

# Global Report

## 스마트 건축물의 실내 환경품질에 대한 효과적인 시각화 및 관리

1. 개요
2. 소개 및 동기부여
3. 관련 연구
4. 분석 및 시스템 설계
5. 사용성 연구
6. 사용자 인터페이스 설계
7. 요약 평가
8. 결론

## 1. 개요

스마트 환경(Smart environments)은 엄청난 양의 로우레벨 데이터(low-level data)를 수집하지만, 이 데이터를 접근하기 쉽고 사용하기 쉬우며, 의미 있는 방식으로 제공하지 못하는 경향이 있다. 우리가 건축물 내에서 보내는 시간을 감안할 때 실내 환경의 품질은 생산성과 건강에 큰 영향을 미친다. 우리는 스마트폰 앱으로 환경 데이터를 집계하고 시각화하는 시스템인 SmartSpaces를 개발하였다. 이 시스템의 목표는 사용자가 그들 자신의 웰빙(well-being)에 영향을 미치는 요인들을 이해하고 개선할 수 있도록 환경 데이터에 대한 액세스(access)를 제공하는 것이다. 환경의 질(environmental quality)을 시각화하기 위한 사용자 인터페이스 지침도 제시되고 있다. 본 연구진은 거주자들이 환경 데이터 접근이 가능한 스마트 건축물에 대한 사례 연구결과도 기술한다. 이 연구결과 유용성과 투명성이 환경질에 대한 사용자의 인식을 증가시키는 것으로 나타났다. 이것은 행동변화로 이어질 수 있으므로 사용자의 건강과 생산성을 향상시키고 건물의 에너지 소비를 최적화한다.

## 2. 소개 및 동기부여

사이버 물리 시스템(Cyber-physical systems)과 사물인터넷은 상호 정보통신기술 교환이 가능한 일상의 용품(everyday objects)들을 상호 연결함으로써 새로운 기회들을 제공한다. 예를 들면 조명을 제어할 수 있도록 스마트폰을 사용하는 것이 그러한 기회 중 하나이다. 이러한 스마트 품목들은 우리의 환경에 내장되어 우리의 주변을 보다 편리하고 건강하며 보다 안전하도록 하는데 기여한다. 스마트 시티 그리고 특히 스마트 건축물과 같이 스마트 품목들을 장착한 경우 방대한 양의 데이터를 수집하지만 접근가능하고 사용자 친화적이며 의미가 있는 방식으로 정보를 제공하지 못하는 경향이 있다. 특히 메가시티의 오염된 환경으로 인해 환경 품질에 관한 의미 정보의 필요성이 제기되게 되었다. 예를 들어 공기 오염은 우리의 건강을 위협하는 영향을 줄 수 있다. 그러나 실내 공기질은 일반적으로 적절하게 고려되지 않는다. 우리가 건물 내에서 보내는 시간을 감안할 때 실내 환경의 질은 우리의 생산성과 건강에 큰 영향을 미친다. IEQ(Indoor Environmental Quality - 실내 환경 질)는 열 품질(thermal quality), 공기 질, 시각적 품질(visual quality), 음질(acoustic quality) 및 에너지 효율성 등을 포괄한다. IEQ용 측정기준(metrics)을 제공하는 데이터는 최종 사용자가 접근하거나 이해하기에 어려운 경우가 자주 있다. IEQ 데이터의 시각화가 환경품질에 대한 사용자들의 인식을 증가시키고 결과적으로 사용자들의 행동을 변화시킨다는 것이 우리의 가설이다.

우리는 건축물의 IEQ 데이터를 집계하고 시각화하는 SmartSpaces를 개발하였는데, 이것은 스마트폰 사용자들이 용이하게 사용할 수 있다. 이 시스템의 목표는 사용자들이 그들의 웰빙과 에너지 소비를 개선할 수 있도록 IEQ 데이터를 기반으로 조치를 취할 수 있도록 하는 것이다. 우리는 25명의 건물 거주자를 대상으로 사례 연구를 수행하였다. 우리의 연구결과, IEQ 데이터에 대한 접근을 사용자들에게 제공하면 환경 질에 대한 인식이 높아지고 참가자들이 자신의 환경을 보다 잘 제어할 수 있도록 이끌어준다는 것을 알게 되었다.

본 연구는 제 3장에 문제점에 초점을 맞추어 관련 연구 사례들을 보여주도록 되어 있고, 제 4장은 그 시스템을 소개하고 IEQ 부문을 분류하고 있으며, 제 5장에서는 사례연구 결과를 보여주고 있다. 제 6장

은 사용자 인터페이스 디자인에 대해 상세히 설명하고, IEQ에 대한 시각화 지침을 소개한다. 그리고 미래 연구사항에 대한 개요를 제시하는 것으로 결론을 맺는다.

### 3. 관련 연구

에코 피드백 기술(Eco-feedback technologies)은 수년 동안 중요한 연구 주제가 되어왔다. 그 주요 목적은 “환경영향을 줄이기 위한 목적으로 개인 또는 집단행동에 대한 피드백”을 제공하는 것이다. 가정환경에서 사람들에게 그들의 행동에 미치는 영향을 이해하도록 돕는 몇몇 HCI 에코 피드백 연구들이 시도되어왔으나, 사용자의 직장 환경에 관한 연구는 시도되지 않았다. 그러나 거주자 만족도, 건강 및 효율성이 작업 생산성에 주요 요인이며 비용발생과 직결된다는 점을 감안하면, 사용자가 해당 장소 또는 원격 사용 상황에서 상업용 스마트 환경과 상호작용할 수 있도록 할 필요가 있다. 무선 기술의 진보에 따라 이제는 사용자가 이러한 요소들을 원격으로 접근할 수 있다. 우리는 사용자들이 해당 기능 및 사용자 인터페이스에 의거하여 환경 품질을 모니터링 할 수 있는 스마트 폰 앱을 분석하였다. 이러한 종류의 앱에는 Foobot, Netatmo, Insteon Home Control, openHAB, Samsung Smart Home, Elgato Eve 및 이전 버전의 SmartSpaces 등이 포함된다. 그러나 이러한 앱들 중 어느 것도 유의미한 제안 및 제어할 수 있는 기회와 정성적 의미 정보(semantic information)와 결합하지 못한다.

### 4. 분석 및 시스템 설계

설계 목표는 환경 데이터를 처리하기 위해 유지보수가 용이한 앱 로직을 달성하는 것이었다. 결과적으로 우리는 이 데이터를 사용자에게 보여주기 위해 앞서 논리적으로 종합한다. 이 데이터는 원시적 숫자(raw numbers)를 넘어 정성적 피드백을 제공하기 위해 다음과 같은 의미론적 모델(semantic model)로 질적으로 개선된다. 즉 그 의미론적 모델에는 센서의 종류, 단위, 수치의 범위(value ranges), 현재 상태 및 수치 그리고 특정 상황을 개선하는 방법에 관한 제안 등이 있다. 지정된 수치의 범위는 “양호”, “이상없음”, “나쁨”과 같은 환경 상태를 나타내며 관련된 센서종류에 할당된다. 이 범위는 센서의 위치, 시설물의 위치 및 년 중 계절에 따라 달라진다.

IEQ를 쉽게 이해할 수 있도록 우리는 열 및 공기 질, 조명 품질, 에너지 소비 부문으로 그룹화하고자 한다. 음향 품질에 대한 의미 정보가 제한적인 추가적 수치를 제공하기 때문에, 우리는 나머지 4가지 IEQ 지수에 중점을 두었다. 열 및 공기 질은 센서가 종종 양 측면의 데이터를 측정하기 때문에 함께 고려되며, 둘 다 동일한 구동장치(actuator)에 의해 영향을 받는 경우가 흔하다. 예를 들어 창문은 온도와 공기 질에 영향을 주는데, 그 위치를 변경함으로써 공기의 흐름도 변하게 된다. 우리는 IEQ 부문 분류 시 에너지 소비 부문도 추가하였다. “환경 스트레스를 완화하기 위한 전략”의 일환으로 에너지를 절약해야 한다는 요구가 널리 받아 들여 지고 있으며, 에너지 소비를 시각화하면 개인 에너지 사용에 대한 인식이 제고될 수 있다.

### 5. 사용성 연구(Usability Study)

본 연구진의 목표는 유의미한 빌딩 센서 정보(meaningful building sensor information)를 사용자에게 표시해 주기 위해 데이터가 시각화되어야 하는 방법을 분류하고, IEQ를 사용자가 가장 잘 이해할 수 있도록 표현하는 방법을 상세하게 발전시켜 나아가는 것이었다. 우리는 정량적 데이터(응답시간 및 오류율)와 정성적 데이터(인터뷰)를 사용하는 실증적 연구방법(empirical research)으로 접근하였다. 기존의 사용자들 뿐 만 아니라 건축가, 데이터 과학자 및 건축 물리학자 그리고 기술 지향적 사용자 등과 같은 앱 도메인 전문가로 구성된, 다양한 분야의 경험을 가진 사람들과 더불어 미국 대학 캠퍼스에서 25명의 참가자를 무작위로 선정하였다. 연구를 시작하기 전에 다양한 사용자 그룹을 다룰 수 있도록 최소 20명의 참가자에 대한 규정을 수립하였다. 하지만 이 연구에 노인, 시각 장애인, 맹인이나 색맹인 사람들은 포함시키지 않았다.

모든 참가자들에게 고충실로 시연(high-fidelity prototype)된 화면(screenshots)뿐 만 아니라 다양한 표현 방식(결과 값만, 색상만, 한 가지 부문 또는 세 가지 부문의 조합 등)으로 시각화된 센서값(sensor values)을 보여주었다. 해석, 실행, 선호하는 것에 대한 질문과 공개질문이 이루어졌다. 각 사용자의 답변이 기록되었다. 이 연구를 통해 색 코드 접근법(color-coding approach)이 응답시간 및 오류율 측면 모두에서 최상의 성능을 달성한다는 결론을 내리게 되었다. 개관(overview)형태의 표시가 사용자들에게 현재의 환경 상태를 이해하는데 도움이 될 수 있다는 사실을 우리는 알게 되었다. 사용자들은 적은 것 보다는 많은 양의 데이터를 보여주는 것을 선호하며, 실행할 사항과 상태에 대한 사항 모두를 같이 표현하는 경우 색 코드 접근법이 혼란을 일으킨다는 것을 알게 되었다.

## 6. 사용자 인터페이스 설계

SmartSpaces의 사용자 인터페이스 디자인은 반복적이고 점증적인 접근방식을 사용하는 사용자 중심의 디자인 아이디어를 기반으로 하였다. 잠재적 사용자들 및 앱 도메인 전문가들이 시작 초기부터 디자인 프로세스에 계속해서 참여하였다.

우리는 유용성(usability) 및 사용자 인터페이스 디자인 개념의 측면에서 환경 데이터를 시각화하는 몇 가지 스마트폰 앱을 검토하였다. 이를 바탕으로 우리는 환경 데이터를 시각화하기 위한 다음과 같은 7가지 사용자 인터페이스 디자인 지침을 제안한다.

- 1) 그룹(Groups) : 환경 데이터는 열 및 공기 질, 조명 품질 및 에너지 소비로 분류되어야 한다. 이 세 가지 범주 내에서 같은 종류의 장치가 논리적 구조를 만들 수 있도록 그룹화도 되어야 한다. 환경 데이터에 대한 신속한 개관(overview)정보를 얻어낼 수 있도록 그룹과 장치(devices)가 유의미한 아이콘과 키워드로 제시되어야 한다.
- 2) 개관(Overview) : 사용자가 정보를 보다 빨리 이해할 수 있도록 각각의 IEQ 부문에 대한 개관과 집계(aggregations)가 사용되어야 한다.
- 3) 색상 코딩(Color-coding) : 환경 상태는 사용자들이 보다 빠르고 더 잘 이해하는데 도움을 줄 수 있도록 색으로 구분되어야 한다.
- 4) 데이터 해석(Data Interpretation) : 정량적 데이터(Quantitative data)는 사용자에게 유의미한 결과를 주기

위해 정성적 해석(qualitative interpretations)과 결합되어야 한다.

5) 실외 값(Outdoor Values) : 가능하다면 실외 값이 비교를 위해 제공되어야 한다.

6) 제안(Suggestions) : 어떤 상황을 감안하여 환경 품질을 개선하기 위한 적절한 조언이 제공되어야 한다.

7) 제어(Control) : 가능하다면 사용자는 상대습도를 감소시키는 것과 같이 상황을 개선하기 위해 구동장치를 즉각적으로 제어할 수 있는 시행방법을 제공받아야 한다.

표시될 수 있는 정보의 양(표현력)과 지정된 목표를 달성하는 정도(효과)는 상호 상충관계이다. 표현력(expressiveness)과 효과(effectiveness)를 잘 조합하는 것이 SmartSpaces의 주요 설계 목표였다.

우리의 설계 모델은 세 개의 IEQ 부문을 나타내는 세 개의 셀로 나누어진 하나의 화면을 개념화한다. 원문에 표시된 그림 1에는 메인 상황 스크린과 세부분 상세 화면 중 두 개를 나타내고 있는데, 각 부분들 중 하나를 터치하면 정보를 불러낼 수 있다. 상세 화면(detail views)은 추가 센서 값, 구동장치 제어 가능여부, 제안사항 및 비교를 위한 실외 값 등 추가적인 정보를 제공한다. 색상으로 구분된 상태 표시기를 적용하면 개선이 필요한 사항이 있는지 사용자가 판단하는데 도움이 된다.

## 7. 요약 평가

이 시제품은 사용자 테스트와 다섯 명의 참가자와의 구조적 면접(structured interview)을 통하여 평가되었다. 이 목표는 시제품의 유용성, 효과성 및 사용자 만족도를 평가하는 것이었다. 모든 사용자들은 1주일 동안 SmartSpaces 앱을 사용하도록 요청받았다. 그 이후 본 연구진은 환경적 수치에 대한 이해의 정확성이 전반적으로 개선되는 것을 관찰하였다.

SmartSpaces의 사용성은 5점 리커트 척도방식(five-point Likert-Scale)을 사용하여 10개의 설문 항목으로 구성된 시스템 유용성 평가방법론(System Usability Scale)을 사용하여 평가되었다. SUS 점수는 “평균 이상(above average)” 등급을 받았다. 80.3점 이상의 등급을 달성하는 것이 목표가 되어야 한다. 그러나 최소 68점이 시스템을 사용할 수 있는 점수라는 것으로 감안할 때 도출된 71.5의 점수는 사용하기에는 충분한 것으로 볼 수 있다. 5점 리커트 척도방식을 기반으로 한 추가 질문 결과 사용자 만족도는 높은 것으로 나타났다.

## 8 결론

이번 연구를 통해서 스마트 빌딩의 IEQ관련 정보를 효과적으로 시각화함으로써 사용자들은 그들이 처한 환경 상태를 더 잘 이해하고 적절한 조치를 취할 수 있다는 것을 알 수 있다. SmartSpaces의 일반적인 차이점을 유사한 앱과 비교해 보면 제시된 정보에 반응하도록 장치들을 제어할 수 있는 기회와 유의미한 제안(meaningful suggestions)이 있는 정성적 의미정보(qualitative semantic information)의 조합이다.

미래의 연구는 사용자에게 환경 정보와 피드백에 관한 자동 알림기능으로 구성된다. 그 외에 실외 센서 데이터를 수집하는 것은 실내 환경을 사용자가 이해하는데 기여할 것이며, 실외 기후 및 공기 질 상태의 환경적 변화를 추적할 수 있도록 기여하게 될 것이다. 미세먼지 발생, 습도 상승, 풍속 증가 및 태양

강도와 같은 실외 상태와 관련된 모든 것은 건강과 에너지 효율성을 위한 사용자의 실내 환경 품질의 효과적인 관리에 중요하다.