

PLANT&FOREST

Estimation of spatial parameters to be included in 3D mapping for long-term forest road management

Sung-Min Choi¹, Hyeongkeun Kweon², Joon-Woo Lee^{3,*}

¹Korea Forest Engineer Institute, Daejeon 35209, Korea

²Institute of Ecological Restoration, Kongju National University, Yesan 32439, Korea

³Department of Environment and Forest Resources, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

*Corresponding author: jwlee@cnu.ac.kr

Abstract

Point cloud-based 3D maps can obtain many kinds of information for maintenance work on forest road networks. This study was conducted to compare the importance of each factor to select the factors required for the mapping of 3D forest road maps. This can be used as basic data for attribute information required to maintain forest road networks. The results of this study found that out of a total of 30 indexes extracted for mapping 3D forest roads, a total of 21 indexes related to stakeholder groups were significantly different. The importance of the index required by the civil service group was significantly higher than that of the other groups overall. In the case of the academic group, the index importance for cut slope, fill slope, and drainage facility was significantly higher. On the other hand, the index importance for the forestry cooperative and forest professional engineer group was mostly distributed between the civil servants' group and the academic group. In particular, the type of drainage system showed the highest value among the detailed indexes. Overall, drainage related factors in this survey had high coefficient values. The impact of water on forest roads was the most important part in road maintenance. In addition, the soil texture had a high value in relation to slope stability. This is thought to be because the texture of the soil affects the stability of the slope.

Keywords: forest road, mapping components, survey



OPEN ACCESS

Citation: Choi SM, Kweon H, Lee JW. 2020. Estimation of spatial parameters to be included in 3D mapping for long-term forest road management. Korean Journal of Agricultural Science 47:727-742. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20200060>

Received: May 08, 2020

Revised: September 14, 2020

Accepted: September 16, 2020

Copyright: © 2020 Korean Journal of Agricultural Science



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Introduction

우리나라는 목재생산이 가능한 40년생 이상 산림이 69% (4백만 ha)를 차지하고 있으며 (KFS, 2018), 이로 인해 목재생산을 위한 인프라의 확충이 시급하고 산림청은 자연재해에 안전한 임도망을 구축하고 활용을 극대화하기 위해 임도를 꾸준히 확대해 나가고 있다. 현재 우리나라의 경우 임도가 부족하다는 판단하에 임도시설의 신설에 비교적 많은 예산을 투입하고 있으나(Rhee et al, 2017), 현재 임도에 대한 이용 및 요구수요가 높은 상황에서 임도의 신규 개설과 함께 더불어 고려해야 할 부분은 기존에 개설된 임도에 효율적인 유지·관리를 실시하여 상시 이용이 가능한 여건을 만드는 것이다. 또한, 임도 관리 예산이 부족하고 기존 개설된 21,769 km의 임도를 관리하기에는 현실적인 한계가 있어 향후 임도 확충 방안과 더불어 많

은 양의 임도를 관리하기 위한 기초자료가 필요한 현실이다(KFS, 2019).

한편, 임도의 유지·관리 및 보수의 기초자료가 될 수 있는 임도 설계도·서 및 준공도면 그리고 산림청에서 제공하고 있는 FGIS (Forest Geospatial Information System) 상의 임도망도는 현장과 불일치하는 경우가 있으며, 임도의 유지·관리 이력 확보에 많은 어려움이 따르고 있다. 현재 산림청에서 제공하고 있는 수치임도망도는 제작의 한계로 인해 임도의 실제 현황과는 차이를 보이고 있는 것으로 보인다(Kim, 2011). 또한, 준공 후 실제 노선 및 구조물의 위치와 도면상 위치가 상이한 경우도 발생하고 있어 유지·관리 작업 시 활용하기에 어려운 실정이다. 따라서, 임도의 유지·관리 및 보수를 효율적이고 현실성 있게 하기 위한 기초자료가 될 수 있는 3차원 임도망도가 필요하다고 할 수 있다. 본 연구에서의 3차원 임도망도란 기존의 임도망도의 개념에서 포함하고 있는 내용보다 3차원을 기반의 시·공간적으로 정밀하고 다양한 정보를 포함하고 있는 형태라 정의할 수 있다.

임도 유지관리를 위한 3차원 임도망도를 구축하기 위해서는 data의 양도 중요하지만, 현실적인 조건 안에서 임도를 유지·관리 및 보수하기 위해 필요한 정보를 선별하는 것이 필요하다. 필요한 정보를 선별하기 위해 대표적으로 사용되는 방법이 전문가 설문조사와 다기준의사결정기법(analytical hierarchy process, AHP)이라 할 수 있다.

의사결정 분야에서 1980년에 다기준의사결정기법이 개발된 이후 여러 국가 및 여러 분야에서 다기준의사결정기법에 대한 이론 개발 및 연구를 수행해 왔다(Shin, 2008). Bang (2014)은 다기준의사결정기법을 활용하여 임도 재해위험 등급을 위한 평가항목을 도출하였으며, 이를 바탕으로 임도의 재해위험 등급 구분을 위한 평가표 및 평가등급을 산정하였다. Lee et al. (2010)은 다기준의사결정기법을 활용하여 산림가치의 중요도와 우선순위에 대한 분석을 실시하였으며, 산림에 대한 공익적 기능과 경제적 기능으로 구분하여 전문가를 대상으로 분석하였다. Shin (2008)은 다기준의사결정기법을 활용하여 절토사면 붕괴 원인을 분석하고 평가항목의 가중치를 결정한 뒤, 기존 평가모형을 적용한 위험등급과 다기준의사결정기법 평가모형을 적용한 위험등급을 상호 비교 분석하였다. 마지막으로 Lee et al. (2006)은 로지스틱 회귀분석 방법과 다기준의사결정기법을 활용하여 산사태 위험지를 분석하였으며, 로지스틱 회귀분석과 다기준의사결정기법을 적용한 결과에 동일 가중치를 부여 후 산사태 위험지역을 추출할 수 있는 방법론을 제시하였다. 이처럼 국내 산림분야에서는 다기준의사결정기법을 활용한 연구가 다방면에서 이루어지고 있었다.

본 연구를 통해 3차원 임도망도에 포함되어야 할 요구정보와 필요인자의 선별에 다기준의사결정기법을 활용하여 효과적으로 3차원 임도망도에서의 필요인자를 선별하고 중요도 지수를 통해 3차원 임도망도에서의 주요인자가 무엇인지 확인해야 할 필요성이 있다.

Materials and Methods

3차원 임도망도 구축을 위한 필요인자 선정을 위해 전문가 설문조사를 1차와 2차로 구분하여 실시하였다. 1차 전문가 설문조사의 경우 3차원 임도망도에 포함될 수 있는 모든 인자들을 기존 임도 설계도·서와 산림청에서 발행한 임도시공·관리 매뉴얼(KFS, 2015) 등을 통해 선정하였다. 이를 기본정보와 절토, 성토, 노면, 배수, 기타로 대분류 하였으며, 기본정보는 관리정보와 현황정보로 구분하였다. 대분류에서의 절토와 성토, 노면은 해당 정보와 해당시설의 정보로 중분류 하였으며, 배수의 경우 배수시설정보와 기타 배수정보로 중분류 하였다. 그 외, 각 중분류에 따른 소분류는 Table 1과 같이 구분하였다. 이를 바탕으로 1차 설문조사를 실시하였으며, 1차 설문조사를 바탕으로 Table 2와 같이 2차 설문지를 제작하고, 2차 설문조사는 이해관계자에 따른 인자별 중요도를 비교 및 분석하기 위해 집단을 나누어서 다기준의사결정기법을 사용하였다. 1차 설문조사의 경우 응답의 일관성을 분석하기 위해 중요도 점수와 중요도 순위 간에 오류가 나타나는 응답지는 제외하였다. 2차 설문조사의 경우 다기준의사결정기법을 사용하였기 때문에 다기준의사결정기법을 통한 일관성 분석을 바탕으로 오류가 발생된 응답지는 제외하였다.

Table 1. Index classification of attribute information for 3D forest road map (the first survey).

Level I	Level II	Level III	Level I	Level II	Level III	
Basic information	Administration	Road name	Fill slope	Fill slope structure	Name	
		Construction year			Size	
		Management agency			Length	
		Administrator	Material			
		Ordering agency	Road surface	On-road information	Road width	
		Designer			Effective road width	
		Constructor			Road shoulder	
		Supervisor			Material	
		Construction expenses			Longitudinal slope	
		Status	Road length	Cross-sectional slope		
	Beginning point		Shape of road surface			
	Ending point		Ground level			
	Cut slope		Information of cut slope	Slope gradient	Information of road facility	Name
				Ground gradient		Size
		Slope height		Length		
Amount of earthwork		Material				
Quality of soil		Drainage system		Information of drainage system		Type
Slope width			Size			
Area size			Length			
Slope direction			Material			
Plants for revegetation			Gradient			
Cut slope structure		Cut slope structure	Covering rate	Others	Flow direction	
	Name		Other			
	Size		Safety facilities		Name	
	Material				Size	
	Length				Material	
Fill slope	Information of fill slope	Slope gradient	Information facilities	Name		
		Ground gradient		Size		
		Slope height		Material		
		Amount of earthwork		Contents		
		Quality of soil		Additional facilities	Name	
		Slope width	Size			
		Area size	Material			
		Slope direction	Purpose			
		Plants for revegetation	Landings		Length	
		Covering rate		Width		
	Width of terracing	Area size				
	Length of terracing	Length of terracing	Length of terracing	Others	Others	

1차 전문가 설문조사

특정분야에 대한 연구에 있어서 그 분야와 관련 분야의 연구 및 현장경험이 있고, 일정수준 이상의 지식을 가진 집단을 대상으로 설문조사를 실시하는 것이 타당한 방법이다(Kim and Choi, 2002). 따라서 본 연구에서는 학계 및 기술사, 산림조합 등 산림공학 분야에 종사하고 있는 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 총 64부의 설문지가 회수되었으며, 이 가운데 일관성 분석에서 오류가 발생되지 않은 63부를 대상으로 1차 설문조사를 분석하였다. 이를 바탕으로, 각 인자별 중요도 분석을 실시하고 요소 및 전체 순위에 대한 평가를 통해 3차원 임도망도 필요 인자를 선정하였다.

2차 전문가 설문조사

2차 전문가 설문조사는 1차 전문가 설문조사를 통해 선정된 인지들을 바탕으로 설문지를 다음 Table 2와 같이 재구성하여 설문조사를 실시하였다. 2차 설문조사에서 분석 기법은 다기준의사결정기법을 사용하였으며, 각 이해관계자에 따른 3차원 입도망도 인자의 가중치를 비교하고자 하였다. 다기준의사결정기법의 경우 적용방법이 용이하고 계층에 따른 평가구조에 따라 척도를 산정하고 가중치의 산정철차가 이론적으로 높지 않게 평가되고 있어 각 분야에서 집단 의사결정 지원시스템으로 많이 활용되고 있다(Shin, 2008).

Table 2. Index classification of attribute information for 3D forest road map (the second survey).

Level I	Level II
Basic information	Road name
	Construction year
	Management agency
	Road length
	Beginning point
	Ending point
Cut slope	Slope gradient
	Slope height
	Quality of soil
	Facility type
	Size
Fill slope	Slope gradient
	Slope height
	Quality of soil
	Facility type
	Size
Road surface	Road width
	Effective road width
	Road shoulder
	Longitudinal slope
	Cross-sectional slope
	Facility type
Drainage system	Size
	Material
	Facility length
	Gradient
	Flow direction
	Landings size
	Safety facilities
	Information facilities
Others	

2차 설문조사에서 이해관계자 집단은 학계, 산림기술사, 산림조합, 공무원 4개의 집단으로 구분하였다. 각 집단에서 일관성 분석에서 오류가 발생되지 않고 일관성 비율이 가장 높은 49부(학계 11부, 산림기술사 12부, 산림조합 12부, 공무원 14)를 대상으로 다기준 의사결정기법을 활용하여 분석을 실시하였다.

다기준의사결정기법에서 판단자료는 계층 내 요소 간 쌍대비교를 통해 도출한 상대적 중요도를 나타내는 점 추척치를 사용하며, 이를 위해서는 일반적으로 9점 척도가 많이 이용되고 있다(Jung, 2002). 그러나 최근 들어 다기준의사결정기법의 일관성을 향상시키기 위한 연구가 수행되고 있으며, 오히려 9점 척도가 5점 및 3점 척도에 비해 응답자의 일관성을 저하시키는 것으로 나타났다(Song and Lee, 2013). 따라서 본 연구에서도 응답자의 편의성과 일관성을 위해 5점 척도를 사용하였으며 쌍대비교의 척도는 아래 표 과 같다.

다기준의사결정기법에서 판단자료는 계층 내 요소 간 쌍대비교를 통해 도출하였으며, 쌍대비교의 응답은 인자 i와 인자 j를 서로 비교하면서 상호간의 중요도를 기준점인 1을 기준으로 Table 3과 같이 각 항목 정의에 따라 중요도를 체크하게 된다. 설문자가 응답한 중요도를 행렬을 통해 수치통합하여 가중치를 구하는 방법을 적용하였으며, 전체 평가자의 고유 벡터 값을 산술평균하고, 확정 가중치를 산정하였다.

Table 3. Standard of pairwise comparison (Jung, 2002).

Degree of importance	Definition	Description
1	Similarity	Two factors are judged to have equal importance
2	Importance	One factor is judged to be more important than the other
3	Very importance	One factor is most important than any other factor
Reciprocal value	When factor i has the above specific value for factor j, factor j has the reciprocal value of that specific value for factor i.	

다기준의사결정기법에서의 경우 일관성이 결과의 신뢰성을 확보하는 데에 결정적인 역할을 하기 때문에 일관성을 반드시 검증해야 하며, 일관성 지수(consistency index, CI)를 무작위 지수(random index, RI)로 나눈 일관성 비율(consistency ratio, CR)을 계산하여 검증한다(Lee, 2000).

$$\text{일관성 비율(CR)} = \text{일관성 지수(CI)} / \text{무작위 지수(RI)} \tag{1}$$

무작위 지수의 경우 아래 Table 4를 바탕으로 확인하면, 대분류 기본정보, 배수정보에서 소분류의 인자가 총 6개이고 행렬의 크기가 6이므로 무작위 지표는 Table 5와 같이 1.24가 되며, 절토정보, 성토정보, 노면정보는 소분류의 인자가 5개이고 행렬의 크기가 5이므로 무작위 지표는 1.12가 된다. 마지막 기타정보의 경우 소분류 인자가 3개이고 행렬의 크기가 3이므로 무작위 지표는 0.58이 된다.

Table 4. Average random index (Saaty and Vargas, 1982).

Item	n									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R.I (random index)	0.0	0.0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Table 5. Random index values according to the level 1.

Item	Basic information	Cut slope	Fill slope	Road surface	Drainage system	Others
R.I (random index)	1.24	1.12	1.12	1.12	1.24	0.58

선행 연구에 의하면 경험적인 법칙에 의해 일관성 비율이 10%이내이면 평가자가 응답한 판단이 일관성을 갖는 것으로 판단하고, 20% 이내일 경우에는 용납할 수 있으나, 그 이상이면 일관성이 부족한 것으로 판단을 하고 있다(Lee, 2000). 따라서 CR 값이 0.1 미만일 경우 유효성이 인정되며, 0일 경우에는 완전한 일관성을 유지하고, CR값이 0.1 이상일 경우에는 일관성이 부족한 것으로 판단하였다. 이를 활용하여 4개의 이해관계자 집단(학계, 산림기술사, 산림조합, 공무원)에 따른 3차원 임도망도 요구 인자 중요도를 파악하고 비교하였다.

각 인자별 중요도 지수의 경우 중요도 점수와 가중치를 곱하여 산정하였으며 산정 식은 아래와 같다. 이 중요도 지수를 통해 인자의 중요도를 수치화 할 수 있다.

$$\text{중요도 지수} = \text{중요도 점수(CP)} \times \text{인자별가중치(FW)} \quad (2)$$

위 식을 통해 산출된 중요도 지수를 이해관계자 집단(학계, 산림기술사, 산림조합, 공무원)에 따라 구분한 뒤, 인자별 3차원 임도망도 필요계수를 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)를 통해 “이해관계자별 중요도 지수에는 유의한 차이가 있다”라는 가설을 검증하였다. 가설이 유의하게 나타난 경우 집단 간 평균값의 대소 관계를 확인하기 위해 사후분석(post-hoc analysis)을 실시하였다.

Results and Discussion

1차 전문가 설문조사 결과

3차원 임도망도 구축을 위한 필요인자 선정을 위해 1차 설문조사를 실시하였으며, 오류가 발생되지 않은 총 63부의 설문지를 대상으로 중요도 분석을 실시하였다. 중요도 분석인자는 앞의 Table 1과 같이 구분된 인자(대분류 6개, 중분류 15개, 소분류 76개)를 대상으로 실시하였다. 설문조사 분석 대상자는 산림공학 분야에서 종사하고 있는 학계, 산림기술사, 산림조합 근무자 63인이며, 대상자 구성 및 경력은 Fig. 1과 같다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이 5년 이하 산림공학 분야에 종사한 응답자는 3명뿐이었으며, 응답자 대부분이 산림공학 분야에서 5년 이상 종사한 것으로 나타났다. 그 중 1/3이 20년 이상 경력자로 설문조사 대상자들이 높은 수준의 산림공학 분야 전문가라 할 수 있다.

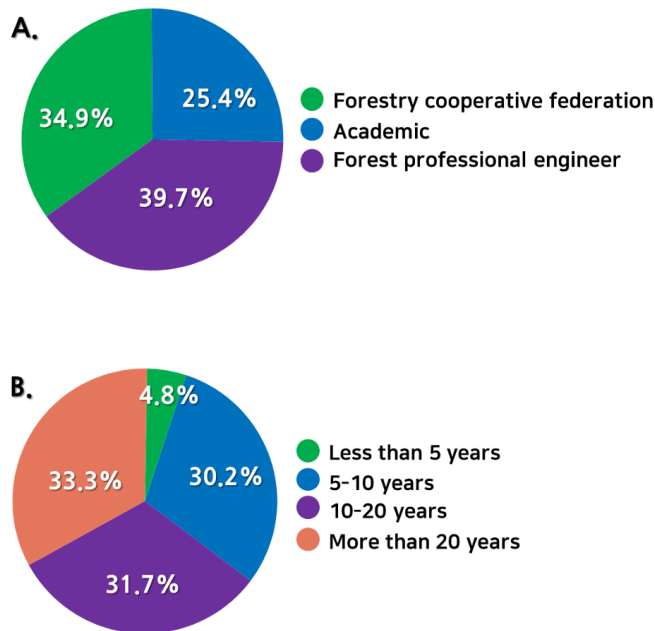


Fig. 1. The composition and career of a survey object group (the first survey). (A) The composition of a survey object group, (B) career of a survey object group.

3차원 임도망도 구축을 위한 필요인자 중요도를 종합적으로 정리하면 Table 6과 같다. 임도에 관한 기초적인 정보와 경사와 관련된 인자, 재질과 관련된 인자들이 주로 높은 중요도를 나타냈으며, 배수시설정보의 경우 모든 인자에서의 중요도가 높게 나타났다. 이는 임도를 유지·관리함에 있어 배수시설이 중요한 역할을 하기 때문인 것으로 생각되며, 노면 또한 훼손이 많이 발생하고 있기 때문에 노면정보와 관련된 인자들도 중요도가 높게 나타난 것으로 판단된다.

Table 6. The survey results from importance by demanded attribute information for the 3D forest road map. (continued)

Level I	Level II	Level III	Importance factor	Standard deviation	Ranking			
					By level	Total		
Basic information	Administration	Road name	4.44	0.87	1	8		
		Construction year	4.11	1.09	3	20		
		Management agency	4.24	0.82	2	15		
		Administrator	3.54	1.06	5	56		
		Ordering agency	3.40	0.96	6	62		
		Designer	3.40	1.00	6	62		
		Constructor	3.76	1.05	4	45		
		Supervisor	3.35	1.19	8	65		
		Construction expenses	3.10	1.29	9	73		
		Cut slope	Status	Road length	4.43	0.74	3	9
Beginning point	4.57			0.62	2	2		
Ending point	4.62			0.56	1	1		
Information of cut slope	Slope gradient			4.46	0.70	1	6	
	Ground gradient			3.65	1.10	4	51	
	Slope height			3.95	1.04	3	30	
	Amount of earthwork	3.38	1.16	8	64			
	Quality of soil	4.27	0.90	2	14			
	Slope width	3.59	1.01	6	55			
	Area size	3.21	1.09	9	68			
Fill slope	Information of fill slope	Slope direction	3.17	1.12	10	70		
		Plants for revegetation	3.43	1.05	7	61		
		Covering rate	3.62	1.04	5	54		
		Cut slope structure	Name	3.75	0.96	4	47	
			Size	3.90	0.83	2	33	
			Material	3.87	0.80	3	36	
			Length	3.94	0.85	1	31	
		Fill slope	Information of fill slope	Slope gradient	4.49	0.74	1	4
				Ground gradient	3.84	0.89	4	37
				Slope height	3.97	0.93	3	29
Amount of earthwork	3.70			1.01	6	49		
Quality of soil	4.24			0.87	2	15		
Slope width	3.63			0.90	9	53		
Area size	3.19			0.92	11	69		
Slope direction	3.06			1.11	12	74		
Plants for revegetation	3.46			1.05	10	59		
Covering rate	3.67			0.98	7	50		
Fill slope structure	Fill slope structure			Width of terracing	3.71	0.87	5	48
		Length of terracing	3.65	0.87	8	51		
		Name	3.76	0.96	4	45		
		Size	4.00	0.78	1	24		
		Length	3.83	0.77	3	38		
		Material	3.89	0.81	2	34		

Table 6. The survey results from importance by demanded attribute information for the 3D forest road map.

Level I	Level II	Level III	Importance factor	Standard deviation	Ranking	
					By level	Total
Road surface	On-road information	Road width	4.46	0.69	2	6
		Effective road width	4.41	0.78	3	10
		Road shoulder	3.48	0.95	6	58
		Material	4.10	0.87	4	22
		Longitudinal slope	4.52	0.93	1	3
		Cross-sectional slope	3.98	1.01	5	26
		Shape of road surface	2.83	0.96	7	75
	Information of road facility	Ground level	2.83	1.09	7	75
		Name	3.83	1.01	2	38
		Size	3.81	0.74	3	40
		Length	3.81	0.78	3	40
		Material	3.89	0.84	1	34
		Drainage system	Information of drainage system	Type	3.98	1.04
Size	4.29			0.79	2	12
Length	4.22			0.83	3	17
Material	4.32			0.84	1	11
Gradient	4.19			0.98	4	18
Others	Flow direction		4.49	0.64	1	4
	Other		3.51	0.91	2	57
Others	Safety facilities	Name	4.11	0.90	1	20
		Size	3.79	0.81	3	42
		Material	3.92	0.85	2	32
	Information facilities	Name	4.00	0.95	2	24
		Size	3.46	0.88	3	59
		Material	3.27	0.90	4	66
		Contents	4.14	0.84	1	19
		Additional facilities	Name	3.79	1.00	1
	Size		3.27	0.81	3	66
	Material		3.11	0.79	4	72
	Purpose		3.79	0.83	1	42
	Landings		Length	4.06	0.76	2
		Width	3.98	0.83	3	26
		Area size	4.29	0.81	1	12
		Others	Others	3.13	0.71	-

Table 6에서 보는 바와 같이 각 세부 인자별 중요도와 전체 및 요소별 순위를 파악하였다. 위 인자별 순위 및 중요도를 바탕으로 3차원 임도망도 필요인자를 선별하였으며, 상위 29개 요소를 필요인자로 선별하였다. 현재 국토교통부에서는 정밀도로지도를 제작하여 이미 실용화하고 있으며, 정밀도로지도 구축 인자의 경우 총 29개 요소로 구성되어 있다. 현재 3차원 임도망도에 대한 실질적인 기준이 존재하지 않고 본 연구에서 처음으로 접근하는 만큼 3차원 임도망도도 정밀도로지도와 같은 수준인 29개 정도의 요소로 구분하는 것이 옳다고 판단된다.

그러나, 집재장의 길이와 폭은 집재장의 면적 정보가 중요하기 때문에 같이 중요도가 높게 나타난 것으로 판단하여 하나의 정보로 통합하였으며, 질·성토정보 개수를 동일하게 하여 최종적으로 총 30개의 인자를 선별하였다.

2차 전문가 설문조사 결과

1차 설문조사를 통해 30개의 인자를 선별하였으며, 선별한 30개 인자의 특성을 바탕으로 다시 대분류와 소분류로 구분하였으며, 분류 결과는 Table 7과 같다.

2차 설문조사는 4개의 총 이해관계자 집단으로 구분하였으며, 일관성 비율(CR)에서 오류가 발생되지 않고 일관성이 가장 높은 설문지 총 49부를 대상으로 분석을 실시하였다. 설문조사 대상자 구성 및 경력은 Fig. 2와 같고, 공무원(28.6%), 산림기술사(24.5%), 산림조합(24.5%), 학계(22.4%)의 네 개 집단이 비슷한 비율을 보이고 있으며, 전체적으로 경력 5년 미만인 응답자는 16.3%이고, 대부분의 응답자가 5년 이상의 경력자인 것으로 나타났다.

Table 7. The results of reclassification from demanded attribute information for the 3D forest road map.

Level I	Level II
Basic information	Road name
	Construction year
	Management agency
	Road length
	Beginning point
	Ending point
Cut slope	Slope gradient
	Slope height
	Quality of soil
	Facility type
	Size
Fill slope	Slope gradient
	Slope height
	Quality of soil
	Facility type
	Size
Road surface	Road width
	Effective road width
	Road shoulder
	Longitudinal slope
	Cross-sectional slope
Drainage system	Facility type
	Size
	Material
	Facility length
	Gradient
	Flow direction
Others	Landings size
	Safety facilities
	Information facilities

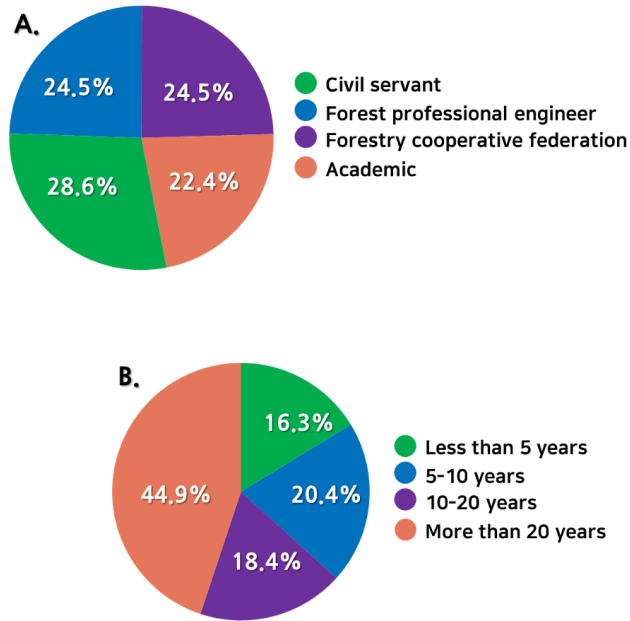


Fig. 2. The composition and career of a survey object group (the second survey). (A) The composition of a survey object group, (B) career of a survey object group.

1차 설문조사와 2차 설문조사를 통해 3차원 임도망도에서 요구되는 구성인자에 대해 선별하고 각 인자별 중요도와 가중치를 산정하였다. 이렇게 산정된 값을 통해 각 인자별 3차원 임도망도에서 요구되는 중요도 지수를 계상하였으며, 인자별 중요도 지수는 아래 Table 8과 같다.

Table 8. The coefficient of demanded information by each stakeholder groups. (continued)

Factor	Group	n	Mean	Standard deviation	F-value	p-value	Duncan
Basic information	Civil servant	14	0.213	0.160	5.534**	0.003	Forestry cooperative federation, academic < forest professional engineer, civil servant
	Academic	11	0.048	0.081			
	Forestry cooperative federation	12	0.044	0.017			
	Forest professional engineer	12	0.162	0.172			
Construction year	Civil servant	14	0.206	0.151	5.852**	0.002	Forestry cooperative federation, academic, forest professional engineer < civil servant
	Academic	11	0.102	0.050			
	Forestry cooperative federation	12	0.066	0.043			
	Forest professional engineer	12	0.107	0.050			
Management agency	Civil servant	14	0.152	0.106	0.593	0.623	-
	Academic	11	0.112	0.040			
	Forestry cooperative federation	12	0.120	0.064			
	Forest professional engineer	12	0.131	0.090			
Road length	Civil servant	14	0.212	0.094	14.639***	0.000	Academic, forest professional engineer, forestry cooperative federation < civil servant
	Academic	11	0.051	0.031			
	Forestry cooperative federation	12	0.094	0.071			
	Forest professional engineer	12	0.085	0.042			
Beginning point	Civil servant	14	0.166	0.089	5.826**	0.002	Academic < forestry cooperative federation, forest professional engineer, civil servant
	Academic	11	0.046	0.060			
	Forestry cooperative federation	12	0.121	0.042			
	Forest professional engineer	12	0.132	0.083			
Ending point	Civil servant	14	0.160	0.090	7.954***	0.000	Academic < forestry cooperative federation, forest professional engineer, civil servant
	Academic	11	0.032	0.026			
	Forestry cooperative federation	12	0.129	0.051			
	Forest professional engineer	12	0.135	0.080			

Table 8. The coefficient of demanded information by each stakeholder groups. (continued)

Factor	Group	n	Mean	Standard deviation	F-value	p-value	Duncan	
Cut slope	Slope gradient	Civil servant	14	0.115	0.064	3.372*	0.026	Forest professional engineer < academic
		Academic	11	0.146	0.012			
		Forestry cooperative federation	12	0.115	0.076			
		Forest professional engineer	12	0.073	0.042			
	Slope height	Civil servant	14	0.088	0.058	0.459	0.712	-
		Academic	11	0.084	0.014			
		Forestry cooperative federation	12	0.073	0.044			
		Forest professional engineer	12	0.074	0.018			
	Quality of soil	Civil servant	14	0.155	0.066	6.454**	0.001	Forestry cooperative federation, forest professional engineer, civil servant < academic
		Academic	11	0.215	0.069			
		Forestry cooperative federation	12	0.105	0.051			
		Forest professional engineer	12	0.124	0.069			
Facility type	Civil servant	14	0.089	0.046	4.971**	0.005	Academic < civil servant, forestry cooperative federation, forest professional engineer	
	Academic	11	0.047	0.037				
	Forestry cooperative federation	12	0.096	0.041				
	Forest professional engineer	12	0.119	0.056				
Size	Civil servant	14	0.060	0.018	6.170**	0.001	Civil servant, academic < forestry cooperative federation, forest professional engineer	
	Academic	11	0.061	0.036				
	Forestry cooperative federation	12	0.108	0.057				
	Forest professional engineer	12	0.125	0.063				
Fill slope	Slope gradient	Civil servant	14	0.152	0.118	4.864**	0.005	Forest professional engineer, forestry cooperative federation < academic
		Academic	11	0.211	0.047			
		Forestry cooperative federation	12	0.121	0.088			
		Forest professional engineer	12	0.080	0.057			
	Slope height	Civil servant	14	0.143	0.104	4.868**	0.005	Forest professional engineer, forestry cooperative federation < civil servant, academic
		Academic	11	0.162	0.041			
		Forestry cooperative federation	12	0.088	0.045			
		Forest professional engineer	12	0.076	0.031			
	Quality of soil	Civil servant	14	0.184	0.169	4.850**	0.005	Forest professional engineer, civil servant, forestry cooperative federation < academic
		Academic	11	0.307	0.125			
		Forestry cooperative federation	12	0.186	0.088			
		Forest professional engineer	12	0.116	0.071			
Facility type	Civil servant	14	0.115	0.053	2.596	0.064	Academic < civil servant, forest professional engineer	
	Academic	11	0.068	0.056				
	Forestry cooperative federation	12	0.112	0.032				
	Forest professional engineer	12	0.127	0.069				
Size	Civil servant	14	0.090	0.039	1.786	0.163	-	
	Academic	11	0.092	0.047				
	Forestry cooperative federation	12	0.126	0.052				
	Forest professional engineer	12	0.117	0.050				
Road surface	Road width	Civil servant	14	0.108	0.055	1.029	0.389	-
		Academic	11	0.086	0.055			
		Forestry cooperative federation	12	0.074	0.032			
		Forest professional engineer	12	0.114	0.098			
	Effective road width	Civil servant	14	0.134	0.084	1.466	0.236	-
		Academic	11	0.102	0.018			
		Forestry cooperative federation	12	0.091	0.094			
		Forest professional engineer	12	0.083	0.041			
	Road shoulder	Civil servant	14	0.074	0.038	0.734	0.537	-
		Academic	11	0.054	0.018			
		Forestry cooperative federation	12	0.079	0.072			
		Forest professional engineer	12	0.078	0.034			

Table 8. The coefficient of demanded information by each stakeholder groups.

Factor	Group		n	Mean	Standard deviation	F-value	p-value	Duncan
Road surface	Longitudinal slope	Civil servant	14	0.237	0.177	4.198*	0.011	Forest professional engineer < civil servant, academic
		Academic	11	0.302	0.072			
		Forestry cooperative federation	12	0.208	0.096			
		Forest professional engineer	12	0.132	0.069			
	Cross-sectional slope	Civil servant	14	0.135	0.107	2.644	0.061	Forestry cooperative federation, forest professional engineer, civil servant < academic
		Academic	11	0.207	0.052			
		Forestry cooperative federation	12	0.118	0.070			
		Forest professional engineer	12	0.119	0.101			
Drainage system	Facility type	Civil servant	14	0.156	0.112	7.793***	0.000	Civil servant, forest professional engineer, forestry cooperative federation < academic
		Academic	11	0.437	0.214			
		Forestry cooperative federation	12	0.269	0.148			
		Forest professional engineer	12	0.199	0.127			
	Size	Civil servant	14	0.100	0.077	11.207***	0.000	Civil servant < forestry cooperative federation forestry cooperative federation < academic civil servant < academic
		Academic	11	0.345	0.117			
		Forestry cooperative federation	12	0.218	0.170			
		Forest professional engineer	12	0.134	0.055			
	Material	Civil servant	14	0.100	0.074	4.388**	0.009	Civil servant, forestry cooperative federation, forest professional engineer < academic
		Academic	11	0.179	0.043			
		Forestry cooperative federation	12	0.110	0.059			
		Forest professional engineer	12	0.116	0.044			
	Facility length	Civil servant	14	0.116	0.076	3.724*	0.018	Academic, civil servant, forestry cooperative federation < forest professional engineer
		Academic	11	0.108	0.036			
		Forestry cooperative federation	12	0.120	0.054			
		Forest professional engineer	12	0.180	0.059			
	Gradient	Civil servant	14	0.133	0.068	0.576	0.634	-
		Academic	11	0.150	0.036			
		Forestry cooperative federation	12	0.156	0.091			
		Forest professional engineer	12	0.170	0.083			
Flow direction	Civil servant	14	0.190	0.113	1.571	0.210	Academic < forest professional engineer	
	Academic	11	0.133	0.149				
	Forestry cooperative federation	12	0.189	0.100				
	Forest professional engineer	12	0.255	0.172				
Others	Landings size	Civil servant	14	0.139	0.073	5.407**	0.003	Civil servant, forestry cooperative federation < forest professional engineer, academic
		Academic	11	0.217	0.044			
		Forestry cooperative federation	12	0.151	0.068			
		Forest professional engineer	12	0.217	0.062			
	Safety facilities	Civil servant	14	0.127	0.082	0.833	0.483	-
		Academic	11	0.087	0.060			
		Forestry cooperative federation	12	0.118	0.087			
		Forest professional engineer	12	0.150	0.140			
	Information facilities	Civil servant	14	0.083	0.064	1.753	0.170	-
		Academic	11	0.063	0.018			
		Forestry cooperative federation	12	0.168	0.199			
		Forest professional engineer	12	0.226	0.342			

*p < 0.05, **p < 0.01, ***p < 0.001, post-hoc analysis: a < b.

총 30개 인자를 대상으로 중요도 지수를 일원배치 분산분석 실시한 결과, 관리기관(기본정보), 절토고(절토정보), 시설크기(성토정보), 노폭(노면정보), 유효노폭(노면정보), 노견폭(노면정보), 횡단경사(노면정보), 시설경사(배수정보), 유수방향(배수정보), 안전시설종류(기타정보), 안내시설종류(기타종류) 인자를 제외한 21개 인자에서 집단에 따른 중요도 지수 차이가 유의한 것으로 나타났다. 집단에 따라 임도의 유지관리에 있어 중요하다고 느끼는 인자들이 다르기 때문인 것으로 생각된다.

공무원 집단의 경우 다른 집단에 비해 기본정보(임도명, 시공연도, 임도연장, 시점위치, 종점위치)가 중요도 지수가 높은 것이 유의한 것으로 나타났다. 이는 전체적인 관리에 필요한 기본적인 정보가 중요하다고 판단하고 있기 때문은 것으로 생각된다. 학계 집단의 경우 절토정보(사면경사, 토질), 성토정보(사면경사, 성토고, 토질), 배수정보(시설종류, 시설크기, 시설재료)의 중요도 지수가 높은 것이 유의한 것으로 나타났다. 이는 임도에서 구조적인 안정이 유지·관리에 중요하다고 판단했기 때문으로 생각된다. 한편, 산림조합과 산림기술사 집단의 경우 전체적으로 공무원과 학계 집단 사이 평균값의 중요도 지수로 나타났으며, 이는 산림조합과 산림기술사 집단의 경우 실제 현장에서 설계 및 시공, 유지관리를 실시하기 때문에 관리와 구조적인 두 가지 측면을 다 고려하였기 때문인 것으로 생각된다.

마지막으로, 모든 집단을 대상으로 종합하여 중요도 지수를 분석한 결과는 아래 Table 9와 같다.

위 Fig. 3에서 보는 바와 같이 중요도 지수는 배수시설의 종류가 가장 높게 나타났으며, 다음으로 노면의 종단경사, 성토사면의 토질, 유수의 방향과 배수시설의 크기, 집재장의 크기, 배수시설의 경사, 절토사면의 토질, 노면의 횡단경사 순으로 높게 나타났다. 전체적으로는 배수와 관련된 인자들이 중요도 지수가 높게 나타났다. 이는 임도를 유지·관리함에 있어 물이 임도에 끼치는 영향이 크고, 유지·관리 시 가장 필요한 정보라고 판단하기 때문인 것으로 생각된다. 또한, 특히 사면의 안정과 관련해서 토질이 높은 중요도 지수를 나타냈으며, 이는 사면의 안정에서 토질이 많은 영향을 끼치기 때문인 것으로 판단된다.

따라서, 사면 안정에 중요한 산림 토질에 대한 정보를 취득하고 구축하는 것이 반드시 필요하며, 임도를 유지·관리 및 보수함에 있어 배수시설에 관한 점검과 사면의 안정에 대해 중점적으로 모니터링을 실시해야 할 필요성이 있다.

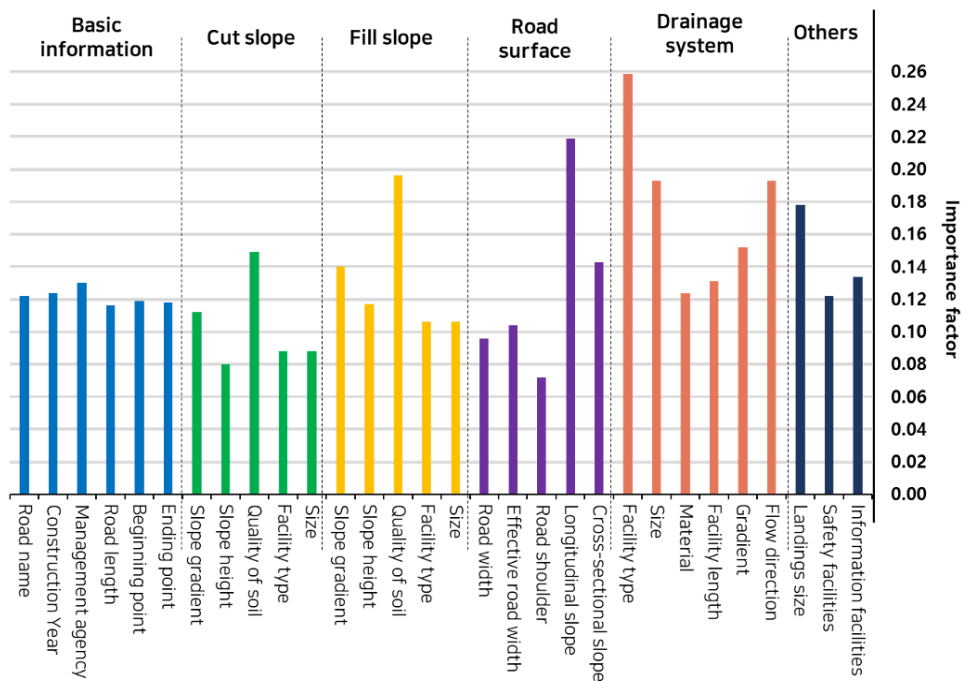


Fig. 3. The coefficient of demanded attribute information for 3D forest road map by classification factors.

Table 9. The coefficient of demanded attribute information for 3D forest road map by classification factors.

Factor	Importance factor	Standard deviation	F-value	p-value	Ranking
Basic information					
Road name	0.122	0.144	5.534**	0.003	16
Construction year	0.124	0.103	5.852**	0.002	14
Management agency	0.130	0.080	0.593	0.623	13
Road length	0.116	0.090	14.639***	0.000	21
Beginning point	0.119	0.082	5.826**	0.002	18
Ending point	0.118	0.082	7.954***	0.000	19
Cut slope					
Slope gradient	0.112	0.059	3.372*	0.026	22
Slope height	0.080	0.039	0.459	0.712	29
Quality of soil	0.149	0.074	6.454**	0.001	8
Facility type	0.088	0.051	4.971**	0.005	27
Size	0.088	0.053	6.170**	0.001	27
Fill slope					
Slope gradient	0.140	0.094	4.864**	0.005	10
Slope height	0.117	0.073	4.868**	0.005	20
Quality of soil	0.196	0.136	4.850**	0.005	3
Facility type	0.106	0.057	2.596	0.064	23
Size	0.106	0.048	1.786	0.163	23
Road surface					
Road width	0.096	0.064	1.029	0.389	26
Effective road width	0.104	0.069	1.466	0.236	25
Road shoulder	0.072	0.045	0.734	0.537	30
Longitudinal slope	0.219	0.128	4.198*	0.011	2
Cross-sectional slope	0.143	0.091	2.644	0.061	9
Drainage system					
Facility type	0.257	0.181	7.793***	0.000	1
Size	0.193	0.144	11.207***	0.000	4
Material	0.124	0.064	4.388**	0.009	14
Facility length	0.131	0.064	3.724*	0.018	12
Gradient	0.152	0.072	0.576	0.634	7
Flow direction	0.193	0.138	1.571	0.210	4
Others					
Landings size	0.178	0.072	5.407**	0.003	6
Safety facilities	0.122	0.097	0.833	0.483	16
Information facilities	0.134	0.203	1.753	0.170	11

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, post-hoc analysis: $a < b$.

Conclusion

본 연구는 임도를 유지·관리 및 보수함에 있어 기초자료가 될 수 있는 3차원 임도망도를 제작하기 위해 3차원 임도망도에서 요구되는 주요인자가 무엇인지 선별하고 이해관계자 집단과 인자에 따른 중요도 지수를 산정하여 임도 유지·관리 시 어떠한 정보가 필요한 것인지 파악하였다.

3차원 임도망도에서 요구되는 총 30개의 인자를 대상으로 중요도 지수를 산출한 결과 총 21개 인자(70%)에서 집단에 따른 중요도 지수 차이가 유의한 것으로 나타났다. 공무원 집단의 경우 다른 집단에 비해 기본정보(임도명, 시공연도, 임도연장, 시점위치, 종점위치)가 중요도 지수가 높게 유의한 것으로 나타났다. 이는 전체적인 관리에 필요한 기본적인 정보가 중요하다고 판단하고 있기 때문은 것으로 생각된다. 학계 집단의 경우 절토정보(사면

경사, 토질), 성토정보(사면경사, 성토고, 토질), 배수정보(시설종류, 시설크기, 시설재료)의 중요도 지수가 높게 유의한 것으로 나타났다. 이는 임도에서 구조적인 안정이 유지·관리에 중요하다고 판단했기 때문으로 사료된다. 마지막으로 산림조합과 산림기술사 집단의 경우 공무원과 학계 집단 사이 평균값의 중요도 지수로 나타났다. 본 연구에서 산정한 중요도 지수를 통해 임도 유지·관리 시에 필요한 인자의 중요도 경증을 확인할 수 있는 기초자료로 활용할 수 있다. 세부 인자별 중요도 지수는 배수시설의 종류 인자가 가장 높게 나타났으며, 다음으로 노면의 종단 경사, 성토사면의 토질, 유수의 방향과 배수시설의 크기, 집재장의 크기, 배수시설의 경사, 절토사면의 토질, 노면의 횡단경사 순으로 높게 나타났다. 전체적으로는 배수와 관련된 인자들이 중요도 지수가 높게 나타났다. 이는 임도를 유지·관리함에 있어 물이 임도에 끼치는 영향이 크고 유지·관리 시 가장 주요한 인자이기 때문으로 판단된다. 또한, 사면의 안정과 관련해서 토질이 높은 중요도 지수를 나타냈으며, 이는 사면의 안정에서 토질이 많은 영향을 끼치기 때문인 것으로 판단된다. 위와 같은 인자들의 중요도에 따라 정보를 수집하고 3차원 임도망도를 제작하는 것이 필요할 것 임도를 유지·관리하는 데에 효과적일 것으로 판단되며, 주요 인자를 포함한 3차원 임도망도를 구축하고 실제 현장의 적용에 대한 후속 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Acknowledgements

이 연구는 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었습니다.

Auhtors Information

Sung-Min Choi, <https://orcid.org/0000-0001-8605-7072>

Hyeongkeun Kweon, <https://orcid.org/0000-0002-9039-0158>

Joon-Woo Lee, <https://orcid.org/0000-0002-5228-8566>

References

- Bang HS. 2014. A study on classification of disaster risk rating for forest road using AHP methodology. Master dissertation, Chunnam National Univ., Daejeon, Korea. [in Korean]
- Jung BD. 2002. The analysis of priorities of roads investment using analytic hierarchy process. The Journal of Korean Society of Transportation 20:45-54. [in Korean]
- KFS (Korea Forest Service). 2015. Forest road construction management manual. p. 404. KFS, Daejeon, Korea. [in korean]
- KFS (Korea Forest Service). 2018. A study on the expansion of forest road in forest. p. 17. KFS, Daejeon, Korea. [in Korean]
- KFS (Korea Forest Service). 2019. Yearbook of forest statistics. p. 445. KFS, Daejeon, Korea. [in Korean]
- Kim DK, Choi JH. 2002. The presupposition of forest roads' role in recreational activities by using a Delphi research method. The Journal of Korean Institute of Forest Recreation 6:11-18. [in Korean]
- Kim MJ. 2011. Precision forest road mapping techniques based on position accuracy and shape similarity estimation. Ph.D. dissertation, Chungnam National Univ., Daejeon, Korea. [in Korean]
- Lee CH. 2000. Group decision making. Sejong Publishing Company, Busan, Korea. [in Korean]
- Lee JY, Joo HJ, No JY. 2010. Research on priority of forest values based on AHP. The Journal of Korean Policy Studies 10:301-317. [in Korean]

- Lee YJ, Park KA, Kim SJ. 2006. Analysis of landslide hazard area using logistic regression analysis and AHP (analytical hierarchy process) approach. *Journal of Korean Society of Civil Engineers* 26:861-687. [in Korean]
- Rhee H, Choi S, Lee JW, Kweon HK. 2017. Comparison of forest road status and policies between Korea and United States. *Korean Journal of Agricultural Science* 44:504-512. [in Korean]
- Saaty TL, Vargas LG. 1982. *The logic of priorities: Applications in business, energy, health and transportation*. Kluwer-Nijhoff Publishing, Boston, USA.
- Shin CG. 2008. A rational maintenance of cut slopes analytic hierarchy process. p. 177. Ph.D. dissertation, Seoul National Univ., Seoul, Korea. [in Korean]
- Song KY, Lee Y. 2013. Re-scaling for improving the consistency of the AHP method. *Kyungshung Journal of Social Sciences* 29:271-288. [in Korean]