

안전인간공학

-연구 방법-

한국교통대학교 안전공학과

박 정 철

운전 중 휴대폰 사용에 관한 예

- 운전 중 휴대폰 사용은 안전운전에 영향을 미치는가?
- 연구 방법 (Research methods)
 - 운전자 설문 조사
 - 사고 통계 자료
 - 시뮬레이터 이용 실험
 - 이중 과제(Dual task) 실험
 - ...
- 연구 방법의 선택
 - 특정 연구 주제에 적합한 연구방법인가
 - 응용 과학(Applied science)으로서의 인간공학 – 연구 결과물이 실제 설계과정에 유용하게 사용될 수 있는가

기초 연구와 응용 연구

□ 기초 연구(Basic research)

- 인간, 작업 및 환경의 넓은 범위에 걸쳐 일반화되는 이론이나 원리, 연구 결과의 도출
- 특징
 - 통제된 실험실 환경에서 수행(적은 변인)
 - 다양한 분야에 일반화 가능
 - 연구 결과를 특정 설계 문제에 적용시 유의 필요

□ 응용 연구(Applied research)

- 특정 모집단, 과제, 제품, 시스템, 환경에 대한 비교적 구체적인 이론이나 원리, 연구 결과의 도출
- 특징
 - 특정 작업이나 환경을 대상으로 수행(많은 변인)
 - 다른 문제에 적용이 어려움
 - 때로 많은 비용이 필요

자료 수집 방법

□ 실험적 방법(Experimental methods)

- 독립 변인의 변화가 종속 변인(수행도, 작업부하, 선호도 등)에 미치는 영향을 실험을 통해 측정
- 독립 변인 이외의 변인 통제

□ 기술적 방법(Descriptive methods)

- 기존에 존재하는 데이터로부터 연관관계를 파악
- 사고 통계 분석, 사용자 관찰 등

일반화 (Generalization)

□ 일반화

- 자료를 해석하여 얻은 결론을 자료 수집 대상이 아닌 다른 대상에 대해 동일하게 적용하는 것
- 실험 참가자 또는 관찰 대상자 이외의 사람들에 대한 예측 또는 예언
- 연구 방법의 설계에 따라 일반화 가능 범위 달라짐

실험 수행 단계

- 문제와 가설 정의
 - 문제 발견 및 기술
 - 가설 확립
- 실험 계획
 - 독립 변인, 종속 변인 상세화
 - 변인의 수준 및 통제 방식 결정
 - 분석 방법 고려
- 실험 실시
 - 실험 재료 제작, 참가자 모집
 - 사전 연구(Pilot study) 수행
 - 실험 수행 및 자료 수집
- 자료 분석
 - 통계 분석 기법 활용
- 결론 도출
 - 가설 지지 여부 결정
 - 실험 설계 결과에 따라 결론의 상세 수준이 결정됨
 - 실험 결과의 근본 원인 도출

실험 방법 선택

- 선택 기준
 - 연구 목적, 변인 통제 용이성, 사실성, 피실험자의 동기 및 안전
- 실험실 연구 (In-lab study)
 - 환경의 간섭 제거 용이
 - 변인 통제 용이
 - 피실험자 안전 확보
 - 시간과 비용 적게 소요
- 현장 연구 (Field study)
 - 사실성
 - 피실험자의 자연스런 반응
- 모의 실험 (Simulation)
 - 현장 상황과 최대한 유사하게 구현한 상황 하에서 변인 통제하여 실험
 - 사실성 + 안전성 확보
 - 변인 통제 용이
 - 가상현실 활용

독립 변인과 종속 변인

□ 독립 변인 (Independent variable)

- 연구자가 통제하고자 하는 변인
- 종류
 - 작업관련 변인: 장치 변인, 작업/휴식 주기 등의 지시 변인
 - 환경 변인: 소음, 조도 등
 - 피실험자관련 변인: 성별, 연령, 교육 정도 등

□ 종속 변인 (Dependent variable)

- 독립변인의 영향을 평가하기 위해 측정하는 변인
- 종류
 - 객관적 변인
 - 인간 성능 측정치(에러율, 수행 시간 등)
 - 생리학적 측정치(심박, 혈압, EMG, EEG, GSR, 체온, 호흡수 등)
 - 주관적 변인: 만족도, 불편도, 중요도 평점 등
- 요건
 - 적절성: 의도된 목적에 적합하다고 판단되는 정도
 - 무오염성: 다른 변인의 영향이 없거나 적은 정도
 - 신뢰성: 시간의 경과나 표본 선정 결과에 무관하게 일관성 있는 결과를 나타내는 정도
 - 민감도: 변인의 차이에 대한 변별성
 - 그 외, 정량적 특성, 비강요성, 수집 용이성, 분석 용이성, 장비 필요성, 비용 등 고려

실험 설계

- 두 집단 설계(two-group design)
 - 1개의 독립 변인, 2개의 수준
 - 통제 집단(control group) vs. 실험 집단(experimental group)

- 중다 집단 설계
 - 1개의 독립 변인, 다양한 수준
 - 다양한 조건 간 비교 또는 정량적 모델(Quantitative model) 수립

- 요인 설계(factorial design)
 - 2개 이상의 독립 변인
 - 독립 변인의 전체 또는 일부 조합에 대해 실험
 - 독립 변인 간 상호작용(interaction) 파악
 - Ex. 3원 요인 설계 (three-way factorial design)
 - 터치 키 크기 x 터치 키 사이 간격 x 사용자 연령대 (5 x 3 x 2 요인 설계)

실험 설계

- 피험자 간 설계 (Between-subjects design)
 - 독립 변인의 각 수준에 서로 다른 피실험자 집단을 사용
 - 순서 효과(Order effects) 방지
 - 많은 피실험자 수 필요
- 피험자 내 설계 (Within-subjects design)
 - 독립 변인의 각 수준에 동일한 피실험자 집단을 사용
 - 적은 수의 피실험자로 통계적으로 유의미한 차이를 얻기 쉬움
- 혼합 설계 (Mixed design)
 - 피험자 간 변수와 피험자 내 변인 혼재
- 중다 종속 변인
 - 2개 이상의 종속 변인

실험 설계시 고려사항

- 수행 작업 및 환경
 - 일반화 가능성 고려해 선정
- 실험 참가자 (or 피실험자, 피험자)
 - 관심 있는 전체 집단을 대표
- 실험 통제
 - 외부 변인(extraneous variables)
 - 독립 변인 이외에 종속 변인에 영향을 미칠 수 있는 변인
 - 혼입 변인(confounding variables)
 - 종속 변인에 영향을 미치는 외부 변인으로서, 독립 변인과 혼재되어 독립 변인의 종속 변인에 대한 효과를 파악할 수 없게 하는 변인
 - 무작위 할당을 통해 혼입 방지
 - 순서 효과(Order effects)
 - 학습, 피로, 전이 등
 - 순서 효과의 방지
 - 충분한 연습
 - 조건 간 시간 간격 조정
 - 역균형법(Counterbalancing): 라틴 스퀘어(Latin-square) 설계

자료 분석 및 결론 도출

- 기술 통계(descriptive statistics)
 - 평균(mean)
 - 표준편차(standard deviation)
- 추론 통계(inferential statistics)
 - 두 집단 설계: t-test의 t값
 - 두 집단 이상: 분산분석(ANOVA)의 F값
 - p : t값이나 F값이 우연에 의해 나타날 수 있는 확률
 - 평균 간 차이↑, 표준 편차↓, 표본 크기(Sample size)↑ → p ↓
 - 표본 크기(Sample size)↑ → 통계적 검증력(Statistical power)↑
 - 일반적인 결정 기준: $p = .05$
- 제1종 오류(Type I error)
 - 실제로는 차이가 없는데 차이가 있다고 잘못 결론 내리는 오류
- 제2종 오류(Type II error)
 - 실제로는 차이가 있는데 차이가 없다고 잘못 결론 내리는 오류
- 통계적 유의성 vs. 실용적 유의성
 - 통계적으로 유의하나 실용적(비용 및 시간 관점)으로 무의미한 차이

기술적 방법

- 관찰
 - 측정 변인, 관찰 및 기록 방법, 관찰 조건, 관찰 시간 등 명시
 - 분류법(Taxonomy) 활용
- 조사 및 설문
 - 정성적 데이터 (Qualitative data): 주관식
 - 정량적 데이터(Quantitative data): 점수
- 타당도(Validity)
 - 원하는 내용의 적합한 방법을 통한 평가
 - 무기명/비밀보장 평가
- 응답률
 - 저조한 응답률에 대해서는 주의 필요
- 객관적 vs. 주관적 측정치
 - 선호되는 것이 반드시 수행도 높지는 않음(Andre & Wickens, 1995)

기술적 방법

- 사건(Incident) 및 사고(Accident) 분석
 - 사건 및 사고 데이터베이스 (ex. NASA 비행안전보고시스템)
 - 문제점
 - 정성적 데이터에 대한 분석의 어려움
 - 보고되지 않은 데이터 존재
 - 사고 원인에 대한 정보 부족
- 상관 분석(correlation analysis)
 - 상관계수 r : 관계의 강도
 - 양의 상관관계(positive correlation)
 - 음의 상관관계(negative correlation)
 - p : 관계의 존재 여부
 - 인과관계 추론
 - 역의 인과관계
 - 제3의 변인에 의한 결과
 - Ex. 직무 경력 vs. 안전에 대한 태도

기술적 방법

□ 모델링 및 시뮬레이션

- 현실과 최대한 유사하게 모델을 구현하고, 모델 상의 변인을 통제하여 결과 도출
 - Ex. 인체 모델, 인지 모델, 운전 시뮬레이터 등
- 수행도에 대한 수학적 모델이나 가상 현실(virtual reality) 활용
- 실제 실험에서의 위험성 제거

□ 문헌 조사

- 메타 분석(Meta-analysis): 다양한 실험 결과들에 대한 통합 분석

윤리적 문제

- 정신적/신체적 손상으로부터 실험 참가자들의 보호
- 실험 참가자들이 자신들의 행동에 대해 프라이버시를 침해받지 않을 권리
- 연구에 참여하는 것이 완전히 자발적이라는 보장
- 실험 참가자들이 실험 절차들의 본질에 대해 미리 알 권리
 - 가설의 명시로 인한 결과 왜곡 가능성 존재
- 실험 참가 동의서 (informed consent form)에 서명
- 사용자 테스트 (X) → 사용성 테스트 (O)

안전인간공학

-설계 및 평가 방법-

한국교통대학교 안전공학과

박 정 철

에디슨의 축음기



비용/이익 분석

□ 비용 추정

- 인건비, 장비 및 재료 구입비, 시간

□ 이익 추정

■ 생산성 관련

- 판매량 증가, 교육/훈련 비용 및 시간 감소, 고객지원비용 감소, 유지 비용 감소, 사용자 생산성 증가, 사용자 오류 감소, 서비스 질 향상, 고객 이탈 (turnover) 감소 등 (Mayhew, 1992)

■ 안전/보건 관련

- 종업원 만족도 증가(이직률 감소), 조퇴 및 작업 중단 시간 감소, 사고 및 부상 빈도 감소, 장기적 장애 빈도 감소, 의료 및 재활 비용 감소, 소환 및 벌금 비용 감소, 법정 소송 빈도 감소 (Alexander, 1995)

□ Karat (1990)

- 24만명이 사용하는 소프트웨어의 설계 개선
- 비용: \$6,800, 이익: \$6,800,000

소프트웨어 사용성 연구의 비용/이익 분석

표 3.1 소프트웨어 사용성 연구를 수행하는 데 있어서의 가설적 비용들

인간 공학적 과제들	시간
검증 문제들의 결정	24
검사와 재료의 설계	24
20명의 사용자를 검증	48
자료 분석	48
결과의 준비와 발표	16
인간 공학 노력의 총 시간	160
	비용(달러)
시간당 45달러의 160시간 인간 공학 노력 시간	7,200
시간당 20달러의 연구 보조원 48명 수당	960
시간당 30달러의 카메라맨 48명 수당	1,440
비디오테이프 구입 가격	120
총 비용	9,720

출처 : D. T. Mayhew, 1992, *Principles and guidelines in software user interface design*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, Adapted by permission,

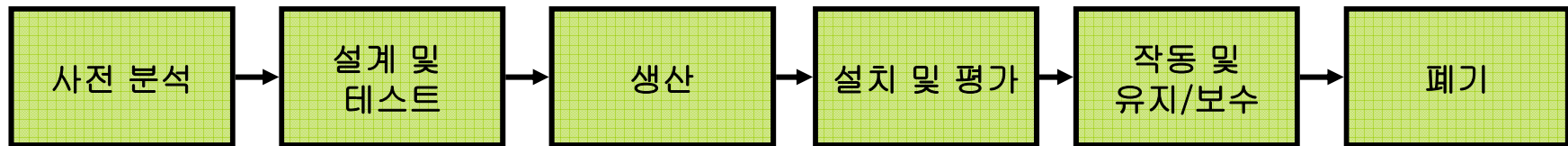
표 3.2 스크린 사용에서 3초의 사용 시간 감소에 대해 추정된 가설적 이익

	250명의 사용자
×	하루에 60대의 스크린 사용
×	1년 중 230일 작업
×	스크린당 3초의 처리 시간 단축
×	시간당 15달러 이익
=	1년에 총 43,125달러 절약

출처 : D. J. Mayhew, 1992, *Principles and guidelines in software user interface design*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, Adapted by permission,

사용자 중심 설계(User-centered design)

□ 제품 수명 주기 (Product life cycle)



- 초기 단계에서의 적용이 중요

□ 사용자 중심 설계

- 설계가 사용자를 중심으로 진행되어야 한다는 원리

□ 사용성 공학(usability engineering)의 접근 방법

- 사용자와 작업에 대해 초기 단계부터 초점을 두는 것
- 설문 및 정량적 수행도 데이터에 기반한 사용성 연구를 이용한 경험적 측정
- 인터페이스 프로토타입을 활용한 반복적 설계
- 설계팀의 일원으로 사용자를 참여시키는 참여적 설계

설계에 필요한 데이터의 출처

□ 데이터 일람표

- Ex. Engineering Data Compendium: Human Perception and Performance

□ 인간공학적 설계 표준

- MIL-STD-1472D
- ANSI/HFES-100 VDT 표준
- ANSI/HFES-200 소프트웨어 인간공학 표준
- ...

□ 인간공학적 원리와 가이드라인

- 물리적 장치, 소프트웨어 인터페이스, 차내 정보시스템, ...

사전 분석

- 누가 제품/시스템의 사용자인가? (사용, 분배, 유지, 감시, 수리, 폐기 등)
- 시스템/제품의 주요 기능/작업은 무엇인가?
- 시스템/제품이 사용되는 환경적 조건은 어떠한가?
- 사용자의 요구사항이나 선호는 무엇인가?

사용자 분석

- 잠재적 사용자 파악 및 특성 분석

- 사용자 특성

- 나이, 성별, 교육 수준, 신체 크기, 신체 능력, 장애, 특정 제품에 대한 친숙도, 작업 관련 기술 등
- 표본 또는 전체 집단 분석

- 페르소나(persona)

- 실제 사람에 대한 인터뷰와 관찰을 통해 만들어진 가상적 인물
- 3~4명의 페르소나를 통해 전체 집단의 특성 표현
- 설계자가 다양한 사용자 특성을 고려할 수 있도록 해 줌

Kivio Users

	The researcher	The Sysadmin	The OSS developer	The CS student
				
Name	Alexander Weiß	Donald M. Berry	Kristian Larsson	Eric Neville
Age	30	30	26	24
Location	Germany	US	Sweden	France
Social Life	Alexander lives with his girl-friend in a flat in Hamburg.	Donald lives with his wife and 1-year old daughter in a house in Portland.	Kristian shares an apartment with two friends in Stockholm. His girl-friend lives in Uppsala. They see each other every weekend.	Eric lives with his parents in a small city close to Lyon. He visits the university there. Often, he stays at his friend's apartment for playing PC games and programming.
Work Life	He works at centre for environmental systems research and designs plans for replacable energies in a EU-funded project.	He is a lead system administrator in a huge network solutions company in Portland.	A software developer with a dayjob in a medium-sized software company. Works on KDE in his spare time.	He is a student of computer science. Besides university, he performs small programming jobs for people in his neighbourhood.
Computer Experience	All are highly experienced with computers.			
Time at a computer per week	26-50 hours per week	35-50++ hours per week	30-50++ hours per week	25-45 hours per week
Computer tasks	Office tasks and Field-dependent. Also educational and recreational. No development.	Development and network administration. Does not use PC for office tasks, educational, and even recreational.	Mostly development and recreational. Also network administration and office.	Mostly development. Also educational, recreational, and network administration. Does not use for office work.
Relation to OSS.	He is not passionate about OSS.	He is a convinced user of OSS.	He is involved with OSS development.	He is a convinced user of OSS.
Requirements wrt diagramming	office requirements	highest claims	easy-going	eager beaver
Frequency of drawing diagrams	Each 2 nd month	Twice per month	Once a month	Each 2 nd month
Diagram main type	Flowcharts. Also visualising thoughts. No technical ones.	All, except sitemap	Visualising thoughts	Diagrams mostly UML
Size and complexity	15-20 elements, 2-3 levels, 3-7 shapes	15-30 elements, 2-5 levels, 4-9 shapes	15-20 elements, 2-3 levels, 3-7 shapes	15-20 elements, 2-3 levels, 3-7 shapes
Diagram purpose and context.	For non-IT job.	Diagrams are for the IT-Job, never for himself.	Diagrams are mostly for himself but, also for formally presenting.	For formally presenting in university. Not for himself, as work input or for any jobs
Current diagramming	Power Point or OOo.	Visio.	Pen and Paper.	Dia, Umbrello.

기능 및 작업 분석

□ 기능 분석

- 기능의 나열 및 분류

□ 작업 분석

- 사용자가 수행하는 직무, 임무, 작업, 행동 등에 대한 분석
- 목표, 작업, 필요정보, 도구, 결과물 등 기술
- 목적
 - 훈련 필요 여부 결정, 요구사항 확인, 과정 재설계, 신뢰도 평가, 작업자 충원 여부 결정 등
- 인지적 작업 분석
 - 복잡한 의사결정, 문제해결, 진단 혹은 추론
 - 작업을 수행하는 데 많은 지식 필요
 - 상황의 특성에 따라 달라지는 방대하고 복잡한 규칙 구조
- 작업 관련 정보
 - 작업의 위계적 관계 (hierarchical relationship)
 - 작업 분류 및 그룹핑
 - 정보 흐름 (information flow)
 - 역할 분담, 의사소통 등
 - 작업 순서 정보 (task sequence information)
 - 목표, 의도, 순서적 관계, 사건, 수행 시간, 작업자 수, 동시 진행 작업 등
 - 장소 및 환경 (location and environment)
 - 이동 경로, 수행 장소, 작업장 배치, 도구 위치, 작업 수행 조건 등
 - 오류 확률, 작업 수행 빈도, 작업의 중요도 등

작업 데이터 수집

□ 관찰법

- 현장, 시뮬레이션 상황, 또는 실험 상황에서 사용자가 제품이나 시스템을 사용하는 것을 관찰
- 누락, 표현 불가능, 왜곡 방지
- 인지적 과정은 관찰 불가능

□ Think-aloud

- 언어적 보고 내용 분석(Verbal protocol analysis)
- 시점
 - 선행적(가상 작업)
 - 동시적(작업중)
 - 작업 수행 중 질문
 - 질문에 대한 응답이 작업 수행 방해 가능
 - 후행적(기억이나 녹화테이프 이용)

□ 인터뷰

- 구조적/비구조적 인터뷰
- Focus Group Interview (FGI)
 - 6~10명의 소집단 대상
 - 중립적이고 충분한 지식을 갖춘 진행자(facilitator)가 진행
- 진행의 유연성, 수행 및 분석에 장시간 소요

작업 데이터 수집

- 설문(Survey) 및 질문지(Questionnaire)
 - 수행 빈도, 선호도, 우선 순위 조사 등
 - 사전 검증 필요
 - 반복 용이 → 경제적

- 실사용 기록(Logging actual use)
 - 사용 빈도 및 순서 기록
 - 장시간에 걸친 데이터 수집 가능
 - 기록/분석 장비 요구, 프라이버시 침해 문제

- 주의사항
 - 어떻게 과제를 수행하는가?
 - 무엇을 왜 수행하는가?

작업 데이터 정리

□ 목록, 아웃라인, 매트릭스

□ 계층 구조(Hierarchy)

- 위계적 과제 분석(Hierarchical Task Analysis)
- GOMS: goal(목표), operator(조작자), method(방법), selection rules(선택 규칙)

□ 흐름도, 타임라인, 도해

- 작업 순서 다이어그램(operational sequence diagram, OSD)

표 3.3 아웃라인 형태를 통한 디지털 카메라 사용의 과제 분석의 일부

단계 1. 사진을 찍고자 하는 피사체 및 피사체와 어울리는 배경 결정하기

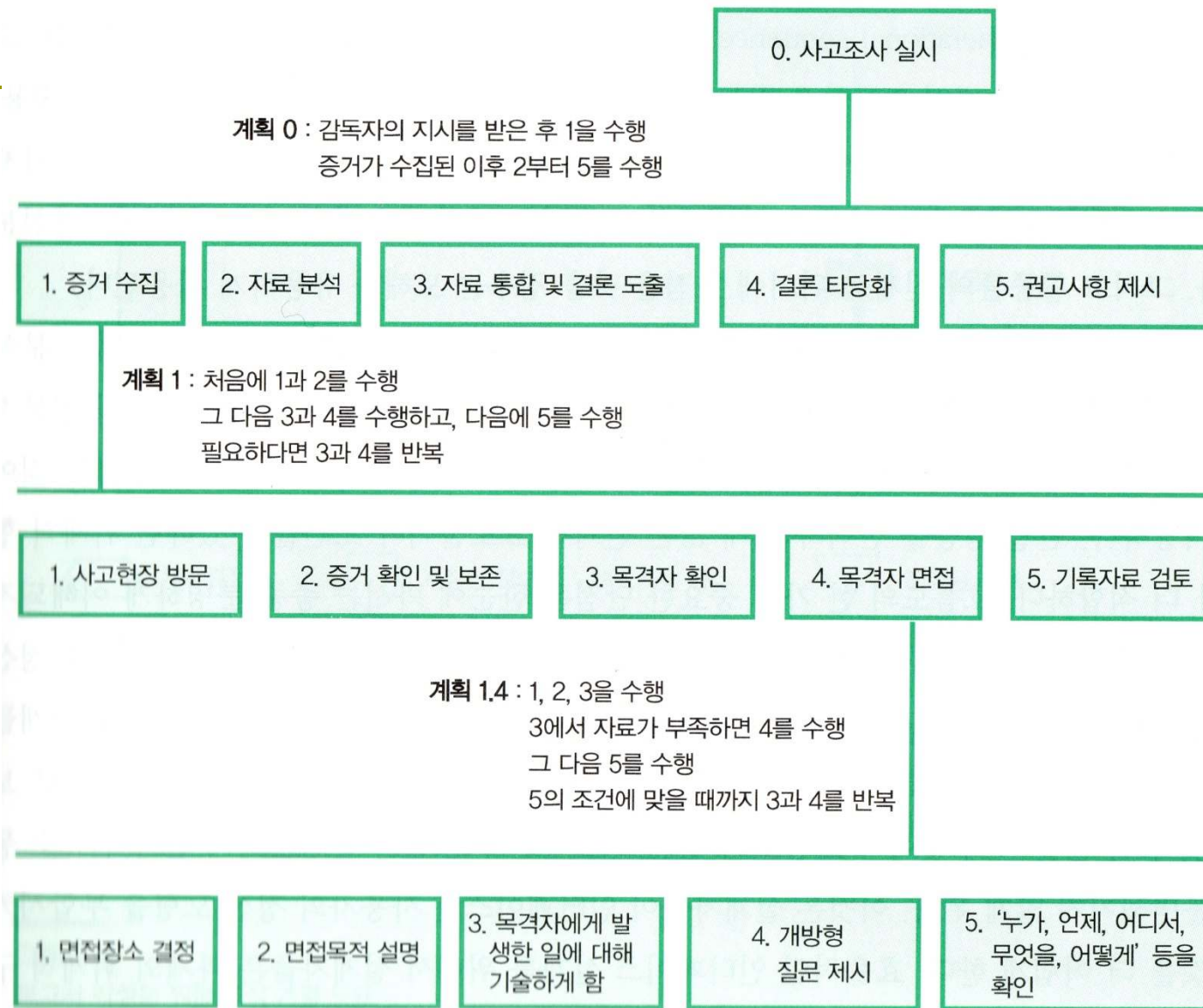
- A. 피사체를 선택한다
- B. 방해물을 피하기 위해 피사체의 위치를 변화시킨다
- C. 태양과의 상대적 각도를 맞춘다

단계 2. 카메라 준비

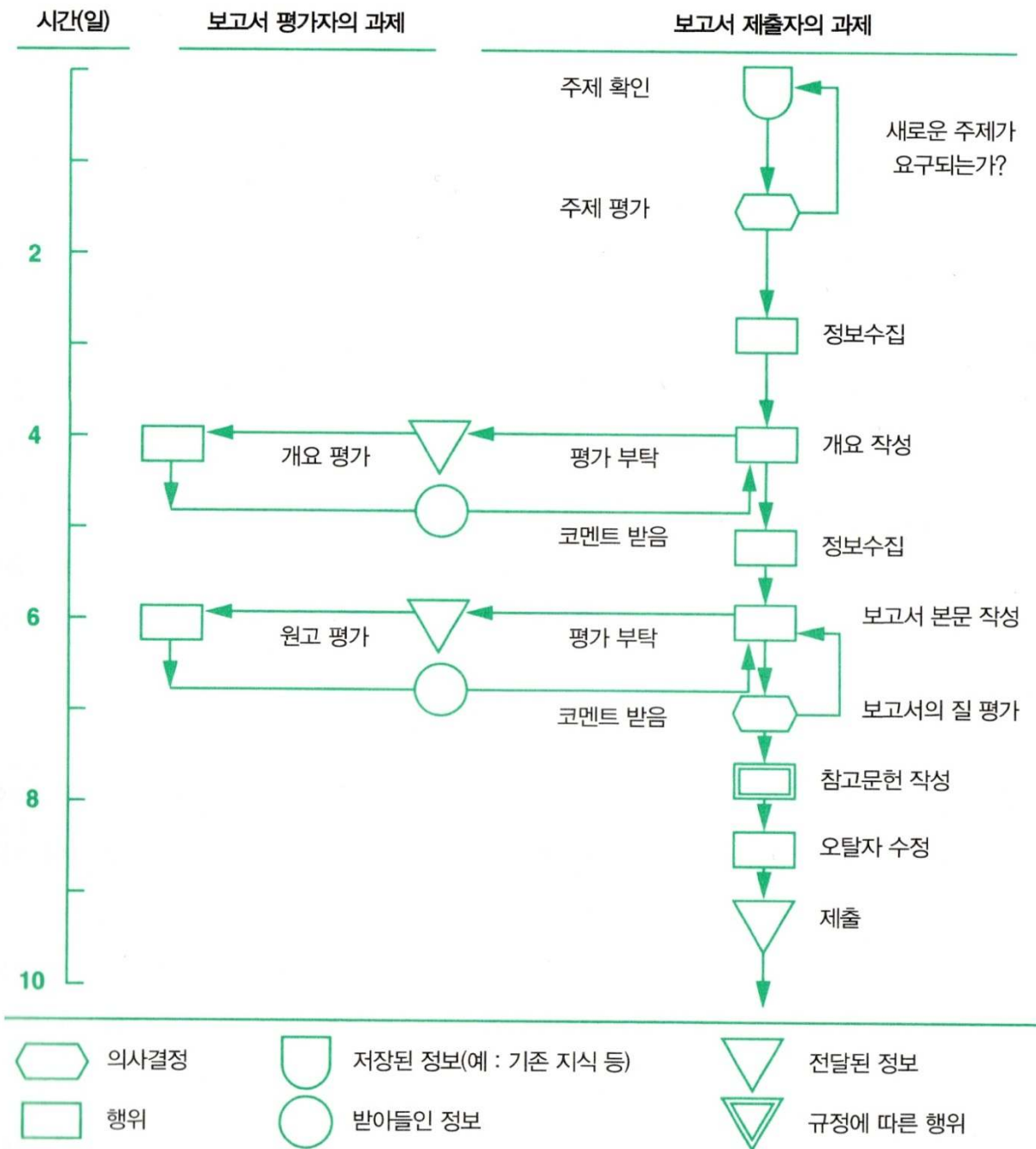
- A. 렌즈 마개를 연다
- B. 카메라를 켜다
- C. 사진을 찍기 위해 적합한 모드를 선택한다

단계 3. 사진 찍기

- A. 피사체를 프레임 안에 들어오도록 조정한다
 - (1) 적합한 모드(예 : 광각 혹은 파노라마)를 선택한다
 - (2) 카메라 방향을 조정한다
 - (3) 줌을 조정한다
- B. 초점을 맞춘다
- C. 셔터를 누른다



위계적 과제 분석(Hierarchical Task Analysis)



작업 순서 다이어그램(operational sequence diagram, OSD)

작업 데이터 분석

- 네트워크 분석
 - 작업 부하 분석
 - 시뮬레이션 & 모델링
 - 안전 분석
 - 시나리오 작성
-
- 사용자 요구사항 파악

반복 설계 및 검증

□ 설계 단계의 질문 사항

- 확인된 특징과 기능이 사용자의 선호와 일치하고, 사용자 요구사항을 충족시키는가?
- 시스템 설계의 관점에서 이미 존재하는 제약점이 있는가?
- 설계 해결책들을 위한 인간공학적 기준들이 있는가?
- 어떤 설계 대안이 인간의 한계를 가장 잘 해결할 수 있는가?

□ 인간공학적 기준 확인

- 인간 수행 및 안전과 직접적으로 관련되는 시스템의 설계 특성에 대해 기술
- Ex. 소프트웨어 사용성 요구사항, 키보드 설계 요구사항

통신장비 제조업체에 대한 인간공학적 평가 (Eckbreth, 1993)

□ 권고사항

- 최적의 작업 자세, 피해야 할 자세, 작업장 배치 조정 방법, 기본적 인간공학 원리 교육
- 적은 힘으로 부품을 회전시킬 수 있도록 장비 개선
- 케이블 제조대 재설계, 적절한 작업 자세 유지를 위한 가위 등 장비 교체
- 발디딤 장비 도입으로 손을 들어 작업하는 자세 개선
- 피로와 누적 외상 장애를 줄일 수 있는 바닥용 매트 구입
- 직무 순환



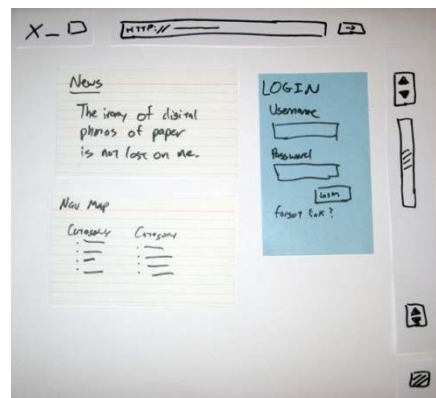
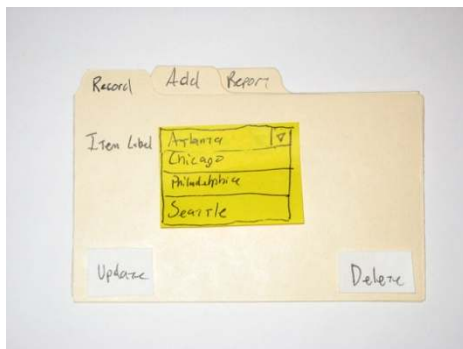
프로토타입(Prototype)

□ 프로토타입(Prototype), 목업(Mock-up)

- 최종 제조물에 대한 대략적인 유사 모형
- 이점
 - 사전 분석 결과의 검증
 - 아이디어 구체화 지원
 - 의사소통 매개체
 - 발견법적 평가 및 사용성 테스트 지원

□ 래피드 프로토타입(Rapid Prototype)

□ 페이퍼 프로토타입



반복적 평가 및 평가 방법

□ 반복적 평가

- 소프트웨어 개발 시 프로토타입에 대한 반복적 평가의 효과 (Bailey, 1993)
 - 1회 반복 평가시 사용자 수행도 약12% 증가
 - 최초 설계 대비 약 35% 증가

□ 평가 방법

- 발견법적 평가
 - 제품이나 시스템이 인간 공학적 기준에 맞는지 판단하기 위해 제품이나 시스템의 설계 특성들을 분석적으로 검토하는 것
 - 최소 3명 이상의 전문가에 의해 평가
 - 가이드라인/체크리스트 활용
 - 적은 비용
- 사용성 테스트
 - 학습 용이성, 효율성, 기억 용이성, 에러, 만족도
 - 사용자 동원 평가
 - 프로토타입/목업/제품 활용