

시스템 엔지니어링 프로세스 모델에 기반한 인지 시스템 설계 프로세스 연구

차우창*, 나두완, 최용진, 이지영
금오공과대학교 산업공학부

A Study of Systems Engineering Process Model For the Cognitive Interface Design Process

Woo Chang Cha, Doo Wan Ra, Yong Jin Choi, Ji Young Lee
School of Industrial Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gumi, 730-701

Abstract : The aim of this study is to propose the design process suitable for developing the cognitive interface considering system engineering process (SEP) models. Due to the cognitive workload in an operation of HMS, some cognitive interfaces have been developed. It is somehow difficult to use the developed cognitive interface in real working environment since they often showed a conflict to stereotyped interface. So it is necessary to develop the design process suitable for the more operator-specific interface. Various SEP models were reviewed for selecting the suitable design process which might resolve the problem from design-specific interface. The suitable process for designing cognitive interface was proposed considering currently usable SEP models. The findings from the study may be helpful for systematic approach to designing cognitive interface in digitalized environment. The proposed design process would be applied for easily employing the cognitive interface in digitalized working environment such as main control room in nuclear power plant.

Key Words : SEP, Cognitive interface, Design process

* corresponding author : Woo Chang Cha, Kumoh National Institute of Technology, chaw@kumoh.ac.kr

* This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

시스템은 목적을 수행하기 위해 구성된 여러 요소들, 즉 사람, 제품 및 프로세스의 통합된 결합체로 기술의 발전과 더불어 그 구성과 기능이 매우 복잡하고 다양하다. 시스템공학(systems engineering, SE)은 이러한 시스템을 분석하고 설계하며 제작하는 과정(process)을 말한다. 일반적으로 시스템을 분석하거나 설계하는 과정은 순환적(iterative)이고 통제가능하며(controlled) 하향식(top-down)으로 진행되는 문제해결(problem solving)을 위한 과정으로 여러 시스템공학 기술에 기초하여 진행된다. 이와 같은 과정의 예로 데밍의 PDCA (Plan-Do-Check-Act) 관리 사이클이나 소프트웨어 개발프로세스, 제품수명관리(PLM) 등이 있다. 데밍의 관리 사이클이나 소프트웨어 개발프로세스의 순환적 개념은 시스템엔지니어링 과정과 매우 흡사하여 시스템 설계에 효과적으로 적용할 수가 있다.

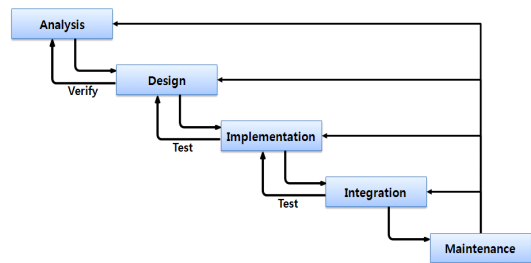
시스템엔지니어링프로세스(System Engineering Process, SEP)는 디지털환경과 같이 시스템설계의 변동이 잦고 다양하며 설계 프로세스 간 상호작용적으로 복잡한 인간기계시스템의 설계에 유효하게 사용될 수 있다. 특히 디지털 원전 주 제어실의 인터페이스 설계는 디지털 정신모형에 기반한 인적 오류를 줄이기 위해 인지적 인터페이스의 도입 등 다양한 시도를 하고 있는데 인간공학적 확인 및 검증(Verification and Validation, V&V)의 실효성을 위해 시스템공학프로세스(SEP)의 도입이 필요하다고 하겠다.

2. 시스템 엔지니어링 프로세스

점차 디지털화되고 있는 인간기계시스템에서 소프트웨어 개발과정은 시스템 개발과정과 유사하게 진행되고 있다. 폭포수모델, V 모델, 나선형모델 등과 같은 소프트웨어 개발프로세스를 구성하고 있는 여러 단계들의 진행은 시스템개발 프로세스와 같이 자체적으로 반복적이고 순환적인 개발 과정을 가지

고 있다.

Figure 1과 같이 소프트웨어 개발프로세스의 기본모델로 알려진 폭포수 모델은 소프트웨어 디버깅과 같이 소프트웨어를 제작하기 위해서 분석-설계-장착-평가-운영의 각 단계별 진행 시 오류발생으로 인해 수정을 하는 검증(verification) 과정과 소프트웨어 테스트와 같이 최종 요구사항을 만족하는 지를 평가하는 확인(validation)과정을 거쳐 오류가 제거될 때까지 전 단계들을 하향식(top-down)으로 반복적 수행을 진행한다.



[Figure 1] Software Development Process[1]

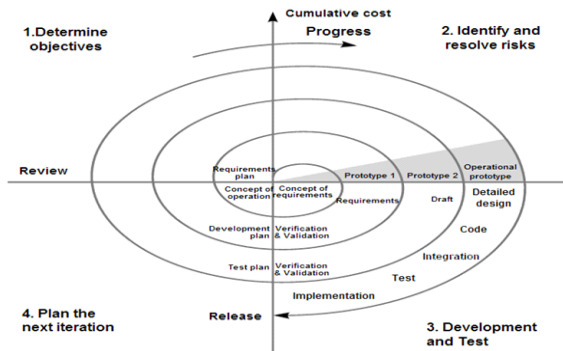
하지만 전 단계로 feedback이 어렵다는 것이 폭포수 모델의 단점으로 나타난다. 이를 보완하기 위해 제시된 모델이 바로 사시미(sashimi) 모델이다.



[Figure 2] Sashimi model

사시미 모델은 Figure 2와 같이 생선회를 겹쳐 내놓은 듯이 생겼다 하여 이름 붙여진 것으로 “겹친 단계를 가진 폭포수 모델” 또는 “피드백이 있는 폭포수 모델” 이라고 인용되곤 한다. 폭포수 모델과 사시미 모델이 단순한 직선적인 개발 접근 방법이라면 Figure 3의 나선형 모델은 개발 단계를 반복적으로 수행함으로써 점차적으로 완벽한 개발

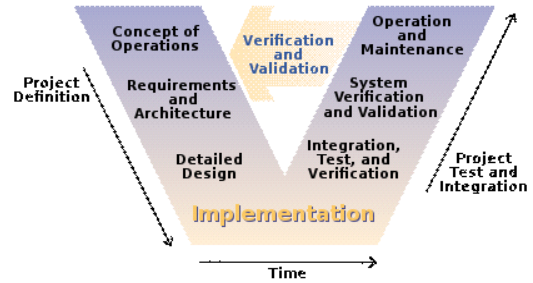
을 하는 진화적 모델이라 할 수 있다.



[Figure 3] Spiral model[1]

특히 나선형 모델은 폭포수 모델의 장점을 수용하고, 새로운 요소인 위험 분석을 추가한 모델이다. 위험은 정확하게 정의하기 어렵기 때문에 일반적으로 프로토타입이나 기타 위험 제거 기법을 사용하여 최소화하려고 한다.

이러한 모델들은 Table 1과 같이 피드백이 어렵거나(waterfall model, sashimi model), 시간이 매우 오래 걸리는 문제(spiral model)가 있다. 때문에 시스템의 복잡도가 높아지고 요구사항 변경으로 인한 개발비용이 증가하면서 폭포수 모델을 응용한 V 모델이 시스템공학 분야에 널리 사용되고 있다 [Figure 4].

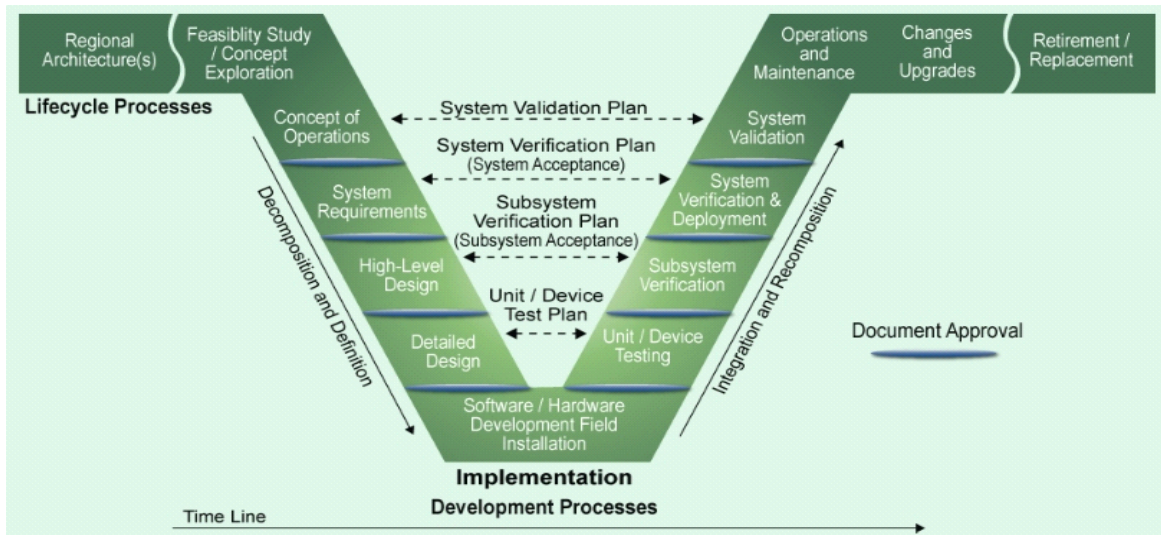


[Figure 4] SEP: V model[1]

V 모델은 각 단계에 적절한 검증과 테스트 작업을 일대일로 연관시킴으로써 개발 비용을 최소화시킨다. 폭포수모델이 V 모델의 왼쪽 날개를 담당하고, 그에 대응되는 검증 및 테스트작업이 V 모델의 오른쪽 날개를 담당하게 구성함으로써 검증을 통해 발생한 오류가 요구명세·분석·디자인·구현의 어떤 단계에서 발생했는지 추적할 수 있는 장점을 가진다. 또한 V 모델은 Figure 5와 같이 시스템의 생명주기 프로세스(lifecycle process) 기반의 확장된 개념으로도 사용된다. 확장된 V 모델은 시스템 개발과정의 복잡성을 이해하고 프로젝트 위험부담과 전체 개발비용을 최소화하여 개발과 관련된 모든 사람들 간의 소통을 증진시킬 목적으로 시스템엔지니어링프로세스가 필요한 각 분야에서 유용하게 사용되고 있다.

<표 1> 프로세스 개발 모델들의 장점과 단점

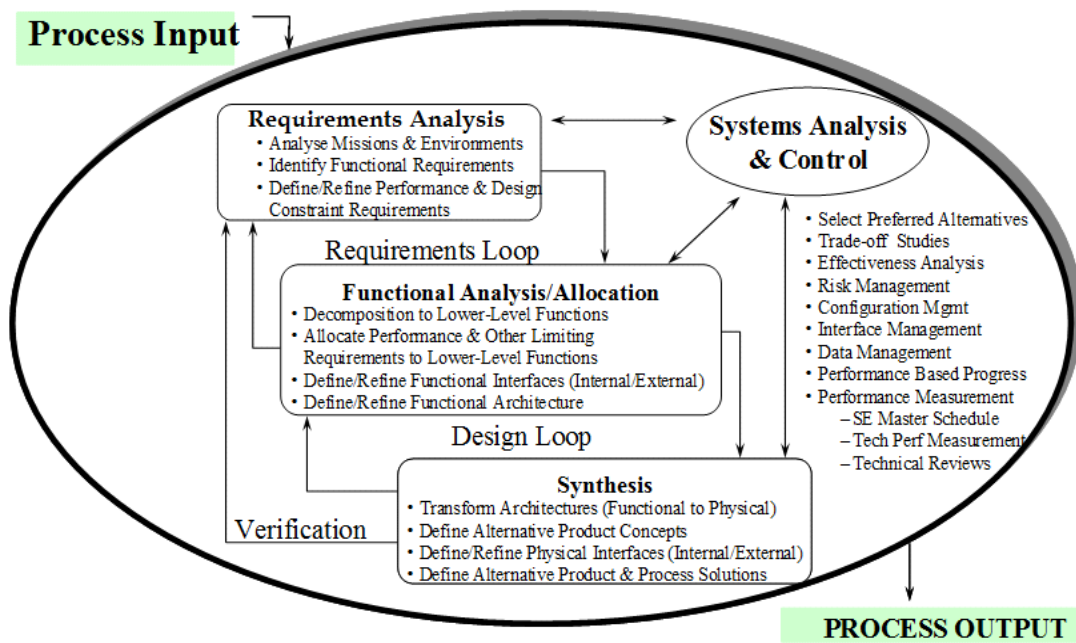
	Waterfall Model	Sashimi Model	Spiral Model
장점	<ul style="list-style-type: none"> • 단계별 진척관리 용이 • 단계별 산출물이 명확함 • 스펙이 명확하여 산출물의 품질이 잘 정의 됨 • 유사 제품의 경험이 있는 경우에 적합함 	<ul style="list-style-type: none"> • 앞 단계의 오류를 빨리 찾을 수 있음 • 문서의 양을 많이 줄일 수 있음 • 위험요소를 발견 하기 쉬움 	<ul style="list-style-type: none"> • 개발자나 고객이 각 전개 과정에 따른 위험을 잘 파악하여 대처함 • 프로젝트의 모든 단계에서 기술적인 위험을 직접 고려할 수 있어 사전에 위험을 감소시킴
단점	<ul style="list-style-type: none"> • 앞 단계로 진행이 어려움(유연하지 못함) • 작성 할 문서가 많음 • 전체 일정이 오래 걸림 • 비즈니스 상황에 쉽게 대처하기 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> • 각 단계가 애매해져 프로젝트 관리가 어려움 • 일정이 모호하고 진행사항 파악이 어려움 • 프로젝트 진행에 혼란을 발생 	<ul style="list-style-type: none"> • 일반적으로 규모가 큰 프로젝트에만 유용함 • 위험을 정확하게 분석하지 못할 경우 많은 문제를 야기 • 시간이 오래 걸림



[Figure 5] SEP : Expanded V model with Life Cycle[1]

시스템공학에서 다루는 시스템은 일반적으로 항공기나 미사일 등의 무기체계와 같이 매우 복잡하고 최종 결과물 제작에 오랜 기간이 소요되기 때문에 시스템 제작을 위한 제품 중심적 (product-centered) 이기보다는 시스템의 효율적인 분석이나 설계에 중점을 둔 공정 중심적(process-centered)인 공학을 말한다.

이러한 공정중심적인 시스템엔지니어링은 고객요구를 충족시키기 위하여 수명주기(life cycle)에 기반하여 통합된(integrated) 시스템 제품과 프로세스 솔루션을 개발하고 검증하기 위한 다분야 학문간의 상호 연관된 접근 방법으로 정의된다 [ANSI/EIA-632, 1998].



[Figure 6] SEP : ANSI/EIS-632[1]

시스템엔지니어링프로세스에는 Figure 6과 같이 EIA/ISO 등으로 국제 표준화 되어있는 요구분석(requirement analysis), 기능분석(function analysis) 및 기능할당(function allocation), 설계 종합(synthesis) 그리고 이러한 절차 간에 시스템 전체 개념의 분석과 통제(system analysis and control)를 통해 균형을 이루게 하는 프로세스에 의해 수행된다. 각 분석단계에서 시스템분석(system analysis)은 구체적인 평가를 수행한 후 최적의 분석결과를 피드백한다.

3. 인지적 인터페이스 설계 프로세스

시스템의 구성요소에 인간수행자가 중심이 되는 인간기계시스템(HMS)의 설계과정은 전절에서 언급한 시스템 개발과정과 유사하지만 인간수행도의 관점에서 시스템을 설계하게 된다. 인지시스템의 설계 프로세스는 인간수행자의 인지적 관점에서 전체 시스템을 설계하는 인지시스템공학(CSE)의 개발과정으로 인간수행자 중심의 여러 시스템공학 기술에 기초하여 설계가 진행된다.

인지시스템의 설계과정은 시스템엔지니어링 프로세스와 같이 작업영역에 따라 매우 다양하고 복잡한 형태를 가지게 되며 모든 설계 과정 영역에서 발생하는 인적오류 등의 작업자 수행도 측면을 고려할 때 물리적 설계, 기능적 설계, 실행적 설계의 세 가지 관점이 통합적으로 운영되어야 한다. 인지시스템을 세 가지 통합된 관점으로 설계한다는 것은 사실상 인지적 인터페이스(cognitive interface)를 설계하고 운영하는 과정이라고 말할 수 있다.

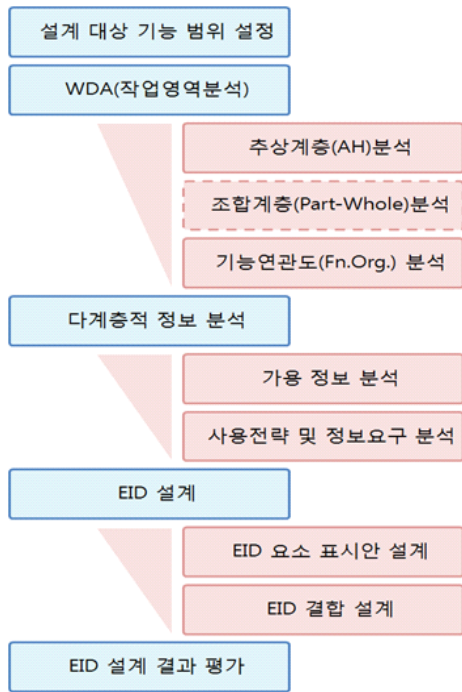
인지적 인터페이스란 인지공학적 원리를 이용해 설계된 인터페이스로 운전원의 인지모형에 기초하여 인터페이스를 최적화 시키는 설계방법이다. 쉽게 말하면 시스템을 진단하고자 의사결정을 할 때 머리 속에서 추상적으로 처리되는 정보(abstracted information)를 시각화(visualization)하는 설계 방법이라고 할 수 있다. 현재 추상화된 정보를 시각화해서 인지적 작업부하를 줄이는 인지적 인터페이스

설계방법은 크게 정보기반설계(IRD, Information Rich Design)와 생태학적 인터페이스 설계(EID, Ecological Interface Design)의 두 가지 방법이 있다. IRD는 기존 연구나 설계에서 많이 사용되는 방법으로 디스플레이에 표현되는 정보를 사용자에게 가능한 한 많이 표현하는 설계 원리로 많은 정보를 쉽게 구별할 수 있는 원리들에 기반하여 설계하는 방식이다.

생태학적 인터페이스의 개념은 진단 및 문제해결 과제를 수행할 때 운전원들의 추상화수준(level of abstraction)을 유연하게 이동시키면서 문제를 해결할 수 있는 인지적 인터페이스이다. 인터페이스 상에 많은 변수들에 대한 추상적 이해는 위계적으로 체계화되어 있기 때문에 대개의 경우 낮은 수준의 변수들은 그보다 높은 수준의 변수에 영향을 미친다.

많은 디자인들은 작업자의 지식을 바탕으로 문제를 해결하도록 도와주는 정보에 초점을 맞추고 있다. 이러한 디자인 접근방법에 있어 중요한 특성중의 하나는 디자인하는 디스플레이에 작업영역(work domain)이 가지고 있는 본질적인 기능적 구조를 묘사하는 것이다[2] [3]. 이런 측면에서 EID는 효과적인 디스플레이를 디자인하기 위한 유용한 방법으로 사용되고 있다.

인지적 인터페이스를 설계하기 위한 EID 설계과정은 Figure 7과 같다. 먼저 도메인 지식을 가지고 작업 영역에 대한 경계와 범위를 정하고, 작업영역 분석(WDA)을 통해 정보요구사항, 가용자원, 제약조건, 수단-목표 분석을 통해 작업영역을 분석한 후 그 결과를 바탕으로 인터페이스를 시각화한다. 그리고 시스템엔지니어링프로세스(SEP)에서 언급된 검증 및 확인(V&V)을 포함하는 생애주기(lifecycle) 관리를 수행한다.



[Figure 7] Cognitive Interface Design Process

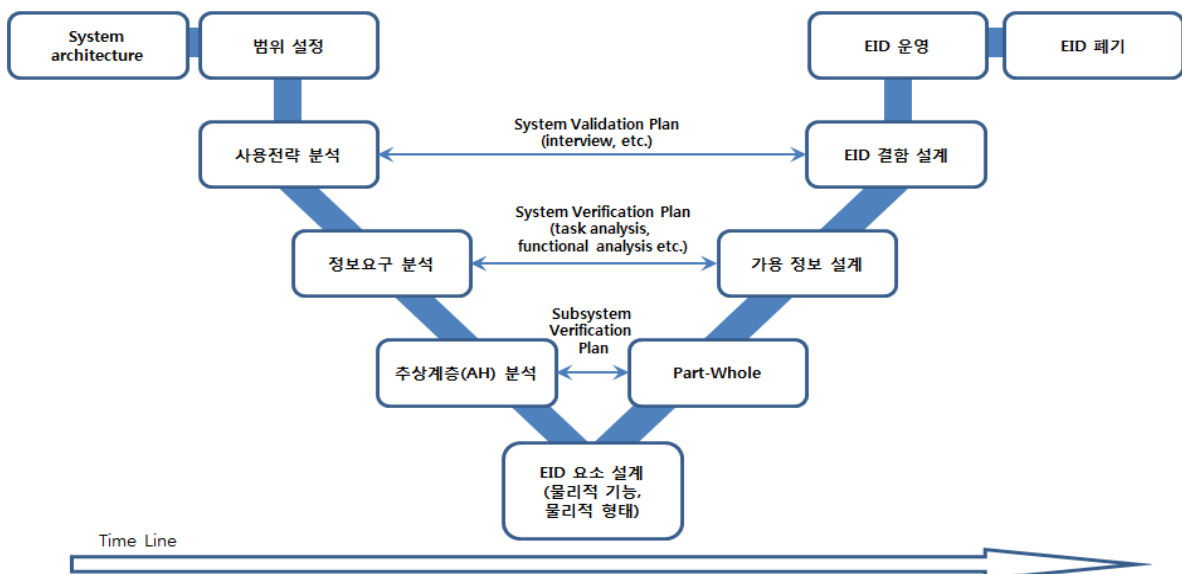
4. SEP 적용

인지적 인터페이스를 설계 및 장착하는 과정은 비용이나 시간측면에서 시스템엔지니어링프로세스를 전체 설계과정에 적용하는 것 매우 필요하다. 특별히 SEP에서 검증 및 확인(V&V) 과정에 대한

도입이 무엇보다 필요하다. 왜냐하면 기존 인터페이스에 익숙한 운전원들에게 새로운 개념의 생태학적 인터페이스의 사용은 어느 정도 위험요소를 내포하고 있기 때문이다.

기존 디스플레이와 비교하여 EID 디스플레이 사용성에 대한 이견이 많지만 EID는 이미 많은 연구를 통하여 그 효과가 입증되어 왔다. Ham & Yoon(2001)의 연구에서 AH에 표현되는 함축된 시스템의 정보가 운전원에게 시각적으로 제시될 경우에 운전원이 시스템의 상태 진단과 제어를 효과적으로 수행하는 것을 실험적으로 증명하였으며, Hajdukiewicz & Vicente(2002)는 실험을 통하여 운전원이 시스템의 예상치 못한 변화를 감지하고 처리하는 것을 지원하는 디자인으로 EID의 사용성 효과를 제시 밝혔다[3] [4]. 또한, Burns et al. (2008)은 원자력 발전소의 시뮬레이터에서 EID를 사용한 정보표시가 기존의 정보표시에 비해 상황인 지도가 좋은지에 대한 실험을 하여 EID의 효과를 입증하였으며 Ra & Cha(2013)는 원전의 인지적 정보표시가 기존 디스플레이에 비해 사용성이 떨어지지 않은 실험 결과를 제시하였다[5] [6].

인지적 인터페이스의 사용성을 검증하는 노력에도 불구하고 기존 인터페이스에 익숙한 운전원들에게 디지털환경에서 새로운 개념의 생태학적 인터페

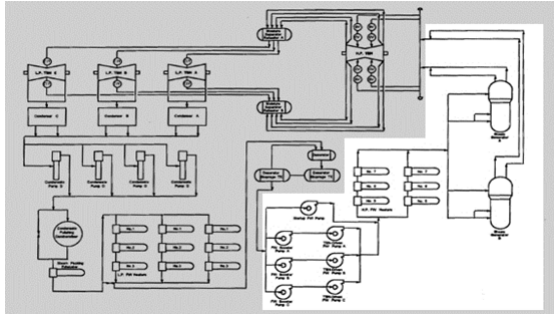


[Figure 8] V model based Cognitive Interface Design Process

이스를 사용하는 것은 어느 정도 위험요소를 내포하고 있는 것은 사실이다. 이러한 위험요소를 감안한 설계는 개념단계나 설계단계에서 많은 변화가 예상되므로 세밀한 확인 및 검증과정이 필요하며 전체비용을 줄이기 위해 단순한 일정관리(project management)보다는 시스템엔지니어링프로세스 접근법이 무엇보다 필요하다. 본 연구에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위해 Figure 8과 같은 V 모델을 제안하고자 한다.

Figure 8과 같이 모델의 좌측은 설계를 위한 분석단계로 정보요구 분석이나 추상계층(abstract hierarchy) 분석이 이루어지며 우측에서 검증 및 확인을 하게 된다.

원자력발전소의 주제어실 설계에 본 프로세스를 적용시켜 보면 다음과 같다. 먼저 원자력 발전소의 전체 구조에서 증기발생기(steam generator; SG)의 구조를 분석하고자 하는 경우 Figure 9와 같이 범위를 설정할 수 있겠다.



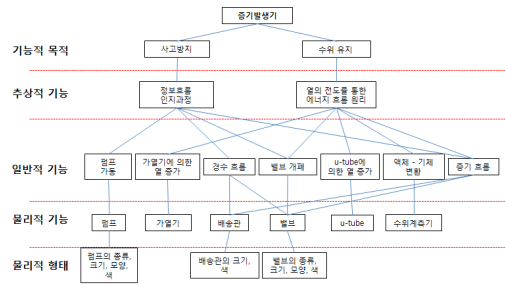
[Figure 9] SG System

범위를 설정하고 나면 사용전략 분석을 통하여 시스템의 목적등과 각 기능을 세부적으로 정의한다. 각 항목의 정의는 EID 결합 설계와의 확인을 통하여 수정 보완 될 수 있다.

결과를 바탕으로 화면에 표시될 항목들을 구체적으로 제시한다. 제시된 각 항목들은 가용 정보 설계를 통하여 화면에 표시될 내용을 구체적으로 설계하도록 한다. 이 과정에서 정보와 설계간의 검증작업이 이루어진다.

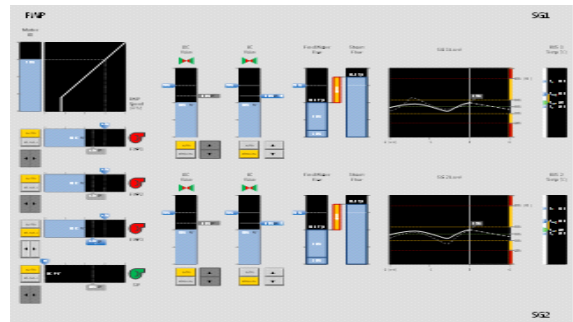
추상계층 분석은 정보요구 분석단계에서 나온 각

요구사항을 Figure 10과 같이 계층으로 연결하는 과정이다. 나누어진 계층은 시스템과 서브 시스템적으로 구조가 적합한지에 대한 검증을 part-whole 단계를 통해 검증한다.



[Figure 10] Abstract Hierarchy of SG

프로세스를 통하여 Figure 11과 같은 화면을 설계할 수 있다. 실제 시스템엔지니어링프로세스를 적용하지 않을 경우 수많은 문제와 시행착오를 거치면서 결과에 대한 만족도가 매우 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있었다[7]. 하지만 Figure 8의 방법을 적용하는 경우 연구에서 문제되었던 과정을 분석과정에서 해결할 수가 있게 된다.



[Figure 11] Cognitive Interface Design of SG

전 절에서 기술하였듯이 시스템엔지니어링 프로세스의 V 모델에서는 전체 비용을 최소화하기 위하여 단계별 검증 및 확인(V&V) 절차를 하향식으로 반복적으로 수행한다. WDA 방법을 통해 분석된 결과가 시스템 목적에 부합되는 지, 정보요구사항 도출 내용이 현실적인지 혹은 제안된 인지적 인터페이스의 사용성이 충분한지 확인 및 검증 절차를 운

전원 및 원전 설계 전문가의 평가 자문을 수시로 받을 필요가 있다.

5. 결론

시스템 상태의 진단이나 의사결정 과정에서 많은 정보나 원리들은 제한된 디스플레이 상에 모두 나타나지 않고 운전원의 머릿속에서 그려지고 추론하게 된다. 생태학적 인터페이스 디스플레이는 이에 따라 발생하는 많은 인지적 부하를 줄이기 위해 정보나 원리를 시각화(visualization)하는 인지적 인터페이스이다. 그러나 기존 디스플레이에 익숙한 운전원들은 달라진 디스플레이로 인해 오히려 불편함을 느낄 수 있기 때문에 인지적 인터페이스가 이러한 불편함을 해소하고 인적오류를 줄일 수 있는지 세밀한 확인(validation)과 검증(verification) 절차가 필요하다.

따라서 초기 개념단계와 분석 및 설계단계를 확인 및 검증과정으로 잘 관리되면 전체적인 비용이 획기적으로 감소시키는 시스템엔지니어링 프로세스 접근방법에 도입이 무엇보다 필요하다 하겠다.

그러나 여전히 첨단 인터페이스 설계에 대한 인지공학적 설계프로세스나 평가 방법이 정형화 되어 있지 못하는 실정이지만 이후 연구에서는 EID를 통한 화면 설계의 표준화 설립 및 설계에 대한 평가 방법론까지 같이 연구될 것이며 디지털기반 시스템의 체계적인 시스템엔지니어링 체계를 수립하는데 기여할 수 있으리라 사료된다.

Acknowledgement

This paper was supported by Research Fund, Kumoh National Institute of Technology.

References

- [1] Cha, W. (2010). Cognitive System Design, Chaos Book p. 225-236.
- [2] Vicente, K. & Rasmussen, J. (1992) "Ecological interface design : Theoretical foundation," IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 22:1-18,.
- [3] Ham D, & Yoon WC. (2001). "Design of Information Content and Layout for Process Control Based on Goal-Means Domain Analysis." , Cognition, Technology & Work, 3(4):205-223.
- [4] Hajdukiewicz JR, & Vicente KJ. (2002). "Designing for Adaptation to Novelty and Change : Functional Information, Emergent. Feature Graphics, and Higher-Level Control." , Human Factors, 44(4):592-610.
- [5] Burns, C. M., Skraaning, Jr., G., Jamieson, G. a., Lau, N., Kwok, J., Welch, R., et al. (2008). "Evaluation of ecological interface design for Nuclear process control : Situation Awareness Effects." , Human Factors, 50(4), 663-679.
- [6] Ra, D. & Cha, W. (2013). "The Application of Ecological Interface Design Methodology for Digitlaized MCR in NPP" , Vol 32. No.1 pp1-7, Jornal of the Ergonomics Society of Korea.
- [7] KHNP. (2012) TR2012-0513, Development of Cognitive Engineering Display and Optimized Pattern Recognition Technique for Fault Detection.