



복합발전 플랜트 안전문화 진단을 위한 시스템 다이내믹스 모델링 및 통합도구 개발 연구

†최재우 · 엄성인 · 홍인기

(주) 아스프

(2017년 5월 15일 접수, 6월 25일 수정, 2017년 6월 26일 채택)

Development of System Dynamics Model and Integrated Tool for Safety Culture Diagnosis of a Combined-Cycle Power Plant

†Jaewoo Choi · Sungin Um · Inki Hong

ASP Corp., Korea

(Received May 15, 2017; Revised June 25, 2017; Accepted June 26, 2017)

요약

기업의 안전문화 측정에 있어 다양한 방법들이 시도되고 있으나, 평가방법에 따라 정형화되지 못한 주관적인 기준에 따른 정성적 분석결과를 도출하는 한계를 보인다. 이에, 복합발전 플랜트에 적용할 수 있는 설문지를 개발하고, 이 결과를 기반으로 시스템 다이내믹스 모델을 이용하여 평가결과의 정량화를 하였고, 다양한 시나리오를 통한 시뮬레이션을 실시하여 안전문화 측정과 함께 기업의 미래 안전문화 정책에 기준을 제시 하고자 하였다.

Abstract - Although various methods have been tried to measure the safety culture of firms, they are limited to derive the qualitative analysis results according to the subjective criteria that are not formalized according to the evaluation method. We developed a questionnaire that can be applied to a combined power plant, quantified the evaluation results using the system dynamics model based on the results, and conducted simulation through various scenarios. And to present the criteria for safety cultural policy.

Key words : safety culture, system dynamics, total software

1. 서론

시스템 다이내믹스는 다층적이고 상호 복합적인 사회적 변수를 논리적으로 재구성하여 현실 사회와 매우 유사하게 컴퓨터상에 구현함으로써 현실에서 생각할 수 있는 가설들을 아무런 실제의 손실 없이 시행해 볼 수 있는 기법이다. MIT에서 1960년대 초에 개발되어 각종 국가 정책 개발대외문제, 사회집단간의 갈등 해소 방안 및 새로운 제도와 정책의

채택에 따른 영향 분석 등에 많이 활용되고 있다. 시스템 다이내믹스는 다른 방법론과 구별되는 몇 가지 특징을 가지고 있다. 첫째, 시스템 다이내믹스는 종속변수와 독립변수를 구별하지 않는다. 변수들 간의 상호 영향관계에 초점을 두기 때문에, 독립변수로 다루어진 변수들도 종속변수의 영향으로 변화할 수 있다. 또한 독립변수들 간의 독립성을 배제하고, 종속변수들의 상호 영향관계를 상정한다. 둘째, 시스템 다이내믹스의 방법론적 위상은 단석적인 인과관계가 아닌 순환적인 인과관계에 기초하고 있다는 점, 그리고 정태적인 분석이 아닌 동태적인 분석을 수행할 수 있다는 점에서 기존의 단선적이

†Corresponding author:cjwmsg@gmail.com

Copyright © 2017 by The Korean Institute of Gas

고 정태적인 연구방법에 비해 고유한 위상을 갖는다고 할 수 있다. 셋째, 시스템 다이내믹스 기법은 사건 중심의 기법이 아니라 오히려 문제의 구조적 특성을 파악한 후 처방을 실시한다. 시스템 다이내믹스가 피드백 구조를 찾으려 하는 것도 문제의 구조를 밝히는데 초점을 두었기 때문이다.

는 8가지 요인들 중 ‘안전참여’의 평균이 4.12로 가장 높게 나타났으며, 다음으로는 관리층의 안전의지(3.97), 교육훈련(3.88) 순으로 높게 나타났다. 반면에 ‘작업부담 통제’요인의 평균은 2.87로 가장 낮게 나타나 직원들이 작업시간과 업무량에 많은 부담을 느끼고 있는 것으로 파악되었다.

II. 구성

2.1 설문조사

복합발전 플랜트 직원들의 안전에 대한 인식, 태도를 파악하여 안전문화 영향관계를 규명하기 위해 Table 1에 보인 요인들을 중심으로 조사하였고, Likert형 5점척도 (① 전혀 아니다~⑤ 매우 그렇다)로 측정하였다.

또한, 경영진과 근로자용으로 나누어 설문지를 작성하여 안전문화 측정에 계층간 결과를 분석하였다.

2.2 통계분석

(1) 요인별 평균 비교

복합발전 플랜트의 안전문화 영향관계를 설명하

(2) 신뢰도 분석

신뢰도 분석에서는 둘 이상의 개념이나 예측변수들의 집합에 대한 신뢰성 측정을 위하여 사용되는 Cronbach's α 계수를 살펴보았다. 일반적으로 Cronbach's α 값이 0.6 이상이면 신뢰성이 있는 것으로 간주한다. 복합발전 플랜트의 안전문화 영향관계 모델은 경영층의 안전의지(5항목), 안전자원 지원(3항목), 의사소통(3항목), 규정의 품질(6항목), 교육훈련(4항목), 작업부담 통제(5항목), 안전참여(3항목), 준수행동(3항목) 8가지 요인으로 구성되어 있다. 각 요인들에 대한 항목 수와 그에 따른 신뢰도 분석결과를 제시한 Table 3에서 보는 바와 같이 모든 변수의 Cronbach's α 계수가 0.6 이상을 상회

Table 1. Definition of safety culture factors

Factor	Description
경영층의 안전의지	경영진이 안전규정을 준수하도록 기대하면서 강조하는지에 대한 직원들의 인식
의사소통	상사와 부하직원 간 안전사항에 대하여 서로 부담 없이 얘기하고 있는지에 대한 직원들의 인식
안전자원 지원	안전한 작업수행을 위해 필요한 인원과 장비·도구의 지원이 적절한 지에 대한 직원들의 인식
교육훈련	직원들이 해당 작업과 관련한 유해위험요인, 안전작업방법, 안전장비의 사용방법을 숙지하고 있는지에 대한 직원들의 인식
안전규정 품질	안전한 작업수행을 위해 필요한 규정·표준이 갖추어져 있고 준수하기에 적절하며 실제로 활용하고 있는지에 대한 직원들의 인식
작업부담 통제	안전한 작업수행을 위해 작업시간과 업무량에 여유를 느끼는지에 대한 직원들의 인식
안전참여	안전 활동에 자발적으로 참여하고 있는지에 대한 직원들의 인식
준수행동	실제 작업 시 안전규정과 절차를 준수하고 있는지에 대한 직원들의 인식

Table 2. Result of average analysis by factors

Factor	avg.	std. deviation
관리층 안전의지	3.97	0.49
안전자원 지원	3.67	0.61
의사소통	3.81	0.55
교육훈련	3.88	0.47
규정 품질	3.68	0.53
작업부담 통제	2.87	0.71
안전참여	4.12	0.51
준수행동	3.62	0.57

하는 것으로 나타났기 때문에 측정변수의 신뢰성에는 문제가 없음을 확인하였다.

(3) 탐색적 요인분석

탐색적 요인분석(Exploratory Factor Analysis; EFA)은 변수들 간의 구조를 조사하고 통계적 효율성을 높이기 위한 목적으로 변수의 수를 줄이기 위한 방법으로 사용된다. 탐색적 요인분석은 변수와 요인의 관계가 이론상으로 체계화되지 않거나 논리적으로 정립되지 않은 상태에서 이용한다. 즉, 아무런 사전 정보없이 분석이 이루어지기 때문에 조사자가 데이터를 분석하기 전까지는 요인에 대한 통제가 불가능하며 요인의 수에 대해서도 알 수 없고, 요인이 어떤 항목으로 묶일지도 예측할 수 없다.

이런 특성 때문에 새로운 구성개념의 척도 개발처럼 가설을 세우기에 충분한 증거들이 없을 때 주로 사용된다. 또한 본 복합발전 플랜트 안전문화 영향관계 모델은 요인의 복잡성으로 인하여 경로분석(Path Analysis)을 수행하는 것이 효과적인 분석방법이다. 따라서 측정도구의 타당성 검증을 위하여 탐색적 요인분석만을 수행하는 것으로 충분히 타당성을 검증할 수 있으며 별도로 확인적 요인분석(Confirmative Factor Analysis; CFA)을 수행할 필요가 없다. 이에 따라 본 복합발전 플랜트 안전문화 설문문항들이 어떻게 묶이는지를 검토하기 위하여 탐색

Table 3. Reliability analysis result

Factor	Q. No.	Cronbach α
관리층의 안전의지	5	0.860
안전자원 지원	3	0.692
의사소통	3	0.761
교육훈련	4	0.821
작업부담 통제	5	0.843
규정 품질	6	0.894
안전 참여	3	0.753
준수행동	3	0.837

적 요인분석을 수행하였다. 요인추출방법은 여러 변수들의 분산, 공분산 구조를 소수의 변수들의 선형 결합을 통해 관련성을 설명하는 주성분분석(principal components analysis) 기법을 사용하였다. 그리고 요인회전은 베리맥스(varimax) 방법을 사용하였다.

입력한 자료가 요인분석을 위해 적절한 자료인가를 검정하는 KMO와 Bartlett의 검정 결과를 살펴 보았다. 먼저 요인들에 의한 변수들의 분산비율을 나타내는 표본 적절성의 Kaiser Meyer Olkin 측도 값은 0.869로 나타나 적절한 것으로 파악되었다. 이 값은 1에 가까울수록 요인분석에 적합한 자료임을 의미하며 일반적으로 0.5 이상이면 적합한 것으로 간주한다. 또한 Bartlett 구형성 검정결과, 유의확률이 0.000으로 나타나 요인분석에 적절한 자료의 상관계수행렬로 판단하여 요인분석을 수행하였다.

(4) 상관관계 분석

안전문화 요인간 상관관계 분석결과[1], Table 4와 같다.

(5) 경로분석

초기 설계된 요인들 중 신뢰도와 타당도를 확보하지 못한 요인들을 제외한 8개의 안전문화 요인들은 다음 Fig. 1.에서 보는 바와 같은 영향관계를 갖는 것으로 모형을 설계하였다.

Table 4. Correlation & descriptive statistics quantity of the primary variables

요인	경영층 안전의지	안전자원 지원	의사소통	작업부담 통제	규정 품질	준수 행동	안전 참여	교육 훈련
경영층 안전의지	1							
안전자원 지원	.473**	1						
의사소통	.650**	.416**	1					
작업부담 통제	.360**	.404**	.441**	1				
규정 품질	.621**	.477**	.546**	.473**	1			
준수 행동	.478**	.422**	.477**	.497**	.524**	1		
안전 참여	.159*	-.016	.159*	.014	.092	.155*	1	
교육 훈련	.158*	.151	.201**	-.006	.109	.094	.363**	1

** 상관계수가 0.01 수준에서 유의하다(양측).
 * 상관계수가 0.05 수준에서 유의하다(양측).

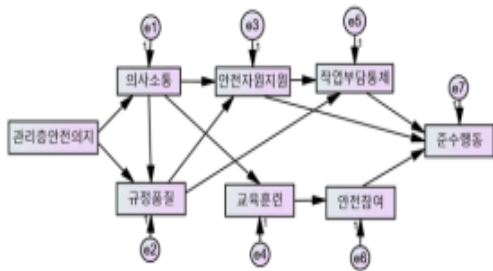


Fig. 1. Safety culture relation analysis model.

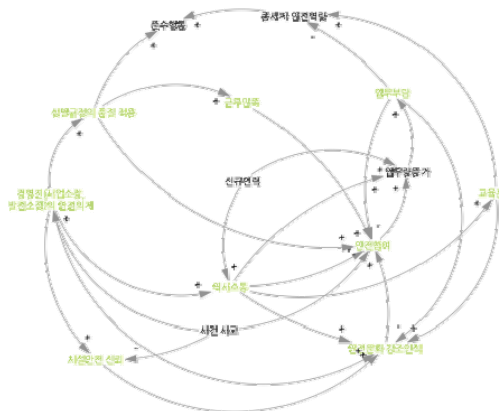


Fig. 2. Casual Loop.

2.3 시스템 다이내믹스 모델링

설문조사 결과와 설문조사에 대한 통계분석을 이용하여 시스템 다이내믹스(System Dynamics, 이하 SD) 모델을 구축하였다. 설문조사 결과에 근거하여 구조방정식 모형 분석을 통해 복합발전 플랜트의 안전문화 요인의 영향관계와 요인별 상관계수, 그리고 주요변수들을 확정하였으며, 각 변수들의 영향관계는 Fig. 2와 같이 전체적인 모델의 인과지도로 나타내었다. 이 인과지도를 토대로 각 주요변수들에 대한 세부 모델을 디자인 하였으며, 그 중 주요 변수들의 시스템 다이내믹스 모델을 살펴본다.

각 요인들 간의 전체적인 상관관계를 나타낸 인과지도에서 중요 요인 중 하나인 경영자관심에 대한 SD 모델을 Fig. 3.에 보인 것과 같이 디자인하였다.

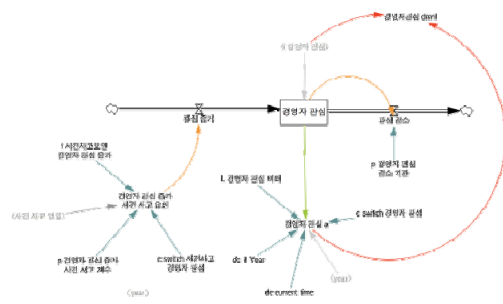


Fig. 3. SD Model of 'Leadership of manager/supervisor'.

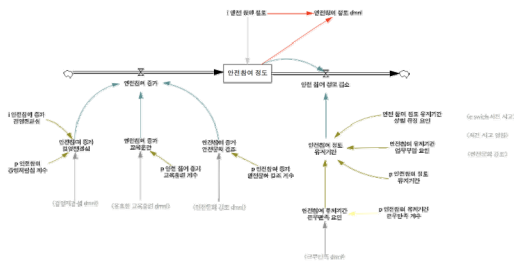


Fig. 4. SD Model of 'safety participation'.

경영자관심에 대한 SD 디자인의 핵심은, 사건·사고의 유무, 정도차이 그리고 시간에 따라 관심의 정도에 어느 정도의 영향을 미치는가를 계산하는 것이다. 이를 위해 'p 경영자 관심 증가 사건 사고 계수'를 이용하여 그 영향정도를 계산 하도록 하였고, 'c switch 사건사고 경영자 관심'과 'c switch 경영자 관심' 변수를 활용하여 모델을 Stock and Flow Diagram(SFD)화 하였다. 전체적으로 경영자관심은 관심증가-관심감소로 계산되며, 관심증가는 조건문을 이용하여 c switch 사건사고 경영자 관심이 0일 때, i 사건사고요인 경영자 관심 증가로 대체되며, 그렇지 않을 경우, i 사건사고요인 경영자 관심증가와 (사건사고 영향^p)경영자관심 증가(사건 사고 계수)와의 곱으로 입력된다. 반면 관심감소의 경우 IF THEN ELSE(year<dc current time, 경영자관심, IF THEN ELSE(c switch 경영자관심=0, 경영자관심, L 경영자 관심 미래(year/dc 1 year)))와 같이 구성된다.

Fig. 4.에 보인, 안전참여 SD 모델은 경영자관심, 교육훈련, 그리고 안전문화강조 요인의 영향을 받아 증가하는 구조이며, 근무만족, 업무부담, 그리고 상벌 규정의 영향을 받아 감소하는 구조로 설계되었다.

시설안전 신뢰 요인의 경우 Fig. 5.에서 보인 것과 같이 디자인하였다.

시설안전신뢰는 경영자관심과 사건사고에 영향을 받아 증가하는 구조로 되어 있으며, 신뢰유지기간에 따라 감소하는 구조로 이루어져 있다. 신뢰유지기간은 현장의 유해위험 인식에 따라 영향을 받는 구조로 설계 되었으며, 유해위험인식이 높을수록 신뢰유지기간은 짧아진다.

2.4 안전문화 요인별 평가 데이터베이스

설문조사와 SD 시뮬레이션을 통한 결과를 정량

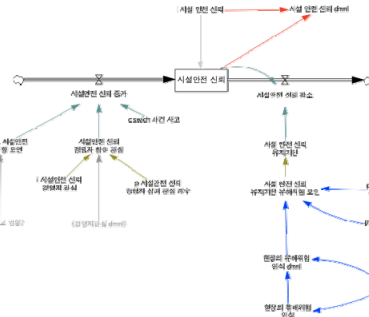


Fig. 5. SD Model of 'Facility safety trust'.

화된 값으로 나타내는 것에 더하여 각 요인별 단계별 평가내용을 표시해 주기 위해 제한사항들을 모든 결과에 대응하는 내용으로 작성하여 데이터베이스(DB)화 하였다. 이는 안전문화측정 통합 도구(s/w)에 함께 플러그인화 하여 사용자가 쉽게 평가내용을 이해하여 현재 측정 기업의 안전문화 수준 평가는 물론 앞으로의 안전문화 정책을 펼치는데 상당한 도움이 될 수 있다.

2.5 시나리오

2.3에서 서술한 시스템 다이내믹스 모델을 기초로 각 시나리오를 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션의 시간관련 변수인 'Time'은 월(Month)을 사용하였으며, 시뮬레이션 기간은 5년(60개월)으로 하였고, 월 단위로 실행하였다. 현재 시나리오는 총 8가지들 미리 구성하여 사용하였다. ①경영진의 안전문화에 대한 관심이 현재대비 10% 상승하였을 때, ②20% 상승하였을 때, ③-10% 감소하였을 때, ④-20% 감소하였을 때, ⑤사건사고 발생 시 경영진의 적극적인 사후복구 참여 vs 그렇지 않을 경우, ⑥경미한 사건사고가 발생하여 3개월간 지속되었을 때, ⑦중대한 사건사고가 발생하여 10개월간 지속되었을 때, ⑧교육훈련을 현재 대비 2배, 4배 증가하였을 때와 같다.

III. 통합 도구

II절에서 단계별로 수행한 방법들을 아래 Fig. 6.에 나타낸 수행절차로 안전문화 측정 통합 소프트웨어를 제작하였다.

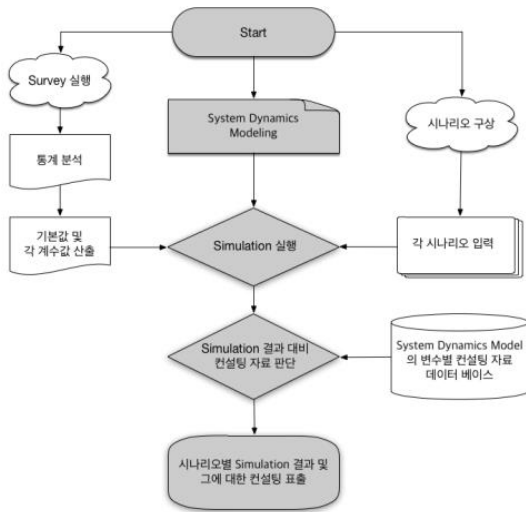


Fig. 6. Flow chart of Safety Culture Measurement software.

기존의 안전문화 측정의 경우 설문조사를 통한 컨설턴트의 자체 기준으로 결과를 단계별로 도출하였다면, 이 통합 소프트웨어의 경우 설문조사부터 SD 시뮬레이팅을 이용하여 정량화된 수치와 컨설팅 데이터베이스에서 도출되는 결과까지 one-pass로 수행할 수 있다. Fig. 7.~11.까지 통합 소프트웨어의 실행을 살펴본다.

Fig. 7.에서 보이는 화면은 선제작하여 입력한 설문조사로 경영진용과 근로자용으로 나누어 선별적인 조사를 실시할 수 있다. 정기적인 평가를 진행하여 평가일별로 결과를 저장하는 것 또한 가능하다. 그리고, 관리 계정으로 접속하여 설문조사 실시, 평가 등을 제어할 수 있게 설계하였다.

Fig. 8.은 경영진용과 근로자용 설문조사를 실시하는 화면을 보여준다. 각 항목별 설문을 화면에 나타내 쉽게 0~5점 척도에서 선택하여 평가에 참여할 수 있으며, 결과는 자동 계산 되어, 평가 결과 화면에 나타난다.

설문조사의 결과를 보여주는 Fig. 9.는 해당 설문조사 결과에 대응하는 점수와, 그에 적절한 컨설팅 데이터가 출력이 된다.

Fig. 10.에서 보이는 것은 시나리오별 시뮬레이션의 결과로서, 설문조사 실시 시점에서 앞으로 60개월(5년)간의 변화사항을 볼 수 있게 설계 하였고,



Fig. 7. Survey management.

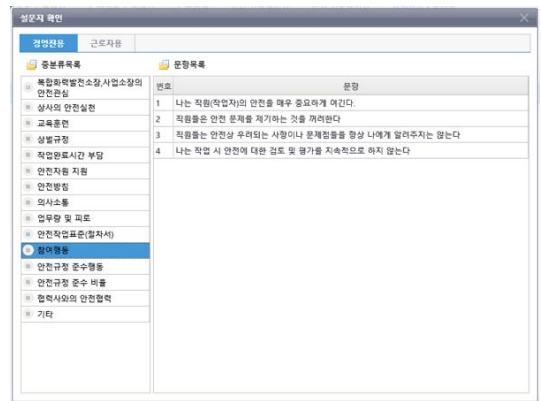


Fig. 8. Conduct a survey.

또한 그 요인대비 다른 요인들이 영향을 받는 변화를 선택적으로 살펴볼 수 있다. Fig. 10.에서 시나리오 1을 선택하여 '경영자의 안전문화에 대한 관심'을 현재대비(설문조사 결과) 10%를 상승시켰을 때, 향후 5년간의 지표를 그래프로서 나타내 막대그래프의 현재 수준과 쉽게 비교를 할 수 있으며, 또한 다른 요인들을 선택하여 그 변화추이를 살펴볼 수 있다.

자체 제작한 평가 데이터베이스를 이용하여, 각 요인들에 대한 평가내용도 디스플레이 되어, 사용자가 쉽게 이해할 수 있도록 하였다.

또 다른 시나리오에 대한 데모 화면을 Fig. 11.에 보였다. 이 시나리오는 안전교육훈련을 현재 대비 4배로 상승시켰을 경우, 다른 요인들에 주는 영향 관계를 보여준다. 이 결과에 의하면, 년 50시간의 교육훈련대비 년 200시간의 교육훈련은 역효과를 보인다는 사실을 쉽게 파악할 수 있다.

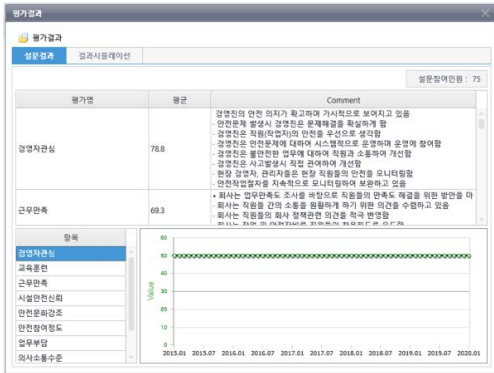


Fig. 9. Result of a survey.



Fig. 11. Simulation result of scenario #2.

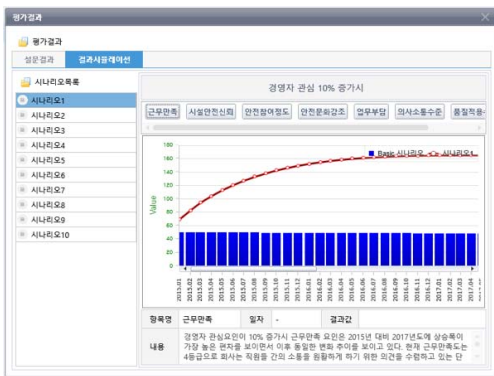


Fig. 10. Simulation result of scenario #1.

IV. 결론

개발된 설문지 설문조사, 시스템 다이내믹스(SD) 모델, 그리고 시뮬레이터를 하나의 소프트웨어로 통합 제작하여, 복합발전 플랜트 조직의 안전문화 의식을 정량화하여 구성원의 안전문화 의식 및 관행 개선이 가능하다. 복합발전 플랜트 리스크(Risk) 요소에 대한 안전향상 방향을 명확하게 정립 가능하다. 복합발전 플랜트에 대한 안전평가 도구로서 체계적이며 간편하게 안전개선 방법 제시가 가능하다. 평가 결과에 대한 체계적 관리로 평가 효율성 제고 등의 측면이 있다.

다음 단계로, 주요 요인을 선별 추가하여 SD 모델의 강화가 필요하며, 사용자의 관심을 파악하여 다양한 시나리오의 설계, 업데이트를 실시할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 2017년도 산업통산자원부의 연구비 지원) 1) 지원으로 수행되었으며, 지원에 감사를 드립니다.

사용기호

그리스 문자

α : Cronbach's 계수

REFERENCES

- [1] Choi, J. W., Um, S. I., Hong, I. K., "Analysis of the Mediated Effects for the Organization Factors in a Combined-Cycle Power Plant", KIGAS, 20(3), 22-29, (2016)
- [2] Woo, J. P., Concept and understanding of structural equation model, HanNaRae, (2015)

1) 과제번호 20141010101850