Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 31, No. 2, pp. 41-48, April 2016
Copyright@2016 by The Korean Society of Safety (pISSN 1738-3803, eISSN 2383-9953) *All right reserved.* *http://dx.doi.org/10.14346/JKOSOS.2016.31.2.41*

델파이 기법을 활용한 토석류 피해조사 항목 개발

변요셉 · 김민기 · 박경한 · 오태근* · 성주현†

한국시설안전공단 시설안전기술연구소 · *인천대학교 안전공학과

(2015. 11. 10. 접수 / 2016. 1. 18. 수정 / 2016. 3. 2. 채택)

Development of the Damage Investigation Item to Debris Flow using the Delphi Method

Yo Seph Byun · Min Gi Kim · Kyung Han Park · Tae Keun Oh* · Joo Hyun Seong†

Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation, KISTEC

*Department of Safety Engineering, Incheon National University

(Received November 10, 2015 / Revised January 18, 2016 / Accepted March 2, 2016)

Abstract : Recently, the frequency and intensity of localized heavy rain and typhoon due to the abnormal climate has increased, and especially the damage by an avalanche of earth and rocks similar to the landslide of Umyeon Mountain has become a social issue. However, the standardized damage investigation method doesn't yet exist, so the systematic analysis of the data has not been carried out. In this regard, this study developed assessment items to conduct standardized damage investigation of debris flow. To achieve this, preliminary assessment items were derived from analysis of literature review and the Delphi technique of 12 experts who are engaged in research facility, academia and industry was conducted. As a result, 29 assessment items which can be classified into 6 groups were determined. Surveying the relevant hand-on workers, details assessment items in each group were determined by exploratory factor analysis and reliability analysis.

Key Words : debris flow, delphi technique, assessment items

1. 서 론

최근 지구온난화의 이상기후로 인해 국지성 집중호우의 증가로 산간지역 뿐만 아니라 도심지에서도 토석류 피해사례가 증가하고 있다. 2011년 7월 중부지방을 중심으로 집중호우가 발생하였는데, 이때 서울 우면산에서 3일간 595 mm(시간당 최대 100.5 mm)의 집중호우로 인해 토석류가 발생하여 18명의 사망자와 부상자 50명을 포함하여 700억원대의 물적 피해를 발생시켰다. 이처럼 토석류로 인한 피해가 점차적으로 증가하고 있으며 이에 대한 연구도 꾸준히 진행되고 있다. 그러나 우리나라의 경우 표준화된 토석류 발생 피해 조사 기법이 부재하여 피해 분석 자료가 체계적으로 축적되고 있지 않고 있다. 따라서 토석류 발생 시에 표준화된 피해조사 항목으로 조사를 실시하고, 그 결과를 DB화하여 피드백(feedback)을 실시한다면 토석류 예방 대책 수립시에 합리적인 의사결정을 지원할 수 있을 것으로 판단된다.

국내의 토석류 피해조사 기법을 분석해보면 산림청[1], 한국지질자원연구원[2], 국민안전처[3], 한국도로공사[4] 등 대부분의 기관에서는 기존 산사태 조사의 점검 · 진단 항목을 일부 수정하여 토석류 현장의 피해조사에 활용하고 있는 것으로 나타났다. 또한 토석류 발생 및 위험구간 결정을 위한 평가항목이 서로 상이한 것으로 나타났는데, 이러한 이유는 각 기관의 특성에 따른 것으로 판단된다.

이에 본 연구에서는 표준화된 토석류 피해조사를 실시하기 위한 평가항목을 개발하였다. 이를 위해 관련 문헌 및 선행연구들을 분석하여 예비 평가항목을 도출하였고, 3차례에 걸친 전문가 델파이 조사, 타당도 분석, 신뢰도 분석을 실시하여 최종 평가항목을 도출하였다.

† Corresponding Author : Joo Hyun Seong, Tel : +82-55-771-1603, E-mail : bluehill@kistec.or.kr
Korea Infrastructure Safety Corporation, 16, Sadeul-ro, 123beon-gil, Jinju-si, Gyeongsangnam-do 52852, Korea

2. 이론적 배경

2.1 델파이 기법

델파이 기법은 하나의 주제에 대해 해당 분야의 전문가들이 의견을 제시하고 조정하는 과정을 반복하여 최종 합의점을 집단적 판단으로 정리하는 일련의 절차라고 정의할 수 있다. 델파이 기법은 절차의 반복과 통제된 피드백(feedback), 응답자의 익명, 통계적 집단 반응의 절차를 특징으로 갖는다[5,6]. 조사 대상자들이 대면조사 방식을 갖지 않고도 의사 결정에 대한 합의를 할 수 있다는 것을 기본 전제로 한다. 델파이 방법은 의견 수렴을 위해 동일 대상자에게 3~4회 질문을 보내어 응답을 확보하며, 각 설문지는 개별응답자로부터 도출된 정보를 함께 제공한다[7]. 이와 같은 과정 속에서 전문가는 다른 사람의 의견을 참고하여 자신의 의견을 재조정함으로서 질문 횟수가 거듭됨에 따라 전문가들의 의견은 수렴되는 것이다[8]. 즉 델파이 기법은 일반적으로 면밀하게 계획된 익명의 반복적 설문을 조사하고 이전 설문결과에 대한 피드백을 제공하여 조사 대상자들에게서 질문에 대한 합의를 유도해 내는 집단협의 방식에 대한 대안적 조사 방법이다[9,10].

일반적인 절차는 전문가 집단의 구성과 몇 차례에 걸쳐 반복되는 설문 조사로 이루어진다. 델파이 조사를 위해서는 연구주제에 관련된 그 분야에 있어서 전문가로 참가자를 구성하는데 현재 패널을 선정하는 표준이 되는 특정 기준이 마련되어 있지 않아서 델파이 기법에 있어서 전문가 패널을 선정하는 것은 델파이 시행과정에서 매우 중요한 일이다. 델파이 기법에서 가장 중요한 것은 전문가 선정인데, 델파이 기법이 전문가적 직관을 객관화된 수치로 나타내는 방법이라고 할 때 조사에 참여한 전문가의 자질은 매우 중요한 요소이다. 또한 전문가 대상은 대표성, 적절성, 전문적 지식능력, 참여의 성실성, 참가자의 수 등을 신중히 고려하여야 한다[7,8]. 선행연구에 따르면 델파이 연구의 회수율은 대략 50~57%로 나타나고 있다[11]. 델파이 분석 참여자 표본집단의 크기에 대해서는 명확한 규정이 있는 것은 아니지만 Anderson[9]에 의하면 10~15명의 소집단 대상자만으로도 유용한 결과를 얻을 수 있음을 규명하였으며, Dalkey는 그룹의 신뢰성을 최대화시키기 위해서는 최소한 10명이상의 설문대상자가 필요하다고 보고하였다[12,13,14].

2.2 요인분석

요인분석은 변수들이 어떻게 연결되어 있는가를 분석하고, 변수들 사이의 관계를 공통요인을 이용하여 설명하는 다변량 분석기법 중의 하나이다. 요인분석은 상관성이 높은 일부 변수들끼리 서로 같은 분산구조를 가지고 있는가를 검토하여 이들을 동일요인으로 분류하는 통계기법이다.

요인분석에서는 x_1, x_2, x_3, …, x_p와 같이 p개의 변수들로 구성된 벡터 X의 표준화된 변수들로 구성된 벡터 Z가 무작위변수인 공통요인 F와 특수요인 U의 선형결합으로 표현이 가능하다고 가정한다. 요인분석의 기본 모델을 행렬로 나타내면 식(1)과 같다.

$$Z = A \cdot F + U \tag{1}$$

여기서, Z는 측정변수, A는 요인적재량, F는 공통요인, U는 고유요인이다.

행렬 A는 식(2)와 같이 $p \times m$ 행렬로 요인적재량 행렬을 보여준다[15].

$$A = \begin{bmatrix} a_{11}\, a_{12} \cdot \cdot \cdot a_{1m} \\ a_{21}\, a_{22} \cdot \cdot \cdot a_{2m} \\ \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \\ a_{p1}\, a_{p2} \cdot \cdot \cdot a_{pm} \end{bmatrix} \tag{2}$$

요인적재량은 변수들과 요인 간의 상관계수로서 행렬 A는 대각선이 1.0인 상관관계행렬이다.

요인적재량의 수용기준은 보통 0.30이상이면 유의하다고 보지만 보수적인 기준은 0.40이상이다. 그리고 0.50이상인 경우는 매우 높은 유의성을 갖는다고 본다[16].

요인분석을 위한 첫 번째 순서는 변수와 요인의 상관관계를 나타내 주는 요인을 추출하는 단계이다. 요인 추출방법은 매우 다양하지만 문헌에서 주로 언급되는 것은 주성분분석법, 주축요인법, 최대우도법 등이다. 여기서 주성분 분석법은 정보의 손실을 최소화하면서 보다 적은 수의 요인을 구하고자 할 때 주로 이용되며, 요인 추출과정이 단순하기 때문에 최종 결과를 얻기 전에 요인분석을 시험적으로 수행하고자 할 때 효율적이다. 주축요인법과 최대우도법은 앞에서 설명한 요인분석 모형을 상정하여 측정변수들의 공분산이 최대한 설명될 수 있도록 요인을 추출한다[17]. 이때 몇 개의 요인을 추출할 것인가를 결정해야하는데, 그 방법에는 최소 고유치를 설정하는 방법과 스크리 도표를 사용하는 방법, 요인공통분산의 총분산에 대한 비율을 사용하는 방법들이 있다.

이 방법들 중에서 가장 많이 사용되는 방법으로 최소 고유치를 설정하여 적정요인 수를 결정하는 방법은 Kaiser(1960)가 제안한 것으로서 고유치 1.0 이상인 요인들 사용한다. 고유치가 1.0보다 작은 요인은 해당 요

인의 분산이 원래 변수의 분산보다도 작다는 것을 의미하므로 이런 요인을 도출하는 것은 의미가 없는 일이기 때문이다[18].

그 다음에는 추출된 요인과 변수와의 관계를 더 명확하게 하기 위해 요인들을 회전시킨다.

변수들이 여러 요인들에 대해 비슷한 요인 적재량을 나타낼 경우 변수들이 어느 요인에 속하는지를 분류하기 어렵다. 이때 요인구조를 단순화하기 위한 회전은 실제로 필수적이라 할 수 있다. 회전방법에는 직교회전(varimax 또는 quartimax)이나 사각회전(oblimin 또는 promax)을 사용할 수 있다.

직교회전은 도출된 요인의 상호 독립성을 유지하면서 요인구조를 회전하는 방법이며, 직교회전 방법 중 varimax는 많은 연구자들에 의하여 추천되며 문헌에서 가장 많이 나타나는 방법이다. 요인분석의 실제 목적이 서로 상대적으로 독립적인 소수 몇 개의 요인을 유도하여 이를 통해 측정변수들 간의 구조를 파악하는 데 있다는 점을 중시할 때, 통상적으로는 직교회전을 이용하는 것이 더 바람직하다고 판단된다[17].

2.3 신뢰도 분석

요인분석에서 항목들이 분류되면 항목들이 하나의 개념을 얼마나 잘 표현하는지를 알아보는 것을 내적일치도를 알아본다고 하는데, 이 개념을 계산한 값이 크론바하 알파(Cronbach's α)이고, 이를 항목의 신뢰도라 한다. 크론바하 알파(Cronbach's α)는 식(3)과 같은데, 0과 1사이의 값이고, 1에 가까울수록 내적일치도가 높다.

$$\alpha = \frac{K}{K-1}\left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{K}\sigma_{Y_i}^2}{\sigma_X^2}\right) \quad (3)$$

여기서, K는 항목 개수, σ_X^2는 전체변량의 분산, $\sigma_{Y_i}^2$는 각 항목 변량의 분산이다.

3. 연구방법

본 연구의 델파이 분석을 위하여 참여자의 대표성, 참여자의 성실성 등을 고려하여 구성하였다. Table 1에서 와 같이 해당 분야의 연구기관, 학계, 산업체 등에 종사하고 있는 12명의 전문가를 대상으로 연구의 목적과 취지를 설명한 후에 참여의사를 타진하고 각 전문가들의 동의를 얻어 최종적으로 델파이 설문대상자로 선정하였다. 이때, 조사 절차의 반복에 따른 설문대상자의 이탈 방지를 위하여 대상자 선정 시 수차례에 걸친 조사에 응해 줄 것을 동의한 경우에만 설문대상자로 선정하여 델파이 조사를 실시하였다.

Table 1. Personnel organization for delphi research

Field	Research institute	Academia	Industry
Personnel organization	5	4	3

델파이 조사 방법은 이메일 회신을 이용한 설문 응답 방식으로 진행하였는데, 총 3회에 걸친 반복 설문을 진행하였다. 1차 설문에서는 개방형 설문으로 구성하는 것이 원칙이지만 응답자의 심리적 부담이 크고 혼란을 야기할 수 있으므로, 본 연구에서는 관련 문헌 및 선행연구들을 분석하여 도출한 예비 평가항목을 제시하였다. 전문가들에게 제시한 평가 항목 중 평가에 필요하다고 생각하는 항목을 선택하도록 하였으며, 의미가 겹치거나 단어의 수정이 필요한 항목들은 수정하고 추가하여 할 항목들은 빈칸에 의견을 기술하도록 하였다.

2차 설문에서는 1차 설문 결과를 정리 및 분석하여 폐쇄형 질문으로 구성하였으며, 반응척도는 델파이척도로 가장 많이 사용되는 Likert식 5단계 척도를 사용하였다. 또한 2차 설문에서 얻어진 응답 결과를 분석하여 평균값과 표준편차를 3차 설문 시에 함께 제공함으로서 질문에 대한 응답을 재고하고 수정할 수 있는 기회를 제공하였다.

3차 설문에서의 응답 방식은 2차 델파이 조사와 동일하게 진행하였고, 3차 델파이 조사에서 수렴된 평가항목에 대한 결과는 Lawshe가 제시한 내용 타당도 비율(CVR : Content Validity Ratio)을 통해 분석하였는데, 델파이 설문 대상자 수가 12명일 경우 CVR을 0.56이상으로 규정하고 있다[19]. 따라서 본 연구에서도 내용 타당도 기준을 0.56으로 정하고, 그 이상일 때 항목에 대한 내용 타당도가 적합한 것으로 판단하였다. 내용 타당도 비율은 식(4)에 의해 산출된다.

$$CVR = \frac{n_e - \frac{N}{2}}{\frac{N}{2}} \quad (4)$$

여기서 n_e는 '중요하다'고 응답한 전문가의 수, 즉 본 연구에서 사용한 Likert식 5단계 척도에서는 토석류 발생 시에 유역상황, 재해상황, 발생상황, 유하상황, 퇴적상황, 피해상황 등의 세부항목에 대하여 중요한 항목이라고 4점 및 5점에 응답한 응답자들의 빈도수를

의미한다. 그리고 N은 전체 델파이 설문을 위한 전문가의 인원수를 의미한다.

4. 결과 및 분석

4.1 예비 평가항목 도출

1차 델파이 설문시 제시될 예비 평가항목 도출을 위해 국내 관련 기관에서 활용하고 있는 토석류 조사항목과 우리나라와 지형 및 기후조건이 유사한 일본에서 활용하고 있는 토석류 조사항목을 검토하였다. 그 결과, 국내에서는 표준화된 토석류 발생 피해 조사 기법이 부재함에 따라 관련 기관에서는 산사태 및 급경사지 조사 항목을 일부 수정하여 토석류 조사에 활용하고 있는 것으로 나타났다.

산림청[1]은 산사태 위험지 판정표를 이용하여 조사하고 있으며 조사항목은 경사위치, 경사도, 경사길이, 삼림상태, 사면형태, 토심, 모암(암질) 등으로 구성되어 있다. 한국지질자원연구원[2]은 급경사지 재해취약성 평가표를 개발하였으며, 조사항목으로는 암질, 고도, 사면경사, 공극율, 함수비, 투수계수 등으로 구성되어 있다. 국립재난안전연구원[20]은 급경사지 재해위험도 평가표를 개발하여 활용하고 있으며, 조사항목은 경사도, 높이, 토층심도, 계곡폭, 종단형상, 횡단형상, 계곡연장, 계곡유무, 인공구조물, 보호시설상태, 주변환경(임야, 공원시설, 택지, 도로, 철도 등), 인가호수(가구), 붕괴이력, 인가·공공시설 등과의 거리, 지하수 상태 등으로 구성되어 있다. 한국도로공사[4]는 고속도로 토석류 조사 및 대책 설계지침(안)을 활용하여 토석류 조사를 실시하고 있으며, 조사항목으로는 유역평균 지형경사, 35°이상 지형면적비율, 유역내 최장 계곡의 평균경사, 최장계곡 중 15°이상구간의 길이비율, 도로측면의 퇴적공간, 배수시설물 규격 등으로 구성되어 있다.

일본에서 활용되고 있는 토석류 조사항목을 살펴보면 유역면적, 지질, 계곡부 평균경사도, 계류길이, 발생시간, 재해시 연속강우량, 재해시 최대시간우량, 최대유량, 재해전·후 경사도, 붕괴토사로 인한 토사유출량, 유하부 평균경사 및 폭, 세굴심도 및 세굴량, 계곡부 퇴적물현황 및 식생현황, 퇴적장소의 지형, 퇴적평균 경사도, 퇴적 직전 계곡 및 하천의 경사도, 최대 퇴적폭, 분산각, 퇴적길이, 최대 및 평균 퇴적심도, 기존 사방 및 방재시설물 여부 등의 항목들로 구성되어 있다.

이를 토대로 국내 관련기관 및 일본에서 토석류 조사시 공통적으로 사용하고 있는 항목들과 연구진이 필요하다고 판단된 항목들을 1차 델파이 설문을 위한 예비 평가항목으로 제시하였다.

4.2 델파이 조사

1차 델파이 조사에서는 도심지 토석류 피해조사 항목을 도출하기 위한 개방형 설문으로 구성하는 것이 원칙이지만 전술한 바와 같이 응답자의 심리적 부담이 크고 혼란을 야기할 수 있으므로 앞서 도출한 예비 평가항목을 제시하여 진행하였다. 또한 제시된 항목들에 대해 추가, 수정, 삭제가 되어야 할 내용을 자유롭게 기술하도록 하였다. 그 결과 Table 2와 같이 31개의 세부 평가항목이 도출되었다. 이때, 유사한 항목끼리 분류하고 정리하여 유역상황, 재해상황, 발생상황, 유하상황, 퇴적상황, 피해상황 등으로 분류할 수 있었다.

1차 델파이 조사에서 수집된 전문가들의 의견을 반영한 분석 결과에 따라 6개 대분류 영역으로 범주화하였다. 이를 바탕으로 6개 대분류 영역, 30개 세부 평가항목으로 2차 델파이 설문지를 구성하고 각 영역에 대한 세부항목별로 응답자의 응답을 점수화하여 반응분포를 알아보았다. 반응분포를 알아보기 위해 대분류 영역별로 중요도를 산출하였다. 또한 2차 설문에서 얻어진 응답 결과를 분석하여 3차 설문 시에 평균값과 표준편차를 함께 제공함으로서 질문에 대한 응답을 재고하고 수정할 수 있는 기회를 제공하였다. 영역별 각 세부항목에 대한 중요도는 Table 3에서와 같이 나타났다.

Table 2. Results of 1st surveys

Item	
Geological features	Adjacent infrastructure
Stream length	Facilities for damage prevention
Average gradient of the steam bed	Scour circumstances of the steam bed
Vegetation conditions	Gradient of source
Facilities state for damage prevention	Causes of soil runoff
Maximum flow rate	Average gradient of flow path
Flow rate-duration curve	Width of flow path
Continuous rainfall	Length of deposition
Hourly maximum precipitation	Topography of deposition area
Precipitation of event occuring	Volume of deposition material
Anterior rainfall	Gradient of deposition
Triggering time	Gradient of initial deposition point
Unusual Weather	Gradient of terminal deposition point
Disaster form	Depth of deposition
Appointment of debris flow prevention district	Dispersion angle of deposition
Human injury	-

Table 3. Results of 2nd surveys

Item		Mean	Std.
Basin Circumstances	Geological features	4.583	0.515
	Stream length	4.250	0.452
	Average gradient of the steam bed	3.917	0.669
	Vegetation conditions	3.917	0.515
	Facilities state for damage prevention	3.833	0.389
Disaster Circumstances	Maximum flow rate	4.500	0.522
	Flow rate-duration curve	4.667	0.492
	Continuous rainfall	4.583	0.515
	Hourly maximum precipitation	4.083	0.669
	Precipitation of event occuring	4.667	0.492
	Anterior rainfall	4.167	0.577
	Triggering time	2.833	0.389
	Unusual Weather	2.750	0.452
	Disaster form	2.750	0.754
Damage Circumstances	Appointment of debris flow prevention district	2.620	0.217
	Human injury	4.667	0.492
	Adjacent infrastructure	4.167	0.389
	Facilities for damage prevention	4.000	0.426
Occurrence Circumstances	Scour circumstances of the steam bed	4.083	0.515
	Gradient of source	4.583	0.515
	Causes of soil runoff	3.667	0.651
Flow path Circumstances	Average gradient of flow path	4.500	0.522
	Width of flow path	4.333	0.492
Deposition Circumstances	Length of deposition	3.750	0.452
	Topography of deposition area	3.833	0.718
	Volume of deposition material	4.083	0.289
	Gradient of deposition	4.000	0.603
	Gradient of initial deposition point	3.833	0.577
	Gradient of terminal deposition point	3.250	0.754
	Depth of deposition	4.000	0.426
	Dispersion angle of deposition	3.333	0.651

유역상황 영역은 지질, 계류길이, 계류평균경사, 식생현황, 방재 및 방어시설 현황 등으로 구성할 수 있었다. 중요도가 4.0(중요함) 이상으로 나타난 항목은 2개 항목, 나머지 3개 항목은 3.0(보통) 이상으로 나타났다. 지질이 4.583으로 가장 높게 나타났고, 계류길이가 4.250으로 그 다음으로 높게 나타났다.

재해상황 영역에서는 Table 4에서와 같이 중요도가 4.0(중요함) 이상인 항목은 6개 항목으로 나타났으며, 나머지 2개 항목은 3.0(보통)미만으로 나타났다. 중요도가 가장 높은 항목은 연속강우량과 선행강우량이 각각 4.667로 가장 높게 나타났고, 그 다음은 최대 시간강우량으로 중요도가 4.583으로 나타났다. 이상기상, 재해형태 등은 3.0(보통) 미만으로 나타났다. 따라서 3차 델파이 조사시에 재해상황에 대한 평가항목은 이상기상과 재해형태는 제외하고 진행하였다.

Table 4. Results of 3rd surveys

Item		Mean	Std.	CVR
Basin Circumstances	Geological features	4.667	0.492	1.000
	Stream length	4.000	0.426	0.833
	Average gradient of the steam bed	4.167	0.389	1.000
	Vegetation conditions	3.833	0.389	0.667
	Facilities state for damage prevention	4.500	0.522	1.000
Disaster Circumstances	Maximum flow rate	3.917	0.515	0.667
	Flow rate-duration curve	4.667	0.492	1.000
	Continuous rainfall	4.583	0.515	1.000
	Hourly maximum precipitation	4.250	0.452	1.000
	Precipitation of event occuring	4.750	0.452	1.000
	Anterior rainfall	4.083	0.515	0.833
Damage Circumstances	Human injury	4.833	0.389	1.000
	Adjacent infrastructure	4.750	0.452	1.000
	Facilities for damage prevention	4.250	0.452	1.000
Occurrence Circumstances	Scour circumstances of the steam bed	3.833	0.389	0.667
	Gradient of source	3.917	0.515	0.667
	Causes of soil runoff	3.917	0.289	0.833
Flow path Circumstances	Average gradient of flow path	4.583	0.515	1.000
	Width of flow path	4.250	0.452	1.000
Flow path Circumstances	Length of deposition	4.167	0.389	1.000
	Volume of deposition material	4.083	0.289	1.000
	Gradient of deposition	4.000	0.603	0.667
	Gradient of initial deposition point	3.917	0.515	0.667
	Gradient of terminal deposition point	3.833	0.389	0.667
	Depth of deposition	4.000	0.426	0.833
	Dispersion angle of deposition	3.333	0.389	0.667

피해상황 영역에서는 토석류 방지구역 지정여부 항목을 제외한 모든 항목의 중요도가 4.0(중요함) 이상으로 나타났다. 중요도가 가장 높은 항목은 중요도가 4.667로 인명피해상황으로 나타났고, 그 다음은 인접시설물 피해상황이 4.167, 방재·방어시설 피해상황이 4.000으로 나타났다.

발생상황 영역에서는 중요도가 4.0(중요함) 이상인 항목은 계곡부 세굴상황과 발생부 경사도로 나타났고, 토사유출의 원인은 3.0(보통) 이상으로 나타났다.

유하상황 영역에서는 유하부 경사도와 유하폭 등의 2개 항목 모두에서 중요도가 4.0(중요함) 이상으로 나타났다.

퇴적상황 영역에서는 중요도가 4.0(중요함) 이상인 항목은 3개 항목으로 나타났으며, 나머지 5개 항목은

3.0(보통)이상으로 나타났다. 중요도가 가장 높은 항목은 퇴적토사량으로 나타났고, 그 다음은 퇴적부 경사도와 최대 퇴적두께로 나타났다.

2차 델파이 조사 결과를 종합해보면 중요도 3.0(보통) 이상인 세부 평가항목은 유역상황에서 5개, 재해상황에서 6개, 피해상황에서 3개, 발생상황에서 3개, 유하상황에서 2개, 퇴적상황에서 8개로 선정되어 전체 평가항목은 27개로 나타났다.

3차 델파이 조사에서는 앞선 2차 델파이 조사를 통해 도출된 결과 즉, 설문 대상자 집단의 결과에 대한 피드백을 포함하고, 2차 조사결과에 대한 합의 항목에 대한 중앙값 및 사분범위를 표시하여 응답자가 각 항목의 중요도를 재평가하는데 다른 전문가의 의견을 참고 할 수 있도록 하였다. 또한 2차 델파이 조사를 통해 도출된 6개 영역의 세부항목에 대한 내용 타당도 비율을 통해 최종 항목을 도출하였다. 6개의 대분류 영역에 대한 세부항목별 내용 타당도 비율이 0.56 이상으로 확인된 항목 Table 4에서와 같다.

유역상황 영역에서 타당도비율이 0.56이상으로 확인된 항목은 지질, 계류길이, 계류평균경사, 식생현황, 방재 및 방어시설 현황으로 나타났다. 재해상황 영역에서는 최대유량, 연속강우량, 최대 시간강우량, 선행강우량, 토석류 발생시 시간 강우량, 발생시간으로 나타났으며, 피해상황 영역에서는 인명 피해상황, 인접시설물 피해상황, 방재 및 방어시설 피해상황으로 나타났다. 발생상황 영역에서는 계곡부 세굴상황, 발생부 경사도, 토사유출 원인 항목으로 나타났고, 유하상황 영역에서는 유하부 경사도와 유하폭 항목으로 나타났으며, 퇴적상황 영역에서는 퇴적부 길이, 퇴적 토사량, 퇴적부 경사도, 퇴적 개시지점 경사, 퇴적 말단점 경사, 최대 퇴적두께로 나타났다.

4.3 타당도 분석

델파이 조사를 통해 도출된 토석류 피해조사 항목에

Table 5. Results of factor analysis

Item \ Circumstances	Basin	Disaster	Damage	Occurrence	Flow path	Deposition
Geological features	0.84					
Stream length	0.82					
Average gradient of the steam bed	0.77					
Vegetation conditions	0.74					
Facilities state for damage prevention	0.76					
Maximum flow rate		0.76				
Continuous rainfall		0.68				
Hourly maximum precipitation		0.75				
Precipitation of event occuring		0.79				
Anterior rainfall		0.59				
Triggering time		0.50				
Human injury			0.89			
Adjacent infrastructure			0.85			
Facilities for damage prevention			0.79			
Scour circumstances of the steam bed			0.61			
Gradient of source			0.70			
Causes of soil runoff			0.80			
Average gradient of flow path					0.72	
Width of flow path					0.68	
Length of deposition						0.65
Volume of deposition material						0.74
Gradient of deposition						0.71
Gradient of initial deposition point						0.64
Gradient of terminal deposition point						0.58
Depth of deposition						0.61
Dispersion angle of deposition						0.52
Eigen value	4.95	3.08	2.77	1.79	1.45	1.42
Variance (%)	51.37	11.86	10.66	6.89	5.57	5.45
Cumulation (%)	51.37	63.23	73.89	80.78	86.35	91.80

탐색적 요인분석을 실시하여 측정도구로서 개념이나 속성을 정확히 측정하고 있는가에 대한 타당성을 측정하기 위하여 관련 실무자 34명을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 요인분석시 요인의 추출방법으로 주성분 분석을 사용하였고, 회전방법은 직교회전(varimax)방법을 사용하였으며, 요인적재량 수용기준을 0.40이상을 기준으로 하였다.

각 요인이 전체 분산에 대해 설명 할 수 있는 정도를 나타내주는 고유치(eigen value)는 각 요인별로 모든 변수의 요인 적재량을 제곱하여 더한 값으로 본 연구에서는 1이상을 기준으로 하였다.

여기서 항목을 몇 개의 그룹으로 묶을 수 있느냐는 고유치 1이상인 요인의 수에 의해 결정되고, 그룹에 어떤 항목이 묶여지느냐는 요인 적재량에 의해 결정된다.

델파이를 통해 도출된 29개의 항목으로 요인분석을 실시하여 지표들을 상호연관성에 따라 분류한 결과, Table 5에서와 같이 고유치가 1.0 이상인 요인이 6개 추출되었고, 요인 적재량이 0.4 이하인 문항과 타당도를 저해하는 항목은 특별히 추출되지 않았다. 따라서 최종적으로 6개 영역별로 29개의 세부 항목을 최종 도출되었다.

4.4 신뢰도 분석

세부항목들에 대한 신뢰도를 알아보기 위해 크론바하 알파(Cronbach's α)를 이용하여 항목 간의 내적일치도를 알아보았다. 일반적으로 크론바하 알파 값은 0.60~0.70일 때, 내적일치도가 적절하며 사용가능한 정도, 0.80 이상일 때, 내적일치도가 아주 높으며 신뢰할 수 있는 정도로 보기 때문에, 내적일관성을 낮추는 문항은 제외하여야 한다[21].

요인분석을 통해 최종적으로 도출된 토석류 피해조사 항목의 크론바하 알파 값을 계산한 결과, Table 6에서와 같이 유역상황, 재해상황, 발생상황, 퇴적상황은 크론바하 알파값이 0.60 이상으로서 내적일치도가 적절하며 사용가능한 정도로 나타났다. 특히, 피해상황은 크론바하 알파값이 0.80을 넘어 충분히 신뢰할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 다른 항목을 제외하여 크론바하 알파값이 얼마나 커지는가에 대해서 계산할 필요가 없었다. 유하상황의 경우 항목이 2개로서 크론바하 알파값이 의미가 없으므로 제시하지 않았다.

신뢰도 분석 결과, 전체적으로 0.67 이상의 항목 간 신뢰도 계수를 나타내고 있으므로 만족할 만한 신뢰수준이라 할 수 있다.

Table 6. Results of reliablity analysis

Item		Cronbach's α
Basin Circumstances	Geological features	0.78
	Stream length	
	Average gradient of the steam bed	
	Vegetation conditions	
	Facilities state for damage prevention	
Disaster Circumstances	Maximum flow rate	0.70
	Continuous rainfall	
	Hourly maximum precipitation	
	Precipitation of event occuring	
	Anterior rainfall	
	Triggering time	
Damage Circumstances	Human injury	0.83
	Adjacent infrastructure	
	Facilities for damage prevention	
Occurrence Circumstances	Scour circumstances of the steam bed	0.71
	Gradient of source	
	Causes of soil runoff	
Flow path Circumstances	Average gradient of flow path	-
	Width of flow path	
Deposition Circumstances	Length of deposition	0.67
	Volume of deposition material	
	Gradient of deposition	
	Gradient of initial deposition point	
	Gradient of terminal deposition point	
	Depth of deposition	
	Dispersion angle of deposition	

5. 결 론

본 연구에서는 합리적인 토석류 피해조사를 실시하기 위한 표준화된 평가항목을 도출하였다. 이를 위해 관련 문헌 및 선행연구들을 분석하여 예비 평가항목을 도출하였고, 해당 분야의 연구기관, 학계, 산업체 등에 종사하고 있는 12명의 전문가를 대상으로 3차례에 걸친 델파이 조사를 실시하였다. 그 결과 3차 델파이 조사를 통해 토석류 발생 시에 유역상황, 재해상황, 발생상황, 유하상황, 퇴적상황, 피해상황 등의 6개 대분류 영역과 31개 세부 평가항목 중, 최종적으로 29개 항목이 도출되었다. 이렇게 도출된 토석류 피해조사 항목이 측정도구로써 타당한지와 신뢰할만한지를 측정하기 위해 관련 실무자를 대상으로 설문조사를 한 후, 탐색적 요인분석과 신뢰도 분석을 시행하여 6개 영역별로 29개의 세부 항목을 최종 도출하였다.

본 연구에서 도출된 피해조사 항목으로 토석류 발생 시에 조사를 실시하고, 그 결과를 DB화하여 환류를 실시한다면 향후, 토석류 예방대책 수립시에 합리적인 의사결정을 지원할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글: 본 연구는 국토교통부 건설기술연구사업 (과제번호 15SCIP-B069989-03)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

1) Korea Forest Service, “Guideline of Landslide Vulnerable Area Survey”, Designation and Management, pp. 18-28, 2014.
2) Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, “Development of Landslide Prediction Technology and Damage Mitigation Countermeasures”, pp. 30-46, 2009.
3) Ministry of Public Safety and Security, Act on the Steep Slope Disaster Prevention, Chapter 3, Maintenance Planning Promotion of Collapse Danger Areas, Article 13, 2015.
4) Korea Expressway Corporation, “Development of Debris Flow Hazard Analysis Method and Its Application”, pp. 10-15, 2012.
5) H. A. Linstone and M. Turoff, “The Delphi Method : Techniques and Applications, Addison Wesley, 1975.
6) M. Y. Lee, “The Development of an Analytical Model for Eligibility Assessment of BTL Project”, Master’s Thesis, University of Inha, 2006.
7) Y. M. Choi, “Three-round Delphi Study on Content Development for Business English Test”, Master’s Thesis, University of Ewha Womans, 2002.
8) B. S. Kim, Education Research Method, Seoul, Hakjisa, 1996.
9) E. T. Anderson, “Important Distance Education Practices: A Delphi Study of Administrators and Coordinators of Distance Education Programs in Higher Education”, Ph.D. Thesis, University of Idaho, 1997.
10) J. W. Murry and J. O. Hammons, “Delphi: A Versatile Methodology for Conducting Qualitative Research”, The Review of Higher Education, Vol. 18, No.4, pp. 423-436, 1995.
11) Y. N. Song, “A Study on Healthcare Security Management System Using Delphiand AHP”, Ph.D. Thesis, Yongin University, 2012.
12) N. C. Dalkey, “An Experimental Study of Group Opinion, Futures”, Futures, Elsevier, Vol.1, pp. 408-426, 1969.
13) D. M. Ewing, “Future Competencies Needed in the Preparation of Secretaries in the State of Illinois Using the Delphi Technique”, Ph.D. Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, 1991.
14) E. Ziglio, “The Delphi Method and its Contribution to Decision-making”, In M. Adler & E. Ziglio (Eds.), *Gazing into the oracle: The Delphi and its application to social policy and public health*. London, England: Jessica Kingsley, 1996.
15) M. G. Kang, C. Y. Jung and G. M. Lee, “Extraction of Primary Factors Influencing Dam Operation Using Factor Analysis”, Journal of Korea Water Resources Association Vol. 40, No. 10, pp. 769-781, 2007.
16) S. K. Hong and J. H. Seo, “Development of the Technology Valuation Analysis Indicators Using the Delphi Method in the Offset Program”, Journal of Korea Technology Innovation Society, Vol.16, No.1, pp. 252-278, 2013.
17) H. C. Kang, “A Guide on the Use of Factor Analysis in the Assessment of Construct Validity”, Journal of Korean Academy of Nursing, Vol. 43, No. 5, pp. 587-594, 2013.
18) H. F. Kaiser, “The Application of Electronic Computers to Factor Analysis”, Educational and Psychological Measurement, Vol. 20, pp. 141-151, 1960.
19) C. H. Lawshe, “A quantitative Approach to Content Validity”, Personnel Psychology, Vol. 28, pp. 563-575, 1975.
20) National Disaster Management Institute, “Risk Analysis of Slopes for the Disaster Impact Assessment”, pp. 19-40, 2001.
21) R. A. Zeller and E. G. Carmines, “Measurement in the Social Sciences: The Link between Theory and Data”, Cambridge University Press, 1980.