

A Study on the AHP based Evaluation Criteria for the Combinatorial Technology of Smart Water Grid

AHP를 활용한 SWG 조합기술 평가기준에 관한 연구

Yun-Jung Kim¹ · Dong-Geun Kwark¹ · Won-Tae Kim¹ · Jeong-Joo Kim¹
Heung-Sup Shin² · Yong-Sung Kim² · Sang-Seon Kim³ · Chae-Soo Kim^{3*}

김윤중¹ · 곽동근¹ · 김원태¹ · 김정주¹ · 신흥섭² · 김용성² · 김상선³ · 김채수^{3*}

¹(주)포스코건설 · ²(주)한국종합엔지니어링 · ³동아대학교

Abstract : In this study, the evaluation criteria of performance and applicability is developed to rank the combinatorial technologies for SWG (Smart Water Grid) system using AHP (Analytic Hierarchy Process) method. Security, safety, solution, suitability and sustainability which are goals of SWG technology, are used as upper level hierarchy elements. And three detailed elements for each upper level hierarchy are adopted as the lower level hierarchy. The weighted value which represents the importance of each element, could be determined through questionnaires accomplished by groups of specialists who are engaged in relevant waster industry and research area. To assess the accuracy of the evaluation criteria developed in this study, a simulation on four decision alternatives for smart water grid was carried out as an evaluation. Consequently which showed 90 % of accuracy.

Key words : Smart Water Grid (SWG), Evaluation Criteria, Analytic Hierarchy Process (AHP).

1. 서론

Smart Water Grid는 ICT기반의 다양한 수자원을 통합, 개발, 운영하는 최적화가 핵심이다 (Yoon H.C., 2012). 기존 수자원 관리 시스템의 한계를 극복하기 위하여 첨단 정보통신 기술을 이용하는 고효율의 차세대 물관리 인프라시스템 (infra-system)으로, 빗물이나 재이용수, 해수 등 능동적 수자원을 적극 활용하고 물을 효율적으로 배분하고 관리 및 운송하여 수자원의 불균형 문제를 해소하기 위한 방안이다. 이를 구현하기 위한 핵심 요소기술과 현재 사용되고 있는 기술 중에서 SWG 구현을 위해 사용할 수 있는 기술을

조합할 경우 SWG 적용 대상인 수자원 시스템의 다양한 대안이 형성되고, 대안 중 가장 우수한 대안을 과학적이고 합리적인 방법으로 비교 선정할 수 있는 기준이 필요하다. 특히 SWG 조합기술과 같은 다수의 평가기준을 고려해야 하는 다기준 의사결정 문제에서는 정량적 평가와 정성적 평가가 병행되는 특징을 갖게 되는데, 이러한 문제해결에 AHP(계층 분석 과정)를 적용하는 것이 효과적이다. AHP 기법은 Thomas saaty에 의해 개발되었으며, 정성적 평가요소를 측정할 수 있는 척도와 의사결정 대안의 우선순위를 설정하기 위한 체계적인 방법론을 제공하여 준다. 예를 들면 2개의 정성적 평가요소를 쌍대 비교하여 정성적 평가요소의 중요도를 평가할 경우에 중요도가 같다, 조금 중요하다, 매우 중요하다 등과 같은 유연한 표

* Received 20 January 2014, revised 10 February 2014, accepted 13 February 2014.
* Corresponding author: Tel : +82-51-200-7690 Fax : +82-51-200-7697 E-mail : cskim@dau.ac.kr

현을 사용하여 정성적 평가요소의 중요도를 쉽게 평가할 수 있도록 하여 정량적 평가와 정성적 평가를 동시에 고려하여 의사결정을 할 수가 있다. 또한 계층분석과정은 의사결정자의 평가 요소에 대한 주관적 판단에 대한 논리적 일관성을 검증할 수 있는 장치가 마련되어 있으며, 다수의 의사결정자의 다양한 의견과 판단을 수치적으로 통합하여 각 대안의 우선순위를 도출하는 그룹의사결정문제(group decision making problem)에도 쉽게 적용할 수 있다.

본 연구에 활용되는 AHP 기법을 이용한 우선 순위 평가 관련 연구는 국내에서도 많이 소개되어지고 있다. Kim(2006)의 연구에서는 CRM 평가요소들을 도출하여, 우선순위를 산정하기 위해 AHP 기법을 사용하였고, Yoon S.U.(2012)는 VoIP 정보보호 점검항목의 중요도를 분석하기 위한 절차에서, 점검항목의 우선순위 도출에 필요한 가중치 산출방법에 AHP를 적용하였다. Kim(2012) 또한, 교통관리의 관점 및 전략목표를 도출하고, 가중치를 부여하기 위해서 AHP 기법을 사용하였다. Lee(2002)는 가뭄시 우선적으로 선정되어야 할 용수의 배분 우선순위를 AHP를 이용하여 합리적으로 결정하고자 시도하였으며, Paik(2013)은 기업이 자체적으로 정성적인 점검표를 통해 안전수준을 평가할 수 있도록 하는 과정에서 AHP 기법을 적용하였다. 또한 Chae(2009)는 AHP 기법을 이용하여 급경사지의 재해 취약성 평가표를 구성하는 방법

론을 제시하였다. 이외에도 많은 선행 연구에서 AHP는 다기준의 의사결정 방법론으로써 널리 사용되고 있으며 그 효과가 입증되고 있다.

본 연구에서는 AHP 기법을 활용하여 SWG 조합기술의 최적 대안을 선별하기 위한 성능평가 방법을 제시하고, 예제를 통하여 제시한 방법론을 적용한 다음, 그 타당성을 살펴보기로 한다. 2장에서는 SWG 조합기술의 성능평가 모형을 제시하고, 3장에서는 AHP 기법을 활용한 성능평가 과정을 기술하며, 4장에서 결론을 맺는다.

2. 조합기술 성능평가 모형

특정 지역에 SWG 기술을 구현한다고 할 때, 관련된 조합기술을 선정하는 것은 수자원의 확보 가능성, 안정성, 유지관리 능력, 실현가능성, 그리고 발전 지속 가능성 등의 다양한 측면을 고려해야 한다. 또한 이러한 다양한 측면을 고려한 최적 조합기술의 선정은 조합기술들이 서로 장단점을 갖는 특성이 있기에, 각 조합기술의 성능을 평가하기 위한 체계적인 성능평가 절차가 필요한 바, 본 연구에서는 최적 조합기술의 선정을 위한 평가모형을 Fig.1과 같이 제시한다.

평가의 준비단계로서 SWG 적용지역의 도시유형을 구분해야 하는데 도시유형의 구분은 입지, 규모, 발전단계 등을 고려하여 구분할 수 있으나, 성능평가에서 너무 많은 항목을 고려하면 경우의 수가 많아져서 실제 활용성이 떨어지는 바, 대표적인 검토 항목인 입지를 기준으로 내륙

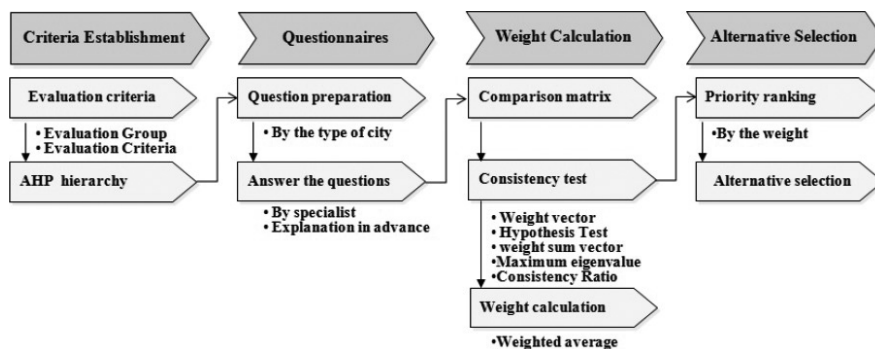


Fig. 1. Evaluation model for SWG combination technologies

형, 해안형, 섬형의 세가지 형태로만 도시유형을 구분하기로 한다.

본 연구에서는 제시하는 평가모형의 타당성을 검토하기 위해서 가상의 평가대상지와 조합 기술을 구성할 필요가 있는 바, 대상지를 해안형 신도시인 『새만금』 지역으로 설정하고, 기존의 새만금종합개발계획(Prime minister's office, 2011)과 Water Grid 지능화 기술 기획보고서 (Ministry of land, 2011)를 기준으로 SWG 조합기술 대안들을 Table 1.과 같이 형성하고, 이 조합기술들에 대하여 성능평가를 실시하도록 한다. 1안은 기존 새만금 용수공급시스템을 의미하며, 2안은 1안에서 AMI, AMR, 스마트파이프 등의 기술을 도입한 대안이며, 3안은 2안에서 하수재이용을 강화하여 수자원자립률을 높인 대안이고, 4안은 3안 대비 자체 취수원을 개발하여 수자원자립률을 높인 대안이다.

3. AHP를 이용한 성능평가

본 장에서는 AHP를 활용하여 SWG 조합기술에 대한 성능평가를 실시하는 구체적인 방안을 예제를 중심으로 소개한다.

3.1 평가요소의 선정 및 계층구조도 작성

3.1.1 평가 요소 선정

SWG 조합기술을 평가하는데 필요한 평가요소를 선정하기 위하여 관련 전문가들에 의해 SWG 조합기술의 평가항목으로써, SWG 적용 목적인 5S를 선정하였다. 즉, 수자원확보 (Security), 안정성 (Safety), 지능형 유지관리 (Solution), 실현가능성 (Suitability), 지속가능성 (Sustainability)이며, Table 2와 같이 각 평가항목별로 3가지씩의 세부 평가기준을 정의하였다.

Table 1. SWG combination technologies

	Alternative 1(ALT1)	Alternative 2(ALT2)	Alternative 3(ALT3)	Alternative 4(ALT4)
Water Supply	External	External	External + Water Reuse	External + Water Reuse + Intake Facility
AMI+, AMR++	×	○	○	○
Smart Pipe+++	×	○	○	○

+ AMI : Advanced Metering Infrastructure

++ AMR : Automatic Meter Reading(자동 검침)

+++ Smart Pipe : 파이프에 정보통신기술 및 계측기술을 융복합하여 개발한 지능형 파이프 기술

Table 2. Evaluation criteria

Criteria		Explanation of criteria
Security	Water Resource Selfsufficiency(WRS)	Self supply water use/Total water use
	Water Distribution(WD)	Water supply deviation in a region
	Active Water Resource(AWR)	(rain water+ sea water + water reuse + underground water)/total water use
Safety	Data Monitoring(DM)	Data credibility at sensor network, data security
	Trouble Shooting Time (TST)	Time reduction for detecting, decision and action in case of an accident
	Water Supply for Emergency(WSE)	Alternative water supply system for emergency
Solution	Management Efficiency(ME)	Level of asset management system, management efficiency
	Water Use Efficiency(WUE)	Water use amount against water supply capacity
	Automatic Decision Making(ADM)	Level of decision making automation system
Suitability	Economic Suitability(ES)	Cost comparison
	Technical Suitability(TS)	Realization, feasibility and stability of technique
	Organizational Suitability(OS)	Suitability against current law and institution
Sustainability	Energy Consumption(EC)	Energy consumption reduction
	Environmental Effect(EE)	Reduction of resource consumption and pollution discharge
	Customer Satisfaction(CS)	Expected level of customer satisfaction in water use

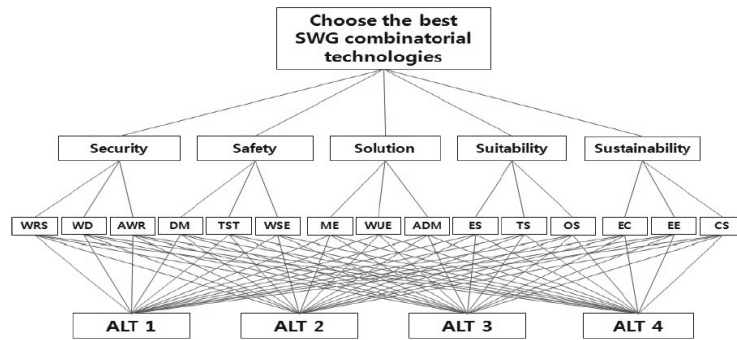


Fig. 2. AHP hierarchy for selection of SWG combinatorial technologies

What do you think of the importance of 「Security」 and 「Safety」 ?										
criteria	Importance			←	→	Importance			criteria	
Security	5	4	③	2	1	2	3	4	5	Safety

Fig. 3. An example of question

3.1.2 계층구조도

선정한 평가요소를 대상으로 문제를 구조화하고 계층화한 그림을 계층구조도라고 하는데, 본 연구에서 형성한 계층구조도는 Fig. 2와 같다. 계층1에는 목적인 조합기술 평가를 표시하고, 계층2에는 평가 항목인 5S를 표시하고, 계층3는 평가 항목별 세부 평가기준을 나타내었으며, 마지막으로 계층4에는 평가 대안인 조합기술을 나타내고 있다.

3.2 설문지 작성

각 평가요소들의 가중치를 구하기 위하여 평가요소간의 상대적 중요도를 평가해야 하며, AHP에서는 쌍대비교법이 사용된다. 쌍대비교법이란 평가요소를 2개씩 선택하여 평가요소의 상대적 중요도를 평가하는 방식이다.

설문 문항은 Fig. 3과 같이 작성되었고, 계층2에 대하여 10문항, 계층3에 대하여 15문항, 총 25개의 문항을 작성하였다.

3.3 설문 실시

설문 방법은 SWG 기술 개발 및 운용과 관련된 업무에 종사하는 전문가들을 설문 대상자로

선정하기 위하여, 과제 참여기관의 소속 전문가와 과제 세미나에 참석한 대학교수, 국가기관의 전문가, 기업의 전문가 등을 대상으로 준비된 설문지 작성법을 자세히 설명한 다음, 내륙, 해안 및 섬지역으로 구분하여 총 95건의 설문지를 수거하였다.

3.4 쌍대 비교행렬의 작성

목표로 하는 평가요소의 가중치를 계산하기 위하여 설문결과를 이용하여 계층구조도의 각 계층별 평가요소들에 대하여 쌍대비교행렬을 작성해야 한다. 예를 들어 특정 설문자의 설문 결과를 활용하여 레벨2의 평가요소인 5S에 관한 쌍대비교행렬을 작성하면 Table 3.과 같은 정방행렬이 된다.

Table 3. Comparison Matrix

	Security	Safety	Solution	Suitability	Sustainability
Security	1	1/3	1/3	1/2	1/2
Safety	3	1	1	1/3	1/2
Solution	3	1	1	1/2	2
Suitability	2	3	2	1	2
Sustainability	2	2	1/2	1/2	1

3.5 일관성 검증

AHP 기법은 평가요소들의 쌍대비교를 통하여 평가요소 간의 상대적 중요도를 용이하게 평가할 수 있다는 장점이 있는 반면, 의사결정자의 경험과 지식을 바탕으로 주관적인 판단이기에 평가요소들 간의 상대적 중요도에 대한 일관성 여부를 검토해야 한다. 예를 들면 본 연구에서의 평가항목인 Security가 평가요소 Safety보다 2배 중요하고 평가요소 Safety는 평가요소 Solution보다 3배 중요하다고 하면, 평가요소 Security는 평가요소 Solution보다 $2 \times 3 = 6$ 배 중요하게 평가되어야 한다. 그러나 의사결정자가 평가요소의 쌍대비교를 할 때 이와 같은 일관성을 완벽하게 지키기는 어려운 실정이므로 일관성 검정을 해야 하며, 그 구체적인 절차는 다음과 같다.

3.5.1 가중치벡터 산출

일관성 검정을 위한 첫 단계로서 기 작성된 쌍대비교행렬을 활용하여 각 계층의 평가요소별 가중치벡터를 응답자별로 구하는 과정이다. 가중치벡터를 구하는 방법은 여러 가지가 있지만 일반적으로 고유치방법(eigenvalue method)과 근사법 및 기하평균법등이 주로 활용되고 있다. 본 연구에서는 근사법을 활용하여 가중치벡터를 구하기로 하고, 사례로써 상기 쌍대비교행렬을 활용한 계산과정을 소개하면 다음과 같다.

- ① 먼저 쌍대비교행렬의 각 열의 합계를 구한다. 쌍대비교행렬의 열의 원소의 합을 t_j 라고 하면 각 열의 원소의 합 t_j 는 다음과 같이 표시된다.

$$t_j = \sum_{i=1}^n \hat{a}_{ij} \quad (j=1,2,\dots,n)$$

- ② 쌍대비교행렬의 원소를 각 열의 합계로 나누어 표준화행렬(normalized matrix)을 구하게 되는데, 쌍대비교행렬의 원소 \hat{a}_{ij} 를 각 열의 원소의 t_j 합으로 나눈 값을 u_{ij} 라고

하면 u_{ij} 는 아래와 같이 표현된다.

$$v_{ij} = \frac{\hat{a}_{ij}}{t_j} \quad (i,j=1,2,\dots,n)$$

- ③ 표준화행렬의 각 행의 원소의 평균을 구하여 쌍대비교행렬의 평가요소별 가중치를 구하게 되는데, 표준화행렬 i행의 원소의 합의 평균을 \hat{w}_i 라고 하면 \hat{w}_i 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\hat{w}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_{ij} \quad (i=1,2,\dots,n)$$

위 식에서 구한 \hat{w}_i 가 쌍대비교행렬의 평가요소 i의 가중치이며, 구한 가중치들의 합 $\hat{w}_1 + \hat{w}_2 + \dots + \hat{w}_n = 1$ 이 되고, 벡터 $\hat{w}_i = (\hat{w}_1 \hat{w}_2 \dots \hat{w}_n)^T$ 이 쌍대비교행렬의 가중치벡터가 되며, 그 결과는 Table 4.와 같다.

Table 4. Priority weight

	Security	Safety	Solution	Suitability	Sustainability
Priority weight	0.0930	0.1634	0.2252	0.3382	0.1802

3.5.2 가설 설정

쌍대비교행렬의 일관성을 검증하기 위한 가설은 다음과 같다.

귀무가설(H_0) : 평가요소에 대한 평가는 무작위로 이루어졌다.(일관성 없음)

대립가설(H_1) : 평가요소에 대한 평가는 무작위로 이루어지지 않았다.(일관성 있음)

3.5.3 가중치합 벡터 도출

상기 쌍대비교행렬(\hat{A})과 가중치벡터(\hat{w})를 사용하여 해당 평가요소의 가중치합 벡터 \hat{s} 를 구하면 다음과 같다.

$$\hat{A} = \begin{pmatrix} 1 & 1/3 & 1/3 & 1/2 & 1/2 \\ 3 & 1 & 1 & 1/3 & 1/2 \\ 3 & 1 & 1 & 1/2 & 2 \\ 2 & 3 & 2 & 1 & 2 \\ 2 & 2 & 1/2 & 1/2 & 1 \end{pmatrix} \quad \hat{w} = \begin{pmatrix} 0.0930 \\ 0.1634 \\ 0.2252 \\ 0.3382 \\ 0.1802 \end{pmatrix}$$

$$\hat{s} = \hat{A}\hat{w}$$

$$= \begin{pmatrix} 1 & 1/3 & 1/3 & 1/2 & 1/2 \\ 3 & 1 & 1 & 1/3 & 1/2 \\ 3 & 1 & 1 & 1/2 & 2 \\ 2 & 3 & 2 & 1 & 2 \\ 2 & 2 & 1/2 & 1/2 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0.0930 \\ 0.1634 \\ 0.2252 \\ 0.3382 \\ 0.1802 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4818 \\ 0.8705 \\ 1.1972 \\ 1.8252 \\ 0.9747 \end{bmatrix}$$

3.5.4 최대 고유치 추정

가중합벡터의 원소를 상응하는 상대적 우선순위 값으로 나누어서 평균을 구하면 이것이 최대 고유치 추정치인 λ_{\max} 가 된다. 단, n은 쌍대비교 행렬 \hat{A} 의 차원이다.

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\hat{s}_i}{\hat{w}_i} = \frac{1}{5} \left(\frac{0.4818}{0.0930} + \frac{0.8705}{0.1634} + \frac{1.1972}{0.2252} + \frac{1.8252}{0.3382} + \frac{0.9747}{0.1802} \right) = 5.3257$$

3.5.5 일관성지수

쌍대비교행렬 \hat{A} 의 일관성지수 CI(Consistency Index)는 다음과 같이 계산된다.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{5.3257 - 5}{5 - 1} = 0.0814$$

3.5.6 일관성비율

일관성지수를 바탕으로 상기 쌍대비교행렬의 일관성비율(CR, Consistency Ratio)을 계산하면 다음과 같다.

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.0814}{1.12} = 0.0727$$

여기서 RI는 확률지수(random index)로써, Saaty가 제시한 확률지수는 쌍대비교행렬의 차원 n에 따라서 Table 5.과 같이 알려져 있다.

Table 5. Random Indices

n	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

이렇게 구한 쌍대비교행렬의 일관성비율 CR이 0.1 미만이면 귀무가설은 기각되어 쌍대비교행렬은 일관성이 있다고 판정되고, 일관성비율 CR이 0.1 이상이면 쌍대비교행렬은 일관성이 없다고 판정한다. 본 연구에서는 일관성이 있다고 판단된 설문 결과들만을 평가요소의 가중치 결정에 활용하였다.

3.6 평가요소별 가중치 계산

다수의 응답자로부터 수집된 평가요소별 유효 응답 설문결과를 기하평균하여 각각의 쌍대비교값을 단일화 시키고, 단일화된 결과를 활용하여 3.5절에서와 같은 방식으로 가중치를 구하면 내륙, 해안, 섬의 도시유형별 가중치는 Table 6., Table 7., Table 8과 같다.

Table 6. Priority weight by criteria(Inland)

criteria	weight	criteria	weight
Security	0.18	WRS	0.394
		WD	0.274
		AWR	0.333
Safety	0.201	DM	0.256
		TST	0.386
		WSE	0.358
Solution	0.213	ME	0.308
		WUE	0.436
		ADM	0.256
Suitability	0.236	ES	0.330
		TS	0.358
		OS	0.312
Sustainability	0.17	EC	0.358
		EE	0.284
		CS	0.358

Table 7. Priority weight by criteria(Seashore)

criteria	weight	criteria	weight
Security	0.255	WRS	0.373
		WD	0.251
		AWR	0.377
Safety	0.269	DM	0.256
		TST	0.359
		WSE	0.385
Solution	0.141	ME	0.348
		WUE	0.392
		ADM	0.26
Suitability	0.18	ES	0.401
		TS	0.311
		OS	0.289
Sustainability	0.155	EC	0.298
		EE	0.338
		CS	0.364

Table 8. Priority weight by criteria(Island)

criteria	weight	criteria	weight
Security	0.225	WRS	0.369
		WD	0.312
		AWR	0.319
Safety	0.304	DM	0.297
		TST	0.267
		WSE	0.437
Solution	0.143	ME	0.365
		WUE	0.395
		ADM	0.240
Suitability	0.175	ES	0.357
		TS	0.338
		OS	0.305
Sustainability	0.155	EC	0.377
		EE	0.285
		CS	0.338

3.7 대안별 평가치 계산 및 우선순위 판정

각 평가기준에 대하여 대안별로 평가치를 계산하기 위하여 조합기술에 대한 충분한 이해와 경험을 가진 평가위원으로 부터 해당 조합기술을 15가지의 각 평가기준별로 10점 만점 기준으로 점수화하고, 이 점수에 3.6절에서 도시유형별로 설정한 평가요소별 가중치를 활용하여 가중합을 구하면 최종 평가치(가중평균치)가 산출되며, 평가치가 가장 큰 값부터 차례로 우선순위를 할당받게 된다.

3.8 평가모형의 타당성 평가

본 연구에서 평가 대안으로 활용한 Table 1의 4가지 SWG 조합기술은 5S 관점 및 경험적 관점에서 '대안4'가 가장 좋은 조합기술이며, '대안1 < 대안2 < 대안3 < 대안4' 순으로 평가되어야 마땅하다. 타당성 평가에 활용된 Table 1의 평가 대안은 해안지역인 새만금지역에 대한 SWG 조합기술이므로, Table 7의 해안지역 가중치를 활용하였고, SWG 분야의 전문가 20명이 본 연구에서 제시한 평가모형을 준용하여 평가를 실시한 결과, 20명 중 2명의 평가 결과만이 기대한

우열순위로 평가되지 않았다. 결론적으로 본 연구에서 제시한 평가모형에 대한 타당성 검토 결과에서 적합도 90%(18/20)로서 만족할 만한 수준을 나타내었다.

4.결론

본 연구에서는 물 복지 선진 국가 실현 및 물 산업 해외시장 진출을 위한 기반기술 구축을 비전으로 세계 최고수준의 SWG 기술을 확보하고 적용하기 위한 기반 기술로써, 특정 도시유형에 적합한 SWG 기술들의 조합내용을 평가하기 위한 평가방법을 AHP 기법을 활용하여 개발하였다. 도시의 유형을 내륙, 해안, 섬 3가지로 구분하고, 각각의 도시유형별로 설문을 통하여 평가요소별 상대적 중요도를 파악하였으며, 이를 기반으로 평가요소별 가중치를 결정하였고, 결정된 가중치는 최적 조합기술을 선별하기 위한 가중평균치 계산에 활용되었다. 또한 본 연구에서 제시된 평가방법에 대한 타당성 여부를 검증하기 위하여 가상의 4가지 조합기술에 대한 성능 평가를 실시한 결과, 비교적 높은 수준의 적합도를 나타내었다.

본 연구에서는 SWG 관련 전문가를 대상으로 입수한 총 95매의 설문지가 활용되었는데, 이는 실제 모집단의 규모에 비하여 비교적 적은 표본 수여서 결론에 대한 위험부담이 클 수 있다는 우려가 있을 수 있다. 그러나 각 문항별 데이터가 표본크기 30개 이상인 표본평균을 이용하였으므로 중심극한정리(central limit theorem)가 적용될 수 있는 상황이라고 판단되는 바, 통계적 의미가 있다고 사료된다.

본 평가기준에 활용된 평가요소는 시대적 상황과 기술의 변화 추이 등에 따라 추가, 삭제, 변경되어야 하며, 각각의 가중치 또한 필요에 따라서 새롭게 재설정되어야 하는 바, 향후 SWG 조합기술 성능평가 기준의 지속적인 갱신방안 (updating mechanism)에 대한 추가적인 연구가 필요할 것이다.

사 사

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(12기술혁신C01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- Chae B.G., Cho Y.C., Song Y.S., Seo Y.S. (2009), Development of an evaluation chart for landslide susceptibility using the AHP analysis method, *The Journal of engineering geology*, 19(1), pp. 99-108
- Kim D.Y., OH H.U. (2012), Establishment of traffic management strategies based on AHP, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 32(6), pp. 533-538
- Kim H.S., Park C.W. (2006), Establishing the importance weights of CRM evaluation factors through AHP analysis, *CRM research*, 1(1), pp. 3-22
- Lee H.J., Shim M.P. (2002), Decision making for priority of water allocation during drought by analytic hierarchy process, *Journal of Korea Water Resources Association*, 35(6), pp. 703-714
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (2011), *Water Grid Intelligent Planning Report*, pp. 1-2
- Paik S.W., Lee M.S. (2013), A study on the method of Safety Condition Evaluation using Analytic Hierarchy Process, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 55(3), pp. 85-89
- Prime Minister's Office, Ministry of Strategy and Finance, Ministry of Education, Science and Technology, Ministry of Public Administration and Security, Ministry of Culture, Sports and Tourism, Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Ministry of Knowledge Economy, Ministry of Environment, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Jeollabuk-do (2011), *Saemanguem Master Plan*
- Yoon H.C. (2012), An element technique development for the application to Smart Water Grid, *A thesis for a master degree of Busan national university*
- Yoon S.U., Park H.R., Yoo H.S. (2012), Factor analysis of VoIP security checklists using AHP, *Journal of the Korea Institute of Information Security & Cryptology*, 22(5), pp. 1115-1122