



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

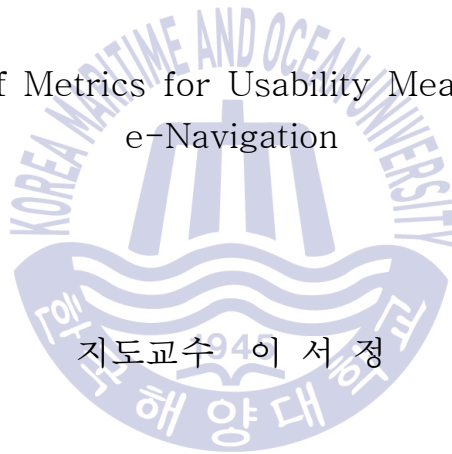
이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

e-Navigation 사용성 측정을 위한 메트릭 연구

A Study of Metrics for Usability Measurement of
e-Navigation



지도교수 이서정

2017년 2월

한국해양대학교 대학원

컴퓨터공학과

정지은

본 논문을 정지은의 공학석사 학위논문으로 인준함.

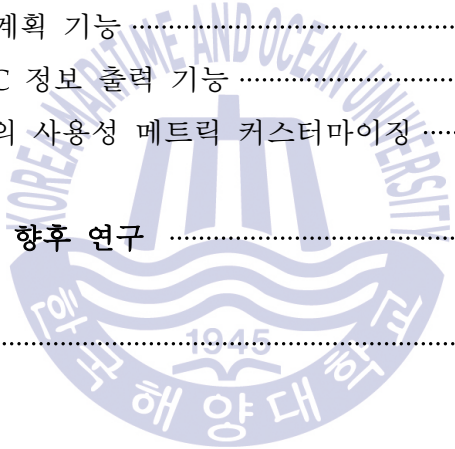


한국해양대학교 대학원

목 차

List of Tables	iv
List of Figures	vi
Abstract	vii
제 1 장 서 론	1
제 2 장 관련 연구	
2.1 SQA와 사용성	3
2.1.1 소프트웨어 사용 품질	4
2.1.2 소프트웨어 제품 품질	6
2.2 HCD와 사용성	8
2.3 이내비게이션 SQA 및 HCD 가이드라인	9
제 3 장 이내비게이션 사용성 측정을 위한 메트릭 연구	
3.1 SQA의 사용성 메트릭	13
3.1.1 소프트웨어 사용 품질의 사용성 메트릭	13
3.1.2 소프트웨어 제품 품질의 사용성 메트릭	16
3.2 HCD의 사용성 메트릭	19

3.3 SQA/HCD의 사용성 메트릭 비교	21
3.3.1 유효성 메트릭	21
3.3.2 효율성 메트릭	26
3.3.3 만족도 메트릭	30
3.4 이내비게이션을 위한 사용성 메트릭 도출	33
제 4 장 이내비게이션 사용성 메트릭 커스터마이징	
4.1 ECDIS 기능 및 특징	37
4.2 ECDIS 성능기준 및 국제표준	38
4.3 사용 품질의 사용성 메트릭 커스터마이징	39
4.3.1 항로계획 기능	39
4.3.2 SENC 정보 출력 기능	41
4.4 제품 품질의 사용성 메트릭 커스터마이징	43
제 5 장 결론 및 향후 연구	52
참고문헌	54



List of Tables

Table 2.1	Definition of Effectiveness, Efficiency and Satisfaction	5
Table 2.2	Definition of Satisfaction's Sub-characteristics	5
Table 2.3	Definition of Usability and Usability's Sub-characteristics	7
Table 3.1	Usability Metrics in terms of Quality-in-use	14
Table 3.2	Usability Metrics in terms of Product Quality	17
Table 3.3	Examples of Usability Measures for Overall Product	19
Table 3.4	Usability Measures for Desired Properties of the Product	20
Table 3.5	Effectiveness Metrics of SQA/HCD	22
Table 3.6	Efficiency Metrics of SQA/HCD	26
Table 3.7	Satisfaction Metrics of SQA/HCD	30
Table 3.8	Usability Metrics for e-navigation	34
Table 3.9	Usability Metrics for e-navigation Software Product	35
Table 4.1	Effectiveness Metric of Route Planning	40
Table 4.2	Efficiency Metric of Route Planning	40
Table 4.3	Effectiveness Metric of Display to SENC Information	41
Table 4.4	Efficiency Metric of Display to SENC Information	42
Table 4.5	Customizing Metrics of Software Product's Usability for ECDIS	43
Table 4.6	Customizing Description completeness for ECDIS	44
Table 4.7	Customizing User guidance completeness for ECDIS	45
Table 4.8	Customizing Error message understandability for ECDIS	45
Table 4.9	Customizing Self-explanatory user interface for ECDIS	46
Table 4.10	Customizing Operational consistency for ECDIS	47
Table 4.11	Customizing Message clarity for ECDIS	47

Table 4.12 Customizing User interface customizability for ECDIS	48
Table 4.13 Customizing Undo capability for ECDIS	48
Table 4.14 Customizing Avoidance of user operation error for ECDIS	49
Table 4.15 Customizing User error recoverability for ECDIS	50
Table 4.16 Customizing Appearance aesthetics of UI for ECDIS	50
Table 4.17 Customizing Supported languages for ECDIS	51



List of Figures

Fig. 2.1 Software Quality-in-use Model of ISO/IEC 25010	4
Fig. 2.2 Software Product Quality Model of ISO/IEC 25010	6
Fig. 2.3 Relationship between SQA and HCD	10
Fig. 2.4 Concepts and Standards for e-navigation Quality Design Attributes	11
Fig. 3.1 Process of Deriving Usability Metrics for e-navigation	12
Fig. 4.1 ECDIS	38



A Study of Metrics for Usability Measurement of e-Navigation

Jung, Ji Eun

Department of Computer Engineering
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

Abstract

The International Maritime Organization(IMO) has promoted e-navigation strategies for the purpose of reducing marine accidents due to human errors and protecting marine environment. In accordance with the e-navigation strategy implementation plans, e-navigation SQA and HCD guideline was developed, and this was adopted as circular document of IMO in 2015. With the implementation of e-navigation strategies from 2018, e-navigation SQA and HCD guideline will be applied to marine systems and software developments. The e-navigation SQA and HCD guideline presents international standard-based procedures that can reflect human factors in e-navigation system and software developments and ensure software quality. The main quality that we want to achieve by applying SQA and HCD to system and software developments is usability. The usability is a main characteristic of software quality, and

the usability evaluation is a method of assessing the results of application of the HCD principle. In this paper, the usability evaluation items of ISO 9241-11, the HCD related standards, and the usability metrics dealt with in ISO/IEC 25022 and 25023, the SQA related standards were analyzed and compared in order to help measure and evaluate the usability of the products developed by applying the e-navigation SQA and HCD guideline. ISO 9241-11 provides the usability evaluation items that can be applied to the entire system including software, and ISO/IEC 25022 and 25023 provide specific metrics for measuring the software usability. The results of a comparison between the usability metrics of ISO 9241-11 and the usability metrics provided by ISO/IEC 25022 and 25023 derived that the set of usability metrics for e-navigation. This is a core set of metrics that can be used for usability measurement regardless of the type of e-navigation system and software.

KEY WORDS: Software Quality Assurance 소프트웨어 품질 보증; Human Centred-Design 인간 중심 설계; Usability 사용성; Quality-in-use 사용 품질; e-Navigation 이내비게이션; Quality Metric 품질 메트릭;

제 1 장 서 론

국제해사기구(IMO, International Maritime Organization)는 인적과실에 의한 해양사고를 줄이고 해양 환경을 보호하고자 하는 목적으로 이내비게이션(e-Navigation) 전략을 추진해오고 있다. 이내비게이션의 정의는 선박의 출항부터 입항에 이르는 전 과정의 안전과 보안, 해양 환경 보호와 관련된 서비스들을 강화하기 위하여 해양 정보를 전자적인 수단을 이용하여 수집, 통합, 교환, 전시 및 분석하는 것이다(IMO, 2008). 이내비게이션 전략 도입에 의해 항해 시스템과 소프트웨어의 사용도 및 의존도가 증가하고 있으며, 소프트웨어 품질의 중요성 또한 대두되고 있다. 해양사고는 인적과실에 의한 사고 발생률이 약 80%에 이르는 만큼(김홍태 외, 2011) 항해 시스템 및 소프트웨어의 개발에 인적요소를 고려하는 것이 필요하다. 이러한 점을 바탕으로 이내비게이션 소프트웨어 품질 보증(SQA, Software Quality Assurance) 및 인간 중심 설계(HCD, Human-Centred Design) 가이드라인이 개발되었으며 IMO의 회람문서로 공식 승인되었다(IMO, 2015). 이는 2018년부터 이행될 예정인 이내비게이션 기반 시스템 및 소프트웨어의 개발과 관리 실무에 SQA와 HCD를 적용하게 되는 것을 의미한다. SQA와 HCD는 각각 적용할 수도 있고, 공통으로 적용할 수도 있다.

이처럼 곧 이내비게이션 기반 시스템 및 소프트웨어에 SQA와 HCD를 적용해야 하는 가운데 이와 관련한 연구는 아직 부족한 실정이다. 이는 이내비게이션 SQA 및 HCD 가이드라인의 개발이 비교적 최근인 점, 선박 해양 소프트웨어에 대한 품질 관리 기준 및 규약이 존재하지 않는 점, 선급에서 수행하는 선박 해양 소프트웨어 형식 승인이 소프트웨어 기능의

작동 유무만을 확인해온 점에 기인한다.

이내비게이션 시스템 및 소프트웨어의 개발에 SQA와 HCD를 공통으로 적용하는 것은 향상된 안전성과 좋은 품질, 특히 좋은 사용성을 갖는 시스템을 얻고자 함이다. 따라서 이내비게이션 시스템 및 소프트웨어의 품질 및 사용성을 적절하게 평가할 수 있는 기준이나 측정 메트릭 등 품질의 측정 및 평가와 관련된 연구가 필요하다.

본 논문에서는 이러한 연구의 필요성에 따라 SQA와 HCD를 공통으로 적용한 이내비게이션 시스템 및 소프트웨어의 사용성을 측정할 수 있는 메트릭을 도출하고자 한다. 연구는 SQA 관점의 사용성을 다루는 국제표준인 ISO/IEC 25010과 사용성 메트릭을 다루는 ISO/IEC 25022와 25023, HCD 관점의 사용성과 사용성 메트릭을 다루는 ISO 9241-11을 기반으로 진행한다. HCD 관점의 사용성 메트릭은 구체적인 메트릭이 없고 모호한 반면 SQA 관점의 사용성 메트릭은 측정 요소와 함수, 방법 등 구체적이고 정확한 값을 도출해낼 수 있다. 따라서 HCD 관점의 사용성 메트릭을 기준으로 이를 측정할 수 있거나 혹은 대체할 수 있는 구체적인 SQA 관점의 사용성 메트릭을 찾는 비교 연구를 통하여 SQA와 HCD를 공통 적용한 이내비게이션 시스템 및 소프트웨어를 대상으로 사용성을 측정할 수 있는 메트릭을 도출한다.

국제표준을 기반으로 도출해낸 사용성 메트릭은 선박의 핵심설비인 전자해도표시시스템(ECDIS, Electronic chart display and information system)을 대상으로 메트릭을 커스터마이징 해본다. ECDIS에 적용할 수 없거나 적용할 필요가 없는 메트릭은 커스터마이징 하지 않으며 성능기준이 존재하는 특성에 대해서는 메트릭 사용 시 참고할 수 있도록 별도 기재하여 커스터마이징 사례가 실무 적용에 도움이 되는 것을 목적으로 한다.

제 2 장 관련 연구

2.1 SQA와 사용성

소프트웨어의 품질은 이해관계자들의 명시적인 요구와 규정을 만족하며 그에 따라 좋은 특성을 유지하는 것이다. SQA는 의도된 목적에 적합한 품질의 소프트웨어 제품을 개발하는 것을 보장할 수 있도록 하는 구체적이고 체계적인 일련의 활동을 의미한다(IEEE, 2014). 의도된 목적에 적합한 품질의 소프트웨어라 함은 기능적 요구사항을 충족하고 만족스러운 성능을 가지며 사용자가 원하는 품질 특성을 만족하는 것이다(김치수, 2015). 소프트웨어가 적합하고 좋은 품질을 갖는지 객관적으로 확인할 수 있는 방법은 각 품질 특성에 따른 메트릭을 적용하여 소프트웨어의 품질을 정량적으로 측정해보는 것이다.

소프트웨어의 품질 특성과 메트릭은 국제표준 ISO/IEC 25000 시리즈에서 다루고 있다. ISO/IEC 25000 시리즈는 기존의 소프트웨어 제품 품질을 다루는 표준인 ISO/IEC 9126과 소프트웨어 제품 평가 방법 및 절차를 다루는 표준인 ISO/IEC 14598, 소프트웨어 제품 품질 요구사항 및 테스트를 다루는 표준인 ISO/IEC 12119를 통합하여 만들어진 최신의 소프트웨어 품질을 다루는 국제 표준이다. 이는 SQuaRE(Software Quality and Requirement Evaluation) 이라고도 불리며, 기존의 개별적으로 개발된 소프트웨어 품질 관련 표준들을 하나의 프레임워크로 만들고자 하는 목적으로 개발되었다(ISO, 2010a; 오영배, 2010).

소프트웨어의 품질 특성은 ISO/IEC 25010에 정의되어있다. 기존 ISO 9126에서 정의하던 소프트웨어 제품 품질에서 시스템과 소프트웨어를 모

두 포함하는 개념으로 한 단계 발전했으며, 새로운 형태로 발전하는 소프트웨어의 동향을 반영하였다(윤형진, 2016). ISO/IEC 25010에서는 소프트웨어 제품 품질(Product quality), 사용 품질(Quality-in-use), 데이터 품질 모델을 정의한다. 각 품질 모델은 품질을 이루는 주특성과 연관된 하위 특성(부특성)으로 구성되어 있다.

사용성은 그 중에서도 소프트웨어의 제품 품질 모델의 주특성으로 다루어지며 이는 소프트웨어 사용 품질과도 연관된다. 다음에서 소프트웨어 제품 품질과 소프트웨어 사용 품질을 설명하며 각 모델에서 사용성을 어떻게 정의하는 지에 대하여 알아본다.

2.1.1 소프트웨어 사용 품질

소프트웨어의 사용 품질은 소프트웨어 제품이 사용될 때의 품질을 사용자 관점에서 정의한 모델이다. 소프트웨어 제품 자체의 특성보다는 사용자가 소프트웨어를 특정 환경에서 사용할 때에 원하는 결과를 얻을 수 있는지에 대한 정도를 측정한다. 사용 품질은 다섯 가지 주특성을 가지며 각 특성은 연관된 부특성을 갖는다. 이는 ISO/IEC 25010에 정의되어 있으며(ISO, 2011) Fig. 2.1과 같다.

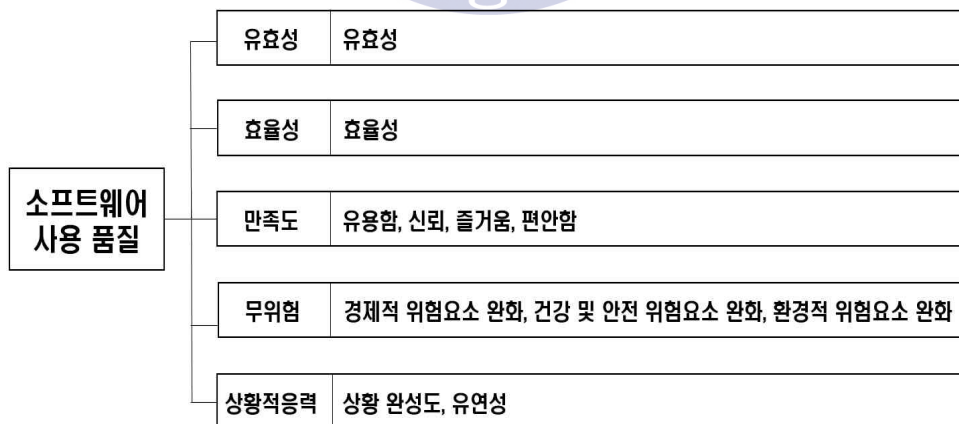


Fig. 2.1 Software Quality-in-use Model of ISO/IEC 25010

Fig 2.1은 소프트웨어 사용 품질 모델의 구성도를 보여준다. 소프트웨어 사용 품질의 특성은 각각 유효성, 효율성, 만족도, 무위험, 상황적응력이며 각각 연관된 부특성을 갖는다.

사용성의 정의는 '소프트웨어 제품 및 시스템이 정해진 사용 환경에서 사용자의 목표를 달성하기 위해 사용될 때 유효성, 효율성, 만족도에 대한 정도'이다. 사용성은 정의대로 유효성, 효율성, 만족도를 좋게 유지하는 것을 목표로 하며 이 때 유효성, 효율성, 만족도를 사용 품질의 특성으로 다루고 있다. 유효성, 효율성, 만족도의 정의는 Table 2.1과 같고 만족도의 부특성의 정의는 Table 2.2와 같다.

Table 2.1 Definition of Effectiveness, Efficiency and Satisfaction

주특성	정의
유효성 (Effectiveness)	사용자가 소프트웨어 및 시스템을 사용함으로써 얻은 결과가 정확하고 완전한 정도
효율성 (Efficiency)	사용자의 목표를 정확하고 완전하게 달성하기 위하여 자원이 충분하게 활용되는 정도
만족도 (Satisfaction)	소프트웨어 제품이 특정한 사용 환경에서 쓰이는 경우 사용자의 요구를 만족시키는 정도

Table 2.2 Definition of Satisfaction's Sub-characteristics

부특성	정의
유용함 (Usefulness)	소프트웨어 제품 및 시스템의 사용 결과가 사용자가 원하는 실질적인 목표의 달성에 만족되는 정도
신뢰 (Trust)	소프트웨어 제품 및 시스템이 계획된 대로 운용됨으로써 사용자 및 이해관계자에게 확신을 주는 정도
즐거움 (Pleasure)	소프트웨어 제품 및 시스템이 사용자의 요구에 부응함으로써 사용자가 만족을 얻는 정도
편안함 (Comfort)	소프트웨어 제품 및 시스템이 사용자에게 물리적인 편안함을 제공하는 정도

2.1.2 소프트웨어 제품 품질

ISO/IEC 25010의 소프트웨어 제품 품질은 시스템 및 소프트웨어 제품이 갖는 품질의 주특성을 여덟 가지로 정의하고 있다(ISO, 2011). 여덟 개의 특성은 그와 관련된 부특성을 갖는다. Fig 2.2는 소프트웨어 제품 품질 모델의 구성도를 보여준다.

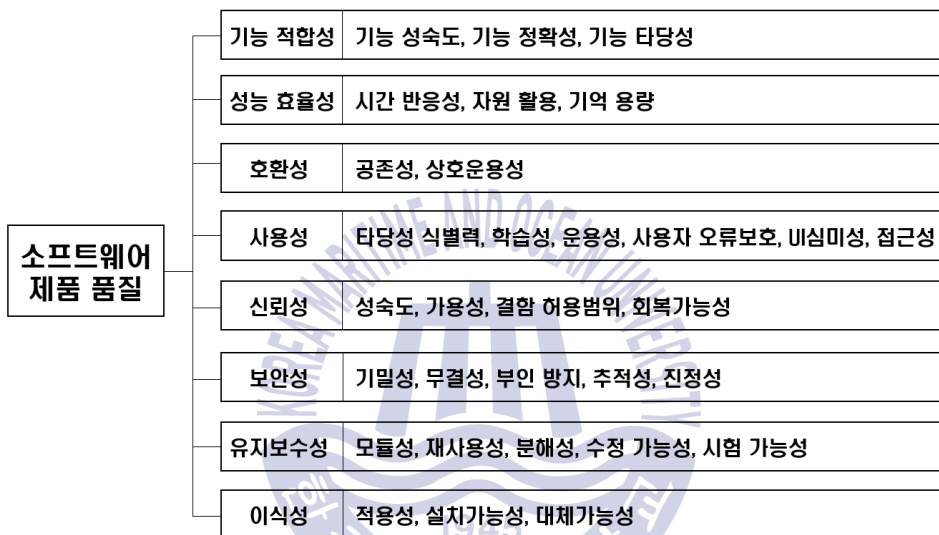


Fig. 2.2 Software Product Quality Model of ISO/IEC 25010

소프트웨어 제품 품질의 주특성은 Fig 2.2에서 볼 수 있듯이 각각 기능 적합성, 수행 효율성, 호환성, 사용성, 신뢰도, 보안성, 유지보수성, 이식성이다. 사용성은 소프트웨어 제품 품질의 주특성이며 타당성 식별력, 학습성, 운용성, 사용자 오류 보호, UI 심미성, 접근성을 부특성으로 갖는다. 사용성과 사용성의 부특성의 정의는 Table 2.3과 같다.

Table 2.3 Definition of Usability and Usability's Sub-characteristics

주특성	정의
사용성 (Usability)	소프트웨어 제품 및 시스템이 정해진 사용 환경에서 사용자의 목표를 달성하기 위해 사용될 때 유효성, 효율성, 만족도에 대한 정도
부특성	정의
타당성 식별력 (Appropriateness recognisability)	사용자가 소프트웨어 제품 및 시스템이 자신의 요구에 적합한지에 대해 판단할 수 있는 정도
학습성 (Learnability)	소프트웨어 제품 및 시스템을 사용하기 위해서 사용자에게 요구되는 학습의 정도
운용성 (Operability)	사용자가 소프트웨어 제품 및 시스템을 잘 운영하고 제어할 수 있는지에 대한 정도
사용자 오류 보호 (User error protection)	소프트웨어 제품 및 시스템이 사용자 오류로부터 사용자를 보호하는 정도
UI 심미성 (User Interface Aesthetics)	사용자 인터페이스가 사용자에게 만족스러운 상호작용을 제공하는 정도
접근성 (Accessibility)	소프트웨어 제품 및 시스템이 다양한 사람들에 의해 사용될 수 있는 정도

소프트웨어 제품 품질은 여덟 가지 주특성과 관련된 각 부특성이 갖는 메트릭을 사용하여 측정할 수 있다. 소프트웨어 제품 품질을 측정할 수 있는 메트릭은 ISO/IEC 25023에서 제공한다.

2.2 HCD와 사용성

HCD는 시스템의 설계 및 개발에 인적요소 및 인간공학과 사용성 지식 및 기술을 적용하여 대화형 시스템을 사용하기 좋고 편리하게 만드는 것을 목표로 하는 시스템 개발 방법이다(ISO, 2010b). HCD는 시스템의 설계 및 개발 프로세스 중 인적 요소 관련 지식과 기술을 다루는 것을 보장하여 사용자의 요구를 만족시키고 안전성을 보장하고자 한다. 즉, HCD를 적용하여 얻고자 하는 주요 목표는 사용성과 안전성이며 이는 유효성, 효율성, 만족도 및 위험의 감소를 통하여 얻을 수 있다.

HCD의 원칙은 사용성 평가(Usability Testing)에 대한 피드백을 수집하는 것이다. 사용성 평가는 안전하고 만족스러우며 효과적이고 효율적인 시스템을 보장하기 위하여 반복적인 테스트를 통해 개발 라이프 사이클 과정 전반에서 설계 및 사용성에 대한 잠재적인 문제들을 찾아내고 해결할 수 있는 효과적인 수단이며 공학적인 활동이다. 사용성 평가는 라이프 사이클의 모든 과정에서 반복적으로 수행되고 시스템의 다음 버전을 위한 데이터를 제공한다(IMO, 2015).

즉, 시스템 및 소프트웨어의 개발에 HCD를 적용하는 것은 좋은 사용성을 얻기 위함이며 이를 확인하기 위해서는 사용성의 측정이 필요하다.

HCD와 사용성은 국제표준 ISO 9241에서 다루고 있다. ISO 9241은 VDT(Visual Display Terminals)와 소프트웨어의 개발에 인간공학적인 특성을 적용하여 개발하는 것을 돕고자 개발된 국제표준으로 관련된 다수의 문서를 포함한다.

ISO 9241-11은 사용성에 관한 규정 조항으로, 하드웨어나 소프트웨어를 사용할 시의 상황과 사용성 평가 기준 및 절차에 대한 지침을 제시하는 국제표준이다(ISO, 1998). 이는 산업 전반에 적용되는 국제표준으로 사용성 평가 절차에 관한 간단한 명세를 다루며 수행해야 하는 활동에 대한 구체적인 세부 내용은 다루지 않는다. 사용성 매트릭에 대해서도 문서 내

의 부속서 B에서 사용성 평가 대상에 따른 측정항목만을 제시하며 구체적인 측정 방법, 측정 요소 및 함수에 대해서는 다루지 않는다.

2.3 이내비게이션 SQA 및 HCD 가이드라인

이내비게이션 전략이행계획에 따라 SQA 가이드라인, HCD 가이드라인, UT 가이드라인이 각각 개발된 이후 이 세 개의 가이드라인을 통합하는 것이 결정되었다. 통합된 가이드라인의 정식 문서번호 및 명칭은 IMO MSC.1/Circ. 1512 ‘Guideline on Software Quality Assurance and Human Centred Design for e-navigation’ 이며 이는 IMO의 회람문서로 승인되었다(IMO, 2015).

이 가이드라인은 이내비게이션 시스템을 개발 및 관리하는 것에 사용성 평가(Usability Testing)가 포함된 SQA 및 HCD에 특히 초점을 두고 접근하는 것을 권장한다. 개발 라이프 사이클을 거치는 동안 SQA 및 HCD를 고려하여 설계, 개발 및 관리된 시스템은 성능 및 안전성이 향상되며 시스템 유지보수 및 지원에 필요한 시간을 줄여준다.

이내비게이션 시스템의 개발 및 관리에 SQA를 적용하는 것은 이내비게이션 시스템에 사용되는 소프트웨어가 높은 품질을 갖는 것, 안정적으로 사용되는 것, 테스트가 가능한 것을 보장하며 또한 사용자의 요구를 충족시키는 것을 돕기 위한 것이다. 소프트웨어 품질은 제품 품질, 사용 품질, 데이터 품질 세 개의 모델로 나뉘며 각각 품질 특성을 가진다. 이내비게이션 소프트웨어 품질 가운데 중요한 품질 특성은 시스템의 요구사항에 부합하는 지 측정 및 평가될 필요가 있다.

이내비게이션의 개발 및 관리에 HCD를 적용하는 것은 사용자가 시스템에 적용하는 것을 요구하기보다 시스템의 설계 및 개발에 인적 요소를 고려하고 반영하여 사용자가 수행할 작업에 적합하도록 시스템을 설계하는 것이다.

Fig 2.3은 SQA와 HCD의 관계를 나타낸다. 이내비게이션의 개발 및 관리에 SQA와 HCD를 조합하여 얻고자 하는 특성 및 적용하면 품질과 사용성, 안전성이 좋은 시스템을 얻을 수 있음을 보여준다.



Fig. 2.3 Relationship between SQA and HCD(Lee, et al., 2015)

Fig 2.4와 같이 이 가이드라인은 주로 소프트웨어 제품 품질 및 데이터 품질과 사용자 요구 충족을 해결하는 것을 도와준다. 또한 관련 속성 해결을 위해 고려해야 하는 국제 표준에 대한 정보와 표준에서 다루는 일반적인 프로세스에 대한 내용을 포함한다. 이 가이드라인은 SQA 및 HCD의 일반적인 이해를 제공하기 위한 것이 목적으로 특정 설계 솔루션이나 요구사항을 다루지는 않는다.

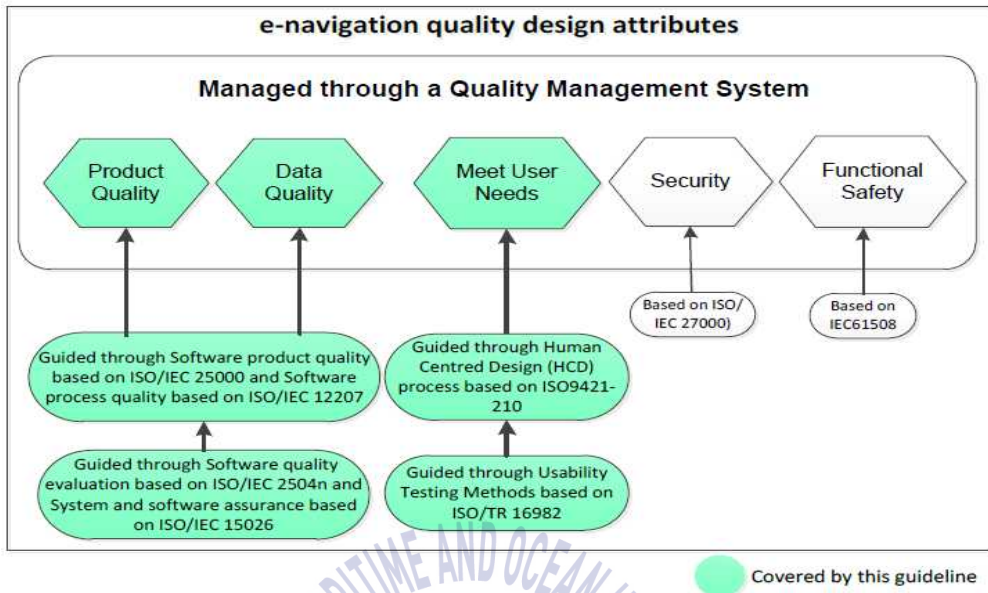
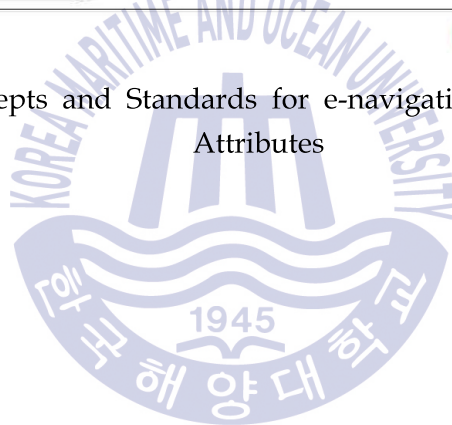


Fig. 2.4 Concepts and Standards for e-navigation Quality Design Attributes



제 3 장 이내비게이션을 위한 사용성 메트릭 연구

본 장에서는 ISO/IEC 25022, 25023에서 제공하는 SQA의 사용성 메트릭과 ISO 9241-11에서 제공하는 HCD 관점의 사용성 메트릭의 비교를 통하여 이내비게이션 사용성 평가에 사용할 수 있는 메트릭을 도출한다. 연구 단계를 도식화 하면 Fig 3.1과 같다.

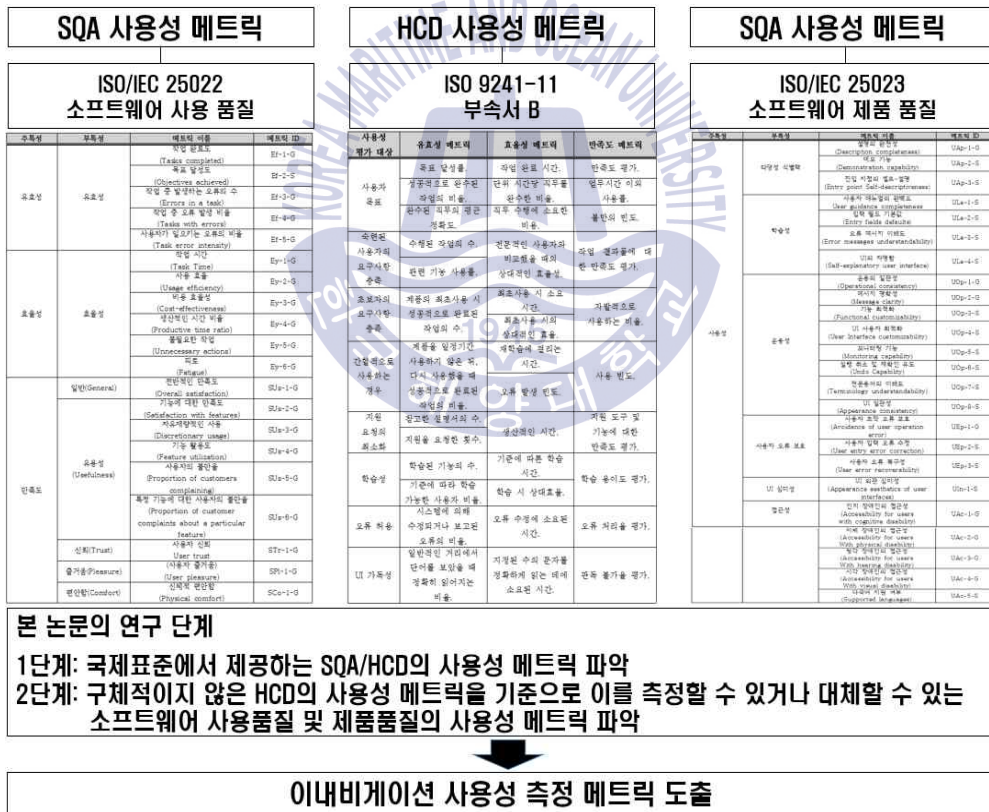


Fig. 3.1 Process of Deriving Usability Metrics for e-navigation

상세한 연구 단계는 다음과 같다. 먼저 SQA 관련 국제표준에서 제공하는 사용성 메트릭과 HCD 관련 국제표준에서 제공하는 사용성 메트릭을 파악한다. SQA의 사용성 메트릭은 사용성 측정에 필요한 수식과 측정 요소를 정확히 명시하고 있으나 HCD의 사용성 메트릭은 사용성 메트릭의 예시에 대해서만 다루고 있으며 세부 함수나 측정법은 다루지 않는다. 따라서 구체적인 내용이 없는 HCD의 사용성 메트릭을 기준으로 두고 이를 측정할 수 있거나 혹은 대체할 수 있는 소프트웨어 사용 품질 및 제품 품질의 사용성 메트릭을 찾는다. 이는 이내비게이션에 SQA 및 HCD를 공통으로 적용하여 개발한 시스템 및 소프트웨어의 사용성을 측정할 수 있는 메트릭이 된다.

3.1 SQA의 사용성 메트릭

본 절에서는 소프트웨어 사용 품질의 메트릭을 다루는 국제표준인 ISO/IEC 25022와 소프트웨어 제품 품질의 메트릭을 다루는 국제표준인 IEO/IEC 25023에서 제공하는 소프트웨어 제품 품질과 사용 품질에서 다루는 사용성의 메트릭에 대해 살펴본다.

3.1.1 소프트웨어 사용 품질의 사용성 메트릭

소프트웨어 사용 품질의 특성을 측정할 수 있는 메트릭은 ISO/IEC 25022 문서에서 제공한다. 이 국제표준은 모든 종류의 응용프로그램을 위한 컴퓨터 시스템과 시스템의 일부를 구성하는 소프트웨어에 적용할 수 있다(ISO, 2014a).

ISO/IEC 25022 내의 각 특성에 대한 메트릭은 표로 구성되어있다. 각 표는 메트릭 이름과 ID, 메트릭에 대한 설명, 메트릭 측정값을 산출하는 수식, 측정값을 얻는데 사용할 수 있는 방법 및 유형을 포함한다. ID는 품질 특성 및 하위 특성을 나타내는 코드-문서 내에서의 일련번호-G/S 형태의 세 부분으로 구성된다. G는 일반적으로 적용이 가능하며 다양한

상황에서 사용될 수 있는 함수이며, S는 특정한 요구에 특화되어 있는 함수이다. Table 3.1은 ISO/IEC 25022에서 제공하는 사용 품질의 주특성 중 사용성에 속하는 유효성, 효율성, 만족도의 부특성에 따른 메트릭의 이름 ID를 표로 정리한 것이다.

Table 3.1 Usability Metrics in terms of Quality-in-use

주특성	부특성	메트릭 이름	메트릭 ID
유효성	유효성	작업 완료도 (Tasks completed)	Ef-1-G
		목표 달성도 (Objectives achieved)	Ef-2-S
		작업 중 발생하는 오류의 수 (Errors in a task)	Ef-3-G
		작업 중 오류 발생 비율 (Tasks with errors)	Ef-4-G
		사용자가 일으키는 오류의 비율 (Task error intensity)	Ef-5-G
효율성	효율성	작업 시간 (Task Time)	Ey-1-G
		사용 효율 (Usage efficiency)	Ey-2-G
		비용 효율성 (Cost-effectiveness)	Ey-3-G
		생산적인 시간 비율 (Productive time ratio)	Ey-4-G
		불필요한 작업 (Unnecessary actions)	Ey-5-G
		피로 (Fatigue)	Ey-6-G

Table 3.1 Usability Metrics in terms of Quality-in-use (cont.)

주특성	부특성	메트릭 이름	메트릭 ID
만족도	일반	전반적인 만족도 (Overall satisfaction)	SUs-1-G
	유용성	기능에 대한 만족도 (Satisfaction with features)	SUs-2-G
		자유재량적인 사용 (Discretionary usage)	SUs-3-G
		기능 활용도 (Feature utilization)	SUs-4-G
		사용자의 불만율 (Proportion of customers complaining)	SUs-5-G
		특정 기능에 대한 사용자의 불만율 (Proportion of customer complaints about a particular feature)	SUs-6-G
		신뢰	사용자 신뢰 User trust
	즐거움	(사용자 즐거움) (User pleasure)	SPI-1-G
	편안함	신체적 편안함 (Physical comfort)	SCo-1-G

Table 3.1을 살펴보면 ISO/IEC 25022는 유효성을 측정할 수 있는 메트릭 5개, 효율성을 측정할 수 있는 메트릭 6개, 만족도를 측정할 수 있는 메트릭이 9개로 총 20개의 사용성 메트릭을 제공한다.

국제표준은 모든 종류의 시스템 및 소프트웨어에 적용될 수 있도록 개발된 메트릭이다. 따라서 측정하고자 하는 시스템 및 소프트웨어의 특징에 따라 메트릭을 선택적으로 적용해야 한다.

3.1.2 소프트웨어 제품 품질의 사용성 메트릭

소프트웨어 제품 품질의 특성을 측정할 수 있는 메트릭은 ISO/IEC 25023 문서에서 제공한다. 이 국제표준은 모든 종류의 응용프로그램을 위한 컴퓨터 시스템과 시스템의 일부를 구성하는 소프트웨어에 적용할 수 있다(ISO, 2014b).

ISO/IEC 25010의 시스템 및 소프트웨어 제품 품질 모델로 발전되기 이전, 기존에 소프트웨어 제품 품질 모델을 정의했었던 표준인 ISO 9126에서는 소프트웨어 제품의 측정을 외부 품질 측정(External measure), 내부 품질 측정(Internal measure)으로 구분하여 측정했다. 외부 품질 측정은 실행 가능한 소프트웨어 및 시스템 대상으로 명시된 요구사항을 충족시키는 지에 대하여 측정하는 것으로 실제 운용이나 테스트 과정에서 제품을 실행하여 동작의 속성을 검증하는 방법이다. 내부 품질 측정은 개발 단계에 있고 실행할 수 없는 소프트웨어의 정적인 속성에 대해 측정하는 것이다. 정적인 속성은 소프트웨어 아키텍처, 구조 및 컴포넌트와 관련된 것을 포함하며 이는 시뮬레이션이나 자동화 도구를 사용하여 검증할 수 있다.

소프트웨어 제품 품질 모델이 ISO/IEC 25000시리즈로 통합되면서 ISO/IEC 25010에서는 내부 및 외부 품질을 구분하지 않고 하나의 품질 모델로 종합 및 단순화하여 정의한다. 이에 따른 제품 품질의 메트릭은 ISO/IEC 25023에서 제공하며 메트릭은 표로 구성되어있다. 각 표는 메트릭 이름과 ID, 메트릭에 대한 설명, 메트릭 측정값을 산출하는 수식, 측정값을 얻는데 사용할 수 있는 방법 및 유형을 포함한다. Table 3.2는 소프트웨어 제품 품질의 사용성과 사용성의 부특성, 그에 따른 메트릭의 이름, ID를 표로 정리한 것이다.

Table 3.2 Usability Metrics in terms of Product Quality

주특성	부특성	메트릭 이름	메트릭 ID
사용성	타당성 식별력	설명의 완전성 (Description completeness)	UAp-1-G
		데모 기능 (Demonstration capability)	UAp-2-S
		홈페이지 입구의 설명 (Entry point Self-descriptiveness)	UAp-3-S
	학습성	사용자 매뉴얼의 완벽도 User guidance completeness	ULe-1-S
		입력 필드 기본값 (Entry fields defaults)	ULe-2-S
		오류 메시지 이해도 (Error messages understandability)	ULe-3-S
		UI의 자명함 (Self-explanatory user interface)	ULe-4-S
	운용성	운용의 일관성 (Operational consistency)	UOp-1-G
		메시지 명확성 (Message clarity)	UOp-2-G
		기능 최적화 (Functional customizability)	UOp-3-S
		UI 사용자 최적화 (User Interface customizability)	UOp-4-S
		모니터링 기능 (Monitoring capability)	UOp-5-S
		실행 취소 및 재확인 유도 (Undo Capability)	UOp-6-S
		전문용어의 이해도 (Terminology understandability)	UOp-7-S
		UI 일관성 (Appearance consistency)	UOp-8-S

Table 3.2 Usability Metrics in terms of Product Quality(cont.)

주특성	부특성	메트릭 이름	메트릭 ID
사용성	사용자 오류 보호	사용자 조작 오류 보호 (Avoidance of user operation error)	UEp-1-G
		사용자 입력 오류 수정 (User entry error correction)	UEp-2-S
		사용자 오류 복구성 (User error recoverability)	UEp-3-S
	UI 심미성	UI 외관 심미성 (Appearance aesthetics of user interfaces)	UIn-1-S
	접근성	인지 장애인의 접근성 (Accessibility for users with cognitive disability)	UAc-1-G
		지체 장애인의 접근성 (Accessibility for users With physical disability)	UAc-2-G
		청각 장애인의 접근성 (Accessibility for users With hearing disability)	UAc-3-G
		시각 장애인의 접근성 (Accessibility for users With visual disability)	UAc-4-G
		다국어 지원 여부 (Supported languages)	UAc-5-S

Table 3.2를 살펴보면 ISO/IEC 25023은 타당성 식별력의 메트릭 3개, 학습성의 메트릭 4개, 운용성의 메트릭 8개, 사용자 오류 보호의 메트릭 3개, UI 심미성의 메트릭 1개, 접근성의 메트릭 5개로 총 24개의 사용성 메트릭을 제공한다. 이 국제표준은 모든 종류의 시스템 및 소프트웨어에 적용될 수 있도록 개발된 메트릭이다. 따라서 측정하고자 하는 시스템 및 소프트웨어의 특징에 따라 메트릭을 선택적으로 적용해야 한다.

3.2 HCD의 사용성 메트릭

HCD 관점의 사용성 메트릭은 관련 국제표준인 ISO 9241-11의 부속서 B에서 다루고 있다. 사용성 평가 대상에 따라 유효성, 효율성, 만족도를 두 가지 관점에서 측정할 수 있는 메트릭을 예제로 제공한다. HCD의 적용대상은 소프트웨어뿐만 아니라 하드웨어도 포함하여 그 범위가 매우 넓은 바, 구체적인 메트릭을 제공하지는 않는다.

ISO 9241-11 부속서 B에서 제공하는 두 가지 관점의 사용성 메트릭 중 첫 번째 관점은 사용성의 정의대로 사용자 목표를 달성함과 동시에 유효성, 효율성, 만족도를 얻는 지를 측정하는 것이다. 이 관점에서의 사용성 메트릭은 Table 3.3과 같다.

Table 3.3 Examples of Usability Measures for Overall Product

사용성 평가 대상	유효성 메트릭	효율성 메트릭	만족도 메트릭
사용자 목표	목표 달성률. 성공적으로 완수된 작업의 비율. 완수된 직무의 평균 정확도.	작업 완료 시간. 단위 시간당 직무를 완수한 비율. 직무 수행에 소요한 비용.	만족도 평가. 업무시간 이외의 사용률. 불만의 빈도.

두 번째 관점은 사용성에 기여하는 제품의 특정한 속성에 대하여 유효성, 효율성, 만족도를 측정하는 것이다. 이 관점에서의 사용성 메트릭은 Table 3.4와 같다.

Table 3.4 Usability Measures for Desired Properties of the Product

사용성 평가 대상	유효성 메트릭	효율성 메트릭	만족도 메트릭
숙련된 사용자의 요구사항 충족	수행된 작업의 수. 관련 기능 사용률.	전문적인 사용자와 비교했을 때의 상대적인 효율성.	작업 결과물에 대한 만족도 평가.
초보자의 요구사항 충족	제품의 최초사용 시 성공적으로 완료된 작업의 수.	최초사용 시 소요 시간. 최초사용 시의 상대적인 효율.	자발적으로 사용하는 비율.
간헐적으로 사용하는 경우	제품을 일정기간 사용하지 않은 뒤, 다시 사용했을 때 성공적으로 완료된 작업의 비율.	재학습에 걸리는 시간. 오류 발생 빈도.	사용 빈도.
지원 요청의 최소화	참고한 설명서의 수. 지원을 요청한 횟수.	생산적인 시간.	지원 도구 및 기능에 대한 만족도 평가.
학습성	학습된 기능의 수. 기준에 따라 학습 가능한 사용자 비율.	기준에 따른 학습 시간. 학습 시 상대효율.	학습 용이도 평가.
오류 허용	시스템에 의해 수정되거나 보고된 오류의 비율.	오류 수정에 소요된 시간.	오류 처리율 평가.
UI 가독성	일반적인 거리에서 단어를 보았을 때 정확히 읽어지는 비율.	지정된 수의 문자를 정확하게 읽는 데에 소요된 시간.	판독 불가능 평가.

Table 3.3와 Table 3.4의 사용성 메트릭을 살펴보면 구체적인 수식이나 측정 요소는 제공하지 않고 측정 항목만을 제공한다. 메트릭을 구체적으로

로 적용하는 방법 및 측정 결과를 판단하는 기준이 모호하다. 예를 들어, Table 3.4의 사용성 평가 대상이 '지원 요청의 최소화'인 경우의 유효성 메트릭은 '참고한 설명서의 수' 및 '지원을 요청한 횟수'이다. 이 값이 얼마여야 좋은 유효성을 가지고, 또 얼마여야 나쁜 유효성을 가지는지를 판단하는 기준이 모호하다. HCD의 사용성 메트릭을 일반화하여 다루는 것이 아니라 예제여서 발생하는 한계이다. 적용 대상이 매우 광범위하여 구체적이며 일반화된 메트릭을 제공할 수 없는 것 또한 HCD의 사용성 메트릭의 한계이기도 하다. 그러나 HCD를 적용하여 개발한 제품에 대해서는 사용성의 측정이 이루어져야 하므로 이를 보완하거나 대체할 수 있는 메트릭을 파악하여 사용하는 것이 요구된다.

3.3 SQA/HCD의 사용성 메트릭 비교

본 절에서는 이내비게이션 사용성 측정에 사용할 수 있는 메트릭을 도출하고자 ISO/IEC 25022, 25023에서 제공하는 SQA의 사용성 메트릭과 ISO 9241-11에서 제공하는 HCD의 사용성 메트릭의 비교를 진행한다. SQA의 사용성 메트릭은 사용성 측정에 필요한 수식과 측정 요소를 정확히 명시하고 있으나 HCD의 사용성 메트릭은 Table 3.3과 Table 3.4에서 볼 수 있듯이 사용성 메트릭의 예시에 대해서만 다루고 있으며 세부 함수나 측정법은 다루지 않는다. 따라서 구체적인 내용이 없는 HCD의 사용성 메트릭을 기준으로 이를 측정할 수 있거나 혹은 대체할 수 있는 SQA의 사용성 메트릭을 찾아 공통으로 활용할 수 있는 메트릭을 도출한다.

3.3.1 유효성 메트릭

유효성은 사용자가 제품 및 시스템을 사용한 결과의 정확성 및 완전성을 의미한다. Table 3.5는 사용성을 측정할 수 있는 특성 중 유효성에 대하여 HCD의 메트릭과 SQA의 메트릭을 비교한 것이다. 상세 설명은 다음과 같다.

Table 3.5 Effectiveness Metrics of SQA/HCD

사용성 평가 대상	HCD의 메트릭 (ISO 9241-11을 기반으로)	SQA의 메트릭 (ISO/IEC 25022, 25023을 기반으로)
사용자의 목표	목표 달성률	Ef-2-S 목표 달성도
	성공적으로 완료된 작업의 비율	Ef-1-G 작업 완료도
	완수한 작업 결과의 평균 정확도	Ef-4-G 작업 중 오류 발생 비율
숙련된 사용자의 요구사항 만족	수행된 작업의 수	Ef-1-G 작업 완료도
	관련 기능 사용률	
초보자의 요구사항 만족	제품의 최초사용 시 성공적으로 완료된 작업의 수	Ef-1-G 작업 완료도
간헐적으 로 사용하는 경우	제품을 일정기간 사용하지 않은 뒤, 다시 사용했을 때 성공적으로 완료된 작업의 비율.	간헐적으로 사용하더라도 소프트웨어 품질은 일정하게 유지되어야 하므로 본 항목은 해당사항 없음.
지원 요청의 최소화	참고한 설명서의 수	ULe-1-S 사용자 매뉴얼의 완벽도
	지원을 요청한 횟수	
학습성	학습된 기능의 수	
	기준에 따라 학습 가능한 사용자의 비율	
오류 허용	시스템에 의해 수정되거나 보고된 오류의 비율	UEp-2-S 사용자 입력 오류 수정
UI 가독성	일반적인 거리에서 단어를 보았을 때 정확히 읽어지는 비율	Ef-2-S 목표 달성도

(1) 사용자 목표의 유효성

사용자 목표의 유효성 측정을 위한 메트릭으로 HCD 관련 국제표준인 ISO 9241-11에서는 세 가지 측정항목을 제시한다.

첫 번째 측정항목은 목표 달성률로 이는 SQA의 메트릭 중 Ef-2-S:목표 달성도 메트릭을 사용하여 측정할 수 있다. Ef-2-S:목표 달성도의 구체적인 수식은 식 (3.1)과 같다.

$$\text{목표 달성도} = 1 - \sum(\text{작업 결과가 누락되거나 잘못된 비례값}) \quad (3.1)$$

두 번째 측정항목은 성공적으로 완료된 작업의 비율이며 이는 SQA의 메트릭 중 Ef-1-G:작업 완료도 메트릭으로 측정할 수 있다. Ef-1-G:작업 완료도의 구체적인 수식은 식 (3.2)와 같다.

$$\text{작업 완료도} = \frac{\text{완료된 작업의 개수}}{\text{시도된 전체 작업의 개수}} \quad (3.2)$$

세 번째 측정항목은 완수한 작업 결과의 평균 정확도로 이는 SQA의 메트릭 중 Ef-4-G:작업 중 오류 발생 비율 메트릭을 활용하여 값을 구할 수 있다. Ef-4-G:작업 중 오류 발생 비율 메트릭은 전체 작업 수 대비 오류가 발생한 수를 계산하는 함수로 구체적인 수식은 식 (3.3)과 같고 이를 활용하여 완수한 작업 결과의 평균 정확도를 식 (3.4)와 같이 계산할 수 있다.

$$\text{작업 중 오류 발생 비율} = \frac{\text{오류가 발생한 작업의 수}}{\text{전체 작업의 수}} \quad (3.3)$$

$$\text{완수한 작업 결과의 평균 정확도} = 1 - (3.3) \quad (3.4)$$

(2) 숙련된 사용자의 요구사항 만족의 유효성

숙련된 사용자의 요구사항 만족의 유효성 측정을 위한 메트릭으로 HCD 관련 국제표준인 ISO 9241-11에서는 수행된 작업의 수와 관련 기능 사용률을 측정 항목으로 제시한다.

첫 번째 측정항목인 수행된 작업의 수에 대해서는 작업의 수만 계산하는 것 보다 SQA의 Ef-1-G:작업 완료도 메트릭을 활용하여 수행된 작업의 완료도를 계산하는 것이 보다 정확한 유효성을 계산할 수 있으므로 이 메트릭을 사용하는 것을 권장한다.

두 번째 측정항목인 관련 기능 사용률을 측정할 수 있는 메트릭은 SQA의 메트릭에서 제공하지 않으며 이를 대체할 수 있거나 권장할 수 있는 메트릭 또한 존재하지 않는다.

(3) 초보자의 요구사항 만족의 유효성

초보자의 요구사항 만족의 유효성 측정을 위한 메트릭으로 HCD 관련 국제표준인 ISO 9241-11에서는 제품의 최초 사용 시 성공적으로 완료된 작업의 수를 측정항목으로 제시한다. 제품의 최초 사용 시 성공적으로 완료된 작업의 수만 계산하는 것 보다 SQA의 메트릭 중 Ef-1-G:작업 완료도 메트릭을 활용하여 식 (3.2)의 분모를 제품의 최초 사용 시 시도된 작업의 수로 두고 분자를 그 중 성공적으로 완료된 작업의 수로 두어 이를 계산하여 측정하는 것이 권장된다.

(4) 간헐적으로 사용하는 경우의 유효성

간헐적으로 사용하는 경우의 유효성 측정을 위한 메트릭으로 HCD 관련 국제표준인 ISO 9241-11에서는 제품을 일정기간 사용하지 않은 뒤 다시 사용했을 때 성공적으로 완료된 작업의 비율을 측정항목으로 제시한다. 소프트웨어 제품은 간헐적으로 사용되더라도 품질을 일정하게 유지해야 하므로 본 항목의 메트릭은 파악하지 않는다.

(5) 지원 요청 최소화의 유효성

지원 요청의 최소화의 유효성 측정을 위한 메트릭으로 HCD 관련 국제표준인 ISO 9241-11에서는 사용자가 참고한 설명서의 수 및 지원을 요청한 횟수를 측정 항목으로 제시한다. 이는 SQA의 ULe-1-S: 사용자 매뉴얼의 완벽도 메트릭으로 측정할 수 있다. 사용자 매뉴얼의 완벽도의 구체

적인 수식은 식 (3.5)와 같다.

$$\text{사용자 매뉴얼의 완벽도} = \frac{\text{설명서 및 도움말에 설명되어 있는 기능의 수/전체 기능의 수}}{\quad} \quad (3.5)$$

HCD에서는 참고한 설명서의 수, 지원을 요청한 횟수를 계산하여 각 수에 대한 평가 척도를 따로 세워야 하는 반면 SQA의 식 (3.5)를 사용하면 해당 값이 1에 가까울수록 지원 요청의 최소화에 대한 유효성이 높은 것으로 측정할 수 있다.

(6) 학습성의 유효성

학습성의 유효성 측정을 위한 메트릭으로 HCD 관련 국제표준인 ISO 9241-11에서는 학습된 기능의 수 및 기준에 따라 학습 가능한 사용자의 비율을 측정항목으로 제시한다. 이를 측정할 수 있는 메트릭을 SQA의 메트릭 중에 존재하지는 않으나 ISO/IEC 25023에서 소프트웨어 제품 관점의 학습성에 대한 메트릭 네 가지를 제공하므로 이를 적절히 활용하여 측정하는 것을 권장한다.

(5) 오류 허용의 유효성

오류 허용의 유효성 측정을 위한 메트릭으로 HCD 관련 국제표준인 ISO 9241-11에서는 시스템에 의해 수정되거나 보고된 오류의 비율을 측정항목으로 제시한다. 이는 SQA의 UEp-2-S:사용자 입력 오류 수정 메트릭으로 측정할 수 있다. 구체적인 수식은 식 (3.6)과 같다.

$$\text{사용자 입력 오류 수정} = \frac{\text{올바른 값이 제안된 수/탐지된 오류의 수}}{\quad} \quad (3.6)$$

(8) UI 가독성의 유효성

UI 가독성의 유효성 측정을 위한 메트릭으로 HCD 관련 국제표준인 ISO 9241-11에서는 일반적인 거리에서 단어를 보았을 때 정확히 읽어지는 비율을 측정항목으로 제시한다. 이 때 일반적인 거리는 장비 및 소프트웨어

어 마다 다르게 계산된다. 이는 ISO/IEC 25022의 Ef-2-S:목표 달성도 메트릭을 활용하여 측정할 수 있으며 구체적인 수식은 식 (3.1)과 같다. 식 (3.1)의 '작업 결과가 누락되거나 잘못된 비례값'의 부분에 '단어를 잘못 읽은 비례값'을 대입하여 계산할 수 있다. 이 메트릭의 측정값이 1에 가까울수록 가독성의 유효성이 높은 것으로 측정된다.

3.3.2 효율성 메트릭

효율성은 사용자가 제품 및 시스템을 사용하면서 얻고자했던 목표를 정확하고 완전하게 달성하기 위하여 자원이 충분하게 활용되었는지에 대한 속성이다. 자원은 목표를 얻고자 진행한 작업에 소요된 시간, 인적 자원, 물질 혹은 사용의 재정적인 비용을 포함한다. Table 3.6은 사용성을 측정할 수 있는 특성 중 효율성에 대하여 HCD 관련 표준인 ISO 9241-11에서 제공하는 메트릭과 SQA 관련 표준인 ISO/IEC 25022, 25023에서 제공하는 메트릭을 비교한 것이다.

Table 3.6 Efficiency Metrics of SQA/HCD

사용성 평가 대상	HCD의 메트릭 (ISO 9241-11을 기반으로)	SQA의 메트릭 (ISO/IEC 25022, 25023을 기반으로)
사용자 목표	작업 완료 시간	Ey-1-G 작업 시간
	작업 수행에 소요한 비용	Ey-3-S 비용 효율성
숙련된 사용자의 요구사항 충족	전문적인 사용자와 비교했을 때의 상대적인 효율성	

Table 3.6 Efficiency Metrics of SQA/HCD(cont.)

사용성 평가 대상	HCD의 메트릭 (ISO 9241-11을 기반으로)	SQA의 메트릭 (ISO/IEC 25022, 25023을 기반으로)
초보자의 요구사항 충족	최초 사용 시의 소요 시간	Ey-1-G 작업 시간
	최초 사용 시의 상대적인 효율	
지원 요청의 최소화	생산적인 시간	Ey-4-S 생산적인 시간 비율
간헐적으 로 사용하는 경우	재학습에 걸리는 시간	Ey-2-S 사용 효율
학습성	기준에 따른 학습 시간	
오류 허용	오류 수정에 소요된 시간	
UI 가독성	지정된 수의 문자를 정확하게 읽는 데에 소요된 시간	

(1) 사용자 목표의 효율성

사용자 목표의 효율성 측정 메트릭으로 HCD 관련 국제표준인 ISO 9241-11에서는 두 가지 측정항목으로 제시한다.

첫 번째 측정항목인 작업 완료 시간은 SQA의 메트릭 중 Ey-1-G:작업 시간 메트릭으로 측정할 수 있다.

두 번째 측정 항목인 작업 수행에 소요한 비용은 SQA의 Ey-3-S:비용 효율성 메트릭으로 측정할 수 있다. 비용 효율성의 구체적인 수식은 식 (3.8)과 같다.

$$\text{비용 효율성} = \text{목표 달성도} / \text{작업에 소요된 전체비용} \quad (3.8)$$

식 (3.8)의 목표 달성도는 식 (3.1)을 활용하여 구할 수 있다.

(2) 숙련된 사용자의 요구사항 충족의 효율성

숙련된 사용자의 요구사항을 충족의 효율성 측정 메트릭으로 HCD 관련 국제표준인 ISO 9241-11은 전문적인 사용자와 비교했을 때의 상대적인 효율성을 측정항목으로 제시한다. SQA의 메트릭 중 이와 동일하거나 이를 대체할 수 있는 메트릭을 존재하지 않는다.

(3) 초보자의 요구사항 충족의 효율성

초보자의 요구사항을 충족의 효율성 측정 메트릭으로 HCD 관련 국제 표준인 ISO 9241-11에서는 두 가지 측정항목을 제시한다.

첫 번째 측정항목인 최초 사용 시의 소요 시간은 SQA의 Ey-1-G:작업 시간 메트릭으로 측정할 수 있다.

두 번째 측정항목인 최초 시도 시의 상대적인 효율에 대해서는 SQA의 메트릭 중 이와 동일하거나 이를 대체할 수 있는 메트릭이 존재하지 않는다.

(4) 지원 요청의 최소화의 효율성

지원 요청의 최소화의 효율성 측정 메트릭으로 HCD 관련 국제표준인 ISO 9241-11은 생산적인 시간을 측정항목으로 제시한다. 이는 SQA의 Ey-4-S:생산적인 시간 비율 메트릭으로 측정할 수 있으며 구체적인 수식은 식 (3.9)와 같다.

$$\text{생산적인 시간 비율} = \frac{(\text{작업 완료에 소요된 시간} - \text{도움이거나 지원을 받은 시간} - \text{오류 복구에 소요된 시간} - \text{효과가 없었던 검색 시간})}{\text{작업 시간}} \quad (3.9)$$

(5) 간헐적으로 사용하는 경우의 효율성

간헐적으로 사용하는 경우의 효율성 측정 메트릭으로 HCD 관련 국제 표준인 ISO 9241-11은 재학습에 소요되는 시간을 측정항목으로 제시한다.

이는 SQA의 Ey-2-S:사용 효율 메트릭을 활용하여 측정할 수 있다. Ey2-S: 사용 효율 메트릭의 구체적인 수식은 식 (3.10)과 같다

$$\text{사용 효율} = \text{목표 달성도} / \text{시간} \quad (3.10)$$

식 (3.10)은 소요시간 대비 목표 달성도를 계산하는 수식이다. 이를 활용하여 분자는 식 (3.1)을 활용하여 재학습에 대한 목표 달성도를 계산하고, 분모는 재학습에 걸린 시간으로 두어 측정할 수 있다. 이 값이 1에 가까울수록 짧은 시간 안에 재학습을 완료했다는 뜻으로 효율성이 좋음을 의미한다.

(6) 학습성의 효율성

학습성의 효율성 측정 메트릭으로 HCD 관련 국제표준인 ISO 9241-11은 학습에 소요되는 시간을 측정항목으로 제시한다. 이는 SQA의 Ey-2-S: 사용 효율 메트릭인 식 (3.10)을 활용하여 측정할 수 있다. 분자인 목표 달성도는 식 (3.1)을 활용하여 학습의 목표 달성도를 계산하고, 분모는 학습 시간으로 두어 계산하면 이 값이 1에 가까울수록 짧은 시간 안에 제품을 학습했다는 뜻으로 효율성이 좋음을 의미한다.

(7) 오류 허용의 효율성

오류 허용의 효율성 측정 메트릭으로 HCD 관련 국제표준인 ISO 9241-11은 오류 수정에 소요되는 시간을 측정항목으로 제시한다. 이는 SQA의 Ey-2-S:사용 효율 메트릭인 식 (3.10)을 활용하여 측정할 수 있다. 분자인 목표달성도는 식 (3.1)을 활용하여 오류 수정의 목표 달성도를 계산하고, 분모는 오류 수정에 소요된 시간으로 두어 계산하면 이 값이 1에 가까울수록 짧은 시간 안에 오류 수정을 완료했다는 뜻으로 효율성이 좋음을 의미한다.

(8) UI 가독성의 효율성

UI 가독성의 효율성 측정 메트릭으로 HCD 관련 국제표준인 ISO

9241-11은 지정된 수의 문자를 정확하게 읽는 데에 소요되는 시간을 측정 항목으로 제시한다. 이는 SQA의 Ey-2-S:사용 효율 메트릭인 식 (3.10)을 활용하여 측정할 수 있다. 분자인 목표 달성도는 식 (3.1)을 활용하여 지정된 수의 문자를 정확하게 읽는 것의 목표 달성도를 계산하고, 분모는 지정된 수의 문자를 정확하게 읽는 데에 소요된 시간을 두어 계산하면 이 값이 1에 가까울수록 짧은 시간 안에 지정된 문자를 정확하게 읽었다는 뜻으로 효율성이 좋음을 의미한다.

3.3.3 만족도 메트릭

만족도는 소프트웨어 제품이 특정한 사용 환경에서 사용될 때 사용자의 요구를 전반적으로 만족시키는 지에 대한 정도를 의미한다. HCD의 만족도는 주로 불만의 빈도를 계산하거나, 특정 목표에 대한 만족도에 대한 설문조사를 통해서 얻는다. SQA의 만족도는 유용성, 신뢰, 즐거움, 편안함 총 네 가지의 부특성을 가지며 각 부특성을 측정할 수 있는 메트릭은 ISO/IEC 25022에서 제공된다. Table 3.7은 사용성을 측정할 수 있는 특성 중 만족도에 대하여 HCD 관련 표준인 ISO 9241-11에서 제공하는 메트릭과 SQA 관련 표준인 ISO/IEC 25022, 25023에서 제공하는 만족도 메트릭을 비교한 것이다. 상세 설명은 다음과 같다.

Table 3.7 Satisfaction Metrics of SQA/HCD

사용성 평가 대상	HCD의 메트릭 (ISO 9241-11을 기반으로)	SQA의 메트릭 (ISO/IEC 25022, 25023을 기반으로)
사용자 목표	불만의 빈도	ID:SUs-5-G 사용자의 불만을
숙련된 사용자의 요구사항 충족	작업 결과물에 대한 만족도 평가	ID:SUs-2-G 기능에 대한 만족도

Table 3.7 Satisfaction Metrics of SQA/HCD(cont.)

사용성 평가 대상	HCD의 메트릭 (ISO 9241-11을 기반으로)	SQA의 메트릭 (ISO/IEC 25022, 25023을 기반으로)
초보자의 요구사항 충족	자발적으로 사용하는 비율	
간헐적으로 사용하는 경우	사용 빈도	
지원 요청의 최소화	지원 도구 및 기능에 대한 만족도 평가	ID:SUs-2-G 기능에 대한 만족도
학습성	학습 용이도 평가	
오류 허용	오류 처리율 평가	
UI 가독성	판독 불가율 평가	

(1) 사용자 목표의 만족도

사용자 목표의 만족도 측정 메트릭으로 HCD 관련 국제표준인 ISO 9241-11에서는 불만의 빈도를 측정항목으로 제시한다. 이는 SQA의 SUs-5-g: 사용자의 불만으로 측정할 수 있다. 구체적인 수식은 식 (3.11)과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{사용자의 불만을} \\ & = \text{사용자가 불만을 나타낸 수/시스템을 사용한 고객의 수} \end{aligned} \quad (3.11)$$

(2) 숙련된 사용자의 요구사항 충족의 만족도

숙련된 사용자의 요구사항을 충족의 만족도 측정 메트릭으로 HCD 관련 국제표준인 ISO 9241-11에서는 작업 결과물에 대한 만족도 평가를 측정항목으로 제시한다. 이는 SQA의 SUs-5-g:기능에 대한 만족도로 측정할 수 있으며 구체적인 수식은 식 (3.12)와 같다.

$$\text{기능에 대한 만족도} = \sum(\text{특정 기능과 관련된 질문의 응답}) \quad (3.12)$$

숙련된 사용자들을 상대로 요구사항이 만족스럽게 충족되었는지 설문조사를 진행한 뒤, 설문 항목의 응답을 합산하여 만족도를 측정한다. 이 때 설문지는 리커트 척도 등을 사용하여 만들 수 있다.

(3) 초보자의 요구사항 충족의 만족도

초보자의 요구사항을 충족의 만족도 측정 메트릭으로 HCD 관련 국제 표준인 ISO 9241-11에서는 자발적으로 사용하는 비율을 측정항목으로 제시한다. SQA의 메트릭 중 이를 측정할 수 있는 메트릭은 존재하지 않는다.

(4) 간헐적으로 사용하는 경우의 만족도

간헐적으로 사용하는 경우의 만족도 측정 메트릭으로 HCD 관련 국제 표준인 ISO 9241-11에서는 사용 빈도를 측정항목으로 제시한다. SQA의 메트릭 중 이를 측정할 수 있는 메트릭은 존재하지 않는다.

(5) 지원 요청의 최소화의 만족도

지원 요청의 최소화의 만족도 측정 메트릭으로 HCD 관련 국제표준인 ISO 9241-11에서는 지원 도구 및 기능에 대한 만족도 평가를 측정항목으로 제시한다. 이는 SQA의 SUs-5-g:기능에 대한 만족도로 측정할 수 있으며 이는 식 (3.12)와 같다. 사용자들을 상대로 지원 도구 및 기능에 대한 만족도 설문조사를 진행한 뒤, 설문 항목의 응답을 합산하여 만족도를 측정한다. 이 때 설문지는 리커트 척도 등을 사용하여 만들 수 있다.

(6) 학습성의 만족도

학습성의 만족도 측정 메트릭으로 HCD 관련 국제표준인 ISO 9241-11에서는 학습 용이도 평가를 측정항목으로 제시한다. 이는 SQA의 SUs-5-g:기능에 대한 만족도로 측정할 수 있으며 이는 식 (3.12)와 같다. 사용자들

을 상대로 학습이 용이했는지 설문조사를 진행한 뒤, 설문 항목의 응답을 합산하여 만족도를 측정한다. 이 때 설문지는 리커트 척도 등을 사용하여 만들 수 있다.

(7) 오류 허용의 만족도

오류 허용의 만족도 측정 메트릭으로 HCD 관련 국제표준인 ISO 9241-11에서는 오류 처리율 평가를 측정항목으로 제시한다. 이는 SQA의 SUs-5-g:기능에 대한 만족도로 측정할 수 있으며 이는 식 (3.12)와 같다. 사용자들을 상대로 오류 처리율에 대한 만족도 설문조사를 진행한 뒤, 설문 항목의 응답을 합산하여 만족도를 측정한다. 이 때 설문지는 리커트 척도 등을 사용하여 만들 수 있다.

(8) UI 가독성의 만족도 측정

UI 가독성의 만족도 측정 메트릭으로 HCD 관련 국제표준인 ISO 9241-11에서는 판독 불가율 평가를 측정항목으로 제시한다. 이는 SQA의 SUs-5-g:기능에 대한 만족도로 측정할 수 있으며 이는 식 (3.12)와 같다. 사용자들을 상대로 특정 UI를 읽는데 어려움이나 불편함이 없었는지에 대한 설문조사를 진행한 뒤, 설문 항목의 응답을 합산하여 만족도를 측정한다. 이 때 설문지는 리커트 척도 등을 사용하여 만들 수 있다.

3.4 이내비게이션을 위한 사용성 메트릭 도출

본 3장에서는 SQA와 HCD를 공통으로 적용했을 때 사용할 수 있는 사용성 메트릭을 찾기위하여 각 관점에서의 국제표준에서 제공하는 메트릭에 대하여 연구했다. HCD 관점에서 제공하는 사용성 메트릭에 대해 유효성, 효율성, 만족도 각 특성으로 나누어 이를 측정할 수 있거나 혹은 대체할 수 있는 메트릭이 SQA 관점에서 제공하는 사용성 메트릭에 존재하는지 비교해보았다. 비교한 결과를 살펴보면 Table 3.8과 같이 SQA와 HCD 측면에서 공통으로 사용할 수 있는 메트릭은 유효성의 메트릭 5개, 효율성의 메트릭 4개, 만족도의 메트릭 2개로 총 11개이다. 즉, 이 11개의

메트릭을 SQA와 HCD를 공통으로 적용한 이내비게이션 시스템 및 소프트웨어의 사용성 측정에 사용할 수 있다.

Table 3.8 Usability Metrics for e-navigation

특성	메트릭 이름	메트릭 ID
유효성	작업 완료도	Ef-1-G
	목표 달성도	Ef-2-S
	작업 중 오류 발생 비율	Ef-4-G
	사용자 매뉴얼의 완벽도	ULe-1-S
	사용자 입력 오류 수정	UEp-2-S
효율성	작업 시간	Ey-1-G
	사용 효율	Ey-2-G
	비용 효율성	Ey-3-G
	생산적인 시간 비율	Ey-4-G
만족도	기능에 대한 만족도	SUs-2-G
	사용자의 불만을	SUs-5-G

SQA와 HCD를 공통으로 적용하여 개발한 이내비게이션 시스템 및 소프트웨어는 그 종류 및 대상마다 선택하여 적용하는 메트릭에 차이가 있을 수 있다. 본 논문에서는 SQA와 HCD 측면의 국제표준에서 다루는 메트릭의 비교로 공통으로 사용할 수 있는 메트릭을 도출했다. 즉, Table 3.8은 이내비게이션 시스템 및 소프트웨어의 종류나 대상에 관계없이 사용성 측정을 위하여 공통으로 사용할 수 있는 기본적이고 핵심이 되는 메트릭의 집합이라고 볼 수 있다. 이 11개의 메트릭을 기본으로 측정 대상 및 제품의 목표, 사용자 특성, 특정한 기능 및 사용 상황에 따라 더 필요한 메트릭을 추가적으로 선택하여 이내비게이션 시스템 및 소프트웨어의 사용성 측정을 할 수 있다.

소프트웨어 제품의 좋은 사용성은 전체 시스템을 사용한 결과의 좋은 유효성, 효율성, 만족도를 얻기 위한 선결 조건이다(ISO, 2014a). 따라서 이내비게이션 소프트웨어 제품만을 대상으로 한 사용성 측정도 필요하며

이를 위한 메트릭은 Table 3.9와 같다. 이는 Table 3.2의 소프트웨어 제품의 사용성 메트릭 중 Table 3.8에 포함된 메트릭과 이내비게이션 소프트웨어를 대상으로 측정하지 않아도 되는 메트릭을 제외하고 구성한 것이다.

Table 3.9 Usability Metrics for e-navigation Software Product

특성	메트릭 이름	메트릭 ID
타당성 식별력	설명의 완전성	UAp-1-G
	데모 기능	UAp-2-S
학습성	사용자 매뉴얼의 완벽도	ULe-1-S
	입력 필드 기본값	ULe-2-S
	오류 메시지 이해도	ULe-3-S
	UI의 자명함	ULe-4-S
운용성	운용의 일관성	UOp-1-G
	메시지 명확성	UOp-2-G
	UI 사용자 최적화	UOp-4-S
	모니터링 기능	UOp-5-S
	실행 취소 및 재확인 유도	UOp-6-S
	UI 일관성	UOp-8-S
사용자 오류 보호	사용자 조작 오류 보호	UEp-1-G
	사용자 오류 복구성	UEp-3-S
UI 심미성	UI 외관 심미성	UIn-1-S
접근성	다국어 지원 여부	UAc-5-S

제외한 메트릭은 모두 일곱 가지로 그 이유는 다음과 같다. 타당성 식별력의 메트릭 중 '홈페이지 입구의 설명'은 웹 페이지를 위한 메트릭으로 제외하였다. 운용성 메트릭 중 '기능 최적화'는 사용자가 자신의 편의를 위해 정의 할 수 있는 기능 및 운영 절차의 비율을 측정하는 메트릭이다. 이내비게이션 소프트웨어는 사용자가 편의를 위해 정의할 수 있는 기능이 달리 없다고 판단하여 제외하였다. 운용성 메트릭 중 '전문용어의 이해도'는 선박의 장비 및 소프트웨어는 일정한 교육과 자격을 갖춘 항해사 및 선원들이 사용하므로 전문용어의 이해도는 측정하지 않아도 된다고 판

단하여 제외하였다. 접근성의 매트릭 중 ‘인지 장애인의 접근성’, ‘지체 장애인의 접근성’, ‘청각 장애인의 접근성’, ‘시각 장애인의 접근성’은 장애를 가진 사람은 항해사 자격에 부적격이므로 이내비게이션 시스템 및 소프트웨어를 사용하지 않을 것으로 판단하여 제외하였다.



제 4 장 이내비게이션 사용성 메트릭의 커스터마이징

본 장에서는 소프트웨어와 하드웨어가 결합된 선박의 핵심 항해설비인 ECDIS를 대상으로 3장에서 도출한 이내비게이션 사용성 메트릭을 커스터마이징 한다. ECDIS의 성능기준 표준인 IEC 61174를 참고하여 각 기능마다 메트릭 적용 시 참고해야 하는 사항을 기재하여 실무 적용에 적합한 메트릭으로 커스터마이징 해본다.

4.1 ECDIS 기능 및 특징

ECDIS는 기존에 사용하고 있는 종이해도를 디지털화 혹은 스캐닝(scanning)하여 제작한 해도표시시스템으로 IMO가 설정한 전자해도표시시스템의 최소성능기준안(A.817)과 함께 국제수로기구(IHO, International Hydrographic Organization)가 제정한 전자해도시스템의 국제성능기준인 S-57을 만족하는 전자해도를 Fig 4.1과 같이 각종 항해장비(GPS, Radar, Gyro, AIS, ARPA etc.)와 인터페이스하여 디스플레이 장비를 통해 화면 위에 종이해도와 동일한 모습으로 그 형상을 표시할 수 있는 전자해도시스템이다.

ECDIS는 선박의 항해와 관련된 정보인 해도정보, 위치정보, 선박침로, 속도 등을 종합하여 디스플레이 할 수 있는 장비이다. 이를 통해 선박의 위치확인, 최적항로 선정, 좌초 및 충돌예방조치를 항해자에게 신속하고 정확하게 경보신호 등을 통하여 알려줌으로써 안전항행을 수행하는데 도움을 주는 첨단 전자항해 보조장비로 정의된다(배병덕, 2010).



Fig. 4.1 ECDIS(김원욱 외, 2014)

ECDIS는 하드웨어, 소프트웨어 및 각종 데이터가 합쳐진 복잡한 시스템으로 수많은 작동오류가 발생할 가능성이 있기 때문에 이에 대한 주의가 요구된다. 또한 이러한 오류들이 자칫 큰 사고로 이어질 가능성이 있기 때문에 좋은 소프트웨어 품질이 요구된다.

4.2 ECDIS의 성능기준 및 국제표준

ECDIS의 성능기준은 IMO가 정한 전자해도 표시 시스템의 성능기준인 IMO Resolution A.817(19) - Performance Standards for ECDIS에 정의되어있다. IEC 61174는 이를 기반으로 만들어진 ECDIS 동작과 성능에 관한 최소 요구사항, 시험 방법과 요구되는 시험 결과를 다루는 국제 표준이다(IEC, 2015).

동작과 성능에 관한 최소 요구사항은 SENC(System Electronic Navigation Charts) 정보의 출력, 해도 정보의 제공과 갱신, 축척, 기타 항

해 정보의 표시, 화면 표시 모드 및 인접 해도의 생성, 색과 심별, 화면 표시 요구사항, 화면 표시 요구사항, 항로 계획 및 항로 감시와 항해 기록, 타 장비와의 연결, 성능시험 및 고장 알람과 지시, 백업 장치, 전력의 공급, 정확도에 대하여 정의되어 있다. 성능에 관련된 최소 요구사항의 부합 여부는 IHO에서 제공하는 데이터 세트 및 시험 시나리오를 사용하여 판단한다.

4.3 사용 품질의 사용성 메트릭 커스터마이징

본 절에서는 ECDIS의 주요 기능인 항로 계획과 SENC 정보 출력에 대하여 3장에서 얻은 사용 품질의 사용성 메트릭인 유효성, 효율성 메트릭을 커스터마이징 해본다. 주로 설문조사를 통하여 진행되는 만족도 메트릭은 커스터마이징 하지 않는다. 각 메트릭은 메트릭명, 메트릭을 사용하는 목적, 측정 계산식, 측정 변수, 측정값의 범위, 측정 시 참고해야 할 사항을 포함한다. 측정 시 참고사항에 대해서는 IEC 61174의 항로계획 기능과 SENC 정보 출력 기능의 동작과 성능에 관한 최소 요구사항에 근거하였다.

4.3.1 항로계획 기능

항로 계획은 표 기반, 해도 기반으로 각각 시도할 수 있다. 표 기반 항로 계획은 경위도, 속력 등을 직접 입력하는 방법이며 해도 기반 항로 계획은 화면상에 직접 변침점 및 코스 라인을 마우스 등으로 클릭하여 입력하는 방법이다. 항로 계획에 대한 사용성 메트릭 커스터마이징 결과는 Table 4.1과 Table 4.2와 같다.

Table 4.1 Effectiveness Metric of Route Planning

메트릭 이름	항로 계획의 유효성(작업 완료도)
목적	변침점의 추가, 삭제, 위치 및 순서변경 등 항로 계획의 조정을 자유롭게도 정확하게 할 수 있는지 확인
측정계산식	$X=A/B$ A=사용자의 요구대로 계획된 항로의 개수 B=계획을 시도한 항로의 개수
결과영역	($0 \leq X \leq 1$, 1.0에 가까울수록 좋음)
측정 시 참고사항	-최소 10개의 이상의 변침점을 가지고 항로계획 시도할 것 -변침점 간 직선/곡선 번갈아가며 시도할 것

Table 4.1은 항로 계획 기능의 유효성 측정을 위하여 Ef-1-G:작업 완료도 메트릭을 커스터마이징 해본 것이다. 이는 계획을 시도한 항로의 개수 대비 사용자의 요구대로 계획된 항로의 개수를 계산하여 측정할 수 있으며 값이 1에 가까울수록 항로 계획의 유효성이 높은 것으로 측정된다. IEC 61174를 기반으로 도출한 항로 계획의 유효성 측정 시 참고해야 할 사항으로는 최소 10개 이상의 변침점을 가지고 시도한 항로계획을 대상으로 측정해야 하는 점, 변침점 간의 직선/곡선을 번갈아가며 시도해야 하는 점이 있다.

Table 4.2 Efficiency Metric of Route Planning

메트릭 이름	항로 계획의 효율성(생산적인 시간 비율)
목적	변침점의 추가, 삭제, 위치 및 순서변경 등 항로 계획의 조정에 소요되는 시간을 측정하여 항로 계획이 효율적으로 이루어지는 지 확인
측정계산식	$X=Ta/Tb$ Ta = 항로 계획을 완료하는 데에 걸린 시간 - 도움이나 지원을 요청한 시간 - 항로 계획 도중 오류가 발생한 시간 Tb = 항로 계획에 소요된 총 시간
결과영역	($0 < X \leq 1$, 1.0에 가까울수록 좋음)

Table 4.2는 항로 계획 기능의 효율성 측정을 위하여 Ey-4-S:생산적인 시간 비율 메트릭을 커스터마이징 해본 것이다. 이는 항로 계획에 소요된 총 시간 대비 항로 계획을 완료하는 데에 걸린 시간에서 항로 계획 중 도움이나 지원을 요청한 시간 및 오류가 발생한 시간을 빼서 계산할 수 있다. 이 값이 1에 가까울수록 항로 계획에 소요된 시간이 생산적이며 효율성이 높은 것으로 측정된다.

4.3.2 SENC 정보 출력 기능

ECDIS는 SENC(System electronic navigational chart)를 정확히 출력할 수 있어야 한다. SENC는 적절한 방법에 의한 해도 갱신, 항해사에 의해 추가된 기타 데이터의 변환으로부터 기인한 데이터베이스이다. SENC는 화면의 생성과 항해기능을 위하여 ECDIS가 실제로 접근하는 데이터베이스이며 최신의 종이해도와 동일한 것이다. SENC는 ECDIS에 해도를 처음 표시해야 하는 정보인 standard display, 해도에서 제거되면 안 되는 정보인 display base, 그 외의 all other information으로 구분된다. SENC 정보 출력 기능에 대한 사용성 메트릭 커스터마이징 결과는 Table 4.3과 Table 4.4와 같다.

Table 4.3 Effectiveness Metric of Display to SENC Information

메트릭 이름	SENC 정보 출력의 유효성(목표 달성도)
목적	ECDIS가 모든 SENC 정보를 출력할 수 있는지를 측정
측정계산식	$X=1-\sum A_i$ A_i =ECDIS가 출력해낸 SENC정보 중 누락되거나 잘못된 결과의 비례값
결과영역	($0 \leq X \leq 1$, 1.0에 가까울수록 좋음)
측정 시 참고사항	-SENC의 내용은 가장 최신의 버전이어야 함

Table 4.3은 SENC 정보 출력 기능의 유효성 측정을 위하여 Ef-2-S:목표 달성도 메트릭을 커스터마이징 해본 것이다. 이는 ECDIS가 출력해낸 SENC 정보 중 누락되거나 잘못된 결과의 비례값의 합을 1에서 뺀으로써 측정할 수 있으며 값이 1에 가까울수록 SENC 정보 출력의 유효성이 높은 것으로 평가된다. IEC 61174를 기반으로 도출한 SENC 정보 출력의 유효성 측정 시 참고해야 할 사항으로는 SENC가 가장 최신의 버전인지 확인하고 측정해야 하는 점이 있다.

Table 4.4 Efficiency Metric of Display to SENC Information

메트릭 이름	SENC 정보 출력의 효율성(사용 효율)
목적	SENC 정보를 출력할 때에 소요된 시간 대비 목표 달성율을 계산하여 효율성을 측정
측정계산식	$X=A/T$ A = SENC 정보 출력의 유효성(목표 달성도) T = SENC 정보 출력에 소요된 시간
결과영역	($0 < X \leq 1$, 1.0에 가까울수록 좋음)

Table 4.4는 SENC 정보 출력의 효율성 측정을 위하여 Ey-2-S:사용 효율 메트릭을 커스터마이징 해본 것이다. 이는 SENC 정보 출력에 소요된 시간 대비 시간 대비 SENC 정보 출력의 유효성(목표달성도) 값을 계산하여 측정할 수 있다. 이 값이 1에 가까울수록 단위시간 대비 목표 달성도 값이 높은 것으로 SENC 정보 출력의 효율성이 높은 것으로 평가할 수 있다.

4.4 제품 품질의 사용성 메트릭 커스터마이징

본 절에서는 Table 3.9로 얻은 이내비게이션 소프트웨어 제품 품질의 사용성을 측정할 수 있는 메트릭을 ECDIS를 대상으로 커스터마이징 해본다. Table 3.9의 메트릭 중 ECDIS에 커스터마이징 할 필요가 없거나, 표준에서 제공하는 메트릭과 그 대상이 맞지 않는 메트릭을 제외하고 총 12개의 메트릭을 적용해보았다. 소프트웨어 제품 품질의 사용성의 부특성에 따른 메트릭의 목적을 설명하고, 계산식 및 값의 범위 등에 대하여 커스터마이징한 내용을 상세히 기술한다.

본 절에서 ECDIS를 대상으로 진행한 Table 3.9의 메트릭의 커스터마이징의 여부는 Table 4.5와 같다.

Table 4.5 Customizing Metrics of Software Product's Usability for ECDIS

사용성의 부특성	메트릭 이름	ECDIS에 적용 여부
타당성 식별력	설명의 완전성	O
	데모 기능	X
학습성	사용자 매뉴얼의 완벽도	O
	입력 필드 기본값	X
	오류 메시지 이해도	O
	UI의 자명함	O
운용성	운용의 일관성	O
	메시지 명확성	O
	UI 사용자 최적화	O
	모니터링 기능	X
	실행취소 및 재확인 유도	O
	UI 일관성	X
사용자 오류 보호	사용자 조작 오류 보호	O
	사용자 오류 복구성	O
UI 심미성	UI 외관 심미성	O
접근성	다국어 지원 여부	O

(1) 타당성 식별력

타당성 식별력은 사용자가 제품 혹은 시스템이 자신의 요구에 적합한 지에 대해 판단할 수 있는 정도를 의미한다. 소프트웨어 제품 또는 시스템이 목적 달성에 적합한지, 이를 사용하는 방법을 사용자가 잘 이해할 수 있는지에 대해 측정함으로써 평가할 수 있다. Table 4.6은 타당성 식별력의 메트릭 중 설명의 완전성을 ECDIS를 대상으로 커스터마이징한 것이다.

Table 4.6 Customizing Description completeness for ECDIS

메트릭 이름	설명 완전성
설명	ECDIS 제품에 대한 설명 및 사용 시나리오가 매뉴얼이나 사용자를 위한 도움말에 상세히 설명되어 있는 지 측정
측정항목	A= 사용자 매뉴얼 및 도움말 기능에 설명된 ECDIS 사용 시나리오의 수
	B= ECDIS의 전체 사용 시나리오 수
계산식 및 범위	$X = A/B$ ($0 \leq X \leq 1$, 1.0에 가까울수록 좋음)

설명 완전성은 ECDIS의 전체 사용 시나리오 수 대비 사용자 매뉴얼 및 도움말 기능에 설명된 ECDIS 사용 시나리오의 수를 계산하여 측정할 수 있으며 측정값이 1에 가까울수록 제품 및 시나리오에 대한 설명의 완전성 높은 것이다. 설명의 완전성이 높을수록 ECDIS를 사용하는 방법을 사용자가 잘 이해할 수 있으므로 타당성 식별력이 높은 것으로 평가된다.

(2) 학습성

학습성은 소프트웨어 제품 또는 시스템을 사용하기 위해서 사용자에게 요구되는 학습의 정도이다. 학습성은 사용자 매뉴얼이 완벽하게 작성되어 사용자의 학습을 도와주는지, 기본값을 가질 수 있는 필드들이 자동으로 채워지는지, 오류를 알려주는 메시지가 사용자가 이해하기 좋은지, 기능을 수행하기 위해 거쳐야 하는 단계들이 일반적인 방법으로 사용자가 교육받지 않고도 수행할 수 있는지 등을 측정하여 평가할 수 있다. 학습성의 메

트릭을 커스터마이징한 결과는 Table 4.7, Table 4.8, Table 4.9와 같다.

Table 4.7 Customizing User guidance completeness for ECDIS

메트릭 이름	사용자 매뉴얼의 완벽도
설명	ECDIS 전체 기능에 대한 설명이 사용자 매뉴얼에 모두 포함되어 있는지에 대해 측정함
측정항목	A=ECDIS 사용자 매뉴얼 및 도움말 기능에 설명된 기능의 수
	B=ECDIS에 구현된 전체 기능의 수
계산식 및 범위	$X = A/B$ ($0 \leq X \leq 1$, 1.0에 가까울수록 좋음)

Table 4.7은 학습성의 메트릭 중 사용자 매뉴얼의 완벽도를 ECDIS를 대상으로 커스터마이징한 것이다. 사용자 매뉴얼의 완벽도는 ECDIS에 구현된 전체 기능의 수 대비 ECDIS 사용자 매뉴얼 및 도움말 기능에 설명된 기능의 수로 계산할 수 있으며 측정값이 1에 가까울수록 사용자 매뉴얼이 완전하게 만들어졌음을 의미한다. 사용자 매뉴얼이 완전할수록 사용자가 ECDIS를 사용하는 데에 특별한 지원 없이 매뉴얼만으로도 충분히 사용이 가능할 것으로 판단되며 학습성이 좋은 것으로 평가된다.

Table 4.8 Customizing Error message understandability for ECDIS

메트릭 이름	오류 메시지 이해도
설명	ECDIS 작동 오류 시 나타나는 메시지에 왜 오류가 발생했는지, 해결 방법을 제시하는지에 대해 측정
측정항목	A= 오류 메시지 중 발생한 원인과 해결 방법이 함께 기술된 오류 메시지의 수
	B= ECDIS에 구현된 오류 메시지의 수
계산식 및 범위	$X = A/B$ ($0 \leq X \leq 1$, 1.0에 가까울수록 좋음)

Table 4.8은 학습성의 메트릭 중 오류 메시지 이해도를 ECDIS를 대상으로 커스터마이징한 것이다. 오류 메시지 이해도는 ECDIS에 구현된 오류 메시지의 수 대비 ECDIS 오류 메시지 중 발생한 원인과 해결 방법이

함께 기술된 오류 메시지의 수로 계산할 수 있다. 측정값이 1에 가까울수록 오류메시지가 사용자에게 왜 오류가 발생했는지를 설명하고 이후의 대책에 대한 내용을 포함한 것으로 사용자가 당황하거나 헤맬 시간을 줄여 줌으로써 학습성이 좋은 것으로 평가될 수 있다.

Table 4.9 Customizing Self-explanatory user interface for ECDIS

메트릭 이름	UI의 자명함
설명	ECDIS 사전 교육이나 훈련, 도움 없이 일반적인 작업을 완료할 수 있는지에 대한 측정
측정항목	A= 사용자가 이해할 수 있는 방법으로 표시된 정보의 요소 및 단계의 수
	B= ECDIS의 처음 사용자가 작업을 완료하는 데에 필요한 정보 요소 및 단계의 수
계산식 및 범위	$X = A/B$ ($0 \leq X \leq 1$, 1.0에 가까울수록 좋음)

Table 4.9는 학습성의 메트릭 중 UI의 자명함을 ECDIS를 대상으로 커스터마이징한 것이다. UI의 자명함은 ECDIS의 처음 사용자가 작업을 완료하는 데에 필요한 정보 요소 및 단계의 수 대비 사용자가 이해할 수 있는 방법으로 표시된 정보의 요소 및 단계의 수로 계산할 수 있다. 측정값이 1에 가까울수록 사용자가 별도의 학습이나 훈련 없이 UI에 제공되는 정보 만으로만 작업을 완료할 수 있음을 의미한다.

(3) 운용성

운용성은 사용자가 소프트웨어 제품을 잘 운용하고 제어할 수 있는 지에 대한 속성이다. 운용성은 최종 사용자에게 의해 운용 테스트를 통해서 측정될 수도 있고, 요구사항이나 설계사양 및 사용자 설명서를 정적분석하여 측정할 수도 있다. 운용성의 메트릭을 커스터마이징한 결과는 Table 4.10, Table 4.11, Table 4.12, 4.13과 같다.

Table 4.10 Customizing Operational consistency for ECDIS

메트릭 이름	운용의 일관성
설명	ECDIS가 갖는 대화형 작업들이 일관된 동작과 형태를 유지하는 지를 측정
측정항목	A= 일관성 없이 수행되는 대화형 작업의 수
	B= 일관성을 유지해야하는 대화형 작업의 수
계산식 및 범위	$X = 1 - A/B$ ($0 \leq X \leq 1$, 1.0에 가까울수록 좋음)

Table 4.10은 운용성의 메트릭 중 운용의 일관성을 ECDIS를 대상으로 커스터마이징한 것이다. 운용의 일관성은 일관성을 유지해야하는 대화형 작업의 수 대비 일관성 없이 수행되는 대화형 작업의 수를 계산한 값을 1에서 빼서 계산할 수 있다. 측정값이 1에 가까울수록 대화형 작업의 수가 일관성을 가지는 것을 의미하고 운용성이 높은 것으로 평가된다.

Table 4.11 Customizing Message clarity for ECDIS

메트릭 이름	메시지 명확성
설명	ECDIS에 발생하는 메시지들이 사용자들에게 측정
측정항목	A= ECDIS 사용자에게 올바른 결과, 혹은 지침을 전달하는 메시지의 수
	B= ECDIS에 구현된 메시지의 수
계산식 및 범위	$X = A/B$ ($0 \leq X \leq 1$, 1.0에 가까울수록 좋음)

Table 4.11은 운용성의 메트릭 중 메시지 명확성을 ECDIS를 대상으로 커스터마이징한 것이다. 메시지 명확성은 ECDIS에 구현된 메시지의 수 대비 ECDIS 사용자에게 올바른 결과, 혹은 지침을 전달하는 메시지의 수로 계산할 수 있으며, 이는 1에 가까울수록 ECDIS 사용 중에 발생하는 경고나 알림 메시지가 사용자에게 도움이 되어 좋은 운용성을 갖는 것을 의미한다.

Table 4.12 Customizing User interface customizability for ECDIS

메트릭 이름	UI 사용자 최적화
설명	ECDIS 작동 오류 시 나타나는 메시지에 왜 오류가 발생했는지, 해결 방법을 제시하는지에 대해 측정
측정항목	A= ECDIS UI 요소 중 사용자 최적화가 가능한 요소의 수
	B= ECDIS UI 요소 중 사용자 최적화가 필요한 요소의 수
계산식 및 범위	$X = A/B$ ($0 \leq X \leq 1$, 1.0에 가까울수록 좋음)

Table 4.12는 운용성의 메트릭 중 UI 사용자 최적화를 ECDIS를 대상으로 커스터마이징한 것이다. UI 사용자 최적화는 ECDIS UI 요소 중 사용자 최적화가 필요한 요소의 수 대비 ECDIS UI 요소 중 사용자 최적화가 가능한 요소의 수로 계산할 수 있으며 이는 1에 가까울수록 UI를 각 사용자의 특성에 맞게 최적화 시킬 수 있음을 의미한다. UI 최적화를 통하여 사용자 특성에 맞는 UI는 물론 좋은 가독성을 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

Table 4.13 Customizing Undo capability for ECDIS

메트릭 이름	실행 취소 및 재확인 유도
설명	ECDIS 주요 기능 수행 시 사용자에게 한 번 더 확인 및 입력 값을 수정할 기회를 주는지에 대해 측정
측정항목	A = ECDIS 기능 중 실행 취소 기능을 제공하거나, 재확인을 유도하는 기능의 수
	B = ECDIS 기능의 수
계산식 및 범위	$X = A/B$ ($0 \leq X \leq 1$, 1.0에 가까울수록 좋음)

Table 4.13은 운용성의 메트릭 중 실행 취소 및 재확인 유도를 ECDIS를 대상으로 커스터마이징한 것이다. 실행 취소 및 재확인 유도는 ECDIS 기능의 수 대비 ECDIS 기능 중 실행 취소 기능을 제공하거나, 재확인을 유도하는 기능의 수로 계산할 수 있다. 측정값이 1에 가까울수록 작업 실행 전에 사용자에게 다시 한 번 작업을 확인할 기회를 주고, 작업이 잘못되었다고 판단되면 취소할 기회를 주는 것을 의미하고 운용성이 좋은 것

으로 평가된다. 특히 ECDIS는 수동으로 값을 입력하고 변경하는 경우가 많으므로 이에 대한 측정이 필요하다.

(4) 사용자 오류 보호

사용자 오류 보호는 시스템이 사용자 오류로부터 사용자를 보호하는 정도이다. 선박 해양 소프트웨어의 오류는 다른 여타 분야의 소프트웨어에서 발생하는 오류보다 막대한 피해를 야기한다. 사소한 오류가 항해사의 의사결정에 영향을 미치고 항해장비 사용에도 영향을 끼칠 수 있기 때문이다. 이는 자칫 해양사고로 이어질 수 있으며 해양사고는 일반적인 사고보다 경제적, 환경적, 인적으로 매우 큰 규모의 피해가 발생하는 바, 사용자 오류 보호 특성에 대한 높은 품질이 요구된다. 사용자 오류 보호의 메트릭을 커스터마이징한 결과는 Table 4.14, Table 4.15와 같다.

Table 4.14 Customizing Avoidance of user operation error for ECDIS

메트릭 이름	사용자 조작 오류 보호
설명	사용자의 작업이나 입력이 시스템 오류를 일으키지 않도록 하는 정도를 측정
측정항목	A= ECDIS 고장의 원인으로 부터 보호되도록 구현된 사용자 작업 및 입력의 수
	B= ECDIS 고장의 원인이 될 수 있는 사용자 작업 및 입력의 수
계산식 및 범위	$X = A/B$ ($0 \leq X \leq 1$, 1.0에 가까울수록 좋음)

Table 4.14는 사용자 오류 보호의 메트릭 중 사용자 조작 오류 보호를 ECDIS를 대상으로 커스터마이징한 것이다. 사용자 조작 오류 보호는 ECDIS 고장의 원인이 될 수 있는 사용자 작업 및 입력의 수 대비 ECDIS 고장의 원인으로 부터 보호되도록 구현된 사용자 작업 및 입력 수로 계산할 수 있다. 이는 1에 가까울수록 ECDIS가 사용자를 고장의 오류를 일으키지 않도록 개발되어 결과적으로 ECDIS의 고장으로 부터 자유로울 수 있음을 의미하며 사용자 오류 보호 특성이 좋은 것으로 평가된다.

Table 4.15 Customizing User error recoverability for ECDIS

메트릭 이름	사용자 오류 복구성
설명	ECDIS 운용 중 예상되는 사용자의 오류를 설계 시에 미리 예상하고, 테스트하여 오류를 미연에 방지할 수 있는지에 대하여 측정
측정항목	A= ECDIS에 의해 복구될 수 있는 사용자 오류의 수
	B= ECDIS 운용 중 발생할 수 있는 사용자 오류의 수
계산식 및 범위	$X = A/B$ ($0 \leq X \leq 1$, 1.0에 가까울수록 좋음)

Table 4.15은 사용자 오류 보호의 메트릭 중 사용자 오류 복구성을 ECDIS를 대상으로 커스터마이징한 것이다. 사용자 오류 복구성은 ECDIS 운용 중 발생할 수 있는 사용자 오류의 수 대비 ECDIS에 의해 복구될 수 있는 사용자 오류의 수로 계산할 수 있다. 이는 1에 가까울수록 이미 ECDIS 설계 시에 발생할 수 있는 사용자 오류를 파악하고 이를 복구할 수 있도록 개발된 것을 의미하며 사용자 오류 보호 특성이 좋은 것으로 평가된다.

(5) UI 심미성

UI심미성은 사용자 인터페이스가 사용자에게 만족스러운 상호작용을 제공하는 정도이다. 사용자가 인터페이스의 외관을 평가하기 위해 측정하며 이는 화면 디자인이나 색상 등에 많은 영향을 받는다. Table 4.16은 UI 심미성의 메트릭인 UI 외관 심미성을 ECDIS를 대상으로 커스터마이징한 것이다.

Table 4.16 Customizing Appearance aesthetics of UI for ECDIS

메트릭 이름	UI 외관 심미성
설명	ECDIS의 사용자 인터페이스가 사용자에게 친숙감을 주고 상호작용이 사용자를 만족시킬 수 있는지에 대하여 측정
측정항목	A= 사용자가 만족한 ECDIS 사용자 인터페이스의 개수
	B= ECDIS 사용자 인터페이스의 전체 구성요소의 수
계산식 및 범위	$X = A/B$ ($0 \leq X \leq 1$, 1.0에 가까울수록 좋음)

UI 외관 심미성은 ECDIS 사용자 인터페이스의 전체 구성요소의 개수 대비 사용자가 만족한 ECDIS 사용자 인터페이스의 개수로 계산할 수 있다. 이는 1에 가까울수록 ECDIS의 UI가 외관적으로 사용자에게 만족스러움을 의미하고 UI 심미성이 높은 것으로 평가할 수 있다.

(6) 접근성

접근성은 제품 또는 시스템이 다양한 사람들에 의해 사용될 수 있는 정도이다. 성별, 연령, 장애의 여부, 언어 등의 조건에 구애받지 않고 제품을 잘 사용할 수 있다면 접근성이 좋은 것으로 평가된다. ISO/IEC 25023은 시각장애, 지체장애, 청각장애가 있는 사람들도 무리 없이 제품 및 시스템을 사용할 수 있는지, 다양한 언어를 제공하는지를 측정할 수 있는 메트릭을 제공한다. Table 4.17은 접근성 메트릭 중 다국어 지원 여부를 ECDIS를 대상으로 커스터마이징한 것이다.

Table 4.17 Customizing Supported languages for ECDIS

메트릭 이름	다국어 지원 여부
설명	ECDIS가 다국어를 지원하여 좋은 접근성을 제공하는지 측정
측정항목	A= ECDIS가 제공하는 언어의 수
	B= ECDIS에 지원되어야 하는 언어의 수
계산식 및 범위	$X = A/B$ ($0 < X \leq 1$, 1.0에 가까울수록 좋음)

다국어 지원 여부는 ECDIS에 지원되어야 하는 언어의 수 대비 ECDIS가 제공하는 언어의 수로 계산할 수 있다. 이는 1에 가까울수록 ECDIS에 요구되는 다양한 언어를 지원하여 항해사가 자유롭게 사용할 수 있음을 의미한다.

제 5 장 결론 및 향후 연구

이내비게이션 SQA 및 HCD 가이드라인의 개발로 이내비게이션 시스템 및 소프트웨어의 개발 및 관리에 SQA 및 HCD를 적용하는 것이 필요하다. SQA와 HCD를 공통으로 적용하여 얻고자 하는 특성은 좋은 품질과 사용성, 안전성이다. 본 논문에서는 SQA 및 HCD를 공통으로 적용하여 개발한 이내비게이션의 소프트웨어 및 시스템의 사용성에 초점을 맞추어 이를 측정할 수 있는 메트릭을 도출하고자 했다.

SQA와 HCD 관련 국제표준에서 다루는 사용성의 정의 자체는 동일하며 HCD 관점과 SQA 관점에서의 사용성에 대한 차이로는 SQA 관점에서의 사용성은 두 가지 관점으로 나누어 다루는 점이다. 소프트웨어 제품 자체의 사용성과 소프트웨어를 직접 사용하면서 느끼는 사용자 관점의 사용성으로 나누어 다루며 이에 따른 구체적인 메트릭을 각각 ISO/IEC 25023과 25022에서 제공한다. HCD 원칙은 적용대상이 소프트웨어뿐만 아니라 하드웨어도 포함하여 적용대상이 매우 넓은 바, 관련 국제표준인 ISO 9241-11에서 사용성 메트릭을 다루고는 있지만 구체적인 측정 요소나 함수 등을 다루지는 않는다.

본 논문에서는 구체적이지 않은 HCD 관점의 사용성 메트릭을 기준으로 이를 측정할 수 있거나 혹은 대체할 수 있는 SQA 관점의 사용성 메트릭을 찾아 이내비게이션 사용성을 측정할 수 있는 메트릭을 도출했다. 이는 이내비게이션 시스템 및 소프트웨어의 종류에 관계없이 사용성 측정을 할 수 있는 기본적인 사용성 메트릭과, 이내비게이션 소프트웨어만을 대상으로 한 사용성 메트릭으로 나누어 도출하였다.

4장에서는 도출한 메트릭을 향해 핵심설비인 ECDIS를 대상으로 성능기준을 고려하여 커스터마이징 해보았다. 국제표준은 일반적인 사용성 메트릭을 제공하기 때문에 전체 메트릭을 모두 향해 장비에 적용하기는 어려우므로 향해 장비에 적용할 필요가 없는 일반적인 메트릭은 제외하고 ECDIS의 성능기준을 고려하여 메트릭을 선택적으로 커스터마이징 했다.

향후 연구로는 ECDIS 뿐만 아니라 사용성 측정이 요구되는 기타 이내비게이션 향해장비 및 소프트웨어를 위한 커스터마이징 연구가 필요하다. 여러 향해 시스템 및 소프트웨어의 사용성 메트릭 커스터마이징 연구를 통하여 이내비게이션을 위한 사용성 메트릭의 추가나 수정, 가중치 부여 등 사용성 메트릭을 보완할 필요가 있다.



참고문헌

- IEC, 2015. IEC 61174 Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems - Electronic chart display and information system(ECDIS) - operational and performance requirements, methods of testing and required test results
- IEEE, 2014. IEEE Standard for Software Quality Assurance Processes. IEEE Std 730-2014.
- IMO, 2008. Development of an e-navigation strategy - Report of the Working Group. NAV 54/WP.6
- IMO, 2015. Guideline on software quality assurance and human-centred design for e-navigation. MSC.1/Circ.1512
- ISO, 1998. ISO 9241-11 Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) - Part 11: Guidance on usability
- ISO, 2010a. ISO/IEC 25000 Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - Guide to SQuaRE
- ISO, 2010b. ISO 9241-210 Ergonomics of human-system interaction - Part 210: Human-centred design for interactive systems.
- ISO, 2011. ISO/IEC 25010 Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - System and software quality models
- ISO, 2014a. ISO/IEC 25022 Systems and software engineering - Systems and software quality requirements and evaluation (SQuaRE) - Measurement of quality in use

ISO, 2014b. ISO/IEC 25023 Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - Measurement of system and software product quality

Lee, S., Lemon, N. & Lutzhoft, M., 2015. Harmonizing Guidance for Future Ship Navigation Systems Developing Guideline for Software Quality and Human-Centered Design. *Sea Technology*, 56(11), pp.41-44.

김원욱, 김종관, 채병근, 강석용, 2014. 상급 ECDIS 교육. 한국해양수산연수원:부산.

김홍태, 나성, 하욱현, 2011. 해양사고조사를 위한 인적 오류 분석사례. *대한인간 공학회지*, 30(1), pp.137-150.

김치수, 2015. 쉽게 배우는 소프트웨어 공학. 한빛아카데미:서울.

배병덕, 2010. 전자해도시스템의 개요. 한국도선사협회 도선지, 통권 48호, pp.18-30.

오영배, 2010. 소프트웨어 품질 평가 SQuaRE 구조. 한국정보통신기술협회:서울.

윤형진, 2016. SW제품과 SW Test Process 국제표준을 기반으로 분석한 테스트프론티어 역량평가 모델 개선 연구. 석사학위논문. 고려대학교 컴퓨터정보통신대학원.