. Basic Frame of Socio-economic Vulnerability Assessment by Safeland (2012)

3. 사회경제적 취약성 평가모델 개발

본 연구에서는 사회경제적 취약성 평가를 수행하기 위해 지표기반 모델을 개발하였다. 모델은 대상지역의 자료수준을 감안하여 3개의 지표(인구통계 및 경제적 지표, 2차 피해 유발 지표, 재해 대비 및 대처 지표)와 10개의 대리변수로 구성된다. 대리변수의 가중치는 국토교통과학기술진흥원의 토사재해연구단에서 수행된 Park et al. (2016)의 연구를 참고하여 결정하였다(Fig. 2).

Fig. 2. Indicator Based Model of Socio-economic Vulnerability Assessment

대리변수들의 점수는 1에서 5점 범위에서 할당되며, 5점이 가장 취약하다는 것을 의미한다. 사회경제적 취약성은 정량화된 대리변수들의 점수를 가중 평균하여 계산된다.

3.1 인구통계 및 경제적 지표

(Demographic and Social Indicator, DSI)

사회경제적 취약성 평가모델의 첫 번째 지표인 인구통계 및 경제적 지표는 Soacha 시 도심지의 Barrio 단위로 구축된다. 획득 가능한 자료는 Barrio 별 인구통계 정보(Excel 자료)와 공간정보(ArcGIS shape 파일)이다. 하지만 Barrio 공간정보와 Barrio 별 인구통계 정보가 불일치하는 부분이 존재함에 따라 이에 대한 보완작업이 필요하다. 이러한 오차는 공간정보는 있으나 현재 개발지역으로 인구가 거주하지 않는 지역이 존재하며, 허가받지 않고 거주하는 주민이 존재하기 때문에 이러한 Barrio는 위성사진 및 Soacha시 홈페이지 등을 검토하여 불확실한 정보에 대한 보완작업을 수행하였다.

공간정보 자료에는 총 342개의 Barrio가 존재하며, 인구통계 자료에는 279개의 Barrio가 존재한다. 보완 작업을 통해 최종적으로 232개의 Barrio에 대해 인구통계정보 및 공간정보 자료를 정리하였으며, Table 2, 3의 Matching data는 최종적으로 사용된 Comuna 별 Barrio 개수 및 인구정보를 나타낸다.

Table 2. Barrio Count of Spatial Information Data and Demographic Data

Comuna	Spatial information (ArcGIS)	Deomographics (Excel)	Matching data
1	47	45	38
2	50	53	36
3	32	18	18
4	39	45	35
5	100	51	48
6	67	67	57
Sum	342	279	232

Table 3. Organized Population Information

Comuna	Demographics (Excel)	Matching data	difference
1	18,974	18,396	-578
2	24,115	23,166	-949
3	34,298	34,298	0
4	52,335	50,988	-1,347
5	18,740	18,659	-81
6	53,454	50,907	-2,547
Sum	201,916	196,414	-5,502

구축 가능한 대리변수는 취약 인구와 인구 밀도로 이를 인구통계 및 경제적 지표로 사용하였다. 이때, 취약인구를

4세이상 65세이하의 인구로 정의된다. 최종적으로 산정된 Barrio 별 취약 인구 및 인구 밀도는 Fig. 3과 같다. 투명한 공간은 현재 개발 중이거나 관련 필수 정보(인구통계)가 없는 공간이다.

Fig. 3. Vulnerable People and Population Density in Soacha Urban Area

3.2 2차 피해 유발 지표

(Secondary-damage Trigger Indicator, STI)

사회경제적 취약성 평가모델의 두 번째 지표인 2차 피해 유발 지표는 Soacha 시 도심지의 Barrio 단위로 구축된다. Soacha 시에 대해 구축된 토지이용정보는 너무 단순하게 분류되어 있으며, 최신 위성사진과 비교했을 때 현재의 상태를 적절하게 반영하지 못하는 것을 확인하였다. 따라서, 제공된 토지이용도는 사회경제적 취약성 평가과정에서 사용하지 않았다.

이에 대한 대안으로 Soacha시 도심지 내의 건축물 정보(point data)를 수집하여 2차 피해 유발 지표를 구축하였다. 수집된 건축물 정보 중 2차 피해에 영향을 미칠 것이라 판단되는 경찰서, 산업 및 상업 건물, 교육 및 의료요양시설을 구분하여 2차 피해 유발지표를 구축하였다.

3.3 재해 대비 및 대처 지표

(Preparedness and Response Indicator, PRI)

사회경제적 취약성 평가모델의 세 번째 지표인 재해 대비 및 대처 지표는 Soacha 시 도심지의 Comuna 단위로 구축된다. 재해 대비 및 대처 지표는 Soacha 시에 대해 재해와 관련된 설문조사 결과를 바탕으로 구축하였다. 수집된 설문조사 결과는 총 10개의 설문항목에 대한 결과로 높음, 보통, 낮음으로 구분되며, Comuna 별로 그 결과를 확인할 수 있다.

설문조사의 항목을 크게 5개의 대리변수(안전인식도, 재해 대처 능력, 재해 관련 정보, 구호시설 현황, 지자체 재정능력)로 구분하여 재해 대비 및 대처 지표를 구축하였으며, 선정된 5개의 대리변수를 나타낸다(Fig. 4).

Awareness of safety under disaster	Knowledge of the cause of the disaster
Disaster response capabilities	Citizens attitude when a disaster occurs
Prior knowledge for disaster	Citizens' knowledge of the response before, during, or after a disaster
Disaster relief agency condition	Whether or not the relief agency for the disaster is and its activity
Local Fiscal Capacity	Economic resources to recover from disaster damage

Fig. 4. Collection of Proxy Variables Between Disaster Response and Prior Knowledge for Disaster

3.4 대리변수의 점수 및 가중치 설정

Soacha시 도심지에 대한 사회경제적 취약성 평가모델은 최종적으로 다음 Fig. 5와 같이 3개의 지표와 10개의 대리변수로 구축된다.

Fig. 5. Proxy Variables for the Socio-economic Vulnerability Assessment

대리변수들의 취약성 점수는 Park et al. (2016)의 연구를 기반으로 결정된다. 인구통계 및 경제적 지표 및 2차 피해 유발 지표의 점수 기준은 Table 4 및 Table 5와 같으며, Barrio 별로 결과가 도출된다.

Table 4. Score Criterion about Demographic and Social Indicator

Score	Number of vulnerable people	Population density (people/km ²)
1	0	0.0000 ~ 0.0096
2	1 ~ 32	0.0097 ~ 0.0174
3	33 ~ 72	0.0175 ~ 0.0247
4	73 ~ 136	0.0248 ~ 0.0345
5	137 ~ 663	0.0346 ~ 0.2441

Table 5. Score Criterion about Secondary-damage Trigger Indicator

Score	Police	Industry and commercial	Education and medical
1	0	0	0
2	1	1	1
3	2	2	2
4	-	3 ~ 4	3 ~ 4
5	3	5 ~ 19	5 ~ 19

재해 대비 및 대처 지표는 설문조사 결과에 따라 높음은 1점, 보통은 3점, 낮음은 5점을 할당하여 Comuna 별로 결과가 도출된다. 대리변수들의 가중치는 Park et al. (2016)의 연구를 기반으로 결정되며, 본 연구에서 사용된 가중치는 Fig. 6과 같다.

Fig. 6. Weight of Indicators and Proxy Variables for the Socio-economic Vulnerability Assessment Model

각 대리 변수별 가중치를 이용하여 Fig. 7과 같은 계산을 통해 Soacha시 도심지 내 Barrio들의 사회경제적 취약성 점수가 계산된다.

$$Vulnerability = \frac{\sum_{i=1}^N \text{score}_i \times \text{weight}_i}{\sum_{i=1}^N \text{weight}_i}$$

Score range: 1 (Least vulnerable under disaster) to 5 (Most vulnerable under disaster)

Fig. 7. Socio-economic Vulnerability Calculation Formula

3.5 사회경제적 취약성 평가 및 지도 작성

사회경제적 취약성 평가결과를 활용하기 위해서는 숫자화된 사회경제적 취약성 점수보다는 상대적 비교가 용이한 등급화가 필요하다. 취약성 등급화는 다양한 방법이 적용될

수 있으며 대표적으로 등간격, 등분포, Jenks Break Algorithm이 있다. 등간격 등급화는 동일한 간격으로 등급을 분할하는 것이며, 등분포는 각 등급에 배치되는 점수를 동일하게 분포시키는 것이다.

본 연구에서는 등급 내 분산을 최소화하고 등급간의 분산을 최대화 하는 공간정보 표출 기법인 Jenk Break 알고리즘을 적용하여 취약성을 5단계(최저, 저, 중, 고, 최고) 구분하였다. Soacha시에 지표별 등급은 Figs. 8, 9와 같으며, 사용된 자료의 해상도에 따라 다양한 결과가 나타나는 것을 확인 할 수 있었다. 인구통계 및 경제적 지표(DSI)와 2차 피해 유발 지표(STI)는 Barrio 단위 자료를 이용하기 때문에 공간적으로 상세한 결과가 도출되며, 재해 대비 및 대처 지표(PRI)는 Comuna 별 자료를 이용하기 때문에 상대적으로 단순한 결과가 도출되는 것을 확인 할 수 있었다.

Fig. 8. Socio-economic Vulnerability Grade by Indicator

Fig. 9. Socio-economic Vulnerability Grade by Barrio

Fig. 10은 최종적으로 도출된 Soacha시의 사회경제적 취약성 등급이다. 가장 취약한 지역이라고 할 수 있는 최고 등급에 속하는 Barrio는 32개로 전체 Barrio의 13.8%로 나타났으며, 최저 등급에 속하는 Barrio는 25개로 전체 Barrio의 10.8%로 나타났다. 가장 많은 비율은 차지하는 것은 중간 등급으로 전체 Barrio의 27.1%로 나타났다. 상대적으로 Comuna 2, 3, 6이 상대적으로 취약한 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 10. Socio-economic Vulnerability Grade Based on Each Comuna in Soacha

4. 토사재해 통합 취약성 평가

4.1 방법론

토사재해에 대한 취약성을 평가하기 위해서는 물리적 취약성과 사회경제적 취약성이 동시에 고려되어야 한다. 이를 위해 물리적 취약성과 사회경제적 취약성 각각을 0에서 1사이로 정규화 시킨 뒤, 이를 곱하여 최종적으로 토사재해 통합 취약성 평가를 수행 할 수 있다.

우선 토사재해 통합 취약성 평가를 위해 연구대상 지역 토사재해 DB, 공간정보 DB 구축 및 분석을 수행한다. 그리고 토사재해 잠재발생원 산정을 위해 토사재해 민감도 지도를 개발하고, 잠재발생원을 이용한 토석류 유동해석 및 영향범

위를 산정한다. 이와 같은 결과를 통해 물리적 취약성 평가 및 지도를 작성한다. 또한 인구통계 및 경제적 지표, 2차 피해 유발 지표 그리고 재해 대비 및 대처 지표를 통해 대리변수 가중치를 산정하고, 이를 통해 사회경제적 취약성 평가 및 지도를 작성한다. 최종적으로 물리적, 사회경제적 취약성 지수값을 결합하여 토사재해 통합 취약성 평가 및 취약성 지도를 산정할 수 있다.

4.2 토사재해 통합 취약성 지도 작성 및 평가

본 연구에서는 물리적 및 사회경제적 취약성 지수를 결합할 수 있도록 0에서 1사이로 정규화를 하였고, 두 취약성 지수를 결합하여 토사재해 통합 취약성 평가를 수행하였다. 토사재해 저감을 위한 방재사업을 진행할 경우, 정량적인 숫자로 표출되는 것 보다는 산정된 결과 값을 등급화하여 지도로 만드는 것이 보다 효과적으로 취약성 지도를 활용할 수 있는 방법중 하나이다. 취약성 지수 값을 등급화 하여 표출하는 방법에는 등간격, 등분위와 같이 간단한 방법이 있다. 본 연구에서는 취약성 등급을 나누기위해 Arc GIS에서 제공하는 natural break algorithm 방법을 적용하였다. Natural break algorithm 방법은 등급 내 자료의 분산을 줄일 뿐만 아니라 등급간의 분산을 최대화 시켜 등급화한 자료를 시각화하는데 효과적인 방법 중 하나이다.

취약 등급은 low, moderate, extensive, complete 총 4 등급으로 분류하였다. Fig. 11과 같이 토사재해 통합 취약성 평가를 통해 지도를 제작하였고, Soacha 도심지에서 Cazuca 지역이 가장 토사재해에 높은 취약성을 드러내었다. 이는 앞선 설명과 같이 폐광산 지역이 Cazuca지역에 분포되어 있어 급경사지 지역이 많아 토사재해 취약지역이 산재해 있을 뿐만 아니라 급경사지 인근 많은 주거지가 분포되어 있어 토사재해 큰 취약지역으로 분류되는 것으로 판단된다.

Fig. 11. Combined Vulnerability Map in Soacha Urban Area

Fig. 12는 현장사진 및 현지 기관의 정보를 이용한 Soacha 도심지 지역의 토사재해 통합 취약성 평가를 나타낸다. 현장사진은 토사재해 취약성 평가 전 사전답사를 통해 획득하였다. 토사재해 통합 취약성 지도 결과를 바탕으로 Complete로 분류된 두 지역을 대상으로 평가를 수행하였고, 이는 폐광산이 산재되어 있는 CAUZCA지역과 SAN HUMBERTO지역이다.

Fig. 12. Validation of Combined Vulnerability Map

현장사진을 통해 폐광산 주변의 급경사지 바로 아래에 주거지가 분포되어 있고, 이는 두 지역이 토사재해 취약성에 크게 노출되어 있는 것을 알 수 있다. 그리고 CAUZCA지역의 사면경사는 최대 약 75°, 그리고 SAN HUMBERTO지역의 사면경사 또한 최대 약 75°이다. 또한 2008년 JAICA에서 수행된 토사재해 취약성 평가 결과와 비교하였을 때, Soacha 도심지내 동일 지역을 취약지역으로 분류한 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 선행연구사례 조사를 통해 콜롬비아 중소도시에 적합한 사회경제적 취약성 평가모델 구축하였다.

- (1) 콜롬비아 Soacha시의 도심지를 대상으로 가용 가능한 자료를 최대한 활용하여 사회경제적 취약성 평가를 수행하였다. 연구결과 Comuna 2, 3 그리고 6 이 상대적으로 취약한 것으로 나타났다.
- (2) 현장사진과 비교 하였을 때, 폐광산이 산재되어 있는 CAUZCA지역과 SAN HUMBERTO지역이 토사재해 취약성에 크게 노출된 것으로 나타났다.
- (3) 또한 물리적 취약성 평가결과와 통합한 취약성 평가결과와 현장 조사결과와 거의 유사한 취약지역을 도출할

수 있었다. 이를 통해 본 연구에서 수행된 토사재해 통합 취약성 평가는 현장의 여건과 기존 현지 기관의 조사결과 보고서와의 비교를 통해 합리적인 결과를 도출하였다고 판단된다.

- (4) 추후 명확한 행정경계와 인구통계 그리고 토지이용도를 활용한다면 보다 신뢰성 있는 취약성 평가를 수행할 수 있을 것으로 사료된다.
- (5) 본 연구에서 제안된 물리적, 사회경제적 취약성뿐만 아니라 토사재해 통합 취약성 평가 방법론을 기반으로 콜롬비아 중소도시 지역의 취약성 평가 추가 확대 및 토사재해 예측 및 예방에 기초자료로 활용될 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2017년도 토지주택연구원에서 수행 한 “콜롬비아 토사재해 취약성 평가모델 개발 및 도시정책 활용방안 연구(I)” 연구성과의 일부입니다.

References

- Carreño, M.L., Cardona, O.D., and Barbat, A.H. (2007). A disaster risk management performance index. *Natural Hazards*, Vol. 41, No. 1, pp. 1-20.
- Cutter, S.L., Boruff, B.J., and Shirley, L.W. (2003). Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly*, Vol. 84, No. 2, pp. 242-261.
- Dwyer, A., Zoppou, C., Nielsen, O., Day, S., and Roberts, S. (2004). *Quantifying social vulnerability: A methodology for identifying those at risk to natural hazards*. Canberra: Geoscience Australia.
- King, D., and MacGregor, C. (2000). Using social indicators to measure community vulnerability to natural hazards. *Australian Journal of Emergency Management*, Vol. 15, No. 3, pp. 52-57.
- Siagian, T.H., Purnadi, P., Suhartono, S., and Ritonga, H. (2014). Social vulnerability to natural hazards in Indonesia: Driving factors and policy implications. *Nat. Hazard*, Vol. 70, pp. 1603-1617.
- Safeland. (2012). *Deliverable D2.6 Methodology for evaluation of the socio-economic impact of landslides (socio-economic vulnerability)*. Living with landslide risk in Europe: Assessment, effects of global change, and risk management strategies. Grant Agreement No.: 226479, SafeLand-FP7.
- Park, Y., Pradhan, A.M.S., Kim, U., Kim, Y.T., and Kim, S. (2016). Development and application of urban

landslide vulnerability assessment methodology reflecting social and economic variables. *Advances in Meteorology*, Vol. 2016, Article ID 4572498.

<i>Received</i>	■	August 27, 2018
<i>Revised</i>	■	August 28, 2018
<i>Accepted</i>	■	September 12, 2018